

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author



Universidad Politécnic de Catalunya
Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Departamento de Estructuras en la Arquitectura

*ESTUDIO SISTEMÁTICO DE LOS APEOS EN PAREDES
DE OBRA DE FÁBRICA, CON ESPECIAL ATENCIÓN A
LA FISURACIÓN Y A LOS MECANISMOS DE COLAPSO*

Tesis Doctoral presentada por:

Lucrecia Calderón Valdiviezo

Director de Tesis:

Dr. Arq. Jordi Maristrany

Barcelona, 2009

Universidad Politécnic de Catalunya
Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Departamento de Estructuras de la Arquitectura
Doctorado en Estructuras en la Arquitectura

*"Estudio sistemático de los apeos en paredes de
obra de fábrica, con especial atención a la
fisuración y a los mecanismos de colapso"*

*Memoria presentada para optar
por el título de Doctora
Arquitecta*

Por: Lucrecia Calderón Valdiviezo
Arquitecta
Máster en Edificación
Diploma de Estudios Avanzados

Director: Prof. Jordi Maristany
Doctor Arquitecto

"...La creación continúa y el Creador se vale de sus criaturas. Los que buscan las leyes de la Naturaleza para hacer obras nuevas, colaboran con el Creador. Por eso la originalidad consiste en volver al origen..."

Gaudí.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, quien me ha dado la vida, junto con la capacidad y la fortaleza para desarrollar este trabajo y por haber puesto en mi camino a muchas personas que han jugado un papel importante en el desarrollo de esta Tesis. En este camino se han presentado momentos de todo tipo, alegres, animosos, de incertidumbre, de duda, como suele ocurrir en toda investigación, sin embargo con su ayuda ha sido posible superarlos.

No puedo dejar de agradecer a mis padres por la vida y la educación que me brindaron y por el apoyo y la confianza que han depositado en mí.

También quiero agradecer a todas las personas que han colaborado en mi formación, tanto intelectual como espiritualmente, de las que he recibido todo el apoyo imprescindible, de un modo incondicional y desinteresado.

Quiero dar las gracias a mi director el Arq. Jordi Maristany por su apoyo incondicional, brindándome su ayuda en los momentos difíciles.

Quisiera hacer mención de otras personas que han influenciado directamente en mi estudio: al Dr. Ing. Sergio Oller que siempre ha tenido su puerta abierta para cualquier consulta que he tenido e incluso fue un apoyo en momentos de mucha incertidumbre. También al Ing. Ramón Ribó y a la Ing. Lara Peligrine por haberme proporcionado la accesibilidad al programa de cálculo que utilizo en mi trabajo (GID-RambShell) sin ningún tipo de interés. No puedo dejar de mencionar a los Doctores Ingenieros Jaime Gálvez y Daniel Di Capua por compartir conmigo sus conocimientos.

Una mención especial es sin duda para el Arq. Xavier López Rey quien es la persona que hizo nacer en mí el deseo de hacer el Doctorado, cuando nos daba sus clase de cálculo laminar y matricial en el Máster y no sólo eso, sino que con sus inquietudes hizo también crecer en mí el gusto por la fisuración, con el trabajo que me encomendó antes de iniciar la Tesis.

En último lugar, no por tener menos valor sino al contrario, quiero agradecer a la empresa BOMA, a sus directivos y a las personas con las que he tenido contacto a largo de estos años; han sido para mí un apoyo muy importante desde que llegué a España y doy gracias a Dios por haberlos puesto en mi camino. Todos ellos han contribuido en mi formación en todos los aspectos, con sus ejemplos de humildad, desinterés y paciencia, tanto en el ámbito profesional como académico. Considero sus consejos y sus orientaciones de un valor insustituible. Quiero dejar pública mi gratitud a dicha empresa ya que ha sido el punto clave en mi estudio, sin ellos soy consciente que no hubiera sido posible terminar este trabajo.

Para concluir, mi último agradecimiento a las ayudas que he recibido del Arq. Antonio Orti, Isabel (la secretaria del departamento) y otros que han contribuido de modo especial directa o indirectamente en la culminación de este trabajo, mencionar a todos cubriría muchos folios, a todos mis más sinceros agradecimientos.

RESUMEN (ESPAÑOL)

Una parte significativa del parque edificado español está formado por estructuras portantes constituidas de obra de fábrica, en las cuales "los apeos" constituyen una actividad frecuente en el mundo de las estructuras de edificación.

Este estudio se centra específicamente en las paredes ubicadas en el interior del edificio, en las cuales sólo se considera la influencia de fuerzas gravitatorias.

La finalidad de la Tesis es ayudar a entender mejor el comportamiento de dichas intervenciones en aspectos relevantes tales como, formas, dimensiones y posición de los huecos; influencia de las condiciones de contorno de las paredes, influencia del zuncho de borde embebido en el forjado y diferentes patrones de fisuras en algunas tipologías de paredes.

Para ello presentamos una metodología basada en un comportamiento "elástico lineal", considerando que cuando el material supera la resistencia a tracción y rompe se descarga completamente.

La Tesis no pretende ser una herramienta para determinar las características de la fábrica ni para obtener la máxima fuerza de rotura tanto a compresión como a tracción; más bien se quiere proporcionar patrones de fisuras que indiquen los mecanismos de colapso de las paredes, y de este modo se puedan prever situaciones que atenten contra la integridad de la estructura y de las personas.

RESUMEN (INGLÉS)

A significant part of Spain built park is composed of bearing structures constituting by masonry, in which "the shoring" is a frequent activity on building structures world.

This study focuses specifically on the walls located inside the building, in which only considers the gravitational forces influence.

Thesis purpose is to help better understand these interventions behavior on relevant aspects such as shapes, dimensions and holes position, the walls contour influence, the hooping edge embedded in the hope influence and different cracks patterns in some walls types.

To this end we present a methodology based in behaviour linear-elastic, considering that when the material exceeds the tensile strength and breaks, it's downloaded completely.

Thesis intention is not to be as a tool to determine the masonry characteristics or to obtain the maximum breaking strength of both compression and tension, rather we want to provide cracks patterns that indicate the wall collapse mechanisms, and in this way can anticipate situations which jeopardize structure and people integrity.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO-1

1	INTRODUCCIÓN.....	1-6
1.1	INTRODUCCIÓN.....	1-6
1.1.1	Tipología de la fábrica a considerar en el estudio.....	1-7
1.1.1.1	Material que la constituye: ladrillo, hormigón, piedra.....	1-7
1.1.1.2	Tipo de unión entre las piezas de la fábrica: con juntas o en seco (sin juntas de mortero).....	1-7
1.1.1.3	Ubicación de las paredes de carga en planta: fachadas frontales, fachadas medianeras o paredes interiores.....	1-8
1.1.2	Tipo de análisis y valor de la resistencia a tracción (ft) de la fábrica considerada.....	1-8
1.1.2.1	Aspectos teóricos.....	1-8
1.1.2.2	Aspectos relacionados con el propio material.....	1-8
1.1.2.2.1	Complejidad del comportamiento mecánico de la fábrica.....	1-9
1.1.2.2.2	La importante heterogeneidad o variabilidad de los materiales.....	1-9
1.1.3	Otras variables consideradas.....	1-10
1.2	OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	1-12
1.2.1	Objetivo general.....	1-12
1.2.2	Objetivos específicos.....	1-12
1.2.2.1	Determinar la influencia de la forma de los huecos en la distribución de los esfuerzos y movimientos, demostrando la forma que presenta un mejor comportamiento estructural entre los diferentes tipos de apeo en las paredes.....	1-12
1.2.2.2	Determinar la influencia de las condiciones de contorno de los apeos en las paredes de carga, llegando a identificar los diferentes aspectos que deben tenerse en cuenta en el cálculo.....	1-12
1.2.2.3	Determinar la influencia de los zunchos de borde de los forjados, embebidos en las paredes de carga, demostrando si su existencia es favorable para el comportamiento estructural de los apeos.....	1-12
1.2.2.4	Determinar los efectos que en la pared originan las diferentes dimensiones de huecos, llegando a establecer la dimensión del hueco que comenzará a presentar mayores problemáticas en el comportamiento del apeo en la pared.....	1-12

1.2.2.5	Determinar la influencia de la ubicación del hueco en las paredes de carga, indicando las plantas que presentarán más problemas al ejecutar el hueco para apeaar la pared.....	1-12
1.2.2.6	Determinar si el método propuesto en la Tesis es válido para analizar la trayectoria de la fisura en la fábrica de ladrillo.....	1-12
1.2.2.7	Determinar los mecanismos de colapso de paredes de dos plantas simétricas con diferentes tipologías de aperturas y considerando zunchos de dimensiones despreciables.....	1-12
1.2.2.8	Determinar los mecanismos de colapso de las paredes. Se analizan paredes de dos plantas asimétricas con diferentes tipologías de aperturas y considerando zunchos de dimensiones despreciables.....	1-12
1.2.2.9	Determinar también los mecanismos de colapso de paredes simétricas teniendo en cuenta zunchos de dimensiones. Analizar el número de plantas necesario para que se inicie la formación del arco de descarga.....	1-12
1.2.2.10	Determinar las diferencias generales de comportamiento entre los modelos simétricos y asimétricos.....	1-13
1.2.2.11	Determinar qué diferencia existe al considerar la influencia de dimensiones diferentes de zuncho en los modelos simétricos con hueco únicamente en la planta baja (futuros modelos 1 y 7).....	1-13
1.2.2.12	Determinar qué diferencia de comportamiento existe al considerar la influencia de diferentes dimensiones de los zunchos y de las cargas (en futuros modelos 1 y 9).....	1-13
1.3	METODOLOGÍA UTILIZADA.....	1-14
1.3.1	Localización de las zonas más tensionadas del modelo.....	1-14
1.3.2	Determinación de la trayectoria de la fisura.....	1-14
1.3.3	Determinación de los efectos de engranaje.....	1-14
1.4	CONTENIDO DE LOS CAPÍTULOS.....	1-15

CAPÍTULO-2

2	ESTADO DEL CONOCIMIENTO.....	2-11
2.1	APEOS Y MECANISMOS DE ESTABILIZACIÓN.....	2-11
2.1.1	Sistemas de apeos y mecanismos de estabilización según el peso, volumen o capacidad de los materiales.....	2-11
2.1.1.1	Sistemas pesados.....	2-11

2.1.1.2	Sistemas ligeros.....	2-12
2.1.2	Sistemas de apeos y mecanismos de estabilización provisionales en obra existente.....	2-13
2.1.2.1	Tipos de apeos y mecanismos de estabilización provisionales según su función en obra.....	2-14
2.1.2.1.1	Los de urgencia.....	2-14
2.1.2.1.2	Los complementarios.....	2-15
2.1.2.1.3	Los supletorios.....	2-16
2.1.2.1.4	De refuerzo por demolición.....	2-17
2.1.3	Sistemas de apeos permanentes en obra existente.....	2-18
2.1.3.1	Apeo de una parte de una pared de carga (Apertura de huecos nuevos).....	2-19
2.1.3.2	Apeo de un muro completo con sistemas aporricados.....	2-20
2.1.3.3	Apeo de pilares.....	2-21
2.1.3.4	Apeo de forjado por eliminación de pilar o pared maestra.....	2-22
2.1.3.5	Apeo de las jácenas por eliminación de pilar o pared maestra.....	2-23
2.1.3.6	Apeos de pared de carga o pilar en cimentación.....	2-24
2.1.3.7	Apeo de muros de carga y pilares existentes para habilitar sótanos de nueva construcción.....	2-25
2.1.3.8	Apeo de la estructura de un forjado existente para habilitar sótanos de nueva construcción.....	2-26
2.1.4	Esquemas de soluciones de apeos y mecanismos de estabilización provisionales y permanentes en obra existente.....	2-26
2.2	METODOLOGÍA UTILIZADA.....	2-35
2.2.1	Condiciones consideradas sobre el material.....	2-35
2.2.1.1	Tipo de análisis.....	2-35
2.2.1.2	Características mecánicas del material.....	2-35
2.2.2	Condiciones generales.....	2-36
2.2.3	Localización de las fisuras.....	2-37
2.2.4	Determinación de la trayectoria de las fisuras.....	2-41
2.2.5	Mallado de los modelos.....	2-44
2.3	CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS ANALIZADOS.....	2-47
2.3.1	Estado de carga de los forjados.....	2-47
2.3.2	Características de los Zunchos Perimetrales.....	2-47
2.3.3	Condiciones de Contorno.....	2-48
2.3.4	Formas de los arcos utilizados.....	2-49
2.3.5	Modelos estudiados en los diferentes capítulos.....	2-50

2.3.5.1	Modelos analizados en el Capítulo-3.....	2-50
2.3.5.2	Modelos analizados en el Capítulo-4.....	2-51
2.3.5.3	Modelos analizados en el Capítulo-5.....	2-52
2.3.5.3.1	Modelos: influencia del tamaño de los apeos.....	2-52
2.3.5.3.2	Modelos: influencia de la posición de los apeos.....	2-53
2.3.5.4	Modelos analizados en el Capítulo-6.....	2-54
2.3.5.5	Modelos analizados en el Capítulo-7.....	2-55
2.4	INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA.....	2-60
2.4.1	Descripción de la mampostería.....	2-60
2.4.1.1	Propiedades individuales de los materiales que componen la mampostería.....	2-61
2.4.1.1.1	Propiedades del mortero y del ladrillo a nivel experimental.....	2-61
2.4.1.1.2	Propiedades de la interfaz ladrillo-mortero.....	2-61
2.4.1.2	Propiedades del material compuesto: mampostería.....	2-62
2.4.1.2.1	Comportamiento de la mampostería en compresión uni-axial.....	2-62
2.4.1.2.2	Comportamiento a tracción uni-axial de la mampostería.....	2-63
2.4.1.2.3	Aspectos del comportamiento Post-pico. Ablandamiento o "Softening".....	2-65
2.4.1.2.4	Comportamiento biaxial.....	2-65
2.4.1.3	Métodos de cálculo general y método propuesto en la Tesis.....	2-66
2.4.2	La fisuración.....	2-69
2.4.2.1	Modelos constitutivos generales.....	2-69
2.4.2.2	Teorías para estudiar la fisuración.....	2-70
2.4.2.3	Mecánica de fractura.....	2-70
2.4.2.3.1	División de la teoría de la "MF".....	2-71
2.4.2.3.2	Modos de propagación de la fisura.....	2-72
2.4.2.3.3	Concentración de Tensiones en la cabeza de la fisura.....	2-73
2.4.2.3.4	Representación de la propagación de la fisura.....	2-73
2.4.2.4	Mecánica de medios continuos (MMC).....	2-74
2.4.2.4.1	Modelos de fisura distribuida o difusa.....	2-76
2.4.2.4.2	Inicio de la fisuración.....	2-76
2.4.2.4.3	Orientación y generación de fisuras.....	2-77
2.4.2.4.4	Comportamiento del material fisurado.....	2-77
2.4.3	La catenaria y la parábola.....	2-80
2.4.3.1	El arco catenárico.....	2-80

2.4.3.1.1	<i>Ecuación de la catenaria.....</i>	2-81
2.4.3.2	<i>El arco parabólico.....</i>	2-83
2.4.3.3	<i>Diferencias entre la catenaria y la parábola.....</i>	2-86
2.4.3.4	<i>La forma catenáríca en la naturaleza.....</i>	2-87
2.4.3.5	<i>Aplicación en Ingeniería-Obra Civil.....</i>	2-88
2.4.3.6	<i>Aplicación en la Arquitectura.....</i>	2-90
2.4.3.6.1	<i>Basílica de Saint Denis (París-Francia): utilizan arcos de medio punto - grandes contrafuertes laterales.....</i>	2-90
2.4.3.6.2	<i>Iglesia de Cluny III (París-Francia): utilizan arcos ojivales - grandes contrafuertes exteriores.....</i>	2-90
2.4.3.6.3	<i>Cúpula de la Mezquita de la Roca (Qubbat as- Sajrah) (Jerusalén 688-692).....</i>	2-91
2.4.3.6.4	<i>Catedral de Santa María del Fiore (Florencia- Italia-1296).....</i>	2-92
2.4.3.6.5	<i>Antoni Gaudí (1852 - 1926).....</i>	2-93
2.4.3.6.6	<i>Colonia Güell (1908-1916).....</i>	2-93
2.4.3.6.7	<i>Colegio de las Teresianas (Gaudí 1889-1890).....</i>	2-95
2.4.3.6.8	<i>Palacio Güell (Palau Güell) (1886-1890).....</i>	2-96
2.4.3.6.9	<i>Casa Milà (La Pedrera 1906-1910).....</i>	2-97
2.4.3.6.10	<i>La Sagrada Familia (Gaudí asume el proyecto en 1883).....</i>	2-98
2.4.3.6.11	<i>"Masia Freixa" (Tarrasa-España-1896).....</i>	2-99
2.4.3.6.12	<i>Central nuclear.....</i>	2-100
2.4.3.6.13	<i>El centro religioso Memorial Fidel y María Moreno (Escobar-Argentina).....</i>	2-100
2.4.3.6.14	<i>Gateway Arch (Sant Louis, Missouri, EE.UU - 1947-1960).....</i>	2-101
2.4.3.6.15	<i>Dulles International Airport (Chantilly- Virginia 1958-1962).....</i>	2-102
2.4.3.6.16	<i>Marquette Plaza (Banco Federal de Minneapolis) (Minneapolis, Minnesota-1973-1997).....</i>	2-103
2.4.3.6.17	<i>Expo-98. Pabellón de Portugal (Portugal-Lisboa 1995).....</i>	2-104
2.4.3.6.18	<i>Ciudad de las Artes y las Ciencias (Valencia- España-1994-2005).....</i>	2-105
2.4.3.6.19	<i>Casas prefabricadas (Pretoria-África del Sur- 2006).....</i>	2-107
2.4.3.6.20	<i>Cubierta del escenario del Teatro de Verano Ramón Collazo del Parque Rodó (Montevideo julio-diciembre-2006).....</i>	2-108
2.4.3.6.21	<i>Stand de Hispalyt (Construmat-2007).....</i>	2-109

2.4.4	Descripción de los programas utilizados.....	2-112
2.4.4.1	Programa de dibujo "AutoCAD".....	2-112
2.4.4.2	Programa pre y post procesador: "GID".....	2-114
2.4.4.2.1	Pre-proceso.....	2-115
2.4.4.2.2	Post-proceso.....	2-119
2.4.4.3	Programa de cálculo: "RamSeries".....	2-122
2.4.4.3.1	"Rambshell".....	2-122
2.4.4.3.2	"RamSolid".....	2-125
2.4.4.3.3	Referencias bibliográficas del programa "RamSeries".....	2-125
2.4.4.4	Programa de cálculo "RISA-3D".....	2-126
2.4.4.5	Programa "Windows Movie Maker".....	2-130
2.4.4.6	Programa matemático "ORIGIN-8".....	2-131
2.4.4.7	Programa "Excel.2007".....	2-131

CAPÍTULO-3

3	ANÁLISIS DE MODELOS SIMPLES SIN CONSIDERAR LA INFLUENCIA DE LOS ZUNCHOS PERIMETRALES.....	3-11
3.1	ASPECTOS GENERALES.....	3-11
3.2	CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS.....	3-14
3.2.1	Tipología de los arcos a utilizar.....	3-14
3.2.1.1	Hueco con arco ojival.....	3-15
3.2.1.2	Hueco con arco ideal.....	3-15
3.2.1.2.1	Modelo informático.....	3-15
3.2.1.2.2	Modelo práctico.....	3-16
3.2.1.3	Hueco con arco de medio punto.....	3-19
3.2.1.4	Hueco con arco carpanel.....	3-19
3.2.1.5	Hueco con arco de ángulos rectos.....	3-19
3.2.2	Parámetros utilizados.....	3-20
3.2.2.1	Estado de carga.....	3-20
3.2.2.2	Características mecánicas del material.....	3-20
3.2.2.3	Programas utilizados.....	3-21
3.2.2.4	Características del mallado de los modelos.....	3-21
3.2.2.5	Características de los zunchos perimetrales.....	3-21
3.2.2.6	Condiciones de contorno.....	3-22
3.2.2.6.1	Representación gráfica de los desplazamientos y giros.....	3-22

3.2.2.6.2	<i>Representación esquemática de las condiciones de contorno de los diferentes modelos.....</i>	<i>3-23</i>
3.2.3	<i>Estudio a realizar.....</i>	<i>3-24</i>
3.2.3.1	<i>Representación gráfica de los resultados obtenidos en el programa de cálculo.....</i>	<i>3-24</i>
3.2.3.2	<i>Especificación de criterios de interpretación de los modelos individuales.....</i>	<i>3-25</i>
3.2.3.3	<i>Análisis de la Influencia de las condiciones de contorno en los modelos sin zuncho.....</i>	<i>3-28</i>
3.2.3.4	<i>Análisis de la Influencia de la forma del arco en los modelos sin zuncho.....</i>	<i>3-28</i>
3.3	<i>PRESENTACIÓN DE UN MODELO INTRODUCTORIO.....</i>	<i>3-30</i>
3.3.1	<i>Hueco Circular.....</i>	<i>3-31</i>
3.4	<i>ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE ARCOS.....</i>	<i>3-34</i>
3.4.1	<i>Influencia de la base apoyada.....</i>	<i>3-35</i>
3.4.1.1	<i>Hueco con arco ojival.....</i>	<i>3-37</i>
3.4.1.2	<i>Hueco con arco ideal.....</i>	<i>3-38</i>
3.4.1.3	<i>Hueco con arco de medio punto.....</i>	<i>3-39</i>
3.4.1.4	<i>Hueco con arco carpanel.....</i>	<i>3-40</i>
3.4.1.5	<i>Hueco con arco de ángulos rectos.....</i>	<i>3-41</i>
3.4.2	<i>Influencia de los apoyos en base y restricción lateral.....</i>	<i>3-42</i>
3.4.2.1	<i>Hueco con arco ojival.....</i>	<i>3-44</i>
3.4.2.2	<i>Hueco con arco ideal.....</i>	<i>3-45</i>
3.4.2.3	<i>Hueco con arco de medio punto.....</i>	<i>3-46</i>
3.4.2.4	<i>Hueco con arco carpanel.....</i>	<i>3-47</i>
3.4.2.5	<i>Hueco con arco de ángulos rectos.....</i>	<i>3-48</i>
3.4.3	<i>Influencia del empotramiento de la base.....</i>	<i>3-49</i>
3.4.3.1	<i>Hueco con arco ojival.....</i>	<i>3-51</i>
3.4.3.2	<i>Hueco con arco ideal.....</i>	<i>3-52</i>
3.4.3.3	<i>Hueco con arco de medio punto.....</i>	<i>3-53</i>
3.4.3.4	<i>Hueco con arco carpanel.....</i>	<i>3-54</i>
3.4.3.5	<i>Hueco con arco de ángulos rectos.....</i>	<i>3-55</i>
3.4.4	<i>Influencia del empotramiento de la base y restricción lateral.....</i>	<i>3-56</i>
3.4.4.1	<i>Hueco con arco ojival.....</i>	<i>3-58</i>
3.4.4.2	<i>Hueco con arco ideal.....</i>	<i>3-59</i>
3.4.4.3	<i>Hueco con arco de medio punto.....</i>	<i>3-60</i>
3.4.4.4	<i>Hueco con arco carpanel.....</i>	<i>3-61</i>
3.4.4.5	<i>Hueco con arco de ángulos rectos.....</i>	<i>3-62</i>

3.5	<i>INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS SIN ZUNCHO.....</i>	3-65
3.5.1	<i>Hueco con arco ojival.....</i>	3-65
3.5.1.1	<i>Comparación de los desplazamientos.....</i>	3-65
3.5.1.1.1	<i>Desplazamientos en "x".....</i>	3-65
3.5.1.1.2	<i>Desplazamientos en "z".....</i>	3-67
3.5.1.2	<i>Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....</i>	3-68
3.5.1.3	<i>Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....</i>	3-70
3.5.1.4	<i>Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Sii).....</i>	3-71
3.5.1.5	<i>Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....</i>	3-73
3.5.2	<i>Hueco con arco ideal.....</i>	3-74
3.5.2.1	<i>Comparación de los desplazamientos.....</i>	3-74
3.5.2.1.1	<i>Desplazamientos en "x".....</i>	3-74
3.5.2.1.2	<i>Desplazamientos en "z".....</i>	3-76
3.5.2.2	<i>Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....</i>	3-77
3.5.2.3	<i>Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....</i>	3-79
3.5.2.4	<i>Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Sii).....</i>	3-80
3.5.2.5	<i>Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....</i>	3-82
3.5.3	<i>Hueco con arco de medio punto.....</i>	3-83
3.5.3.1	<i>Comparación de los desplazamientos.....</i>	3-83
3.5.3.1.1	<i>Desplazamientos en "x".....</i>	3-83
3.5.3.1.2	<i>Desplazamientos en "z".....</i>	3-85
3.5.3.2	<i>Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....</i>	3-86
3.5.3.3	<i>Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....</i>	3-88
3.5.3.4	<i>Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Sii).....</i>	3-89
3.5.3.5	<i>Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....</i>	3-91
3.5.4	<i>Hueco con arco carpanel.....</i>	3-92
3.5.4.1	<i>Comparación de los desplazamientos.....</i>	3-92
3.5.4.1.1	<i>Desplazamientos en "x".....</i>	3-92
3.5.4.1.2	<i>Desplazamientos en "z".....</i>	3-94

3.5.4.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	3-95
3.5.4.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	3-97
3.5.4.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Sii).....	3-98
3.5.4.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	3-100
3.5.5	Huevo con arco de ángulos rectos.....	3-101
3.5.5.1	Comparación de los desplazamientos.....	3-101
3.5.5.1.1	Desplazamientos en "x".....	3-101
3.5.5.1.2	Desplazamientos en "z".....	3-103
3.5.5.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	3-104
3.5.5.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	3-106
3.5.5.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Sii).....	3-107
3.5.5.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	3-109
3.6	INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN LOS MODELOS SIN ZUNCHO.....	3-112
3.6.1	Modelo con la base apoyada.....	3-112
3.6.1.1	Comparación de los desplazamientos.....	3-112
3.6.1.1.1	Desplazamientos en "x".....	3-112
3.6.1.1.2	Desplazamientos en "z".....	3-114
3.6.1.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	3-115
3.6.1.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	3-117
3.6.1.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Sii).....	3-118
3.6.1.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	3-120
3.6.2	Modelo con la base apoyada y restricción Lateral.....	3-121
3.6.2.1	Comparación de los desplazamientos.....	3-121
3.6.2.1.1	Desplazamientos en "x".....	3-121
3.6.2.1.2	Desplazamientos en "z".....	3-123
3.6.2.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	3-124
3.6.2.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	3-126

3.6.2.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Sii).....	3-127
3.6.2.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	3-129
3.6.3	Modelo con la base empotrada.....	3-130
3.6.3.1	Comparación de los desplazamientos.....	3-130
3.6.3.1.1	Desplazamientos en "x".....	3-130
3.6.3.1.2	Desplazamientos en "z".....	3-132
3.6.3.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	3-133
3.6.3.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	3-135
3.6.3.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Sii).....	3-136
3.6.3.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	3-138
3.6.4	Modelo con la base empotrada y restricción lateral.....	3-139
3.6.4.1	Comparación de los desplazamientos.....	3-139
3.6.4.1.1	Desplazamientos en "x".....	3-139
3.6.4.1.2	Desplazamientos en "z".....	3-141
3.6.4.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	3-142
3.6.4.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	3-144
3.6.4.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Sii).....	3-145
3.6.4.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	3-147
3.7	CONCLUSIONES.....	3-149
3.7.1	Base simplemente apoyada.....	3-149
3.7.2	Base simplemente apoyada con restricciones laterales.....	3-150
3.7.3	Base empotrada.....	3-151
3.7.4	Base empotrada con restricciones laterales.....	3-152

CAPITULO-4

4	ANÁLISIS DE MODELOS SIMPLES CONSIDERANDO LA INFLUENCIA DE LOS ZUNCHOS PERIMETRALES.....	4-13
4.1	ASPECTOS GENERALES.....	4-13
4.2	CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS.....	4-17

4.2.1	Tipología de los arcos a utilizar.....	4-17
4.2.2	Parámetros utilizados.....	4-18
4.2.2.1	Estado de carga.....	4-18
4.2.2.2	Características mecánicas del material.....	4-18
4.2.2.3	Programas utilizados.....	4-19
4.2.2.4	Características del mallado de los modelos.....	4-19
4.2.2.5	Características de los Zunchos Perimetrales.....	4-19
4.2.2.6	Condiciones de Contorno.....	4-20
4.2.2.6.1	Representación gráfica de los desplazamientos y giros.....	4-20
4.2.2.6.2	Representación esquemática de las condiciones de contorno de los diferentes modelos.....	4-21
4.2.3	Estudio a realizar.....	4-22
4.2.3.1	Representación gráfica de los resultados obtenidos en el programa de cálculo.....	4-22
4.2.3.2	Especificación de criterios de interpretación de los modelos individuales.....	4-23
4.2.3.3	Análisis comparativos.....	4-27
4.3	ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE ARCOS.....	4-30
4.3.1	Influencia de la base apoyada.....	4-31
4.3.1.1	Hueco con arco ideal.....	4-33
4.3.1.2	Hueco con arco de medio punto.....	4-34
4.3.1.3	Hueco con arco carpanel.....	4-35
4.3.1.4	Hueco con arco de ángulos rectos.....	4-36
4.3.2	Influencia de los apoyos en base y restricción lateral.....	4-37
4.3.2.1	Hueco con arco ideal.....	4-39
4.3.2.2	Hueco con arco de medio punto.....	4-40
4.3.2.3	Hueco con arco carpanel.....	4-41
4.3.2.4	Hueco con arco de ángulos rectos.....	4-42
4.3.3	Influencia del empotramiento de la base.....	4-43
4.3.3.1	Hueco con arco ideal.....	4-45
4.3.3.2	Hueco con arco de medio punto.....	4-46
4.3.3.3	Hueco con arco carpanel.....	4-47
4.3.3.4	Hueco con arco de ángulos rectos.....	4-48
4.3.4	Influencia del empotramiento de la base y restricción lateral.....	4-49
4.3.4.1	Hueco con arco ideal.....	4-51
4.3.4.2	Hueco con arco de medio punto.....	4-52

4.3.4.3	Hueco con arco carpanel.....	4-53
4.3.4.4	Hueco con arco de ángulos rectos.....	4-54
4.4	INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO.....	4-57
4.4.1	Hueco con arco ideal.....	4-57
4.4.1.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-57
4.4.1.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-57
4.4.1.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-59
4.4.1.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-60
4.4.1.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-61
4.4.1.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-62
4.4.1.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-64
4.4.2	Hueco con arco de medio punto.....	4-65
4.4.2.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-65
4.4.2.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-65
4.4.2.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-67
4.4.2.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-68
4.4.2.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-69
4.4.2.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-70
4.4.2.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-72
4.4.3	Hueco con arco carpanel.....	4-73
4.4.3.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-73
4.4.3.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-73
4.4.3.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-75
4.4.3.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-76
4.4.3.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-77
4.4.3.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-78
4.4.3.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-80
4.4.4	Hueco con arco de ángulos rectos.....	4-81
4.4.4.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-81

4.4.4.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-81
4.4.4.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-83
4.4.4.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-84
4.4.4.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-85
4.4.4.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-86
4.4.4.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-88
4.5	INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO.....	4-91
4.5.1	Modelo con la base Apoyada.....	4-91
4.5.1.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-91
4.5.1.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-91
4.5.1.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-93
4.5.1.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-94
4.5.1.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-96
4.5.1.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-97
4.5.1.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-99
4.5.2	Modelo con la base Apoyada y Restricción Lateral.....	4-100
4.5.2.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-100
4.5.2.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-100
4.5.2.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-102
4.5.2.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-103
4.5.2.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-105
4.5.2.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-106
4.5.2.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-108
4.5.3	Modelo con la base Empotrada.....	4-109
4.5.3.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-109
4.5.3.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-109
4.5.3.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-111
4.5.3.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-112

4.5.3.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-114
4.5.3.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-115
4.5.3.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-117
4.5.4	Modelo con la base Empotrada y Restricción Lateral.....	4-118
4.5.4.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-118
4.5.4.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-118
4.5.4.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-120
4.5.4.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-121
4.5.4.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-123
4.5.4.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-124
4.5.4.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-126
4.6	ANÁLISIS COMPARATIVO: INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO.....	4-129
4.6.1	Hueco con arco ideal.....	4-129
4.6.1.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-129
4.6.1.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-129
4.6.1.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-131
4.6.1.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-133
4.6.1.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-135
4.6.1.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-137
4.6.1.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-139
4.6.2	Hueco con arco de medio punto.....	4-141
4.6.2.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-141
4.6.2.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-141
4.6.2.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-143
4.6.2.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-145
4.6.2.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-147
4.6.2.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-149

4.6.2.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-151
4.6.3	Hueco con arco carpanel.....	4-153
4.6.3.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-153
4.6.3.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-153
4.6.3.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-155
4.6.3.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-157
4.6.3.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-159
4.6.3.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-161
4.6.3.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-163
4.6.4	Hueco con arco de ángulos rectos.....	4-165
4.6.4.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-165
4.6.4.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-165
4.6.4.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-167
4.6.4.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-169
4.6.4.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-171
4.6.4.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-173
4.6.4.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-175
4.7	CUADRO COMPARATIVO: INFLUENCIA DE LA FORMA DE LOS ARCOS EN LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO.....	4-179
4.7.1	Modelo con la base Apoyada.....	4-179
4.7.1.1	Comparación de los Desplazamientos:.....	4-179
4.7.1.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-179
4.7.1.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-180
4.7.1.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-181
4.7.1.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-182
4.7.1.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-183
4.7.1.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-184
4.7.2	Modelo con la base Apoyada y Restricción Lateral.....	4-185

4.7.2.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-185
4.7.2.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-185
4.7.2.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-186
4.7.2.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-187
4.7.2.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-188
4.7.2.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-189
4.7.2.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-190
4.7.3	Modelo con la base Empotrada.....	4-191
4.7.3.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-191
4.7.3.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-191
4.7.3.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-192
4.7.3.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-193
4.7.3.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-194
4.7.3.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-195
4.7.3.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-196
4.7.4	Modelo con la base Empotrada y Restricción Lateral.....	4-197
4.7.4.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-197
4.7.4.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-197
4.7.4.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-198
4.7.4.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-199
4.7.4.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-200
4.7.4.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-201
4.7.4.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-202
4.8	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO-4.....	4-204
4.8.1	Modelos con la base apoyada (BA).....	4-204
4.8.2	Modelos con la base apoyada y restricciones laterales.....	4-206
4.8.3	Modelos con la base empotrada.....	4-209
4.8.4	Modelos con la base empotrada y restricciones laterales.....	4-212

CAPÍTULO-5

5	INFLUENCIA DEL ANCHO Y POSICIÓN DE LOS HUECOS QUE FORMAN LOS APEOS.....	5-5
5.1	INFLUENCIA DEL ANCHO DE LOS HUECOS QUE FORMAN LOS APEOS.....	5-8
5.1.1	Aspectos generales.....	5-8
5.1.1.1	Parámetros utilizados.....	5-10
5.1.1.1.1	Características geométricas de los modelos.....	5-10
5.1.1.1.2	Estado de carga.....	5-11
5.1.1.1.3	Características mecánicas del material.....	5-11
5.1.1.1.4	Características de los zunchos perimetrales.....	5-12
5.1.1.1.5	Características del mallado.....	5-12
5.1.1.1.6	Programas utilizados.....	5-12
5.1.1.1.7	Condiciones de Contorno.....	5-13
5.1.1.2	Análisis de los resultados.....	5-14
5.1.1.2.8	Representación gráfica de los resultados obtenidos en el programa de cálculo.....	5-14
5.1.1.2.9	Especificación de criterios de interpretación de los modelos individuales.....	5-15
5.1.1.2.10	Análisis Comparativo de los diferentes modelos.....	5-18
5.1.2	Presentación de los modelos individuales.....	5-20
5.1.2.1	Hueco con arco de ángulos rectos: ancho 1,50m.....	5-22
5.1.2.2	Hueco con arco de ángulos rectos: ancho 2,50m.....	5-23
5.1.2.3	Hueco con arco de ángulos rectos: ancho 3,50m.....	5-24
5.1.2.4	Hueco con arco de ángulos rectos: ancho 4,50m.....	5-25
5.1.3	Análisis comparativo.....	5-27
5.1.3.1	Comparación de los desplazamientos.....	5-27
5.1.3.1.1	Desplazamientos en "x".....	5-27
5.1.3.1.2	Desplazamientos en "z".....	5-29
5.1.3.2	Vectores en el sentido de las direcciones principales "22" (Sii).....	5-30
5.1.3.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22) y fuerzas en la dirección "yy" (Nyy=Ny')	5-32
5.1.3.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	5-33
5.1.3.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11) y fuerzas en la dirección "xx" (Nxx=Nx')	5-35

5.2	<i>INFLUENCIA DE LA POSICIÓN DE LOS HUECOS QUE FORMAN LOS APEOS.....</i>	5-38
5.2.1	<i>Aspectos generales.....</i>	5-38
5.2.2	<i>Modelos a estudiar y Mallado.....</i>	5-42
5.2.2.1	<i>Modelos a estudiar.....</i>	5-42
5.2.2.2	<i>Mallado utilizado.....</i>	5-46
5.2.3	<i>Resultados obtenidos.....</i>	5-48
5.2.4	<i>Estudio comparativo.....</i>	5-53
5.2.4.1	<i>Flechas: fadm, freal.....</i>	5-53
5.2.4.2	<i>Tensiones de tracción: $x-T$.....</i>	5-54

CAPÍTULO-6

6	<i>APLICACIÓN DEL MÉTODO EN LA RESOLUCIÓN DE EJEMPLOS PRÁCTICOS.....</i>	6-9
6.1	<i>ASPECTOS GENERALES.....</i>	6-9
6.1.1	<i>Determinación de la trayectoria de las fisuras.....</i>	6-12
6.1.2	<i>Representación geométrica de los modelos.....</i>	6-15
6.1.3	<i>Características mecánicas del material.....</i>	6-16
6.1.4	<i>Programas utilizados.....</i>	6-16
6.1.5	<i>Características del mallado de los modelos.....</i>	6-16
6.1.6	<i>Condiciones de Contorno.....</i>	6-17
6.1.6.1	<i>Representación gráfica de los desplazamientos y giros.....</i>	6-17
6.1.7	<i>Estudio a realizar.....</i>	6-18
6.1.7.1	<i>Representación gráfica de los resultados obtenidos en el programa de cálculo.....</i>	6-18
6.1.7.2	<i>Especificación de criterios de interpretación de los modelos individuales.....</i>	6-19
6.2	<i>EJEMPLO DE "EDIFICIO DE VIVIENDAS" EN EL QUE SE ABREN DOS GRANDES HUECOS (APEOS) EN UN MURO DE LA PRIMERA PLANTA.....</i>	6-23
6.2.1	<i>Parámetros a considerar en el estudio.....</i>	6-27
6.2.1.1	<i>Parámetros geométricos del modelo.....</i>	6-27
6.2.1.2	<i>Estado de carga utilizado.....</i>	6-28
6.2.1.3	<i>Condiciones de contorno.....</i>	6-28
6.2.1.4	<i>Características de los zunchos perimetrales.....</i>	6-28
6.2.1.5	<i>Características de los tensores.....</i>	6-28
6.2.2	<i>Estudio a realizar.....</i>	6-29
6.2.2.1	<i>Resultados de los modelos individuales.....</i>	6-30

6.2.2.1.1	<i>Pared existente real</i>	6-30
6.2.2.1.2	<i>Pared existe con dos huecos nuevos</i>	6-32
6.2.2.2	<i>Análisis comparativo</i>	6-34
6.2.2.2.1	<i>Deformaciones</i>	6-34
6.2.2.2.2	<i>Desplazamiento en "x"</i>	6-35
6.2.2.2.3	<i>Desplazamientos en "z"</i>	6-36
6.2.2.2.4	<i>Vectores y fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (Sii y N22) y Fuerzas en el sentido "yy" (Nyy=Ny')</i>	6-37
6.2.2.2.5	<i>Vectores y fuerzas en el sentido de la dirección principales "11" (Si y N11) y Fuerzas en el sentido "xx" (Nxx=Nx')</i>	6-39
6.2.3	<i>Conclusiones del ejercicio-1</i>	6-41
6.3	<i>EJEMPLO DE UNA "PARED COLAPSADA" AL CEDER LA ZAPARA DE CIMENTACIÓN QUE SOPORTA EL ARRANQUE DE UN ARCO</i>	6-43
6.3.1	<i>Parámetros a considerar en el estudio</i>	6-47
6.3.1.1	<i>Parámetros geométricos del modelo</i>	6-47
6.3.1.2	<i>Estado de carga utilizado</i>	6-48
6.3.1.3	<i>Condiciones de contorno</i>	6-48
6.3.1.4	<i>Características de los zunchos perimetrales</i>	6-48
6.3.1.5	<i>Características de los tensores</i>	6-48
6.3.2	<i>Estudio a realizar</i>	6-49
6.3.2.1	<i>Resultados de los modelos individuales</i>	6-50
6.3.2.1.1	<i>Pared existente real: con $E=5,70E09N/m^2$</i>	6-50
6.3.2.1.2	<i>Módulo manipulado considerando $E=5,00E05N/m^2$</i>	6-52
6.3.2.1.3	<i>Pared incluyendo fisuración: $E=5,00E05N/m^2$</i>	6-54
6.3.3	<i>Análisis comparativo</i>	6-56
6.3.3.1	<i>Deformaciones</i>	6-56
6.3.3.2	<i>Desplazamiento en "x"</i>	6-57
6.3.3.3	<i>Desplazamiento en "z"</i>	6-58
6.3.3.4	<i>Vectores y fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (Sii - N22) y Fuerzas en el sentido "yy" (Nyy=Ny')</i>	6-59
6.3.3.5	<i>Vectores y fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (Si- N11) y Fuerzas en el sentido "xx" (Nxx=Nx')</i>	6-61
6.3.4	<i>Conclusión del ejercicio-2</i>	6-63
6.4	<i>EJEMPLO DE UN "CONJUNTO DE ARCOS FISURADOS PERTENECIENTES A UN COMPLEJO INDUSTRIAL"</i>	6-66
6.4.1	<i>Fotos del Estado Actual</i>	6-70

6.4.1.1	Fotos de la Nave-A.....	6-72
6.4.1.2	Fotos de la Nave-B.....	6-76
6.4.1.3	Fotos de la Nave-C (Acceso: lado derecho).....	6-78
6.4.2	Características de los modelos.....	6-80
6.4.2.1	Características geométricas del modelo general.....	6-80
6.4.2.2	Estado de carga utilizado.....	6-81
6.4.2.3	Condiciones de Contorno.....	6-81
6.4.3	Estudio a realizar.....	6-82
6.4.4	Especificación de la zona a analizar.....	6-83
6.4.5	Resultado de los modelos individuales.....	6-84
6.4.5.1	Resultados del modelo sin fisuración.....	6-84
6.4.5.1.1	Deformada, ampliación 200 veces.....	6-85
6.4.5.1.2	Desplazamiento en "x".....	6-86
6.4.5.1.3	Desplazamiento en "z".....	6-87
6.4.5.1.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (S_{ii}), factor- $1e-6$	6-88
6.4.5.1.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N_{22}).....	6-89
6.4.5.1.6	Fuerzas en el sentido "yy" ($N_{yy}=N_{y'}$).....	6-90
6.4.5.1.7	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (S_{i}), factor- $1e-6$	6-91
6.4.5.1.8	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N_{11}).....	6-92
6.4.5.1.9	Fuerzas en el sentido "xx" ($N_{xx}=N_{x'}$).....	6-93
6.4.5.2	Resultados del modelo con la formación de las primeras fisuras.....	6-94
6.4.5.2.1	Deformada, ampliación 200 veces.....	6-95
6.4.5.2.2	Desplazamiento en "x".....	6-96
6.4.5.2.3	Desplazamiento en "z".....	6-97
6.4.5.2.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (S_{ii}), factor- $1e-6$	6-98
6.4.5.2.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N_{22}).....	6-99
6.4.5.2.6	Fuerzas en el sentido "yy" ($N_{yy}=N_{y'}$).....	6-100
6.4.5.2.7	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (S_{i}), factor- $1e-6$	6-101
6.4.5.2.8	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N_{11}).....	6-102
6.4.5.2.9	Fuerzas en el sentido "xx" ($N_{xx}=N_{x'}$).....	6-103
6.4.5.3	Resultados del modelo con la rotura completa.....	6-104
6.4.5.3.1	Deformada, ampliación 200 veces.....	6-105

6.4.5.3.2	Desplazamiento en "x".....	6-106
6.4.5.3.3	Desplazamiento en "z".....	6-107
6.4.5.3.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii), factor-1e-6.....	6-108
6.4.5.3.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	6-109
6.4.5.3.6	Fuerzas en el sentido "yy" (Nyy=Ny').....	6-110
6.4.5.3.7	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si), factor-1e-6.....	6-111
6.4.5.3.8	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	6-112
6.4.5.3.9	Fuerzas en el sentido "xx" (Nxx=Nx').....	6-113
6.4.6	Análisis comparativo de los diferentes modelos.....	6-114
6.4.6.1	Deformada, ampliación 50 veces.....	6-115
6.4.6.2	Desplazamiento en "x".....	6-117
6.4.6.3	Desplazamiento en "z".....	6-119
6.4.6.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii), factor-1e-6.....	6-121
6.4.6.5	Fuerza en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	6-123
6.4.6.6	Fuerzas en el sentido "yy" (Nyy=Ny').....	6-124
6.4.6.7	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si), factor-1e-6.....	6-125
6.4.6.8	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	6-127
6.4.6.9	Fuerzas en el sentido "xx" (Nxx=Nx').....	6-128
6.4.7	Conclusiones del ejercicio-3.....	6-129
6.5	CONCLUSIÓN GENERAL.....	6-135

CAPÍTULO-7

7	ANÁLISIS DEL DESARROLLO DEL ARCO DE DESCARGA EN PAREDES DE FÁBRICA.....	7-15
7.1	ASPECTOS GENERALES.....	7-15
7.1.1	Parámetros utilizados para obtener el trazado del arco de descarga.....	7-18
7.1.1.1	Localización de las fisuras.....	7-20
7.1.1.2	Determinación de la trayectoria de las fisuras.....	7-24
7.1.1.3	Determinación de las condiciones de contorno especiales.....	7-27
7.1.1.3.1	Determinación de las condiciones de contorno en la geometría asimétrica con mayor empuje en el	

	lado derecho "D".....	7-29
7.1.1.3.2	Organigrama del proceso de obtención de las condiciones de contorno especiales.....	7-33
7.1.2	Especificación de los parámetros utilizados.....	7-54
7.1.2.1	Representación gráfica de todos los modelos a analizar.....	7-54
7.1.2.2	Estado de carga.....	7-55
7.1.2.3	Características mecánicas del material.....	7-55
7.1.2.4	Características de los Zunchos Perimetrales.....	7-56
7.1.2.5	Programas utilizados.....	7-56
7.1.2.6	Condiciones de Contorno.....	7-57
7.1.2.7	Representación gráfica de los resultados obtenidos en el programa de cálculo.....	7-58
7.1.2.8	Definición del mallado de los modelos.....	7-59
7.2	DESARROLLO DEL ARCO DE DESCARGA EN MODELOS SIMÉTRICOS, CONSIDERANDO ZUNCHOS DE 0,001X0,001M.....	7-61
7.2.1	Modelo simétrico de dos plantas sin nuevos huecos.....	7-64
7.2.1.1	Modelo con un hueco central en planta baja.....	7-66
7.2.1.2	Desarrollo del arco de descarga.....	7-67
7.2.1.2.1	Pared sin fisuración.....	7-69
7.2.1.2.2	Formación del primer grupo de fisuras en el apeo.....	7-70
7.2.1.2.3	Aumento de la fisuración en el primer grupo de fisuras a excepción de las fisuras laterales.....	7-71
7.2.1.2.4	Aumento de las tres fisuras centrales e inicio del segundo grupo de fisuras, de las cuales las inclinadas inician la formación del arco de descarga.....	7-72
7.2.1.2.5	Aumento de la fisura central del primer grupo y crecimiento de las fisuras del segundo grupo.....	7-74
7.2.1.2.6	Aumento de la fisura central del primer grupo y crecimiento de las fisuras del segundo grupo. Aumento de dos nuevas fisuras.....	7-75
7.2.1.2.7	Aumento de la fisura central del primer grupo y crecimiento de las fisuras de la parte superior de la pared.....	7-76
7.2.1.2.8	Aumento y desviación de la fisura central del primer grupo y crecimiento de las fisuras de la parte superior.....	7-78
7.2.1.2.9	Rotura completa de la parte inferior de las fisuras inclinadas y crecimiento de las fisuras horizontales.....	7-79
7.2.1.2.10	Crecimiento de la parte superior de las fisuras inclinadas y de las fisuras horizontales.....	7-80

7.2.1.2.11	Crecimiento de la parte superior de las fisuras inclinadas. Rotura completa en la zona "B" y colapso de la zona "A".....	7-82
7.2.1.2.12	Rotura completa en la zona "D" y colapso de la zona "C". Formación total del arco de descarga. Se alcanza el estado de equilibrio de la pared.....	7-83
7.2.2	Modelo simétrico de dos plantas con nuevo hueco central.....	7-85
7.2.2.1	Modelo con huecos centrales: uno en planta baja y uno en planta alta.....	7-87
7.2.2.2	Desarrollo del arco de descarga.....	7-88
7.2.2.2.1	Pared sin fisuración.....	7-90
7.2.2.2.2	Formación del primer grupo de fisuras en el apeo.....	7-91
7.2.2.2.3	Aumento de la fisuración en el primer grupo de fisuras.....	7-92
7.2.2.2.4	Aumento de la longitud de las fisuras existentes. Presencia de un nuevo grupo de fisuras: inclinadas (que inician la formación del arco de descarga) y horizontal.....	7-93
7.2.2.2.5	Desarrollo de las fisuras existentes. Finalizan su crecimiento las dos fisuras laterales inferiores de cada lado.....	7-95
7.2.2.2.6	Desarrollo de las fisuras existentes.....	7-96
7.2.2.2.7	Aumento de la longitud de las fisuras existentes. Desviación (prácticamente horizontal) de la parte superior de las fisuras inclinadas.....	7-97
7.2.2.2.8	Aumento de la longitud de las fisuras. Rotura completa de la fisura horizontal.....	7-99
7.2.2.2.9	Rotura completa en la zona "B" y colapso de la zona "A". Se alcanza el estado de equilibrio de la pared.....	7-100
7.2.3	Modelo simétrico de dos plantas con dos nuevos huecos.....	7-102
7.2.3.1	Modelo con huecos centrales: uno en planta baja y dos en planta alta.....	7-104
7.2.3.2	Desarrollo del arco de descarga.....	7-105
7.2.3.2.1	Pared sin fisuración.....	7-107
7.2.3.2.2	Formación del primer grupo de fisuras. Entre ellas las que se localizan en los extremos de los huecos de planta alta.....	7-108
7.2.3.2.3	Aumento de la fisuración en el primer grupo de fisuras. Inicio del segundo grupo de fisuras: unas son las inclinadas (que darán lugar a la formación del arco de descarga) y otras se ubican en los extremos superiores de los huecos.....	7-109
7.2.3.2.4	Aumento de la longitud de las fisuras de ambos	

	<i>grupos. Las fisuras inferiores-extremas de los huecos se detienen por completo a la altura del forjado y no vuelven a crecer.....</i>	<i>7-110</i>
7.2.3.2.5	<i>Aumento y desviación de algunas fisuras existentes. Inicio de un nuevo grupo de fisuras: en la parte superior de la pared y en encima del forjado.....</i>	<i>7-112</i>
7.2.3.2.6	<i>Aumento de la longitud de las fisuras existentes de los diferentes grupos.....</i>	<i>7-113</i>
7.2.3.2.7	<i>Aumento de la longitud de las fisuras existentes.....</i>	<i>7-114</i>
7.2.3.2.8	<i>Rotura de la zona "B" y colapso de la zona "A".....</i>	<i>7-115</i>
7.2.3.2.9	<i>Crecimiento de las fisuras (C y D). Posterior equilibrio del conjunto.....</i>	<i>7-116</i>
7.3	<i>DESARROLLO DEL ARCO DE DESCARGA EN MODELOS ASIMÉTRICOS O EXCÉNTRICOS, CONSIDERANDO ZUNCHOS DE 0,001X0,001M.....</i>	<i>7-118</i>
7.3.1	<i>Modelo asimétrico o excéntrico de dos plantas sin nuevos huecos.....</i>	<i>7-121</i>
7.3.1.1	<i>Modelo con un hueco en el lado derecho.....</i>	<i>7-123</i>
7.3.1.2	<i>Desarrollo del arco de descarga.....</i>	<i>7-124</i>
7.3.1.3	<i>Definición de las condiciones de contorno especiales en las diferentes etapas.....</i>	<i>7-126</i>
7.3.1.3.1	<i>Pared sin fisuración.....</i>	<i>7-128</i>
7.3.1.3.2	<i>Formación del primer grupo de fisuras en el apeo.....</i>	<i>7-129</i>
7.3.1.3.3	<i>Aumento de la fisuración en el primer grupo de fisuras e inicio de la fisura horizontal.....</i>	<i>7-130</i>
7.3.1.3.4	<i>Aumento las fisuras existentes e inicio de la fisura inclinada.....</i>	<i>7-132</i>
7.3.1.3.5	<i>Desarrollo de las fisuras existentes e inicio de un nuevo grupo de fisuras horizontales.....</i>	<i>7-133</i>
7.3.1.3.6	<i>Desarrollo de las fisuras existentes, con desviación del sentido en alguna de ellas. Pérdida de la zona "A" de la pared.....</i>	<i>7-135</i>
7.3.1.3.7	<i>Desarrollo de las fisuras existentes, con desviación y bifurcación en alguna de ellas. Pérdida de la zona "B" de la pared.....</i>	<i>7-136</i>
7.3.1.3.8	<i>Aumento de la longitud de las fisuras existentes. Pérdida completa de la zona "C" de la pared.....</i>	<i>7-137</i>
7.3.1.3.9	<i>Desarrollo de las fisuras existentes, con desviación del sentido en alguna de ellas. Rotura completa en la zona "D" de la pared.....</i>	<i>7-139</i>
7.3.1.3.10	<i>Desarrollo de las fisuras existentes, con desviación del sentido en alguna de ellas. Pérdida de la zona "E" de la pared.....</i>	<i>7-140</i>
7.3.1.3.11	<i>Desarrollo de las fisuras existentes, con</i>	

	desviación del sentido en alguna de ellas.....	7-142
7.3.1.3.12	Desarrollo de las fisuras existentes. Pérdida de la zona "F" de la pared.....	7-143
7.3.1.3.13	Desarrollo de las fisuras existentes, con desviación del sentido en alguna de ellas.....	7-145
7.3.1.3.14	Desarrollo de las fisuras existentes, con desviación del sentido en alguna de ellas. Inicio de un nuevo grupo de fisuras en la parte superior.....	7-147
7.3.1.3.15	Desarrollo de las fisuras existentes, con desviación del sentido de algunas de ellas.....	7-148
7.3.1.3.16	Desarrollo de las fisuras existentes, con desviación del sentido en alguna de ellas.....	7-149
7.3.1.3.17	Desarrollo de las fisuras existentes, con desviación del sentido en alguna de ellas.....	7-150
7.3.1.3.18	Desarrollo de las fisuras existentes, con desviación del sentido en alguna de ellas.....	7-152
7.3.1.3.19	Desarrollo de las fisuras existentes, con desviación del sentido en alguna de ellas. Inicio de nuevas fisuras en la zona "I" de la pared.....	7-153
7.3.1.3.20	Desarrollo de las fisuras existentes, con desviación del sentido en alguna de ellas. Pérdida de la zona "G" de la pared.....	7-154
7.3.1.3.21	Desarrollo de las fisuras existentes, en especial en la zona "L". Rotura completa de la pared en la zona "H".....	7-156
7.3.1.3.22	A partir de esta etapa se imponen las fuerzas especiales ver (CUADRO 14). Desarrollo de la fisura de la zona "L". Presencia de nuevas fisuras en la zona "J". Las fisuras en la zona "I" se comienzan a cerrar.....	7-157
7.3.1.3.23	Desarrollo de las fisuras existentes. En la zona "I" las fisuras se cierran completamente.....	7-158
7.3.1.3.24	Desarrollo y bifurcación de la fisura de la zona "L" y desarrollo acelerado de las fisuras de la pilastra.....	7-159
7.3.1.3.25	Desarrollo de las fisuras existentes, e inicio de nuevas fisuras aproximadamente perpendiculares a la existente de la zona "L".....	7-160
7.3.1.3.26	Desarrollo de las fisuras existentes. Inicio de excesivas compresiones en la zona "J".....	7-161
7.3.1.3.27	Desarrollo de las fisuras existentes y cambio de sentido en algunas de ellas. Inicio de excesivas compresiones en la zona "K".....	7-163
7.3.1.3.28	Desarrollo de las fisuras existentes y cambio de sentido en algunas de ellas. Crecimiento excesivo de las zonas comprimidas "K" y "J".....	7-164
7.3.1.3.29	Desarrollo de las fisuras existentes. Pérdida completa de la continuidad por compresiones	

	excesivas en las zonas "K" y "J". Posterior colapso de la zona "L".....	7-165
7.3.1.3.30	Colapso de la zona "M" y posterior equilibrio de la pared.....	7-166
7.3.2	Modelo asimétrico o excéntrico de dos plantas con nuevo hueco.....	7-168
7.3.2.1	Modelo con huecos en el lado derecho: uno en planta baja y uno en planta alta.....	7-170
7.3.2.2	Desarrollo del arco de descarga.....	7-171
7.3.2.3	Definición de las condiciones de contorno especiales en las diferentes etapas.....	7-172
7.3.2.3.1	Pared sin fisurar.....	7-174
7.3.2.3.2	Formación del primer grupo de fisuras en el apeo y en la esquina inferior izquierda del hueco.....	7-175
7.3.2.3.3	Crecimiento del primer grupo de fisuras y formación del segundo grupo, entre ellas las de la zona "M".....	7-176
7.3.2.3.4	Desarrollo y cambio de sentido de las fisuras existentes del primer y segundo grupo.....	7-178
7.3.2.3.5	Crecimiento de fisuras e inicio del tercer grupo de fisuras. Rotura completa en las zonas "A" y "B" de la pared.....	7-180
7.3.2.3.6	Imposición de condiciones de contorno especiales (CUADRO 16). Desarrollo de las fisuras existentes de los diferentes grupos. Se cierran las fisuras de la zona "M".....	7-187
7.3.2.3.7	Desarrollo de la fisura de la zona "D" y excesivas compresiones en la zona "E" perdiéndose por completo la continuidad entre ambos lados de la pared. Colapso de la zona "C". Rotura en la zona "F", por excesivas compresiones y tracciones.....	7-189
7.3.2.3.8	En la zona "F" la parte que falla por tracción tiene que ser capaz de soportar compresiones, cerrándose incluso las fisuras en dicha zona. En la zona "G" se produce exceso de tracciones y compresiones.....	7-191
7.3.2.3.9	Fallo por excesivas compresiones en la base de la pilastra, zona "G", lo cual origina el colapso de las tres zonas "J", "I" y "H". Se vuelven a abrir las fisuras de la zona "M".....	7-192
7.3.2.3.10	Colapso de la zona "E", al producirse excesivas tracciones en la zona "L" y posterior equilibrio de la pared.....	7-193
7.3.3	Modelo asimétrico o excéntrico de dos plantas con dos nuevos huecos.....	7-195
7.3.3.1	Modelo con huecos en el lado derecho: uno en planta baja y uno en planta alta.....	7-197
7.3.3.2	Desarrollo del arco de descarga.....	7-198

7.3.3.2.1	<i>Pared sin fisuración.....</i>	<i>7-200</i>
7.3.3.2.2	<i>Formación del primer grupo de fisuras en el apeo y fisuras inclinadas tanto en la parte inferior del hueco como encima del forjado.....</i>	<i>7-201</i>
7.3.3.2.3	<i>Aumento de la fisuración en el primer grupo de fisuras y formación del segundo grupo.....</i>	<i>7-202</i>
7.3.3.2.4	<i>Aumento de la fisuración en el primer y segundo grupo de fisuras.....</i>	<i>7-204</i>
7.3.3.2.5	<i>Aumento de la fisuración en el primer y segundo grupo de fisuras. Formación del tercer grupo de fisuras.....</i>	<i>7-205</i>
7.3.3.2.6	<i>Desarrollo de las fisuras existentes. Rotura completa de las zonas "A" y "B". Desprendimiento completo de la zona "C" de la pared.....</i>	<i>7-206</i>
7.3.3.2.7	<i>Excesivas compresiones en las zonas "A" y "B". Así también en la zona "D", en la cual la pared pierde por completo la continuidad. La zona "E" se rompe tanto por exceso de compresiones como de tracciones.....</i>	<i>7-208</i>
7.3.3.2.8	<i>Rotura completa en la zona "F" y pérdida de pared en la zona "G".....</i>	<i>7-209</i>
7.3.3.2.9	<i>Aumento de las compresiones en la zona "I". Pérdida completa de la zona "H" de la pared.....</i>	<i>7-210</i>
7.3.3.2.10	<i>Pérdida completa de la continuidad por compresión y tracción, en las zonas "B" e "I". Desprendimiento completo de las zonas "J" y "K" de la pared y posterior equilibrio de la estructura.....</i>	<i>7-211</i>
7.4	<i>DESARROLLO DEL ARCO DE DESCARGA EN MODELOS SIMÉTRICOS, CONSIDERANDO ZUNCHOS DE 0,20X0,20M.....</i>	<i>7-213</i>
7.4.1	<i>Modelo simétrico de dos plantas.....</i>	<i>7-216</i>
7.4.1.1	<i>Desarrollo del arco de descarga.....</i>	<i>7-217</i>
7.4.1.1.1	<i>Pared sin fisuración.....</i>	<i>7-219</i>
7.4.1.1.2	<i>Inicio del primer grupo de fisuras.....</i>	<i>7-220</i>
7.4.1.1.3	<i>Desarrollo del primer grupo de fisuras.....</i>	<i>7-221</i>
7.4.1.1.4	<i>Crecimiento del primer grupo de fisuras.....</i>	<i>7-222</i>
7.4.1.1.5	<i>Desarrollo del primer grupo de fisuras.....</i>	<i>7-223</i>
7.4.1.1.6	<i>Crecimiento del primer grupo de fisuras.....</i>	<i>7-224</i>
7.4.1.1.7	<i>Desarrollo del primer grupo de fisuras.....</i>	<i>7-225</i>
7.4.1.1.8	<i>Momento en que se detiene el crecimiento de las fisuras y se alcanza la estabilidad del conjunto. No se llega a desarrollar el arco de descarga.....</i>	<i>7-226</i>
7.4.2	<i>Modelo simétrico con cinco plantas.....</i>	<i>7-228</i>
7.4.2.1	<i>Desarrollo del arco de descarga.....</i>	<i>7-229</i>

7.4.2.1.1	<i>Pared sin fisuración.....</i>	<i>7-231</i>
7.4.2.1.2	<i>Formación del primer grupo de fisuras en el apeo.....</i>	<i>7-232</i>
7.4.2.1.3	<i>Aumento de la longitud de las fisuras y cambio de sentido de las fisuras más pequeñas.....</i>	<i>7-234</i>
7.4.2.1.4	<i>Aumento y desviación de las tres fisuras centrales. Se detiene el crecimiento de las fisuras más pequeñas.....</i>	<i>7-235</i>
7.4.2.1.5	<i>Aumento y desviación de las tres fisuras centrales.....</i>	<i>7-237</i>
7.4.2.1.6	<i>Aumento de la longitud de las tres fisuras centrales, hasta llegar al nivel del forjado.....</i>	<i>7-238</i>
7.4.2.1.7	<i>Bifurcación de las tres fisuras centrales.....</i>	<i>7-239</i>
7.4.2.1.8	<i>Con una carga equivalente de 5 plantas, en el peor de los casos: se llega a la pérdida del material en la zona "A", se detiene el crecimiento de las fisuras y se alcanza el equilibrio de la pared.....</i>	<i>7-240</i>
7.4.2.1.9	<i>Al incrementar la carga, a una equivalente de 8 plantas, inicio de la formación de las fisuras inclinadas que dan lugar al arco de descarga.....</i>	<i>7-242</i>
7.4.3	<i>Modelo simétrico de cinco plantas con una carga equivalente a 10 plantas.....</i>	<i>7-244</i>
7.4.3.1	<i>Desarrollo del arco de descarga.....</i>	<i>7-245</i>
7.4.3.1.1	<i>Pared sin fisuración.....</i>	<i>7-248</i>
7.4.3.1.2	<i>Formación del primer grupo de fisuras en el apeo.....</i>	<i>7-249</i>
7.4.3.1.3	<i>Aumento de la fisuración en el primer grupo de fisuras.....</i>	<i>7-250</i>
7.4.3.1.4	<i>Aumento del primer grupo de fisuras e inicio de fisuras inclinadas que originan la formación del arco de descarga.....</i>	<i>7-252</i>
7.4.3.1.5	<i>Crecimiento de fisuras existentes. Cambio de sentido de las discontinuidades pequeñas. Las fisuras inclinadas llegan a tocar el forjado.....</i>	<i>7-253</i>
7.4.3.1.6	<i>Desarrollo de las tres fisuras centrales. Crecimiento y desviación de las fisuras inclinadas.....</i>	<i>7-255</i>
7.4.3.1.7	<i>Desarrollo y desviación de las tres fisuras centrales y de las inclinadas.....</i>	<i>7-256</i>
7.4.3.1.8	<i>Rotura completa de la parte inferior de las fisuras inclinadas. Desprendimiento de la zona "A" de la pared que se localiza entre el apeo y el forjado, h=0.50m.....</i>	<i>7-257</i>
7.4.3.1.9	<i>Pérdida total del contacto entre la parte superior de la pared y el zuncho.....</i>	<i>7-259</i>
7.4.3.1.10	<i>Formación del tercer grupo de fisuras.....</i>	<i>7-260</i>
7.4.3.1.11	<i>Crecimiento de las fisuras del tercer grupo.....</i>	<i>7-262</i>

7.4.3.1.12	Desarrollo de las fisuras existentes y formación de las fisuras inclinadas que forman el arco de descarga.....	7-263
7.4.3.1.13	Aumento de la longitud de las fisuras existente y desviación de las centrales.....	7-264
7.4.3.1.14	Desarrollo de las tres fisuras centrales e inclinadas.....	7-266
7.4.3.1.15	Crecimiento de las fisuras centrales e incremento de su inclinación.....	7-267
7.4.3.1.16	Aumento de las fisuras inclinadas y de la fisura central del modelo.....	7-269
7.4.3.1.17	Aumento más importante de las fisuras inclinadas y más pequeño en la central. Aumento del ancho del hueco.....	7-270
7.4.3.1.18	Aumento de la parte inferior de las fisuras inclinadas. Bifurcación en la fisura central. Inicio de la fisura inferior.....	7-272
7.4.3.1.19	Aumento de la parte inferior de las fisuras inclinadas hasta llegar a separarse por completo.....	7-273
7.4.3.1.20	Aumento acelerado de la parte superior de la fisura inclinada. Se detienen todas las fisuras adicionales.....	7-275
7.4.3.1.21	Aumento de la parte superior de las fisuras inclinadas y cambio de sentido de las mismas (a una trayectoria horizontal), por incremento de la tensión de tracción vertical.....	7-277
7.4.3.1.22	Formación completa del arco de descarga, con la existencia del zuncho de forjado. Mientras exista el zuncho la pared no cae, sino que se comporta como una zona inerte. Altura del arco: $ht=1.83m (0,50m+1,33m)$	7-278
7.4.3.1.23	El zuncho no llega a fallar, dada su elevada resistencia. Para llegar al final del proceso, se considera como hipótesis más desfavorable el fallo del mismo. Inicio de fisuras en la clave del arco de descarga en la zona "A".....	7-279
7.4.3.1.24	Incremento de la altura del arco de descarga al no existir zuncho de forjado. Altura total del arco: $ht=1.90m (0,50m+1,40m)$	7-280
7.5	CONCLUSIONES.....	7-282
7.5.1	Cuadro de resumen de la formación del arco de descarga de todos los modelos.....	7-282
7.5.2	Conclusiones.....	7-283
7.5.2.1	Modelos simétricos: zuncho $0,001x0,001m$	7-283
7.5.2.2	Modelos asimétricos: zuncho $0,001x0,001m$	7-285
7.5.2.3	Modelos simétricos: zuncho $0,20mx0,20m$	7-290
7.5.2.4	Comparación entre modelos simétricos y asimétricos.....	7-294

CAPÍTULO-8

8	CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE FUTURAS INVESTIGACIONES.....	8-6
8.1	CONCLUSIONES PARTIENDO DE LOS OBJETIVOS.....	8-6
8.1.1	Forma de los apeos.....	8-6
8.1.2	Condiciones de contorno.....	8-8
8.1.3	Influencia del zuncho de forjado.....	8-10
8.1.4	Influencia del ancho de la abertura de los apeos.....	8-12
8.1.5	Influencia de la posición de los apeos.....	8-13
8.1.6	Validación del método de análisis de la fábrica propuesto.....	8-14
8.1.7	Mecanismos de colapso en paredes simétricas con zunchos de 0,001m x 0,001m.....	8-15
8.1.8	Mecanismos de colapso en paredes asimétricas con zunchos de 0,001m x 0,001m.....	8-20
8.1.9	Mecanismos de colapso en paredes simétricas teniendo en consideración zunchos de 0,20m x 0,20m.....	8-26
8.1.10	Diferencia entre los modelos simétricos y asimétricos.....	8-32
8.1.11	Diferencia entre los modelos M-1 y M-7, al considerar zunchos con dimensiones diferentes:.....	8-33
8.1.12	Diferencia entre los modelos M-1 y M-9, al considerar zunchos con dimensiones y cargas diferentes.....	8-34
8.2	CONCLUSIONES GENERALES.....	8-35
8.3	PROPUESTAS DE FUTURAS INVESTIGACIONES.....	8-38

TOMO-1/2

Tesis Doctoral presentada por:

Lucrecia Calderón Valdiviezo

Director de Tesis:

Dr. Arq. Jordi Maristrany

CAPÍTULO-1

INTRODUCCIÓN

MJIG

CAPÍTULOS GENERALES**1.- INTRODUCCIÓN**

2.- ESTADO DEL CONOCIMIENTO

3.- ANÁLISIS DE MODELOS SIMPLES SIN
CONSIDERAR LA INFLUENCIA DE LOS
ZUNCHOS PERIMETRALES4.- ANÁLISIS DE MODELOS SIMPLES
CONSIDERANDO LA INFLUENCIA DE LOS
ZUNCHOS PERIMETRALES5.- INFLUENCIA DEL ANCHO Y POSICIÓN DE
LOS HUECOS QUE FORMAN LOS APEOS6.- APLICACIÓN DEL MÉTODO EN LA
RESOLUCIÓN DE EJEMPLOS PRÁCTICOS7.- DESARROLLO DEL ARCO DE DESCARGA
PARA DIFERENTES MODELOS8.- CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE
FUTURAS INVESTIGACIONES

CAPÍTULO-1

1	INTRODUCCIÓN	1-6
1.1	INTRODUCCIÓN.....	1-6
1.1.1	Tipología de la fábrica a considerar en el estudio.....	1-7
1.1.1.1	Material que la constituye: ladrillo, hormigón, piedra.....	1-7
1.1.1.2	Tipo de unión entre las piezas de la fábrica: con juntas o en seco (sin juntas de mortero).....	1-7
1.1.1.3	Ubicación de las paredes de carga en planta: fachadas frontales, fachadas medianeras o paredes interiores.....	1-8
1.1.2	Tipo de análisis y valor de la resistencia a tracción (ft) de la fábrica considerada.....	1-8
1.1.2.1	Aspectos teóricos.....	1-8
1.1.2.2	Aspectos relacionados con el propio material.....	1-8
1.1.2.2.1	Complejidad del comportamiento mecánico de la fábrica.....	1-9
1.1.2.2.2	La importante heterogeneidad o variabilidad de los materiales.....	1-9
1.1.3	Otras variables consideradas.....	1-10
1.2	OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	1-12
1.2.1	Objetivo general.....	1-12
1.2.2	Objetivos específicos.....	1-12
1.2.2.1	Determinar la influencia de la forma de los huecos en la distribución de los esfuerzos y movimientos, demostrando la forma que presenta un mejor comportamiento estructural entre los diferentes tipos de apeo en las paredes.....	1-12
1.2.2.2	Determinar la influencia de las condiciones de contorno de los apeos en las paredes de carga, llegando a identificar los diferentes aspectos que deben tenerse en cuenta en el cálculo.....	1-12
1.2.2.3	Determinar la influencia de los zunchos de borde de los forjados, embebidos en las paredes de carga, demostrando si su existencia es favorable para el comportamiento estructural de los apeos.....	1-12

1.2.2.4	Determinar los efectos que en la pared originan las diferentes dimensiones de huecos, llegando a establecer la dimensión del hueco que comenzará a presentar mayores problemáticas en el comportamiento del apeo en la pared.....	1-12
1.2.2.5	Determinar la influencia de la ubicación del hueco en las paredes de carga, indicando las plantas que presentarán más problemas al ejecutar el hueco para apeo la pared.....	1-12
1.2.2.6	Determinar si el método propuesto en la Tesis es válido para analizar la trayectoria de la fisura en la fábrica de ladrillo.....	1-12
1.2.2.7	Determinar los mecanismos de colapso de paredes de dos plantas simétricas con diferentes tipologías de aperturas y considerando zunchos de dimensiones despreciables.....	1-12
1.2.2.8	Determinar los mecanismos de colapso de las paredes. Se analizan paredes de dos plantas asimétricas con diferentes tipologías de aperturas y considerando zunchos de dimensiones despreciables.....	1-12
1.2.2.9	Determinar también los mecanismos de colapso de paredes simétricas teniendo en cuenta zunchos de dimensiones. Analizar el número de plantas necesario para que se inicie la formación del arco de descarga.....	1-12
1.2.2.10	Determinar las diferencias generales de comportamiento entre los modelos simétricos y asimétricos.....	1-13
1.2.2.11	Determinar qué diferencia existe al considerar la influencia de dimensiones diferentes de zuncho en los modelos simétricos con hueco únicamente en la planta baja (futuros modelos 1 y 7).....	1-13
1.2.2.12	Determinar qué diferencia de comportamiento existe al considerar la influencia de diferentes dimensiones de los zunchos y de las cargas (en futuros modelos 1 y 9).....	1-13
1.3	METODOLOGÍA UTILIZADA.....	1-14
1.3.1	Localización de las zonas más tensionadas del modelo.....	1-14
1.3.2	Determinación de la trayectoria de la fisura.....	1-14
1.3.3	Determinación de los efectos de engranaje.....	1-14
1.4	CONTENIDO DE LOS CAPÍTULOS.....	1-15

MJG

CAPÍTULO-1

- 1.- INTRODUCCIÓN
- 2.- OBJETIVOS DEL ESTUDIO
- 3.- METODOLOGÍA UTILIZADA
- 4.- CONTENIDO DE LOS CAPÍTULOS

1 INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

La existencia de la obra de fábrica se remonta a épocas muy antiguas, incluso mucho antes que la aparición de materiales de construcción como hormigón y el acero¹.

Gran parte del parque edificado español, que en muchos de los casos incluye gran cantidad de edificios catalogados como patrimonio histórico del país, está formado por estructuras portantes constituidas por obra de fábrica (paredes de carga) de diferentes tipologías.

La mampostería es uno de los materiales de construcción con mayor abanico de usos, tanto en el pasado como en el presente; así es como hoy en día también se puede encontrar en la construcción de edificaciones modernas.

Los materiales utilizados a lo largo de la historia como elementos componentes de la mampostería han sido muchos y muy variados: desde la simple roca unida con mortero de cal², pasando por los enormes bloques de mármol³, hasta llegar a elementos cerámicos refractarios⁴.

La mampostería ha sido usualmente un material económico. El encarecimiento paulatino de la mano de obra hace que la obra de fábrica ya no sea tan atractiva desde el punto de vista económico, si lo comparamos con materiales como el hormigón o el acero.

El paulatino paso del tiempo ha traído consigo una evolución en la fabricación de los componentes que conforman la mampostería⁵, mientras que su colocación en obra sigue siendo la misma⁶.

Entre los elementos innovadores en la fabricación de la mampostería podríamos destacar: la incorporación de armaduras⁷, las juntas interiores donde el mortero queda escondido entre los elementos cerámicos⁸, la generación de muros de carga⁹, los paneles resistentes a sismos y cargas de viento, etc. Estos aspectos hacen atractiva la mampostería como material de construcción con altas prestaciones.

La innovación en la edificación ha venido guiada desde la vertiente tecnológica e industrial, pero los métodos de cálculo utilizados para el diseño de estructuras de obra de fábrica no han seguido un desarrollo paralelo como en el caso de otros materiales¹⁰.

¹ En su tratado Pedro Martínez Fernández, dice: "La aparición de nuevos materiales de construcción tuvo que esperar hasta el siglo XIX. Sólo entonces empezamos a encontrar hierro y acero en obras de arquitectura o de ingeniería. En 1871 se construyó el primer rascacielos americano con estructura de hierro y en 1902 Francia, que ya había levantado la torre Eiffel, empezó a usar el hormigón armado".

² Llamada también "sillería".

³ Usados en la construcción de los grandes monumentos del apogeo de la arquitectura del Renacimiento.

⁴ Como los que se utilizan para la construcción de hornos, centrales nucleares e incluso como aislante térmico de naves espaciales.

⁵ Básicamente: ladrillos y morteros.

⁶ El utillaje y los materiales cambian, por el contrario, la forma de colocación sigue siendo manual, por lo que el factor humano continúa siendo determinante en la calidad de la obra de fábrica.

⁷ Al modo del hormigón armado, conocida con el nombre de "mampostería armada".

⁸ Permitiendo la regularidad de la colocación e impidiendo la degradación de dichas juntas.

⁹ La mampostería no sólo tiene aplicación ornamental como es en el caso de nuestro estudio.

¹⁰ Tales como el hormigón armado, hormigón pretensado, entre otros.

Los métodos más utilizados son aquellos que preconizan las diferentes normativas simplificadas que rigen en cada país. Entre los consultores estructurales existe un cierto desconocimiento del comportamiento estructural de la mampostería, lo que limita o impide diseñar este tipo de estructuras de forma óptima.

Estas normativas frecuentemente están desarrolladas sobre la base de estudios empíricos. Intentan simplificar los mecanismos de comportamiento de la obra de fábrica y que suelen comportar, como consecuencia, hay un sobredimensionamiento de la estructura.

Otra de las consecuencias del uso de este tipo de métodos de cálculo para intervenciones es que se forman mecanismos de carga que no se hayan considerado¹¹. Entre éstos podemos considerar la práctica de los nuevos apeos (aperturas de huecos) que, cada vez con mayor frecuencia, se ejecutan en las paredes existentes de obra de fábrica.

En este tipo de intervención se deben tener en cuenta diferentes variables: las formas y dimensiones de los huecos, las condiciones de apoyo de las paredes, la influencia del zuncho de borde embebido en el forjado, las características mecánicas del material y la configuración de la fábrica.

Esta Tesis pretende recoger todos estos factores variables, aportando una metodología de análisis que permita resolver cualquier situación.

En los siguientes apartados se especifican las variables que se tienen en cuenta para desarrollar esta Tesis.

1.1.1 Tipología de la fábrica a considerar en el estudio

Las diferentes tipologías de obra de fábrica dependen directamente, entre otros, de los siguientes factores:

1.1.1.1 Material que la constituye: ladrillo, hormigón, piedra.

Para el desarrollo de la Tesis¹² se ha seleccionado, como material, la obra de "fábrica de ladrillo".

La razón principal que nos ha llevado a escoger este material es la carencia de información y de personal especializado que existe en este campo.

Es necesario indicar que las conclusiones obtenidas en esta Tesis no se podrán aplicar "directamente" a paredes de piedra en seco, ya que las condiciones cambiarían completamente. Sin embargo, pueden servir razonablemente para el caso de las paredes de piedra con junta.

1.1.1.2 Tipo de unión entre las piezas de la fábrica: con juntas o en seco (sin juntas de mortero).

Para el desarrollo de la Tesis hemos escogido las paredes "con juntas de mortero".

En el estudio se ha considerado una buena adherencia entre las piezas y el mortero. Se recomiendan realizar estudios de laboratorio para tener un

¹¹ Apareciendo fisuras cuando en teoría y, en base al cálculo, éstas no deberían aparecer. Esta situación es fácil de percibir en muchas de las estructuras de nuestras ciudades.

¹² Dada la demanda profesional más frecuente de utilización del ladrillo para la confección de paredes de carga

buen conocimiento de la fábrica con la que se va a trabajar. En el caso de que se desconozcan las características mecánicas de la pared, así como el nivel de adherencia de la inter-fase pieza-mortero, será necesaria la ejecución de ensayos.

Las conclusiones obtenidas en esta Tesis no son aplicables a las paredes sin juntas, indistintamente del material que constituya la fábrica.

1.1.1.3 Ubicación de las paredes de carga en planta: fachadas frontales, fachadas medianeras o paredes interiores.

Para el desarrollo de la Tesis hemos seleccionado las "paredes interiores" con "forjados a ambos lados"¹³.

En el estudio no se han considerado esfuerzos laterales de ningún tipo. La metodología debería de ajustarse para aplicarla a otro tipo de ubicación de la pared, dado que tanto el comportamiento como el estado de carga sufrirían algunas variaciones.

1.1.2 Tipo de análisis y valor de la resistencia a tracción (ft) de la fábrica considerada

En la actualidad, el estudio del comportamiento resistente de las estructuras a base de muros de carga es escaso, tanto en términos teóricos como en términos relacionados con las características del propio material.

1.1.2.1 Aspectos teóricos

El dilema es grande. Los autores que han publicado textos al respecto aplican diferentes métodos teóricos para el análisis de la fábrica, desde teorías elásticas a teorías mucho más complejas, basados en la plastificación y en la no linealidad impuesta por la aparición de fisuras.

Algunos investigadores sostienen que el análisis elástico es válido únicamente desde un punto de vista cualitativo, pero que resulta inapropiado para determinar los verdaderos mecanismos resistentes o la capacidad portante del material, entendido en el conjunto de la fábrica.

Otros investigadores demuestran, en base a estudios experimentales, que es posible este tipo de análisis haciendo uso de la mecánica de fractura elástico-lineal.

Existen también investigadores que consideran que el material tiene un comportamiento elástico-lineal únicamente antes de que se produzca el fallo.

En nuestro estudio utilizamos un "análisis con comportamiento elástico-lineal" de los materiales¹⁴ y "partiendo de datos mecánicos conocidos del material".

1.1.2.2 Aspectos relacionados con el propio material

Podemos mencionar los siguientes: la complejidad del comportamiento mecánico de la fábrica y la importante heterogeneidad o variabilidad de los materiales.

¹³ Se selecciona esta tipología con la finalidad de limitar la extensión de la Tesis, pero el análisis de las otras ubicaciones se plantea como futuras líneas de investigación.

¹⁴ Es importante hacer notar que al introducir fisuras en el material, como se indica en los párrafos siguientes, se introducen distorsiones en la geometría de los muros, las cuales producen que el comportamiento del elemento estructural pase prácticamente de lineal a no lineal.

1.1.2.2.1 Complejidad del comportamiento mecánico de la fábrica

Entre las principales consideraciones mecánicas que se plantean al estudiar la obra de fábrica podemos mencionar las siguientes: el comportamiento ante solicitaciones tangenciales por cortante¹⁵ y el comportamiento ante solicitaciones normales de compresión y tracción¹⁶.

La Tesis se centrará en "el comportamiento ante solicitaciones normales". No se abordará el tema de las acciones horizontales¹⁷.

La capacidad resistente de la fábrica ante este tipo de esfuerzos normales es aún tema de estudio en nuestros días, existiendo diversas aproximaciones al tema, según los diferentes analistas que lo han abordado.

Cabe indicar que el tema en que hay menos acuerdo es la resistencia a tracción de la mampostería. Al respecto, unos investigadores se inclinan a considerarla nula. Por el contrario, otros comprueban que efectivamente se puede considerar esta resistencia a tracción. Por otro lado, el CTE¹⁸ también proporciona una capacidad resistente a tracción de la fábrica.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente:

En nuestro estudio consideramos que, efectivamente, la fábrica puede resistir tracciones. El valor que utilizamos se calcula teniendo en consideración lo que indica el CTE y otros investigadores: "La fábrica resiste a tracción un 10% de la resistencia característica a compresión de la fábrica (f_k)". Sin embargo, con el fin de no descartar los comentarios de algunos investigadores, hemos trabajado con el 3% del " f_k "¹⁹ de la fábrica y adicionalmente le aplicamos el coeficiente de minoración de la resistencia de 3²⁰.

Es por ello que en el desarrollo de la Tesis utilizaremos una resistencia de cálculo a tracción de la obra de fábrica de 1,00Kg/cm² (0,10N/mm²).

Es importante indicar que en ningún momento se hace trabajar la fábrica sobre-tensionada a tracción. Para evitarlo se introducen fisuras²¹ en las zonas que superan el " f_t "²² del material.

Por esta razón consideramos que, cuando el material supera la resistencia a tracción y la fábrica se rompe, se descarga completamente²³.

1.1.2.2.2 La importante heterogeneidad o variabilidad de los materiales

¹⁵ Originado por acciones horizontales, tales como el viento, sismo, etc.

¹⁶ Dada la naturaleza frágil de las fábricas pétreas.

¹⁷ Pero se puede encontrar información en la bibliografía indicada.

¹⁸ (CTE 2006): Código Técnico de la Edificación.

¹⁹ Resistencia característica a compresión de la fábrica $f_k = K \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25}$.

²⁰ En el apartado "2.4.1.2.2" de la resistencia a tracción de la fábrica se explica con más detalle la obtención de este valor.

²¹ Para modelizar la fisuración en las zonas sobre-tensionadas se separan completamente los labios de las fisuras, de este modo garantizamos la nulidad de las tensiones normales y tangenciales en dichas zonas. De esta forma se cumple la teoría de la propagación de la fisura en que se comprueba experimentalmente que, una vez producida la fisura, la zona se relaja completamente y se produce la concentración de las tensiones en la cabeza de la misma.

²² Resistencia a tracción del la fábrica. Se considera $f_t = 0,1f_k$.

²³ Teniendo en cuenta el comportamiento pos-pico que se indica en el apartado "2.4.1.2.2".

Entre las diferencias de heterogeneidad podemos mencionar: la del punto de partida²⁴, la de los procesos de uso y reformas de los edificios²⁵ y el vacío normativo histórico²⁶.

1.1.3 Otras variables consideradas

La necesidad de disponer de una metodología de estudio de las paredes de carga se torna cada vez más urgente dada la tendencia actual de realizar intervenciones estructurales en edificios antiguos.

Estas intervenciones pueden afectar, en menor o mayor grado, la estabilidad del edificio y pueden ser originadas por diferentes factores: reparaciones, modificación de los estados de cargas²⁷, apeo de paredes de carga (apertura de huecos), eliminación o aumento de forjados, etc.

En nuestro estudio nos centramos en el tercer factor: "Apeo de paredes de carga (apertura de huecos)"²⁸.

Para abordar este tema se hará referencia de otras variables que son relevantes:

- Formas de los huecos:

Considerando la variedad de formas de arcos utilizadas en los huecos se utilizan cinco tipos de arcos: ojival, ideal, de medio punto, carpanel y de ángulos rectos²⁹.

- Condiciones de contorno:

Teniendo en cuenta la variedad de las condiciones de enlace de las estructuras existentes, hemos considerado cuatro situaciones: base apoyada, base apoyada y restricción lateral, base empotrada y base empotrada y restricción lateral³⁰.

- Zuncho de borde de los forjados:

Teniendo presente que los forjados existentes³¹ se enlazan con las paredes de carga a través de un zuncho, hemos considerado de interés incluir la influencia de dichos elementos³².

²⁴ Son variables que dan lugar a la heterogeneidad de la población de edificios de paredes carga considerados recién hechos, es decir, sin modificaciones posteriores: el lugar de construcción, la época, diferencias importantes en los tipos de edificios, entre otros.

²⁵ Son efectos originados por la manipulación en las estructuras que pueden ser de dos tipos, las visibles y las ocultas. Por ejemplo, un edificio que no ha sufrido ningún tipo de manipulación, puede estar en perfecto estado durante muchos años (a no ser que le afecte un terremoto de cierta intensidad), sin embargo, si sobre él se han producido cambios de distribuciones u otras operaciones, podrá llegar a estar en una condición mucho más desfavorable que en el inicio.

²⁶ Se da una dispersión de criterios que no quedan reflejados en conjunto en ningún documento.

²⁷ Una modificación en los estados de carga se produce, por ejemplo, cuando se pasa de un uso de vivienda a un uso de oficinas.

²⁸ Por ser en nuestros días una práctica profesional frecuente que altera la configuración de las paredes de fábrica existentes.

²⁹ Estos arcos, a nuestro entender, son los más utilizados en obra antigua. El comportamiento del arco ojival es muy parecido al ideal, es por ello que hemos escogido el segundo por tener un mayor uso en la práctica profesional.

³⁰ Las restricciones laterales se han incluido en la Tesis, presuponiendo la existencia de paredes perpendiculares de arriostramiento.

³¹ En muchos de los casos.

- Dimensiones de los huecos:

Considerando la variedad de dimensiones de los huecos en obra y para no extender excesivamente el ámbito de la Tesis, hemos considerado cuatro longitudes de la apertura: 1,50m, 2,50m, 3,50m y 4,50m³³.

- Ubicación de los huecos:

Observando que las aperturas de los huecos se pueden realizar en cualquiera de las plantas de un edificio, hemos considerado conveniente considerar la influencia de la posición de los mismos a lo largo de la pared.

³² Considerando que el comportamiento de la pared mejorará, por aportar mayor rigidez lateral.

³³ Teniendo en cuenta las dimensiones más habituales en el ámbito de intervenciones.

1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.2.1 Objetivo general

El objetivo principal es conocer mejor el comportamiento de las paredes de carga en estructuras existentes, en las cuales se realizan intervenciones de apertura de huecos o apeos. Se pretende, en algunos modelos, llegar a determinar con bastante precisión el patrón del desarrollo de las fisuras en las zonas más tensionadas.

1.2.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos que se plantean para el desarrollo de la Tesis son los siguientes:

1.2.2.1 Determinar la influencia de la forma de los huecos en la distribución de los esfuerzos y movimientos, demostrando la forma que presenta un mejor comportamiento estructural entre los diferentes tipos de apeo en las paredes.

1.2.2.2 Determinar la influencia de las condiciones de contorno de los apeos en las paredes de carga, llegando a identificar los diferentes aspectos que deben tenerse en cuenta en el cálculo.

1.2.2.3 Determinar la influencia de los zunchos de borde de los forjados, embebidos en las paredes de carga, demostrando si su existencia es favorable para el comportamiento estructural de los apeos.

1.2.2.4 Determinar los efectos que en la pared originan las diferentes dimensiones de huecos, llegando a establecer la dimensión del hueco que comenzará a presentar mayores problemáticas en el comportamiento del apeo en la pared.

1.2.2.5 Determinar la influencia de la ubicación del hueco en las paredes de carga, indicando las plantas que presentarán más problemas al ejecutar el hueco para apear la pared.

1.2.2.6 Determinar si el método propuesto en la Tesis es válido para analizar la trayectoria de la fisura en la fábrica de ladrillo.

1.2.2.7 Determinar los mecanismos de colapso de paredes de dos plantas simétricas con diferentes tipologías de aperturas y considerando zunchos de dimensiones despreciables.

1.2.2.8 Determinar los mecanismos de colapso de las paredes. Se analizan paredes de dos plantas asimétricas con diferentes tipologías de aperturas y considerando zunchos de dimensiones despreciables.

1.2.2.9 Determinar también los mecanismos de colapso de paredes simétricas teniendo en cuenta zunchos de dimensiones. Analizar el número de plantas necesario para que se inicie la formación del arco de descarga.

1.2.2.10 Determinar las diferencias generales de comportamiento entre los modelos simétricos y asimétricos.

1.2.2.11 Determinar qué diferencia existe al considerar la influencia de dimensiones diferentes de zuncho en los modelos simétricos con hueco únicamente en la planta baja (futuros modelos 1 y 7).

1.2.2.12 Determinar qué diferencia de comportamiento existe al considerar la influencia de diferentes dimensiones de los zunchos y de las cargas (en futuros modelos 1 y 9).

1.3 METODOLOGÍA UTILIZADA

En este trabajo se presenta y se aplica una metodología para la evaluación del comportamiento y la determinación de los patrones de fisuras (hasta llegar al colapso de las paredes).

El procedimiento seguido en este estudio es completamente manual y se describe brevemente a continuación:

1.3.1 Localización de las zonas más tensionadas del modelo.

- Selección de la zona traccionada que supera la resistencia a tracción del material.
- Selección de la zona que rompe en primer lugar.
- Formación del primer grupo de fisuras.
- Localización de las zonas menos traccionadas que no desaparecen de una etapa a otra.
- Modelización de la fisura en las zonas indicas anteriormente.

1.3.2 Determinación de la trayectoria de la fisura.

- Localización de los vectores en las direcciones de las fuerzas principales.
- Integración de las fuerzas en las diferentes direcciones.
- Selección de la integral de mayor magnitud.
- Formación de la fisura perpendicular a la dirección de los vectores de tracción de mayor intensidad.

1.3.3 Determinación de los efectos de engranaje.

1.4 CONTENIDO DE LOS CAPÍTULOS

La Tesis se estructura en 8 capítulos, cuyos contenidos se indican a continuación:

CAPÍTULO-1: INTRODUCCIÓN

Introducción general de la Tesis y descripción de los objetivos que se desean alcanzar.

También se indica la metodología que se utiliza y se introduce el contenido, a modo simplificado, de cada uno de los capítulos.

CAPÍTULO-2: ESTADO DEL CONOCIMIENTO

Revisión del estado actual del conocimiento del comportamiento resistente de la obra de fábrica de ladrillo.

Presentación de temas varios que son necesarios para una mejor comprensión de la Tesis: apeos, criterios considerados en el desarrollo de la metodología, esquemas de los modelos analizados, características mecánicas de la mampostería, fisuración, arco catenárico y parabólico y programas utilizados.

CAPÍTULO-3: ANÁLISIS DE MODELOS SIMPLES, SIN CONSIDERAR LA INFLUENCIA DE LOS ZUNCHOS PERIMETRALES

Análisis de la influencia de la forma de los huecos³⁴. En estos modelos no se tiene en cuenta la influencia de los zunchos de los forjados que están embebidos en las paredes, aunque sí se considera la influencia de diferentes condiciones de contorno³⁵.

En la última parte del capítulo se establecen comparaciones y conclusiones.

CAPÍTULO-4: ANÁLISIS DE MODELOS SIMPLES, CONSIDERANDO LA INFLUENCIA DE LOS ZUNCHOS PERIMETRALES

Se hace un análisis de la influencia de la forma de los huecos³⁶. En estos modelos se tiene en cuenta la influencia de los zunchos de los forjados que están embebidos en las paredes, así como la influencia de diferentes condiciones de contorno.

En la última parte del capítulo se establecen comparaciones y conclusiones.

CAPÍTULO-5: INFLUENCIA DEL ANCHO Y POSICIÓN DE LOS HUECOS QUE DEFINEN LOS APEOS

Se realiza el análisis de la influencia del tamaño de los huecos y de su ubicación en las diferentes plantas.

³⁴ Las formas utilizadas para los huecos son: Ojival, ideal, de medio punto, carpanel y de ángulos rectos.

³⁵ Cuatro tipologías: base apoyada, base apoyada y restricciones laterales, base empotrada y base empotrada y restricciones laterales.

³⁶ Las formas utilizadas para los huecos son: Ideal, de medio punto, carpanel y de ángulos rectos.

En este capítulo se han considerado paredes de carga de edificios de dos a seis plantas y de 10 plantas. La dimensión de los huecos utilizados son de 1,50m; 2,50m; 3,50m y 4,50m. Ocasionalmente se modifica su ubicación en cada una de las plantas del edificio³⁷.

En la última parte del capítulo se establecen comparaciones y conclusiones.

CAPÍTULO-6: APLICACIÓN DEL MÉTODO EN LA RESOLUCIÓN DE EJEMPLOS PRÁCTICOS

Se incluyen tres ejemplos prácticos³⁸. El primer ejemplo es hipotético y los dos últimos corresponden a edificios existentes con serias patologías.

En los tres ejemplos se aplican las conclusiones obtenidas de los capítulos anteriores. Por último se establecen conclusiones generales.

CAPÍTULO-7: DESARROLLO DEL ARCO DE DESCARGA PARA DIFERENTES MODELOS

Se analiza el desarrollo del arco de descarga de modelos simétricos y asimétricos, manipulando en algunos de ellos la posición y el número de los huecos³⁹.

En estos modelos se llega a determinar los mecanismos de colapso de cada uno de ellos⁴⁰.

En la última parte del capítulo se establecen comparaciones y conclusiones.

Por último se elaboran vídeos del proceso de colapso de algunos de los modelos⁴¹.

CAPÍTULO-8: CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE FUTURAS INVESTIGACIONES

Se muestran las conclusiones obtenidas que nos ayudan a constatar si se han cumplido o no los objetivos planteados, tanto generales como particulares, al inicio de la Tesis.

Adicionalmente se incluyen futuras líneas de investigación que se consideran necesarias de abordar.

³⁷ En total se analizan en este capítulo 120 modelos.

³⁸ Los casos prácticos son tres: Edificio de viviendas (en el que se abren dos grandes huecos). Pared colapsada (al ceder la zapata de cimentación que soporta el arranque de un arco). Conjunto de arcos fisurados (pertenecientes a un plano murario de un complejo industrial).

³⁹ En total son 9 modelos: 6 modelos simétrico y tres modelos asimétricos.

⁴⁰ Como se podrá constatar en el capítulo correspondiente, estos mecanismos de colapso son completamente diferentes entre un modelo y otro.

⁴¹ El modelo simétrico y el modelo asimétrico, ambos de dos plantas sin nuevos huecos en la planta alta.

CAPÍTULO-2

ESTADO DEL CONOCIMIENTO

MJIG

CAPÍTULOS GENERALES

- 1.- INTRODUCCIÓN
- 2.- *ESTADO DEL CONOCIMIENTO*
- 3.- ANÁLISIS DE MODELOS SIMPLES SIN CONSIDERAR LA INFLUENCIA DE LOS ZUNCHOS PERIMETRALES
- 4.- ANÁLISIS DE MODELOS SIMPLES CONSIDERANDO LA INFLUENCIA DE LOS ZUNCHOS PERIMETRALES
- 5.- INFLUENCIA DEL ANCHO Y POSICIÓN DE LOS HUECOS QUE FORMAN LOS APEOS
- 6.- APLICACIÓN DEL MÉTODO EN LA RESOLUCIÓN DE EJEMPLOS PRÁCTICOS
- 7.- DESARROLLO DEL ARCO DE DESCARGA PARA DIFERENTES MODELOS
- 8.- CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE FUTURAS INVESTIGACIONES

CAPÍTULO-2

2	ESTADO DEL CONOCIMIENTO	2-11
2.1	APEOS Y MECANISMOS DE ESTABILIZACIÓN.....	2-11
2.1.1	Sistemas de apeos y mecanismos de estabilización según el peso, volumen o capacidad de los materiales.....	2-11
2.1.1.1	Sistemas pesados.....	2-11
2.1.1.2	Sistemas ligeros.....	2-12
2.1.2	Sistemas de apeos y mecanismos de estabilización provisionales en obra existente.....	2-13
2.1.2.1	Tipos de apeos y mecanismos de estabilización provisionales según su función en obra.....	2-14
2.1.2.1.1	Los de urgencia.....	2-14
2.1.2.1.2	Los complementarios.....	2-15
2.1.2.1.3	Los supletorios.....	2-16
2.1.2.1.4	De refuerzo por demolición.....	2-17
2.1.3	Sistemas de apeos permanentes en obra existente.....	2-18
2.1.3.1	Apeo de una parte de una pared de carga (Apertura de huecos nuevos).....	2-19
2.1.3.2	Apeo de un muro completo con sistemas aporricados.....	2-20
2.1.3.3	Apeo de pilares.....	2-21
2.1.3.4	Apeo de forjado por eliminación de pilar o pared maestra.....	2-22
2.1.3.5	Apeo de las jácenas por eliminación de pilar o pared maestra.....	2-23
2.1.3.6	Apeos de pared de carga o pilar en cimentación.....	2-24
2.1.3.7	Apeo de muros de carga y pilares existentes para habilitar sótanos de nueva construcción.....	2-25
2.1.3.8	Apeo de la estructura de un forjado existente para habilitar sótanos de nueva construcción.....	2-26
2.1.4	Esquemas de soluciones de apeos y mecanismos de estabilización provisionales y permanentes en obra existente.....	2-26
2.2	METODOLOGÍA UTILIZADA.....	2-35
2.2.1	Condiciones consideradas sobre el material.....	2-35

2.2.1.1	Tipo de análisis.....	2-35
2.2.1.2	Características mecánicas del material.....	2-35
2.2.2	Condiciones generales.....	2-36
2.2.3	Localización de las fisuras.....	2-37
2.2.4	Determinación de la trayectoria de las fisuras.....	2-41
2.2.5	Mallado de los modelos.....	2-44
2.3	CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS ANALIZADOS.....	2-47
2.3.1	Estado de carga de los forjados.....	2-47
2.3.2	Características de los Zunchos Perimetrales.....	2-47
2.3.3	Condiciones de Contorno.....	2-48
2.3.4	Formas de los arcos utilizados.....	2-49
2.3.5	Modelos estudiados en los diferentes capítulos.....	2-50
2.3.5.1	Modelos analizados en el Capítulo-3.....	2-50
2.3.5.2	Modelos analizados en el Capítulo-4.....	2-51
2.3.5.3	Modelos analizados en el Capítulo-5.....	2-52
2.3.5.3.1	Modelos: influencia del tamaño de los apeos.....	2-52
2.3.5.3.2	Modelos: influencia de la posición de los apeos.....	2-53
2.3.5.4	Modelos analizados en el Capítulo-6.....	2-54
2.3.5.5	Modelos analizados en el Capítulo-7.....	2-55
2.4	INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA.....	2-60
2.4.1	Descripción de la mampostería.....	2-60
2.4.1.1	Propiedades individuales de los materiales que componen la mampostería.....	2-61
2.4.1.1.1	Propiedades del mortero y del ladrillo a nivel experimental.....	2-61
2.4.1.1.2	Propiedades de la interfaz ladrillo-mortero.....	2-61
2.4.1.2	Propiedades del material compuesto: mampostería.....	2-62
2.4.1.2.1	Comportamiento de la mampostería en compresión uni-axial.....	2-62
2.4.1.2.2	Comportamiento a tracción uni-axial de la mampostería.....	2-63

2.4.1.2.3	Aspectos del comportamiento Post-pico. Ablandamiento o "Softening".....	2-65
2.4.1.2.4	Comportamiento biaxial.....	2-65
2.4.1.3	Métodos de cálculo general y método propuesto en la Tesis.....	2-66
2.4.2	La fisuración.....	2-69
2.4.2.1	Modelos constitutivos generales.....	2-69
2.4.2.2	Teorías para estudiar la fisuración.....	2-70
2.4.2.3	Mecánica de fractura.....	2-70
2.4.2.3.1	División de la teoría de la "MF".....	2-71
2.4.2.3.2	Modos de propagación de la fisura.....	2-72
2.4.2.3.3	Concentración de Tensiones en la cabeza de la fisura.....	2-73
2.4.2.3.4	Representación de la propagación de la fisura.....	2-73
2.4.2.4	Mecánica de medios continuos (MMC).....	2-74
2.4.2.4.1	Modelos de fisura distribuida o difusa.....	2-76
2.4.2.4.2	Inicio de la fisuración.....	2-76
2.4.2.4.3	Orientación y generación de fisuras.....	2-77
2.4.2.4.4	Comportamiento del material fisurado.....	2-77
2.4.3	La catenaria y la parábola.....	2-80
2.4.3.1	El arco catenárico.....	2-80
2.4.3.1.1	Ecuación de la catenaria.....	2-81
2.4.3.2	El arco parabólico.....	2-83
2.4.3.3	Diferencias entre la catenaria y la parábola.....	2-86
2.4.3.4	La forma catenárica en la naturaleza.....	2-87
2.4.3.5	Aplicación en Ingeniería-Obra Civil.....	2-88
2.4.3.6	Aplicación en la Arquitectura.....	2-90
2.4.3.6.1	Basílica de Saint Denis (París-Francia): utilizan arcos de medio punto - grandes contrafuertes laterales.....	2-90
2.4.3.6.2	Iglesia de Cluny III (París-Francia): utilizan arcos ojivales - grandes contrafuertes exteriores.....	2-90
2.4.3.6.3	Cúpula de la Mezquita de la Roca (Qubbat as-Sajrah) (Jerusalén 688-692).....	2-91

2.4.3.6.4	<i>Catedral de Santa María del Fiore (Florencia-Italia-1296)</i>	2-92
2.4.3.6.5	<i>Antoni Gaudí (1852 - 1926)</i>	2-93
2.4.3.6.6	<i>Colonia Güell (1908-1916)</i>	2-93
2.4.3.6.7	<i>Colegio de las Teresianas (Gaudí 1889-1890)</i>	2-95
2.4.3.6.8	<i>Palacio Güell (Palau Güell) (1886-1890)</i>	2-96
2.4.3.6.9	<i>Casa Milà (La Pedrera 1906-1910)</i>	2-97
2.4.3.6.10	<i>La Sagrada Familia (Gaudí asume el proyecto en 1883)</i>	2-98
2.4.3.6.11	<i>"Masia Freixa" (Tarrasa-España-1896)</i>	2-99
2.4.3.6.12	<i>Central nuclear</i>	2-100
2.4.3.6.13	<i>El centro religioso Memorial Fidel y María Moreno (Escobar-Argentina)</i>	2-100
2.4.3.6.14	<i>Gateway Arch (Sant Louis, Missouri, EE.UU - 1947-1960)</i>	2-101
2.4.3.6.15	<i>Dulles International Airport (Chantilly-Virginia 1958-1962)</i>	2-102
2.4.3.6.16	<i>Marquette Plaza (Banco Federal de Minneapolis) (Minneapolis, Minnesota-1973-1997)</i>	2-103
2.4.3.6.17	<i>Expo-98. Pabellón de Portugal (Portugal-Lisboa 1995)</i>	2-104
2.4.3.6.18	<i>Ciudad de las Artes y las Ciencias (Valencia-España-1994-2005)</i>	2-105
2.4.3.6.19	<i>Casas prefabricadas (Pretoria-África del Sur-2006)</i>	2-107
2.4.3.6.20	<i>Cubierta del escenario del Teatro de Verano Ramón Collazo del Parque Rodó (Montevideo julio-diciembre-2006)</i>	2-108
2.4.3.6.21	<i>Stand de Hispalyt (Construmat-2007)</i>	2-109
2.4.4	<i>Descripción de los programas utilizados</i>	2-112
2.4.4.1	<i>Programa de dibujo "AutoCAD"</i>	2-112
2.4.4.2	<i>Programa pre y post procesador: "GID"</i>	2-114
2.4.4.2.1	<i>Pre-proceso</i>	2-115
2.4.4.2.2	<i>Post-proceso</i>	2-119
2.4.4.3	<i>Programa de cálculo: "RamSeries"</i>	2-122
2.4.4.3.1	<i>"Rambshell"</i>	2-122
2.4.4.3.2	<i>"RamSolid"</i>	2-125

2.4.4.3.3	Referencias bibliográficas del programa "RamSeries".....	2-125
2.4.4.4	Programa de cálculo "RISA-3D".....	2-126
2.4.4.5	Programa "Windows Movie Maker".....	2-130
2.4.4.6	Programa matemático "ORIGIN-8".....	2-131
2.4.4.7	Programa "Excel.2007".....	2-131

MJG

CAPÍTULO-2

- 1.- APEOS
- 2.- METODOLOGÍA UTILIZADA
- 3.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS ANALIZADOS
- 4.- INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

MJG

CAPÍTULO-2

- 1.- APEOS
- 2.- METODOLOGÍA UTILIZADA
- 3.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS ANALIZADOS
- 4.- INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

MJG

2.1 APEOS

- 1.- SISTEMAS DE APEOS Y MECANISMOS DE ESTABILIZACIÓN SEGÚN EL PESO, VOLUMEN O CAPACIDAD DE LOS MATERIALES
- 2.- SISTEMAS DE APEOS Y MECANISMOS DE ESTABILIZACIÓN PROVISIONALES EN OBRA EXISTENTE
- 3.- SISTEMAS DE APEOS PERMANENTES EN OBRA EXISTENTE
- 4.- ESQUEMAS DE SOLUCIONES DE APEOS Y MECANISMOS DE ESTABILIZACIÓN PROVISIONALES Y PERMANENTES EN OBRA EXISTENTE

2 ESTADO DEL CONOCIMIENTO

2.1 APEOS Y MECANISMOS DE ESTABILIZACIÓN

"Llámesese apeo el sostener provisionalmente con armazones de madera, hierro u otro, un edificio o parte de él, entretanto no se terminen las obras de reconstrucción, reparación o demolición que en el mismo se están efectuando."¹

Podríamos decir, de modo general, que los apeos son sistemas estructurales que actúan frente a fuerzas de tipo gravitatorias. Sirven para complementar o sustituir una estructura con carácter provisional o permanente. Los apeos permanentes se diferencian de los provisionales en que la consistencia y eficacia de sus elementos estructurales se integran en el sistema reforzado con un carácter permanente.

Por otro lado, los mecanismos de estabilización garantizan el equilibrio de la estructura, frente a cualquier fuerza que no esté equilibrada, mientras que se realizan las intervenciones de apeos u otras.

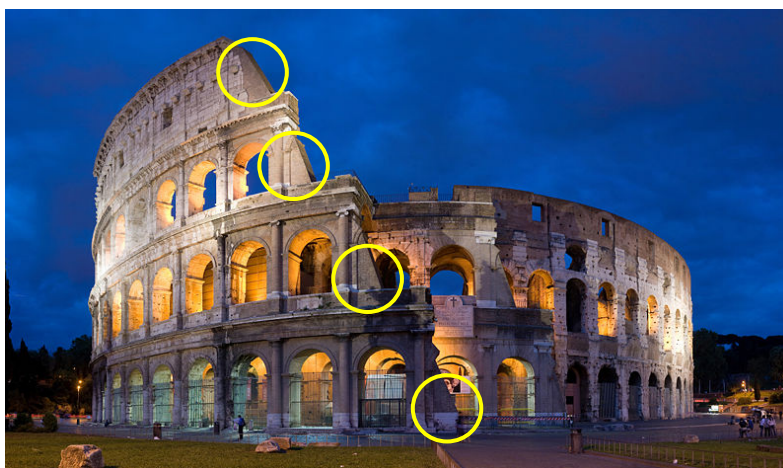
2.1.1 Sistemas de apeos y mecanismos de estabilización según el peso, volumen o capacidad de los materiales²

La diferente relación entre peso, volumen y capacidad resistente inherente a cada material constructivo repercute en la ejecución del sistema, ya sea de apeo o del mecanismo de estabilización, pudiendo llegar a establecer dos grandes grupos: los pesados y los ligeros.

2.1.1.1 Sistemas pesados

Son aquellos en los que el peso de su material es el punto relevante para establecer el sistema de equilibrio. Los elementos utilizados se ejecutan a partir de la manufactura de piezas de cantería o de albañilería.

La entidad constructiva de las fábricas dota a sus elementos de una gran durabilidad, por ello, estos sistemas se pueden identificar dentro del ámbito de los elementos de refuerzo o asociados a algún estilo arquitectónico.



(GRAF.2: 1) Coliseo de Roma: contrafuertes laterales.

¹ (Ledo 1977).

² La información extraída para este apartado es de (López y Casas 2002).

2.1.1.2 Sistemas ligeros

Son aquellos en los que, al contrario del anterior, el peso no es un factor relevante para garantizar el equilibrio del conjunto. Estos sistemas se resuelven con materiales tales como madera y metal.

Los elementos de madera componen sistemas estructurales isostáticos, a partir de piezas de madera normalizada, ensambladas por bridas, tirafondos o clavos.



(GRAF.2: 2) Material ligero utilizado: la madera.

En los elementos metálicos elaborados con perfiles laminados se utiliza normalmente la soldadura para resolver las uniones de fuerzas entre los elementos, ejecutándose empotramientos o articulaciones con los que se pueden configurar estructuras isostáticas o hiperestáticas. Los sistemas metálicos modulares utilizan, para su empalme, pasadores atornillados que equivalen a seudo-empotramientos o rótulas con las que se generan articulaciones.



(GRAF.2: 3) Material ligero utilizado: el metal.

2.1.2 Sistemas de apeos y mecanismos de estabilización provisionales en obra existente³

Entendemos por sistemas provisionales⁴ aquel conjunto estructural ejecutado en una construcción existente para complementar o sustituir su estructura con carácter provisional, siempre y cuando se ejecuten en obras de reparación o demolición.

Este sistema debe garantizar la estabilidad y, en determinados casos, la habitabilidad de una edificación dañada en tanto se acomete o adopta una solución definitiva a sus deficiencias.

La ejecución del sistema dependerá del tipo de intervención que se necesite realizar, es decir: reparación, reconstrucción, demolición, etc.; para los cuales se deberán determinar las diferentes etapas o fases de la ejecución.

Tanto es así que el objetivo de algunos apeos y mecanismos de estabilización provisionales puede limitarse bien a la seguridad de los operarios encargados de ejecutar un apeo más definitivo, o bien para ejecutar otro sistema de apeo más complejo o permanente⁵.



(GRAF.2: 4) Contrafuertes laterales y apeo de la fachada con sistema de micropilotes.

³ Para ampliar la información consultar (López y Casas 2002).

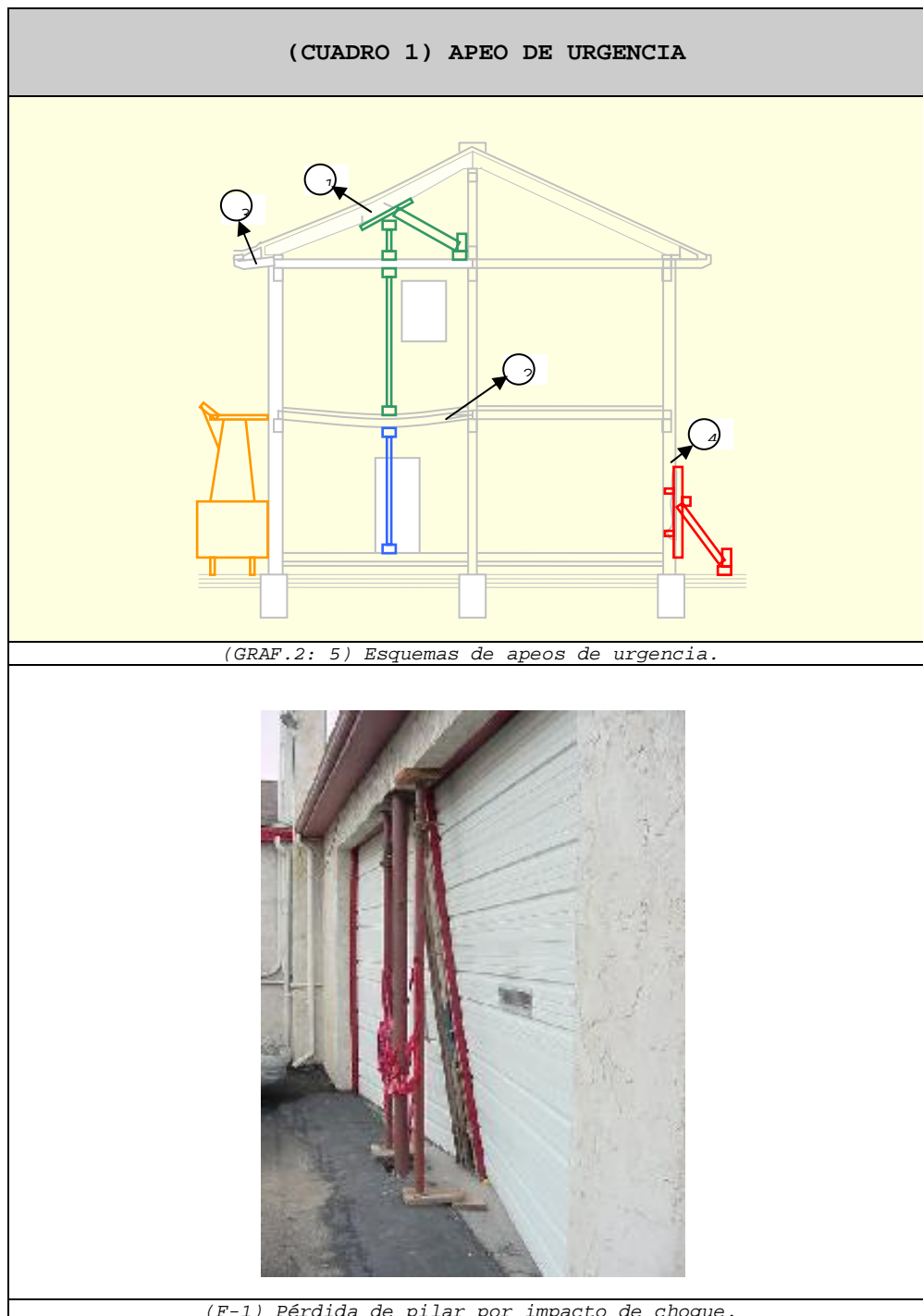
⁴ En inglés se llaman "temporary shoring".

⁵ Para el que se requiere un mayor plazo tanto de ejecución como de suministro de sus elementos.

2.1.2.1 Tipos de apeos y mecanismos de estabilización provisionales según su función en obra⁶

2.1.2.1.1 Los de urgencia

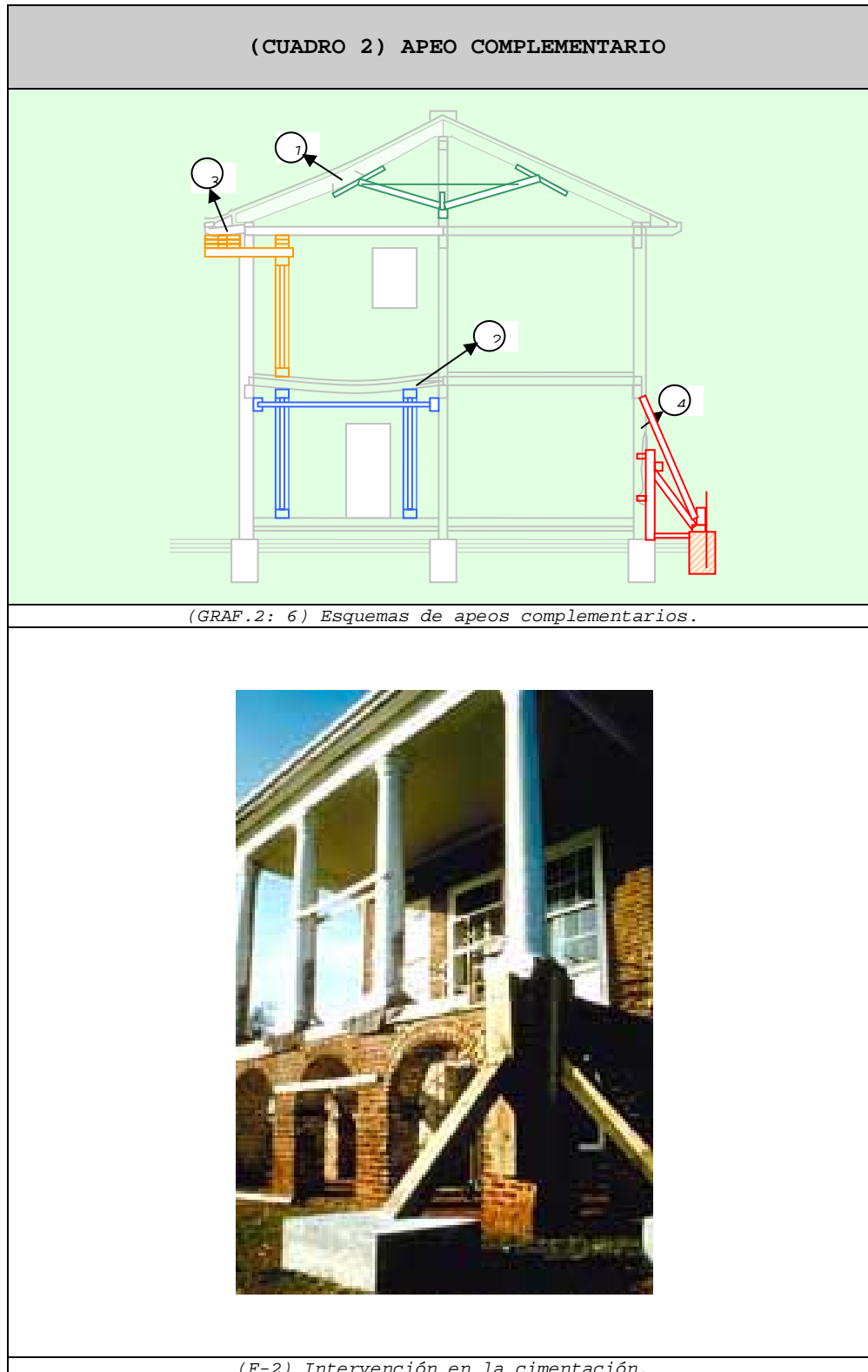
Son aquellos que complementan la estructura dañada en sus elementos más precarios a corto plazo, de este modo atajan un peligro inminente debido al grado de deterioro del edificio, así como custodian la seguridad adecuada para que los operarios puedan trabajar. Debido a que las condiciones de trabajo son precarias, los elementos deben ser ligeros y de rápida entrada en carga.



⁶ La información extraída para este apartado es de (López y Casas 2002).

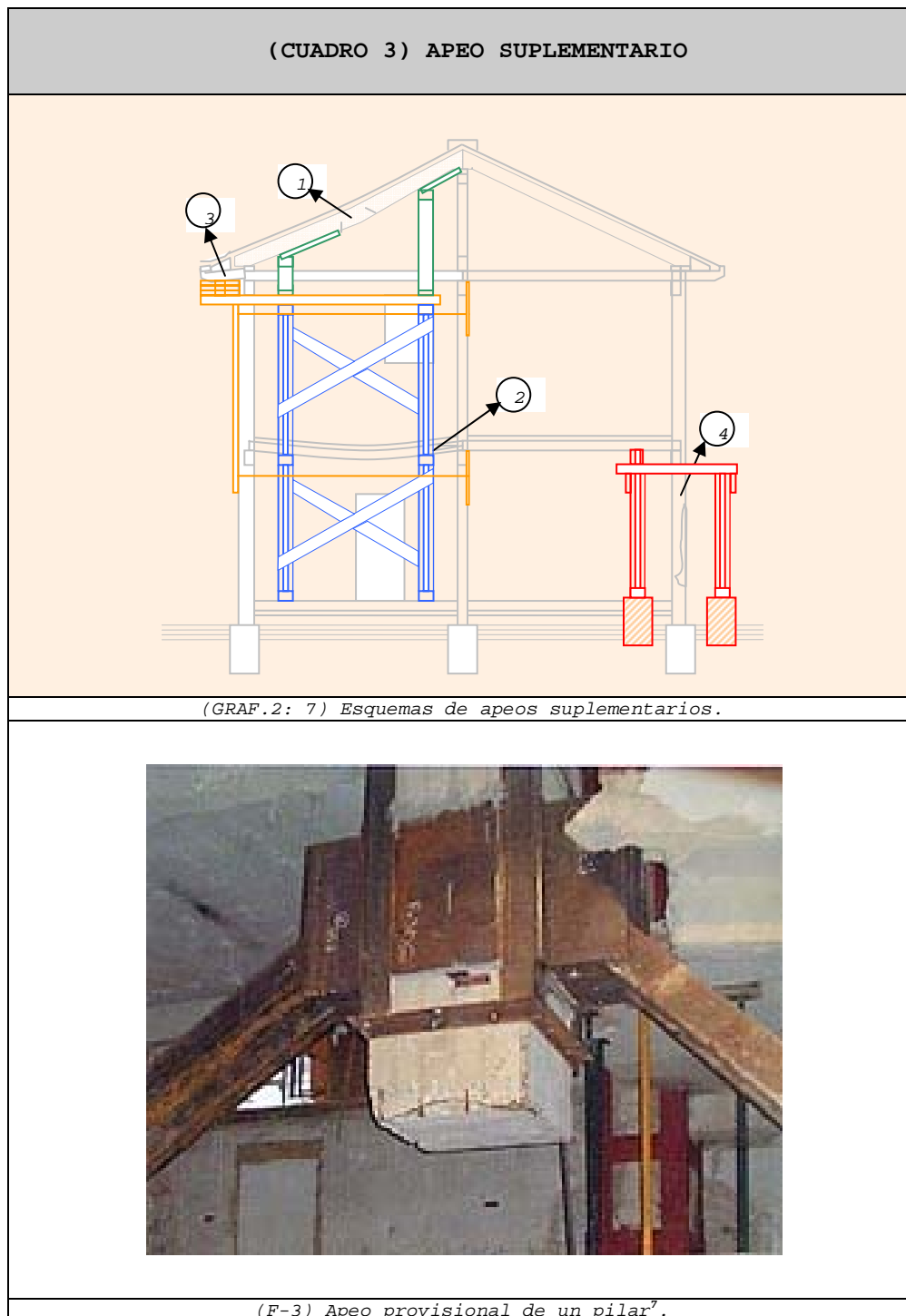
2.1.2.1.2 Los complementarios

Son aquellos que cubren las carencias de seguridad que pudiera presentarse en el estado de deterioro de una estructura, aunque posibilitando que continúe cumpliendo su función. No son elementos autónomos sino que se integran en el conjunto permanente al igual que los refuerzos.



2.1.2.1.3 Los supletorios

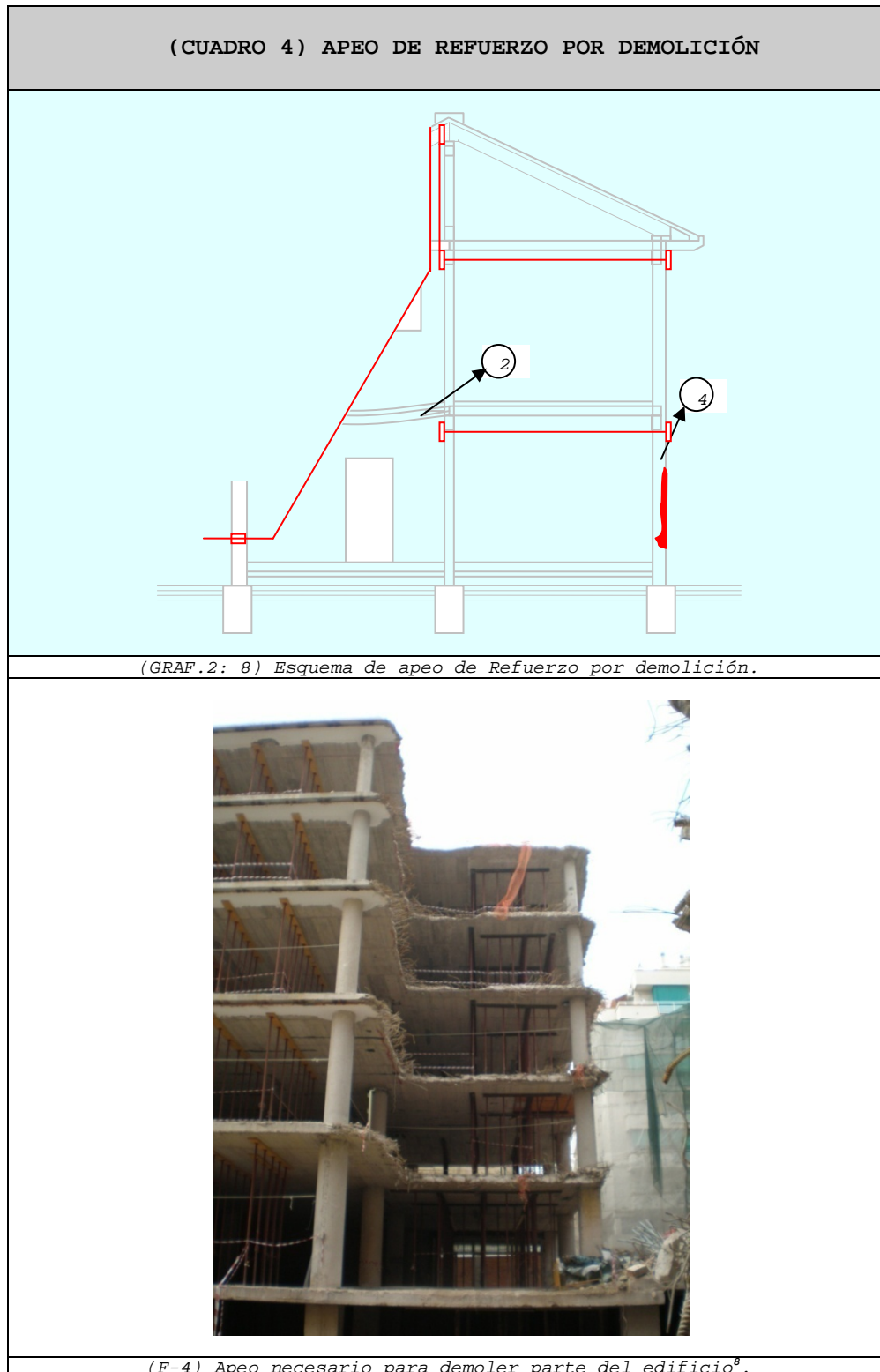
Son utilizados en el caso en que el plan de la obra se enfoque a la reparación de la edificación desde el principio, abarcando trabajos de sustitución de elementos estructurales, con lo cual el sistema utilizado deberá sustituir a la estructura dañada, una vez el apeo entre en carga. Requiere una serie de operaciones auxiliares como la ejecución de perforaciones en elementos verticales y horizontales para dar a los apeos continuidad e identidad como estructura autónoma.



⁷ Edificio La Jirafa (Oviedo).

2.1.2.1.4 De refuerzo por demolición

Dotan a la construcción del edificio no demolido de la estabilidad perdida por la eliminación de una parte del mismo.

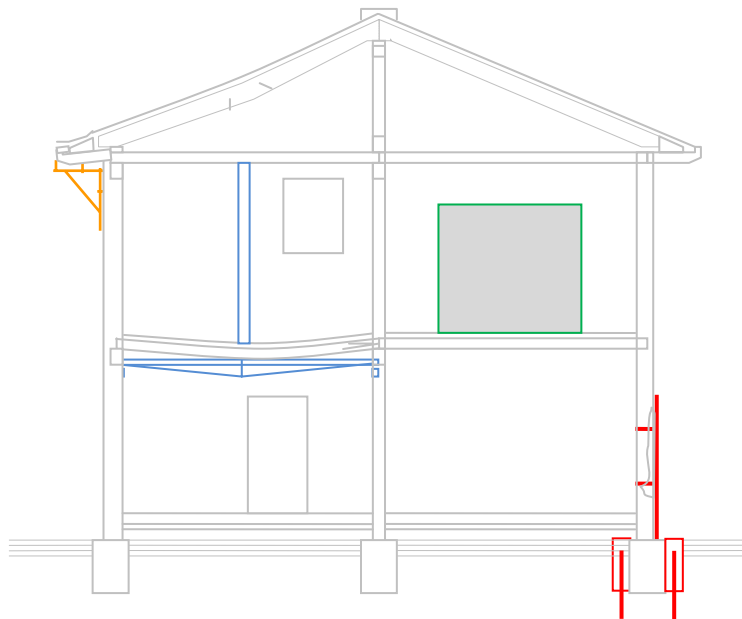


⁸ Edificio Marqués de Senmenat, con demolición realizada por la empresa BOMA. La foto que se adjunta no se corresponde con el esquema de arriba.

2.1.3 Sistemas de apeos permanentes en obra existente

Podríamos decir que, los apeos permanentes son un mecanismo para cortar el descenso hasta el suelo de las cargas gravitatorias del edificio y forman parte de la estructura reparada con carácter permanente.

La consideración de este tipo de apeo depende del elemento estructural que se necesite apelar, ya sea por motivos de reforma o por daños importantes en el mismo.



(GRAF.2: 9) Esquema de apeos permanentes.

En los cuadros que se presentan a continuación se expone una pequeña selección de este tipo de apeos. No hemos pretendido abarcarlos todos, dada la gran variedad de los elementos estructurales que componen un edificio.

Los apeos que se presentan son los siguientes:

1. Apeo de una parte de una pared de carga (Apertura de huecos nuevos).
2. Apeo de un muro completo con sistemas aporticados.
3. Apeo de pilares.
4. Apeo de forjado por eliminación de pilar o pared maestra.
5. Apeo de forjado por eliminación de pilar o pared maestra.
6. Apeos de pared de carga o pilar en cimentación.
7. Apeo de muros de carga y pilares existentes para habilitar sótanos de nueva construcción.
8. Apeo de la estructura de un forjado existente para habilitar sótanos de nueva construcción.

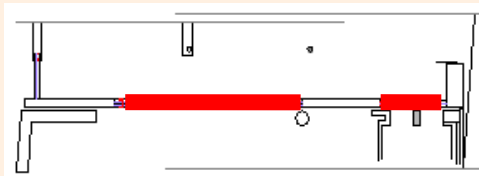
En el desarrollo de la Tesis, teniendo en cuenta la amplitud del tema, únicamente se abordará el primer tipo de apeo, sobre el cual actúan cargas de tipo gravitatoria.

2.1.3.1 Apeo de una parte de una pared de carga (Apertura de huecos nuevos)

(CUADRO 5) APEO DE UNA PARTE DE UNA PARED DE CARGA



(GRAF.2: 10) Alzado del muro a intervenir.



(GRAF.2: 11) Planta del muro a intervenir.

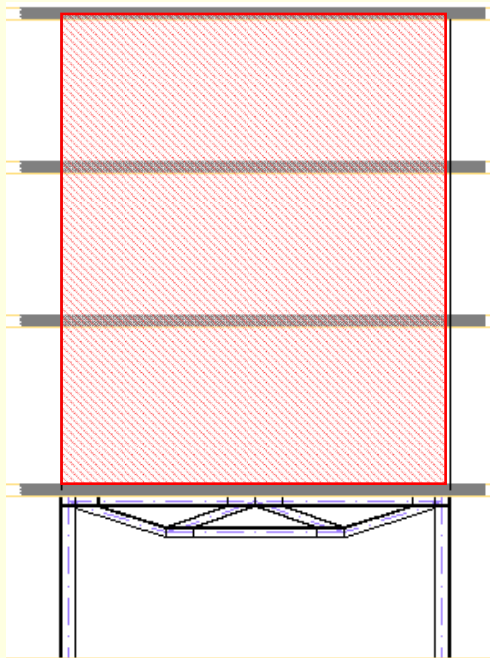


(F-5) Aperturas de nuevos huecos en muros⁹.

⁹ Información proporcionada por la empresa BOMA. La foto que se adjunta no se corresponde con los esquemas de la izquierda.

2.1.3.2 Apeo de un muro completo con sistemas aporticados¹⁰

(CUADRO 6) APEO DE UN MURO COMPLETO CON SISTEMAS APORTICADOS



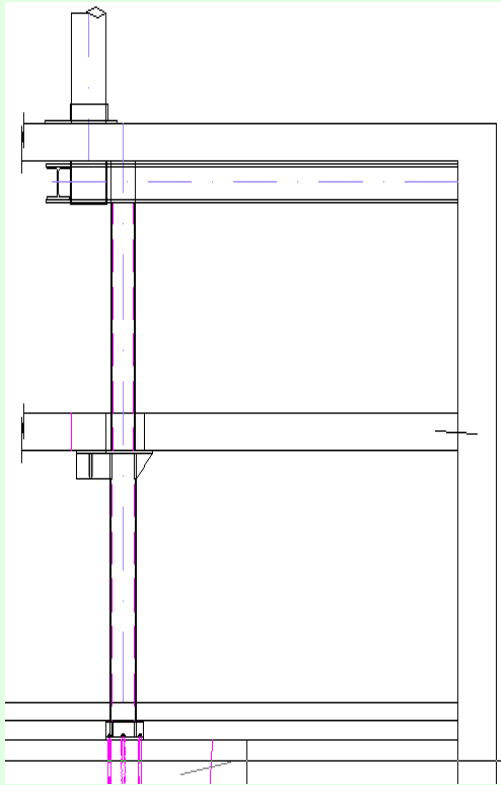
(GRAF.2: 12) Alzado del muro completo a apear.

(F-6) Apeos de muros completos.

¹⁰ Información proporcionada por BOMA. La foto que se adjunta no se corresponde con los esquemas de la izquierda.

2.1.3.3 Apeo de pilares¹¹

(CUADRO 7) APEO DE UN PILAR



(GRAF.2: 13) Sección del apeo de un pilar.

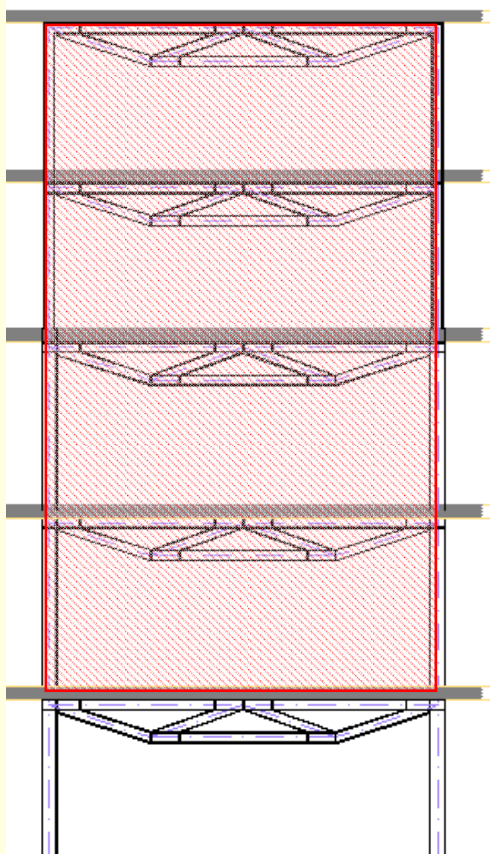


(F-7) Apeos de pilares.

¹¹ Información proporcionada por la empresa BOMA. La foto que se adjunta no se corresponde con los esquemas de la izquierda.

2.1.3.4 Apeo de forjado por eliminación de pilar o pared maestra¹²

(CUADRO 8) APEO DE FORJADOS



(GRAF.2: 14) Sección del apeo de los forjados.

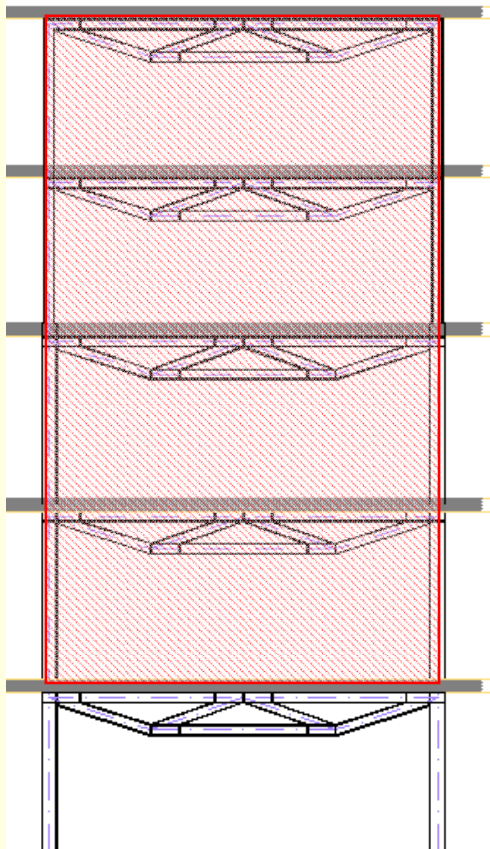


(F-8) Apeos de forjados por eliminación de pilar.

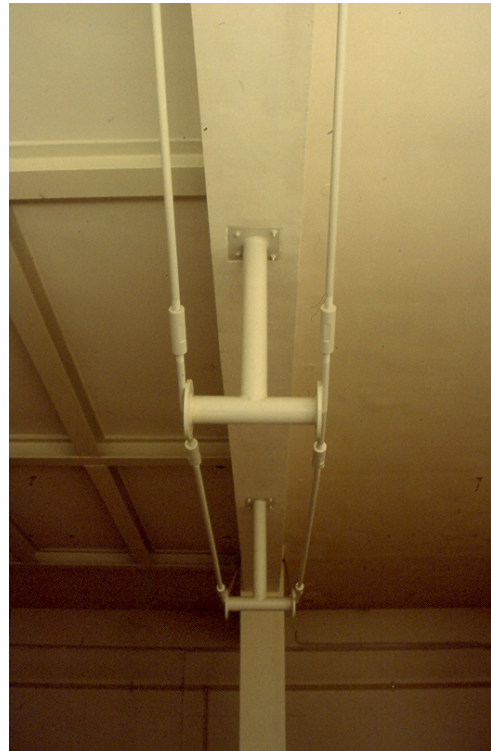
¹² Información proporcionada por la empresa BOMA. La foto que se adjunta no se corresponde con los esquemas de la izquierda.

2.1.3.5 Apeo de las jácenas por eliminación de pilar o pared maestra¹³

(CUADRO 9) APEO DE JÁCENAS



(GRAF.2: 15) Sección del apeo de los forjados.

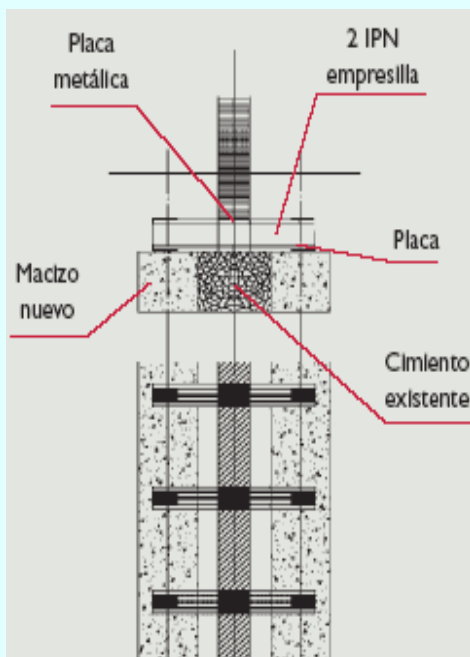


(F-9) Apeos de jácenas por eliminación de pilar.

¹³ Información proporcionada por la empresa BOMA. La foto que se adjunta no se corresponde con los esquemas de la izquierda.

2.1.3.6 Apeos de pared de carga o pilar en cimentación¹⁴

(CUADRO 10) APEO DE PARED DE CARGA O PILAR EN CIMENTACIÓN



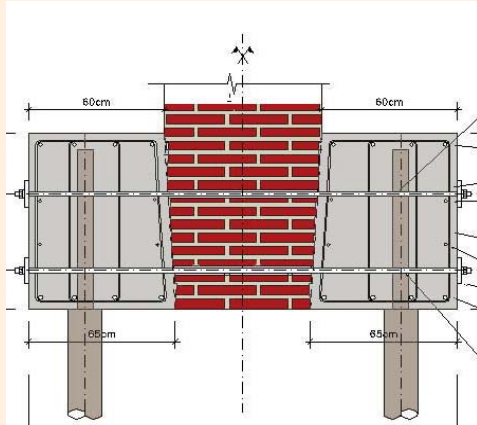
(GRAF.2: 16) Sección del apeo del muro.

(F-10) Apeos de muros de fachadas en cimentación.

¹⁴ Información proporcionada por la empresa BOMA. La foto que se adjunta no se corresponde con los esquemas de la izquierda.

2.1.3.7 Apeo de muros de carga y pilares existentes para habilitar sótanos de nueva construcción

(CUADRO 11) APEO DE PARED DE CARGA O PILAR PARA HABILITAR SÓTANOS



(GRAF.2: 17) Sección del apeo.



(F-11) Apeo del muro para construcción de 2 nuevos sótanos.



(F-12) Apeo del muro para construcción de nuevos sótanos¹⁵.

¹⁵ Información proporcionada por la empresa BOMA. La foto que se adjunta no se corresponde con los esquemas de la izquierda.

2.1.3.8 Apeo de la estructura de un forjado existente para habilitar sótanos de nueva construcción¹⁶

(CUADRO 12) APEO DE LA ESTRUCTURA DE UN FORJADO EXISTENTE PARA HABILITAR NUEVOS SÓTANOS



(GRAF.2: 18) Apeo de la estructura de un forjado existen para habilitar nuevos sótanos.

2.1.4 Esquemas de soluciones de apeos y mecanismos de estabilización provisionales y permanentes en obra existente

Para cada modelo estructural se puede prever el tipo de deformación que adoptará ante una situación degenerativa de sus elementos. El tipo de apeo que se disponga en cada caso también dependerá del grado de deformación alcanzado y de las previsiones de reparación existentes.

Cada cuadro contiene la siguiente información:

1ra. columna MODELO	2da. columna PATOLOGÍA	3ra. columna APEO
-------------------------------	----------------------------------	-----------------------------

Nomenclatura utilizada de los esfuerzos:

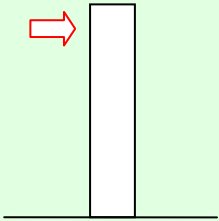
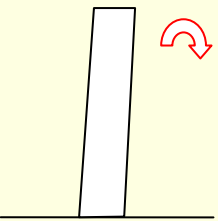
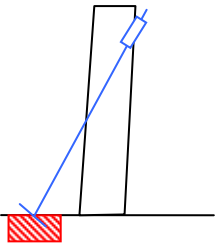
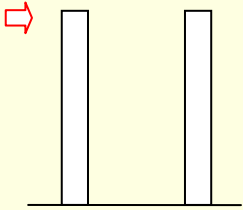
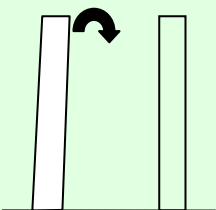
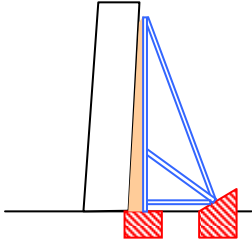
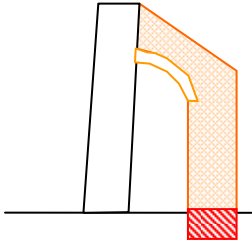
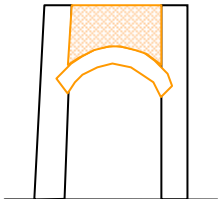
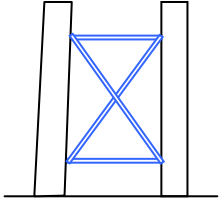
"T" = Tracción

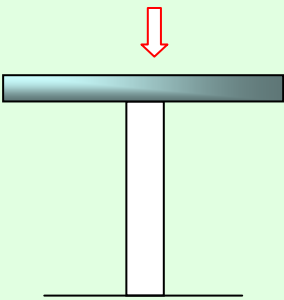
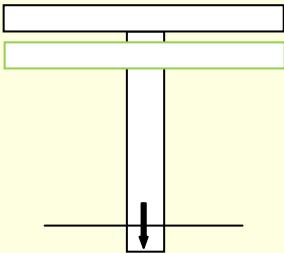
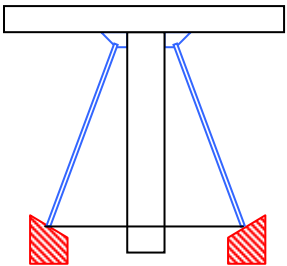
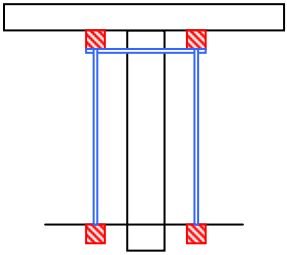
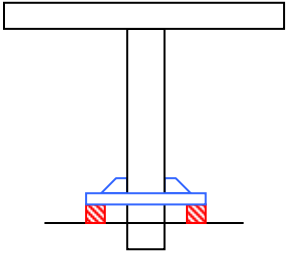
"C" = Compresión

"F" = Flexión

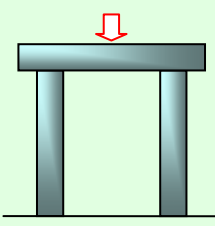
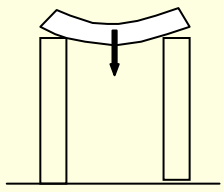
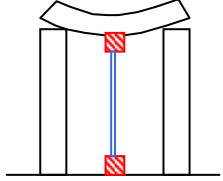
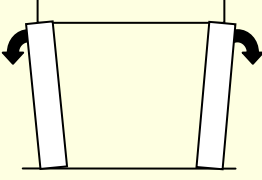
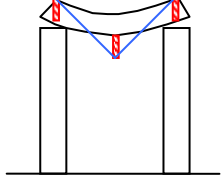
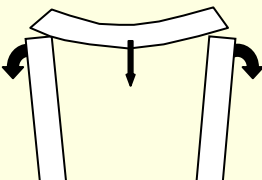
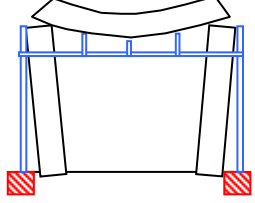
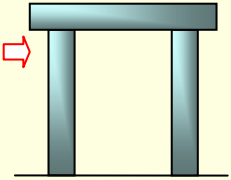
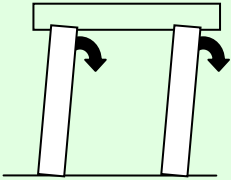
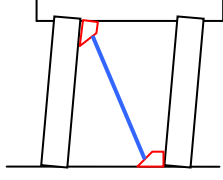
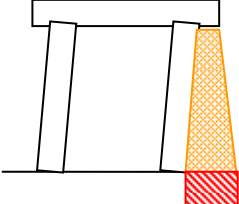
¹⁶ Información proporcionada por la empresa BOMA. La foto que se adjunta no se corresponde con los esquemas de la izquierda.

9. Actuación sobre elementos estructurales verticales:

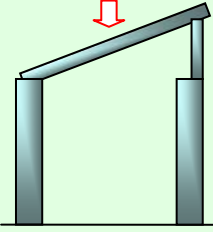
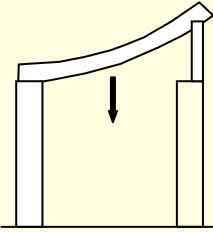
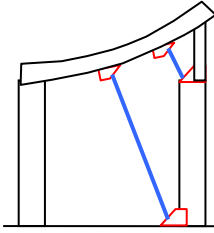
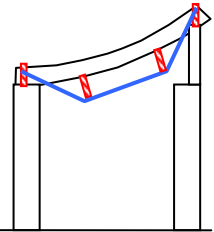
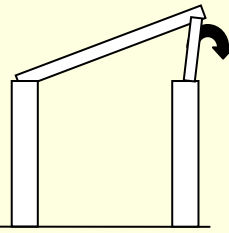
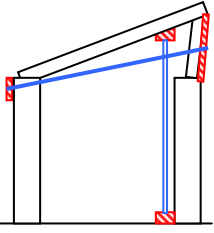
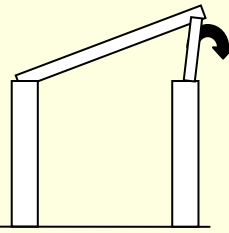
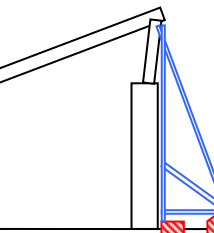
 <p>Sin carga y aislado, con empuje horizontal</p>	 <p>Desplome.</p>	 <p>Atirantado en dirección contraria al desplome.</p>
 <p>Elemento vertical pareado.</p>	 <p>Desplome de un elemento o de los dos en sentido contrario.</p>	 <p>Transmisión de empujes al terreno por elemento de apeo inclinado a "C".</p>
		 <p>Transmisión de empujes al terreno por muro transversal perforado a modo de arbotante.</p>
		 <p>Contrarresto de empuje con elemento pesado.</p>
		 <p>Transmisión de empujes a la base con elementos ligeros.</p>

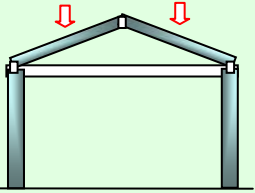
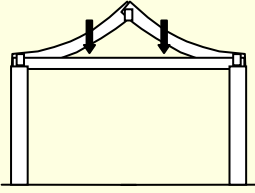
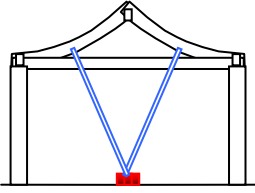
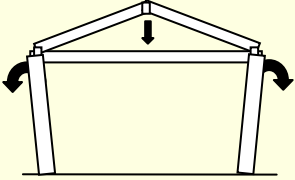
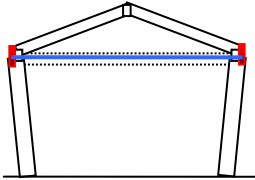
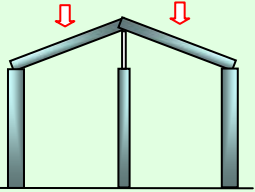
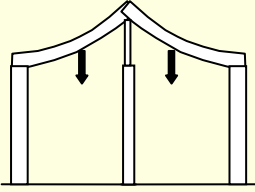
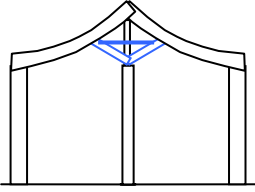
 <p>Elemento vertical con carga aislada, recibe una carga gravitatoria.</p>	 <p>Cedimiento vertical por descenso o agotamiento estructural.</p>	 <p>Transmisión de carga vertical al terreno mediante dos elementos inclinados y simétricos, a "C". Requiere de una pieza inclinada en la base, fijándose al terreno para contrarrestar los empujes horizontales generados. No apto para sustituir el elemento cedido.</p>
		 <p>Transmisión de la carga vertical al terreno mediante piezas verticales a "C" y horizontales a "F". Idóneo para sustituir el elemento cedido.</p>
		 <p>Transmisión de carga vertical al terreno mediante piezas horizontales a "F" apoyadas en otras piezas de reparto. Permite reparar el origen del cerramiento salvando el elemento cedido</p>

10. Actuación sobre elementos estructurales horizontales:

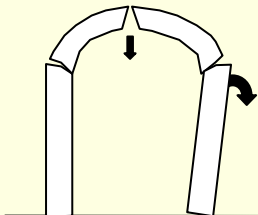
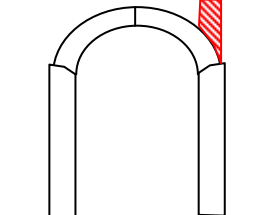
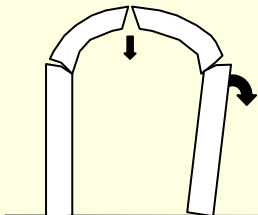
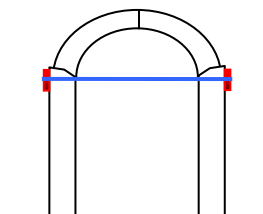
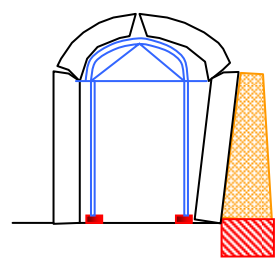
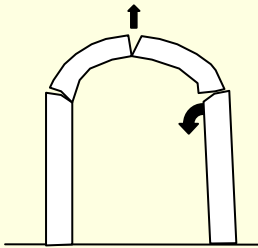
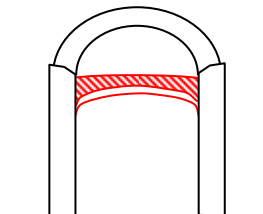
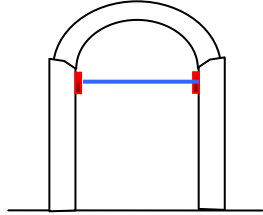
 <p data-bbox="247 1344 494 1444">Estructura adintelada horizontal, recibe carga gravitatoria.</p>	 <p data-bbox="550 772 805 828">Flecha del elemento horizontal.</p>	 <p data-bbox="869 459 1348 537">Transmisión de la carga del elemento horizontal al terreno mediante un elemento de apeo vertical.</p>
	 <p data-bbox="534 1052 813 1120">Desplome de los elementos verticales en sentido contrario.</p>	 <p data-bbox="861 750 1364 828">Atirantado inferior del elemento horizontal para absorber los esfuerzos de "T".</p>
	 <p data-bbox="550 1366 805 1444">Acción combinada de los dos casos anteriores.</p>	 <p data-bbox="861 1366 1364 1467">Transmisión de cargas con un elemento horizontal trabajando a "T" y a "F", y dos elementos verticales trabajando a MF-C</p>
 <p data-bbox="247 1937 494 2049">Estructura adintelada horizontal, recibe un empuje horizontal.</p>	 <p data-bbox="534 1937 813 2004">Desplome en el mismo sentido que los elementos verticales.</p>	 <p data-bbox="861 1691 1364 1747">Tornapuntado en dirección contraria al desplome.</p>
		 <p data-bbox="845 1971 1372 2072">Elemento pesado de transmisión de empuje al terreno. También admite similar solución mediante elementos inclinados ligeros.</p>

11. Actuación sobre elementos estructurales inclinados:

 <p style="text-align: center;">Estructura adintelada inclinada, recibe una carga gravitatoria.</p>	 <p style="text-align: center;">Flecha del elemento inclinado.</p>	 <p style="text-align: center;">Elemento inclinado de apeo hasta la base del elemento vertical sustentante posterior.</p>
	 <p style="text-align: center;">Atirantado inferior del elemento inclinado para absorber los esfuerzos de "T".</p>	
	 <p style="text-align: center;">Atirantado de los elementos verticales para contener el desplome combinado con un elemento de apeo vertical para descargar el elemento desplomado.</p>	 <p style="text-align: center;">Transmisión al terreno del empuje del elemento vertical desplomado y roto, mediante un sistema ligero. Requiere de una pieza fijada al terreno en la base del elemento ligero para contrarrestar el empuje horizontal generado.</p>
	 <p style="text-align: center;">Desplome y rotura del elemento vertical superior por empuje del elemento inclinado.</p>	 <p style="text-align: center;">Transmisión al terreno del empuje del elemento vertical desplomado y roto, mediante un sistema pesado.</p>

	 <p>Flecha de los elementos inclinados.</p>	 <p>Contrarresto de empujes entre faldones mediante un elemento triangular formado por dos piezas inclinadas contrapeadas por su base y atirantadas en cabeza.</p>
<p>Estructura poligonal característica de las cubiertas a par-hilera.</p>	 <p>Desplazamiento de los componentes estructurales, por ausencia o agotamiento de los elementos de contrarresto de empujes horizontales.</p>	 <p>Atirantado horizontal.</p>
 <p>Doble estructura inclinada característica de las cubiertas a par.</p>	 <p>Flecha de uno de los dos elementos inclinados.</p>	 <p>Contrarresto de empujes entre faldones mediante un elemento triangular formado por dos piezas inclinadas contrapeadas por su base y atirantadas en cabeza.</p>

12. Actuación sobre elementos estructurales arqueados:

<p>Estructura abovedada característica en arcos, bóvedas y cúpulas.</p>		 <p>Sobrecarga sobre el estribo deficitario para desviar el empuje horizontal de la bóveda al terreno. Sólo apto para previsión o para desplazamientos pequeños no relacionados con la capacidad resistente del terreno.</p>
		 <p>Contrarresto del empuje horizontal generado mediante atirantado. No apto para ceñimientos de la bóveda que amenacen hundimiento.</p>
	<p>Descenso de la bóveda por desplazamiento al exterior de uno de los estribos.</p>	 <p>Encimbrado de la bóveda con elementos ligeros y refuerzo del estribo cedido mediante elemento pesado de transmisión del empuje al terreno. Tanto uno como otro elemento de apeo se pueden ejecutar mediante elementos pesados, ligeros o combinados.</p>
		 <p>Acodalado de la bóveda mediante elemento pesado.</p>
	<p>Elevación de la bóveda por desplazamiento al interior de uno de los estribos. Si la bóveda amenaza caída se debe adoptar la solución expuesta en el tercer apeo de la patología anterior.</p>	 <p>Acodalado de la bóveda mediante elemento ligero.</p>

MJG

CAPÍTULO-2

- 1.- APEOS
- 2.- *METODOLOGÍA UTILIZADA*
- 3.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS ANALIZADOS
- 4.- INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

MJIG

2.2 METODOLOGÍA UTILIZADA

- 1.- CONDICIONES CONSIDERADAS
- 2.- CONDICIONES GENERALES
- 3.- LOCALIZACIÓN DE LAS FISURAS
- 4.- DETERMINACIÓN DE LA TRAYECTORIA DE LAS FISURAS
- 5.- MALLADO DE LOS MODELOS

2.2 METODOLOGÍA UTILIZADA

2.2.1 Condiciones consideradas sobre el material

2.2.1.1 Tipo de análisis

En nuestra Tesis, los modelos se realizan en un rango "Elástico Lineal", por considerar que siempre nos movemos en valores que se encuentran dentro de la rama elástica del diagrama y, en el momento que supera la resistencia a tracción de la fábrica, se introduce la separación de los nodos.

Si tenemos presente que en este estudio llegamos a determinar patrones de fisuras es válida la aplicación de métodos lineales. Este razonamiento se sustenta en comentarios de algunos investigadores¹⁷⁻¹⁸⁻¹⁹⁻²⁰⁻²¹, sin embargo otros indican lo contrario. En el apartado "2.4" se explica con más detenimiento.

2.2.1.2 Características mecánicas del material

Las características mecánicas utilizadas en los diferentes modelos analizados se calculan en base al "CTE".

γ	N/m ³	18.000
E	N/m ²	5,70E09
G	N/m ²	2,30E+09
ν	-	0,20
f_d	N/m ²	3,2E+06
f_t	N/m ²	0,1E+06

Para el cálculo de estos valores se desarrolla una hoja de cálculo que se presenta a continuación.

CTE - SE-F				
Valores de "k"		1Hoja	2Hojas	
Macizas		0,6	0,5	
Perforadas		0,55	0,45	
Aligeradas		0,5	0,4	
Huecas		0,4	-	
k	0,6			
f_b	25		N/mm ²	
f_m	15	OK	N/mm ²	
f_k	9,57		N/mm ²	
γ^*	3			
f_d	3,19		N/mm ²	
Valor de "E" teniendo "fk"				
f_k	9,57	N/mm ²	9,57E+06	N/m ²
E	9570	N/mm ²	9,57E+09	N/m ²
E _{est lim serv}	5,742	N/mm ²	5,74E+09	N/m ²
G	3828	N/mm ²	2,30E+09	N/m ²

¹⁷ Kong (Kong 1998) en su Tesis sostiene que el comportamiento del material antes de fallar es elástico lineal. Indica: "The masonry panel model used in the present study is assumed to be homogeneous and linearly elastic up to failure. Additionally, the material is assumed to be orthotropic in directions parallel and normal to bed joints. The assumption of linear elastic behaviour is based on experimental evidence available in the literature. (Fattal y Cattaneo 1976) (Drysdale y Hamid 1979) (A. Hendry 1981) (Hamid, Ziab y El Nawawy 1987) which tends to confirm that masonry behaves linearly almost up to failure".

¹⁸ En las conclusiones del artículo (Cecchi y Sab 2002) indican: "... characterizing the behavior of the masonry in which the constitutive law for blocks and mortar is linear elastic..."

¹⁹ Reyes y otros (Reyes, Casati y Gálvez 2003) manifiestan en su artículo: "En trabajos anteriores se ha mostrado que la precisión de la trayectoria proporcionada por la mecánica de la fractura elástica lineal constituye una buena aproximación de la trayectoria de la grieta en materiales cuasi-frágiles..."

²⁰ Roca y otros (Roca, Molins y Marí 2005) indican: "... Under tension, masonry is modeled as a simple linear elastic perfectly brittle material..."

²¹ Romera y otros (Romera, Hernandez y Reinoso 2008) indican que el uso de modelos lineales permite conocer el comportamiento real de la estructura. Los autores dicen en su texto: "The use of linear models as a previous step to possible analysis considering more realistic non-linear models, allows us to comprehend the real structural behavior, with less cost and complexity as compared to those of non-linear case."

2.2.2 Condiciones generales

Para el trazado de las fisuras se consideran los siguientes aspectos:

1. Los parámetros del comportamiento mecánico del material se deben conocer en su totalidad²².
2. Para medir la resistencia a compresión de la fábrica²³ se toma como límite el valor de 3,20N/mm² (32,00Kg/cm²), en consecuencia se desprecia la contribución del material con excesivas compresiones por no ser capaz de soportar más esfuerzos.
3. El material rompe cuando supera su resistencia de cálculo a tracción²⁴ de 0,10N/mm² (1,00Kg/cm²)²⁵ y no se considera la existencia de la rama de ablandamiento.
4. Las máximas tracciones se deben localizar en la cabeza de la fisura, nunca en los labios de la misma²⁶⁻²⁷.
5. La distancia entre fisuras se limita a la dimensión de la pieza de cerámica²⁸⁻²⁹.
6. Las direcciones de las fisuras que se generan en el proceso de cálculo deberán de ser perpendiculares a los vectores de las direcciones principales de tracción que las originan³⁰.
7. Se permite que en un punto sobretensionado a tracción se forme una fisura y como máximo, dos³¹. El ángulo que forman ambas se determina en la mayoría de los modelos por el sentido de los vectores.
8. Para representar los gráficos de las fuerzas se utiliza una cromática con dos gamas bien determinadas: una gama de colores cálidos intensos³² que simbolizan tracciones considerables y una gama de colores cálidos claros³³ que representan tracciones pequeñas.

A continuación, se presenta en dos ejemplos prácticos el proceso a seguir en la metodología.

- El primero corresponde a la localización de las fisuras.
- El segundo corresponde a la determinación de la trayectoria de las mismas.

²² Ver "2.2.1.2".

²³ Ver "2.2.1.2".

²⁴ Ver apartado "2.4.2.4.2".

²⁵ Ver apartado "2.4.1.2.2".

²⁶ Este punto ha sido un parámetro importante en la determinación de la trayectoria de la fisura que se analiza en el apartado "2.2.4".

²⁷ De acuerdo con la teoría de la fisuración analizado en el apartado "2.4.2".

²⁸ Considerando que el mortero es el primero en fisurar por tener menos resistencia; ver "2.4.1.1.1".

²⁹ Para las fisuras verticales la distancia entre ellas es el ancho del bloque, mientras que para el trazado de las fisuras horizontales es el canto de la pieza.

³⁰ Ver apartado "2.4.2.4.3".

³¹ De acuerdo con la teoría de la fisuración; apartado "2.4.2.4.3".

³² Colores que se acercan al rojo intenso.

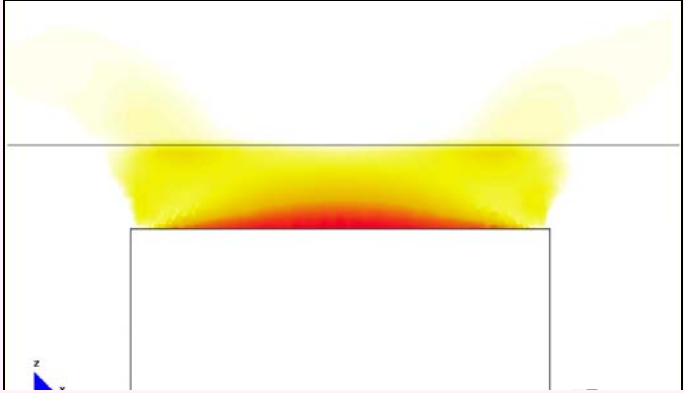
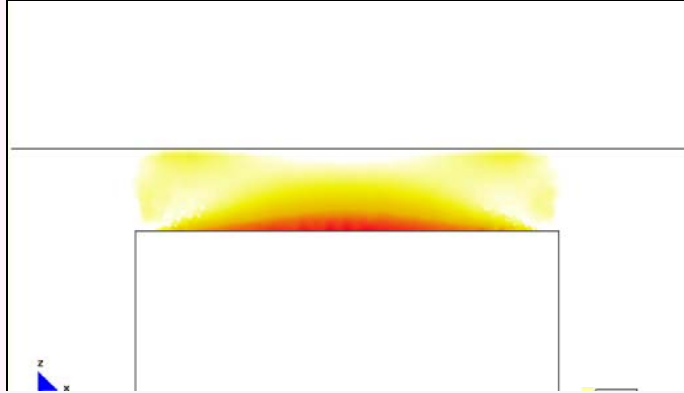
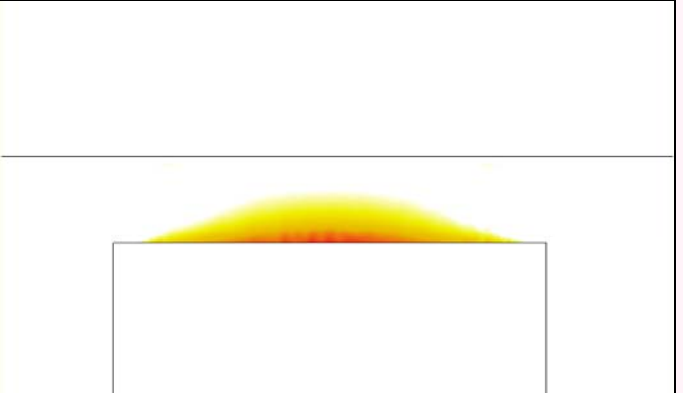

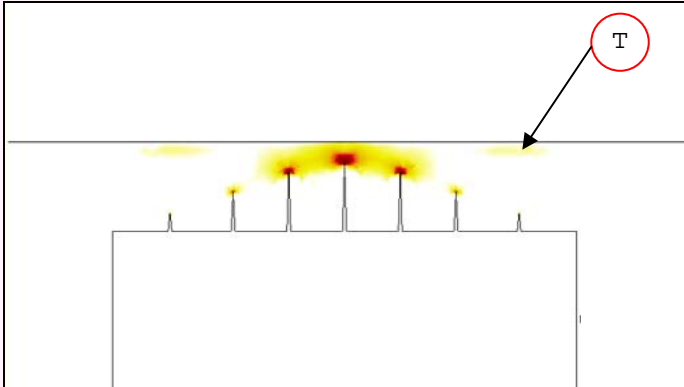
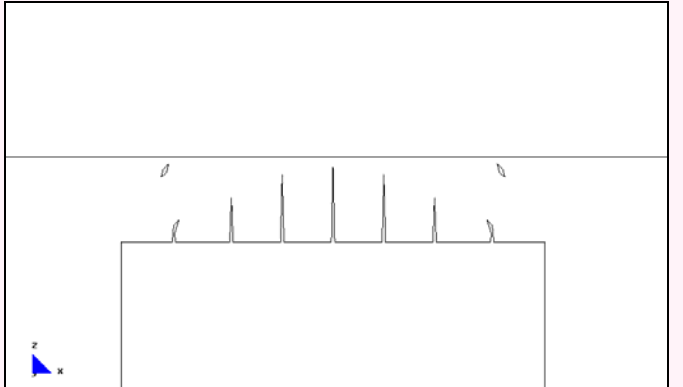
³³ Colores que se aproximan al blanco.

2.2.3 Localización de las fisuras

Los gráficos generados para este estudio corresponden a modelos con influencia del zuncho de forjado embebido en las paredes de fábrica.

También es importante indicar que los resultados con los que trabajamos pertenecen a las fuerzas "N11"³⁴.

En el (CUADRO 13) se muestra una visión global del proceso utilizado para localizar las fisuras en los modelos. Cada uno de los pasos es explicado detalladamente en las páginas siguientes:

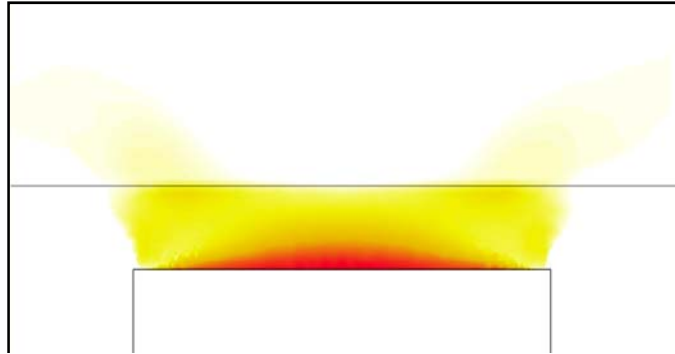
(CUADRO 13) PROCESO PARA LOCALIZAR LAS FISURAS		
<p>a)</p> 	<p>b)</p> 	<p>c)</p> 
<p>(GRAF.2: 19) Selección de toda la zona traccionada del modelo.</p>	<p>(GRAF.2: 20) Selección de la zona traccionada que supera la σ_t.</p>	<p>(GRAF.2: 21) Selección de la zona que rompe en primer lugar.</p>
<p>d)</p> 	<p>e)</p> 	<p>f)</p> 
<p>(GRAF.2: 22) Formación del primer grupo de fisuras.</p>	<p>(GRAF.2: 23) Localización de las zonas menos tensionadas que no desaparecen de una etapa a otra.</p>	<p>(GRAF.2: 24) Formación de fisuras en las zonas localizadas en el paso anterior.</p>

³⁴ Ver apartado "2.4.4.2.2".

A continuación se explican detalladamente los pasos para localizar las fisuras en los diferentes gráficos expuestos en el cuadro anterior:

a. Selección de toda la zona traccionada del modelo.

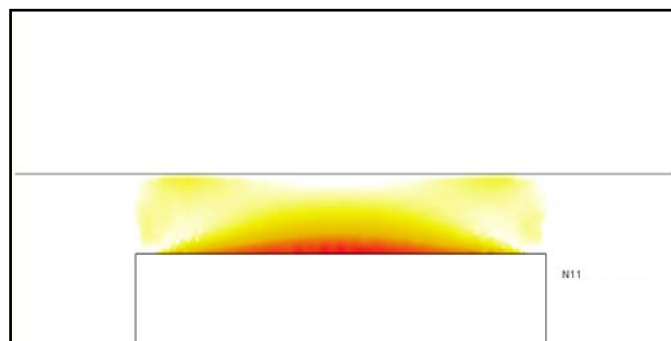
La zona traccionada tiene un rango de valores que va desde cero a los máximos valores de los esfuerzos.



(GRAF.2: 19) Selección de toda la zona traccionada del modelo.

b. Selección de la zona traccionada que supera la σ_t .

Se selecciona la zona que supera la resistencia a tracción del material de 0,10N/mm². Tengamos en cuenta que la zona que rompe se localiza por debajo del zuncho perimetral³⁵ del forjado embebido en la pared de carga³⁶.



(GRAF.2: 20) Selección de la zona traccionada que supera la σ_t .

c. Selección de la zona que rompe primero.

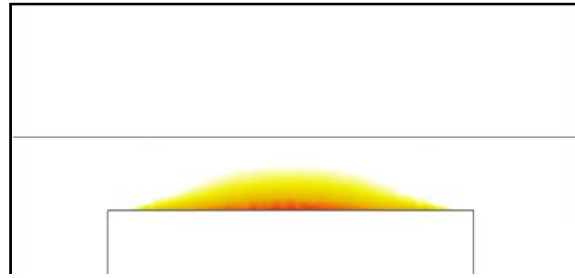
Se selecciona un rango de fuerzas que incluye las zonas más tensionadas, por ser las primeras en romper³⁷. Hay que tener en cuenta que no se representan las zonas traccionadas con valores menores³⁸.

³⁵ El zuncho reduce la fisuración, como consecuencia del efecto de zunchado que introduce en la pared, según lo comprobado en el Capítulo-4.

³⁶ Lógicamente esta zona se puede apreciar en el gráfico del paso anterior, pero con tonalidades más intensas.

³⁷ En la mayoría de los casos simétricos las fisuras se localizan en la parte central del apeo, como es el caso del modelo utilizado.

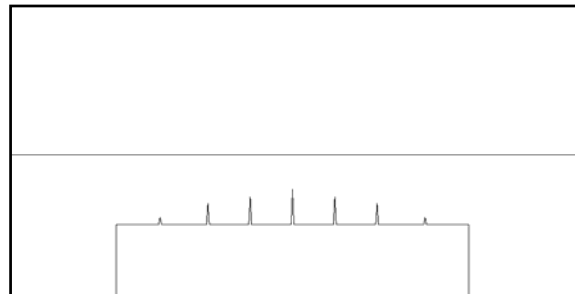
³⁸ Aunque localmente puedan también superar la tensión σ_t .



(GRAF.2: 21) Selección de la zona que rompe en primer lugar.

d. Formación del primer grupo de fisuras.

Determinada la zona anterior se forma el primer grupo de fisuras en el modelo³⁹.



(GRAF.2: 22) Formación del primer grupo de fisuras.

e. Localización de las zonas menos tensionadas que no desaparecen de una etapa a otra.

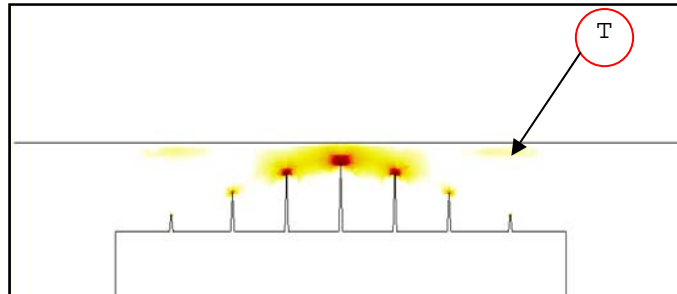
En algunos de los casos las fuerzas menores tienden a desaparecer en el momento que aparecen las primeras fisuras. Mientras que en otros se mantienen e incluso aumentan de valor.

En el (CUADRO 14) se observa que la zona "T", que existía en el paso "b", no desaparece aunque existan las fisuras introducidas en el paso "d".

(CUADRO 14) ANÁLISIS DE LA ZONA "T"	
<p>b)</p>	<p>d)</p>
<p>(GRAF.2: 20) Selección de la zona traccionada que supera la σ_t.</p>	<p>(GRAF.2: 23) Localización de las zonas menos tensionadas que no desaparecen de una etapa a otra.</p>

³⁹ Las fisuras serán perpendiculares a las fuerzas que las generan.

Observemos que en este caso, la zona "T"⁴⁰ no desaparece al pasar de una etapa a otra, en estas circunstancias, en dicha zona se introducen unas nuevas fisuras⁴¹, como se expone en el paso siguiente. En el (GRAF.2: 23) se aprecia en mayor escala dicha zona:

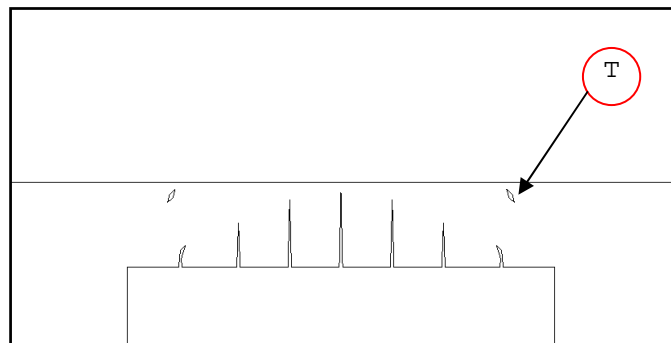


(GRAF.2: 23) Localización de las zonas menos tensionadas que no desaparecen de una etapa a otra.

f. Formación de fisuras en las zonas localizadas en el paso anterior.

Es por ello que en este caso el siguiente paso consiste en introducir fisuras inclinadas en los extremos, localizadas en la zona "T".

En el gráfico (GRAF.2: 24) se pueden apreciar dichas fisuras:



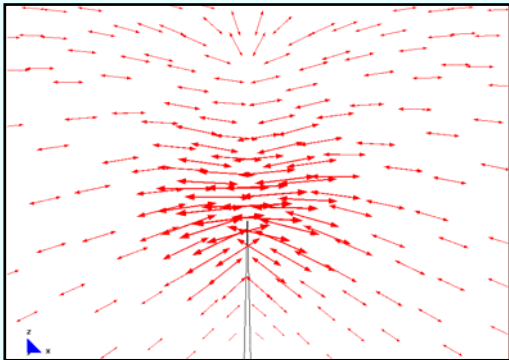
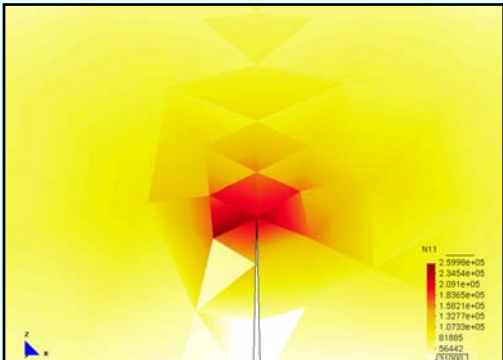
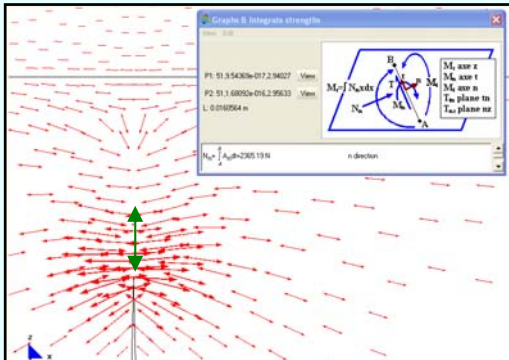
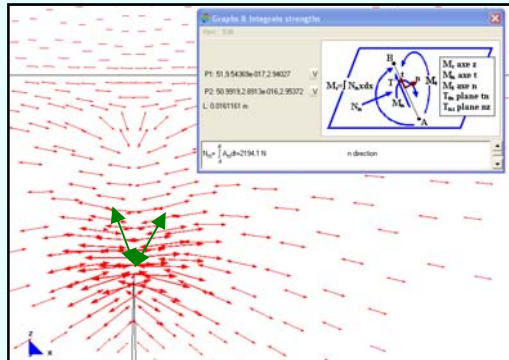
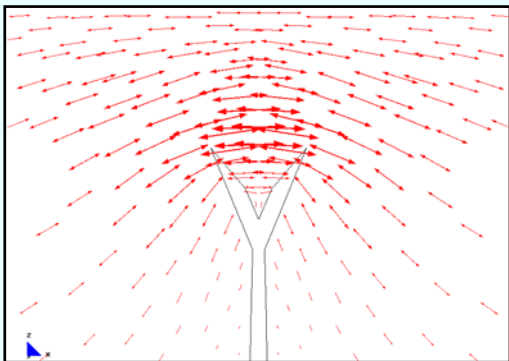
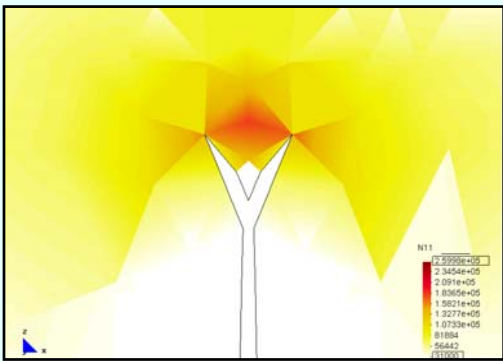
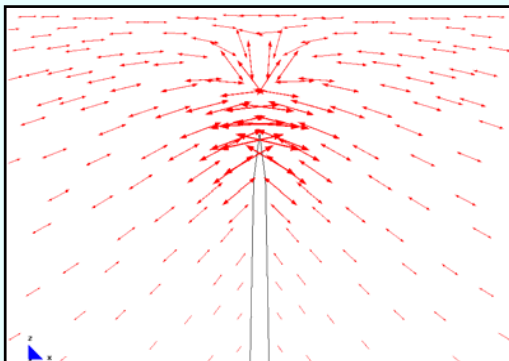
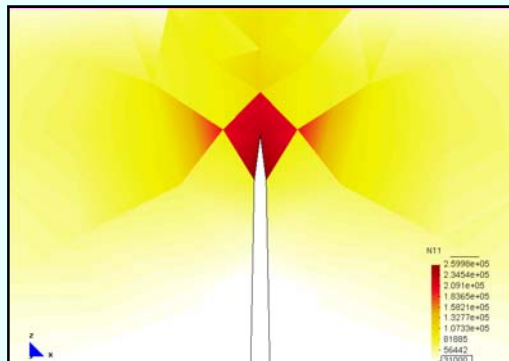
(GRAF.2: 24) Formación de fisuras en las zonas localizadas en el paso anterior.

⁴⁰ Que es una zona de tracciones con valores pequeños, pero con magnitud superior a la que se considera de rotura.

⁴¹ Que en este caso son inclinadas y son aquellas que darán lugar a la formación del arco de descarga del modelo.

2.2.4 Determinación de la trayectoria de las fisuras

El cuadro que vemos a continuación muestra una idea general del proceso considerado para determinar la trayectoria de la dirección de las fisuras en cada uno de los modelos. Explicamos detalladamente cada uno de los pasos en las páginas siguientes:

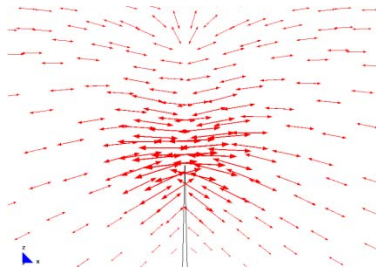
(CUADRO 15) PROCESO PARA DETERMINAR LA TRAYECTORIA DE LA DIRECCIÓN DE LAS FISURAS			
g)		h)	
			
(GRAF.2: 25) Vectores "Sii".	(GRAF.2: 26) Fuerzas "N11".	(GRAF.2: 27) Integración de los Vectores "Sii" ⁴⁵ , en diferentes direcciones.	
Objetivo: determinar la mejor trayectoria de la fisura partiendo de esta información.		Paso 1: integrar las fuerzas en diferentes direcciones.	
i)			
			
(GRAF.2: 28) Dos fisuras: vectores "Sii".	(GRAF.2: 29) Dos fisuras: fuerzas "N11".	(GRAF.2: 30) Una fisura: vectores "Sii".	(GRAF.2: 31) Una fisura: fuerzas "N11".
Paso 2.- Modelizar la trayectoria de las direcciones definidas en el Paso-1			
Selección de la trayectoria de la fisura para aplicarla al modelo definitivo. ("Sii" ⁴² , "N11" ⁴³)			

⁴² Vectores en las direcciones principales; ver 2.

⁴³ Fuerzas en las direcciones principales; ver 2.

g. Determinar la mejor trayectoria de la fisura partiendo de la información indicada a continuación.

A partir de una fisura existente presentamos un caso práctico, en el cual se selecciona la dirección por donde se propaga la fisura. Se puede observar que en la cabeza de la discontinuidad⁴⁴ existen algunas posibles direcciones principales de propagación. El ejercicio consiste en determinar cuál de éstas representaría la realidad de forma más precisa.



(GRAF.2: 25) Vectores "Sii".⁴⁵



(GRAF.2: 26) Fuerzas "N11".⁴⁶

En este caso se puede prever que la fisura seguirá una trayectoria vertical recta, ya que observamos una concentración superior de vectores horizontales.

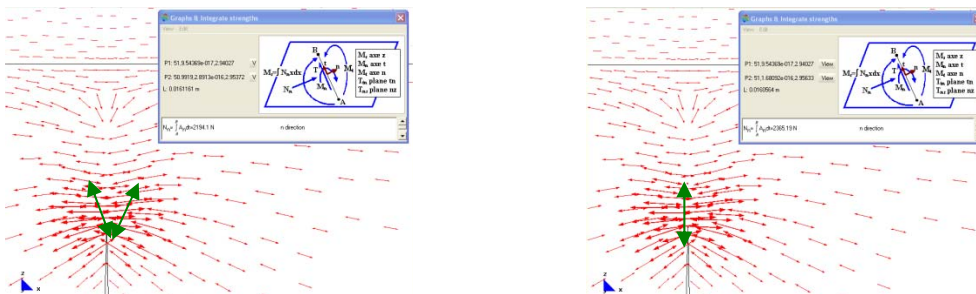
Para poder confirmar esta hipótesis se realizan dos análisis que deben ser compatibles el uno con el otro. Sólo en ese caso se puede dar la hipótesis como válida y se podría aplicar este proceso a todos los modelos⁴⁷.

Los análisis realizados son los siguientes:

h. Integrar las fuerzas en diferentes direcciones.

Teniendo claro que como máximo podemos admitir la formación de dos fisuras en cada punto se obtiene la dirección que coincida con la fuerza máxima. Para ello procedemos a realizar la integración de cada una de las dos direcciones.

La primera integración se realiza en la dirección perpendicular de los vectores inclinados (figura izquierda). La segunda integración corresponde a una dirección perpendicular a los vectores horizontales (figura derecha).



(GRAF.2: 27) Integración de los Vectores "Sii"⁴⁵, en diferentes direcciones.

⁴⁴ Tras haber superado la resistencia a tracción del material.

⁴⁵ Vectores en las direcciones principales; ver 2.

⁴⁶ Fuerzas en las direcciones principales; ver 2.

⁴⁷ Que se desarrollan a lo largo de la Tesis.

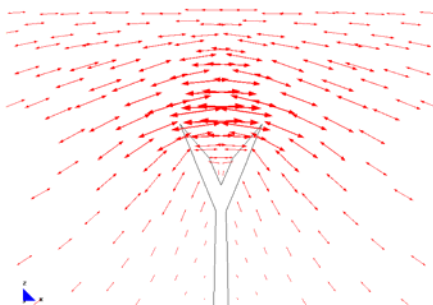
Si comparamos ambos resultados se observa que efectivamente las máximas fuerzas se concentran en los vectores horizontales; con ello, podemos dar como válida la segunda dirección de la propagación de la fisura.

i. Modelizar la trayectoria de las direcciones definidas en el punto anterior.

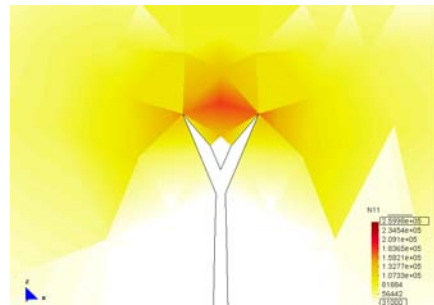
Para constatar los resultados anteriores se realiza el modelo para ambos casos de la propagación de la fisura.

Consideramos además otro aspecto⁴⁸: la concentración de las fuerzas de tracción deben localizarse siempre en la cabeza de la nueva fisura; nunca en sus lados.

En el primer caso se permite la formación de dos fisuras con direcciones perpendiculares a los vectores que las generan (vectores inclinados). Observamos que las máximas fuerzas se localizan en la parte central y no en la cabeza.

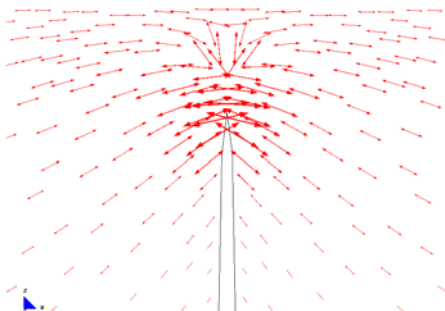


(GRAF.2: 28) Dos fisuras: vectores "Sii".⁴⁹

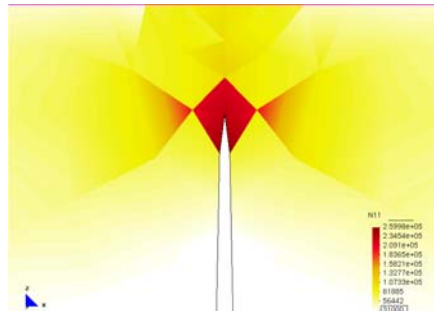


(GRAF.2: 29) Dos fisuras: fuerzas "N11".⁵⁰

En el segundo se permite la formación de una nueva fisura con dirección perpendicular a los vectores que las generan (vectores horizontales). Aquí, en cambio, observamos que las máximas fuerzas se localizan en la cabeza.



(GRAF.2: 30) Una fisura: vectores "Sii".



(GRAF.2: 31) Una fisura: fuerzas "N11".

Es importante constatar que estos resultados concuerdan con los obtenidos en el primer análisis (apartado "a"): las máximas fuerzas se encuentran en la cabeza; por ello se incluirá tal fisura en el modelo real de la pared para proseguir con su análisis evolutivo.

⁴⁸ Citado anteriormente.

⁴⁹ Vectores en las direcciones principales; ver 2.

⁵⁰ Fuerzas en las direcciones principales; ver 2.

2.2.5 Mallado de los modelos

El mallado de los modelos es un factor muy importante para obtener buenos resultados, mientras más pequeño sea los resultados serán mucho más precisos. Se obtiene mayor precisión si usamos elementos con más cantidad de nodos internos (más grados de libertad). El hecho de que la malla sea muy densa y con un número superior de nodos tiene también sus desventajas: el aumento del tiempo de cálculo y de la memoria necesaria para desarrollar dicho proceso.

En los modelos de los Capítulos del 2 al 6 se utiliza un mallado con una longitud de 0,20m en toda la pared.

En los modelos del Capítulo-7, con el fin de optimizar el mallado, hemos optado por hacer más densa la malla en la zona más conflictiva⁵¹ y menos densa en el resto del modelo. Utilizamos el elemento finito triangular de 3 nodos con una dimensión de 0,05m de longitud en las zonas densas y de 1,00m en las zonas restantes. Adicionalmente se hacen mallados especiales en los siguientes puntos: en las caras laterales de los elementos que dan a huecos se usa una dimensión de 0,05m⁵² y en las cabezas de las fisuras se densifica el mallado con una longitud de 0,01m⁵³.

(CUADRO 16) REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL MALLADO UTILIZADO EN LOS MODELOS DEL CAPÍTULO-7 Y DETALLES GENERALES DEL MALLADO EN PUNTOS SINGULARES DE LOS MODELOS			
MALLADO DE MODELOS: ZUNCHO DE FORJADO: 0,001X0,001M			DETALLES generales en puntos singulares.
M-1 	M-2 	M-3 	
(GRAF.2: 32) Modelo-1 (M-1): mallado grande = 1,00m; mallado pequeño = 0,05m.	(GRAF.2: 33) Modelo-2 (M-2): mallado grande = 1,00m; mallado pequeño = 0,05m.	(GRAF.2: 34) Modelo-3 (M-3): mallado grande = 1,00m; mallado pequeño = 0,05m.	(GRAF.2: 35) Lado del modelo que da a un hueco: malla 0,05m.
M-4 	M-5 	M-6 	
(GRAF.2: 36) Modelo-4 (M-4): mallado grande = 1,00m; mallado pequeño = 0,05m.	(GRAF.2: 37) Modelo-5 (M-5): mallado grande = 1,00m; mallado pequeño = 0,05m.	(GRAF.2: 38) Modelo-6 (M-6): mallado grande = 1,00m; mallado pequeño = 0,05m.	(GRAF.2: 39) Lado del modelo que da a un hueco: malla 0,05m.
MALLADO DE MODELOS: ZUNCHO DE FORJADO: 0,20x0,20m			
M-7 	M-8 	M-9 	
(GRAF.2: 40) Modelo-7 (M-7): Mallado general = 0,20m.	(GRAF.2: 41) Modelo-8 (M-8): mallado grande = 1,00m; mallado pequeño = 0,05m.	(GRAF.2: 42) Modelo-9 (M-9): mallado grande = 1,00m; mallado pequeño = 0,05m.	(GRAF.2: 43) En la cabeza de las fisuras: malla 0,01m.

⁵¹ Zona superior de los huecos de planta baja.

⁵² Ver (GRAF.2: 35) y (GRAF.2: 39).

⁵³ Ver (GRAF.2: 43).

MJG

CAPÍTULO-2

- 1.- APEOS
- 2.- METODOLOGÍA UTILIZADA
- 3.- *CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS ANALIZADOS*
- 4.- INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

MJIG

2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS
ANALIZADOS

- 1.- ESTADO DE CARGA DE LOS FORJADOS
- 2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS ZUNCHOS PERIMETRALES
- 3.- CONDICIONES DE CONTORNO
- 4.- FORMAS DE LOS ARCOS UTILIZADOS
- 5.- MODELOS ESTUDIADOS EN LOS DIFERENTES CAPÍTULOS

2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS ANALIZADOS

2.3.1 Estado de carga de los forjados

El modelo representa una pared medianera de un edificio, el número de plantas se especifica en cada uno de los capítulos. El estado de carga general utilizado es el siguiente:

Estado de carga en zonas de vivienda:

Pp	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000
Cp	Tn/m ²	0,15
	N/m	6.000
Su	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000

Estado de carga en terraza (sólo de mantenimiento):

Pp	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000
Cp	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000
Su	Tn/m ²	0,15
	N/m	6.000

pp=Peso propio

cp=cargas permanentes

su + N=sobrecargas de uso + nieve

Como se puede apreciar en el (CUADRO 24), los diferentes modelos que analizamos incluyen el arco de ángulos rectos. A pesar de los inconvenientes que origina, lo hemos seleccionado⁵⁴ por tratarse del arco más usado en las estructuras de obra de fábrica, dada la facilidad de su trazado en obra.

2.3.2 Características de los Zunchos Perimetrales

En el estudio se consideran zunchos de hormigón armado cuyas dimensiones se especifican en cada uno de los capítulos.

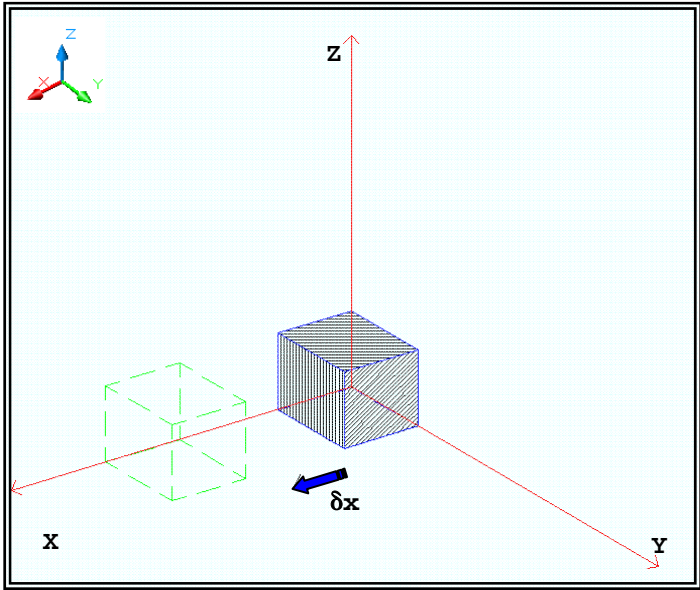
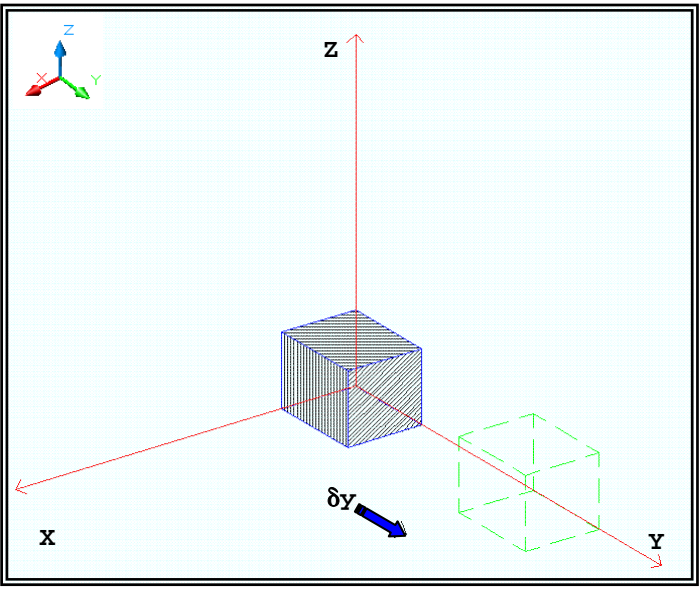
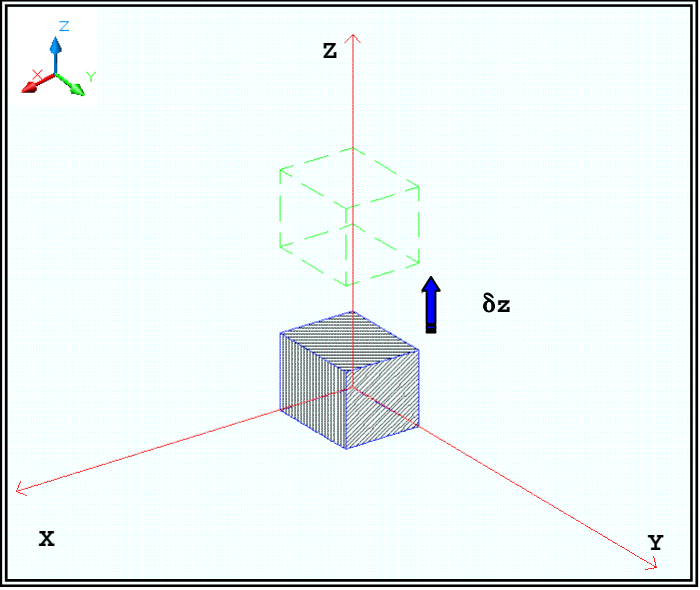
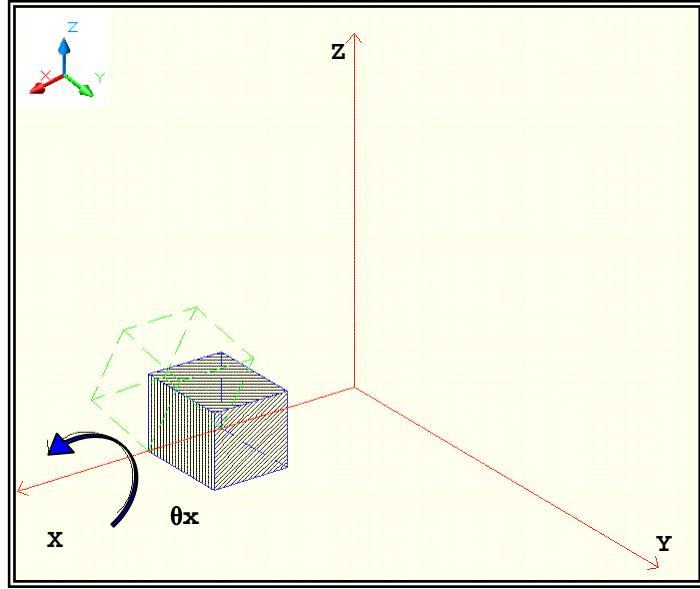
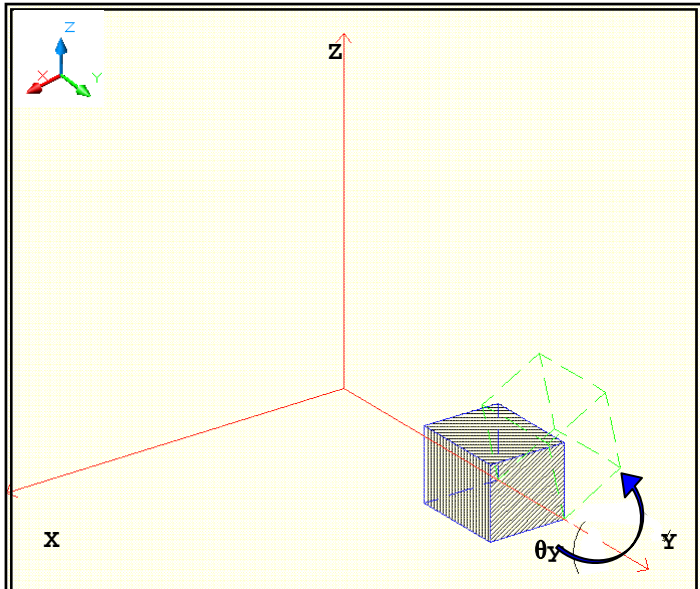
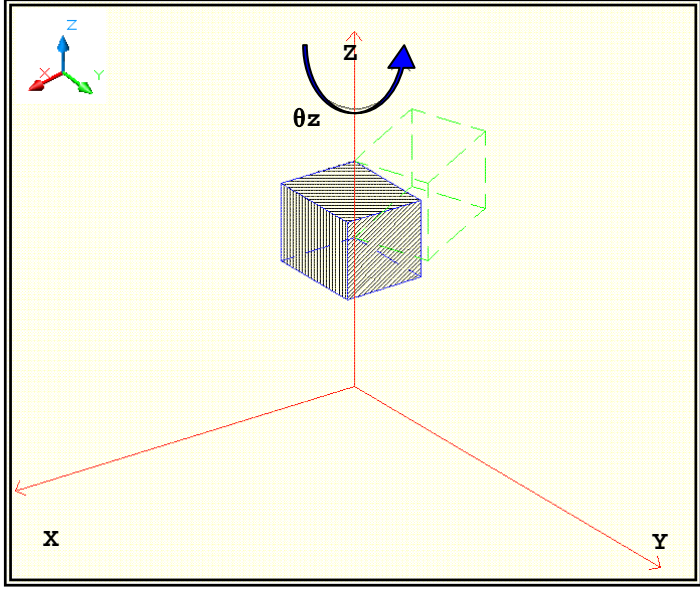
En el cálculo no se tiene en cuenta el peso propio de los zunchos.

Los zunchos se modelizan como elementos barra.

⁵⁴ Al igual que en el capítulo precedente.

2.3.3 Condiciones de Contorno

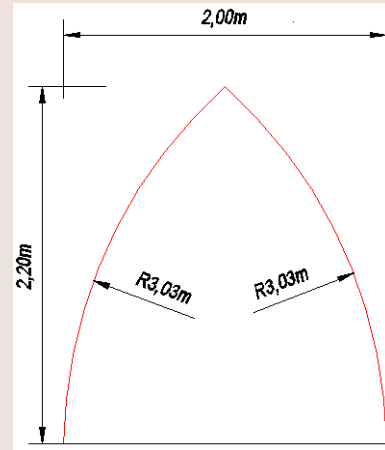
La representación gráfica de los desplazamientos y giros positivos se indican en el siguiente cuadro.

(CUADRO 17) REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO		
DESPLAZAMIENTOS: ($\delta X = \delta Y = \delta Z = 0$) $\delta = U$		
		
(GRAF.2: 44) Representación del Desplazamiento-x (δx).	(GRAF.2: 45) Representación del Desplazamiento-y (δy).	(GRAF.2: 46) Representación del Desplazamiento-z (δz).
GIROS: ($\theta X = \theta Y = \theta Z = 0$)		
		
(GRAF.2: 47) Representación del giro-x (θx).	(GRAF.2: 48) Representación del giro-y (θy).	(GRAF.2: 49) Representación del giro-z (θz).

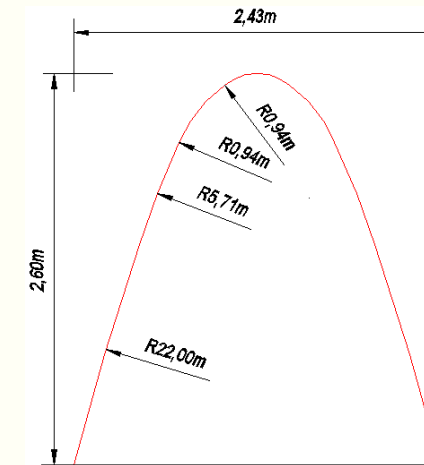
2.3.4 Formas de los arcos utilizados

Para determinar la influencia de la forma de los huecos se seleccionan 5 tipos de arcos que se presentan a continuación.

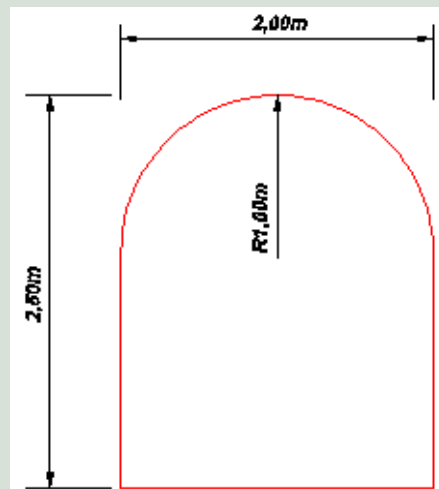
(CUADRO 18) TIPOLOGÍA DE ARCOS A ESTUDIAR EN EL CAPÍTULO-2



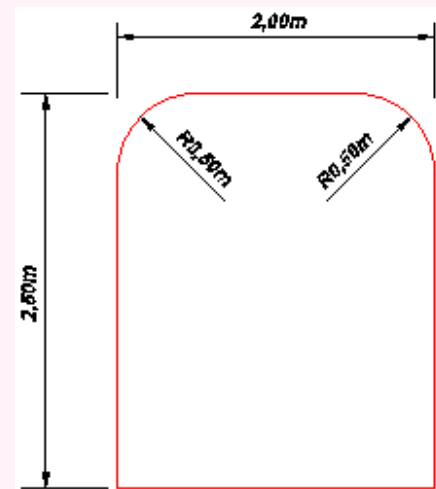
(GRAF.2: 50) Hueco con arco ojival.



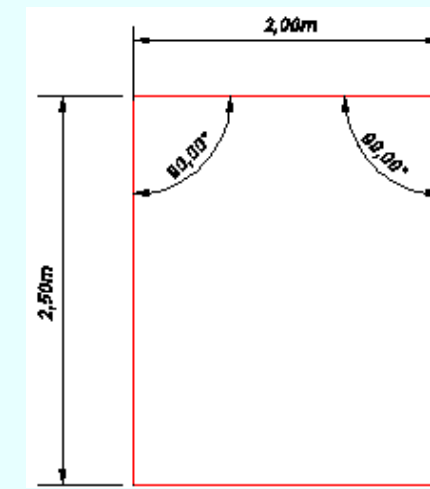
(GRAF.2: 51) Hueco con arco ideal.



(GRAF.2: 52) Hueco con arco de medio punto.



(GRAF.2: 53) Hueco con arco carpanel.

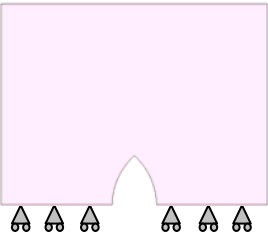
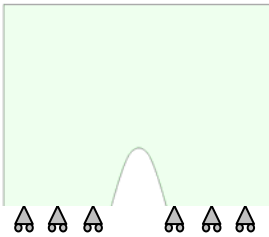
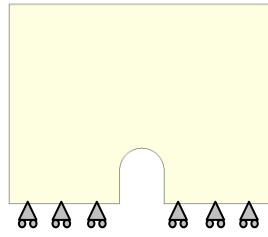
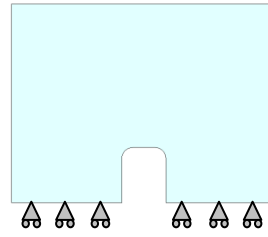
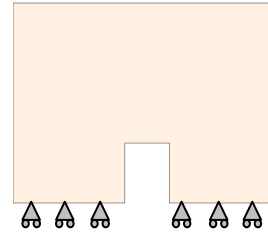
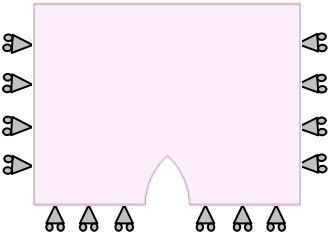
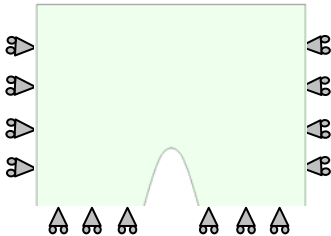
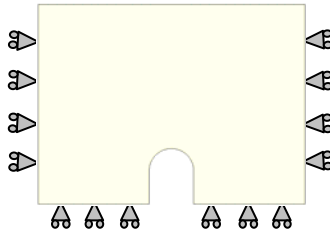
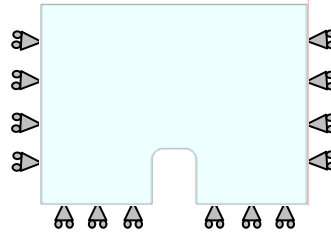
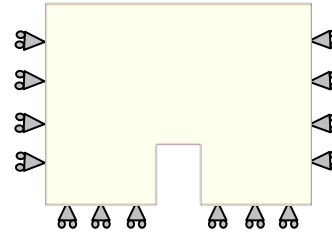
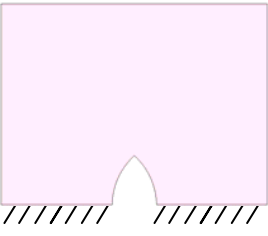
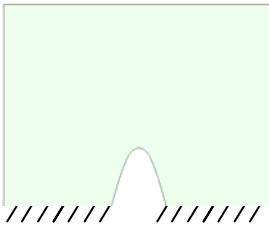
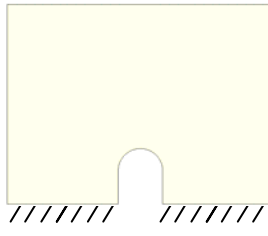
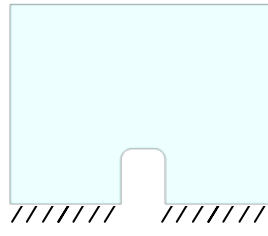
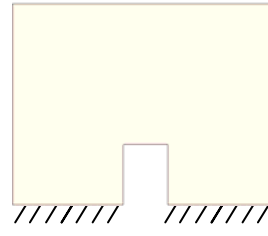
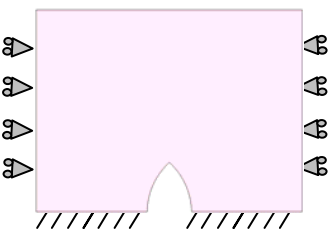
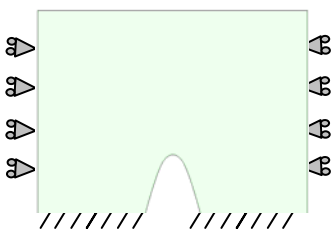
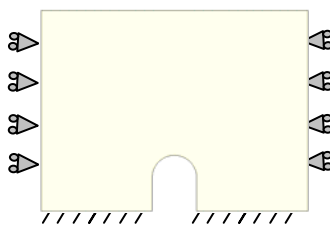
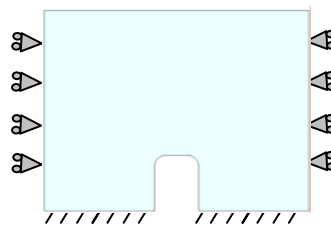
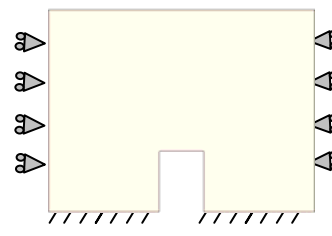


(GRAF.2: 54) Hueco con arco de ángulos rectos.

2.3.5 Modelos estudiados en los diferentes capítulos

2.3.5.1 Modelos analizados en el Capítulo-3

Para analizar la influencia de la forma de los huecos y de las condiciones de contorno, sin tener en consideración el zuncho de forjado, se desarrollan 20 modelos:

(CUADRO 19) ESQUEMAS DE LOS MODELOS CON LAS DIFERENTES CONDICIONES DE CONTORNO A ANALIZAR EN EL CAPÍTULO-3					
	ARCO OJIVAL (A.O)	ARCO IDEAL (A.I)	ARCO DE MEDIO PUNTO (A.M.P)	ARCO CARPANEL (A.CP)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS (A.R)
BASE APOYADA (BA)					
	(GRAF.2: 55) A. Ojival: BA	(GRAF.2: 56) A. Ideal: BA	(GRAF.2: 57) A. Medio punto: BA	(GRAF.2: 58) A. Carpanel: BA	(GRAF.2: 59) A. A. Recto: BA
BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL)					
	(GRAF.2: 60) A. Ojival: BA-RL	(GRAF.2: 61) A. Ideal: BA-RL	(GRAF.2: 62) A. Medio punto: BA-RL	(GRAF.2: 63) A. Carpanel: BA-RL	(GRAF.2: 64) A. A. Recto: BA-RL
BASE EMPOTRADA (BE)					
	(GRAF.2: 65) A. Ojival: BE	(GRAF.2: 66) A. Ideal: BE	(GRAF.2: 67) A. Medio punto: BE	(GRAF.2: 68) A. Carpanel: BE	(GRAF.2: 69) A. A. Recto: BE
BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL)					
	(GRAF.2: 70) A. Ojival: BE-RL	(GRAF.2: 71) A. Ideal: BE-RL	(GRAF.2: 72) A. Medio punto: BE-RL	(GRAF.2: 73) A. Carpanel: BE-RL	(GRAF.2: 74) A. A. Recto: BE-RL

2.3.5.2 Modelos analizados en el Capítulo-4

Para analizar la influencia de la forma de los huecos, de las condiciones de contorno y la influencia de considerar el zuncho de forjado se presentan 16 modelos:

(CUADRO 20) ESQUEMAS DE LOS MODELOS CON LAS DIFERENTES CONDICIONES DE CONTORNO A ANALIZAR EN EL CAPÍTULO-4				
	ARCO IDEAL (A.I)	ARCO DE MEDIO PUNTO (A.M.P)	ARCO CARPANEL (A.CP)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS (A.R)
BASE APOYADA (BA)				
	(GRAF.2: 75) A. Ideal: BA	(GRAF.2: 76) A. Medio punto: BA	(GRAF.2: 77) A. Carpanel: BA	(GRAF.2: 78) A. A. Recto: BA
BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL)				
	(GRAF.2: 79) Ideal: BA-RL	(GRAF.2: 80) A. Medio punto: BA-RL	(GRAF.2: 81) A. Carpanel: BA-RL	(GRAF.2: 82) A. A. Recto: BA-RL
BASE EMPOTRADA (BE)				
	(GRAF.2: 83) A. Ideal: BE	(GRAF.2: 84) A. Medio punto: BE	(GRAF.2: 85) A. Carpanel: BE	(GRAF.2: 86) A. A. Recto: BE
BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL)				
	(GRAF.2: 87) A. Ideal: BE-RL	(GRAF.2: 88) A. Medio punto: BE-RL	(GRAF.2: 89) A. Carpanel: BE-RL	(GRAF.2: 90) A. A. Recto: BE-RL

2.3.5.3 Modelos analizados en el Capítulo-5

2.3.5.3.1 Modelos: influencia del tamaño de los apeos

Para analizar la influencia del tamaño de los apeos, en las paredes de obra de fábrica, se desarrollan 4 modelos:

(CUADRO 21) CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL PRIMER APARTADO DEL CAPÍTULO-5	
(GRAF.2: 91) Dimensionado del modelo con hueco de 1,50m.	(GRAF.2: 92) Dimensionado del modelo con hueco de 2,50m.
(GRAF.2: 93) Dimensionado del modelo con hueco de 3,50m.	(GRAF.2: 94) Dimensionado del modelo con hueco de 4,50m.

2.3.5.3.2 Modelos: influencia de la posición de los apeos

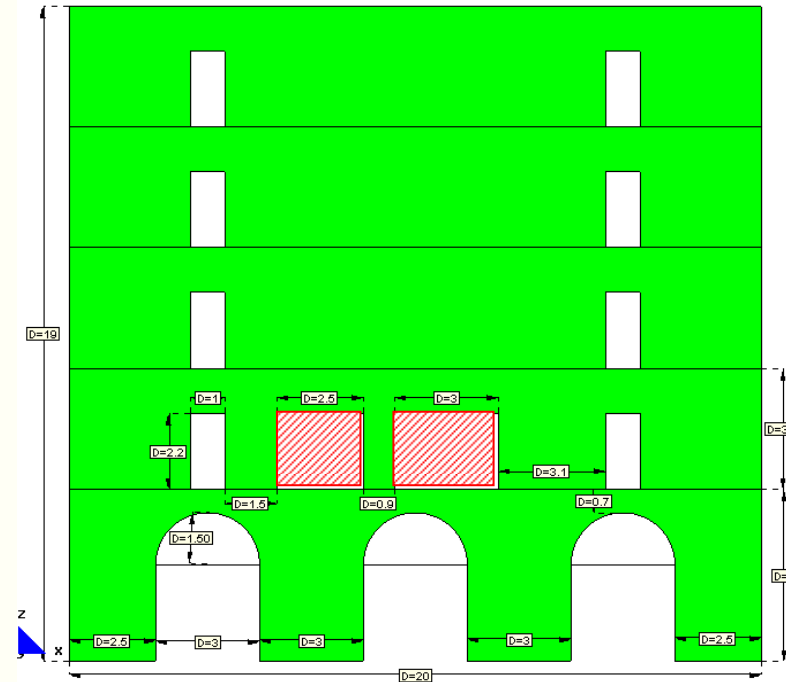
Para analizar la influencia de la posición de los apeos, en las paredes de obra de fábrica, se elaboran 120 modelos que se indican en el siguiente cuadro:

(CUADRO 22) MODELOS A ANALIZAR EN EL SEGUNDO APARTADO DEL CAPÍTULO-5: DE 2, 3, 4, 5 ,6 Y 10 PLANTAS, CON HUECOS EN DIFERENTES PLANTAS Y CON UNA ABERTURA DE 1,50M, 2,50M, 3,50M Y 4,50M												
Nº P	L	HUECO EN P. BAJA	HUECO EN P. PRIMERA	HUECO EN P. SEGUNDA	HUECO EN P. TERCERA	HUECO EN P. CUARTA	HUECO EN P. QUINTA	HUECO EN P. SEXTA	HUECO EN P. SÉPTIMA	HUECO EN P. OCTAVA	HUECO EN P. NOVENA	
2-PLANTAS	1,50m											2-PLANTAS
	2,50m											
	3,50m											
	4,50m											
3-PLANTAS	1,50m											3-PLANTAS
	2,50m											
	3,50m											
	4,50m											
4-PLANTAS	1,50m											4-PLANTAS
	2,50m											
	3,50m											
	4,50m											
5-PLANTAS	1,50m											5-PLANTAS
	2,50m											
	3,50m											
	4,50m											
6-PLANTAS	1,50m											6-PLANTAS
	2,50m											
	3,50m											
	4,50m											
10-PLANTAS	1,50m											10-PLANTAS
	2,50m											
	3,50m											
	4,50m											
Nº P	L	HUECO EN P. BAJA	HUECO EN P. PRIMERA	HUECO EN P. SEGUNDA	HUECO EN P. TERCERA	HUECO EN P. CUARTA	HUECO EN P. QUINTA	HUECO EN P. SEXTA	HUECO EN P. SÉPTIMA	HUECO EN P. OCTAVA	HUECO EN P. NOVENA	

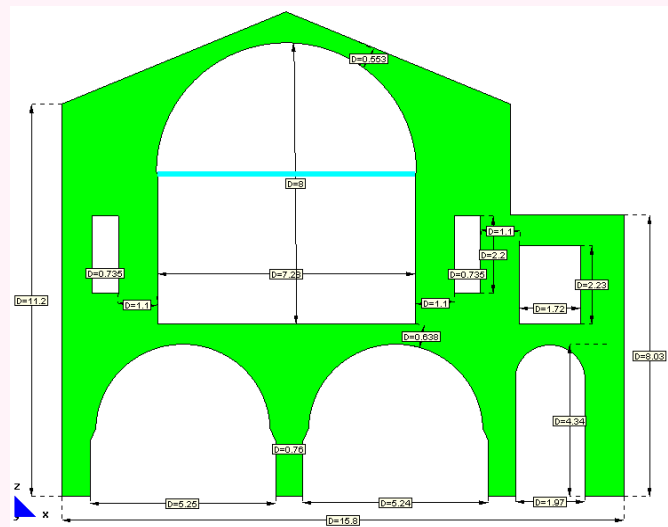
2.3.5.4 Modelos analizados en el Capítulo-6

Para corroborar la fiabilidad del método se presentan 3 modelos.

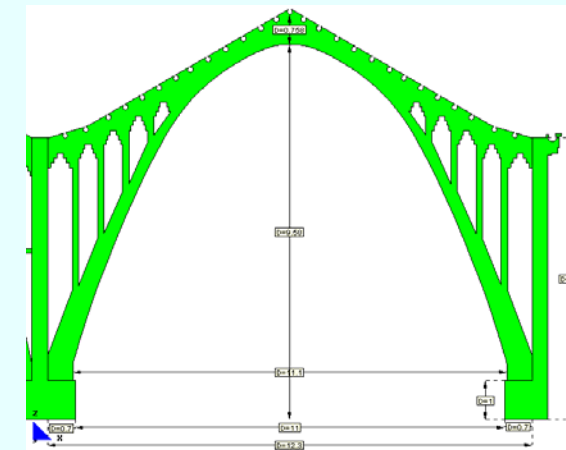
(CUADRO 23) REPRESENTACIÓN GEOMÉTRICA DE LOS MODELOS DEL CAPÍTULO-6



(GRAF.2: 95) Edificio de viviendas: apertura de dos apeos (nuevos huecos), en un muro de la primera planta.



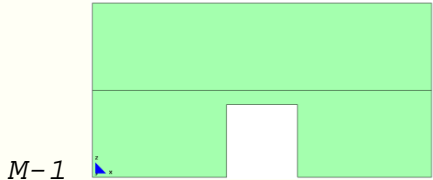
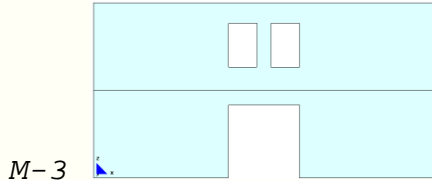
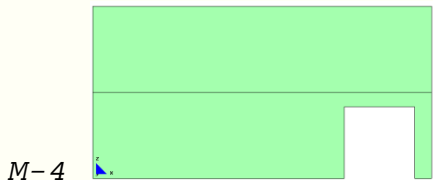
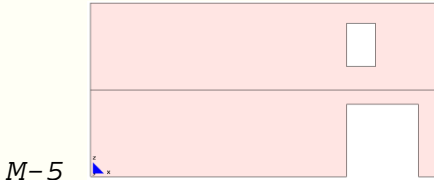
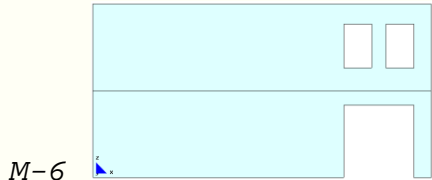

(GRAF.2: 96) Pared colapsada: asentamiento de una zapata de cimentación.



(GRAF.2: 97) Complejo industrial: conjunto de arcos fisurados.

2.3.5.5 Modelos analizados en el Capítulo-7

El desarrollo del mecanismo de colapso en las paredes (arco de descarga) se analiza en 12 modelos con diferentes características y que se exponen en el siguiente cuadro.

(CUADRO 24) CUADRO DE RESUMEN DE LOS MODELOS DEL CAPÍTULO-7		
MODELOS CON ZUNCHO DE FORJADO: 0,001X0,001M		
MODELOS SIMÉTRICOS		
 <p>M-1</p>	 <p>M-2</p>	 <p>M-3</p>
<p>(GRAF.2: 98) Modelo-1 (M-1): hueco central en la planta baja.</p>	<p>(GRAF.2: 99) Modelo-2 (M-2): hueco central en la planta baja y alta.</p>	<p>(GRAF.2: 100) Modelo-3 (M-3): hueco central en planta baja y dos en la planta alta.</p>
MODELOS EXCÉNTRICOS		
 <p>M-4</p>	 <p>M-5</p>	 <p>M-6</p>
<p>(GRAF.2: 101) Modelo-4 (M-4): hueco excéntrico en planta baja.</p>	<p>(GRAF.2: 102) Modelo-5 (M-5): hueco excéntrico en planta baja y alta.</p>	<p>(GRAF.2: 103) Modelo-6 (M-6): hueco excéntrico en planta baja y dos en planta alta.</p>
MODELOS CON ZUNCHO DE FORJADO: 0,20X0,20M		
 <p>M-7</p>	 <p>M-8</p>	 <p>M-9</p>
<p>(GRAF.2: 104) Modelo-7 (M-7): modelo de dos plantas.</p>	<p>(GRAF.2: 105) Modelo-8 (M-8): modelo de cinco plantas.</p>	<p>(GRAF.2: 106) Modelo-9 (M-9): modelo de cinco plantas, considerando un peso equivalente a 10 plantas.</p>

MJG

CAPÍTULO-2

- 1.- APEOS
- 2.- METODOLOGÍA UTILIZADA
- 3.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS ANALIZADOS
- 4.- *INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA*

MJIG

2.4 INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

- 1.- DESCRIPCIÓN DE LA MAMPOSTERÍA
- 2.- LA CATENARIA Y LA PARÁBOLA
- 3.- DESCRIPCIÓN DE LOS PROGRAMAS UTILIZADOS

MJIG

2.4 INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

- 1.- DESCRIPCIÓN DE LA MAMPOSTERÍA
- 2.- LA FISURACIÓN
- 3.- LA CATENARIA Y LA PARÁBOLA
- 4.- DESCRIPCIÓN DE LOS PROGRAMAS UTILIZADOS

MJIG

2.4.1 DESCRIPCIÓN DE LA MAMPOSTERÍA

- 1.- PROPIEDADES INDIVIDUALES DE LOS MATERIALES QUE COMPONEN LA MAMPOSTERÍA
- 2.- PROPIEDADES DEL MATERIAL COMPUESTO: MAMPOSTERÍA
- 3.- MÉTODOS DE CÁLCULO GENERAL Y MÉTODO PROPUESTO EN LA TESIS INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA.

2.4 INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

2.4.1 Descripción de la mampostería⁵⁵

Por mampostería se entiende el conjunto de dos fases materiales constituidas por bloques⁵⁶ y una sucesión de juntas de mortero dispuestas en forma irregular⁵⁷ o regular⁵⁸. En el caso del presente trabajo nos centraremos en la mampostería compuesta por ladrillos de forma regular y paralelepípedo.

La mampostería es un material que transmite cargas de compresión de forma muy efectiva. Su comportamiento está sujeto a complejos estados tensionales, está marcadamente influenciado por la orientación de las juntas de mortero⁵⁹ y las cargas aplicadas.

Dependiendo del grado de compresión al que se vea sometido, el fallo puede ocurrir solamente en las juntas o en una combinación de fisuración junta-mortero. El fallo de las estructuras de mampostería va precedido, generalmente, por un desarrollo masivo de fisuración en dichas juntas que limitan la capacidad resistente final del material.

No todos los mecanismos de fractura en mampostería son totalmente comprensibles y los criterios de fisuración no han sido del todo desarrollados⁶⁰.

En los siguientes párrafos se describen algunas de las propiedades que caracterizan a la mampostería:

1. Ladrillos.

Las propiedades de los ladrillos fabricados a partir de arcilla horneada varían considerablemente en función de la hornada a la que pertenecen. En la actualidad, esta disipación de las propiedades del ladrillo se está resolviendo mediante la aplicación de normas de buena práctica ya estandarizadas⁶¹.

2. Mortero.

El mortero utilizado en mampostería está compuesto por diferentes combinaciones de cemento, arena y finos. Es usual la fabricación de morteros con menores resistencias que las del ladrillo. El logro de un mortero de alta resistencia no es tan importante como el de la consecución de una unión sólida entre mortero y ladrillo (Lenczner 1973)⁶².

⁵⁵ Datos extraídos de (López, Oller y Oñate 1998). Para mayor información consultar el libro citado y adicionalmente: (Martínez 2003), (Moreno 2006) páginas 178 a 188 y (Molins i Borrell 1996).

⁵⁶ Ya sean en forma natural o de fábrica, como los ladrillos.

⁵⁷ Como en el caso de la sillería.

⁵⁸ En este tipo, las juntas siguen la disposición del contorno de los ladrillos teniendo dos grupos principales: horizontales y verticales, como en el caso de la obra de fábrica.

⁵⁹ La resistencia mecánica de la mampostería es extremadamente baja mientras la unión mecánica sea baja y en los cálculos de diseño se suele tomar como "0" (Yokel and Fattal, 1976).

⁶⁰ Por lo que es usual la utilización de criterios de plasticidad aplicados en geomateriales (Mohr-Coulomb (1882), Drucker-Prager (1952), Lubliner-Oller (1990), etc).

⁶¹ Tales como la Norma ISO 9000 (International Organization for Standardization) y el CTE (Código Técnico de la Edificación).

⁶² Lenczner estableció que las deformaciones por deslizamiento en mampostería pueden ser bastante significativas siendo del mismo orden que el crecimiento de fisuración que ocurre cuando cambian los contenidos de humedad.

2.4.1.1 Propiedades individuales de los materiales que componen la mampostería

2.4.1.1.1 Propiedades del mortero y del ladrillo a nivel experimental

Los ensayos de compresión son fáciles de realizar y se obtienen buenos indicadores de la calidad de los materiales.

La dificultad de relacionar la resistencia a tracción de la mampostería con la resistencia a compresión se debe a las distintas formas, materiales, procesos constructivos y volumen de perforaciones en los ladrillos. Para la resistencia a tracción longitudinal de la arcilla, silicato cálcico y hormigón, Schubert (1988) estableció un test del que obtuvo una relación entre resistencia a tracción y compresión con rangos que oscilan entre 0,03 y 0,10. Para la energía de fractura a tracción G_f de sólidos arcillosos y silicatos cálcicos, Van Der Pluijm (1992) estableció valores con rangos entre 0,06 y 0,13 Nmm/mm² pudiendo alcanzar valores de hasta 1,50 a 3,50 Nmm/mm².

Ensayos biaxiales para el estudio del comportamiento de ladrillos y bloques son también carentes en la literatura existente. En el caso del mortero, la resistencia a compresión se obtiene a partir de ensayos estandarizados de probetas prismáticas de 40x40x160mm³ en ensayo a flexo-tracción.

En la Tesis consideramos que la resistencia del ladrillo es $f_b=25\text{N/mm}^2$ y la del mortero $f_m=15\text{N/mm}^2$.

2.4.1.1.2 Propiedades de la interfaz ladrillo-mortero

La unión entre ladrillo y mortero es, a menudo, una unión débil. El comportamiento no lineal de las juntas⁶³ es una de las propiedades más relevantes del comportamiento de la mampostería. Dos diferentes fenómenos aparecen en la interfaz ladrillo-mortero, uno asociado con la fisuración por tracción y otro con el modo de fallo debido a cortante.

1. Modo de fisuración por tracción.

Van der Pluijm, en 1992, realizó ensayos de deformación controlada en pequeñas probetas de mampostería. A través de estos ensayos se obtuvo una curva asociada al comportamiento a tracción con una forma próxima a una exponencial descendente (ablandamiento). Así mismo, se obtuvieron valores para la energía de fractura G_f asociados a este modo, que rondaban entre 0,005 a 0,02 N·mm/mm² para valores de resistencia a tracción del orden de 0,30 a 0,90 N/mm²⁶⁴. Observaciones mediante microscopía han revelado que el área efectiva de unión es menor que el espesor seccional de las juntas de mortero.

2. Modo de fisuración debido a cortante⁶⁵.

Un aspecto fundamental en la determinación de la respuesta a cortante de las juntas en mampostería es la capacidad de generarse estados uniformes de tensión en las juntas. Esto comporta que, en cualquier ensayo, existe la dificultad de obtención de este modo de comportamiento debido a que el equilibrio restringe la introducción de estados no uniformes de tensiones normales en la junta.

⁶³ El cual es controlado por la interfaz ladrillo-mortero.

⁶⁴ Dependiendo de la tipología de las juntas.

⁶⁵ El tema de cortante lo consideramos de modo superficial, para mayor información consultar bibliografía citada.

Van der Pluijm (1993) estableció una completa caracterización del comportamiento a cortante de la mampostería. A partir de un ensayo de corte directo con probetas confinadas y ensayándolo a diferentes niveles de carga, pudo establecer el comportamiento real de la interfaz junta-mortero para el caso de sollicitaciones tangenciales⁶⁶.

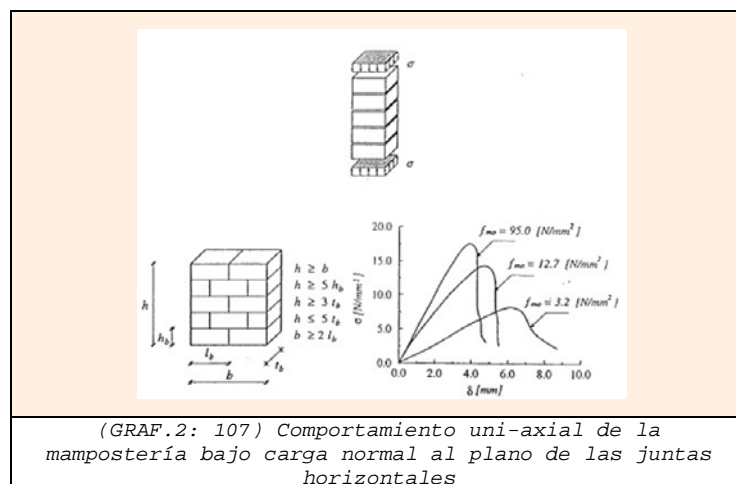
Para mayor información consultar (López, Oller y Oñate 1998).

2.4.1.2 Propiedades del material compuesto: mampostería⁶⁷

2.4.1.2.1 Comportamiento de la mampostería en compresión uni-axial

La resistencia a compresión de la mampostería en la dirección normal a la junta ha sido tradicionalmente vista como una propiedad relevante del material⁶⁸. Un ensayo frecuentemente usado para obtener esta resistencia a compresión uni-axial es el ensayo de prisma con elementos apilados⁶⁹⁻⁷⁰.

Mann y Betzler (1994) observaron que inicialmente aparecían fisuras verticales en los ladrillos a lo largo de la línea media de las piezas, que generalmente coincidían con la continuación de las juntas verticales de mortero. A medida que crece la deformación van apareciendo fisuras adicionales en pequeñas zonas de la pieza (normalmente verticales), que llevan al fallo por deslizamiento.



De acuerdo con Hoffmann y Schubert (1994), la relación entre la resistencia a compresión uni-axial paralela a las juntas y normal a éstas tienen valores que oscilan entre 0,20 y 0,80. Estas relaciones han sido obtenidas para bloques perforados, bloques de mortero y bloques de hormigón ligero. En el caso de ladrillos macizos, la relación antes mencionada puede tomarse como 1,00.

⁶⁶ Cabe destacar que en muchos de los estudios con alto nivel de confinamiento en el ensayo a corte, el mecanismo de fallo en la interfaz ladrillo-mortero va acompañado de una fisuración diagonal de los bloques de ladrillo.

⁶⁷ Entre otros investigadores que han realizado estudios experimentales en modelos a escala de obra de fábrica tenemos: (Rosas, Villegas y Esperante 2001), (Martínez 2003), (Reyes, Casati y Gálvez 2003), (Rolando 2006). Mientras que en otras referencias se exponen modelos informáticos de paredes de fábrica: (López, Oller y Oñate 1998), (Rosas, Villegas y Esperante 2001), (Chetouane, y otros 2005), (Berto, y otros 2005), (Roca, Molins y Mari 2005), (Romera, Hernandez y Reinosa 2008).

⁶⁸ Al menos hasta la reciente introducción de los métodos numéricos para las estructuras de mampostería.

⁶⁹ Ver gráfico (GRAF.2: 107).

⁷⁰ Pero es aún algo incierto el uso de los parámetros de resistencia obtenidos con ensayos de este tipo según Mann y Betzler (1994).

La resistencia a compresión considerada en nuestro estudio es de 9,57N/mm², que correspondería al caso más desfavorable, si tenemos en consideración el (GRAF.2: 107).

2.4.1.2.2 Comportamiento a tracción uni-axial de la mampostería

Para cargas a tracción en sentido perpendicular a las juntas de mortero, se aprecia que:

1. En mampostería con baja resistencia a tracción relativa en la interfaz mortero-ladrillo y resistencia superior en las piezas de ladrillo, el fallo se localiza en la junta. En este caso, una aproximación no rigurosa es la indicada por Van der Pluijm: "la resistencia a tracción de la mampostería es equiparable a la resistencia a tracción de la unión entre la junta y el ladrillo"⁷¹ (López, Oller y Oñate 1998).

2. En mampostería con baja resistencia de los ladrillos y gran resistencia a tracción de la unión entre la junta y el ladrillo⁷², el fallo ocurre al producirse excesivas tracciones en el mismo. En este caso, como "resistencia a tracción de la mampostería, se puede considerar la resistencia a tracción del ladrillo" (López, Oller y Oñate 1998).

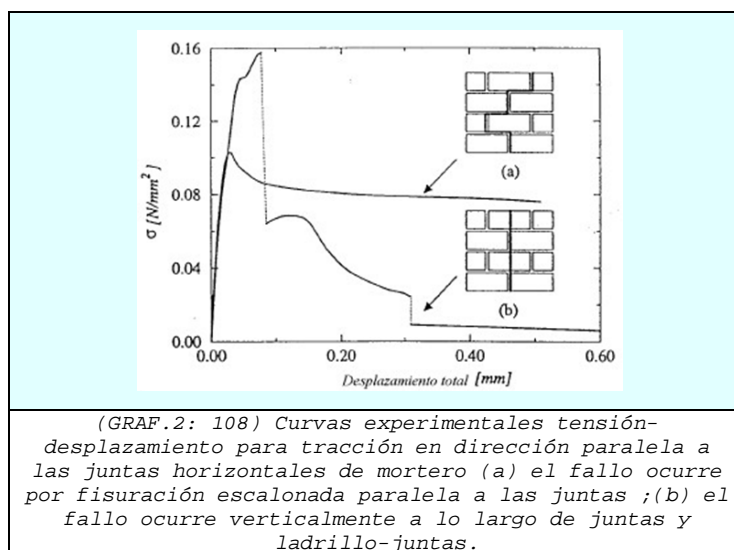
A partir de ensayos realizados se han observado dos mecanismos diferentes de rotura en paneles ensayados a tracción paralelos a la junta:

El primero de éstos falla por desarrollo de fisuración en las juntas verticales y horizontales y en forma de zigzag.

El segundo se presenta como una fisura perpendicular a la fuerza de tracción y que aparece siguiendo las juntas verticales de mortero y atravesando los ladrillos.

En nuestro caso particular estamos considerando la segunda situación con su diagrama de relación tensión-desplazamiento correspondiente.

Como tensión máxima de tracción que resiste la fábrica se toma el valor común a ambas curvas 0,10N/mm² (1,00Kg/cm²).



⁷¹ Según Van der Pluijm es del orden de 0,30 a 0,90 N/mm².

⁷² Por ejemplo, mortero de alta resistencia y ladrillo con numerosas perforaciones.

Para comprobar si el valor considerado está del lado de la seguridad, vamos a utilizar la información proporcionada por otros investigadores:

1. Los autores (Reyes, Casati y Gálvez 2003) comprueban que la resistencia de la fábrica puede ser superior, tal como se indica en el siguiente cuadro:

Orientación del tendel	Ft (MPa)
Horizontal	5,80
A 45°	4,10
Vertical	2,40

Si minoramos estos valores por un coeficiente de 3⁷³ tenemos las siguientes resistencias de cálculo:

Orientación del tendel	Ft (MPa)
Horizontal	1,93
A 45°	1,60
Vertical	0,80

Nosotros estamos dentro del primer caso⁷⁴ y observamos que el valor correspondiente es de 1,93MPa (19,30Kg/cm²). Ahora bien, si lo comparamos con el valor utilizado para el estudio de 0,10MPa (1,00Kg/cm²), vemos que equivale aproximadamente al 5,20%⁷⁵ de la resistencia de cálculo a tracción, es decir, que realmente estamos dentro del lado de la seguridad.

2. El (CTE 2006) y otros investigadores consideran que la resistencia a tracción de la fábrica puede considerarse con un valor equivalente al 10%⁷⁶ de la resistencia característica a compresión, que en el caso de nuestro estudio correspondería a 0,31N/mm²⁷⁷. Aunque nos parece un valor alto, sin embargo está dentro del rango que indica Van der Pluijm (0,30 a 0,90N/mm²).

Por otro lado, algunos autores estiman que se puede llegar a considerar hasta el 13,50% de la resistencia a compresión, como es el caso de (Baker, Wiley y Sons 1909). Mientras que (Ministere 1982) considera que se debe asumir únicamente un 3% de dicha resistencia.

Si tenemos en cuenta la resistencia a tracción como un porcentaje de la resistencia a compresión del material, también estamos del lado de la seguridad.

No podemos dejar de comentar que hay autores que sostienen lo contrario, que al ser tan baja la resistencia a tracción de la fábrica es mejor considerarla nula, como es el caso de (Moreno 2006)⁷⁸.

⁷³ Coeficiente de minoración de la resistencia de la obra de fábrica indicada por el CTE.

⁷⁴ Dado que en la mayoría de los casos los tendeles están en posición horizontal.

⁷⁵ Esta reducción se debe al considerar el comentario del Ing. Gálvez (uno de los autores del artículo) vía e-mail y decía: "No debes olvidar que los resultados del artículo corresponden a ensayos a escala ¼ y no son directamente aplicables a estructuras de fábrica real".

⁷⁶ En su artículo (Rosas, Villegas y Esperante 2001) consideran para el macromodelo una resistencia a tracción equivalente al 10% de la resistencia a compresión y a su vez reducido en un 30%, obteniéndose como resultado una resistencia de 0,7N/mm², valor muy superior que el considerado en nuestro estudio.

⁷⁷ Utilizando previamente el coeficiente de minoración de la resistencia de 3.

⁷⁸ (Moreno 2006): "Partiendo de aquí, la manera más simple de reproducir el comportamiento no lineal de este material es considerarlo con resistencia nula o resistencia limitada a la tracción".

2.4.1.2.3 Aspectos del comportamiento Post-pico. Ablandamiento o "Softening"

El ablandamiento es un decremento gradual de las propiedades resistentes bajo incrementos continuos de deformaciones impuestas sobre un material determinado o estructura.

En el caso de los mecanismos de fallo en tracción, el fenómeno está bien identificado.

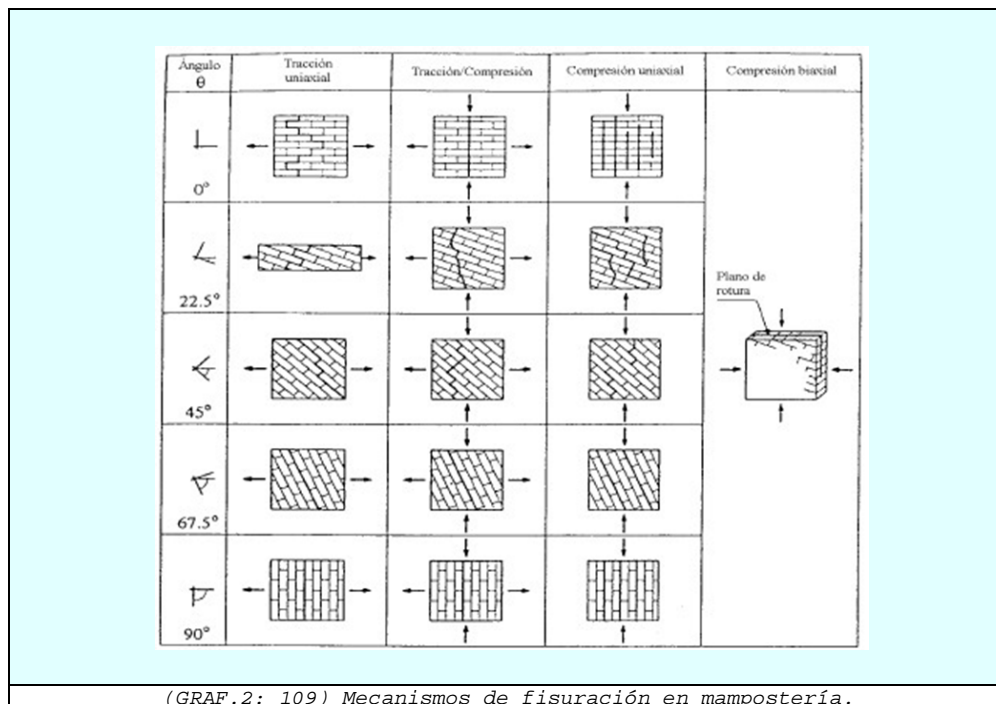
En nuestro estudio consideramos que una vez que el material fisura no existe esta rama de ablandamiento de acuerdo al gráfico (GRAF.2: 108).

Para mayor información consultar (López, Oller y Oñate 1998).

2.4.1.2.4 Comportamiento biaxial

El comportamiento de la mampostería bajo estados biaxiales de tensión, puede no ser completamente descrito por una ley constitutiva bajo condiciones de carga uni-axiales. La influencia del estado biaxial de tensiones es importante, con el fin de conocer el comportamiento resistente (A. W. Page 1981).

Uno de los resultados importantes obtenidos por "Page" fue la determinación de los diferentes mecanismos de ruptura o fisuración en función de la orientación de la carga respecto a los ejes definidos para el material⁷⁹.



En nuestro estudio consideramos la existencia de cargas verticales pero no horizontales⁸⁰.

⁷⁹ Ver gráfico (GRAF.2: 109).

⁸⁰ La influencia de la carga horizontal se considera muy importante es por ello que se propone como una propuesta de futuras investigaciones.

2.4.1.3 Métodos de cálculo general y método propuesto en la Tesis

Existen teorías de cálculos basados en el método de los elementos finitos. Si bien este método no es el único, refleja en sus resultados un comportamiento más real.

1. Micro-modelos:

Reproducen el comportamiento global de un material compuesto mediante una discretización geométrica detallada, basada en el método de los elementos finitos, e incorporando las leyes constitutivas no lineales de cada uno de los componentes. En general⁸¹, requiere un enorme esfuerzo de cálculo debido a la necesidad de emplear discretizaciones densas y métodos iterativos para resolver los sistemas de ecuaciones no lineales resultantes.

Para mayor información consultar: (A. W. Page 1978), (Ali y Page 1988), (Chiostrini y Vignoli 1989), (Ignatakis, Stavrakakis y Penelis 1989), (Riddington y Ghazali 1990), (Lotfi 1994), (Lourenço 1994), (López, Oller y Oñate 1998), (Berto, y otros 2005) y (Moreno 2006).

2. Macro-modelos:

Parten de considerar la obra de fábrica como un material continuo con una determinada ecuación constitutiva, incluyendo una relación tensión-deformación y un criterio de rotura. En general, se distinguen dos tipos básicos de macro-modelos: unos desarrollados para el hormigón armado y otros para la obra de fábrica (mampostería).

Para mayor información consultar: (A. W. Page 1978), (Samarashinge, Page y Hendry 1982), (Dhansekar y Page 1986), (Pietruszczak y Niu 1992), (Anthoine, Derivation of the in-plane elastic characteristics of masonry through homogeneization theory 1995), (Anthoine, Homogeneization of periodic masonry: plane stress, generalized plane strain or 3D modelling 1997), (Brencich y Lagomarsino 1998) (López, Oller y Oñate 1998), (Berto, y otros 2005) y (Moreno 2006).

3. Método propuesto en la Tesis.

El método de cálculo propuesto en nuestra Tesis, parte de unos parámetros del material ya conocido. No pretende en ningún momento determinar las características mecánicas de los materiales, por ello puede ser aplicado a cualquier tipo de material, siempre y cuando conozcamos dichos parámetros.

En nuestro estudio determinar el comportamiento de la obra de fábrica es bastante gráfico, relativamente sencillo de realizar y con grandes ventajas, tales como: comprender con mayor claridad los mecanismos de colapso de las paredes y visualizar mejor el proceso de fisuración de las mismas.

Todo el proceso de fisuración se realiza de modo manual⁸². El proceso a seguir en nuestra metodología de análisis de la fábrica de ladrillo se presenta en detalle en el apartado "2.2" de este capítulo.

⁸¹ La aplicación de micro-modelos a materiales compuestos como el hormigón o la obra de fábrica de ladrillo.

⁸² En las propuestas de futuras investigaciones se propone su implementación informática.

MJIG

2.4 INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

- 1.- DESCRIPCIÓN DE LA MAMPOSTERÍA
- 2.- *LA FISURACIÓN*
- 3.- LA CATENARIA Y LA PARÁBOLA
- 4.- DESCRIPCIÓN DE LOS PROGRAMAS UTILIZADOS

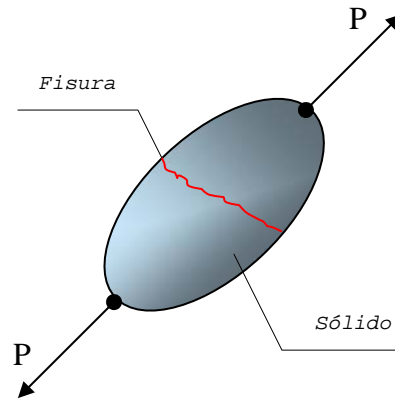
MIG

2.4.2 LA FISURACIÓN

- 1.- *MODELOS CONSTITUTIVOS GENERALES*
- 2.- *TEORÍAS PARA ESTUDIAR LA FISURACIÓN*
- 3.- *MECÁNICA DE FRACTURA*
- 4.- *MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS*

2.4.2 La fisuración⁸³

La fisuración es una discontinuidad física del cuerpo del sólido, como consecuencia directa de la baja resistencia a tracción de la mampostería.



La fisuración produce pérdida de rigidez, que afecta considerablemente a las tensiones y deformaciones. Además, puede producir redistribuciones de tensiones y variaciones de esfuerzos.

2.4.2.1 Modelos constitutivos generales

1. Modelos basados en la elasticidad lineal y no lineal:

- Modelos elásticos de Cauchy.
- Modelo elástico de Green (hiper-elasticidad).
- Modelo hipo-elástico.

2. Modelos basados en la teoría de la plasticidad y daño.- Permite la representación de un comportamiento macroscópico no lineal. Entre los modelos más usados para el estudio de la fisuración tenemos:

- Plasticidad perfecta.
- Plasticidad con ablandamiento y/o endurecimiento.
- Plasticidad con ablandamiento y/o endurecimiento y/o daño.

3. Modelos basados en la teoría endocrónica.- Fueron creados en primer lugar para metales, posteriormente aplicados a los geo-materiales. Han significado un gran avance respecto a aquellos que se basan en la plasticidad clásica, aunque tienen la dificultad de requerir muchos parámetros para su definición.

4. Modelo de fractura.- Son modelos formulados especialmente para tratar problemas de fractura, entre los cuales podemos mencionar:

- Modelos de fisuración distribuida (difusa).

⁸³ Para mayor información consultar (Oller 2001).

- Modelos de fisuración discreta.

2.4.2.2 Teorías para estudiar la fisuración

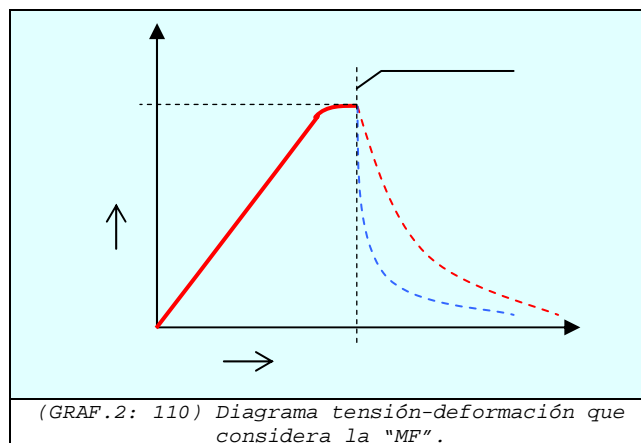
El fenómeno de la fisuración se analiza basándose en dos disciplinas: la mecánica de fractura (MF) y la mecánica de medios continuos (MMC).

A continuación, se realiza un análisis general de estas dos disciplinas junto con los modelos constitutivos generados en las mismas.

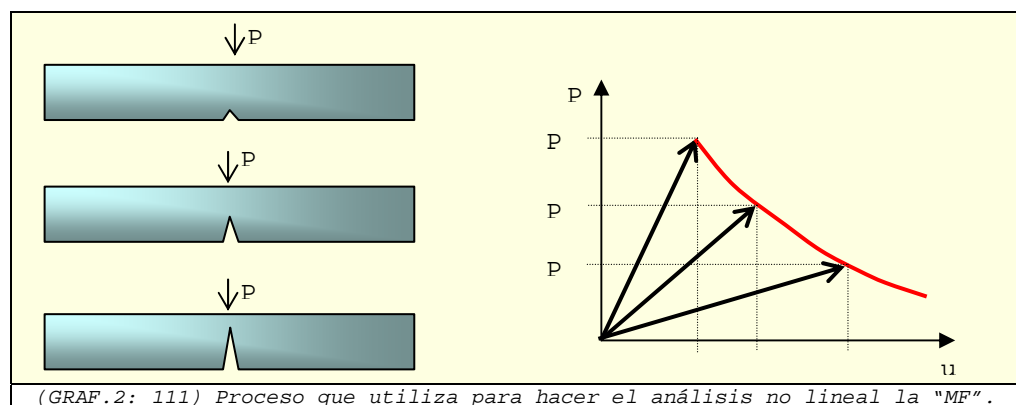
2.4.2.3 Mecánica de fractura

La mecánica de fractura se basa en fundamentos que se derivan de la elasticidad. En ella se estudian los fenómenos locales de la fractura y la consecuencia que ésta genera en el comportamiento global del sólido. A continuación, se presentan algunos aspectos fundamentales de esta disciplina que la diferencian de la "MMC":

- Pueden estudiarse únicamente piezas bidimensionales y no tridimensionales.
- Considera que se puede llegar a un punto cuando la carga es crítica y con una deformación última y de ahí desciende bruscamente.



- Utiliza sólo análisis lineales, incluso en el momento que trata la no linealidad; en este caso lo que hace es considerar la envolvente de los diferentes comportamientos de una serie de ensayos, es decir:



- El proceso consiste en:

Primero tomamos una probeta sin defecto, le aplicamos una carga hasta que se inicie la fisuración, procedemos a tomar los valores de la carga " P_1 " y su desplazamiento " u_1 " y los colocamos en una gráfica que relaciona "P-u", por último descargamos la pieza finalizando aquí este proceso.

Luego tomamos la pieza anterior y se inicia nuevamente el proceso de cargar hasta que la fisura se propague; de igual forma, tomamos los valores de la carga " P_2 " y del desplazamiento " u_2 " y los colocamos en el gráfico anterior P-u, se vuelve a descargar la pieza, terminando otro proceso.

Así se sigue repitiendo el proceso que no es otra cosa que casos lineales distintos entre sí, esto se hace hasta que la pieza colapse y se parta en dos.

Por último, unimos todos estos puntos y obtenemos la envolvente. La "MF" considera esta gráfica como un análisis no lineal, lo cual se contradice completamente con la "MMC".

2.4.2.3.1 División de la teoría de la "MF"

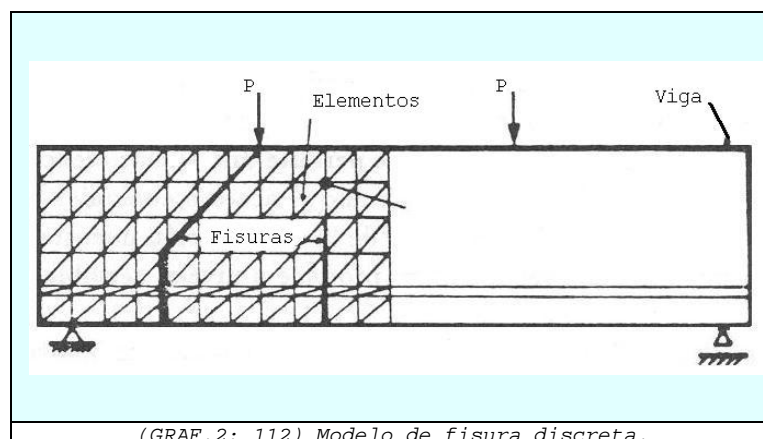
1. **Mecánica de fractura elástico lineal (MFEL-LEFM).**

Aparece gracias a los trabajos de Ingles y Griffith (1893-1963) (Saouma y Yngrafta 1981). Se entiende como "MFEL" el proceso mecánico que se desarrolla para generar una fractura, sin activar mecanismos plásticos.

- Considera que el tamaño de la fractura es despreciable en comparación con el tamaño de la pieza.
- Se aplica a los materiales frágiles.
- También se puede demostrar que estos modelos se pueden aplicar a los casos en que la zona plastificada de la cabeza de la fisura es pequeña en relación con la pared.

Unos modelos muy utilizados de esta tipología son los modelos de fisura discreta (J. (. Oliver 1990) y (ASCE 1982):

Estos modelos son propios de la mecánica de fractura y consisten en trabajar con la parte del sólido que es continua. Representan las discontinuidades en tramos finitos por medio de desconexiones de nodos comunes entre elementos fisurados. Se supone también que los diferentes tramos de fisuras se producen por estados de carga discretos.



El modelo considera que, en el momento en que aparece la fisura, sus labios se incorporan al contorno del sólido analizado, desdoblado los nodos para introducir los nuevos elementos que constituyen la fisura. Es por ello que se hace necesario un continuo remallado del modelo, siguiendo la dirección de la fisuración.

Los modelos constitutivos que se indican a continuación siguen los principios de "MFEL" y son: (Erdogan y Sih 1963), (Sih 1973) y (Huddain, Pu y Underwood 1974).

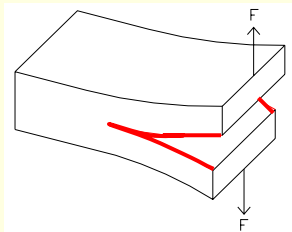
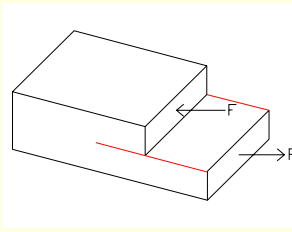
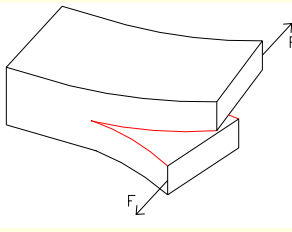
2. Mecánica de fractura elástico no lineal.

Se entiende por mecánica de fractura elástico no lineal, al proceso mecánico inelástico que se desarrolla para generar una fractura, produciéndose en la cabeza de la misma la presencia de las tensiones superiores al límite de elasticidad.

2.4.2.3.2 Modos de propagación de la fisura

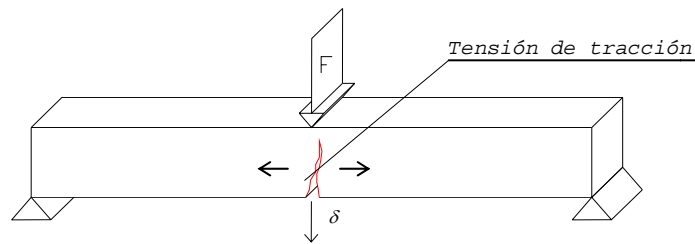
Irwin estudió los modos en que se propagan las fisuras y que pueden llegar a provocar la rotura de un elemento estructural.

En la mecánica de fractura se pueden determinar las deformaciones y las tensiones en los extremos de la fisura⁸⁴. Si superponemos mutuamente los campos de los tres tipos particulares de deformaciones en el espacio en el que se pueda propagar una fisura, dada una tensión fija, resultan los llamados modos de fisuración:

<p>Modo-I: "Modo de Apertura"</p>	<p>Modo-II: "Modo de Deslizamiento"</p>	<p>Modo-III: "Modo de deslizamiento lateral"</p>
		
<p>Los labios de la fisura se separan casi paralelamente entre sí. Desarrolla tensiones solo de tracción.</p>	<p>Los labios de la fisura se deslizan una encima de la otra. Desarrolla tensiones tangenciales.</p>	<p>Los labios de la fisura se deslizan lateralmente una de la otra. Desarrolla tensiones tangenciales.</p>

De los tres "modos", el primero es el más estudiado, aunque por lo general suelen combinarse los tres en cuyo caso se conocen con el nombre de "MODO MIXTO DE FISURA". A modo de ejemplo podemos ver que en una viga bi-apoyada se producen los tres modos, por tener cortante (tensiones tangenciales), sin embargo, se considera que el modo predominante es el Modo-I, por lo que se dice que en la viga es dominante el modo de fractura de apertura.

⁸⁴ Conocido con el nombre de Concentración de Tensiones en la cabeza de la fisura.



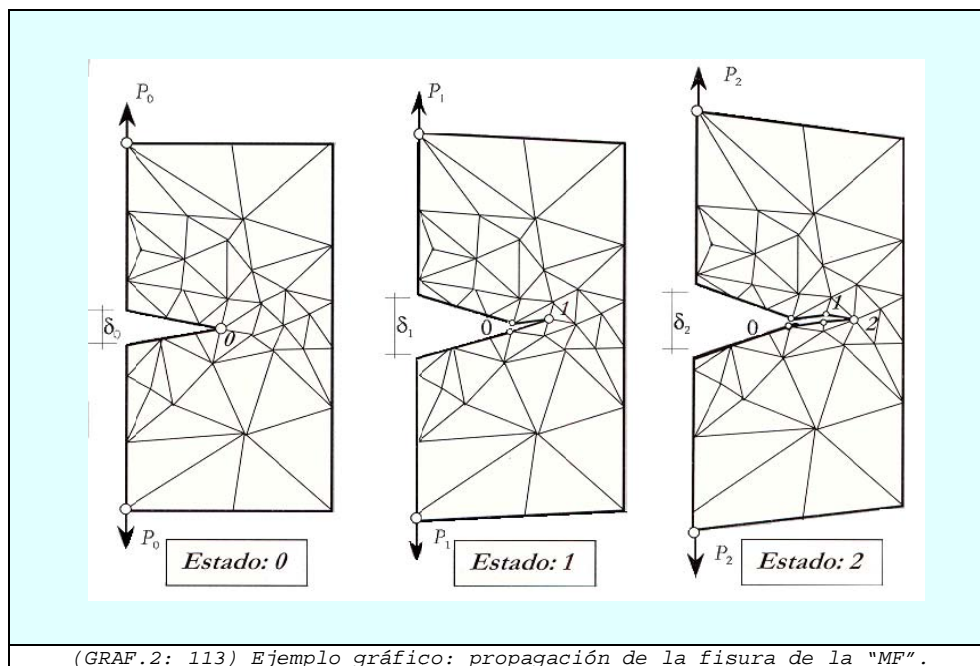
2.4.2.3.3 Concentración de Tensiones en la cabeza de la fisura

La presencia de discontinuidades en la matriz del material provoca "un incremento de tensiones en los bordes de dichas discontinuidades, es decir, que se produce concentración en la cabeza de la fisura".

2.4.2.3.4 Representación de la propagación de la fisura

La representación de la propagación de la fisura en "MF" se realiza a través de la resolución de problemas lineales sucesivos, aunque distintos entre sí, cuya envolvente de estados finales es la curva establecida como el comportamiento no lineal del material (Saouma y Yngraffea 1981).

Analizamos un ejemplo en el que aparecen tres estados distintos de un modelo, ya que se parte de cargas, piezas y mallas diferentes.

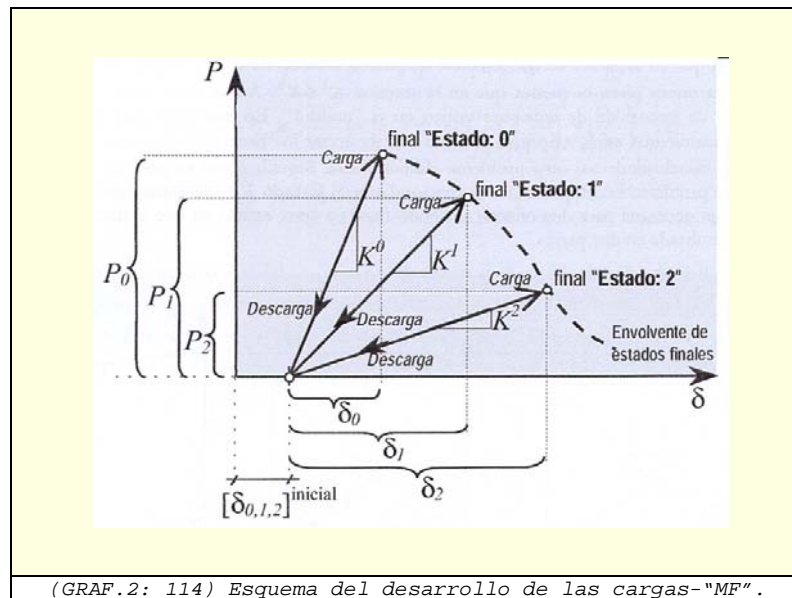


El Estado-0 se inicia con un δ_0 . Se comienza a incrementar P_0 hasta lograr que el factor de intensidad de tensiones (FIT) del nodo-0 alcance su valor crítico ($K1 \geq KIC$). En este momento se obliga a que se separen los elementos que llegan a dicho nodo, a continuación se establece la posible dirección de la propagación de la fisura y adicionalmente se verifica que no exista otro nodo colapsado. Si no hay más nodos colapsados se termina el problema elástico lineal. Si comparamos el Estado-0 con el Estado-1 veremos que la malla es distinta y que $P_1 \leq P_0$, pero nunca superior⁸⁵.

⁸⁵ Esto se debe a que la pieza ha perdido rigidez ($K1 < K0$) y para colapsar otro nodo, se requerirá de fuerzas inferiores a la anterior.

En el Estado-1 se hace lo mismo que en el caso anterior. Se aumenta progresivamente P_1 hasta que colapse el nodo-1, cuando el "FIT" alcanza su valor crítico se desconectan los elementos que a él llegan, en este momento el $\delta_1 \geq \delta_0$ y aquí concluye otro problema lineal.

Se da inicio al tercer problema lineal que es el Estado-2 y se procede del mismo modo que en los casos anteriores. El proceso se continúa así sucesivamente hasta que la pieza no admita más nodos colapsados, lo que se logra cuando se divide en dos partes.



2.4.2.4 Mecánica de medios continuos (MMC)

Constituye la segunda de las disciplinas para estudiar la fisura y es más reciente que la mecánica de fractura.

La idea de estudiar la fractura usando medios continuos es, básicamente, hacer el estudio de las discontinuidades a través de una teoría continua. Para ello es necesaria la realización de regularizaciones que permiten representar las discontinuidades que ocurren en los campos de desplazamiento y deformaciones.

La hipótesis básica de aproximación⁸⁶ se basa en no intentar describir exactamente lo que ocurre en el propio punto donde se produce el desmembramiento, sino que intenta obtener una respuesta global de la estructura afectada por este fenómeno⁸⁷. De esta forma, los resultados obtenidos son tan buenos que no es necesario pedirle que represente la discontinuidad real, sino que nos proporcione la representación tensión-deformación que producen las discontinuidades.

Una de las ventajas de esta disciplina es que se pueden combinar otros fenómenos complejos con la fisuración, tales como: plasticidad, viscosidad, estados complejos de tensiones, etc⁸⁸.

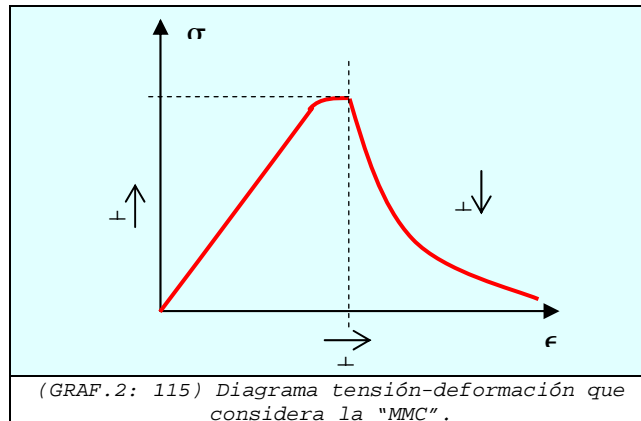
Existen además aspectos muy importantes que identifican a esta disciplina y que la diferencian de la "MF" y son:

⁸⁶ Que hace la mecánica de medios continuos del problema discontinuo de la fractura.

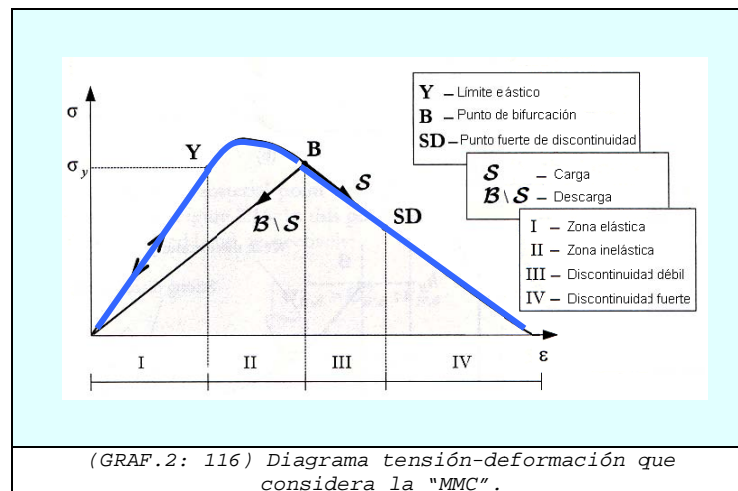
⁸⁷ Es decir, interesan más los efectos que puedan ocasionar en el comportamiento total del sólido, que el fenómeno en sí.

⁸⁸ En cada punto del sólido.

- La influencia de la fisuración de "modo global" en la estructura y no la analiza localmente.
- La posibilidad de tratar problemas bi y tri dimensionales.
- El proceso no se termina en un punto de carga última, sino que a partir de ese momento se produce un descenso de la carga y un aumento acelerado de la deformación⁸⁹. Esta zona es conocida como curva de ablandamiento.



- El diagrama tensión-deformación consta de las partes que se aprecian en el siguiente gráfico (Chaves y Oliver 2003).



- Al producirse la fisura en el elemento estructural, la "MMC" sostiene que dicho proceso en la realidad no se detiene⁹⁰⁻⁹¹.
- Los conceptos de localización de deformación y ablandamiento por deformación son utilizados en esta teoría.

Para profundizar en los modelos constitutivos indicamos las siguientes referencias bibliográficas: (Oller, Fractura Mecánica - Un enfoque Global 2001) y (Cervera s.f.).

⁸⁹ Es decir, que no admite la caída brusca de la rigidez, sino una pérdida progresiva de la misma.

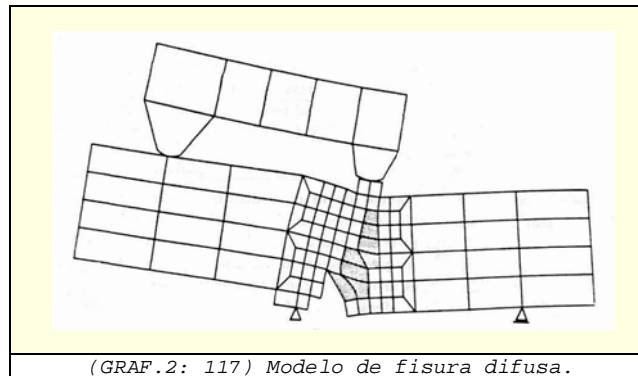
⁹⁰ Es decir, que es un proceso continuo, en el cual se va produciendo disipación de energía.

⁹¹ Este comportamiento es completamente diferente con respecto al que considera "MF".

Entre los modelos que se basan en esta teoría tenemos el de la fisura difusa que es el más utilizado.

2.4.2.4.1 Modelos de fisura distribuida o difusa⁹²

Son modelos basados en la "MMC", aunque utilizan conceptos de "MF". Incluyen la fisura en el medio continuo y consideran campos de desplazamientos continuos para modelarla. Adiciona en sus formulaciones parámetros diversos ajenos a la fisura.



Permiten demostrar que un fenómeno discontinuo se puede estudiar como un problema continuo tratado en su estado límite.

En estos modelos la malla permanece inalterada durante el análisis, por lo tanto no hay incremento de grados de libertad.

Entre los modelos más importantes tenemos:

- Modelo de fisuración distribuida-Hillerborg.
- Modelo de fisura distribuida-Rots. (1985).
- Modelo de Rots-Nauta que fue perfeccionado posteriormente por Borts.

El análisis que se realiza es 2D, tanto en tensión como en deformación plana, sin embargo puede ser fácilmente extendida a modelos 3D.

Las hipótesis de partida de la "MMC" son las siguientes:

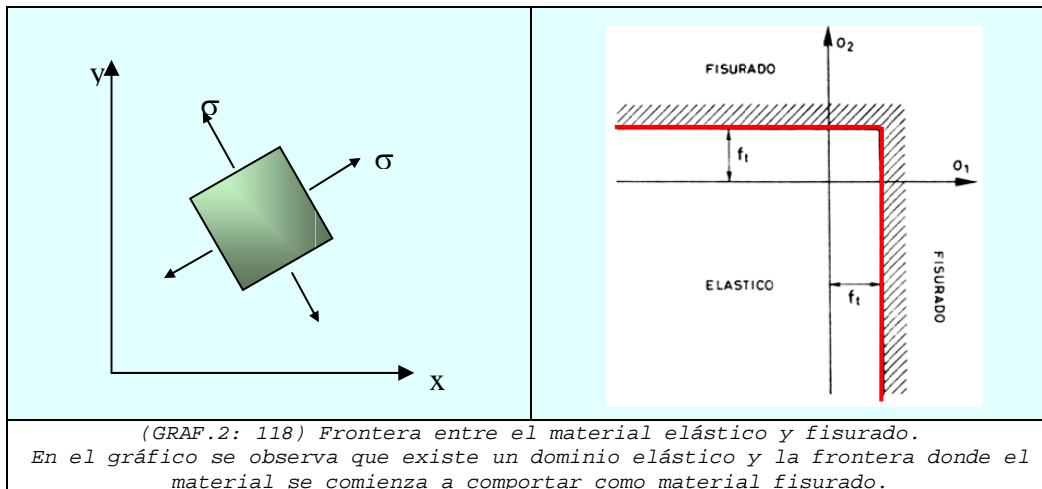
- Inicio de la fisuración.
- Orientación y generación de fisuras.
- Comportamiento del material fisurado.

2.4.2.4.2 Inicio de la fisuración

Establece el inicio de la fisuración en función del valor de las tensiones principales. Se inicia en un punto, en el instante en que el proceso de deformación en una o ambas tensiones principales lleguen al

⁹² Para mayor información consultar: (Oliver 1990), (Rots, y otros 1985), (Oliver y Fernandez Roure 1986), (Borst 1986) y (Oller, Un modelo de daño plástico para materiales friccionales 1988).

valor máximo de resistencia del hormigón a tracción uni-axial, conocido como t .



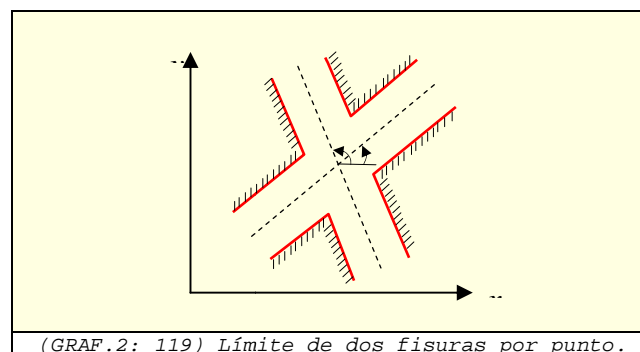
2.4.2.4.3 Orientación y generación de fisuras

Vemos que en el material en régimen elástico, las tensiones no pueden superar la σ_t . En este estado las ecuaciones constitutivas son las propias del material elástico lineal, pudiéndose formular según la ley de Hooke para tensión y deformación plana.

A medida que se va incrementando la carga, una de las tensiones principales supera la tensión máxima. La fisura se inicia en este punto y su orientación es perpendicular a dicha tensión principal.

En el momento en el que se inicia la fisuración, el material pierde su comportamiento elástico y dejan de ser válidas dichas ecuaciones.

Se puede presentar el caso en que se produzca más de una fisura en un mismo punto, por ello se establece como limitación: El número de fisuras que se admiten en un mismo punto es un máximo de dos.



2.4.2.4.4 Comportamiento del material fisurado

La ecuación constitutiva que caracteriza el comportamiento del material fisurado se establece basándose en las siguientes hipótesis:

- "Descomposición aditiva de la deformación".
- "Actividad de la deformación de apertura de fisura para las distintas fisuras del punto (determinación de $\Delta\epsilon^f$)".
- "Estado tensional sobre los labios de la fisura".

MJIG

2.4 INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

- 1.- DESCRIPCIÓN DE LA MAMPOSTERÍA
- 2.- LA FISURACIÓN
- 3.- *LA CATENARIA Y LA PARÁBOLA*
- 4.- DESCRIPCIÓN DE LOS PROGRAMAS UTILIZADOS

MJG

2.4.3 LA CATENARIA Y LA PARÁBOLA

- 1.- EL ARCO CATENÁRICO
- 2.- EL ARCO PARABÓLICO
- 3.- DIFERENCIAS ENTRE
- 4.- LA FORMA CATENÁRICA EN LA NATURALEZA
- 5.- APLICACIÓN EN INGENIERÍA-OBRA CIVIL
- 6.- APLICACIÓN EN LA ARQUITECTURA

2.4.3 La catenaria y la parábola

Las curvas invertidas: catenáricas, funiculares y parabólicas, son la base para el trazado perfecto de un arco⁹³, dado que toda la línea de presiones sigue la forma de la curva. Además, tienen un importante componente estético debido a la sutileza de su perfil⁹⁴.

2.4.3.1 El arco catenárico⁹⁵

La identificación de la catenaria en la vida real es evidente. Un ejemplo puede ser el trazado de la curva que describen las guirnaldas al dejarlas colgar libremente.



La catenaria es la curva que describe una cadena suspendida por sus extremos y que se encuentra sometida a un campo gravitatorio uniforme a lo largo de su directriz, o dicho de otra manera, es la curva que forman los cables o los collares de perlas cuando se dejan caer libremente sujetos por ambos extremos.

En los párrafos que se presentan a continuación se expone el origen de estos descubrimientos:

"En el decenio 1670-80 Robert Hooke emplea esta analogía para resolver el problema del arco, que él planteó a la Royal Society en forma de pregunta: 'Cuál es la forma ideal de un arco y cuánto empuja un arco contra sus estribos'. Hooke resume su solución en una frase: 'Del mismo modo que cuelga el hilo flexible, así, pero invertido, se sostendrá el arco rígido'.

En efecto, un cable pesante toma una cierta forma, la misma que una cadena colgante, que recibe el nombre de «catenaria». Si invertimos esta catenaria obtenemos un arco; las ecuaciones de equilibrio no varían, únicamente lo que era tracción pasa a ser compresión y la fuerza que en el cable trata de unir los apoyos, en el arco catenárico los empuja tratando de separarlos".

"... Pocos años más tarde, otro inglés, Gregory (1697), en los corolarios de un artículo sobre la catenaria, repite la afirmación de Hooke y la amplía: 'el arco ideal es el que tiene forma de catenaria invertida, y si arcos de otras formas se sostienen es porque hay una catenaria en su interior'".

⁹³ Este aspecto es importante para el estudio de las bóvedas de los puentes, tal como lo expresa Manuel Durán (Durán 2006).

⁹⁴ Amédée-François Frézier (1682-1773), no consideraba bella la forma de la catenaria en su época, principalmente porque arranca siempre formando un ángulo con la vertical de los apoyos: «Esta curva que resulta tan conveniente para el equilibrio de las dovelas iguales, no es conveniente para la belleza pues forma un 'quiebro' con el estribo en sus arranques». (Huerta, Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica 2004)

⁹⁵ Para profundizar en este tema consultar (Huerta, Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica 2004).

En los párrafos que se presentan a continuación se exponen otros aspectos aclaratorios de la catenaria⁹⁶:

"La catenaria tiene la característica de ser el lugar geométrico de los puntos donde las tensiones horizontales de un cable se compensan por lo que el cable no tiene tensiones laterales, el cable no se desplaza hacia los lados y a las fuerzas que padece se reparte entre una fuerza vertical (la de la atracción terrestre) y una tensión tangente al cable en cada punto que lo mantiene estirado".

"De igual forma, en un arco que adquiriera la forma de una catenaria, la tensión que padece el arco en cada punto, se reparte entre una componente vertical que será lo que tenga que sustentar el propio arco y una componente de presión que se transmite por el propio arco hacia los cimientos sin que se creen esfuerzos horizontales, salvo en el extremo llegando a los cimientos".

"La curva catenaria permite soportar una carga horizontal uniforme, de tal manera que haya una tensión uniforme. De esa manera se evitan esfuerzos tangenciales por tracción o por compresión".

2.4.3.1.1 Ecuación de la catenaria

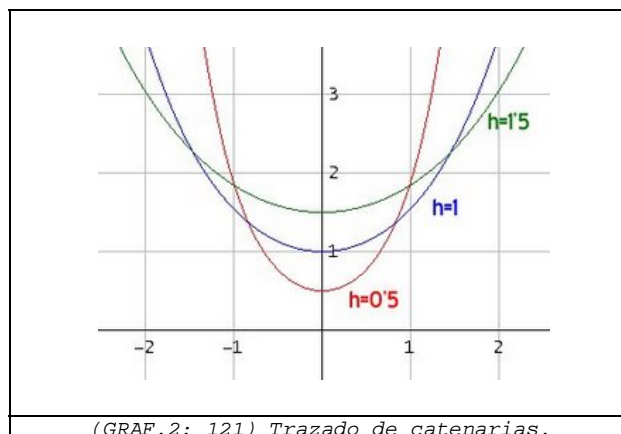
Durante siglos, los matemáticos que abordaron el problema suponían, equivocadamente, que la curva era una parábola⁹⁷. Pero Huygens demostró que no lo era, sin embargo, no llegó a determinar la ecuación.

En 1691 Jacob Bernoulli, Leibnitz, Huygens y Johann Bernoulli encontraron la ecuación gracias a los conocimientos matemático-físicos de los hermanos Bernoulli. El nombre de "catenaria" se debe a Huygens.

La ecuación y el trazado de la catenaria se presentan a continuación:

$$y = a \times \cosh\left(\frac{x}{h}\right) = \frac{a}{2} \times (e^{x/a} + e^{-x/a})$$

("a" es un parámetro que controla la apertura de la curva)

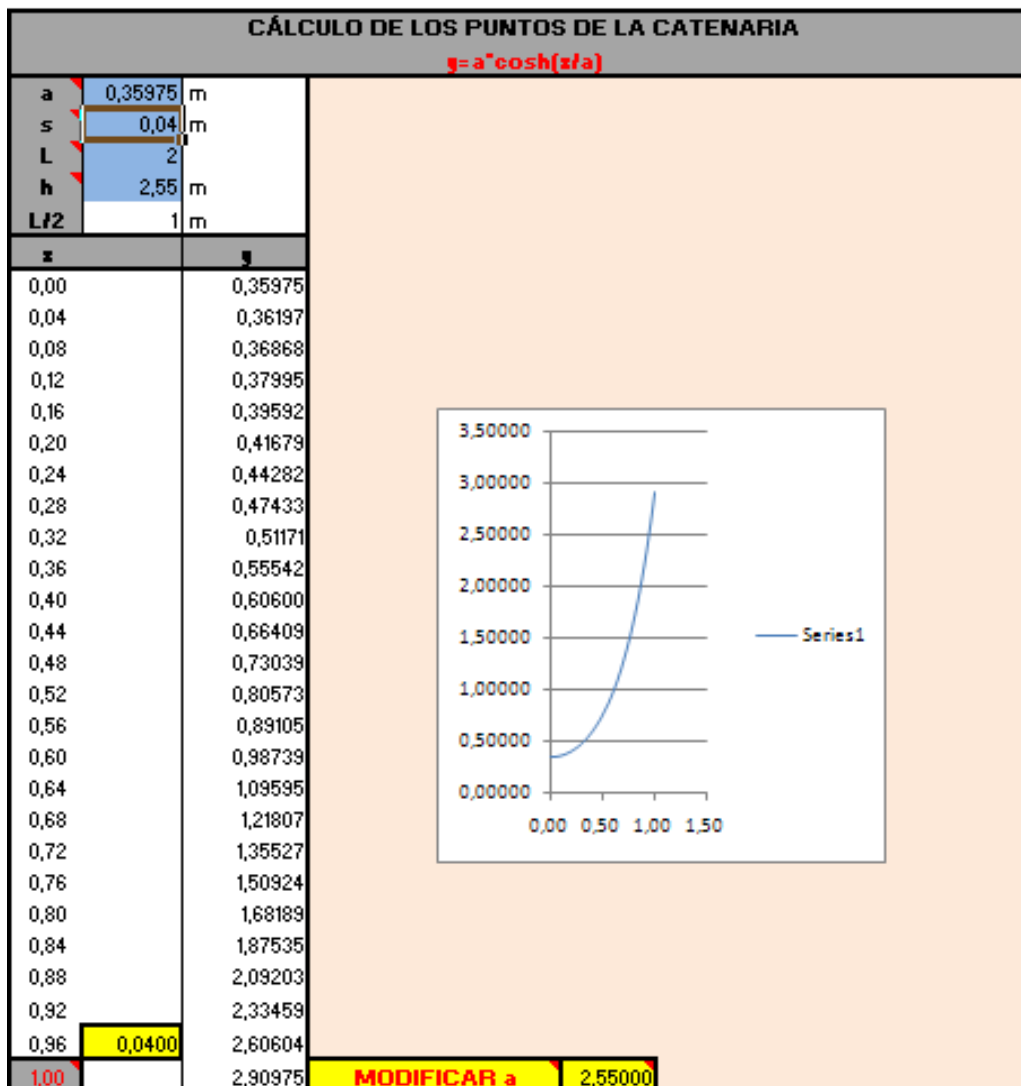


Con la finalidad de poder realizar diferentes comprobaciones a lo largo del desarrollo de la Tesis, presentamos la hoja de cálculo

⁹⁶ Ver (Punto 2007).

⁹⁷ Por ser la curva más parecida a la forma estudiada.

desarrollada⁹⁸ para determinar el trazado de la catenaria. Se utilizan como parámetros conocidos la longitud y la flecha del arco.



Las variables que se deben conocer son:

a= Distancia en "y" entre la curva y el eje de coordenadas (0,0).

s= Valor del intervalo entre los valores del eje "x".

L= Longitud total de la base del arco⁹⁹.

h= Altura del arco o flecha del arco.

Por medio del mismo programa "Excel.2007" o con el "AutoCAD" se dibuja la curva.

⁹⁸ La hoja de cálculo se desarrolla en el programa "Excel.2007".

⁹⁹ En este caso la dimensión horizontal superior del arco, ya que está invertido.

2.4.3.2 El arco parabólico

La identificación de la parábola en la vida real es evidente. A continuación se presentan algunos ejemplos.



(GRAF.2: 122) Parábolas que son formadas por una pelota de tenis que se desplaza hacia la derecha, botando contra el suelo

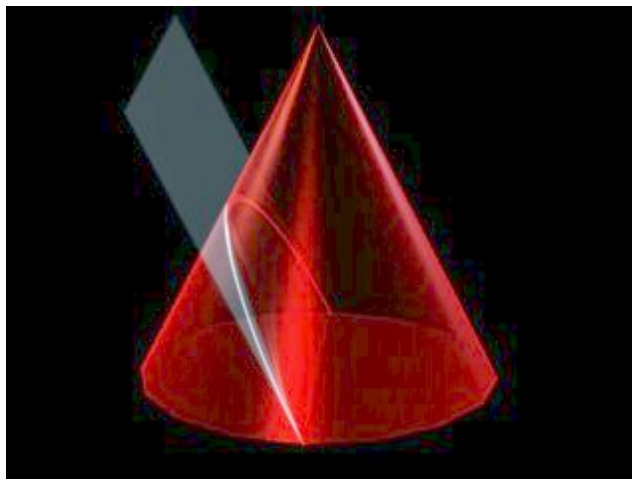


(GRAF.2: 123) Trazado de una parábola por un rayo de luz proyectado en la pared.



(GRAF.2: 124) Parábola definida por la trayectoria del recorrido de un chorro de agua.

Matemáticamente la parábola es una curva plana formada por la intersección de un cono con un plano paralelo a una recta de la superficie de éste.



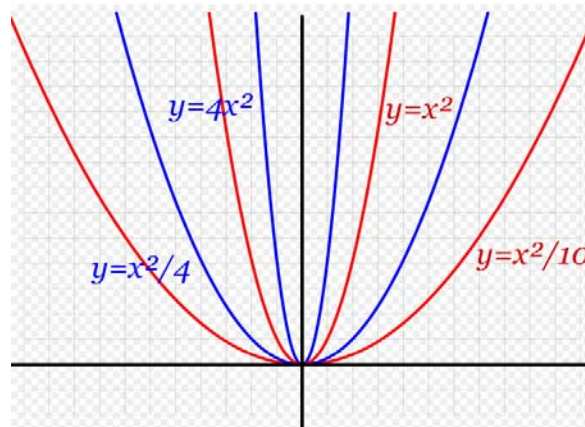
(GRAF.2: 125) Formación de la parábola al interceptar un cono con un plano.

También podemos decir que una parábola es el lugar geométrico de los puntos equidistantes de una recta dada, llamada directriz, y de un punto fijo que se denomina foco.

La ecuación y el trazado de la parábola, en el caso en que su origen sea el punto "0,0", se presentan a continuación:

$$y = ax^2$$

("a" es una constante)



La tradición reza que las secciones cónicas fueron descubiertas por Menecmo en su estudio del problema de la duplicación del cubo, donde demuestra la existencia de una solución mediante el corte de una parábola con una hipérbola. Esto es confirmado posteriormente por Proclo y Eratóstenes.

Sin embargo, el primero en usar el término parábola fue Apolonio de Perge en su tratado "Cónicas", considerada obra cumbre sobre el tema de las matemáticas griegas y donde se desarrolla el estudio de las tangentes a secciones cónicas.

"Si un cono es cortado por un plano a través de su eje, y también es cortado por otro plano que corte la base del cono en una línea recta perpendicular a la base del triángulo axial, y si adicionalmente el diámetro de la sección es paralelo a un lado del triángulo axial, entonces cualquier línea recta que se dibuje desde la sección de un cono a su diámetro paralelo a la sección común del plano cortante y una de las bases del cono, será igual en cuadrado al rectángulo contenido por la línea recta cortada por ella en el diámetro que inicia del vértice de la sección y por otra línea recta que está en razón a la línea recta entre el ángulo del cono y el vértice de la sección que el cuadrado en la base del triángulo axial tiene al rectángulo contenido por los dos lados restantes del triángulo. Y tal sección será llamada una parábola" (Apolonio de Perge).

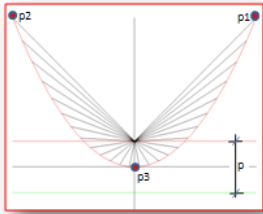
Con la finalidad de poder realizar diferentes comprobaciones a lo largo del apartado, presentamos la hoja de cálculo desarrollada¹⁰⁰ para determinar el trazado de la "parábola". Se utilizan como parámetros conocidos la longitud y la flecha del arco.

El siguiente cuadro calcula el valor de la constante "a":

¹⁰⁰ La hoja de cálculo se desarrolla en el programa "Excel.2007".

CÁLCULO DE LA ECUACIÓN Y DEL FOCO DE LA PARÁBOLA SIMÉTRICA Y CON NACIMIENTO EN EL PUNTO DE ORIGEN.

Dimensiones de la parábola	
L	2 m
h	2,55 m
$y = ax^2 + bx + c$	
a	2,55 m
b	0 m
c	0 m
$y = ax^2$	



Determinación del Foco (p):	
$y = x^2/2p$	ó $x^2 = 2py$
$p = 1/2a$	$p = 0,196078$ m
$p/2 = 1/4a$	$p/2 = 0,098039$ m

Punto	x	y	Equation	Result
Punto-1 (p1)	1 m	2,55 m	$2,6 = a(1)^2 + b(1) + c$	$2,55 = a(1)^2 + b(1) + c$
Punto-2 (p2)	-1 m	2,55 m	$2,6 = a(-1)^2 + b(-1) + c$	$2,55 = a(-1)^2 + b(-1) + c$
Punto-3 (p3)	0 m	0 m	$0 = a(0)^2 + b(0) + c$	$5,1 = 2a(1)^2$ $a = 2,6$ m
				$2,6 = a(1)^2 + b(1) + c$ $b = 0$ m

Las variables que se deben conocer son:

L= Longitud total de la base del arco¹⁰¹.

h= Altura del arco o flecha del arco.

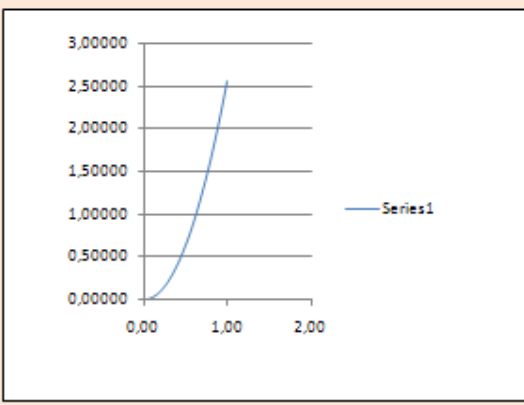
s= Valor del intervalo entre los valores del eje "x".

CÁLCULO DE LOS PUNTOS DE LA PARÁBOLA

$y = ax^2$

a	2,55	m
s	0,04	m
L	2	
h	2,55	m
L/2	1	m

x	y
0,00	0,00000
0,04	0,00408
0,08	0,01632
0,12	0,03672
0,16	0,06528
0,20	0,10200
0,24	0,14688
0,28	0,19992
0,32	0,26112
0,36	0,33048
0,40	0,40800
0,44	0,49368
0,48	0,58752
0,52	0,68952
0,56	0,79968
0,60	0,91800
0,64	1,04448
0,68	1,17912
0,72	1,32192
0,76	1,47288
0,80	1,63200
0,84	1,79928
0,88	1,97472
0,92	2,15832
0,96	2,35008
1,00	2,55000



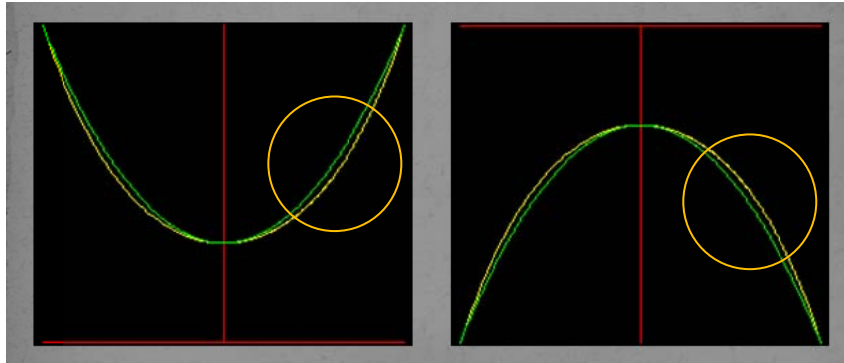
Por medio del mismo programa "Excel.2007" o con "AutoCAD" se dibuja la curva.

¹⁰¹ En este caso la parte superior del arco, ya que está invertido.

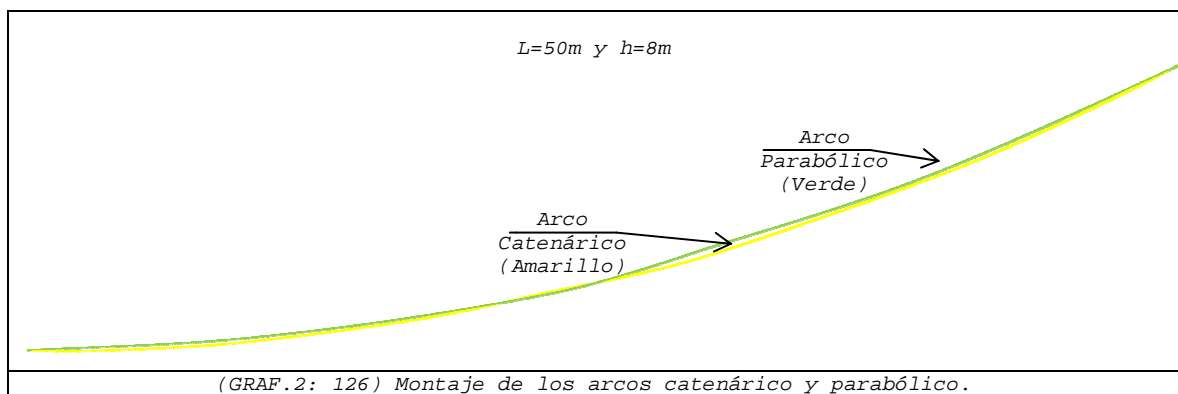
2.4.3.3 Diferencias entre la catenaria y la parábola

Gracias a las hojas de cálculo desarrolladas hemos podido establecer que¹⁰²:

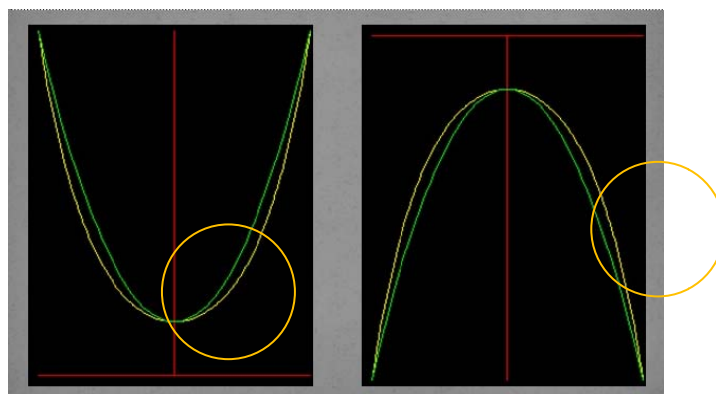
1. Las diferencias entre ambas curvas son menores cuando la longitud de la base es mayor que la flecha del arco, como se puede observar en los siguientes gráficos:



En el ejemplo que se presenta a continuación, podemos apreciar que las diferencias son insignificantes.



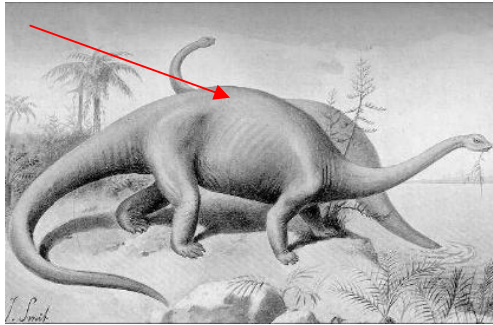
2. Las diferencias entre ambas curvas son mayores cuando la altura es mayor en relación con la longitud de la base. Veamos un ejemplo:



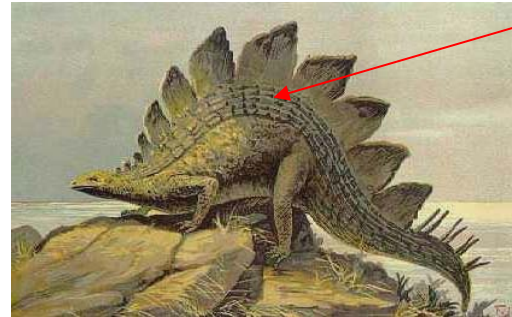
¹⁰² En los gráficos que se exponen las líneas de color amarillo representan las catenarias y las de color verde representan las parábolas.

2.4.3.4 La forma catenária en la naturaleza

La forma catenária está inmersa en la naturaleza¹⁰³. Pensemos en las grandes estructuras óseas de algunos animales como la espalda jorobada de los dinosaurios. Vemos que ésta es capaz de soportar el enorme peso del animal. Esto sólo es posible gracias al principio del arco catenário.



(F-13) Brontosaurus



(F-14) Stegosaurus

En las siguientes fotos se presentan otros ejemplos de elementos de la naturaleza, dignos de ser contemplados por su gran belleza y riquísima enseñanza, en los que se observa el trazado de la catenaria.



(F-15) Glaciar-1.



(F-16) Glaciar-2.



(F-17) Iceberg.



(F-18) Catenaria formadas con las ramas



(F-19) Ojo humano.



(F-20) Alas de las mariposas.

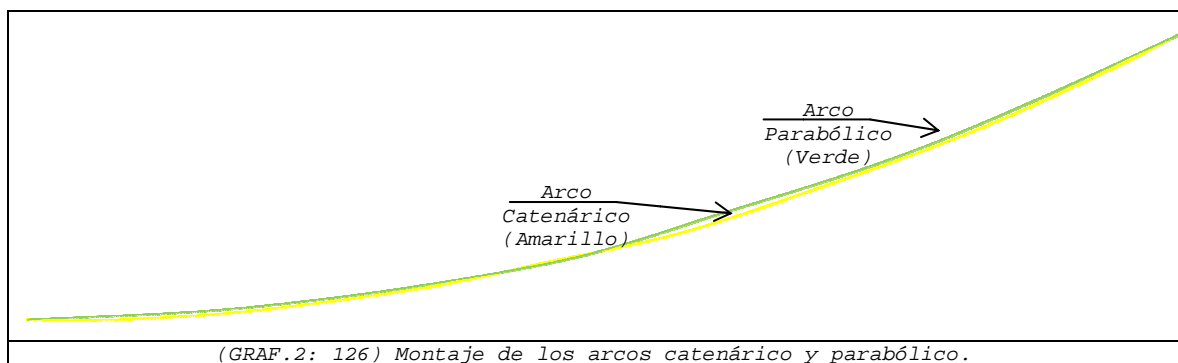
¹⁰³ Tener en cuenta que sólo interviene el peso propio del elemento analizado.

2.4.3.5 Aplicación en Ingeniería-Obra Civil

En obras de Ingeniería se utilizan mucho las formas de los arcos catenárnicos y los parabólicos¹⁰⁴. Entre estas aplicaciones tenemos: puentes, líneas de ferrocarril, cables colgantes del tendido eléctrico, túneles, etc.

Macho (Macho 2005) expone: "La catenaria es la curva que adopta un cable sostenido por sus extremos debido a su propio peso. Por otro lado, la curva que adopta el cable es una parábola cuando, despreciando su propio peso, es una carga uniformemente distribuida la que soporta. En el puente colgante, los cables, además de su propio peso, tienen que soportar el de la plataforma. Por ello, la forma exacta que adoptan los cables es una "combinación" de la catenaria y la parábola. La diferencia entre ambas curvas es muy pequeña. De hecho, los ingenieros suponen en sus cálculos que es una parábola, dada la simplicidad de su ecuación frente a la ecuación de la catenaria"¹⁰⁵.

Para constatar el comentario del autor presentamos un montaje de los dos tipos de arcos. Ambos tienen una luz de 50,00m y una flecha de 8m¹⁰⁶. Efectivamente y tal como se puede apreciar en el gráfico (GRAF.2: 125), las diferencias son insignificantes, lo cual quiere decir que cuando es mucho mayor la longitud en relación con la flecha, las diferencias entre ambas formas son irrelevantes.



A continuación presentamos algunos ejemplos:



(F-21) Puente en Zaragoza



(F-22) Puente Lusitania (Mérida-España): Calatrava.

¹⁰⁴ Contando con las características antes mencionadas de los mismos.

¹⁰⁵ Otros autores indican que los puentes pueden tener forma catenárica, como es el caso de Gpunto (Gpunto 2007) que dice: "Calatrava lo utiliza abundantemente en sus edificios de la Ciudad de las Artes y las Letras de Valencia, así como en numerosísimos puentes". A mi parecer lo que indica el autor es erróneo, ya que por definición los puentes al tener una carga lineal en la plataforma la curva que se genera es una parábola y no una catenaria ya que el peso propio del cable es despreciable.

¹⁰⁶ Con la finalidad de apreciar mejor las diferencias hemos colocado únicamente la mitad de los arcos.



(F-23) Golden Gate (San Francisco): Leon Moissieff.



(F-24) Uakashi-Kaikyo (Japón)



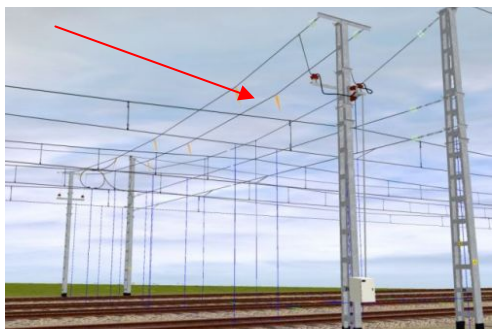
(F-25) Puente en Sevilla



(F-26) Ponte Di Scavalamento (Italia): Calatrava



(F-27) Túnel de Tabladillo, provincia de Segovia



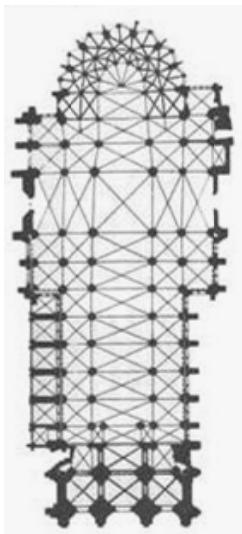
(F-28) Tendido de cables eléctricos (Catenarias perfectas).

2.4.3.6 Aplicación en la Arquitectura

Así mismo, en la Arquitectura, las curvas invertidas: catenárias, funiculares y parabólicas, son el trazado perfecto para un arco, dado que toda la línea de presiones sigue la forma de la curva.

Esta propiedad, distintiva y única de este tipo de arcos, hace que no necesiten apoyos a los lados del arco para sustentarse y evitar que tiendan a abrirse. Sin embargo, estas formas necesitan elementos auxiliares capaces de soportar los empujes concentrados en su base, tal como ocurre en estructuras con el uso de otras formas de arcos, como se puede apreciar en los dos primeros ejemplos.

2.4.3.6.1 *Basílica de Saint Denis (París-Francia): utilizan arcos de medio punto - grandes contrafuertes laterales*

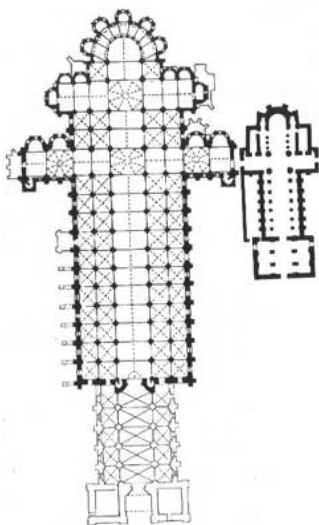


(GRAF.2: 127) Planta de la Basílica

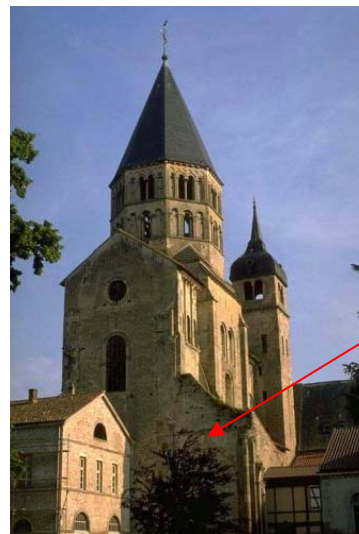


(F-29) Vista frontal de la Basílica.

2.4.3.6.2 *Iglesia de Cluny III (París-Francia): utilizan arcos ojivales - grandes contrafuertes exteriores*



(GRAF.2: 128) Planta de la Iglesia.



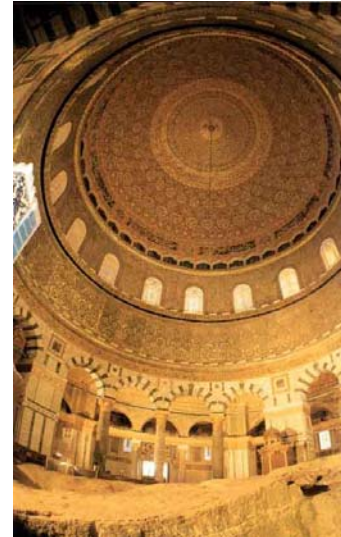
(F-30) Vista frontal de la Iglesia.

2.4.3.6.3 Cúpula de la Mezquita de la Roca (Qubbat as-Sajrah) (Jerusalén 688-692)¹⁰⁷

Lo que en Occidente nos ha costado siglos aprender era, en cambio, un conocimiento común en la Arquitectura del Islam. La cúpula de la Mezquita de la Roca de Jerusalén se aproxima mucho a una cúpula catenárica perfecta¹⁰⁸.



(F-31) Vista general de la Mezquita.

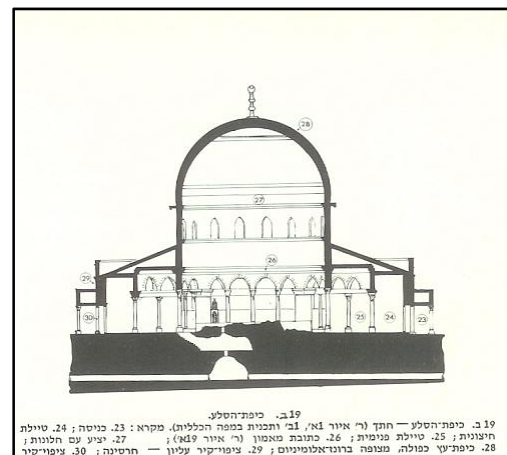


(F-32) Vista inferior: cúpula.

En esto no hacían más que seguir la Arquitectura tradicional del Sudán, país donde la madera es tan escasa y valiosa que no se puede utilizar para construir las viviendas de los pobres. Los sudaneses encontraron el sistema de construir (con sólo adobe y sin necesidad de entibar¹⁰⁹) amplias habitaciones circulares cubiertas con cúpulas catenáricas.



(F-33) Vista frontal de la Mezquita.



(GRAF.2: 129) Sección transversal.

La cúpula de la Mezquita ha sufrido varias restauraciones a lo largo de toda su vida: desde el año 1954 a 1964 y en el año 1992 (Unesco 1993).

¹⁰⁷ Texto extraído de (Gpunto 2007).

¹⁰⁸ Consideramos que esta afirmación se puede poner en duda si observamos que la cúpula nace verticalmente al arranque, lo cual no debería ocurrir si fuera una catenaria. Sin embargo, se puede llegar a pensar que no es la forma original, sino más el resultado de las continuas reformas que ha sufrido.

¹⁰⁹ Pues durante el momento de la construcción sufre tan poco empuje horizontal, que los adobes se mantienen en su posición simplemente con el rozamiento de los ya instalados y sus compañeros de hilada y una vez cerrada la cúpula, estas adquieren una resistencia extraordinaria.

2.4.3.6.4 Catedral de Santa María del Fiore (Florencia-Italia-1296)¹¹⁰

La cúpula es obra de Filippo Brunelleschi (1377-1446), el cual utiliza una cadena colgando para orientar el desarrollo de la curvatura de la cúpula en cada etapa de la construcción. Mientras se ponía cada curso de ladrillos, se colgaba una cadena entre las costillas intermedias para dirigir la curvatura.

"Así pues, la forma general de la cúpula fue determinada, no por una curvatura definida por la matemática abstracta, sino por un principio físico definido: así como una cadena que cuelga es autosuficiente en su conjunto y sus piezas, la bóveda cuya curvatura fue dirigida por la curvatura de la cadena que colgaba es, asimismo, una superficie autosuficiente, en su conjunto y sus piezas. Longitud interior de la cúpula 41m."



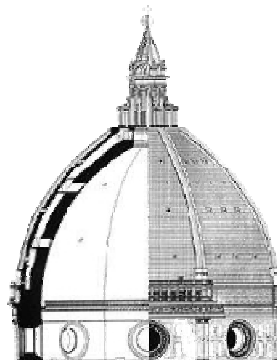
(F-34) Vista general de Catedral.



(F-35) Vista exterior de la Cúpula.



(F-36) Vista inferior de la cúpula.



(GRAF.2: 130) Sección de la cúpula.

¹¹⁰ Para mayor información consultar: (Director 2003), web en español de (Wikipedia s.f.), (S. F. Huerta 2004) - (Huerta, Diseño estructural de arcos, bóvedas y cúpulas en España ca.1500-ca.1800 1990).

2.4.3.6.5 Antoni Gaudí (1852 - 1926)¹¹¹

Está claro que en sus obras Gaudí utiliza arcos parabólicos y funiculares¹¹², mientras que existe cierta polémica cuando se habla del uso de la catenaria.

Dicha controversia se basa en que una catenaria es la forma que adopta el cable por efecto de su peso propio constante¹¹³, lo cual no ocurre en todos los casos. En conversaciones mantenidas con Profesores del Departamento de Matemáticas de la "ETSAB"¹¹⁴ indicaban que, de acuerdo con su punto de vista, únicamente se podían llegar a considerar catenarias aquellos arcos que se localizan en las azoteas, pero imposible en los sótanos¹¹⁵ por tener cargas uniformemente repartidas. De este modo concluyen que, en la mayoría de las obras de Gaudí, está presente la parábola y el arco funicular¹¹⁶.

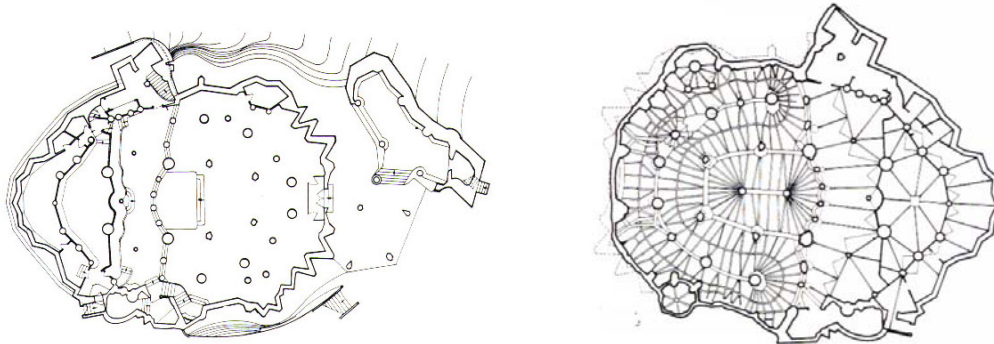
A continuación se presentan obras del Gaudí:

2.4.3.6.6 Colonia Güell (1908-1916)¹¹⁷

En la Colonia Güell se utiliza el arco funicular, es decir, en cada arco catenárnico que formaban los cordeles se suspendían los saquitos llenos de perdigones con un peso diez mil veces inferior a la carga que tendrían que soportar los arcos.



(GRAF.2: 131) Método para aplicar las cargas al modelo colgante (Escala del peso 1:10.000)¹¹⁸.



¹¹¹ Para mayor información consultar (<http://1>), (Solé s.f.), (Huerta, *El proyecto de estructuras en la obra de Gaudí 2002*), (Gómez-Serrano 2002), (Ibanez 2004).

¹¹² Anna Pujadas (Pujadas s.f.) dice: "Gaudí usaba arcos parabólicos así como helicoides, paraboloides e hiperboloides", no menciona para nada las catenarias.

¹¹³ Frézier, siguiendo a Hooke, consideraba que la catenaria era la forma ideal para un arco de espesor constante (S. F. Huerta, *Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica 2004*).

¹¹⁴ Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona.

¹¹⁵ Según indica (Gpunto 2007) en su artículo "Muchas de sus obras, como: la Sagrada Familia, la casa Batlló, la Pedrera, o el parque Güell, enseñan en las fachadas u ocultan en sus sótanos o en sus azoteas, arcos ideales que desvían el peso de las cubiertas dejando amplias zonas abiertas".

¹¹⁶ Estos comentarios de los profesores del Departamento están corroborados con estudios realizados por ellos. Con el fin de contrastar esta información hemos comprobado los arcos del Colegio de las Teresianas y, efectivamente, en contra de la opinión de otros profesionales son en realidad parabólicos (esta información se incluye en el apartado sobre dicha obra).

¹¹⁷ Ver (Solé s.f.), (Huerta, *El proyecto de estructuras en la obra de Gaudí 2002*).

¹¹⁸ (Ibanez 2004).

(GRAF.2: 132) Planta de la cripta.*(F-37) Maqueta original.**(GRAF.2: 133) Planta de las bóvedas.**(F-38) Maqueta del funicular.**(F-39) Dibujo realizado por Gaudí**(F-40) Exterior de la cripta.**(F-41) Interior de la Cripta**(F-42) Exterior de la Cripta*

2.4.3.6.7 Colegio de las Teresianas (Gaudí 1889-1890)¹¹⁹

En su artículo Gómez escribe: "El acceso al colegio ya se inicia en un porche con un arco parabólico¹²⁰. ..., es el sistema de corredores con arcos parabólicos de la planta baja y el primer piso..." (Gómez 2005).

En su artículo Huerta indica: "... utilizó arcos de formas no circulares: parabólicos o catenáricos. Estos arcos están presentes ya en sus primeras obras (Fig. 02-arcos catenáricos a la entrada del Palacio Güell, pasillo del Colegio de las Teresianas)"¹²¹. En otra página del artículo, Huerta dice: "... Es decir, cuando el arco soporta una carga uniforme mayor que su propio peso (por ejemplo un arco que soporta un forjado), la forma catenaria transformada es, muy aproximadamente, una parábola. En consecuencia, el empleo de arcos parabólicos en el Colegio de las Teresianas, está, en base a la exposición anterior, mecánicamente justificado" (Huerta, El proyecto de estructuras en la obra de Gaudí 2002).



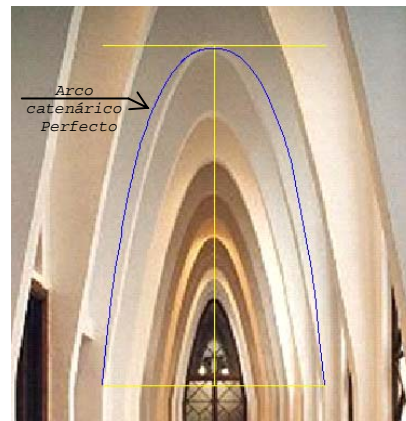
(F-43) Puerta de acceso al Colegio



(F-44) Interior del Colegio



(F-45) Pasillo interior.



(F-46) Montaje de arco catenárico perfecto¹²².

¹¹⁹ Esta obra de Gaudí es una interpretación libre del estilo gótico en el que los arcos de medio punto se han sustituido por arcos parabólicos (Solé s.f.).

¹²⁰ El acceso se hace a través de un porche con un gran arco parabólico (<http://1>).

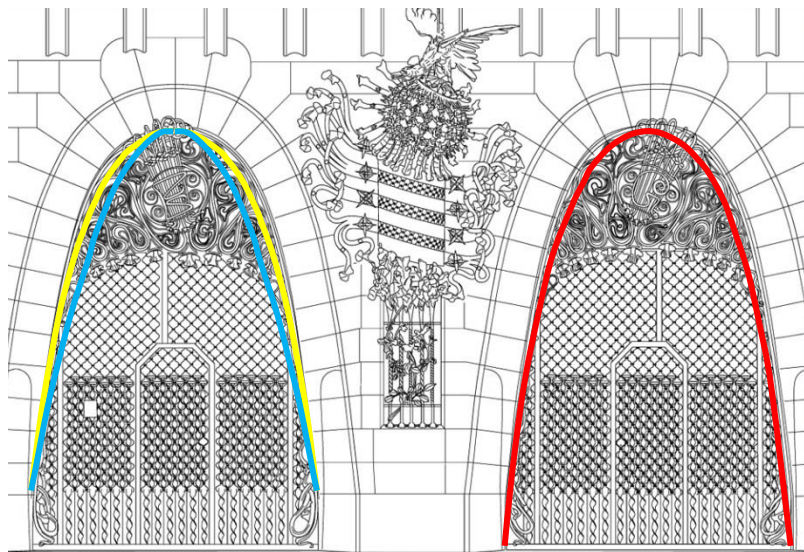
¹²¹ Gómez Serrano (Gómez-Serrano 2002) coincide con el punto de vista del Huerta. Personalmente y resguardados por la opinión de los profesores del Departamento de Matemáticas, en el caso del Colegio está claro que los arcos utilizados son parabólicos y no catenáricos.

¹²² Para comprobar el tipo de arco utilizado en este corredor, hemos obtenido el trazado del arco catenárico perfecto (color azul), para ello hemos utilizado la hoja de cálculo desarrollada y expuesta en el inicio del apartado. Observar que la diferencia es importante, lo cual ayuda a constatar que el trazado de los arcos del Colegio de la Teresianas son parabólicos.

2.4.3.6.8 Palacio Güell (Palau Güell) (1886-1890)

En su artículo Eduard Solé dice: "La planta baja corresponde al nivel de la calle, y tiene dos grandes puertas en forma de arcos parabólicos que permiten el fácil acceso de carros y personas" (Solé s.f.).

En su artículo Antonio Guerrero manifiesta: "Una de las dos majestuosas puertas gemelas por las que se accede al palacio. El arco empleado por Gaudí no tenía antecedentes en la arquitectura, por lo que su forma causó profunda extrañeza en su época. Es el llamado arco catenarico" (Guerrero s.f.).



(GRAF.2: 134) Montaje de arcos catenaricos y parabólicos perfectos¹²³. (El dibujo del alzado se ha obtenido de la web <http://www.metria.es/eng/proyectos/palauquell/index.htm>).



A. T. V. — 2033 - BARCELONA, Construcciones modernas. Conde del Asalto num. 5. Djetan
Arquitecto: D. Antonio Gaudi

(F-47) Acceso al Palacio Güell.

¹²³ Para comprobar el tipo de arco utilizado, hemos determinado los arcos perfectos, tanto catenarico como parabólico, utilizando las hojas de cálculo desarrolladas y expuestas en el inicio del apartado. En la puerta de acceso de la izquierda se hace el montaje del trazado de los arcos perfectos: el catenarico (color amarillo) y el parabólico (color azul). Ambos arcos nacen a una distancia específica del suelo. En la puerta de acceso de la derecha se monta únicamente el trazado del arco catenarico perfecto (color rojo), el mismo que nace en el suelo. Gracias al montaje se puede constatar que, efectivamente, el arco que se utiliza no es parabólico sino más bien catenarico (observemos que el arco parabólico es más estrecho que el otro).

2.4.3.6.9 Casa Milà (La Pedrera 1906-1910) ¹²⁴

Gómez en su artículo indica: "... Gaudí utiliza los arcos parabólicos como sustentación de la cubierta para formar los espacios correspondientes a las buhardillas o áticos" (Gómez 2005).

En su artículo Ricardo Gonzalez indica: "destacar que está construido en ladrillo plano hecho a mano, y que consta de 270 arcos catenarios" (Solé s.f.).



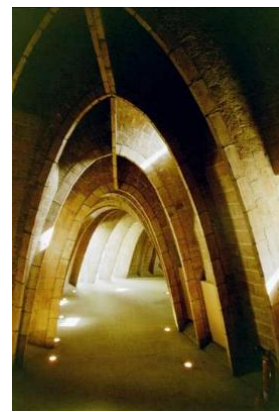
(F-48) Foto aérea.



(F-49) Fachada.



(F-50) Buhardilla-1.



(F-51) Buhardilla-2¹²⁵.



(F-52) Buhardilla-3.



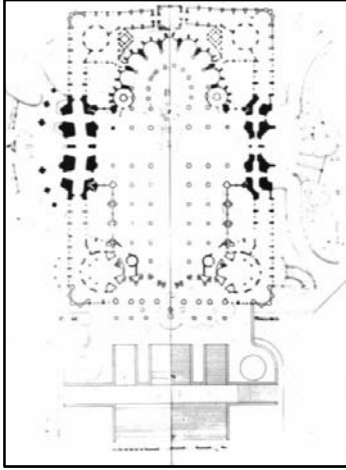
(F-53) Arco localizado en la terraza.

¹²⁴ De acuerdo a conversaciones mantenidas con expertos encargados de la rehabilitación del edificio (BOMA), nos indican que estudiaron todos los arcos, uno a uno, y se comprobó que eran catenarias perfectas (usando cadenas invertidas). Sin embargo en algunos de ellos fue necesario aumentar una franja de ladrillo, con el fin de armarlos, dándole así mayor rigidez frente a esfuerzos laterales.

¹²⁵ Estos son algunos de los arcos que se tuvieron que reforzar frente a esfuerzos laterales, pero que inicialmente eran catenarias perfectas.

2.4.3.6.10 La Sagrada Familia (Gaudí asume el proyecto en 1883)

El interior estará formado por innovadoras columnas arborescentes inclinadas y bóvedas basadas en hiperboloides y paraboloides buscando la forma óptima de la catenaria.



(F-54) Planta del Templo.



(F-55) Maqueta funicular.



(F-56) Fachada del nacimiento.



(F-57) Fachada de la pasión.



(F-58) Columnas del interior.



(F-59) Cubierta.

2.4.3.6.11 "Masia Freixa" (Tarrasa-España-1896)

Reforma (1907-1914) a cargo del arquitecto catalán Luís Muncunill i Parellada (1868-1931). La "Masia Freixa" es una joya del Modernismo construida en 1896 como fábrica y transformada en residencia de la familia Freixa en 1907.

En su artículo Gpunto sostiene que: "los arcos son catenáricos" (Gpunto 2007).

Otros autores como Soldevilla, Pujadas, Truñó, entre otros, mantienen que: "los arcos son parabólicos. (Soldevila 1999), (Pujadas s.f.) y (Truñó 2004).



(F-60) Vista del exterior-1.

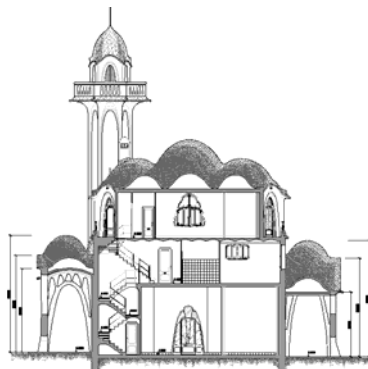


(F-61) Vista del exterior-2.

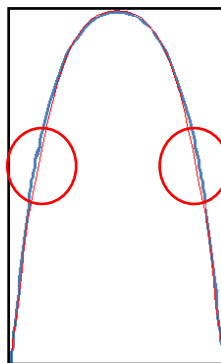


(F-62) Vista del exterior-3.

Dada la diferencia de opiniones, hemos comprobado uno de los arcos y, efectivamente, no es catenárico sino parabólico. Esto se puede apreciar en los siguientes dibujos¹²⁶ en los que incluimos la sección real.



(GRAF.2: 135) Sección transv.



(GRAF.2: 136) Montaje:
catenaria ideal.



(F-63) Arco analizado.

¹²⁶ La línea azul representa la catenaria y la línea roja el arco real de la estructura, la diferencia está en la zona que se indica con el círculo rojo. Los planos del edificio se obtuvieron de (Marín y Limiñana 2007).

2.4.3.6.12 Central nuclear¹²⁷

Las centrales nucleares suelen cubrir el reactor con una cúpula catenária por garantizar la posibilidad de construirlas sin andamiaje que la sustente.



(F-64) Cubierta catenária del reactor nuclear.

2.4.3.6.13 El centro religioso Memorial Fidel y María Moreno (Escobar-Argentina)¹²⁸

Obra de los arquitectos asociados Claudio Caveri (1928), Alejandro Faillace y Esteban Caveri. El auditorio tiene capacidad para 220 personas; la cubierta está hecha de ferrocemento y posee nervaduras con forma de catenaria invertida.



(F-65) Interior del Auditorio.

¹²⁷ Ver (Gpunto 2007).

¹²⁸ Ver (Caniza 2002).

2.4.3.6.14 Gateway Arch (Sant Louis, Missouri, EE.UU - 1947-1960)¹²⁹

Obra del Arq. Eero Saarinen (1910-1961). El edificio se construyó en memoria del presidente Thomas Jefferson. Es un arco a modo de puerta de paso que simboliza la entrada al oeste del país. Su forma tiene un trazado de catenaria y alcanza una altura de 630 pies (unos 192 metros) que es la misma distancia que separa los lados exteriores de los apoyos.

El concurso fue convocado en 1947, pero los inevitables problemas técnicos propios de todo gran proyecto (por la envergadura y por el coste), junto con los de índole política, hicieron que la construcción no empezara hasta 1960.



(F-66) Vista frontal del Arco-1.



(F-67) Vista frontal del Arco-2.



(F-68) Parte superior del Arco.



(F-69) Vista posterior del Arco.

¹²⁹ Ver (Crespo 2005) y (Ibanez 2004) : en este artículo se tratan objetos geométricos interesantes tales como: catenaria, cónicas, espiral, hélice, esfera, toro y algunas superficies regladas (cono, cilindro, helicoides, paraboloides hiperbólicos, hiperboloides, ...). Para cada uno de estos objetos se muestran algunas de sus propiedades geométricas y construcciones arquitectónicas en las cuales se haya utilizado.

2.4.3.6.15 Dulles International Airport (Chantilly-Virginia 1958-1962)¹³⁰

Obra del Arq. Eero Saarinen (1910-1961). Fue el aeropuerto más grande de los Estados Unidos en su tiempo y fue el primer aeropuerto comercial diseñado específicamente para jets. De nuevo, debido a su importancia, Saarinen se decide por una estructura monumental. Según su autor "es como una gran hamaca atada a grandes árboles". Pero el tejado con forma de catenaria es importante tanto estética como funcionalmente. Además de la estabilidad, flexibilidad y firmeza de la estructura, su forma tiene la cualidad acústica de hacer que el sonido se disperse rápidamente, algo de gran valor en una terminal de aviones. Por otro lado, también su forma permite evitar algunos efectos perniciosos del viento.



(F-70) Vista general de Aeropuerto.



(F-71) Interior del edificio.



(F-72) Detalle lateral del edificio.



(F-73) Vista general del edificio.

¹³⁰ Ver (Ibanez 2004): en este artículo se tratan objetos geométricos interesantes, tales como: catenaria, cónicas, espiral, hélice, la esfera, el toro y algunas superficies regladas (cono, cilindro, helicoides, paraboloides hiperbólicos, hiperboloides, ...). Para cada uno de estos objetos se muestran algunas de sus propiedades geométricas y construcciones arquitectónicas en las cuales se haya utilizado.

2.4.3.6.16 Marquette Plaza (Banco Federal de Minneapolis)
(Minneapolis, Minnesota-1973-1997)¹³¹

La compañía Gunnar Birkerts y Asociados (1925) utilizó la catenaria en el Banco Federal de Minneapolis. Éste está formado "por un bloque de oficinas de reluciente vidrio que tiende un puente entre las dos grandes torres de hormigón y que es sostenido, como un puente colgante, por dos vigorosas catenarias"¹³².

Actualmente el edificio es conocido como "Marquette Plaza".



(F-74) Vista frontal del edificio.



(F-76) Detalle del trazado del cable.



(F-75) Vista lateral con el entorno.

¹³¹ Para más información consultar la web en inglés de (Wikipedia s.f.).

¹³² Ver (Ibanez 2004) : en este artículo se tratan objetos geométricos interesantes, tales como: catenaria, cónicas, espiral, hélice, la esfera, el toro y algunas superficies regladas (cono, cilindro, helicoides, paraboloides hiperbólicos, hiperboloides, ...). Para cada uno de estos objetos se muestran algunas de sus propiedades geométricas y construcciones arquitectónicas en las cuales se haya utilizado.

2.4.3.6.17 Expo-98. Pabellón de Portugal (Portugal-Lisboa 1995)¹³³

Obra del Arq. Álvaro Siza (1933). El edificio fue construido para la Expo-98. El Pabellón está constituido por una plaza de 65,00m de largo por 58,00m de ancho y está cubierta por una lámina de hormigón armado de 0,20m con forma de catenaria. Dos pórticos, uno a cada extremo, actúan como dos bloques macizos para resistir la tracción que genera la catenaria.



(F-77) Vista lateral izquierda del Pabellón.



(F-78) Vista lateral derecha del Pabellón.



(F-79) Vista frontal del Pabellón.

¹³³ Ver (Charleson y Cervera 2007)

2.4.3.6.18 Ciudad de las Artes y las Ciencias (Valencia-España-1994-2005)¹³⁴

Obra de Santiago Calatrava (1951) y Félix Candela (1910-1997). Este último se encarga del diseño del Oceanográfico, conjunto de edificios más emblemáticos del parque, cuyas cubiertas de hormigón blanco representan una figura de paraboloides hiperbólicos¹³⁵.

"... otros arquitectos han utilizado el arco catenárico en sus edificaciones. Calatrava lo utiliza abundantemente en sus edificios de la Ciudad de las Artes y las Ciencias de Valencia..."¹³⁶.



(F-80) Encofrado de la cubierta.



(F-81) Cubierta finalizada.



(F-82) Edificio acabado.

¹³⁴ Más información en (Ibanez 2004), (Wikipedia s.f.).

¹³⁵ En la web en español (Wikipedia s.f.) se especifica con claridad que el Oceanográfico es la última obra de Félix Candela.

¹³⁶ Según (Gpunto 2007).

Entre las estructuras de Candela realizadas sobre la idea de los paraboloides hiperbólicos, tenemos: la Iglesia de la Medalla de la Virgen Milagrosa (México D.F., 1953), el Restaurante Los Manantiales (Xochimilco, México, 1957), la Embotelladora Bacardí (México D.F., 1959), etc.

La cubierta del "Restaurante Los Manantiales" se obtiene al intersecar cuatro paraboloides hiperbólicos. A continuación presentamos algunas fotos¹³⁷.



(F-83) Cubierta acabada.



(F-84) Edificio acabado-1.



(F-85) Edificio acabado-2.

¹³⁷ Es interesante observar su parecido con la cubierta del Oceanográfico de la Ciudad de las Artes y las Ciencias de Valencia y esto es razonable por ser ambas del mismo arquitecto, Félix Candela.

2.4.3.6.19 Casas prefabricadas (Pretoria-África del Sur-2006)¹³⁸

La empresa de diseño "BSB", en EE.UU., ha desarrollado una casa barata de alta calidad. La casa entera se desarrolla en una caja que se puede montar fácilmente y tiene la forma de un arco catenárico.



(F-86) Rrender de las tres casas.



(F-87) Exterior de las casas ya construidas.



(F-88) Interior de la P. baja.



(F-89) Interior de la P. alta.

¹³⁸ BSB empresa diseñadora: (BSB-Design 2007-2008); ver también (Drueding 2008).

2.4.3.6.20 Cubierta del escenario del Teatro de Verano Ramón Collazo del Parque Rodó (Montevideo julio-diciembre-2006)

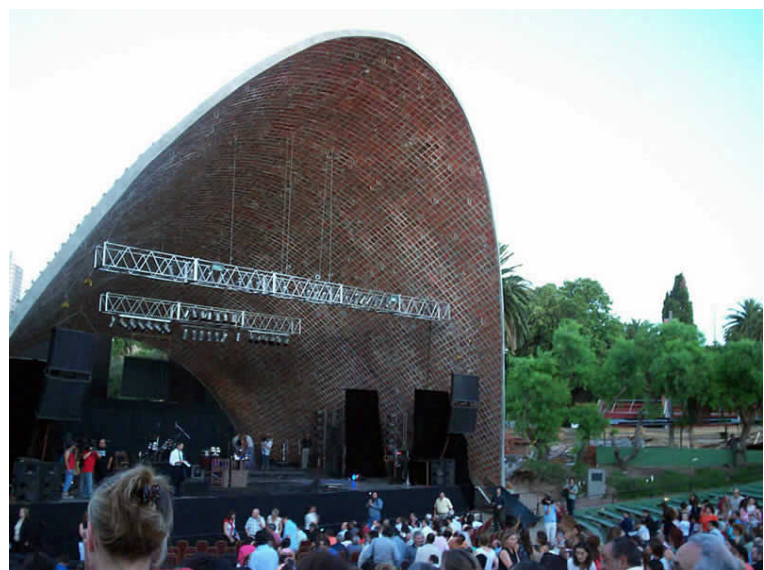
Obra del Arq. Carlos Pascual. La estructura sustituye a la antigua cubierta del teatro y adopta una forma de catenaria. El sistema constructivo utilizado es el desarrollado por el Ing. Eladio Dieste (cerámica armada).



(F-90) Render de la cubierta del teatro.



(F-91) Vista lateral derecha de la cubierta.



(F-92) Interior de la P. baja.

2.4.3.6.21 Stand de Hispalyt (Construmat-2007)

Obra del Arq. Vicente Sarrablo. La cubierta está formada por láminas de cerámica armada que se cuelgan de los extremos y adoptan una forma catenária.



(F-93) Vista general del Stand.



(F-94) Ampliación del extremo superior izquierdo de la cubierta.



(F-95) Ampliación del extremo superior derecho de la cubierta.

MJIG

2.4 INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

- 1.- DESCRIPCIÓN DE LA MAMPOSTERÍA
- 2.- LA FISURACIÓN
- 3.- LA CATENARIA Y LA PARÁBOLA
- 4.- *DESCRIPCIÓN DE LOS PROGRAMAS UTILIZADOS*

MJIG

2.4.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PROGRAMAS
UTILIZADOS

- 1.- PROGRAMA DE DIBUJO "AUTOCAD"
- 2.- PROGRAMA PRE Y POST PROCESADOR:
"GID"
- 3.- PROGRAMA DE CÁLCULO: "RAMSERIES"
- 4.- PROGRAMA DE CÁLCULO "RISA-
3D" PROGRAMA DE CÁLCULO "RISA-3D"
- 5.- PROGRAMA "WINDOWS MOVIE MAKER"
- 6.- PROGRAMA MATEMÁTICO "ORIGIN-8"
- 7.- PROGRAMA "EXCEL.2007"

2.4.4 Descripción de los programas utilizados

2.4.4.1 Programa de dibujo "AutoCAD"¹³⁹



"AutoCAD" es un programa de diseño asistido por ordenador¹⁴⁰ para dibujo en 2D y 3D. Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk.

En los siguientes apartados se exponen algunos aspectos importantes:

1. Características del programa:

Al igual que otros programas de Diseño Asistido por Ordenador (DAO), "AutoCAD" gestiona una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc.) con la que se puede operar a través de una pantalla gráfica. La interacción del usuario se realiza a través de comandos de edición o dibujo, desde la línea de órdenes, a la que el programa está fundamentalmente orientado.

Como todos los programas de DAO, "AutoCAD" procesa imágenes de tipo vectorial, aunque admite incorporar archivos de tipo fotográfico o mapa de bits. En éstos se dibujan figuras básicas o primitivas (líneas, arcos, rectángulos, textos, etc.) y, mediante herramientas de edición, se crean gráficos más complejos. El programa permite organizar los objetos por medio de capas o estratos, ordenando el dibujo en partes independientes con diferente color y grafismo. El dibujo de objetos seriados se gestiona mediante el uso de bloques, posibilitando la definición y modificación única de múltiples objetos repetidos.

Parte del programa "AutoCAD" está orientado a la producción de planos, empleando para ello los recursos tradicionales de grafismo en el dibujo, como: color, grosor de líneas y texturas tramadas. Así mismo, utiliza el concepto de espacio modelo y espacio papel para separar las fases de diseño y dibujo en 2D y 3D.

La extensión del archivo de "AutoCAD" es "dwg", aunque permite exportar en otros formatos¹⁴¹. Maneja también los formatos "IGES" y "STEP" para la compatibilidad con otro software de dibujo.

¹³⁹ Información extraída de "Wikipedia, la enciclopedia libre".

¹⁴⁰ (CAD = Computer Aided Design = Diseño asistido por computador.

¹⁴¹ El más conocido es el .dxf.

El formato "dxf" permite compartir dibujos con otras plataformas de dibujo CAD. Dicho formato puede editarse con un procesador de texto básico, por lo que se puede decir que es abierto. En cambio, el "dwg" sólo podía ser editado con "AutoCAD", si bien desde hace poco tiempo se ha liberado¹⁴².

El formato "dwg" ha sufrido cambios al evolucionar en el tiempo, lo que impide que formatos nuevos puedan ser abiertos por versiones antiguas de "AutoCAD" u otros CADs que admitan ese formato. La última versión de "AutoCAD", hasta la fecha, es el "AutoCAD" 2009 y tanto él como sus productos derivados (como Architectural DeskTop ADT o Mechanical DeskTop MDT) usan un nuevo formato no contemplado o trasladado al OpenDWG, que sólo puede usar el formato hasta la versión 2000.

Las aplicaciones del programa son múltiples, desde proyectos y presentaciones de ingeniería, hasta diseño de planos o maquetas de arquitectura.

2. Entorno programable:

Es también un entorno programable en múltiples lenguajes. Entre ellos, se pueden destacar:

- "AutoLISP" - Una adaptación de "LISP" para "AutoCAD".
- "DIESEL" -Expresiones directas.
- "Visual LISP" - Nueva versión de "AutoLISP" para las últimas versiones de "AutoCAD", con más funciones y un "IDE" visual integrado.
- "VBA" - Programación con el "Visual Basic" para aplicaciones integrado.
- "ObjectARX" - Permite desarrollar librerías en "C/C++" para ser utilizadas por "AutoCAD".

3. Alternativas:

Un clon de "AutoCAD", que fue publicado para que lo usaran distintas empresas, es "Intellicad". Se utiliza de manera similar al "AutoCAD", ya que admite casi los mismos comandos u órdenes de éste.

Muchos usuarios de "AutoCAD" esperan que una de las próximas versiones sea también ejecutable en "GNU/Linux" o en "Mac" ya que, hasta el momento, Windows es el único sistema operativo compatible al 100%. Pero los usuarios de "GNU/Linux", acérrimos defensores del software libre, rechazan rotundamente el uso de software privativo en este sistema, por ello apoyan proyectos "CAD" libres tales como "QCAD". Últimamente, tras la aparición de "Parallels" para "Mac", se abre la vía de utilización en un "Mac" emulando un Windows. Por el momento, Autodesk tampoco plantea el desarrollo de "AutoCAD" para "GNU/Linux", aunque en éste se puede ejecutar "AutoCAD" utilizando "Wine".

¹⁴² Con lo que muchos programas CAD distintos del "AutoCAD" lo incorporan y permiten abrir y guardar en esta extensión, con lo cual lo del "dxf" ha quedado relegado a necesidades específicas.

2.4.4.2 Programa pre y post procesador: "GID"¹⁴³

El programa "GID" ha sido desarrollado por "CIMNE"¹⁴⁴.



Éste es un programa gráfico¹⁴⁵ orientado tanto a la definición y preparación de los datos destinados a realizar una simulación numérica, como a la visualización de sus resultados. Dicho entorno permite, de manera sencilla, importar un modelo CAD estándar y adaptarlo para el cálculo.

Una característica esencial de "GID" es que no está especializado en un tipo de análisis. A priori, "GID" no conoce ningún material o condición hasta que no se carga un "tipo de problema".

Cualquier usuario puede crear su "tipo de problema" personal, de modo que "GID" conozca la sintaxis de su programa de simulación particular.

Además, un usuario avanzado, puede extender la interfaz de "GID" creando sus propias ventanas mediante el lenguaje Tcl/Tk y personalizar el aspecto de "GID".

En el (CUADRO 25) se puede apreciar esquemáticamente el funcionamiento del programa:



¹⁴³ La información técnica del programa se ha extraído del manual de ayuda del mismo.

¹⁴⁴ CIMNE: "International Center for Numerical Methods in Engineering".

¹⁴⁵ No es un programa de cálculo, es decir, por sí sólo no calcula sino que necesita de un programa adicional que realice esta función.

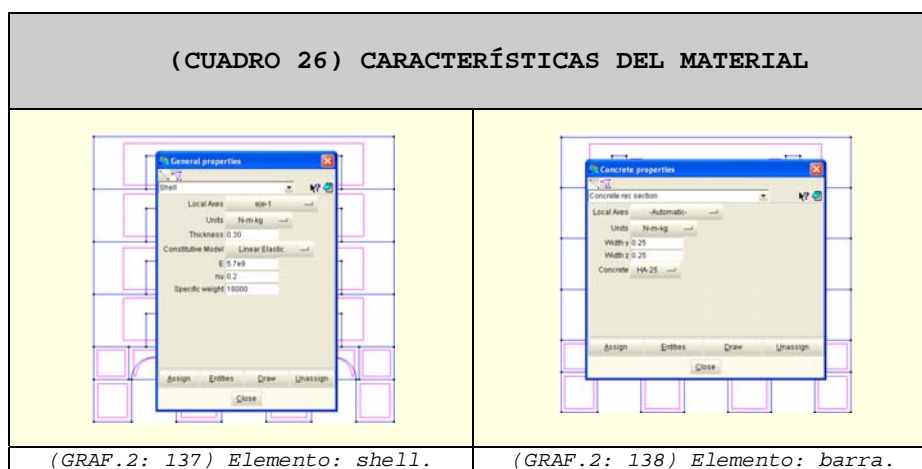
2.4.4.2.1 Pre-proceso

El pre-proceso consiste en la creación de los datos: la definición de la geometría a estudiar, los materiales que la componen, las condiciones de contorno, las cargas aplicadas, la generación de la malla¹⁴⁶, y otros parámetros¹⁴⁷.

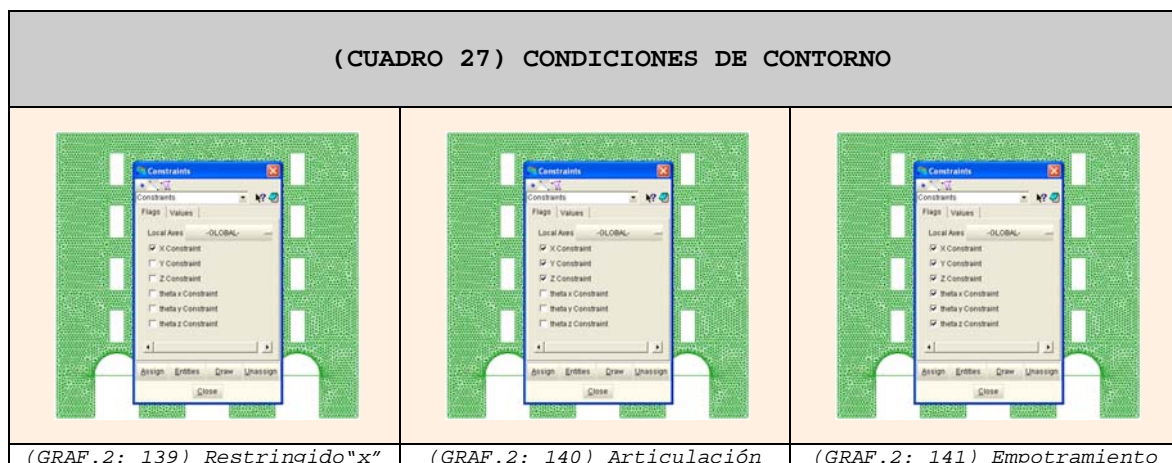
En los cuadros que se presentan a continuación, se especifican los datos de cada uno de estos parámetros utilizados en el desarrollo de la Tesis.

1. El material es una entidad disponible únicamente cuando se carga el "Problem Type".

Los elementos "shell" son de fábrica de ladrillo maciza¹⁴⁸, mientras que los elementos de "barra" son de hormigón armado¹⁴⁹.



2. Las condiciones de contorno utilizadas se pueden clasificar en tres tipos¹⁵⁰: con una restricción lateral, empotradas y articuladas¹⁵¹:



¹⁴⁶ Y le transfiere los datos asociados a la geometría introducida. El mallado se puede realizar para elementos finitos, diferencias finitas u otros métodos.

¹⁴⁷ Como por ejemplo la estrategia de resolución o, dicho de otro modo, el programa de cálculo a utilizar.

¹⁴⁸ Ver gráfico (GRAF.2: 137).

¹⁴⁹ Ver gráfico (GRAF.2: 138).

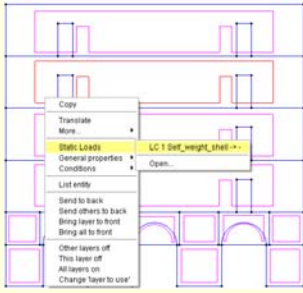
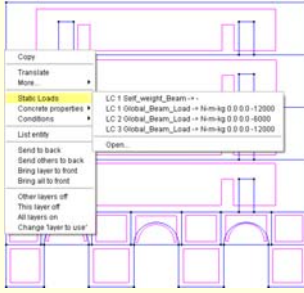
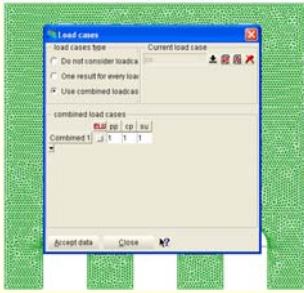
¹⁵⁰ Ver (CUADRO 27).

¹⁵¹ Ver gráficos (GRAF.2: 139), (GRAF.2: 140) y (GRAF.2: 141) respectivamente. Dependiendo del modelo también se pueden combinar. En cada uno de los capítulos se especifica detalladamente las condiciones de contorno utilizadas para cada modelo o grupo de modelos.

3. Las cargas aplicadas en los modelos se indican de modo general en el (CUADRO 28). En el elemento "shell" siempre se considera el peso propio de los elementos, sin embargo, en el elemento "barra" se considera el peso propio dependiendo del caso¹⁵².

Generalmente se establecen 3 hipótesis simples¹⁵³ y una combinación de las tres hipótesis con un coeficiente de mayoración de "1" para cada una, es decir, hacemos el estudio en estado de servicio¹⁵⁴.

(CUADRO 28) CARGAS APLICADAS: HIPÓTESIS SIMPLES Y COMBINADA

 <p>(GRAF.2: 142) Cargas en "Shell".</p>	 <p>(GRAF.2: 143) Cargas en barras.</p>	 <p>(GRAF.2: 144) Coeficientes de mayoración.</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

4. Para el mallado de las superficies hemos seleccionado el elemento "shell" de tres lados¹⁵⁵, tanto de 3 como de 6 nodos, dependiendo de las necesidades de cada modelo¹⁵⁶.

(CUADRO 29) DEFINICIÓN DEL MALLADO

 <p>(GRAF.2: 145) Nodos, barras, Shell y sólidos.</p>	 <p>(GRAF.2: 146) Mallado especial.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

En algunos modelos específicos se intensifica el mallado y, para ello, utilizamos el "unstructured" en nodos, barras y superficies (shell)¹⁵⁷⁻¹⁵⁸.

¹⁵² En cada capítulo se especifica el estado de carga considerado para cada uno de los modelos o grupos de modelos.

¹⁵³ Pp=peso propio; cp=cargas permanentes y su=sobrecargas de uso.

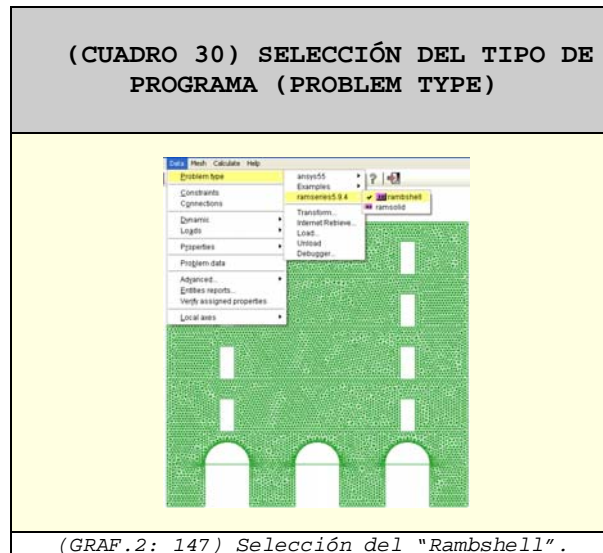
¹⁵⁴ Todos los modelos se analizan en estado límite de servicio, teniendo en cuenta que analizamos el estado de fisuración de las paredes (mecanismos de colapso).

¹⁵⁵ Ver recuadro rojo en el gráfico (GRAF.2: 145).

¹⁵⁶ En cada uno de los capítulos se especifica detalladamente el tipo de elemento utilizada para cada modelo o grupo de modelos.

5. Otros de los parámetros son: el tipo de problema¹⁵⁹, los datos avanzados del problema¹⁶⁰ y los datos del problema¹⁶¹.

- a. Tipo de problema (Problem Type): en nuestro caso hemos utilizado el programa de cálculo "Rambshell", que se puede cargar directamente desde "GID"¹⁶² como módulos de cálculo.



- b. Los datos avanzados del problema (Advanced Problem Data): en nuestro trabajo hemos escogido el modo "Automático"¹⁶³.



¹⁵⁷ Ver gráfico ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

¹⁵⁸ Sus valores se especifican en cada uno de los capítulos en los que se utilizan.

¹⁵⁹ Ésta puede realizarse desde el propio "GID", como si todo fuese un paquete único.

¹⁶⁰ Éste, al igual que el anterior, se puede seleccionar después de escoger el tipo de problema.

¹⁶¹ Éste se puede seleccionar después de escoger el tipo de problema.

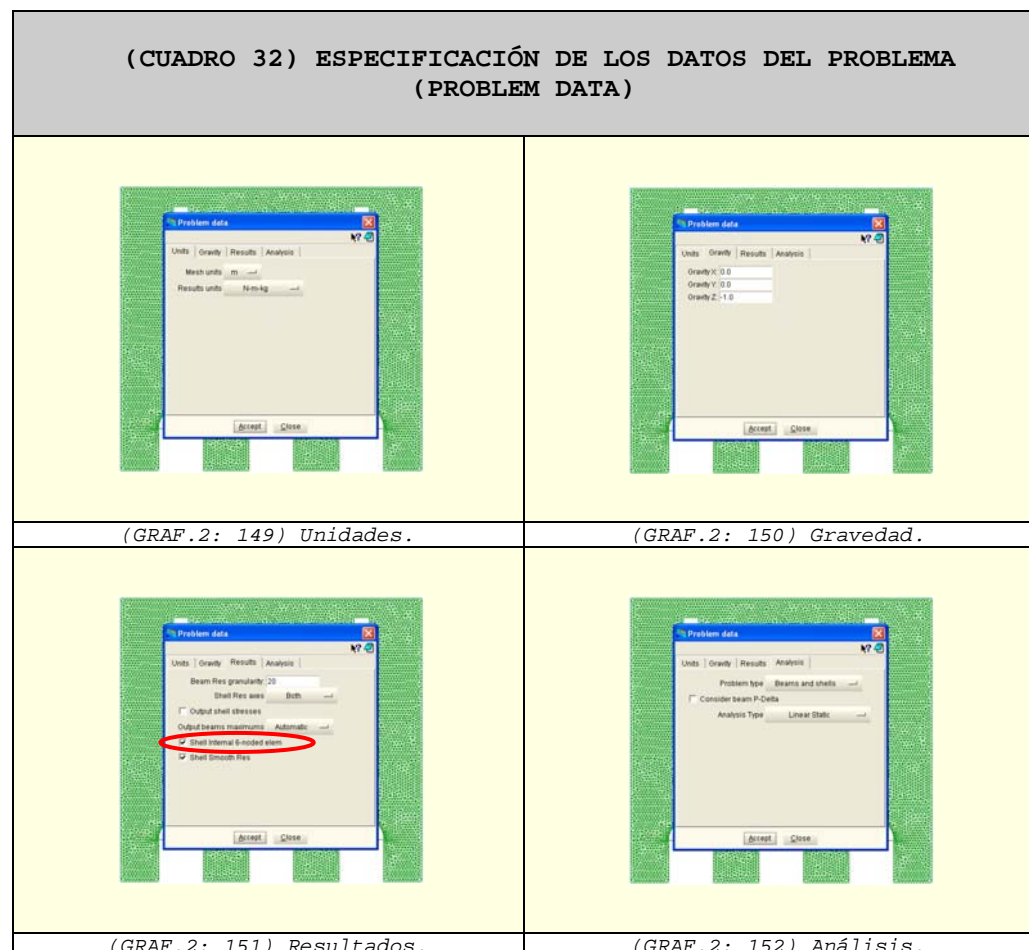
¹⁶² Como se puede constatar en el (GRAF.2: 147) del (CUADRO 30).

¹⁶³ Como se puede apreciar en el gráfico (GRAF.2: 148) del (CUADRO 31).

- c. Datos del problema (Problem Data): son datos que no se relacionan con la geometría del elemento. En el (CUADRO 32) se especifican: las unidades en las que trabajamos, el sentido de la gravedad, los parámetros de los resultados y el tipo de análisis.
- En el gráfico (GRAF.2: 149) se indican las unidades utilizadas.
 - En el gráfico (GRAF.2: 150) se especifica el sentido de la gravedad empleada en el estudio.
 - En el gráfico (GRAF.2: 151) se introducen los diferentes datos de los resultados utilizados. Entre ellos, el más importante para este estudio, es el "Shell internal"¹⁶⁴ en el cual se definen los grados de libertad del elemento.

En nuestro caso hemos trabajado con "6 grados internos", aunque en algunos modelos se trabaja únicamente con "3 grados internos" dependiendo del tamaño del modelo y del mallado¹⁶⁵.

- En el gráfico (GRAF.2: 152) se especifica el tipo de análisis seleccionado para el estudio, que es el "Estático lineal".



¹⁶⁴ Ver marco en color rojo del gráfico (GRAF.2: 151).

¹⁶⁵ En todos los capítulos se indican los grados de libertad considerados en los modelos o grupos de modelos.

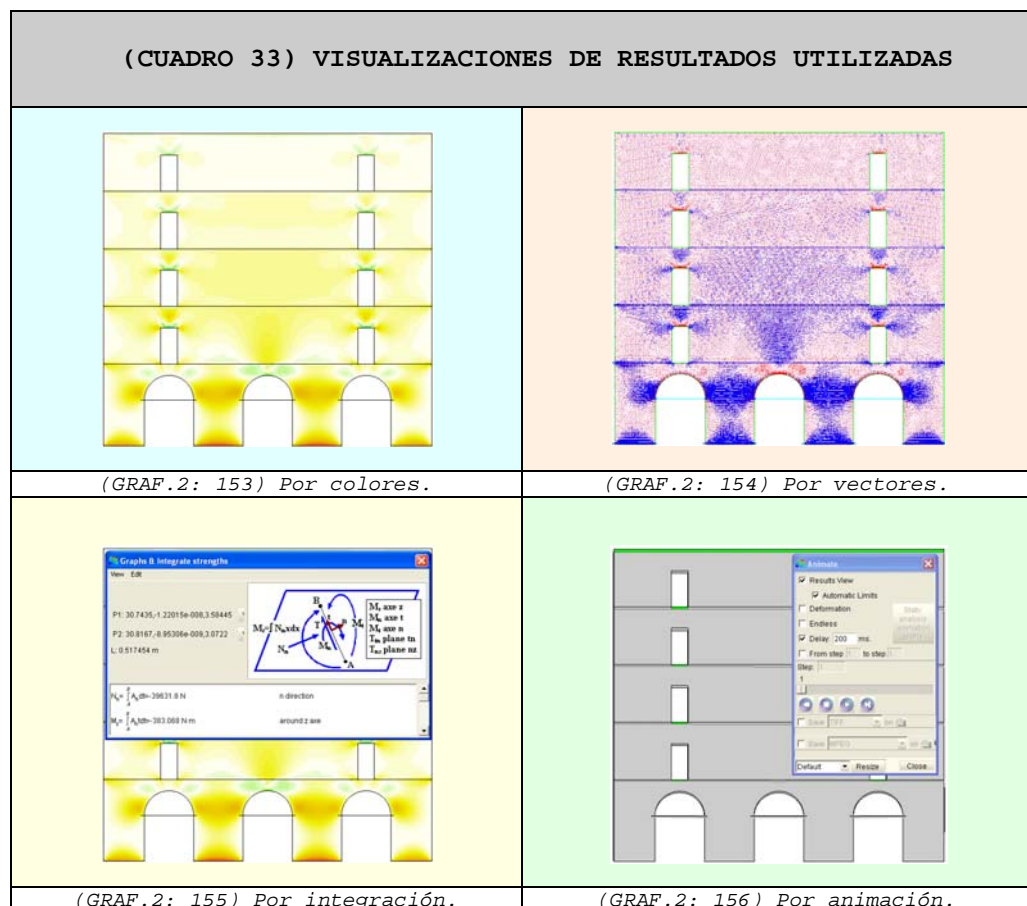
2.4.4.2.2 Post-proceso

El post-proceso consiste en la visualización de los resultados, de modo que sean fácilmente interpretables. Pueden hacerse visualizaciones por colores, curvas de nivel, etiquetas, vectores, gráficas, animaciones, etc.

1. Visualización de la tipología de los resultados seleccionados:

En el (CUADRO 33) se indican las salidas de resultados utilizados en el estudio.

- Los colores se emplean para representar las fuerzas y los desplazamientos¹⁶⁶.
- Los vectores se utilizan para representar las direcciones de las fuerzas principales¹⁶⁷.
- La integración se usa para obtener la sumatoria de las fuerzas¹⁶⁸.
- La animación se utiliza para generar las grabaciones e imágenes parciales que constituyen los vídeos presentados en la Tesis¹⁶⁹.



¹⁶⁶ Ver gráfico (GRAF.2: 153).

¹⁶⁷ Estas direcciones son las que determinan la trayectoria de las fisuras de los modelos que se presentan en esta tesis. Ver gráfico (GRAF.2: 154).

¹⁶⁸ Éste es un factor indispensable por el que se selecciona a "GID" como herramienta de pre y post-proceso. Ver gráfico (GRAF.2: 155).

¹⁶⁹ Paralelamente con éste se utiliza el programa "Windows Movie Maker" para elaborar los vídeos. Ver gráfico (GRAF.2: 156).

2. Representación gráfica de los resultados obtenidos.

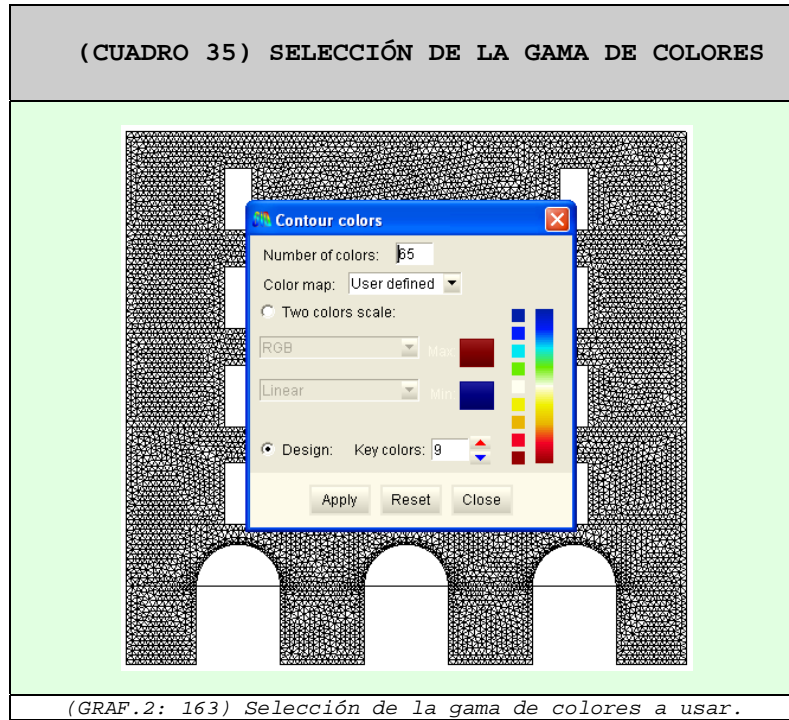
En el (CUADRO 34) se exponen, de modo gráfico, los resultados que se obtienen de los modelos de cálculo tales como: "Sii", "N22", "Nyy=Ny'", "Si", "N11" y "Nxx=Nx'". La representación gráfica de los desplazamientos se puede ver en el apartado "2.3.3".

(CUADRO 34) REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS RESULTADOS NUMÉRICOS		
<p>(GRAF.2: 157) "Sii": dirección de los vectores principales (en el eje de la dirección principal "22=y"). Los vectores rojos representan tracciones y los azules representan compresiones.</p>	<p>(GRAF.2: 158) "N22": fuerzas en la dirección principal "22=y" (en el eje de la dirección principal "y").</p>	<p>(GRAF.2: 159) "Nyy=Ny'": fuerzas en la dirección "yy=y'" (en el eje local "y'").</p>
<p>(GRAF.2: 160) "Si": dirección de los vectores principales (en el eje de la dirección principal "11=x"). Los vectores rojos representan tracciones y los azules representan compresiones.</p>	<p>(GRAF.2: 161) "N11": fuerzas en la dirección principal "11=x" (en el eje de la dirección principal "x").</p>	<p>(GRAF.2: 162) "Nxx=Nx'": fuerzas en la dirección "xx=x'" (en el eje local "x'").</p>

Ejes locales.
 Ejes de las direcciones principales.

3. Gama de colores seleccionada:

Para optimizar la interpretación de los resultados de las fuerzas y de los desplazamientos se utiliza una definición de colores especiales, para ello hacemos uso de la orden "User Defined" con 65 colores (Number of color) y 9 colores clave (Key colors)¹⁷⁰.



(GRAF.2: 163) Selección de la gama de colores a usar.

En los (CUADRO 36) y (CUADRO 37) se indica la cromática de los colores empleados

(CUADRO 36) CROMÁTICA DE COLORES: DESPLAZ. EN "X" Y FUERZAS

	153	0	240	30	79	168
	156	2	236	27	119	251
	122	0	240	231	114	242
	62	106	240	236	111	0
	40	255	240	255	221	233
	40	240	240	240	113	0
	31	233	238	181	110	1
	234	243	238	1	115	37
	0	149	240	0	70	0

(CUADRO 37) CROMÁTICA DE COLORES: DESPLAZAMIENTO EN "Z"

	40	255	240	255	221	233
	0	255	240	151	191	151
	0	149	240	0	70	0

¹⁷⁰ Como se aprecia en el (CUADRO 35).

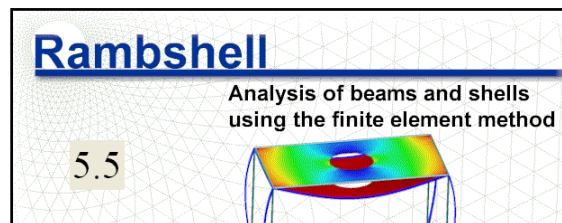
2.4.4.3 Programa de cálculo: "RamSeries"¹⁷¹

"RamSeries" es un entorno avanzado para análisis estructural, basado en el Método de los Elementos Finitos (MEF). Incluye un entorno gráfico completamente integrado de pre y post-proceso de datos, que permite una mayor sencillez en la definición del modelo, la introducción de datos para el análisis y la posterior visualización de los resultados.

El entorno gráfico permite, de manera sencilla, importar un modelo CAD estándar y adaptarlo para el cálculo. Además, puede ser adaptado a las necesidades del usuario, permitiendo automatizar y simplificar al máximo el proceso de análisis. "RamSeries" incluye diferentes tipologías de elementos, así como leyes constitutivas de los materiales que permiten calcular las más complejas estructuras con fiabilidad y precisión.

Dependiendo del tipo de estructura que tengamos se clasifica en dos módulos de cálculo:

2.4.4.3.1 "Rambshell"



"Rambshell", por medio del uso del "MEF", realiza el análisis estructural de vigas o láminas o la combinación de ambas. Por ello, es el programa de cálculo seleccionado para el desarrollo de esta tesis. Considera la elasticidad lineal en el material y los pequeños desplazamientos en toda la estructura. También puede dimensionar el análisis de las vigas de hormigón armado y láminas con el acero necesario.

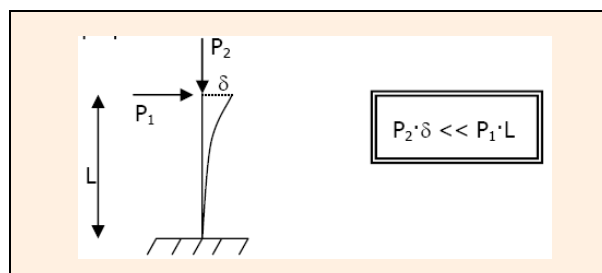
Las hipótesis que se consideran en las vigas y en las láminas se describen a continuación:

1. Teoría del análisis de barras.

En esta parte se introduce el análisis numérico que utiliza "Rambshell" para el cálculo de las vigas¹⁷².

Supuestos básicos:

- Desplazamientos pequeños.



¹⁷¹ Información extraída del manual de ayuda del programa.

¹⁷² Para mayor información consultar manual de ayuda de "Ram-Series".

- Elasticidad lineal de los materiales.
- Superposición de cargas.
- La deformación del corte no está considerada para vigas.
- Torsión simple:

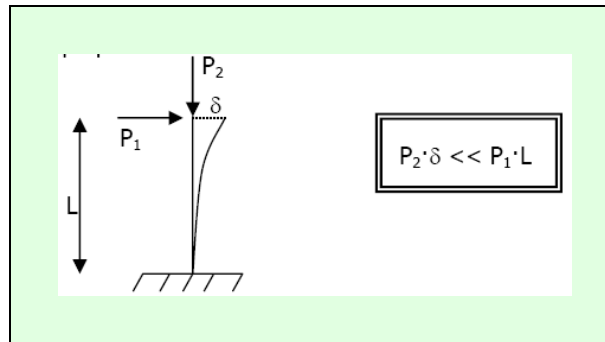
$$M_T = \frac{GJ}{L} \Delta\theta$$

2. Teoría del análisis de láminas.

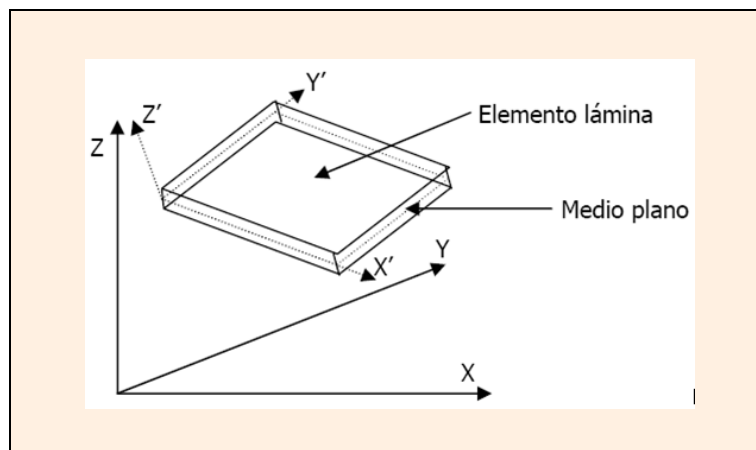
En esta parte se introduce el análisis numérico que utiliza "Rambshell" para el cálculo de láminas¹⁷³.

d. Supuestos básicos.

- Pequeños desplazamientos.



- Elasticidad lineal de los materiales.
- Superposición de cargas.
- La deformación del corte está considerada para láminas.



- El análisis de láminas está basado en la simplificación de la representación de un sólido real, con una de sus dimensiones mucho más pequeña que las otras dos, esto es medio plano

¹⁷³ Para mayor información consultar manual de ayuda de "Ram-Series".

e. La hipótesis Reissner-Mindlin:

- Todos los puntos pertenecientes al único normal del medio plano tienen el mismo desplazamiento vertical (en sentido z')
- 6 Presiones normales σ_z es insignificante.
- 7 Los puntos que antes de la deformación pertenecían a la única normal del medio plano, después de la deformación continúan perteneciendo a una única línea recta, que no existe, necesariamente, ortogonal al medio plano deformado.

De estas suposiciones es posible extraer las siguientes ecuaciones:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{x'} \\ \varepsilon_{y'} \\ \gamma_{x'y'} \\ \dots \\ \gamma_{x'z'} \\ \gamma_{y'z'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u'_0}{\partial x'} \\ \frac{\partial v'_0}{\partial y'} \\ \frac{\partial u'_0}{\partial y'} + \frac{\partial v'_0}{\partial x'} \\ \dots \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -z' \frac{\partial \theta_{x'}}{\partial x'} \\ -z' \frac{\partial \theta_{y'}}{\partial y'} \\ -z' \left(\frac{\partial \theta_{x'}}{\partial y'} + \frac{\partial \theta_{y'}}{\partial x'} \right) \\ \dots \\ \frac{\partial w'_0}{\partial x'} - \theta_{x'} \\ \frac{\partial w'_0}{\partial y'} - \theta_{y'} \end{bmatrix}$$

Donde $u'_0, v'_0, w'_0, \theta_{x'}, \theta_{y'}$, existen 5 grados de libertad que, añadiendo el 6º grado $\theta_{z'}$ que viene de la unión de las láminas en el espacio, da un total de 6 grados de libertad que tiene cada nodo.

$$\begin{bmatrix} \sigma_{x'} \\ \sigma_{y'} \\ \tau_{x'y'} \\ \dots \\ \tau_{x'z'} \\ \tau_{y'z'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D'_f & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & D'_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{x'} \\ \varepsilon_{y'} \\ \gamma_{x'y'} \\ \dots \\ \gamma_{x'z'} \\ \gamma_{y'z'} \end{bmatrix} \quad D'_f = \frac{1}{1-\nu_{x'y'}\nu_{y'x'}} \begin{bmatrix} E_{x'} & \nu_{x'y'}E_{x'} & 0 \\ \nu_{y'x'}E_{y'} & E_{y'} & 0 \\ 0 & 0 & (1-\nu_{x'y'}\nu_{y'x'})G_{x'y'} \end{bmatrix}$$

$$D'_c = \begin{bmatrix} \alpha G_{x'z'} & 0 \\ 0 & \alpha G_{y'z'} \end{bmatrix}$$

Donde α es el coeficiente que corrige el trabajo tangencial transversal. Desde aquí es posible definir las fuerzas en la lámina, las que se definen como:

$$\begin{bmatrix} N_{x'} \\ N_{y'} \\ N_{x'y'} \\ \dots \\ M_{x'} \\ M_{y'} \\ M_{x'y'} \\ \dots \\ Q_{x'} \\ Q_{y'} \end{bmatrix} = \int_{-\frac{t}{2}}^{+\frac{t}{2}} \begin{bmatrix} \sigma_{x'} \\ \sigma_{y'} \\ \tau_{x'y'} \\ \dots \\ z' \sigma_{x'} \\ z' \sigma_{y'} \\ z' \tau_{x'y'} \\ \dots \\ \tau_{x'z'} \\ \tau_{y'z'} \end{bmatrix} dz'$$

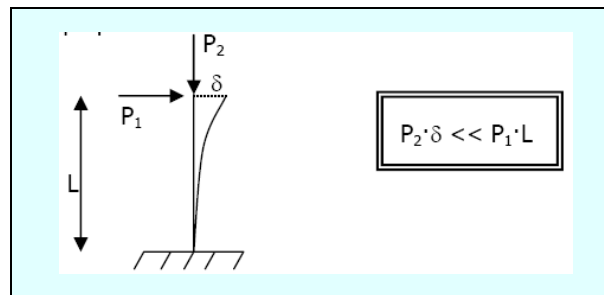
Donde t es el espesor de la lámina.

2.4.4.3.2 "RamSolid"¹⁷⁴

"RamSolid" realiza un análisis estático y dinámico de sólidos 3D mediante el uso del método de los elementos finitos. Considera la elasticidad lineal en el material y los pequeños desplazamientos en toda la estructura.

Los supuestos básicos que son asumidos por "RamSolid" para los sólidos son los siguientes:

1. Desplazamientos pequeños.



2. Elasticidad lineal de los materiales.

3. Superposición de cargas.

2.4.4.3.3 Referencias bibliográficas del programa "RamSeries"

Barbat A. H., Miquel, J. Estructuras sometidas a acciones sísmicas, 2nd Ed., CIMNE 1994.

Bathe, K.J. Finite Element Procedures, Prentice Hall, New Jersey, USA, 1996.

Clough, R. W., Penzien, J. Dynamic of Structures , McGraw-Hill, Inc. New York, 1975.

Comisión permanente del Hormigón, Instrucción de hormigón EHE, 5ª Ed., Ministerio de Fomento 1999

Crisfield, M.A. "Non-linear finite element analysis of solids and structures", John Wiley & Sons, 1991.

Oñate, E. Cálculo de estructuras por el método de los elementos finitos, 2nd Ed., CIMNE 1995.

MacNeal, R.H., and Harder, R.L., A proposed standard set of problems to test finite element accuracy, Finite elements and Design, Vol. 1, pp. 3-20, 1985.

Zienkiewicz, O.C., and Taylor, R.L. The finite element method, 4th Ed., Mc Graw Hill, Vol. I, 1989, Vol. II, 1991.

Miravete, A., Materiales Compuestos I, Ed. Antonio Miravete, 2000

¹⁷⁴ Como "RamSolid" no es el programa de cálculo que utilizamos no se ha visto oportuno incluir mayor información del mismo. Para obtener más información consultar la ayuda del programa.

2.4.4.4 Programa de cálculo "RISA-3D"



"RISA-3D" es un programa de cálculo de estructuras de 3D. Incluye el pre y post-proceso de los datos.

Este programa se ha desarrollado para hacer la definición, la solución y la modificación de los modelos estructurales en 3D.

Se utiliza en la Tesis únicamente para determinar el modelo informático de la catenaria. Se descartó su uso para el cálculo de los otros modelos por carecer de dos factores indispensables: la integración y la generación de vídeos.

Sin embargo, por considerar que es una buena herramienta de cálculo, presentamos en los siguientes párrafos algunas de sus características técnicas más importantes:

1. Características de la modelización:

- Amplia capacidad de dibujo y edición con modalidad CAD.
- Poderosa herramienta de selección gráfica.
- Reingreso instantáneo de datos ya almacenados.
- Sincronización dinámica entre planillas y vistas
- Vista simultánea de varias planillas.
- Verificación permanente de errores y validación de los datos.
- Capacidad ilimitada de deshacer/rehacer.
- Planillas o modelos de generación de mallas.
- Copia de seguridad o respaldo creada en forma automática.
- Soporte y conversiones para todos los sistemas de unidades
- Interacción automática con las librerías de RISASection.
- Importación de archivos de RISA-2D, STAAD y ProSteel 3D.
- Exportación de archivos DXF, SDNF y ProSteel 3D.

2. Características del análisis:

- Análisis estático considerando el efecto P-Delta.
- Análisis dinámico y con espectro de respuesta múltiple usando superposición modal Gupta, CQC, o SRSS.
- Inclusión automática de compensación de masas (5% o definido por el usuario) para análisis dinámico.

- Modelamiento de elementos físicos, los cuales no requieren dividir los elementos en los nodos intermedios.
 - Elementos finitos tipo plate shell de 3 o 4 nodos.
 - Generación automática de mallas de elementos finitos cuadriláteros de primera clase para cualquier polígono.
 - Análisis exacto de perfiles no prismáticos de acero.
 - Modelación automática de diafragmas rígidos, definición de nodos no solidarios
 - Cargas de área con distribución axial o biaxial.
 - Cargas móviles simultáneas múltiples incluyendo las de camión AASHTO, junto con cargas standard para puentes, grúas, etc.
 - Cálculo de la torsión por alabeo para el diseño.
 - Modelamiento automático con acodamiento (offset).
 - Eliminación de grados de libertad y cachos rígidos en elementos.
 - Asignación de nodos maestros y esclavos.
 - Desplazamientos forzados de nodos.
 - Elementos que trabajan que trabajan sólo a tracción, etc.
 - Resortes que trabajan en un sentido para suelos de cimentaciones y otros efectos, y con generación automática.
 - Elementos tipo Euler que trabajan a compresión hasta la carga de pandeo y sobre ella se desactivan.
 - Cálculo de tensiones para cualquier sección transversal arbitraria.
 - Es posible inactivar cualquier elemento, sin eliminarlo, lo que permite no considerar partes de la estructura en el análisis.
 - Cálculo de desplazamientos de entrepiso absoluto o relativo.
 - Cálculo automático del peso propio de elementos y elementos finitos.
- 3. Características gráficas:**
- Ventanas ilimitadas y simultáneas del modelo.
 - Visualización extraordinaria a escala de los elementos en sus formas reales (rendering), inclusive cuando se están modelando.
 - Algoritmo de alta velocidad para con refrescamiento instantáneo de las vistas.
 - Contornos con o sin animación en colores, de las tensiones, deflexiones, fuerzas en los elementos finitos, con suavizado cuadrático.

- Animaciones de los modelos deflectados y de los modos de vibrar dinámicos ya sea como alambres o secciones completas.
 - Animación de cargas móviles con control de velocidad.
 - Impresión personalizada gráfica de alta calidad "de lo que se ve".
- 4.** Características del Diseño:
- Diseño según ACI 318 -1999/2002, BS-8110-97, CSA A23.3-94, IS456:2000, EC 2-1992, con armaduras consistentes en vanos adyacentes.
 - Integración exacta de la distribución de tensiones en hormigón, con bloque parabólico o rectangular de compresiones.
 - Detallamiento de vigas de hormigón (Rectangular, T y L).
 - Diagramas de interacción para columnas de hormigón.
 - Diseño en acero según AISC-ASD 9ª edición o LRFD 2ª o 3ª Edición, Especificación HSS según AISC, CAN/CSA-S16.1-1994 & 2004, BS 5950-1-2000, IS 800-1994, Euro 3-1993, con listados de perfiles.
 - Diseño de perfiles formados en frío o plegados según AISI 1999.
 - Diseño en madera según norma americana NDS 1991/1997/2001, incluyendo SCL, secciones de capas múltiples, y secciones aserradas.
 - Generación automática de espectro de aceleraciones por UBC 1997 o IBC 2000/03.
 - Generación de combinaciones de carga según ASCE, UBC, IBC, BOCA, SBC, ACI.
 - Las longitudes no arriostradas de elementos físicos reconocen apoyos intermedios y largos totales de ellos.
 - Aproximaciones automáticas de los factores K (coeficientes de longitud efectiva).
 - Diseño de vigas doble te no prismáticas tanto en ASD como en LRFD.
 - Diseño optimizado de secciones para cualquier material y cualquier norma, definido por el usuario aplicando algún criterio de selección o por listado de perfiles standard.
 - Cálculo automático de secciones transversales definido por el usuario.
 - Base de datos completa para el diseño en madera según NDS para todas las especies y grados de resistencia.
 - Integración total con RISAFoot para un diseño y detalle avanzado
 - Sumatoria de las fuerzas de esquina en elementos finitos.

5. Características de la entrega de resultados:

- Presentación gráfica de soluciones en colores.
- Colores de contorno de las fuerzas y tensiones de los elem. finitos con atenuación cuadrática. Con o sin animación.
- Planillas de resultados del análisis con clasificación y filtrado de: reacciones, deflexiones de nodos y elementos, solicitaciones en ellos, secciones transversales optimizadas, normas de diseño, armaduras de hormigón armado, cubicación de materiales, modos, frecuencias y períodos de vibración, etc.
- Memorias de cálculo standard o definidas por el usuario.
- Informes de resultados gráficos detallados por elemento.
- Almacenamiento de los resultados del análisis y del diseño para poder recuperarlos y visualizarlos rápidamente.

6. Integración Entre "RISA-3D" Y RISAFloor:

RISAFloor y "RISA-3D" están tan absolutamente integrados que operan como un solo programa para un mismo modelo estructural, como por ejemplo un edificio.

Se optimiza el sistema de fuerzas gravitacionales (peso propio, sobrecarga, etc.) en el RISAFloor y el sistema de fuerzas laterales (sismo, viento, etc.) en el "RISA-3D", mediante un flujo completo de información en ambos sentidos.

La estructura soportante de fuerzas laterales se crea y se carga automáticamente mientras se efectúa la modelación y el análisis en el RISAFloor, Una vez listo para trabajar con el sistema lateral, "RISA-3D" se hace cargo automáticamente.

- Se crea el sistema estructural lateral durante la definición o modificación de las plantas o pisos del modelo por parte del usuario.
- Las cargas gravitacionales se aplican y se modifican automáticamente.
- Generación automática de cargas sísmicas y de viento incluyendo cargas parciales y de torsión accidental con informes detallados.
- Es posible visualizar y editar todas las cargas en las planillas de "RISA-3D" o plotearlos o imprimirlos inclusive en la vista con dimensiones reales del modelo. Se puede usar la potencialidad completa de "RISA-3D" para el sistema estructural lateral. Arriostramientos a tracción, columnas de sección variable, aberturas en muros, resortes a compresión para suelos, son algunas de las posibilidades. Aún mejor, las interfaces de "RISA-3D" y RISAFloor son las mismas, facilitando el aprendizaje de uso de ambos programas.

2.4.4.5 Programa "Windows Movie Maker"



"Windows Movie Maker" es el programa que se utiliza para hacer todos los vídeos que se presentan en esta tesis, usando grabaciones e imágenes parciales generadas en el programa "GID".

En los siguientes apartados se presenta una pequeña explicación de algunos aspectos importantes:

"Windows Movie Maker" es un software de edición de vídeo que se incluye en las versiones recientes de Microsoft Windows. Contiene características tales como: efectos, transiciones, títulos o créditos, pista de audio, narración cronológica, etc. Se pueden hacer nuevos efectos y transiciones y, las ya existentes, se pueden modificar mediante código XML.

Puede utilizarse para capturar audio y vídeo en el equipo desde una cámara de vídeo, una cámara Web u otro origen de vídeo y, a continuación, utilizar el contenido capturado en películas propias.

También puede importar audio, vídeo o imágenes fijas existentes a "Windows Movie Maker" para utilizarlos en las películas que se creen.

Después de editar el contenido de audio y de vídeo, a su vez, se pueden incluir títulos, transiciones de vídeo o efectos, se podrá guardar la película final.

Las películas creadas se pueden guardar en el equipo o en un CD grabable (CD-R) o regrabable (CD-RW). También se puede enviar como archivo adjunto en un mensaje de correo electrónico o enviándola a la Web.

Si se tiene una cámara de vídeo digital (DV) conectada al equipo, también se puede elegir grabar la película en cinta en dicha cámara y, a continuación, reproducirla en ésta o en un televisor.

La interfaz de usuario de "Windows Movie Maker" se divide en tres áreas principales: la barra de menús y herramientas, los paneles y el guión gráfico y la escala de tiempo.

2.4.4.6 Programa matemático "ORIGIN-8"



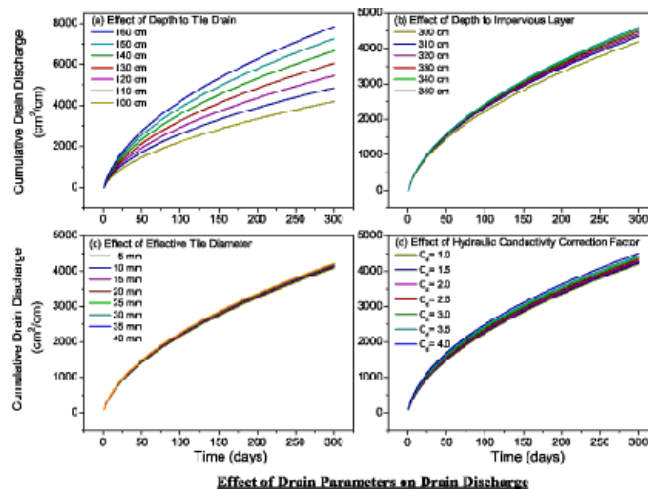
El "ORIGIN-8" se utiliza en la Tesis para determinar las curvas aproximadas obtenidas en el Capítulo-7.

Éste es un programa matemático de representación gráfica que ofrece la posibilidad de construir toda clase de gráficos 2D y 3D de forma rápida y sencilla.

Posee potentes herramientas de análisis intuitivo como: estadísticos, curvas de ajuste no lineal, análisis de picos, proceso de señales, proceso de imágenes y regresión lineal y polinomial. Además de la flexibilidad que le da incluir más de 300 funciones.

"ORIGIN-8" proporciona un análisis de los datos y una gran potencia de trabajo gráfico, ideal para científicos e ingenieros.

"ORIGINPro 8" posee todas las herramientas tales como: instrumentos de análisis estadístico, análisis en 3D, proceso de imágenes y tratamiento de señales.



"ORIGIN-8" proporciona un espacio de trabajo donde se pueden importar, crear gráficos de alta calidad, explorar y analizar datos y publicar el trabajo.

2.4.4.7 Programa "Excel.2007"¹⁷⁵

¹⁷⁵ Información obtenida de la web de Microsoft Office.



Este programa se utiliza para generar todas las hojas de cálculo desarrolladas en esta tesis.

Veamos algunos aspectos importantes del mismo:

"Excel.2007" es una aplicación desarrollada por Microsoft y distribuida en el paquete de Office para usarse en Windows o Macintosh.

El programa posee una interfaz intuitiva, con herramientas de cálculos y gráficos de muy fácil uso y con archivos de ayuda incorporados. Es uno de los programas más populares para realizar hojas de cálculo.

"Excel.2007" permite trabajar con tablas de datos, gráficos, bases de datos, macros y otras aplicaciones avanzadas, ayudando en el cálculo de ejercicios aritméticos y siendo de gran utilidad en diversas áreas como educación, administración, finanzas, producción, etc.

"Excel.2007" se caracteriza por los siguientes aspectos:

- Hojas de cálculo de gran dimensión, filas y columnas que forman celdas de trabajo.
- Agrupación de varias hojas de cálculo en un libro. "Excel.2007" está compuesto por libros, que son archivos en los que se trabaja y donde se almacenan los datos. Cada libro puede contener unas 250 hojas o carpetas y cada hoja consta aproximadamente 65.000 líneas (con orden numérico) y 256 columnas (con orden alfabético).
- Actualización automática de los resultados.
- Gran capacidad de presentación y manejo de los datos.
- Realización de distintos tipos de gráficos a partir de los datos introducidos en la hoja de cálculo.
- Trabajar con la información de una base de datos introducida en la hoja de cálculo mediante operaciones que serían propias de un Gestor de Base de Datos como "Access".

Sus trabajos son almacenados en archivos con extensión ".xls", aunque soporta otras extensiones como ".csv".

ÍNDICE DE CUADROS

(CUADRO 1) APEO DE URGENCIA	2-14
(CUADRO 2) APEO COMPLEMENTARIO	2-15
(CUADRO 3) APEO SUPLEMENTARIO	2-16
(CUADRO 4) APEO DE REFUERZO POR DEMOLICIÓN	2-17
(CUADRO 5) APEO DE UNA PARTE DE UNA PARED DE CARGA	2-19
(CUADRO 6) APEO DE UN MURO COMPLETO CON SISTEMAS APORTICADOS	2-20
(CUADRO 7) APEO DE UN PILAR	2-21
(CUADRO 8) APEO DE FORJADOS	2-22
(CUADRO 9) APEO DE JÁCENAS	2-23
(CUADRO 10) APEO DE PARED DE CARGA O PILAR EN CIMENTACIÓN	2-24
(CUADRO 11) APEO DE PARED DE CARGA O PILAR PARA HABILITAR SÓTANOS	2-25
(CUADRO 12) APEO DE LA ESTRUCTURA DE UN FORJADO EXISTENTE PARA HABILITAR NUEVOS SÓTANOS	2-26
(CUADRO 13) PROCESO PARA LOCALIZAR LAS FISURAS	2-37
(CUADRO 14) ANÁLISIS DE LA ZONA "T"	2-39
(CUADRO 15) PROCESO PARA DETERMINAR LA TRAYECTORIA DE LA DIRECCIÓN DE LAS FISURAS ...	2-41
(CUADRO 16) REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL MALLADO UTILIZADO EN LOS MODELOS DEL CAPÍTULO-7 Y DETALLES GENERALES DEL MALLADO EN PUNTOS SINGULARES DE LOS MODELOS	2-44
(CUADRO 17) REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO	2-48
(CUADRO 18) TIPOLOGÍA DE ARCOS A ESTUDIAR EN EL CAPÍTULO-2	2-49
(CUADRO 19) ESQUEMAS DE LOS MODELOS CON LAS DIFERENTES CONDICIONES DE CONTORNO A ANALIZAR EN EL CAPÍTULO-3	2-50
(CUADRO 20) ESQUEMAS DE LOS MODELOS CON LAS DIFERENTES CONDICIONES DE CONTORNO A ANALIZAR EN EL CAPÍTULO-4	2-51
(CUADRO 21) CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL PRIMER APARTADO DEL CAPÍTULO-5	2-52
(CUADRO 22) MODELOS A ANALIZAR EN EL SEGUNDO APARTADO DEL CAPÍTULO-5: DE 2, 3, 4, 5, 6 Y 10 PLANTAS, CON HUECOS EN DIFERENTES PLANTAS Y CON UNA ABERTURA DE 1,50M, 2,50M, 3,50M Y 4,50M	2-53
(CUADRO 23) REPRESENTACIÓN GEOMÉTRICA DE LOS MODELOS DEL CAPÍTULO-6	2-54
(CUADRO 24) CUADRO DE RESUMEN DE LOS MODELOS DEL CAPÍTULO-7	2-55
(CUADRO 25) FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA: "GID"	2-114
(CUADRO 26) CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL	2-115
(CUADRO 27) CONDICIONES DE CONTORNO	2-115
(CUADRO 28) CARGAS APLICADAS: HIPÓTESIS SIMPLES Y COMBINADA	2-116
(CUADRO 29) DEFINICIÓN DEL MALLADO	2-116
(CUADRO 30) SELECCIÓN DEL TIPO DE PROGRAMA (PROBLEM TYPE)	2-117
(CUADRO 31) DATOS AVANZADOS DEL PROBLEMA (ADVANCED PROBLEM DATA)	2-117
(CUADRO 32) ESPECIFICACIÓN DE LOS DATOS DEL PROBLEMA (PROBLEM DATA)	2-118
(CUADRO 33) VISUALIZACIONES DE RESULTADOS UTILIZADAS	2-119

(CUADRO 34) REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS RESULTADOS NUMÉRICOS	2-120
(CUADRO 35) SELECCIÓN DE LA GAMA DE COLORES	2-121
(CUADRO 36) CROMÁTICA DE COLORES: DESPLAZ. EN "X" Y FUERZAS	2-121
(CUADRO 37) CROMÁTICA DE COLORES: DESPLAZAMIENTO EN "Z"	2-121

ÍNDICE DE GRÁFICOS

(GRAF.2: 1) COLISEO DE ROMA: CONTRAFUERTE LATERALES.....	2-11
(GRAF.2: 2) MATERIAL LIGERO UTILIZADO: LA MADERA.....	2-12
(GRAF.2: 3) MATERIAL LIGERO UTILIZADO: EL METAL.....	2-12
(GRAF.2: 4) CONTRAFUERTE LATERALES Y APEO DE LA FACHADA CON SISTEMA DE MICROPILOTES.....	2-13
(GRAF.2: 5) ESQUEMAS DE APEOS DE URGENCIA.....	2-14
(GRAF.2: 6) ESQUEMAS DE APEOS COMPLEMENTARIOS.....	2-15
(GRAF.2: 7) ESQUEMAS DE APEOS SUPLEMENTARIOS.....	2-16
(GRAF.2: 8) ESQUEMA DE APEO DE REFUERZO POR DEMOLICIÓN.....	2-17
(GRAF.2: 9) ESQUEMA DE APEOS PERMANENTES.....	2-18
(GRAF.2: 10) ALZADO DEL MURO A INTERVENIR.....	2-19
(GRAF.2: 11) PLANTA DEL MURO A INTERVENIR.....	2-19
(GRAF.2: 12) ALZADO DEL MURO COMPLETO A APEAR.....	2-20
(GRAF.2: 13) SECCIÓN DEL APEO DE UN PILAR.....	2-21
(GRAF.2: 14) SECCIÓN DEL APEO DE LOS FORJADOS.....	2-22
(GRAF.2: 15) SECCIÓN DEL APEO DE LOS FORJADOS.....	2-23
(GRAF.2: 16) SECCIÓN DEL APEO DEL MURO.....	2-24
(GRAF.2: 17) SECCIÓN DEL APEO.....	2-25
(GRAF.2: 18) APEO DE LA ESTRUCTURA DE UN FORJADO EXISTEN PARA HABILITAR NUEVOS SÓTANOS.....	2-26
(GRAF.2: 19) SELECCIÓN DE TODA LA ZONA TRACCIONADA DEL MODELO.....	2-37
(GRAF.2: 20) SELECCIÓN DE LA ZONA TRACCIONADA QUE SUPERA LA σ_T	2-37
(GRAF.2: 21) SELECCIÓN DE LA ZONA QUE ROMPE EN PRIMER LUGAR.....	2-37
(GRAF.2: 22) FORMACIÓN DEL PRIMER GRUPO DE FISURAS.....	2-37
(GRAF.2: 23) LOCALIZACIÓN DE LAS ZONAS MENOS TENSIONADAS QUE NO DESAPARECEN DE UNA ETAPA A OTRA.....	2-37
(GRAF.2: 24) FORMACIÓN DE FISURAS EN LAS ZONAS LOCALIZADAS EN EL PASO ANTERIOR.....	2-37
(GRAF.2: 25) VECTORES "SII".....	2-41
(GRAF.2: 26) FUERZAS "N11".....	2-41
(GRAF.2: 27) INTEGRACIÓN DE LOS VECTORES "SII" ⁴⁵ , EN DIFERENTES DIRECCIONES.....	2-41
(GRAF.2: 28) DOS FISURAS: VECTORES "SII".....	2-41
(GRAF.2: 29) DOS FISURAS: FUERZAS "N11".....	2-41
(GRAF.2: 30) UNA FISURA: VECTORES "SII".....	2-41
(GRAF.2: 31) UNA FISURA: FUERZAS "N11".....	2-41
(GRAF.2: 32) MODELO-1 (M-1): MALLADO GRANDE = 1,00M; MALLADO PEQUEÑO = 0,05M.....	2-44
(GRAF.2: 33) MODELO-2 (M-2): MALLADO GRANDE = 1,00M; MALLADO PEQUEÑO = 0,05M.....	2-44
(GRAF.2: 34) MODELO-3 (M-3): MALLADO GRANDE = 1,00M; MALLADO PEQUEÑO = 0,05M.....	2-44
(GRAF.2: 35) LADO DEL MODELO QUE DA A UN HUECO: MALLA 0,05M.....	2-44

(GRAF.2: 36) MODELO-4 (M-4): MALLADO GRANDE = 1,00M; MALLADO PEQUEÑO = 0,05M.	2-44
(GRAF.2: 37) MODELO-5 (M-5): MALLADO GRANDE = 1,00M; MALLADO PEQUEÑO = 0,05M.	2-44
(GRAF.2: 38) MODELO-6 (M-6): MALLADO GRANDE = 1,00M; MALLADO PEQUEÑO = 0,05M.	2-44
(GRAF.2: 39) LADO DEL MODELO QUE DA A UN HUECO: MALLA 0,05M.	2-44
(GRAF.2: 40) MODELO-7 (M-7):	2-44
(GRAF.2: 41) MODELO-8 (M-8): MALLADO GRANDE = 1,00M; MALLADO PEQUEÑO = 0,05M.	2-44
(GRAF.2: 42) MODELO-9 (M-9): MALLADO GRANDE = 1,00M; MALLADO PEQUEÑO = 0,05M.	2-44
(GRAF.2: 43) EN LA CABEZA DE LAS FISURAS: MALLA 0,01M.	2-44
(GRAF.2: 44) REPRESENTACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO-X (δX).	2-48
(GRAF.2: 45) REPRESENTACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO-Y (θY).	2-48
(GRAF.2: 46) REPRESENTACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO-Z (δZ).	2-48
(GRAF.2: 47) REPRESENTACIÓN DEL GIRO-X (θX).	2-48
(GRAF.2: 48) REPRESENTACIÓN DEL GIRO-Y (θY).	2-48
(GRAF.2: 49) REPRESENTACIÓN DEL GIRO-Z (θZ).	2-48
(GRAF.2: 50) HUECO CON ARCO OJIVAL.	2-49
(GRAF.2: 51) HUECO CON ARCO IDEAL.	2-49
(GRAF.2: 52) HUECO CON ARCO DE MEDIO PUNTO.	2-49
(GRAF.2: 53) HUECO CON ARCO CARPANEL.	2-49
(GRAF.2: 54) HUECO CON ARCO DE ÁNGULOS RECTOS.	2-49
(GRAF.2: 55) A. OJIVAL: BA	2-50
(GRAF.2: 56) A. IDEAL: BA	2-50
(GRAF.2: 57) A. MEDIO PUNTO: BA	2-50
(GRAF.2: 58) A. CARPANEL: BA	2-50
(GRAF.2: 59) A. A. RECTO: BA	2-50
(GRAF.2: 60) A. OJIVAL: BA-RL	2-50
(GRAF.2: 61) A. IDEAL: BA-RL	2-50
(GRAF.2: 62) A. MEDIO PUNTO: BA-RL	2-50
(GRAF.2: 63) A. CARPANEL: BA-RL	2-50
(GRAF.2: 64) A. A. RECTO: BA-RL	2-50
(GRAF.2: 65) A. OJIVAL: BE	2-50
(GRAF.2: 66) A. IDEAL: BE	2-50
(GRAF.2: 67) A. MEDIO PUNTO: BE	2-50
(GRAF.2: 68) A. CARPANEL: BE	2-50
(GRAF.2: 69) A. A. RECTO: BE	2-50
(GRAF.2: 70) A. OJIVAL: BE-RL	2-50
(GRAF.2: 71) A. IDEAL: BE-RL	2-50
(GRAF.2: 72) A. MEDIO PUNTO: BE-RL	2-50
(GRAF.2: 73) A. CARPANEL: BE-RL	2-50

(GRAF.2: 74) A. A. RECTO: BE-RL	2-50
(GRAF.2: 75) A. IDEAL: BA	2-51
(GRAF.2: 76) A. MEDIO PUNTO: BA	2-51
(GRAF.2: 77) A. CARPANEL: BA	2-51
(GRAF.2: 78) A. A. RECTO: BA	2-51
(GRAF.2: 79) IDEAL: BA-RL	2-51
(GRAF.2: 80) A. MEDIO PUNTO: BA-RL	2-51
(GRAF.2: 81) A. CARPANEL: BA-RL	2-51
(GRAF.2: 82) A. A. RECTO: BA-RL	2-51
(GRAF.2: 83) A. IDEAL: BE	2-51
(GRAF.2: 84) A. MEDIO PUNTO: BE	2-51
(GRAF.2: 85) A. CARPANEL: BE	2-51
(GRAF.2: 86) A. A. RECTO: BE	2-51
(GRAF.2: 87) A. IDEAL: BE-RL	2-51
(GRAF.2: 88) A. MEDIO PUNTO: BE-RL	2-51
(GRAF.2: 89) A. CARPANEL: BE-RL	2-51
(GRAF.2: 90) A. A. RECTO: BE-RL	2-51
(GRAF.2: 91) DIMENSIONADO DEL MODELO CON HUECO DE 1,50M.	2-52
(GRAF.2: 92) DIMENSIONADO DEL MODELO CON HUECO DE 2,50M.	2-52
(GRAF.2: 93) DIMENSIONADO DEL MODELO CON HUECO DE 3,50M.	2-52
(GRAF.2: 94) DIMENSIONADO DEL MODELO CON HUECO DE 4,50M.	2-52
(GRAF.2: 95) EDIFICIO DE VIVIENDAS: APERTURA DE DOS APEOS (NUEVOS HUECOS), EN UN MURO DE LA PRIMERA PLANTA.	2-54
(GRAF.2: 96) PARED COLAPSADA: ASENTAMIENTO DE UNA ZAPATA DE CIMENTACIÓN.	2-54
(GRAF.2: 97) COMPLEJO INDUSTRIAL: CONJUNTO DE ARCOS FISURADOS.	2-54
(GRAF.2: 98) MODELO-1 (M-1): HUECO CENTRAL EN LA PLANTA BAJA.	2-55
(GRAF.2: 99) MODELO-2 (M-2): HUECO CENTRAL EN LA PLANTA BAJA Y ALTA.	2-55
(GRAF.2: 100) MODELO-3 (M-3): HUECO CENTRAL EN PLANTA BAJA Y DOS EN LA PLANTA ALTA.	2-55
(GRAF.2: 101) MODELO-4 (M-4): HUECO EXCÉNTRICO EN PLANTA BAJA.	2-55
(GRAF.2: 102) MODELO-5 (M-5): HUECO EXCÉNTRICO EN PLANTA BAJA Y ALTA.	2-55
(GRAF.2: 103) MODELO-6 (M-6): HUECO EXCÉNTRICO EN PLANTA BAJA Y DOS EN PLANTA ALTA.	2-55
(GRAF.2: 104) MODELO-7 (M-7): MODELO DE DOS PLANTAS.	2-55
(GRAF.2: 105) MODELO-8 (M-8): MODELO DE CINCO PLANTAS.	2-55
(GRAF.2: 106) MODELO-9 (M-9): MODELO DE CINCO PLANTAS, CONSIDERANDO UN PESO EQUIVALENTE A 10 PLANTAS.	2-55
(GRAF.2: 107) COMPORTAMIENTO UNI-AXIAL DE LA MAMPOSTERÍA BAJO CARGA NORMAL AL PLANO DE LAS JUNTAS HORIZONTALES	2-62
(GRAF.2: 108) CURVAS EXPERIMENTALES TENSIÓN-DESPLAZAMIENTO PARA TRACCIÓN EN DIRECCIÓN PARALELA A LAS JUNTAS HORIZONTALES DE MORTERO (A) EL	

FALLO OCURRE POR FISURACIÓN ESCALONADA PARALELA A LAS JUNTAS ;(B) EL FALLO OCURRE VERTICALMENTE A LO LARGO DE JUNTAS Y LADRILLO- JUNTAS.	2-63
(GRAF.2: 109) MECANISMOS DE FISURACIÓN EN MAMPOSTERÍA.	2-65
(GRAF.2: 110) DIAGRAMA TENSION-DEFORMACIÓN QUE CONSIDERA LA "MF"	2-70
(GRAF.2: 111) PROCESO QUE UTILIZA PARA HACER EL ANÁLISIS NO LINEAL LA "MF"	2-70
(GRAF.2: 112) MODELO DE FISURA DISCRETA.	2-71
(GRAF.2: 113) EJEMPLO GRÁFICO: PROPAGACIÓN DE LA FISURA DE LA "MF"	2-73
(GRAF.2: 114) ESQUEMA DEL DESARROLLO DE LAS CARGAS-"MF"	2-74
(GRAF.2: 115) DIAGRAMA TENSION-DEFORMACIÓN QUE CONSIDERA LA "MMC"	2-75
(GRAF.2: 116) DIAGRAMA TENSION-DEFORMACIÓN QUE CONSIDERA LA "MMC"	2-75
(GRAF.2: 117) MODELO DE FISURA DIFUSA.	2-76
(GRAF.2: 118) FRONTERA ENTRE EL MATERIAL ELÁSTICO Y FISURADO.	2-77
(GRAF.2: 119) LÍMITE DE DOS FISURAS POR PUNTO.	2-77
(GRAF.2: 120) GUIRNALDAS COLGADAS: LA CURVA QUE DESCRIBEN ES UNA CATENARIA.	2-80
(GRAF.2: 121) TRAZADO DE CATENARIAS.	2-81
(GRAF.2: 122) PARÁBOLAS QUE SON FORMADAS POR UNA PELOTA DE TENIS QUE SE DESPLAZA HACIA LA DERECHA, BOTANDO CONTRA EL SUELO	2-83
(GRAF.2: 123) TRAZADO DE UNA PARÁBOLA POR UN RAYO DE LUZ PROYECTADO EN LA PARED.	2-83
(GRAF.2: 124) PARÁBOLA DEFINIDA POR LA TRAYECTORIA DEL RECORRIDO DE UN CHORRO DE AGUA.	2-83
(GRAF.2: 125) FORMACIÓN DE LA PARÁBOLA AL INTERCEPTAR UN CONO CON UN PLANO.	2-83
(GRAF.2: 126) MONTAJE DE LOS ARCOS CATENÁRICO Y PARABÓLICO.	2-86
(GRAF.2: 127) PLANTA DE LA BASÍLICA	2-90
(GRAF.2: 128) PLANTA DE LA IGLESIA.	2-90
(GRAF.2: 129) SECCIÓN TRANSVERSAL.	2-91
(GRAF.2: 130) SECCIÓN DE LA CÚPULA.	2-92
(GRAF.2: 131) MÉTODO PARA APLICAR LAS CARGAS AL MODELO COLGANTE (ESCALA DEL PESO 1:10.000).	2-93
(GRAF.2: 132) PLANTA DE LA CRIPTA.	2-94
(GRAF.2: 133) PLANTA DE LAS BÓVEDAS.	2-94
(GRAF.2: 134) MONTAJE DE ARCOS CATENÁRICOS Y PARABÓLICO PERFECTOS. (EL DIBUJO DEL ALZADO SE HA OBTENIDO DE LA WEB HTTP://WWW.METRIA.ES/ENG/PROYECTOS/PALAUQUELL/INDEX.HTM).	2-96
(GRAF.2: 135) SECCIÓN TRANSV.	2-99
(GRAF.2: 136) MONTAJE: CATENARIA IDEAL.	2-99
(GRAF.2: 137) ELEMENTO: SHELL.	2-115
(GRAF.2: 138) ELEMENTO: BARRA.	2-115
(GRAF.2: 139) RESTRINGIDO "X"	2-115
(GRAF.2: 140) ARTICULACIÓN	2-115
(GRAF.2: 141) EMPOTRAMIENTO	2-115

(GRAF.2: 142) CARGAS EN "SHELL"	2-116
(GRAF.2: 143) CARGAS EN BARRAS	2-116
(GRAF.2: 144) COEFICIENTES DE MAYORACIÓN	2-116
(GRAF.2: 145) NODOS, BARRAS, SHELL Y SÓLIDOS	2-116
(GRAF.2: 146) MALLADO ESPECIAL	2-116
(GRAF.2: 147) SELECCIÓN DEL "RAMBSHELL"	2-117
(GRAF.2: 148) DATOS AVANZADOS DEL PROBLEMA	2-117
(GRAF.2: 149) UNIDADES	2-118
(GRAF.2: 150) GRAVEDAD	2-118
(GRAF.2: 151) RESULTADOS	2-118
(GRAF.2: 152) ANÁLISIS	2-118
(GRAF.2: 153) POR COLORES	2-119
(GRAF.2: 154) POR VECTORES	2-119
(GRAF.2: 155) POR INTEGRACIÓN	2-119
(GRAF.2: 156) POR ANIMACIÓN	2-119
(GRAF.2: 157) "SII": DIRECCIÓN DE LOS VECTORES PRINCIPALES (EN EL EJE DE LA DIRECCIÓN PRINCIPAL "22=Y"). LOS VECTORES ROJOS REPRESENTAN TRACCIONES Y LOS AZULES REPRESENTAN COMPRESIONES	2-120
(GRAF.2: 158) "N22": FUERZAS EN LA DIRECCIÓN PRINCIPAL "22=Y" (EN EL EJE DE LA DIRECCIÓN PRINCIPAL "Y")	2-120
(GRAF.2: 159) "NYY=NY'": FUERZAS EN LA DIRECCIÓN "YY=Y'" (EN EL EJE LOCAL "Y'")	2-120
(GRAF.2: 160) "SI": DIRECCIÓN DE LOS VECTORES PRINCIPALES (EN EL EJE DE LA DIRECCIÓN PRINCIPAL "11=X"). LOS VECTORES ROJOS REPRESENTAN TRACCIONES Y LOS AZULES REPRESENTAN COMPRESIONES	2-120
(GRAF.2: 161) "N11": FUERZAS EN LA DIRECCIÓN PRINCIPAL "11=X" (EN EL EJE DE LA DIRECCIÓN PRINCIPAL "X")	2-120
(GRAF.2: 162) "NXX=NX'": FUERZAS EN LA DIRECCIÓN "XX=X'" (EN EL EJE LOCAL "X'")	2-120
(GRAF.2: 163) SELECCIÓN DE LA GAMA DE COLORES A USAR	2-121

CAPÍTULO-3

ANÁLISIS DE MODELOS SIMPLES SIN CONSIDERAR LA INFLUENCIA DE LOS ZUNCHOS PERIMETRALES

MJIG

CAPÍTULOS GENERALES

- 1.- INTRODUCCIÓN
- 2.- ESTADO DEL CONOCIMIENTO
- 3.- ANÁLISIS DE MODELOS SIMPLES SIN CONSIDERAR LA INFLUENCIA DE LOS ZUNCHOS PERIMETRALES**
- 4.- ANÁLISIS DE MODELOS SIMPLES CONSIDERANDO LA INFLUENCIA DE LOS ZUNCHOS PERIMETRALES
- 5.- INFLUENCIA DEL ANCHO Y POSICIÓN DE LOS HUECOS QUE FORMAN LOS APEOS
- 6.- APLICACIÓN DEL MÉTODO EN LA RESOLUCIÓN DE EJEMPLOS PRÁCTICOS
- 7.- DESARROLLO DEL ARCO DE DESCARGA PARA DIFERENTES MODELOS
- 8.- CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE FUTURAS INVESTIGACIONES

CAPÍTULO-3

3	ANÁLISIS DE MODELOS SIMPLES SIN CONSIDERAR LA INFLUENCIA DE LOS ZUNCHOS PERIMETRALES	3-11
3.1	ASPECTOS GENERALES.....	3-11
3.2	CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS.....	3-14
3.2.1	Tipología de los arcos a utilizar.....	3-14
3.2.1.1	Hueco con arco ojival.....	3-15
3.2.1.2	Hueco con arco ideal.....	3-15
3.2.1.2.1	Modelo informático.....	3-15
3.2.1.2.2	Modelo práctico.....	3-16
3.2.1.3	Hueco con arco de medio punto.....	3-19
3.2.1.4	Hueco con arco carpanel.....	3-19
3.2.1.5	Hueco con arco de ángulos rectos.....	3-19
3.2.2	Parámetros utilizados.....	3-20
3.2.2.1	Estado de carga.....	3-20
3.2.2.2	Características mecánicas del material.....	3-20
3.2.2.3	Programas utilizados.....	3-21
3.2.2.4	Características del mallado de los modelos.....	3-21
3.2.2.5	Características de los zunchos perimetrales.....	3-21
3.2.2.6	Condiciones de contorno.....	3-22
3.2.2.6.1	Representación gráfica de los desplazamientos y giros.....	3-22
3.2.2.6.2	Representación esquemática de las condiciones de contorno de los diferentes modelos.....	3-23
3.2.3	Estudio a realizar.....	3-24
3.2.3.1	Representación gráfica de los resultados obtenidos en el programa de cálculo.....	3-24
3.2.3.2	Especificación de criterios de interpretación de los modelos individuales.....	3-25
3.2.3.3	Análisis de la Influencia de las condiciones de contorno en los modelos sin zuncho.....	3-28
3.2.3.4	Análisis de la Influencia de la forma del arco en los modelos sin zuncho.....	3-28

3.3	PRESENTACIÓN DE UN MODELO INTRODUCTORIO.....	3-30
3.3.1	Hueco Circular.....	3-31
3.4	ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE ARCOS.....	3-34
3.4.1	Influencia de la base apoyada.....	3-35
3.4.1.1	Hueco con arco ojival.....	3-37
3.4.1.2	Hueco con arco ideal.....	3-38
3.4.1.3	Hueco con arco de medio punto.....	3-39
3.4.1.4	Hueco con arco carpanel.....	3-40
3.4.1.5	Hueco con arco de ángulos rectos.....	3-41
3.4.2	Influencia de los apoyos en base y restricción lateral.....	3-42
3.4.2.1	Hueco con arco ojival.....	3-44
3.4.2.2	Hueco con arco ideal.....	3-45
3.4.2.3	Hueco con arco de medio punto.....	3-46
3.4.2.4	Hueco con arco carpanel.....	3-47
3.4.2.5	Hueco con arco de ángulos rectos.....	3-48
3.4.3	Influencia del empotramiento de la base.....	3-49
3.4.3.1	Hueco con arco ojival.....	3-51
3.4.3.2	Hueco con arco ideal.....	3-52
3.4.3.3	Hueco con arco de medio punto.....	3-53
3.4.3.4	Hueco con arco carpanel.....	3-54
3.4.3.5	Hueco con arco de ángulos rectos.....	3-55
3.4.4	Influencia del empotramiento de la base y restricción lateral.....	3-56
3.4.4.1	Hueco con arco ojival.....	3-58
3.4.4.2	Hueco con arco ideal.....	3-59
3.4.4.3	Hueco con arco de medio punto.....	3-60
3.4.4.4	Hueco con arco carpanel.....	3-61
3.4.4.5	Hueco con arco de ángulos rectos.....	3-62
3.5	INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS SIN ZUNCHO.....	3-65

3.5.1	Hueco con arco ojival.....	3-65
3.5.1.1	Comparación de los desplazamientos.....	3-65
3.5.1.1.1	Desplazamientos en "x".....	3-65
3.5.1.1.2	Desplazamientos en "z".....	3-67
3.5.1.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	3-68
3.5.1.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	3-70
3.5.1.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Sii).....	3-71
3.5.1.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	3-73
3.5.2	Hueco con arco ideal.....	3-74
3.5.2.1	Comparación de los desplazamientos.....	3-74
3.5.2.1.1	Desplazamientos en "x".....	3-74
3.5.2.1.2	Desplazamientos en "z".....	3-76
3.5.2.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	3-77
3.5.2.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	3-79
3.5.2.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Sii).....	3-80
3.5.2.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	3-82
3.5.3	Hueco con arco de medio punto.....	3-83
3.5.3.1	Comparación de los desplazamientos.....	3-83
3.5.3.1.1	Desplazamientos en "x".....	3-83
3.5.3.1.2	Desplazamientos en "z".....	3-85
3.5.3.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	3-86
3.5.3.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	3-88
3.5.3.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Sii).....	3-89
3.5.3.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	3-91
3.5.4	Hueco con arco carpanel.....	3-92

3.5.4.1	Comparación de los desplazamientos.....	3-92
3.5.4.1.1	Desplazamientos en "x".....	3-92
3.5.4.1.2	Desplazamientos en "z".....	3-94
3.5.4.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	3-95
3.5.4.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	3-97
3.5.4.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Sii).....	3-98
3.5.4.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	3-100
3.5.5	Hueco con arco de ángulos rectos.....	3-101
3.5.5.1	Comparación de los desplazamientos.....	3-101
3.5.5.1.1	Desplazamientos en "x".....	3-101
3.5.5.1.2	Desplazamientos en "z".....	3-103
3.5.5.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	3-104
3.5.5.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	3-106
3.5.5.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Sii).....	3-107
3.5.5.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	3-109
3.6	INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN LOS MODELOS SIN ZUNCHO.....	3-112
3.6.1	Modelo con la base apoyada.....	3-112
3.6.1.1	Comparación de los desplazamientos.....	3-112
3.6.1.1.1	Desplazamientos en "x".....	3-112
3.6.1.1.2	Desplazamientos en "z".....	3-114
3.6.1.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	3-115
3.6.1.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	3-117
3.6.1.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Sii).....	3-118
3.6.1.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	3-120

3.6.2	Modelo con la base apoyada y restricción lateral.....	3-121
3.6.2.1	Comparación de los desplazamientos.....	3-121
3.6.2.1.1	Desplazamientos en "x".....	3-121
3.6.2.1.2	Desplazamientos en "z".....	3-123
3.6.2.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	3-124
3.6.2.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	3-126
3.6.2.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Sii).....	3-127
3.6.2.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	3-129
3.6.3	Modelo con la base empotrada.....	3-130
3.6.3.1	Comparación de los desplazamientos.....	3-130
3.6.3.1.1	Desplazamientos en "x".....	3-130
3.6.3.1.2	Desplazamientos en "z".....	3-132
3.6.3.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	3-133
3.6.3.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	3-135
3.6.3.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Sii).....	3-136
3.6.3.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	3-138
3.6.4	Modelo con la base empotrada y restricción lateral.....	3-139
3.6.4.1	Comparación de los desplazamientos.....	3-139
3.6.4.1.1	Desplazamientos en "x".....	3-139
3.6.4.1.2	Desplazamientos en "z".....	3-141
3.6.4.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	3-142
3.6.4.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	3-144
3.6.4.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Sii).....	3-145
3.6.4.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	3-147

3.7	CONCLUSIONES.....	3-149
3.7.1	Base simplemente apoyada.....	3-149
3.7.2	Base simplemente apoyada con restricciones laterales.....	3-150
3.7.3	Base empotrada.....	3-151
3.7.4	Base empotrada con restricciones laterales.....	3-152

MJIG

CAPÍTULO-3

- 1.- ASPECTOS GENERALES
- 2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS
- 3.- PRESENTACIÓN DE UN MODELO
INTRODUCTORIO
- 4.- ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE
ARCOS
- 5.- INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE
CONTORNO EN LOS MODELOS SIN ZUNCHO
- 6.- INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN
LOS MODELOS SIN ZUNCHO
- 7.- CONCLUSIONES

MJIG

CAPÍTULO-3**1.- ASPECTOS GENERALES**

2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS

3.- PRESENTACIÓN DE UN MODELO
INTRODUCTORIO4.- ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE
ARCOS5.- INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE
CONTORNO EN LOS MODELOS SIN ZUNCHO6.- INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN
LOS MODELOS SIN ZUNCHO

7.- CONCLUSIONES

3 ANÁLISIS DE MODELOS SIMPLES SIN CONSIDERAR LA INFLUENCIA DE LOS ZUNCHOS PERIMETRALES

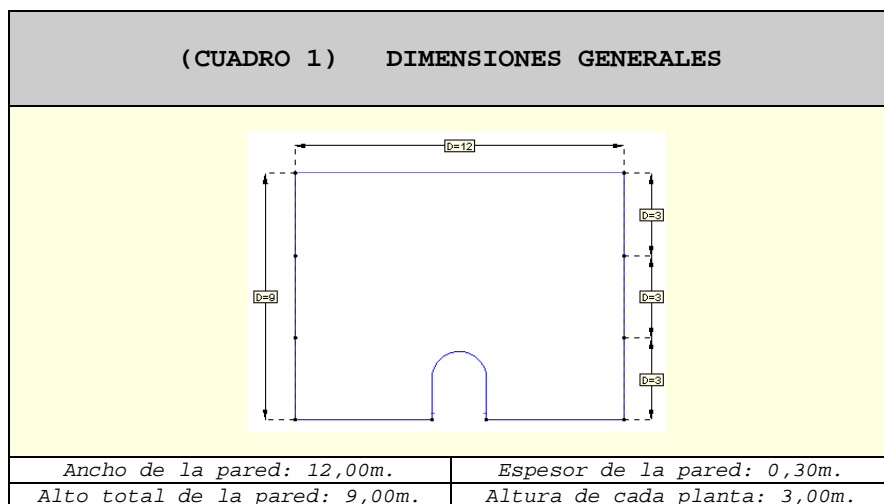
3.1 ASPECTOS GENERALES

La abertura de huecos en paredes existentes de obra de fábrica es una actividad frecuente, en el mundo de las estructuras de edificación. En este tipo de intervención se deben tener en cuenta diferentes variables tales como: las formas y dimensiones de los huecos, las condiciones de apoyo de las paredes, la influencia del zuncho de borde embebido en el forjado y las características mecánicas del material que constituye la pared.

En estos apartados el estudio que se realiza comprende los siguientes aspectos:

1. Forma de los huecos.- Se hace uso de cinco tipos de arcos: ojival, ideal, de medio punto, carpanel y recto.
2. Condiciones de contorno.- Se utilizan cuatro variantes: base apoyada, base apoyada y restricciones laterales, base empotrada y base empotrada con restricciones laterales¹.
3. Zunchos de forjado².- No se considera su influencia.
4. Características mecánicas del material.- Se consideran las características que se indican en el "CTE"³.

En el (CUADRO 1) se indican las características geométricas generales de los modelos. No se indican las medidas de los huecos, ya que varían dependiendo del tipo del arco utilizado⁴.



¹ Se prevé que: por un lado, el caso más desfavorable corresponde a los modelos que tienen la base apoyada (por tener libres los movimientos horizontales que da como resultado mayores deformaciones); por otro, el comportamiento mejora cuando se empotran las bases (al tener impedido el desplazamiento horizontal) y por último, los casos con restricciones laterales son aún más favorables.

² La influencia que ejerce el zuncho del forjado se analiza en el capítulo posterior.

³ El desarrollo de los primeros capítulos ayuda a validar los parámetros mecánicos del material (que se utilizarán en otros análisis de apeos más complejos).

⁴ Las dimensiones de todos los huecos se puede apreciar en el (CUADRO 2).

MJIG

CAPÍTULO-3

- 1.- ASPECTOS GENERALES
- 2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS**
- 3.- PRESENTACIÓN DE UN MODELO INTRODUCTORIO
- 4.- ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE ARCOS
- 5.- INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS SIN ZUNCHO
- 6.- INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN LOS MODELOS SIN ZUNCHO
- 7.- CONCLUSIONES

MJIG

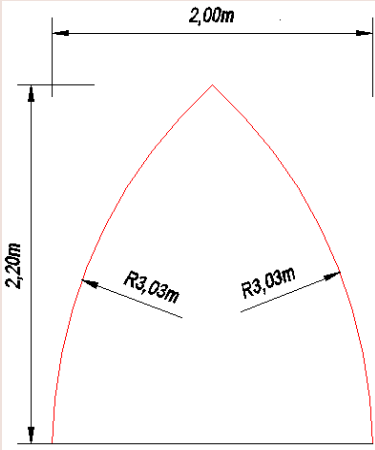
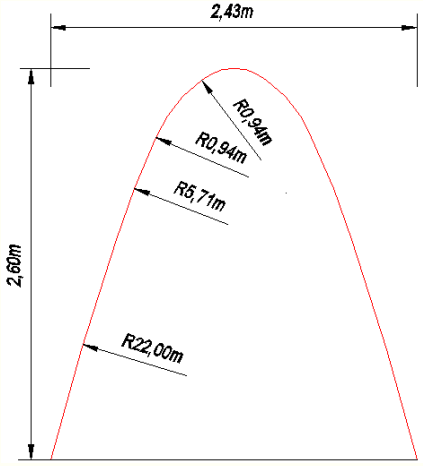
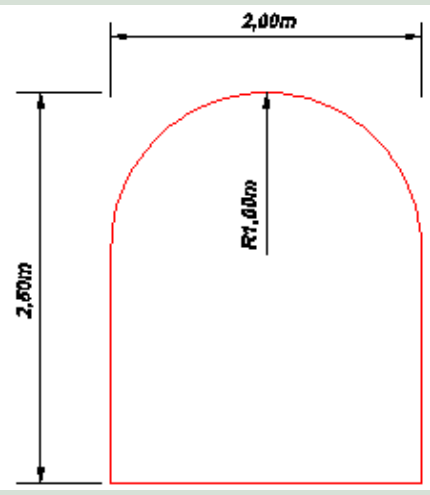
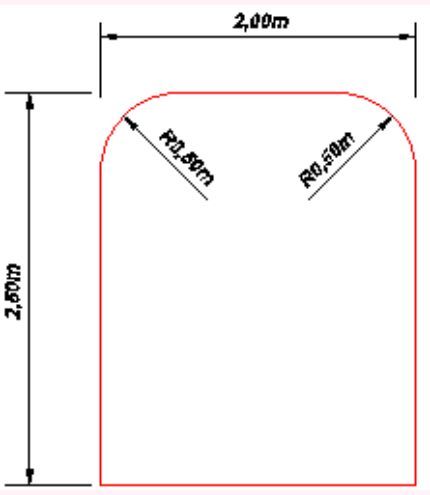
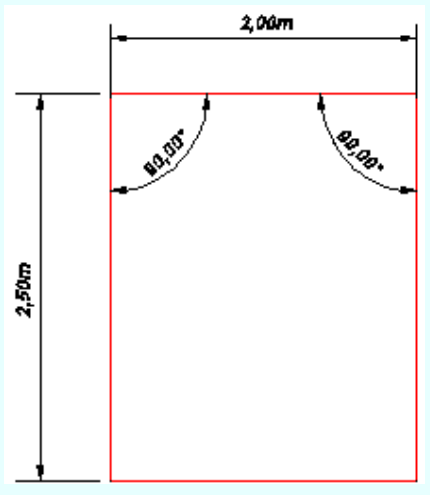
3.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS

- 1.- TIPOLOGÍA DE LOS ARCOS A UTILIZAR
- 2.- PARÁMETROS UTILIZADOS
- 3.- ESTUDIO A REALIZAR

3.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS

3.2.1 Tipología de los arcos a utilizar

Para determinar la influencia de la forma de los huecos, se seleccionan cinco tipos de arcos que se exponen en el (CUADRO 2). La finalidad es abarcar la mayor cantidad posible de formas usadas en la edificación cuyo comportamiento presente una cierta evolución estructural⁵.

(CUADRO 2) TIPOLOGÍA DE ARCOS A ESTUDIAR		
		
(GRAF.3: 1) Hueco con arco ojival.	(GRAF.3: 2) Hueco con arco ideal.	
		
(GRAF.3: 3) Hueco con arco de medio punto.	(GRAF.3: 4) Hueco con arco carpanel.	(GRAF.3: 5) Hueco con arco de ángulos rectos.

En los puntos que se presentan a continuación se detallan cada uno de los arcos a estudiar.

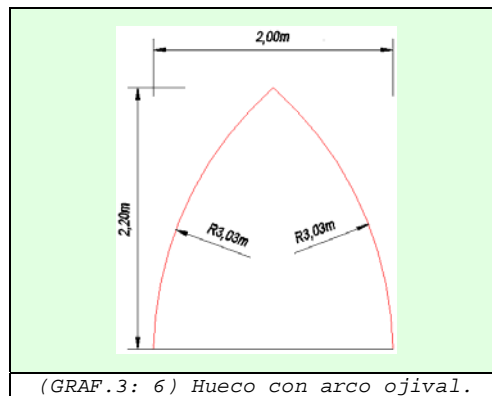
⁵ Es decir, de una forma favorable estructuralmente hacia una a desfavorable.

3.2.1.1 Hueco con arco ojival

Geométricamente, el arco ojival está formado por dos arcos de circunferencia que al cortarse forman un arco apuntado.

Con la finalidad de obtener las dimensiones ideales de este arco⁶ se realizan algunos modelos. El hueco inicial incluía un arco ojival típico cuyos radios equivalían al ancho del hueco, aunque los resultados no fueron buenos⁷. Incluso se pudo observar que el comportamiento degeneraba si la curvatura de éstos se alteraba manualmente⁸.

Este modelo original fue objeto de muchas variaciones hasta llegar al trazado del arco que se indica en el (GRAF.3: 6):



Este arco se forma por dos arcos perfectos con radios de 3,03m cada uno. Su función estructural mejora bastante, incluso llegan a desaparecer las tracciones del modelo total⁹.

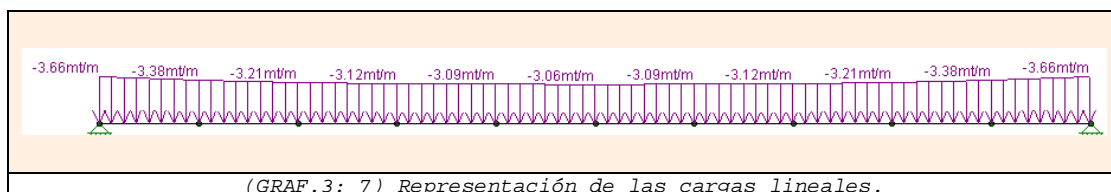
3.2.1.2 Hueco con arco ideal

La geometría de este arco fue la más complicada de obtener. Para llegar a determinarla es necesario desarrollar dos modelos: un modelo informático y un modelo práctico.

3.2.1.2.1 Modelo informático

Para obtener la forma del arco ideal a través de medios informáticos, se utiliza el programa de cálculo "RISA-3D".

El modelo que se emplea es una barra bi-articulada de 2,43m de longitud con las cargas que se indican a continuación:



Las cargas se calculan teniendo en cuenta el apartado "3.2.2.1".

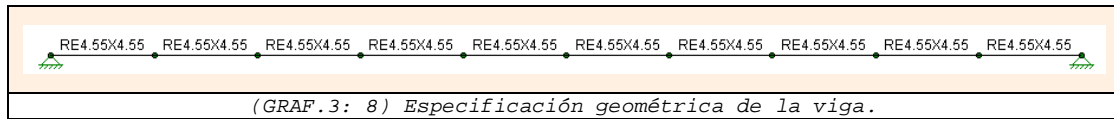
⁶ Que presente el mejor comportamiento a nivel estructural.

⁷ El modelo fue descartado por obtener muchas tracciones, de manera que su comportamiento era parecido al de medio punto.

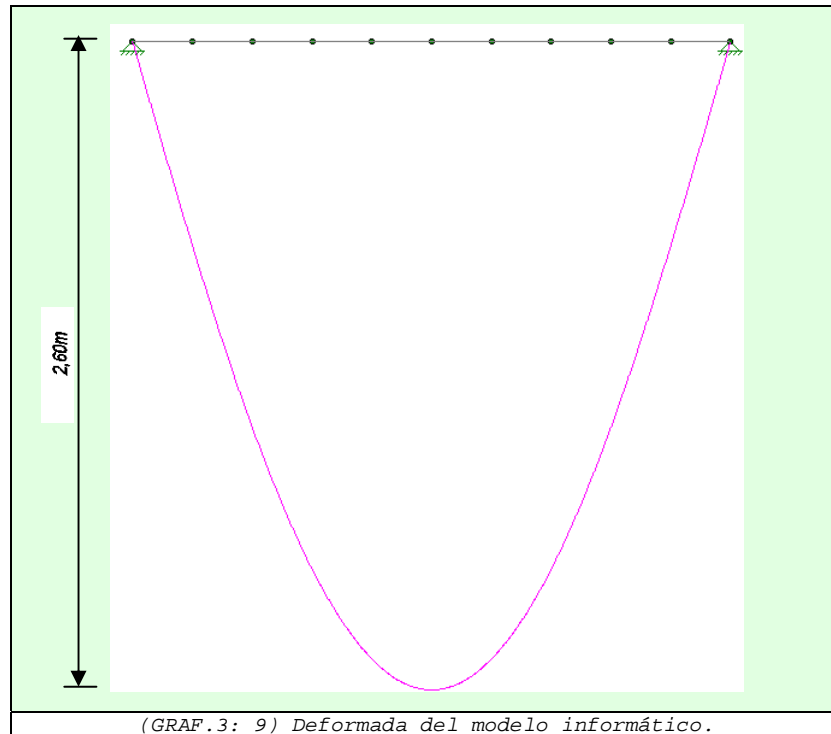
⁸ Es decir, aumentado o reduciendo su altura real.

⁹ Especialmente en el modelo con la base empotrada.

La viga es de hormigón y con una sección de 4,55cm x 4,55cm. La dimensión se va variando hasta llegar a obtener una deformada de 2,60m aproximadamente, la misma que corresponde a la altura del hueco.



En el (GRAF.3: 9) se puede apreciar la deformada de la barra, la misma que se invierte para formar el arco usado en el cálculo¹⁰.



3.2.1.2.2 Modelo práctico

Para el desarrollo del modelo práctico se usan los materiales que se muestran en la siguiente foto:



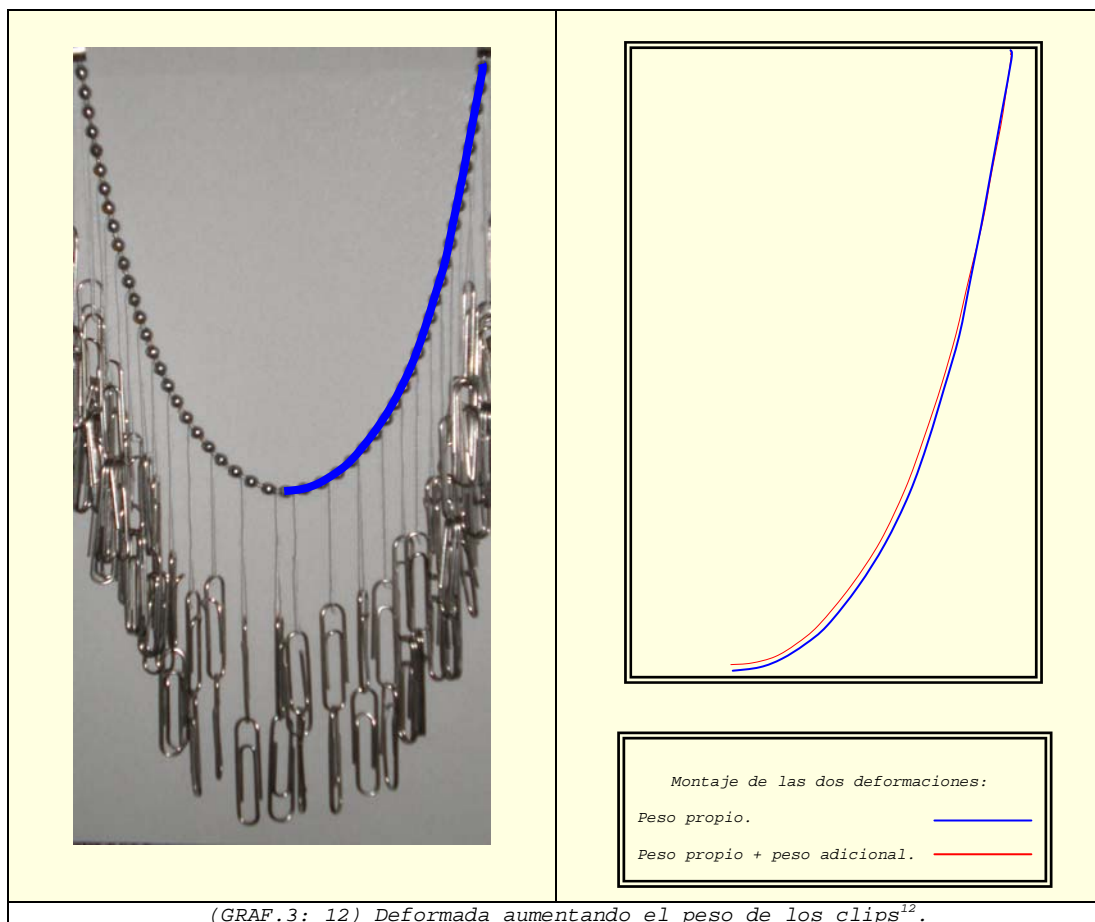
¹⁰ La forma que se obtiene es más próxima a una parábola que a una catenaria.

El ejercicio se realiza teniendo en cuenta dos estados del mismo modelo:

- a. Considerando únicamente el peso propio de la cadena.



- b. E incluyendo el peso de los clips repartidos equitativamente.

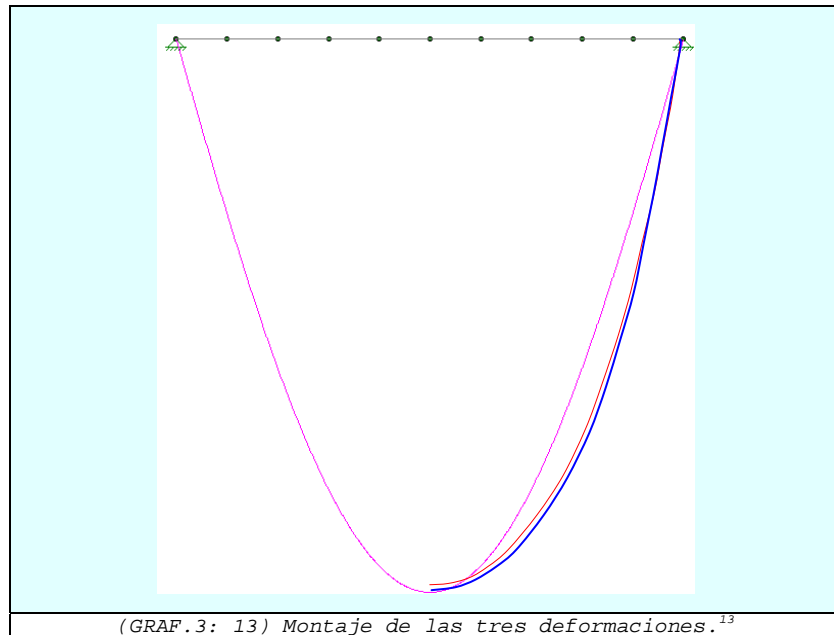


¹¹ La forma que se obtiene es una catenaria perfecta.

¹² La curva que se obtiene es un funicular.

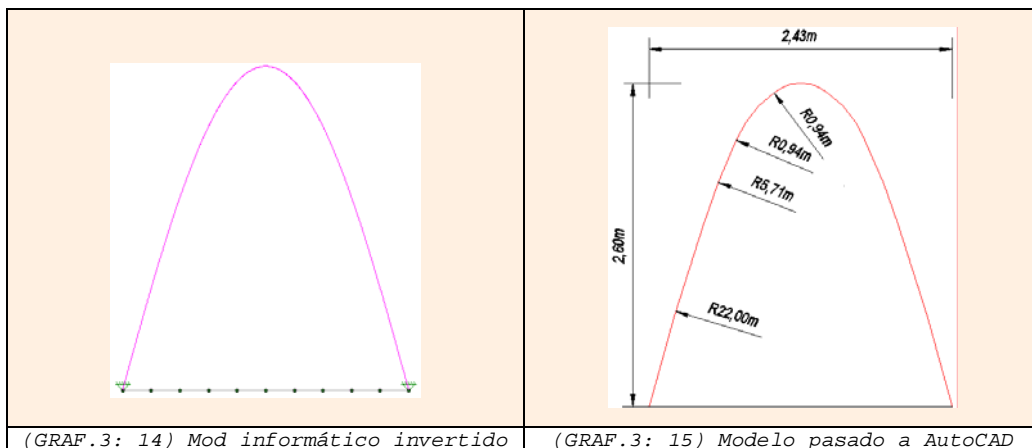
Ambas formas de los arcos se generan con el programa "AutoCAD", aunque usando como base las fotos tomadas.

En el (GRAF.3: 13) se observa el montaje junto con los desplazamientos del modelo práctico.



Para llegar a determinar la forma del arco ideal con mejor comportamiento estructural¹⁴ es necesario generar algunos modelos: por un lado, los iniciales¹⁵⁻¹⁶ y por otro, los manipulados¹⁷. Como resultado se llega a determinar que la forma obtenida con el modelo informático es la mejor, en comparación con las otras.

La geometría resultante del arco ideal¹⁸ se presenta en el (GRAF.3: 15)¹⁹.



¹³ Modelo informático=línea de color rosado; modelo práctico sin clip=línea de color rojo y modelo práctico sin clip=línea de color azul.

¹⁴ Aquel que dé como resultado el menor número de tracciones en el modelo.

¹⁵ Haciendo uso del programa de cálculo "Rambshell" y como pre-procesador del programa "GID".

¹⁶ A partir de las tres formas obtenidas de los dos modelos: informático y práctico.

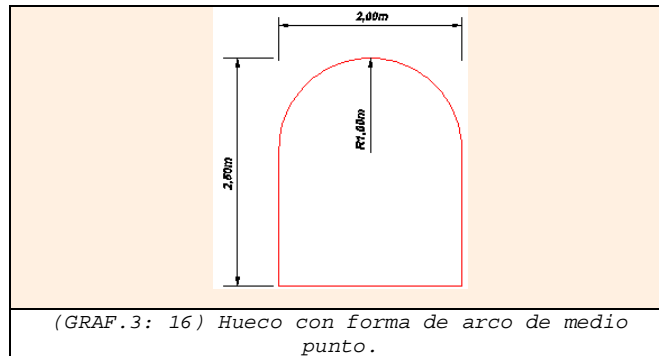
¹⁷ A partir de variaciones realizadas en los modelos originales, tanto informático como práctico.

¹⁸ Se prevé que el arco ideal tenga un mejor comportamiento estructural en comparación con las otras formas que se estudian.

¹⁹ En el cálculo sólo se incluye esta geometría, no las restantes.

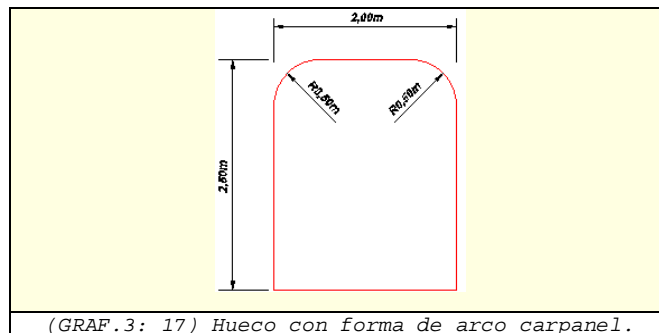
3.2.1.3 Hueco con arco de medio punto

El arco de medio punto²⁰ está formado por una semicircunferencia²¹, de 1,00m de radio, como se puede apreciar en el (GRAF.3: 16).



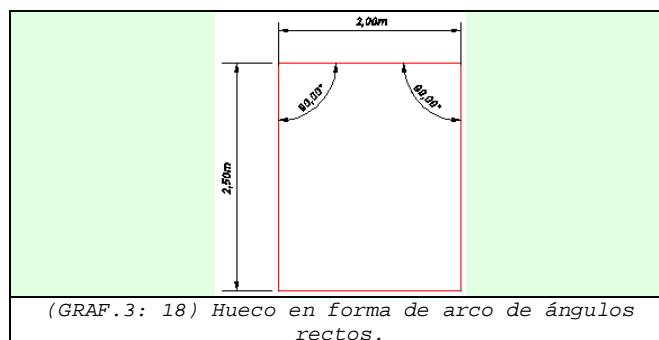
3.2.1.4 Hueco con arco carpanel

En el caso del arco carpanel se hacen dos modelos: uno formado por tres arcos de circunferencia y otro por dos²². Los resultados indican que el primer modelo es muy parecido al segundo, entre ambos se opta por el segundo, por ser evolutivamente un paso previo al arco de ángulos rectos²³. La longitud de los radios utilizados es de 0,50m, ver (GRAF.3: 17).



3.2.1.5 Hueco con arco de ángulos rectos

El arco de ángulos rectos²⁴ forma ángulos de 90° entre la recta que une los arranques con los montantes, ver (GRAF.3: 18).



²⁰ A partir del arco de medio punto se prevé que el comportamiento estructural sea menos favorable.

²¹ Este tipo de arco es muy utilizada en el arte románico.

²² Está formado por dos arcos de circunferencia que tienen la misma longitud de radio, aunque en distintas ubicaciones y unidos por una recta tangente.

²³ De este modo se tenían formas que evolucionaban, desde arcos más pronunciados (ojival) a los arcos con ángulos rectos.

²⁴ Se considera que el comportamiento estructural de este arco sea el más desfavorable.

3.2.2 Parámetros utilizados**3.2.2.1 Estado de carga**

El modelo representa una pared medianera de un edificio de tres plantas: planta baja, planta primera, planta segunda y terraza (sin uso público). Su estado de carga es el siguiente:

Estado de carga en zonas de vivienda:

Pp	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000
Cp	Tn/m ²	0,15
	N/m	6.000
Su	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000

Estado de carga en terraza (sólo de mantenimiento):

Pp	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000
Cp	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000
Su	Tn/m ²	0,15
	N/m	6.000

pp=Peso propio

cp=cargas permanentes

su + N=sobrecargas de uso + nieve

3.2.2.2 Características mecánicas del material

Las características mecánicas utilizadas en los diferentes modelos analizados se calculan en base al "CTE".

γ	N/m ³	18.000
E	N/m ²	5,70E+09
G	N/m ²	2,30E+09
ν	-	0,20
f_d	N/m ²	3,2E+06
f_t	N/m ²	0,1E+06

Para el cálculo de estos valores se desarrolla una hoja de cálculo que se presenta a continuación.

CTE - SE-F					
Valores de "k"		1Hoja	2Hojas		
Macizas		0,6	0,5		
Perforadas		0,55	0,45		
Aligeradas		0,5	0,4		
Huecas		0,4	-		
k	0,6				
f _b	25		N/mm ²		
f _m	15	OK	N/mm ²		
f _k	9,57		N/mm ²		
γ _M	3				
f _d	3,19		N/mm ²		
Valor de "E" teniendo "fk"					
f _k	9,57	N/mm ²	9,57E+06	N/m ²	
E	9570	N/mm ²	9,57E+09	N/m ²	
E _{est lim serv}	5,742	N/mm ²	5,74E+09	N/m ²	
G	3828	N/mm ²	2,30E+09	N/m ²	

3.2.2.3 Programas utilizados

Los modelos se analizan por medio del programa de cálculo "Rambshell"²⁵ y usando como pre y post-procesador el programa "GID"²⁶, los cuales se emplean a lo largo de toda la tesis.

3.2.2.4 Características del mallado de los modelos

La malla utilizada incorpora elementos finitos triangulares de seis grados de libertad, con una longitud de cada lado de 0,20m.

3.2.2.5 Características de los zunchos perimetrales

En este capítulo no se considera la influencia de los zunchos embebidos en el forjado, sin embargo en el siguiente sí se aborda el tema.

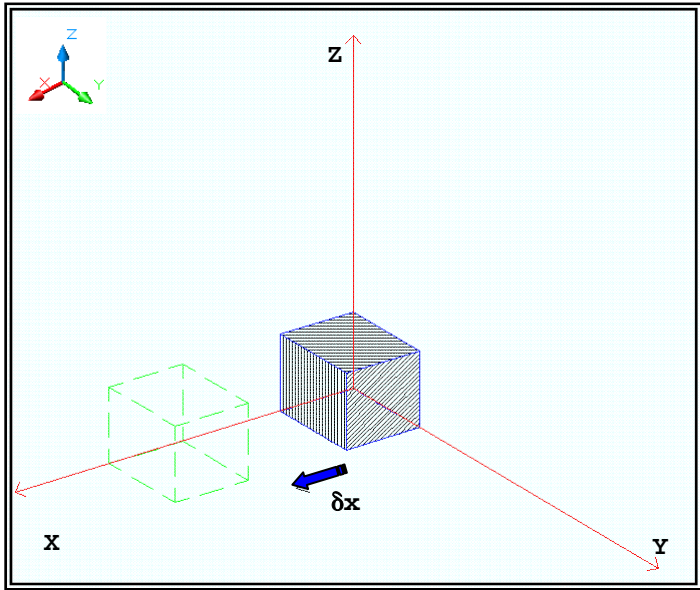
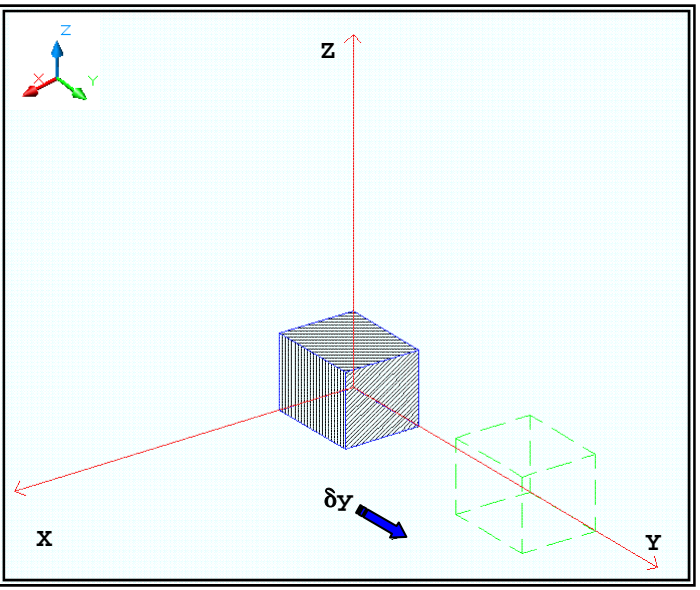
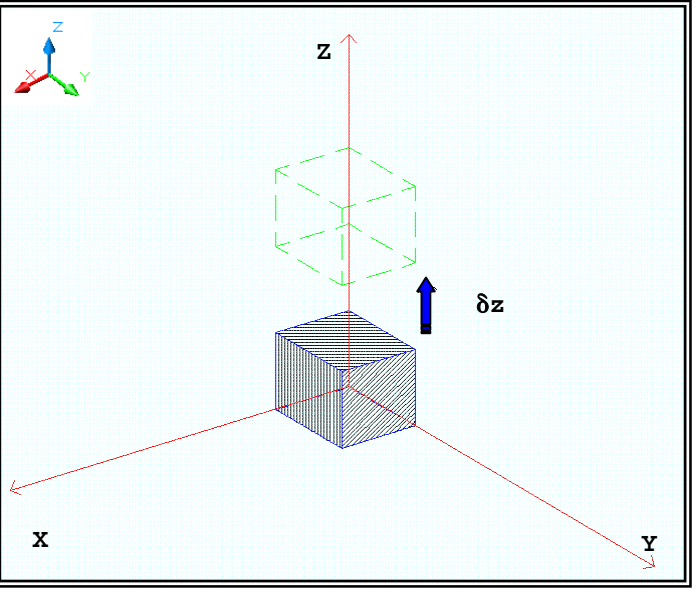
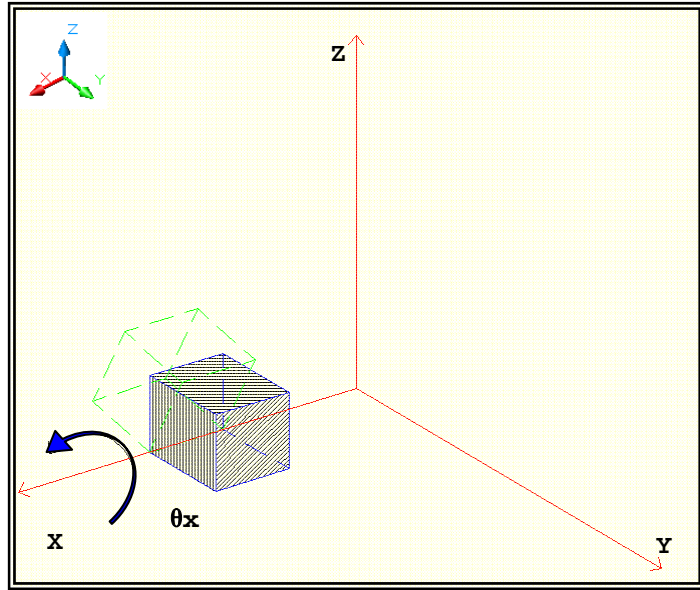
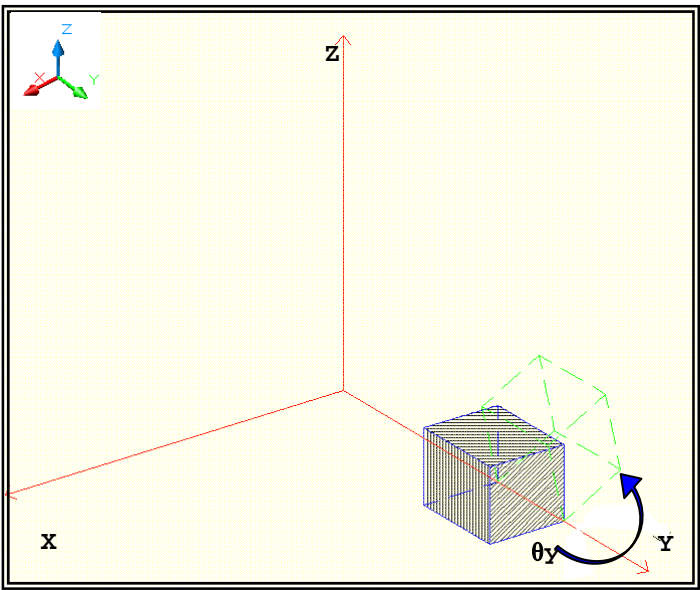
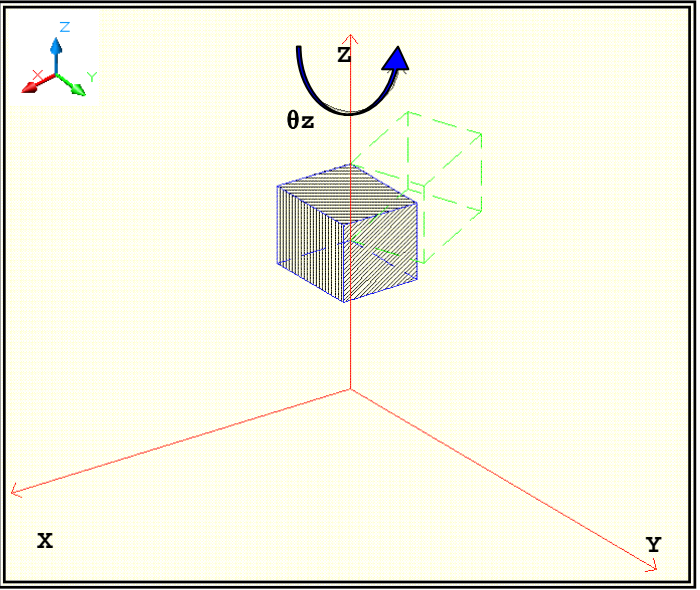
²⁵ En el Capítulo-2 se presentan características de este programa.

²⁶ En el Capítulo-2 se presentan características de este programa.

3.2.2.6 Condiciones de contorno

3.2.2.6.1 Representación gráfica de los desplazamientos y giros

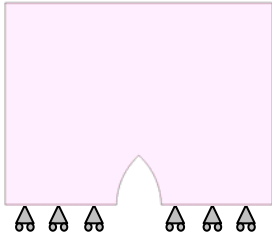
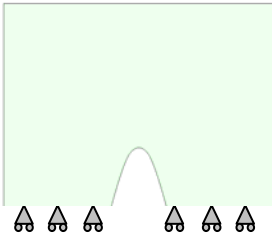
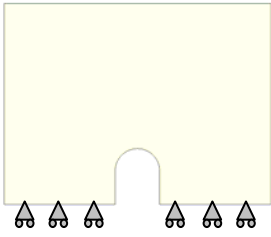
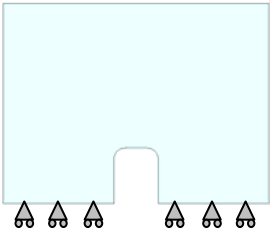
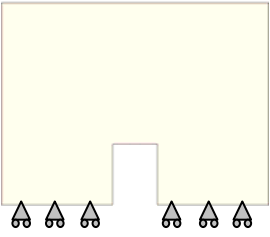
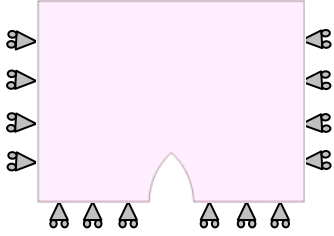
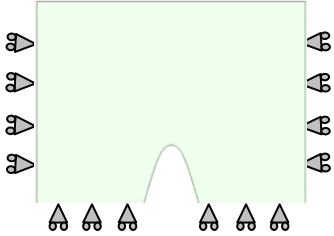
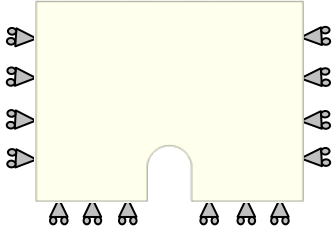
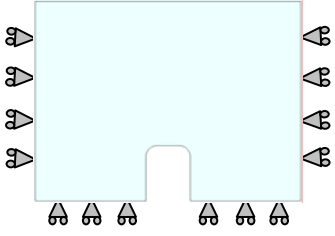
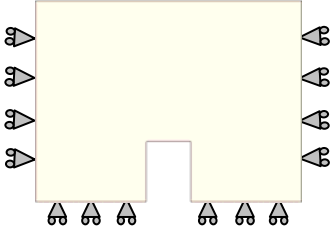
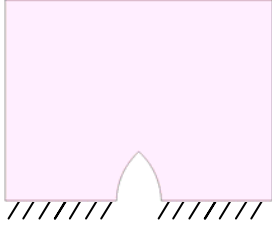
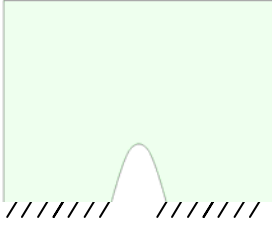
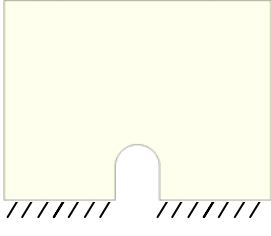
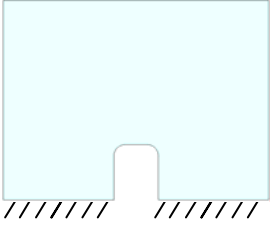
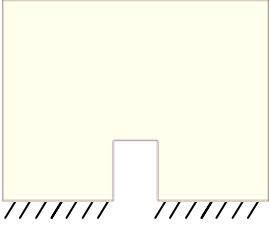
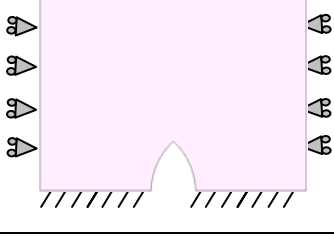
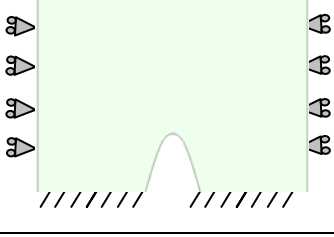
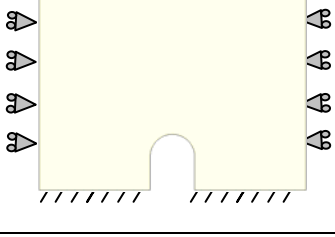
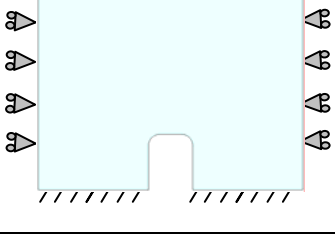
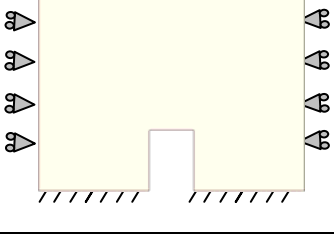
En el estudio se tienen en cuenta cuatro grupos de condiciones de contorno: base apoyada, base apoyada y restricciones laterales, base empotrada y base empotrada con restricciones laterales. Con el fin de aclarar la terminología, a continuación, en el (CUADRO 3), se presentan de modo gráfico los desplazamientos y giros, indicando únicamente su sentido positivo:

(CUADRO 3) REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS DESPLAZAMIENTOS Y GIROS		
DESPLAZAMIENTOS: ($\delta_x = \delta_y = \delta_z = 0$)		
		
(GRAF.3: 19) Representación del Desplazamiento-x (δ_x).	(GRAF.3: 20) Representación del Desplazamiento-y (δ_y).	(GRAF.3: 21) Representación del Desplazamiento-z (δ_z).
GIROS: ($\theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$)		
		
(GRAF.3: 22) Representación del giro-x (θ_x).	(GRAF.3: 23) Representación del giro-y (θ_y).	(GRAF.3: 24) Representación del giro-z (θ_z).

3.2.2.6.2 Representación esquemática de las condiciones de contorno de los diferentes modelos

En el (CUADRO 4) se presentan las diferentes condiciones de contorno de cada uno de los modelos. Estos esquemas se incluirán a lo largo del proceso para identificar el modelo que se analiza y son:

- c. Base apoyada: en la base se restringe el desplazamiento vertical (δz).
- d. Base apoyada y restricción lateral: en la base se coarta el desplazamiento vertical (δz) y en las caras laterales se tasa el desplazamiento horizontal (δx).
- e. Base empotrada: en la base se limitan todos los desplazamientos (δx , δy , δz) y los giros (θx , θy , θz).
- f. Base empotrada y restricción lateral: en la base se restringen todos los desplazamientos (δx , δy , δz) y los giros (θx , θy , θz) y en las caras laterales se impide el desplazamiento horizontal (δx).

(CUADRO 4) ESQUEMAS DE LOS MODELOS CON LAS DIFERENTES CONDICIONES DE CONTORNO A ANALIZAR					
	ARCO OJIVAL (A.O)	ARCO IDEAL (A.I)	ARCO DE MEDIO PUNTO (A.M.P)	ARCO CARPANEL (A.CP)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS (A.R)
BASE APOYADA (BA)	 (GRAF.3: 25) A. ojival: BA	 (GRAF.3: 26) A. ideal: BA	 (GRAF.3: 27) A. Medio punto: BA	 (GRAF.3: 28) A. carpanel: BA	 (GRAF.3: 29) A. A. rectos: BA
BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL)	 (GRAF.3: 30) A. ojival: BA-RL	 (GRAF.3: 31) A. ideal: BA-RL	 (GRAF.3: 32) A. Medio punto: BA-RL	 (GRAF.3: 33) A. carpanel: BA-RL	 (GRAF.3: 34) A. A. rectos: BA-RL
BASE EMPOTRADA (BE)	 (GRAF.3: 35) A. ojival: BE	 (GRAF.3: 36) A. ideal: BE	 (GRAF.3: 37) A. Medio punto: BE	 (GRAF.3: 38) A. carpanel: BE	 (GRAF.3: 39) A. A. rectos: BE
BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL)	 (GRAF.3: 40) A. ojival: BE-RL	 (GRAF.3: 41) A. ideal: BE-RL	 (GRAF.3: 42) A. Medio punto: BE-RL	 (GRAF.3: 43) A. carpanel: BE-RL	 (GRAF.3: 44) A. A. rectos: BE-RL

3.2.3 Estudio a realizar

3.2.3.1 Representación gráfica de los resultados obtenidos en el programa de cálculo

En el (CUADRO 5) se exponen, de modo gráfico, los resultados que se obtienen de los modelos de cálculo tales como: "Sii", "N22", "Nyy=Ny'", "Si", "N11" y "Nxx=Nx'". La representación gráfica de los desplazamientos se puede ver en el apartado "3.2.2.6.1".

(CUADRO 5) REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS RESULTADOS NUMÉRICOS		
<p>(GRAF.3: 45) "Sii": dirección de los vectores principales (en el eje de la dirección principal "22=y"). Los vectores rojos representan tracciones y los vectores azules compresiones.</p>	<p>(GRAF.3: 46) "N22": fuerzas en la dirección principal "22=y" (en el eje de la dirección principal "y").</p>	<p>(GRAF.3: 47) "Nyy=Ny'": fuerzas en la dirección "yy=y'" (en el eje local "y'").</p>
<p>(GRAF.3: 48) "Si": dirección de los vectores principales (en el eje de la dirección principal "11=x"). Los vectores rojos representan tracciones y los vectores azules compresiones.</p>	<p>(GRAF.3: 49) "N11": fuerzas en la dirección principal "11=x" (en el eje de la dirección principal "x").</p>	<p>(GRAF.3: 50) "Nxx=Nx'": fuerzas en la dirección "xx=x'" (en el eje local "x'").</p>

Ejes locales.
 Ejes de las direcciones principales.

3.2.3.2 Especificación de criterios de interpretación de los modelos individuales

En primer lugar, obtenemos los resultados de cada uno de los modelos²⁷.

Con el fin de mejorar la interpretación de los datos se tienen en cuenta los siguientes criterios:

1. Obtención del valor máximo absoluto.

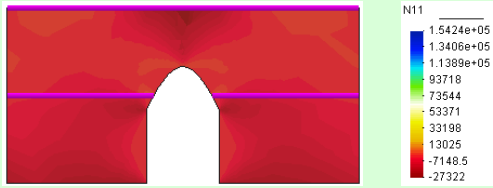
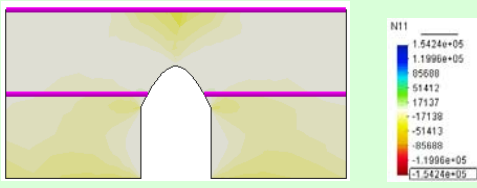
De cada modelo se selecciona el máximo absoluto de los diferentes tipos de resultados ("N11", "Nyy=Ny'", "N22"...). Posteriormente, se comparan y se selecciona, de entre todos, el máximo. Este último valor es el que se aplica en el paso 2.

En el (CUADRO 6), se presenta un ejemplo hipotético que aclara el proceso explicado en el párrafo anterior. Se resaltan, en color verde, los valores a considerar en el paso siguiente:

(CUADRO 6) VALORES MÁXIMOS ABSOLUTOS				
Resultado \ Modelo	Mod-1	Mod-2	Mod-3	Mod-4
"N11"	715295	872347	809283	45345
"Nyy=Ny' "	695295	852347	789283	43345
"N22"	-85295	-82347	-89283	-4345
"Nxx=Nx' "	-83295	-80347	-87283	-4145
δx	0,0001	-0,00012	-0,00028	0,0034
δz	-0,000012	-0,000013	-0,000025	-0,000045

2. Igualación de los valores máximos y mínimos.

Para facilitar la lectura de los resultados, se igualan los valores máximos y mínimos^{28,29} de los datos obtenidos. Gracias a esta igualación de datos se obtiene una escala gráfica simétrica³⁰, como se aprecia en el (GRAF.3: 52). En el (CUADRO 7) se presenta un ejemplo aclaratorio:

(CUADRO 7) MANIPULACIÓN DE DATOS	
	
(GRAF.3: 51) Datos iniciales del programa. Valor máximo absoluto (máx. abs.) 1.5424e+05.	(GRAF.3: 52) Datos manipulados: igualdad entre máximos y mínimos. Valor de referencia 1.5424e+05 (máx. abs.).

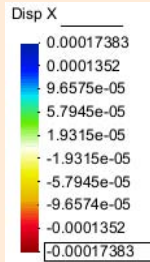

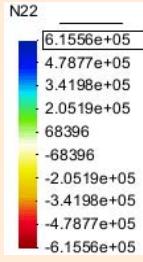
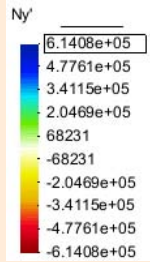
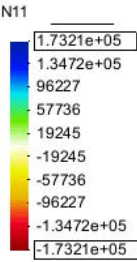
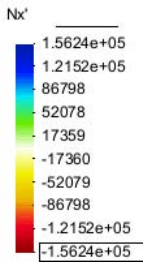
²⁷ Es una información necesaria para desarrollar la fase posterior de comparación de los modelos.

²⁸ La igualación se realiza en el módulo post-procesador de "GID" (comandos "set maximum value" y "set minimum value").

²⁹ Utilizando el valor máximo obtenido en el paso anterior.

³⁰ Gracias a dicha simetría mejora la interpretación de los valores positivos y negativos.

En nuestro caso, los valores a incluir en los diferentes modelos son los que se indican en el (CUADRO 8):

(CUADRO 8) MÁXIMOS ABSOLUTOS CONSIDERADOS EN EL ANÁLISIS		
		
(GRAF.3: 53) Desplazamiento en "x" máximo absoluto: 0,00017383m.	(GRAF.3: 54) Desplazamiento en "z" máximo absoluto: -0.00052951m.	(GRAF.3: 55) La fuerza máxima absoluta en la dirección principal "22" es "N22": 615562N/m.
		
(GRAF.3: 56) La fuerza máxima absoluta en la dirección "yy" es "Nyy=Ny'": 614076N/m.	(GRAF.3: 57) La fuerza máxima absoluta en la dirección principal "11" es "N11": 173209N/m.	(GRAF.3: 58) La fuerza máxima absoluta en la dirección "xx" es "Nxx=Nx'": 156236N/m.

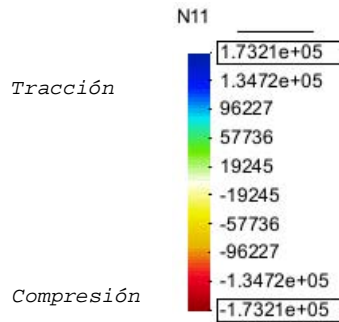
3. Especificación de la escala cromática utilizada para las fuerzas y para los desplazamientos en "x".

Para la representación gráfica de las fuerzas y del desplazamiento en "x" se utiliza la misma escala cromática. En el (CUADRO 9) se incluyen los números de los colores³¹ utilizados en los modelos, y estos son:

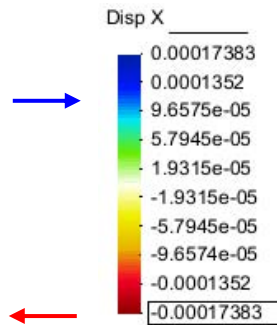
(CUADRO 9) FUERZAS Y DESPLAZAMIENTO EN "X"						
	153	0	240	30	79	168
	156	2	236	27	119	251
	122	0	240	231	114	242
	62	106	240	236	111	0
	40	255	240	255	221	233
	40	240	240	240	113	0
	31	233	238	181	110	1
	234	243	238	1	115	37
	0	149	240	0	70	0

³¹ Estos números se introducen en el módulo post-procesador de "GID" (comando option/contour/colour Windows/user defined).

En el caso de los esfuerzos, las fuerzas de tracción se representan con una gama de colores fríos³² y los de compresión con una gama de colores cálidos³³.



En el caso de los desplazamientos en "x" vemos dos situaciones: cuando el movimiento es hacia el lado derecho, se representan con la gama de colores fríos y cuando es hacia el lado izquierdo, con colores cálidos.



Para facilitar la interpretación se incluyen flechas que indican, visualmente, el sentido del desplazamiento³⁴.

4. Especificación de la escala cromática utilizada para la representación gráfica de los desplazamientos en "z".

En el caso de los desplazamientos en "z" se selecciona una escala cromática de colores cálidos³⁵, la misma que se indica en el (CUADRO 10):

(CUADRO 10) DESPLAZAMIENTO EN "Z"						
	40	255	240	255	221	233
	0	255	240	151	191	151
	0	149	240	0	70	0

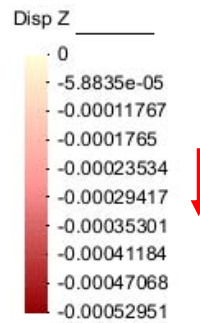
³² Los colores fríos corresponden a una gama de verde y azul.

³³ Los colores cálidos corresponden a una gama de amarillo y rojo.

³⁴ Hay que indicar que el movimiento horizontal no se debe a fuerzas laterales externas (fuerzas aplicadas en la dirección "x"). Se debe más bien al efecto de Poisson que origina que la pieza cargada se deforme en todas las direcciones. Dicho efecto depende del sentido de fuerza, en el caso en que sea de compresión la pieza se ensancha y se acorta.

³⁵ Los desplazamientos tienden a mínimos cuando se aproximan a colores claros y a máximos cuando se acercan a tonos oscuros.

Para mayor claridad de los resultados se incluye una flecha que indica el sentido del desplazamiento. Veamos un ejemplo:



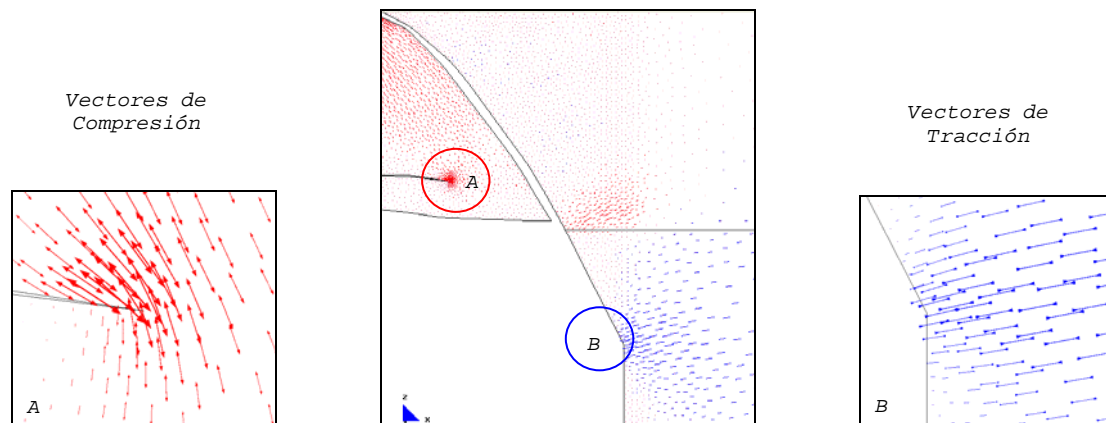
5. Definición del factor de escala: "Si" y "Sii".

El factor de escala es el valor que se utiliza para ampliar o reducir la representación gráfica de los vectores ("Si" y "Sii").

Con la finalidad de facilitar la comparación de los modelos se tiene en cuenta que el factor de escala es igual para todos ellos, tanto para la representación de "Si" como para "Sii". En el presente estudio utilizamos como factor: "1,00E-05".

Gracias a esta igualdad se puede demostrar fácilmente que los vectores "Sii" son siempre superiores a los "Si"³⁶.

En los resultados gráficos de ambos vectores³⁷ se distinguen dos tipologías: los vectores de color rojo³⁸ que simbolizan tracciones y los de color azul³⁹ que representan compresiones. Por ejemplo:



(GRAF.3: 59) Representación gráfica de los vectores "Si".

3.2.3.3 Análisis de la Influencia de las condiciones de contorno en los modelos sin zuncho

3.2.3.4 Análisis de la Influencia de la forma del arco en los modelos sin zuncho

³⁶ Los vectores "Sii" deben ser superiores a los "Si" dado que las fuerzas de compresión son superiores.

³⁷ Los vectores de las direcciones principales "Sii" y "Si".

³⁸ Flechas que se separan = tracciones.

³⁹ Flechas que se unen = compresiones.

MJIG

CAPÍTULO-3

- 1.- ASPECTOS GENERALES
- 2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS
- 3.- PRESENTACIÓN DE UN MODELO
INTRODUCTORIO**
- 4.- ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE
ARCOS
- 5.- INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE
CONTORNO EN LOS MODELOS SIN ZUNCHO
- 6.- INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN
LOS MODELOS SIN ZUNCHO
- 7.- CONCLUSIONES

3.3 PRESENTACIÓN DE UN MODELO INTRODUCTORIO

Para hacer una primera comprobación del método se ve conveniente partir de un modelo conocido por todos⁴⁰ como es el caso de una pared con un hueco circular perfecto en su centro.

FICHA DEL MODELO

1.- NOMBRE DEL MODELO:

Círculo en el centro⁴¹

Alto de la pared	=7,00m
Longitud de la pared	=4,00m
Espesor de la pared	=0,20m
Diámetro del círculo	=1,80m
Ubicación	=Eje de ambos lados

2.- ESTADO DE CARGA:

Carga	Tn/m	0,90
	N/m	9.000

3.- DATOS DE LA PARED DE HORMIGÓN:

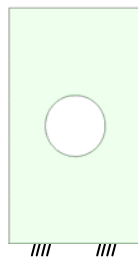
$\gamma=25.000\text{N/m}^3$
$E=2,10\text{e}10\text{N/m}^2$

4.- DATOS DE LOS FORJADOS:

Sin zuncho de conexión con el muro.

5.- DATOS DE LOS APOYOS:

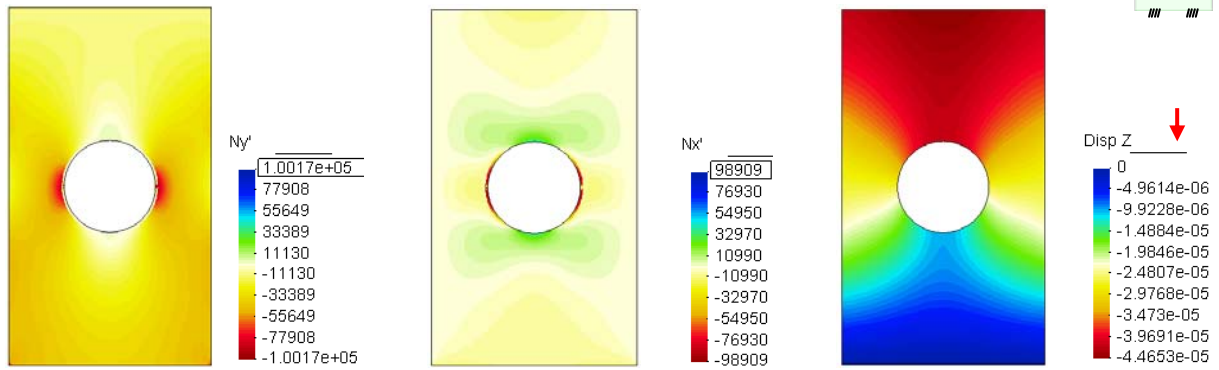
Con empotramiento en la base y libre lateralmente.



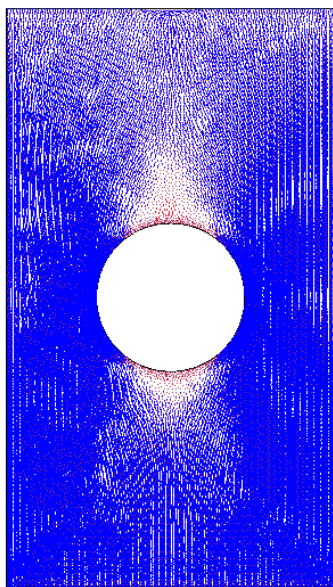
⁴⁰ De esta tipología se conoce perfectamente la trayectoria de las fuerzas.

⁴¹ Nombre del modelo que aparece en el CD entregado. Ruta F:\modelos-cálculo\mod-capítulos-def\cap-3-sin zuncho\círculo en el centro.gid

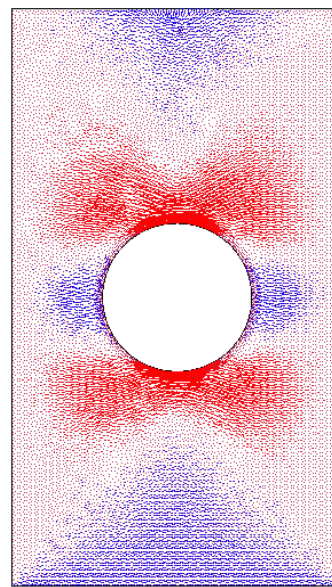
3.3.1 Hueco Circular



a.- Axial Force(N/M). Ny' . b.- Axial Force(N/M). Nx' . c.- Desplazamiento
Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

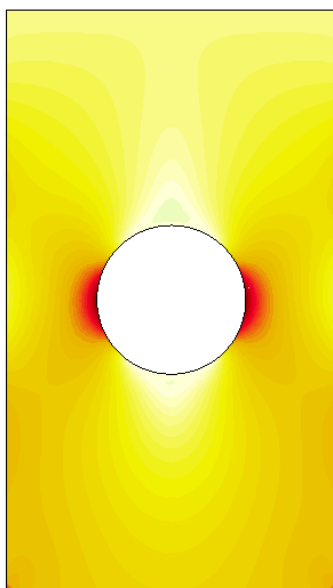


Main Ax. Force(N/M). $N11$.

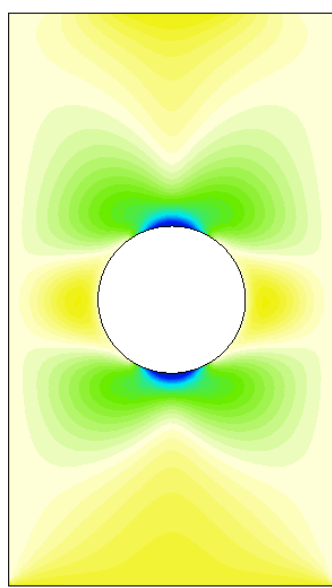


Main Ax. Force(N/M). $N11$.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.



Main Ax. Force(N/M). $N22$.



Main Ax. Force(N/M). $N11$.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.

MJIG

CAPÍTULO-3

- 1.- ASPECTOS GENERALES
- 2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS
- 3.- PRESENTACIÓN DE UN MODELO
INTRODUCTORIO
- 4.- ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE
ARCOS**
- 5.- INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE
CONTORNO EN LOS MODELOS SIN ZUNCHO
- 6.- INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN
LOS MODELOS SIN ZUNCHO
- 7.- CONCLUSIONES

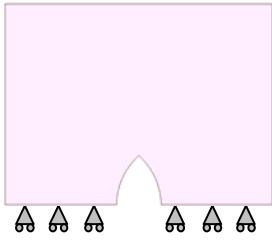
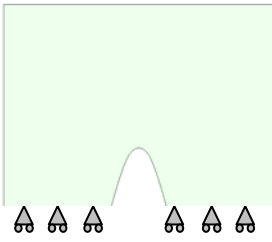
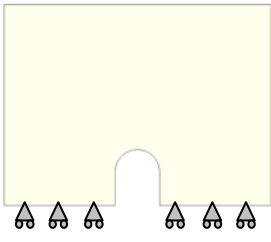
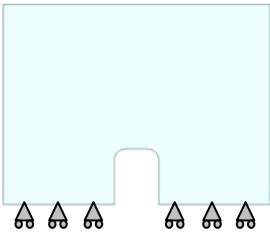
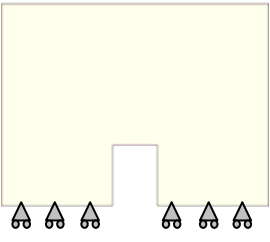
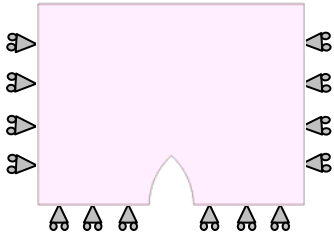
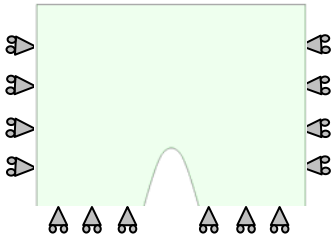
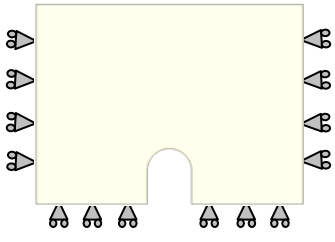
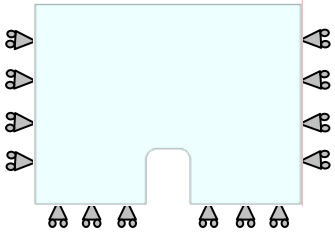
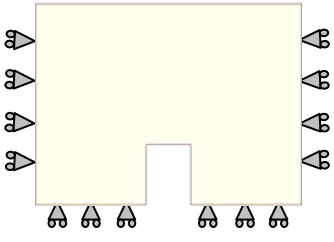
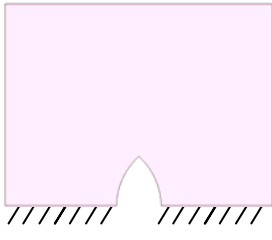
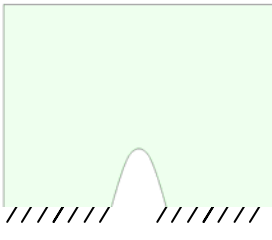
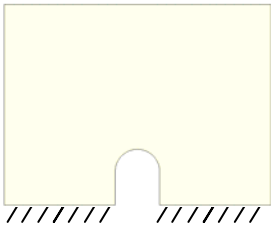
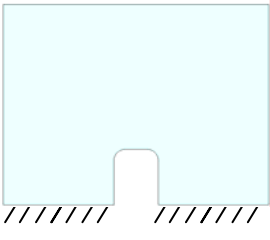
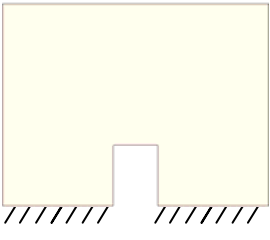
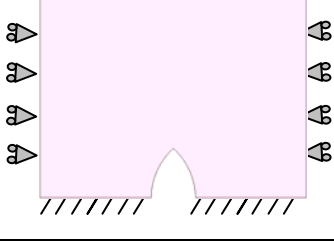
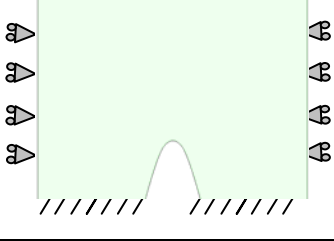
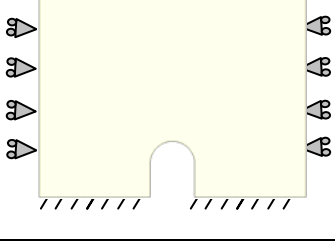
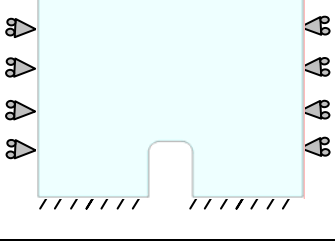
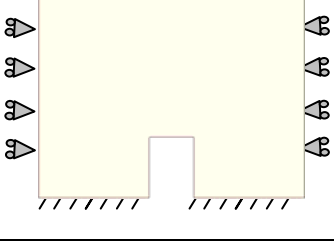
MJIG

3.4 ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE ARCOS

- 1.- INFLUENCIA DE LA BASE APOYADA
- 2.- INFLUENCIA DE LOS APOYOS EN BASE Y RESTRICCIÓN LATERAL
- 3.- INFLUENCIA DEL EMPOTRAMIENTO DE LA BASE
- 4.- INFLUENCIA DEL EMPOTRAMIENTO DE LA BASE Y RESTRICCIÓN LATERAL

3.4 ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE ARCOS

En el presente apartado se analizan los cinco modelos que se indican en el (CUADRO 4), cuyas variables son: la forma⁴² de los huecos y las condiciones de contorno.

(CUADRO 4) ESQUEMAS DE LOS MODELOS CON LAS DIFERENTES CONDICIONES DE CONTORNO A ANALIZAR					
	ARCO OJIVAL (A.O)	ARCO IDEAL (A.I)	ARCO DE MEDIO PUNTO (A.M.P)	ARCO CARPANEL (A.CP)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS (A.R)
BASE APOYADA (BA)	 (GRAF.3: 25) A. ojival: BA	 (GRAF.3: 26) A. ideal: BA	 (GRAF.3: 27) A. Medio punto: BA	 (GRAF.3: 28) A. carpanel: BA	 (GRAF.3: 29) A. A. rectos: BA
BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL)	 (GRAF.3: 30) A. ojival: BA-RL	 (GRAF.3: 31) A. ideal: BA-RL	 (GRAF.3: 32) A. Medio punto: BA-RL	 (GRAF.3: 33) A. carpanel: BA-RL	 (GRAF.3: 34) A. A. rectos: BA-RL
BASE EMPOTRADA (BE)	 (GRAF.3: 35) A. ojival: BE	 (GRAF.3: 36) A. ideal: BE	 (GRAF.3: 37) A. Medio punto: BE	 (GRAF.3: 38) A. carpanel: BE	 (GRAF.3: 39) A. A. rectos: BE
BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL)	 (GRAF.3: 40) A. ojival: BE-RL	 (GRAF.3: 41) A. ideal: BE-RL	 (GRAF.3: 42) A. Medio punto: BE-RL	 (GRAF.3: 43) A. carpanel: BE-RL	 (GRAF.3: 44) A. A. rectos: BE-RL

Para el análisis, los modelos se clasifican de acuerdo a sus condiciones de contorno:

⁴² Indicados en los primeros apartados.

3.4.1 Influencia de la base apoyada

FICHA DEL MODELO

1.- NOMBRE DEL MODELO:

Huecos con arcos-def-apoy-30⁴³
(Hueco con arco, con la base apoyada, e=30)

Número de plantas (a)=3
Altura de las plantas (b)=3,00m
Longitud del tramo de pared (c)=12,00m
Ancho de la zona de influencia de carga (d)=4,00m
Ancho de la abertura (f)=2,50m
Espesor de la pared =0,30m

2.- ESTADO DE CARGA CONSIDERADO:

Pp	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000
Cp	Tn/m ²	0,15
	N/m	6.000
Su	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000

3.- DATOS DE LA PARED DE FÁBRICA:

$\gamma=18.000\text{N/m}^3$
$E=5,70\text{E}+09\text{N/m}^2$
$G=2,38\text{E}+09\text{N/m}^2$
$\nu=0,20$

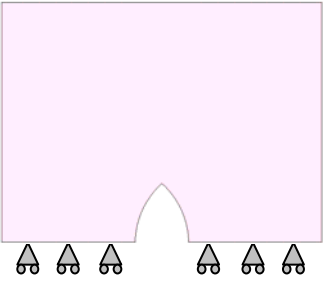
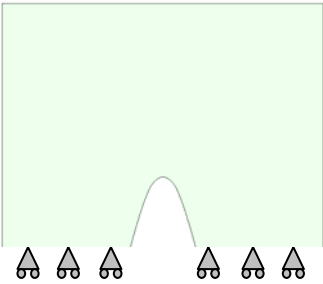
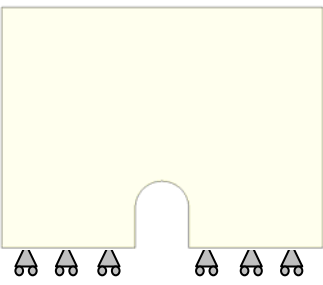
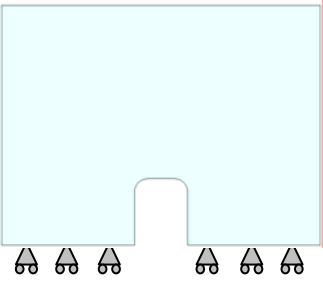
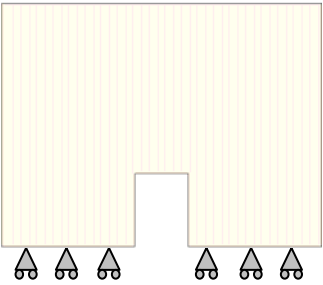
4.- DATOS DE LOS FORJADOS:

Sin zuncho de conexión con el muro.

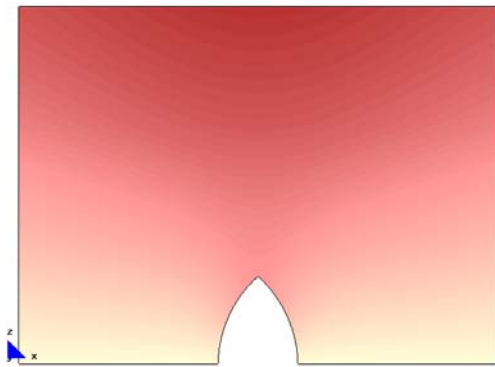
5.- DATOS DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO:

Con apoyo deslizando en la base y libre lateralmente.

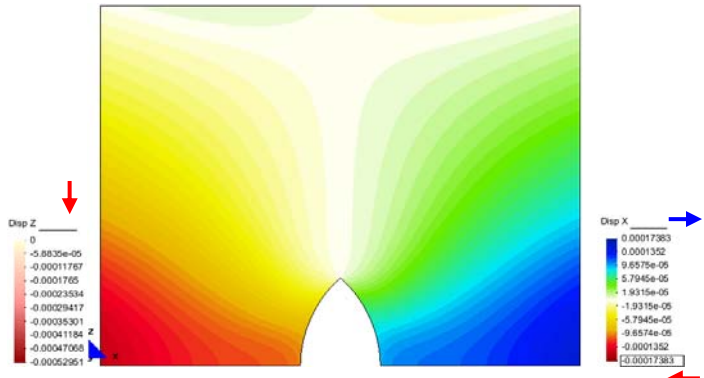
⁴³ Nombre del modelo que aparece en el CD entregado. Ruta F:\modelos-cálculo\mod-capítulos-def\cap-3-sin zuncho\hueco con arco-def-apoy-30.gid

(CUADRO 11) MODELOS: BASE APOYADA	
ARCO OJIVAL	 <p>Ver 3.4.1.1</p>
ARCO IDEAL	 <p>Ver 3.4.1.2</p>
ARCO DE MEDIO PUNTO	 <p>Ver 3.4.1.3</p>
ARCO CARPANEL	 <p>Ver 3.4.1.4</p>
ARCO DE ÁNGULOS RECTOS	 <p>Ver 3.4.1.5</p>

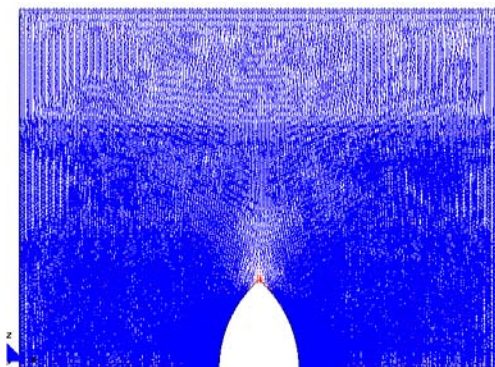
3.4.1.1 Hueco con arco ojival



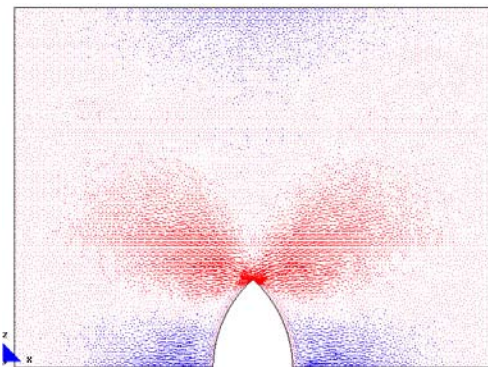
a.- Displacement (m).Disp-Z



a'.- Displacement (m).Disp-X
Desplazamientos

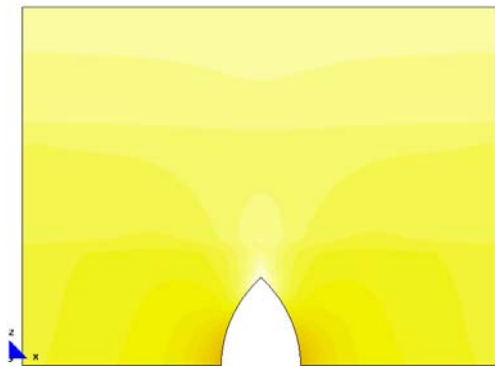


b.- Main Ax. Force(N/M). Sii factor-8.1e-6.

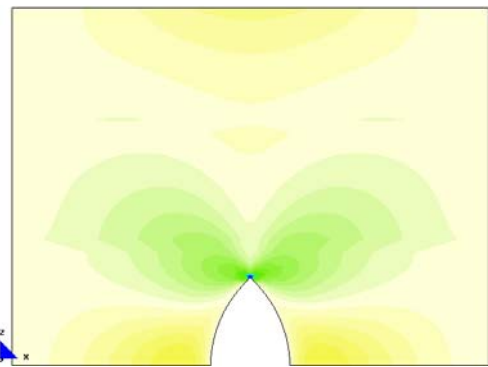


c.- Main Ax. Force(N/M). Si factor-8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

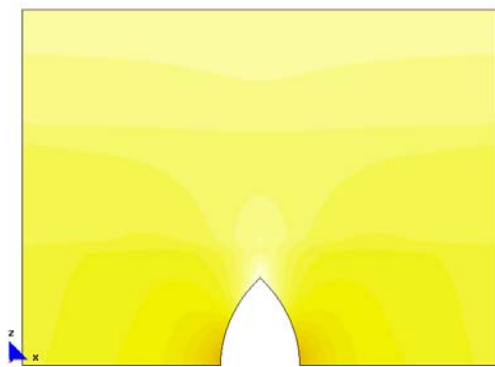


d.- Main Ax. Force(N/M). N22.

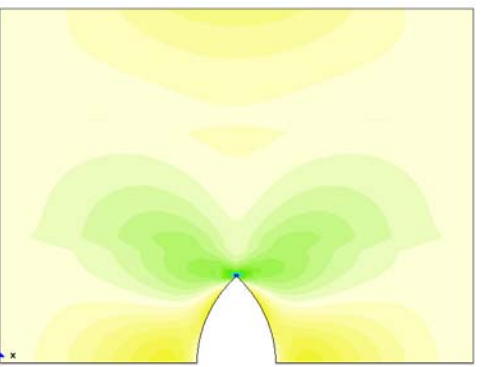


e.- Main Ax. Force(N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



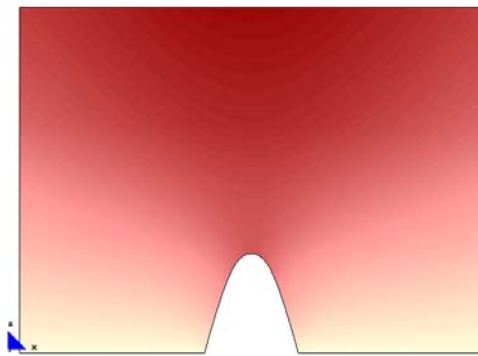
f.- Axial Force(N/M). Ny'.



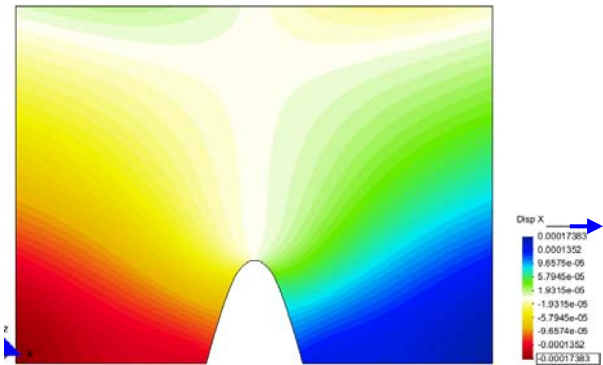
g.- Axial Force(N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

3.4.1.2 Hueco con arco ideal

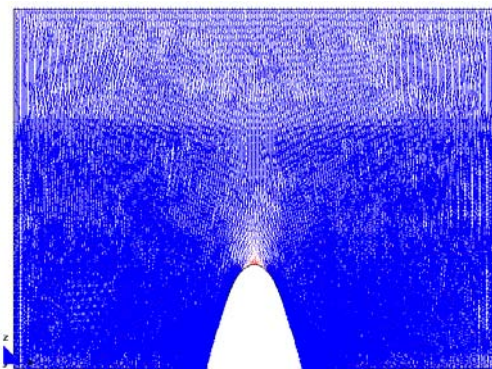


a.- Displacement (m).Disp-Z

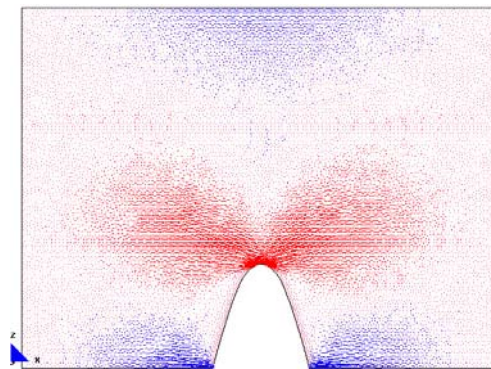


a'.- Displacement (m).Disp-X

Desplazamientos

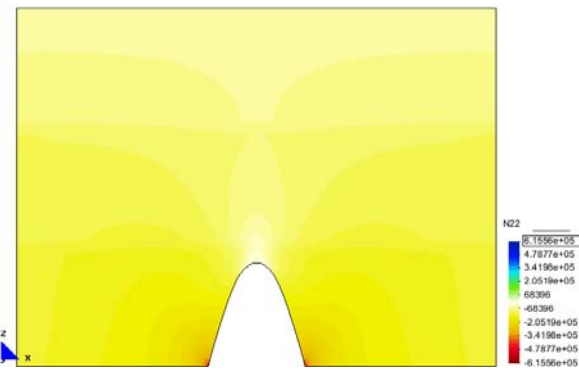


b.- Main Ax. Force(N/M). Sii Factor-8.1e-6.

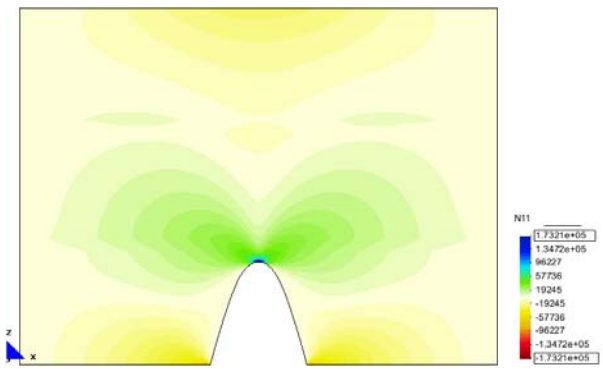


c.- Main Ax. Force(N/M). Si Factor-8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

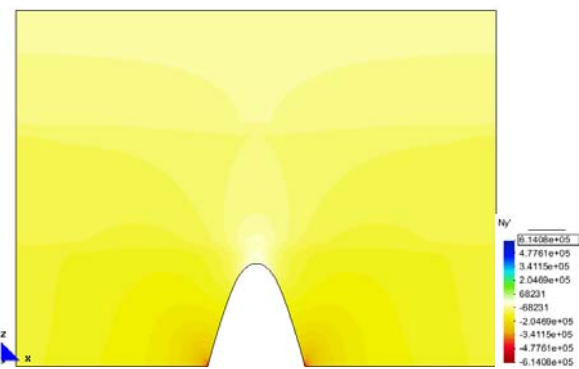


d.- Main Ax. Force(N/M). N22.

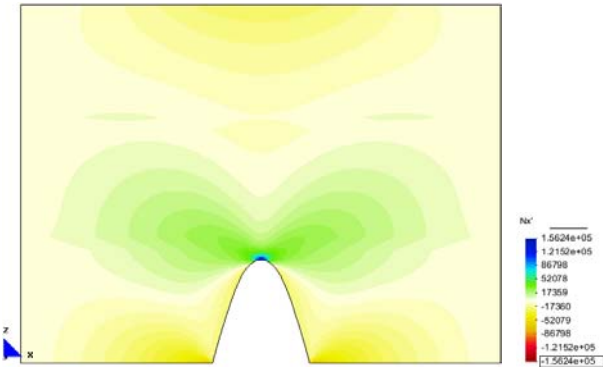


e.- Main Ax. Force(N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



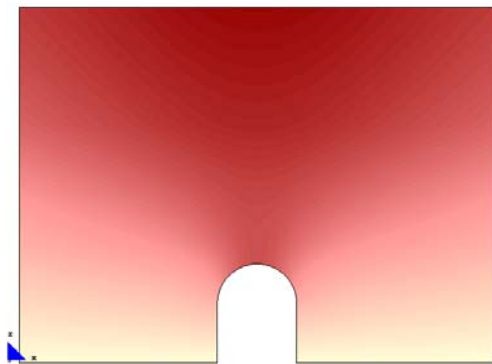
f.- Axial Force(N/M). Ny'.



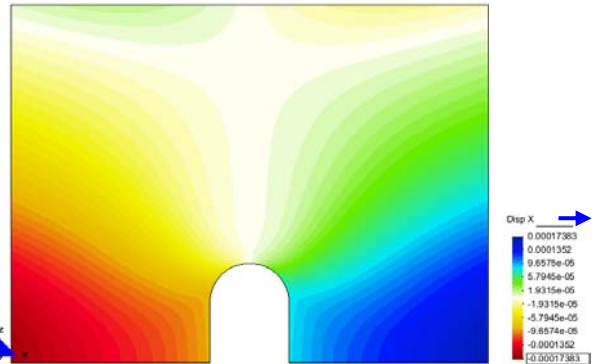
g.- Axial Force(N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

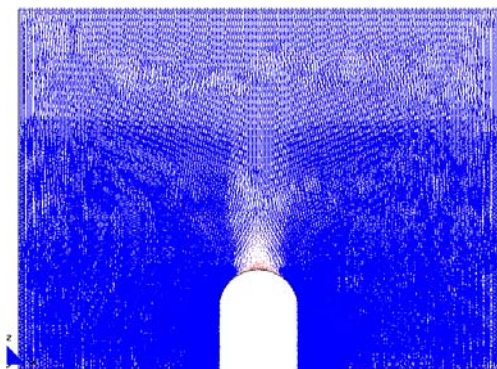
3.4.1.3 Hueco con arco de medio punto



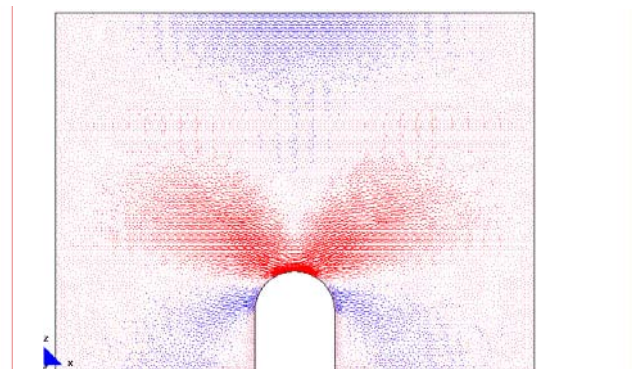
a.- Displacement (m).Disp-Z



a'.- Displacement (m).Disp-X
Desplazamientos

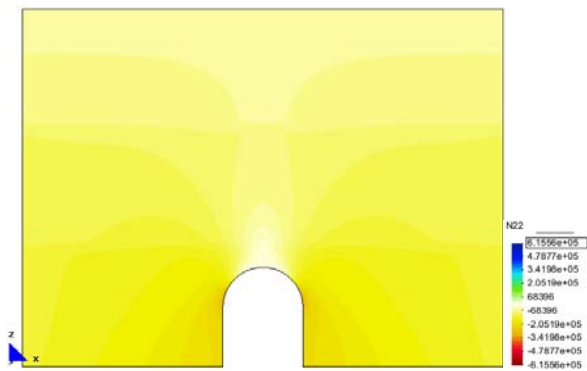


b.- Main Ax. Force(N/M). Sii Factor-8.1e-6.

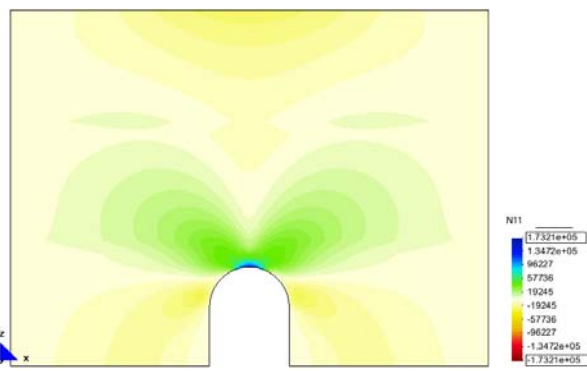


c.- Main Ax. Force(N/M). Si factor-8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

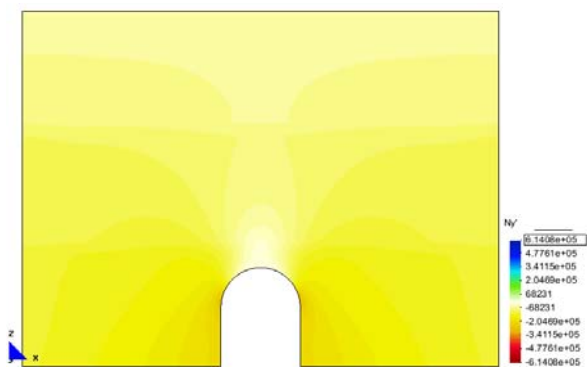


d.- Main Ax. Force(N/M). N22.

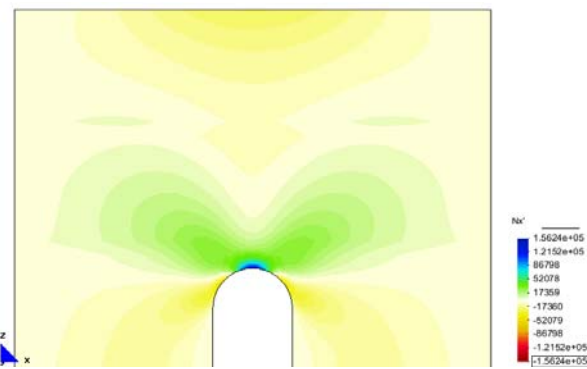


e.- Main Ax. Force(N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



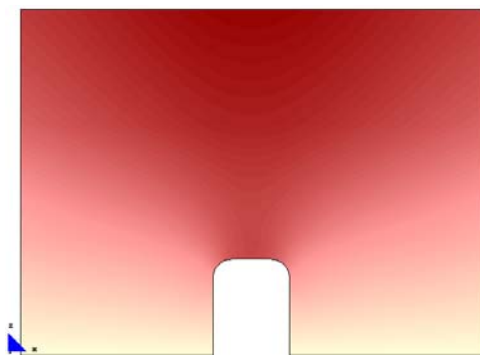
f.- Axial Force(N/M). Ny'.



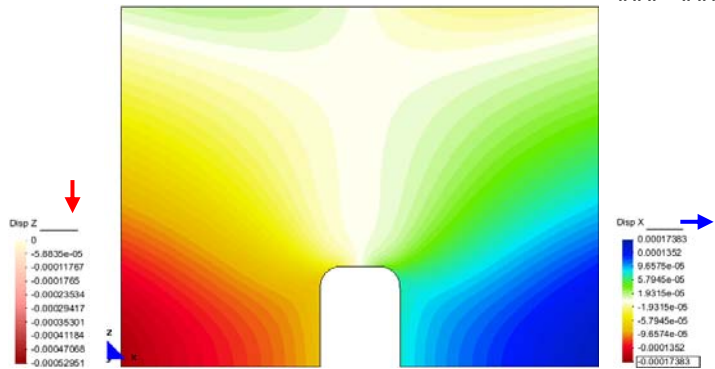
g.- Axial Force(N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

3.4.1.4 Hueco con arco carpanel

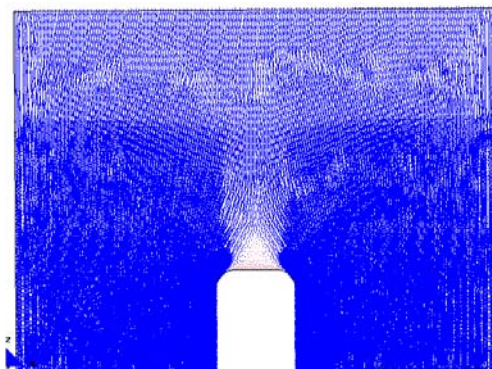


a.- Displacement (m).Disp-Z

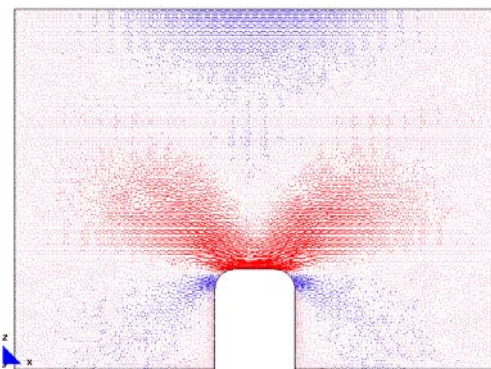


a'.- Displacement (m).Disp-X

Desplazamientos

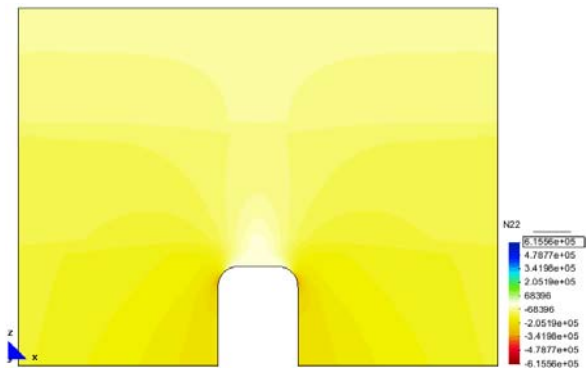


b.- Main Ax. Force(N/M). Sii factor-8.1e-6.

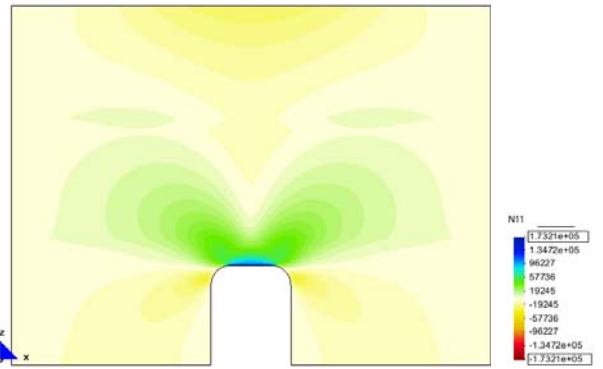


c.- Main Ax. Force(N/M). Si factor-8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

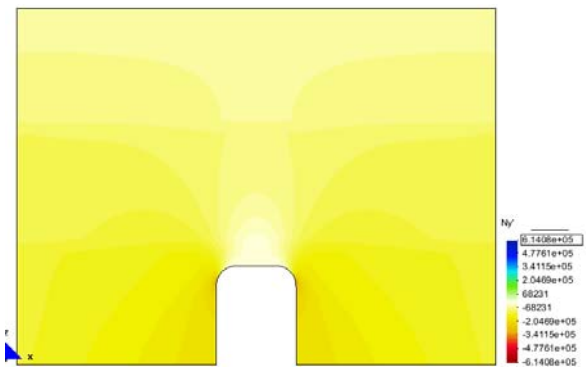


d.- Main Ax. Force(N/M). N22.

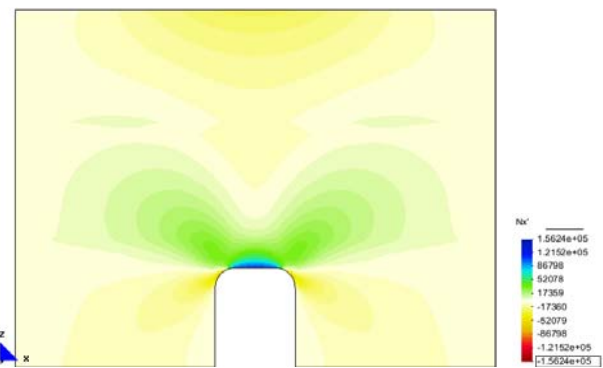


e.- Main Ax. Force(N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



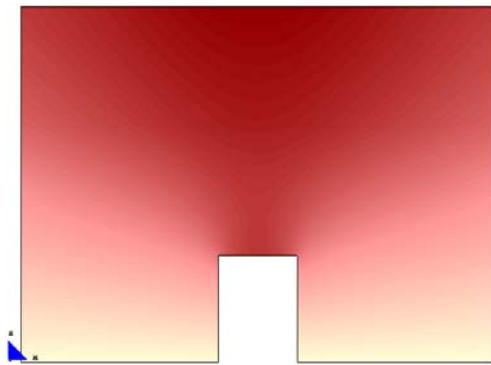
f.- Axial Force(N/M). Ny'.



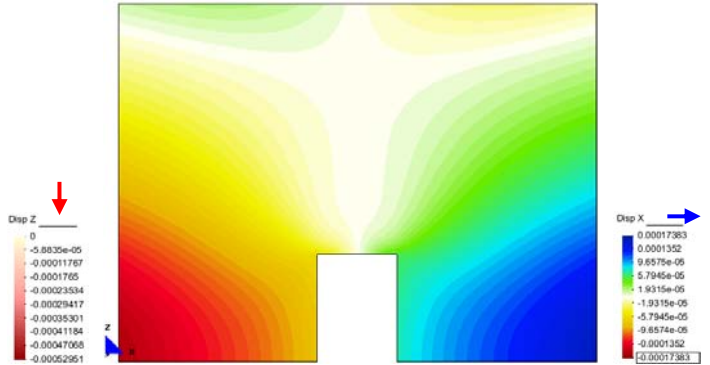
g.- Axial Force(N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

3.4.1.5 Huevo con arco de ángulos rectos

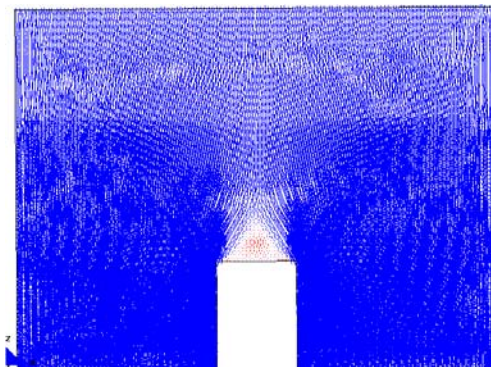


a.- Displacement (m).Disp-Z

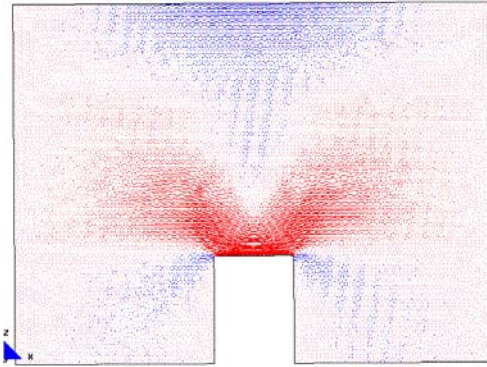


a'.- Displacement (m).Disp-X

Desplazamientos

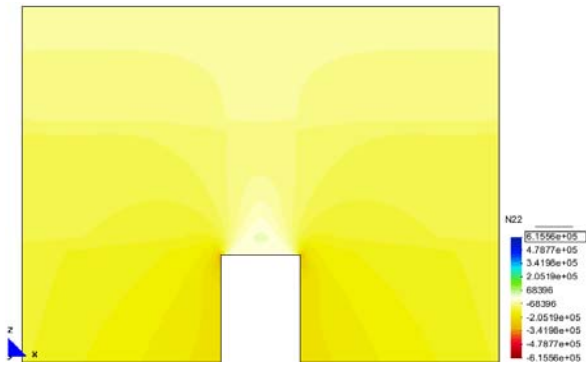


b.- Main Ax. Force(N/M). Sii Factor-8.1e-6.

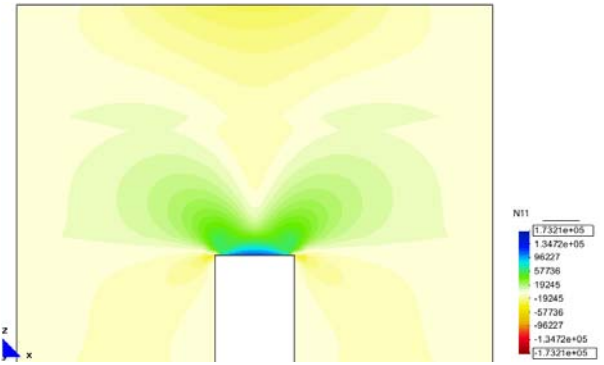


c.- Main Ax. Force(N/M). Si factor-8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

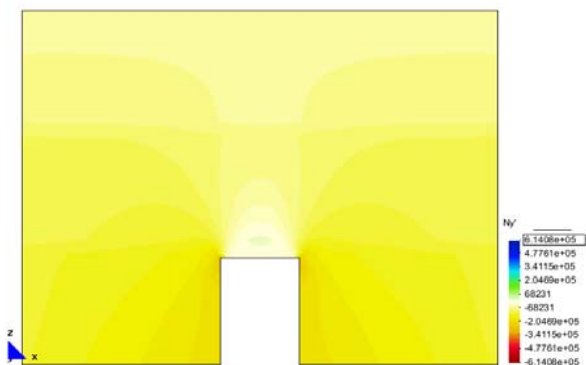


d.- Main Ax. Force(N/M). N22.

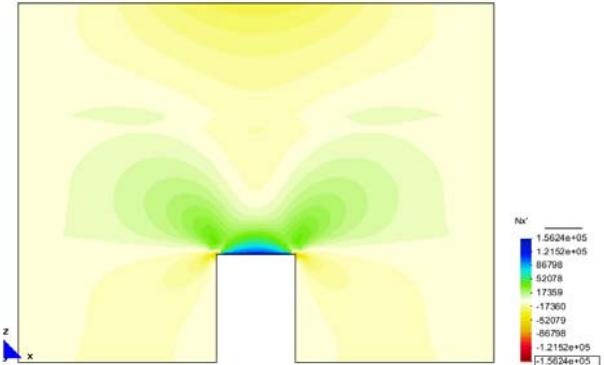


e.- Main Ax. Force(N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



f.- Axial Force(N/M). Ny'.



g.- Axial Force(N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

3.4.2 Influencia de los apoyos en base y restricción lateral**FICHA DEL MODELO****1.- NOMBRE DEL MODELO:****Huecos con arcos-def-apoy-restring-lat-30⁴⁴***(Hueco con arco, con la base apoyada y restringido lateralmente, e=30)*

Número de plantas (a)=3

Altura de las plantas (b)=3,00m

Longitud del tramo de pared (c)=12,00m

Ancho de la zona de influencia de carga (d)=4,00m

Ancho de la abertura (f)=3,00m

Espesor de la pared =0,30m

2.- ESTADO DE CARGA CONSIDERADO:

Pp	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000
Cp	Tn/m ²	0,15
	N/m	6.000
Su	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000

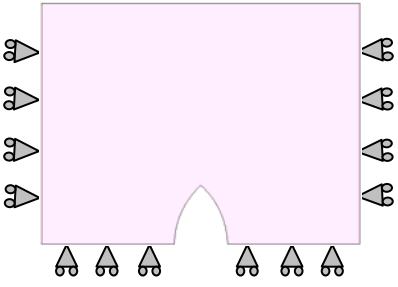
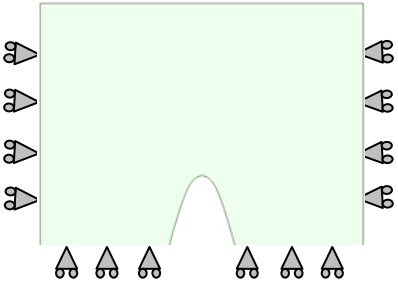
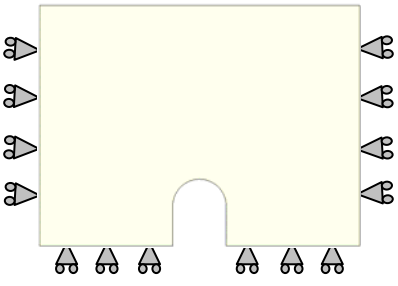
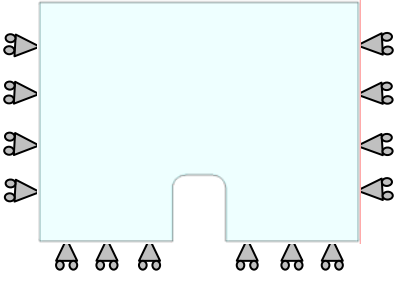
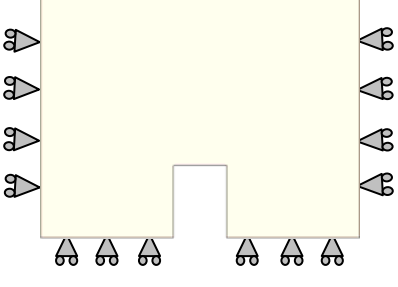
3.- DATOS DE LA PARED DE FÁBRICA: $\gamma=18.000\text{N/m}^3$ $E=5,70\text{E}+09\text{N/m}^2$ $G=2,38\text{E}+09\text{N/m}^2$ $\nu=0,20$ **4.- DATOS DE LOS FORJADOS:**

Sin zuncho de conexión con el muro.

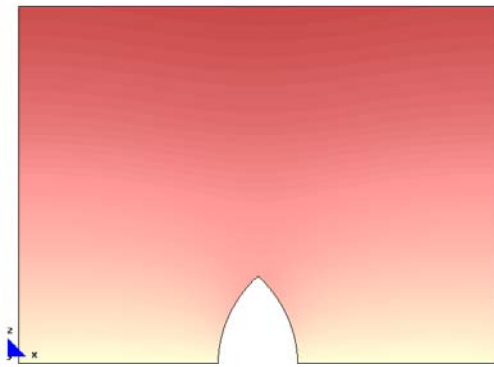
5.- DATOS DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO:

Con apoyo deslizante en la base y apoyado lateralmente.

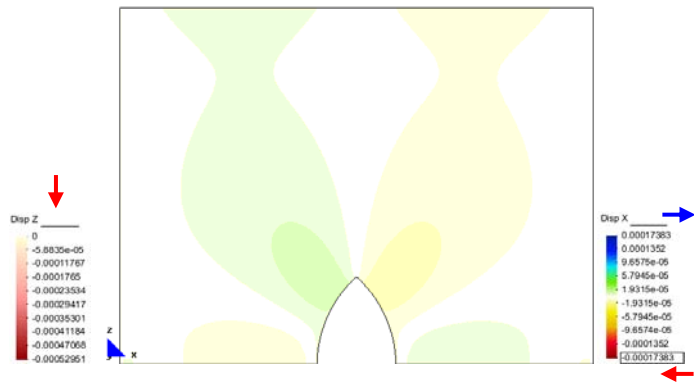
⁴⁴ Nombre del modelo que aparece en el CD entregado. Ruta F:\modelos-cálculo\mod-capítulos-def\cap-3-sin zuncho\hueco con arco-def-apoy-restring-lat-30.gid

(CUADRO 12) MODELOS: BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES	
ARCO OJIVAL	 <p style="text-align: center;">Ver 3.4.2.1</p>
ARCO IDEAL	 <p style="text-align: center;">Ver 3.4.2.2</p>
ARCO DE MEDIO PUNTO	 <p style="text-align: center;">Ver 3.4.2.3</p>
ARCO CARPANEL	 <p style="text-align: center;">Ver 3.4.2.4</p>
ARCO DE ÁNGULOS RECTOS	 <p style="text-align: center;">Ver 3.4.2.5</p>

3.4.2.1 Hueco con arco ojival

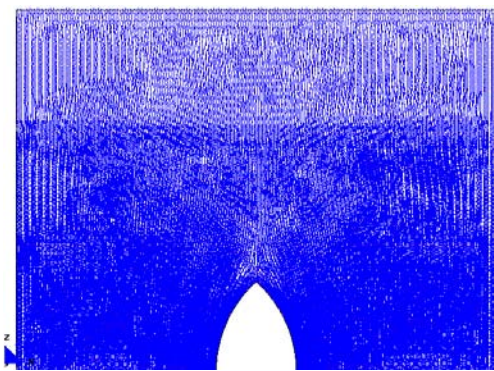


a.- Displacement (m).Disp-Z

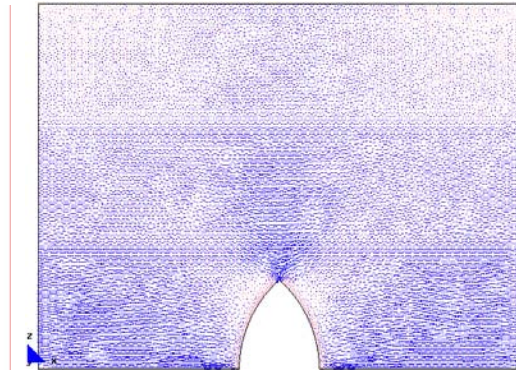


a'.- Displacement (m).Disp-X

Desplazamientos

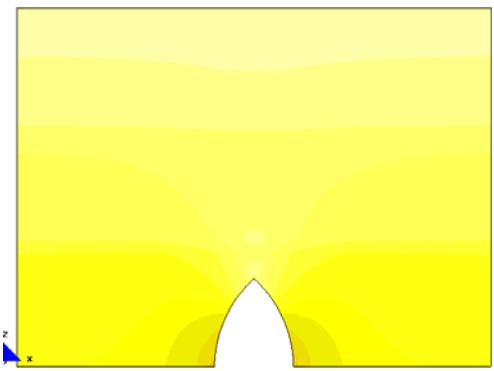


b.- Main Ax. Force(N/M). Sii Factor-8.1e-6.

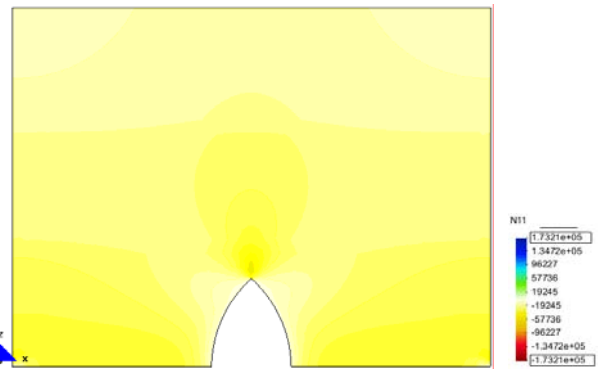


c.- Main Ax. Force(N/M). Si factor-8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

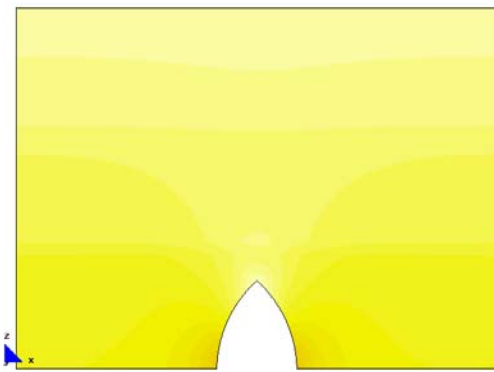


d.- Main Ax. Force(N/M). N22.

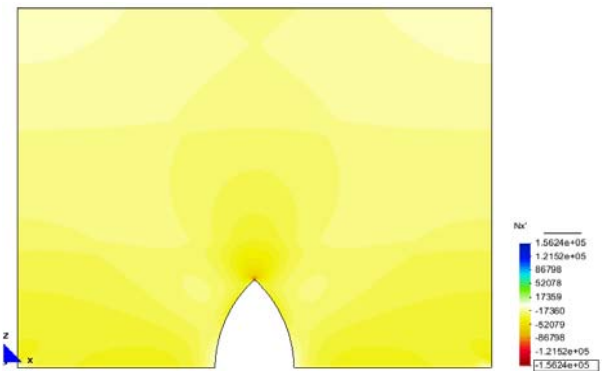


e.- Main Ax. Force(N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



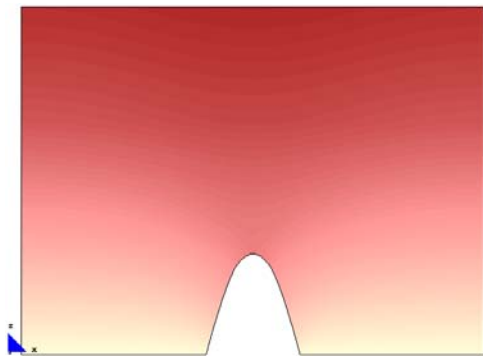
f.- Axial Force(N/M). Ny'.



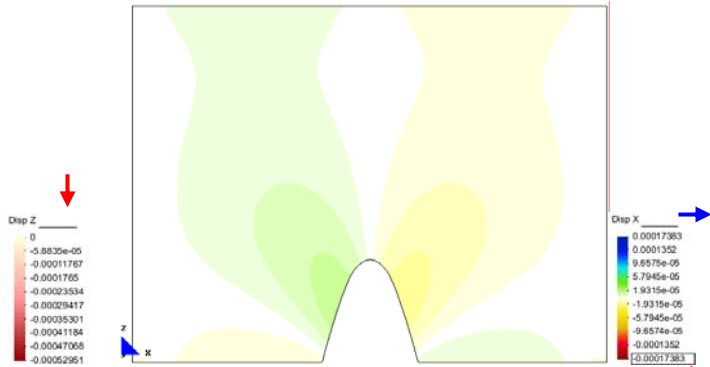
g.- Axial Force(N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

3.4.2.2 Hueco con arco ideal

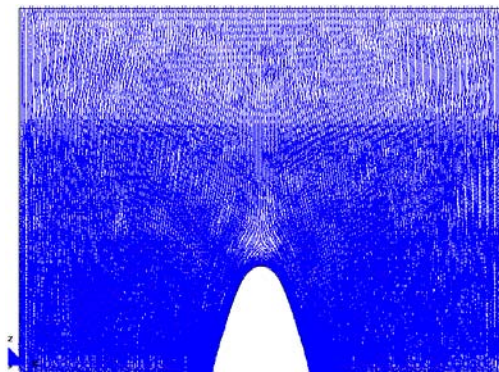


a.- Displacement (m).Disp-Z

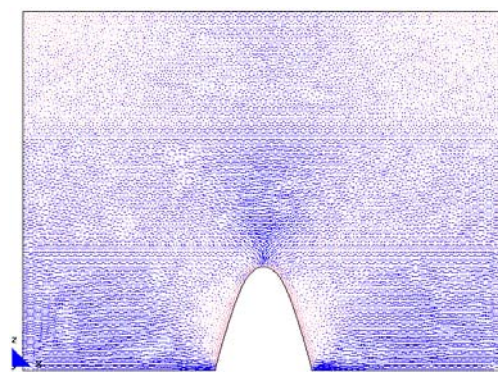


a'.- Displacement (m).Disp-X

Desplazamientos

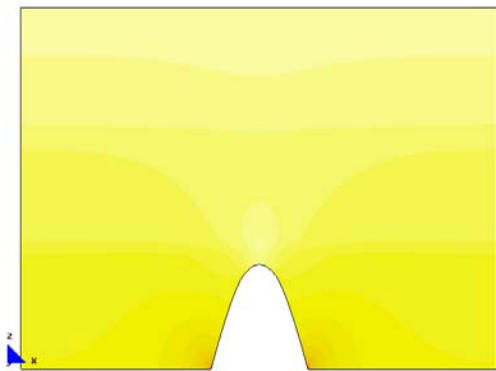


b.- Main Ax. Force(N/M). Sii factor-8.1e-6.

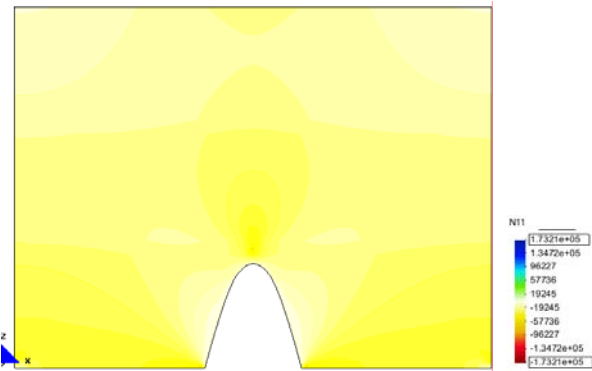


c.- Main Ax. Force(N/M). Si factor-8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

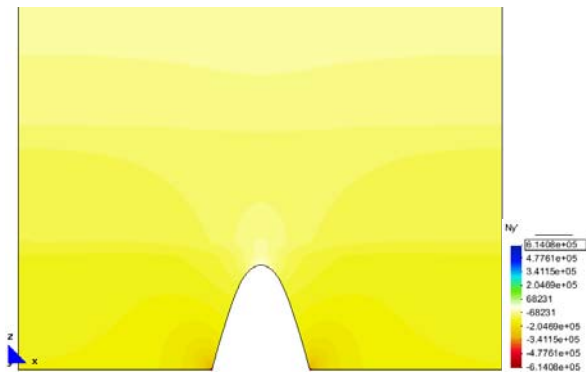


d.- Main Ax. Force(N/M). N22.

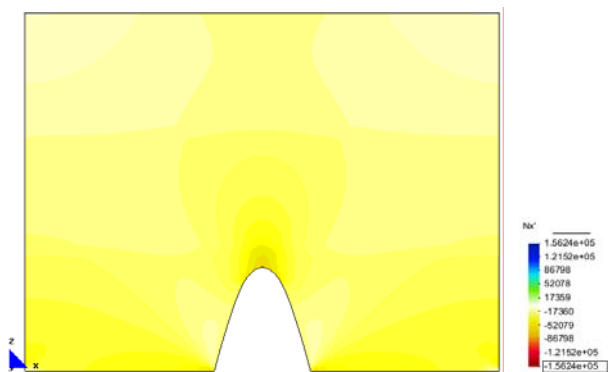


e.- Main Ax. Force(N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



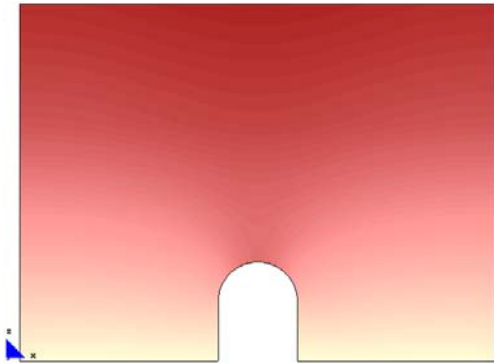
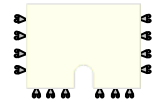
f.- Axial Force(N/M). Ny'.



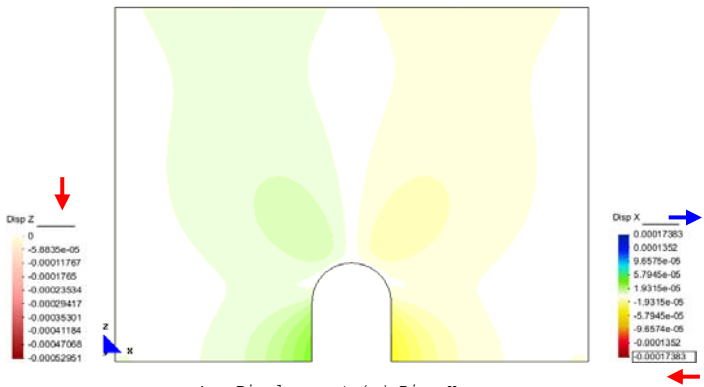
g.- Axial Force(N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

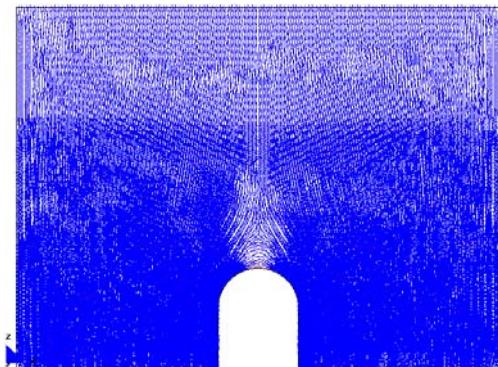
3.4.2.3 Hueco con arco de medio punto



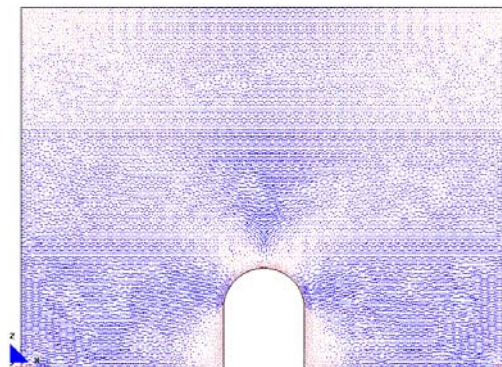
a.- Displacement (m).Disp-Z



a'.- Displacement (m).Disp-X
Desplazamientos

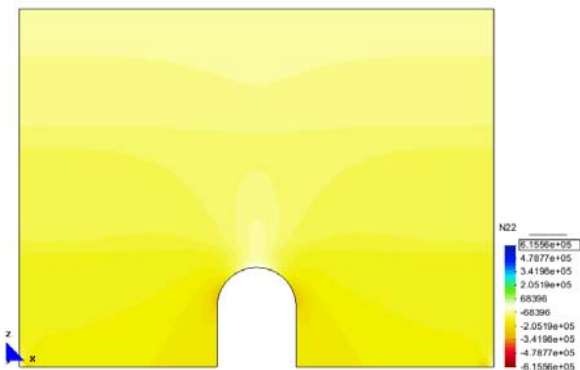


b.- Main Ax. Force(N/M). Sii Factor-8.1e-6.

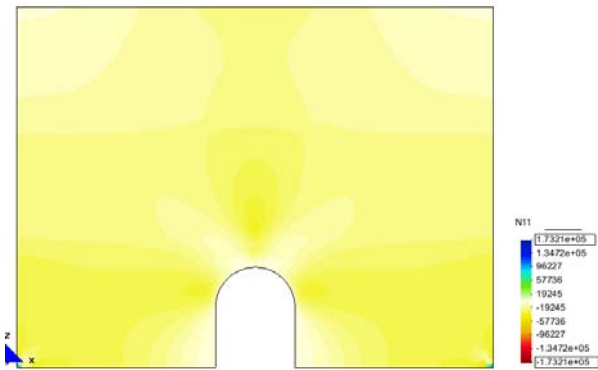


c.- Main Ax. Force(N/M). Si factor-8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

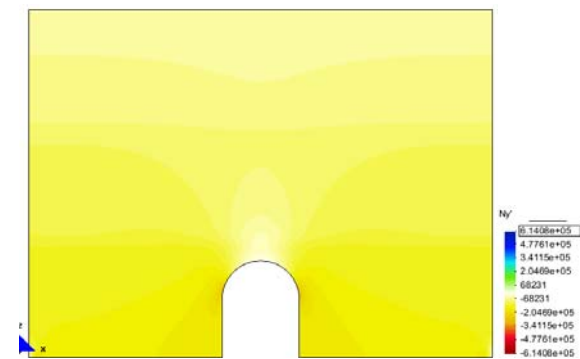


d.- Main Ax. Force(N/M). N22.

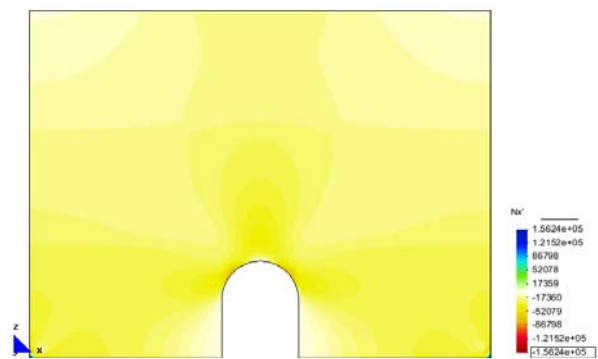


e.- Main Ax. Force(N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



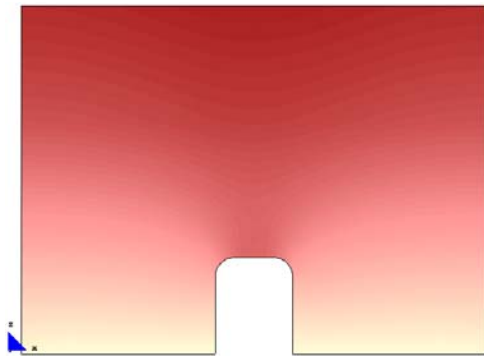
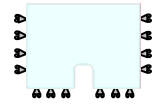
f.- Axial Force(N/M). Ny'.



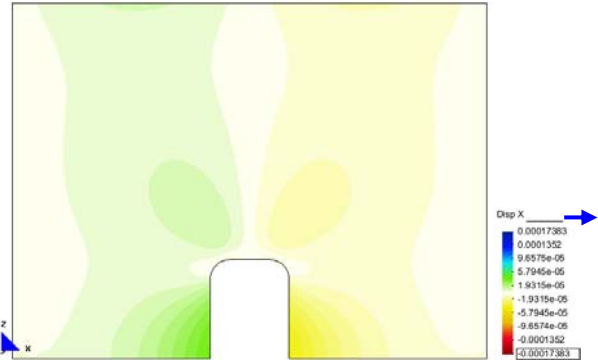
g.- Axial Force(N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

3.4.2.4 Hueco con arco carpanel

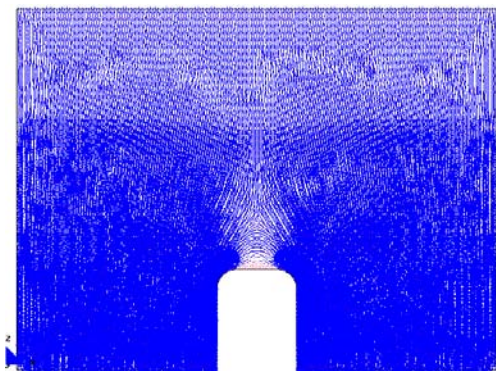


a.- Displacement (m).Disp-Z

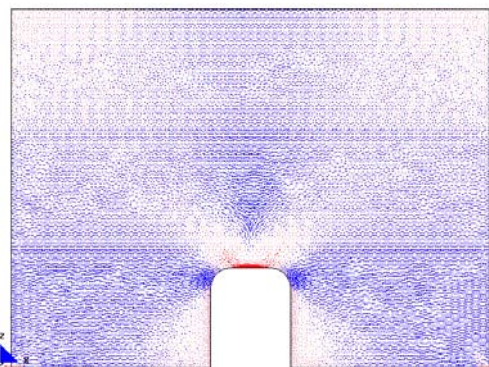


a'.- Displacement (m).Disp-X

Desplazamientos

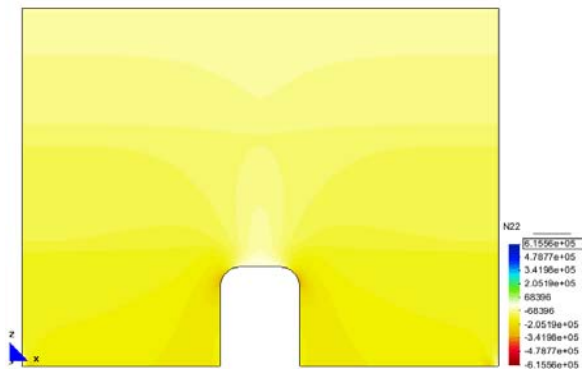


b.- Main Ax. Force(N/M). Sii Factor-8.1e-6.

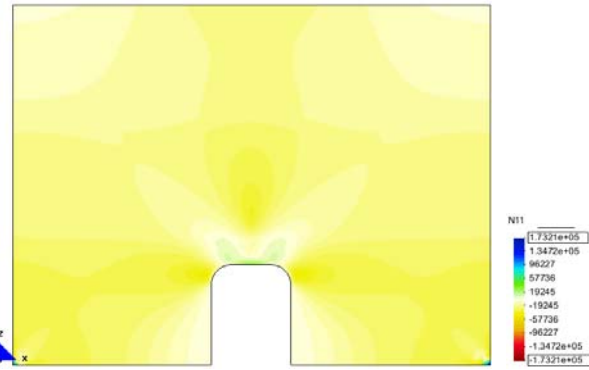


c.- Main Ax. Force(N/M). Si Factor-8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

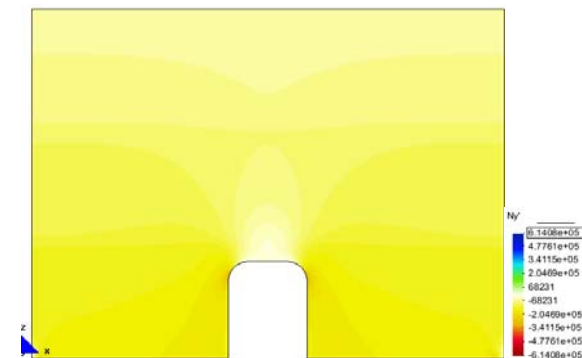


d.- Main Ax. Force(N/M). N22.

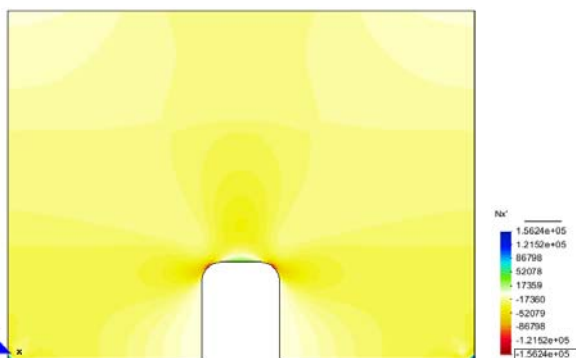


e.- Main Ax. Force(N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



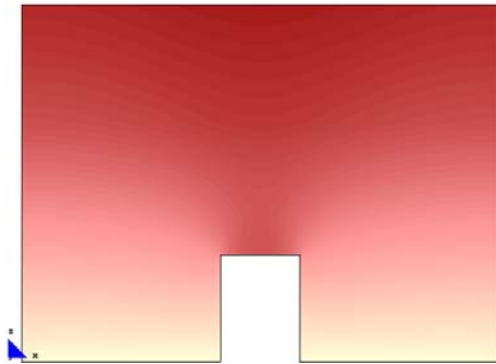
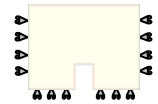
f.- Axial Force(N/M). Ny'.



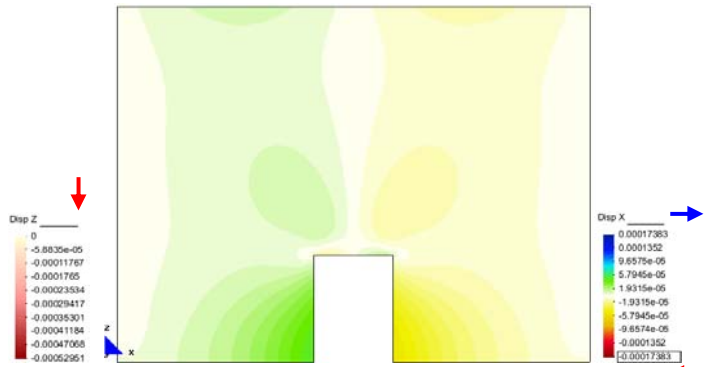
g.- Axial Force(N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

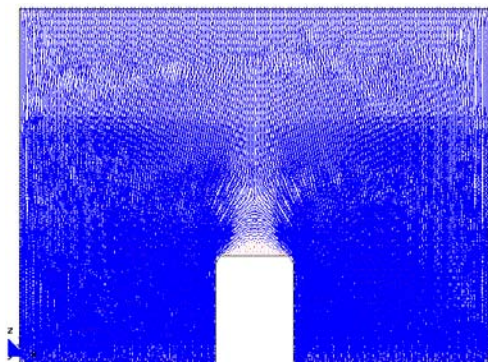
3.4.2.5 Hueco con arco de ángulos rectos



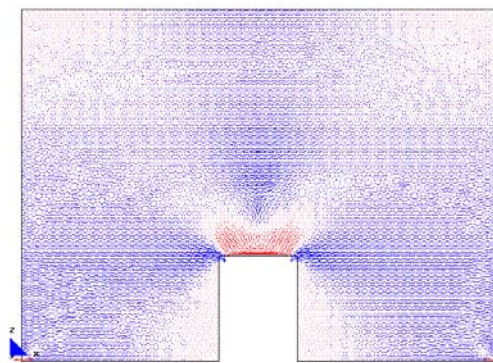
a.- Displacement (m).Disp-Z



a'.- Displacement (m).Disp-X
Desplazamientos

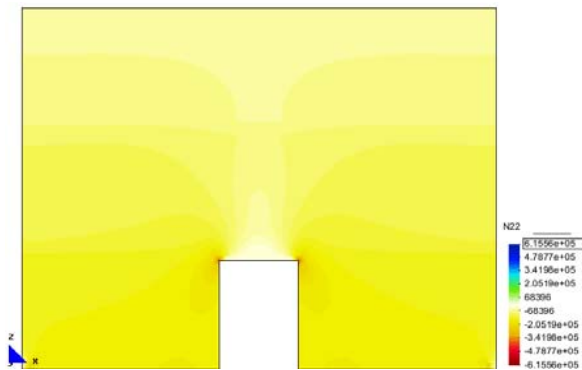


b.- Main Ax. Force(N/M). Sii factor-8.1e-6.

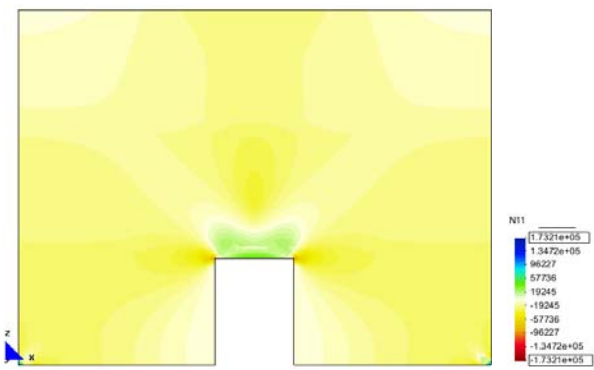


c.- Main Ax. Force(N/M). Si factor-8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

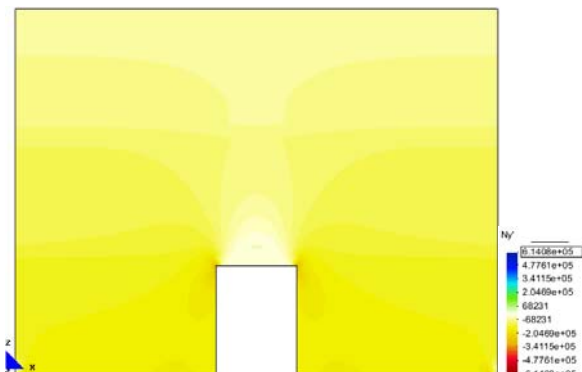


d.- Main Ax. Force(N/M). N22.

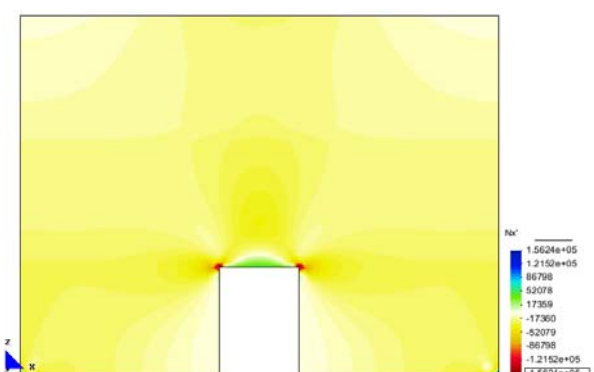


e.- Main Ax. Force(N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



f.- Axial Force(N/M). Ny'.



g.- Axial Force(N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

3.4.3 Influencia del empotramiento de la base

FICHA DEL MODELO

1.- NOMBRE DEL MODELO:

Huecos con arcos-def-emp-30⁴⁵
(Hueco con arco, con la base empotrada, e=30)

Número de plantas (a)=3
Altura de las plantas (b)=3,00m
Longitud del tramo de pared (c)=12,00m
Ancho de la zona de influencia de carga (d)=4,00m
Ancho de la abertura (f)=3,00m
Espesor de la pared =0,30m

2.- ESTADO DE CARGA CONSIDERADO:

Pp	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000
Cp	Tn/m ²	0,15
	N/m	6.000
Su	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000

3.- DATOS DE LA PARED DE FÁBRICA:

$\gamma=18.000\text{N/m}^3$
$E=5,70\text{E}+09\text{N/m}^2$
$G=2,38\text{E}+09\text{N/m}^2$
$\nu=0,20$

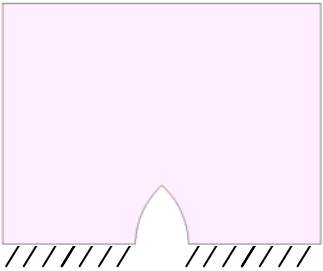
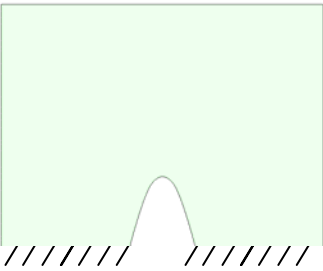
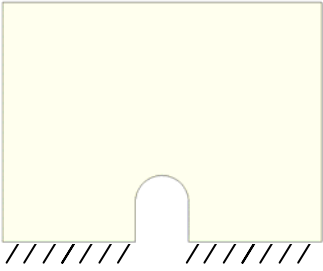
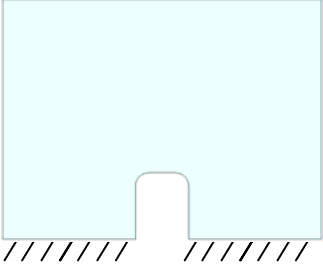
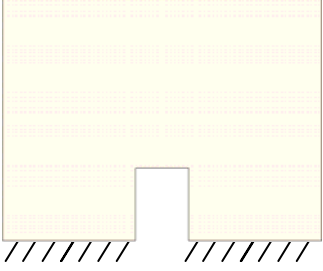
4.- DATOS DE LOS FORJADOS:

Sin zuncho de conexión con el muro.

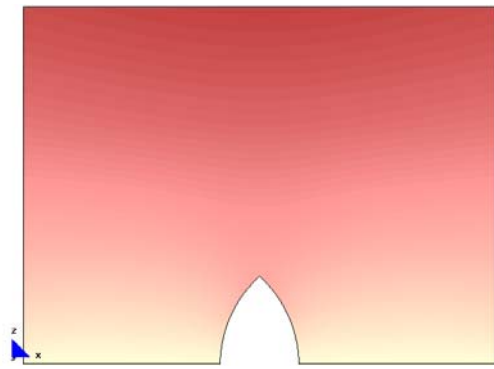
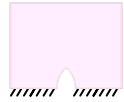
5.- DATOS DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO:

Con empotramiento en la base y libre lateralmente.

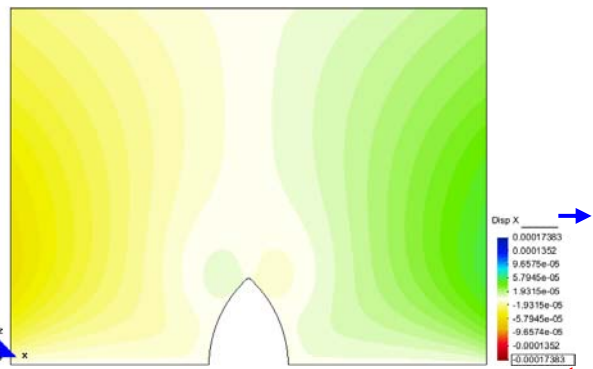
⁴⁵ Nombre del modelo que aparece en el CD entregado. Ruta F:\modelos-cálc\mod-capítulos-def\cap-3-sin zuncho\hueco con arco-def-emp-30.gid

(CUADRO 13) MODELOS: BASE EMPOTRADA	
ARCO OJIVAL	 <p style="text-align: center;">Ver 3.4.3.1</p>
ARCO IDEAL	 <p style="text-align: center;">Ver 3.4.3.2</p>
ARCO DE MEDIO PUNTO	 <p style="text-align: center;">Ver 3.4.3.3</p>
ARCO CARPANEL	 <p style="text-align: center;">Ver 3.4.3.4</p>
ARCO DE ÁNGULOS RECTOS	 <p style="text-align: center;">Ver 3.4.3.5</p>

3.4.3.1 Hueco con arco ojival

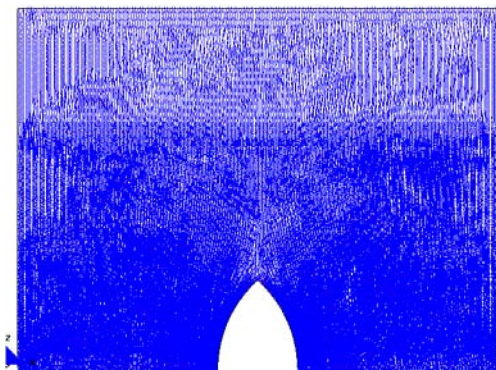


a.- Displacement (m).Disp-Z

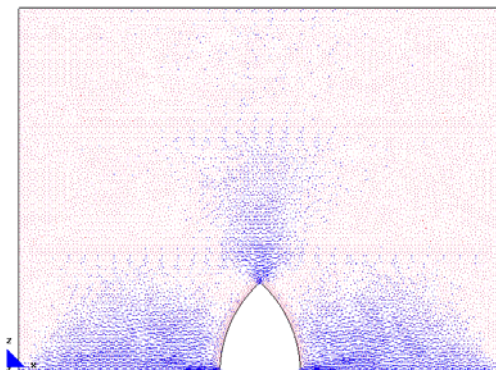


a'.- Displacement (m).Disp-X

Desplazamientos

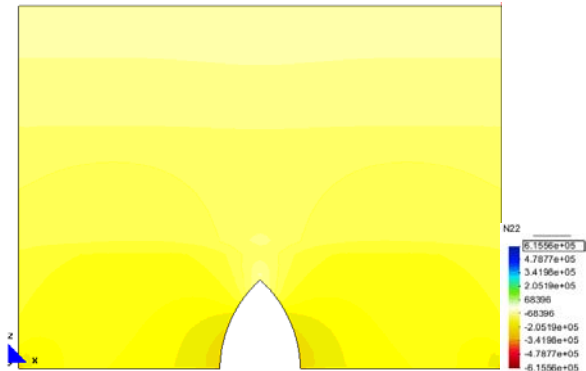


b.- Main Ax. Force(N/M). Sii Factor-8.1e-6.

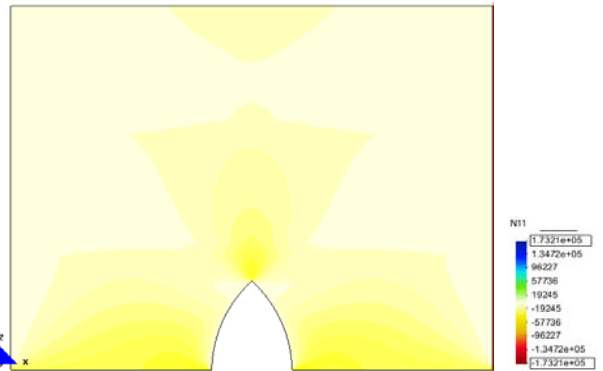


c.- Main Ax. Force(N/M). Si factor-8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

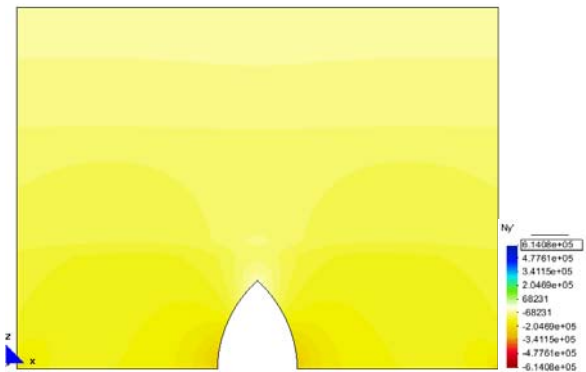


d.- Main Ax. Force(N/M). N22.

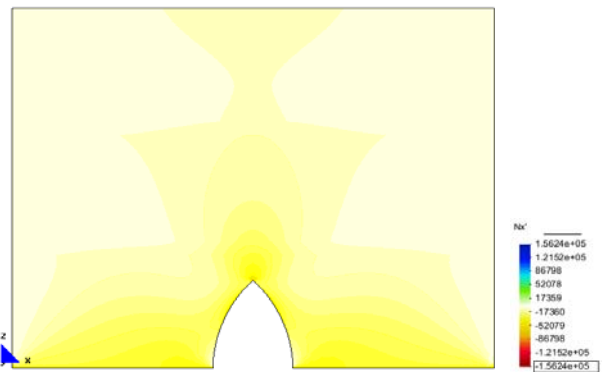


e.- Main Ax. Force(N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



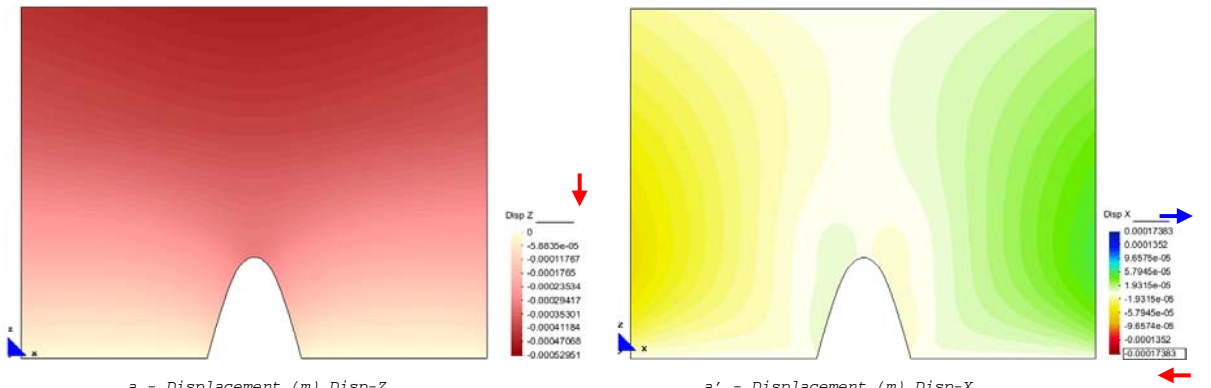
f.- Axial Force(N/M). Ny'.



g.- Axial Force(N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

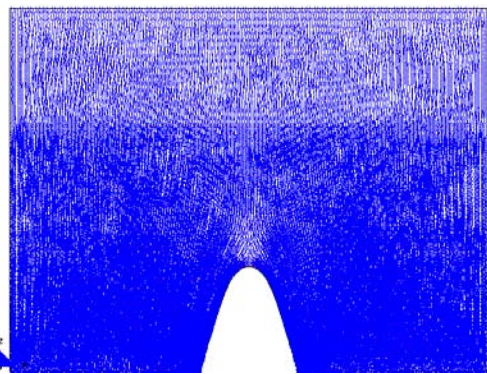
3.4.3.2 Hueco con arco ideal



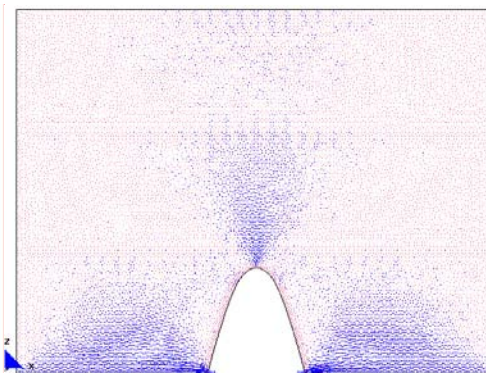
a.- Displacement (m).Disp-Z

a'.- Displacement (m).Disp-X

Desplazamientos

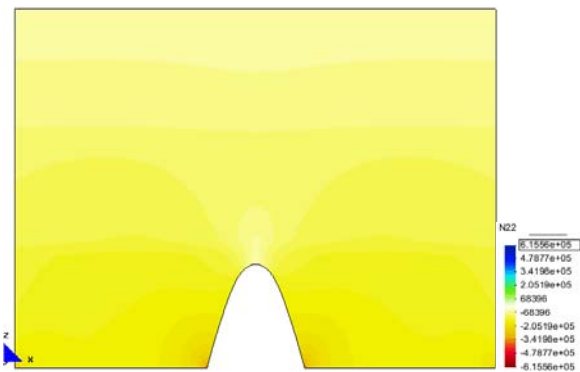


b.- Main Ax. Force(N/M). Sii Factor-8.1e-6.

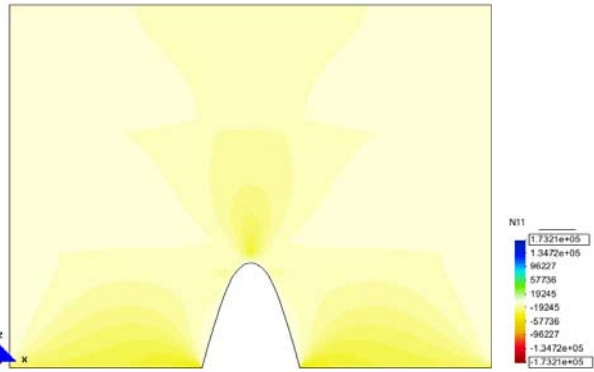


c.- Main Ax. Force(N/M). Si factor-8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

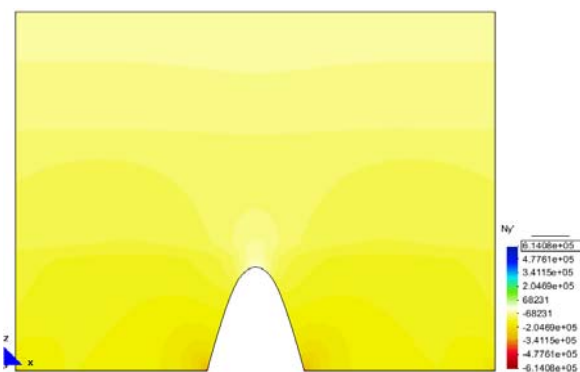


d.- Main Ax. Force(N/M). N22.

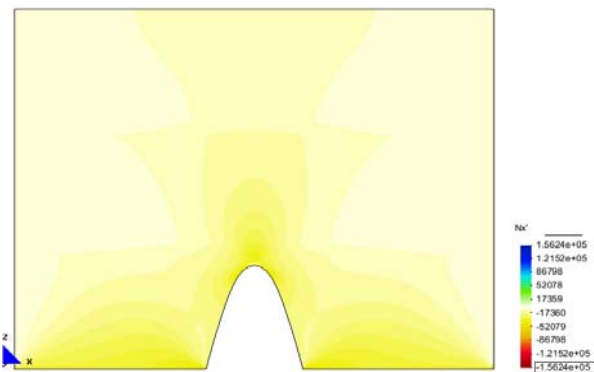


e.- Main Ax. Force(N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



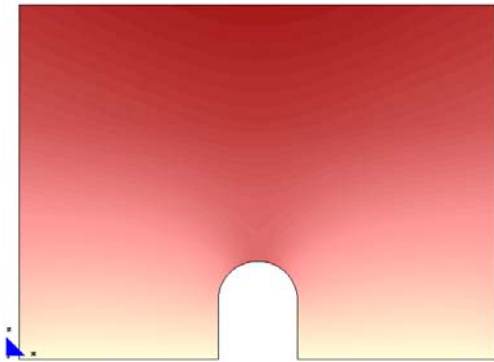
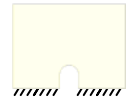
f.- Axial Force(N/M). Ny'.



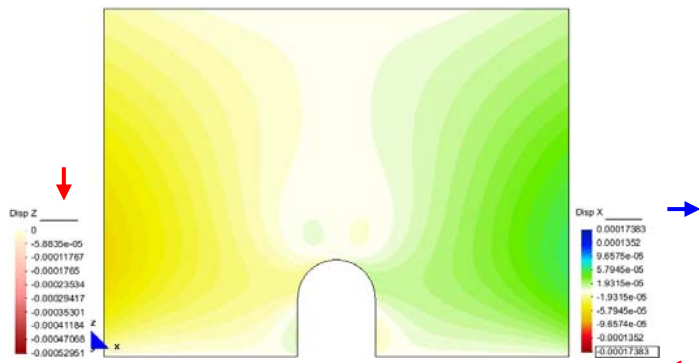
g.- Axial Force(N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

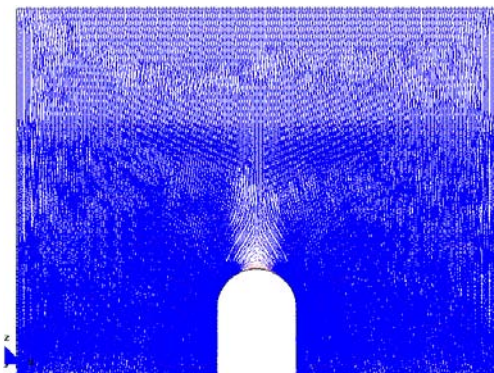
3.4.3.3 Huevo con arco de medio punto



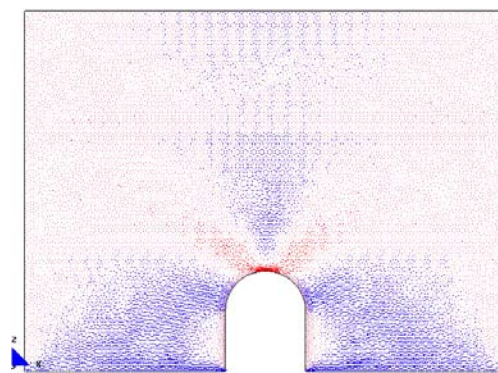
a.- Displacement (m).Disp-Z



a'.- Displacement (m).Disp-X
Desplazamientos

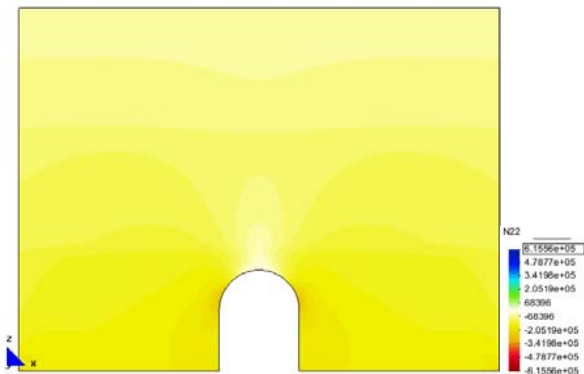


b.- Main Ax. Force(N/M). Sii factor-8.1e-6.

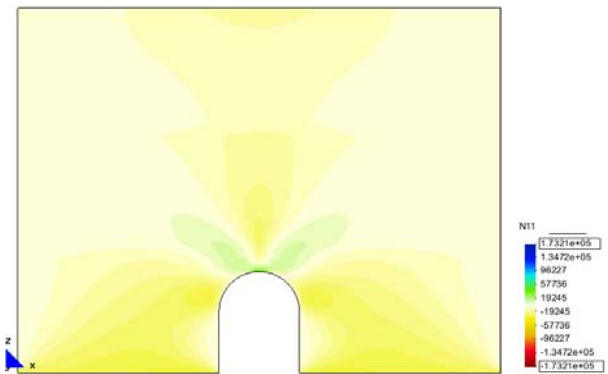


c.- Main Ax. Force(N/M). Si factor-8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

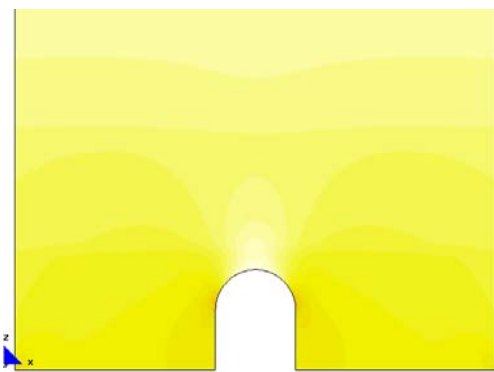


d.- Main Ax. Force(N/M). N22.

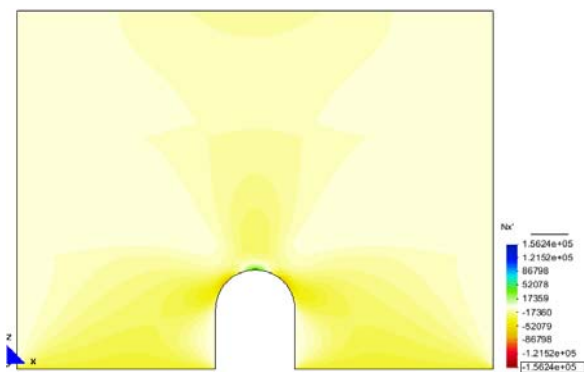


e.- Main Ax. Force(N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



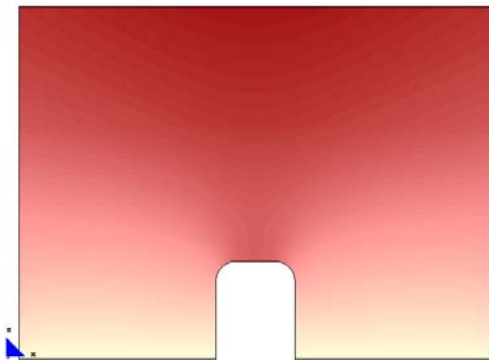
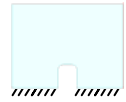
f.- Axial Force(N/M). Ny'.



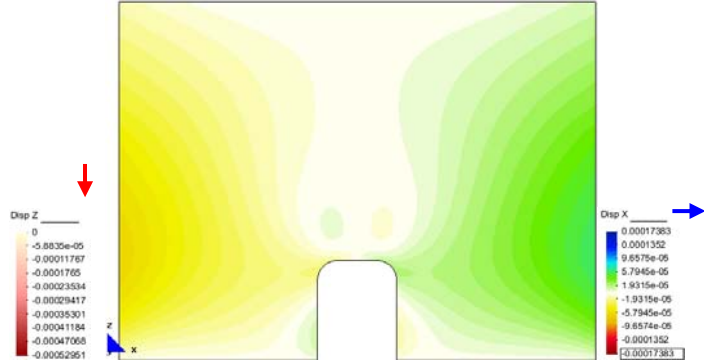
g.- Axial Force(N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

3.4.3.4 Hueco con arco carpanel

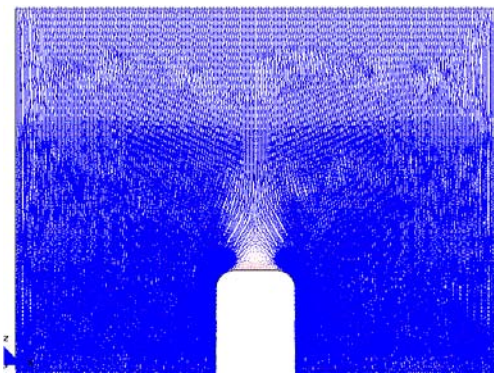


a.- Displacement (m).Disp-Z

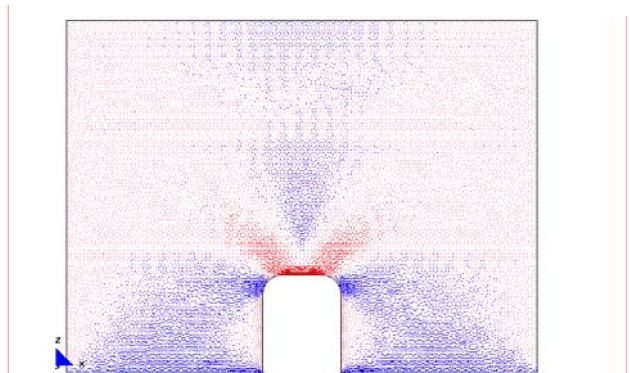


a'.- Displacement (m).Disp-X

Desplazamientos

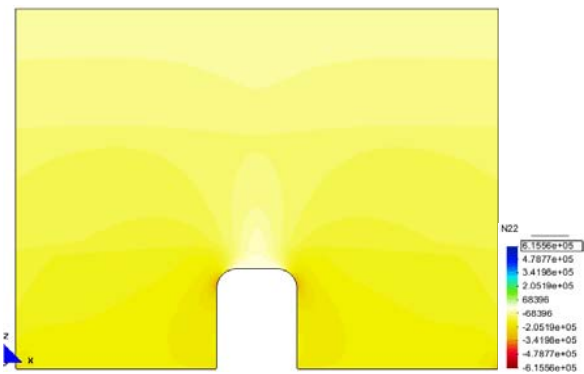


b.- Main Ax. Force(N/M). Sii Factor-8.1e-6.

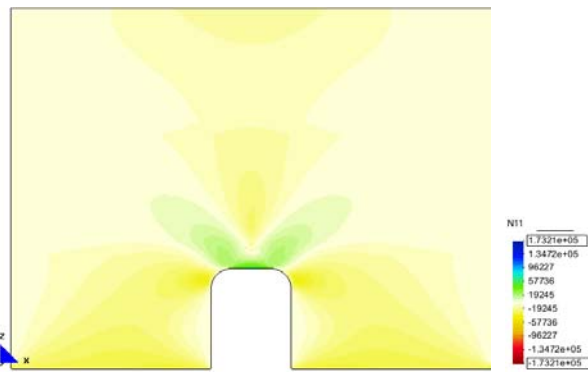


c.- Main Ax. Force(N/M). Si Factor-8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

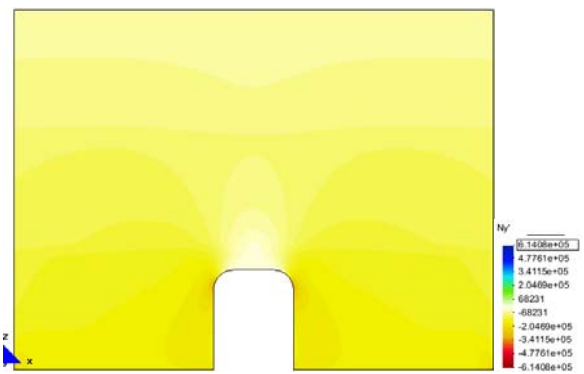


d.- Main Ax. Force(N/M). N22.

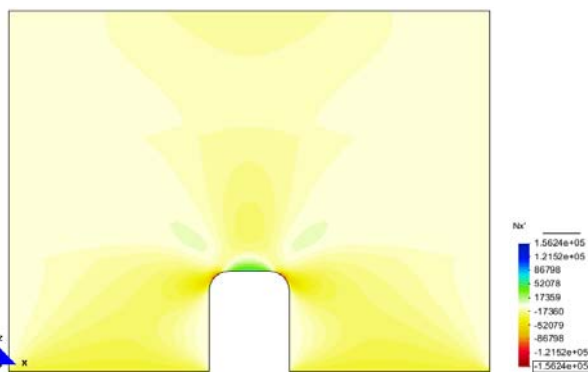


e.- Main Ax. Force(N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



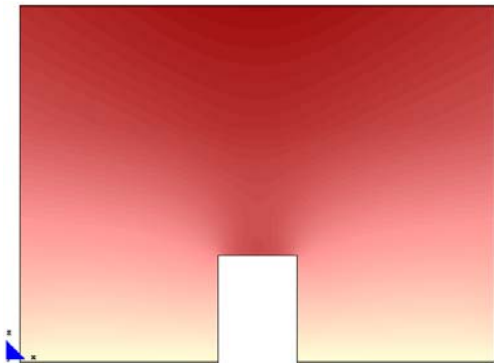
f.- Axial Force(N/M). Ny'.



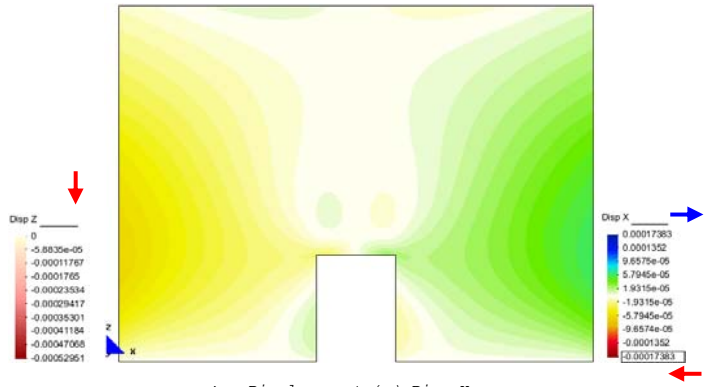
g.- Axial Force(N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

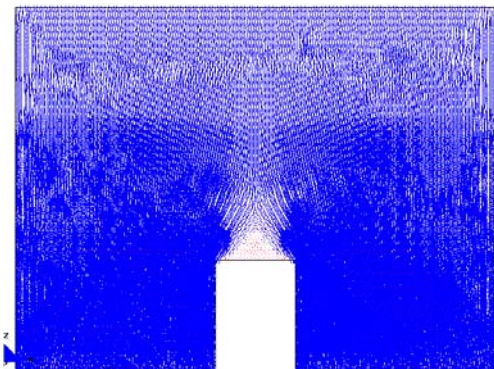
3.4.3.5 Hueco con arco de ángulos rectos



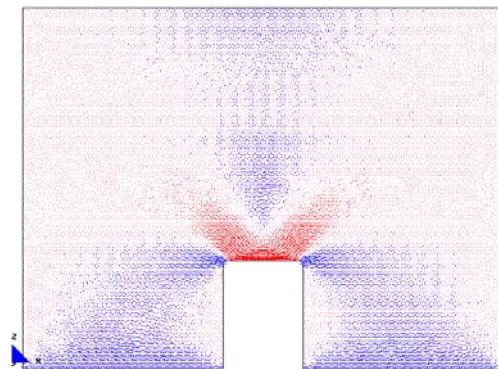
a.- Displacement (m).Disp-Z



a'.- Displacement (m).Disp-X
Desplazamientos

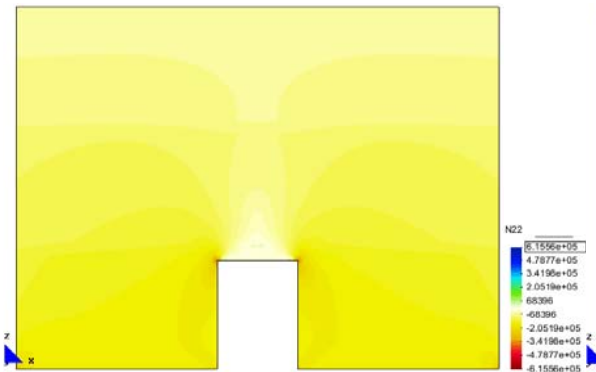


b.- Main Ax. Force(N/M). Sii Factor-8.1e-6.

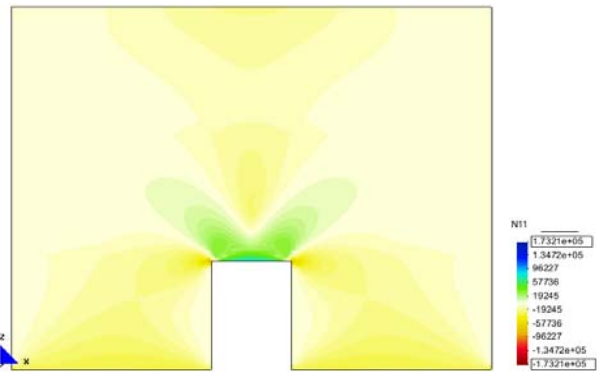


c.- Main Ax. Force(N/M). Si Factor-8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

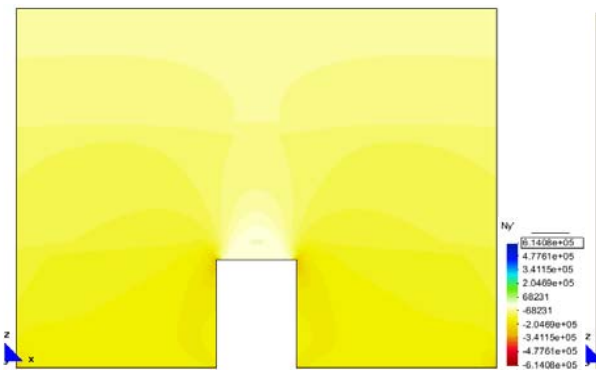


d.- Main Ax. Force(N/M). N22.

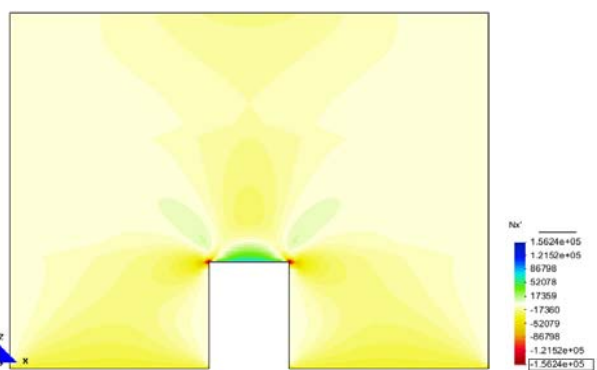


e.- Main Ax. Force(N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



f.- Axial Force(N/M). Ny'.



g.- Axial Force(N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

3.4.4 Influencia del empotramiento de la base y restricción lateral**FICHA DEL MODELO****1.- NOMBRE DEL MODELO:****Huecos con arcos-def-emp-restrig-lat-30⁴⁶***(Hueco con arco, con la base empotrada y restringido lateralmente, e=30)*

Número de plantas (a)=3

Altura de las plantas (b)=3,00m

Longitud del tramo de pared (c)=12,00m

Ancho de la zona de influencia de carga (d)=4,00m

Ancho de la abertura (f)=3,00m

Espesor de la pared =0,30m

2.- ESTADO DE CARGA CONSIDERADO:

Pp	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000
Cp	Tn/m ²	0,15
	N/m	6.000
Su	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000

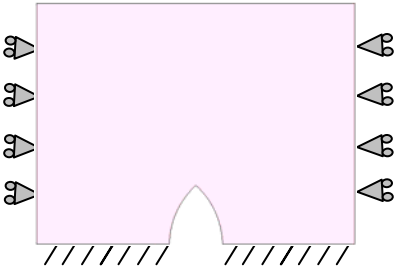
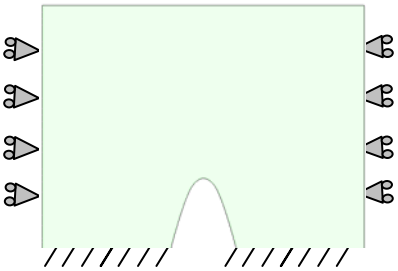
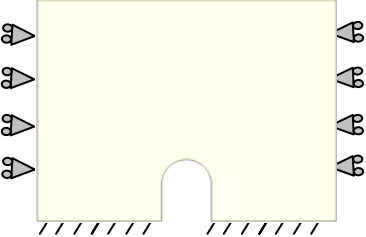
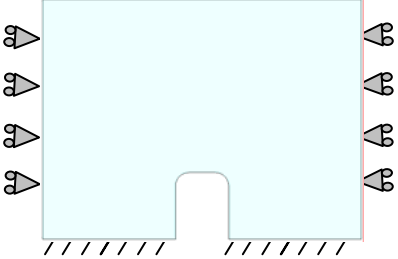
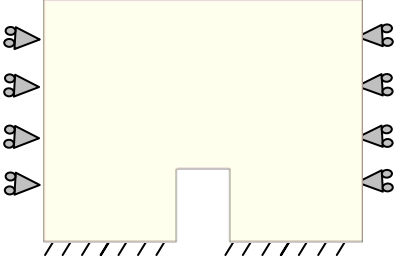
3.- Datos de la pared de fábrica: $\gamma=18.000\text{N/m}^3$ $E=5,70\text{E}+09\text{N/m}^2$ $G=2,38\text{E}+09\text{N/m}^2$ $\nu=0,20$ **4.- DATOS DE LOS FORJADOS:**

Sin zuncho de conexión con el muro.

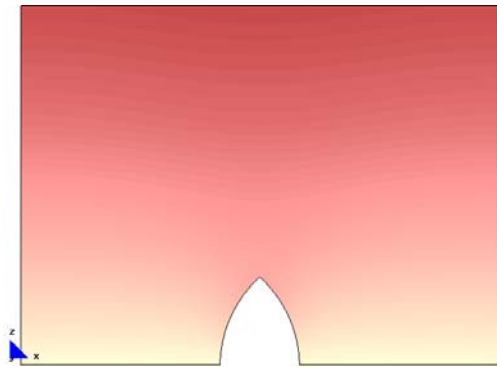
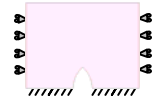
5.- DATOS DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO:

Con empotramiento en la base y apoyado lateralmente.

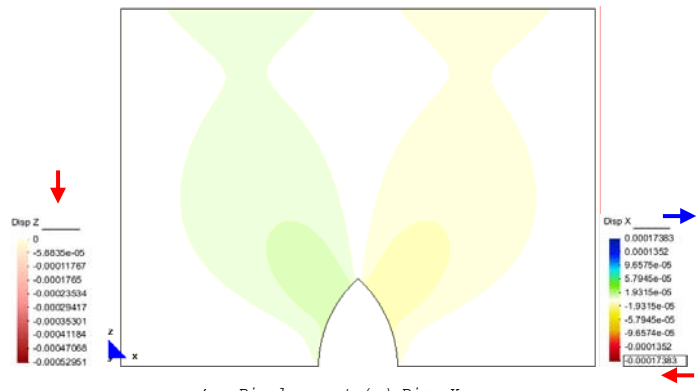
⁴⁶ Nombre del modelo que aparece en el CD entregado. Ruta Fmodelos-cálculo\mod-capítulos-def\cap-3-sin zuncho\hueco con arco-def-emp-restrig-lat-30.gid

(CUADRO 14) MODELOS: BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES	
ARCO OJIVAL	 <p style="text-align: center;">Ver 3.4.4.1</p>
ARCO IDEAL	 <p style="text-align: center;">Ver 3.4.4.2</p>
ARCO DE MEDIO PUNTO	 <p style="text-align: center;">Ver 3.4.4.3</p>
ARCO CARPANEL	 <p style="text-align: center;">Ver 3.4.4.4</p>
ARCO DE ÁNGULOS RECTOS	 <p style="text-align: center;">Ver 3.4.4.5</p>

3.4.4.1 Hueco con arco ojival

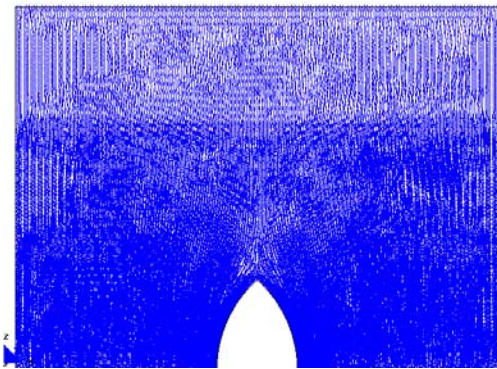


a.- Displacement (m).Disp-Z

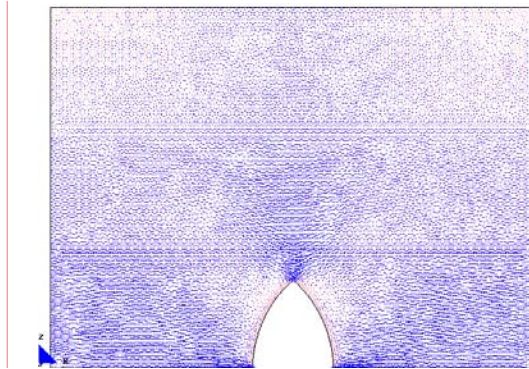


a'.- Displacement (m).Disp-X

Desplazamientos

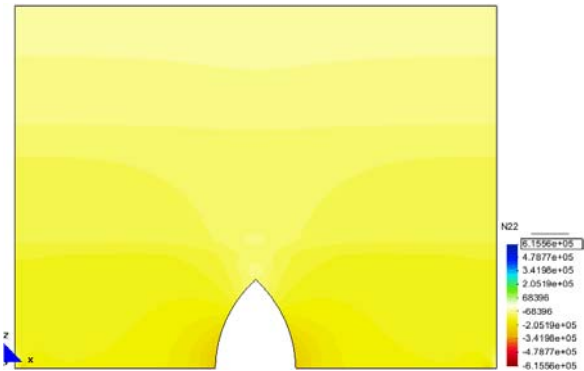


b.- Main Ax. Force(N/M). Sii Factor-8.1e-6.

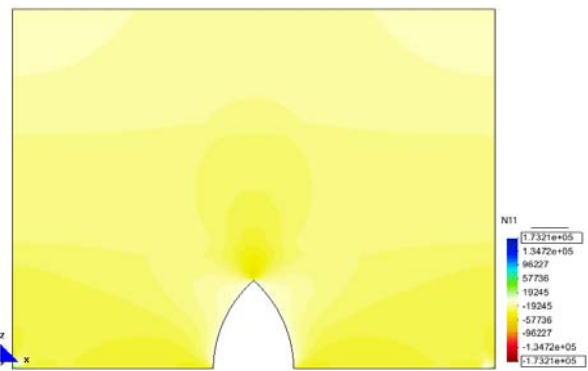


c.- Main Ax. Force(N/M). Si Factor-8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

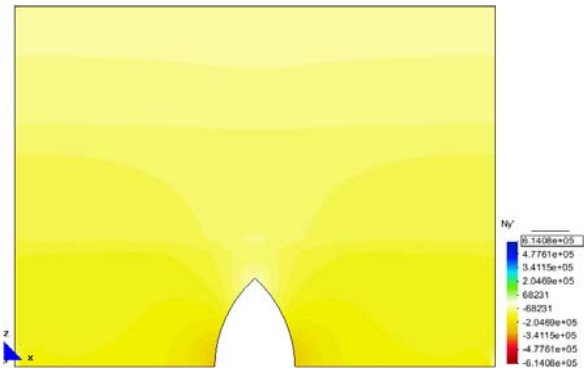


d.- Main Ax. Force(N/M). N22.

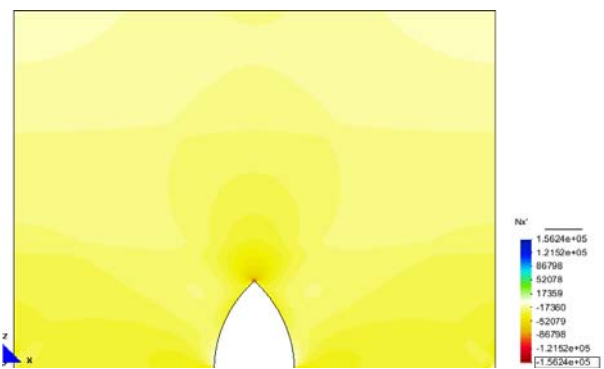


e.- Main Ax. Force(N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



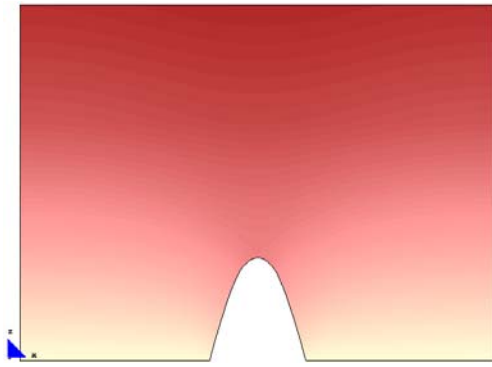
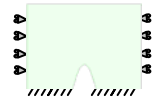
f.- Axial Force(N/M). Ny'.



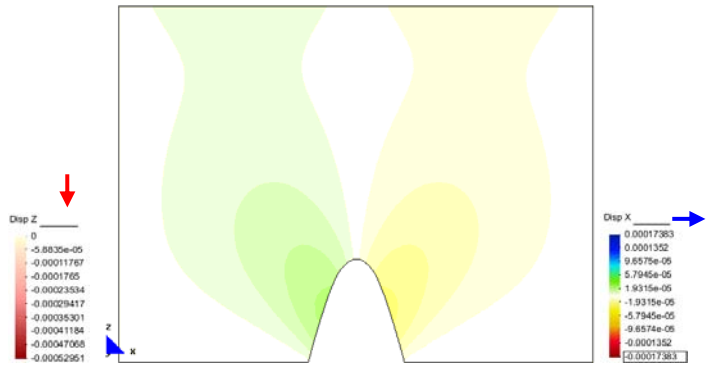
g.- Axial Force(N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

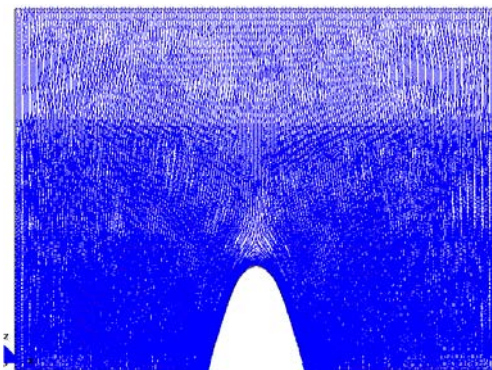
3.4.4.2 Hueco con arco ideal



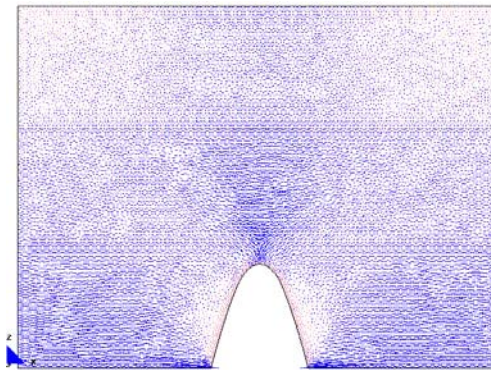
a.- Displacement (m).Disp-Z



a'.- Displacement (m).Disp-X
Desplazamientos

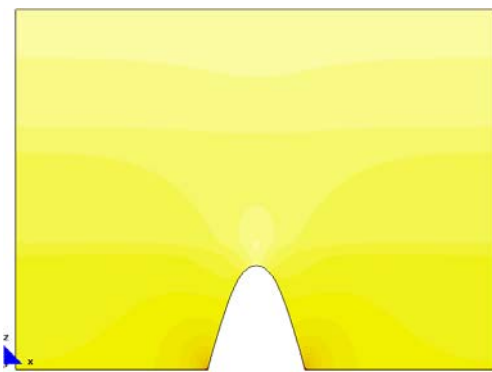


b.- Main Ax. Force(N/M). Sii factor-8.1e-6.

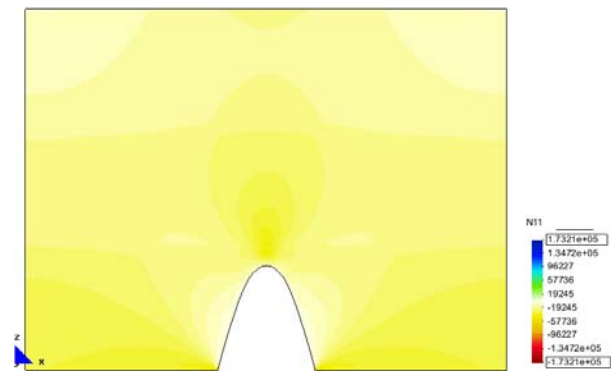


c.- Main Ax. Force(N/M). Si factor-8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

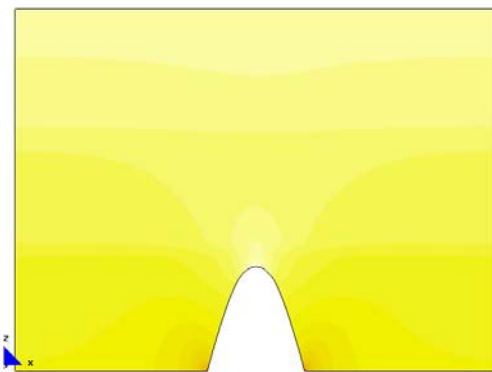


d.- Main Ax. Force(N/M). N22.

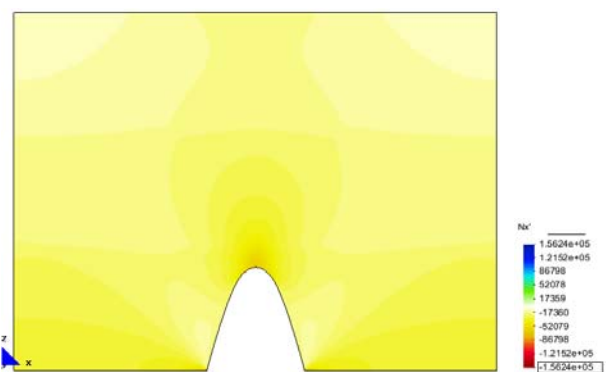


e.- Main Ax. Force(N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



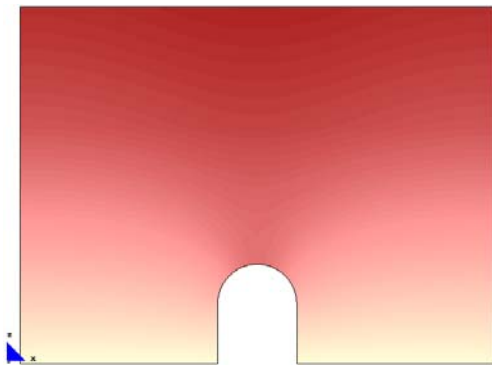
f.- Axial Force(N/M). Ny'.



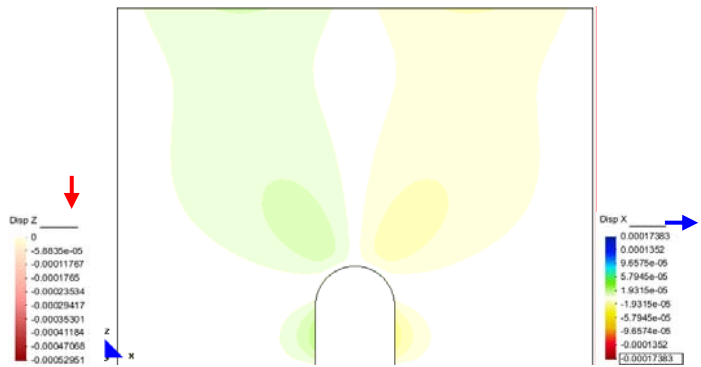
g.- Axial Force(N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

3.4.4.3 Hueco con arco de medio punto

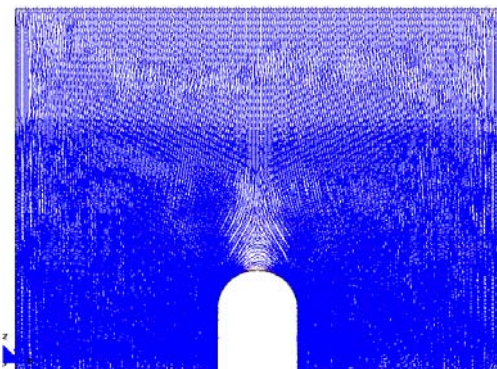


a.- Displacement (m).Disp-Z

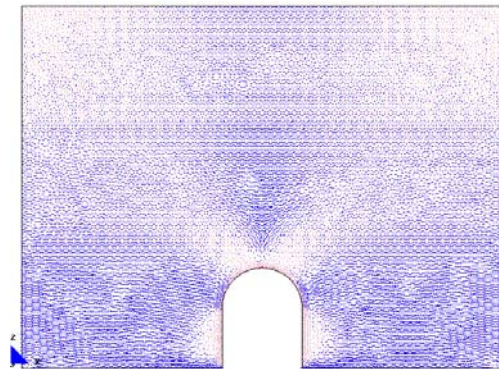


a'.- Displacement (m).Disp-X

Desplazamientos

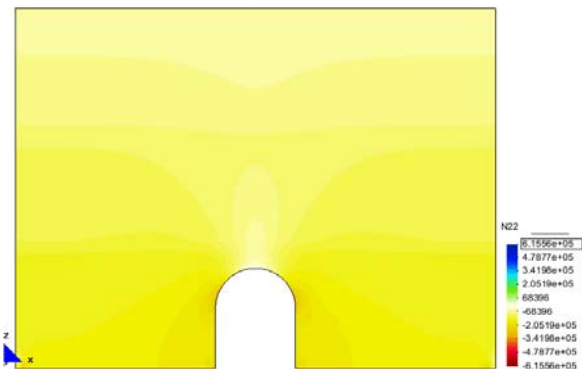


b.- Main Ax. Force(N/M). Sii factor-8.1e-6.

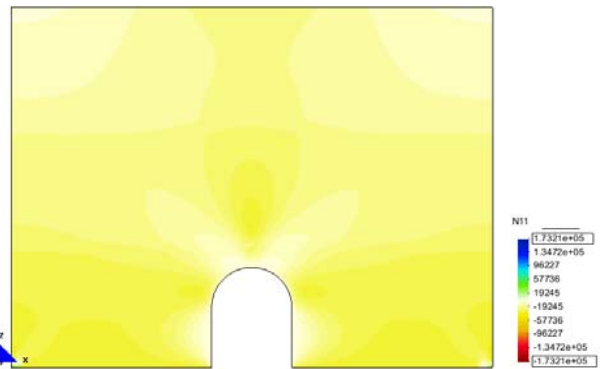


c.- Main Ax. Force(N/M). Si Factor-8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

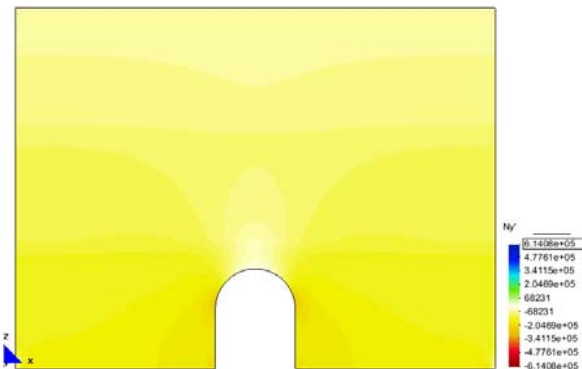


d.- Main Ax. Force(N/M). N22.

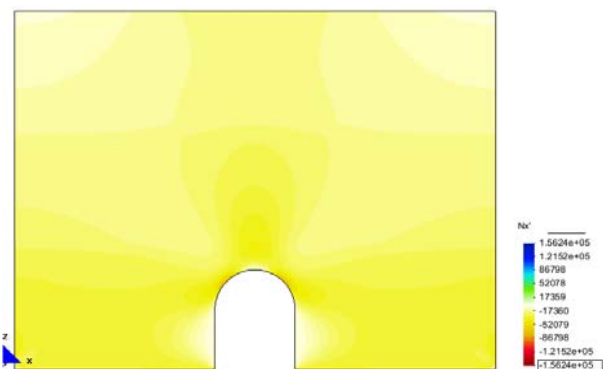


e.- Main Ax. Force(N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



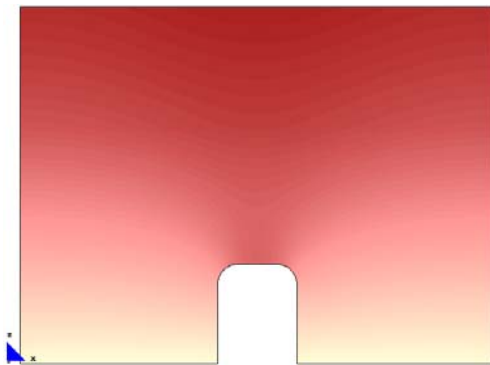
f.- Axial Force(N/M). Ny'.



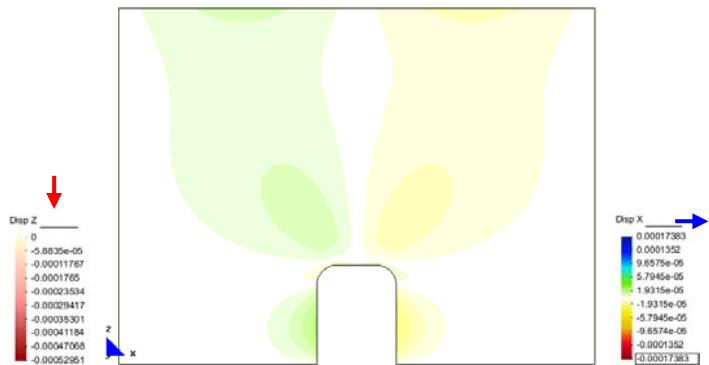
g.- Axial Force(N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

3.4.4.4 Hueco con arco carpanel

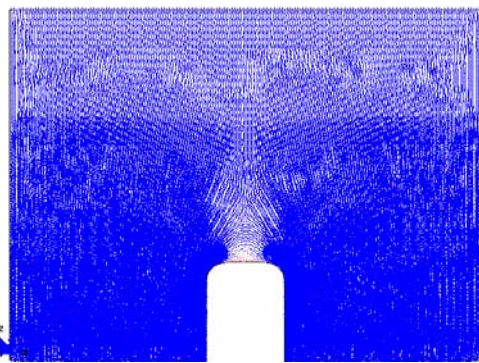


a.- Displacement (m).Disp-Z

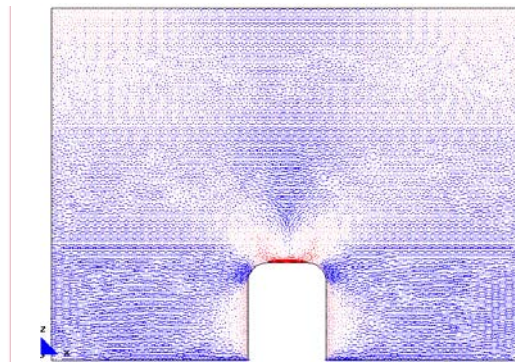


a'.- Displacement (m).Disp-X

Desplazamientos

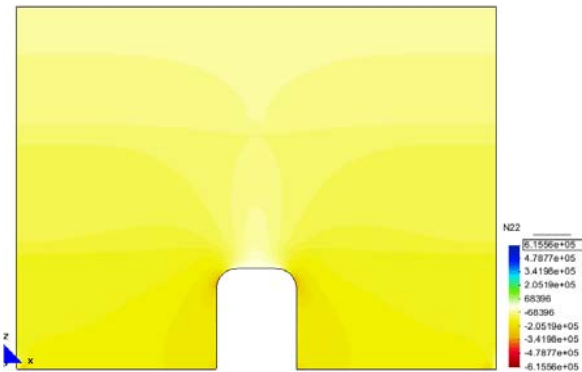


b.- Main Ax. Force(N/M). Siifactor-8.1e-6.

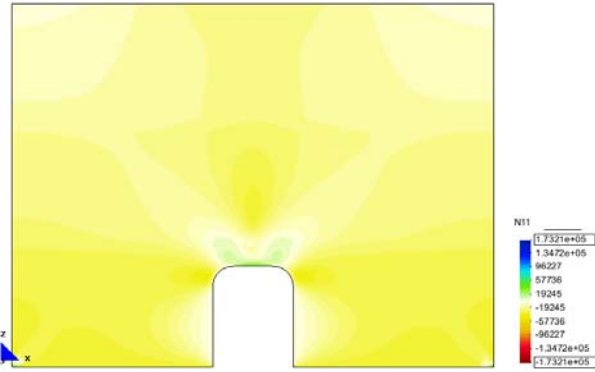


c.- Main Ax. Force(N/M). Si factor-8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

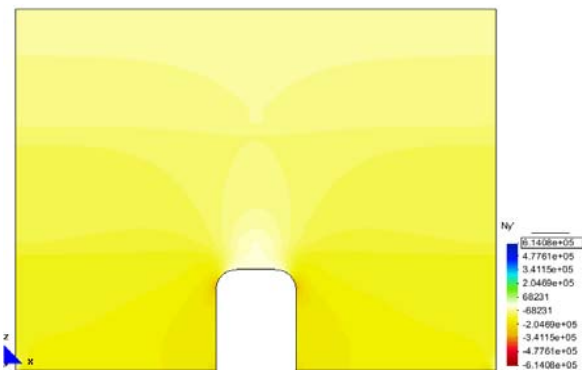


d.- Main Ax. Force(N/M). N22.

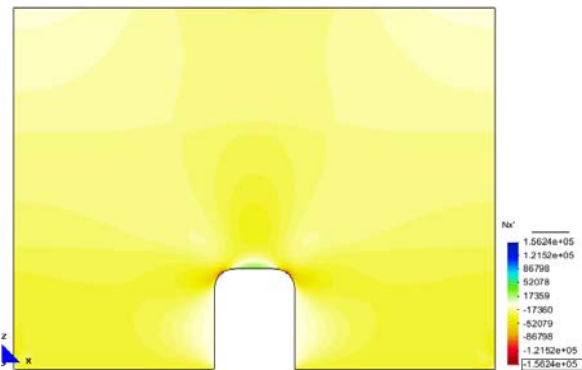


e.- Main Ax. Force(N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



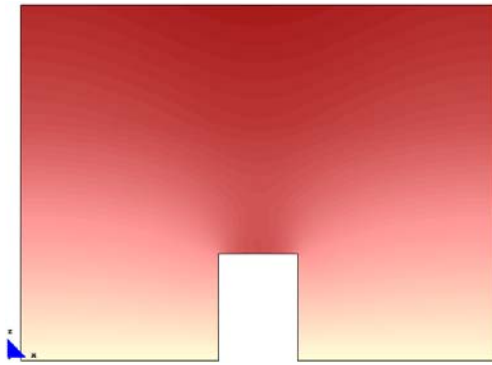
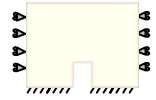
f.- Axial Force(N/M). Ny'.



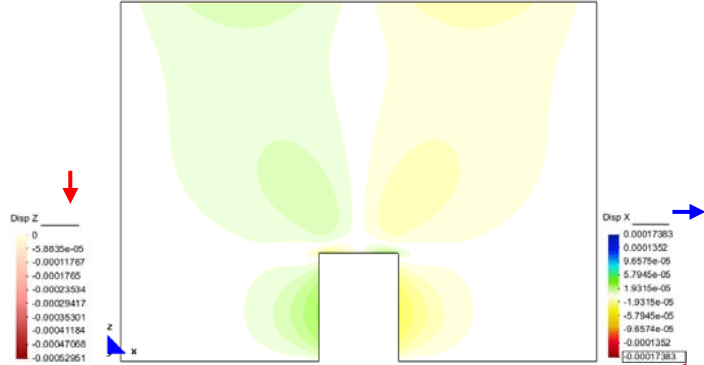
g.- Axial Force(N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

3.4.4.5 Huevo con arco de ángulos rectos

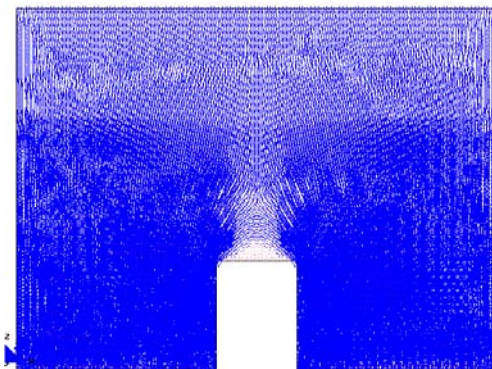


a.- Displacement (m).Disp-Z

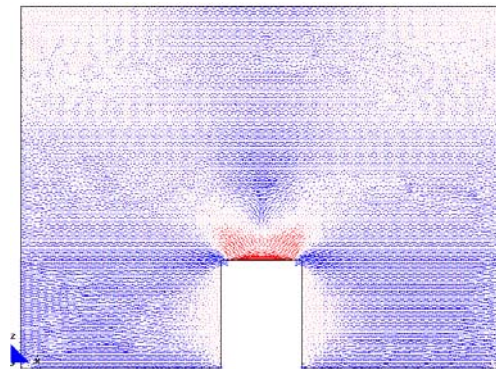


a'.- Displacement (m).Disp-X

Desplazamientos

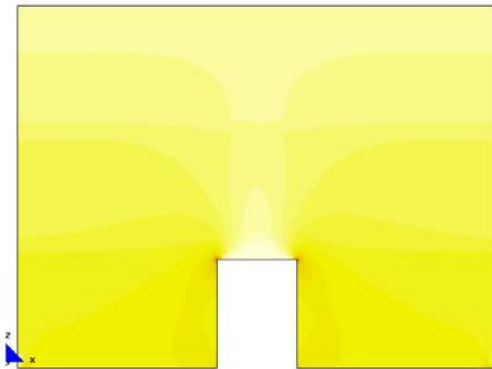


b.- Main Ax. Force(N/M). Sii Factor-8.1e-6.

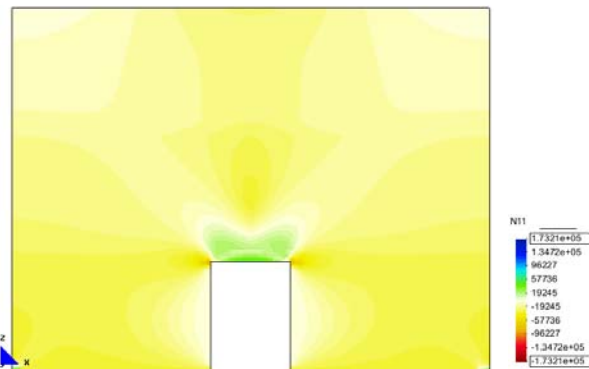


c.- Main Ax. Force(N/M). Si factor-8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

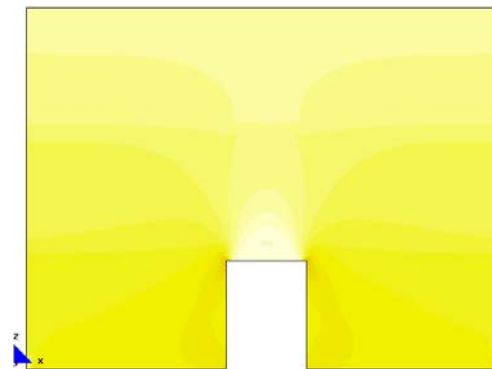


d.- Main Ax. Force(N/M). N22.

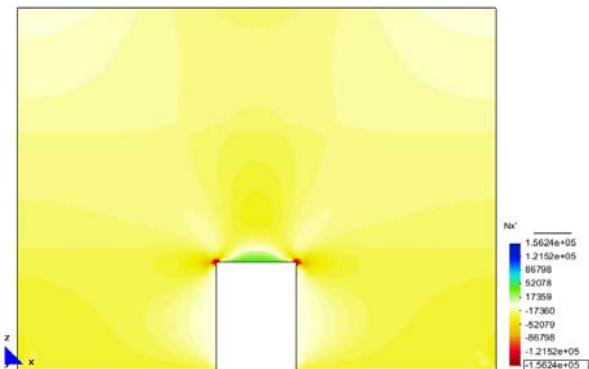


e.- Main Ax. Force(N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



f.- Axial Force(N/M). Ny'.



g.- Axial Force(N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

MIIG

CAPÍTULO-3

- 1.- ASPECTOS GENERALES
- 2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS
- 3.- PRESENTACIÓN DE UN MODELO INTRODUCTORIO
- 4.- ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE ARCOS
- 5.- INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS SIN ZUNCHO**
- 6.- INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN LOS MODELOS SIN ZUNCHO
- 7.- CONCLUSIONES

MJIG

3.5 INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES
DE CONTORNO EN LOS MODELOS SIN
ZUNCHO

- 1.- HUECO CON ARCO OJIVAL
- 2.- HUECO CON ARCO IDEAL
- 3.- HUECO CON ARCO DE MEDIO PUNTO
- 4.- HUECO CON ARCO CARPANEL
- 5.- HUECO CON ARCO DE ÁNGULOS RECTOS

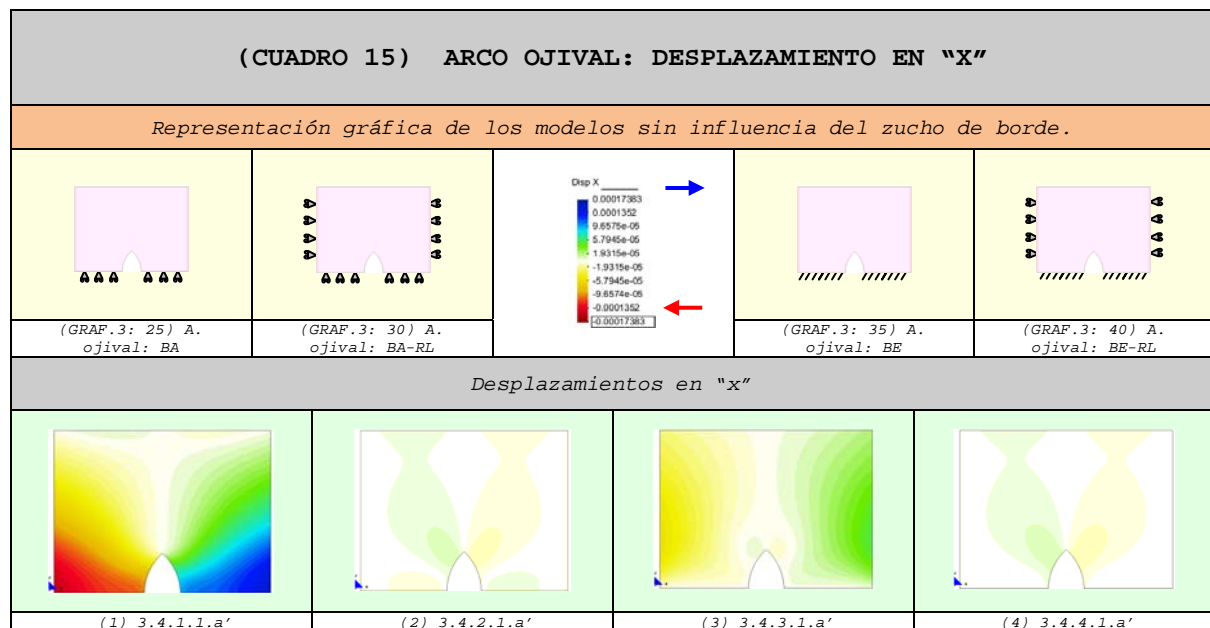
3.5 INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS SIN ZUNCHO

A partir de distintas tipologías de los arcos vamos a determinar en qué situación la pared presenta el mejor comportamiento estructural⁴⁷.

3.5.1 Hueco con arco ojival

3.5.1.1 Comparación de los desplazamientos

3.5.1.1.1 Desplazamientos en "x"



1. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁴⁸:
 - a. Los desplazamientos laterales son superiores en comparación con los otros modelos.
 - b. Las máximas deformaciones se localizan en los extremos externos de la base, mientras que disminuyen considerablemente cuando se aproximan a la abertura⁴⁹⁻⁵⁰.
 - c. La pared se dilata libremente en ambos extremos⁵¹.
 - d. En la clave del arco no se produce una concentración de desplazamientos, a diferencia de los modelos restantes.
 - e. El arco tiende a abrirse.

⁴⁷ Es decir, que esté solicitada al menor número de las fuerzas de tracción, teniendo en cuenta su poca resistencia a dichos esfuerzos.

⁴⁸ Ver gráfico (1).

⁴⁹ Es decir, en los extremos internos de la base.

⁵⁰ Dado el mayor grado de rigidez que le aporta la forma.

⁵¹ Por un lado, por la falta de restricciones laterales y por otro, por la existencia del efecto de Poisson (que origina la deformación en todos los sentidos del modelo donde no se aplique la carga).

2. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) impuestas se aprecia que⁵²:

- f. La pared es menos deformable⁵³.
- g. Los desplazamientos en las caras laterales del modelo se anulan, mientras que en la base tienden a disminuir considerablemente sin llegar a desaparecer.
- h. La mayor concentración de desplazamientos se sitúa en el centro del modelo, en especial en la parte superior del hueco⁵⁴.
- i. Las deformaciones ubicadas en la clave del arco son de sentido contrario (→ ←)⁵⁵, dando lugar a compresiones en la pieza.
- j. El arco tiene tendencia a cerrarse.

3. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) se distingue que⁵⁶:

- k. Los desplazamientos son prácticamente nulos en la zona próxima a la base⁵⁷.
- l. Las deformaciones se concentran en las zonas centrales de los lados del modelo⁵⁸.
- m. El arco tiende a cerrarse un poco en la clave⁵⁹.

4. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) se aprecia que⁶⁰:

- n. La pared es menos deformable⁶¹.
- o. Los desplazamientos se anulan, tanto en la base como en las caras laterales del modelo.
- p. Los máximos desplazamientos laterales tienden a concentrarse en la clave del arco.

5. Además podemos decir que:

- q. La pared con la base apoyada (1) tiene un comportamiento estructural desfavorable.
- r. El modelo con la base empotrada y restricciones laterales (4) tiene una mejor función estructural.

⁵² Ver gráfico (2).

⁵³ Esto se puede constatar, si observamos la pequeña dimensión de franja de los "desplazamientos casi nulos" (gama de colores muy claros, casi tendiendo a blanco).

⁵⁴ Por ser la zona más deformable, tengamos en cuenta que en la abertura no se impone ningún tipo de restricción, por lo tanto ésta será una zona.

⁵⁵ Es decir, el lado derecho se desplaza hacia la izquierda y el izquierdo hacia la derecha.

⁵⁶ Ver gráfico (3).

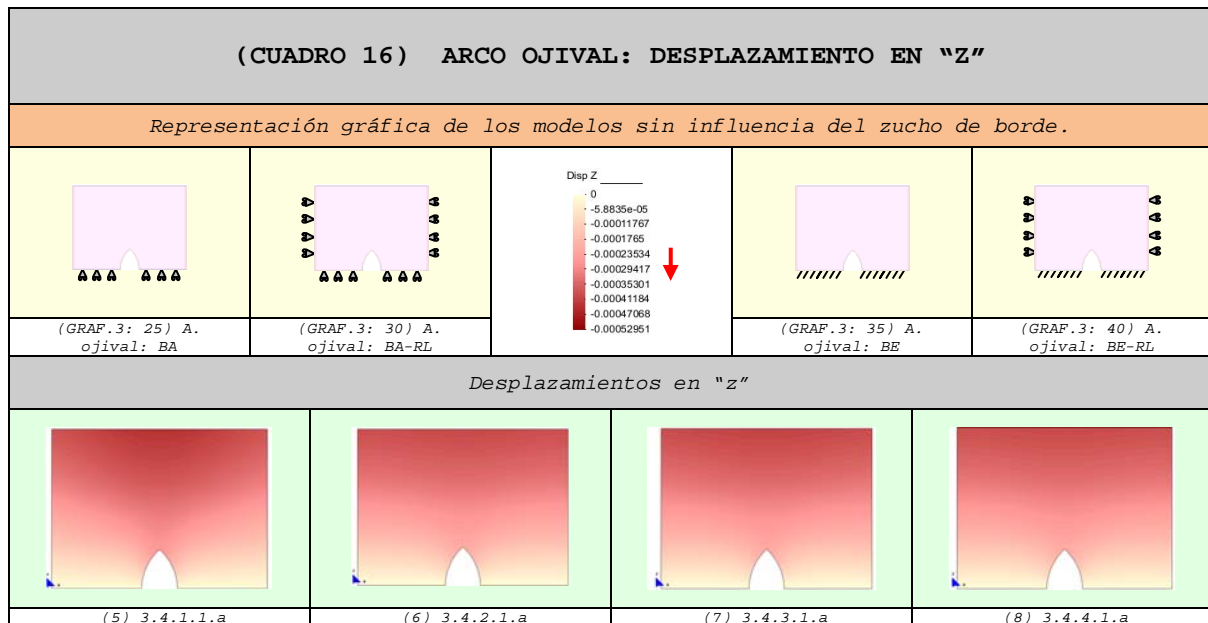
⁵⁷ Por tener impedidos todos los movimientos en la base.

⁵⁸ Dada la carencia de restricciones laterales en dichos extremos.

⁵⁹ De acuerdo al sentido de la deformada.

⁶⁰ Ver gráfico (4).

⁶¹ Se puede constatar, si observamos que la franja de los "desplazamientos casi nulos" (colores muy claros, casi tendiendo a blanco es menor) es reducida.

3.5.1.1.2 Desplazamientos en "z" ⁶²

6. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede ver que ⁶³:
- s. La pared tiene poca rigidez⁶⁴.
 - t. La zona de desplazamientos máximos⁶⁵ se aproxima más a la parte superior de la abertura.
7. En los tres últimos modelos podemos apreciar que ⁶⁶:
- u. Las paredes son más rígidos⁶⁷.
 - v. Los desplazamientos son más homogéneos, es decir, prácticamente horizontales.
 - w. Las máximas deformaciones no llegan al nivel de las claves de ninguno de los arcos.
8. Adicionalmente podemos indicar que:
- x. Los máximos desplazamientos se localizan en la parte central de todos los modelos.
 - y. La pared con la base apoyada es más deformable.
 - z. Los modelos restantes se comportan de modo similar.

⁶² Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se aproxima al rojo intenso.

⁶³ Ver gráfico (5).

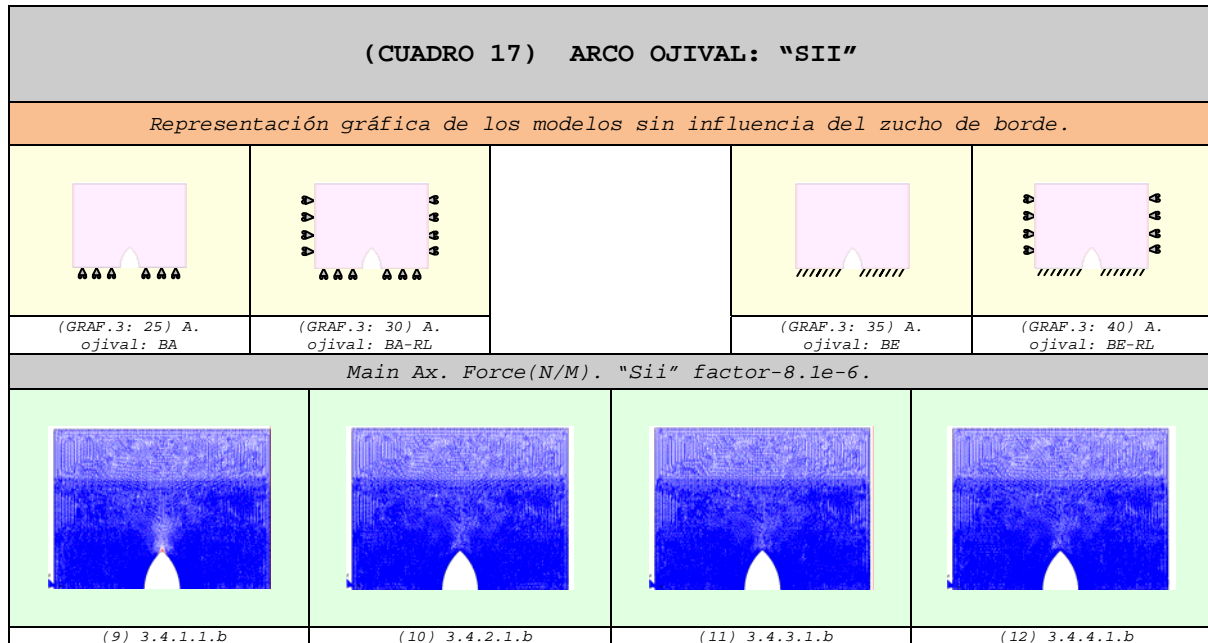
⁶⁴ Es decir, más capacidad de deformación. Este comportamiento se debe a la libertad de movimiento de su base.

⁶⁵ Tonos de color rojo más intensos.

⁶⁶ Ver gráfico (6), (7) y (8).

⁶⁷ Por lo tanto menos deformables, al tener más impedidos sus movimientos.

3.5.1.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii)^{68,69}



9. En el modelo simplemente apoyado (BA) se puede apreciar⁷⁰:
- aa. En la punta del arco existen vectores de tracción⁷¹.
 - bb. En la parte superior de la clave del arco se producen compresiones casi imperceptibles⁷².

10. En el momento en que le imponemos restricciones laterales (BA-RL) podemos distinguir que⁷³:

- cc. En la punta del arco desaparecen por completo las fuerzas de tracción⁷⁴.
- dd. En la parte superior de la clave del arco se producen compresiones bajas.

11. Si la base del modelo se empotra (BE) observamos que⁷⁵:

- ee. La clave del arco está más comprimida⁷⁶.

⁶⁸ Las comparaciones que se realizan en este apartado, son completamente válidas para las Fuerzas "Nyy=Ny" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N22".

⁶⁹ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁷⁰ Ver gráfico (9).

⁷¹ Vectores de color rojo.

⁷² Zona menos densa de vectores.

⁷³ Ver gráfico (10).

⁷⁴ No existen vectores de color rojo.

⁷⁵ Ver gráfico (11).

⁷⁶ Mayor concentración de los vectores de color azul.

12. Si limitamos los movimientos de las caras laterales del modelo empotrado (BE-RL) vemos que⁷⁷:

ff. La parte superior del arco se comprime considerablemente.

13. De modo general podríamos decir que:

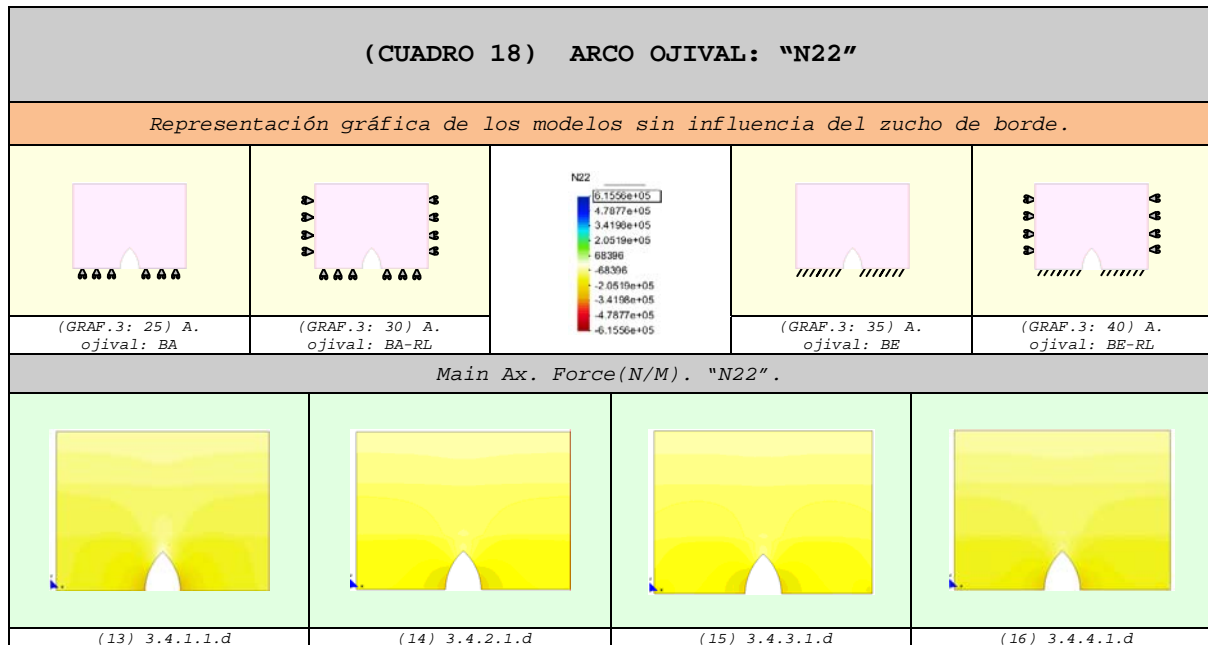
gg. Las diferencias son casi imperceptibles⁷⁸.

hh. El comportamiento más desfavorable se produce cuando la base está simplemente apoyada.

⁷⁷ Ver gráfico (12).

⁷⁸ Mientras que influye considerablemente en el caso de la fuerza contraria "N11", como se aprecia en el siguiente apartado.

3.5.1.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N22"
(N22) ^{79,80}



14. En el modelo simplemente apoyado (BA) se observa que⁸¹:

- ii. En la base del hueco se produce una concentración de fuerzas de compresión⁸² que van disminuyendo a medida que se aleja de ella.
- jj. En la parte superior de la clave del arco se aprecian con mayor claridad las fuerzas de compresión de valores muy pequeños⁸³.

15. En los tres modelos restantes podemos distinguir que⁸⁴:

- kk. En la base del hueco se produce una concentración de fuerzas de compresión⁸⁵, en menor grado que en el caso apoyado.
- ll. En la punta del arco desaparecen por completo las fuerzas de tracción⁸⁶.

⁷⁹ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del apartado anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las Fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados.

⁸⁰ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁸¹ Ver gráfico (13).

⁸² Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

⁸³ Zona reducida de colores fríos.

⁸⁴ Ver gráfico (14), (15) y (16).

⁸⁵ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

⁸⁶ No existen zonas de colores fríos.

3.5.1.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11"
(Sii) ^{87,88}

(CUADRO 19) ARCO OJIVAL: "SI"				
Representación gráfica de los modelos sin influencia del zucho de borde.				
(GRAF.3: 25) A. ojival: BA	(GRAF.3: 30) A. ojival: BA-RL		(GRAF.3: 35) A. ojival: BE	(GRAF.3: 40) A. ojival: BE-RL
Main Ax. Force(N/M). "Si" factor-8.1e-6.				
(17) 3.4.1.1.c	(18) 3.4.2.1.c	(19) 3.4.3.1.c	(20) 3.4.4.1.c	

16. En el caso del modelo con la base apoyada (BA) apreciamos que⁸⁹:

mm. En la clave del arco se concentran⁹⁰ fuerzas de tracción⁹¹, las mismas que tienden a reducirse a medida que se aproximan a los extremos.

nn. En la zona de la base próxima al hueco se produce una concentración de compresiones⁹² importantes.

17. Si al modelo apoyado le imponemos restricciones laterales (BA-RL) se observa que⁹³:

oo. En la zona superior del arco desaparecen por completo todas las tracciones⁹⁴.

pp. En las partes laterales del hueco aparecen unas pequeñas fuerzas de tracción⁹⁵.

⁸⁷ Las comparaciones que se realizan en este apartado, son completamente válidas para las Fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N11".

⁸⁸ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁸⁹ Ver gráfico (17).

⁹⁰ En el gráfico de los vectores: zona roja.

⁹¹ Estos esfuerzos tienen lugar cuando los lados de la base de la abertura se separan por efecto de la deformación de la pieza. Cabe indicar que las tracciones que aparecen son pequeñas, en comparación con las compresiones en la otra dirección "SII".

⁹² En el gráfico de los vectores: zona azul.

⁹³ Ver gráfico (18).

⁹⁴ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

- qq. La pared está prácticamente comprimida en su totalidad⁹⁶.
- 18.** Cuando la base está empotrada (BE) se aprecia que⁹⁷:
- rr. En la zona más próxima a la clave del arco se concentran fuerzas de compresión.
- ss. En la zona un poco alejada de la parte superior del arco existen pequeñas fuerzas de tracción.
- tt. En las caras laterales del arco aparecen pequeñas fuerzas de tracción⁹⁸.
- uu. Las zonas de compresión de la base aumentan considerablemente⁹⁹.
- 19.** Si al modelo empotrado le imponemos restricciones laterales (BE-RL) se observa que¹⁰⁰:
- vv. En la zona superior del arco desaparecen por completo todas las tracciones¹⁰¹.
- ww. En las partes laterales del hueco no llegan a desaparecer las pequeñas fuerzas de tracción existentes¹⁰².
- xx. La pared está prácticamente comprimida¹⁰³ en su totalidad.
- 20.** De modo general podríamos decir que:
- yy. En la base junto a los huecos se localizan las máximas concentraciones de compresión.
- zz. Si tenemos el modelo con la base simplemente apoyada los resultados son desfavorables.
- aaa. El comportamiento es mejor si empotramos la base.
- bbb. Si lo restringimos lateralmente el comportamiento mejora considerablemente.

⁹⁵ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

⁹⁶ Toda la pared contiene vectores de color azul.

⁹⁷ Ver gráfico (19).

⁹⁸ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

⁹⁹ Al estar limitados por completo los desplazamientos en la base. Se observa que el modelo contiene prácticamente vectores de color azul.

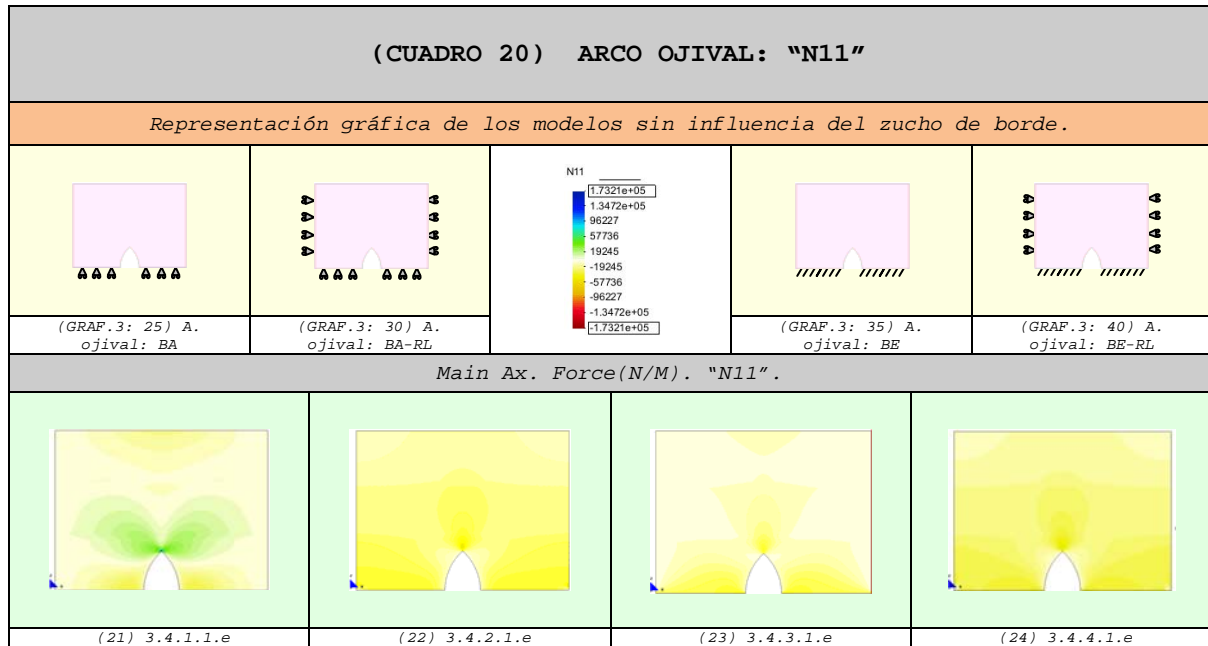
¹⁰⁰ Ver gráfico (20).

¹⁰¹ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

¹⁰² Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

¹⁰³ Toda la pared contiene vectores de color azul y en los gráficos de las fuerzas es casi en su totalidad amarilla.

3.5.1.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N11" (N11) 104,105



21. En el caso del modelo con la base apoyada (BA) vemos que¹⁰⁶:

ccc. En la clave del arco se concentran¹⁰⁷ fuerzas de tracción¹⁰⁸, las mismas que tienden a reducirse a medida que se aproximan a los extremos.

ddd. En la zona de la base próxima al hueco se produce una concentración de compresiones.

22. En los modelos con restricciones laterales se observa que¹⁰⁹:

eee. En la zona superior del arco desaparecen por completo todas las tracciones¹¹⁰.

23. Cuando la base está empotrada (BE) se puede apreciar que¹¹¹:

fff. En la zona más próxima a la clave del arco desaparecen las tracciones más fuertes.

ggg. Las zonas de compresión aumentan considerablemente¹¹².

¹⁰⁴ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos en el anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las Fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados.

¹⁰⁵ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

¹⁰⁶ Ver gráfico (21).

¹⁰⁷ Zona con tonalidades de color verde.

¹⁰⁸ Estos esfuerzos tienen lugar cuando los lados de la base de la abertura se separan por efecto de la deformación de la pieza.

¹⁰⁹ Ver gráfico (22) y (24).

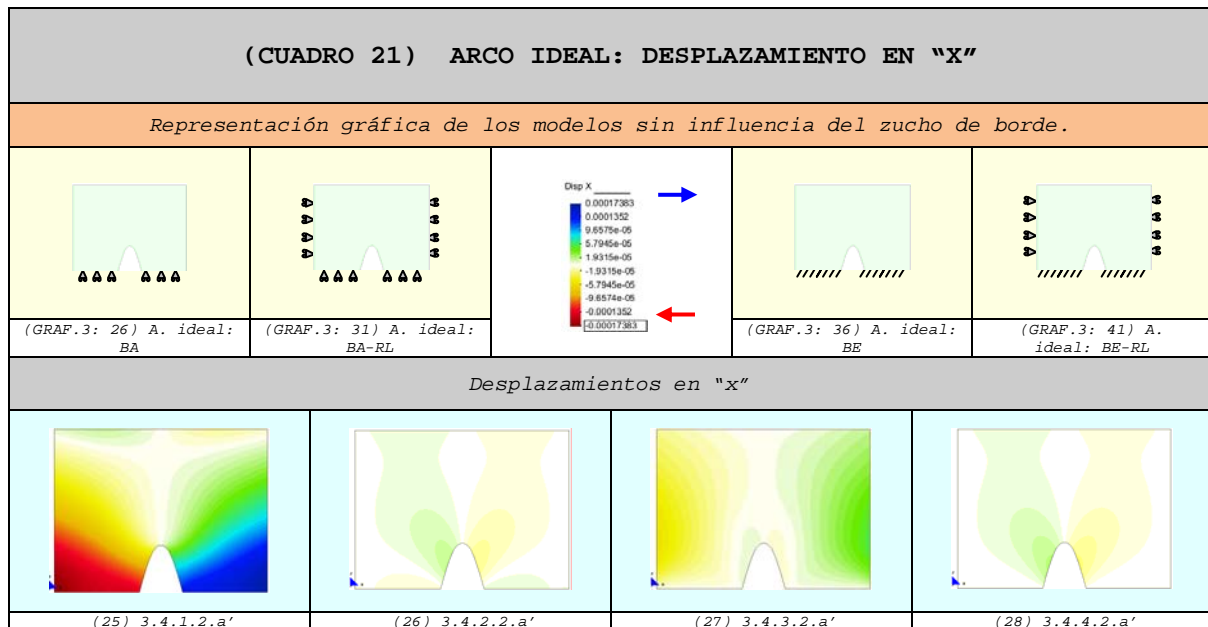
¹¹⁰ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

¹¹¹ Ver gráfico (23).

¹¹² Al estar limitados por completo los desplazamientos en la base. Se observa que el modelo contiene prácticamente vectores de color azul.

3.5.2 Hueco con arco ideal

3.5.2.1 Comparación de los desplazamientos

3.5.2.1.1 Desplazamientos en "x"¹¹³

1. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que¹¹⁴:

- a. Los desplazamientos laterales son superiores en comparación con los otros modelos.
- b. Las máximas deformaciones se localizan en los extremos externos de la base, mientras que disminuyen considerablemente cuando se aproximan a la abertura¹¹⁵⁻¹¹⁶.
- c. La pared se dilata libremente en ambos extremos¹¹⁷.
- d. En la clave del arco no se produce una concentración de desplazamientos, a diferencia de los modelos restantes.
- e. El arco tiende a abrirse.

2. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales impuestas (BA-RL) se aprecia que¹¹⁸:

- f. La pared es menos deformable¹¹⁹.

¹¹³ Los desplazamientos hacia el lado derecho se representan con la gama de colores fríos (verde-azul) y los desplazamientos hacia el lado izquierdo con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo).

¹¹⁴ Ver gráfico (25).

¹¹⁵ Es decir, en los extremos internos de la base.

¹¹⁶ Dado el mayor grado de rigidez que le aporta la forma.

¹¹⁷ Por un lado, por la falta de restricciones laterales y por otro, por la existencia del efecto de Poisson (que origina la deformación en todos los sentidos del modelo donde no se aplique la carga).

¹¹⁸ Ver gráfico (26).

- g. Los desplazamientos en las caras laterales del modelo se anulan, mientras que en la base tienden a disminuir considerablemente sin llegar a desaparecer.
- h. La mayor concentración de desplazamientos se sitúa en el centro del modelo, en especial en la parte superior del hueco¹²⁰.
- i. Las deformaciones ubicadas en la clave del arco son de sentido contrario (→ ←)¹²¹, dando lugar a compresiones en la pieza.
- j. El arco tiene tendencia a cerrarse.
3. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) se distingue que¹²²:
- k. Los desplazamientos son prácticamente nulos en la zona próxima a la base¹²³.
- l. Las deformaciones se concentran en las zonas centrales de los lados del modelo¹²⁴.
- m. El arco tiende a cerrarse un poco en la clave¹²⁵.
4. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BA-RL) se aprecia que¹²⁶:
- n. La pared es menos deformable¹²⁷.
- o. Los desplazamientos se anulan, tanto en la base como en las caras laterales del modelo.
- p. Los máximos desplazamientos laterales tienden a concentrarse en la clave del arco.
5. Además podemos decir que:
6. La pared con la base apoyada (25) tiene un comportamiento estructural desfavorable.
7. El modelo con la base empotrada y restricciones laterales (28) tiene una mejor función estructural.

¹¹⁹ Esto se puede constatar, si observamos la pequeña dimensión de franja de los "desplazamientos casi nulos" (gama de colores muy claros, casi tendiendo a blanco).

¹²⁰ Por ser la zona más deformable, tengamos en cuenta que en la abertura no se impone ningún tipo de restricción, por lo tanto ésta será una zona.

¹²¹ Es decir, el lado derecho se desplaza hacia la izquierda y el izquierdo hacia la derecha.

¹²² Ver gráfico (27).

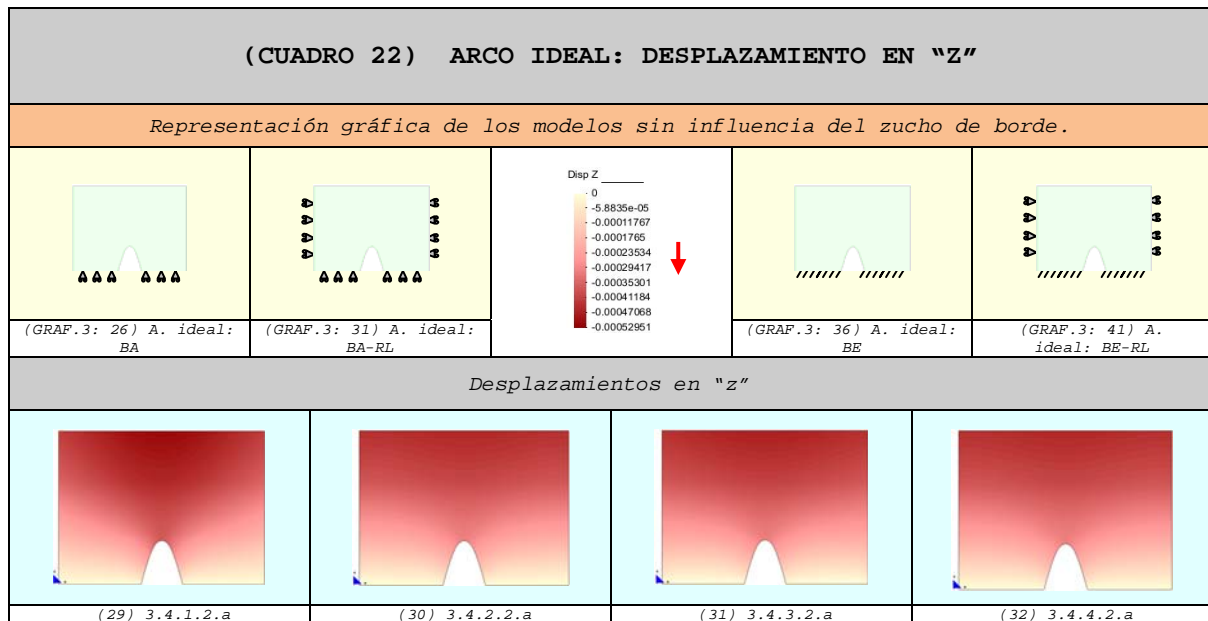
¹²³ Por tener impedidos todos los movimientos en la base.

¹²⁴ Dada la carencia de restricciones laterales en dichos extremos.

¹²⁵ De acuerdo al sentido de la deformada.

¹²⁶ Ver gráfico (28).

¹²⁷ Se puede constatar, si observamos que la franja de los "desplazamientos casi nulos" (colores muy claros, casi tendiendo a blanco es menor) es reducida.

3.5.2.1.2 Desplazamientos en "z"¹²⁸

8. En el modelo con la base apoyada (BA) vemos que¹²⁹:

q. La pared tiene poca rigidez¹³⁰.

r. La zona de desplazamientos máximos¹³¹ se aproxima más a la parte superior de la abertura.

9. En los tres últimos modelos podemos observar que¹³²:

s. Las paredes son más rígidos¹³³.

t. Los desplazamientos son más homogéneos, es decir, prácticamente horizontales.

u. Las máximas deformaciones no llegan al nivel de las claves de ninguno de los arcos.

10. Adicionalmente podemos indicar que:

v. Los máximos desplazamientos se localizan en la parte central de todos los modelos.

w. La pared con la base apoyada es más deformable.

x. Los modelos restantes se comportan de modo similar.

¹²⁸ Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se aproxima al rojo intenso.

¹²⁹ Ver gráfico (29).

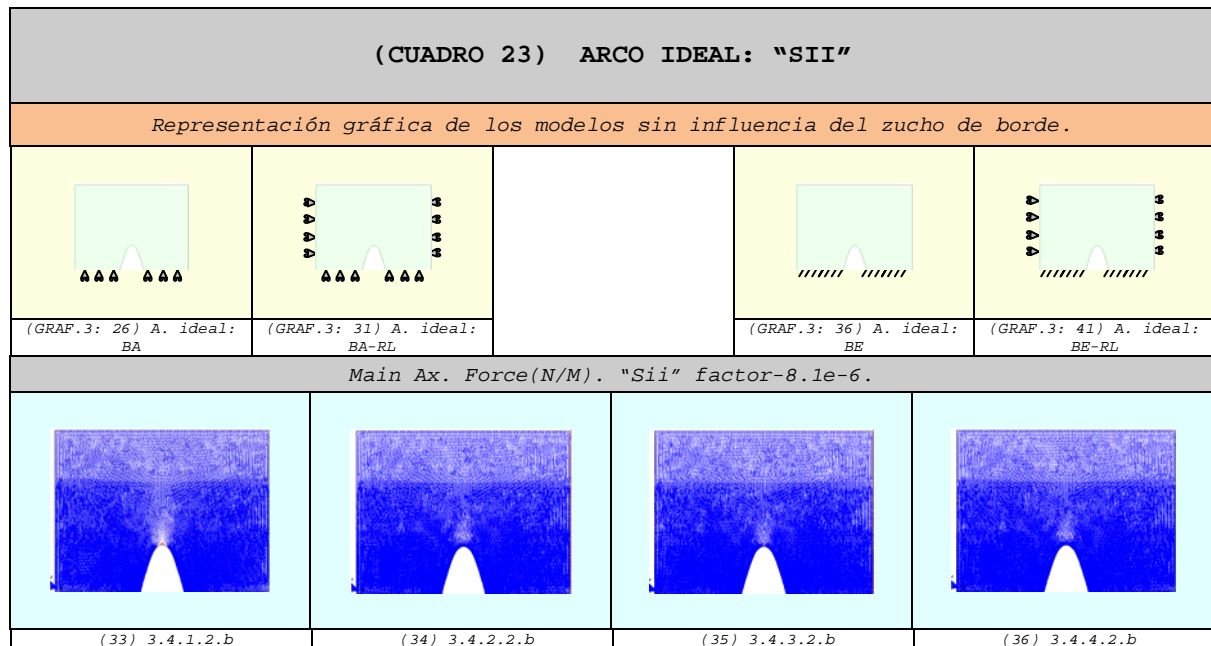
¹³⁰ Es decir, más capacidad de deformación. Este comportamiento se debe a la libertad de movimiento de su base.

¹³¹ Tonos de color rojo más intensos.

¹³² Ver gráfico (30), (31) y (32).

¹³³ Por lo tanto menos deformables, al tener más impedidos sus movimientos.

3.5.2.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22"
(Sii) ^{134,135}



11. En el modelo simplemente apoyado (BA) se puede apreciar¹³⁶:

y. En la punta del arco existen vectores de tracción¹³⁷.

z. En la parte superior de la clave del arco se producen compresiones casi imperceptibles¹³⁸.

12. En el momento en que le imponemos restricciones laterales (BA-RL) podemos distinguir que¹³⁹:

aa. En la punta del arco desaparecen por completo las fuerzas de tracción¹⁴⁰.

bb. En la parte superior de la clave del arco se producen compresiones bajas.

13. Si la base del modelo se empotra (BE) observamos que¹⁴¹:

cc. La clave del arco está más comprimida¹⁴².

¹³⁴ Las comparaciones que se realizan en este apartado, son completamente válidas para las Fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N22".

¹³⁵ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

¹³⁶ Ver gráfico (33).

¹³⁷ Vectores de color rojo.

¹³⁸ Zona menos densa de vectores.

¹³⁹ Ver gráfico (34).

¹⁴⁰ No existen vectores de color rojo.

¹⁴¹ Ver gráfico (35).

¹⁴² Mayor concentración de los vectores de color azul.

14. Si limitamos los movimientos de las caras laterales del modelo empotrado (BE-RL) vemos que¹⁴³:

dd. La parte superior del arco se comprime considerablemente.

15. De modo general podríamos decir que:

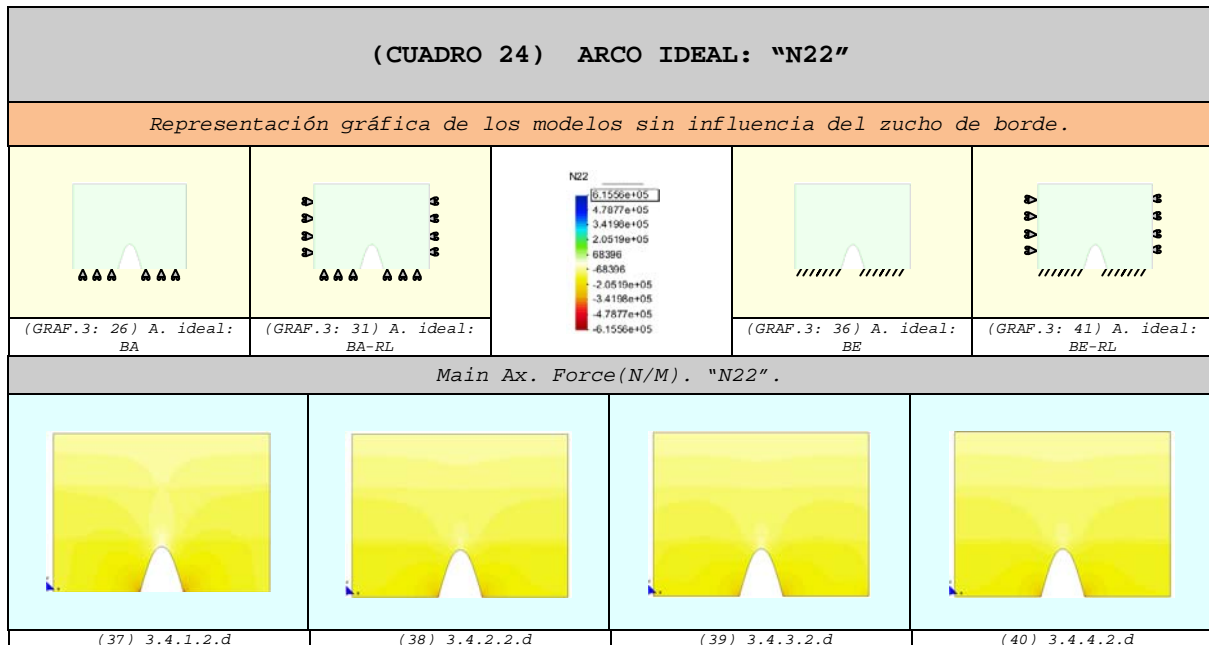
ee. Las diferencias son casi imperceptibles¹⁴⁴.

ff. El comportamiento más desfavorable se produce cuando la base está simplemente apoyada.

¹⁴³ Ver gráfico (36).

¹⁴⁴ Mientras que influye considerablemente en el caso de la fuerza contraria "N11", como se aprecia en el siguiente apartado.

3.5.2.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N22"
(N22) 145,146



16. En el modelo simplemente apoyado (BA) se observa que¹⁴⁷:

- gg. En la base del hueco se produce una concentración de fuerzas de compresión¹⁴⁸ que van disminuyendo a medida que se aleja de ella.
- hh. En la parte superior de la clave del arco se aprecian con mayor claridad las fuerzas de compresión de valores muy pequeños¹⁴⁹.

17. En los tres modelos restantes podemos distinguir que¹⁵⁰:

- ii. En la base del hueco se produce una concentración de fuerzas de compresión¹⁵¹, en menor grado que en el caso apoyado.
- jj. En la punta del arco desaparecen por completo las fuerzas de tracción¹⁵².

¹⁴⁵ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del apartado anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las Fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados.

¹⁴⁶ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

¹⁴⁷ Ver gráfico (37).

¹⁴⁸ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

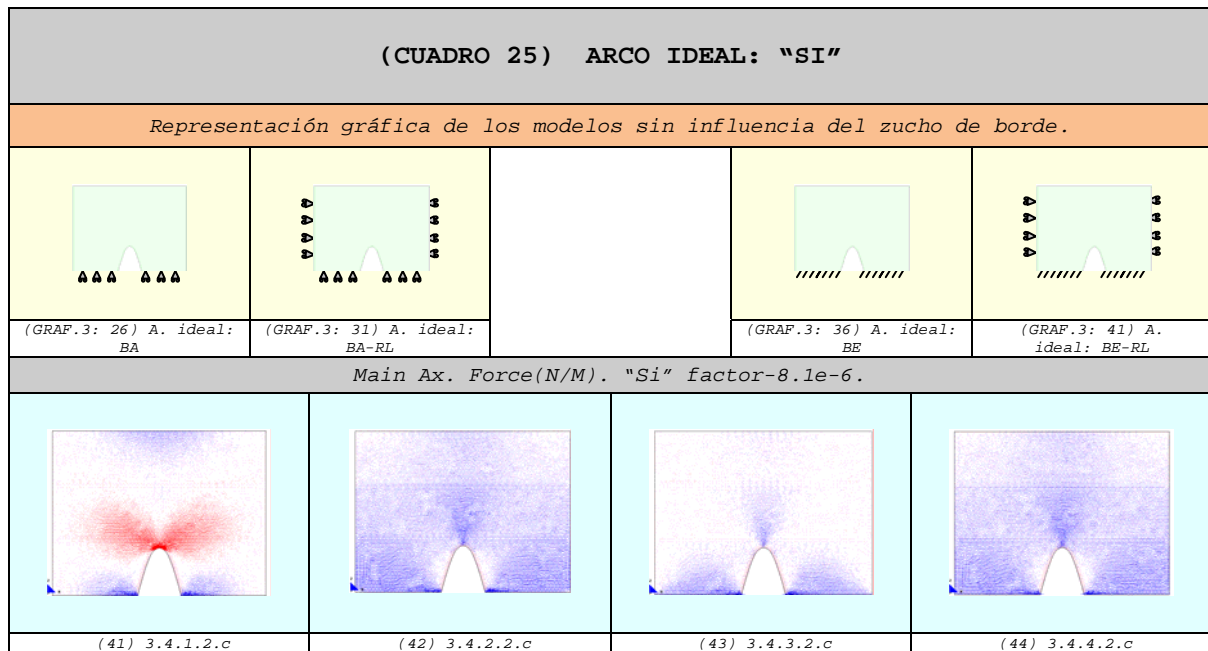
¹⁴⁹ Zona reducida de colores fríos.

¹⁵⁰ Ver gráfico (38), (39) y (40).

¹⁵¹ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

¹⁵² No existen zonas de colores fríos.

3.5.2.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11"
(Sii) ^{153,154}



18. En el caso del modelo con la base apoyada (BA) apreciamos que¹⁵⁵:

- kk. En la clave del arco se concentran¹⁵⁶ fuerzas de tracción¹⁵⁷, las mismas que tienden a reducirse a medida que se aproximan a los extremos.
- ll. En la zona de la base próxima al hueco se produce una concentración de compresiones¹⁵⁸ importantes.

19. Si al modelo apoyado le imponemos restricciones laterales (BA-RL) se observa que¹⁵⁹:

- mm. En la zona superior del arco desaparecen por completo todas las tracciones¹⁶⁰.
- nn. En las partes laterales del hueco aparecen unas pequeñas fuerzas de tracción¹⁶¹.
- oo. La pared está prácticamente comprimida en su totalidad¹⁶².

¹⁵³ Las comparaciones que se realizan en este apartado, son completamente válidas para las Fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N11".

¹⁵⁴ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

¹⁵⁵ Ver gráfico (41).

¹⁵⁶ En el gráfico de los vectores: zona roja.

¹⁵⁷ Estos esfuerzos tienen lugar cuando los lados de la base de la abertura se separan por efecto de la deformación de la pieza. Cabe indicar que las tracciones que aparecen son pequeñas, en comparación con las compresiones en la otra dirección "SII".

¹⁵⁸ En el gráfico de los vectores: zona azul.

¹⁵⁹ Ver gráfico (42).

¹⁶⁰ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

¹⁶¹ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

20. Cuando la base está empotrada (BE) se aprecia que¹⁶³:

- pp. En la zona más próxima a la clave del arco se concentran fuerzas de compresión.
- qq. En la zona un poco alejada de la parte superior del arco existen pequeñas fuerzas de tracción.
- rr. En las caras laterales del arco aparecen pequeñas fuerzas de tracción¹⁶⁴.
- ss. Las zonas de compresión de la base aumentan considerablemente¹⁶⁵.

21. Si al modelo empotrado le imponemos restricciones laterales (BE-RL) se observa que¹⁶⁶:

- tt. En la zona superior del arco desaparecen por completo todas las tracciones¹⁶⁷.
- uu. En las partes laterales del hueco no llegan a desaparecer las pequeñas fuerzas de tracción existentes¹⁶⁸.
- vv. La pared está prácticamente comprimida¹⁶⁹ en su totalidad.

22. De modo general podríamos decir que:

- ww. En la base junto a los huecos se localizan las máximas concentraciones de compresión.
- xx. Si tenemos el modelo con la base simplemente apoyada los resultados son desfavorables.
- yy. El comportamiento mejora si empotrados la base.
- zz. Si lo restringimos lateralmente el comportamiento mejora considerablemente.

¹⁶² Toda la pared contiene vectores de color azul.

¹⁶³ Ver gráfico (43).

¹⁶⁴ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

¹⁶⁵ Al estar limitados por completo los desplazamientos en la base. Se observa que el modelo contiene prácticamente vectores de color azul.

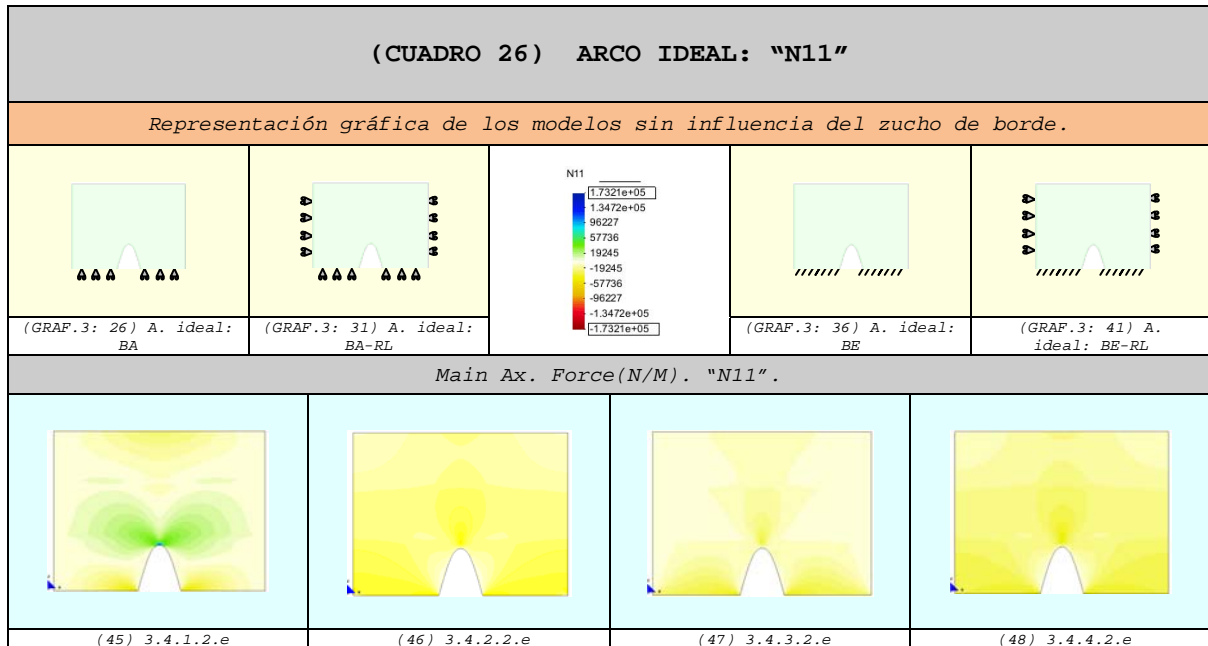
¹⁶⁶ Ver gráfico (44).

¹⁶⁷ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

¹⁶⁸ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

¹⁶⁹ Toda la pared contiene vectores de color azul y en los gráficos de las fuerzas es casi en su totalidad amarilla.

3.5.2.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11"
(N11) 170,171



23. En el caso del modelo con la base apoyada (BA) vemos que¹⁷²:

- aaa. En la clave del arco se concentran¹⁷³ fuerzas de tracción¹⁷⁴, las mismas que tienden a reducirse a medida que se aproximan a los extremos.
- bbb. En la zona de la base próxima al hueco se produce una concentración de compresiones.

24. En los modelos con restricciones laterales se observa que¹⁷⁵:

- ccc. En la zona superior del arco desaparecen por completo todas las tracciones¹⁷⁶.

25. Cuando la base está empotrada (BE) se puede apreciar que¹⁷⁷:

- ddd. En la zona más próxima a la clave del arco desaparecen las tracciones más fuertes.
- eee. Las zonas de compresión aumentan considerablemente¹⁷⁸.

¹⁷⁰ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos en el anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las Fuerzas "Nxx-Nx'" de los diferentes modelos desarrollados.

¹⁷¹ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

¹⁷² Ver gráfico (45).

¹⁷³ Zona con tonalidades de color verde.

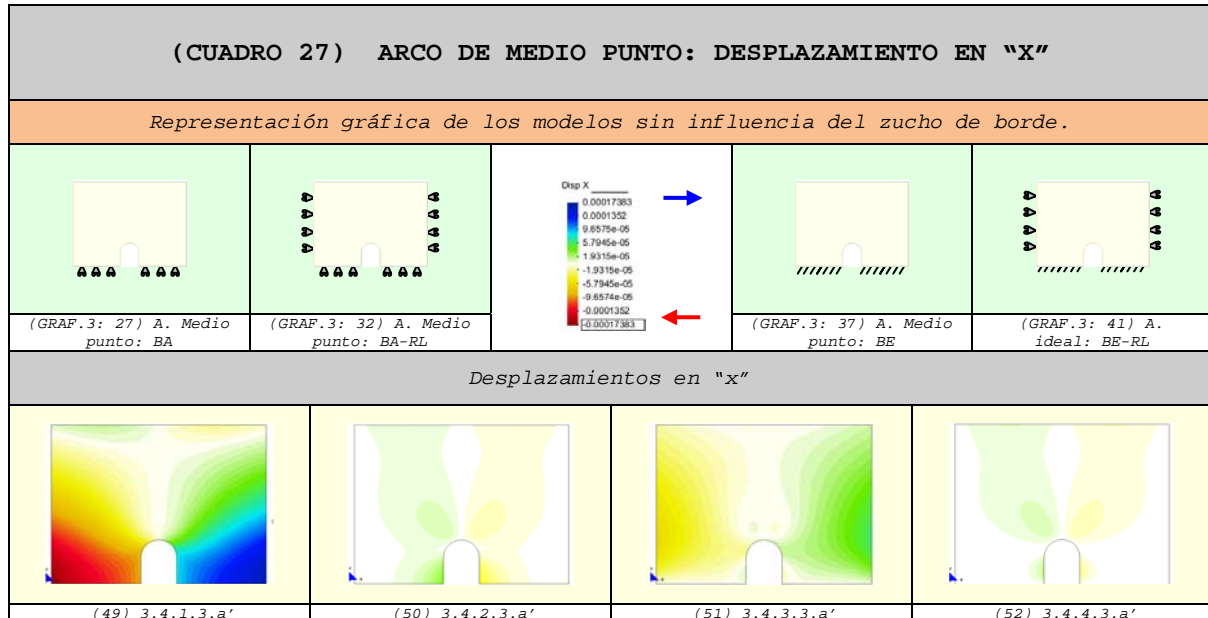
¹⁷⁴ Estos esfuerzos tienen lugar cuando los lados de la base de la abertura se separan por efecto de la deformación de la pieza.

¹⁷⁵ Ver gráfico (46) y (48).

¹⁷⁶ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

¹⁷⁷ Ver gráfico (47).

¹⁷⁸ Al estar limitados por completo los desplazamientos en la base. Se observa que el modelo contiene prácticamente vectores de color azul.

3.5.3 Hueco con arco de medio punto3.5.3.1 Comparación de los desplazamientos3.5.3.1.1 Desplazamientos en "x"¹⁷⁹

1. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que¹⁸⁰:

- a. Los desplazamientos laterales son superiores¹⁸¹.
- b. Las máximas deformaciones se localizan en los extremos externos de la base y disminuyen considerablemente cuando se aproximan a la abertura¹⁸²⁻¹⁸³.
- c. La base del hueco es más rígida¹⁸⁴.
- d. La pared se dilata libremente en ambos extremos¹⁸⁵.
- e. En la clave del arco no se produce una concentración de desplazamientos¹⁸⁶.

2. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales impuestas (BA-RL) se aprecia que¹⁸⁷:

¹⁷⁹ Los desplazamientos hacia el lado derecho se representan con la gama de colores fríos (verde-azul) y los desplazamientos hacia el lado izquierdo con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo).

¹⁸⁰ Ver gráfico (49).

¹⁸¹ En comparación con los otros modelos.

¹⁸² Es decir, en los extremos internos de la base.

¹⁸³ Dado el mayor grado de rigidez que le aporta la forma.

¹⁸⁴ Por estar constituida por aristas con ángulos de 90°, dando como resultado ser más complicado abrir el hueco.

¹⁸⁵ Por un lado, por la falta de restricciones laterales y por otro, por la existencia del efecto de Poisson (que origina la deformación en todos los sentidos del modelo donde no se aplique la carga).

¹⁸⁶ A diferencia de los modelos restantes.

¹⁸⁷ Ver gráfico (50).

- f. Los desplazamientos en las caras laterales del modelo se anulan, mientras que en la base tienden a disminuir considerablemente sin llegar a desaparecer.
- g. La mayor concentración de desplazamientos se sitúa en la parte inferior del hueco y en menor grado en la clave del arco.
- h. Las deformaciones ubicadas en la clave del arco son de sentido contrario (← →)¹⁸⁸, dando lugar a tracciones muy pequeñas.
- i. El hueco tiene tendencia a cerrarse en la base.

3. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) se distingue que¹⁸⁹:

- j. En la base los desplazamientos son nulos¹⁹⁰.
- k. Los máximos desplazamientos se producen en las partes laterales del modelo, específicamente en las zonas centrales¹⁹¹.
- l. Los desplazamientos se van prolongando hasta llegar a la clave del arco.
- m. En la parte superior del arco se desarrollan desplazamientos que estiran el material¹⁹².

4. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) se aprecia que¹⁹³:

- n. Los desplazamientos se anulan tanto en la base como en las caras laterales del modelo.
- o. Los máximos desplazamientos se localizan en la parte superior del hueco.
- p. En la clave del arco comienzan a aparecer desplazamientos en sentido opuesto¹⁹⁴.
- q. En la parte central de las caras laterales del hueco también se producen desplazamientos aunque muy pequeños.

5. De modo general podemos decir que:

- r. La pared con la base apoyada (49) tiene un comportamiento desfavorable.
- s. El modelo con la base empotrada y restricciones laterales (52) tiene una mejor función estructural.

¹⁸⁸ Es decir, el lado derecho se desplaza hacia la derecha y el izquierdo hacia la izquierda.

¹⁸⁹ Ver gráfico (51).

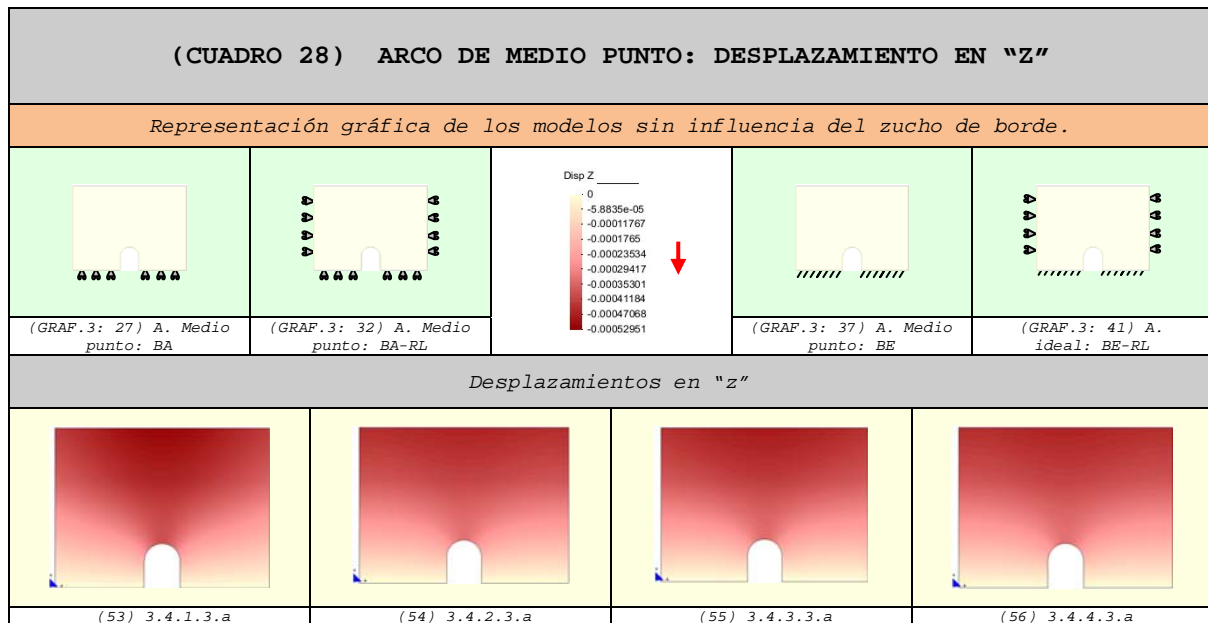
¹⁹⁰ Debido al empotramiento que impide el desplazamiento lateral.

¹⁹¹ Que es la zona con libertad de movimiento.

¹⁹² Que originan pequeñas tracciones en dicha zona. Hay que tener en cuenta que esta zona también puede desplazarse libremente, por haberle impuesto ningún tipo de condición de contorno.

¹⁹³ Ver gráfico (52).

¹⁹⁴ Que dan lugar a tracciones pequeñas.

3.5.3.1.2 Desplazamientos en "z" ¹⁹⁵

6. En el modelo con la base apoyada (BA) podemos observar que¹⁹⁶:
- t. La pared tiene poca rigidez¹⁹⁷.
 - u. La zona de desplazamientos máximos¹⁹⁸ se aproxima más a la parte superior de la abertura.
7. En los tres últimos modelos se puede observar que¹⁹⁹:
- v. Las paredes son más rígidos²⁰⁰.
 - w. Los desplazamientos son más homogéneos, aunque tienden a aproximarse a las claves de los arcos.
 - x. Las máximas deformaciones llegan al nivel de las claves de los arcos²⁰¹.
8. Adicionalmente podemos indicar que:
- y. Los máximos desplazamientos se localizan en la parte central de todos los modelos.
 - z. La pared con la base apoyada es más deformable.
 - aa. Los modelos restantes se comportan de modo similar.

¹⁹⁵ Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se aproxima al rojo intenso.

¹⁹⁶ Ver gráfico (53).

¹⁹⁷ Es decir, más capacidad de deformación. Este comportamiento se debe a la libertad de movimiento de su base.

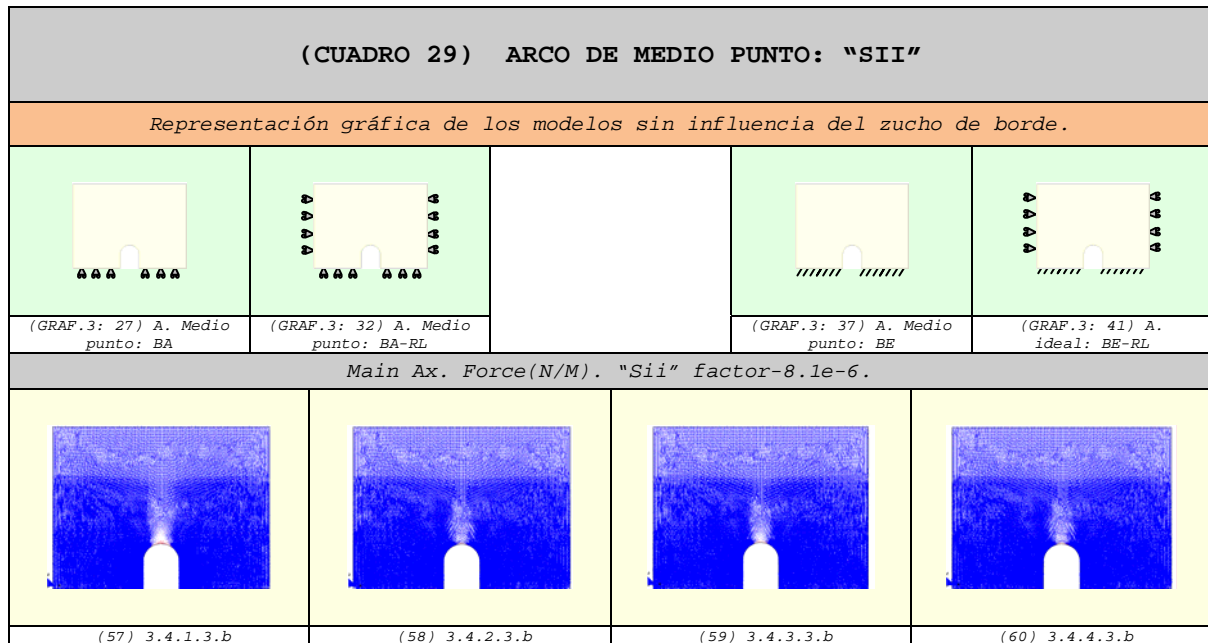
¹⁹⁸ Tonos de color rojo más intensos.

¹⁹⁹ Ver gráfico (54), (55) y (56).

²⁰⁰ Por lo tanto menos deformables, al tener más impedidos sus movimientos.

²⁰¹ Aunque en menor grado que el modelo con la base apoyada.

3.5.3.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22"
(Sii) 202-203



9. En el modelo simplemente apoyado (BA) se puede apreciar²⁰⁴:

bb. En la punta del arco existen vectores de tracción²⁰⁵.

cc. En la parte superior de la clave del arco se producen compresiones casi imperceptibles²⁰⁶.

10. En el momento en que le imponemos restricciones laterales (BA-RL) podemos distinguir que²⁰⁷:

dd. En la punta del arco desaparecen parcialmente las fuerzas de tracción²⁰⁸.

ee. En la parte superior de la clave del arco se producen compresiones bajas.

11. Si la base del modelo se empotra (BE) observamos que²⁰⁹:

ff. La clave del arco existen pequeñas tracciones²¹⁰,

²⁰² Las comparaciones que se realizan en este apartado, son completamente válidas para las Fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N22".

²⁰³ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

²⁰⁴ Ver gráfico (57).

²⁰⁵ Los vectores de color rojo son de rango superior a los otros modelos.

²⁰⁶ Zona menos densa de vectores.

²⁰⁷ Ver gráfico (58).

²⁰⁸ Existen vectores de color rojo, aunque muy pequeños.

²⁰⁹ Ver gráfico (59).

²¹⁰ Poco concentración de los vectores de color rojo.

12. Si limitamos los movimientos de las caras laterales del modelo empotrado (BE-RL) vemos que²¹¹:

gg. La parte superior del arco se comprime considerablemente.

13. De modo general podríamos decir que:

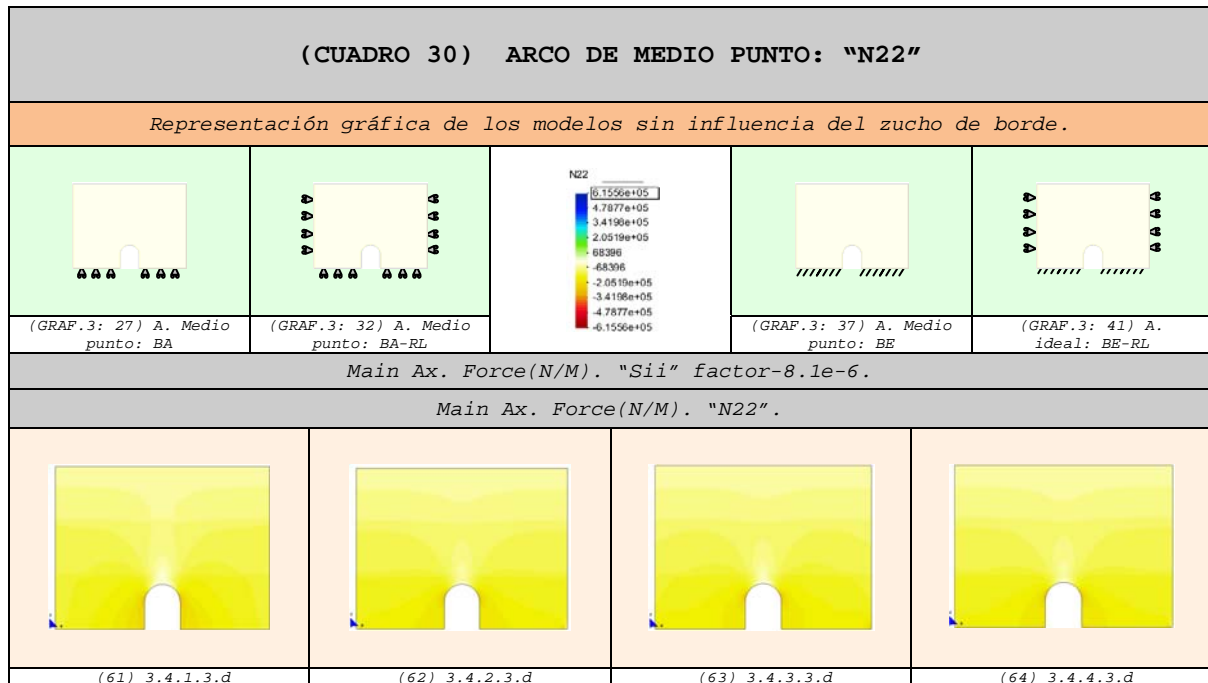
hh. Las diferencias son casi imperceptibles²¹².

ii. El comportamiento más desfavorable se produce cuando la base está simplemente apoyada.

²¹¹ Ver gráfico (60).

²¹² Mientras que influye considerablemente en el caso de la fuerza contraria "N11", como se aprecia en el siguiente apartado.

3.5.3.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N2"
(N22) 213-214



14. En el modelo simplemente apoyado (BA) se observa que²¹⁵:
- jj. En el inicio de la parte curva del hueco se produce una concentración de fuerzas de compresión²¹⁶ que tienden a reducirse a medida que se aleja de ella.
- kk. En la parte superior de la clave del arco se aprecian con mayor claridad las fuerzas de tracción de valores muy pequeños²¹⁷.
15. En los tres modelos restantes podemos distinguir que²¹⁸:
- ll. En el inicio de la parte curva del hueco se produce una concentración de fuerzas de compresión²¹⁹ que tienden a reducirse a medida que se aleja de ella.
- mm. En la punta del arco disminuyen las fuerzas de tracción²²⁰.

²¹³ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del apartado anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las Fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados.

²¹⁴ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

²¹⁵ Ver gráfico (61).

²¹⁶ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

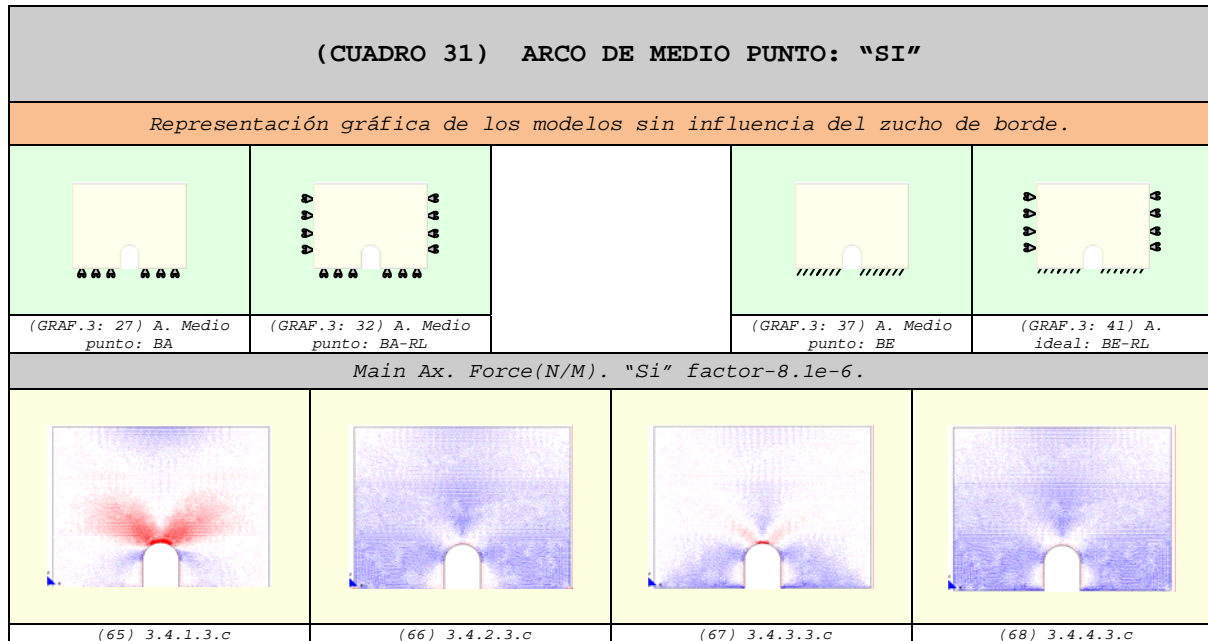
²¹⁷ Zona reducida de colores fríos.

²¹⁸ Ver gráfico (62), (63) y (64).

²¹⁹ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

²²⁰ No existen zonas de colores fríos.

3.5.3.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11"
(Sii) 221-222



16. En el caso del modelo con la base apoyada (BA) vemos que²²³:

- nn. En la clave del arco se concentran²²⁴ fuerzas de tracción²²⁵, las mismas que tienden a reducirse a medida que se aproximan a los extremos.
- oo. En el inicio de la parte curva del hueco se concentran fuerzas de compresión y tienden a reducir a medida que se alejan de ella.

17. Si al modelo apoyado le imponemos restricciones laterales (BA-RL) se observa que²²⁶:

- pp. En la zona superior del arco disminuyen considerablemente las tracciones²²⁷, aunque no llegan a desaparecer por completo.
- qq. En las partes laterales del hueco aparecen unas pequeñas fuerzas de tracción²²⁸.
- rr. En el inicio de la parte curva del hueco se intensifican las fuerzas de compresión.
- ss. La pared está prácticamente comprimida en su totalidad²²⁹.

²²¹ Las comparaciones que se realizan en este apartado, son completamente válidas para las Fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N11".

²²² Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

²²³ Ver gráfico (65).

²²⁴ En el gráfico de los vectores: zona roja.

²²⁵ Estos esfuerzos tienen lugar cuando los lados de la base de la abertura se separan por efecto de la deformación de la pieza. Cabe indicar que las tracciones que aparecen son pequeñas, en comparación con las compresiones en la otra dirección "SII".

²²⁶ Ver gráfico (66).

²²⁷ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

²²⁸ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

18. Cuando la base está empotrada (BE) se aprecia que²³⁰:

- tt. En la zona más próxima a la clave del arco se concentran pequeñas fuerzas de tracción²³¹.
- uu. En la zona alejada de la parte superior del arco existen pequeñas fuerzas de tracción.
- vv. En las caras laterales del hueco aparecen pequeñas fuerzas de tracción²³².
- ww. En el inicio de la parte curva del hueco se intensifican las fuerzas de compresión²³³.
- xx. Las zonas de compresión de la base aumentan considerablemente²³⁴.

19. Si al modelo empotrado le imponemos restricciones laterales (BE-RL) se observa que²³⁵:

- yy. En la zona superior del arco disminuyen considerablemente las tracciones²³⁶, aunque no llegan a desaparecer por completo.
- zz. En las partes laterales del hueco no llegan a desaparecer las pequeñas fuerzas de tracción existentes²³⁷.
- aaa. En el inicio de la parte curva del hueco se intensifican las fuerzas de compresión²³⁸.
- bbb. Las zonas de compresión de la base aumentan considerablemente.
- ccc. La pared está prácticamente comprimida²³⁹ en su totalidad.

20. De modo general podríamos decir que:

- ddd. Las fuerzas de compresión se concentran en el inicio de la parte curva de los huecos.
- eee. Las fuerzas de tracción se concentran en la zona superior de los arcos.
- fff. La pared con la base simplemente apoyada es más desfavorable.
- ggg. Si lo restringimos lateralmente el comportamiento mejora considerablemente.

²²⁹ La pared contiene vectores de color azul prácticamente en toda la superficie.

²³⁰ Ver gráfico (67).

²³¹ Aunque menores en comparación con los del modelo simplemente apoyado.

²³² Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

²³³ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

²³⁴ Al estar limitados por completo los desplazamientos en la base. Se observa que el modelo contiene prácticamente vectores de color azul.

²³⁵ Ver gráfico (68).

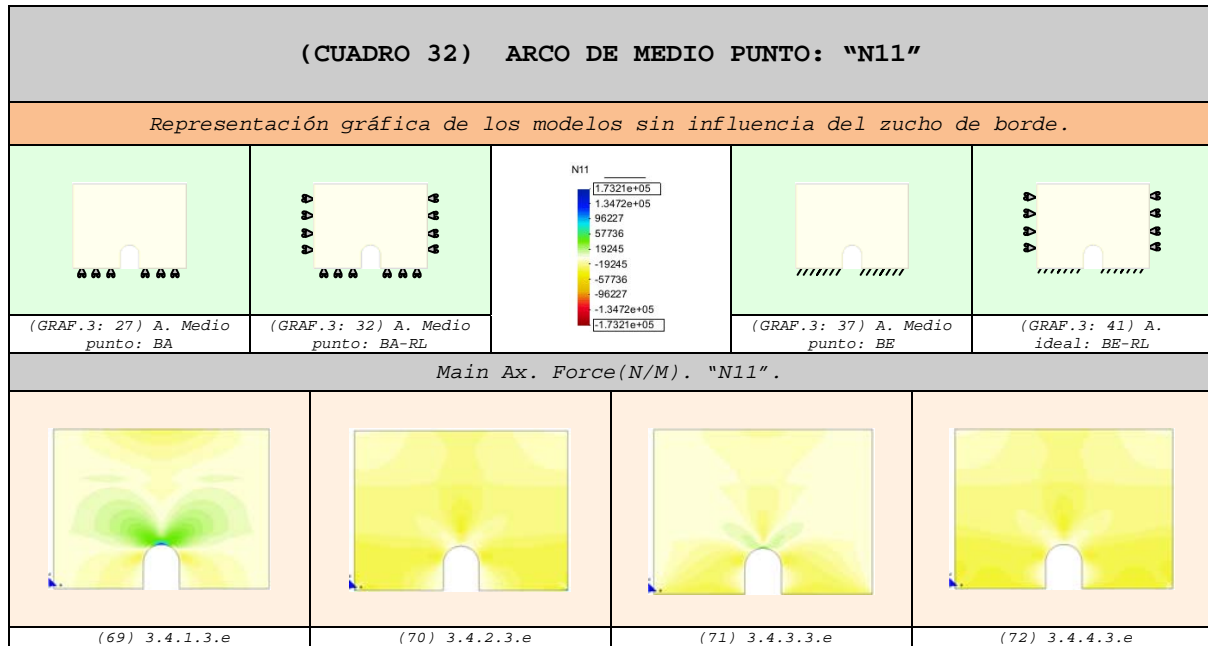
²³⁶ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

²³⁷ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

²³⁸ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

²³⁹ Toda la pared contiene vectores de color azul.

3.5.3.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N11" (N11) 240-241



21. En el caso del modelo con la base apoyada (BA) podemos notar que²⁴²:

- hhh. En la clave del arco se concentran²⁴³ fuerzas de tracción²⁴⁴, las mismas que tienden a reducirse a medida que se aproximan a los extremos.
- iii. En el inicio de la parte curva de los huecos se concentran las fuerzas de compresión.

22. En los modelos con restricciones laterales se observa que²⁴⁵:

- jjj. En la zona superior del arco disminuyen notoriamente las tracciones²⁴⁶, aunque no llegan a desaparecer.

23. Cuando la base está empotrada (BE) se aprecia que²⁴⁷:

- kkk. En la zona más próxima a la clave del arco se concentran pequeñas fuerzas de tracción²⁴⁸.
- lll. Las zonas de compresión aumentan considerablemente.

²⁴⁰ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos en el anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las Fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados.

²⁴¹ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

²⁴² Ver gráfico (69).

²⁴³ Zona con tonalidades de color verde.

²⁴⁴ Estos esfuerzos tienen lugar cuando los lados de la base de la abertura se separan por efecto de la deformación de la pieza.

²⁴⁵ Ver gráfico (70) y (72).

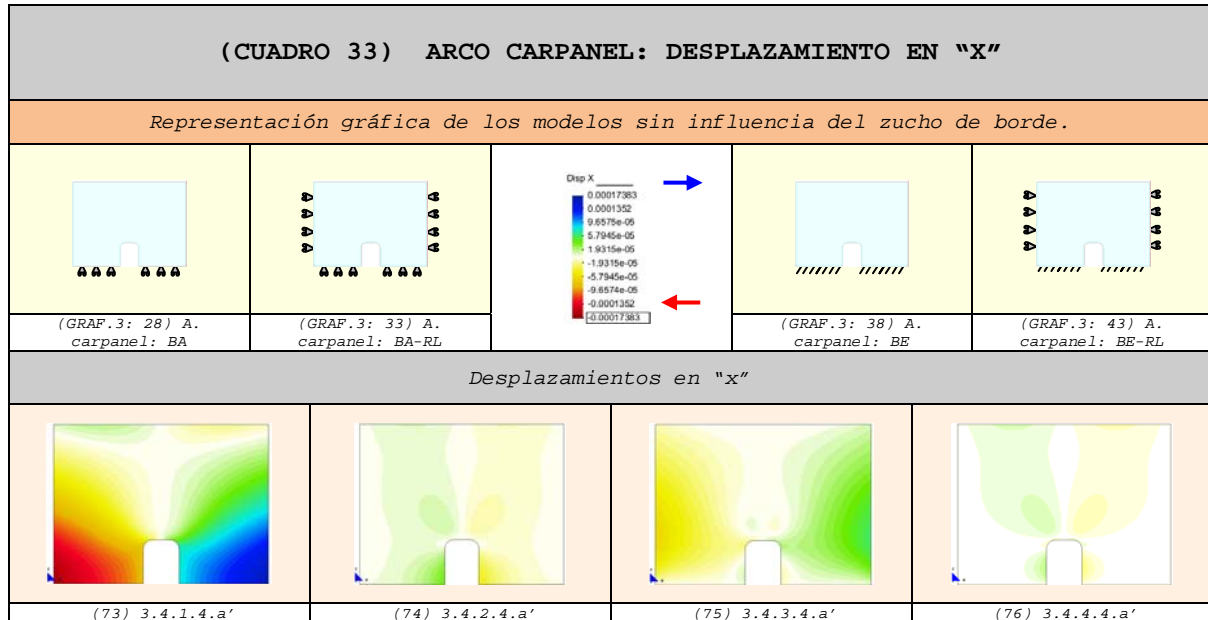
²⁴⁶ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

²⁴⁷ Ver gráfico (71).

²⁴⁸ Con mucha diferencia en relación con los del modelo simplemente apoyado; comparar gráficos (69) con (71).

3.5.4 Hueco con arco carpanel

3.5.4.1 Comparación de los desplazamientos

3.5.4.1.1 Desplazamientos en "x" ²⁴⁹

1. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que²⁵⁰:
 - a. Los desplazamientos laterales son superiores²⁵¹.
 - b. Las máximas deformaciones se localizan en los extremos externos de la base y disminuyen considerablemente cuando se aproximan a la abertura²⁵²⁻²⁵³.
 - c. La base del hueco es más rígida²⁵⁴, por ello los desplazamientos son menores.
 - d. La pared se dilata libremente en ambos extremos²⁵⁵.
 - e. En la clave del arco no se produce una concentración de desplazamientos²⁵⁶.

2. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales impuestas (BA-RL) se aprecia que²⁵⁷:

²⁴⁹ Los desplazamientos hacia el lado derecho se representan con la gama de colores fríos (verde-azul) y los desplazamientos hacia el lado izquierdo con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo).

²⁵⁰ Ver gráfico (73).

²⁵¹ En comparación con los otros modelos.

²⁵² Es decir, en los extremos internos de la base.

²⁵³ Dado el mayor grado de rigidez que le aporta la forma.

²⁵⁴ Por estar constituida por aristas con ángulos de 90°, dando como resultado ser más complicado abrir el hueco.

²⁵⁵ Por un lado, por la falta de restricciones laterales y por otro, por la existencia del efecto de Poisson (que origina la deformación en todos los sentidos del modelo donde no se aplique la carga).

²⁵⁶ A diferencia de los modelos restantes.

²⁵⁷ Ver gráfico (74).

- f. Los desplazamientos en las caras laterales del modelo se anulan, mientras que en la base tienden a disminuir considerablemente.
- g. La mayor concentración de desplazamientos se sitúa en la parte inferior del hueco y en menor grado en la clave del arco.
- h. La zona libre para deformarse se localizará en la parte inferior del hueco y en menor grado en la clave del arco.
- i. Las deformaciones ubicadas en la clave del arco son de sentido contrario (← →)²⁵⁸, dando lugar a tracciones muy pequeñas.
- j. El hueco tiene tendencia a cerrarse en la base²⁵⁹.
- 3. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que²⁶⁰:**
- k. En la base los desplazamientos son nulos²⁶¹.
- l. Los máximos desplazamientos se producen en las partes laterales del modelo, específicamente en las zonas centrales²⁶².
- m. Los desplazamientos se van prolongando hasta llegar al arco.
- n. En la parte superior del arco se desarrollan desplazamientos que estiran el material²⁶³.
- 4. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) se aprecia que²⁶⁴:**
- o. Los desplazamientos se anulan tanto en la base como en las caras laterales del modelo.
- p. Los máximos desplazamientos se localizan en la parte superior del hueco.
- q. En la clave del arco comienzan a aparecer desplazamientos en sentido opuesto²⁶⁵.
- r. En la parte central de las caras laterales del hueco también se producen desplazamientos aunque muy pequeños.
- 5. De modo general podemos decir que:**
- s. La pared con la base apoyada (73) tiene un comportamiento desfavorable.
- t. El modelo con la base empotrada y restricciones laterales (76) tiene una mejor función estructural.

²⁵⁸ Es decir, el lado derecho se desplaza hacia la derecha y el izquierdo hacia la izquierda.

²⁵⁹ Esto se debe a que es más fácil cerrar un hueco cuya base está formada por aristas con ángulos de 90°.

²⁶⁰ Ver gráfico (75).

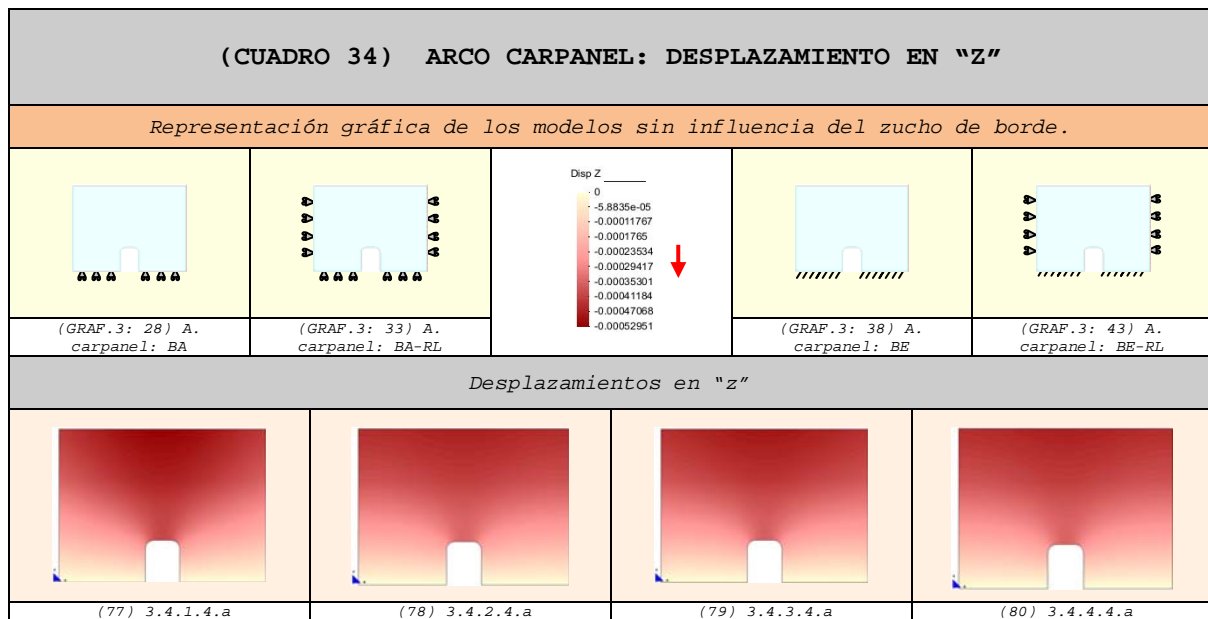
²⁶¹ Debido al empotramiento que impide el desplazamiento lateral.

²⁶² Que es la zona con libertad de movimiento.

²⁶³ Que originan pequeñas tracciones en dicha zona. Hay que tener en cuenta que esta zona también puede desplazarse libremente, por haberle impuesto ningún tipo de condición de contorno.

²⁶⁴ Ver gráfico (76).

²⁶⁵ Que dan lugar a tracciones pequeñas.

3.5.4.1.2 Desplazamientos en "z" ²⁶⁶

6. En el modelo con la base apoyada (BA) observamos que²⁶⁷:
- u. La pared tiene poca rigidez²⁶⁸.
 - v. La zona de desplazamientos máximos²⁶⁹ se aproxima más a la parte superior de la abertura.
7. En los tres últimos modelos se puede distinguir que²⁷⁰:
- w. Las paredes son más rígidos²⁷¹.
 - x. Los desplazamientos son más homogéneos en los extremos.
 - y. Las máximas deformaciones llegan al nivel de las claves de los arcos²⁷².
8. Adicionalmente podemos indicar que:
- z. Los máximos desplazamientos se localizan en la parte central de todos los modelos.
 - aa. La pared con la base apoyada es más deformable.
 - bb. Los modelos restantes se comportan de modo similar.

²⁶⁶ Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se aproxima al rojo intenso.

²⁶⁷ Ver gráfico (77).

²⁶⁸ Es decir, más capacidad de deformación. Este comportamiento se debe a la libertad de movimiento de su base.

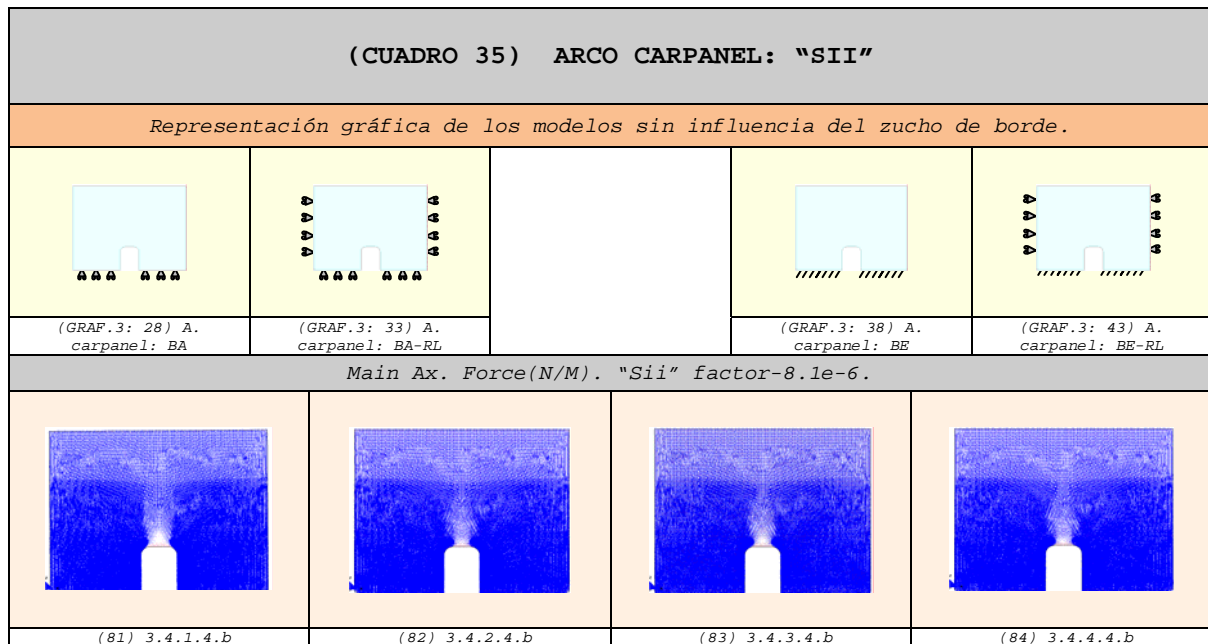
²⁶⁹ Tonos de color rojo más intensos.

²⁷⁰ Ver gráfico (78), (79) y (80).

²⁷¹ Por lo tanto menos deformables, al tener más impedidos sus movimientos.

²⁷² Aunque en menor grado que el modelo con la base apoyada.

3.5.4.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22"
(Sii) ²⁷³⁻²⁷⁴



9. En el modelo simplemente apoyado (BA) se puede apreciar²⁷⁵:

cc. En la parte recta del arco existen vectores de tracción²⁷⁶.

dd. En la parte superior de la clave del arco se producen compresiones casi imperceptibles²⁷⁷.

10. En el momento en que le imponemos restricciones laterales (BA-RL) podemos distinguir que²⁷⁸:

ee. En la parte recta del arco desaparecen parcialmente las fuerzas de tracción²⁷⁹.

ff. En la parte superior de la clave del arco se producen compresiones bajas.

11. Si la base del modelo se empotra (BE) observamos que²⁸⁰:

gg. En la parte recta del arco existen pequeñas tracciones²⁸¹.

²⁷³ Las comparaciones que se realizan en este apartado, son completamente válidas para las Fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N22".

²⁷⁴ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

²⁷⁵ Ver gráfico (81).

²⁷⁶ Los vectores de color rojo son de rango superior a los otros modelos.

²⁷⁷ Zona menos densa de vectores.

²⁷⁸ Ver gráfico (82).

²⁷⁹ Existen vectores de color rojo, aunque muy pequeños.

²⁸⁰ Ver gráfico (83).

²⁸¹ Poco concentración de los vectores de color rojo.

12. Si limitamos los movimientos de las caras laterales del modelo empotrado (BE-RL) vemos que²⁸²:

hh. La parte superior del arco se comprime considerablemente.

13. De modo general podríamos decir que:

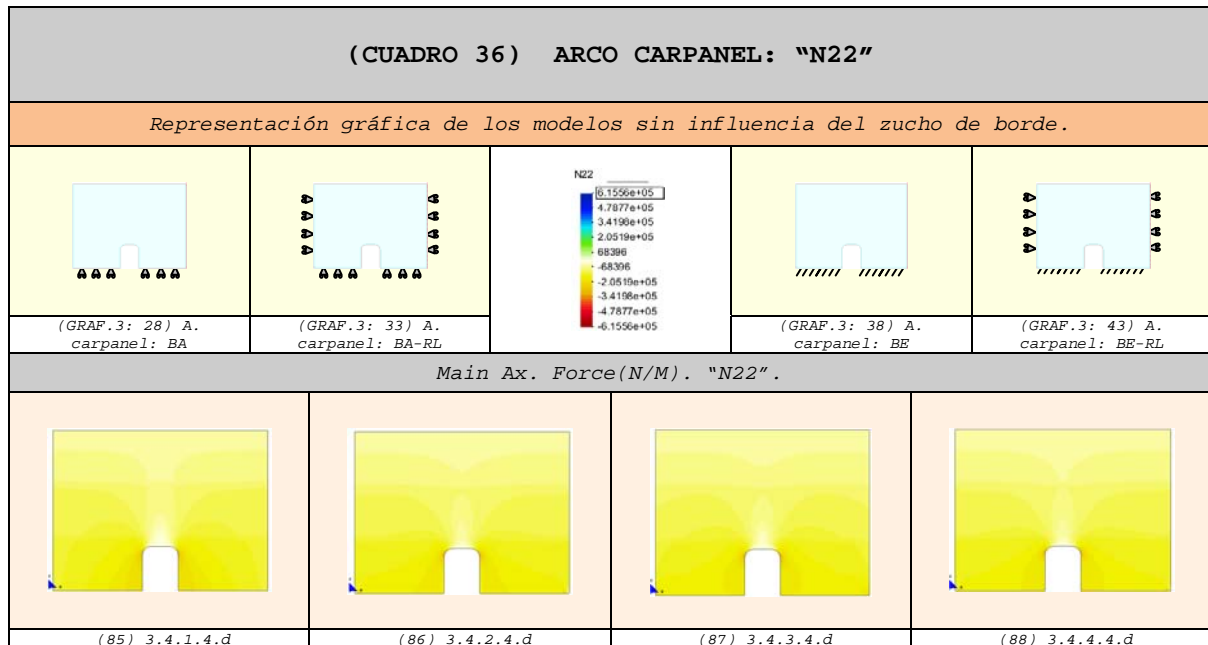
ii. Las diferencias son casi son casi imperceptibles²⁸³.

jj. El comportamiento más desfavorable se produce cuando la base está simplemente apoyada.

²⁸² Ver gráfico (84).

²⁸³ Mientras que influye considerablemente en el caso de la fuerza contraria "N11", como se aprecia en el siguiente apartado.

3.5.4.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N2"
(N22) 284-285



14. En el modelo simplemente apoyado (BA) se observa que²⁸⁶:

kk. En el inicio de la parte curva del hueco se produce una concentración de fuerzas de compresión²⁸⁷ que tienden a reducirse a medida que se aleja de ella.

ll. En la parte superior de la clave del arco se aprecian con mayor claridad las fuerzas de tracción de valores muy pequeños²⁸⁸.

15. En los tres modelos restantes podemos distinguir que²⁸⁹:

mm. En el inicio de la parte curva del hueco se produce una concentración de fuerzas de compresión²⁹⁰ que tienden a reducirse a medida que se aleja de ella.

nn. En la parte recta del arco disminuyen las fuerzas de tracción²⁹¹.

²⁸⁴ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del apartado anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las Fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados.

²⁸⁵ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

²⁸⁶ Ver gráfico (85).

²⁸⁷ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

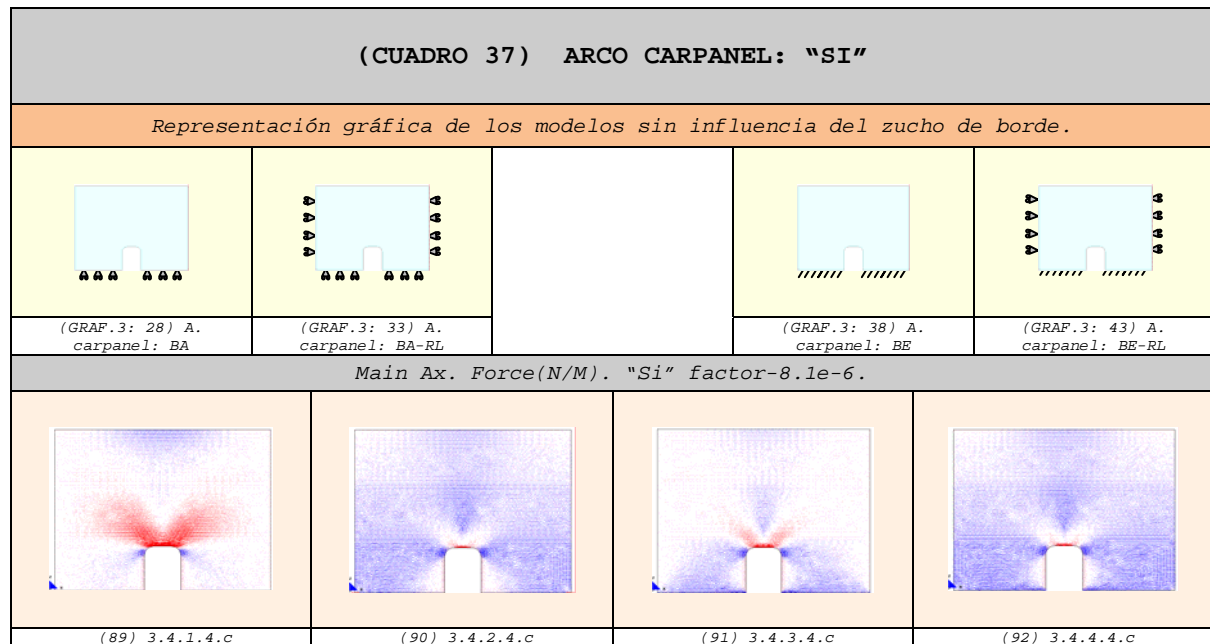
²⁸⁸ Zona reducida de colores fríos.

²⁸⁹ Ver gráfico (86), (87) y (88).

²⁹⁰ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

²⁹¹ No existen zonas de colores fríos.

3.5.4.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11"
(Sii) ²⁹²⁻²⁹³



16. En el caso del modelo con la base apoyada (BA) apreciamos que²⁹⁴:

- oo. En la línea de la parte superior del arco se concentran²⁹⁵ fuerzas de tracción²⁹⁶, las mismas que tienden a reducirse a medida que se aproximan a los extremos.
- pp. En el inicio de la parte curva del hueco se concentran fuerzas de compresión y tienden a reducir a medida que se alejan de ella.

17. Si al modelo apoyado le imponemos restricciones laterales (BA-RL) se observa que²⁹⁷:

- qq. En la línea de la parte superior del arco disminuyen considerablemente las tracciones²⁹⁸, aunque no llegan a desaparecer por completo.
- rr. En las partes laterales del hueco aparecen unas pequeñas fuerzas de tracción²⁹⁹.
- ss. En el inicio de la parte curva del hueco se intensifican las fuerzas de compresión.

²⁹² Las comparaciones que se realizan en este apartado, son completamente válidas para las Fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N11".

²⁹³ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

²⁹⁴ Ver gráfico (89).

²⁹⁵ En el gráfico de los vectores: zona roja.

²⁹⁶ Estos esfuerzos tienen lugar cuando los lados de la base de la abertura se separan por efecto de la deformación de la pieza. Cabe indicar que las tracciones que aparecen son pequeñas, en comparación con las compresiones en la otra dirección "SII".

²⁹⁷ Ver gráfico (90).

²⁹⁸ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

²⁹⁹ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

- tt. La pared está prácticamente comprimida en su totalidad³⁰⁰.
- 18.** Cuando la base está empotrada (BE) se aprecia que³⁰¹:
- uu. En la línea de la parte superior del arco se concentran pequeñas fuerzas de tracción³⁰².
- vv. En la zona alejada de la parte superior del arco existen pequeñas fuerzas de tracción.
- ww. En las caras laterales del hueco aparecen pequeñas fuerzas de tracción³⁰³.
- xx. En el inicio de la parte curva del hueco se intensifican las fuerzas de compresión.
- yy. Las zonas de compresión de la base aumentan considerablemente³⁰⁴.
- 19.** Si al modelo empotrado le imponemos restricciones laterales (BE-RL) se observa que³⁰⁵:
- zz. En la línea de la parte superior del arco disminuyen considerablemente las tracciones³⁰⁶, aunque no llegan a desaparecer por completo.
- aaa. En las partes laterales del hueco no llegan a desaparecer las pequeñas fuerzas de tracción existentes³⁰⁷.
- bbb. En el inicio de la parte curva del hueco se intensifican las fuerzas de compresión.
- ccc. Las zonas de compresión de la base aumentan considerablemente.
- ddd. La pared está prácticamente comprimida en su totalidad.
- 20.** De modo general podríamos decir que:
- eee. Las fuerzas de compresión se concentran en el inicio de la parte curva de los huecos.
- fff. Las fuerzas de tracción se concentran en la parte recta superior de los arcos.
- ggg. La pared con la base simplemente apoyada es más desfavorable.
- hhh. Si lo restringimos lateralmente el comportamiento mejora considerablemente.

³⁰⁰ La pared contiene vectores de color azul prácticamente en toda la superficie.

³⁰¹ Ver gráfico (91).

³⁰² Aunque menores en comparación con los del modelo simplemente apoyado.

³⁰³ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

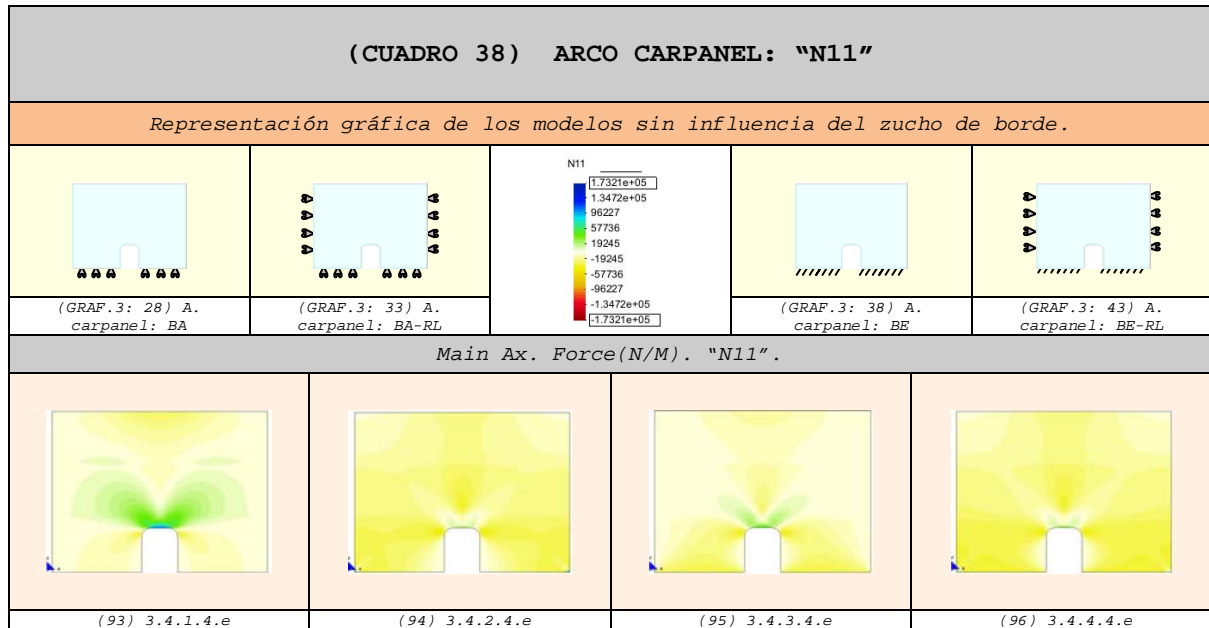
³⁰⁴ Al estar limitados por completo los desplazamientos en la base. Se observa que el modelo contiene prácticamente vectores de color azul.

³⁰⁵ Ver gráfico (92).

³⁰⁶ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

³⁰⁷ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

3.5.4.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11"
(N11) 308-309



21. En el caso del modelo con la base apoyada (BA) podemos apreciar que³¹⁰:

- iii. En la línea de la parte superior del arco se concentran³¹¹ fuerzas de tracción³¹², las mismas que tienden a reducirse a medida que se aproximan a los extremos.
- jjj. En el inicio de la parte curva de los huecos se concentran las fuerzas de compresión³¹³.

22. En los modelos con restricciones laterales se observa que³¹⁴:

- kkk. En la línea de la parte superior del arco disminuyen notoriamente las tracciones³¹⁵, aunque no llegan a desaparecer.

23. Cuando la base está empotrada (BE) se nota que³¹⁶:

- lll. En la zona más próxima a la clave del arco se concentran pequeñas fuerzas de tracción³¹⁷.
- mmm. Las zonas de compresión aumentan considerablemente.

³⁰⁸ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos en el anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las Fuerzas "Nxx-Nx'" de los diferentes modelos desarrollados.

³⁰⁹ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

³¹⁰ Ver gráfico (93).

³¹¹ Zona con tonalidades de color verde.

³¹² Estos esfuerzos tienen lugar cuando los lados de la base de la abertura se separan por efecto de la deformación de la pieza.

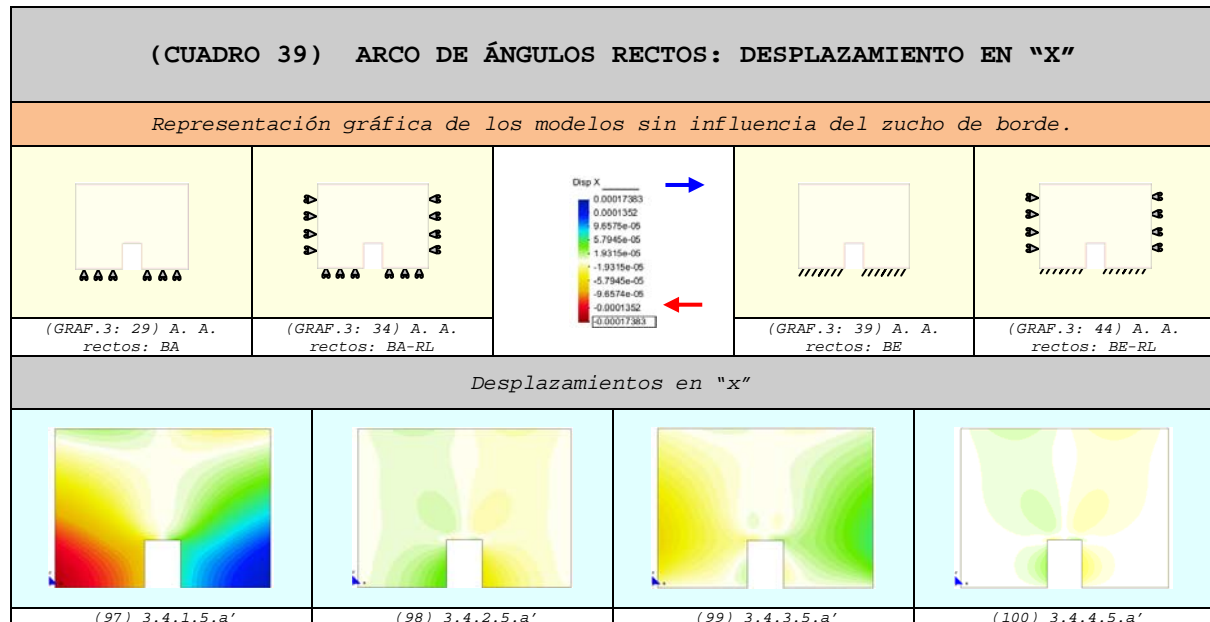
³¹³ Concentración de gama de colores cálidos.

³¹⁴ Ver gráfico (94) y (96).

³¹⁵ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

³¹⁶ Ver gráfico (95).

³¹⁷ Con mucha diferencia en relación con los del modelo simplemente apoyado; comparar gráficos (69) con (71).

3.5.5 Hueco con arco de ángulos rectos3.5.5.1 Comparación de los desplazamientos3.5.5.1.1 Desplazamientos en "x" ³¹⁸

1. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que³¹⁹:
 - a. Los desplazamientos laterales son superiores³²⁰.
 - b. Las máximas deformaciones se localizan en los extremos externos de la base y disminuyen considerablemente cuando se aproximan a la abertura³²¹⁻³²².
 - c. La base del hueco es más rígida³²³, por ello los desplazamientos son menores.
 - d. La pared se dilata libremente en ambos extremos³²⁴.
 - e. En la clave del arco no se produce una concentración de desplazamientos³²⁵.

2. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales impuestas (BA-RL) se aprecia que³²⁶:

³¹⁸ Los desplazamientos hacia el lado derecho se representan con la gama de colores fríos (verde-azul) y los desplazamientos hacia el lado izquierdo con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo).

³¹⁹ Ver gráfico (97).

³²⁰ En comparación con los otros modelos.

³²¹ Es decir, en los extremos internos de la base.

³²² Dado el mayor grado de rigidez que le aporta la forma.

³²³ Por estar constituida por aristas con ángulos de 90°, dando como resultado ser más complicado abrir el hueco.

³²⁴ Por un lado, por la falta de restricciones laterales y por otro, por la existencia del efecto de Poisson (que origina la deformación en todos los sentidos del modelo donde no se aplique la carga).

³²⁵ A diferencia de los modelos restantes.

³²⁶ Ver gráfico (98).

- f. Los desplazamientos en las caras laterales del modelo se anulan, mientras que en la base tienden a disminuir considerablemente.
- g. La mayor concentración de desplazamientos se sitúa en la parte inferior del hueco y en menor grado en la clave del arco.
- h. La zona libre para deformarse se localizará en la parte inferior del hueco y en menor grado en la clave del arco.
- i. Las deformaciones ubicadas en la clave del arco son de sentido contrario (← →)³²⁷, dando lugar a tracciones muy pequeñas.
- j. El hueco tiene tendencia a cerrarse en la base³²⁸.
- 3. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que³²⁹:**
- k. En la base los desplazamientos son nulos³³⁰.
- l. Los máximos desplazamientos se producen en las partes laterales del modelo, específicamente en las zonas centrales³³¹.
- m. Los desplazamientos se van prolongando hasta llegar al arco
- n. En la parte superior del arco se desarrollan desplazamientos que estiran el material³³².
- 4. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) se aprecia que³³³:**
- o. Los desplazamientos se anulan tanto en la base como en las caras laterales del modelo.
- p. Los máximos desplazamientos se localizan en la parte superior del hueco.
- q. En la clave del arco comienzan a aparecer desplazamientos en sentido opuesto³³⁴.
- r. En la parte central de las caras laterales del hueco también se producen desplazamientos aunque muy pequeños.
- 5. De modo general podemos decir que:**
- s. La pared con la base apoyada (1) tiene un comportamiento desfavorable.
- t. El modelo con la base empotrada y restricciones laterales (4) tiene una mejor función estructural.

³²⁷ Es decir, el lado derecho se desplaza hacia la derecha y el izquierdo hacia la izquierda.

³²⁸ Esto se debe a que es más fácil cerrar un hueco cuya base está formada por aristas con ángulos de 90°.

³²⁹ Ver gráfico (99).

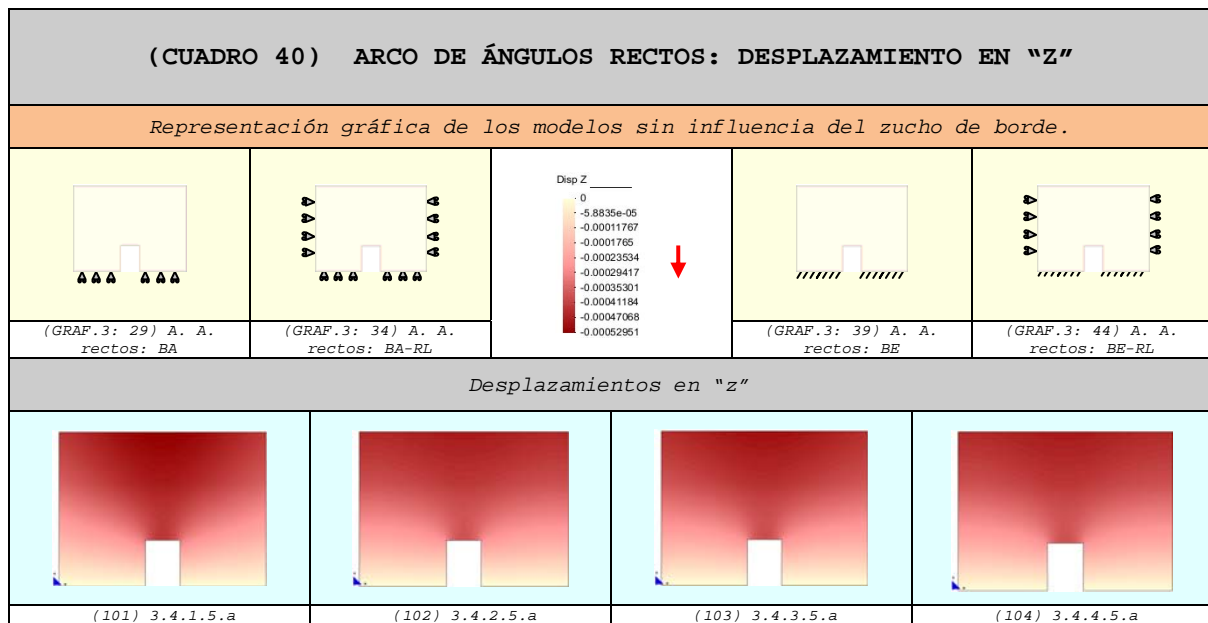
³³⁰ Debido al empotramiento que impide el desplazamiento lateral.

³³¹ Que es la zona con libertad de movimiento.

³³² Que originan pequeñas tracciones en dicha zona. Hay que tener en cuenta que esta zona también puede desplazarse libremente, por haberle impuesto ningún tipo de condición de contorno.

³³³ Ver gráfico (100).

³³⁴ Que dan lugar a tracciones pequeñas.

3.5.5.1.2 Desplazamientos en "z" ³³⁵

6. En el modelo con la base apoyada (BA) podemos observar que³³⁶:

- u. La pared tiene poca rigidez³³⁷.
- v. La zona de desplazamientos máximos³³⁸ se aproxima más a la parte superior de la abertura.

7. En los tres últimos modelos vemos que³³⁹:

- w. Las paredes son más rígidas³⁴⁰.
- x. Los desplazamientos son más homogéneos en los extremos.
- y. Las máximas deformaciones llegan al nivel de las claves de los arcos³⁴¹.

8. Adicionalmente podemos indicar que:

- z. Los máximos desplazamientos se localizan en la parte central de todos los modelos.
- aa. La pared con la base apoyada es más deformable.
- bb. Los modelos restantes se comportan de modo similar.

³³⁵ Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se aproxima al rojo intenso.

³³⁶ Ver gráfico (101).

³³⁷ Es decir, más capacidad de deformación. Este comportamiento se debe a la libertad de movimiento de su base.

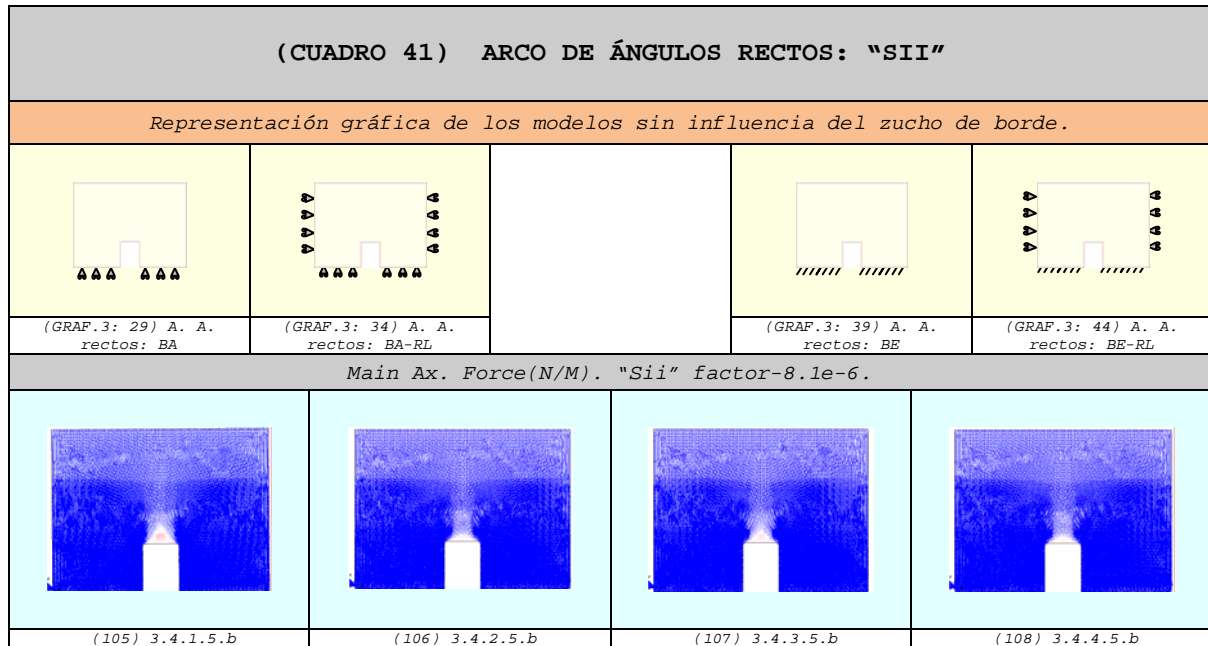
³³⁸ Tonos de color rojo más intensos.

³³⁹ Ver gráfico (102), (103) y (104).

³⁴⁰ Por lo tanto menos deformables, al tener más impedidos sus movimientos.

³⁴¹ Aunque en menor grado que el modelo con la base apoyada.

3.5.5.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22"
(Sii) ³⁴²⁻³⁴³



9. En el modelo simplemente apoyado (BA) se puede apreciar³⁴⁴:

cc. En la parte recta del arco existen vectores de tracción³⁴⁵.

dd. En la parte superior de la clave del arco se producen compresiones casi imperceptibles³⁴⁶.

10. En el momento en que le imponemos restricciones laterales (BA-RL) podemos distinguir que³⁴⁷:

ee. En la parte recta del arco desaparecen parcialmente las fuerzas de tracción³⁴⁸.

ff. En la parte superior de la clave del arco se producen compresiones bajas.

11. Si la base del modelo se empotra (BE) observamos que³⁴⁹:

gg. En la parte recta del arco existen pequeñas tracciones³⁵⁰.

³⁴² Las comparaciones que se realizan en este apartado, son completamente válidas para las Fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N22".

³⁴³ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

³⁴⁴ Ver gráfico (105).

³⁴⁵ Los vectores de color rojo son de rango superior a los otros modelos.

³⁴⁶ Zona menos densa de vectores.

³⁴⁷ Ver gráfico (106).

³⁴⁸ Existen vectores de color rojo, aunque muy pequeños.

³⁴⁹ Ver gráfico (107).

³⁵⁰ Poco concentración de los vectores de color rojo.

12. Si limitamos los movimientos de las caras laterales del modelo empotrado (BE-RL) vemos que³⁵¹:

hh. La parte superior del arco se comprime considerablemente.

13. De modo general podríamos decir que:

ii. Las diferencias son casi imperceptibles³⁵².

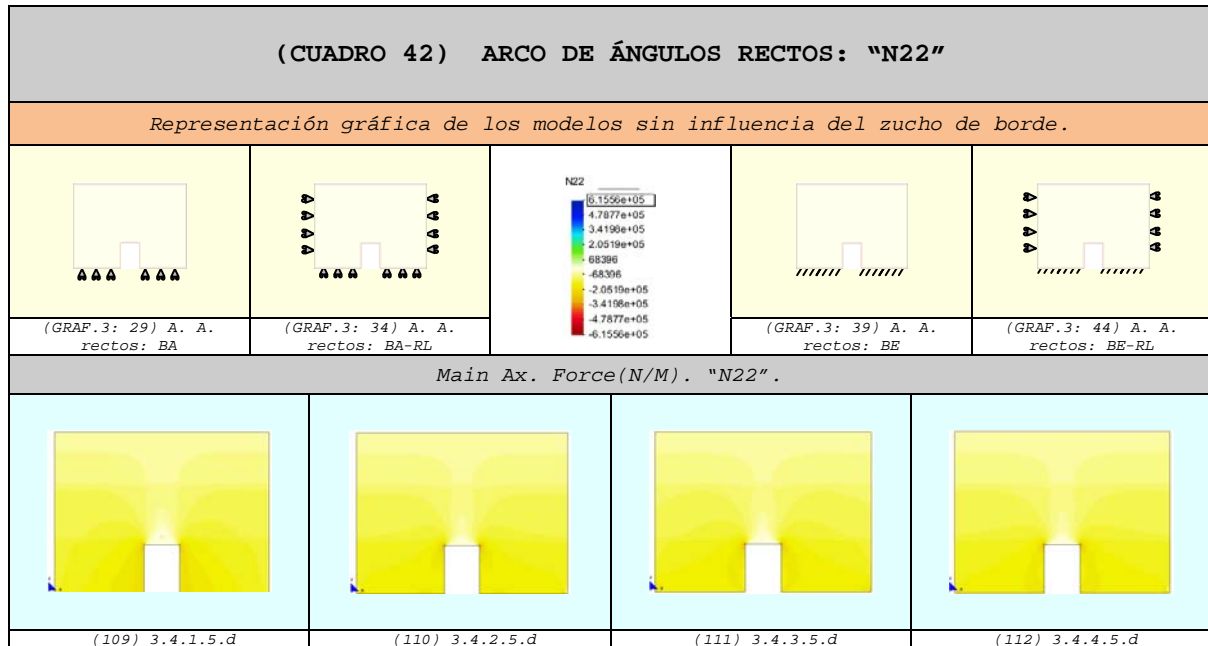
jj. La formación de arcos de descarga se aprecia con más claridad.

kk. El comportamiento más desfavorable se produce cuando la base está simplemente apoyada.

³⁵¹ Ver gráfico (108).

³⁵² Mientras que influye considerablemente en el caso de la fuerza contraria "N11", como se aprecia en el siguiente apartado.

3.5.5.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N22"
(N22) 353-354



14. En el modelo simplemente apoyado (BA) se observa que³⁵⁵:
- ll. En el inicio de la parte curva del hueco se produce una concentración de fuerzas de compresión³⁵⁶ que tienden a reducirse a medida que se aleja de ella.
 - mm. En la parte superior de la clave del arco se aprecian con mayor claridad las fuerzas de tracción de valores muy pequeños³⁵⁷.
15. En los tres modelos restantes podemos distinguir que³⁵⁸:
- nn. En el inicio de la parte curva del hueco se produce una concentración de fuerzas de compresión³⁵⁹ que tienden a reducirse a medida que se aleja de ella.
 - oo. En la parte recta del arco disminuyen las fuerzas de tracción³⁶⁰.

³⁵³ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del apartado anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las Fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados.

³⁵⁴ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

³⁵⁵ Ver gráfico (109).

³⁵⁶ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

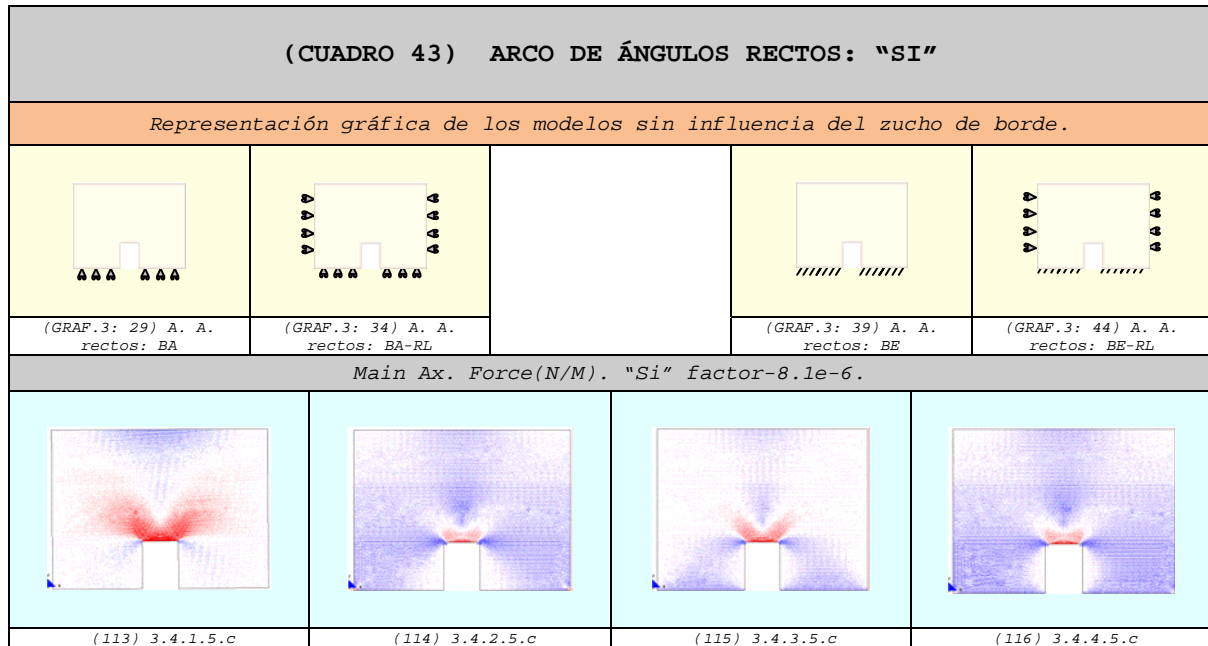
³⁵⁷ Zona reducida de colores fríos.

³⁵⁸ Ver gráfico (110), (111) y (112).

³⁵⁹ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

³⁶⁰ No existen zonas de colores fríos.

3.5.5.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Sii) ³⁶¹⁻³⁶²



16. En el caso del modelo con la base apoyada (BA) apreciamos que³⁶³:

- pp. En la línea de la parte superior del arco se concentran³⁶⁴ fuerzas de tracción³⁶⁵, las mismas que tienden a reducirse a medida que se aproximan a los extremos.
- qq. En el inicio de la parte curva del hueco se concentran fuerzas de compresión³⁶⁶ y tienden a reducir a medida que se alejan de ella.

17. Si al modelo apoyado le imponemos restricciones laterales (BA-RL) se observa que³⁶⁷:

- rr. En la línea de la parte superior del arco disminuyen considerablemente las tracciones³⁶⁸, aunque no llegan a desaparecer por completo.
- ss. En las partes laterales del hueco aparecen unas pequeñas fuerzas de tracción³⁶⁹.
- tt. En el inicio de la parte curva del hueco se intensifican las fuerzas de compresión³⁷⁰.

³⁶¹ Las comparaciones que se realizan en este apartado, son completamente válidas para las Fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N11".

³⁶² Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

³⁶³ Ver gráfico (113).

³⁶⁴ En el gráfico de los vectores: zona roja. La zona que abarca es más grande que los otros tipos de arcos.

³⁶⁵ Estos esfuerzos tienen lugar cuando los lados de la base de la abertura se separan por efecto de la deformación de la pieza. Cabe indicar que las tracciones que aparecen son pequeñas, en comparación con las compresiones en la otra dirección "SII".

³⁶⁶ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

³⁶⁷ Ver gráfico (114).

³⁶⁸ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

³⁶⁹ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

- uu. La pared está prácticamente comprimida en su totalidad³⁷¹.
- 18.** Cuando la base está empotrada (BE) se aprecia que³⁷²:
- vv. En la línea de la parte superior del arco se concentran pequeñas fuerzas de tracción³⁷³.
- ww. En la zona alejada de la parte superior del arco existen pequeñas fuerzas de tracción.
- xx. En las caras laterales del hueco aparecen pequeñas fuerzas de tracción³⁷⁴.
- yy. En el inicio de la parte curva del hueco se intensifican las fuerzas de compresión.
- zz. Las zonas de compresión de la base aumentan considerablemente³⁷⁵.

19. Si al modelo empotrado le imponemos restricciones laterales (BE-RL) se observa que³⁷⁶:

- aaa. En la línea de la parte superior del arco disminuyen considerablemente las tracciones³⁷⁷, aunque no llegan a desaparecer por completo.
- bbb. En las partes laterales del hueco no llegan a desaparecer las pequeñas fuerzas de tracción existentes³⁷⁸.
- ccc. En el inicio de la parte curva del hueco se intensifican las fuerzas de compresión.
- ddd. Las zonas de compresión de la base aumentan considerablemente.
- eee. La pared está prácticamente comprimida en su totalidad.

20. De modo general podríamos decir que:

- fff. Las fuerzas de compresión se concentran en el inicio de la parte curva de los huecos.
- ggg. Las fuerzas de tracción se concentran en la parte recta superior de los arcos.
- hhh. La pared con la base simplemente apoyada es más desfavorable.
- iii. Si lo restringimos lateralmente el comportamiento mejora considerablemente.

³⁷⁰ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

³⁷¹ La pared contiene vectores de color azul prácticamente en toda la superficie.

³⁷² Ver gráfico (115).

³⁷³ Aunque menores en comparación con los del modelo simplemente apoyado.

³⁷⁴ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

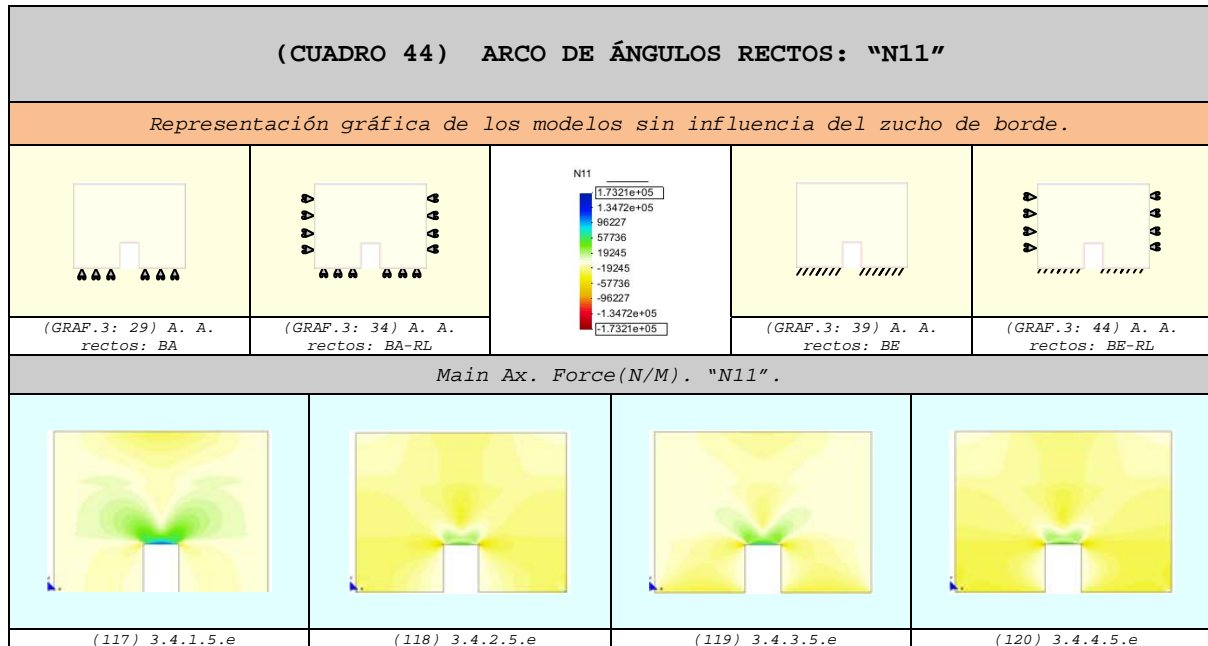
³⁷⁵ Al estar limitados por completo los desplazamientos en la base. Se observa que el modelo contiene prácticamente vectores de color azul.

³⁷⁶ Ver gráfico (116).

³⁷⁷ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

³⁷⁸ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

3.5.5.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N1" (N11) 379-380



21. En el caso del modelo con la base apoyada (BA) vemos que³⁸¹:

jjj. En la línea de la parte superior del arco se concentran³⁸² fuerzas de tracción³⁸³, las mismas que tienden a reducirse a medida que se aproximan a los extremos.

kkk. En el inicio de la parte curva de los huecos se concentran las fuerzas de compresión.

22. En los modelos con restricciones laterales se observa que³⁸⁴:

lll. En la línea de la parte superior del arco disminuyen notoriamente las tracciones³⁸⁵, aunque no llegan a desaparecer.

23. Cuando la base está empotrada (BE) se puede apreciar que³⁸⁶:

mmm. En la zona más próxima a la clave del arco se concentran pequeñas fuerzas de tracción³⁸⁷.

nnn. Las zonas de compresión aumentan considerablemente.

³⁷⁹ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos en el anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las Fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados.

³⁸⁰ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

³⁸¹ Ver gráfico (117).

³⁸² Zona con tonalidades de color verde.

³⁸³ Estos esfuerzos tienen lugar cuando los lados de la base de la abertura se separan por efecto de la deformación de la pieza.

³⁸⁴ Ver gráfico (118) y (120).

³⁸⁵ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

³⁸⁶ Ver gráfico (119).

³⁸⁷ Con mucha diferencia en relación con los del modelo simplemente apoyado; comparar gráficos (69) con (71).

MJIG

CAPÍTULO-3

- 1.- ASPECTOS GENERALES
- 2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS
- 3.- PRESENTACIÓN DE UN MODELO INTRODUCTORIO
- 4.- ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE ARCOS
- 5.- INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS SIN ZUNCHO
- 6.- INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN LOS MODELOS SIN ZUNCHO**
- 7.- CONCLUSIONES

MIIG

3.6 INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN LOS MODELOS SIN ZUNCHO

- 1.- MODELO CON LA BASE APOYADA
- 2.- MODELO CON LA BASE APOYADA Y
RESTRICCIÓN LATERAL
- 3.- MODELO CON LA BASE EMPOTRADA
- 4.- MODELO CON LA BASE EMPOTRADA Y
RESTRICCIÓN LATERAL

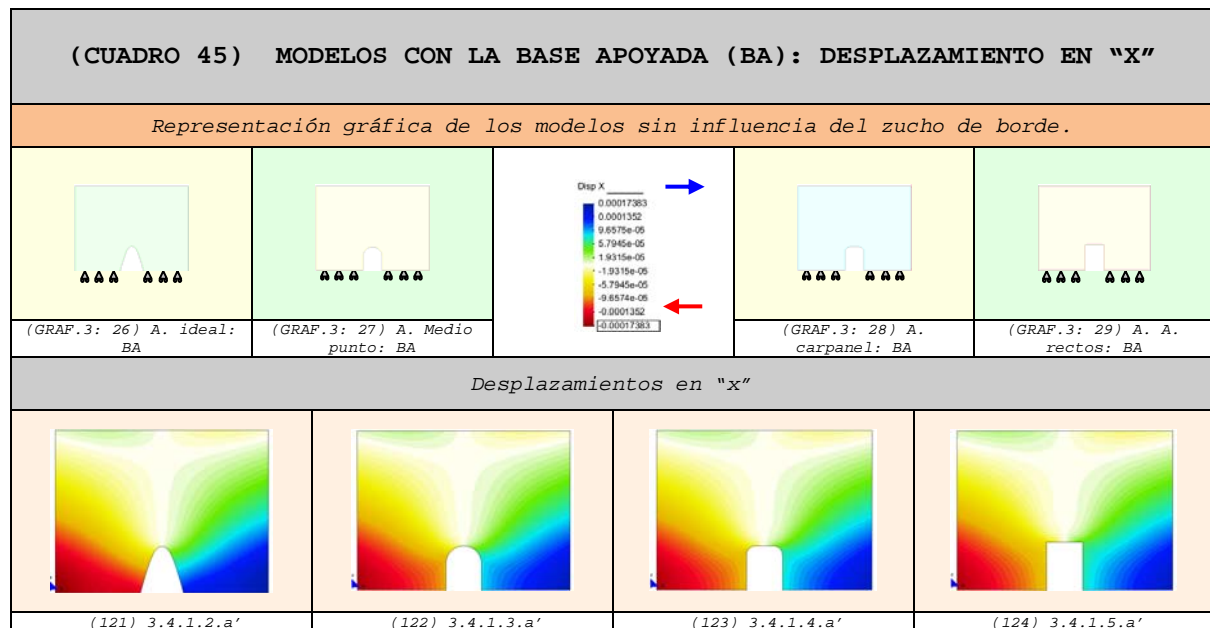
3.6 INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN LOS MODELOS SIN ZUNCHO

A partir de diferentes condiciones de contorno vamos a determinar en qué situación la pared presenta el mejor comportamiento a nivel estructural³⁸⁸.

3.6.1 Modelo con la base apoyada

3.6.1.1 Comparación de los desplazamientos

3.6.1.1.1 Desplazamientos en "x"³⁸⁹



1. En el modelo con el arco ideal se puede observar que³⁹⁰:

- De modo general son superiores los desplazamientos laterales.
- En la parte inferior de las caras laterales del hueco se concentran mayores deformaciones³⁹¹.
- La pared es más deformable.

2. En el caso del modelo con el arco de medio punto se aprecia que³⁹²:

- Los desplazamientos laterales son menores en comparación con los del modelo anterior.
- En la parte inferior de las caras laterales del hueco se comienzan a reducir los desplazamientos.

³⁸⁸ En este apartado se realizan las comparaciones incluyendo únicamente el arco ideal y se deja de lado el arco ojival. Esta selección responde a dos aspectos esenciales: la similitud del comportamiento entre ambos arcos (como se pudo observar en el apartado anterior) y la utilidad del arco ideal en obras reales en comparación con el arco ojival (que en la actualidad está en desuso).

³⁸⁹ Los desplazamientos hacia el lado derecho se representan con la gama de colores fríos (verde-azul) y los desplazamientos hacia el lado izquierdo con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo).

³⁹⁰ Ver gráfico (121).

³⁹¹ En comparación con los modelos restantes. En esta zona se concentran gamas de colores más intensos en comparación con los otros modelos en los cuales los colores son más claros.

³⁹² Ver gráfico (122).

- f. La pared es mucho menos deformable³⁹³.
3. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que³⁹⁴:
- g. Los desplazamientos laterales son menores en comparación con los del modelo anterior.
- h. En la parte inferior de las caras laterales del hueco es más notoria la reducción de las deformaciones.
- i. La pared es mucho menos deformable.
4. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que³⁹⁵:
- j. De modo general, los desplazamientos laterales disminuyen.
- k. En la parte inferior de las caras laterales del hueco disminuyen considerablemente las deformaciones.
- l. La pared es mucho menos deformable.
5. De modo general podemos decir que:
- m. Los desplazamientos son bastante parecidos³⁹⁶.
- n. La concentración de desplazamientos se localiza en los extremos externos de la base.
- o. Mientras más plana sea la clave del arco, menores serán los desplazamientos localizados en las caras laterales del hueco.
- p. En los tres últimos modelos³⁹⁷ se observa como poco a poco se van reduciendo los desplazamientos en las caras laterales de los huecos.
- q. En la parte superior de la pared³⁹⁸ se invierte³⁹⁹ el sentido de los desplazamientos.
- r. El arco ideal es el que presenta el comportamiento más desfavorable⁴⁰⁰.
- s. La pared con el arco de ángulos rectos tiene el mejor comportamiento⁴⁰¹.

³⁹³ Al formar 90° con la base.

³⁹⁴ Ver gráfico (123).

³⁹⁵ Ver gráfico (124).

³⁹⁶ Aunque un poco mayores en el modelo con el arco ideal.

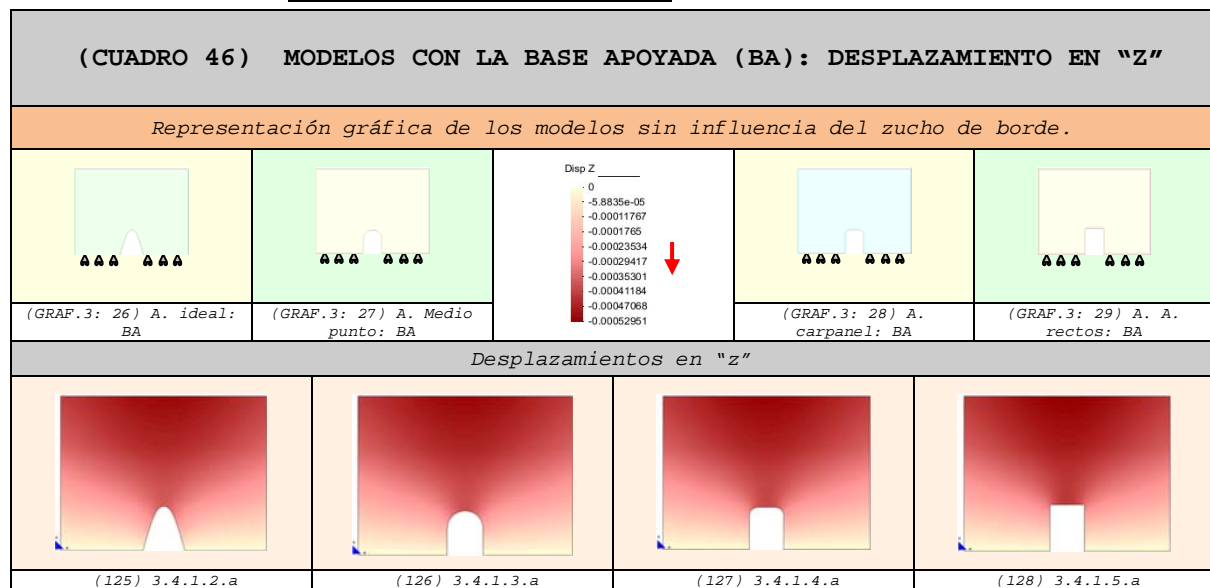
³⁹⁷ Que tienen en común que las bases de los arcos forman ángulos de 90°.

³⁹⁸ A la altura del último forjado.

³⁹⁹ Es decir, en vez de abrirse, como ocurre en la base, se une. Esto es real ya que al deformar la pieza en esta zona, se comprime.

⁴⁰⁰ Esto es razonable ya que el arco ideal forma con la base un ángulo mayor a 90°, lo cual es más fácil de abrir.

⁴⁰¹ Por ser una forma más rígida.

3.6.1.1.2 Desplazamientos en "z"⁴⁰²

6. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁴⁰³:
 - t. Los desplazamientos que se localizan en la parte superior del arco son inferiores.
7. En el caso del modelo con el arco de medio punto vemos que⁴⁰⁴:
 - u. En la parte superior del arco se comienzan a intensificar las deformaciones.
8. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁴⁰⁵:
 - v. En la parte superior del arco se intensifican las deformaciones.
9. En el modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁴⁰⁶:
 - w. En la parte superior del arco es más notorio el crecimiento de los desplazamientos.
 - x. La concentración de las deformaciones abarca toda la longitud de la línea superior del arco
10. Adicionalmente podemos indicar que:
 - y. Mientras más plano es el arco, las máximas deformaciones cubren más parte de la clave del mismo y aumenta de intensidad.
 - z. Los máximos desplazamientos⁴⁰⁷ se localizan en la parte central.
 - aa. Los desplazamientos descienden hasta la clave de los arcos.

⁴⁰² Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se aproxima al rojo intenso.

⁴⁰³ Ver gráfico (125).

⁴⁰⁴ Ver gráfico (126).

⁴⁰⁵ Ver gráfico (127).

⁴⁰⁶ Ver gráfico (128).

⁴⁰⁷ En el modelo con el hueco de ángulos rectos los desplazamientos son mayores.

3.6.1.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii)⁴⁰⁸⁻⁴⁰⁹

(CUADRO 47) MODELOS CON LA BASE APOYADA (BA): "SII"				
Representación gráfica de los modelos sin influencia del zucho de borde.				
(GRAF.3: 26) A. ideal: BA	(GRAF.3: 27) A. Medio punto: BA	(GRAF.3: 28) A. carpanel: BA	(GRAF.3: 29) A. A. rectos: BA	
Main Ax. Force(N/M). "Sii" factor-8.1e-6.				
(129) 3.4.1.2.b	(130) 3.4.1.3.b	(131) 3.4.1.4.b	(132) 3.4.1.5.b	

11. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁴¹⁰⁻⁴¹¹:

- bb. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona muy reducida del modelo.
- cc. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco son de menor intensidad.

12. En el caso del modelo con el arco de medio punto se aprecia que⁴¹²⁻⁴¹³:

- dd. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona mayor de la pared.
- ee. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco tienen una intensidad mayor.
- ff. En la clave del arco se comienza a distinguir la formación del arco de descarga.

13. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁴¹⁴⁻⁴¹⁵:

⁴⁰⁸ Las comparaciones que se realizan en este apartado, son completamente válidas para las Fuerzas "Nyy-Ny'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N22".

⁴⁰⁹ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁴¹⁰ Ver gráfico (129).

⁴¹¹ En consideración con los modelos restantes: de medio punto, carpanel y de ángulos rectos.

⁴¹² Ver gráfico (130).

⁴¹³ En consideración con el caso anterior: arco ideal.

⁴¹⁴ Ver gráfico (131).

- gg. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia del elemento.
- hh. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco van subiendo de intensidad.
- ii. La formación del arco de descarga⁴¹⁶ se aprecia con más claridad.

14. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁴¹⁷⁻⁴¹⁸:

- jj. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia del elemento.
- kk. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco son de mayor intensidad.
- ll. La formación del arco de descarga⁴¹⁹ es muy clara.

15. De modo general podríamos decir que:

- mm. Cuando el hueco forma ángulos de 90° con la base las máximas compresiones se localizan en la parte superior lateral de las aberturas, e incluso se intensifican.
- nn. La parte superior del arco se descomprime, teniendo lugar la desviación de las cargas a las partes laterales de los huecos⁴²⁰.
- oo. Esta zona descomprimida aumenta en la medida que el arco pierde curvatura.
- pp. La zona descomprimida representa la formación del arco de descarga.
- qq. A medida que la clave del arco va perdiendo curvatura, el arco de descarga⁴²¹ se va formando con mayor claridad.
- rr. En la clave del arco se produce una concentración de vectores de tracción.
- ss. El arco ideal es el que presenta el mejor comportamiento.
- tt. El arco de ángulos rectos es aquel que tiene el comportamiento más desfavorable.

⁴¹⁵ En comparación con los casos anteriores: arco ideal y de medio punto.

⁴¹⁶ Zona blanca localizada en la parte alta del hueco. Se observa que el triángulo no ocupa el total de la clave.

⁴¹⁷ Ver gráfico (132).

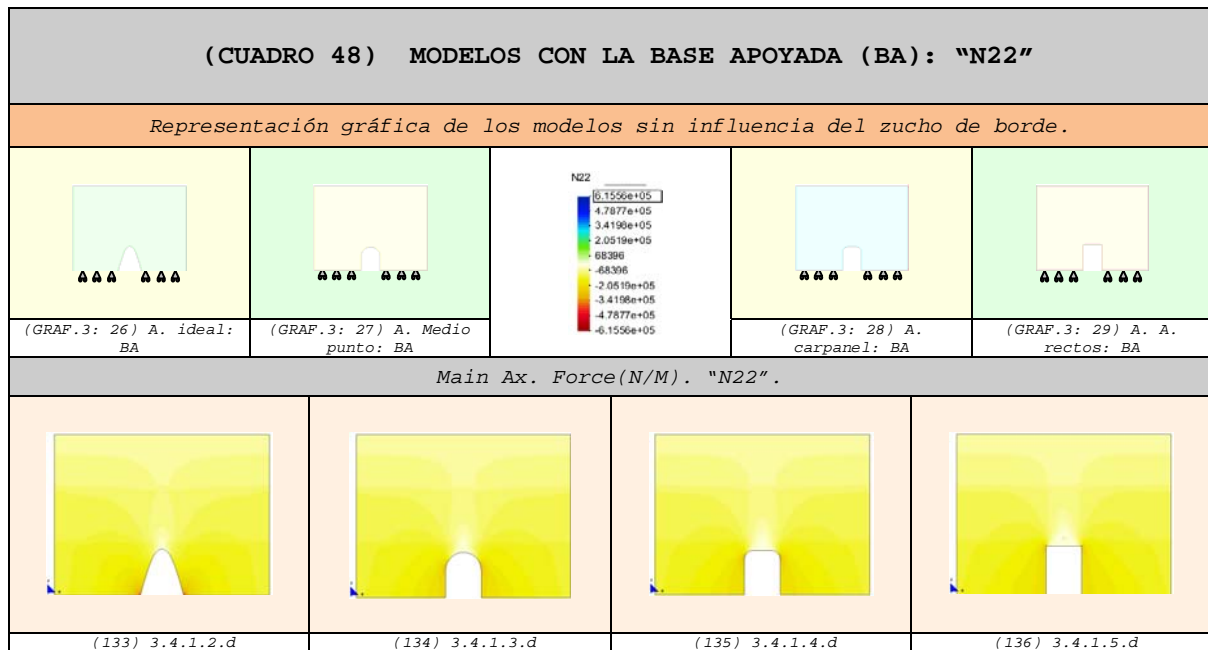
⁴¹⁸ En comparación con los casos anteriores: arco ideal, de medio punto y carpanel.

⁴¹⁹ Zona blanca localizada en la parte alta del hueco. Además, forma un triángulo perfecto cuya base abarca el total de la clave del arco de ángulos rectos.

⁴²⁰ En menor medida en el arco carpanel y mayor en el arco de ángulos rectos.

⁴²¹ Se puede observar mejor en el último de los arcos (el de ángulos rectos).

3.6.1.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N22" (N22) 422-423



16. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁴²⁴⁻⁴²⁵:

- uu. La intensidad de la fuerzas de compresión son superiores.
- vv. Las máximas fuerzas de compresión se localizan en la base del arco

17. En el modelo con el arco de medio punto se aprecia que⁴²⁶:

- ww. Las máximas zonas comprimidas se sitúan en los lados superiores del hueco.

18. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁴²⁷:

- xx. Las máximas zonas comprimidas se sitúan en los lados superiores del hueco.

19. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁴²⁸:

- yy. Las máximas zonas comprimidas se sitúan en los lados superiores del hueco.
- zz. En la zona de máximas compresiones⁴²⁹ se colocan dados de hormigón⁴³⁰.

⁴²² En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del apartado anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las Fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados.

⁴²³ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁴²⁴ Ver gráfico (133).

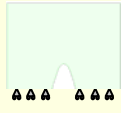

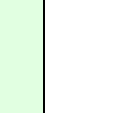
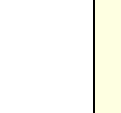
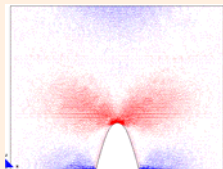
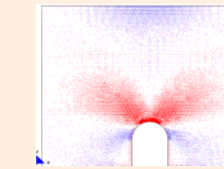
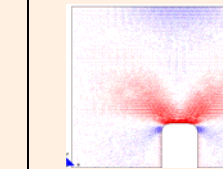
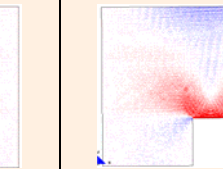
⁴²⁵ En consideración con los modelos restantes: de medio punto, carpanel y de ángulos rectos.

⁴²⁶ Ver gráfico (134).

⁴²⁷ Ver gráfico (135).

⁴²⁸ Ver gráfico (136).

3.6.1.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11"
(Sii) ⁴³¹⁻⁴³²

(CUADRO 49) MODELOS CON LA BASE APOYADA (BA): "SI"				
Representación gráfica de los modelos sin influencia del zucho de borde.				
				
(GRAF.3: 26) A. ideal: BA	(GRAF.3: 27) A. Medio punto: BA		(GRAF.3: 28) A. carpanel: BA	(GRAF.3: 29) A. A. rectos: BA
Main Ax. Force(N/M). "Si" factor-8.1e-6.				
				
(137) 3.4.1.2.c	(138) 3.4.1.3.c	(139) 3.4.1.4.c	(140) 3.4.1.5.c	

20. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁴³³⁻⁴³⁴:

- aaa. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona amplia del modelo.
- bbb. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco tienen una menor intensidad.
- ccc. Las máximas compresiones se localizan en la base del modelo y son de mayor intensidad.

21. En el caso del modelo con el arco de medio punto vemos que⁴³⁵⁻⁴³⁶:

- ddd. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona relativamente menor.
- eee. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco tienen una intensidad relativamente mayor.
- fff. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos y son de menor intensidad⁴³⁷.

22. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁴³⁸⁻⁴³⁹:

⁴²⁹ Estas fuerzas son superiores, en comparación con los dos modelos anteriores: arco de medio punto y el carpanel.

⁴³⁰ El dado de hormigón tiene la finalidad de resistir las compresiones de mayor rango de valores, esto se debe a que en muchas ocasiones estas fuerzas superan la resistencia de la fábrica.

⁴³¹ Las comparaciones que se realizan en este apartado, son completamente válidas para las Fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N11".

⁴³² Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁴³³ Ver gráfico (137).

⁴³⁴ En consideración con los modelos restantes: de medio punto, carpanel y de ángulos rectos.

⁴³⁵ Ver gráfico (138).

⁴³⁶ En consideración con el caso anterior: arco ideal.

⁴³⁷ En comparación con el arco ideal.

- ggg. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia.
- hhh. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco van subiendo de intensidad.
- iii. Las máximas compresiones situadas en los lados superiores de los huecos tienden a intensificarse⁴⁴⁰.
- 23.** En el modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia⁴⁴¹⁻⁴⁴²:
- jjj. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia del elemento.
- kkk. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco son relativamente de mayor intensidad.
- lll. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos⁴⁴³.
- mmm. La parte superior del hueco se comporta como una viga⁴⁴⁴.
- 24.** De modo general podríamos decir que:
- nnn. A medida que el arco se aplana se intensifican las fuerzas de tracción en la clave del mismo.
- ooo. Cuando el hueco forma ángulos de 90° con la base las máximas compresiones se localizan en la parte superior lateral de las aberturas, e incluso se intensifican.
- ppp. En todos los modelos hay concentración de tracciones en la parte superior de los huecos.
- qqq. En la edificación se utilizan vigas⁴⁴⁵ que sean capaces de soportar las tracciones que tienen lugar en los modelos⁴⁴⁶.
- rrr. En la parte superior de los modelos⁴⁴⁷ se desarrollan vectores de compresión.
- sss. El arco ideal es el que presenta el mejor comportamiento estructural.
- ttt. El comportamiento más desfavorable es el del arco de ángulos rectos⁴⁴⁸.

⁴³⁸ Ver gráfico (139).

⁴³⁹ En comparación con los casos anteriores: arco ideal y de medio punto.

⁴⁴⁰ Cuya intensidad es menor que el arco ideal, aunque superior a los arcos de medio punto y de ángulos rectos.

⁴⁴¹ Ver gráfico (140).

⁴⁴² En comparación con los casos anteriores: arco ideal, de medio punto y carpanel.

⁴⁴³ Y su intensidad se reduce en comparación con el arco carpanel.

⁴⁴⁴ Es decir, compresiones en la parte superior y tracciones en la parte inferior. Este comportamiento sería más notorio si el ancho del hueco fuera mayor.

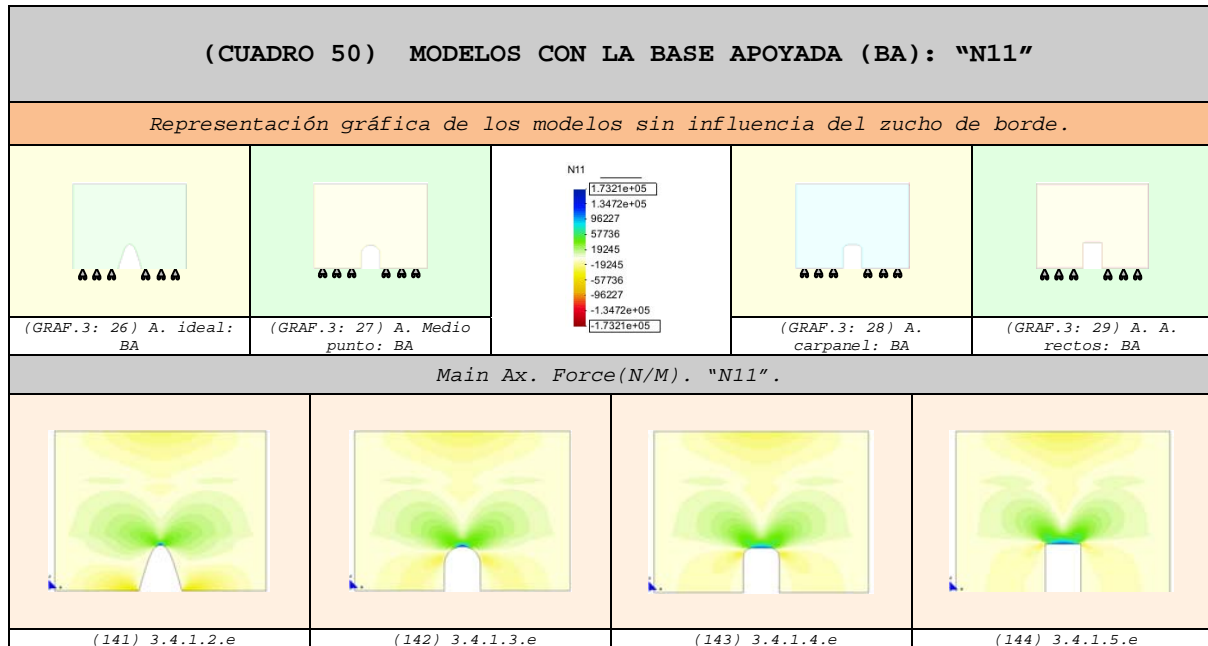
⁴⁴⁵ Las vigas pueden ser de hormigón, metal, prefabricadas, etc.

⁴⁴⁶ Evitando así que la fábrica se fisure por exceso de esfuerzos de tracción.

⁴⁴⁷ A la altura de la última planta.

⁴⁴⁸ Por ser el modelo con más tracciones.

3.6.1.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N11"
(N11) 449-450



25. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁴⁵¹:

uuu. Las máximas compresiones se localizan en la base del modelo y son de mayor intensidad.

vvv. Las tracciones que desarrolla el modelo son inferiores si se compara con los otros modelos.

26. En el modelo con el arco de medio punto se aprecia que⁴⁵²:

www. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos y son de menor intensidad.

27. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁴⁵³:

xxx. Las máximas compresiones situadas en los lados superiores de los huecos tienden a intensificarse⁴⁵⁴.

28. En el modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁴⁵⁵:

yyy. Las tracciones localizadas en la clave del arco son superiores en relación con los modelos restantes.

zzz. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos.

⁴⁴⁹ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos en el anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las Fuerzas "Nxx-Nx'" de los diferentes modelos desarrollados.

⁴⁵⁰ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁴⁵¹ Ver gráfico (141).

⁴⁵² Ver gráfico (142).

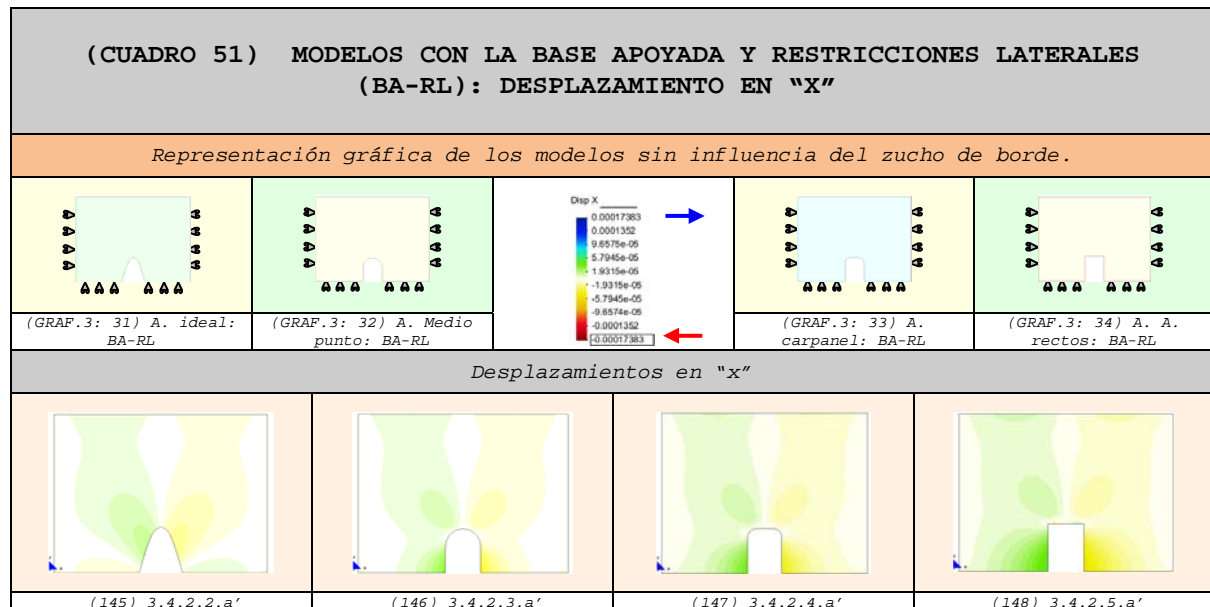
⁴⁵³ Ver gráfico (143).

⁴⁵⁴ Cuya intensidad es menor que el arco ideal, aunque superior a los arcos de medio punto y de ángulos rectos.

⁴⁵⁵ Ver gráfico (144).

3.6.2 Modelo con la base apoyada y restricción Lateral

3.6.2.1 Comparación de los desplazamientos

3.6.2.1.1 Desplazamientos en "x" ⁴⁵⁶

1. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁴⁵⁷:
 - a. Los desplazamientos laterales son inferiores⁴⁵⁸.
 - b. En la parte superior de las caras laterales del hueco se concentran mayores deformaciones.
 - c. La clave del arco tiende a cerrarse y en cambio la base tiende a abrirse.
 - d. El trazado del arco es menos deformable⁴⁵⁹.
2. En el caso del modelo con el arco de medio punto vemos que⁴⁶⁰:
 - e. Los desplazamientos laterales son superiores en comparación con los del modelo anterior.
 - f. Las máximas deformaciones se sitúan en la parte inferior de las caras laterales del hueco.
 - g. La base del hueco tiende a cerrarse, a diferencia con la clave que se abre⁴⁶¹.
 - h. La pared comienza a ser más deformable⁴⁶².

⁴⁵⁶ Los desplazamientos hacia el lado derecho se representan con la gama de colores fríos (verde-azul) y los desplazamientos hacia el lado izquierdo con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo).

⁴⁵⁷ Ver gráfico (145).

⁴⁵⁸ En comparación con los modelos restantes.

⁴⁵⁹ También al ser menos deformable, la franja de desplazamientos casi nulos es más amplia en comparación con los otros modelos.

⁴⁶⁰ Ver gráfico (146).

⁴⁶¹ La abertura de la clave del arco es menor que en el caso de los modelos con: los arcos carpanel y el de ángulos rectos.

3. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁴⁶³:
- i. Los desplazamientos laterales son superiores en comparación con los del modelo anterior.
 - j. Las máximas deformaciones se sitúan en la parte inferior de las caras laterales del hueco y de mayor intensidad.
 - k. La base del hueco tiende a cerrarse, a diferencia con la clave que se abre⁴⁶⁴.
 - l. La pared es más deformable⁴⁶⁵.
4. En el modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁴⁶⁶:
- m. Los desplazamientos laterales se aumentan considerablemente⁴⁶⁷.
 - n. En la parte inferior de las caras laterales del hueco se sitúan las máximas deformaciones.
 - o. La base del hueco tiende a cerrarse⁴⁶⁸, a diferencia con la clave que se abre⁴⁶⁹.
5. De modo general podemos decir que:
- p. Cuando el hueco forma 90° con la base: las máximas deformaciones se localizan en la base y tienden a cerrar el hueco⁴⁷⁰.
 - q. A medida que la curvatura de los arcos se aplanan se intensifican los desplazamientos tanto de la base como de la clave.
 - r. Se observa con claridad el efecto favorable del arco ideal en la pared⁴⁷¹. Notemos como en éste caso es más difícil cerrar el arco en comparación con los otros modelos; comparar gráficos (1)-(5).
 - s. La pared con el arco de ángulos rectos tiene el comportamiento más desfavorable⁴⁷².

⁴⁶² Más que el arco ideal, aunque menos que el carpanel y de ángulos rectos.

⁴⁶³ Ver gráfico (147).

⁴⁶⁴ La abertura de la clave del arco es menor que en el caso del modelo con el arco de ángulos rectos.

⁴⁶⁵ Más que los dos arcos anteriores, aunque menos que el de ángulos rectos.

⁴⁶⁶ Ver gráfico (148).

⁴⁶⁷ Más que los dos arcos anteriores.

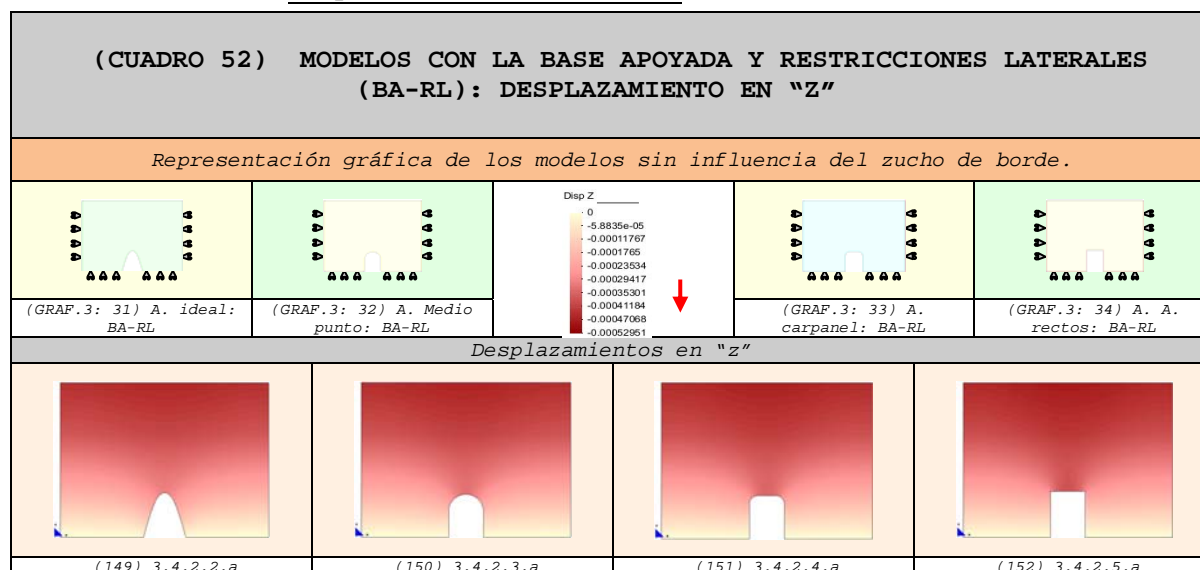
⁴⁶⁸ La abertura se cierra más en comparación con los modelos: arco de medio punto y carpanel.

⁴⁶⁹ La abertura de la clave del arco es mayor que en el caso de los modelos con: el arco de medio punto y del carpanel.

⁴⁷⁰ Ésto se debe, a que la base con ángulos rectos es fácil de cerrarse. También al ser más deformable, la franja de desplazamientos casi nulos es más delgada.

⁴⁷¹ Comparar el arco ideal (145) y el de ángulos rectos (148).

⁴⁷² Comparar el arco ideal (145) y el de ángulos rectos (148).

3.6.2.1.2 Desplazamientos en "z" ⁴⁷³

6. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁴⁷⁴:
 - t. Los desplazamientos que se localizan en la parte superior del arco son inferiores⁴⁷⁵ y no tocan la clave del arco.
7. En el modelo con el arco de medio punto se aprecia que⁴⁷⁶:
 - u. En la parte superior del arco se comienzan a intensificar las deformaciones y comienzan a descender hacia la clave del arco.
8. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁴⁷⁷:
 - v. En la parte superior del arco se intensifican las deformaciones y en toda la línea superior del hueco⁴⁷⁸⁻⁴⁷⁹.
9. En el modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁴⁸⁰:
 - w. En la parte superior del arco es más notorio el crecimiento de los desplazamientos y cubren toda la línea superior del arco
10. Adicionalmente podemos indicar que:
 - x. Los máximos desplazamientos se localizan en la parte central de los modelos⁴⁸¹.
 - y. A medida que las curvas de los arcos pierden curvatura, los desplazamientos descienden hasta la clave de los arcos, incluso pueden llegar a cubrirla por completo.

⁴⁷³ Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se aproxima al rojo intenso.

⁴⁷⁴ Ver gráfico (149).

⁴⁷⁵ En comparación con los modelos restantes.

⁴⁷⁶ Ver gráfico (150).

⁴⁷⁷ Ver gráfico (151).

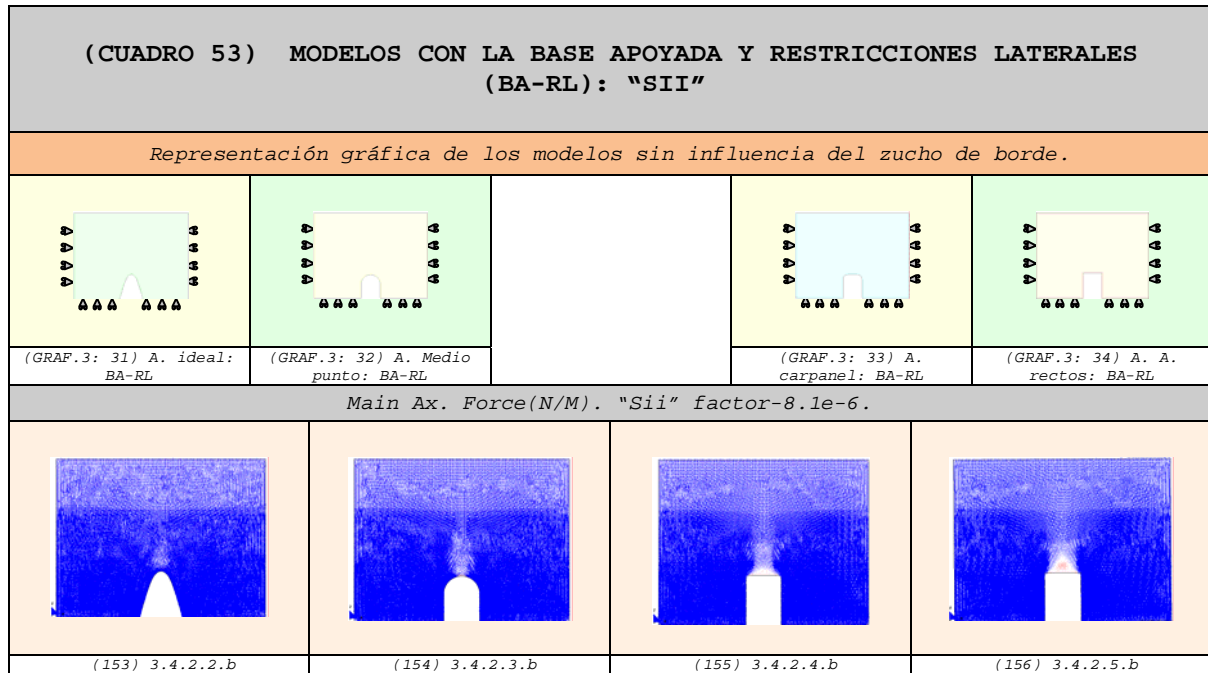
⁴⁷⁸ No tocan ninguna de las dos semi-circunferencias que forman el arco carpanel.

⁴⁷⁹ No tocan ninguna de las dos semi-circunferencias que forman el arco carpanel.

⁴⁸⁰ Ver gráfico (152).

⁴⁸¹ Siendo mayores en el modelo con el hueco de ángulos rectos.

3.6.2.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22"
(Sii) ⁴⁸²⁻⁴⁸³



11. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁴⁸⁴⁻⁴⁸⁵:

z. La pared está completamente comprimido.

12. En el caso del modelo con el arco de medio punto se aprecia que⁴⁸⁶⁻⁴⁸⁷:

aa. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona casi imperceptible.

13. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁴⁸⁸⁻⁴⁸⁹:

bb. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una pequeña zona del elemento.

cc. El arco de descarga⁴⁹⁰ se comienza a formar.

⁴⁸² Las comparaciones que se realizan en este apartado, son completamente válidas para las Fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N22".

⁴⁸³ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁴⁸⁴ Ver gráfico (153).

⁴⁸⁵ En consideración con los modelos restantes: de medio punto, carpanel y de ángulos rectos.

⁴⁸⁶ Ver gráfico (154).

⁴⁸⁷ En consideración con el caso anterior: arco ideal.

⁴⁸⁸ Ver gráfico (155).

⁴⁸⁹ En comparación con los casos anteriores: arco ideal y de medio punto.

⁴⁹⁰ Zona blanca localizada en la parte alta del hueco. Se observa que el triángulo no ocupa el total de la clave.

14. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁴⁹¹⁻⁴⁹²:

- dd. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia del elemento.
- ee. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco son de mayor intensidad.
- ff. La formación del arco de descarga⁴⁹³ es muy clara.

15. De modo general podríamos decir que:

- gg. En el momento en que se restringen los desplazamientos laterales, los modelos se comprimen considerablemente. Como resultado de ello disminuyen de modo considerable las tracciones de las paredes.
- hh. La parte superior de los arcos se descomprimen⁴⁹⁴.
- ii. Esta zona descomprimida aumenta en la medida que el arco pierde curvatura.
- jj. La zona descomprimida representa la formación del arco de descarga.
- kk. El arco de descarga se forma por completo únicamente en el arco de ángulos rectos.
- ll. En la clave del arco se produce una concentración de vectores de tracción⁴⁹⁵.
- mm. Se observa con claridad el efecto favorable del arco ideal en la pared⁴⁹⁶.
- nn. El arco de ángulos rectos es aquel que tiene el comportamiento más desfavorable⁴⁹⁷.

⁴⁹¹ Ver gráfico (156).

⁴⁹² En comparación con los casos anteriores: arco ideal, de medio punto y carpanel.

⁴⁹³ Zona blanca localizada en la parte alta del hueco. Además, forma un triángulo perfecto cuya base abarca el total de la clave del arco de ángulos rectos.

⁴⁹⁴ Las descompresiones son mayores en los arcos carpanel y de ángulos rectos, mientras que en el arco ideal y de medio punto son casi imperceptibles.

⁴⁹⁵ No se aprecian ni en el arco ideal y en el medio punto. Comienzan a ser notorios en el arco carpanel y mucho más claras en el arco de ángulos rectos.

⁴⁹⁶ Comparar el arco ideal y el de ángulos rectos: (153) con (156) y (157) con (160).

⁴⁹⁷ Comparar el arco ideal y el de ángulos rectos: (153) con (156) y (157) con (160).

3.6.2.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N2"
(N22) 498-499



16. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁵⁰⁰⁻⁵⁰¹:
- oo. La intensidad de la fuerzas de compresión son superiores
- pp. Las máximas fuerzas de compresión se localizan en la base del arco
17. En el modelo con el arco de medio punto se aprecia que⁵⁰²:
- qq. Las máximas zonas comprimidas se sitúan en los lados superiores del hueco.
18. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁵⁰³:
- rr. Las máximas zonas comprimidas se localizan en los lados superiores del hueco.
19. En el modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁵⁰⁴:
- ss. Las máximas zonas comprimidas se sitúan en los lados superiores del hueco y son de mayor intensidad.
- tt. En la zona de máximas compresiones⁵⁰⁵ se colocan dados de hormigón⁵⁰⁶.

⁴⁹⁸ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del apartado anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las Fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados.

⁴⁹⁹ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁵⁰⁰ Ver gráfico (157).

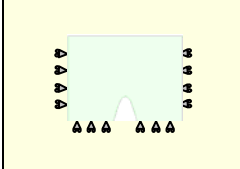
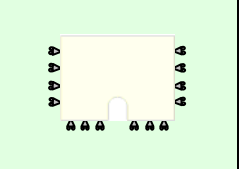

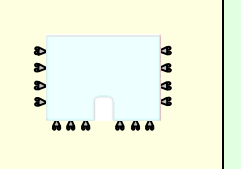
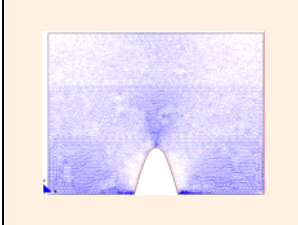
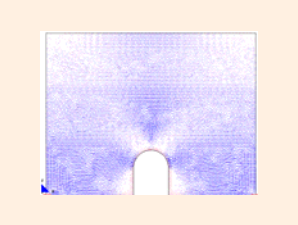
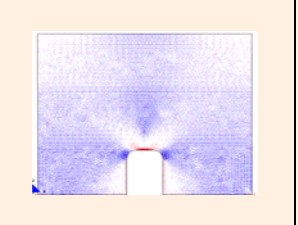
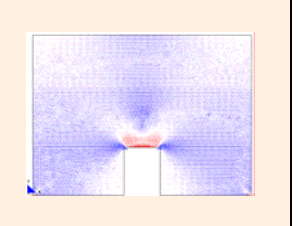
⁵⁰¹ En consideración con los modelos restantes: de medio punto, carpanel y de ángulos rectos.

⁵⁰² Ver gráfico (158).

⁵⁰³ Ver gráfico (159).

⁵⁰⁴ Ver gráfico (160).

3.6.2.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11"
(Sii) 507-508

(CUADRO 55) MODELOS CON LA BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL): "SI"				
Representación gráfica de los modelos sin influencia del zucho de borde.				
				
(GRAF.3: 31) A. ideal: BA-RL	(GRAF.3: 32) A. Medio punto: BA-RL		(GRAF.3: 33) A. carpanel: BA-RL	(GRAF.3: 34) A. A. rectos: BA-RL
Main Ax. Force(N/M). "Si" factor-8.1e-6.				
				
(161) 3.4.2.2.c	(162) 3.4.2.3.c	(163) 3.4.2.4.c	(164) 3.4.2.5.c	

20. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁵⁰⁹⁻⁵¹⁰:

uu. La pared está comprimida casi en su totalidad.

vv. Las máximas compresiones se localizan en la base del hueco y son de mayor intensidad.

21. En el caso del modelo con el arco de medio punto se aprecia que⁵¹¹⁻⁵¹²:

ww. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona muy pequeña.

xx. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos y son de menor intensidad.

22. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁵¹³⁻⁵¹⁴:

yy. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia.

⁵⁰⁵ Estas fuerzas son superiores, en comparación con los dos modelos anteriores: arco de medio punto y el carpanel.

⁵⁰⁶ El dado de hormigón tiene la finalidad de resistir las compresiones de mayor rango de valores, esto se debe a que en muchas ocasiones estas fuerzas superan la resistencia de la fábrica.

⁵⁰⁷ Las comparaciones que se realizan en este apartado, son completamente válidas para las Fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N11".

⁵⁰⁸ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁵⁰⁹ Ver gráfico (161).

⁵¹⁰ En consideración con los modelos restantes: de medio punto, carpanel y de ángulos rectos.

⁵¹¹ Ver gráfico (162).

⁵¹² En consideración con el caso anterior: arco ideal.

⁵¹³ Ver gráfico (163).

⁵¹⁴ En comparación con los casos anteriores: arco ideal y de medio punto.

- zz. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco son un poco más intensos.
- aaa. Las compresiones ubicadas en la parte alta de los huecos base las valores superiores⁵¹⁵.

23. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁵¹⁶⁻⁵¹⁷:

- bbb. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia del elemento.
- ccc. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco son relativamente de mayor intensidad.
- ddd. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos⁵¹⁸.
- eee. En la edificación se utilizan vigas⁵¹⁹ que sean capaces de soportar las tracciones que tienen lugar en el modelo⁵²⁰.
- fff. La parte superior del hueco se comporta como una viga⁵²¹.

24. De modo general podríamos decir que:

- ggg. Cuando se restringen lateralmente los modelos, las tracciones se reducen de modo notorio, es decir, que las paredes se comprimen.
- hhh. En las caras laterales de los huecos aparecen pequeñas tracciones casi imperceptibles.
- iii. A medida que el arco se aplana se intensifican las fuerzas de tracción en la clave del mismo.
- jjj. Cuando el hueco forma ángulos de 90° con la base las máximas compresiones se localizan en la parte superior lateral de las aberturas, e incluso se intensifican.
- kkk. En la edificación se utilizan vigas⁵²² que sean capaces de soportar las tracciones que tienen lugar en los modelos⁵²³.
- lll. Se observa con claridad el efecto favorable del arco ideal en la pared⁵²⁴.
- mmm. El comportamiento más desfavorable es el del arco de ángulos rectos⁵²⁵⁻⁵²⁶.

⁵¹⁵ Cuya intensidad es menor que el arco ideal, aunque superior a los arcos de medio punto y de ángulos rectos.

⁵¹⁶ Ver gráfico (164).

⁵¹⁷ En comparación con los casos anteriores: arco ideal, de medio punto y carpanel.

⁵¹⁸ Y su intensidad se reduce en comparación con el arco carpanel.

⁵¹⁹ Las vigas pueden ser de hormigón, metal, prefabricadas, etc.

⁵²⁰ Evitando así que la fábrica se fisure por exceso de esfuerzos de tracción.

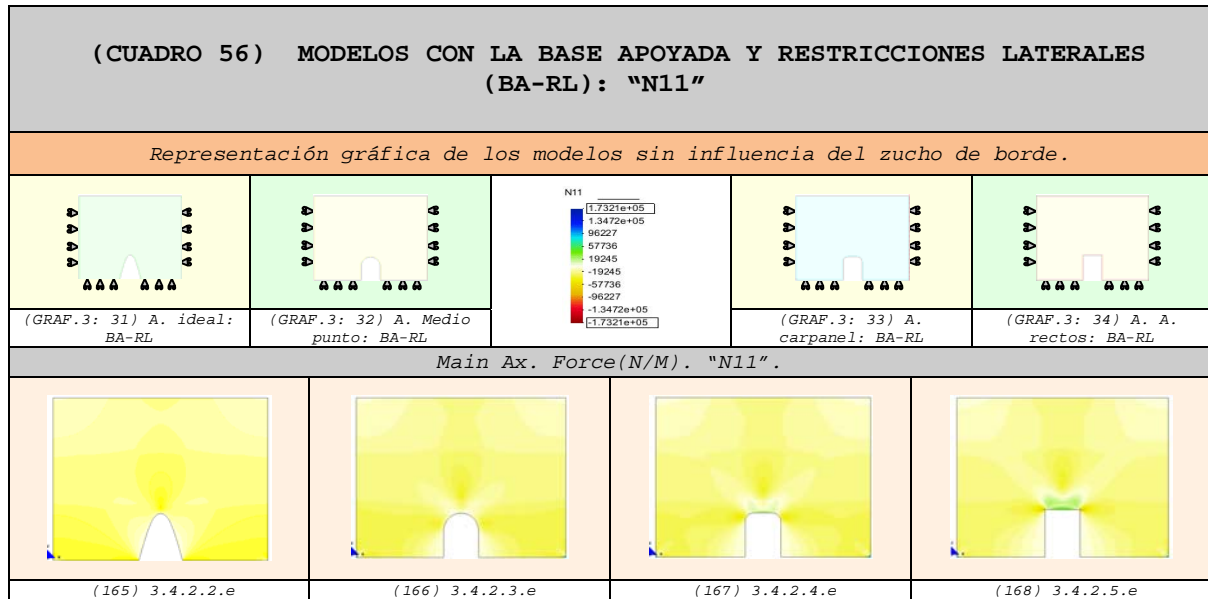
⁵²¹ Es decir, compresiones en la parte superior y tracciones en la parte inferior. Este comportamiento sería más notorio si el ancho del hueco fuera mayor.

⁵²² Las vigas pueden ser de hormigón, metal, prefabricadas, etc.

⁵²³ Evitando así que la fábrica se fisure por exceso de tracciones.

⁵²⁴ Comparar el arco ideal y el de ángulos rectos: (161) con (164) y (165) con (168)

3.6.2.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N1"
(N11) 527-528



25. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁵²⁹:

nnn. Las máximas compresiones se localizan en la base del modelo y son de mayor intensidad.

ooo. No existen tracciones en la pared⁵³⁰.

26. En el modelo con el arco de medio punto se aprecia que⁵³¹:

ppp. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos y son de menor intensidad.

27. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁵³²:

qqq. Las máximas compresiones situadas en los lados superiores de los huecos tienden a intensificarse.

28. En el modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁵³³:

rrr. Las tracciones localizadas en la clave del arco son superiores en relación con los modelos restantes⁵³⁴.

sss. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos y son de intensidad superior a los demás modelos.

⁵²⁵ Por ser el modelo con más tracciones.

⁵²⁶ Comparar el arco ideal (161) y el de ángulos rectos (164).

⁵²⁷ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos en el anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las Fuerzas "Nxx=Nx" de los diferentes modelos desarrollados.

⁵²⁸ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁵²⁹ Ver gráfico (165).

⁵³⁰ Comparar el arco ideal con el de ángulos rectos: (165) con (168).

⁵³¹ Ver gráfico (166).

⁵³² Ver gráfico (167).

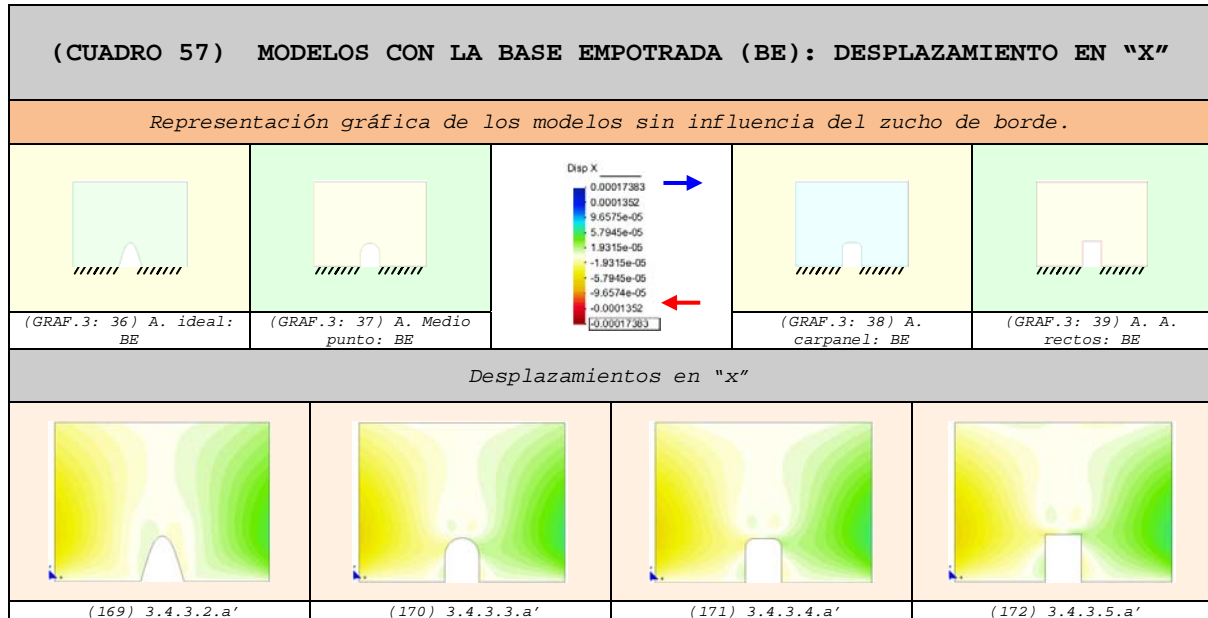
⁵³³ Ver gráfico (168).

⁵³⁴ Comparar el arco de ángulos rectos con el ideal: (168) con (165).

3.6.3 Modelo con la base empotrada

3.6.3.1 Comparación de los desplazamientos

3.6.3.1.1 Desplazamientos en "x" ⁵³⁵



1. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁵³⁶:
 - a. Los desplazamientos laterales son inferiores⁵³⁷.
 - b. La clave del arco tiende a cerrarse⁵³⁸.
 - c. La pared es menos deformable.
2. En el caso del modelo con el arco de medio punto se aprecia que⁵³⁹:
 - d. Los desplazamientos laterales son mayores⁵⁴⁰.
 - e. La clave del arco tiende a abrirse⁵⁴¹.
 - f. La pared es más deformable.
3. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁵⁴²:

⁵³⁵ Los desplazamientos hacia el lado derecho se representan con la gama de colores fríos (verde-azul) y los desplazamientos hacia el lado izquierdo con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo).

⁵³⁶ Ver gráfico (169).

⁵³⁷ En relación con los otros modelos.

⁵³⁸ Los valores de los desplazamientos son inferiores en comparación con los modelos restantes.

⁵³⁹ Ver gráfico (170).

⁵⁴⁰ En comparación con los del modelo anterior.

⁵⁴¹ En menor grado que los siguientes modelos.

- g. Los desplazamientos laterales son mayores⁵⁴³.
- h. La clave del arco tiende a abrirse en mayor grado⁵⁴⁴.
- i. La pared es más deformable que el anterior.
- 4.** En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁵⁴⁵:
- j. Los desplazamientos laterales son mayores⁵⁴⁶.
- k. La clave del arco tiende a abrirse en mayor grado.
- l. La pared es más deformable.
- 5.** De modo general podemos decir que:
- m. El comportamiento de todos los modelos es bastante parecido.
- n. Las diferencias que existen dependen únicamente de la forma de los arcos y no de los ángulos con que llega a la base.
- o. Las caras laterales de los modelos se deforman libremente⁵⁴⁷.
- p. Cuando las claves de los arcos son abiertas⁵⁴⁸ tienden a abrirse.
- q. Cuando la clave del arco es muy pronunciada⁵⁴⁹ tienen propensión a cerrarse.
- r. Indistintamente de la forma de la clave de los arcos, las caras laterales de los huecos se cierran⁵⁵⁰.
- s. Se observa con claridad el efecto favorable del arco ideal en la pared⁵⁵¹.
- t. El comportamiento más desfavorable es el del arco de ángulos rectos⁵⁵².

⁵⁴² Ver gráfico (171).

⁵⁴³ En comparación con los modelos anteriores.

⁵⁴⁴ En menor grado que el modelo con los ángulos rectos.

⁵⁴⁵ Ver gráfico (172).

⁵⁴⁶ En comparación con los modelos anteriores.

⁵⁴⁷ Esto se debe a que la base al estar empotrada tiene restringidos los movimientos horizontales de la base y libres los lados.

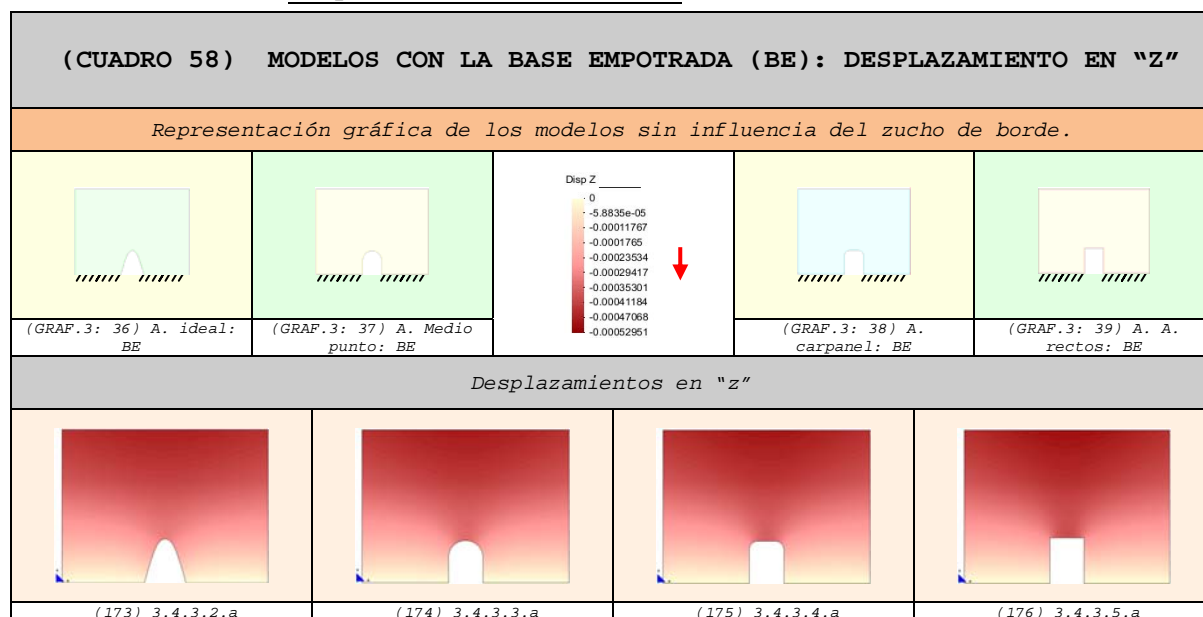
⁵⁴⁸ Arco de medio punto, carpanel y de ángulos rectos: (170), (171) y (172) respectivamente.

⁵⁴⁹ Como el caso del arco ideal (169).

⁵⁵⁰ Lógicamente por ser la zona en la que puede deformarse libremente.

⁵⁵¹ Comparar el arco ideal y el de ángulos rectos: (169) con (172).

⁵⁵² Comparar el arco de ángulos rectos (172) y el arco ideal (169).

3.6.3.1.2 Desplazamientos en "z" ⁵⁵³

6. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁵⁵⁴:
 - u. Los desplazamientos que se localizan en la parte superior del arco son inferiores⁵⁵⁵ y no tocan la clave del arco.
7. En el modelo con el arco de medio punto se aprecia que⁵⁵⁶:
 - v. En la parte superior del arco se comienzan a intensificar las deformaciones y comienzan a descender hacia la clave del arco.
8. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁵⁵⁷:
 - w. En la parte alta del arco se intensifican las deformaciones y en toda la línea superior del hueco⁵⁵⁸.
9. En el modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁵⁵⁹:
 - x. En la parte superior del hueco es más notorio el crecimiento de los desplazamientos y cubren toda la línea superior del arco
10. Adicionalmente podemos indicar que:
 - y. Los máximos desplazamientos se localizan en la parte central de los modelos⁵⁶⁰.
 - z. A medida que las curvas de los arcos pierden curvatura, los desplazamientos descienden hasta la clave de los arcos, incluso pueden llegar a cubrirla por completo⁵⁶¹.

⁵⁵³ Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se aproxima al rojo intenso.

⁵⁵⁴ Ver gráfico (173).

⁵⁵⁵ En comparación con los modelos restantes.

⁵⁵⁶ Ver gráfico (174).

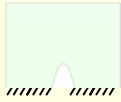




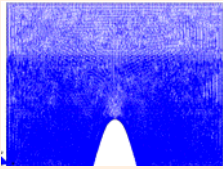
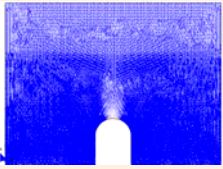
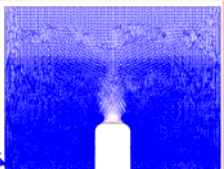
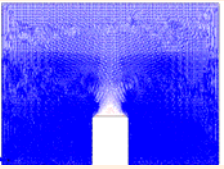
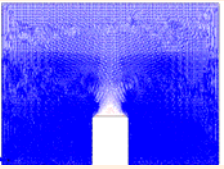
⁵⁵⁷ Ver gráfico (175).

⁵⁵⁸ No tocan ninguna de las dos semi-circunferencias que forman el arco carpanel.

⁵⁵⁹ Ver gráfico (176).

⁵⁶⁰ Siendo mayores en el modelo con el hueco de ángulos rectos.

3.6.3.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22"
(Sii) ⁵⁶²⁻⁵⁶³

(CUADRO 59) MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA (BE): "SII" Y "N22"				
Representación gráfica de los modelos sin influencia del zucho de borde.				
				
(GRAF.3: 36) A. ideal: BE	(GRAF.3: 37) A. Medio punto: BE	(GRAF.3: 38) A. carpanel: BE	(GRAF.3: 39) A. A. rectos: BE	(GRAF.3: 39) A. A. rectos: BE
Main Ax. Force(N/M). "Sii" factor-8.1e-6.				
				
(177) 3.4.3.2.b	(178) 3.4.3.3.b	(179) 3.4.3.4.b	(180) 3.4.3.5.b	(180) 3.4.3.5.b

11. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁵⁶⁴⁻⁵⁶⁵:
- aa. La pared está completamente comprimido.
12. En el caso del modelo con el arco de medio punto se aprecia que⁵⁶⁶⁻⁵⁶⁷:
- bb. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona casi imperceptible.
13. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁵⁶⁸⁻⁵⁶⁹:
- cc. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una pequeña zona del elemento, aunque mayor a la anterior.
- dd. El arco de descarga⁵⁷⁰ se comienza a formar.

⁵⁶¹ Como es el caso del arco de ángulos rectos (196).

⁵⁶² Las comparaciones que se realizan en este apartado, son completamente válidas para las Fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N22".

⁵⁶³ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁵⁶⁴ Ver gráfico (177).

⁵⁶⁵ En consideración con los modelos restantes: de medio punto, carpanel y de ángulos rectos.

⁵⁶⁶ Ver gráfico (178).

⁵⁶⁷ En consideración con el caso anterior: arco ideal.

⁵⁶⁸ Ver gráfico (179).

⁵⁶⁹ En comparación con los casos anteriores: arco ideal y de medio punto.

⁵⁷⁰ Zona blanca localizada en la parte alta del hueco. Se observa que el triángulo no ocupa el total de la clave.

14. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁵⁷¹⁻⁵⁷²:

- ee. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia del elemento.
- ff. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco son de mayor intensidad.
- gg. La formación del arco de descarga⁵⁷³ es muy clara.

15. De modo general podríamos decir que:

- hh. En el momento en que se empotra la base, los modelos se comprimen considerablemente. Como resultado de ello disminuyen de modo considerable las tracciones de las paredes.
- ii. La parte superior de los arcos se descomprimen⁵⁷⁴.
- jj. Esta zona descomprimida aumenta en la medida que el arco pierde curvatura.
- kk. La zona descomprimida representa la formación del arco de descarga.
- ll. El arco de descarga se forma por completo únicamente en el arco de ángulos rectos.
- mm. En la clave del arco se produce una concentración de vectores de tracción⁵⁷⁵.
- nn. Se observa con claridad el efecto favorable del arco ideal en la pared⁵⁷⁶.
- oo. El arco de ángulos rectos es aquel que tiene el comportamiento más desfavorable⁵⁷⁷.

⁵⁷¹ Ver gráfico (180).

⁵⁷² En comparación con los casos anteriores: arco ideal, de medio punto y carpanel.

⁵⁷³ Zona blanca localizada en la parte alta del hueco. Además, forma un triángulo perfecto cuya base abarca el total de la clave del arco de ángulos rectos.

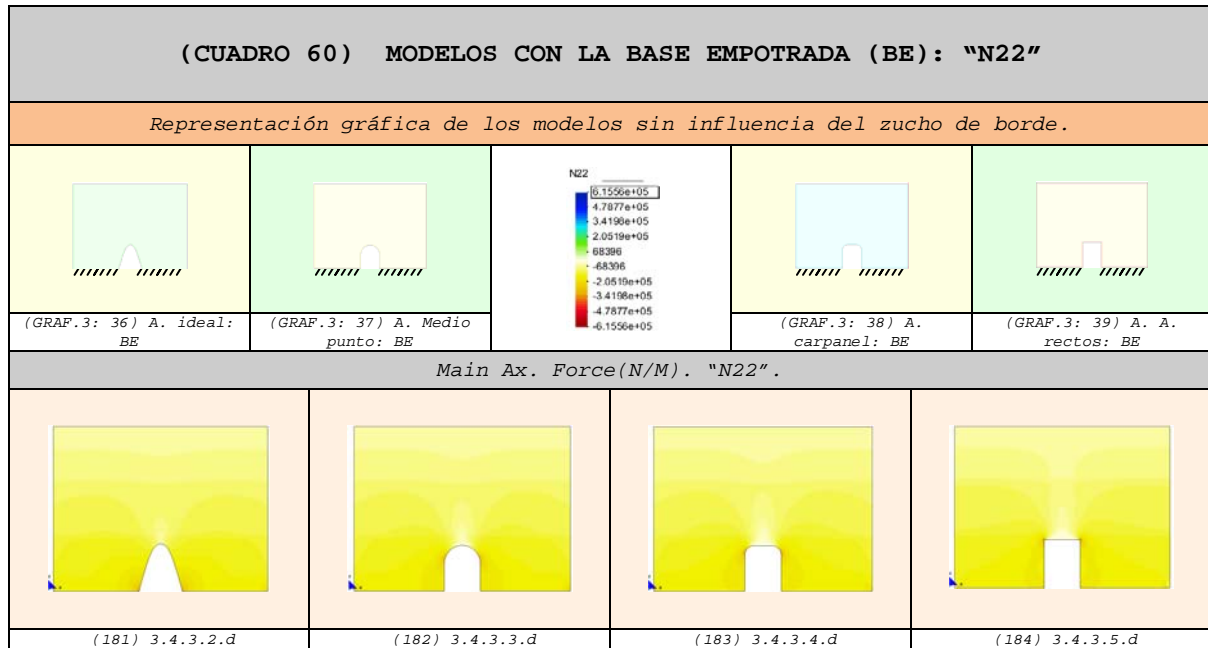
⁵⁷⁴ Las descompresiones son mayores en los arcos carpanel y de ángulos rectos, mientras que en el arco ideal y de medio punto son casi imperceptibles.

⁵⁷⁵ No se aprecian ni en el arco ideal y en el medio punto. Comienzan a ser notorios en el arco carpanel y mucho más claras en el arco de ángulos rectos.

⁵⁷⁶ Comparar el arco ideal y el de ángulos rectos: (177) con (180) y (181) con (184).

⁵⁷⁷ Comparar el arco ideal y el de ángulos rectos: (177) con (180) y (181) con (184).

3.6.3.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N22" (N22) 578-579



16. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁵⁸⁰⁻⁵⁸¹:
- pp. La intensidad de la fuerzas de compresión son superiores.
- qq. Las máximas fuerzas de compresión se localizan en la base del arco
17. En el modelo con el arco de medio punto se aprecia que⁵⁸²:
- rr. Las máximas zonas comprimidas se sitúan en los lados superiores del hueco.
18. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁵⁸³:
- ss. Las máximas zonas comprimidas se localizan en los lados superiores del hueco.
19. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁵⁸⁴:
- tt. Las máximas zonas comprimidas se sitúan en los lados superiores del hueco y son de mayor intensidad.
- uu. En la zona de máximas compresiones⁵⁸⁵ se colocan dados de hormigón⁵⁸⁶.

⁵⁷⁸ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del apartado anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las Fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados.

⁵⁷⁹ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁵⁸⁰ Ver gráfico (181).

⁵⁸¹ En consideración con los modelos restantes: de medio punto, carpanel y de ángulos rectos.

⁵⁸² Ver gráfico (182).

⁵⁸³ Ver gráfico (183).

⁵⁸⁴ Ver gráfico (184).

3.6.3.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11"
(Sii) 587-588

(CUADRO 61) MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA (BE): "SI"				
Representación gráfica de los modelos sin influencia del zunchos de borde.				
(GRAF.3: 36) A. ideal: BE	(GRAF.3: 37) A. Medio punto: BE	(GRAF.3: 38) A. carpanel: BE	(GRAF.3: 39) A. A. rectos: BE	
Main Ax. Force(N/M). "Si" factor-8.1e-6.				
(185) 3.4.3.2.c	(186) 3.4.3.3.c	(187) 3.4.3.4.c	(188) 3.4.3.5.c	

20. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁵⁸⁹:

vv. La pared está comprimida casi en su totalidad⁵⁹⁰.

ww. Las máximas compresiones se localizan en la base del hueco y son de mayor intensidad⁵⁹¹.

21. En el caso del modelo con el arco de medio punto se aprecia que⁵⁹²:

xx. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona reducida.

yy. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos y son de menor intensidad⁵⁹³.

22. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁵⁹⁴:

zz. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia.

⁵⁸⁵ Estas fuerzas son superiores, en comparación con los dos modelos anteriores: arco de medio punto y el carpanel.

⁵⁸⁶ El dado de hormigón tiene la finalidad de resistir las compresiones de mayor rango de valores, esto se debe a que en muchas ocasiones estas fuerzas superan la resistencia de la fábrica.

⁵⁸⁷ Las comparaciones que se realizan en este apartado, son completamente válidas para las Fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N11".

⁵⁸⁸ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁵⁸⁹ Ver gráfico (185).

⁵⁹⁰ Ya que la única zona en aparecen tracciones muy pequeñas es en los lados del hueco.

⁵⁹¹ En consideración con los modelos restantes: de medio punto, carpanel y de ángulos rectos.

⁵⁹² Ver gráfico (186).

⁵⁹³ En consideración con el caso anterior: arco ideal.

⁵⁹⁴ Ver gráfico (187).

aaa. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco son un poco más intensos⁵⁹⁵.

bbb. Las compresiones ubicadas en la parte alta de los huecos adquieren valores superiores⁵⁹⁶.

23. En el modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁵⁹⁷:

ccc. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia del elemento⁵⁹⁸.

ddd. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco son relativamente de mayor intensidad.

eee. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos⁵⁹⁹.

fff. En la edificación se utilizan vigas⁶⁰⁰ que sean capaces de soportar las tracciones que tienen lugar en el modelo⁶⁰¹.

ggg. La parte superior del hueco se comporta como una viga⁶⁰².

24. De modo general podríamos decir que:

hhh. Cuando se restringen lateralmente los modelos las tracciones disminuyen de modo notorio, es decir, que las paredes se comprimen.

iii. En las caras laterales de los huecos aparecen pequeñas tracciones casi imperceptibles.

jjj. A medida que el arco se aplana se intensifican las fuerzas de tracción en la clave del mismo.

kkk. Cuando el hueco forma ángulos de 90° con la base las máximas compresiones se localizan en la parte superior lateral de las aberturas, e incluso se intensifican.

lll. En la edificación se utilizan vigas⁶⁰³ que sean capaces de soportar las tracciones que tienen lugar en los modelos⁶⁰⁴.

mmm. Se observa con claridad el efecto favorable del arco ideal en la pared⁶⁰⁵.

nnn. El comportamiento más desfavorable es el del arco de ángulos rectos⁶⁰⁶⁻⁶⁰⁷.

⁵⁹⁵ En comparación con los casos anteriores: arco ideal y de medio punto.

⁵⁹⁶ Cuya intensidad es menor que el arco ideal, aunque superior a los arcos de medio punto y de ángulos rectos.

⁵⁹⁷ Ver gráfico (188).

⁵⁹⁸ En comparación con los casos anteriores: arco ideal, de medio punto y carpanel.

⁵⁹⁹ Y su intensidad se reduce en comparación con el arco carpanel.

⁶⁰⁰ Las vigas pueden ser de hormigón, metal, prefabricadas, etc.

⁶⁰¹ Evitando así que la fábrica se fisure por exceso de esfuerzos de tracción.

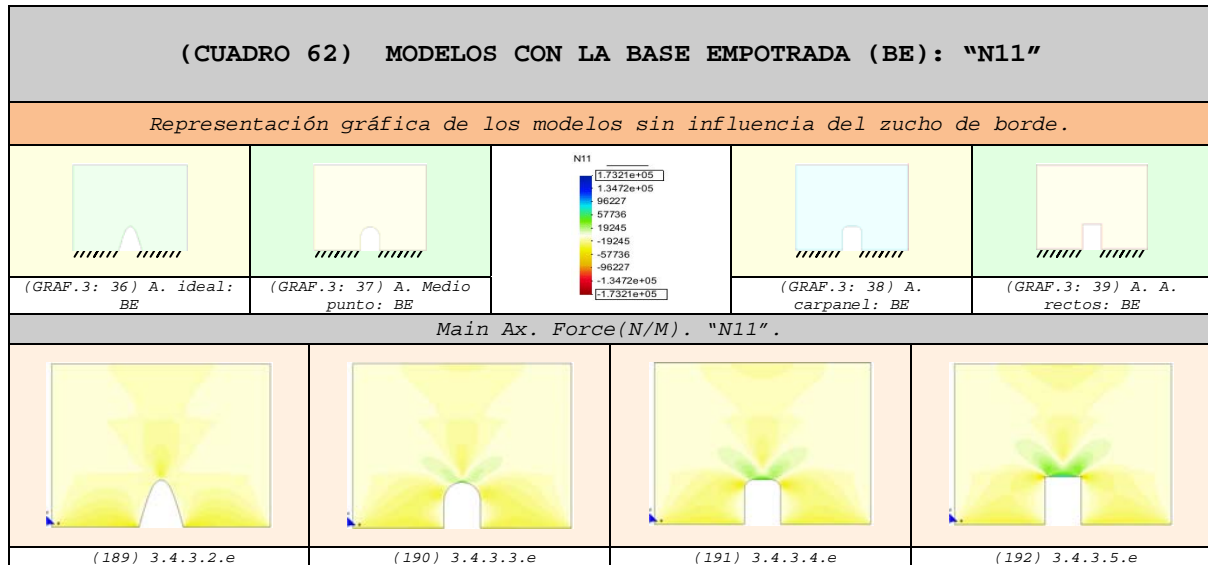
⁶⁰² Es decir, compresiones en la parte superior y tracciones en la parte inferior. Este comportamiento sería más notorio si el ancho del hueco fuera mayor.

⁶⁰³ Las vigas pueden ser de hormigón, metal, prefabricadas, etc.

⁶⁰⁴ Evitando así que la fábrica se fisure por exceso de tracciones.

⁶⁰⁵ Comparar el arco ideal y el de ángulos rectos: (161) con (164) y (165) con (168)

3.6.3.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11) 608-609



25. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁶¹⁰:

ooo. Las máximas compresiones se localizan en la base del modelo y son de mayor intensidad.

ppp. No existen tracciones en la pared⁶¹¹.

26. En el del modelo con el arco de medio punto se aprecia que⁶¹²:

qqq. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos y son de menor intensidad.

27. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁶¹³:

rrr. Las máximas compresiones situadas en los lados superiores de los huecos tienden a intensificarse y son de intensidad superior a los demás modelos.

28. En el modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁶¹⁴:

sss. Las tracciones localizadas en la clave del arco son superiores en relación con los modelos restantes⁶¹⁵.

ttt. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos.

⁶⁰⁶ Por ser el modelo con más tracciones.

⁶⁰⁷ Comparar el arco ideal (161) y el de ángulos rectos (164).

⁶⁰⁸ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos en el anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las Fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados.

⁶⁰⁹ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁶¹⁰ Ver gráfico (189).

⁶¹¹ Comparar el arco ideal con el de ángulos rectos: (165) con (168).

⁶¹² Ver gráfico (190).

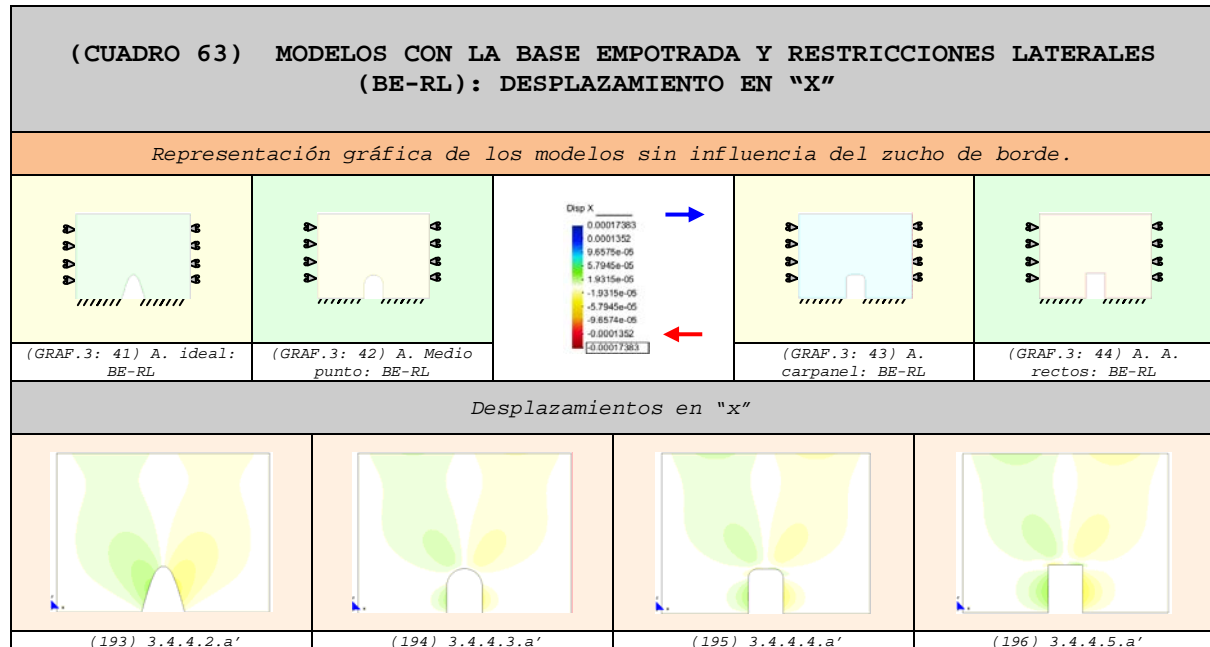
⁶¹³ Ver gráfico (191).

⁶¹⁴ Ver gráfico (192).

⁶¹⁵ Comparar el arco de ángulos rectos con el ideal: (168) con (165).

3.6.4 Modelo con la base empotrada y restricción lateral

3.6.4.1 Comparación de los desplazamientos

3.6.4.1.1 Desplazamientos en "x"

1. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁶¹⁶:
 - a. Los máximos desplazamientos se localizan en la parte superior lateral del hueco⁶¹⁷.
 - b. La clave del arco tiende a cerrarse.
 - c. El trazado del arco es más deformable⁶¹⁸.
2. En el caso del modelo con el arco de medio punto se aprecia que⁶¹⁹:
 - d. Los desplazamientos laterales son inferiores.
 - e. Las máximas deformaciones se sitúan en la parte central de las caras laterales del hueco.
 - f. La clave se abre en un grado muy bajo, casi imperceptible.

⁶¹⁶ Ver gráfico (193).

⁶¹⁷ Cuya intensidad es mayor al arco de medio punto; comparar (193) con (194). Aunque inferior al arco carpanel y de ángulos rectos; comparar (193) con (195) y (193) con (196) respectivamente.

⁶¹⁸ También al ser menos deformable, la franja de desplazamientos casi nulos es más amplia en comparación con los otros modelos.

⁶¹⁹ Ver gráfico (194).

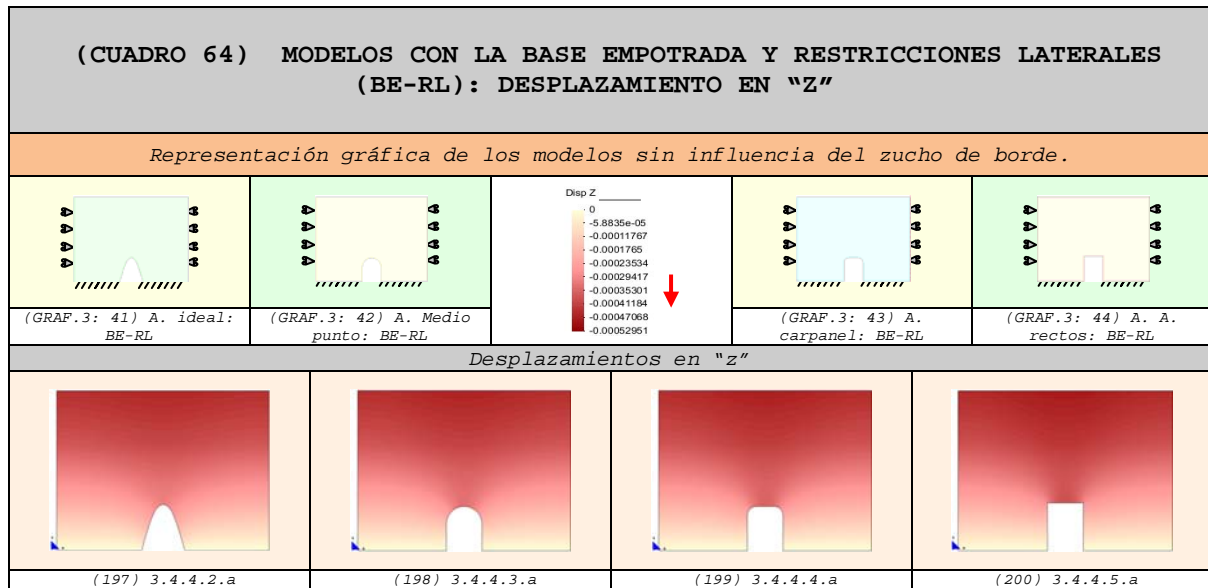
3. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁶²⁰:
- g. Los desplazamientos laterales son superiores en comparación con los del modelo anterior.
 - h. Las máximas deformaciones se sitúan en la parte central de las caras laterales del hueco.
 - i. La clave tiende a abrirse⁶²¹.
 - j. La pared es menos deformable.
4. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁶²²:
- k. Las máximas deformaciones se sitúan en la parte central de las caras laterales del hueco.
 - l. La clave se abre en mayor grado⁶²³.
 - m. La pared es menos deformable.
5. De modo general podemos decir que:
- n. A medida que la curvatura de los arcos se aplanan se intensifican los desplazamientos tanto de la base como de la clave del arco.
 - o. Se observa con claridad el efecto desfavorable del arco ideal en la pared.
 - p. La pared con el arco de ángulos rectos tiene el comportamiento más favorable.

⁶²⁰ Ver gráfico (195).

⁶²¹ La abertura de la clave del arco es menor que en el caso del modelo con el arco de ángulos rectos.

⁶²² Ver gráfico (196).

⁶²³ La abertura de la clave del arco es mayor que en el caso de los modelos con: el arco de medio punto y del carpanel.

3.6.4.1.2 Desplazamientos en "z" ⁶²⁴

6. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁶²⁵:
 - q. Los desplazamientos que se localizan en la parte superior del arco son inferiores⁶²⁶ y no tocan la clave del arco.
7. En el modelo con el arco de medio punto se aprecia que⁶²⁷:
 - r. En la parte superior del arco se comienzan a intensificar las deformaciones y comienzan a descender hacia la clave del arco.
8. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁶²⁸:
 - s. En la parte superior del arco se intensifican las deformaciones y en toda la línea superior del hueco⁶²⁹.
9. En el modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁶³⁰:
 - t. En la parte superior del arco es más notorio el crecimiento de los desplazamientos y cubren toda la línea superior del arco
10. Adicionalmente podemos indicar que:
 - u. Los máximos desplazamientos se localizan en la parte central de los modelos⁶³¹.
 - v. A medida que las curvas de los arcos pierden curvatura, los desplazamientos descienden hasta la clave de los arcos, incluso pueden llegar a cubrirla por completo.

⁶²⁴ Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se aproxima al rojo intenso.

⁶²⁵ Ver gráfico (197).

⁶²⁶ En comparación con los modelos restantes.

⁶²⁷ Ver gráfico (198).

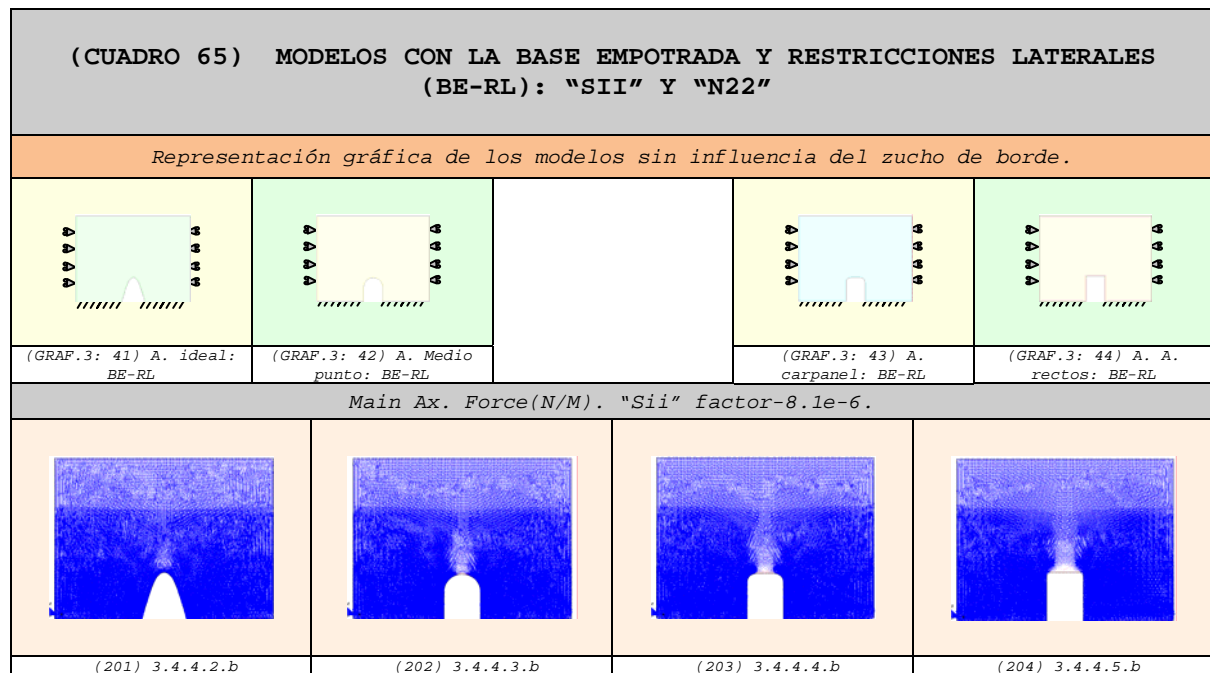
⁶²⁸ Ver gráfico (199).

⁶²⁹ No tocan ninguna de las dos semi-circunferencias que forman el arco carpanel.

⁶³⁰ Ver gráfico (200).

⁶³¹ Siendo mayores en el modelo con el hueco de ángulos rectos.

3.6.4.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22"
(Sii) 632-633



11. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁶³⁴⁻⁶³⁵:
- w. La pared está completamente comprimido.
12. En el caso del modelo con el arco de medio punto se aprecia que⁶³⁶⁻⁶³⁷:
- x. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona casi imperceptible.
13. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁶³⁸⁻⁶³⁹:
- y. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una pequeña zona del elemento.
- z. El arco de descarga⁶⁴⁰ se comienza a formar.

⁶³² Las comparaciones que se realizan en este apartado, son completamente válidas para las Fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N22".

⁶³³ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁶³⁴ Ver gráfico (201).

⁶³⁵ En consideración con los modelos restantes: de medio punto, carpanel y de ángulos rectos.

⁶³⁶ Ver gráfico (202).

⁶³⁷ En consideración con el caso anterior: arco ideal.

⁶³⁸ Ver gráfico (203).

⁶³⁹ En comparación con los casos anteriores: arco ideal y de medio punto.

⁶⁴⁰ Zona blanca localizada en la parte alta del hueco. Se observa que el triángulo no ocupa el total de la clave.

14. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁶⁴¹⁻⁶⁴²:

- aa. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia del elemento.
- bb. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco son de mayor intensidad.
- cc. La formación del arco de descarga⁶⁴³ es muy clara.

15. De modo general podríamos decir que:

- dd. En el momento en que se restringen los desplazamientos laterales, los modelos se comprimen considerablemente. Como resultado de ello disminuyen de modo considerable las tracciones de las paredes.
- ee. La parte superior de los arcos se descomprimen⁶⁴⁴.
- ff. Esta zona descomprimida aumenta en la medida que el arco pierde curvatura.
- gg. La zona descomprimida representa la formación del arco de descarga.
- hh. El arco de descarga se forma por completo únicamente en el arco de ángulos rectos.
- ii. En la clave del arco se produce una concentración de vectores de tracción⁶⁴⁵.
- jj. Se observa con claridad el efecto favorable del arco ideal en la pared⁶⁴⁶.
- kk. El arco de ángulos rectos es aquel que tiene el comportamiento más desfavorable⁶⁴⁷.

⁶⁴¹ Ver gráfico (204).

⁶⁴² En comparación con los casos anteriores: arco ideal, de medio punto y carpanel.

⁶⁴³ Zona blanca localizada en la parte alta del hueco. Además, forma un triángulo perfecto cuya base abarca el total de la clave del arco de ángulos rectos.

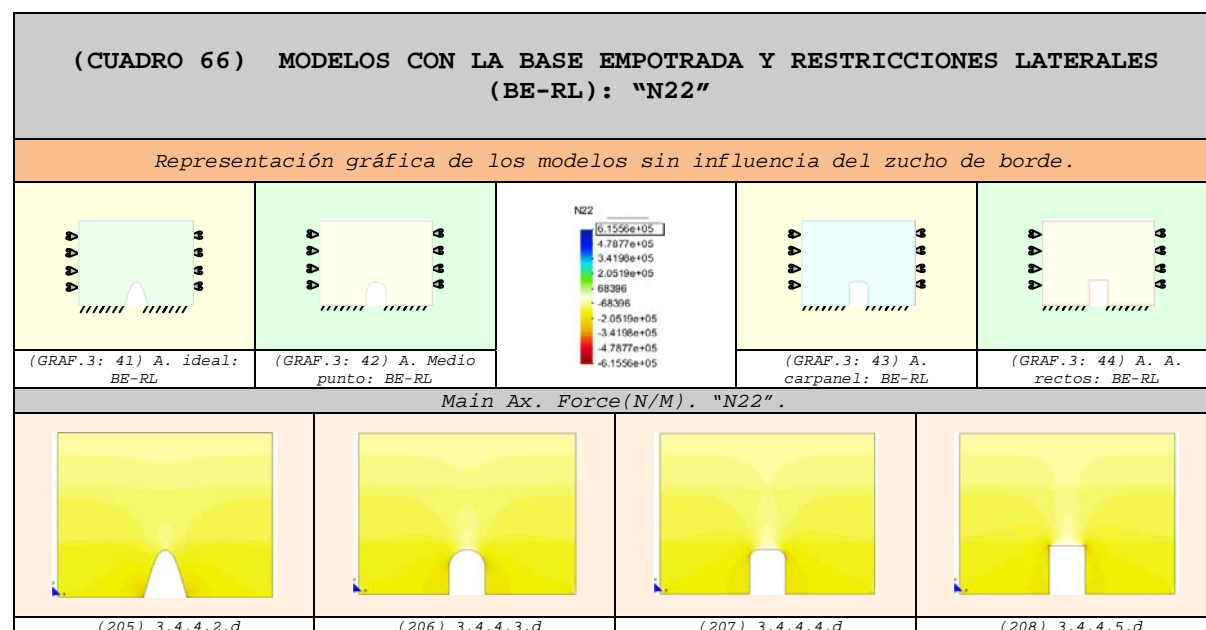
⁶⁴⁴ Las descompresiones son mayores en los arcos carpanel y de ángulos rectos, mientras que en el arco ideal y de medio punto son casi imperceptibles.

⁶⁴⁵ No se aprecian ni en el arco ideal y en el medio punto. Comienzan a ser notorios en el arco carpanel y mucho más claras en el arco de ángulos rectos.

⁶⁴⁶ Comparar el arco ideal y el de ángulos rectos: (153) con (156) y (157) con (160).

⁶⁴⁷ Comparar el arco ideal y el de ángulos rectos: (153) con (156) y (157) con (160).

3.6.4.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N22" (N22) 648-649



16. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁶⁵⁰⁻⁶⁵¹:

ll. La intensidad de las fuerzas de compresión son superiores.

mm. Las máximas fuerzas de compresión se localizan en la base del arco.

17. En el modelo con el arco de medio punto se aprecia que⁶⁵²:

nn. Las máximas zonas comprimidas se sitúan en los lados superiores del hueco.

18. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁶⁵³:

oo. Las máximas zonas comprimidas se localizan en los lados superiores del hueco.

19. En el modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁶⁵⁴:

pp. Las máximas zonas comprimidas se sitúan en los lados superiores del hueco y son de mayor intensidad.

qq. En la zona de máximas compresiones⁶⁵⁵ se colocan dados de hormigón⁶⁵⁶.

⁶⁴⁸ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del apartado anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las Fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados.

⁶⁴⁹ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁶⁵⁰ Ver gráfico (205).

⁶⁵¹ En consideración con los modelos restantes: de medio punto, carpanel y de ángulos rectos.

⁶⁵² Ver gráfico (206).

⁶⁵³ Ver gráfico (207).

⁶⁵⁴ Ver gráfico (208).

⁶⁵⁵ Estas fuerzas son superiores, en comparación con los dos modelos anteriores: arco de medio punto y el carpanel.

3.6.4.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11"
(Sii) ⁶⁵⁷⁻⁶⁵⁸

CUADRO 67) MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL): "SI"				
Representación gráfica de los modelos sin influencia del zucho de borde.				
(GRAF.3: 41) A. ideal: BE-RL	(GRAF.3: 42) A. Medio punto: BE-RL		(GRAF.3: 43) A. carpanel: BE-RL	(GRAF.3: 44) A. A. rectos: BE-RL
Main Ax. Force(N/M). "Si" factor-8.1e-6.				
(209) 3.4.4.2.c	(210) 3.4.4.3.c	(211) 3.4.4.4.c	(212) 3.4.4.5.c	

20. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁶⁵⁹⁻⁶⁶⁰:

rr. La pared está comprimida casi en su totalidad.

ss. Las máximas compresiones se localizan en la base del hueco y son de mayor intensidad.

21. En el caso del modelo con el arco de medio punto se aprecia que⁶⁶¹⁻⁶⁶²:

tt. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona muy pequeña.

uu. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos y son de menor intensidad.

22. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁶⁶³⁻⁶⁶⁴:

vv. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia.

⁶⁵⁶ El dado de hormigón tiene la finalidad de resistir las compresiones de mayor rango de valores, esto se debe a que en muchas ocasiones estas fuerzas superan la resistencia de la fábrica.

⁶⁵⁷ Las comparaciones que se realizan en este apartado, son completamente válidas para las Fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N11".

⁶⁵⁸ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁶⁵⁹ Ver gráfico (209).

⁶⁶⁰ En consideración con los modelos restantes: de medio punto, carpanel y de ángulos rectos.

⁶⁶¹ Ver gráfico (210).

⁶⁶² En consideración con el caso anterior: arco ideal.

⁶⁶³ Ver gráfico (211).

⁶⁶⁴ En comparación con los casos anteriores: arco ideal y de medio punto.

- ww. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco son un poco más intensos.
- xx. Las compresiones ubicadas en la parte alta de los huecos adquieren valores superiores⁶⁶⁵.
- 23.** En el modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁶⁶⁶⁻⁶⁶⁷:
- yy. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia del elemento.
- zz. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco son relativamente de mayor intensidad.
- aaa. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos⁶⁶⁸.
- bbb. En la edificación se utilizan vigas⁶⁶⁹ que sean capaces de soportar las tracciones que tienen lugar en el modelo⁶⁷⁰.
- ccc. La parte superior del hueco se comporta como una viga⁶⁷¹.
- 24.** De modo general podríamos decir que:
- ddd. Cuando se restringen lateralmente los modelos las tracciones disminuyen de modo notorio, es decir, que las paredes se comprimen.
- eee. En las caras laterales de los huecos aparecen pequeñas tracciones casi imperceptibles.
- fff. A medida que el arco se aplana se intensifican las fuerzas de tracción en la clave del mismo.
- ggg. Cuando el hueco forma ángulos de 90° con la base las máximas compresiones se localizan en la parte superior lateral de las aberturas, e incluso se intensifican.
- hhh. En la edificación se utilizan vigas⁶⁷² que sean capaces de soportar las tracciones que tienen lugar en los modelos⁶⁷³.
- iii. Se observa con claridad el efecto favorable del arco ideal en la pared⁶⁷⁴.

⁶⁶⁵ Cuya intensidad es menor que el arco ideal, aunque superior a los arcos de medio punto y de ángulos rectos.

⁶⁶⁶ Ver gráfico (212).

⁶⁶⁷ En comparación con los casos anteriores: arco ideal, de medio punto y carpanel.

⁶⁶⁸ Y su intensidad se reduce en comparación con el arco carpanel.

⁶⁶⁹ Las vigas pueden ser de hormigón, metal, prefabricadas, etc.

⁶⁷⁰ Evitando así que la fábrica se fisure por exceso de esfuerzos de tracción.

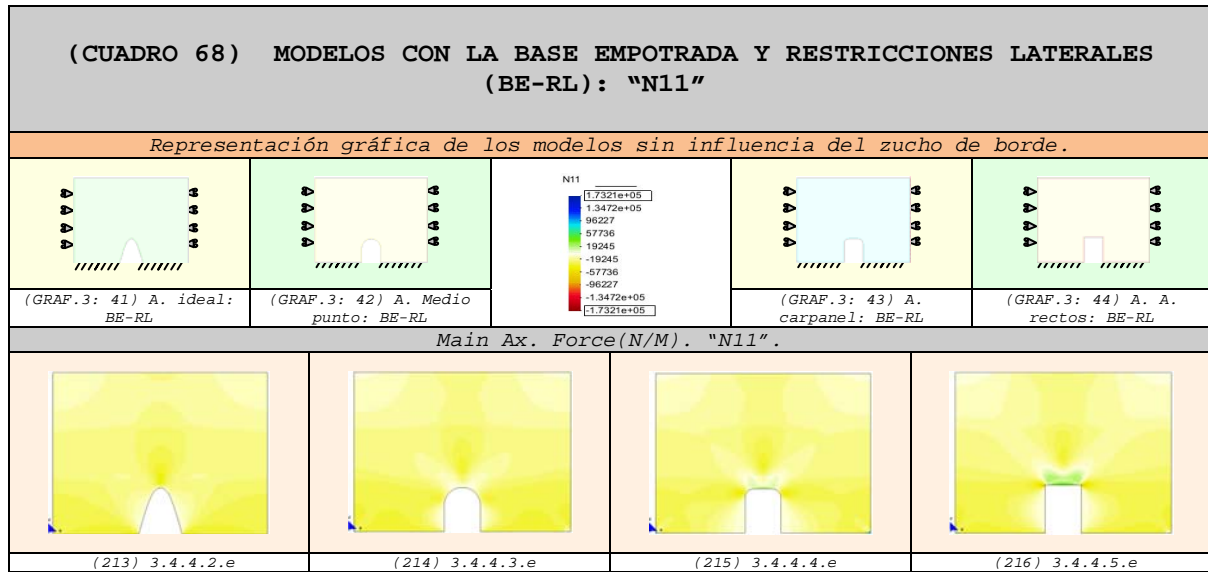
⁶⁷¹ Es decir, compresiones en la parte superior y tracciones en la parte inferior. Este comportamiento sería más notorio si el ancho del hueco fuera mayor.

⁶⁷² Las vigas pueden ser de hormigón, metal, prefabricadas, etc.

⁶⁷³ Evitando así que la fábrica se fisure por exceso de tracciones.

⁶⁷⁴ Comparar el arco ideal y el de ángulos rectos: (209) con (212) y (213) con (216)

3.6.4.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N1"
(N11) ⁶⁷⁵⁻⁶⁷⁶



25. En el modelo con el arco ideal podemos notar que⁶⁷⁷:

jjj. Las máximas compresiones se localizan en la base del modelo y son de mayor intensidad.

kkk. No existen tracciones en la pared⁶⁷⁸.

26. En el modelo con el arco de medio punto se puede observar⁶⁷⁹:

lll. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos y son de menor intensidad.

27. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁶⁸⁰:

mmm. Las máximas compresiones situadas en los lados superiores de los huecos tienden a intensificarse.

28. En el modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁶⁸¹:

nnn. Las tracciones localizadas en la clave del arco son superiores en relación con los modelos restantes⁶⁸².

ooo. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos y son de intensidad superior a los demás modelos.

⁶⁷⁵ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos en el anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las Fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados.

⁶⁷⁶ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁶⁷⁷ Ver gráfico (213).

⁶⁷⁸ Comparar el arco ideal con el de ángulos rectos: (213) con (216).

⁶⁷⁹ Ver gráfico (214).

⁶⁸⁰ Ver gráfico (215).

⁶⁸¹ Ver gráfico (216).

⁶⁸² Comparar el arco de ángulos rectos con el ideal: (216) con (213).

MIIG

CAPÍTULO-3

- 1.- ASPECTOS GENERALES
- 2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS
- 3.- PRESENTACIÓN DE UN MODELO
INTRODUCTORIO
- 4.- ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE
ARCOS
- 5.- INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE
CONTORNO EN LOS MODELOS SIN ZUNCHO
- 6.- INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN
LOS MODELOS SIN ZUNCHO

7.- CONCLUSIONES

3.7 CONCLUSIONES

A continuación, se presentan algunas conclusiones que se obtienen como resultado de analizar algunas formas de arcos con diferentes condiciones de contorno. Se clasifican de acuerdo a estas últimas.

3.7.1 Base simplemente apoyada

1. Desplazamientos en "x":

- a. Origina que los arcos-huecos tiendan a abrirse.
- b. Es más deformable el arco ideal, por ser más fácil de abrir la base.
- c. Los huecos que forman 90° con la base son más favorables, por ser más difíciles de abrir, en especial si el arco es curvo.

2. Desplazamientos en "z":

- d. El nivel de deformación del arco ideal tiende a alejarse de la clave del arco.
- e. A medida que el arco se va aplanando los desplazamientos llegan a la clave del arco, en especial el arco de ángulos rectos.

3. Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22):

- f. El arco ideal tiene mejor comportamiento ya que el grado de tracciones que tiene en la clave del arco son muy pequeñas.
- g. En el arco ideal se concentran las tensiones de compresión en la base del hueco.
- h. A medida que el arco se va aplanando las fuerzas de tracción llegan a la clave del arco, en especial el arco de ángulos rectos.
- i. A medida que el arco se va perdiendo curvatura se nota con claridad la formación de arcos de descarga, en especial el arco de ángulos rectos.
- j. A medida que el arco se va aplanando las fuerzas se concentran en la parte superior de los huecos, en especial el arco de ángulos rectos.

4. Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11):

- k. El arco ideal tiene mejor comportamiento ya que el grado de tracciones que tiene en la clave del arco son muy pequeñas.
- l. En el arco ideal, se concentran las tensiones de compresión en la base del modelo próximas al arco.
- m. A medida que el arco se va aplanando las fuerzas de tracción llegan a la clave del arco, en especial el arco de ángulos rectos.
- n. A medida que el arco se va perdiendo curvatura las fuerzas de compresión se van reduciendo, aunque se localizan en la parte

superior de los huecos, el arco carpanel es el que presenta mayor grado de compresiones.

3.7.2 Base simplemente apoyada con restricciones laterales

5. Desplazamientos en "x":

- o. Invierte el sentido de los desplazamientos. Origina que los arcos-huecos tiendan a cerrarse.
- p. Es más favorable el arco ideal, por ser más difícil de cerrar la base.
- q. Los huecos que forman 90° con la base son más desfavorables, por ser más fácil de cerrar las bases, y en especial si el arco es recto.

6. Desplazamientos en "z":

- r. El nivel de deformación del arco ideal tiende a alejarse de la clave del arco.
- s. A medida que el arco se va aplanando los desplazamientos llegan a la clave del arco, en especial el arco de ángulos rectos.

7. Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22):

- t. Ayuda a la reducción de las fuerzas de tracción de los arcos.
- u. El arco ideal tiene mejor comportamiento, ya que las tracciones desaparecen por completo.
- v. En el arco ideal se concentran las tensiones de compresión en la base del hueco.
- w. A medida que el arco se va perdiendo curvatura las fuerzas de tracción llegan a la clave del arco, en especial el arco de ángulos rectos, aunque en menor grado que en el caso anterior.
- x. A medida que el arco se va aplanando se nota con claridad la formación de arcos de descarga, en especial el arco de ángulos rectos.
- y. A medida que el arco se va perdiendo curvatura las fuerzas se concentran en la parte superior de los huecos, en especial el arco de ángulos rectos.

8. Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11):

- z. Reducen considerablemente las tracciones de los modelos.
- aa. El arco ideal tiene mejor comportamiento en el cual las tracciones de la clave desaparecen por completo.
- bb. En el arco ideal se concentran las tensiones de compresión en la base del modelo próximas al arco.
- cc. A medida que el arco se va aplanando las fuerzas de tracción aumentan, en especial el arco de ángulos rectos, aunque de menor intensidad.

- dd. A medida que el arco se va perdiendo curvatura las fuerzas de compresión aumentan y se localizan en la parte superior de los huecos.

3.7.3 Base empotrada

9. Desplazamientos en "x":

- ee. La concentración de los máximos desplazamientos se localizan en las caras laterales de los modelos.
- ff. El arco ideal tiende a cerrarse, a largo de todo el trazado del arco, alejado de la base. Es más deformable.
- gg. Los huecos que forman 90° con la base, tiende a cerrarse en el centro de las caras laterales del hueco, aunque tienden a abrirse en la zona de las claves de los arcos, acentuándose éste comportamiento a medida que el arco se aplanana.
- hh. Los huecos que forman 90° con la base, son más desfavorables, en especial si el arco es recto.

10. Desplazamientos en "z":

- ii. El nivel de deformación del arco ideal, tiende a alejarse de la clave del arco.
- jj. A medida que el arco se va aplanando, los desplazamientos llegan a la clave del arco, en especial el arco de ángulos rectos.

11. Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22):

- kk. El arco ideal tiene mejor comportamiento, no hay tracciones.
- ll. En el arco ideal se concentran las tensiones de compresión en La base del hueco.
- mm. A medida que el arco se va aplanando, las fuerzas de tracción llegan a la clave del arco, en especial el arco de ángulos rectos.
- nn. A medida que el arco se va aplanando, se nota con claridad la formación de arcos de descarga, en especial el arco de ángulos rectos.
- oo. A medida que el arco se va aplanando, las fuerzas se concentran en la parte superior de los huecos, en especial el arco de ángulos rectos.

12. Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11):

- pp. El arco ideal tiene mejor comportamiento.
- qq. En el arco ideal, se concentran las tensiones de compresión en la base del modelo, próximas al arco más comprimido.
- rr. A medida que el arco se va aplanando, las fuerzas de tracción aumentan en la clave del arco, en especial el arco de ángulos rectos.

- ss. A medida que el arco se va aplanando, las fuerzas de compresión van reduciendo, aunque se localizan en la parte superior de los huecos, el arco carpanel es el que presenta mayor grado de compresiones.

3.7.4 Base empotrada con restricciones laterales

Se obtienen mayor reducción de tracciones de los modelos.

13. Desplazamientos en "x":

- tt. Los arcos tienden a cerrarse de modo general, aunque a medida que se van aplanando los arcos, comienzan a aparecer pequeñas deformaciones que abren la clave del arco, en especial el recto.
- uu. El arco de medio punto es el que tiene mejor comportamiento en comparación con los otros modelos.

14. Desplazamientos en "z":

- vv. El nivel de deformación del arco ideal, tiende a alejarse de la clave del arco.
- ww. A medida que el arco se va aplanando, los desplazamientos llegan a la clave del arco, en especial el arco de ángulos rectos.

15. Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22):

- xx. El arco ideal tiene mejor comportamiento, ya que el grado de tracciones que tiene en la clave del arco es muy pequeña que las condiciones de contorno anteriores.
- yy. En el arco ideal se concentran las tensiones de compresión en la base del hueco.
- zz. A medida que el arco se va aplanando, las fuerzas de tracción llegan a la clave del arco, en especial el arco de ángulos rectos, aunque en menor cantidad que en las condiciones de contorno anteriores.
- aaa. A medida que el arco se va aplanando, se nota con claridad la formación de arcos de descarga, en especial el arco de ángulos rectos.
- bbb. A medida que el arco se va aplanando, las fuerzas se concentran en la parte superior de los huecos, en especial el arco de ángulos rectos.

16. Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11):

- ccc. El arco ideal tiene mejor comportamiento, ya que el grado de tracciones que tiene en la clave del arco son muy pequeñas.
- ddd. En el arco ideal, se concentran las tensiones de compresión en la base del modelo, próxima al arco
- eee. A medida que el arco se va aplanando, las fuerzas de tracción llegan a la clave del arco, en especial el arco de ángulos rectos.

- fff. A medida que el arco se va aplanando, las fuerzas de compresión van reduciendo, aunque se localizan en la parte superior de los huecos, el arco carpanel es el que presenta mayor grado de compresiones.
- ggg. El arco de ángulos rectos presenta mayor concentración de compresiones.

ÍNDICE DE CUADROS

(CUADRO 1)	DIMENSIONES GENERALES	3-11
(CUADRO 2)	TIPOLOGÍA DE ARCOS A ESTUDIAR	3-14
(CUADRO 3)	REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS DESPLAZAMIENTOS Y GIROS	3-22
(CUADRO 4)	ESQUEMAS DE LOS MODELOS CON LAS DIFERENTES CONDICIONES DE CONTORNO A ANALIZAR	3-23
(CUADRO 5)	REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS RESULTADOS NUMÉRICOS	3-24
(CUADRO 6)	VALORES MÁXIMOS ABSOLUTOS	3-25
(CUADRO 7)	MANIPULACIÓN DE DATOS	3-25
(CUADRO 8)	MÁXIMOS ABSOLUTOS CONSIDERADOS EN EL ANÁLISIS	3-26
(CUADRO 9)	FUERZAS Y DESPLAZAMIENTO EN "X"	3-26
(CUADRO 10)	DESPLAZAMIENTO EN "Z"	3-27
(CUADRO 11)	MODELOS: BASE APOYADA	3-36
(CUADRO 12)	MODELOS: BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES	3-43
(CUADRO 13)	MODELOS: BASE EMPOTRADA	3-50
(CUADRO 14)	MODELOS: BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES	3-57
(CUADRO 15)	ARCO OJIVAL: DESPLAZAMIENTO EN "X"	3-65
(CUADRO 16)	ARCO OJIVAL: DESPLAZAMIENTO EN "Z"	3-67
(CUADRO 17)	ARCO OJIVAL: "SII"	3-68
(CUADRO 18)	ARCO OJIVAL: "N22"	3-70
(CUADRO 19)	ARCO OJIVAL: "SI"	3-71
(CUADRO 20)	ARCO OJIVAL: "N11"	3-73
(CUADRO 21)	ARCO IDEAL: DESPLAZAMIENTO EN "X"	3-74
(CUADRO 22)	ARCO IDEAL: DESPLAZAMIENTO EN "Z"	3-76
(CUADRO 23)	ARCO IDEAL: "SII"	3-77
(CUADRO 24)	ARCO IDEAL: "N22"	3-79
(CUADRO 25)	ARCO IDEAL: "SI"	3-80
(CUADRO 26)	ARCO IDEAL: "N11"	3-82
(CUADRO 27)	ARCO DE MEDIO PUNTO: DESPLAZAMIENTO EN "X"	3-83
(CUADRO 28)	ARCO DE MEDIO PUNTO: DESPLAZAMIENTO EN "Z"	3-85
(CUADRO 29)	ARCO DE MEDIO PUNTO: "SII"	3-86
(CUADRO 30)	ARCO DE MEDIO PUNTO: "N22"	3-88
(CUADRO 31)	ARCO DE MEDIO PUNTO: "SI"	3-89
(CUADRO 32)	ARCO DE MEDIO PUNTO: "N11"	3-91
(CUADRO 33)	ARCO CARPANEL: DESPLAZAMIENTO EN "X"	3-92
(CUADRO 34)	ARCO CARPANEL: DESPLAZAMIENTO EN "Z"	3-94
(CUADRO 35)	ARCO CARPANEL: "SII"	3-95
(CUADRO 36)	ARCO CARPANEL: "N22"	3-97

(CUADRO 37)	ARCO CARPANEL: "SI"	3-98
(CUADRO 38)	ARCO CARPANEL: "N11"	3-100
(CUADRO 39)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS: DESPLAZAMIENTO EN "X"	3-101
(CUADRO 40)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS: DESPLAZAMIENTO EN "Z"	3-103
(CUADRO 41)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS: "SII"	3-104
(CUADRO 42)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS: "N22"	3-106
(CUADRO 43)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS: "SI"	3-107
(CUADRO 44)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS: "N11"	3-109
(CUADRO 45)	MODELOS CON LA BASE APOYADA (BA): DESPLAZAMIENTO EN "X"	3-112
(CUADRO 46)	MODELOS CON LA BASE APOYADA (BA): DESPLAZAMIENTO EN "Z"	3-114
(CUADRO 47)	MODELOS CON LA BASE APOYADA (BA): "SII"	3-115
(CUADRO 48)	MODELOS CON LA BASE APOYADA (BA): "N22"	3-117
(CUADRO 49)	MODELOS CON LA BASE APOYADA (BA): "SI"	3-118
(CUADRO 50)	MODELOS CON LA BASE APOYADA (BA): "N11"	3-120
(CUADRO 51)	MODELOS CON LA BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL): DESPLAZAMIENTO EN "X"	3-121
(CUADRO 52)	MODELOS CON LA BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL): DESPLAZAMIENTO EN "Z"	3-123
(CUADRO 53)	MODELOS CON LA BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL): "SII"	3-124
(CUADRO 54)	MODELOS CON LA BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL): "N22"	3-126
(CUADRO 55)	MODELOS CON LA BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL): "SI"	3-127
(CUADRO 56)	MODELOS CON LA BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL): "N11"	3-129
(CUADRO 57)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA (BE): DESPLAZAMIENTO EN "X"	3-130
(CUADRO 58)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA (BE): DESPLAZAMIENTO EN "Z"	3-132
(CUADRO 59)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA (BE): "SII" Y "N22"	3-133
(CUADRO 60)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA (BE): "N22"	3-135
(CUADRO 61)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA (BE): "SI"	3-136
(CUADRO 62)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA (BE): "N11"	3-138
(CUADRO 63)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL): DESPLAZAMIENTO EN "X"	3-139
(CUADRO 64)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL): DESPLAZAMIENTO EN "Z"	3-141
(CUADRO 65)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL): "SII" Y "N22"	3-142
(CUADRO 66)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL): "N22"	3-144
CUADRO 67)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL): "SI"	3-145
(CUADRO 68)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL): "N11"	3-147

ÍNDICE DE GRÁFICOS

(GRAF.3: 1) HUECO CON ARCO OJIVAL.....	3-14
(GRAF.3: 2) HUECO CON ARCO IDEAL.....	3-14
(GRAF.3: 3) HUECO CON ARCO DE MEDIO PUNTO.....	3-14
(GRAF.3: 4) HUECO CON ARCO CARPANEL.....	3-14
(GRAF.3: 5) HUECO CON ARCO DE ÁNGULOS RECTOS.....	3-14
(GRAF.3: 6) HUECO CON ARCO OJIVAL.....	3-15
(GRAF.3: 7) REPRESENTACIÓN DE LAS CARGAS LINEALES.....	3-15
(GRAF.3: 8) ESPECIFICACIÓN GEOMÉTRICA DE LA VIGA.....	3-16
(GRAF.3: 9) DEFORMADA DEL MODELO INFORMÁTICO.....	3-16
(GRAF.3: 10) MATERIALES UTILIZADOS EN EL EJEMPLO PRÁCTICO.....	3-16
(GRAF.3: 11) DEFORMADA CON PESO PROPIO DE LA CADENA.....	3-17
(GRAF.3: 12) DEFORMADA AUMENTANDO EL PESO DE LOS CLIPS.....	3-17
(GRAF.3: 13) MONTAJE DE LAS TRES DEFORMACIONES.....	3-18
(GRAF.3: 14) MOD INFORMÁTICO INVERTIDO.....	3-18
(GRAF.3: 15) MODELO PASADO A AUTOCAD.....	3-18
(GRAF.3: 16) HUECO CON FORMA DE ARCO DE MEDIO PUNTO.....	3-19
(GRAF.3: 17) HUECO CON FORMA DE ARCO CARPANEL.....	3-19
(GRAF.3: 18) HUECO EN FORMA DE ARCO DE ÁNGULOS RECTOS.....	3-19
(GRAF.3: 19) REPRESENTACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO-X (δX).....	3-22
(GRAF.3: 20) REPRESENTACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO-Y (δY).....	3-22
(GRAF.3: 21) REPRESENTACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO-Z (δZ).....	3-22
(GRAF.3: 22) REPRESENTACIÓN DEL GIRO-X (θX).....	3-22
(GRAF.3: 23) REPRESENTACIÓN DEL GIRO-Y (θY).....	3-22
(GRAF.3: 24) REPRESENTACIÓN DEL GIRO-Z (θZ).....	3-22
(GRAF.3: 25) A. OJIVAL: BA.....	3-23
(GRAF.3: 26) A. IDEAL: BA.....	3-23
(GRAF.3: 27) A. MEDIO PUNTO: BA.....	3-23
(GRAF.3: 28) A. CARPANEL: BA.....	3-23
(GRAF.3: 29) A. A. RECTOS: BA.....	3-23
(GRAF.3: 30) A. OJIVAL: BA-RL.....	3-23
(GRAF.3: 31) A. IDEAL: BA-RL.....	3-23
(GRAF.3: 32) A. MEDIO PUNTO: BA-RL.....	3-23
(GRAF.3: 33) A. CARPANEL: BA-RL.....	3-23
(GRAF.3: 34) A. A. RECTOS: BA-RL.....	3-23
(GRAF.3: 35) A. OJIVAL: BE.....	3-23
(GRAF.3: 36) A. IDEAL: BE.....	3-23

(GRAF.3: 37) A. MEDIO PUNTO: BE	3-23
(GRAF.3: 38) A. CARPANEL: BE	3-23
(GRAF.3: 39) A. A. RECTOS: BE	3-23
(GRAF.3: 40) A. OJIVAL: BE-RL	3-23
(GRAF.3: 41) A. IDEAL: BE-RL	3-23
(GRAF.3: 42) A. MEDIO PUNTO: BE-RL	3-23
(GRAF.3: 43) A. CARPANEL: BE-RL	3-23
(GRAF.3: 44) A. A. RECTOS: BE-RL	3-23
(GRAF.3: 45) "SII": DIRECCIÓN DE LOS VECTORES PRINCIPALES (EN EL EJE DE LA DIRECCIÓN PRINCIPAL "22=Y"). LOS VECTORES ROJOS REPRESENTAN TRACCIONES Y LOS VECTORES AZULES COMPRESIONES.....	3-24
(GRAF.3: 46) "N22": FUERZAS EN LA DIRECCIÓN PRINCIPAL "22=Y" (EN EL EJE DE LA DIRECCIÓN PRINCIPAL "Y").....	3-24
(GRAF.3: 47) "NYY=NY'": FUERZAS EN LA DIRECCIÓN "YY=Y'" (EN EL EJE LOCAL "Y'").....	3-24
(GRAF.3: 48) "SI": DIRECCIÓN DE LOS VECTORES PRINCIPALES (EN EL EJE DE LA DIRECCIÓN PRINCIPAL "11=X"). LOS VECTORES ROJOS REPRESENTAN TRACCIONES Y LOS VECTORES AZULES COMPRESIONES.....	3-24
(GRAF.3: 49) "N11": FUERZAS EN LA DIRECCIÓN PRINCIPAL "11=X" (EN EL EJE DE LA DIRECCIÓN PRINCIPAL "X").....	3-24
(GRAF.3: 50) "NXX=NX'": FUERZAS EN LA DIRECCIÓN "XX=X'" (EN EL EJE LOCAL "X'").....	3-24
(GRAF.3: 51) DATOS INICIALES DEL PROGRAMA. VALOR MÁXIMO ABSOLUTO (MÁX. ABS.).....	3-25
(GRAF.3: 52) DATOS MANIPULADOS: IGUALDAD ENTRE MÁXIMOS Y MÍNIMOS. VALOR DE REFERENCIA 1.5424E+05 (MÁX. ABS.).....	3-25
(GRAF.3: 53) DESPLAZAMIENTO EN "X" MÁXIMO ABSOLUTO: 0,00017383M.....	3-26
(GRAF.3: 54) DESPLAZAMIENTO EN "Z" MÁXIMO ABSOLUTO:	3-26
(GRAF.3: 55) LA FUERZA MÁXIMA ABSOLUTA EN LA DIRECCIÓN PRINCIPAL "22" ES "N22": 615562N/M.....	3-26
(GRAF.3: 56) LA FUERZA MÁXIMA ABSOLUTA EN LA DIRECCIÓN "YY" ES "NYY=NY'": 614076N/M.....	3-26
(GRAF.3: 57) LA FUERZA MÁXIMA ABSOLUTA EN LA DIRECCIÓN PRINCIPAL "11" ES "N11": 173209N/M.....	3-26
(GRAF.3: 58) LA FUERZA MÁXIMA ABSOLUTA EN LA DIRECCIÓN "XX" ES "NXX=NX'": 156236N/M.....	3-26
(GRAF.3: 59) REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS VECTORES "SI".....	3-28

CAPÍTULO-4

ANÁLISIS DE MODELOS SIMPLES CONSIDERANDO LA INFLUENCIA DE LOS ZUNCHOS PERIMETRALES

MJIG

CAPÍTULOS GENERALES

- 1.- INTRODUCCIÓN
- 2.- ESTADO DEL CONOCIMIENTO
- 3.- ANÁLISIS DE MODELOS SIMPLES SIN CONSIDERAR LA INFLUENCIA DE LOS ZUNCHOS PERIMETRALES
- 4.- ANÁLISIS DE MODELOS SIMPLES CONSIDERANDO LA INFLUENCIA DE LOS ZUNCHOS PERIMETRALES**
- 5.- INFLUENCIA DEL ANCHO Y POSICIÓN DE LOS HUECOS QUE FORMAN LOS APEOS
- 6.- APLICACIÓN DEL MÉTODO EN LA RESOLUCIÓN DE EJEMPLOS PRÁCTICOS
- 7.- DESARROLLO DEL ARCO DE DESCARGA PARA DIFERENTES MODELOS
- 8.- CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE FUTURAS INVESTIGACIONES

CAPITULO-4

4	ANÁLISIS DE MODELOS SIMPLES CONSIDERANDO LA INFLUENCIA DE LOS ZUNCHOS PERIMETRALES	4-13
4.1	ASPECTOS GENERALES.....	4-13
4.2	CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS.....	4-17
4.2.1	Tipología de los arcos a utilizar.....	4-17
4.2.2	Parámetros utilizados.....	4-18
4.2.2.1	Estado de carga.....	4-18
4.2.2.2	Características mecánicas del material.....	4-18
4.2.2.3	Programas utilizados.....	4-19
4.2.2.4	Características del mallado de los modelos.....	4-19
4.2.2.5	Características de los Zunchos Perimetrales.....	4-19
4.2.2.6	Condiciones de Contorno.....	4-20
4.2.2.6.1	Representación gráfica de los desplazamientos y giros.....	4-20
4.2.2.6.2	Representación esquemática de las condiciones de contorno de los diferentes modelos.....	4-21
4.2.3	Estudio a realizar.....	4-22
4.2.3.1	Representación gráfica de los resultados obtenidos en el programa de cálculo.....	4-22
4.2.3.2	Especificación de criterios de interpretación de los modelos individuales.....	4-23
4.2.3.3	Análisis comparativos.....	4-27
4.3	ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE ARCOS.....	4-30
4.3.1	Influencia de la base apoyada.....	4-31
4.3.1.1	Hueco con arco ideal.....	4-33
4.3.1.2	Hueco con arco de medio punto.....	4-34
4.3.1.3	Hueco con arco carpanel.....	4-35
4.3.1.4	Hueco con arco de ángulos rectos.....	4-36
4.3.2	Influencia de los apoyos en base y restricción lateral.....	4-37
4.3.2.1	Hueco con arco ideal.....	4-39

4.3.2.2	Hueco con arco de medio punto.....	4-40
4.3.2.3	Hueco con arco carpanel.....	4-41
4.3.2.4	Hueco con arco de ángulos rectos.....	4-42
4.3.3	Influencia del empotramiento de la base.....	4-43
4.3.3.1	Hueco con arco ideal.....	4-45
4.3.3.2	Hueco con arco de medio punto.....	4-46
4.3.3.3	Hueco con arco carpanel.....	4-47
4.3.3.4	Hueco con arco de ángulos rectos.....	4-48
4.3.4	Influencia del empotramiento de la base y restricción lateral.....	4-49
4.3.4.1	Hueco con arco ideal.....	4-51
4.3.4.2	Hueco con arco de medio punto.....	4-52
4.3.4.3	Hueco con arco carpanel.....	4-53
4.3.4.4	Hueco con arco de ángulos rectos.....	4-54
4.4	INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO.....	4-57
4.4.1	Hueco con arco ideal.....	4-57
4.4.1.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-57
4.4.1.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-57
4.4.1.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-59
4.4.1.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-60
4.4.1.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-61
4.4.1.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-62
4.4.1.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-64
4.4.2	Hueco con arco de medio punto.....	4-65
4.4.2.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-65
4.4.2.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-65
4.4.2.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-67
4.4.2.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-68

4.4.2.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-69
4.4.2.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-70
4.4.2.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-72
4.4.3	Hueco con arco carpanel.....	4-73
4.4.3.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-73
4.4.3.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-73
4.4.3.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-75
4.4.3.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-76
4.4.3.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-77
4.4.3.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-78
4.4.3.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-80
4.4.4	Hueco con arco de ángulos rectos.....	4-81
4.4.4.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-81
4.4.4.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-81
4.4.4.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-83
4.4.4.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-84
4.4.4.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-85
4.4.4.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-86
4.4.4.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-88
4.5	INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO.....	4-91
4.5.1	Modelo con la base Apoyada.....	4-91
4.5.1.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-91
4.5.1.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-91
4.5.1.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-93

4.5.1.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-94
4.5.1.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-96
4.5.1.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-97
4.5.1.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-99
4.5.2	Modelo con la base Apoyada y Restricción Lateral.....	4-100
4.5.2.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-100
4.5.2.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-100
4.5.2.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-102
4.5.2.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-103
4.5.2.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-105
4.5.2.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-106
4.5.2.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-108
4.5.3	Modelo con la base Empotrada.....	4-109
4.5.3.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-109
4.5.3.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-109
4.5.3.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-111
4.5.3.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-112
4.5.3.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-114
4.5.3.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-115
4.5.3.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-117
4.5.4	Modelo con la base Empotrada y Restricción Lateral.....	4-118
4.5.4.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-118
4.5.4.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-118
4.5.4.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-120

4.5.4.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-121
4.5.4.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-123
4.5.4.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-124
4.5.4.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-126
4.6	ANÁLISIS COMPARATIVO: INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO.....	4-129
4.6.1	Hueco con arco ideal.....	4-129
4.6.1.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-129
4.6.1.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-129
4.6.1.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-131
4.6.1.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-133
4.6.1.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-135
4.6.1.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-137
4.6.1.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-139
4.6.2	Hueco con arco de medio punto.....	4-141
4.6.2.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-141
4.6.2.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-141
4.6.2.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-143
4.6.2.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-145
4.6.2.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-147
4.6.2.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-149
4.6.2.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-151
4.6.3	Hueco con arco carpanel.....	4-153
4.6.3.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-153

4.6.3.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-153
4.6.3.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-155
4.6.3.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-157
4.6.3.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-159
4.6.3.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-161
4.6.3.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-163
4.6.4	Hueco con arco de ángulos rectos.....	4-165
4.6.4.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-165
4.6.4.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-165
4.6.4.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-167
4.6.4.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-169
4.6.4.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-171
4.6.4.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-173
4.6.4.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-175
4.7	CUADRO COMPARATIVO: INFLUENCIA DE LA FORMA DE LOS ARCOS EN LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO.....	4-179
4.7.1	Modelo con la base Apoyada.....	4-179
4.7.1.1	Comparación de los Desplazamientos:.....	4-179
4.7.1.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-179
4.7.1.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-180
4.7.1.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-181
4.7.1.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-182
4.7.1.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-183
4.7.1.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-184

4.7.2	Modelo con la base Apoyada y Restricción Lateral.....	4-185
4.7.2.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-185
4.7.2.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-185
4.7.2.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-186
4.7.2.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-187
4.7.2.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-188
4.7.2.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-189
4.7.2.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-190
4.7.3	Modelo con la base Empotrada.....	4-191
4.7.3.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-191
4.7.3.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-191
4.7.3.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-192
4.7.3.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-193
4.7.3.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-194
4.7.3.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-195
4.7.3.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-196
4.7.4	Modelo con la base Empotrada y Restricción Lateral.....	4-197
4.7.4.1	Comparación de los Desplazamientos.....	4-197
4.7.4.1.1	Desplazamientos en "x".....	4-197
4.7.4.1.2	Desplazamientos en "z".....	4-198
4.7.4.2	Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).....	4-199
4.7.4.3	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).....	4-200
4.7.4.4	Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si).....	4-201
4.7.4.5	Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11" (N11).....	4-202

4.8	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO-4.....	4-204
4.8.1	Modelos con la base apoyada (BA).....	4-204
4.8.2	Modelos con la base apoyada y restricciones laterales.....	4-206
4.8.3	Modelos con la base empotrada.....	4-209
4.8.4	Modelos con la base empotrada y restricciones laterales.....	4-212

MJIG

CAPÍTULO-4

- 1.- ASPECTOS GENERALES
- 2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS
- 3.- ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE ARCOS
- 4.- INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO
- 5.- INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO
- 6.- ANÁLISIS COMPARATIVO: INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO
- 7.- CUADRO COMPARATIVO: INFLUENCIA DE LA FORMA DE LOS ARCOS EN LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO
- 8.- CONCLUSIONES

MJG

CAPÍTULO-4**1.- ASPECTOS GENERALES**

2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS

3.- ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE
ARCOS4.- INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE
CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO5.- INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN
LOS MODELOS CON ZUNCHO6.- ANÁLISIS COMPARATIVO: INFLUENCIA
DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN
LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN
ZUNCHO7.- CUADRO COMPARATIVO: INFLUENCIA DE
LA FORMA DE LOS ARCOS EN LOS
MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO

8.- CONCLUSIONES

4 ANÁLISIS DE MODELOS SIMPLES CONSIDERANDO LA INFLUENCIA DE LOS ZUNCHOS PERIMETRALES

4.1 ASPECTOS GENERALES

En la actualidad, se recomienda que los forjados lleguen a la pared y sean rematados por medio de zunchos.

Los zunchos son piezas lineales de hormigón armado hechos "in situ". Se disponen transversalmente a las viguetas que constituyen el forjado y quedan embebidos en la pared de obra de fábrica sobre la cual se apoyan.

La influencia de estos elementos es fundamental para el forjado y para la pared de carga:

- Arriostra y encadena perimetralmente el conjunto, tanto paredes-forjados como paredes-paredes.
- Mejora el reparto de las cargas verticales sobre los muros inferiores.
- Ayuda a uniformar los asientos de las viguetas que ata.
- Aumenta la rigidez de la pared¹.

Dada esta influencia, el "CTE"² excluye de su aplicación a las paredes que no tengan dicho elemento de atado.

La finalidad de este capítulo es determinar las repercusiones estructurales de los zunchos perimetrales en los forjados.

Para realizar dicho estudio se desarrollan 16 modelos con diferentes formas de los huecos y condiciones de contorno. Sus características más relevantes se clasifican en dos grupos:

1. Parámetros conocidos (ya utilizados en el capítulo anterior³), que se incluyen en los nuevos modelos:

- a. Los arcos utilizados para formar los huecos de las paredes⁴ son: ideal, de medio punto, carpanel y recto.
- b. Las condiciones de contorno que se utilizan tienen cuatro variantes: base apoyada, base apoyada y restricciones laterales, base empotrada y base empotrada con restricciones laterales⁵.

¹ Mejorando el comportamiento frente a los desplazamientos horizontales, tan peligrosos para las fábricas. En el desarrollo de la Tesis no se incluye el análisis de dichos desplazamientos.

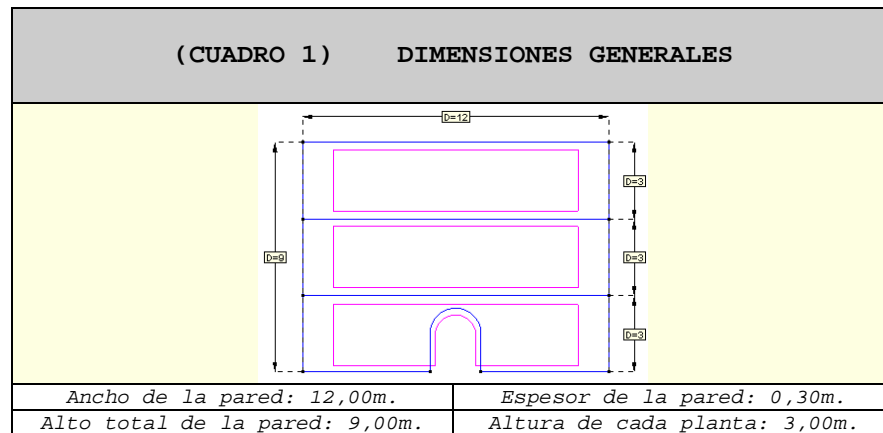
² CTE (Código Técnico de la Edificación); Parte-5; Apartado-1; Párrafo-2, dice: "Quedan excluidos de este DB los muros de carga que carecen de elementos destinados a asegurar la continuidad de los forjados (encadenado), tanto los que confían la estabilidad al rozamientos de los extremos de las viguetas, como los que confían la estabilidad exclusivamente a su grueso o a su vinculación a otros muros perpendiculares sin colaboración de los forjados. También, quedan excluidas aquellas fábricas construidas con piezas colocadas "en seco" (sin mortero en las juntas horizontales) y las de piedra cuyas piezas no son regulares (mampuestos) o no se asientan sobre tendeles horizontales, y aquellas en las que su grueso se consigue a partir de rellenos amorfos entre dos hojas de sillares".

³ Con la finalidad de poder realizar las comparaciones entre los modelos con zuncho y sin zuncho se usan los mismos parámetros considerados en el Capítulo-3, tanto geométricos como mecánicos.

⁴ Dichas formas también son utilizadas en el Capítulo-3. En el presente análisis no se incluye el arco ojival por las razones indicadas en el capítulo citado.

⁵ Se prevé que: por un lado, el caso más desfavorable corresponde a los modelos que tienen la base apoyada (por tener libres los movimientos horizontales que da como resultado mayores deformaciones); por otro, el comportamiento mejora cuando se empotran las bases (al tener impedido el desplazamiento horizontal) y por último, los casos con restricciones laterales son aún más favorables.

- c. Las características mecánicas de la obra de fábrica se toman del "CTE"⁶.
- d. En el (CUADRO 1) se indican las características geométricas generales de los modelos⁷.



2. Parámetro nuevo a tener en cuenta en los modelos⁸:

- e. Los zunchos de forjado embebidos en la pared de obra de fábrica se incluyen en las paredes.

A lo largo del desarrollo del capítulo se hacen comparaciones entre todos los modelos analizados. Los incluimos en dos grupos:

1. Comparaciones entre los modelos con zuncho:

- f. En el apartado "4.4" se realizan comparaciones entre los modelos de un mismo tipo de arco con sus diferentes condiciones de contorno.
- g. En el apartado "4.5" se hacen comparaciones entre todos los tipos de arcos utilizados, aunque con una misma condición de contorno.

2. Comparaciones entre los modelos sin zuncho⁹ y con zuncho:

- h. En el apartado "4.6" se realizan comparaciones entre los modelos de un mismo tipo de arco con sus diferentes condiciones de contorno.
- i. En el apartado "4.7" se hacen comparaciones gráficas entre todos los tipos de arcos utilizados, aunque con una misma condición de contorno. No se ve necesario indicar conclusiones escritas porque en el apartado anterior se ven con claridad las diferencias entre ambos grupos de modelos.

⁶ Las conclusiones de los "Capítulos 3 y 4" ayudan a validar los parámetros mecánicos del material, utilizados en todos los modelos.

⁷ La dimensión de cada uno de los huecos se puede apreciar en el (CUADRO 2).

⁸ Este parámetro es el más importante de este capítulo.

⁹ Analizados en el capítulo anterior.

MJIG

CAPÍTULO-4

- 1.- ASPECTOS GENERALES
- 2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS**
- 3.- ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE ARCOS
- 4.- INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO
- 5.- INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO
- 6.- ANÁLISIS COMPARATIVO: INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO
- 7.- CUADRO COMPARATIVO: INFLUENCIA DE LA FORMA DE LOS ARCOS EN LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO
- 8.- CONCLUSIONES

MJIG

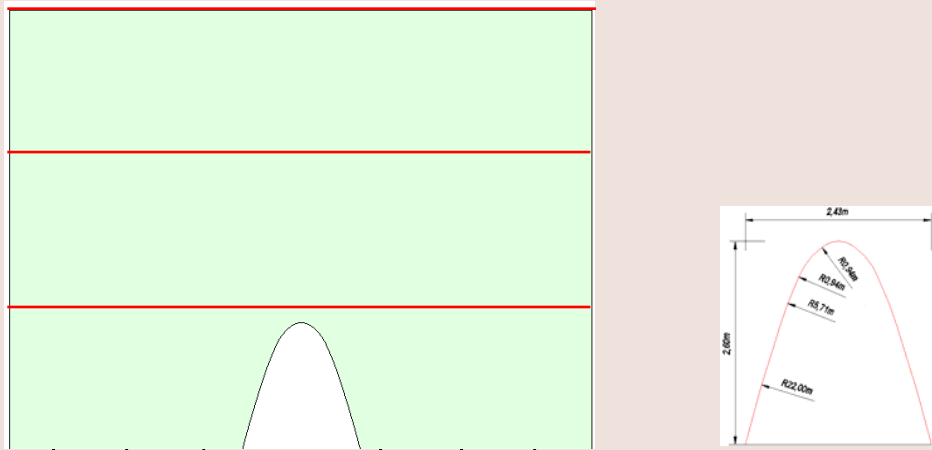
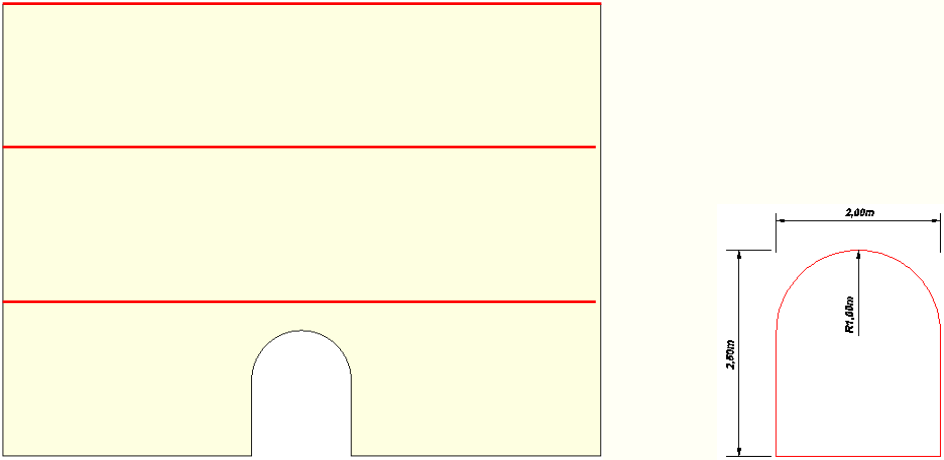
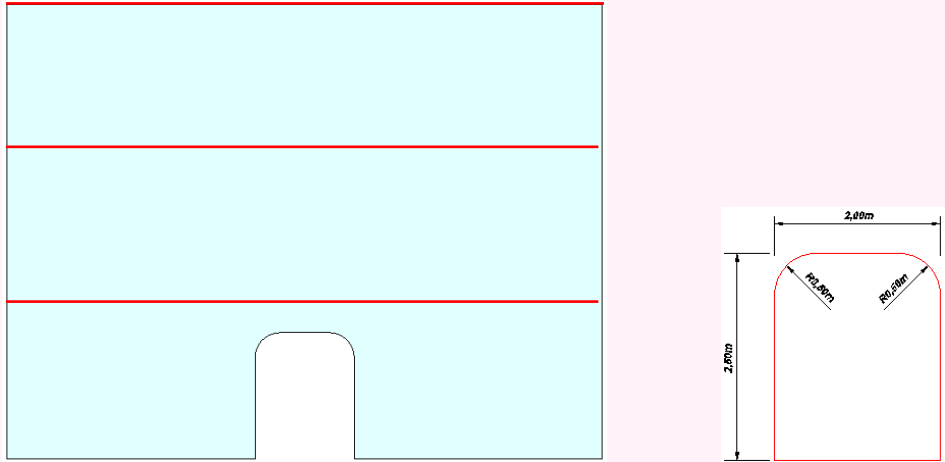
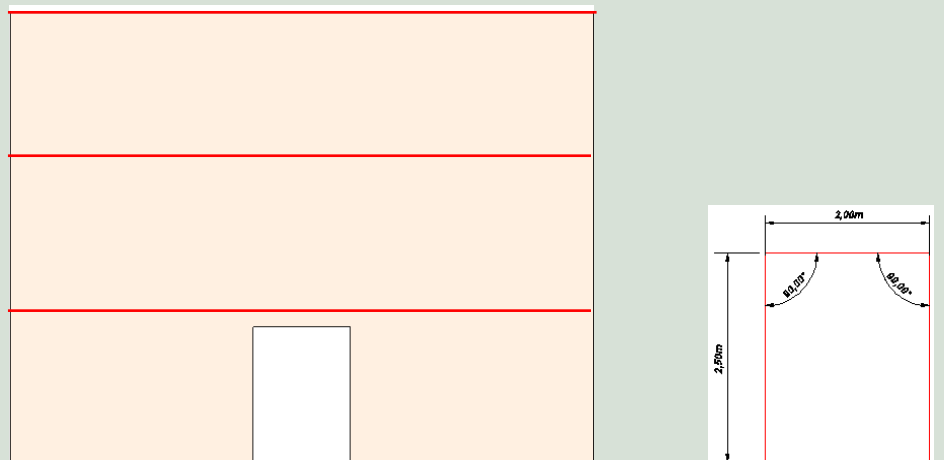
4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS

- 1.- TIPOLOGÍA DE LOS ARCOS A UTILIZAR
- 2.- PARÁMETROS UTILIZADOS
- 3.- ESTUDIO A REALIZAR

4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS

4.2.1 Tipología de los arcos a utilizar¹⁰

Para determinar la influencia de la forma de los huecos, se seleccionan cinco tipos de arcos que se exponen en el (CUADRO 2). La finalidad es abarcar la mayor cantidad posible de formas usadas en la edificación cuyo comportamiento presente una cierta evolución estructural¹¹.

(CUADRO 2) TIPOLOGÍA DE ARCOS A ESTUDIAR	
	
(GRAF.4: 1) Hueco con arco ideal.	(GRAF.4: 2) Hueco con arco de medio punto.
	
(GRAF.4: 3) Hueco con arco carpanel.	(GRAF.4: 4) Hueco con arco de ángulos rectos.

¹⁰ Con el fin de facilitar las comparaciones entre los modelos con zuncho y sin zuncho, se considera la tipología de zunchos utilizados en el capítulo anterior (análisis de los modelos sin zuncho de borde).

¹¹ Es decir, de una forma favorable estructuralmente hacia una desfavorable.

4.2.2 Parámetros utilizados**4.2.2.1 Estado de carga**

El modelo representa una pared medianera de un edificio de tres plantas: planta baja, planta primera, planta segunda y terraza (sin uso público). Su estado de carga es el siguiente:

Estado de carga en zonas de vivienda:

Pp	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000
Cp	Tn/m ²	0,15
	N/m	6.000
Su	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000

Estado de carga en terraza (sólo de mantenimiento):

Pp	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000
Cp	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000
Su	Tn/m ²	0,15
	N/m	6.000

pp=Peso propio

cp=cargas permanentes

su + N=sobrecargas de uso + nieve

4.2.2.2 Características mecánicas del material

Las características mecánicas utilizadas en los diferentes modelos analizados se calculan en base al "CTE".

γ	N/m ³	18.000
E	N/m ²	5,70E09
G	N/m ²	2,30E+09
ν	-	0,20
f_d	N/m ²	3,2E+06
f_t	N/m ²	0,1E+06

Para el cálculo de estos valores se desarrolla una hoja de cálculo que se presenta a continuación.

CTE - SE-F					
Valores de "k"		1Hoja	2Hojas		
Macizas		0,6	0,5		
Perforadas		0,55	0,45		
Aligeradas		0,5	0,4		
Huecas		0,4	-		
k	0,6				
f _b	25		N/mm ²		
f _m	15	OK	N/mm ²		
f _k	9,57		N/mm ²		
γ _M	3				
f _d	3,19		N/mm ²		
Valor de "E" teniendo "fk"					
f _k	9,57	N/mm ²	9,57E+06	N/m ²	
E	9570	N/mm ²	9,57E+09	N/m ²	
E _{est lim serv}	5,742	N/mm ²	5,74E+09	N/m ²	
G	3828	N/mm ²	2,30E+09	N/m ²	

4.2.2.3 Programas utilizados

Los modelos se analizan por medio del programa de cálculo "Rambshell"¹² y usando como pre y post-procesador el programa "GID", los cuales se emplean a lo largo de toda la Tesis.

4.2.2.4 Características del mallado de los modelos

La malla utilizada incorpora elementos finitos triangulares de seis grados de libertad, con una longitud de cada lado de 0,20m.

4.2.2.5 Características de los Zunchos Perimetrales

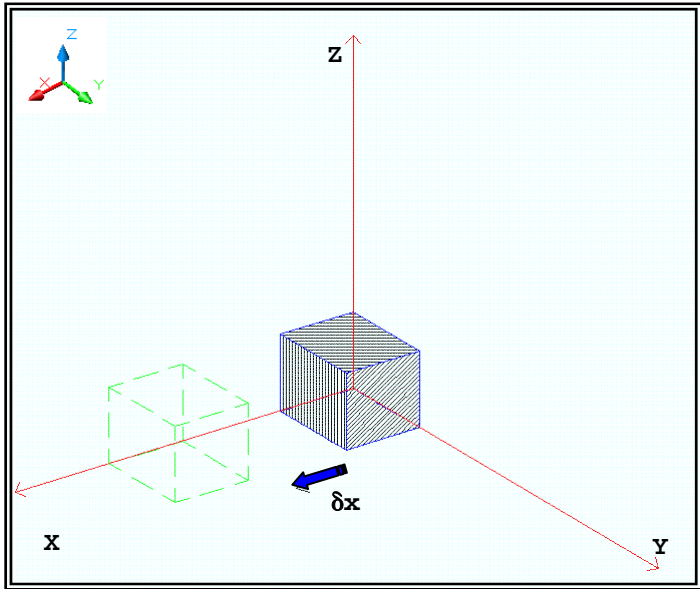
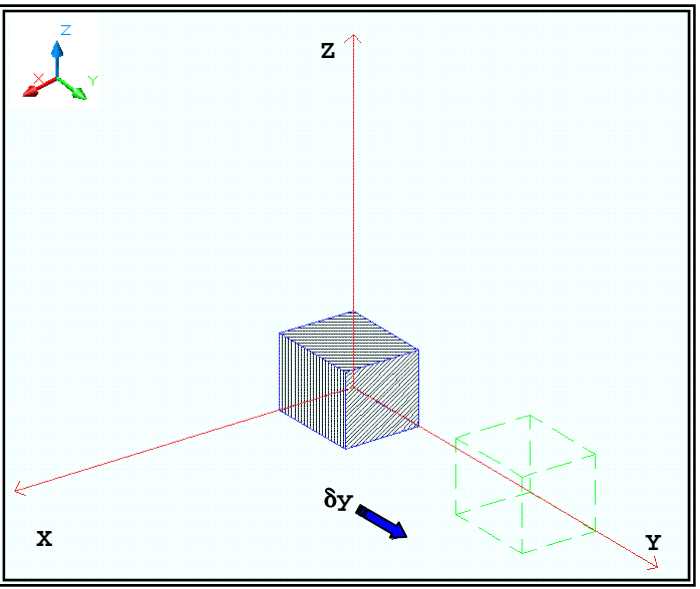
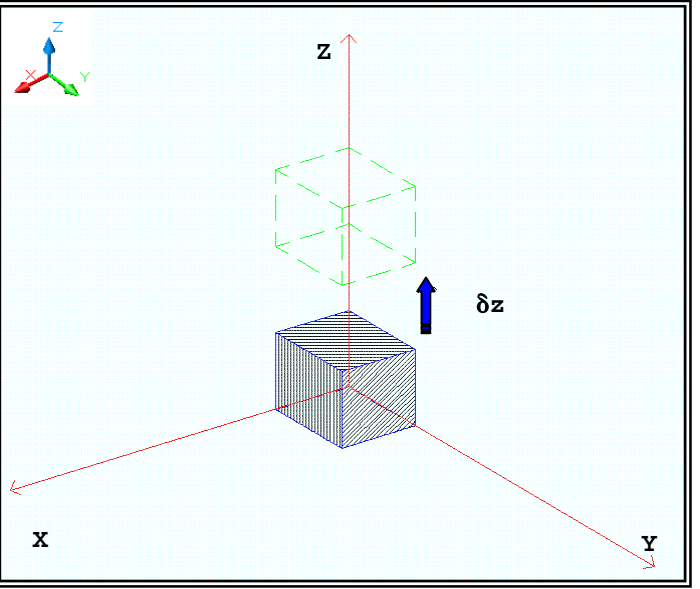
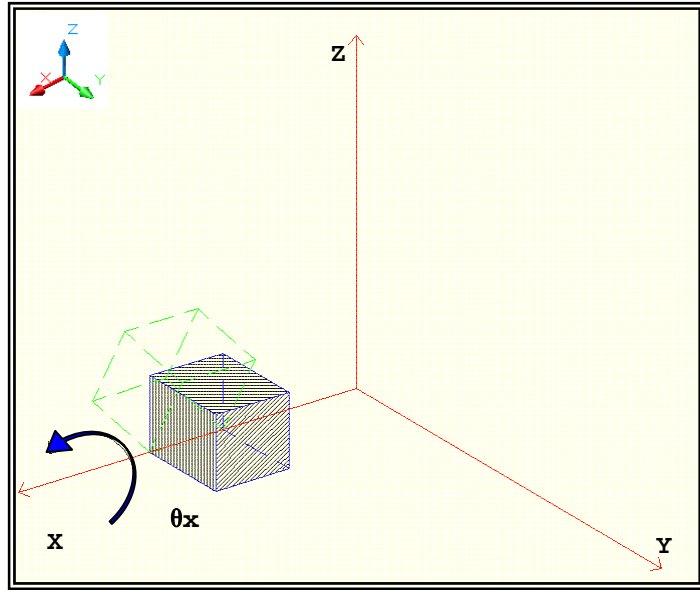
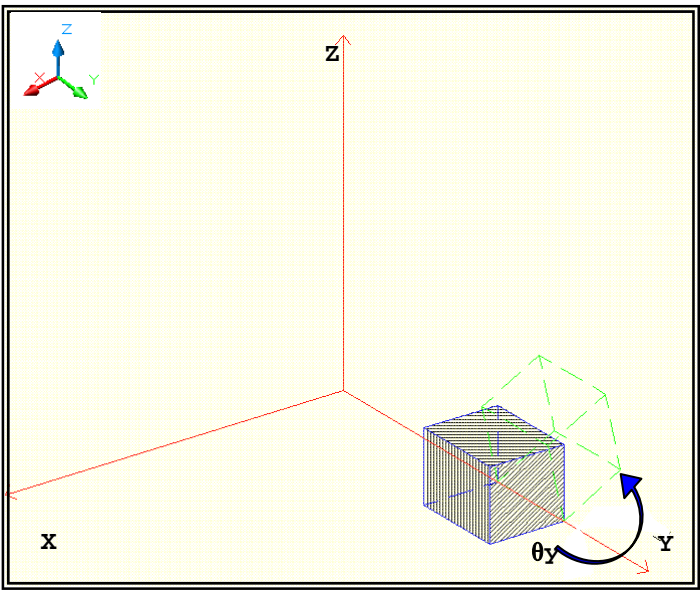
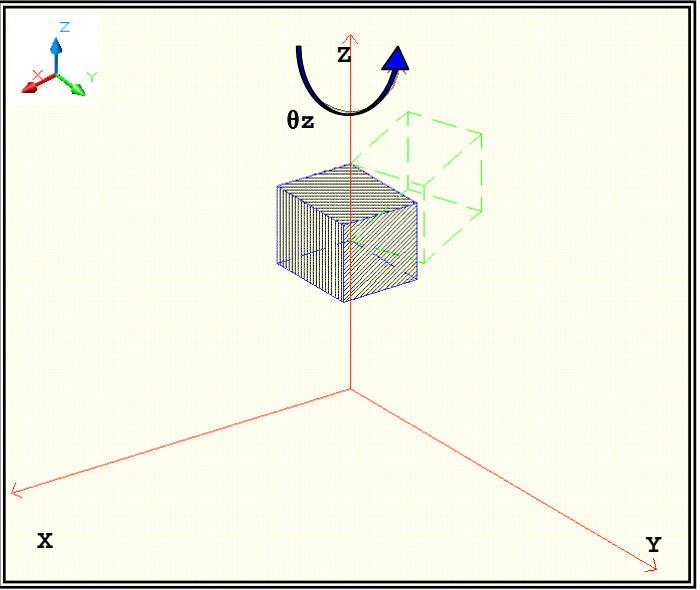
En el estudio se considera la influencia de los zunchos embebidos en el forjado. La dimensión de los zunchos es de 0,25m x 0,25m.

¹² En el Capítulo-2 se presentan características de estos dos programas.

4.2.2.6 Condiciones de Contorno

4.2.2.6.1 Representación gráfica de los desplazamientos y giros

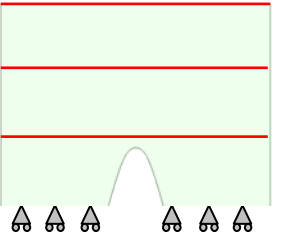
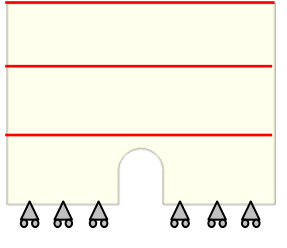
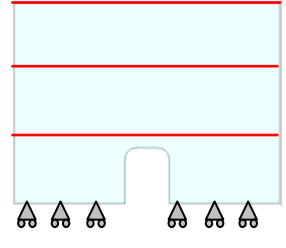
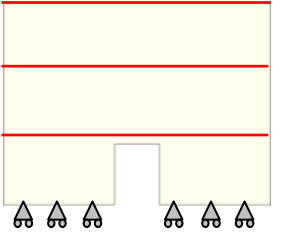
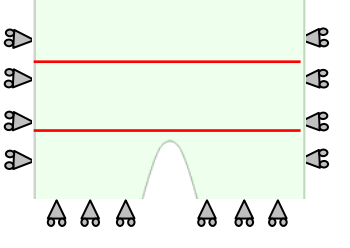
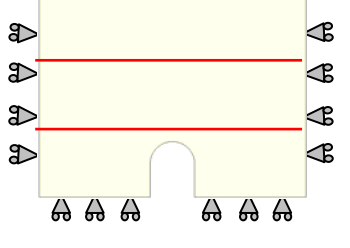
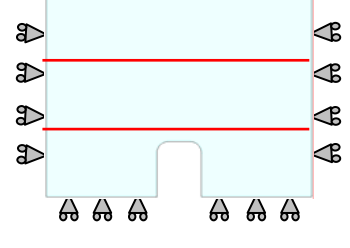
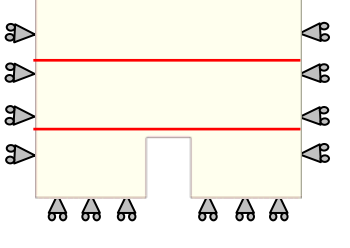
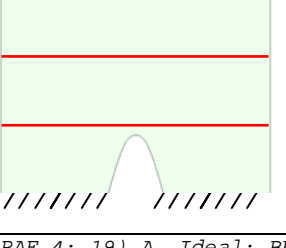
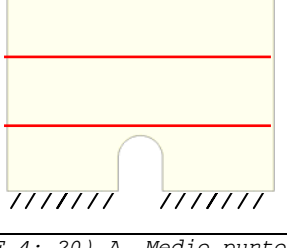
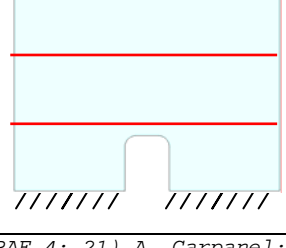
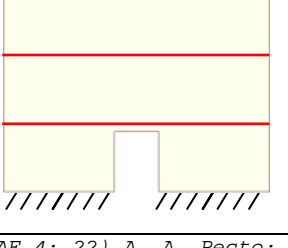
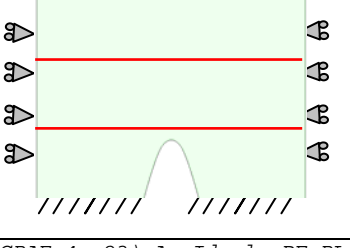
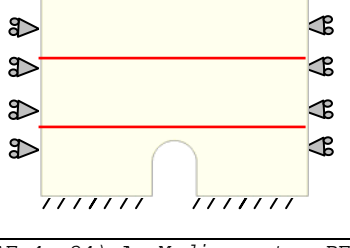
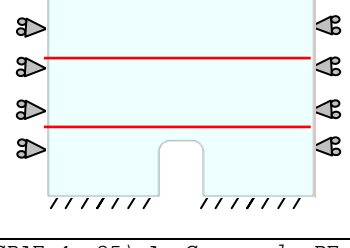
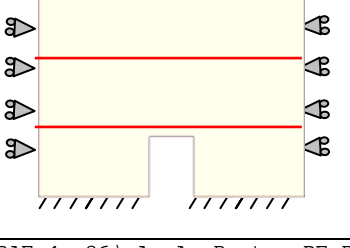
En el estudio se tienen en cuenta cuatro grupos de condiciones de contorno: base apoyada, base apoyada y restricciones laterales, base empotrada y base empotrada con restricciones laterales. Con el fin de aclarar la terminología, a continuación, en el (CUADRO 3), se presentan de modo gráfico los desplazamientos y giros, indicando únicamente su sentido positivo:

(CUADRO 3) REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS DESPLAZAMIENTOS Y GIROS		
DESPLAZAMIENTOS: ($\delta_x = \delta_y = \delta_z = 0$)		
		
(GRAF.4: 5) Representación del Desplazamiento-x (δ_x).	(GRAF.4: 6) Representación del Desplazamiento-y (δ_y).	(GRAF.4: 7) Representación del Desplazamiento-z (δ_z).
GIROS: ($\theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$)		
		
(GRAF.4: 8) Representación del giro-x (θ_x).	(GRAF.4: 9) Representación del giro-y (θ_y).	(GRAF.4: 10) Representación del giro-z (θ_z).

4.2.2.6.2 Representación esquemática de las condiciones de contorno de los diferentes modelos

En el (CUADRO 4) se presentan las diferentes condiciones de contorno de cada uno de los modelos. Estos esquemas se incluirán a lo largo del proceso para identificar el modelo que se analiza y son:

- a. Base apoyada: en la base se restringe el desplazamiento vertical (δz).
- b. Base apoyada y restricción lateral: en la base se coarta el desplazamiento vertical (δz) y en las caras laterales se tasa el desplazamiento horizontal (δx).
- c. Base empotrada: en la base se limitan todos los desplazamientos (δx , δy , δz) y los giros (θx , θy , θz).
- d. Base empotrada y restricción lateral: en la base se restringen todos los desplazamientos (δx , δy , δz) y los giros (θx , θy , θz) y en las caras laterales se impide el desplazamiento horizontal (δx).

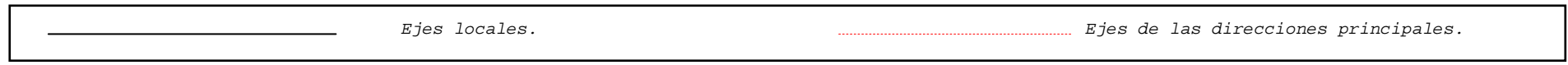
(CUADRO 4) ESQUEMAS DE LOS MODELOS CON LAS DIFERENTES CONDICIONES DE CONTORNO A ANALIZAR				
	ARCO IDEAL (A.I)	ARCO DE MEDIO PUNTO (A.M.P)	ARCO CARPANEL (A.CP)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS (A.R)
BASE APOYADA (BA)	 (GRAF.4: 11) A. Ideal: BA	 (GRAF.4: 12) A. Medio punto: BA	 (GRAF.4: 13) A. Carpanel: BA	 (GRAF.4: 14) A. A. Recto: BA
BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL)	 (GRAF.4: 15) A. Ideal: BA-RL	 (GRAF.4: 16) A. Medio punto: BA-RL	 (GRAF.4: 17) A. Carpanel: BA-RL	 (GRAF.4: 18) A. A. Recto: BA-RL
BASE EMPOTRADA (BE)	 (GRAF.4: 19) A. Ideal: BE	 (GRAF.4: 20) A. Medio punto: BE	 (GRAF.4: 21) A. Carpanel: BE	 (GRAF.4: 22) A. A. Recto: BE
BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL)	 (GRAF.4: 23) A. Ideal: BE-RL	 (GRAF.4: 24) A. Medio punto: BE-RL	 (GRAF.4: 25) A. Carpanel: BE-RL	 (GRAF.4: 26) A. A. Recto: BE-RL

4.2.3 Estudio a realizar

4.2.3.1 Representación gráfica de los resultados obtenidos en el programa de cálculo

En el (CUADRO 5) se exponen, de modo gráfico, los resultados que se obtienen de los modelos de cálculo tales como: "Sii", "N22", "Nyy=Ny'", "Si", "N11" y "Nxx=Nx'". La representación gráfica de los desplazamientos se puede ver en el apartado "4.2.2.6.1".

(CUADRO 5) REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS RESULTADOS NUMÉRICOS		
<p>(GRAF.4: 27) "Sii": dirección de los vectores principales (en el eje de la dirección principal "22=y"). Los vectores rojos representan tracciones y los vectores azules compresiones.</p>	<p>(GRAF.4: 28) "N22": fuerzas en la dirección principal "22=y" (en el eje de la dirección principal "y").</p>	<p>(GRAF.4: 29) "Nyy=Ny'": fuerzas en la dirección "yy=y'" (en el eje local "y").</p>
<p>(GRAF.4: 30) "Si": dirección de los vectores principales (en el eje de la dirección principal "11=x"). Los vectores rojos representan tracciones y los vectores azules compresiones.</p>	<p>(GRAF.4: 31) "N11": fuerzas en la dirección principal "11=x" (en el eje de la dirección principal "x").</p>	<p>(GRAF.4: 32) "Nxx=Nx'": fuerzas en la dirección "xx=x'" (en el eje local "x").</p>



4.2.3.2 Especificación de criterios de interpretación de los modelos individuales

En primer lugar, obtenemos los resultados de cada uno de los modelos¹³.

Con el fin de mejorar la interpretación de los datos se tienen en cuenta los siguientes criterios:

1. Obtención del valor máximo absoluto.

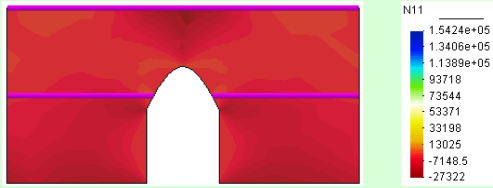
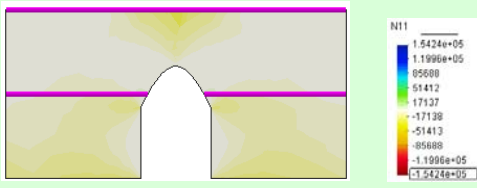
De cada modelo se selecciona el máximo absoluto de los diferentes tipos de resultados ("N11", "Nyy=Ny'", "N22"...). Posteriormente, se comparan y se selecciona, de entre todos, el máximo. Este último valor es el que se aplica en el paso 2.

En el (CUADRO 6), se presenta un ejemplo hipotético que aclara el proceso explicado en el párrafo anterior. Se resaltan, en color verde, los valores a considerar en el paso siguiente:

(CUADRO 6) VALORES MÁXIMOS ABSOLUTOS				
Resultado \ Modelo	Mod-1	Mod-2	Mod-3	Mod-4
"N11"	715295	872347	809283	45345
"Nyy=Ny' "	695295	852347	789283	43345
"N22"	-85295	-82347	-89283	-4345
"Nxx=Nx' "	-83295	-80347	-87283	-4145
δx	0,0001	-0,00012	-0,00028	0,0034
δz	-0,000012	-0,000013	-0,000025	-0,000045

2. Igualación de los valores máximos y mínimos.

Para facilitar la lectura de los resultados, se igualan los valores máximos y mínimos^{14,15} de los datos obtenidos. Gracias a esta igualación de datos se obtiene una escala gráfica simétrica¹⁶, como se aprecia en el (GRAF.4: 34). En el (CUADRO 7) se presenta un ejemplo aclaratorio:

(CUADRO 7) MANIPULACIÓN DE DATOS	
	
(GRAF.4: 33) Datos iniciales del programa. Valor máximo absoluto (máx. abs.) 1.5424e+05.	(GRAF.4: 34) Datos manipulados: igualdad entre máximos y mínimos. Valor de referencia 1.5424e+05 (máx. abs.).

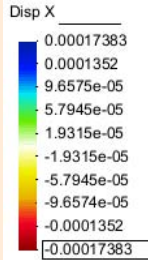

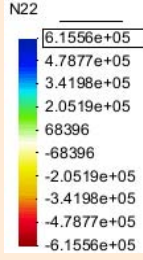
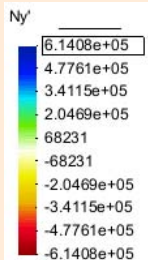
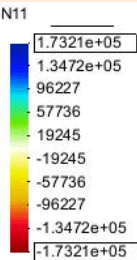
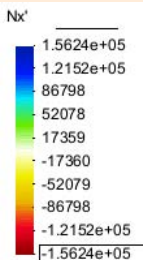
¹³ Es una información necesaria para desarrollar la fase posterior de comparación de los modelos.

¹⁴ La igualación se realiza en el módulo post-procesador de "GID" (comandos "set maximum value" y "set minimum value").

¹⁵ Utilizando el valor máximo obtenido en el paso anterior.

¹⁶ Gracias a dicha simetría mejora la interpretación de los valores positivos y negativos.

En nuestro caso, los valores a incluir en los diferentes modelos son los que se indican en el (CUADRO 8):

(CUADRO 8) MÁXIMOS ABSOLUTOS CONSIDERADOS EN EL ANÁLISIS		
		
(GRAF.4: 35) Desplazamiento en "x" máximo absoluto: 0,00017383m.	(GRAF.4: 36) Desplazamiento en "z" máximo absoluto: -0.00052951m.	(GRAF.4: 37) La fuerza máxima absoluta en la dirección principal "22" es "N22": 615562N/m.
		
(GRAF.4: 38) La fuerza máxima absoluta en la dirección "yy" es "Nyy=Ny'": 614076N/m.	(GRAF.4: 39) La fuerza máxima absoluta en la dirección principal "11" es "N11": 173209N/m.	(GRAF.4: 40) La fuerza máxima absoluta en la dirección "xx" es "Nxx=Nx'": 156236N/m.

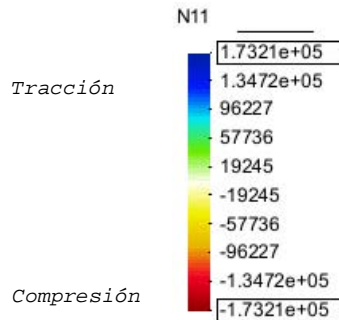
3. Especificación de la escala cromática utilizada para las fuerzas y para los desplazamientos en "x".

Para la representación gráfica de las fuerzas y del desplazamiento en "x" se utiliza la misma escala cromática. En el (CUADRO 9) se incluyen los números de los colores¹⁷ utilizados en los modelos:

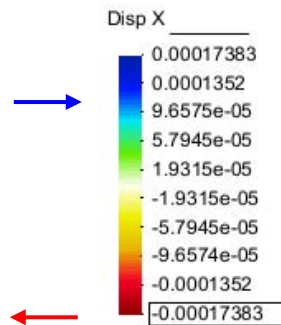
(CUADRO 9) FUERZAS Y DESPLAZAMIENTO EN "X"						
	153	0	240	30	79	168
	156	2	236	27	119	251
	122	0	240	231	114	242
	62	106	240	236	111	0
	40	255	240	255	221	233
	40	240	240	240	113	0
	31	233	238	181	110	1
	234	243	238	1	115	37
	0	149	240	0	70	0

¹⁷ Estos números se introducen en el módulo post-procesador de "GID" (comando option/contour/colour Windows/user defined).

En el caso de los esfuerzos, las fuerzas de tracción se representan con una gama de colores fríos¹⁸ y los de compresión con una gama de colores cálidos¹⁹.



En el caso de los desplazamientos en "x" vemos dos situaciones: cuando el movimiento es hacia el lado derecho, se representan con la gama de colores fríos y cuando es hacia el lado izquierdo, con una gama de colores cálidos.



Para facilitar la interpretación se incluyen flechas que indican, visualmente, el sentido del desplazamiento²⁰.

4. Especificación de la escala cromática utilizada para la representación gráfica de los desplazamientos en "z".

En el caso de los desplazamientos en "z" se selecciona una escala cromática de colores cálidos²¹, la misma que se indica en el (CUADRO 10):

(CUADRO 10) DESPLAZAMIENTO EN "Z"						
	40	255	240	255	221	233
	0	255	240	151	191	151
	0	149	240	0	70	0

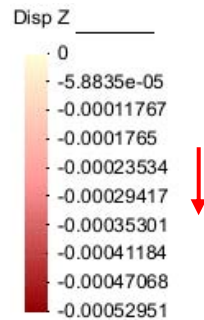
¹⁸ Los colores fríos corresponden a una gama de verde y azul.

¹⁹ Los colores cálidos corresponden a una gama de amarillo y rojo.

²⁰ Hay que indicar que el movimiento horizontal no se debe a fuerzas laterales externas (fuerzas aplicadas en la dirección "x"). Se debe más bien al efecto de Poisson que origina que la pieza cargada se deforme en todas las direcciones. Dicho efecto depende del sentido de fuerza, en el caso en que sea de compresión la pieza se ensancha y se acorta.

²¹ Los desplazamientos tienden a mínimos cuando se aproximan a colores claros y a máximos cuando se acercan a tonos oscuros.

Para una mayor claridad de los resultados se incluye una flecha que indica el sentido del desplazamiento. Veamos un ejemplo:



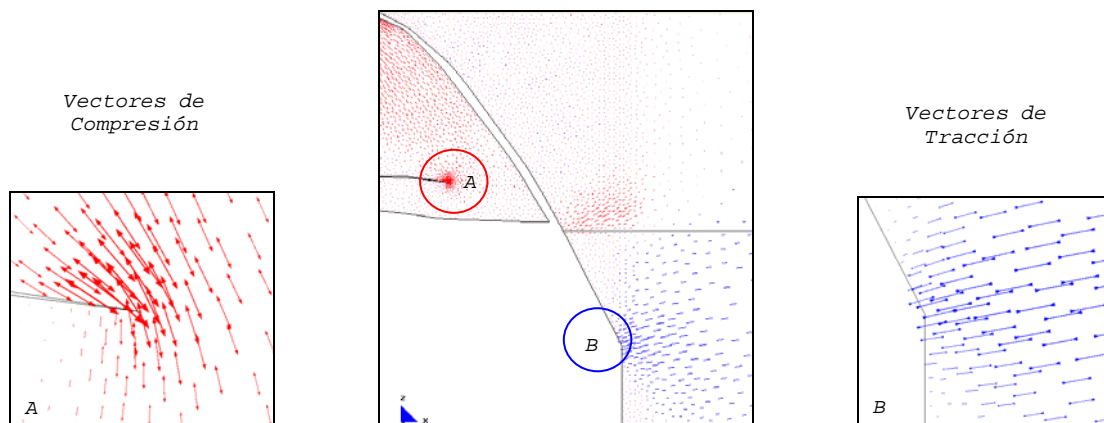
5. Definición del factor de escala: "Si" y "Sii".

El factor de escala es el valor que se utiliza para ampliar o reducir la representación gráfica de los vectores ("Si" y "Sii").

Con la finalidad de facilitar la comparación de los modelos se tiene en cuenta que el factor de escala es igual para todos ellos, tanto para la representación de "Si" como para "Sii". En el presente estudio utilizamos como factor: "1,00E-05".

Gracias a esta igualdad se puede demostrar fácilmente que los vectores "Sii" son siempre superiores a los "Si"²².

En los resultados gráficos de ambos vectores²³ se distinguen dos tipologías: los vectores de color rojo²⁴ que simbolizan tracciones y los de color azul²⁵ que representan compresiones. Por ejemplo:



(GRAF.4: 41) Representación gráfica de los vectores "Si".

²² Los vectores "Sii" deben ser superiores a los "Si" dado que las fuerzas de compresión son superiores.

²³ Los vectores de las direcciones principales "Sii" y "Si".

²⁴ Flechas que se separan = tracciones.

²⁵ Flechas que se unen = compresiones.

4.2.3.3 Análisis comparativos

Se realiza el análisis comparativo de la influencia de los siguientes aspectos:

- a. Condiciones de contorno de los modelos con zuncho.
- b. Forma de los arcos de los modelos con zuncho.
- c. Condiciones de contorno entre los modelos con y sin zuncho.
- d. Forma de los arcos entre los modelos con y sin zuncho.

MJIG

CAPÍTULO-4

- 1.- ASPECTOS GENERALES
- 2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS
- 3.- ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE ARCOS**
- 4.- INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO
- 5.- INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO
- 6.- ANÁLISIS COMPARATIVO: INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO
- 7.- CUADRO COMPARATIVO: INFLUENCIA DE LA FORMA DE LOS ARCOS EN LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO
- 8.- CONCLUSIONES

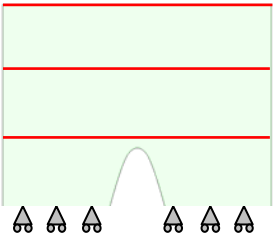
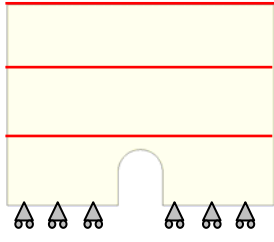
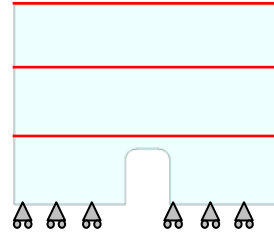
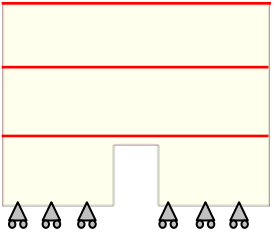
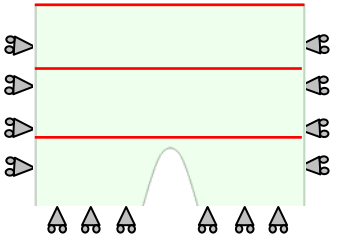
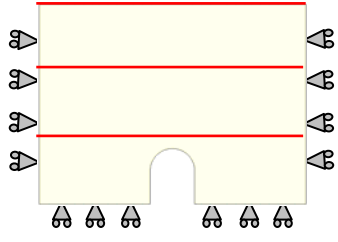
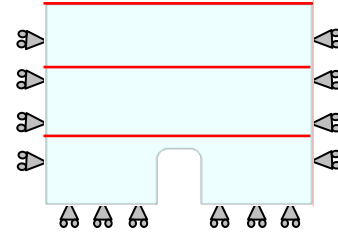
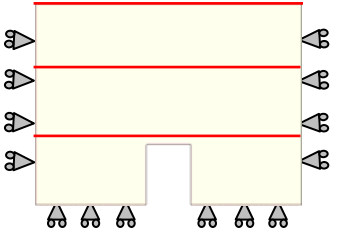
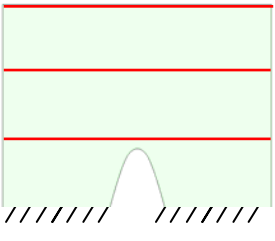
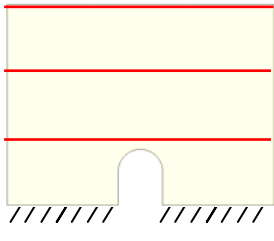
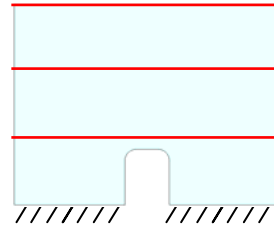
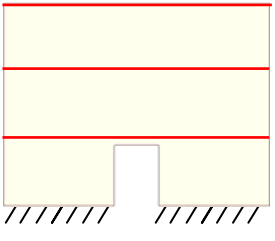
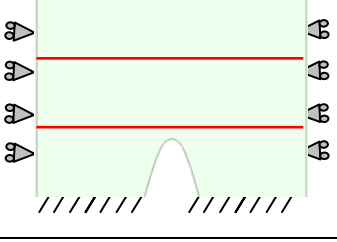
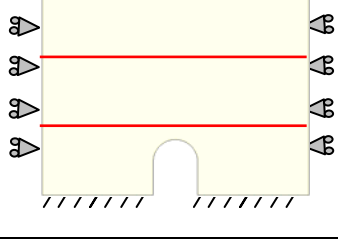
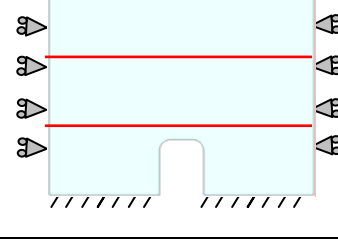
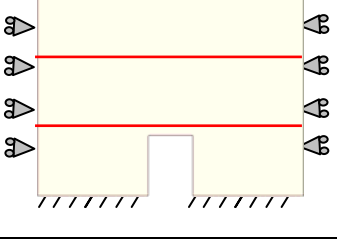
MJIG

4.3 ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE ARCOS

- 1.- INFLUENCIA DE LA BASE APOYADA
- 2.- INFLUENCIA DE LOS APOYOS EN BASE Y
RESTRICCIÓN LATERAL
- 3.- INFLUENCIA DEL EMPOTRAMIENTO DE LA
BASE
- 4.- INFLUENCIA DEL EMPOTRAMIENTO DE LA
BASE Y RESTRICCIÓN LATERAL

4.3 ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE ARCOS

En el presente apartado se analizan los cinco modelos que se indican el (CUADRO 4), cuyas variables son: la forma²⁶ de los huecos y las condiciones de contorno.

(CUADRO 4) ESQUEMAS DE LOS MODELOS CON LAS DIFERENTES CONDICIONES DE CONTORNO A ANALIZAR				
	ARCO IDEAL (A.I)	ARCO DE MEDIO PUNTO (A.M.P)	ARCO CARPANEL (A.CP)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS (A.R)
BASE APOYADA (BA)	 (GRAF.4: 11) A. Ideal: BA	 (GRAF.4: 12) A. Medio punto: BA	 (GRAF.4: 13) A. Carpanel: BA	 (GRAF.4: 14) A. A. Recto: BA
BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL)	 (GRAF.4: 15) A. Ideal: BA-RL	 (GRAF.4: 16) A. Medio punto: BA-RL	 (GRAF.4: 17) A. Carpanel: BA-RL	 (GRAF.4: 18) A. A. Recto: BA-RL
BASE EMPOTRADA (BE)	 (GRAF.4: 19) A. Ideal: BE	 (GRAF.4: 20) A. Medio punto: BE	 (GRAF.4: 21) A. Carpanel: BE	 (GRAF.4: 22) A. A. Recto: BE
BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL)	 (GRAF.4: 23) A. Ideal: BE-RL	 (GRAF.4: 24) A. Medio punto: BE-RL	 (GRAF.4: 25) A. Carpanel: BE-RL	 (GRAF.4: 26) A. A. Recto: BE-RL

Para el análisis, los modelos se clasifican de acuerdo a sus condiciones de contorno:

²⁶ Indicados en los primeros apartados.

4.3.1 Influencia de la base apoyada

FICHA DEL MODELO

1.- NOMBRE DEL MODELO:

Hueco con arco-con zuncho-def-apoy=30²⁷*(Hueco con arco, con zuncho, con la base apoyada, e=30)*

Número de plantas (a)=3

Altura de las plantas (b)=3,00m

Longitud del tramo de pared (c)=12,00m

Ancho de la zona de influencia de carga (d)=4,00m

Ancho de la abertura (f)=2,50m

Espesor de la pared =0,30m

2.- ESTADO DE CARGA CONSIDERADO:

Pp	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000
Cp	Tn/m ²	0,15
	N/m	6.000
Su	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000

3.- DATOS DE LA PARED DE FÁBRICA:

 $\gamma=18.000\text{N/m}^3$ $E=5,70\text{E}09\text{N/m}^2$ $G=2,38\text{E}+09\text{N/m}^2$ $\nu=0,20$

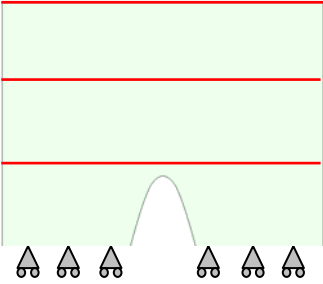
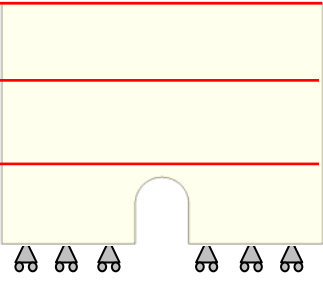
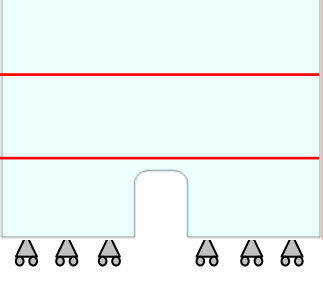
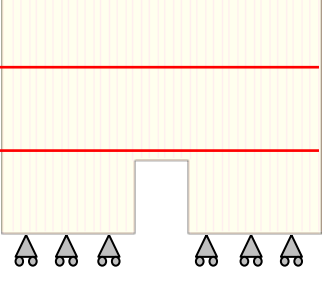
4.- DATOS DE LOS FORJADOS:

El zuncho de conexión con el muro es de 0,25m x 0,25m.

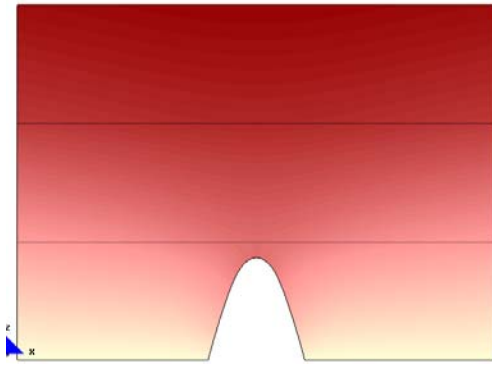
5.- DATOS DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO:

Con apoyo deslizando en la base y libre lateralmente.

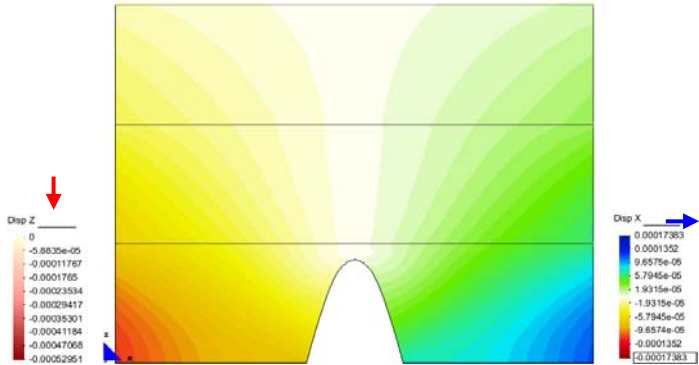
²⁷ Nombre del modelo que aparece en el CD entregado. Ruta F:\modelos-cálculo\mod-capítulos-def\cap-4-con zuncho\hueco con arco-con zuncho-def-apoy=30.gid

(CUADRO 11) MODELOS: BASE APOYADA	
ARCO IDEAL	 <p>Ver 4.3.1.1</p>
ARCO DE MEDIO PUNTO	 <p>Ver 4.3.1.2</p>
ARCO CARPANEL	 <p>Ver 4.3.1.3</p>
ARCO DE ÁNGULOS RECTOS	 <p>Ver 4.3.1.4</p>

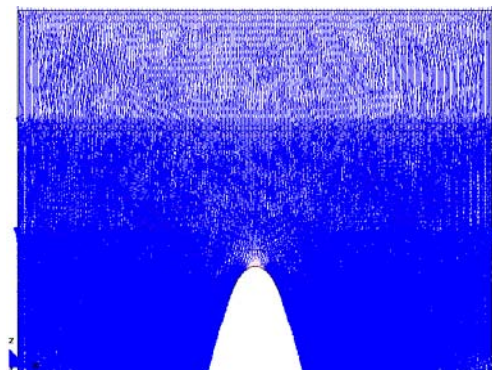
4.3.1.1 Hueco con arco ideal



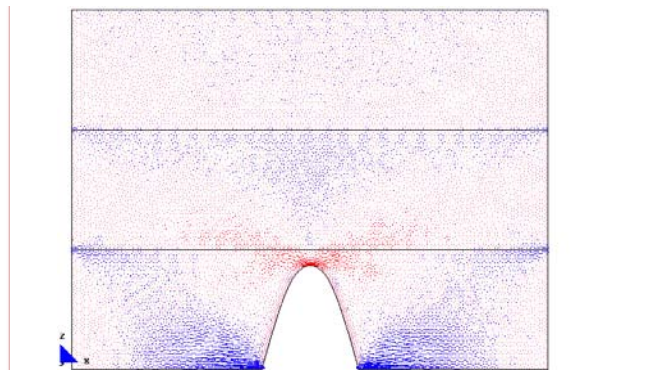
a.- Displacement (m).Disp-Z



a'.- Displacement (m).Disp-X
Desplazamientos

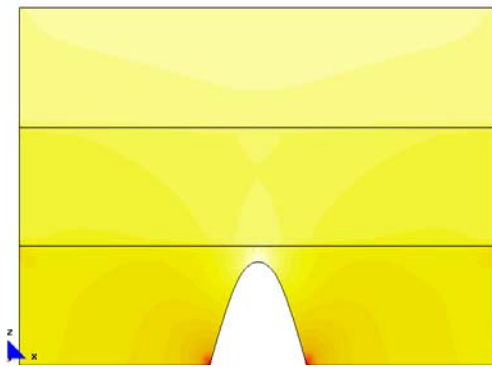


b.- Main Ax. Force (N/M). Si factor 8.1e-6.

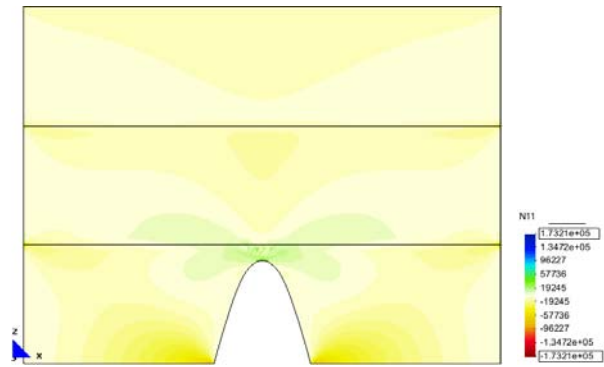


c.- Main Ax. Force (N/M). Si factor 8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

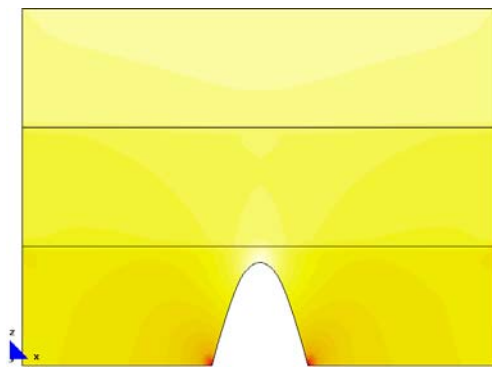


d.- Main Ax. Force (N/M). N22.

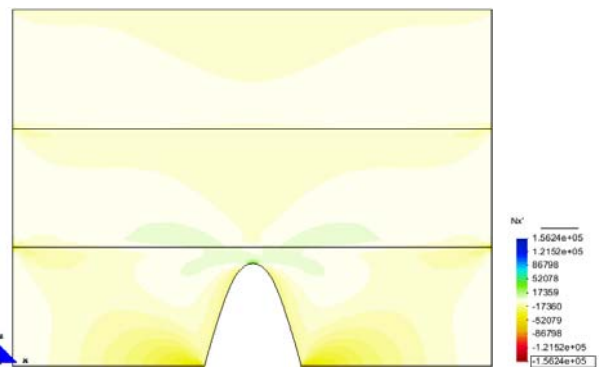


e.- Main Ax. Force (N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



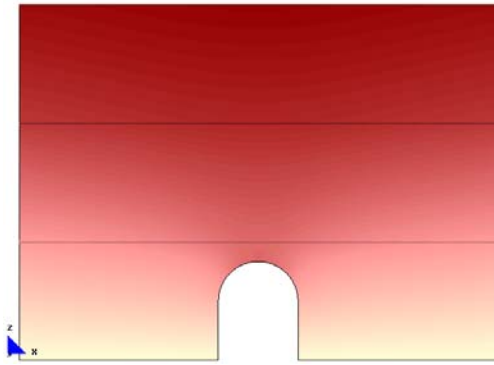
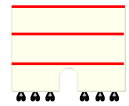
f.- Axial Force (N/M). Ny'.



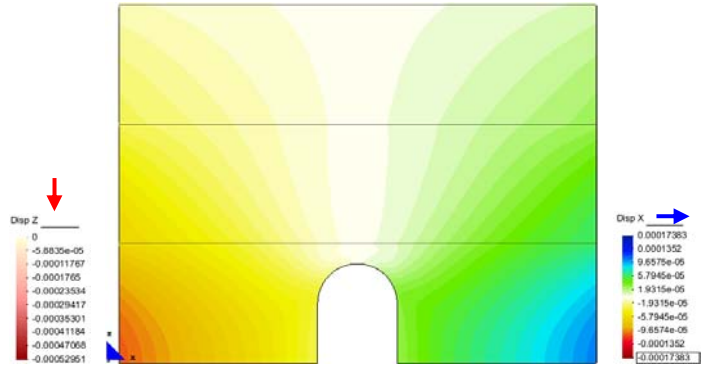
g.- Axial Force (N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

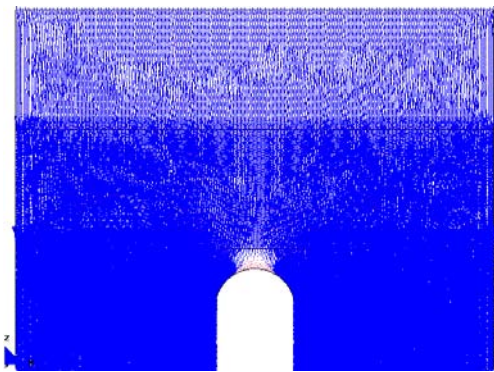
4.3.1.2 Hueco con arco de medio punto



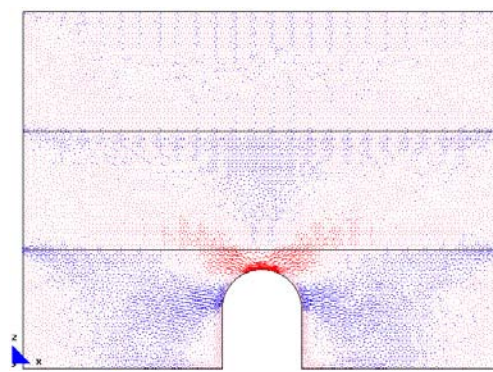
a.- Displacement (m).Disp-Z



a'.- Displacement (m).Disp-X
Desplazamientos

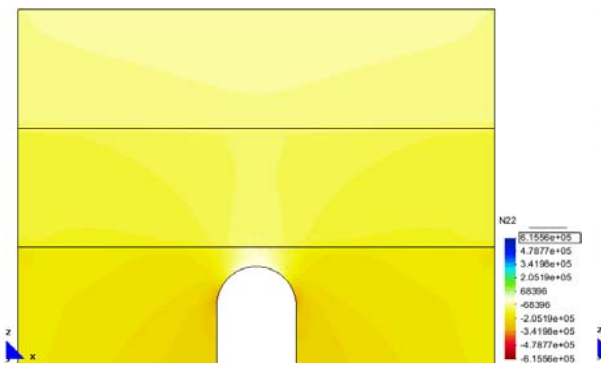


b.- Main Ax. Force (N/M). Sii factor -8.1e-6.

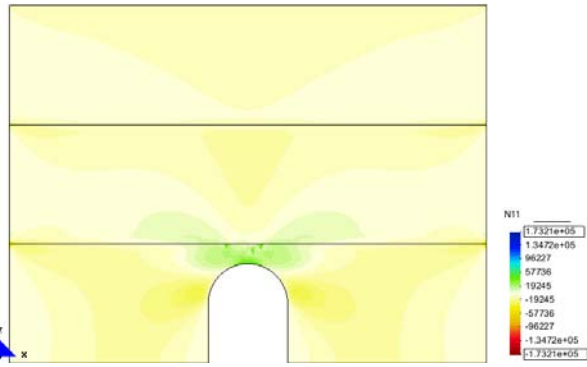


c.- Main Ax. Force (N/M). Si factor 8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

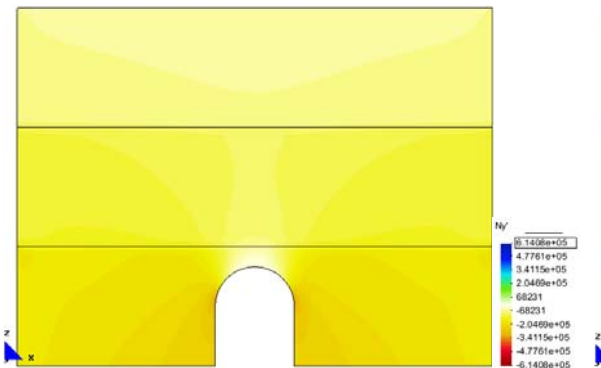


d.- Main Ax. Force (N/M). N22.

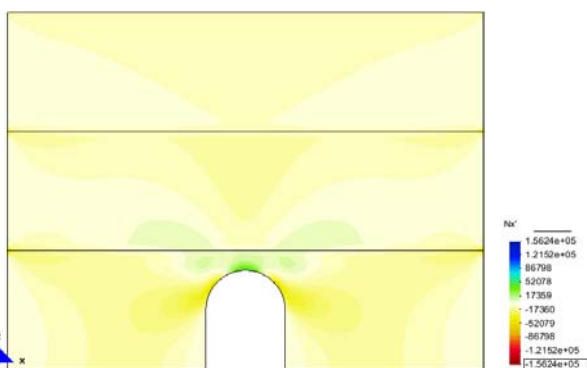


e.- Main Ax. Force (N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



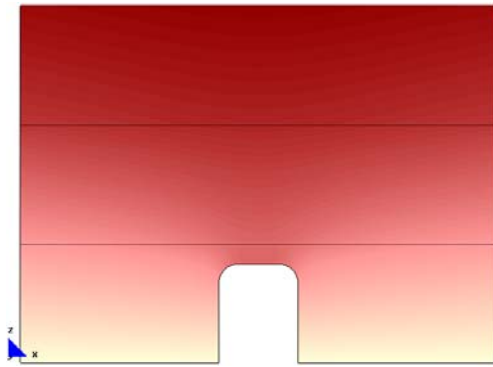
f.- Axial Force (N/M). Ny'.



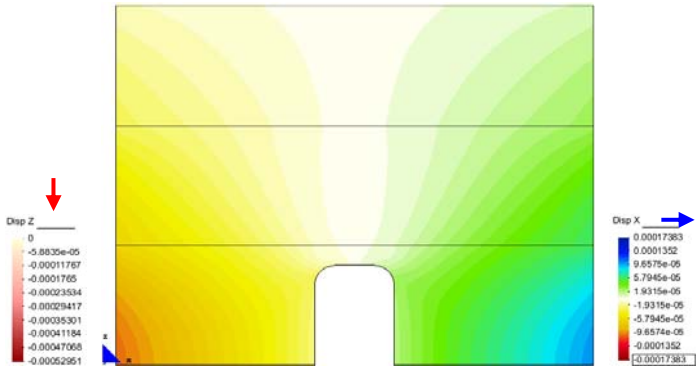
g.- Axial Force (N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

4.3.1.3 Hueco con arco carpanel

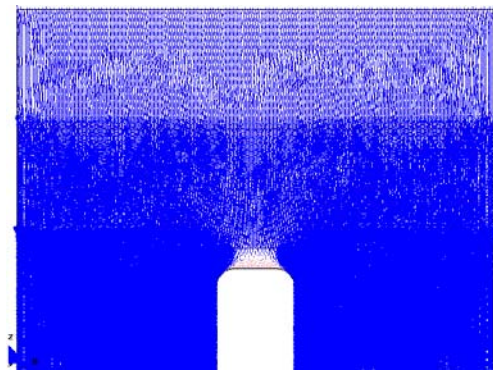


a.- Displacement (m).Disp-Z

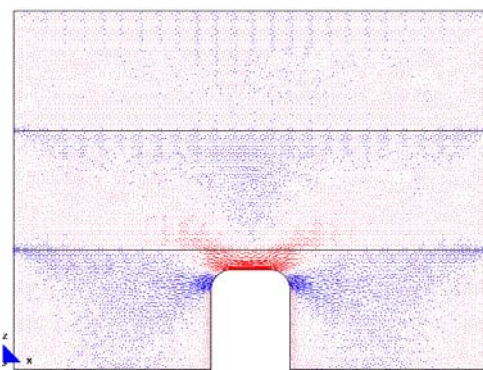


a'.- Displacement (m).Disp-X

Desplazamientos

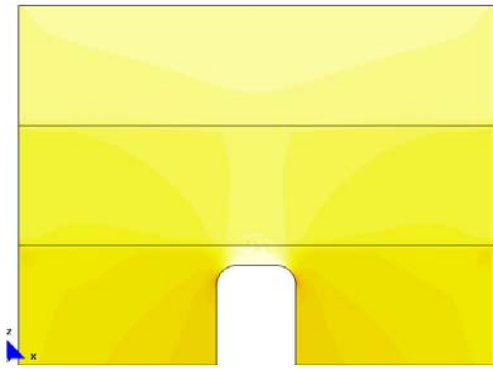


b.- Main Ax. Force (N/M). Sii factor 8.1e-6.

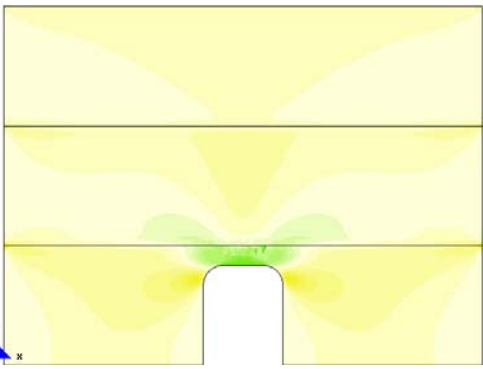


c.- Main Ax. Force (N/M). Si factor 8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

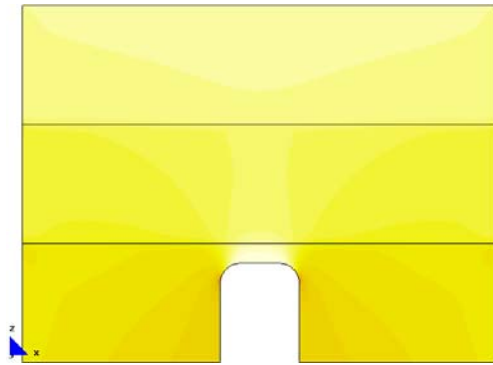


d.- Main Ax. Force (N/M). N22.

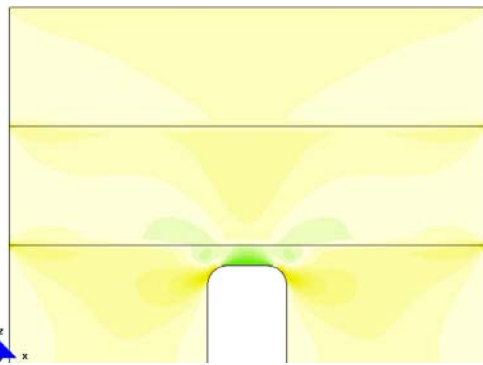


e.- Main Ax. Force (N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



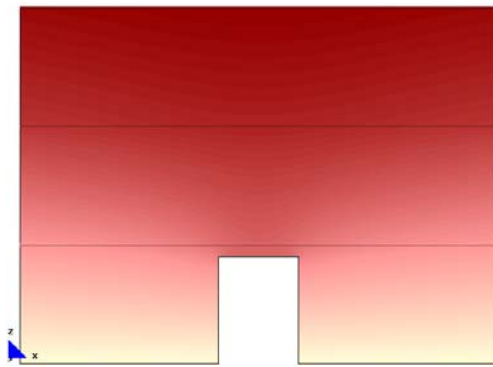
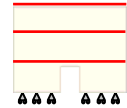
f.- Axial Force (N/M). Ny'.



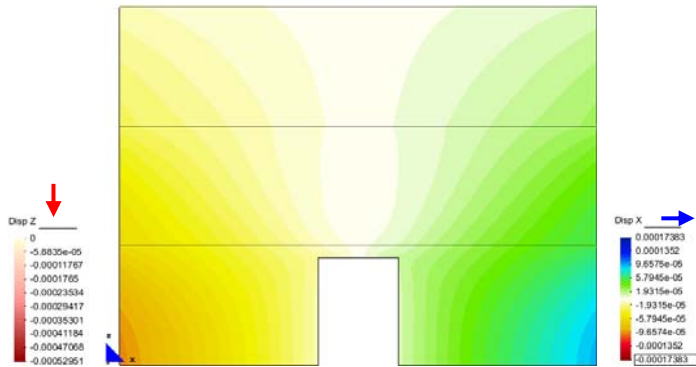
g.- Axial Force (N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

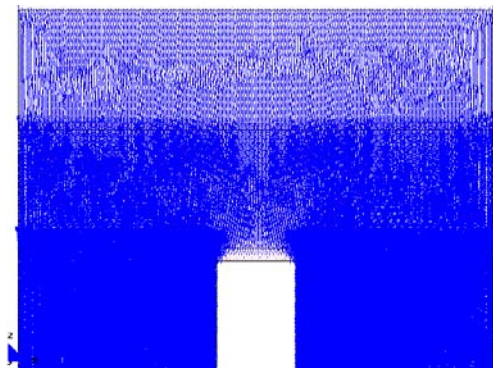
4.3.1.4 Hueco con arco de ángulos rectos



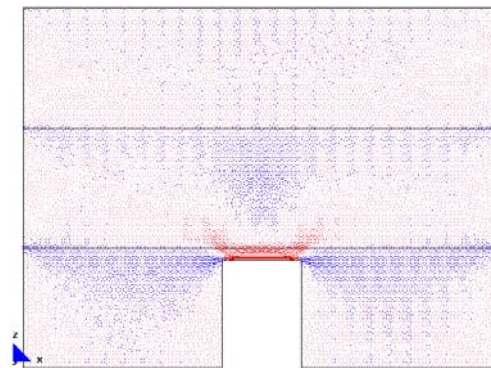
a.- Displacement (m).Disp-Z



a'.- Displacement (m).Disp-X
Desplazamientos



b.- Main Ax. Force (N/M). Sii factor 8.1e-6.

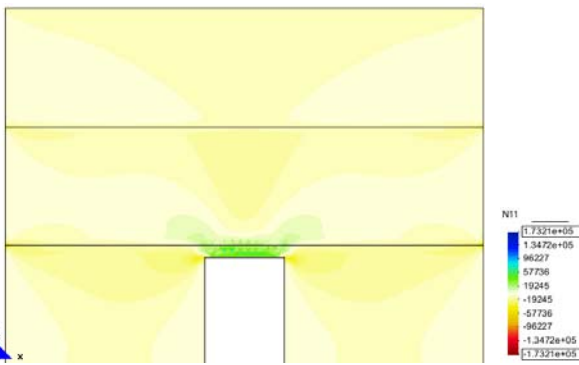


c.- Main Ax. Force (N/M). Si factor 8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

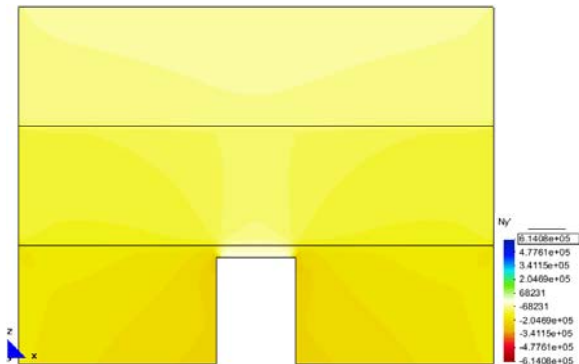


d.- Main Ax. Force (N/M). N22.

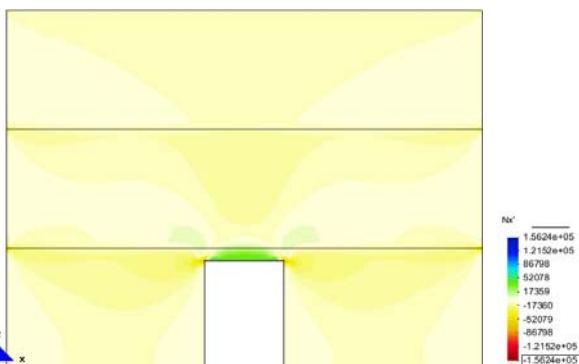


e.- Main Ax. Force (N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



f.- Axial Force (N/M). Ny'.



g.- Axial Force (N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

4.3.2 Influencia de los apoyos en base y restricción lateral**FICHA DEL MODELO****1.- NOMBRE DEL MODELO:****Hueco con arco-con zuncho-def-apoy-restring-lat-30²⁸***(Hueco con arco, con zuncho, con la base apoyada y restringido lateralmente, e=30)*

Número de plantas (a)=3

Altura de las plantas (b)=3,00m

Longitud del tramo de pared (c)=12,00m

Ancho de la zona de influencia de carga (d)=4,00m

Ancho de la abertura (f)=3,00m

Espesor de la pared =0,30m

2.- ESTADO DE CARGA CONSIDERADO:

Pp	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000
Cp	Tn/m ²	0,15
	N/m	6.000
Su	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000

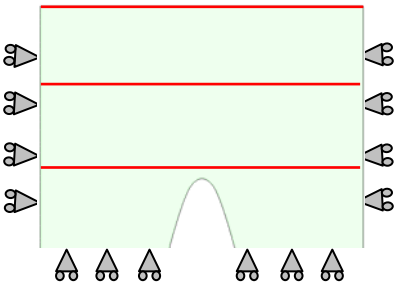
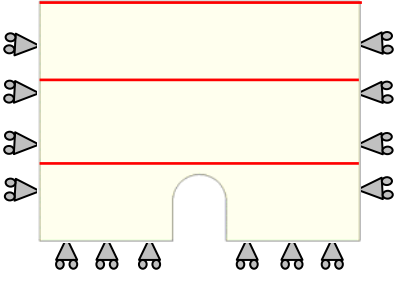
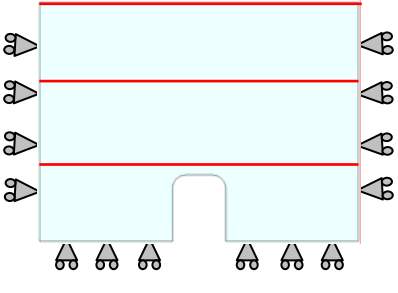
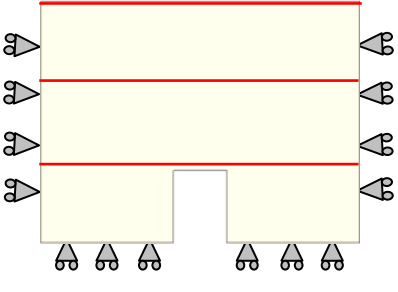
3.- DATOS DE LA PARED DE FÁBRICA: $\gamma=18.000\text{N/m}^3$ $E=5,70\text{E}09\text{N/m}^2$ $G=2,38\text{E}+09\text{N/m}^2$ $\nu=0,20$ **4.- DATOS DE LOS FORJADOS:**

El zuncho de conexión con el muro es de 0,25m x 0,25m.

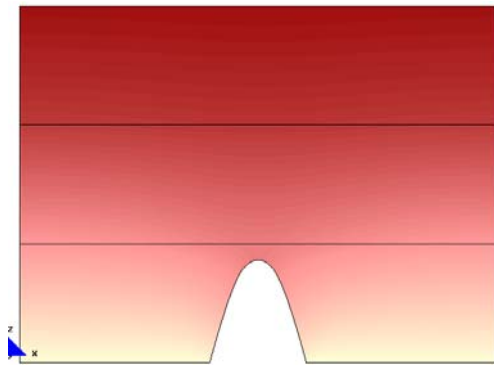
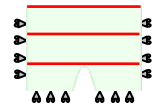
5.- DATOS DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO:

Con apoyado deslizable en la base y apoyado lateralmente.

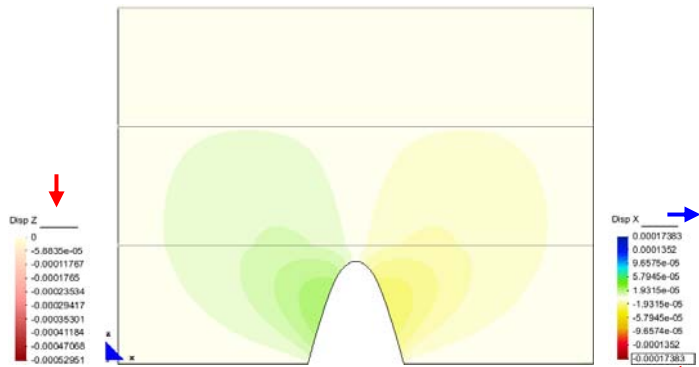
²⁸ Nombre del modelo que aparece en el CD entregado. Ruta F:\modelos-cálculo\mod-capítulos-def\cap-4-con zuncho\hueco con arco-con zuncho-def-apoy-restring-lat-30.gid

(CUADRO 12) MODELOS: BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES	
ARCO IDEAL	 <p>The diagram shows a parabolic arch structure. It is supported by three pairs of roller supports at the base. On the left side, there are three vertical reaction arrows pointing upwards. On the right side, there are three horizontal reaction arrows pointing to the left. The arch is divided into three horizontal sections by two red lines. A green shaded area covers the entire arch structure.</p>
	Ver 4.3.2.1
ARCO DE MEDIO PUNTO	 <p>The diagram shows a semi-circular arch structure. It is supported by three pairs of roller supports at the base. On the left side, there are three vertical reaction arrows pointing upwards. On the right side, there are three horizontal reaction arrows pointing to the left. The arch is divided into three horizontal sections by two red lines. A yellow shaded area covers the entire arch structure.</p>
	Ver 4.3.2.2
ARCO CARPANEL	 <p>The diagram shows a flat-panel arch structure. It is supported by three pairs of roller supports at the base. On the left side, there are three vertical reaction arrows pointing upwards. On the right side, there are three horizontal reaction arrows pointing to the left. The arch is divided into three horizontal sections by two red lines. A light blue shaded area covers the entire arch structure.</p>
	Ver 4.3.2.3
ARCO DE ÁNGULOS RECTOS	 <p>The diagram shows a right-angle arch structure. It is supported by three pairs of roller supports at the base. On the left side, there are three vertical reaction arrows pointing upwards. On the right side, there are three horizontal reaction arrows pointing to the left. The arch is divided into three horizontal sections by two red lines. A yellow shaded area covers the entire arch structure.</p>
	Ver 4.3.2.4

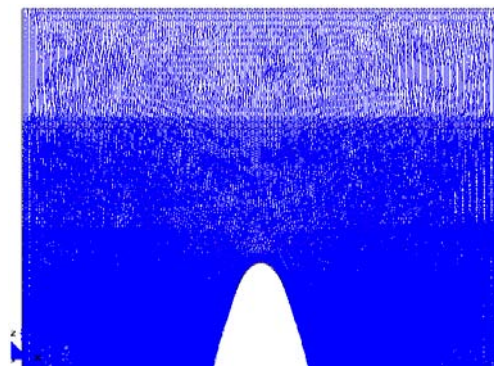
4.3.2.1 Hueco con arco ideal



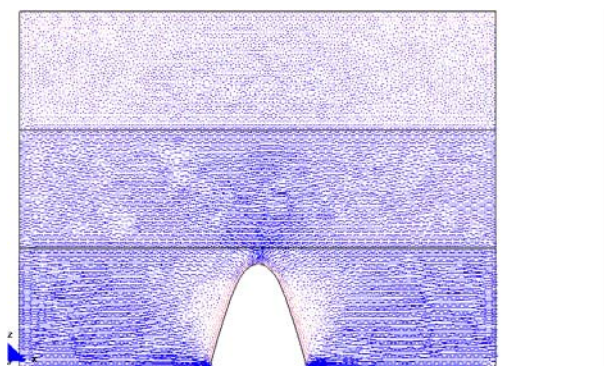
a.- Displacement (m).Disp-Z



a'.- Displacement (m).Disp-X
Desplazamientos

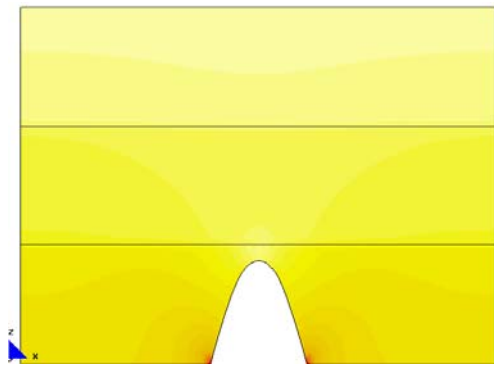


b.- Main Ax. Force (N/M). Sii factor 8.1e-6.

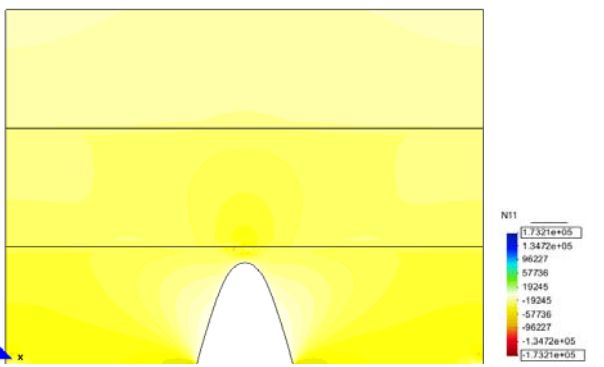


c.- Main Ax. Force (N/M). Si factor 8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

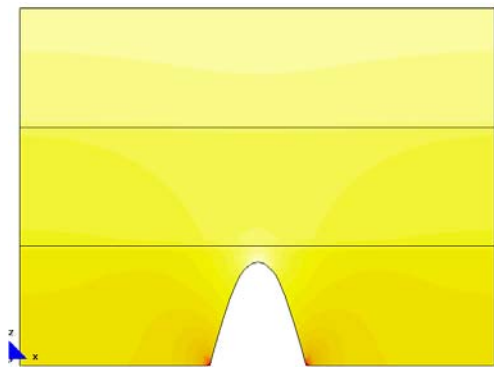


d.- Main Ax. Force (N/M). N22.

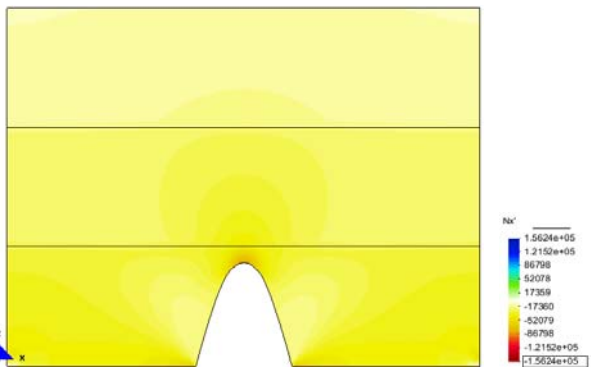


e.- Main Ax. Force (N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



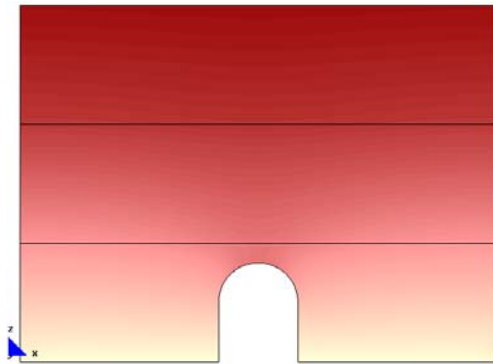
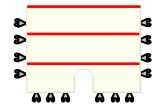
f.- Axial Force (N/M). Ny'.



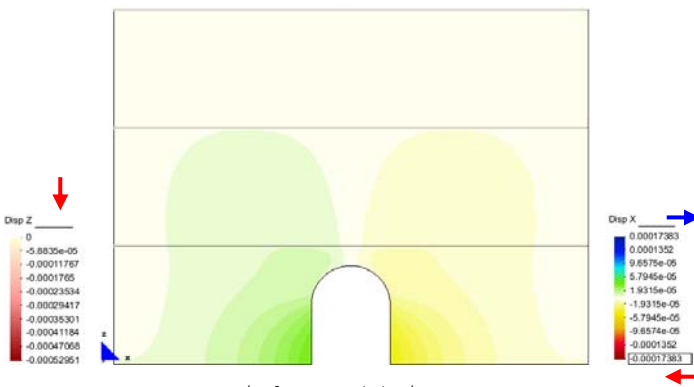
g.- Axial Force (N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

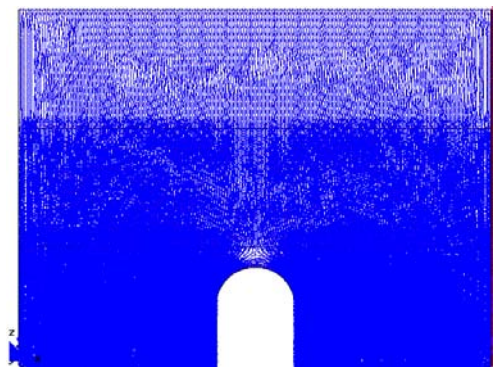
4.3.2.2 Hueco con arco de medio punto



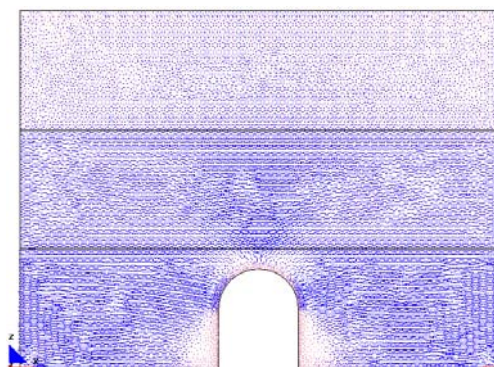
a.- Displacement (m).Disp-Z



a'.- Displacement (m).Disp-X
Desplazamientos

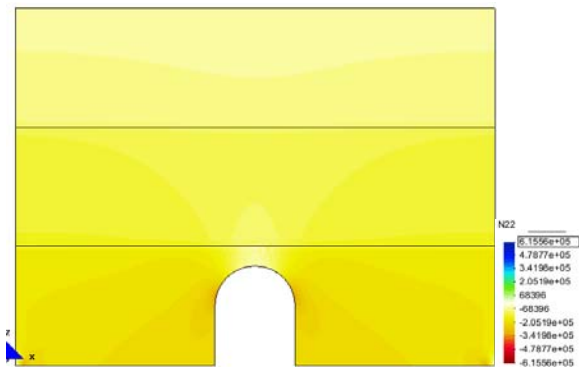


b.- Main Ax. Force (N/M). Sii factor 8.1e-6.

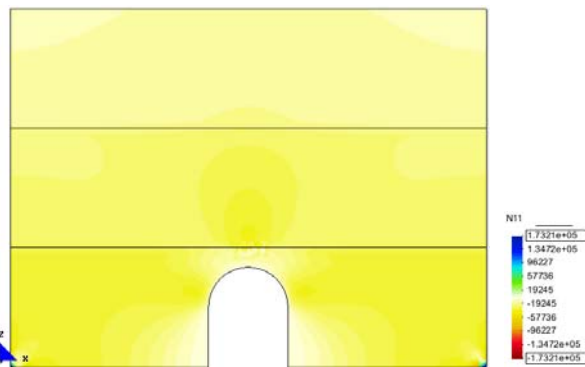


c.- Main Ax. Force (N/M). Si factor 8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

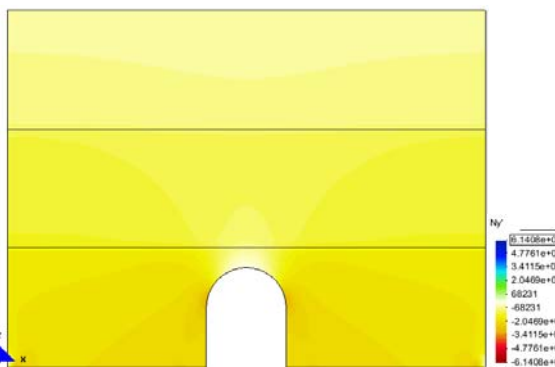


d.- Main Ax. Force (N/M). N22.

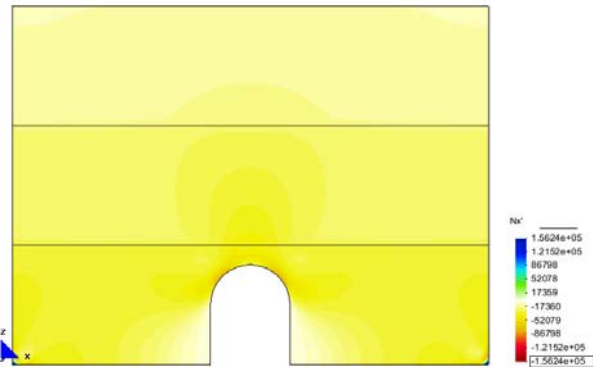


e.- Main Ax. Force (N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



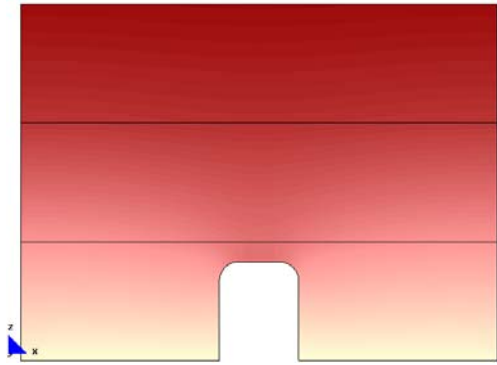
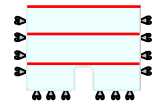
f.- Axial Force (N/M). Ny'.



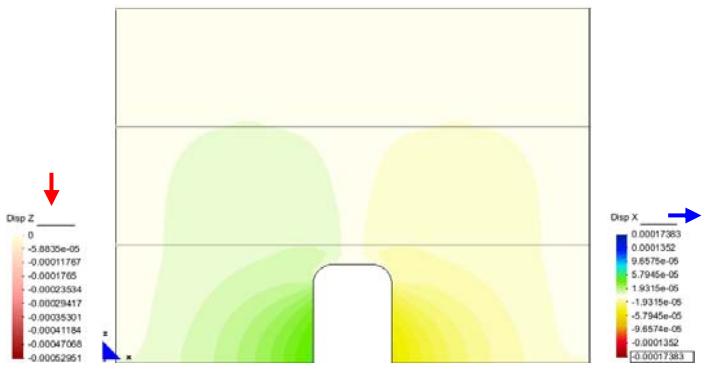
g.- Axial Force (N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

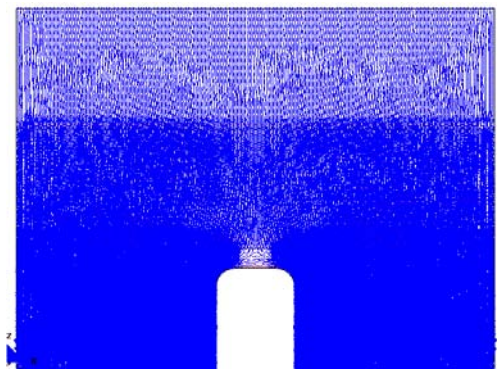
4.3.2.3 Hueco con arco carpanel



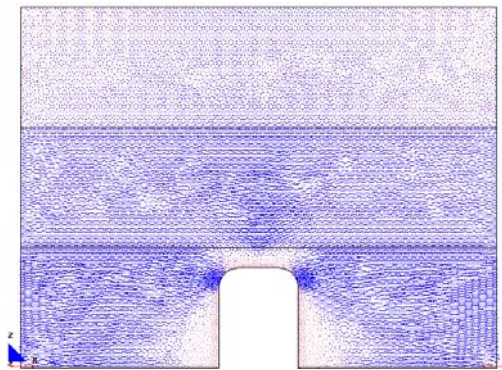
a.- Displacement (m).Disp-Z



a'.- Displacement (m).Disp-X
Desplazamientos

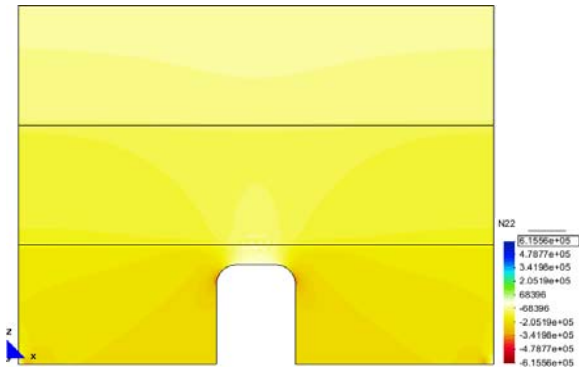


b.- Main Ax. Force (N/M). Sii factor 8.1e-6.

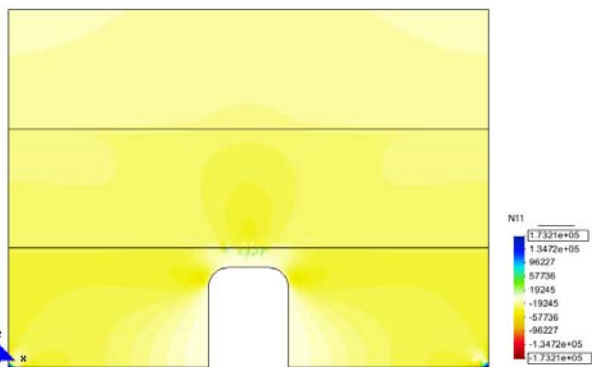


c.- Main Ax. Force (N/M). Si factor 8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

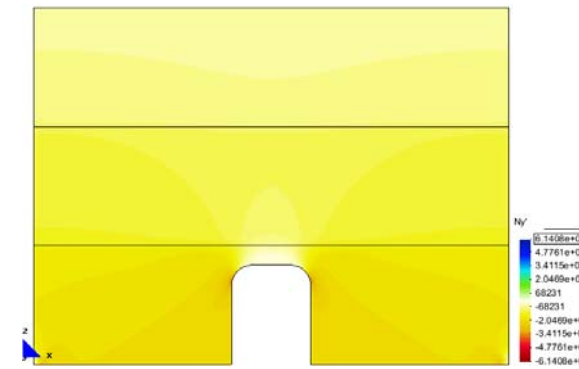


d.- Main Ax. Force (N/M). N22.

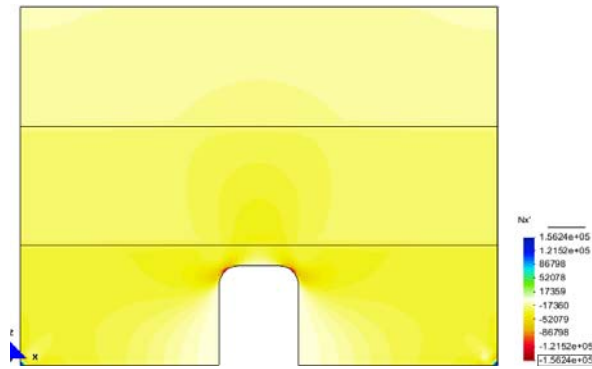


e.- Main Ax. Force (N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



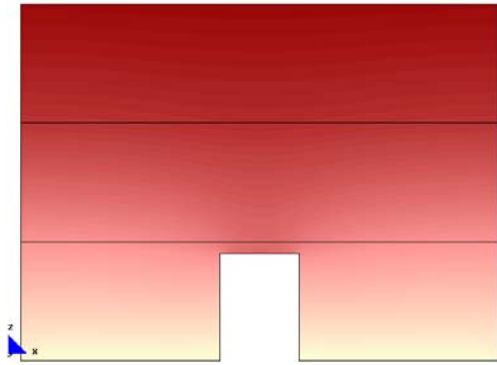
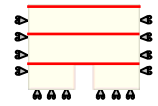
f.- Axial Force (N/M). Ny'.



g.- Axial Force (N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

4.3.2.4 Huevo con arco de ángulos rectos

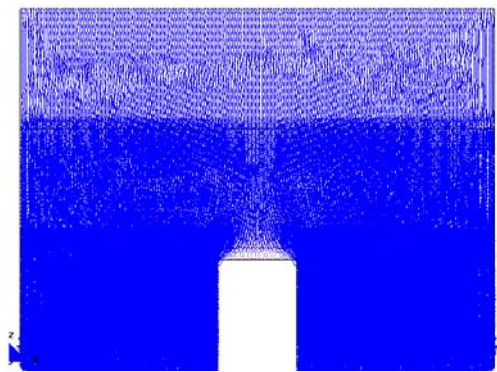


a.- Displacement (m).Disp-Z

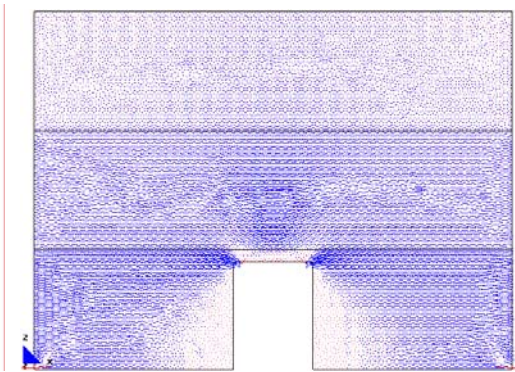


a'.- Displacement (m).Disp-X

Desplazamientos

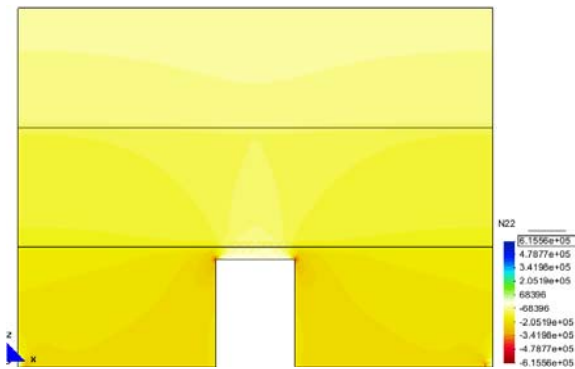


b.- Main Ax. Force (N/M). Sii factor 8.1e-6.

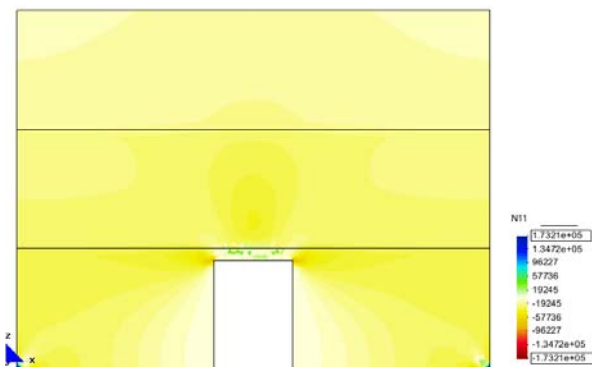


c.- Main Ax. Force (N/M). Si factor 8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

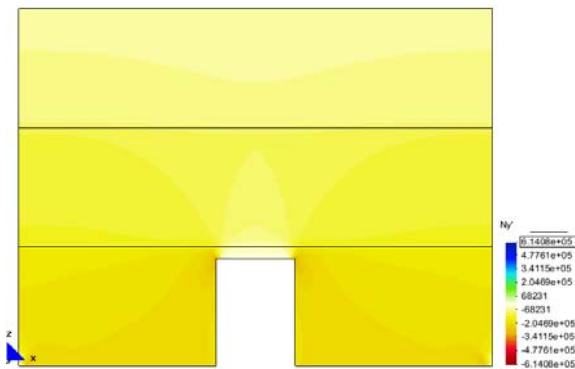


d.- Main Ax. Force (N/M). N22.

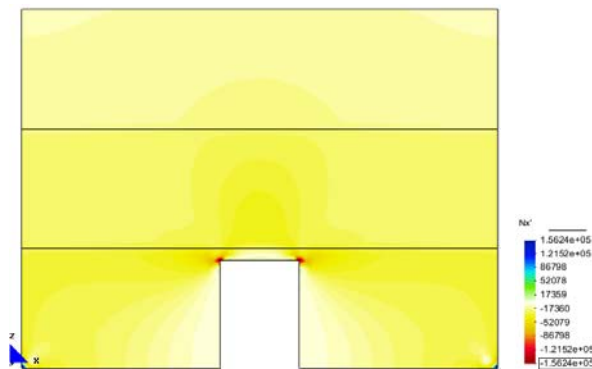


e.- Main Ax. Force (N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



f.- Axial Force (N/M). Ny'.



g.- Axial Force (N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

4.3.3 Influencia del empotramiento de la base

FICHA DEL MODELO

1.- NOMBRE DEL MODELO:

Hueco con arco-con zuncho-def-emp-30²⁹
(Hueco con arco, con zuncho, con la base empotrada, e=30)

Número de plantas (a)=3
 Altura de las plantas (b)=3,00m
 Longitud del tramo de pared (c)=12,00m
 Ancho de la zona de influencia de carga (d)=4,00m
 Ancho de la abertura (f)=3,00m
 Espesor de la pared =0,30m

2.- ESTADO DE CARGA CONSIDERADO:

Pp	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000
Cp	Tn/m ²	0,15
	N/m	6.000
Su	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000

3.- DATOS DE LA PARED DE FÁBRICA:

$\gamma=18.000\text{N/m}^3$
 $E=5,70\text{E}09\text{N/m}^2$
 $G=2,38\text{E}+09\text{N/m}^2$
 $\nu=0,20$

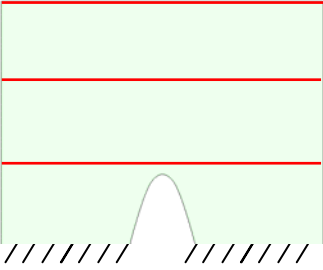
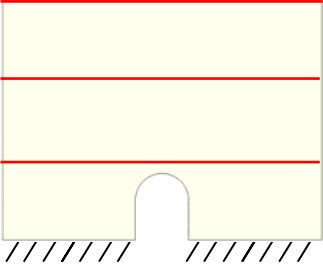
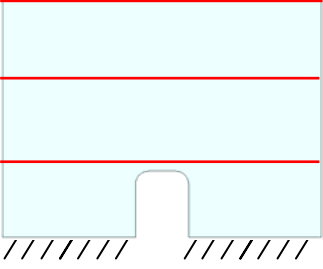
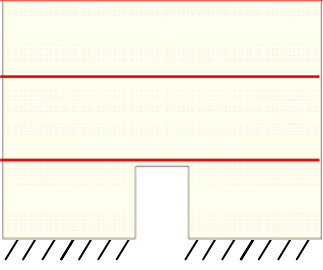
4.- DATOS DE LOS FORJADOS:

El zuncho de conexión con el muro es de 0,25m x 0,25m.

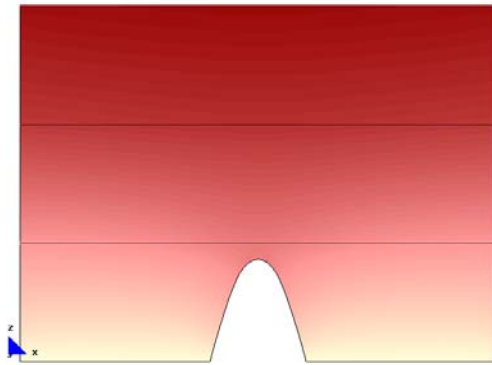
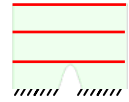
5.- DATOS DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO:

Con empotramiento en la base y libre lateralmente.

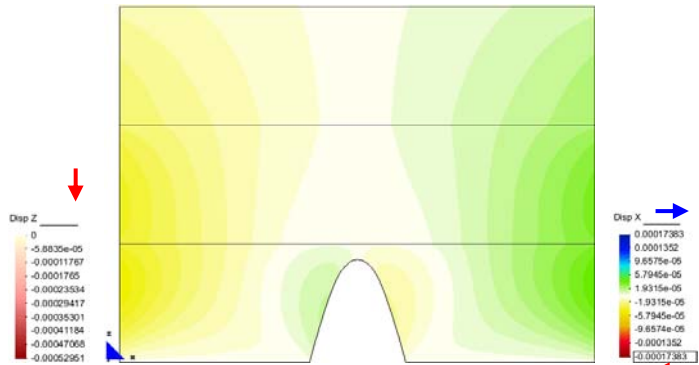
²⁹ Nombre del modelo que aparece en el CD entregado. Ruta F \modelos-cálculo\mod-capítulos-def\cap-4-con zuncho\hueco con arco-con zuncho-def-emp-30.gid

(CUADRO 13) MODELOS: BASE EMPOTRADA	
ARCO IDEAL	 <p>Ver 4.3.3.1</p>
ARCO DE MEDIO PUNTO	 <p>Ver 4.3.3.2</p>
ARCO CARPANEL	 <p>Ver 4.3.3.3</p>
ARCO DE ÁNGULOS RECTOS	 <p>Ver 4.3.3.4</p>

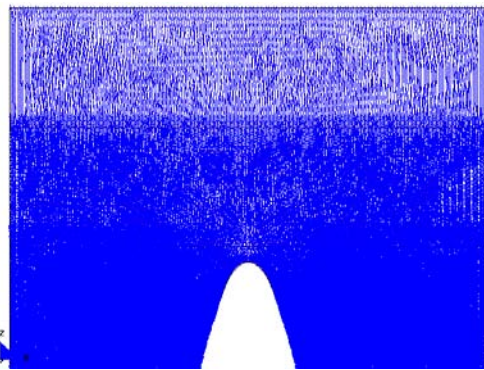
4.3.3.1 Hueco con arco ideal



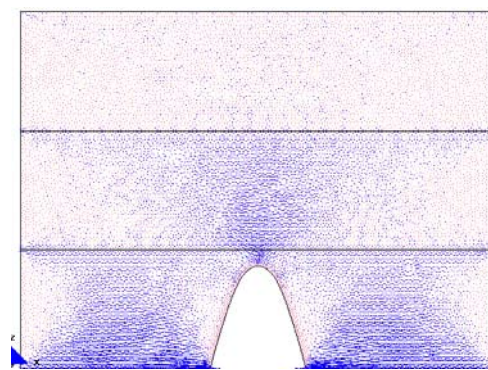
a.- Displacement (m).Disp-Z



a'.- Displacement (m).Disp-X
Desplazamientos

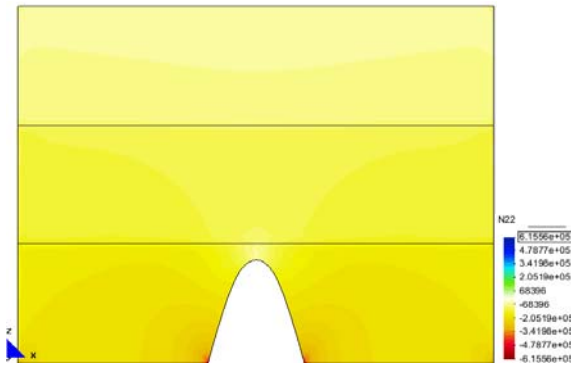


b.- Main Ax. Force (N/M). Sii factor 8.1e-6.

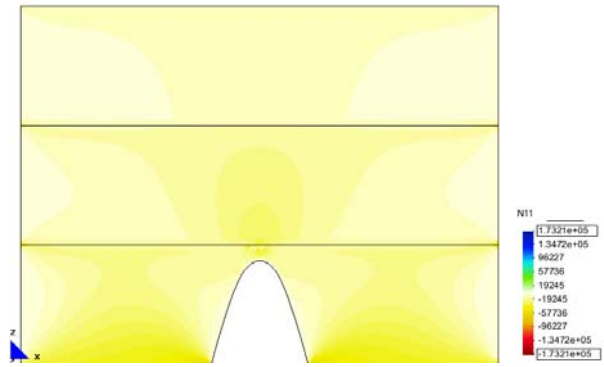


c.- Main Ax. Force (N/M). Si factor 8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

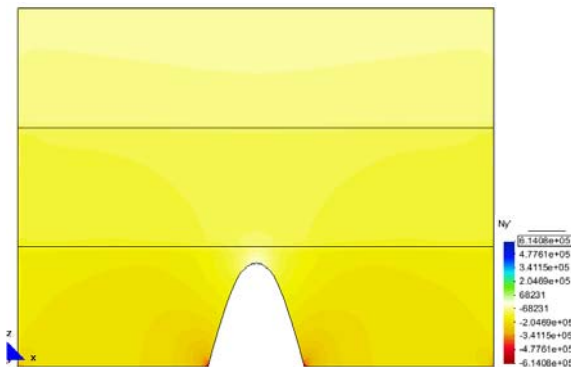


d.- Main Ax. Force (N/M). N22.

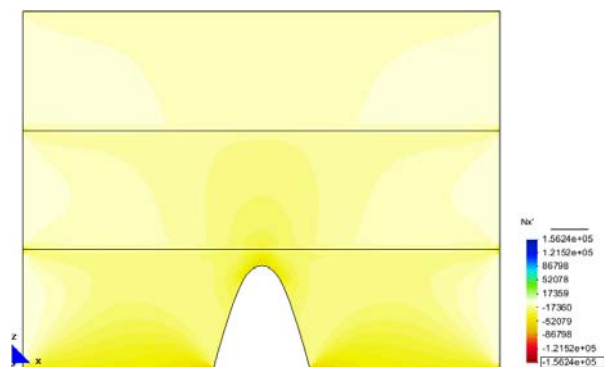


e.- Main Ax. Force (N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



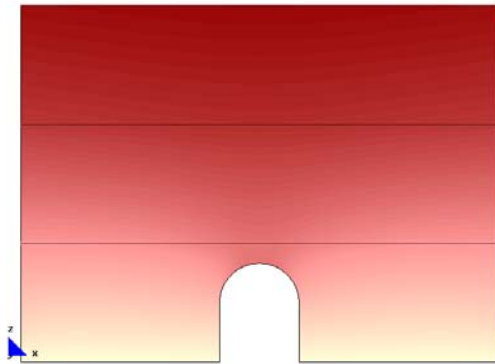
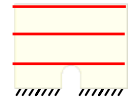
f.- Axial Force (N/M). Ny'.



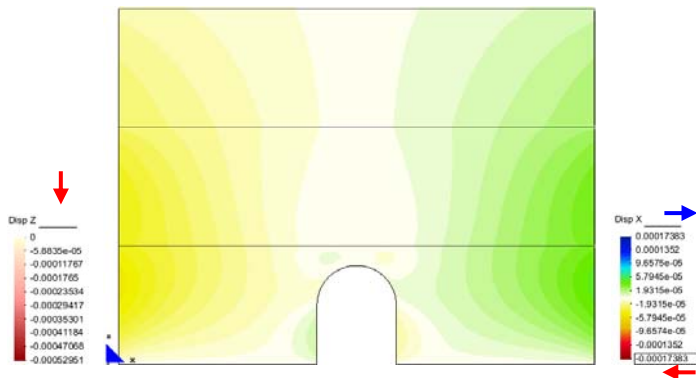
g.- Axial Force (N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

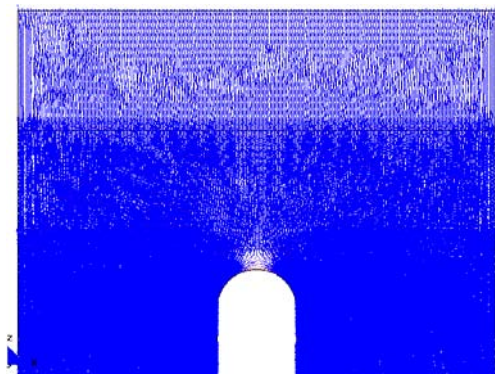
4.3.3.2 Huelco con arco de medio punto



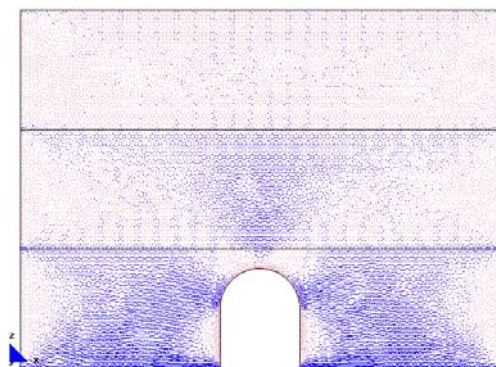
a.- Displacement (m).Disp-Z



a'.- Displacement (m).Disp-X
Desplazamientos

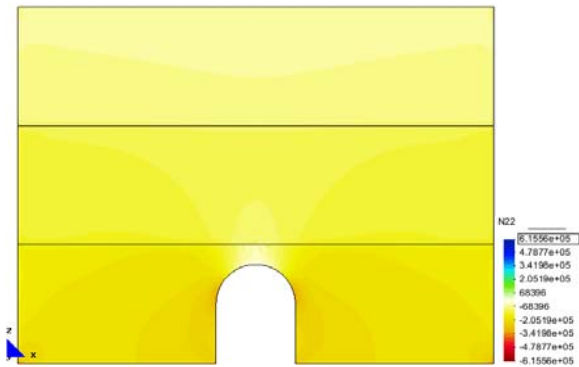


b.- Main Ax. Force (N/M). Sii factor 8.1e-6.

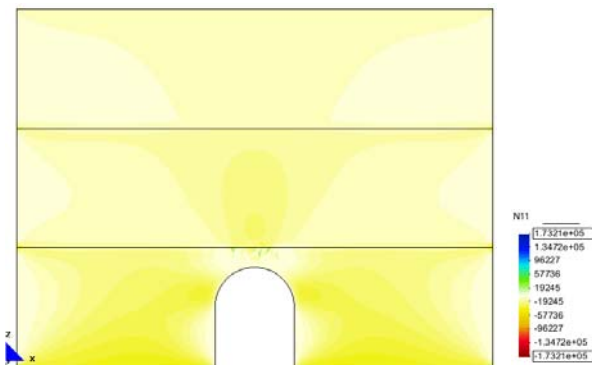


c.- Main Ax. Force (N/M). Si factor 8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

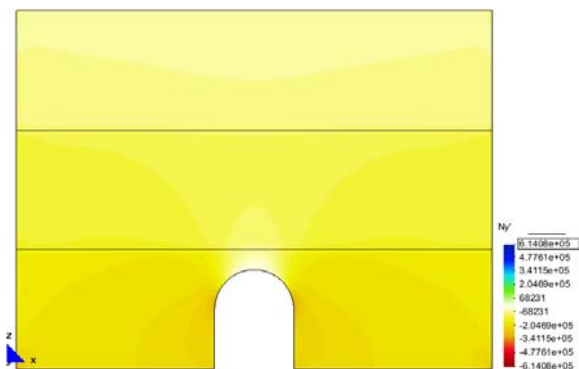


d.- Main Ax. Force (N/M). N22.

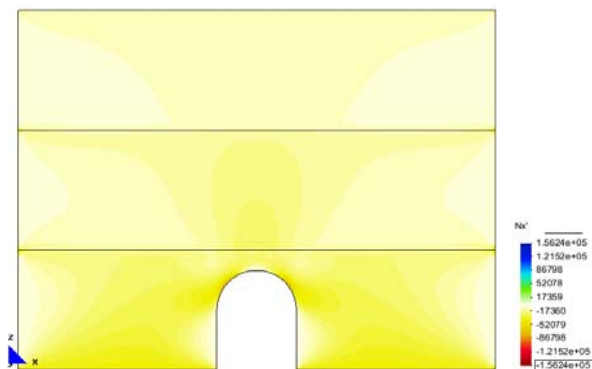


e.- Main Ax. Force (N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



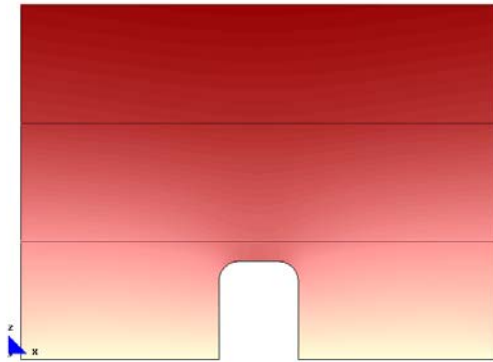
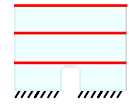
f.- Axial Force (N/M). Ny'.



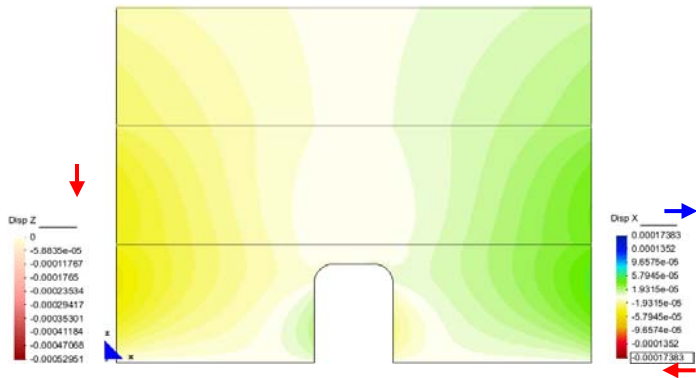
g.- Axial Force (N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

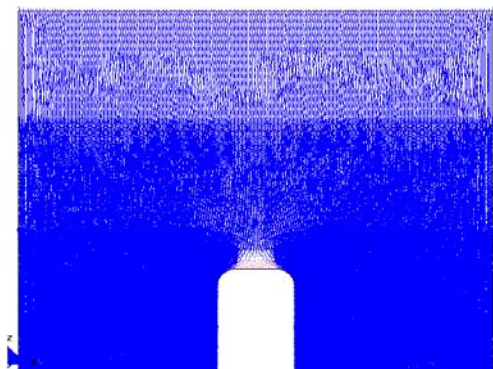
4.3.3.3 Hueco con arco carpanel



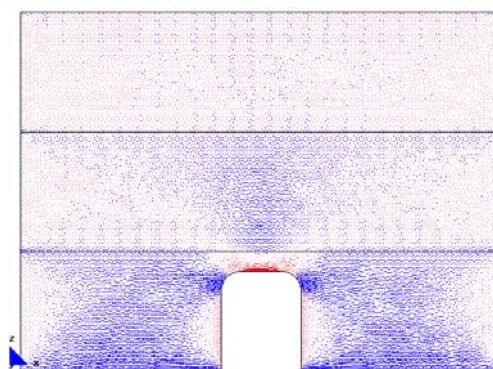
a.- Displacement (m).Disp-Z



a'.- Displacement (m).Disp-X
Desplazamientos

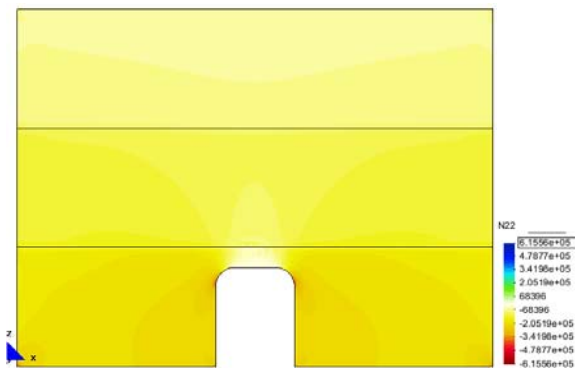


b.- Main Ax. Force (N/M). Si factor 8.1e-6.

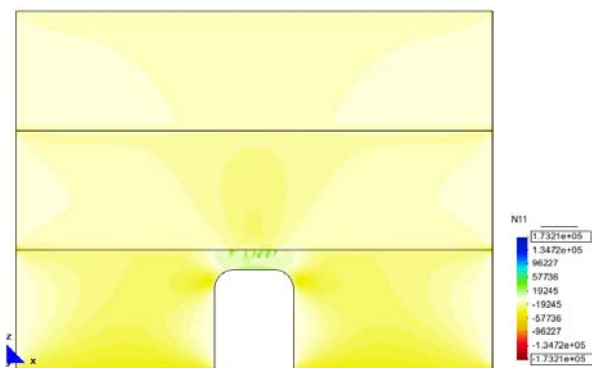


c.- Main Ax. Force (N/M). Si factor 8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

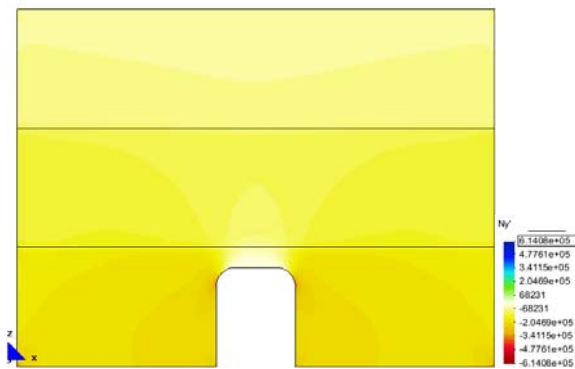


d.- Main Ax. Force (N/M). N22.

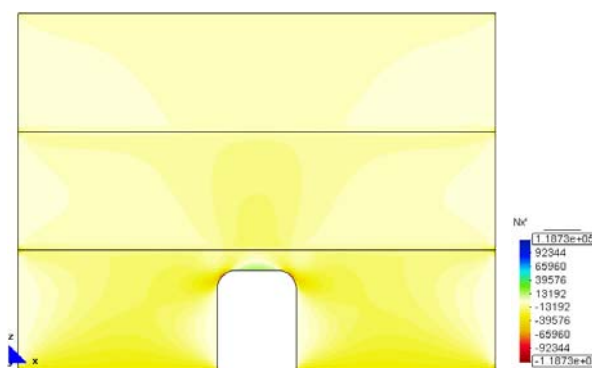


e.- Main Ax. Force (N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



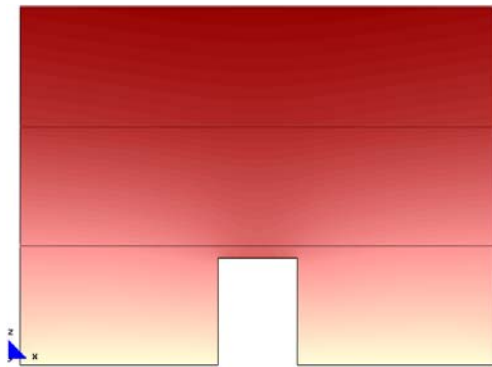
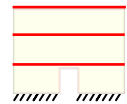
f.- Axial Force (N/M). Ny'.



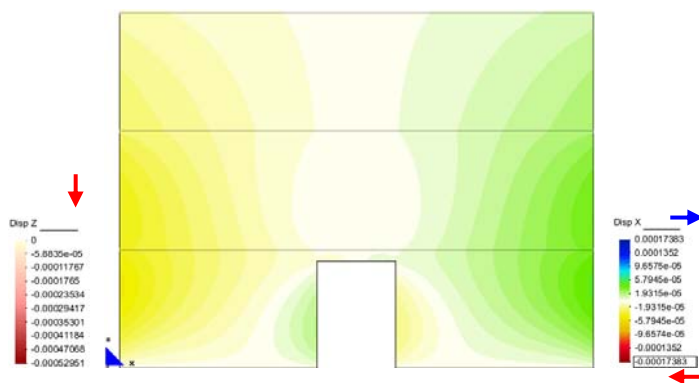
g.- Axial Force (N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

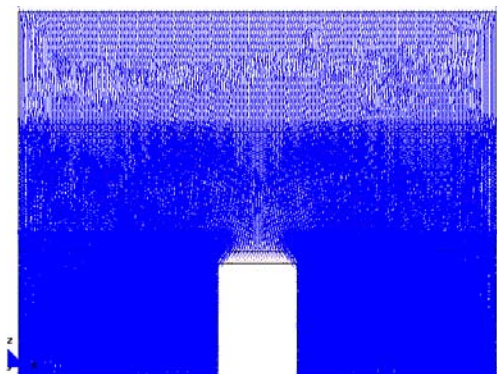
4.3.3.4 Hueco con arco de ángulos rectos



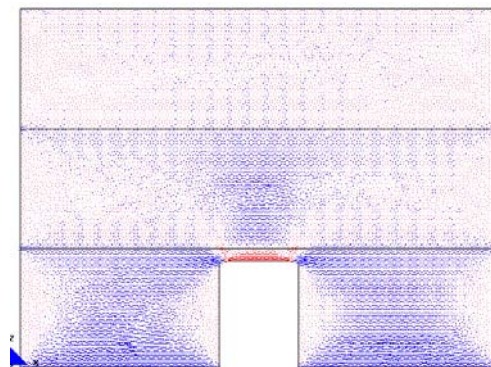
a.- Displacement (m).Disp-Z



a'.- Displacement (m).Disp-X
Desplazamientos

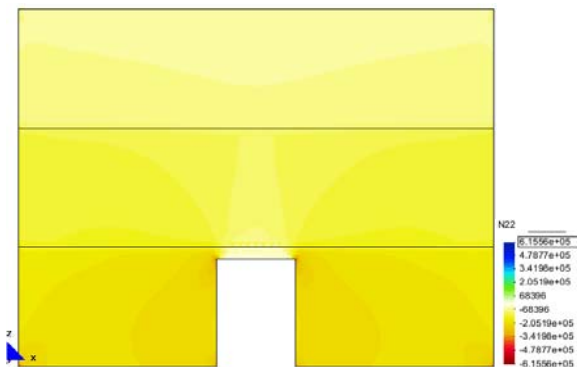


b.- Main Ax. Force (N/M). Sii factor 8.1e-6.

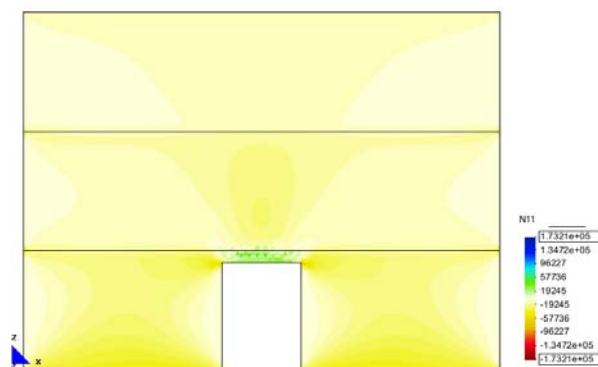


c.- Main Ax. Force (N/M). Si factor 8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

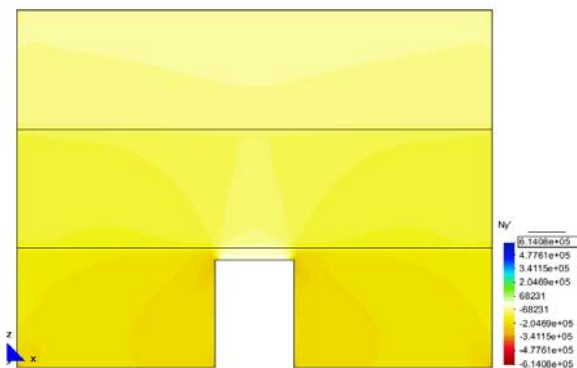


d.- Main Ax. Force (N/M). N22.

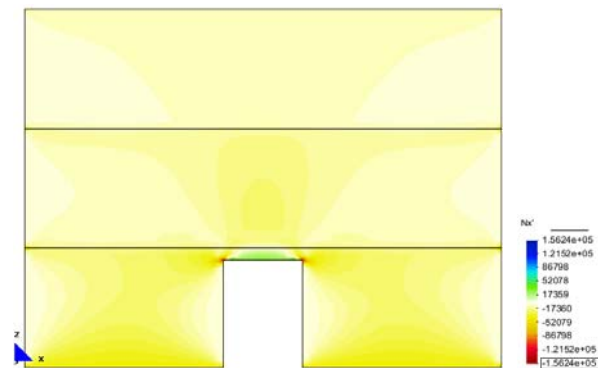


e.- Main Ax. Force (N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



f.- Axial Force (N/M). Ny'.



g.- Axial Force (N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

4.3.4 Influencia del empotramiento de la base y restricción lateral**FICHA DEL MODELO****1.- NOMBRE DEL MODELO:****Hueco con arco-zuncho-def-emp-restring-lat-30³⁰***(Hueco con arco, con zuncho, con la base empotrada y restringido lateralmente, e=30)*

Número de plantas (a)=3

Altura de las plantas (b)=3,00m

Longitud del tramo de pared (c)=12,00m

Ancho de la zona de influencia de carga (d)=4,00m

Ancho de la abertura (f)=3,00m

Espesor de la pared =0,30m

2.- ESTADO DE CARGA CONSIDERADO:

Pp	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000
Cp	Tn/m ²	0,15
	N/m	6.000
Su	Tn/m ²	0,30
	N/m	12.000

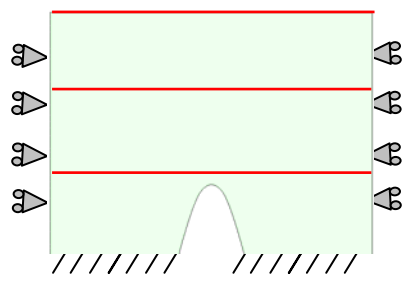
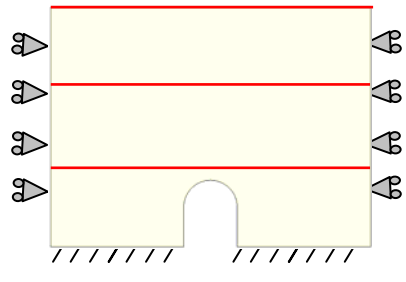
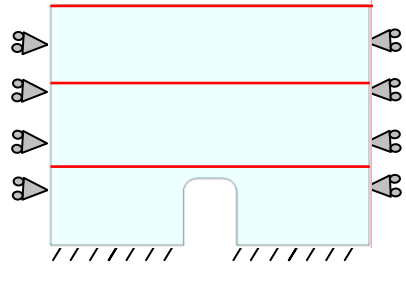
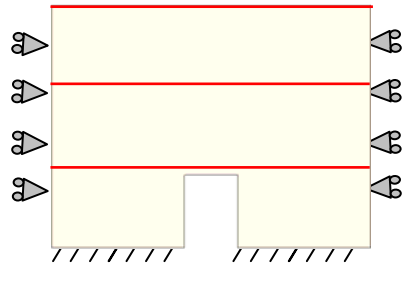
3.- Datos de la pared de fábrica: $\gamma=18.000\text{N/m}^3$ $E=5,70\text{E}09\text{N/m}^2$ $G=2,38\text{E}+09\text{N/m}^2$ $\nu=0,20$ **4.- DATOS DE LOS FORJADOS:**

El zuncho de conexión con el muro es de 0,25m x 0,25m.

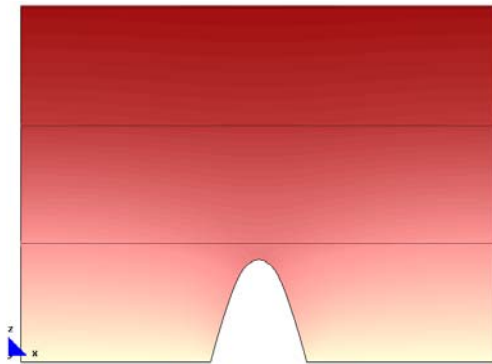
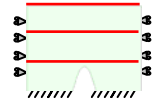
5.- DATOS DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO:

Con empotramiento en la base y apoyado lateralmente.

³⁰ Nombre del modelo que aparece en el CD entregado. Ruta F \modelos-cálculo\mod-capítulos-def\cap-4-con zuncho\hueco con arco-zuncho-def-emp-restring-lat-30.gid

(CUADRO 14) MODELOS: BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES	
ARCO IDEAL	 <p style="text-align: center;">Ver 4.3.4.1</p>
ARCO DE MEDIO PUNTO	 <p style="text-align: center;">Ver 4.3.4.2</p>
ARCO CARPANEL	 <p style="text-align: center;">Ver 4.3.4.3</p>
ARCO DE ÁNGULOS RECTOS	 <p style="text-align: center;">Ver 4.3.4.4</p>

4.3.4.1 Hueco con arco ideal

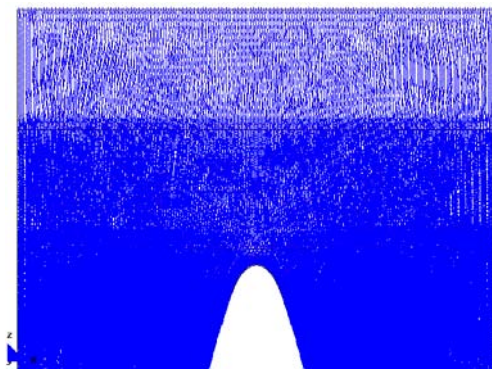


a.- Displacement (m).Disp-Z

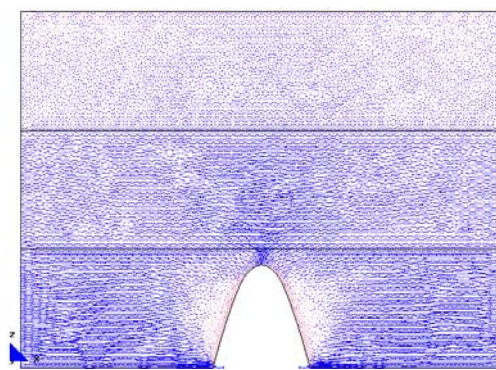


a'.- Displacement (m).Disp-X

Desplazamientos

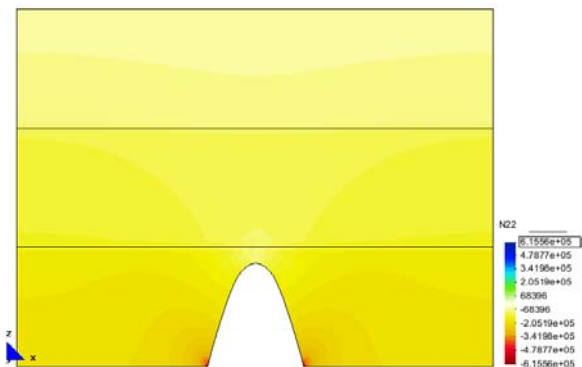


b.- Main Ax. Force (N/M). Siifactor 8.1e-6.

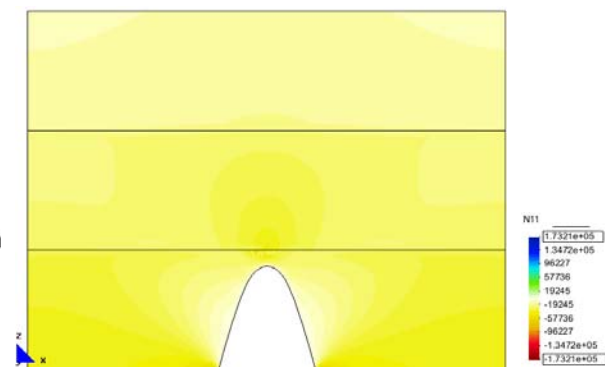


c.- Main Ax. Force (N/M). Siifactor 8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

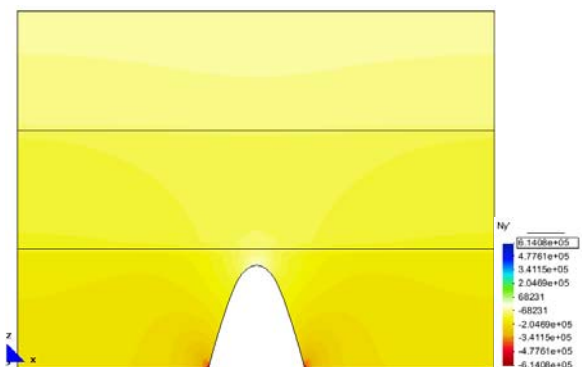


d.- Main Ax. Force (N/M). N22.

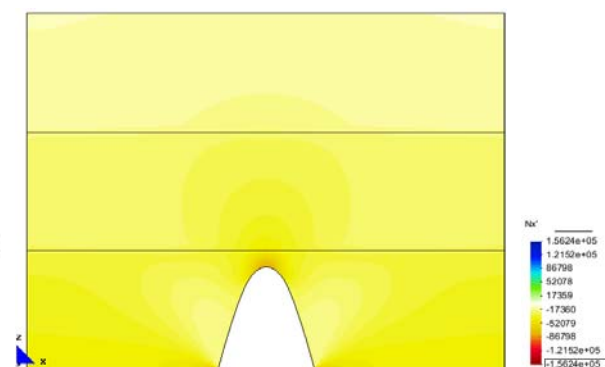


e.- Main Ax. Force (N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



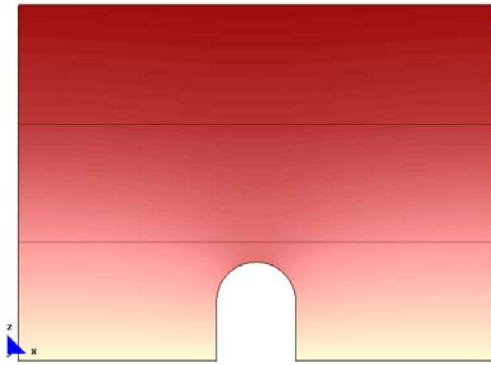
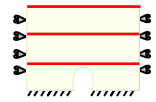
f.- Axial Force (N/M). Ny'.



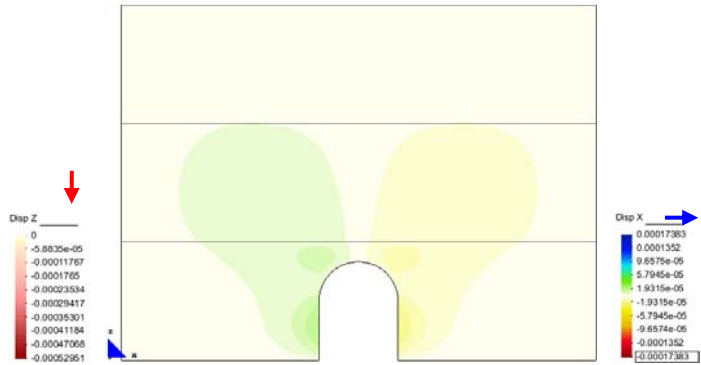
g.- Axial Force (N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

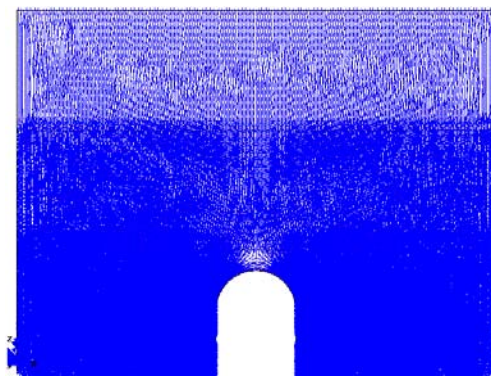
4.3.4.2 Huevo con arco de medio punto



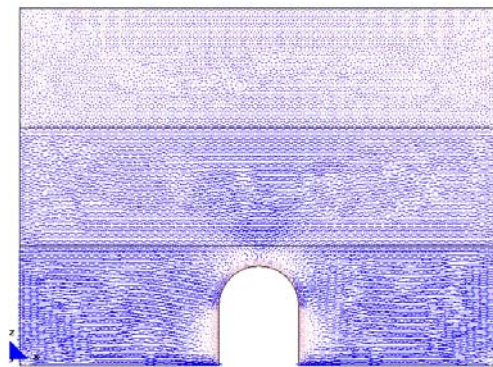
a.- Displacement (m).Disp-Z



a'.- Displacement (m).Disp-X
Desplazamientos

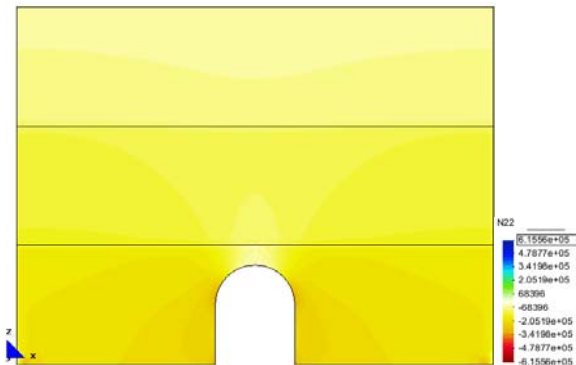


b.- Main Ax. Force (N/M). Sii factor 8.1e-6.

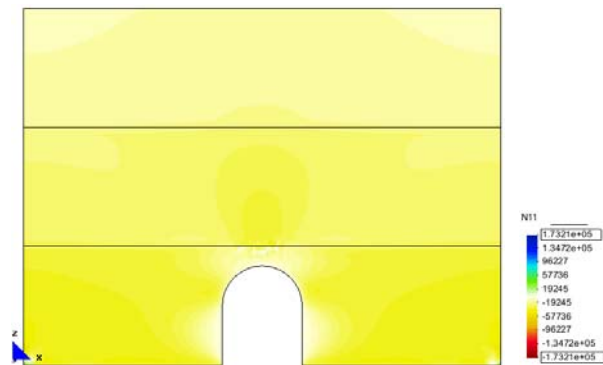


c.- Main Ax. Force (N/M). Si factor 8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

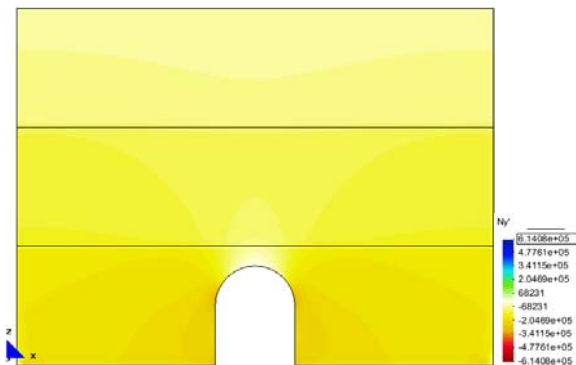


d.- Main Ax. Force (N/M). N22.

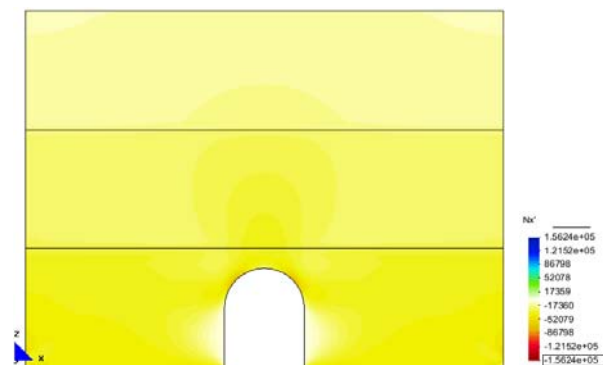


e.- Main Ax. Force (N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



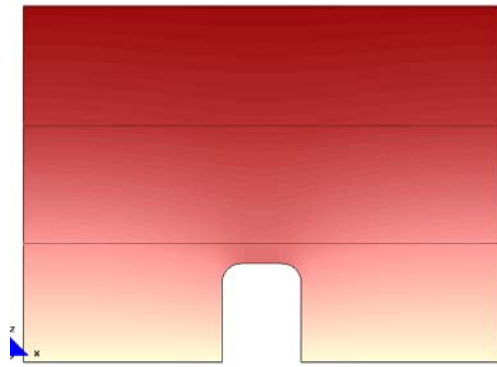
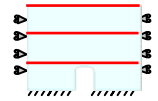
f.- Axial Force (N/M). Ny'.



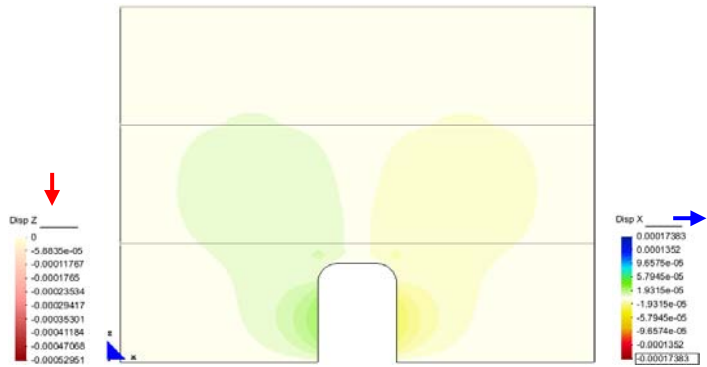
g.- Axial Force (N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

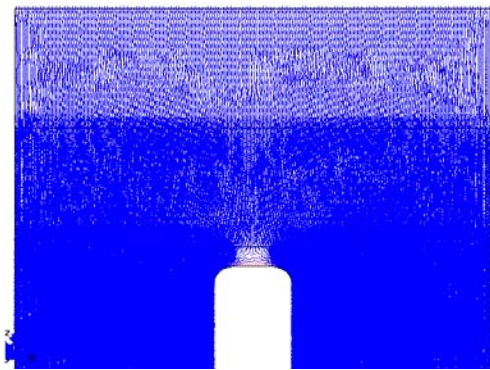
4.3.4.3 Hueco con arco carpanel



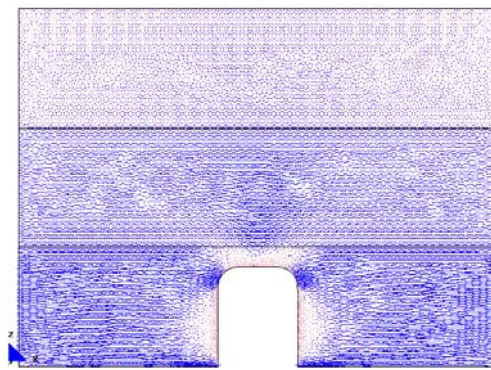
a.- Displacement (m).Disp-Z



a'.- Displacement (m).Disp-X
Desplazamientos

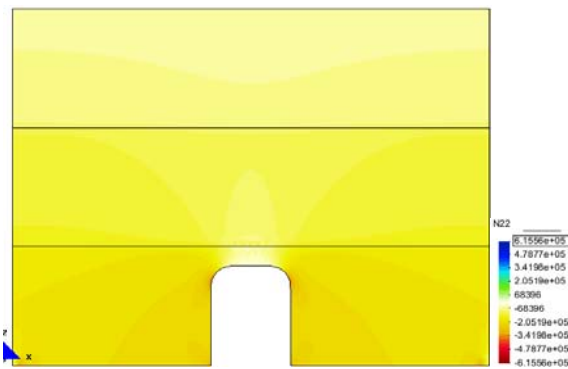


b.- Main Ax. Force (N/M). Sii factor 8.1e-6.

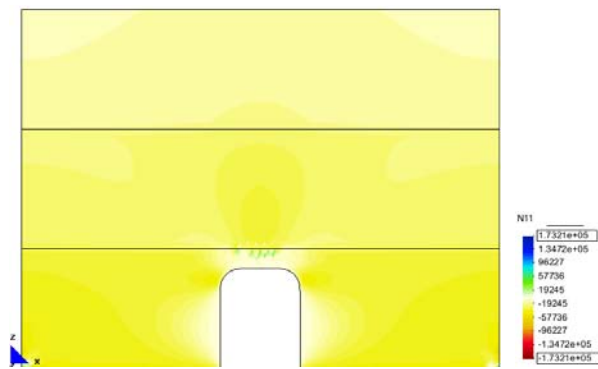


c.- Main Ax. Force (N/M). Si factor 8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

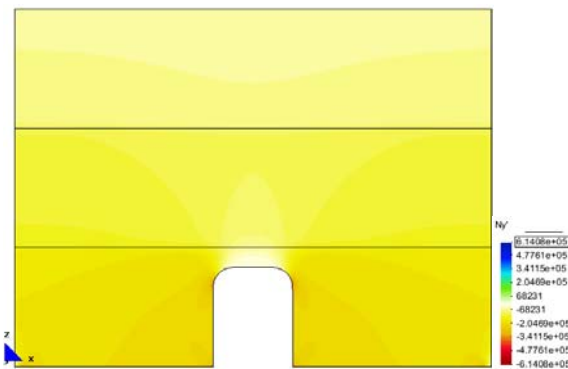


d.- Main Ax. Force (N/M). N22.

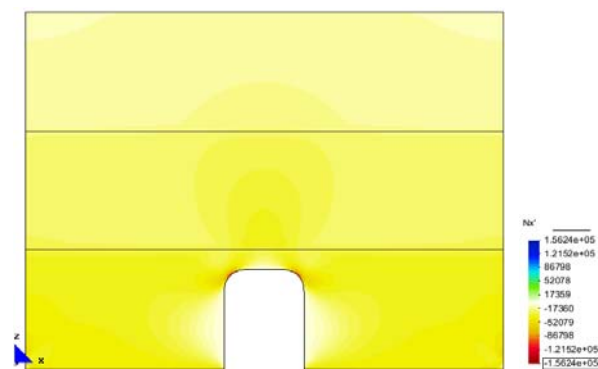


e.- Main Ax. Force (N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



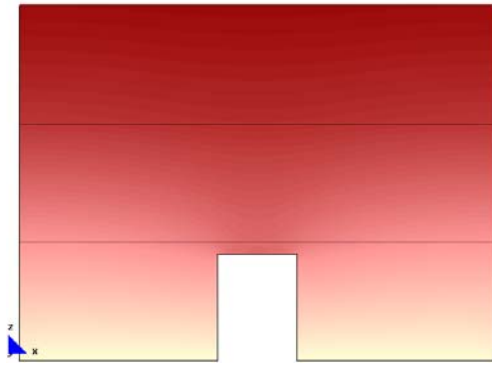
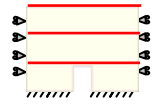
f.- Axial Force (N/M). Ny'.



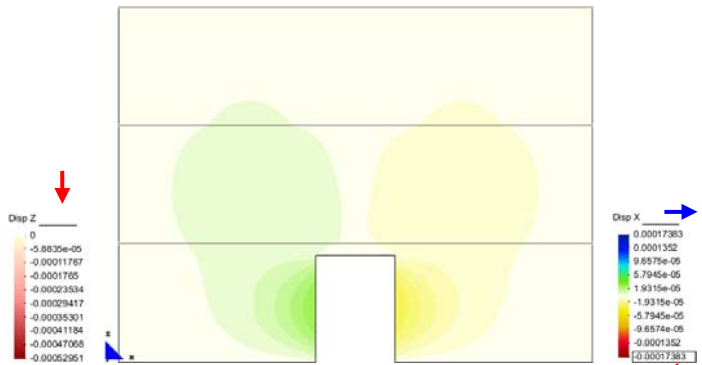
g.- Axial Force (N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

4.3.4.4 Hueco con arco de ángulos rectos

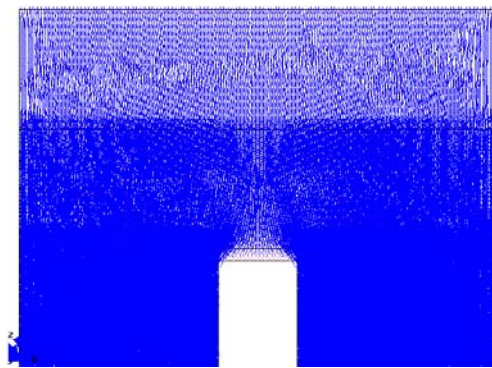


a.- Displacement (m).Disp-Z

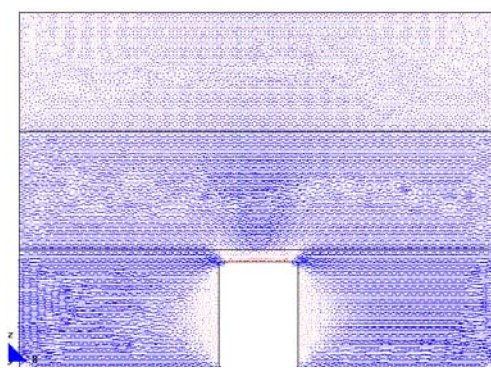


a'.- Displacement (m).Disp-X

Desplazamientos

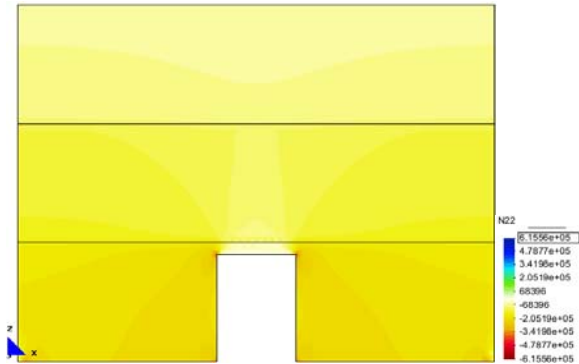


b.- Main Ax. Force (N/M). Sii factor 8.1e-6.

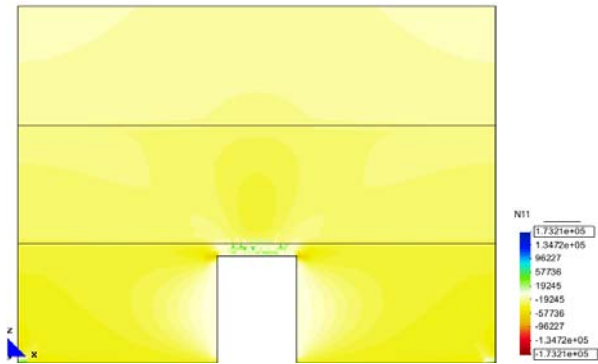


c.- Main Ax. Force (N/M). Si factor 8.1e-6.

Desarrollo de los vectores correspondientes a las direcciones principales.

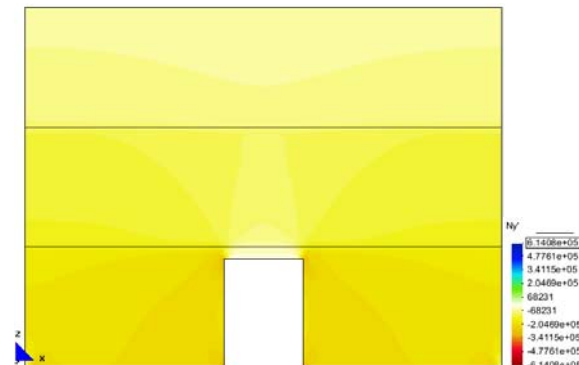


d.- Main Ax. Force (N/M). N22.

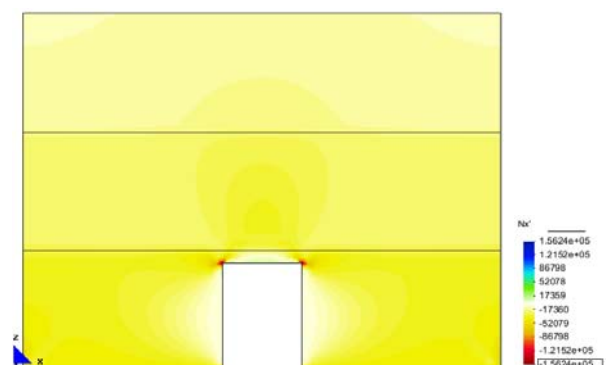


e.- Main Ax. Force (N/M). N11.

Fuerzas en el sentido de las direcciones principales.



f.- Axial Force (N/M). Ny'.



g.- Axial Force (N/M). Nx'.

Fuerzas en las direcciones "xx" e "yy"

MJIG

CAPÍTULO-4

- 1.- ASPECTOS GENERALES
- 2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS
- 3.- ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE ARCOS
- 4.- INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO**
- 5.- INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO
- 6.- ANÁLISIS COMPARATIVO: INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO
- 7.- CUADRO COMPARATIVO: INFLUENCIA DE LA FORMA DE LOS ARCOS EN LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO
- 8.- CONCLUSIONES

MJIG

4.4 INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO

- 1.- HUECO CON ARCO IDEAL
- 2.- HUECO CON ARCO DE MEDIO PUNTO
- 3.- HUECO CON ARCO CARPANEL
- 4.- HUECO CON ARCO DE ÁNGULOS RECTOS

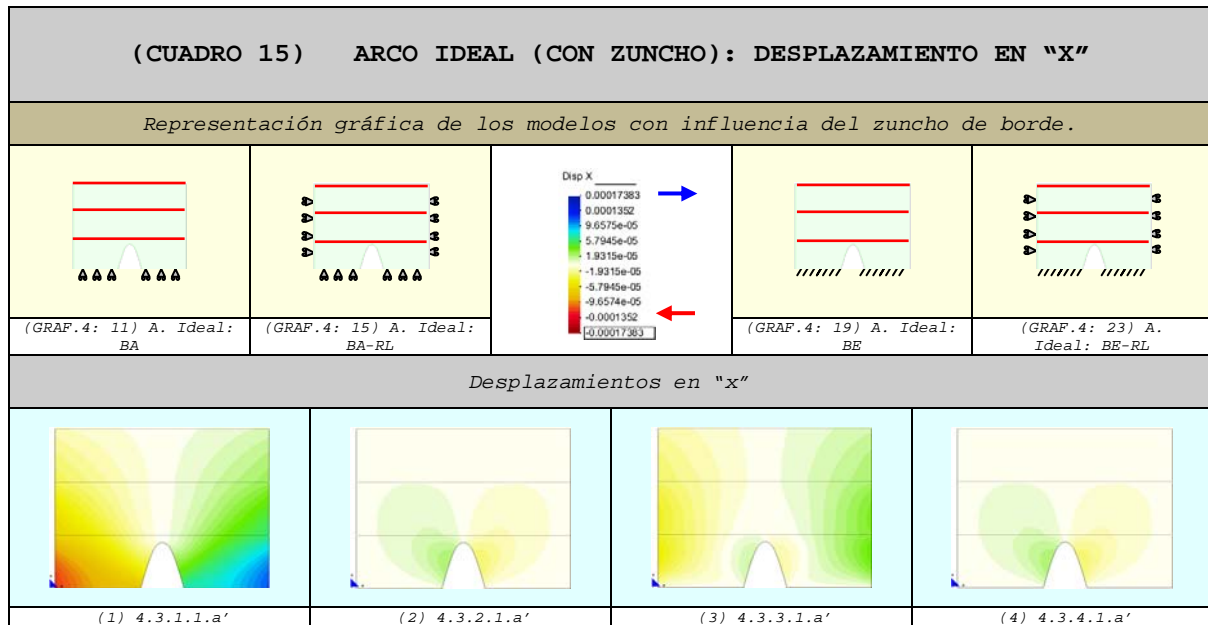
4.4 INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO

A partir de distintas tipologías de los arcos vamos a determinar en qué situación la pared presenta el mejor comportamiento estructural³¹.

4.4.1 Hueco con arco ideal

4.4.1.1 Comparación de los Desplazamientos

4.4.1.1.1 Desplazamientos en "x"³²



1. En el modelo con la base apoyada (BA), puede observarse que³³:
 - a. Los desplazamientos laterales son superiores en comparación con los otros modelos.
 - b. Las máximas deformaciones se localizan en los extremos externos de la base, mientras que tienden a disminuir considerablemente cuando se aproximan a la abertura³⁴⁻³⁵.
 - c. La pared se dilata libremente por ambos lados del modelo³⁶.
 - d. En la clave del arco no se produce una concentración de desplazamientos, a diferencia de los modelos restantes.
 - e. El arco tiende a abrirse.

³¹ Es decir, que esté solicitada a menores fuerzas de tracción, teniendo en cuenta su poca resistencia a dichos esfuerzos.

³² Los desplazamientos hacia el lado derecho se representan con la gama de colores fríos (verde-azul) y los desplazamientos hacia el lado izquierdo con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo).

³³ Ver gráfico (1).

³⁴ Es decir, en los extremos internos de la base.

³⁵ Dada la mayor rigidez que le aporta la forma.

³⁶ Por un lado, por la falta de restricciones laterales y, por otro, por la existencia del efecto de Poisson (que origina la deformación en todos los sentidos del modelo donde no se aplique la carga).

2. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales impuestas (BA-RL) observamos que³⁷:

- f. La pared es menos deformable³⁸.
- g. Los desplazamientos localizados en las caras laterales y en la base del modelo se anulan.
- h. La mayor concentración de desplazamientos se sitúa en el centro del modelo, de modo especial en la parte superior de la abertura.
- i. Las deformaciones ubicadas en la clave del arco son de sentido contrario (→ ←)³⁹ y dan lugar a fuerzas de compresión en la pieza.
- j. El arco tiene tendencia de cerrarse.

3. En el modelo con la base empotrada (BE) se distingue que⁴⁰:

- k. Los desplazamientos son prácticamente nulos en la zona próxima a la base.
- l. Las deformaciones se concentran en las zonas centrales de los lados del modelo⁴¹.
- m. El arco tiende a cerrarse un poco en la clave⁴².

4. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) apreciamos que⁴³:

- n. La pared es menos deformable⁴⁴.
- o. Los desplazamientos se anulan tanto en la base como en las caras laterales del modelo.
- p. Los máximos desplazamientos laterales tienden a concentrarse en la clave del arco.
- q. El arco tiende a cerrarse al igual que en el punto-2.

5. Además podemos decir que:

- r. La pared con la base apoyada tiene un comportamiento estructural desfavorable.
- s. La pared con la base empotrada y restricciones laterales tiene una mejor función estructural.

³⁷ Ver gráfico (2).

³⁸ Esto se puede constatar si observamos que es más amplia la franja de los "desplazamientos casi nulos" (gama de colores muy claros, casi tendiendo a blanco).

³⁹ Es decir, el lado derecho se desplaza hacia la izquierda y el izquierdo hacia la derecha.

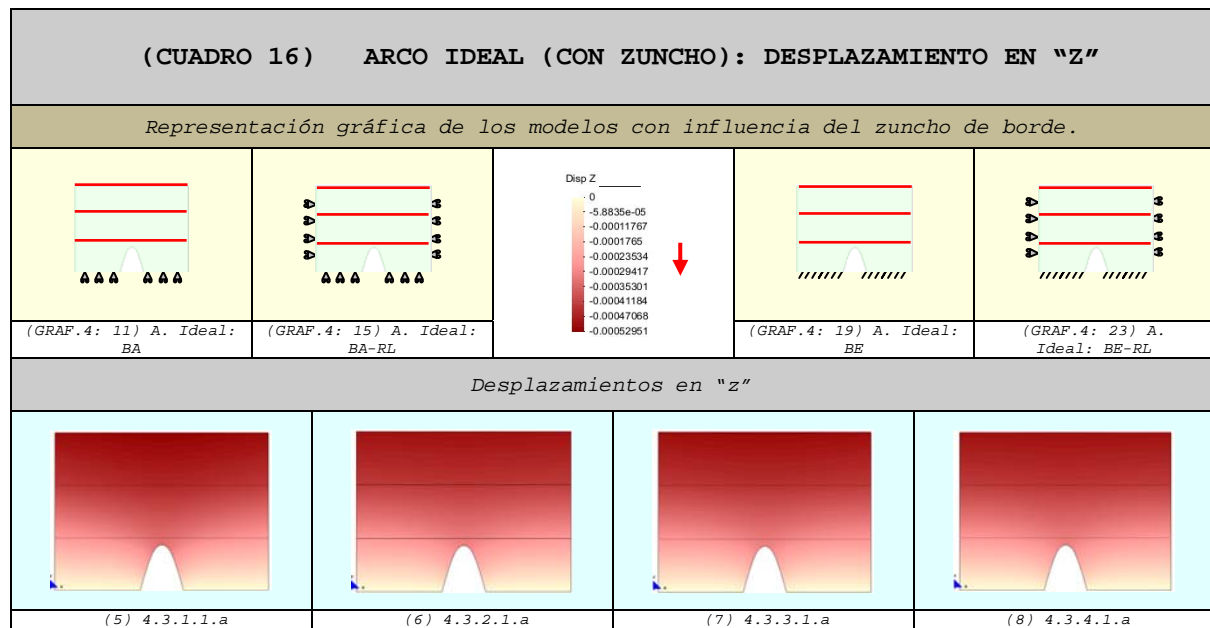
⁴⁰ Ver gráfico (3).

⁴¹ Dada la carencia de restricciones laterales en dichos extremos.

⁴² De acuerdo al sentido de la deformada.

⁴³ Ver gráfico (4).

⁴⁴ Se puede constatar si observamos que es mayor la franja de los "desplazamientos casi nulos" (colores muy claros, casi tendiendo a blanco).

4.4.1.1.2 Desplazamientos en "z" ⁴⁵

6. En el modelo con la base apoyada (BA) observamos que⁴⁶:
- t. La pared tiene poca rigidez⁴⁷.
 - u. La zona de los desplazamientos máximos⁴⁸ se aproxima más a la parte superior de la abertura.
7. En los tres últimos modelos podemos apreciar que⁴⁹:
- v. Las paredes son más rígidos⁵⁰.
 - w. Los desplazamientos son más homogéneos.
 - x. Las máximas deformaciones llegan a nivel de las claves de los arcos⁵¹.
8. Adicionalmente podemos indicar que:
- y. Los máximos desplazamientos se localizan en la parte central de todos los modelos.
 - z. La pared con la base apoyada es más deformable.
 - aa. Los modelos restantes tienen un comportamiento bastante parecido entre sí.

⁴⁵ Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se acerca al rojo intenso.

⁴⁶ Ver gráfico (5).

⁴⁷ Es decir, más capacidad de deformación. Este comportamiento se debe a la libertad de movimiento de su base.

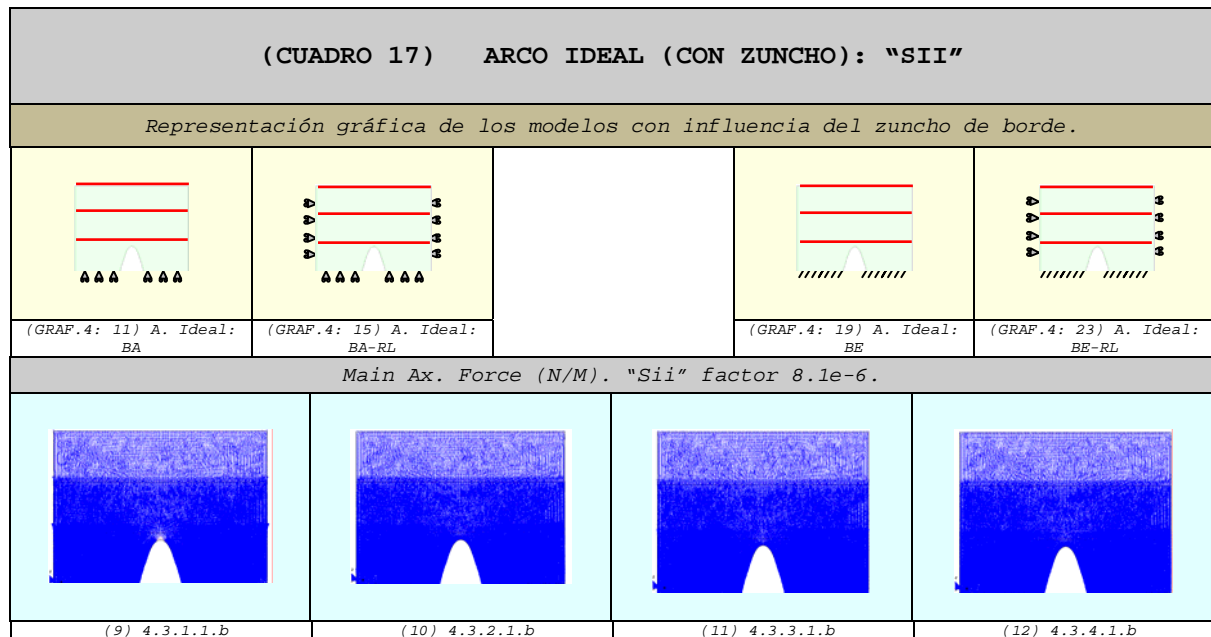
⁴⁸ Tonos de color rojo más intensos.

⁴⁹ Ver gráfico (6), (7) y (8): base apoyada con restricciones laterales (BA-RL), base empotrada (BE) y base empotrada con restricciones laterales (BE-RL) respectivamente.

⁵⁰ Por lo tanto, menos deformables al tener más impedidos sus movimientos.

⁵¹ Aunque son menores que el modelo con la base simplemente apoyada.

4.4.1.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22"
(Sii) ⁵²⁻⁵³



9. En el modelo simplemente apoyado (BA) puede apreciarse que⁵⁴:
- bb. La pared está prácticamente comprimido en su totalidad⁵⁵.
 - cc. En la punta del arco existen vectores de tracción a diferencia de los otros modelos⁵⁶.
10. En los tres modelos restantes distinguimos que⁵⁷:
- dd. Las paredes están comprimidos por completo.
 - ee. En la punta del arco desaparecen del todo las fuerzas de tracción.
11. De modo general podríamos decir que:
- ff. Las diferencias son casi imperceptibles⁵⁸.
 - gg. El comportamiento más desfavorable se produce cuando la base está simplemente apoyada.

⁵² Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N22".

⁵³ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁵⁴ Ver gráfico (9).

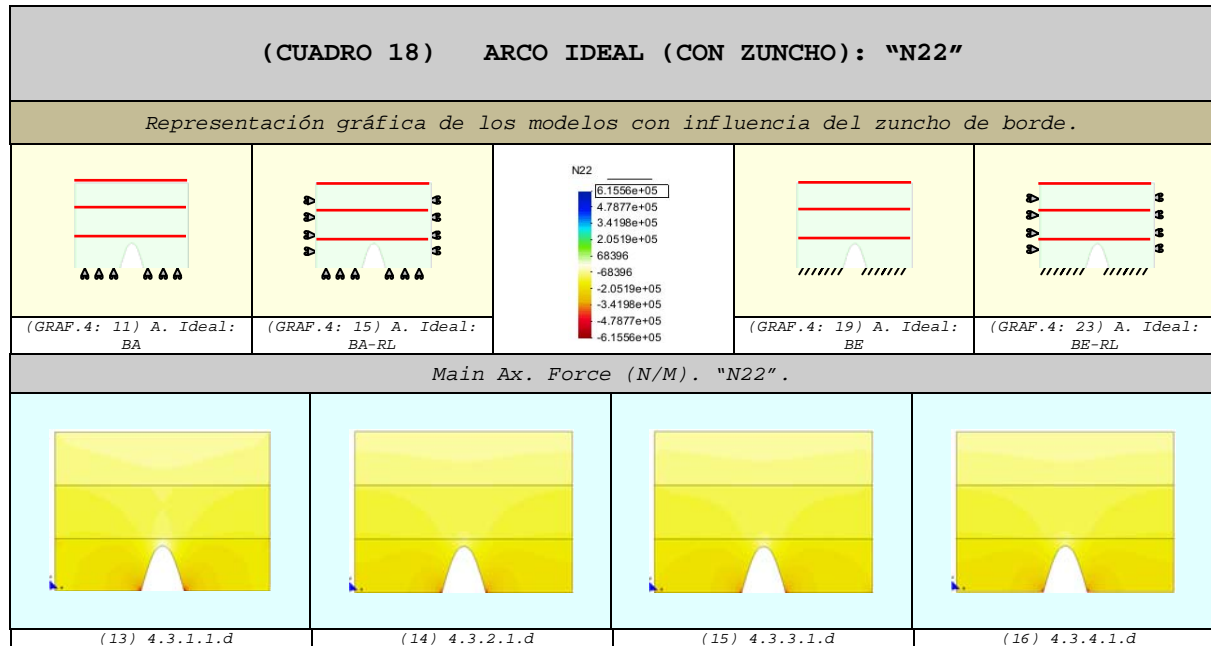
⁵⁵ A excepción de la punta del hueco.

⁵⁶ Vectores de color rojo casi imperceptibles.

⁵⁷ Ver gráfico (10), (11) y (12): base apoyada con restricciones laterales (BA-RL), base empotrada (BE) y base empotrada con restricciones laterales (BE-RL) respectivamente.

⁵⁸ Mientras que influye considerablemente en el caso de fuerza contraria "N11", como se aprecia en el siguiente apartado.

4.4.1.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N22" (N22) 59-60



12. En el modelo simplemente apoyado (BA) observamos que⁶¹:

- hh. En la clave del arco se aprecian fuerzas de tracción, aunque de intensidad casi imperceptible⁶².
- ii. En la parte inferior se concentran las compresiones con mayor intensidad que en las otras paredes.

13. En los tres modelos restantes podemos distinguir que⁶³:

- jj. En la punta del arco desaparecen por completo las fuerzas de tracción⁶⁴.
- kk. En la base de los modelos se concentran fuerzas de compresión.

14. De modo general podríamos decir que:

- ll. En la base del hueco se produce una concentración de fuerzas de compresión⁶⁵ que disminuye a medida que se aleja de la abertura.

⁵⁹ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados.

⁶⁰ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁶¹ Ver gráfico (13).

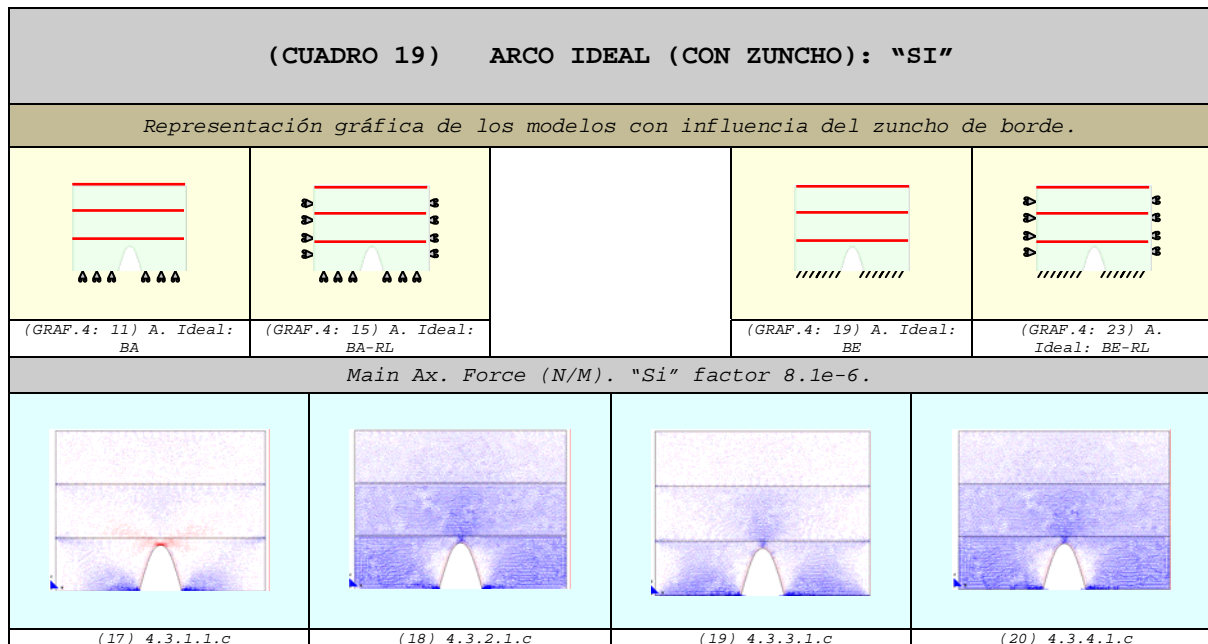
⁶² Zona reducida de colores fríos.

⁶³ Ver gráfico (14), (15) y (16): base apoyada con restricciones laterales (BA-RL), base empotrada (BE) y base empotrada con restricciones laterales (BE-RL) respectivamente.

⁶⁴ No existen zonas de colores fríos.

⁶⁵ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

4.4.1.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11"
(Si) ⁶⁶⁻⁶⁷



15. Si la base del modelo está simplemente apoyada (BA) podemos apreciar que⁶⁸:

- mm. En la clave del arco se concentran⁶⁹ fuerzas de tracción⁷⁰, las mismas que tienden a disminuir a medida que se aproximan a los extremos de la pared del modelo.
- nn. En la zona de la base próxima al hueco se produce una concentración de compresiones⁷¹ importantes.

16. Si al modelo apoyado le imponemos restricciones laterales (BA-RL) observamos que⁷²:

- oo. En la zona superior del arco desaparecen por completo todas las tracciones⁷³.
- pp. En las caras laterales del hueco se mantienen las fuerzas de tracción⁷⁴.
- qq. La pared prácticamente está toda comprimida⁷⁵.

⁶⁶ Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N11".

⁶⁷ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁶⁸ Ver gráfico (17).

⁶⁹ En el gráfico de los vectores: zona roja.

⁷⁰ Estos esfuerzos tienen lugar cuando los lados de la base de la abertura se separan por efecto de la deformación de la pieza. Cabe indicar que las tracciones que aparecen son pequeñas, en comparación con las compresiones en la otra dirección "SII".

⁷¹ En el gráfico de los vectores: zona azul.

⁷² Ver gráfico (18).

⁷³ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

⁷⁴ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

⁷⁵ Toda la pared contiene vectores de color azul.

17. Si la base del modelo está empotrada (BE) se puede apreciar que⁷⁶:

- rr. En la zona más próxima a la clave del arco se concentran fuerzas de compresión.
- ss. En las caras laterales del arco aparecen pequeñas fuerzas de tracción⁷⁷.
- tt. En la base aumentan considerablemente las fuerzas de compresión⁷⁸.

18. Si al modelo empotrado le imponemos restricciones laterales (BE-RL) puede notarse que⁷⁹:

- uu. En la zona superior del arco desaparecen por completo todas las tracciones⁸⁰.
- vv. En las caras laterales del hueco no llegan a desaparecer las fuerzas de tracción de baja intensidad⁸¹.
- ww. La pared está prácticamente comprimida en su totalidad⁸².

19. De modo general podríamos decir que:

- xx. En la base junto a los huecos se localizan las máximas concentraciones de compresión.
- yy. En el modelo con la base simplemente apoyada los resultados son desfavorables.
- zz. El comportamiento mejora si empotrarnos la base.
- aaa. El comportamiento es mucho mejor si restringimos lateralmente los modelos.

⁷⁶ Ver gráfico (19).

⁷⁷ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

⁷⁸ Al estar limitados por completo los desplazamientos en la base. Se observa que el modelo contiene prácticamente en su totalidad vectores de color azul.

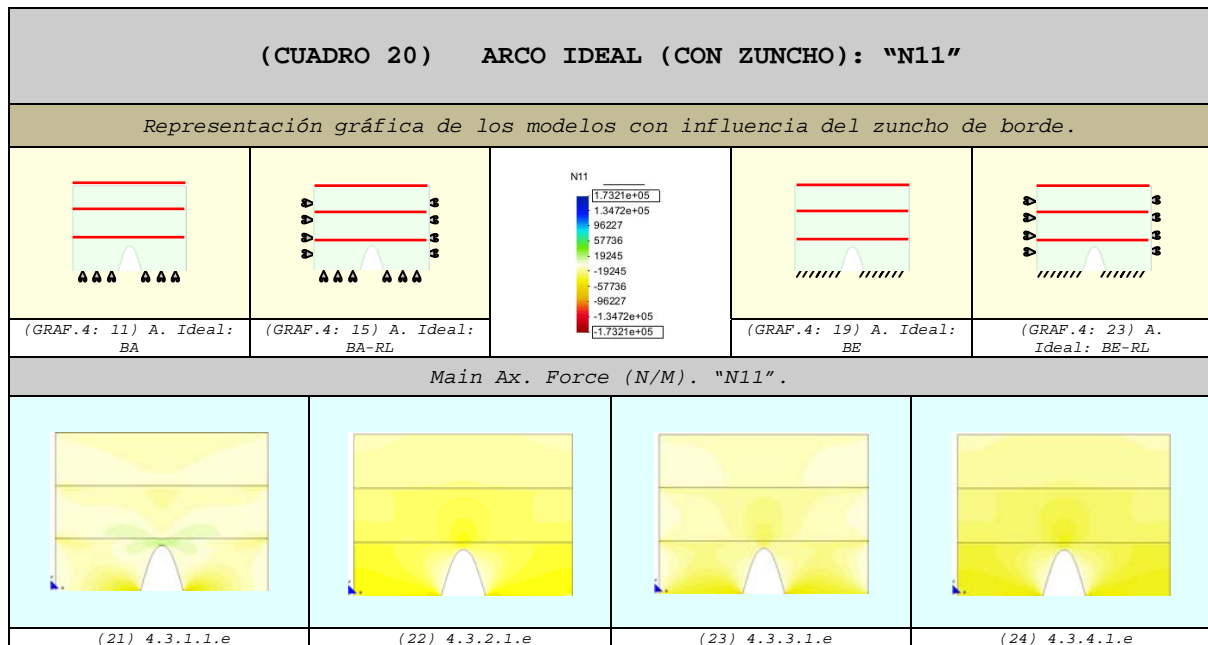
⁷⁹ Ver gráfico (20).

⁸⁰ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

⁸¹ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

⁸² Toda la pared contiene vectores de color azul.

4.4.1.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N1" (N11) ⁸³⁻⁸⁴



20. En el caso del modelo con la base apoyada (BA) se puede apreciar que⁸⁵:

bbb. En la clave del arco se concentran fuerzas de tracción⁸⁶, las mismas que tienden a aminorar a medida que se aproximan a los extremos de la pared.

ccc. En la zona de la base próxima al hueco se produce una concentración de compresiones.

21. En los modelos con restricciones laterales notamos que⁸⁷:

ddd. En la zona superior del arco desaparecen por completo todas las tracciones⁸⁸.

22. Cuando la base está empotrada (BE) se observa que⁸⁹:

eee. En la zona más próxima a la clave del arco desaparecen las tracciones más intensas.

fff. Las zonas de compresión aumentan considerablemente⁹⁰.

⁸³ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nxx-Nx'" de los diferentes modelos desarrollados.

⁸⁴ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁸⁵ Ver gráfico (21).

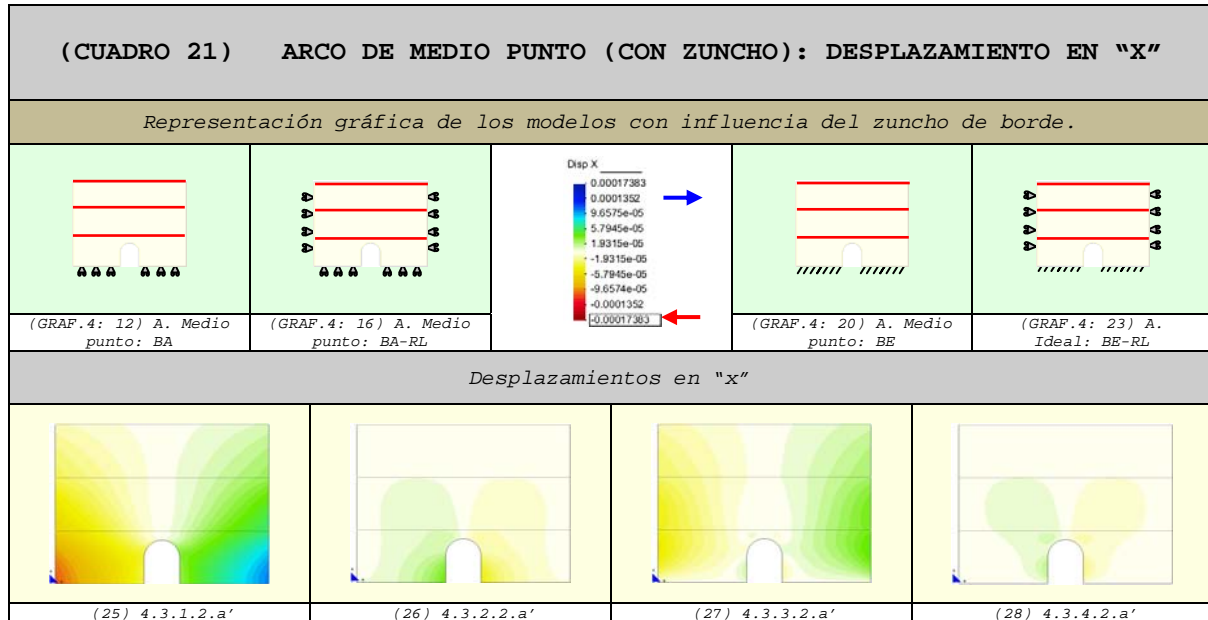
⁸⁶ Estos esfuerzos tienen lugar cuando los lados de la base de la abertura se separan por efecto de la deformación de la pieza.

⁸⁷ Ver gráficos (22) y (24): base apoyada con restricciones laterales (BA-RL) y base empotrada con restricciones laterales (BE-RL) respectivamente.

⁸⁸ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

⁸⁹ Ver gráfico (23).

⁹⁰ Al estar limitados por completo los desplazamientos en la base se observa que el modelo está casi en su totalidad de color amarillo.

4.4.2 Hueco con arco de medio punto4.4.2.1 Comparación de los Desplazamientos4.4.2.1.1 Desplazamientos en "x" ⁹¹

1. En el modelo con la base apoyada (BA) podemos observar que⁹²:

- Los desplazamientos laterales son superiores⁹³.
- Las máximas deformaciones se localizan en los extremos externos de la base y tienden a menguar considerablemente cuando se aproximan a la abertura⁹⁴⁻⁹⁵.
- La base del hueco tiende a abrirse.
- La pared se dilata libremente por ambos lados del modelo⁹⁶.
- En la clave del arco no se produce una concentración de desplazamientos⁹⁷.

2. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales impuestas (BA-RL) se puede apreciar que⁹⁸:

⁹¹ Los desplazamientos hacia el lado derecho se representan con la gama de colores fríos (verde-azul) y los desplazamientos hacia el lado izquierdo con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo).

⁹² Ver gráfico (25).

⁹³ En comparación con los otros modelos.


⁹⁴ Es decir, en los extremos internos de la base.

⁹⁵ Dada la mayor rigidez que le aporta la forma.

⁹⁶ Por un lado, por la falta de restricciones laterales y por otro, por la existencia del efecto de Poisson (que origina la deformación en todos los sentidos del modelo donde no se aplique la carga).

⁹⁷ A diferencia de los modelos restantes.

⁹⁸ Ver gráfico (26).

- f. Los desplazamientos en las caras laterales del modelo se anulan, mientras que en la base disminuyen considerablemente sin llegar a desaparecer.
- g. La mayor concentración de desplazamientos se sitúa en la parte inferior del hueco y en menor grado en la clave del arco.
- h. Las deformaciones ubicadas en la clave del arco son de sentido contrario ()⁹⁹ y dan lugar a tracciones de pequeña intensidad.
- i. El hueco tiende a cerrarse en la base.
3. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) se distingue que¹⁰⁰:
- j. En la base los desplazamientos son nulos¹⁰¹.
- k. Los máximos desplazamientos se producen en las caras laterales del modelo, aproximadamente en sus zonas centrales¹⁰².
- l. Los desplazamientos se van prolongando hasta llegar a la clave del arco.
- m. En la parte superior del arco se desarrollan desplazamientos que estiran el material¹⁰³.
4. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) puede notarse que¹⁰⁴:
- n. Los desplazamientos se anulan tanto en la base como en las caras laterales del modelo.
- o. Los máximos desplazamientos se localizan en las caras laterales del hueco.
5. De modo general podemos decir que:
- p. La pared con la base apoyada tiene un comportamiento desfavorable.
- q. La pared con la base empotrada y restricciones laterales tiene una mejor función estructural.

⁹⁹ Es decir, el lado derecho se desplaza hacia la derecha y el izquierdo hacia la izquierda.

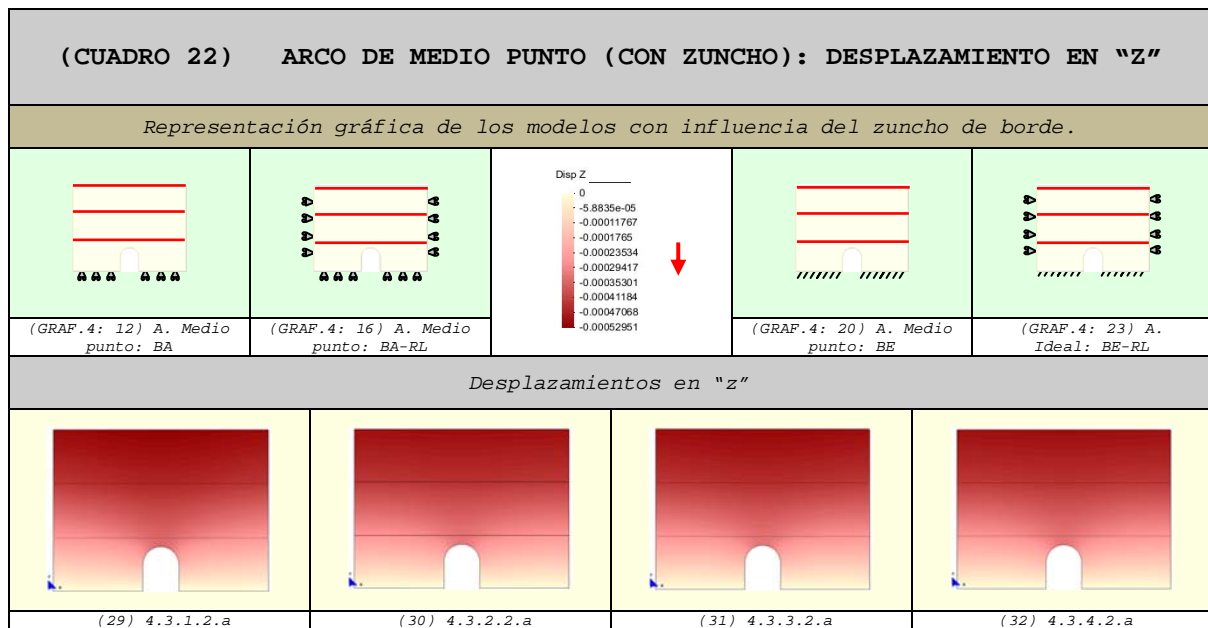
¹⁰⁰ Ver gráfico (27).

¹⁰¹ Debido al empotramiento, que impide el desplazamiento lateral.

¹⁰² Que es la zona con libertad de movimiento.

¹⁰³ Que originan pequeñas tracciones en dicha zona. Hay que tener en cuenta que esta zona también puede desplazarse libremente, por haberle impuesto ningún tipo de condición de contorno.

¹⁰⁴ Ver gráfico (28).

4.4.2.1.2 Desplazamientos en "z"¹⁰⁵

6. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede notar que¹⁰⁶:

r. La pared tiene poca rigidez¹⁰⁷.

s. La zona de desplazamientos máximos¹⁰⁸ se aproxima más a la parte superior de la abertura.

7. En los tres últimos modelos podemos apreciar que¹⁰⁹:

t. Las paredes son más rígidos¹¹⁰.

u. Los desplazamientos son más homogénea.

v. Las máximas deformaciones llegan a nivel de las claves de los arcos¹¹¹.

8. Adicionalmente podemos indicar que:

w. Los máximos desplazamientos se localizan en la parte central de todos los modelos.

x. La pared con la base apoyada es más deformable.

y. Los modelos restantes tienen un comportamiento bastante parecido entre sí.

¹⁰⁵ Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se acerca al rojo intenso.

¹⁰⁶ Ver gráfico (29).

¹⁰⁷ Es decir, más capacidad de deformación. Este comportamiento se debe a la libertad de movimiento de su base.

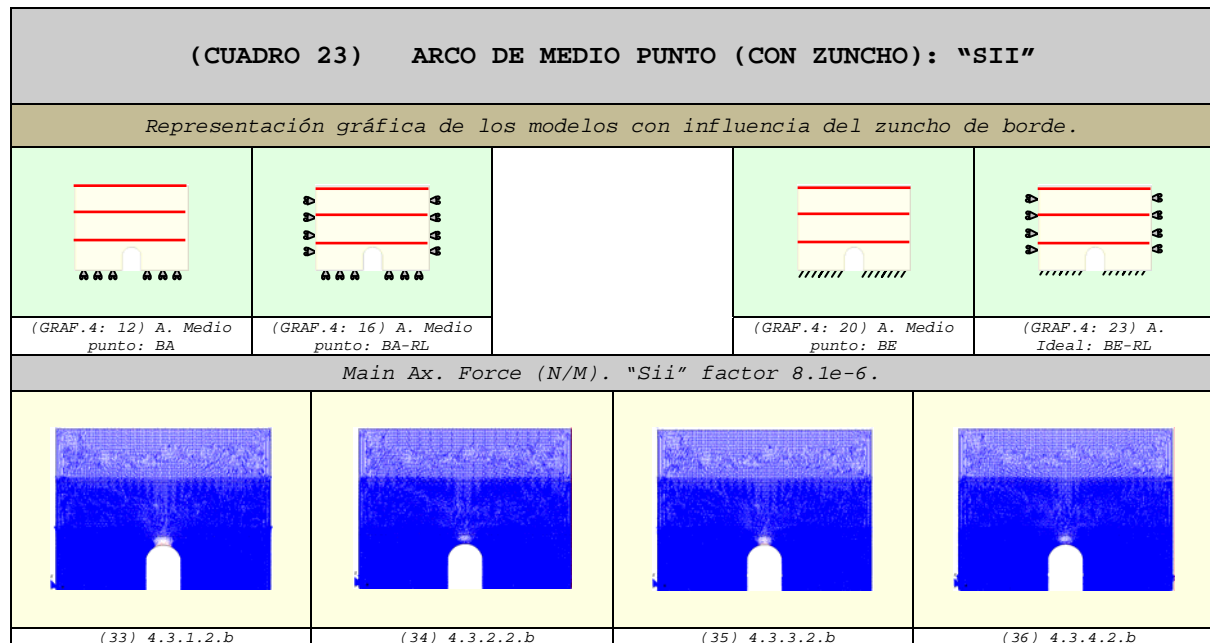
¹⁰⁸ Tonos de color rojo más intensos.

¹⁰⁹ Ver gráficos (30), (31) y (32): base apoyada con restricciones laterales (BA-RL), base empotrada (BE) y base empotrada con restricciones laterales (BE-RL) respectivamente.

¹¹⁰ Por lo tanto menos deformables, al tener más impedidos sus movimientos.

¹¹¹ Aunque en menor grado que el modelo con la base apoyada.

4.4.2.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii) ¹¹²⁻¹¹³



9. En el modelo simplemente apoyado (BA) podemos apreciar¹¹⁴:

z. En la punta del arco existen vectores de tracción¹¹⁵.

aa. En la parte superior de la clave del arco se producen compresiones con magnitudes casi imperceptibles¹¹⁶.

10. En los modelos con restricciones laterales se puede observar que¹¹⁷:

bb. En la punta del arco desaparecen parcialmente las fuerzas de tracción¹¹⁸.

11. Si la base del modelo está empotrada (BE) se distingue que¹¹⁹:

cc. En la clave del arco existen tracciones de baja intensidad.

12. De modo general podríamos decir que:

dd. Las diferencias son casi imperceptibles¹²⁰.

ee. El comportamiento más desfavorable se produce cuando la base está simplemente apoyada.

¹¹² Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N22".

¹¹³ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

¹¹⁴ Ver gráfico (33).

¹¹⁵ Vectores de color rojo son de rango superior a los otros modelos.

¹¹⁶ Zona menos densa de vectores.

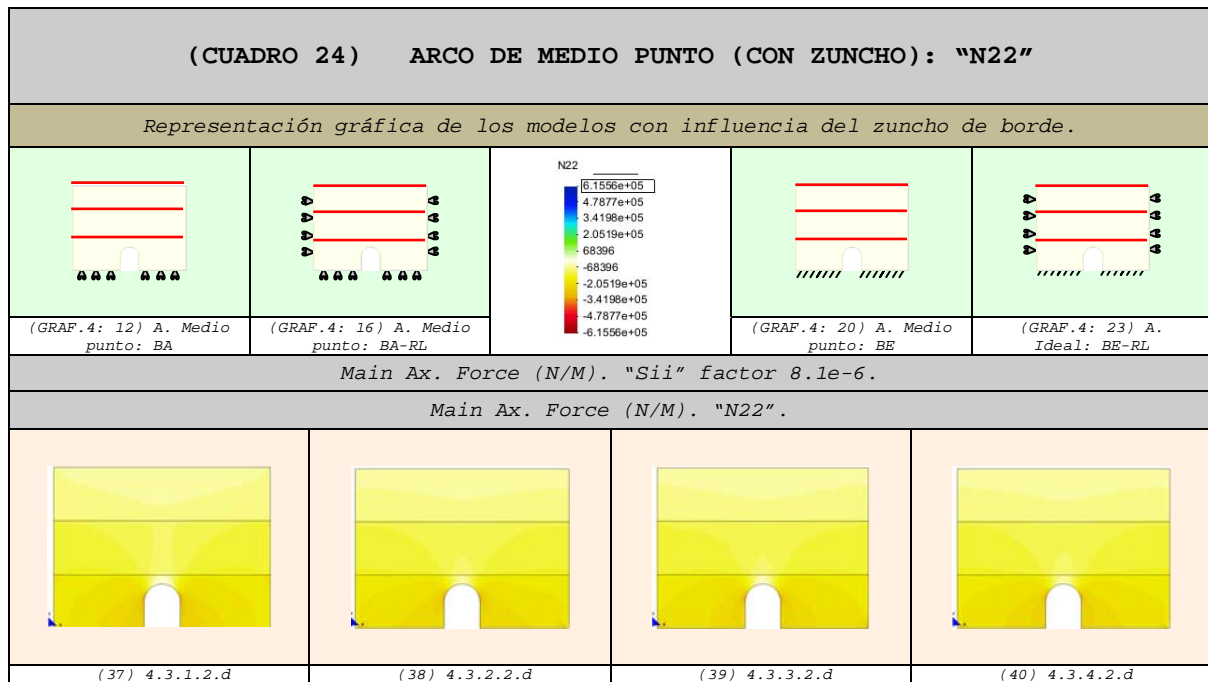
¹¹⁷ Ver gráfico (34) y (36): base apoyada con restricciones laterales (BA-RL) y base empotrada con restricciones laterales (BE-RL) respectivamente.

¹¹⁸ Existen vectores de color rojo de pequeña magnitud.

¹¹⁹ Ver gráfico (35).

¹²⁰ Mientras que influye considerablemente en el caso de fuerza contraria "N11", como se aprecia en el siguiente apartado.

4.4.2.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N22" (N22) 121-122



13. En el modelo simplemente apoyado (BA) se observa que¹²³:

ff. En la parte superior de la clave del arco se aprecian mayor las fuerzas de tracción, las mismas que tienen magnitudes insignificantes¹²⁴.

14. En los tres modelos restantes podemos distinguir que¹²⁵:

gg. En la punta del arco se reducen las fuerzas de tracción¹²⁶.

15. De modo general podríamos decir que:

hh. En el inicio de la parte curva del hueco se concentran las fuerzas de compresión¹²⁷, las mismas que tienden a disminuir a medida que se alejan de dicha posición.

¹²¹ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados.

¹²² Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

¹²³ Ver gráficos (37).

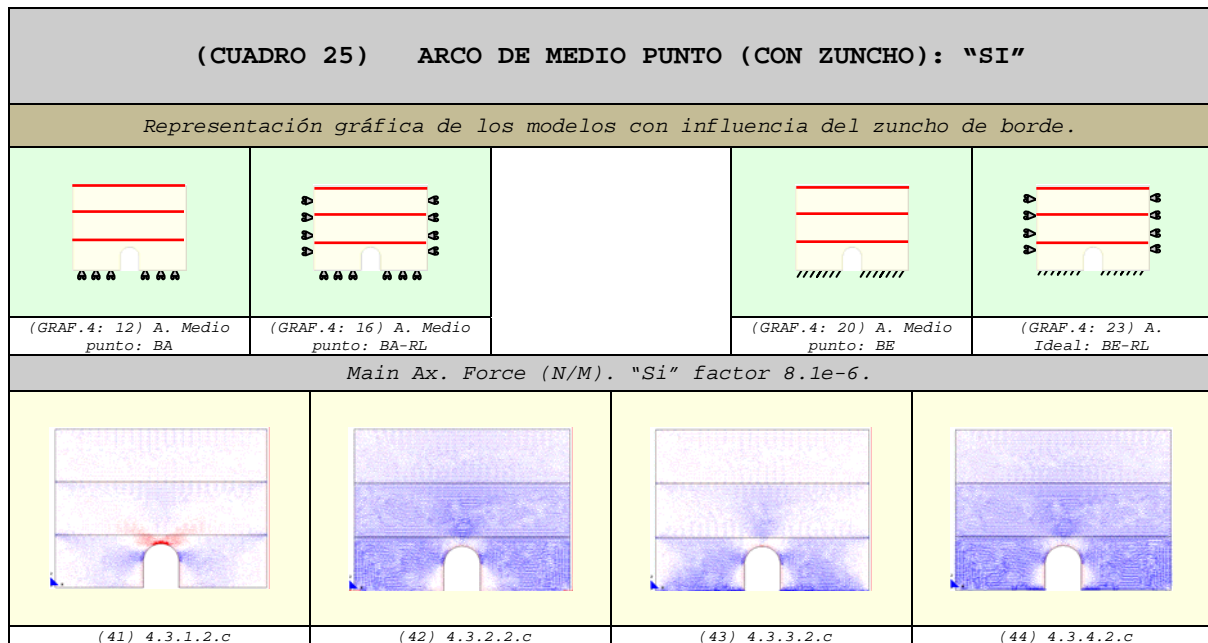
¹²⁴ Zona reducida de colores fríos.

¹²⁵ Ver gráficos (38), (39) y (40): base apoyada con restricciones laterales (BA-RL), base empotrada (BE) y base empotrada con restricciones laterales (BE-RL) respectivamente.

¹²⁶ No existen zonas de colores fríos.

¹²⁷ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

4.4.2.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si) ¹²⁸⁻¹²⁹



16. Si consideramos el modelo con la base apoyada (BA) puede apreciarse que¹³⁰:

- ii. En la clave del arco se concentran fuerzas de tracción¹³¹, las mismas que disminuyen cuando se aproximan a los extremos de la pared.
- jj. En el inicio de la parte curva del hueco se concentran fuerzas de compresión¹³² que decrecen a medida que se alejan de dicha posición.

17. Si al modelo apoyado le imponemos restricciones laterales (BA-RL) observamos que¹³³:

- kk. En la zona superior del arco se reducen considerablemente las fuerzas de tracción¹³⁴.
- ll. En las caras laterales del hueco aparecen fuerzas de tracción¹³⁵ casi imperceptibles.
- mm. En el inicio de la parte curva del hueco se intensifican las fuerzas de compresión¹³⁶.

¹²⁸ Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N11".

¹²⁹ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

¹³⁰ Ver gráficos (41).

¹³¹ Estos esfuerzos tienen lugar cuando los lados de la base de la abertura se separan por efecto de la deformación de la pieza. Cabe indicar que las tracciones que aparecen son pequeñas, en comparación con las compresiones en la otra dirección "SII".

¹³² Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

¹³³ Ver gráficos (42).

¹³⁴ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

¹³⁵ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

¹³⁶ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

- nn. La pared está prácticamente toda comprimida¹³⁷.
- 18.** Cuando la base está empotrada (BE) se aprecia que¹³⁸:
- oo. En la zona próxima a la clave del arco se concentran fuerzas de tracción casi imperceptibles.
- pp. En la zona alejada de la parte superior del arco existen fuerzas de tracción insignificantes.
- qq. En las caras laterales del hueco aparecen fuerzas de tracción¹³⁹ inapreciables.
- rr. En el inicio de la parte curva del hueco se intensifican las fuerzas de compresión¹⁴⁰.
- ss. En la base aumentan considerablemente las fuerzas de compresión¹⁴¹.
- 19.** Si al modelo empotrado le imponemos restricciones laterales (BE-RL) vemos que¹⁴²:
- tt. En la zona superior del arco se reducen considerablemente las tracciones¹⁴³.
- uu. En las caras laterales del hueco no llegan a desaparecer las fuerzas de tracción¹⁴⁴.
- vv. En el inicio de la parte curva del hueco se intensifican las fuerzas de compresión¹⁴⁵.
- ww. En la base aumentan considerablemente las fuerzas de compresión.
- xx. La pared está prácticamente comprimida en su totalidad¹⁴⁶.
- 20.** De modo general podríamos decir que:
- yy. Las fuerzas de tracción se concentran en la zona superior de los arcos.
- zz. La pared con la base simplemente apoyada es más desfavorable.
- aaa. El comportamiento mejora si empotrarnos la base.
- bbb. El comportamiento mejora considerablemente si lo restringimos lateralmente los modelos.

¹³⁷ La pared contiene vectores de color azul prácticamente en toda la superficie.

¹³⁸ Ver gráficos (43).

¹³⁹ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

¹⁴⁰ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

¹⁴¹ Al estar limitados por completo los desplazamientos en la base. Apreciar que el modelo contiene prácticamente en su totalidad vectores de color azul.

¹⁴² Ver gráficos (44).

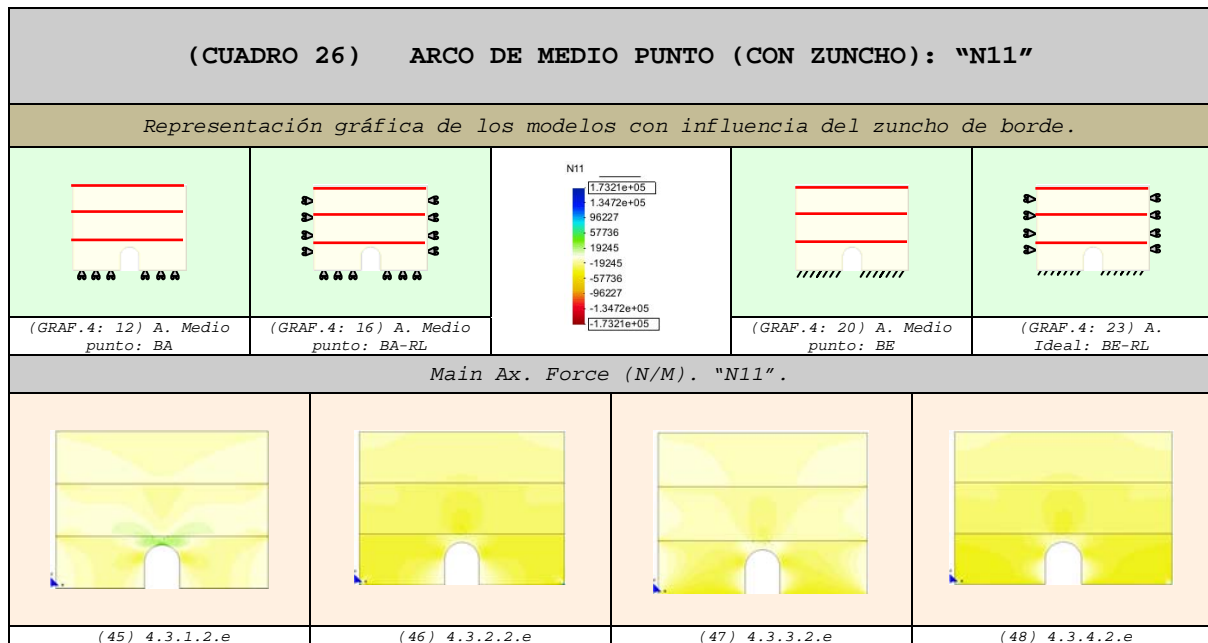
¹⁴³ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

¹⁴⁴ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

¹⁴⁵ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

¹⁴⁶ Toda la pared contiene vectores de color azul.

4.4.2.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N11" (N11) 147-148



21. En el caso del modelo con la base apoyada (BA) podemos apreciar que¹⁴⁹:

ccc. En la clave del arco se concentran fuerzas de tracción¹⁵⁰, las mismas que tienden a reducirse a medida que se aproximan a los extremos de la pared.

ddd. En el inicio de la parte curva de los huecos se concentran las fuerzas de compresión.

22. En los modelos con restricciones laterales se puede ver que¹⁵¹:

eee. En la zona superior del arco se reducen las tracciones¹⁵².

23. Cuando la base está empotrada(BE) observamos que¹⁵³:

fff. En la zona más próxima a la clave del arco se concentran fuerzas de tracción¹⁵⁴ de insignificante intensidad.

ggg. Las zonas de compresión aumentan considerablemente¹⁵⁵.

¹⁴⁷ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nxx=Nx" de los diferentes modelos desarrollados.

¹⁴⁸ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

¹⁴⁹ Ver gráficos (45).

¹⁵⁰ Estos esfuerzos tienen lugar cuando los lados de la base de la abertura se separan por efecto de la deformación de la pieza.

¹⁵¹ Ver gráficos (46) y (48): base apoyada con restricciones laterales (BA-RL) y base empotrada con restricciones laterales (BE-RL) respectivamente.

¹⁵² Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

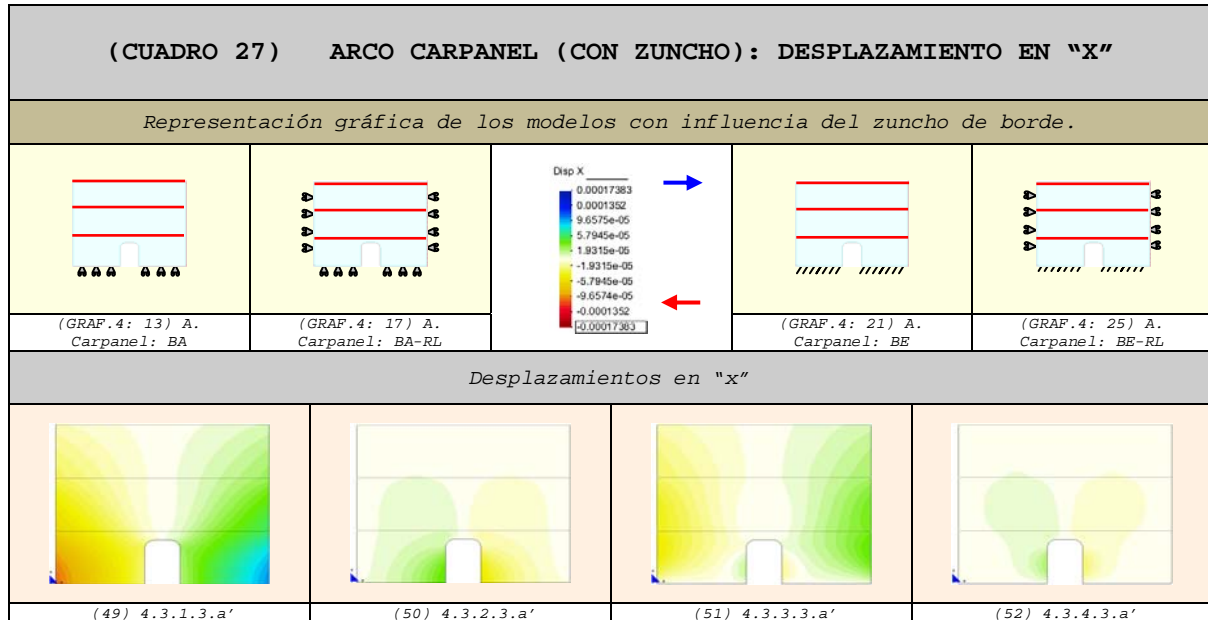
¹⁵³ Ver gráficos (47).

¹⁵⁴ Con mucha diferencia en relación con el modelo simplemente apoyado; comparar gráficos (45) con (47).

¹⁵⁵ Al estar limitados por completo los desplazamientos en la base se observa que el modelo está casi en su totalidad de color amarillo.

4.4.3 Hueco con arco carpanel

4.4.3.1 Comparación de los Desplazamientos

4.4.3.1.1 Desplazamientos en "x" ¹⁵⁶

1. En el modelo con la base apoyada (BA) puede observarse que¹⁵⁷:

- a. Los desplazamientos laterales son superiores¹⁵⁸.
- b. Las máximas deformaciones se localizan en los extremos externos de la base y disminuyen considerablemente cuando se aproximan a la abertura¹⁵⁹⁻¹⁶⁰.
- c. La pared se dilata libremente por ambos lados del modelo¹⁶¹.
- d. En la clave del arco no se produce una concentración de desplazamientos¹⁶².
- e. El arco tiene tendencia a abrirse.

2. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales impuestas (BA-RL) apreciamos que¹⁶³:

- f. Los desplazamientos en las caras laterales del modelo se anulan, mientras que en la base disminuyen considerablemente.

¹⁵⁶ Los desplazamientos hacia el lado derecho se representan con la gama de colores fríos (verde-azul) y los desplazamientos hacia el lado izquierdo con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo).

¹⁵⁷ Ver gráficos (49).

¹⁵⁸ En comparación con los otros modelos.

¹⁵⁹ Es decir, en los extremos internos de la base.

¹⁶⁰ Dada la mayor rigidez que le aporta la forma.

¹⁶¹ Por un lado, por la falta de restricciones laterales y por otro, por la existencia del efecto de Poisson (que origina la deformación en todos los sentidos del modelo donde no se aplique la carga).

¹⁶² A diferencia de los modelos restantes.

¹⁶³ Ver gráficos (50).

- g. La mayor concentración de desplazamientos se sitúa en la parte inferior del hueco y en menor grado en la clave del arco.
- h. La zona libre para deformarse se localizará en la parte inferior del hueco y en menor grado en la clave del arco.
- i. Las deformaciones ubicadas en la clave del arco son de sentido contrario (← →)¹⁶⁴, dando lugar a tracciones de reducida intensidad.
- j. El hueco tiene tendencia a cerrarse en la base¹⁶⁵.
- 3. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que¹⁶⁶:**
- k. En la base los desplazamientos son nulos.
- l. Los máximos desplazamientos se producen en las caras laterales del modelo, aproximadamente en sus zonas centrales¹⁶⁷.
- m. Los desplazamientos se van prolongando hasta llegar al arco.
- n. En la parte superior del arco se desarrollan desplazamientos que estiran el material¹⁶⁸.
- 4. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) se puede notar que¹⁶⁹:**
- o. Los desplazamientos se anulan tanto en la base como en las caras laterales del modelo.
- p. Los máximos desplazamientos se localizan en las caras laterales del hueco.
- q. En la clave del arco comienzan a aparecer desplazamientos en sentido opuesto¹⁷⁰.
- 5. De modo general podemos decir que:**
- r. La pared con la base apoyada tiene un comportamiento desfavorable.
- s. La pared con la base empotrada y restricciones laterales tiene una mejor función estructural.

¹⁶⁴ Es decir, el lado derecho se desplaza hacia la derecha y el izquierdo hacia la izquierda.

¹⁶⁵ Esto se debe a que es más fácil cerrar un hueco cuya base está formada por aristas con ángulos de 90°.

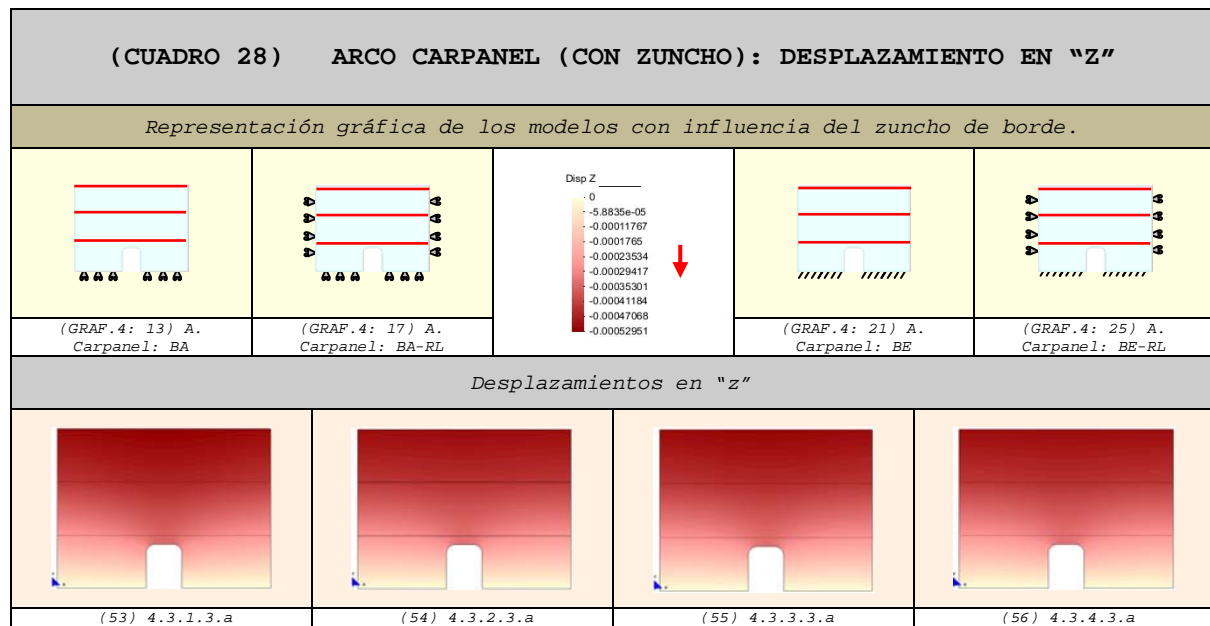
¹⁶⁶ Ver gráficos (51).

¹⁶⁷ Que es la zona con libertad de movimiento.

¹⁶⁸ Que originan pequeñas tracciones en dicha zona. Hay que tener en cuenta que esta zona también puede desplazarse libremente, por haberle impuesto ningún tipo de condición de contorno.

¹⁶⁹ Ver gráficos (52).

¹⁷⁰ Que dan lugar a tracciones de poca intensidad.

4.4.3.1.2 Desplazamientos en "z" ¹⁷¹

6. En el modelo con la base apoyada (BA) notamos que¹⁷²:
- t. La pared tiene poca rigidez¹⁷³.
 - u. La zona de desplazamientos máximos¹⁷⁴ se aproxima más a la parte superior de la abertura.
7. En los tres últimos modelos se puede apreciar que¹⁷⁵:
- v. Las paredes son más rígidos¹⁷⁶.
 - w. Los desplazamientos son más homogéneos.
 - x. Las máximas deformaciones llegan a nivel de las claves de los arcos¹⁷⁷.
8. Adicionalmente podemos indicar que:
- y. Los máximos desplazamientos se localizan en la parte central de todos los modelos.
 - z. La pared con la base apoyada es más deformable.
 - aa. Los modelos restantes tienen un comportamiento bastante parecido entre sí.

¹⁷¹ Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se acerca al rojo intenso.

¹⁷² Ver gráficos (53).

¹⁷³ Es decir, más capacidad de deformación. Este comportamiento se debe a la libertad de movimiento de su base.

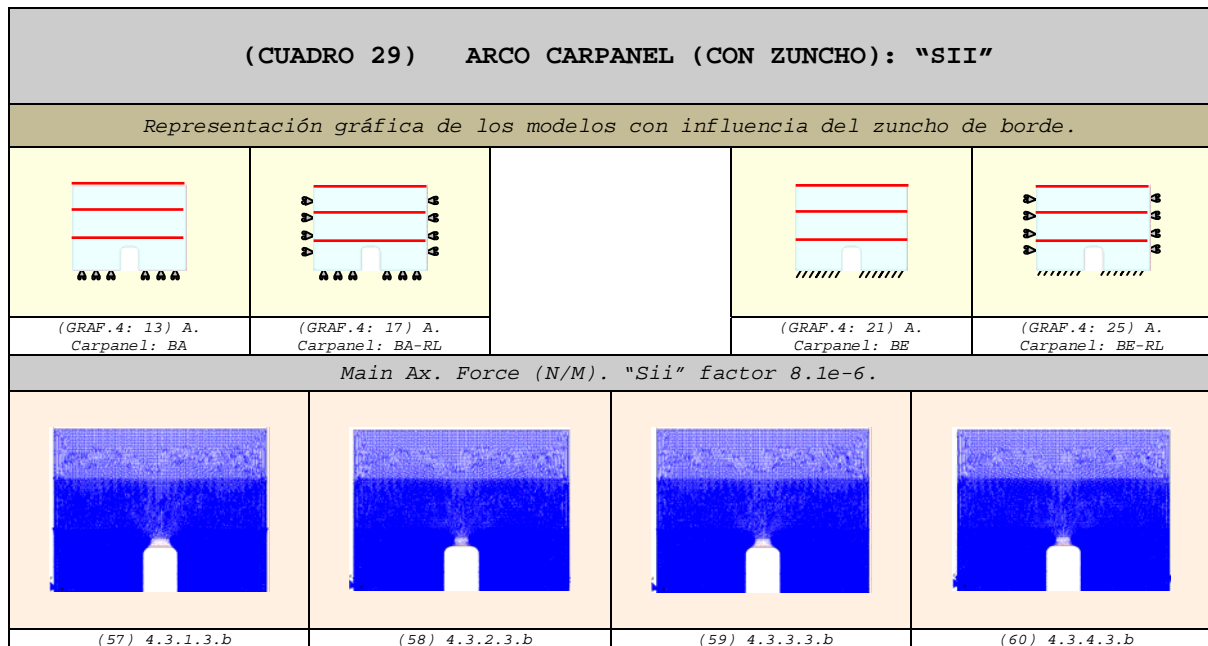
¹⁷⁴ Tonos de color rojo más intensos.

¹⁷⁵ Ver gráficos (54), (55) y (56): base apoyada con restricciones laterales (BA-RL), base empotrada (BE) y base empotrada con restricciones laterales (BE-RL) respectivamente.

¹⁷⁶ Por lo tanto menos deformables, al tener más impedidos sus movimientos.

¹⁷⁷ Aunque en menor grado que el modelo con la base apoyada.

4.4.3.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22"
(Sii) ¹⁷⁸⁻¹⁷⁹



9. En el modelo simplemente apoyado (BA) podemos apreciar que¹⁸⁰:
- bb. En la parte recta del arco existen vectores de tracción¹⁸¹.
 - cc. En la parte superior de la clave del arco se producen compresiones de baja intensidad¹⁸².
10. En los tres modelos restantes observamos que¹⁸³:
- dd. En la parte recta del arco desaparecen parcialmente las fuerzas de tracción¹⁸⁴.
 - ee. En la parte superior de la clave del arco se producen compresiones con magnitudes muy reducidas.
11. De modo general podríamos decir que:
- ff. Las diferencias son casi imperceptibles¹⁸⁵.
 - gg. El comportamiento más desfavorable se produce cuando la base está simplemente apoyada.

¹⁷⁸ Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N22".

¹⁷⁹ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

¹⁸⁰ Ver gráfico (57).

¹⁸¹ Vectores de color rojo son de rango superior a los otros modelos.

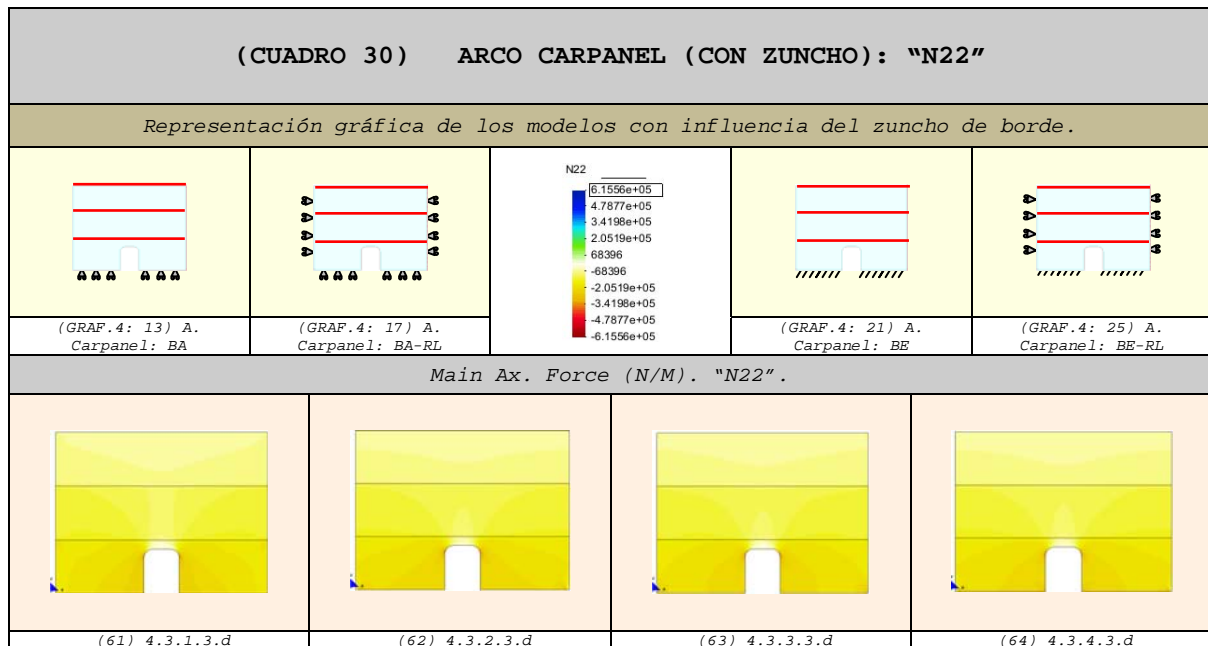
¹⁸² Zona menos densa de vectores.

¹⁸³ Ver gráficos (58), (59) y (60): base apoyada con restricciones laterales (BA-RL), base empotrada (BE) y base empotrada con restricciones laterales (BE-RL) respectivamente.

¹⁸⁴ Existen vectores de color rojo de pequeña magnitud.

¹⁸⁵ Mientras que influye considerablemente en el caso de fuerza contraria "N11", como se aprecia en el siguiente apartado.

4.4.3.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N22" (N22) 186-187



12. En el modelo simplemente apoyado (BA) observamos que¹⁸⁶:

- hh. En el inicio de la parte curva del hueco se produce una concentración de fuerzas de compresión¹⁸⁹ que tienden a reducirse a medida que se alejan de dicha zona.
- ii. En la parte superior de la clave del arco se aprecian fuerzas de tracción con magnitudes insignificantes¹⁹⁰.

13. En los siguientes tres modelos podemos distinguir que¹⁹¹:

- jj. En el inicio de la parte curva del hueco se concentran fuerzas de compresión¹⁹² que disminuyen a medida que se alejan de dicha posición.
- kk. En la parte recta del arco se debilitan las fuerzas de tracción¹⁹³.

¹⁸⁶ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados.

¹⁸⁷ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

¹⁸⁸ Ver gráficos (61).

¹⁸⁹ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

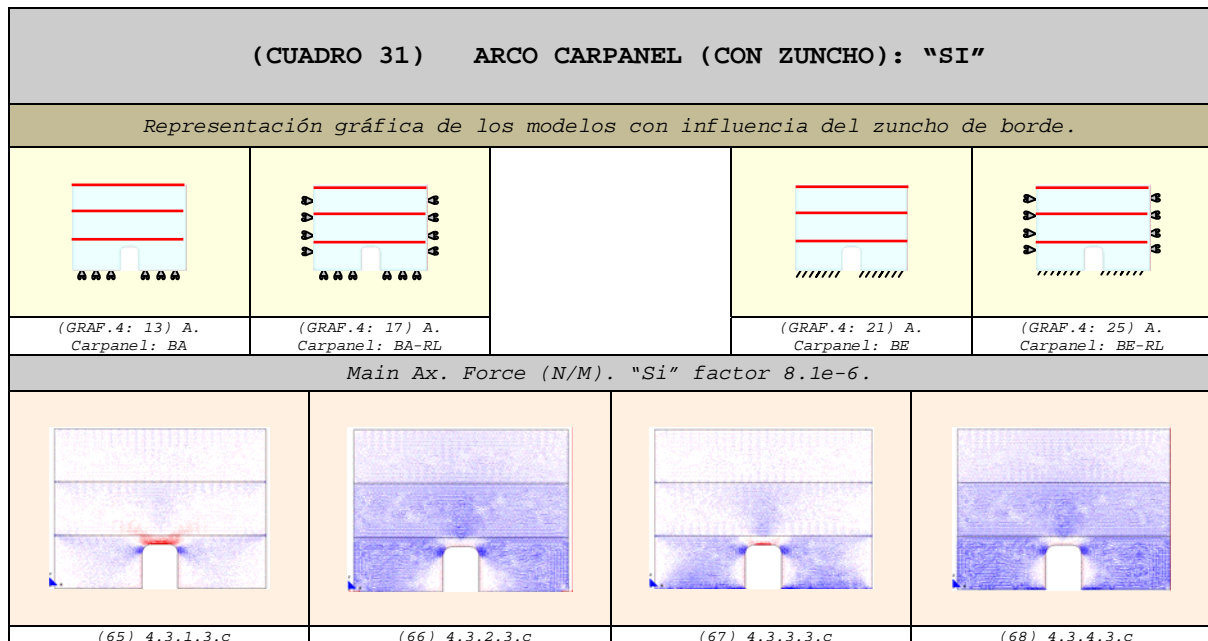
¹⁹⁰ Zona reducida de colores fríos.

¹⁹¹ Ver gráficos (62), (63) y (64): base apoyada con restricciones laterales (BA-RL), base empotrada (BE) y base empotrada con restricciones laterales (BE-RL) respectivamente.

¹⁹² Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

¹⁹³ No existen zonas de colores fríos.

4.4.3.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si) ¹⁹⁴⁻¹⁹⁵



14. Si vemos el modelo con la base apoyada (BA) apreciamos que¹⁹⁶:

ll. En la línea superior del arco se concentran¹⁹⁷ fuerzas de tracción¹⁹⁸, las mismas que tienden a debilitarse a medida que se aproximan a los extremos de la pared.

mm. En el inicio de la parte curva del hueco se concentran fuerzas de compresión¹⁹⁹ que disminuyen a medida que se alejan de ella.

15. Si al modelo apoyado le imponemos restricciones laterales (BA-RL) observamos que²⁰⁰:

nn. En la línea superior del arco se atenúan considerablemente las tracciones²⁰¹.

oo. En las caras laterales del hueco aparecen unas fuerzas de tracción de escasa magnitud²⁰².

pp. En el inicio de la parte curva del hueco se intensifican las fuerzas de compresión²⁰³.

qq. La pared prácticamente está toda comprimida²⁰⁴.

¹⁹⁴ Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N11".

¹⁹⁵ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

¹⁹⁶ Ver gráficos (65).

¹⁹⁷ En el gráfico de los vectores: zona roja.

¹⁹⁸ Estos esfuerzos tienen lugar cuando los lados de la base de la abertura se separan por efecto de la deformación de la pieza. Cabe indicar que las tracciones que aparecen son pequeñas, en comparación con las compresiones en la otra dirección "SII".

¹⁹⁹ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

²⁰⁰ Ver gráficos (66).

²⁰¹ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

²⁰² Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

²⁰³ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

16. Cuando la base está empotrada (BE) podemos apreciar que²⁰⁵:

- rr. En la línea superior del arco se concentran fuerzas de tracción de reducida intensidad²⁰⁶.
- ss. En la zona alejada de la parte superior del arco existen fuerzas de tracción insignificantes.
- tt. En las caras laterales del hueco aparecen fuerzas de tracción casi imperceptibles²⁰⁷.
- uu. En el inicio de la parte curva del hueco se intensifican las fuerzas de compresión²⁰⁸.
- vv. En la base aumentan considerablemente las fuerzas de compresión²⁰⁹.

17. Si al modelo empotrado le imponemos restricciones laterales (BE-RL) se observa que²¹⁰:

- ww. En la línea superior del arco se reducen considerablemente las tracciones²¹¹, aunque no llegan a desaparecer por completo.
- xx. En las caras laterales del hueco no llegan a desaparecer las fuerzas de tracción²¹².
- yy. En el inicio de la parte curva del hueco se intensifican las fuerzas de compresión²¹³.
- zz. En la base aumentan considerablemente las fuerzas de compresión.
- aaa. La pared está prácticamente comprimida en su totalidad²¹⁴.

18. De modo general podríamos decir que:

- bbb. Las fuerzas de compresión se concentran en el inicio de la parte curva de los huecos.
- ccc. Las fuerzas de tracción se concentran en la parte recta superior de los arcos.
- ddd. La pared con la base simplemente apoyada es más desfavorable y mejora su comportamiento de modo considerable si se lo restringe lateralmente.

²⁰⁴ La pared contiene vectores de color azul prácticamente en toda la superficie.

²⁰⁵ Ver gráficos (67).

²⁰⁶ Menores en comparación con el modelo simplemente apoyado y superiores a los modelos con restricciones laterales.

²⁰⁷ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

²⁰⁸ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

²⁰⁹ Al estar limitados por completo los desplazamientos en la base. Apreciar que el modelo contiene prácticamente en su totalidad vectores de color azul.

²¹⁰ Ver gráficos (68).

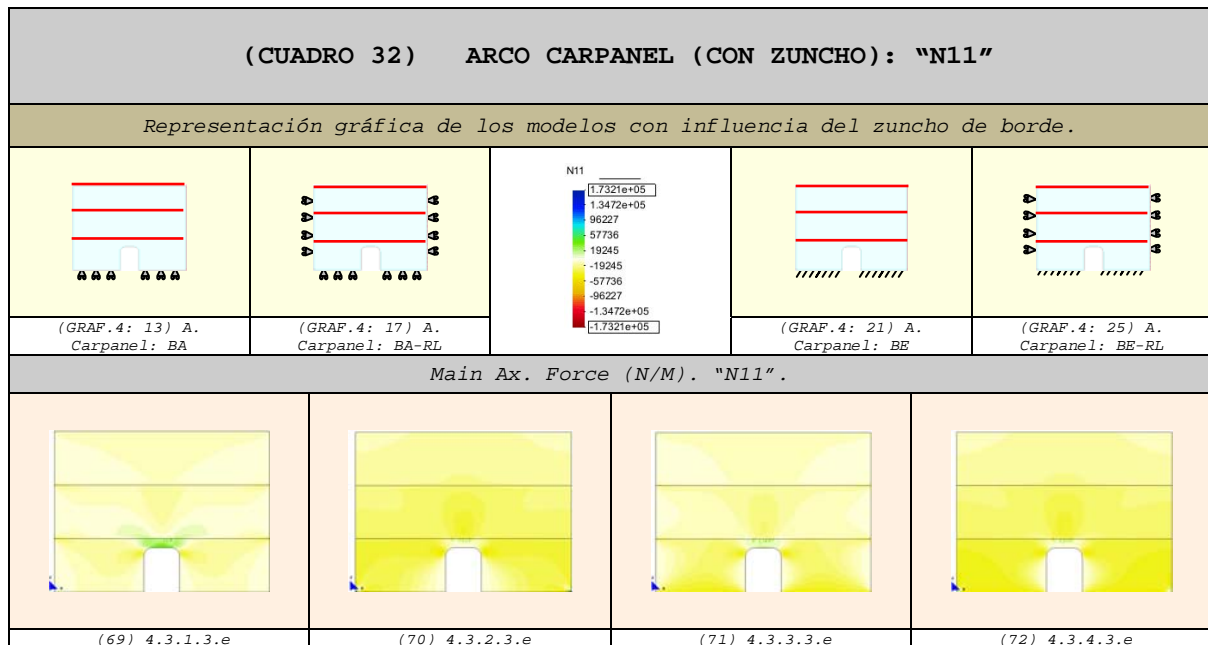
²¹¹ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

²¹² Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

²¹³ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

²¹⁴ Toda la pared contiene vectores de color azul.

4.4.3.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N11" (N11) 215-216



19. En el caso del modelo con la base apoyada (BA) vemos que²¹⁷:

- eee. En la línea superior del arco se concentran fuerzas de tracción²¹⁸, las mismas que tienden a reducirse a medida que se aproximan a los extremos de la pared.
- fff. En el inicio de la parte curva de los huecos se concentran las fuerzas de compresión.

20. En los modelos con restricciones laterales observamos que²¹⁹:

- ggg. En la línea superior del arco se reducen notoriamente las tracciones²²⁰, aunque no desaparecen.

21. Cuando la base está empotrada (BE) se puede notar que²²¹:

- hhh. En la zona más próxima a la clave del arco se concentran fuerzas de tracción de reducida intensidad²²².
- iii. Las zonas de compresión aumentan considerablemente²²³.

²¹⁵ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nxx-Nx'" de los diferentes modelos desarrollados.

²¹⁶ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

²¹⁷ Ver gráficos (69).

²¹⁸ Estos esfuerzos tienen lugar cuando los lados de la base de la abertura se separan por efecto de la deformación de la pieza.

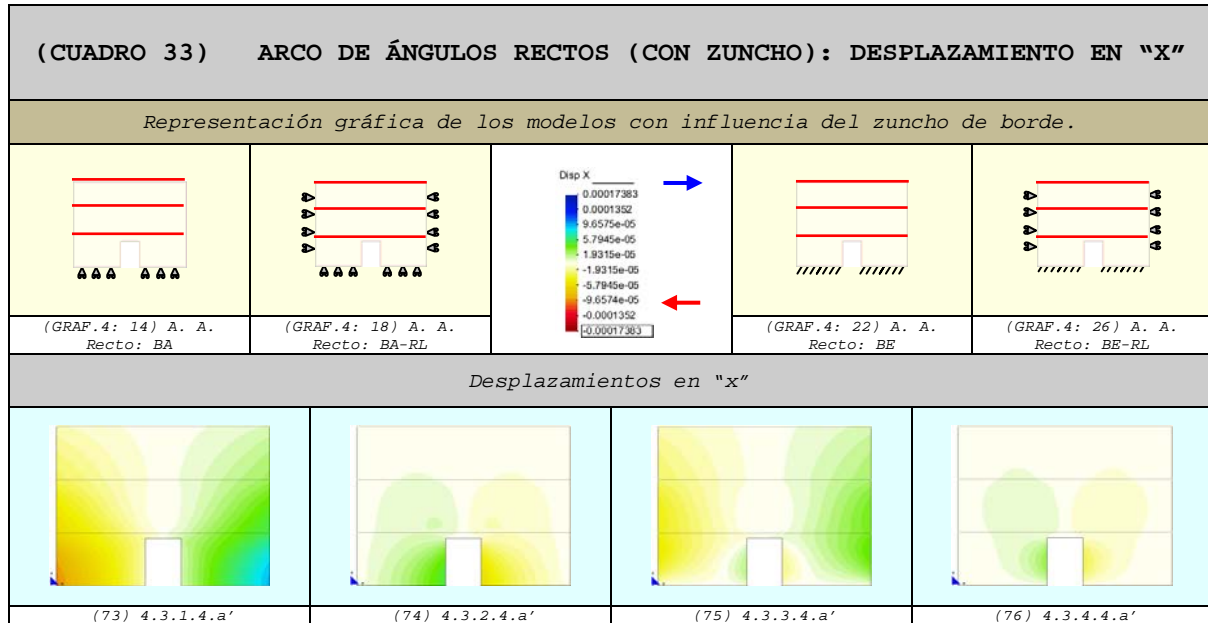
²¹⁹ Ver gráficos (70) y (72): base apoyada con restricciones laterales (BA-RL) y base empotrada con restricciones laterales (BE-RL) respectivamente.

²²⁰ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

²²¹ Ver gráficos (71).

²²² Con mucha diferencia en relación con el modelo simplemente apoyado; comparar gráficos (69) con (71).

²²³ Al estar limitados por completo los desplazamientos en la base.

4.4.4 Hueco con arco de ángulos rectos4.4.4.1 Comparación de los Desplazamientos4.4.4.1.1 Desplazamientos en "x" ²²⁴

1. En el modelo con la base apoyada (BA) puede observarse que²²⁵:

- a. Los desplazamientos laterales son superiores²²⁶.
- b. Las máximas deformaciones se localizan en los extremos externos de la base y tienden a debilitarse considerablemente cuando se aproximan a la abertura²²⁷⁻²²⁸.
- c. La base del hueco se tiende a abrir.
- d. La pared se dilata libremente por ambos lados del modelo²²⁹.
- e. En la clave del arco no se produce una concentración de desplazamientos²³⁰.

2. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales impuestas (BA-RL) apreciamos que²³¹:

- f. Los desplazamientos en las caras laterales del modelo se anulan, mientras que en la base disminuyen considerablemente.

²²⁴ Los desplazamientos hacia el lado derecho se representan con la gama de colores fríos (verde-azul) y los desplazamientos hacia el lado izquierdo con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo).

²²⁵ Ver gráficos (73).

²²⁶ En comparación con los otros modelos.


²²⁷ Es decir, en los extremos internos de la base.

²²⁸ Dada la mayor rigidez que le aporta la forma.

²²⁹ Por un lado, por la falta de restricciones laterales y por otro, por la existencia del efecto de Poisson (que origina la deformación en todos los sentidos del modelo donde no se aplique la carga).

²³⁰ A diferencia de los modelos restantes.

²³¹ Ver gráficos (74).

- g. La mayor concentración de desplazamientos se sitúa en la parte inferior del hueco y en menor grado en la clave del arco.
- h. Las deformaciones ubicadas en la clave del arco son de sentido contrario ()²³², las mismas que desarrollan tracciones de escasa intensidad en dicha zona.
- i. El hueco tiene tendencia a cerrarse en la base²³³.

3. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) podemos ver que²³⁴:

- j. En la base los desplazamientos son nulos²³⁵.
- k. Los máximos desplazamientos se producen en las caras laterales del modelo, aproximadamente en sus zonas centrales²³⁶.
- l. Los desplazamientos se van prolongando hasta llegar al arco.
- m. En la parte superior del arco se desarrollan desplazamientos que estiran el material²³⁷.

4. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) apreciamos que²³⁸:

- n. Los desplazamientos se anulan tanto en la base como en las caras laterales del modelo.
- o. En la clave del arco comienzan a aparecer desplazamientos en sentido opuesto²³⁹.
- p. En la parte central de las caras laterales del hueco se localizan los máximos desplazamientos.

5. De modo general podemos decir que:

- q. La pared con la base apoyada tiene un comportamiento desfavorable.
- r. El modelo con la base empotrada y restricciones laterales tiene una mejor función estructural.

²³² Es decir, el lado derecho se desplaza hacia la derecha y el izquierdo hacia la izquierda.

²³³ Esto se debe a que es más fácil cerrar un hueco cuya base está formada por aristas con ángulos de 90°.

²³⁴ Ver gráficos (75).

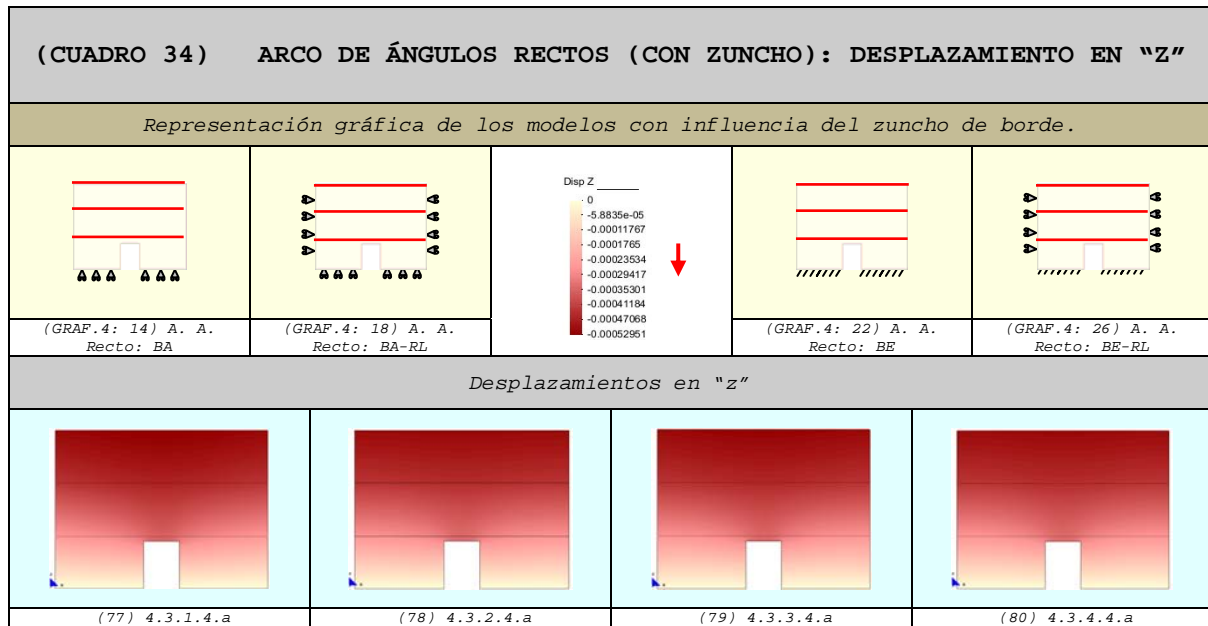
²³⁵ Debido al empotramiento, que impide el desplazamiento lateral.

²³⁶ Que es la zona con libertad de movimiento.

²³⁷ Que originan pequeñas tracciones en dicha zona. Hay que tener en cuenta que esta zona también puede desplazarse libremente, por haberle impuesto ningún tipo de condición de contorno.

²³⁸ Ver gráficos (76).

²³⁹ Que dan lugar a tracciones de poca intensidad.

4.4.4.1.2 Desplazamientos en "z" ²⁴⁰

6. En el modelo con la base apoyada (BA) podemos ver que ²⁴¹:
- s. La pared tiene menos rigidez²⁴².
 - t. La zona de desplazamientos máximos²⁴³ se aproxima más a la parte superior de la abertura.
7. En los tres últimos modelos se observa que ²⁴⁴:
- u. Las paredes son más rígidos²⁴⁵.
 - v. Los desplazamientos son más homogéneos.
 - w. Las máximas deformaciones llegan a nivel de las claves de los arcos²⁴⁶.
8. Adicionalmente podemos indicar que:
- x. Los máximos desplazamientos se localizan en la parte central de todos los modelos.
 - y. La pared con la base apoyada es más deformable.
 - z. Los modelos restantes tienen un comportamiento bastante parecido entre sí.

²⁴⁰ Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se acerca al rojo intenso.

²⁴¹ Ver gráficos (77).

²⁴² Es decir, más capacidad de deformación. Este comportamiento se debe a la libertad de movimiento de su base.

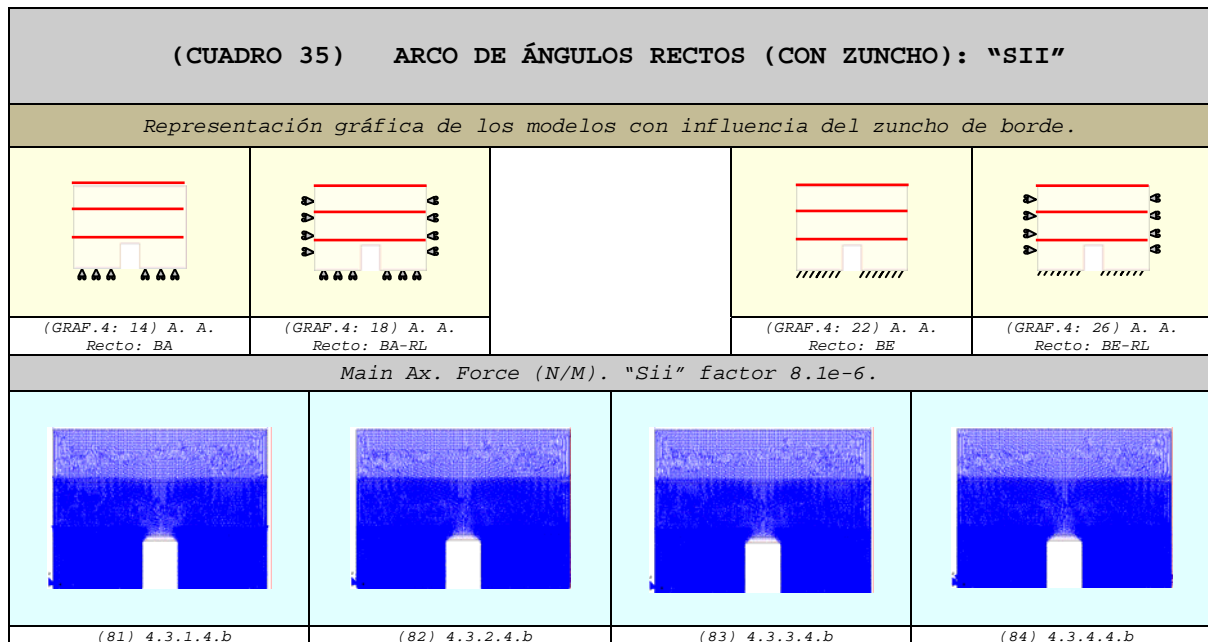
²⁴³ Tonos de color rojo más intensos.

²⁴⁴ Ver gráficos (78), (79) y (80): base apoyada con restricciones laterales (BA-RL), base empotrada (BE) y base empotrada con restricciones laterales (BE-RL) respectivamente.

²⁴⁵ Por lo tanto menos deformables, al tener más impedidos sus movimientos.

²⁴⁶ Aunque en menor grado que el modelo con la base apoyada.

4.4.4.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22"
(Sii) ²⁴⁷⁻²⁴⁸



9. En el modelo simplemente apoyado (BA) podemos apreciar que²⁴⁹:
- aa. En la parte recta del arco existen vectores de tracción de magnitud insignificante²⁵⁰.
 - bb. En la parte superior de la clave del arco se producen compresiones de baja intensidad²⁵¹.
10. En los modelos restantes se puede ver que²⁵²:
- cc. En la parte recta del arco desaparecen parcialmente las fuerzas de tracción²⁵³.
 - dd. En la parte superior de la clave del arco se producen compresiones con magnitudes muy reducidas.
11. De modo general podríamos decir que:
- ee. Las diferencias son casi imperceptibles²⁵⁴.
 - ff. El comportamiento más desfavorable se produce cuando la base está simplemente apoyada.

²⁴⁷ Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N22".

²⁴⁸ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

²⁴⁹ Ver gráficos (81).

²⁵⁰ Vectores de color rojo son de rango superior a los otros modelos.

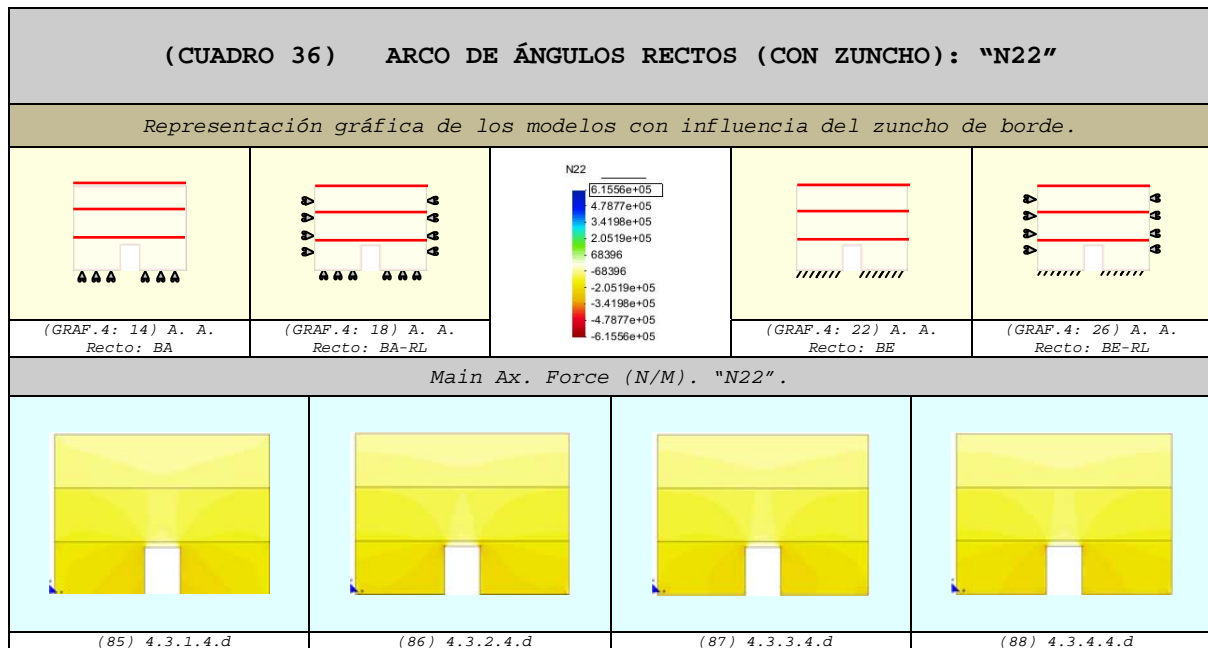
²⁵¹ Zona menos densa de vectores.

²⁵² Ver gráficos (82), (83) y (84): base apoyada con restricciones laterales (BA-RL), base empotrada (BE) y base empotrada con restricciones laterales (BE-RL) respectivamente.

²⁵³ Existen vectores de color rojo de pequeña magnitud.

²⁵⁴ Mientras que influye considerablemente en el caso de fuerza contraria "N11", como se aprecia en el siguiente apartado.

4.4.4.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N22" (N22) 255-256



12. En el modelo simplemente apoyado (BA) observamos que²⁵⁷:
- gg. En el inicio de la parte curva del hueco se produce una concentración de fuerzas de compresión²⁵⁸ que tienden a reducirse a medida que se alejan de dicha zona.
 - hh. En la parte superior de la clave del arco se aprecian fuerzas de tracción con magnitudes casi imperceptibles²⁵⁹.
13. En los tres modelos restantes podemos distinguir que²⁶⁰:
- ii. En el inicio de la parte curva del hueco se produce una concentración de fuerzas de compresión²⁶¹ que tienden a disminuir a medida que se alejan de dicha posición.
 - jj. En la parte recta del arco se debilitan las fuerzas de tracción²⁶².

²⁵⁵ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nyy=Ny" de los diferentes modelos desarrollados.

²⁵⁶ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

²⁵⁷ Ver gráficos (85).

²⁵⁸ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

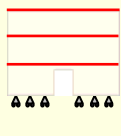
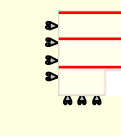
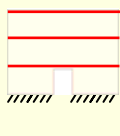
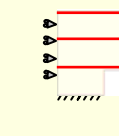
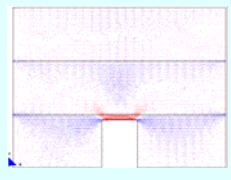
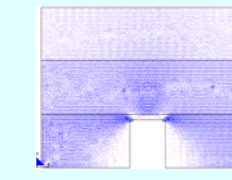
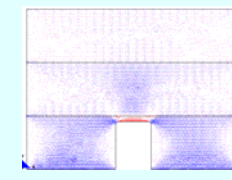
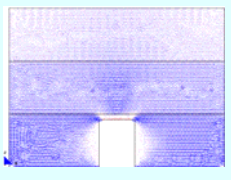
²⁵⁹ Zona reducida de colores fríos.

²⁶⁰ Ver gráficos (86), (87) y (88): base apoyada con restricciones laterales (BA-RL), base empotrada (BE) y base empotrada con restricciones laterales (BE-RL) respectivamente.

²⁶¹ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

²⁶² No existen zonas de colores fríos.

4.4.4.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11" (Si) ²⁶³⁻²⁶⁴

(CUADRO 37) ARCO DE ÁNGULOS RECTOS (CON ZUNCHO): "SI"				
Representación gráfica de los modelos con influencia del zuncho de borde.				
				
(GRAF. 4: 14) A. A. Recto: BA	(GRAF. 4: 18) A. A. Recto: BA-RL	(GRAF. 4: 22) A. A. Recto: BE	(GRAF. 4: 26) A. A. Recto: BE-RL	
Main Ax. Force (N/M). "Si" factor 8.1e-6.				
				
(89) 4.3.1.4.c	(90) 4.3.2.4.c	(91) 4.3.3.4.c	(92) 4.3.4.4.c	

14. Si el modelo tiene la base apoyada (BA) podemos apreciar que²⁶⁵:

kk. En la línea superior del arco se concentran²⁶⁶ fuerzas de tracción²⁶⁷, las mismas que disminuyen a medida que se aproximan a los extremos de la pared.

ll. En el inicio de la parte curva del hueco se concentran fuerzas de compresión que tienden a debilitarse a medida que se alejan de ella.

15. Si al modelo apoyado le imponemos restricciones laterales (BA-RL) se observa que²⁶⁸:

mm. En la línea superior del arco se reducen considerablemente las tracciones²⁶⁹.

nn. En las caras laterales del hueco aparecen fuerzas de tracción insignificantes²⁷⁰.

oo. En el inicio de la parte curva del hueco se intensifican las fuerzas de compresión²⁷¹.

pp. La pared prácticamente está toda comprimida²⁷².

²⁶³ Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N11".

²⁶⁴ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

²⁶⁵ Ver gráficos (89).

²⁶⁶ En el gráfico de los vectores: zona roja. La zona que abarca es más grande que los otros tipos de arcos.

²⁶⁷ Estos esfuerzos tienen lugar cuando los lados de la base de la abertura se separan por efecto de la deformación de la pieza. Cabe indicar que las tracciones que aparecen son pequeñas, en comparación con las compresiones en la otra dirección "SII".

²⁶⁸ Ver gráficos (90).

²⁶⁹ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

²⁷⁰ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

²⁷¹ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

16. Cuando la base está empotrada (BE) puede apreciarse que²⁷³:
- qq. En la línea superior del arco se concentran fuerzas de tracción²⁷⁴.
 - rr. En la zona alejada de la parte superior del arco existen fuerzas de tracción²⁷⁵ de baja intensidad.
 - ss. En las caras laterales del hueco aparecen fuerzas de tracción²⁷⁶ casi imperceptibles.
 - tt. En el inicio de la parte curva del hueco se intensifican las fuerzas de compresión²⁷⁷.
 - uu. En la base aumentan considerablemente las fuerzas de compresión²⁷⁸.

17. Si al modelo empotrado le imponemos restricciones laterales (BE-RL) podemos ver que²⁷⁹:

- vv. En la línea superior del arco se reducen considerablemente las tracciones²⁸⁰, aunque no llegan a desaparecer por completo.
- ww. En las caras laterales del hueco no llegan a desaparecer las fuerzas de tracción²⁸¹.
- xx. En el inicio de la parte curva del hueco se intensifican las fuerzas de compresión.
- yy. En la base aumentan considerablemente las fuerzas de compresión.
- zz. La pared está prácticamente comprimida en su totalidad.

18. De modo general podríamos decir que:

- aaa. Las fuerzas de compresión se concentran en el inicio de la parte curva de los huecos.
- bbb. Las fuerzas de tracción se concentran en la parte recta superior de los arcos.
- ccc. La pared con la base simplemente apoyada es más desfavorable.
- ddd. El comportamiento mejora considerablemente si lo restringimos lateralmente los modelos.

²⁷² La pared contiene vectores de color azul prácticamente en toda la superficie.

²⁷³ Ver gráficos (91).

²⁷⁴ Aunque menores en comparación con el modelo simplemente apoyado.

²⁷⁵ Dichas fuerzas son menores en comparación con el modelo simplemente apoyado y superiores a los modelos con restricciones laterales.

²⁷⁶ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

²⁷⁷ Zona con tonalidades más oscuras de colores cálidos.

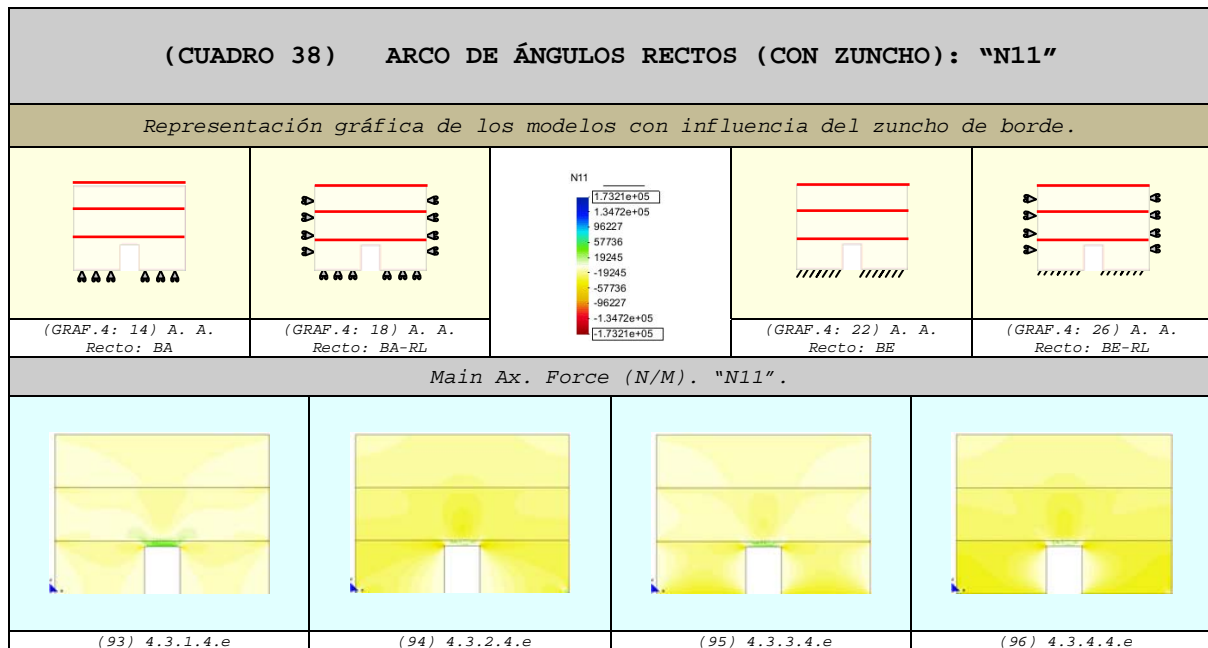
²⁷⁸ Al estar limitados por completo los desplazamientos en la base. Apreciar que el modelo contiene prácticamente en su totalidad vectores de color azul.

²⁷⁹ Ver gráficos (92).

²⁸⁰ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

²⁸¹ Debido a que los bordes del arco no están con ningún tipo de restricción, con lo cual tiende a deformarse lateralmente.

4.4.4.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N1" (N11) 282-283



19. En el modelo con la base apoyada (BA) podemos ver que²⁸⁴:

eee. En la línea superior del arco se concentran fuerzas de tracción²⁸⁵, las mismas que tienden a reducirse a medida que se aproximan a los extremos de la pared.

fff. En el inicio de la parte curva de los huecos se concentran las fuerzas de compresión.

20. En los modelos con restricciones laterales se observa que²⁸⁶:

ggg. En la línea superior del arco se reducen las tracciones²⁸⁷.

21. Cuando la base está empotrada (BE) apreciamos que²⁸⁸:

hhh. En la zona más próxima a la clave del arco se concentran fuerzas de tracción de reducida intensidad²⁸⁹.

iii. Las zonas de compresión aumentan considerablemente²⁹⁰.

²⁸² En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nxx-Nx'" de los diferentes modelos desarrollados.

²⁸³ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

²⁸⁴ Ver gráficos (93).

²⁸⁵ Estos esfuerzos tienen lugar cuando los lados de la base de la abertura se separan por efecto de la deformación de la pieza.

²⁸⁶ Ver gráficos (94) y (96): base apoyada con restricciones laterales (BA-RL) y base empotrada con restricciones laterales (BE-RL) respectivamente.

²⁸⁷ Lo cual es absolutamente razonable ya que le estamos impidiendo que se desplace lateralmente.

²⁸⁸ Ver gráficos (95).

²⁸⁹ Con mucha diferencia en relación con el modelo simplemente apoyado; comparar gráficos (93) con (95).

²⁹⁰ Al estar limitados por completo los desplazamientos en la base.

MJIG

CAPÍTULO-4:

- 1.- ASPECTOS GENERALES
- 2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS
- 3.- ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE ARCOS
- 4.- INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO
- 5.- INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO**
- 6.- ANÁLISIS COMPARATIVO: INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO
- 7.- CUADRO COMPARATIVO: INFLUENCIA DE LA FORMA DE LOS ARCOS EN LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO
- 8.- CONCLUSIONES

MJIG

4.5 INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO

- 1.- MODELO CON LA BASE APOYADA
- 2.- MODELO CON LA BASE APOYADA Y
RESTRICCIÓN LATERAL
- 3.- MODELO CON LA BASE EMPOTRADA
- 4.- MODELO CON LA BASE EMPOTRADA Y
RESTRICCIÓN LATERAL

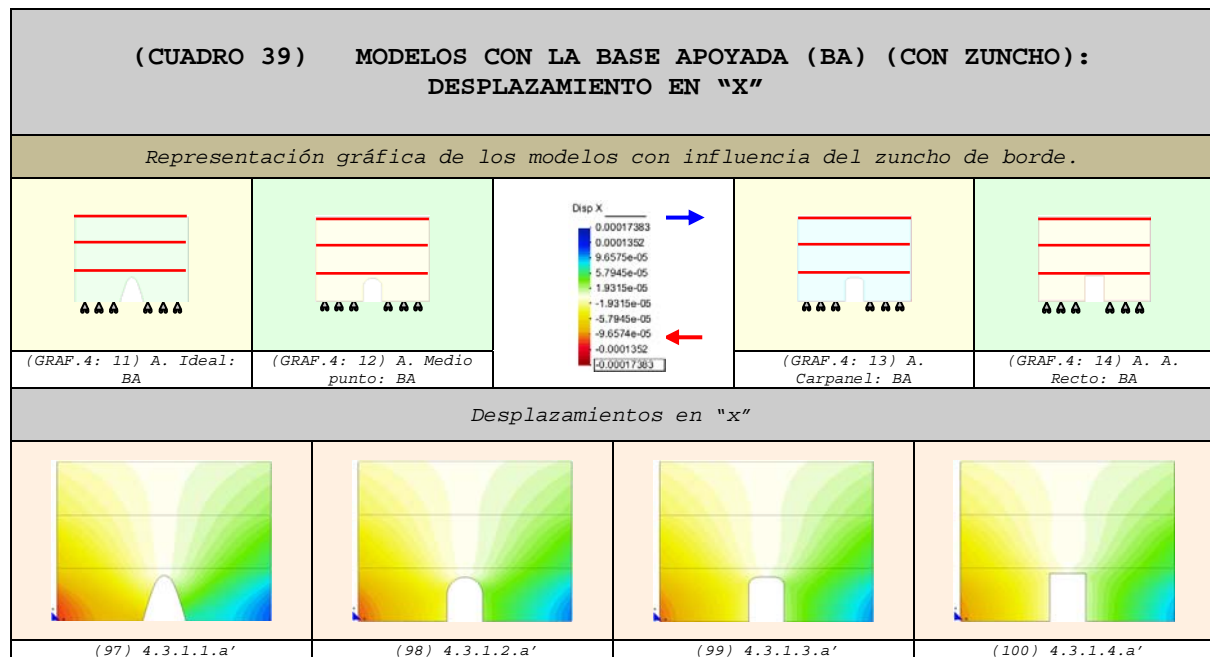
4.5 INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO

A partir de diferentes condiciones de contorno vamos a determinar en qué situación la pared presenta el mejor comportamiento a nivel estructural²⁹¹.

4.5.1 Modelo con la base Apoyada

4.5.1.1 Comparación de los Desplazamientos

4.5.1.1.1 Desplazamientos en "x"²⁹²



1. En el modelo con el arco ideal podemos observar que²⁹³:

- a. De modo general, los desplazamientos laterales son superiores.
- b. En la parte inferior de las caras laterales del hueco se concentran mayores deformaciones²⁹⁴.
- c. La pared es más deformable²⁹⁵.

²⁹¹ En este apartado se realizan las comparaciones incluyendo únicamente el arco ideal y se deja de lado el arco ojival. Esta selección responde a dos aspectos esenciales: la similitud del comportamiento entre ambos arcos (como se pudo observar en el apartado anterior) y la utilidad del arco ideal en obras reales en comparación con el arco ojival (que en la actualidad está en desuso).

²⁹² Los desplazamientos hacia el lado derecho se representan con la gama de colores fríos (verde-azul) y los desplazamientos hacia el lado izquierdo con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo).

²⁹³ Ver gráficos (97).

²⁹⁴ En comparación con los modelos restantes. En esta zona se concentran gamas de colores fríos más intensos en comparación con los otros modelos en los cuales los colores son más claros.

²⁹⁵ Por estar constituida por aristas con ángulos mayores de 90° que facilitan la apertura del hueco.

2. En el caso del modelo con el arco de medio punto apreciamos que²⁹⁶:
- d. Los desplazamientos laterales son menores en comparación con el modelo anterior.
 - e. En la parte inferior de las caras laterales del hueco se comienzan a reducir los desplazamientos.
 - f. La pared es mucho menos deformable²⁹⁷.
3. En el caso del modelo con el arco carpanel se puede ver que²⁹⁸:
- g. Los desplazamientos laterales son menores en comparación con el modelo anterior.
 - h. En la parte inferior de las caras laterales del hueco es más notoria la reducción de las deformaciones.
 - i. La pared es mucho menos deformable²⁹⁹.
4. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos puede distinguirse que³⁰⁰:
- j. De modo general se reducen los desplazamientos laterales.
 - k. En la parte inferior de las caras laterales del hueco se reducen considerablemente las deformaciones.
 - l. La pared es mucho menos deformable³⁰¹.
5. De modo general podemos decir que:
- m. La concentración de desplazamientos se localiza en los extremos externos de la base.
 - n. Mientras más plana sea la clave del arco serán inferiores los desplazamientos localizados a las caras laterales del hueco.
 - o. En los tres últimos modelos³⁰² se observa como poco a poco van reduciendo los desplazamientos en las caras laterales de los huecos.
 - p. El arco ideal presenta el comportamiento más desfavorable³⁰³.
 - q. La pared con el arco de ángulos rectos tiene el mejor comportamiento³⁰⁴.

²⁹⁶ Ver gráficos (98).

²⁹⁷ Por estar constituida por aristas con ángulos de 90° que dificultan la apertura del hueco.

²⁹⁸ Ver gráficos (99).

²⁹⁹ Por estar constituida por aristas con ángulos de 90° que dificultan la apertura del hueco.

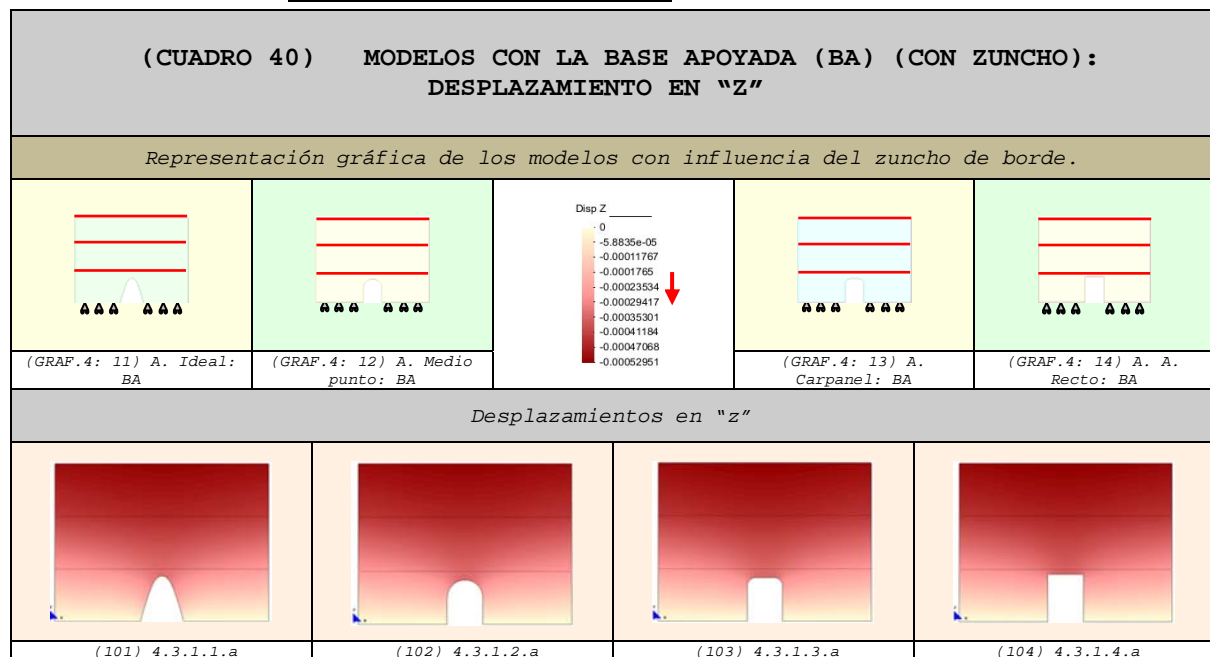
³⁰⁰ Ver gráficos (100).

³⁰¹ Por estar constituida por aristas con ángulos de 90° que dificultan la apertura del hueco.

³⁰² Que tienen en común que las bases de los arcos forman ángulos de 90°.

³⁰³ Esto es razonable ya que el arco ideal forma con la base un ángulo mayor a 90°, lo cual es más fácil de abrir.

³⁰⁴ Por ser una forma más rígida.

4.5.1.1.2 Desplazamientos en "z"³⁰⁵

6. En el modelo con el arco ideal se puede observar que³⁰⁶:
- r. Los desplazamientos que se localizan en la parte superior del arco³⁰⁷.
7. En el caso del modelo con el arco de medio punto podemos apreciar que³⁰⁸:
- s. En la parte superior del arco empiezan a intensificarse las deformaciones.
8. En el modelo con el arco carpanel vemos que³⁰⁹:
- t. Las deformaciones se intensifican en mayor magnitud en la parte superior del arco.
9. En el modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que³¹⁰:
- u. En la parte superior del arco se observa con mayor claridad el aumento de los desplazamientos.
10. Adicionalmente podemos indicar que:
- v. Mientras más plano es el arco, las máximas deformaciones cubren más parte de su clave y aumenta de intensidad.
- w. La pared con el arco de ángulos rectos es aquel que presenta el comportamiento más desfavorable.

³⁰⁵ Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se acerca al rojo intenso.

³⁰⁶ Ver gráficos (101).

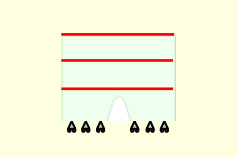
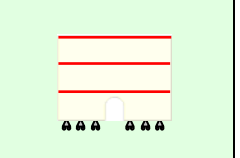
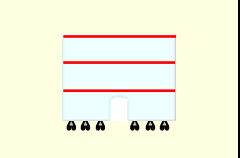
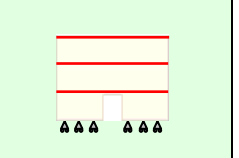
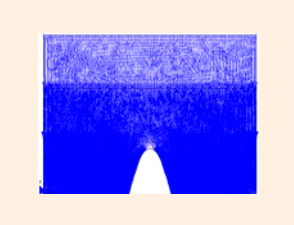
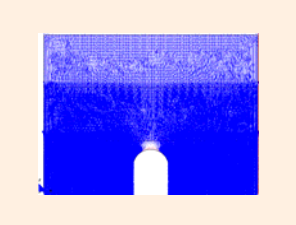
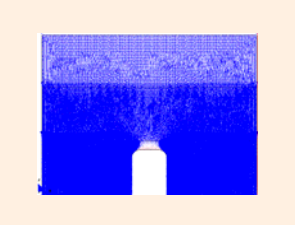
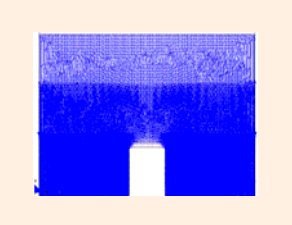
³⁰⁷ Y son de magnitud inferior en comparación con los casos restantes.

³⁰⁸ Ver gráficos (102).

³⁰⁹ Ver gráficos (103).

³¹⁰ Ver gráficos (104).

4.5.1.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22"
(Sii)³¹¹⁻³¹²

(CUADRO 41) MODELOS CON LA BASE APOYADA (BA) (CON ZUNCHO): "SII"				
Representación gráfica de los modelos con influencia del zuncho de borde.				
				
(GRAF.4: 11) A. Ideal: BA	(GRAF.4: 12) A. Medio punto: BA		(GRAF.4: 13) A. Carpanel: BA	(GRAF.4: 14) A. A. Recto: BA
Main Ax. Force (N/M). "Sii" factor 8.1e-6.				
				
(105) 4.3.1.1.b	(106) 4.3.1.2.b	(107) 4.3.1.3.b	(108) 4.3.1.4.b	

11. En el modelo con el arco ideal podemos observar que³¹³:

- x. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona muy reducida del modelo y son de baja intensidad.
- y. La pared ubicada en la parte superior del hueco se descomprime, aunque de modo insignificante.

12. En el caso del modelo con el arco de medio punto apreciamos que³¹⁴:

- z. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una mayor zona de la pared, cuya intensidad es un poco mayor.
- aa. la pared ubicada en la parte superior del hueco se descomprime en mayor magnitud que en el caso anterior.

13. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que³¹⁵:

- bb. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia del elemento y con una intensidad superior.
- cc. La pared ubicada en la parte superior del hueco se descomprime más, en comparación con los casos anteriores.

³¹¹ Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N22".

³¹² Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

³¹³ Ver gráficos (105).

³¹⁴ Ver gráficos (106).

³¹⁵ Ver gráficos (107).

14. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos apreciamos que³¹⁶:

- dd. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona relativamente más amplia del elemento, cuya magnitud es mayor que los casos anteriores³¹⁷.
- ee. La pared ubicada en la parte superior del hueco se descomprime un poco más, en comparación con los casos anteriores.

15. De modo general podríamos decir que:

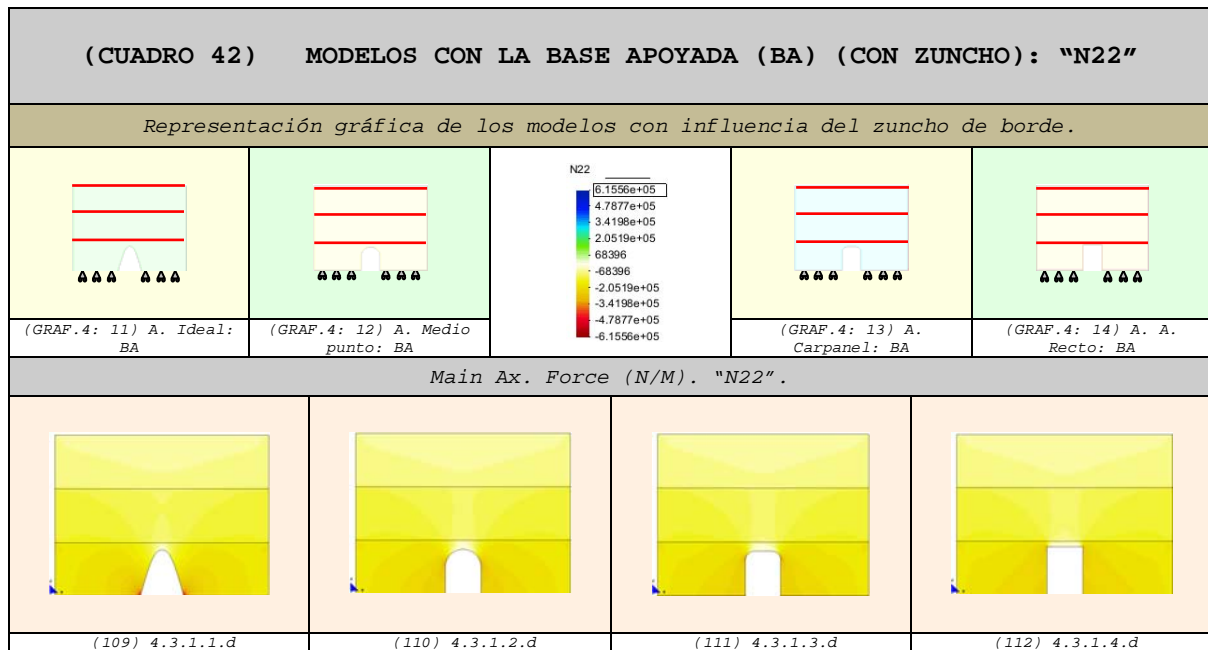
- ff. El arco de descarga que se forma nunca alcanza a llegar al primer forjado.
- gg. La zona que se descomprime se localiza siempre por debajo del primer forjado³¹⁸.
- hh. El arco ideal presenta el mejor comportamiento.
- ii. La pared con el arco de ángulos rectos presenta el comportamiento más desfavorable.

³¹⁶ Ver gráficos (108).

³¹⁷ Sin embargo, las diferencias de las magnitudes con los modelos anteriores no son tan relevantes.

³¹⁸ Esto ocurre en todos los modelos.

4.5.1.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N22" (N22) 319-320



16. En el modelo con el arco ideal podemos observar que³²¹:

jj. La intensidad de las fuerzas de compresión es superior³²² y se localizan en la base de la abertura.

17. En el caso del modelo con el arco de medio punto vemos que³²³:

kk. Las máximas zonas comprimidas se sitúan en los lados superiores del hueco.

18. En el caso del modelo con el arco carpanel se aprecia que³²⁴:

ll. Las máximas zonas comprimidas se sitúan en los lados superiores del hueco.

19. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos apreciamos que³²⁵:

mm. Las máximas zonas comprimidas se sitúan en los lados superiores del hueco.

nn. En la zona donde se localizan las máximas compresiones se colocan dados de hormigón³²⁶.

³¹⁹ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados.

³²⁰ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

³²¹ Ver gráficos (109).

³²² En comparación con los modelos restantes.

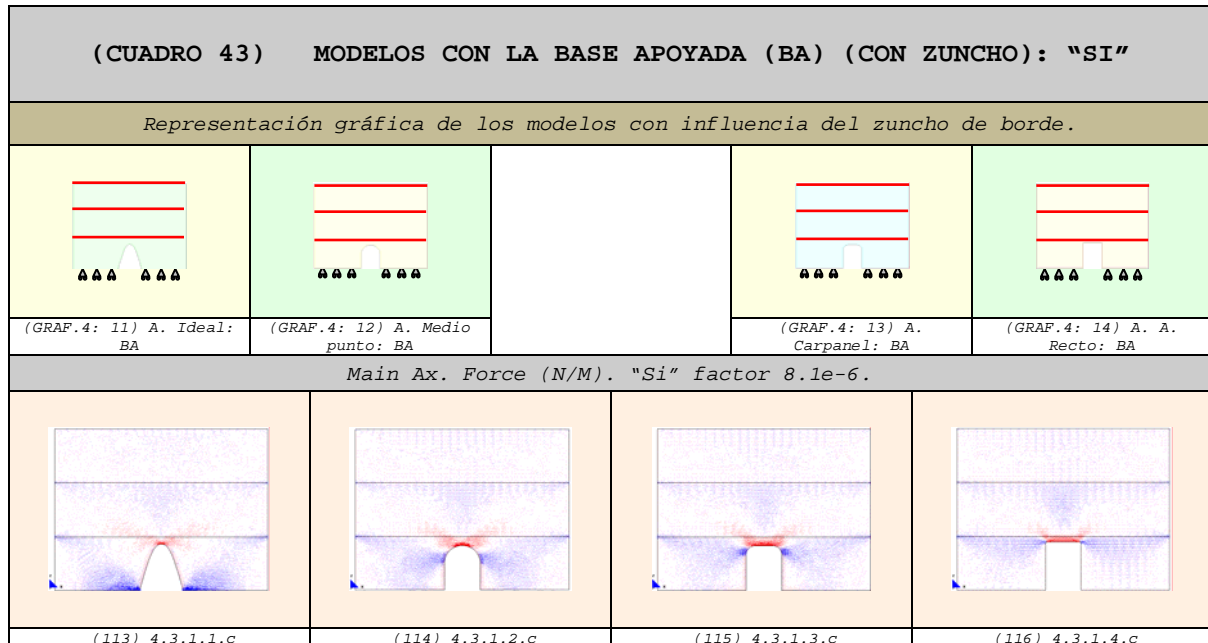
³²³ Ver gráficos (110).

³²⁴ Ver gráficos (111).

³²⁵ Ver gráficos (112).

³²⁶ El dado de hormigón tiene la finalidad de resistir las compresiones mayores debido a que, en muchas ocasiones, estas fuerzas superan la resistencia de la fábrica.

4.5.1.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11"
(Si) ³²⁷⁻³²⁸



20. En el modelo con el arco ideal podemos observar que³²⁹⁻³³⁰:

- oo. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona reducida del modelo.
- pp. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco tienen una menor magnitud.
- qq. Las máximas compresiones se localizan en la base del arco y son de mayor intensidad.

que³³¹⁻³³²:
21. En el caso del modelo con el arco de medio punto apreciamos

- rr. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona mayor.
- ss. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco tienen una intensidad mayor.
- tt. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos y son de menor magnitud³³³.

22. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que³³⁴⁻³³⁵:

³²⁷ Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N11".

³²⁸ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

³²⁹ Ver gráficos (113).

³³⁰ En comparación con los modelos restantes.

³³¹ Ver gráficos (114).

³³² En comparación con el arco ideal.

³³³ Aunque de intensidad superior al modelo con el arco de ángulos rectos.

- uu. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia.
- vv. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco van subiendo de intensidad.
- ww. Las máximas compresiones situadas en los lados superiores de los huecos tienden a intensificarse³³⁶.

23. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos apreciamos que³³⁷⁻³³⁸:

- xx. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia del elemento.
- yy. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco son, relativamente, de mayor intensidad.
- zz. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos³³⁹.
- aaa. En la edificación se utilizan vigas³⁴⁰ que son capaces de soportar las tracciones³⁴¹.

24. De modo general podríamos decir que:

- bbb. A medida que el arco se aplana se intensifican las fuerzas de tracción en su clave.
- ccc. Cuando el hueco forma ángulos de 90° con la base las máximas compresiones se localizan en la parte superior lateral de las aberturas.
- ddd. En todos los modelos hay concentración de tracciones en la parte superior de los huecos.
- eee. En la edificación se utilizan vigas³⁴² que son capaces de soportar las tracciones que tienen lugar en los modelos³⁴³.
- fff. El arco ideal presenta el mejor comportamiento estructural.
- ggg. El arco de ángulos rectos tiene el comportamiento más desfavorable³⁴⁴.

³³⁴ Ver gráficos (115).

³³⁵ En comparación con los casos anteriores: arco ideal y de medio punto.

³³⁶ Cuya intensidad es menor que la del arco ideal, aunque mayor que la de los arcos de medio punto y de ángulos rectos.

³³⁷ Ver gráficos (116).

³³⁸ En comparación con los casos anteriores: arco ideal, de medio punto y carpanel.

³³⁹ Y su intensidad se reduce en comparación con el arco carpanel.

³⁴⁰ Las vigas pueden ser de hormigón, metal, prefabricadas, etc.

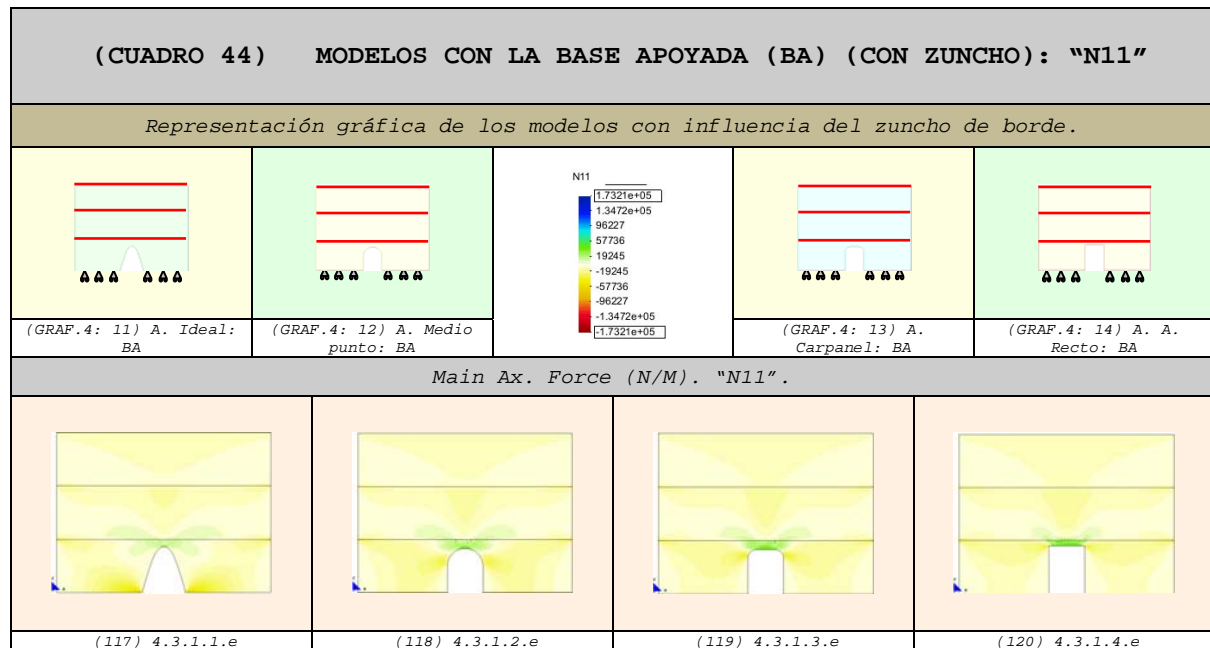
³⁴¹ Evitando así que la fábrica se fisure por exceso de esfuerzos de tracción.

³⁴² Las vigas pueden ser de hormigón, metal, prefabricadas, etc.

³⁴³ Evitando así que la fábrica se fisure por exceso de tracciones.

³⁴⁴ Por ser el modelo con más tracciones.

4.5.1.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11"
(N11) 345-346



25. En el modelo con el arco ideal observamos que³⁴⁷:

- hhh. Las máximas compresiones se localizan en la base del hueco y son de mayor intensidad.
- iii. Las tracciones que aparecen en la parte superior del arco son de magnitudes inferiores en comparación con los otros modelos.

26. En el caso del modelo con el arco de medio punto vemos que³⁴⁸:

- jjj. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos y son de menor intensidad.

27. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que³⁴⁹:

- kkk. Las máximas compresiones situadas en los lados superiores de los huecos tienden a intensificarse.

28. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos podemos apreciar que³⁵⁰:

- lll. Las tracciones localizadas en la clave del arco son superiores en relación a los modelos restantes.
- mmm. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos.

³⁴⁵ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nxx=Nx" de los diferentes modelos desarrollados.

³⁴⁶ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

³⁴⁷ Ver gráficos (117).

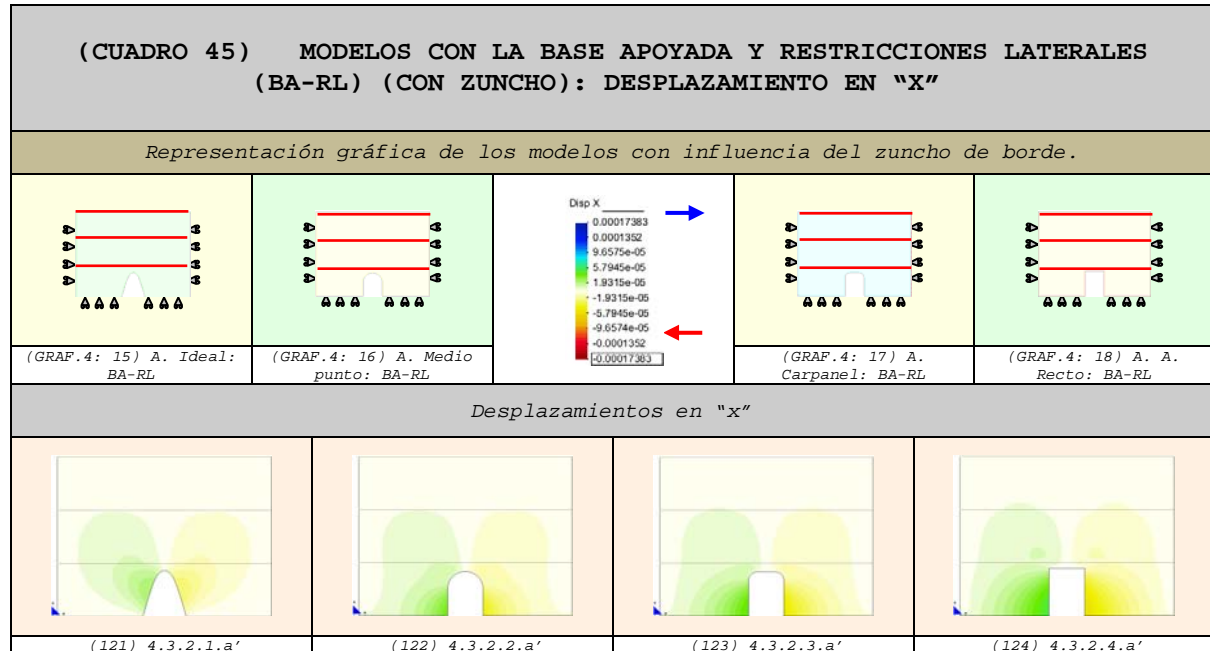
³⁴⁸ Ver gráficos (118).

³⁴⁹ Ver gráficos (119).

³⁵⁰ Ver gráficos (120).

4.5.2 Modelo con la base Apoyada y Restricción Lateral

4.5.2.1 Comparación de los Desplazamientos

4.5.2.1.1 Desplazamientos en "x" ³⁵¹

1. En el modelo con el arco ideal observamos que³⁵²:
 - a. Los desplazamientos laterales son inferiores³⁵³.
 - b. En la parte superior de las caras laterales del hueco se concentran las mayores deformaciones.
 - c. La clave del arco tiende a cerrarse.
 - d. El trazado del arco es menos deformable³⁵⁴.
2. En el caso del modelo con el arco de medio punto vemos que³⁵⁵:
 - e. Los desplazamientos laterales son superiores en comparación con el modelo anterior.
 - f. Las máximas deformaciones se sitúan en la parte inferior de las caras laterales del hueco.
 - g. La base del hueco tiende a cerrarse, mientras que la clave se abre³⁵⁶.

³⁵¹ Los desplazamientos hacia el lado derecho se representan con la gama de colores fríos (verde-azul) y los desplazamientos hacia el lado izquierdo con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo).

³⁵² Ver gráficos (121).

³⁵³ En comparación con los modelos restantes.

³⁵⁴ También, al ser menos deformable, la franja de desplazamientos casi nulos es más amplia en comparación con los otros modelos.

³⁵⁵ Ver gráficos (122).

³⁵⁶ La abertura de la clave del arco es menor que en el caso de los modelos con: el arco carpanel y el de ángulos rectos.

- h. La pared comienza a ser más deformable³⁵⁷.
3. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que³⁵⁸:
- i. Los desplazamientos laterales son superiores en comparación con los modelos anteriores.
- j. Las máximas deformaciones se sitúan en la parte inferior de las caras laterales del hueco y son de mayor intensidad.
- k. La base del hueco tiende a cerrarse y la clave se abre³⁵⁹.
- l. La pared es más deformable³⁶⁰.
4. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos notamos que³⁶¹:
- m. Los desplazamientos laterales aumentan considerablemente.
- n. En la parte inferior de las caras laterales del hueco se sitúan las máximas deformaciones.
- o. La base del hueco tiende a cerrarse³⁶², mientras que la clave se abre³⁶³.
- p. La pared es mucho más deformable³⁶⁴.
5. De modo general podemos decir que:
- q. Cuando el vano forma 90° con la base las máximas deformaciones se localizan en el arranque del hueco y tienden a cerrarlo³⁶⁵.
- r. A medida que la curvatura de los arcos se aplana, se intensifican los desplazamientos tanto de la base como de la clave del arco.
- s. Se observa con claridad el efecto favorable del arco ideal en la pared³⁶⁶.
- t. La pared con el arco de ángulos rectos tiene el comportamiento más desfavorable³⁶⁷.

³⁵⁷ Más que el arco ideal, aunque menos que el carpanel y el de ángulos rectos.

³⁵⁸ Ver gráficos (123).

³⁵⁹ La abertura de la clave del arco es menor que en el caso del modelo con el arco de ángulos rectos.

³⁶⁰ Más que los dos arcos anteriores, aunque menos que el de ángulos rectos.

³⁶¹ Ver gráficos (124).

³⁶² La abertura se cierra más en comparación con los modelos: arco de medio punto y carpanel.

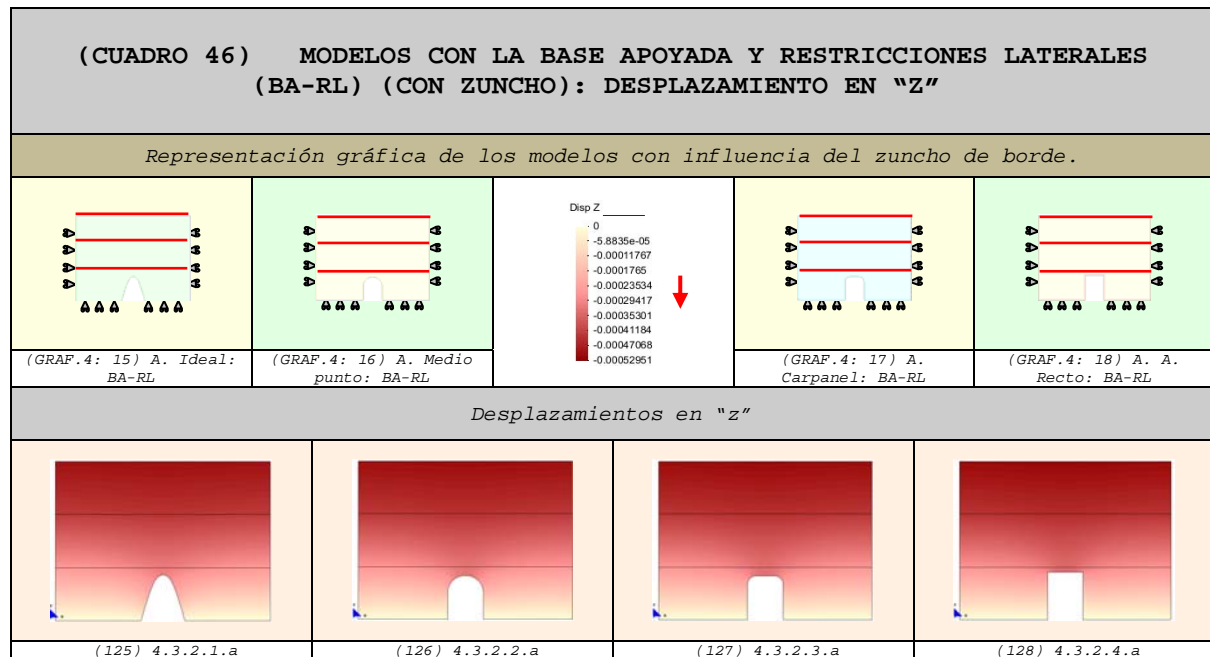
³⁶³ La abertura de la clave del arco es mayor que en el caso de los modelos con el arco de medio punto y el carpanel.

³⁶⁴ Más que los dos arcos anteriores.

³⁶⁵ Esto se debe a que la base con ángulos rectos es fácil de cerrarse. También, al ser más deformable, la franja de desplazamientos casi nulos es más delgada.

³⁶⁶ Comparar el arco ideal (121) y el de ángulos rectos (124).

³⁶⁷ Comparar el arco ideal (121) y el de ángulos rectos (124).

4.5.2.1.2 Desplazamientos en "z" ³⁶⁸

6. En el modelo con el arco ideal observamos que³⁶⁹:

u. Los desplazamientos que se localizan en la parte superior del arco son inferiores y no tocan la clave del arco.

7. En el caso del modelo con el arco de medio punto vemos que³⁷⁰:

v. En la parte superior del arco empiezan a intensificarse las deformaciones y comienzan a descender hacia la clave del arco.

8. En el modelo con el arco carpanel apreciamos que³⁷¹:

w. En la parte superior del arco se intensifican las deformaciones, llegando a cubrir la línea superior del hueco³⁷².

9. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos notamos que³⁷³:

x. En la parte superior del arco aumentan los desplazamientos en mayor magnitud, llegando a cubrir la línea superior del arco.

10. Adicionalmente podemos indicar que:

y. A medida que la parte superior de los arcos pierde curvatura, los desplazamientos descienden hasta la clave, incluso pueden llegar a cubrirla por completo³⁷⁴.

³⁶⁸ Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se acerca al rojo intenso.

³⁶⁹ Ver gráficos (125).

³⁷⁰ Ver gráficos (126).

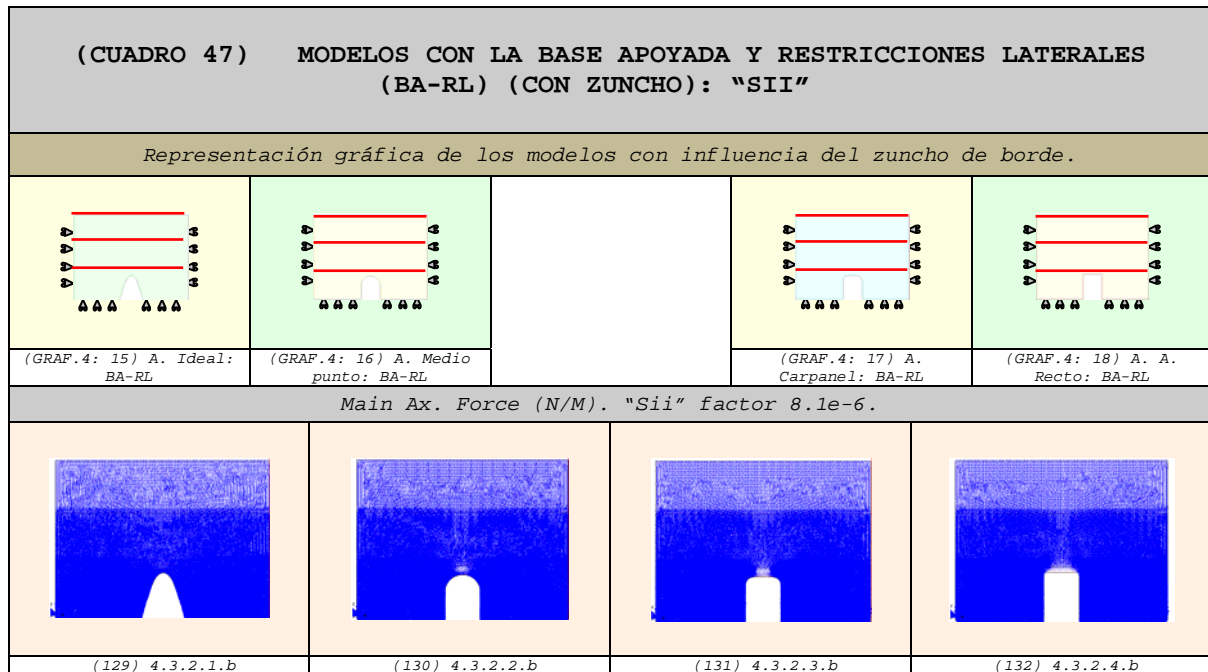
³⁷¹ Ver gráficos (127).

³⁷² No tocan ninguna de las dos semi-circunferencias que forman el arco carpanel.

³⁷³ Ver gráficos (128).

³⁷⁴ Como es el caso del arco de ángulos rectos.

4.5.2.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22"
(Sii) ³⁷⁵⁻³⁷⁶



11. En el modelo con el arco ideal observamos que³⁷⁷⁻³⁷⁸:

z. La pared está completamente comprimida.

aa. No existen zonas descomprimidas encima de la abertura.

12. En el caso del modelo con el arco de medio punto vemos que³⁷⁹⁻³⁸⁰:

bb. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona casi imperceptible.

cc. Encima del hueco, las zonas descomprimidas son casi insignificantes.

13. En el caso del modelo con el arco carpanel notamos que³⁸¹⁻³⁸²:

dd. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una pequeña zona del elemento.

ee. El arco de descarga comienza a formarse.

³⁷⁵ Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N22".

³⁷⁶ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

³⁷⁷ Ver gráficos (129).

³⁷⁸ En consideración con los modelos restantes: de medio punto, carpanel y de ángulos rectos.

³⁷⁹ Ver gráficos (130).

³⁸⁰ En consideración con el caso anterior: arco ideal.

³⁸¹ Ver gráficos (131).

³⁸² En comparación con los casos anteriores: arco ideal y de medio punto.

14. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos apreciamos que³⁸³⁻³⁸⁴:

- ff. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia del elemento.
- gg. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco son de mayor intensidad.
- hh. El arco de descarga no llega a formarse por completo.

15. De modo general podríamos decir que:

- ii. La parte superior de los arcos se descomprime³⁸⁵.
- jj. En la medida en que el arco pierde curvatura aumenta la zona menos cargada.
- kk. La zona descomprimida representa la formación del arco de descarga. Dicha zona no llega nunca al nivel del primer forjado.
- ll. El arco de descarga no llega a formarse por completo.
- mm. En la clave del arco se produce una concentración de vectores de tracción³⁸⁶.
- nn. Se observa con claridad el efecto favorable del arco ideal en la pared³⁸⁷.
- oo. El arco de ángulos rectos es aquel que tiene el comportamiento más desfavorable³⁸⁸.

³⁸³ Ver gráficos (132).

³⁸⁴ En comparación con los casos anteriores: arco ideal, de medio punto y carpanel.

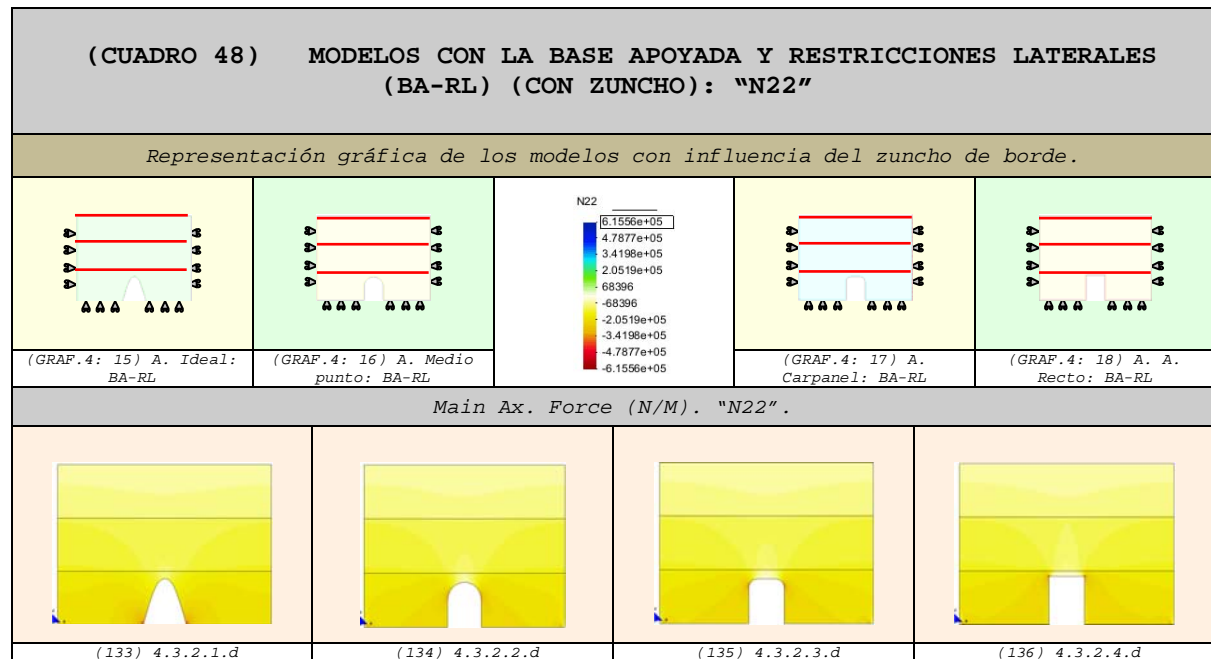
³⁸⁵ Las descompresiones son mayores en los arcos carpanel y de ángulos rectos. En el arco de medio punto éstas son casi imperceptibles. En el arco ideal no existen.

³⁸⁶ Las descompresiones son mayores en los arcos carpanel y de ángulos rectos. En el arco de medio punto éstas son casi imperceptibles. En el arco ideal no existen.

³⁸⁷ Comparar el arco ideal y el de ángulos rectos: (129) con (132) y (133) con (136).

³⁸⁸ Comparar el arco ideal y el de ángulos rectos: (129) con (132) y (133) con (136).

4.5.2.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N2"
(N22) 389-390



16. En el modelo con el arco ideal podemos observar que³⁹¹:

pp. Las máximas compresiones se localizan en la base del arco cuya intensidad es superior a los modelos restantes.

17. En el caso del modelo con el arco de medio punto vemos que³⁹²:

qq. Las máximas zonas comprimidas se sitúan en los lados superiores del hueco.

18. En el caso del modelo con el arco carpanel podemos notar que³⁹³:

rr. Las máximas zonas comprimidas se localizan en los lados superiores del hueco.

19. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que³⁹⁴:

ss. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores del hueco y con mayor intensidad que los dos modelos anteriores.

tt. En la zona donde se localizan las máximas compresiones se colocan dados de hormigón³⁹⁵.

³⁸⁹ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados.

³⁹⁰ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

³⁹¹ Ver gráficos (133).

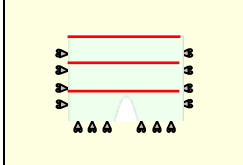
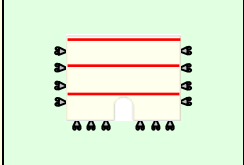

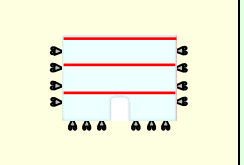
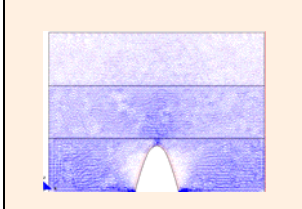
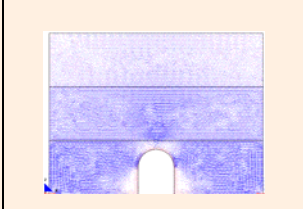
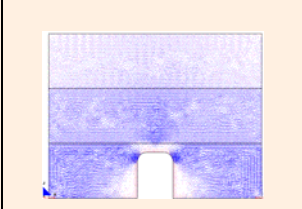
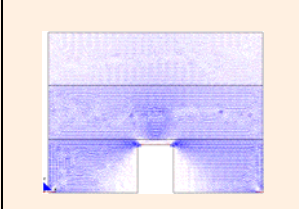
³⁹² Ver gráficos (134).

³⁹³ Ver gráficos (135).

³⁹⁴ Ver gráficos (136).

³⁹⁵ El dado de hormigón tiene como finalidad resistir compresiones mayores debido a que, en muchas ocasiones, estas fuerzas superan la resistencia de la fábrica.

4.5.2.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11"
(Si) ³⁹⁶⁻³⁹⁷

(CUADRO 49) MODELOS CON LA BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL) (CON ZUNCHO): "SI"				
Representación gráfica de los modelos con influencia del zuncho de borde.				
				
(GRAF.4: 15) A. Ideal: BA-RL	(GRAF.4: 16) A. Medio punto: BA-RL		(GRAF.4: 17) A. Carpanel: BA-RL	(GRAF.4: 18) A. A. Recto: BA-RL
Main Ax. Force (N/M). "Si" factor 8.1e-6.				
				
(137) 4.3.2.1.c	(138) 4.3.2.2.c	(139) 4.3.2.3.c	(140) 4.3.2.4.c	

20. En el modelo con el arco ideal observamos que³⁹⁸⁻³⁹⁹:

uu. La pared está comprimida casi en su totalidad.

vv. Las máximas compresiones se localizan en la base del hueco y son de mayor intensidad.

21. En el caso del modelo con el arco de medio punto podemos apreciar que⁴⁰⁰⁻⁴⁰¹:

ww. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona muy pequeña.

xx. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos y son de menor intensidad.

22. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁴⁰²⁻⁴⁰³:

yy. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona relativamente más amplia.

zz. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco son un poco más intensos.

³⁹⁶ Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N11".

³⁹⁷ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

³⁹⁸ Ver gráficos (137).

³⁹⁹ En consideración con los modelos restantes: de medio punto, carpanel y de ángulos rectos.

⁴⁰⁰ Ver gráficos (138).

⁴⁰¹ En consideración con el caso anterior: arco ideal.

⁴⁰² Ver gráficos (139).

⁴⁰³ En comparación con los casos anteriores: arco ideal y de medio punto.

aaa. Las compresiones ubicadas en la parte alta de los huecos adquieren valores superiores⁴⁰⁴.

23. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos apreciamos que⁴⁰⁵⁻⁴⁰⁶:

bbb. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia del elemento.

ccc. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco son, relativamente, de mayor intensidad.

ddd. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos⁴⁰⁷.

eee. En la edificación se utilizan vigas⁴⁰⁸ que son capaces de soportar las tracciones⁴⁰⁹.

24. De modo general podríamos decir que:

fff. Cuando se restringen lateralmente los modelos, las tracciones se reducen notoriamente.

ggg. En las caras laterales de los huecos aparecen pequeñas tracciones casi imperceptibles.

hhh. A medida que el arco se aplana se intensifican las fuerzas de tracción en su clave.

iii. Cuando el hueco forma ángulos de 90° con la base las máximas compresiones se localizan en la parte superior lateral de las aberturas.

jjj. A medida que el arco se aplana se intensifican las fuerzas de compresión en la parte superior lateral de las aberturas.

kkk. En la edificación se utilizan vigas⁴¹⁰ que son capaces de soportar las tracciones⁴¹¹.

lll. Se observa con claridad el efecto favorable del arco ideal en la pared⁴¹².

mmm. El comportamiento más desfavorable es el del arco de ángulos rectos⁴¹³⁻⁴¹⁴.

⁴⁰⁴ Cuya intensidad es menor que la del arco ideal, aunque mayor que la de los arcos de medio punto y de ángulos rectos.

⁴⁰⁵ Ver gráficos (140).

⁴⁰⁶ En comparación con los casos anteriores: arco ideal, de medio punto y carpanel.

⁴⁰⁷ y su intensidad se reduce en comparación con el arco carpanel.

⁴⁰⁸ Las vigas pueden ser de hormigón, metal, prefabricadas, etc.

⁴⁰⁹ Evitando así que la fábrica se fisure por exceso de esfuerzos de tracción.

⁴¹⁰ Las vigas pueden ser de hormigón, metal, prefabricadas, etc.

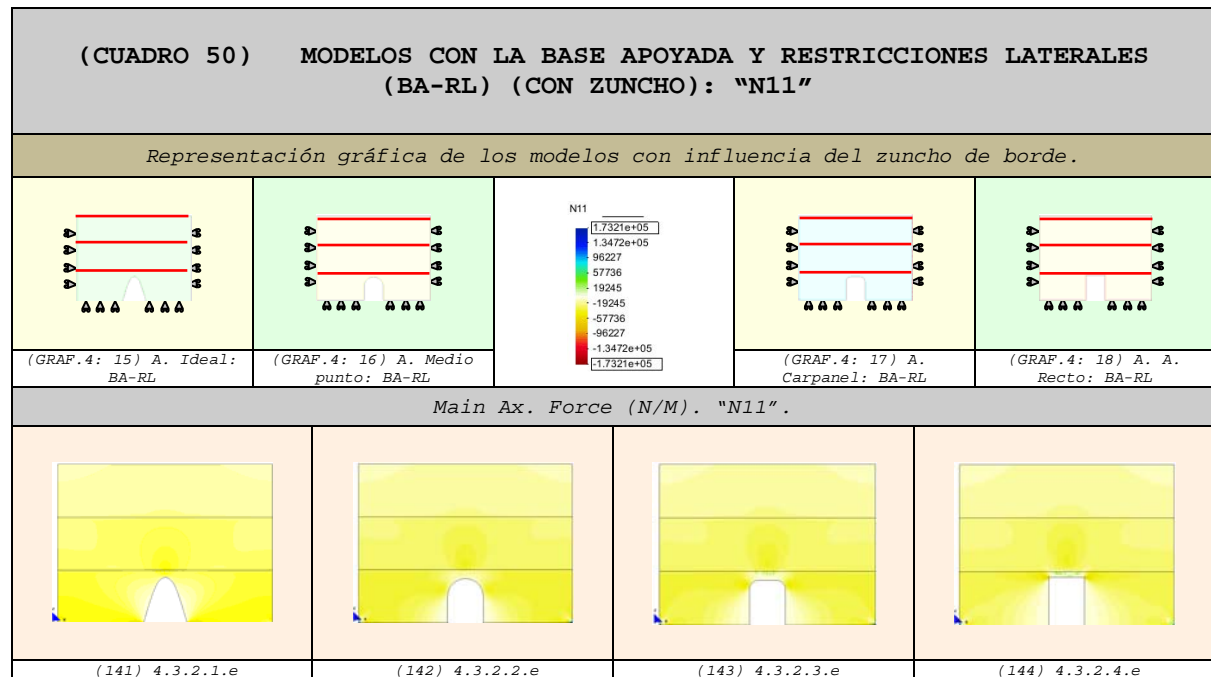
⁴¹¹ Evitando así que la fábrica se fisure por exceso de tracciones.

⁴¹² Comparar el arco ideal y el de ángulos rectos: (137) con (140) y (141) con (144)

⁴¹³ Por ser el modelo con más tracciones.

⁴¹⁴ Comparar el arco ideal (137) y el de ángulos rectos (140).

4.5.2.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N11" (N11) ⁴¹⁵⁻⁴¹⁶



25. En el modelo con el arco ideal podemos observar que⁴¹⁷:

nnn. Las máximas compresiones se localizan en la base del arco.

ooo. No existen tracciones en la pared.

26. En el caso del modelo con el arco de medio punto vemos que⁴¹⁸:

ppp. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos y son de menor intensidad.

27. En el caso del modelo con el arco carpanel se aprecia que⁴¹⁹:

qqq. Las máximas compresiones situadas en los lados superiores de los huecos tienden a intensificarse.

28. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos notamos que⁴²⁰:

rrr. Las tracciones localizadas en la clave del arco son superiores en relación a los modelos restantes⁴²¹.

sss. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos y son de intensidad superior a los demás modelos.

⁴¹⁵ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados.

⁴¹⁶ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁴¹⁷ Ver gráficos (141).

⁴¹⁸ Ver gráficos (142).

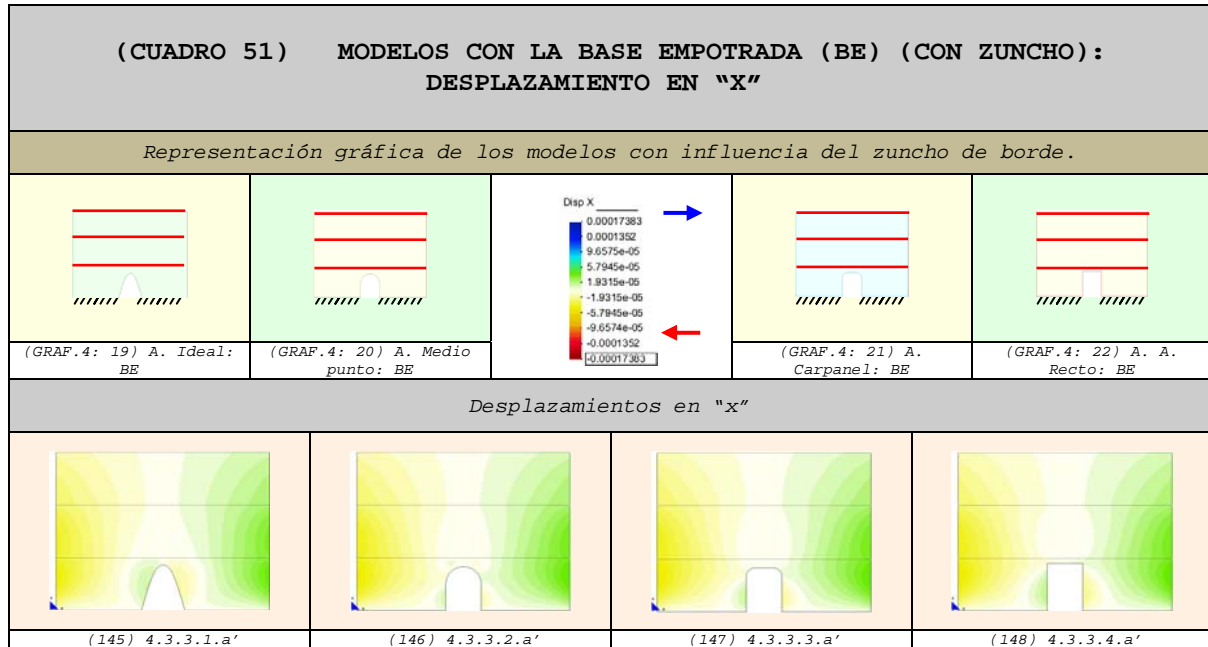
⁴¹⁹ Ver gráficos (143).

⁴²⁰ Ver gráficos (144).

⁴²¹ Comparar el arco de ángulos rectos con el ideal: (141) con (144).

4.5.3 Modelo con la base Empotrada

4.5.3.1 Comparación de los Desplazamientos

4.5.3.1.1 Desplazamientos en "x"⁴²²

1. En el modelo con el arco ideal observamos que⁴²³:
 - a. Los desplazamientos laterales son inferiores⁴²⁴.
 - b. La clave del arco tiende a cerrarse⁴²⁵.
 - c. La pared es más deformable⁴²⁶.
2. En el caso del modelo con el arco de medio punto apreciamos que⁴²⁷:
 - d. Los desplazamientos laterales son menores⁴²⁸.
 - e. La clave del arco tiende a abrirse⁴²⁹.
 - f. La pared es menos deformable.
3. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁴³⁰:

⁴²² Los desplazamientos hacia el lado derecho se representan con la gama de colores fríos (verde-azul) y los desplazamientos hacia el lado izquierdo con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo).

⁴²³ Ver gráficos (145).

⁴²⁴ En relación con el modelo del arco de ángulos rectos y superiores en comparación con el arco de medio punto y el carpanel.

⁴²⁵ Mientras que los modelos restantes tienen tendencia a abrirse.

⁴²⁶ En relación con el modelo del arco de ángulos rectos y superiores en comparación con el arco de medio punto y el carpanel.

⁴²⁷ Ver gráficos (146).

⁴²⁸ En comparación con el modelo anterior.

⁴²⁹ En menor grado que en los modelos posteriores: arco carpanel y de ángulos rectos.

⁴³⁰ Ver gráficos (147).

- g. Los desplazamientos laterales son mayores⁴³¹.
- h. La clave del arco tiende a abrirse un poco más⁴³².
- i. La pared es más deformable que en el caso anterior.

4. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos podemos apreciar que⁴³³:

- j. Los desplazamientos laterales son mayores⁴³⁴.
- k. La clave del arco tiende a abrirse en mayor magnitud.
- l. La pared es más deformable.

5. De modo general podemos decir que:

- m. El comportamiento del arco ideal es bastante parecido al del arco de ángulos rectos⁴³⁵.
- n. Las diferencias que existen dependen únicamente de la forma de los arcos y no de los ángulos con que llegan a la base.
- o. Las caras laterales de los modelos se deforman libremente⁴³⁶.
- p. Cuando la clave de los arcos son abiertas⁴³⁷ tiende a separarse.
- q. Cuando la clave del arco es muy pronunciada⁴³⁸ tiende a cerrarse.
- r. Independientemente de la forma de la clave de los arcos, las caras laterales de los huecos se cierran⁴³⁹.
- s. Se observa con claridad el efecto favorable del arco ideal en la pared⁴⁴⁰.
- t. El comportamiento más desfavorable es el del arco de ángulos rectos⁴⁴¹.

⁴³¹ En comparación con el modelo del arco de medio punto, aunque inferiores que el modelo con el arco ideal.

⁴³² En menor grado que el modelo con los ángulos rectos.

⁴³³ Ver gráficos (148).

⁴³⁴ En comparación con los modelos anteriores.

⁴³⁵ Comparar (145) y (148), arcos ideal y de ángulos rectos respectivamente.

⁴³⁶ Esto se debe a que la base, al estar empotrada, tiene restringidos los movimientos horizontales y libres los lados.

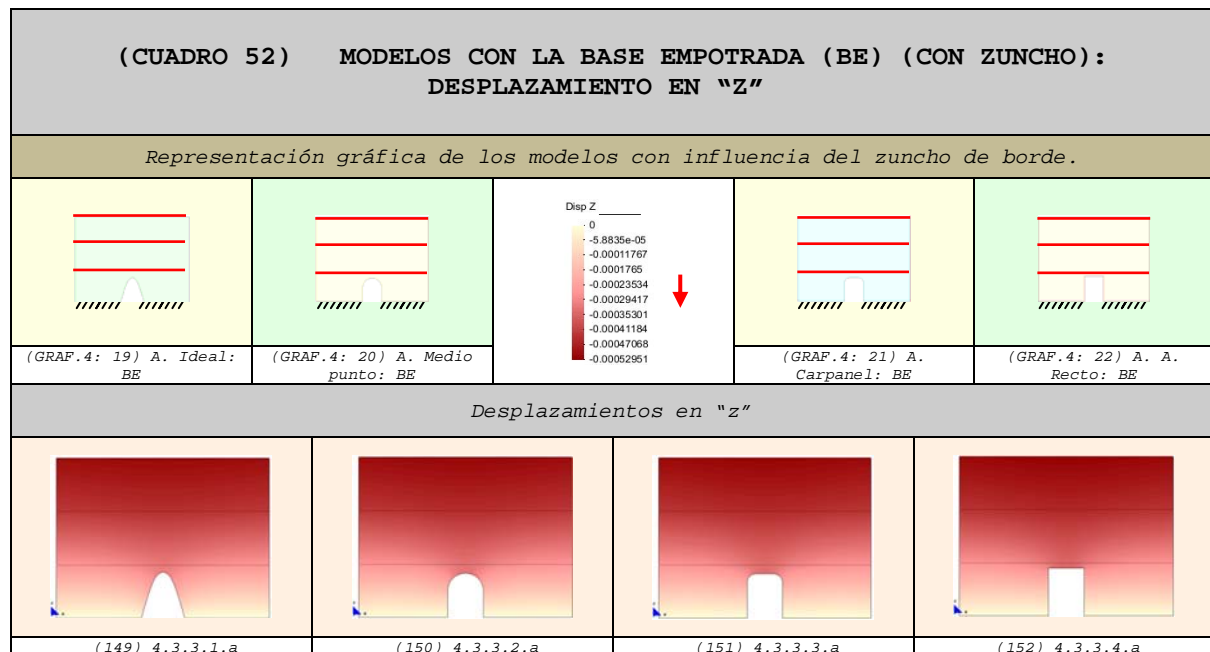
⁴³⁷ Arco de medio punto, carpanel y de ángulos rectos: (146), (147) y (148) respectivamente.

⁴³⁸ Como el caso del arco ideal (145).

⁴³⁹ Lógicamente por ser la zona en la que puede deformarse libremente.

⁴⁴⁰ Comparar el arco ideal y el de ángulos rectos: (145) con (148).

⁴⁴¹ Comparar el arco de ángulos rectos (148) y el arco ideal (145).

4.5.3.1.2 Desplazamientos en "z" ⁴⁴²

6. En el modelo con el arco ideal podemos observar que⁴⁴³:
 - u. Los desplazamientos que se localizan en la parte superior del arco son inferiores⁴⁴⁴ y no tocan la clave del arco.
7. En el caso del modelo con el arco de medio punto vemos que⁴⁴⁵:
 - v. En la parte superior del arco empiezan a intensificarse las deformaciones y comienzan a descender hacia la clave del arco.
8. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁴⁴⁶:
 - w. En la parte alta del arco se intensifican las deformaciones y cubren toda la línea superior del hueco⁴⁴⁷.
9. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos podemos notar que⁴⁴⁸:
 - x. En la parte superior del hueco es más notorio el crecimiento de los desplazamientos y cubren toda la línea superior del arco.
10. Adicionalmente podemos indicar que:
 - y. A medida que la parte superior de los arcos pierde curvatura, los desplazamientos descenden hasta la clave, incluso pueden llegar a cubrirla por completo.

⁴⁴² Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se acerca al rojo intenso.

⁴⁴³ Ver gráficos (149).

⁴⁴⁴ En comparación con los modelos restantes.

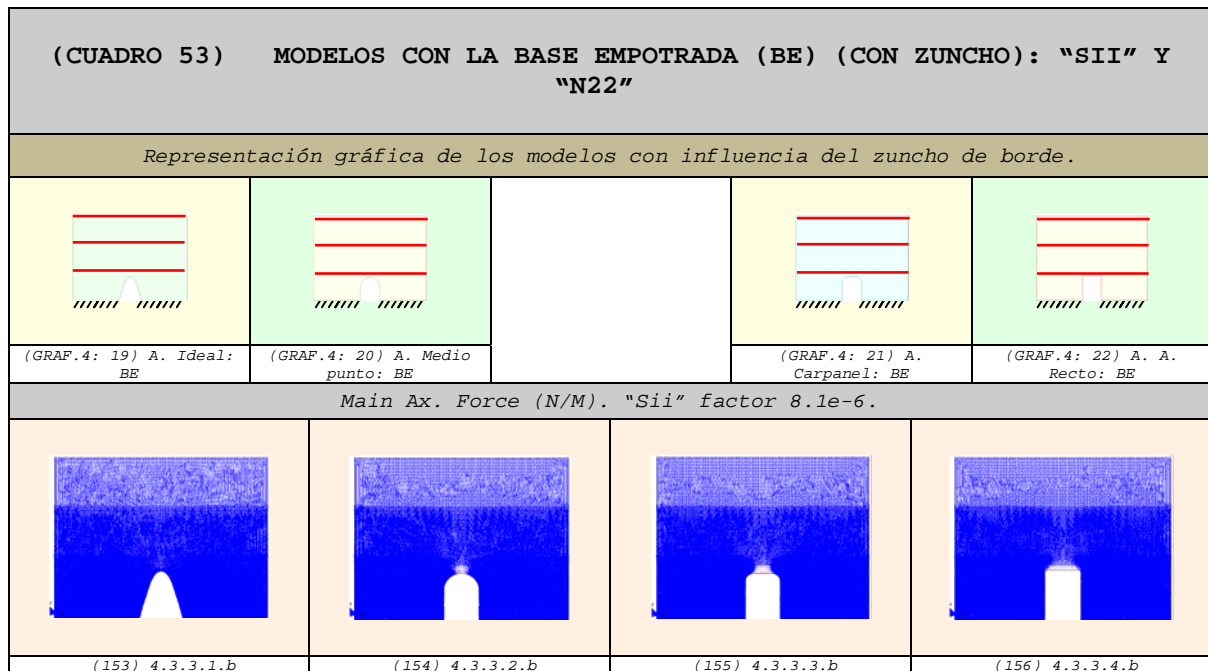
⁴⁴⁵ Ver gráficos (150).

⁴⁴⁶ Ver gráficos (151).

⁴⁴⁷ No tocan ninguna de las dos semi-circunferencias que forman el arco carpanel.

⁴⁴⁸ Ver gráficos (152).

4.5.3.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22"
(Sii) ⁴⁴⁹⁻⁴⁵⁰



11. En el modelo con el arco ideal vemos que⁴⁵¹⁻⁴⁵²:

- z. La pared está completamente comprimida.
- aa. Encima del arco no existen zonas descomprimidas.

12. En el caso del modelo con el arco de medio punto podemos notar que⁴⁵³⁻⁴⁵⁴:

- bb. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona casi imperceptible.
- cc. La intensidad de las tracciones que se desarrollan en el modelo son insignificantes.

13. En el caso del modelo con el arco carpanel apreciamos que⁴⁵⁵⁻⁴⁵⁶:

- dd. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una pequeña zona del elemento, aunque mayor que la anterior.
- ee. El arco de descarga⁴⁵⁷ comienza a formarse.

⁴⁴⁹ Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N22".

⁴⁵⁰ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁴⁵¹ Ver gráficos (153).

⁴⁵² En consideración con los modelos restantes: de medio punto, carpanel y de ángulos rectos.

⁴⁵³ Ver gráficos (154).

⁴⁵⁴ En consideración con el caso anterior: arco ideal.

⁴⁵⁵ Ver gráficos (155).

⁴⁵⁶ En comparación con los casos anteriores: arco ideal y de medio punto.

⁴⁵⁷ Zona blanca localizada en la parte alta del hueco.

14. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos podemos apreciar que⁴⁵⁸⁻⁴⁵⁹:

- ff. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia del elemento.
- gg. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco son de mayor intensidad.
- hh. El arco de descarga no se llega a desarrollar por completo, igual que ocurre en los casos anteriores.

15. De modo general podríamos decir que:

- ii. En el momento en el que se empostra la base, los modelos se comprimen considerablemente. Como resultado de ello, se reducen de modo considerable las tracciones de las paredes.
- jj. La parte superior de los arcos se descomprime⁴⁶⁰.
- kk. Esta zona descomprimida aumenta en la medida en que el arco pierde curvatura.
- ll. La zona descomprimida representa la formación del arco de descarga.
- mm. El arco de descarga no se forma por completo en ninguno de los modelos.
- nn. En la clave del arco se produce una concentración de vectores de tracción⁴⁶¹.
- oo. Se observa con claridad el efecto favorable del arco ideal en la pared⁴⁶².
- pp. El arco de ángulos rectos es aquel que tiene el comportamiento más desfavorable⁴⁶³.

⁴⁵⁸ Ver gráficos (156).

⁴⁵⁹ En comparación con los casos anteriores: arco ideal, de medio punto y carpanel.

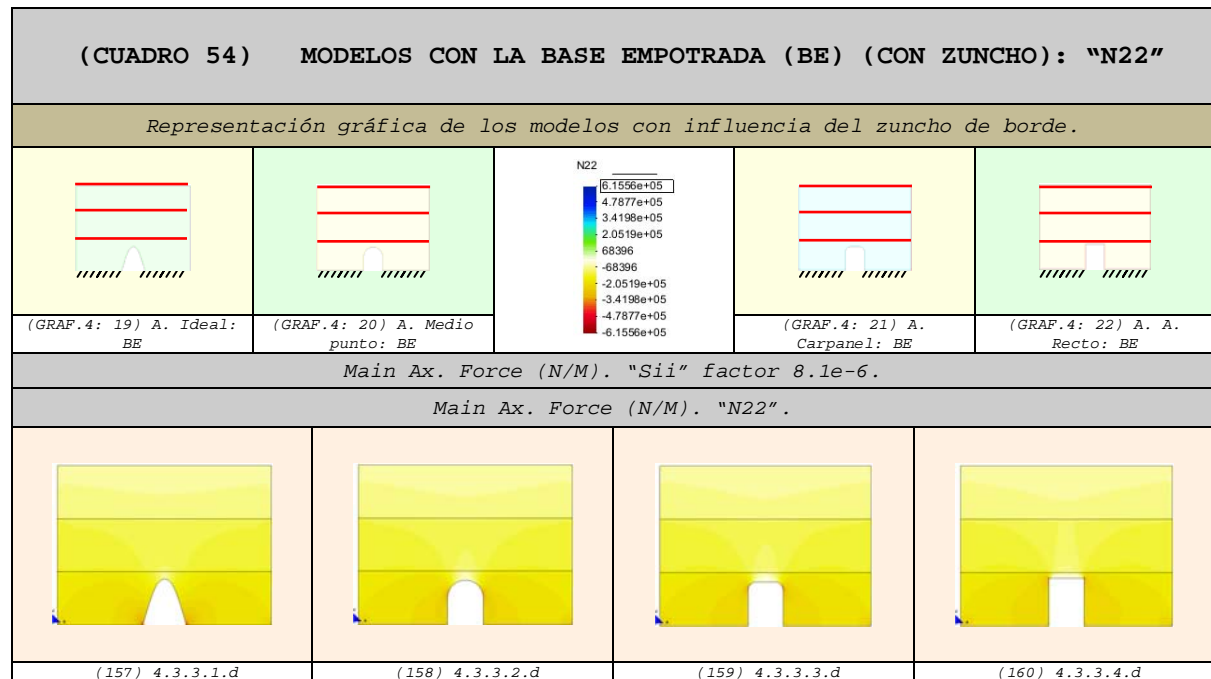
⁴⁶⁰ Las descompresiones son mayores en los arcos carpanel y de ángulos rectos, mientras que en el de medio punto es casi imperceptible y en el ideal no existe.

⁴⁶¹ No se aprecian ni en el arco ideal ni en el de medio punto. Comienzan a ser notorios en el arco carpanel y mucho más claras en el arco de ángulos rectos.

⁴⁶² Comparar el arco ideal y el de ángulos rectos: (153) con (156) y (157) con (160).

⁴⁶³ Comparar el arco ideal y el de ángulos rectos: (153) con (156) y (157) con (160).

4.5.3.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N22" (N22) 464-465



16. En el modelo con el arco ideal podemos observar que⁴⁶⁶:
- qq. La intensidad de la fuerzas de compresión es superior⁴⁶⁷ y se localizan en la base del arco.
17. En el caso del modelo con el arco de medio punto vemos que⁴⁶⁸:
- rr. Las máximas zonas comprimidas se sitúan en los lados superiores del hueco.
18. En el caso del modelo con el arco carpanel se aprecia que⁴⁶⁹:
- ss. Las máximas zonas comprimidas se localizan en los lados superiores del hueco.
19. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos podemos notar que⁴⁷⁰:
- tt. Las máximas zonas comprimidas se sitúan en los lados superiores del hueco y son de mayor intensidad⁴⁷¹. En esta zona se colocan dados de hormigón⁴⁷².

⁴⁶⁴ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nyy=Ny" de los diferentes modelos desarrollados.

⁴⁶⁵ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁴⁶⁶ Ver gráficos (157).

⁴⁶⁷ En comparación con los modelos restantes.

⁴⁶⁸ Ver gráficos (158).

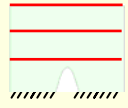
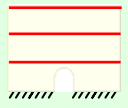
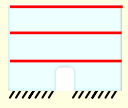

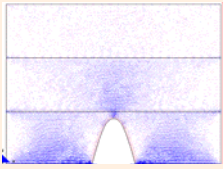
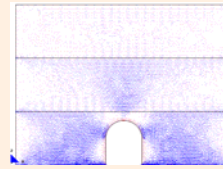
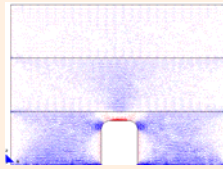
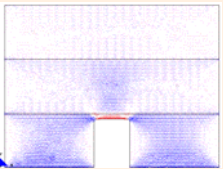
⁴⁶⁹ Ver gráficos (159).

⁴⁷⁰ Ver gráficos (160).

⁴⁷¹ En comparación con los dos modelos anteriores: arco carpanel y de medio punto. Sin embargo son inferiores si lo comparamos con el arco ideal; comparar (160) y (157).

⁴⁷² El dado de hormigón tiene como finalidad resistir compresiones mayores debido a que, en muchas ocasiones, estas fuerzas superan la resistencia de la fábrica.

4.5.3.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11"
(Si) ⁴⁷³⁻⁴⁷⁴

(CUADRO 55) MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA (BE) (CON ZUNCHO): "SI"				
Representación gráfica de los modelos con influencia del zuncho de borde.				
				
(GRAF.4: 19) A. Ideal: BE	(GRAF.4: 20) A. Medio punto: BE	(GRAF.4: 21) A. Carpanel: BE	(GRAF.4: 22) A. A. Recto: BE	
Main Ax. Force (N/M). "Si" factor 8.1e-6.				
				
(161) 4.3.3.1.c	(162) 4.3.3.2.c	(163) 4.3.3.3.c	(164) 4.3.3.4.c	

20. En el modelo con el arco ideal observamos que⁴⁷⁵:

uu. La pared está comprimida casi en su totalidad⁴⁷⁶.

vv. Las máximas compresiones se localizan en la base del hueco y son de mayor intensidad⁴⁷⁷.

21. En el caso del modelo con el arco de medio punto apreciamos que⁴⁷⁸:

ww. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona reducida.

xx. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos y son de menor intensidad⁴⁷⁹.

22. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁴⁸⁰:

yy. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia.

zz. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco son un poco más intensos⁴⁸¹.

⁴⁷³ Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N11".

⁴⁷⁴ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁴⁷⁵ Ver gráficos (161).

⁴⁷⁶ Ya que la única zona en que aparecen tracciones casi imperceptibles es en los lados del hueco.

⁴⁷⁷ En consideración con los modelos restantes: de medio punto, carpanel y de ángulos rectos.

⁴⁷⁸ Ver gráficos (162).

⁴⁷⁹ En consideración con el caso anterior: arco ideal.

⁴⁸⁰ Ver gráficos (163).

aaa. Las compresiones ubicadas en la parte alta de los huecos adquieren valores superiores⁴⁸².

23. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos notamos que⁴⁸³:

bbb. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia del elemento⁴⁸⁴.

ccc. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco son, relativamente, de mayor intensidad.

ddd. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos⁴⁸⁵.

eee. En la edificación se utilizan vigas⁴⁸⁶ que son capaces de soportar las tracciones⁴⁸⁷.

24. De modo general podríamos decir que:

fff. Cuando se empotran las bases de los modelos, las tracciones se reducen notoriamente.

ggg. En las caras laterales de los huecos aparecen pequeñas tracciones casi imperceptibles.

hhh. A medida que el arco se aplanan se intensifican las fuerzas de tracción en su clave, aunque sus magnitudes son casi imperceptible.

iii. Cuando el hueco forma ángulos de 90° con la base las máximas compresiones se localizan en la parte superior lateral de las aberturas.

jjj. A medida que el arco se aplanan se intensifican las fuerzas de compresión en la parte superior lateral de las aberturas.

kkk. En la edificación se utilizan vigas⁴⁸⁸ que son capaces de soportar las tracciones que tienen lugar en los modelos⁴⁸⁹.

lll. Se observa con claridad el efecto favorable del arco ideal en la pared⁴⁹⁰.

mmm. El comportamiento más desfavorable es el del arco de ángulos rectos⁴⁹¹⁻⁴⁹².

⁴⁸¹ En comparación con los casos anteriores: arco ideal y de medio punto.

⁴⁸² Cuya intensidad es menor que la del arco ideal, aunque mayor que la de los arcos de medio punto y de ángulos rectos.

⁴⁸³ Ver gráficos (164).

⁴⁸⁴ En comparación con los casos anteriores: arco ideal, de medio punto y carpanel.

⁴⁸⁵ Y su intensidad se reduce en comparación con el arco carpanel.

⁴⁸⁶ Las vigas pueden ser de hormigón, metal, prefabricadas, etc.

⁴⁸⁷ Evitando así que la fábrica se fisure por exceso de esfuerzos de tracción.

⁴⁸⁸ Las vigas pueden ser de hormigón, metal, prefabricadas, etc.

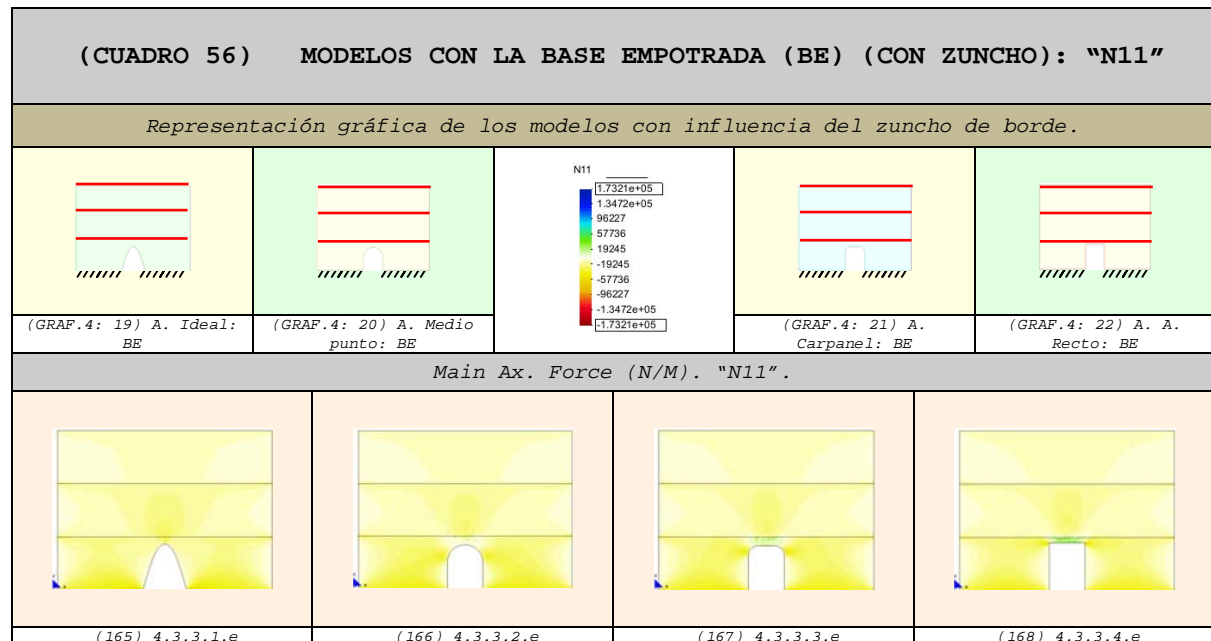
⁴⁸⁹ Evitando así que la fábrica se fisure por exceso de tracciones.

⁴⁹⁰ Comparar el arco ideal y el de ángulos rectos: (161) con (164) y (165) con (168).

⁴⁹¹ Por ser el modelo con más tracciones.

⁴⁹² Comparar el arco ideal (161) y el de ángulos rectos (164).

4.5.3.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N11" (N11) 493-494



25. En el modelo con el arco ideal podemos observar que⁴⁹⁵:

nnn. Las máximas compresiones se localizan en la base del hueco⁴⁹⁶.

26. En el caso del modelo con el arco de medio punto vemos que⁴⁹⁷:

ooo. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos y son de menor intensidad⁴⁹⁸.

27. En el caso del modelo con el arco carpanel podemos ver que⁴⁹⁹:

ppp. Las máximas compresiones situadas en los lados superiores de los huecos tienden a intensificarse⁵⁰⁰.

28. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos notamos que⁵⁰¹:

qqq. Las tracciones localizadas en la clave del arco son superiores en relación a los modelos restantes⁵⁰².

rrr. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos.

⁴⁹³ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados.

⁴⁹⁴ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁴⁹⁵ Ver gráficos (165).

⁴⁹⁶ La pared se encuentra completamente comprimida.

⁴⁹⁷ Ver gráficos (166).

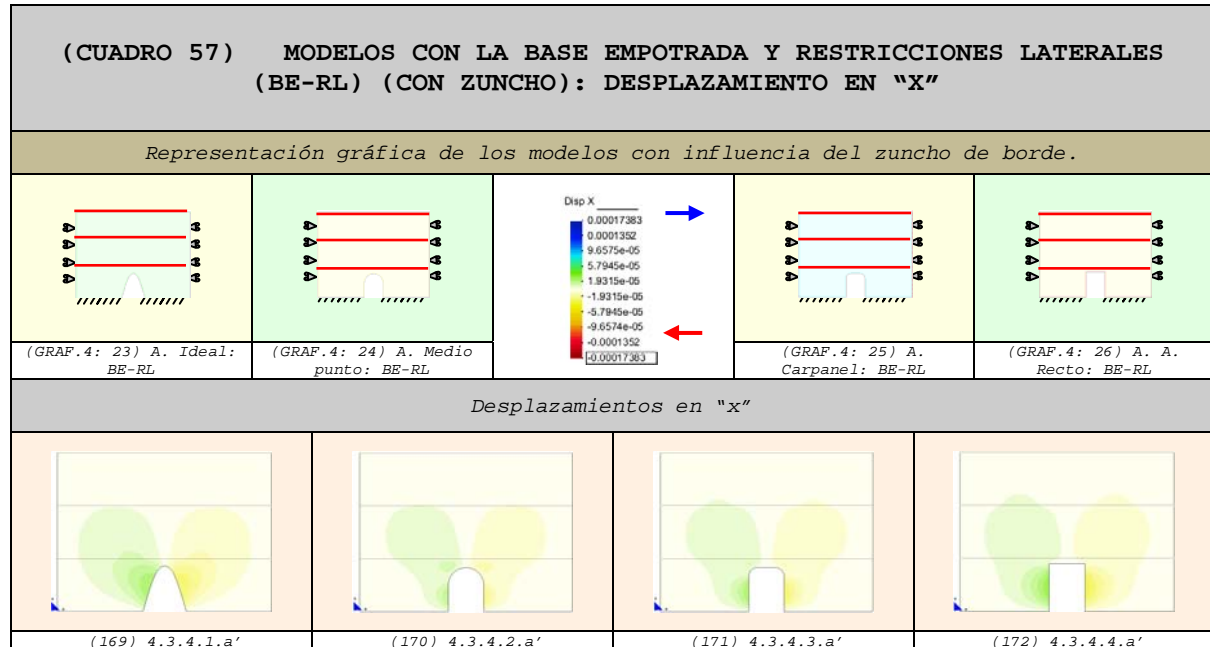
⁴⁹⁸ Con respecto al resto de modelos.

⁴⁹⁹ Ver gráficos (167).

⁵⁰⁰ Son de intensidad superior a los demás modelos.

⁵⁰¹ Ver gráficos (168).

⁵⁰² Comparar el arco de ángulos rectos con el ideal: (165) con (168).

4.5.4 Modelo con la base Empotrada y Restricción Lateral4.5.4.1 Comparación de los Desplazamientos4.5.4.1.1 Desplazamientos en "x"

1. En el modelo con el arco ideal podemos observar que⁵⁰³:
 - a. Los máximos desplazamientos se localizan en la parte superior lateral del hueco⁵⁰⁴.
 - b. La clave del arco tiende a cerrarse.
 - c. El trazado del arco es más deformable⁵⁰⁵.
2. En el caso del modelo con el arco de medio punto podemos apreciar que⁵⁰⁶:
 - d. Los desplazamientos laterales son inferiores⁵⁰⁷.
 - e. Las máximas deformaciones se sitúan en la parte central de las caras laterales del hueco.
 - f. La clave se abre en un grado muy bajo, casi imperceptible.
3. En el caso del modelo con el arco carpanel podemos ver que⁵⁰⁸:

⁵⁰³ Ver gráficos (169).

⁵⁰⁴ Cuya intensidad es mayor al arco de medio punto; comparar (169) con (170) y al arco carpanel; comparar (169) con (171). Aunque menor que el arco de ángulos rectos; comparar (169) con (172).

⁵⁰⁵ También, al ser menos deformable, la franja de desplazamientos casi nulos es más amplia en comparación con los otros modelos.

⁵⁰⁶ Ver gráficos (170).

⁵⁰⁷ En comparación con los modelos restantes.

⁵⁰⁸ Ver gráficos (171).

- g. Los desplazamientos laterales son superiores en comparación con el modelo anterior.
 - h. Las máximas deformaciones se sitúan en la parte central de las caras laterales del hueco.
 - i. La clave tiende a abrirse⁵⁰⁹.
 - j. La pared es menos deformable.
4. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos apreciamos que⁵¹⁰:
- k. Las máximas deformaciones se sitúan en la parte central de las caras laterales del hueco.
 - l. La clave se abre en mayor magnitud⁵¹¹.
 - m. La pared es más deformable que los modelos restantes.
5. De modo general podemos decir que:
- n. A medida que la curvatura de los arcos se aplanan se intensifican los desplazamientos en la clave de los huecos.
 - o. Se observa con claridad el efecto desfavorable del arco ideal en la pared.
 - p. La pared con el arco de medio punto tiene el comportamiento más favorable.

⁵⁰⁹ La abertura de la clave del arco es menor que en el caso del modelo con el arco de ángulos rectos.

⁵¹⁰ Ver gráficos (172).

⁵¹¹ La abertura de la clave del arco es mayor que en el caso de los modelos con el arco de medio punto y el carpanel.

4.5.4.1.2 Desplazamientos en "z" ⁵¹²

6. En el modelo con el arco ideal se puede notar que⁵¹³:
 - q. Los desplazamientos que se localizan en la parte superior del arco son inferiores⁵¹⁴ y no tocan la clave del arco.
7. En el caso del modelo con el arco de medio punto vemos que⁵¹⁵:
 - r. En la parte superior del arco empiezan a intensificarse las deformaciones y comienzan a descender hacia la clave del arco.
8. En el caso del modelo con el arco carpanel distinguimos que⁵¹⁶:
 - s. En la parte superior del arco se intensifican las deformaciones y cubren toda la línea superior del hueco⁵¹⁷.
9. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos observamos que⁵¹⁸:
 - t. En la parte superior del arco se observa con mayor claridad el aumento de los desplazamientos y cubren toda la línea superior del arco.
10. Adicionalmente podemos indicar que:
 - u. A medida que la parte superior de los arcos pierde curvatura, los desplazamientos descienden hasta la clave, incluso pueden llegar a cubrirla por completo.

⁵¹² Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se acerca al rojo intenso.

⁵¹³ Ver gráficos (173).

⁵¹⁴ En comparación con los modelos restantes.

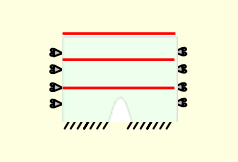
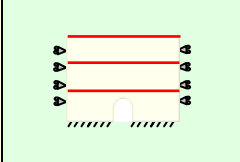

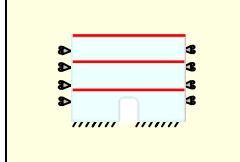
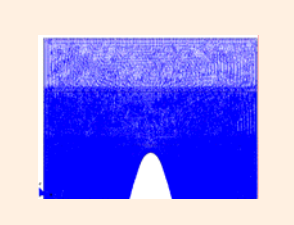
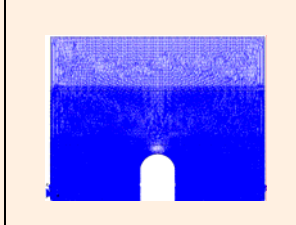
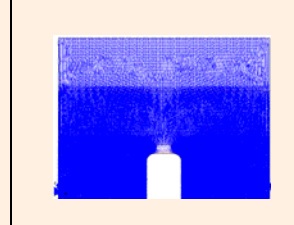
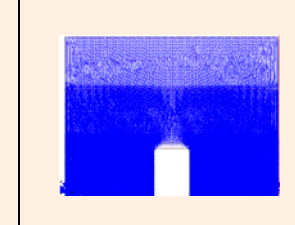
⁵¹⁵ Ver gráficos (174).

⁵¹⁶ Ver gráficos (175).

⁵¹⁷ No tocan ninguna de las dos semi-circunferencias que forman el arco carpanel.

⁵¹⁸ Ver gráficos (176).

4.5.4.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22"
(Sii) ⁵¹⁹⁻⁵²⁰

(CUADRO 59) MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL) (CON ZUNCHO): "SII" Y "N22"				
Representación gráfica de los modelos con influencia del zuncho de borde.				
				
(GRAF.4: 23) A. Ideal: BE-RL	(GRAF.4: 24) A. Medio punto: BE-RL	(GRAF.4: 25) A. Carpanel: BE-RL	(GRAF.4: 26) A. A. Recto: BE-RL	
Main Ax. Force (N/M). "Sii" factor 8.1e-6.				
				
(177) 4.3.4.1.b	(178) 4.3.4.2.b	(179) 4.3.4.3.b	(180) 4.3.4.4.b	

11. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁵²¹⁻⁵²²:
- v. La pared está completamente comprimida.
 - w. Encima del arco no existen zonas descomprimidas.
12. En el caso del modelo con el arco de medio punto apreciamos que⁵²³⁻⁵²⁴:
- x. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona casi imperceptible.
 - y. Las fuerzas de tracción son insignificantes.
13. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁵²⁵⁻⁵²⁶:
- z. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una pequeña zona del elemento.
 - aa. El arco de descarga comienza a formarse.

⁵¹⁹ Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N22".

⁵²⁰ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁵²¹ Ver gráficos (177).

⁵²² En consideración con los modelos restantes: de medio punto, carpanel y de ángulos rectos.

⁵²³ Ver gráficos (178).

⁵²⁴ En consideración con el caso anterior: arco ideal.

⁵²⁵ Ver gráficos (179).

⁵²⁶ En comparación con los casos anteriores: arco ideal y de medio punto.

14. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos podemos notar que⁵²⁷⁻⁵²⁸:

- bb. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia del elemento.
- cc. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco son de mayor intensidad.
- dd. El arco de descarga no llega a formarse por completo.

15. De modo general podríamos decir que:

- ee. En el momento en que se restringen los desplazamientos laterales, los modelos se comprimen considerablemente. Como resultado de ello, se reducen las tracciones de las paredes.
- ff. La parte superior de los arcos se descomprime⁵²⁹.
- gg. Esta zona descomprimida aumenta en la medida en que el arco pierde curvatura.
- hh. La zona descomprimida representa la formación del arco de descarga.
- ii. El arco de descarga no se forma en ninguno de los modelos.
- jj. En la clave del arco se produce una concentración de vectores de tracción⁵³⁰.
- kk. Se observa con claridad el efecto favorable del arco ideal en la pared⁵³¹.
- ll. El arco de ángulos rectos es aquel que tiene el comportamiento más desfavorable⁵³².

⁵²⁷ Ver gráficos (180).

⁵²⁸ En comparación con los casos anteriores: arco ideal, de medio punto y carpanel.

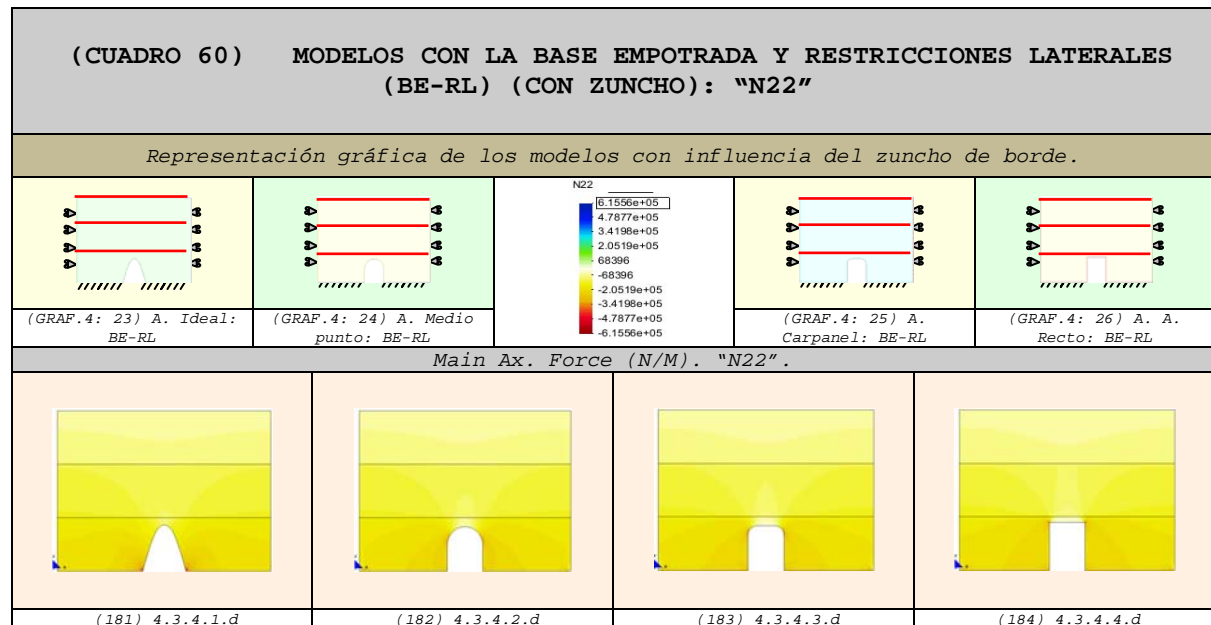
⁵²⁹ Las descompresiones son mayores en los arcos carpanel y de ángulos rectos. En el arco de medio punto es casi imperceptible, mientras que no existe en el modelo con el arco ideal.

⁵³⁰ No se aprecian ni en el arco ideal ni en el de medio punto. Comienzan a ser notorios en el arco carpanel y mucho más claras en el arco de ángulos rectos.

⁵³¹ Comparar el arco ideal y el de ángulos rectos: (177) con (180) y (181) con (184).

⁵³² Comparar el arco ideal y el de ángulos rectos: (177) con (180) y (181) con (184).

4.5.4.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N22" (N22) 533-534



16. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁵³⁵:
- mm. La intensidad de la fuerzas de compresión es superior⁵³⁶ y se localizan en la base del arco.
17. En el caso del modelo con el arco de medio punto notamos que⁵³⁷:
- nn. Las máximas zonas comprimidas se sitúan en los lados superiores del hueco.
18. En el caso del modelo con el arco carpanel podemos ver que⁵³⁸:
- oo. Las máximas zonas comprimidas se localizan en los lados superiores del hueco.
19. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos se aprecia que⁵³⁹:
- pp. Las máximas zonas comprimidas se sitúan en los lados superiores del hueco y son de mayor intensidad⁵⁴⁰.
- qq. En la zona donde se localizan las máximas compresiones se colocan dados de hormigón⁵⁴¹.

⁵³³ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados.

⁵³⁴ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁵³⁵ Ver gráficos (181).

⁵³⁶ En comparación con los modelos: arco de medio punto y carpanel.

⁵³⁷ Ver gráficos (182).

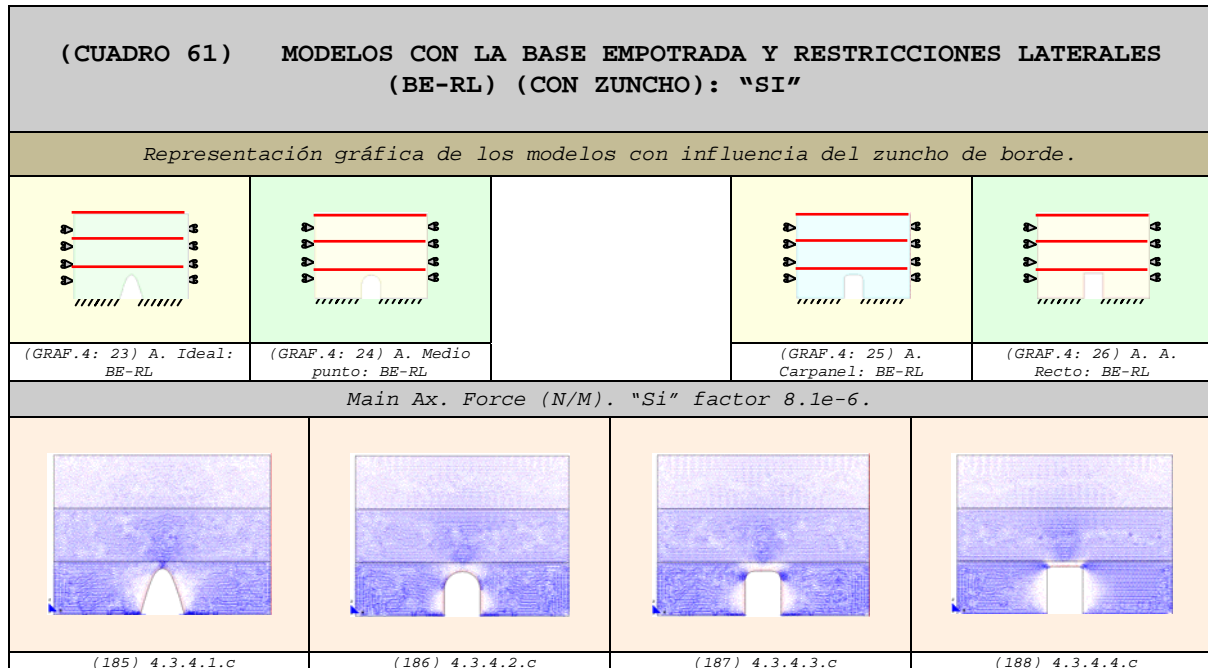
⁵³⁸ Ver gráficos (183).

⁵³⁹ Ver gráficos (184).

⁵⁴⁰ En comparación con los modelos: arco de medio punto y carpanel.

⁵⁴¹ El dado de hormigón tiene como finalidad resistir compresiones mayores debido a que, en muchas ocasiones, estas fuerzas superan la resistencia de la fábrica.

4.5.4.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11"
(Si) ⁵⁴²⁻⁵⁴³



20. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁵⁴⁴⁻⁵⁴⁵:

rr. La pared está comprimida casi en su totalidad.

ss. Las máximas compresiones se localizan en la base del hueco y son de mayor intensidad.

21. En el caso del modelo con el arco de medio punto podemos apreciar que⁵⁴⁶⁻⁵⁴⁷:

tt. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona muy pequeña.

uu. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos y son de menor intensidad.

22. En el caso del modelo con el arco carpanel vemos que⁵⁴⁸⁻⁵⁴⁹:

vv. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia.

⁵⁴² Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N11".

⁵⁴³ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁵⁴⁴ Ver gráficos (185).

⁵⁴⁵ En consideración con los modelos restantes: de medio punto, carpanel y de ángulos rectos.

⁵⁴⁶ Ver gráficos (186).

⁵⁴⁷ En consideración con el caso anterior: arco ideal.

⁵⁴⁸ Ver gráficos (187).

⁵⁴⁹ En comparación con los casos anteriores: arco ideal y de medio punto.

ww. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco son un poco más intensos.

xx. Las compresiones ubicadas en la parte alta de los huecos adquieren valores superiores⁵⁵⁰.

23. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos se nota que⁵⁵¹⁻⁵⁵²:

yy. Las tracciones localizadas en la clave del arco ocupan una zona más amplia del elemento.

zz. Los vectores de tracción ubicados en la parte superior del arco son, relativamente, de mayor intensidad.

aaa. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos⁵⁵³.

bbb. En la edificación se utilizan vigas⁵⁵⁴ que son capaces de soportar las tracciones⁵⁵⁵.

ccc. La parte superior del hueco se comporta como una viga⁵⁵⁶.

24. De modo general podríamos decir que:

ddd. Cuando se restringen lateralmente los modelos, las tracciones se reducen notoriamente.

eee. En las caras laterales de los huecos aparecen pequeñas tracciones casi imperceptibles.

fff. A medida que el arco se aplanan se intensifican las fuerzas de tracción en su clave.

ggg. Cuando el hueco forma ángulos de 90° con la base las máximas compresiones se localizan en la parte superior lateral de las aberturas.

hhh. A medida que el arco se aplanan se intensifican las fuerzas de compresión en la parte superior lateral de las aberturas.

iii. En la edificación se utilizan vigas⁵⁵⁷ que son capaces de soportar las tracciones que tienen lugar en los modelos⁵⁵⁸.

jjj. Se observa con claridad el efecto favorable del arco ideal en la pared⁵⁵⁹.

⁵⁵⁰ Cuya intensidad es menor que la del arco ideal, aunque mayor que la de los arcos de medio punto y de ángulos rectos.

⁵⁵¹ Ver gráficos (188).

⁵⁵² En comparación con los casos anteriores: arco ideal, de medio punto y carpanel.

⁵⁵³ Y su intensidad se reduce en comparación con el arco carpanel.

⁵⁵⁴ Las vigas pueden ser de hormigón, metal, prefabricadas, etc.

⁵⁵⁵ Evitando así que la fábrica se fisure por exceso de esfuerzos de tracción.

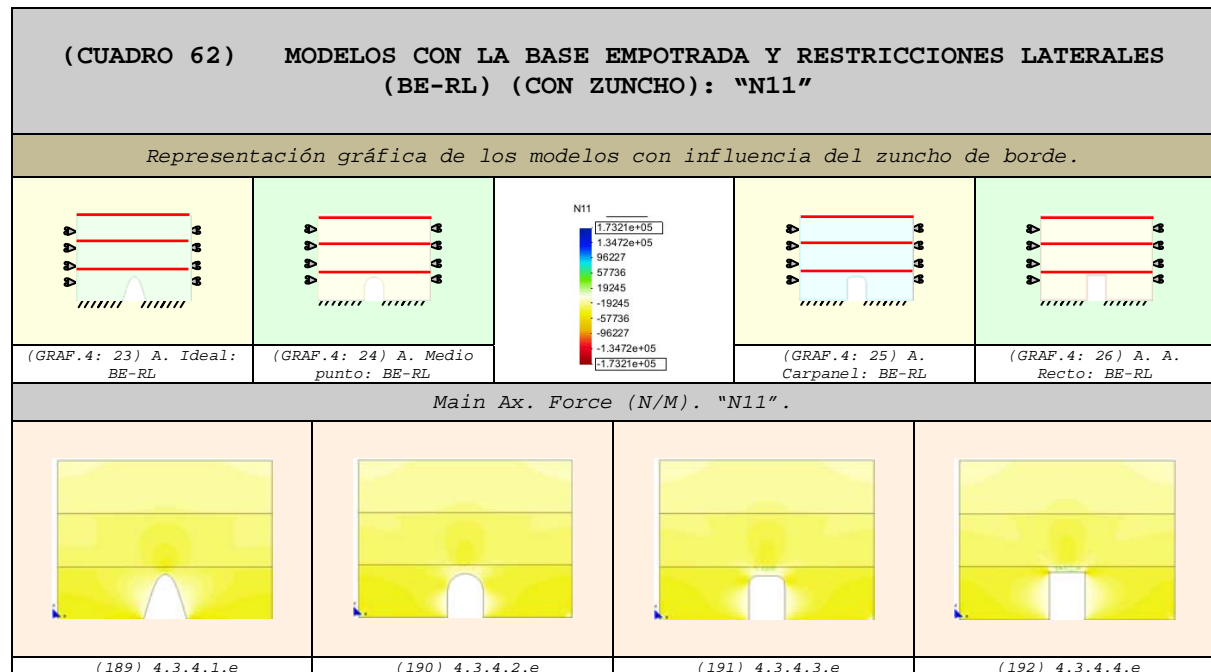
⁵⁵⁶ Es decir, compresiones en la parte superior y tracciones en la parte inferior. Este comportamiento sería más notorio si el ancho del hueco fuera mayor.

⁵⁵⁷ Las vigas pueden ser de hormigón, metal, prefabricadas, etc.

⁵⁵⁸ Evitando así que la fábrica se fisure por exceso de tracciones.

⁵⁵⁹ Comparar el arco ideal y el de ángulos rectos: (185) con (188) y (189) con (192).

4.5.4.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N1" (N11) 560-561



25. En el modelo con el arco ideal se puede observar que⁵⁶²:

kkk. Las máximas compresiones se localizan en la base del modelo y son de mayor intensidad⁵⁶³.

26. En el caso del modelo con el arco de medio punto vemos que⁵⁶⁴:

lll. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos y son de menor intensidad⁵⁶⁵.

27. En el caso del modelo con el arco carpanel apreciamos que⁵⁶⁶:

mmm. Las máximas compresiones situadas en los lados superiores de los huecos tienden a intensificarse.

28. En el caso del modelo con el arco de ángulos rectos podemos notar que⁵⁶⁷:

nnn. Las tracciones localizadas en la clave del arco son superiores en relación a los modelos restantes.

ooo. Las máximas compresiones se sitúan en los lados superiores de los huecos y son de intensidad superior a los demás modelos.

⁵⁶⁰ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados.

⁵⁶¹ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁵⁶² Ver gráficos (189).

⁵⁶³ El modelo está completamente comprimido; comparar el arco ideal con el de ángulos rectos: (189) con (192).

⁵⁶⁴ Ver gráficos (190).

⁵⁶⁵ En comparación con los modelos restantes.

⁵⁶⁶ Ver gráficos (191).

⁵⁶⁷ Ver gráficos (192).

MJIG

CAPÍTULO-4:

- 1.- ASPECTOS GENERALES
- 2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS
- 3.- ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE ARCOS
- 4.- INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO
- 5.- INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO
- 6.- ANÁLISIS COMPARATIVO: INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO**
- 7.- CUADRO COMPARATIVO: INFLUENCIA DE LA FORMA DE LOS ARCOS EN LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO
- 8.- CONCLUSIONES

MJIG

4.6 ANÁLISIS COMPARATIVO:
INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE
CONTORNO EN LOS MODELOS CON
ZUNCHO Y SIN ZUNCHO

- 1.- HUECO CON ARCO IDEAL
- 2.- HUECO CON ARCO DE MEDIO PUNTO
- 3.- HUECO CON ARCO CARPANEL
- 4.- HUECO CON ARCO DE ÁNGULOS RECTOS

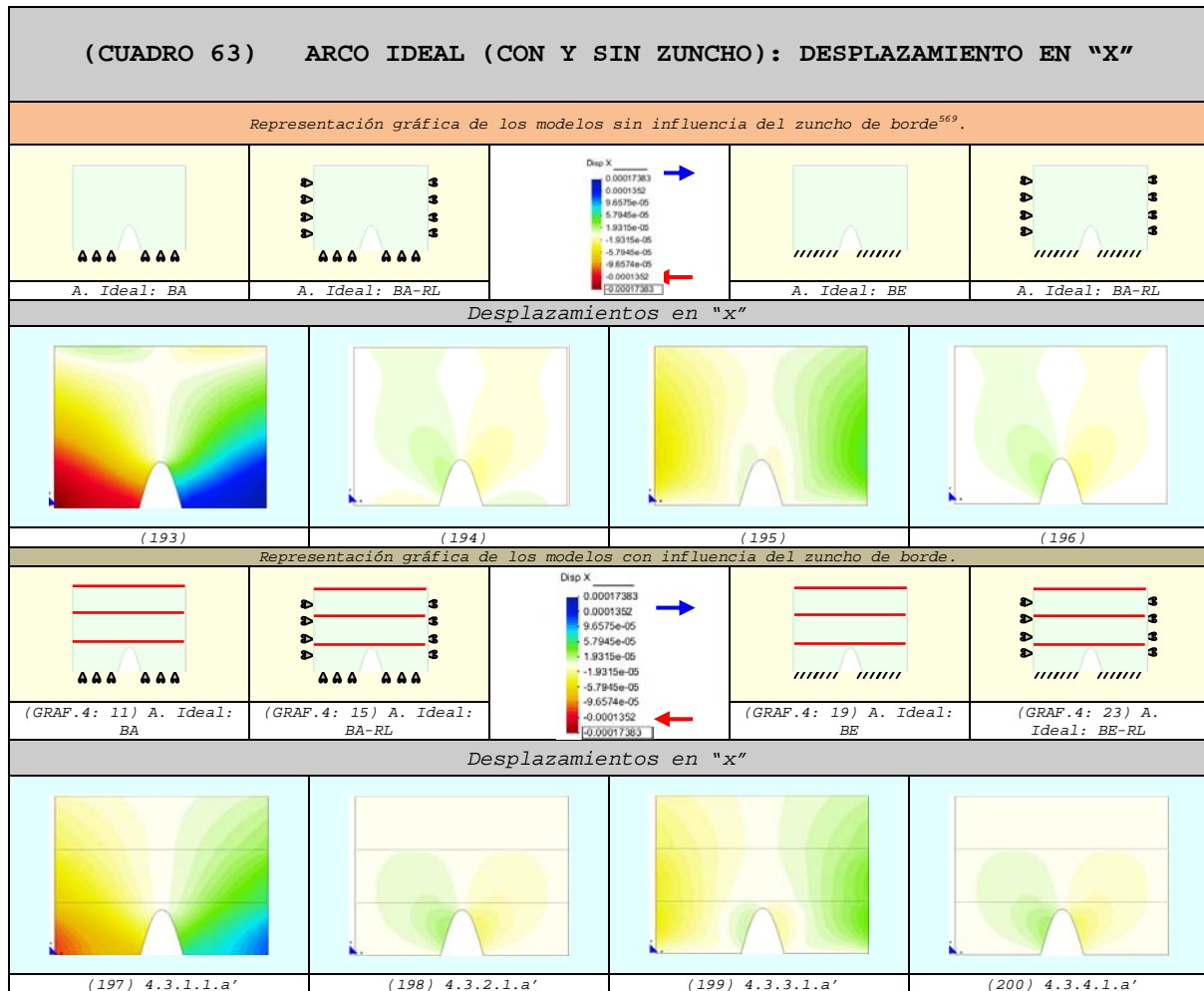
4.6 ANÁLISIS COMPARATIVO: INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO

Sólo se indican las deferencias que se observan al considerar la influencia de los zunchos embebidos en el forjado.

4.6.1 Huevo con arco ideal

4.6.1.1 Comparación de los Desplazamientos

4.6.1.1.1 Desplazamientos en "x"⁵⁶⁸



1. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁵⁷⁰:
 - a. La pared se deforma de un modo más homogéneo.
 - b. Los desplazamientos laterales se reducen considerablemente.
 - c. Los desplazamientos con sentido contrario localizados en la parte superior del modelo sin zuncho desaparecen.

⁵⁶⁸ Los desplazamientos hacia el lado derecho se representan con la gama de colores fríos (verde-azul) y los desplazamientos hacia el lado izquierdo con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo).

⁵⁶⁹ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁵⁷⁰ Comparar (197) y (193): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

2. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁵⁷¹:

- d. Los desplazamientos ubicados en la base del modelo se reducen de modo claro.
- e. Las deformaciones laterales se concentran en la clave del arco y tienen una magnitud mayor en comparación con el modelo sin zuncho.
- f. A nivel del último forjado también disminuyen los movimientos.

3. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁵⁷²:

- g. Las diferencias no son tan relevantes.
- h. Las deformaciones tienden a reducirse⁵⁷³.
- i. En la clave del arco se produce una concentración relativamente mayor de desplazamientos.
- j. Las máximas deformaciones descienden con respecto a los modelos sin la influencia del zuncho.

4. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁵⁷⁴:

- k. El resultado que se obtiene es el mismo que en el modelo apoyado con restricciones laterales.
- l. Los desplazamientos ubicados en la base del modelo se reducen de modo claro.
- m. Las deformaciones laterales se concentran en la clave del arco y tienen una magnitud mayor en comparación con el modelo sin zuncho.
- n. A nivel del último forjado también disminuyen los movimientos en la pared.

5. Además podemos decir que:

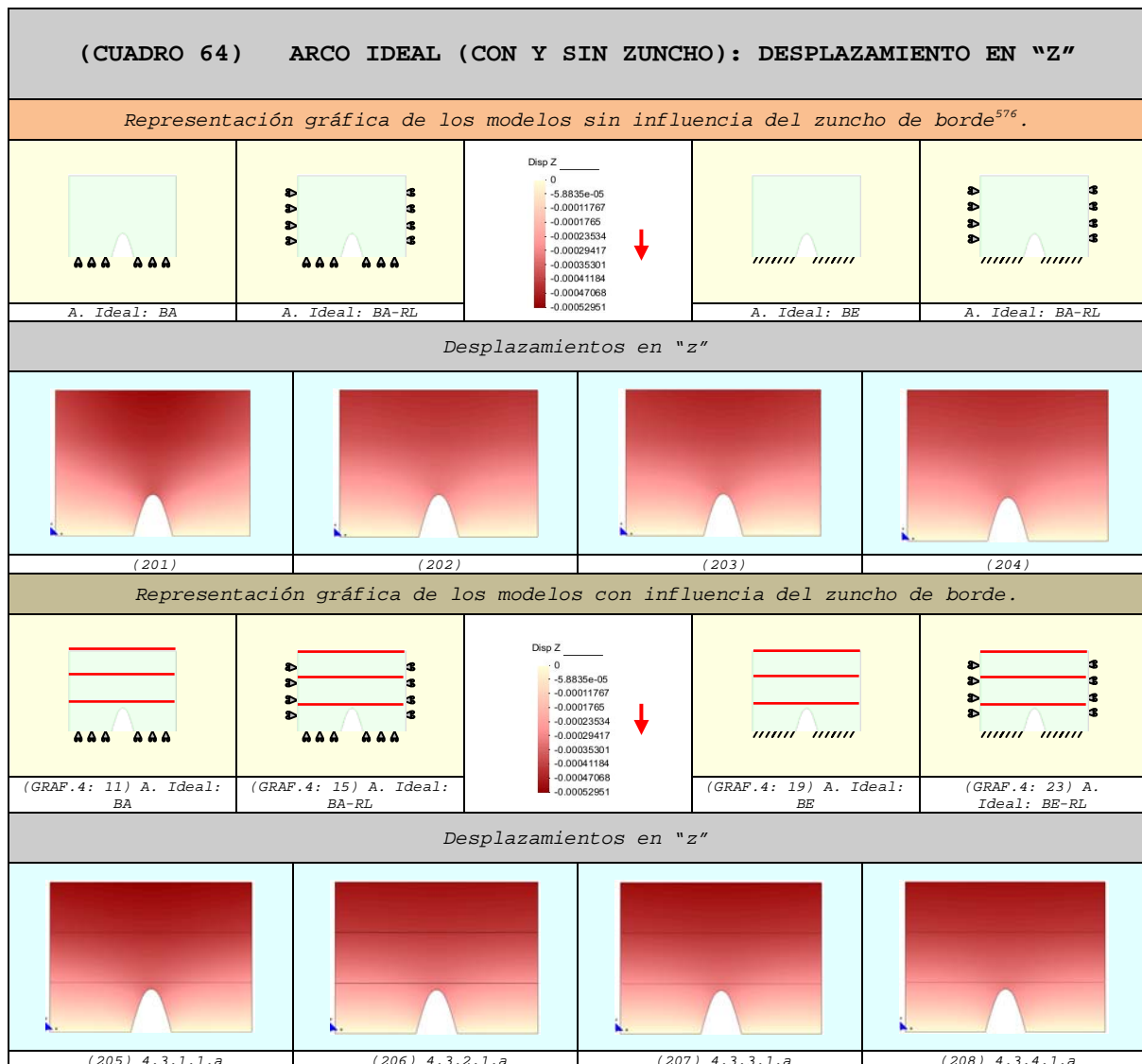
- o. Los zunchos introducen un claro efecto de confinamiento en las paredes.
- p. La existencia del zuncho hace que los modelos se deformen en menor grado.
- q. La influencia del zuncho es más clara en el modelo apoyado y en los dos modelos con restricciones laterales.
- r. El zuncho no aporta gran ayuda al modelo con la base empotrada.

⁵⁷¹ Comparar (198) y (194): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁵⁷² Comparar (199) y (195): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁵⁷³ Aunque en menor grado que en los casos restantes.

⁵⁷⁴ Comparar (200) y (196): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

4.6.1.1.2 Desplazamientos en "z"⁵⁷⁵

6. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁵⁷⁷:

- s. La pared se deforma de un modo más homogéneo.
- t. Los desplazamientos verticales tienden a alejarse de la clave del arco.

7. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁵⁷⁸:

- u. Los desplazamientos ubicados en la base del modelo se reducen de modo claro.

⁵⁷⁵ Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se acerca al rojo intenso.

⁵⁷⁶ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁵⁷⁷ Comparar (205) y (201): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁵⁷⁸ Comparar (206) y (202): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

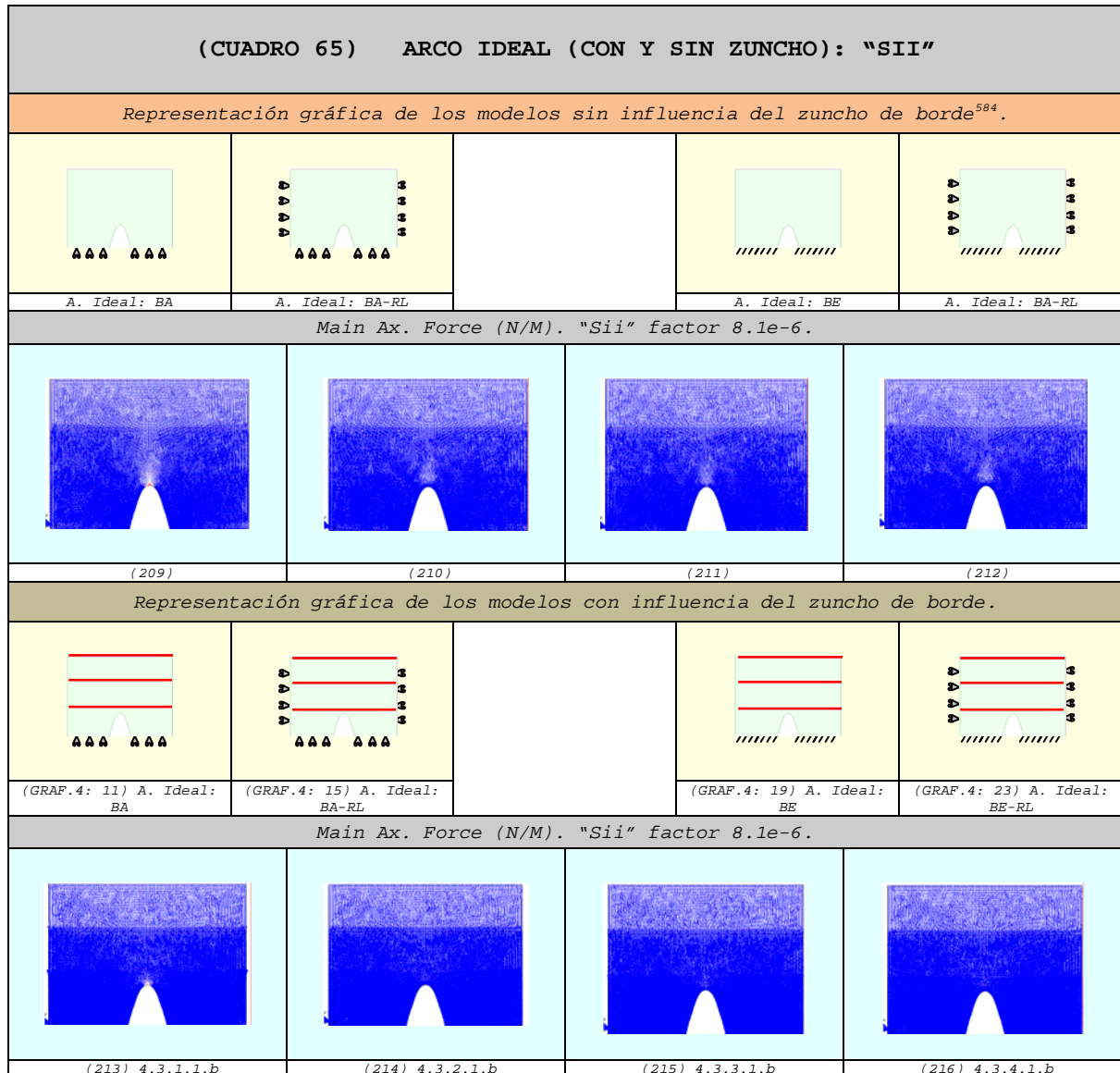
- v. Las deformaciones laterales se concentran en la clave del arco y tienen una magnitud mayor en comparación con el modelo sin zuncho.
- w. A nivel del último forjado también disminuyen los movimientos en la pared.
- 8. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁵⁷⁹:
- x. Las diferencias no son tan relevantes.
- y. Las deformaciones tienden a reducirse⁵⁸⁰.
- z. En la clave del arco se produce una concentración relativamente mayor de desplazamientos.
- aa. Las máximas deformaciones descienden con respecto a los modelos sin la influencia del zuncho.
- 9. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁵⁸¹:
- bb. El resultado que se obtiene es el mismo que en el modelo apoyado con restricciones laterales.
- cc. Los desplazamientos ubicados en la base del modelo se reducen de modo claro.
- dd. Las deformaciones laterales se concentran en la clave del arco y tienen una magnitud mayor en comparación con el modelo sin zuncho.
- ee. A nivel del último forjado también disminuyen los movimientos en la pared.
- 10. Además podemos decir que:
- ff. Los zunchos introducen un claro efecto de confinamiento en las paredes.
- gg. La existencia del zuncho hace que los modelos se deformen en menor grado.
- hh. La influencia del zuncho es más clara en el modelo apoyado y en los dos modelos con restricciones laterales.
- ii. El zuncho no aporta gran ayuda al modelo con la base empotrada.

⁵⁷⁹ Comparar (207) y (203): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁵⁸⁰ Aunque en menor grado que en los casos restantes.

⁵⁸¹ Comparar (208) y (204): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

4.6.1.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22"
(Sii) 582-583



- 11. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁵⁸⁵:
 - jj. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, se reducen considerablemente.
 - kk. Prácticamente la pared está comprimida en su totalidad.
 - ll. En la parte superior del arco tiende a disminuir la zona descomprimida de modo claro.

⁵⁸² Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N22".

⁵⁸³ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁵⁸⁴ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁵⁸⁵ Comparar (213) y (209): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

12. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁵⁸⁶:

- mm. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- nn. La pared está comprimida por completo.
- oo. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

13. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁵⁸⁷:

- pp. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- qq. La pared está comprimida por completo.
- rr. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

14. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁵⁸⁸:

- ss. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- tt. La pared está comprimida por completo.
- uu. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

15. Además podemos decir que:

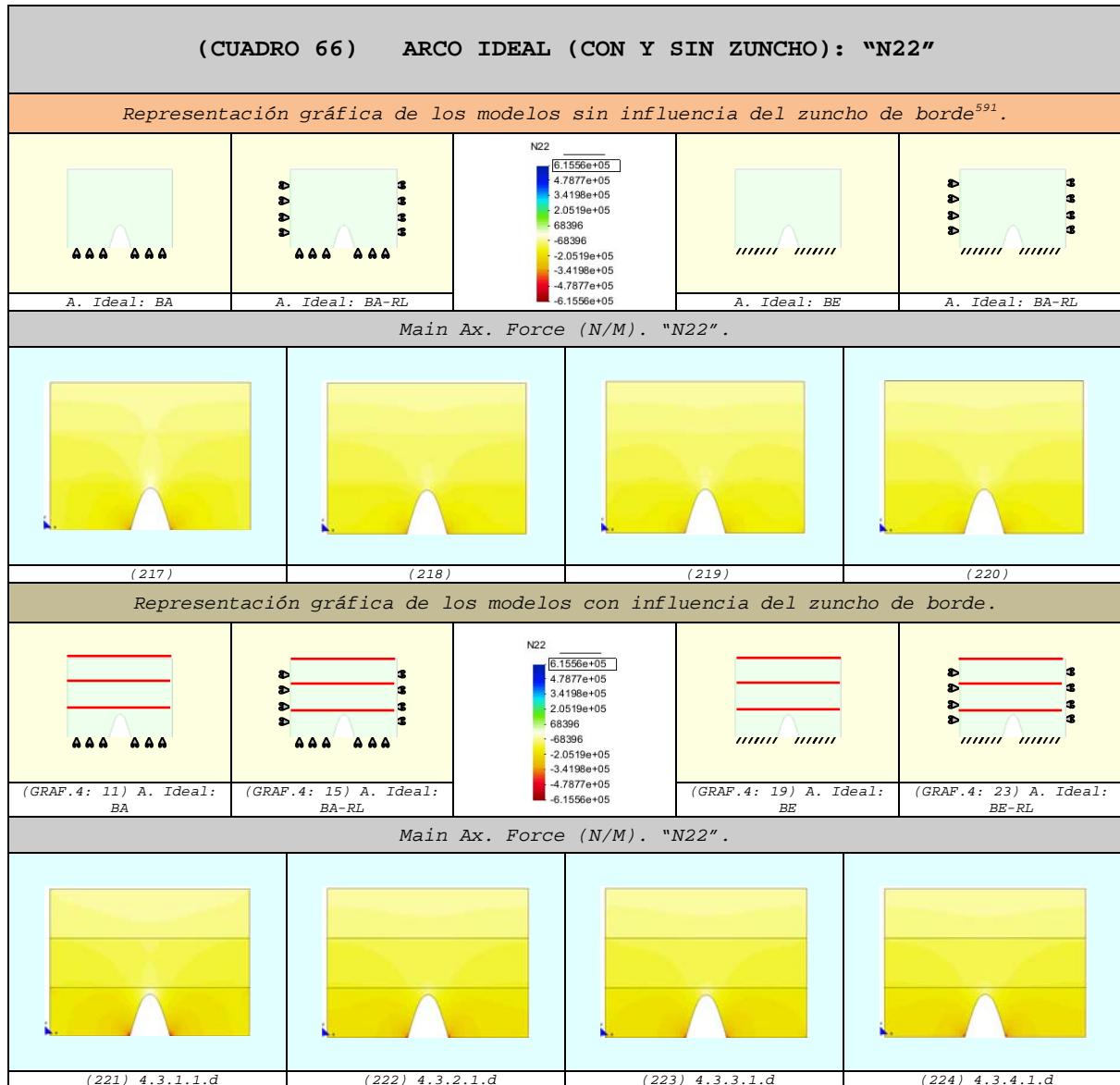
- vv. La influencia del zuncho en los modelos no es tan relevante al analizar los resultados de los vectores de las direcciones principales "Sii".
- ww. Los zunchos introducen un efecto de confinamiento en las paredes.
- xx. La existencia del zuncho hace que los modelos se compriman en mayor magnitud.
- yy. La influencia del zuncho es más visible en el modelo apoyado, aunque también es apreciable en los tres modelos restantes.

⁵⁸⁶ Comparar (214) y (210): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁵⁸⁷ Comparar (215) y (211): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁵⁸⁸ Comparar (216) y (212): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

4.6.1.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N22"
(N22) 589-590



16. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁵⁹²:

zz. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, se reducen considerablemente.

aaa. Prácticamente la pared está comprimida en su totalidad.

bbb. En la parte superior del arco tiende a disminuir la zona descomprimida de modo claro.

⁵⁸⁹ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nyy=Ny" de los diferentes modelos desarrollados.

⁵⁹⁰ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁵⁹¹ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁵⁹² Comparar (221) y (217): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

17. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁵⁹³:

- ccc. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- ddd. La pared está comprimida por completo.
- eee. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

18. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁵⁹⁴:

- fff. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- ggg. La pared está comprimida por completo.
- hhh. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

19. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁵⁹⁵:

- iii. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- jjj. La pared está comprimida por completo.
- kkk. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

20. Además podemos decir que:

- lll. La influencia del zuncho en los modelos no es tan relevante al analizar los resultados de las fuerzas "N22".
- mmm. Las paredes están más comprimidos, aunque es poco notorio.
- nnn. En el modelo con la base apoya es más importante la influencia de la presencia del zuncho⁵⁹⁶.

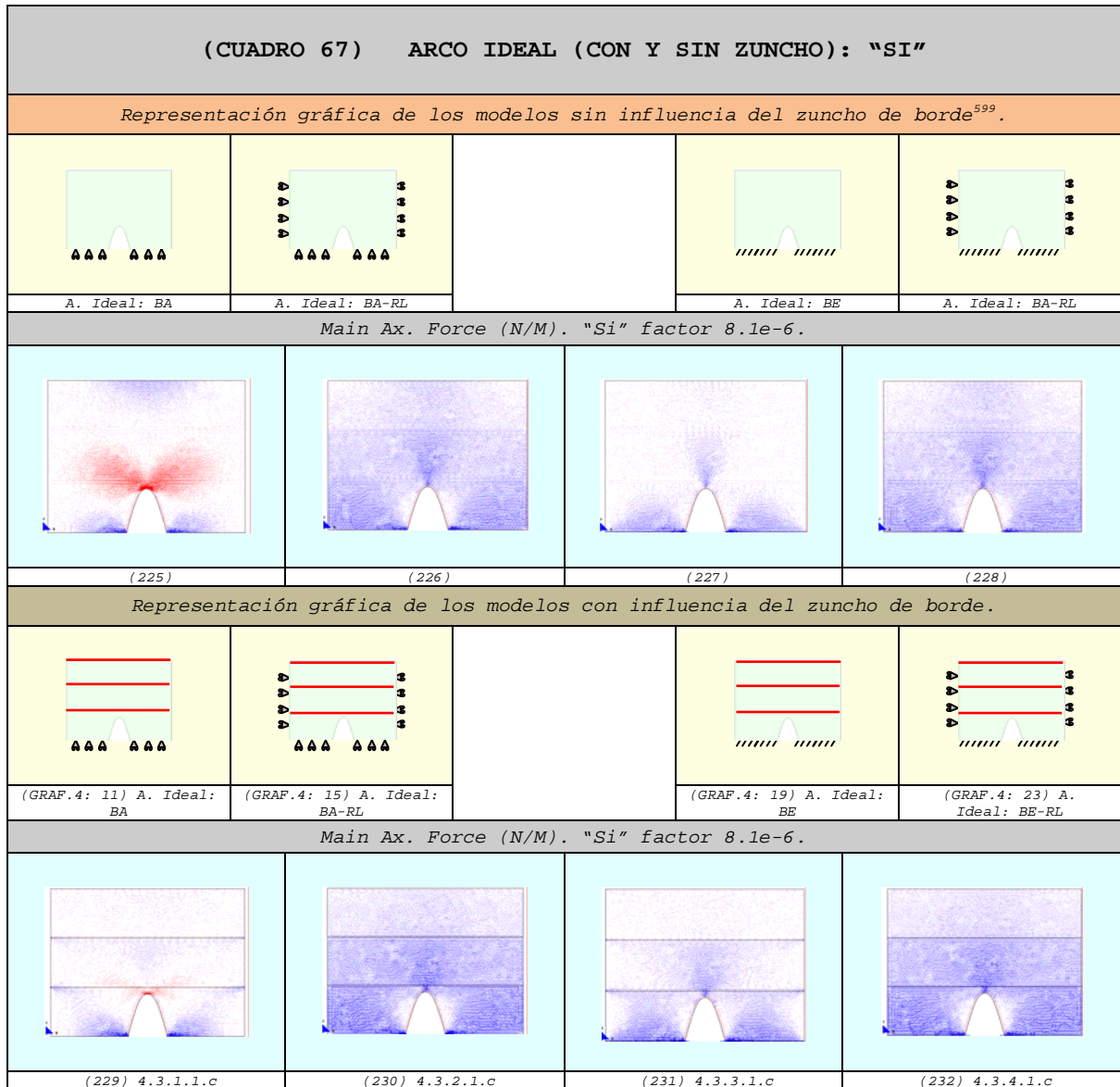
⁵⁹³ Comparar (222) y (218): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁵⁹⁴ Comparar (223) y (219): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁵⁹⁵ Comparar (224) y (220): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁵⁹⁶ Al reducir las tracciones de la clave del arco.

4.6.1.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11"
(Si) ⁵⁹⁷⁻⁵⁹⁸



- 21.** En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁶⁰⁰:
- ooo. La pared se comprime claramente.
 - ppp. Las tracciones se reducen de modo considerable.
 - qqq. Las máximas fuerzas de tracción se localizan en una zona bastante reducida.

⁵⁹⁷ Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N11".

⁵⁹⁸ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁵⁹⁹ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁶⁰⁰ Comparar (229) y (225): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

rrr. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho aparece concentración de compresiones.

22. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁶⁰¹:

sss. En la pared aumenta el grado de compresión, aunque de modo casi imperceptible.

ttt. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran más compresiones.

23. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁶⁰²:

uuu. En la pared aumenta su compresión y es superior con relación al modelo anterior.

vvv. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran las fuerzas de compresión de un modo más asentado⁶⁰³.

24. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁶⁰⁴:

www. En la pared aumenta el grado de compresión, aunque de modo casi imperceptible.

xxx. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran más compresiones.

25. Además podemos decir que:

yyy. En el sentido de los vectores "Si" repercute favorablemente la presencia del zuncho en la pared.

zzz. Los zunchos introducen en las paredes un claro efecto de confinamiento.

aaaa. La existencia del zuncho hace que los modelos se compriman en mayor magnitud.

bbbb. La influencia del zuncho es muy clara en el modelo apoyado⁶⁰⁵ ya que reduce visiblemente las tracciones de la pared⁶⁰⁶.

cccc. En los dos modelos con los lados restringidos es casi imperceptible el efecto de confinamiento⁶⁰⁷.

dddd. En el modelo con la base empotrada⁶⁰⁸ se aprecia la influencia del zuncho, aunque en menor grado que en el modelo con la base apoyada⁶⁰⁹.

⁶⁰¹ Comparar (230) y (226): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶⁰² Comparar (231) y (227): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶⁰³ Por ser las zonas con libertad de movimiento horizontal.

⁶⁰⁴ Comparar (232) y (228): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

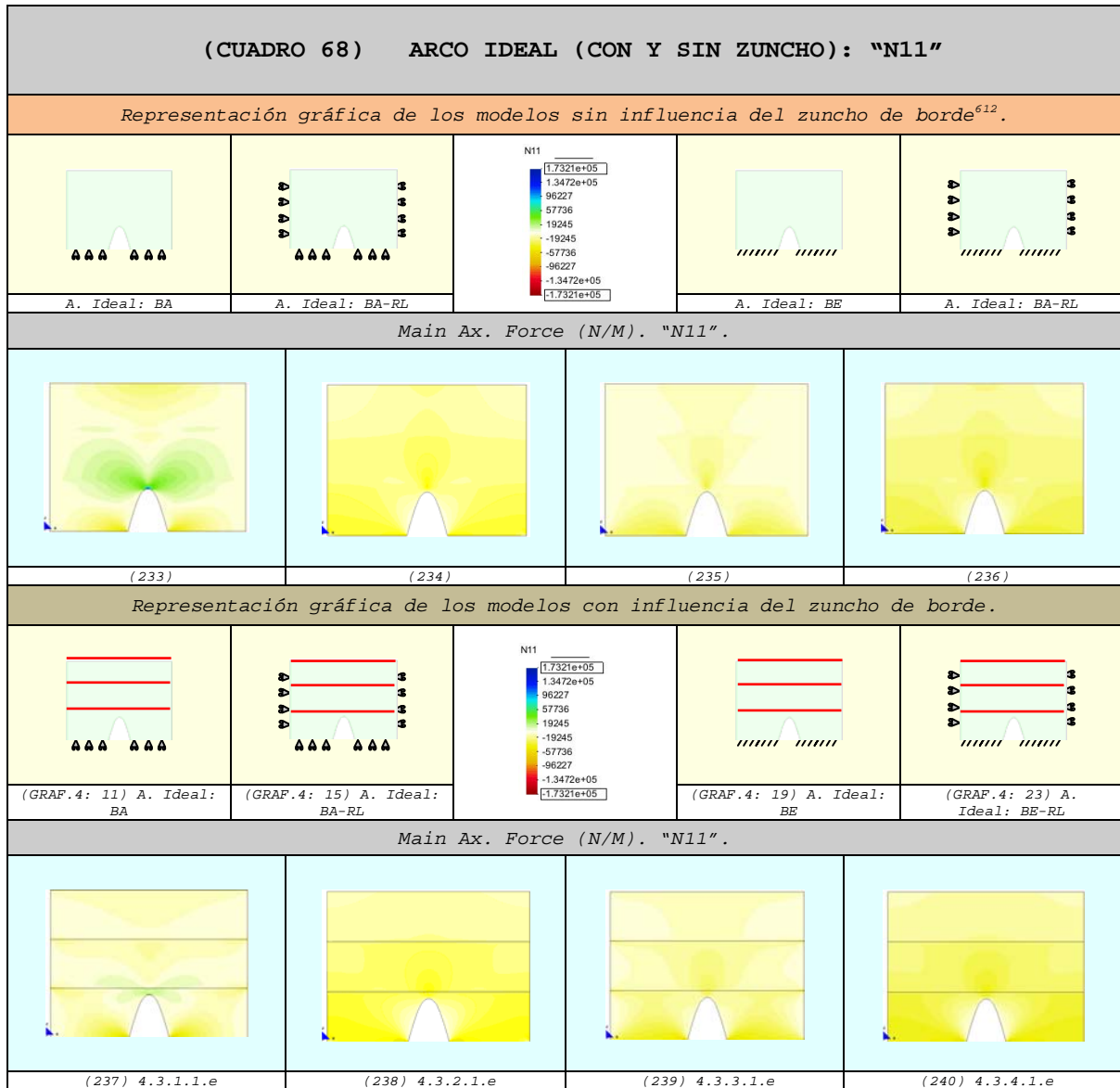
⁶⁰⁵ Comparar (229) y (225): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶⁰⁶ Por ser un modelo con libertad de movimientos horizontales.

⁶⁰⁷ Lo cual es razonable, teniendo en cuenta que dichos modelos están confinados horizontalmente con las condiciones de contorno impuestas en las caras laterales de las paredes.

⁶⁰⁸ Comparar (231) y (227): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

4.6.1.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N1"
(N11) 610-611



26. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁶¹³:

eeee. La pared se comprime claramente.

ffff. Las tracciones se reducen de modo considerable.

gggg. Las máximas fuerzas de tracción se localizan en una zona bastante reducida.

⁶⁰⁹ Es importante advertir que esta influencia no es tan notoria al tener restringido el movimiento horizontal en la base.

⁶¹⁰ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nxx-Nx" de los diferentes modelos desarrollados.

⁶¹¹ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁶¹² Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁶¹³ Comparar (237) y (233): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

hhhh. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho aparece concentración de compresiones.

27. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁶¹⁴:

iiii. En la pared aumenta el grado de compresión, aunque de modo casi imperceptible.

jjjj. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran más compresiones.

28. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁶¹⁵:

kkkk. En la pared aumenta su compresión y es superior con relación al modelo anterior.

llll. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran las fuerzas de compresión de un modo más asentado⁶¹⁶.

29. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁶¹⁷:

mmmm. En la pared aumenta el grado de compresión, aunque de modo casi imperceptible.

nnnn. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran más compresiones.

30. Además podemos decir que:

oooo. En el sentido de las fuerzas "N11" repercute favorablemente la presencia del zuncho en la pared.

pppp. Los zunchos introducen en las paredes un claro efecto de confinamiento.

qqqq. La existencia del zuncho hace que los modelos se compriman en mayor magnitud.

rrrr. La influencia del zuncho es muy clara en el modelo apoyado⁶¹⁸ ya que reduce visiblemente las tracciones de la pared⁶¹⁹.

ssss. En los dos modelos con los lados restringidos es casi imperceptible el efecto de confinamiento⁶²⁰.

tttt. En el modelo con la base empotrada⁶²¹ se aprecia la influencia del zuncho, aunque en menor grado que en el modelo con la base apoyada⁶²².

⁶¹⁴ Comparar (238) y (234): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶¹⁵ Comparar (239) y (235): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶¹⁶ Por ser las zonas con libertad de movimiento horizontal.

⁶¹⁷ Comparar (240) y (236): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶¹⁸ Comparar (229) y (225): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

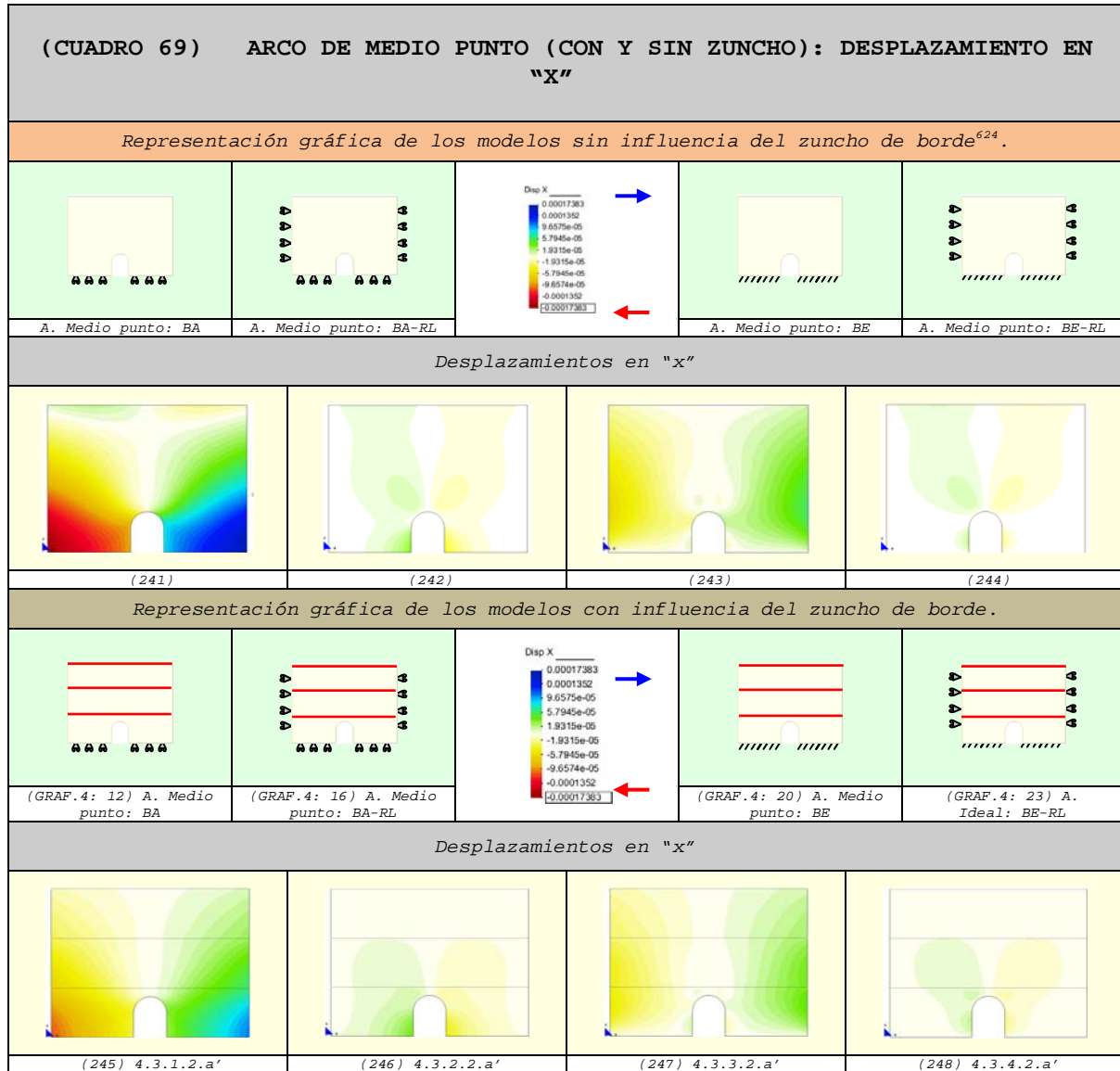
⁶¹⁹ Comparar (237) y (233): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶²⁰ Lo cual es razonable, teniendo en cuenta que dichos modelos están confinados horizontalmente con las condiciones de contorno impuestas en las caras laterales de las paredes.

⁶²¹ Comparar (239) y (235): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

4.6.2 Hueco con arco de medio punto

4.6.2.1 Comparación de los Desplazamientos

4.6.2.1.1 Desplazamientos en "x" ⁶²³

1. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁶²⁵:
 - a. La pared se deforma de un modo más homogéneo.
 - b. Los desplazamientos laterales se reducen considerablemente.
 - c. Los desplazamientos con sentido contrario localizados en la parte superior del modelo sin zuncho desaparecen.

⁶²² Es importante advertir que esta influencia no es tan notoria al tener restringido el movimiento horizontal en la base.

⁶²³ Los desplazamientos hacia el lado derecho se representan con la gama de colores fríos (verde-azul) y los desplazamientos hacia el lado izquierdo con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo).

⁶²⁴ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁶²⁵ Comparar (245) y (241): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

2. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁶²⁶:

- d. Los desplazamientos ubicados en la base del modelo se reducen de modo claro.
- e. Las deformaciones laterales se concentran en la base del arco y tienen una magnitud, relativamente, mayor en comparación con el modelo sin zuncho.
- f. A nivel del último forjado también disminuyen los movimientos en la pared.

3. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁶²⁷:

- g. Las diferencias no son tan relevantes.
- h. Las deformaciones tienden a reducirse⁶²⁸.
- i. Las máximas deformaciones descienden con respecto a los modelos sin la influencia del zuncho.

4. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁶²⁹:

- j. Los desplazamientos ubicados en la base del modelo se reducen de modo claro.
- k. Las deformaciones laterales se concentran en las caras laterales del hueco y tienen una magnitud, relativamente, mayor en comparación con el modelo sin zuncho.
- l. A nivel del último forjado también disminuyen los movimientos en la pared.

5. Además podemos decir que:

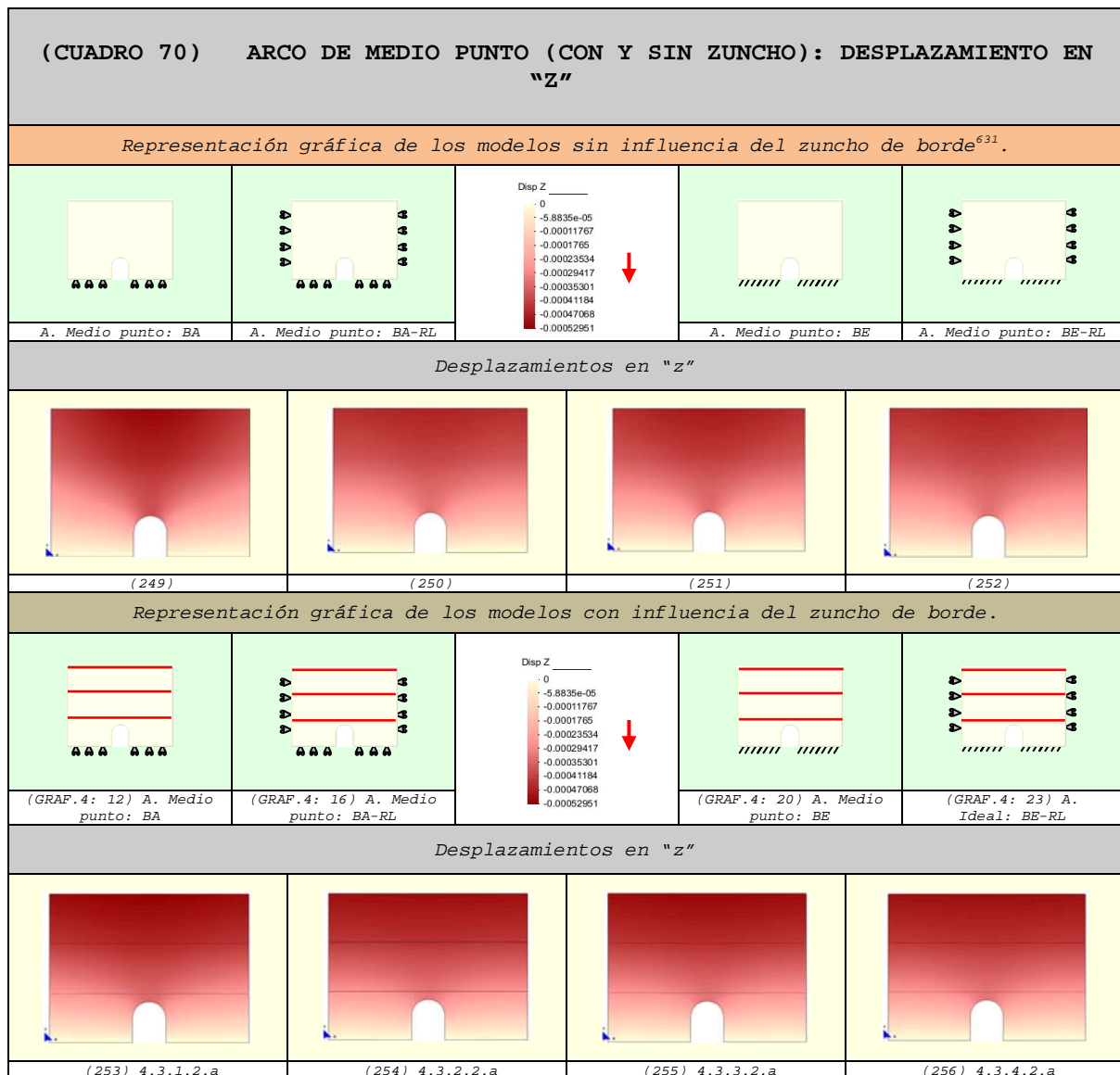
- m. Los zunchos introducen un claro efecto de confinamiento en las paredes.
- n. La existencia del zuncho hace que los modelos se deformen en menor grado.
- o. La influencia del zuncho es más clara en el modelo apoyado y en los dos modelos con restricciones laterales.
- p. El zuncho no aporta gran ayuda al modelo con la base empotrada.

⁶²⁶ Comparar (246) y (242): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶²⁷ Comparar (247) y (243): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶²⁸ Aunque en menor grado que en los casos restantes.

⁶²⁹ Comparar (248) y (244): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

4.6.2.1.2 Desplazamientos en "z" ⁶³⁰

6. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁶³²:

- q. La pared se deforma de un modo más homogéneo.
- r. Los desplazamientos verticales tienden a alejarse de la clave del arco.

7. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁶³³:

- s. Los desplazamientos ubicados en la base del modelo se reducen de modo claro.

⁶³⁰ Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se acerca al rojo intenso.

⁶³¹ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁶³² Comparar (253) y (249): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶³³ Comparar (254) y (250): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

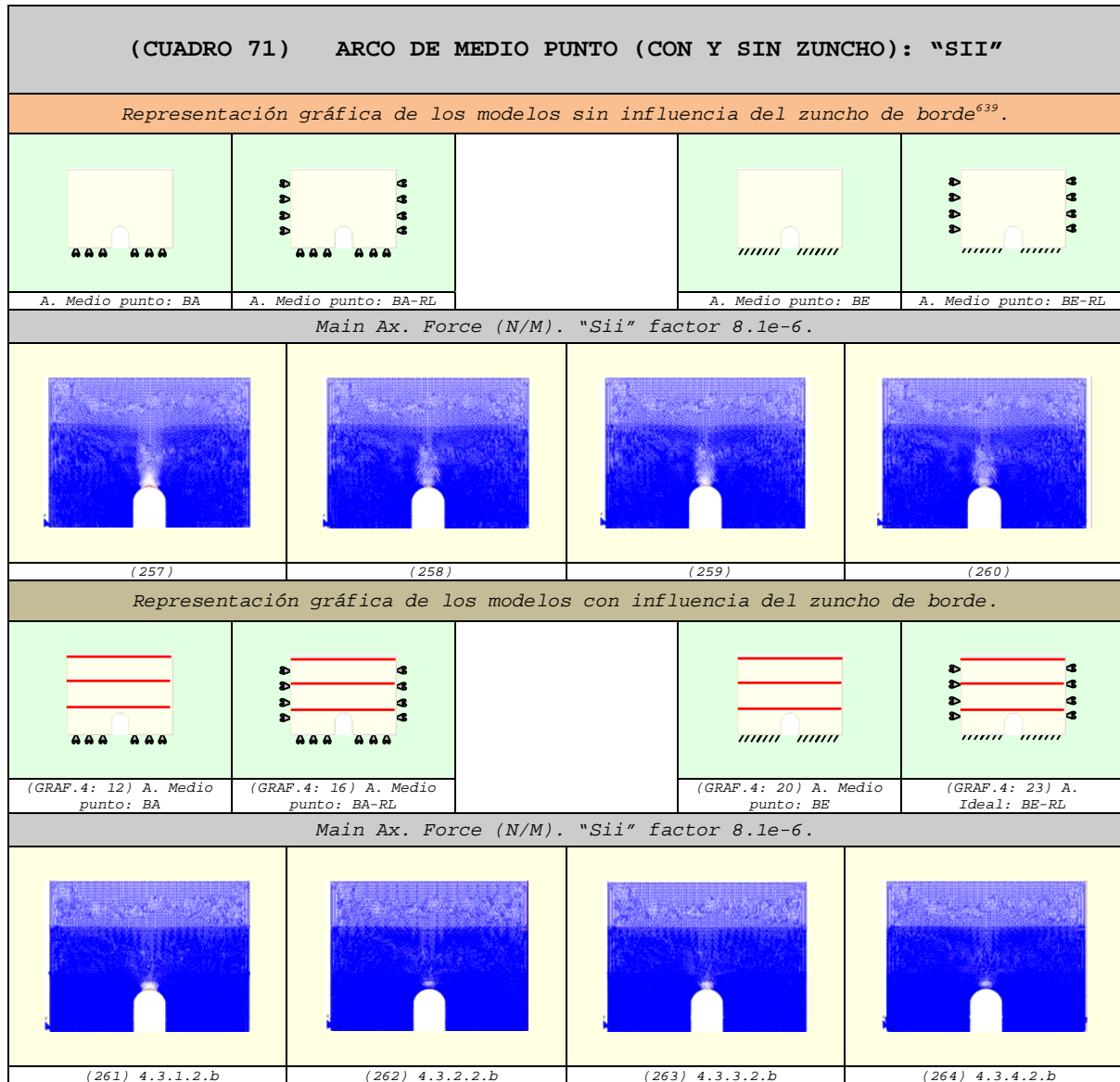
- t. Las deformaciones laterales se concentran en la clave del arco y tienen una magnitud mayor en comparación con el modelo sin zuncho.
- u. A nivel del último forjado también disminuyen los movimientos en la pared.
8. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁶³⁴:
- v. Las diferencias no son tan relevantes.
- w. Las deformaciones tienden a reducirse⁶³⁵.
- x. En la clave del arco se produce una concentración relativamente mayor de desplazamientos.
- y. Las máximas deformaciones descienden con respecto a los modelos sin la influencia del zuncho.
9. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁶³⁶:
- z. El resultado que se obtiene es el mismo que en el modelo apoyado con restricciones laterales.
- aa. Los desplazamientos ubicados en la base del modelo se reducen de modo claro.
- bb. Las deformaciones laterales se concentran en la clave del arco y tienen una magnitud mayor en comparación con el modelo sin zuncho.
- cc. A nivel del último forjado también disminuyen los movimientos en la pared.
10. Además podemos decir que:
- dd. Los zunchos introducen un claro efecto de confinamiento en las paredes.
- ee. La existencia del zuncho hace que los modelos se deformen en menor grado.
- ff. La influencia del zuncho es más clara en el modelo apoyado y en los dos modelos con restricciones laterales.
- gg. El zuncho no aporta gran ayuda al modelo con la base empotrada.

⁶³⁴ Comparar (255) y (251): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶³⁵ Aunque en menor grado que en los casos restantes.

⁶³⁶ Comparar (256) y (252): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

4.6.2.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22"
(Sii) 637-638



11. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁶⁴⁰:

hh. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, se reducen considerablemente.

ii. Prácticamente la pared está comprimida en su totalidad.

jj. En la parte superior del arco tiende a disminuir la zona descomprimida de modo claro.

⁶³⁷ Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N22".

⁶³⁸ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁶³⁹ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁶⁴⁰ Comparar (261) y (257): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

12. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁶⁴¹:

- kk. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- ll. La pared está comprimida por completo.
- mm. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

13. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁶⁴²:

- nn. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- oo. La pared está comprimida por completo.
- pp. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

14. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁶⁴³:

- qq. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- rr. La pared está comprimida por completo.
- ss. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

15. Además podemos decir que:

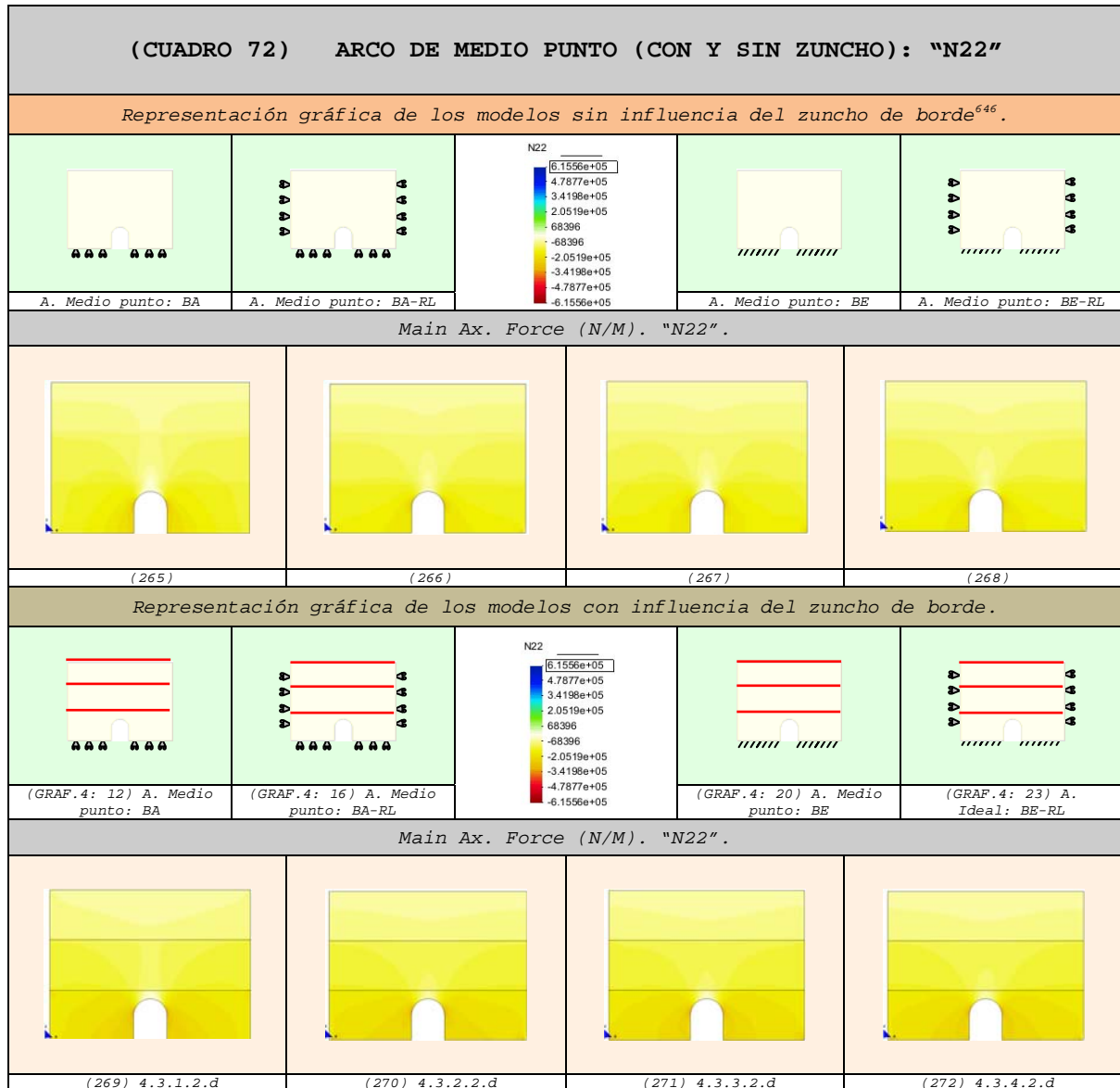
- tt. La influencia del zuncho en los modelos no es tan relevante al analizar los resultados de los vectores de las direcciones principales "Sii".
- uu. Los zunchos introducen un efecto de confinamiento en las paredes.
- vv. La existencia del zuncho hace que los modelos se compriman en mayor magnitud.
- ww. La influencia del zuncho es más visible en el modelo apoyado, aunque también es apreciable en los tres modelos restantes.

⁶⁴¹ Comparar (262) y (258): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶⁴² Comparar (263) y (259): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶⁴³ Comparar (264) y (260): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

4.6.2.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N22"
(N22) 644-645



16. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁶⁴⁷:

- xx. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, se reducen considerablemente.
- yy. Prácticamente la pared está comprimida en su totalidad.
- zz. En la parte superior del arco tiende a disminuir la zona descomprimida de modo claro.

⁶⁴⁴ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nyy=Ny" de los diferentes modelos desarrollados.

⁶⁴⁵ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁶⁴⁶ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁶⁴⁷ Comparar (269) y (265): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

17. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁶⁴⁸:

- aaa. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- bbb. La pared está comprimida por completo.
- ccc. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

18. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁶⁴⁹:

- ddd. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- eee. La pared está comprimida por completo.
- fff. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

19. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁶⁵⁰:

- ggg. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- hhh. La pared está comprimida por completo.
- iii. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

20. Además podemos decir que:

- jjj. La influencia del zuncho en los modelos no es tan relevante al analizar los resultados de las fuerzas "N22".
- kkk. Las paredes están más comprimidos, aunque es poco notorio.
- lll. En el modelo con la base apoya es más importante la influencia de la presencia del zuncho⁶⁵¹.

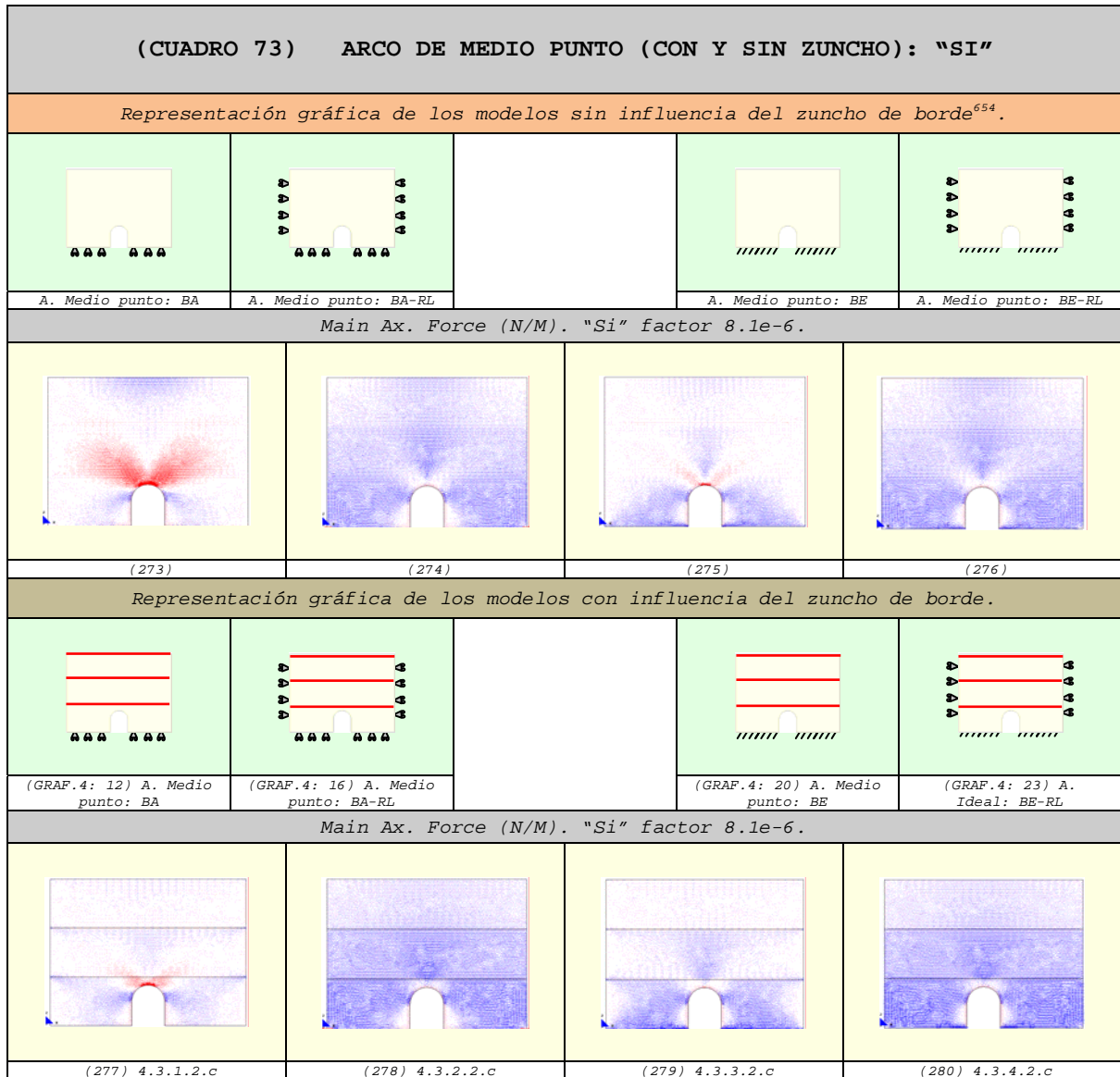
⁶⁴⁸ Comparar (270) y (266): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶⁴⁹ Comparar (271) y (267): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶⁵⁰ Comparar (272) y (268): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶⁵¹ Al reducir las tracciones de la clave del arco.

4.6.2.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11"
(Si) ⁶⁵²⁻⁶⁵³



21. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁶⁵⁵:

mmm. La pared se comprime claramente.

nnn. Las tracciones se reducen de modo considerable.

ooo. Las máximas fuerzas de tracción se localizan en una zona bastante reducida.

⁶⁵² Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N11".

⁶⁵³ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁶⁵⁴ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁶⁵⁵ Comparar (277) y (273): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

ppp. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho aparece concentración de compresiones.

22. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁶⁵⁶:

qqq. En la pared aumenta el grado de compresión, aunque de modo casi imperceptible.

rrr. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran más compresiones.

23. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁶⁵⁷:

sss. En la pared aumenta su compresión y es superior con relación al modelo anterior.

ttt. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran las fuerzas de compresión de un modo más asentado⁶⁵⁸.

24. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁶⁵⁹:

uuu. En la pared aumenta el grado de compresión, aunque de modo casi imperceptible.

vvv. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran más compresiones.

25. Además podemos decir que:

www. En el sentido de los vectores "Si" repercute favorablemente la presencia del zuncho en la pared.

xxx. Los zunchos introducen en las paredes un claro efecto de confinamiento.

yyy. La existencia del zuncho hace que los modelos se compriman en mayor magnitud.

zzz. La influencia del zuncho es muy clara en el modelo apoyado⁶⁶⁰ ya que reduce visiblemente las tracciones de la pared.

aaaa. En los dos modelos con los lados restringidos es casi imperceptible el efecto de confinamiento⁶⁶¹.

bbbb. En el modelo con la base empotrada⁶⁶² se aprecia la influencia del zuncho, aunque en menor grado que en el modelo con la base apoyada⁶⁶³.

⁶⁵⁶ Comparar (278) y (274): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶⁵⁷ Comparar (279) y (275): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶⁵⁸ Por ser las zonas con libertad de movimiento horizontal.

⁶⁵⁹ Comparar (280) y (276): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

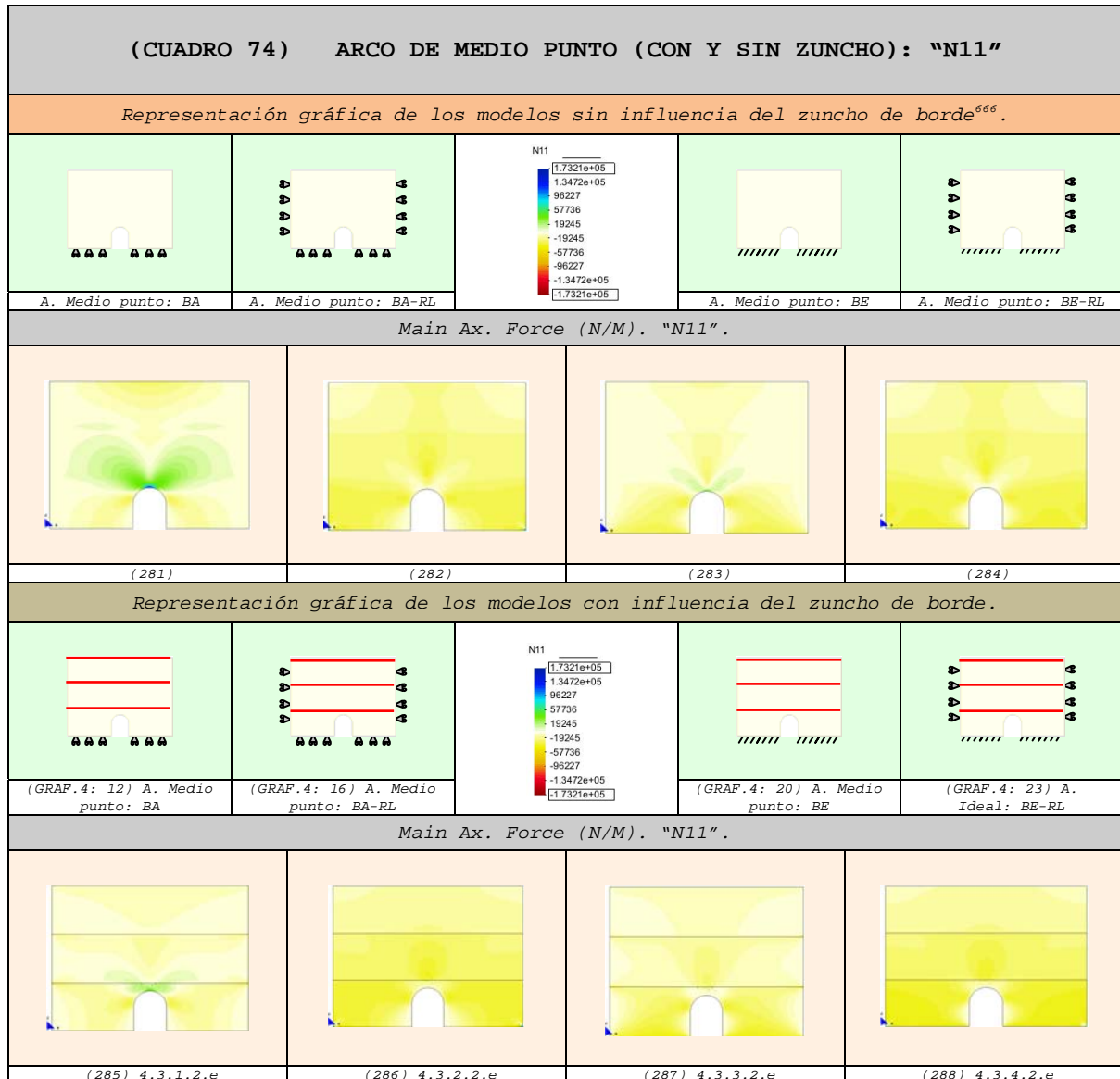
⁶⁶⁰ Comparar (277) y (273): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶⁶¹ Lo cual es razonable, teniendo en cuenta que dichos modelos están confinados horizontalmente con las condiciones de contorno impuestas en las caras laterales de las paredes.

⁶⁶² Comparar (279) y (275): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶⁶³ Es importante advertir que esta influencia no es tan notoria al tener restringido el movimiento horizontal en la base.

4.6.2.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N11"
(N11) 664-665



26. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁶⁶⁷:

cccc. La pared se comprime claramente.

dddd. Las tracciones se reducen de modo considerable.

eeee. Las máximas fuerzas de tracción se localizan en una zona bastante reducida.

⁶⁶⁴ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nxx-Nx" de los diferentes modelos desarrollados.

⁶⁶⁵ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁶⁶⁶ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁶⁶⁷ Comparar (285) y (281): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

ffff. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho aparece concentración de compresiones.

27. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁶⁶⁸:

gggg. En la pared aumenta el grado de compresión, aunque de modo casi imperceptible.

hhhh. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran más compresiones.

28. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁶⁶⁹:

iiii. En la pared aumenta su compresión y es superior con relación al modelo anterior.

jjjj. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran las fuerzas de compresión de un modo más asentado⁶⁷⁰.

29. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁶⁷¹:

kkkk. En la pared aumenta el grado de compresión, aunque de modo casi imperceptible.

llll. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran más compresiones.

30. Además podemos decir que:

mmmm. En el sentido de las fuerzas "N11" repercute favorablemente la presencia del zuncho en la pared.

nnnn. Los zunchos introducen en las paredes un claro efecto de confinamiento.

oooo. La existencia del zuncho hace que los modelos se compriman en mayor magnitud.

pppp. La influencia del zuncho es muy clara en el modelo apoyado⁶⁷² ya que reduce visiblemente las tracciones de la pared.

qqqq. En los dos modelos con los lados restringidos es casi imperceptible el efecto de confinamiento⁶⁷³.

rrrr. En el modelo con la base empotrada⁶⁷⁴ se aprecia la influencia del zuncho, aunque en menor grado que en el modelo con la base apoyada⁶⁷⁵.

⁶⁶⁸ Comparar (286) y (282): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶⁶⁹ Comparar (287) y (283): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶⁷⁰ Por ser las zonas con libertad de movimiento horizontal.

⁶⁷¹ Comparar (288) y (284): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶⁷² Comparar (285) y (281): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

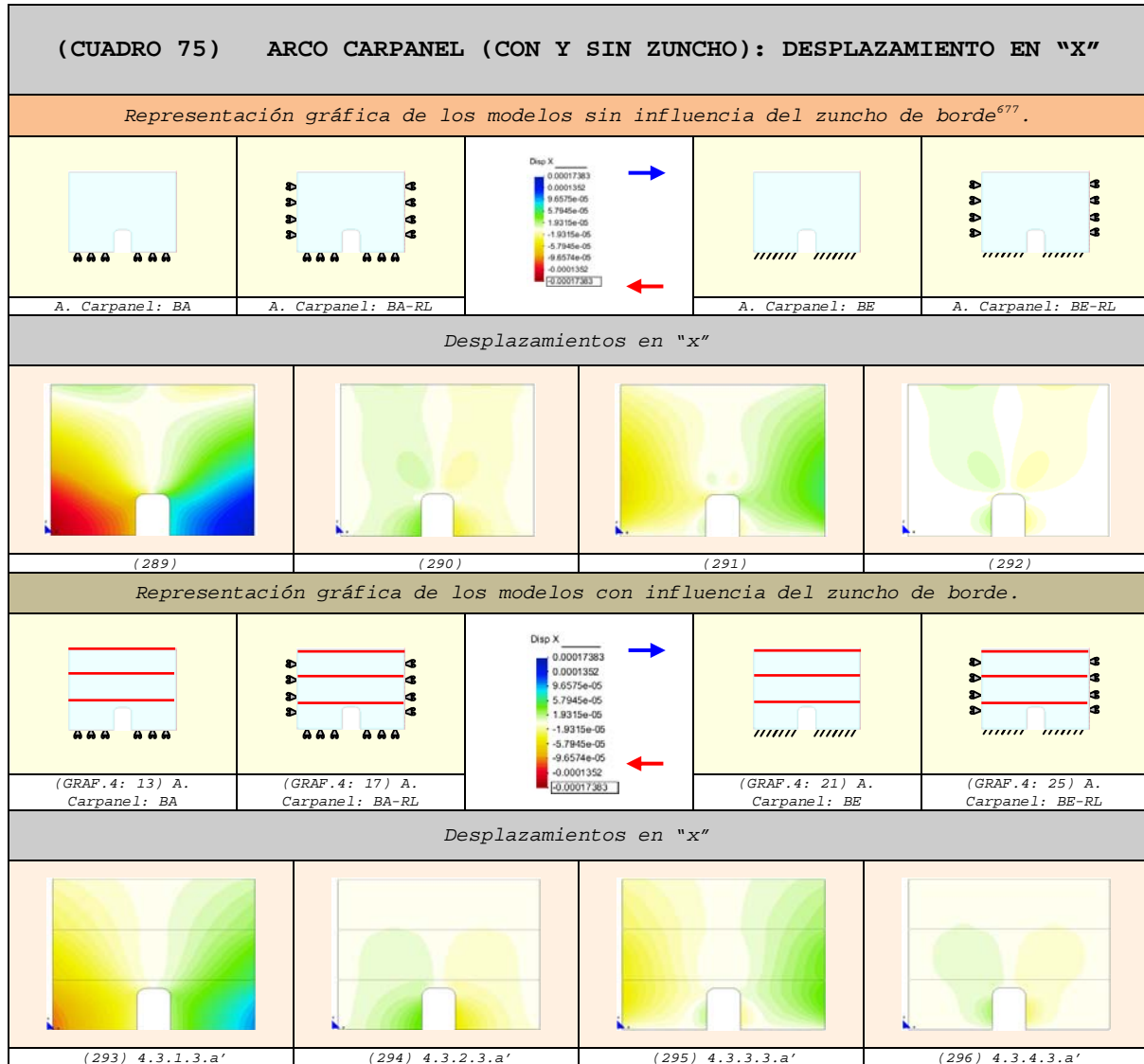
⁶⁷³ Lo cual es razonable, teniendo en cuenta que dichos modelos están confinados horizontalmente con las condiciones de contorno impuestas en las caras laterales de las paredes.

⁶⁷⁴ Comparar (239) y (235): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶⁷⁵ Comparar (287) y (283): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

4.6.3 Hueco con arco carpanel

4.6.3.1 Comparación de los Desplazamientos

4.6.3.1.1 Desplazamientos en "x" ⁶⁷⁶

1. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁶⁷⁸:
 - a. La pared se deforma de un modo más homogéneo.
 - b. Los desplazamientos laterales se reducen considerablemente.
 - c. Los desplazamientos con sentido contrario localizados en la parte superior del modelo sin zuncho desaparecen.

⁶⁷⁶ Los desplazamientos hacia el lado derecho se representan con la gama de colores fríos (verde-azul) y los desplazamientos hacia el lado izquierdo con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo).

⁶⁷⁷ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁶⁷⁸ Comparar (293) y (289): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

2. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁶⁷⁹:

- d. Los desplazamientos ubicados en la base del modelo se reducen de modo claro.
- e. Las deformaciones laterales se concentran en la base del arco y tienen una magnitud, relativamente, mayor en comparación con el modelo sin zuncho.
- f. A nivel del último forjado también disminuyen los movimientos en la pared.

3. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁶⁸⁰:

- g. Las diferencias no son tan relevantes.
- h. Las deformaciones tienden a reducirse⁶⁸¹.
- i. Las máximas deformaciones descienden con respecto a los modelos sin la influencia del zuncho.

4. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁶⁸²:

- j. El resultado que se obtiene es el mismo que en el modelo apoyado con restricciones laterales.
- k. Los desplazamientos ubicados en la base del modelo se reducen de modo claro.
- l. Las deformaciones laterales se concentran en la base del arco y tienen una magnitud, relativamente, mayor en comparación con el modelo sin zuncho.
- m. A nivel del último forjado también disminuyen los movimientos en la pared.

5. Además podemos decir que:

- n. Los zunchos introducen un claro efecto de confinamiento en las paredes.
- o. La existencia del zuncho hace que los modelos se deformen en menor grado.
- p. La influencia del zuncho es más clara en el modelo apoyado y en los dos modelos con restricciones laterales.
- q. El zuncho no aporta gran ayuda al modelo con la base empotrada.

⁶⁷⁹ Comparar (294) y (290): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶⁸⁰ Comparar (295) y (291): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶⁸¹ Aunque en menor grado que en los casos restantes.

⁶⁸² Comparar (296) y (292): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

4.6.3.1.2 Desplazamientos en "z" ⁶⁸³

6. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁶⁸⁵:

- r. La pared se deforma de un modo más homogéneo.
- s. Los desplazamientos verticales tienden a alejarse de la clave del arco.

7. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁶⁸⁶:

- t. Los desplazamientos ubicados en la base del modelo se reducen de modo claro.

⁶⁸³ Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se acerca al rojo intenso.

⁶⁸⁴ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁶⁸⁵ Comparar (301) y (297): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶⁸⁶ Comparar (302) y (298): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

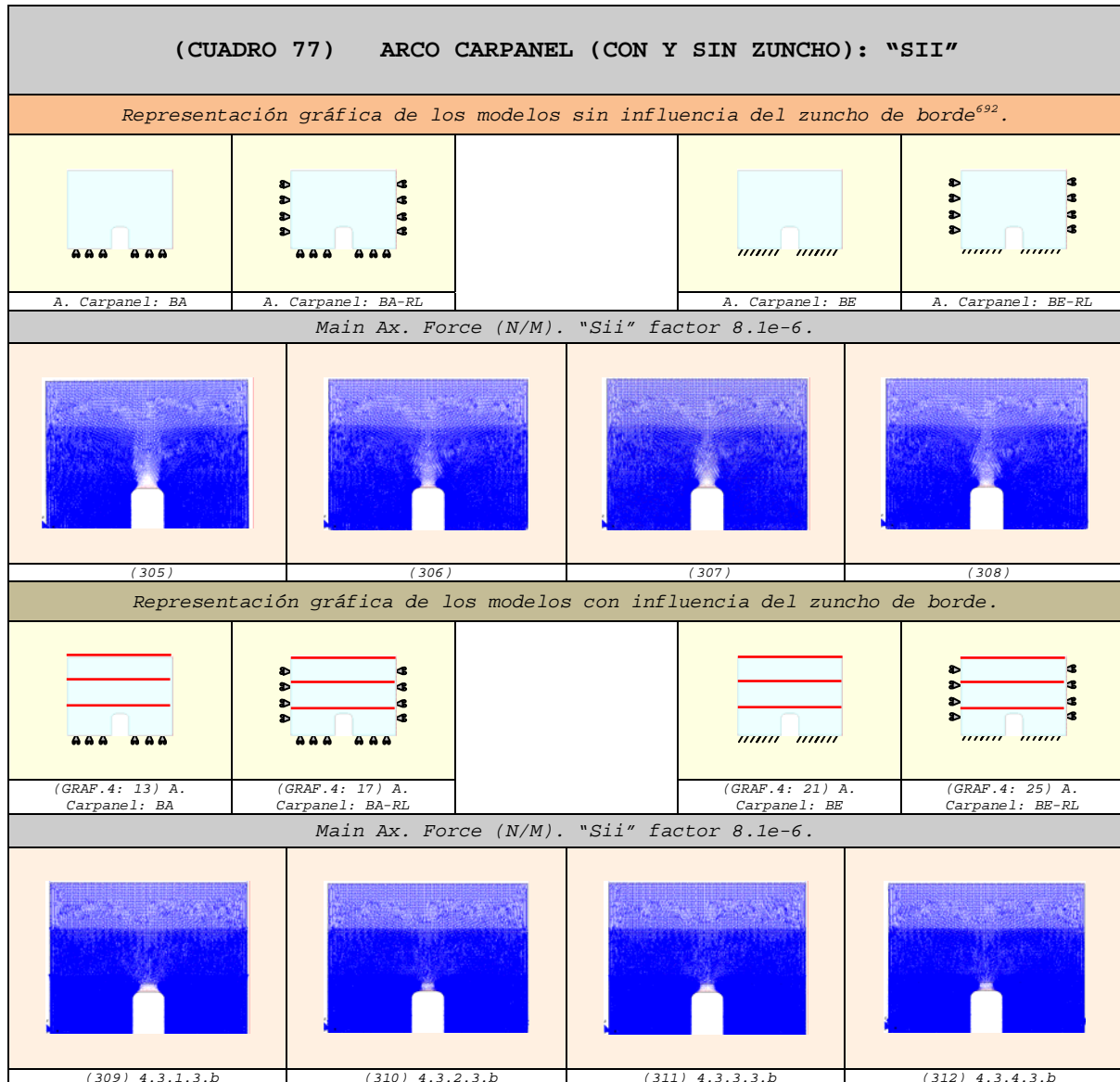
- u. Las deformaciones laterales se concentran en la clave del arco y tienen una magnitud mayor en comparación con el modelo sin zuncho.
- v. A nivel del último forjado también disminuyen los movimientos en la pared.
- 8. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁶⁸⁷:
- w. Las diferencias no son tan relevantes.
- x. Las deformaciones tienden a reducirse⁶⁸⁸.
- y. En la clave del arco se produce una concentración relativamente mayor de desplazamientos de desplazamientos.
- z. Las máximas deformaciones descienden con respecto a los modelos sin la influencia del zuncho.
- 9. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁶⁸⁹:
- aa. El resultado que se obtiene es el mismo que en el modelo apoyado con restricciones laterales.
- bb. Los desplazamientos ubicados en la base del modelo se reducen de modo claro.
- cc. Las deformaciones laterales se concentran en la clave del arco y tienen una magnitud mayor en comparación con el modelo sin zuncho.
- dd. A nivel del último forjado también disminuyen los movimientos en la pared.
- 10. Además podemos decir que:
- ee. Los zunchos introducen un claro efecto de confinamiento en las paredes.
- ff. La existencia del zuncho hace que los modelos se deformen en menor grado.
- gg. La influencia del zuncho es más clara en el modelo apoyado y en los dos modelos con restricciones laterales.
- hh. El zuncho no aporta gran ayuda al modelo con la base empotrada.

⁶⁸⁷ Comparar (303) y (299): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶⁸⁸ Aunque en menor grado que en los casos restantes.

⁶⁸⁹ Comparar (304) y (300): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

4.6.3.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22"
(Sii) ⁶⁹⁰⁻⁶⁹¹



11. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁶⁹³:
- ii. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, se reducen considerablemente.
 - jj. Prácticamente la pared está comprimida en su totalidad.
 - kk. En la parte superior del arco tiende a disminuir la zona descomprimida de modo claro.

⁶⁹⁰ Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N22".

⁶⁹¹ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁶⁹² Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁶⁹³ Comparar (309) y (305): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

12. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁶⁹⁴:

- ll. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- mm. La pared está comprimida por completo.
- nn. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

13. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁶⁹⁵:

- oo. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- pp. La pared está comprimida por completo.
- qq. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

14. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁶⁹⁶:

- rr. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- ss. La pared está comprimida por completo.
- tt. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

15. Además podemos decir que:

- uu. La influencia del zuncho en los modelos no es tan relevante al analizar los resultados de los vectores de las direcciones principales "Sii".
- vv. Los zunchos introducen un efecto de confinamiento en las paredes.
- ww. La existencia del zuncho hace que los modelos se compriman en mayor magnitud.
- xx. La influencia del zuncho es más visible en el modelo apoyado, aunque también es apreciable en los tres modelos restantes.

⁶⁹⁴ Comparar (310) y (306): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶⁹⁵ Comparar (311) y (307): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁶⁹⁶ Comparar (312) y (308): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

4.6.3.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N22" (N22) 697-698



16. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁷⁰⁰:

yy. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, se reducen considerablemente.

zz. Prácticamente la pared está comprimida en su totalidad.

aaa. En la parte superior del arco tiende a disminuir la zona descomprimida de modo claro.

⁶⁹⁷ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nyy=Ny" de los diferentes modelos desarrollados.

⁶⁹⁸ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁶⁹⁹ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁷⁰⁰ Comparar (317) y (313): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

17. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁷⁰¹:

- bbb. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- ccc. La pared está comprimida por completo.
- ddd. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

18. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁷⁰²:

- eee. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- fff. La pared está comprimida por completo.
- ggg. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

19. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁷⁰³:

- hhh. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- iii. La pared está comprimida por completo.
- jjj. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

20. Además podemos decir que:

- kkk. La influencia del zuncho en los modelos no es tan relevante al analizar los resultados de las fuerzas "N22".
- lll. Las paredes están más comprimidos, aunque es poco notorio.
- mmm. En el modelo con la base apoya es más importante la influencia de la presencia del zuncho⁷⁰⁴.

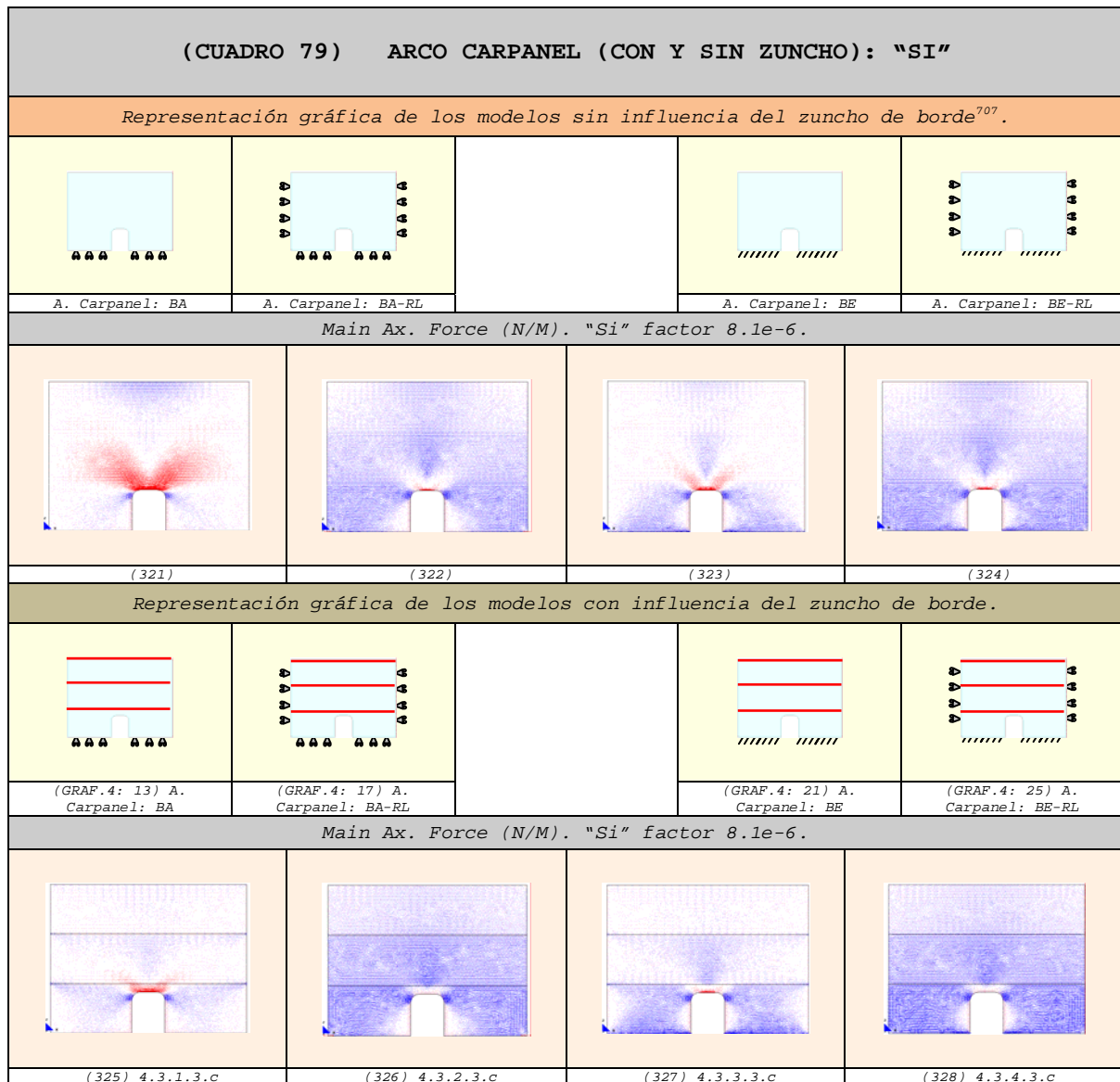
⁷⁰¹ Comparar (318) y (314): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷⁰² Comparar (319) y (315): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷⁰³ Comparar (320) y (316): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷⁰⁴ Al reducir las tracciones de la clave del arco.

4.6.3.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11"
(Si) ⁷⁰⁵⁻⁷⁰⁶



21. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁷⁰⁸:
- nnn. La pared se comprime claramente.
 - ooo. Las tracciones se reducen de modo considerable.
 - ppp. Las máximas fuerzas de tracción se localizan en una zona bastante reducida.

⁷⁰⁵ Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N11".

⁷⁰⁶ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁷⁰⁷ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁷⁰⁸ Comparar (325) y (321): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

qqq. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho aparece concentración de compresiones.

22. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁷⁰⁹:

rrr. En la pared aumenta el grado de compresión, aunque de modo casi imperceptible.

sss. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran más compresiones.

23. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁷¹⁰:

ttt. En la pared aumenta su compresión y es superior con relación al modelo anterior.

uuu. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran las fuerzas de compresión de un modo más asentado⁷¹¹.

24. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁷¹²:

vvv. En la pared aumenta el grado de compresión, aunque de modo casi imperceptible.

www. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran más compresiones.

25. Además podemos decir que:

xxx. En el sentido de los vectores "Si" repercute favorablemente la presencia del zuncho en la pared.

yyy. Los zunchos introducen en las paredes un claro efecto de confinamiento.

zzz. La existencia del zuncho hace que los modelos se compriman en mayor magnitud.

aaaa. La influencia del zuncho es muy clara en el modelo apoyado⁷¹³ ya que reduce visiblemente las tracciones de la pared.

bbbb. En los dos modelos con los lados restringidos es casi imperceptible el efecto de confinamiento⁷¹⁴.

cccc. En el modelo con la base empotrada⁷¹⁵ se aprecia la influencia del zuncho, aunque en menor grado que en el modelo con la base apoyada⁷¹⁶.

⁷⁰⁹ Comparar (326) y (322): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷¹⁰ Comparar (327) y (323): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷¹¹ Por ser las zonas con libertad de movimiento horizontal.

⁷¹² Comparar (328) y (324): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

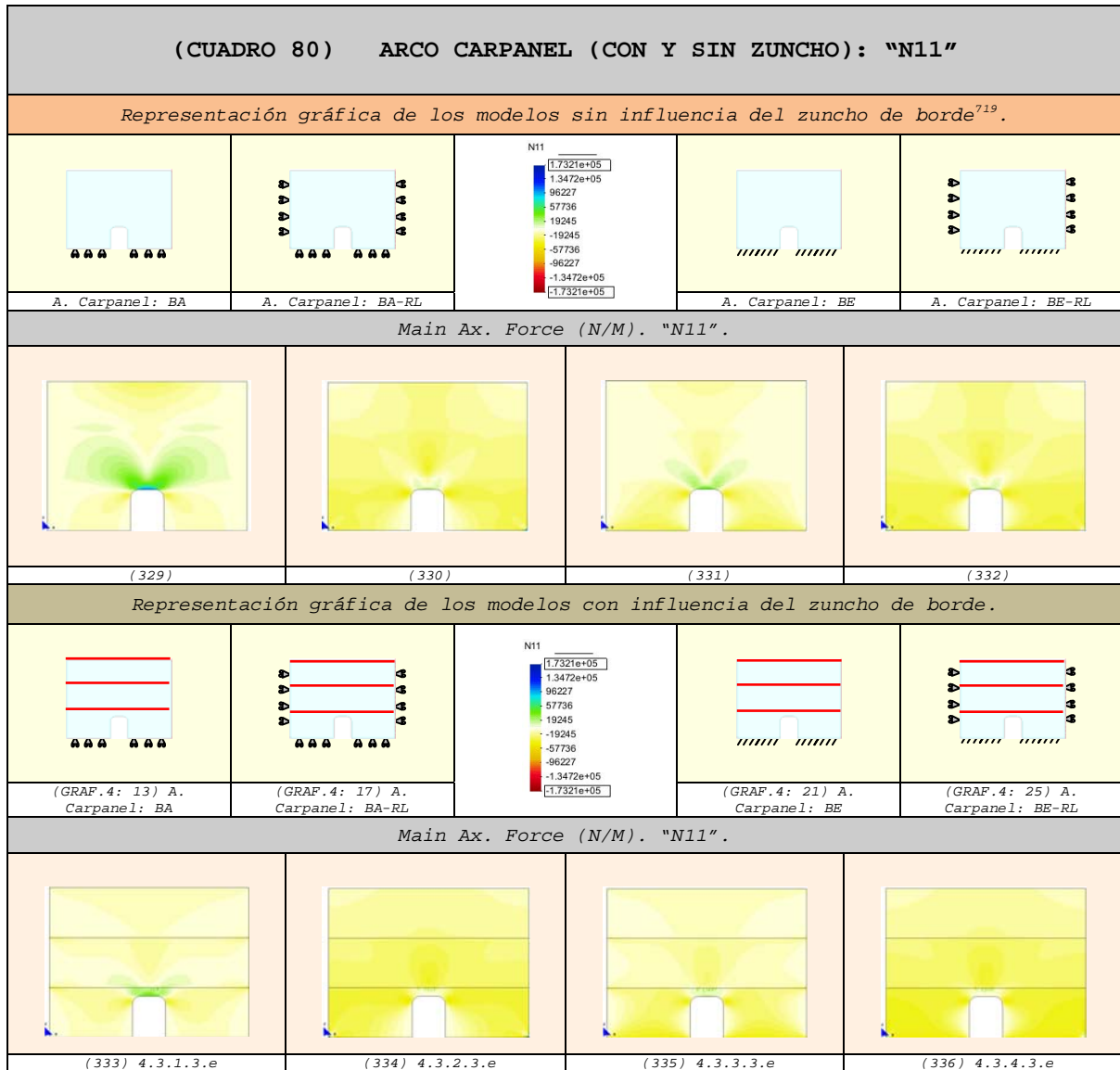
⁷¹³ Comparar (325) y (321): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷¹⁴ Lo cual es razonable, teniendo en cuenta que dichos modelos están confinados horizontalmente con las condiciones de contorno impuestas en las caras laterales de las paredes.

⁷¹⁵ Comparar (327) y (323): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷¹⁶ Es importante advertir que esta influencia no es tan notoria al tener restringido el movimiento horizontal en la base.

4.6.3.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N11"
(N11) ⁷¹⁷⁻⁷¹⁸



26. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁷²⁰:
- dddd. La pared se comprime claramente.
 - eeee. Las tracciones se reducen de modo considerable.
 - ffff. Las máximas fuerzas de tracción se localizan en una zona bastante reducida.
 - gggg. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho aparece concentración de compresiones.

⁷¹⁷ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nxx-Nx'" de los diferentes modelos desarrollados.

⁷¹⁸ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁷¹⁹ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁷²⁰ Comparar (333) y (329): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

27. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁷²¹:

hhhh. En la pared aumenta el grado de compresión, aunque de modo casi imperceptible.

iiii. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran más compresiones.

28. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁷²²:

jjjj. En la pared aumenta su compresión y es superior con relación al modelo anterior.

kkkk. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran las fuerzas de compresión de un modo más asentado⁷²³.

29. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁷²⁴:

llll. En la pared aumenta el grado de compresión, aunque de modo casi imperceptible.

mmmm. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran más compresiones.

30. Además podemos decir que:

nnnn. En el sentido de las fuerzas "N11" repercute favorablemente la presencia del zuncho en la pared.

oooo. Los zunchos introducen en las paredes un claro efecto de confinamiento.

pppp. La existencia del zuncho hace que los modelos se compriman en mayor magnitud.

qqqq. La influencia del zuncho es muy clara en el modelo apoyado⁷²⁵ ya que reduce visiblemente las tracciones de la pared.

rrrr. En los dos modelos con los lados restringidos es casi imperceptible el efecto de confinamiento⁷²⁶.

ssss. En el modelo con la base empotrada⁷²⁷ se aprecia la influencia del zuncho, aunque en menor grado que en el modelo con la base apoyada⁷²⁸.

⁷²¹ Comparar (334) y (330): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷²² Comparar (335) y (331): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷²³ Por ser las zonas con libertad de movimiento horizontal.

⁷²⁴ Comparar (336) y (332): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷²⁵ Comparar (333) y (329): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

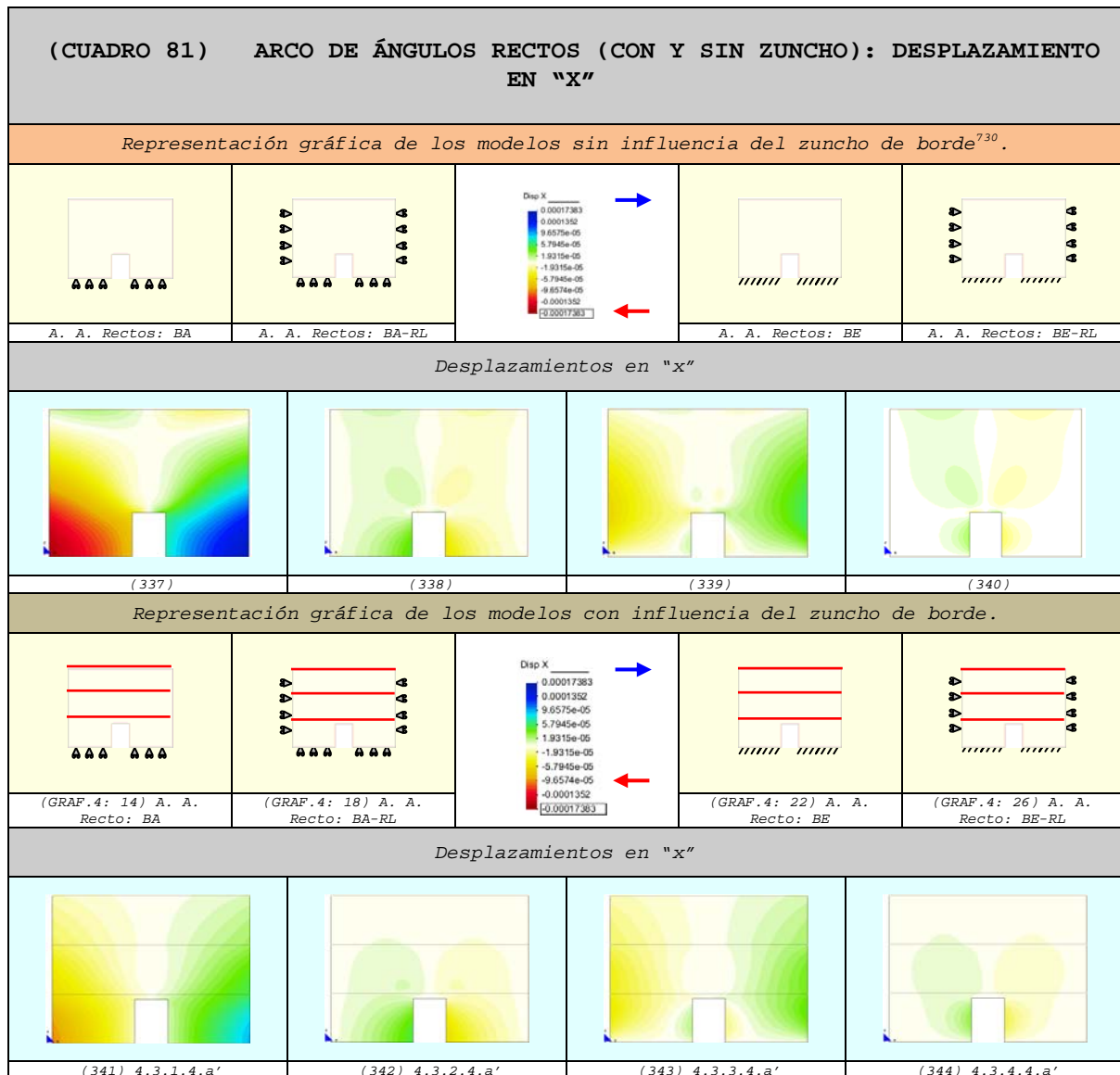
⁷²⁶ Lo cual es razonable, teniendo en cuenta que dichos modelos están confinados horizontalmente con las condiciones de contorno impuestas en las caras laterales de las paredes.

⁷²⁷ Comparar (335) y (331): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷²⁸ Es importante advertir que esta influencia no es tan notoria al tener restringido el movimiento horizontal en la base.

4.6.4 Hueco con arco de ángulos rectos

4.6.4.1 Comparación de los Desplazamientos

4.6.4.1.1 Desplazamientos en "x" ⁷²⁹

1. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁷³¹:
 - a. La pared se deforma de un modo más homogéneo.
 - b. Los desplazamientos laterales se reducen considerablemente.
 - c. Los desplazamientos con sentido contrario localizados en la parte superior del modelo sin zuncho desaparecen.

⁷²⁹ Los desplazamientos hacia el lado derecho se representan con la gama de colores fríos (verde-azul) y los desplazamientos hacia el lado izquierdo con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo).

⁷³⁰ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁷³¹ Comparar (341) y (337): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

2. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁷³²:

- d. Los desplazamientos ubicados en la base del modelo se reducen de modo claro.
- e. Las deformaciones laterales se concentran en la base del arco y tienen una magnitud, relativamente, mayor en comparación con el modelo sin zuncho.
- f. A nivel del último forjado también disminuyen los movimientos en la pared.

3. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁷³³:

- g. Las diferencias no son tan relevantes.
- h. Las deformaciones tienden a reducirse⁷³⁴.
- i. Las máximas deformaciones descienden con respecto a los modelos sin la influencia del zuncho.

4. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁷³⁵:

- j. El resultado que se obtiene es el mismo que en el modelo apoyado con restricciones laterales.
- k. Los desplazamientos ubicados en la base del modelo se reducen de modo claro.
- l. Las deformaciones laterales se concentran en la base del arco y tienen una magnitud, relativamente, mayor en comparación con el modelo sin zuncho.
- m. A nivel del último forjado también disminuyen los movimientos en la pared.

5. Además podemos decir que:

- n. Los zunchos introducen un claro efecto de confinamiento en las paredes.
- o. La existencia del zuncho hace que los modelos se deformen en menor grado.
- p. La influencia del zuncho es más clara en el modelo apoyado y en los dos modelos con restricciones laterales.
- q. El zuncho no aporta gran ayuda al modelo con la base empotrada.

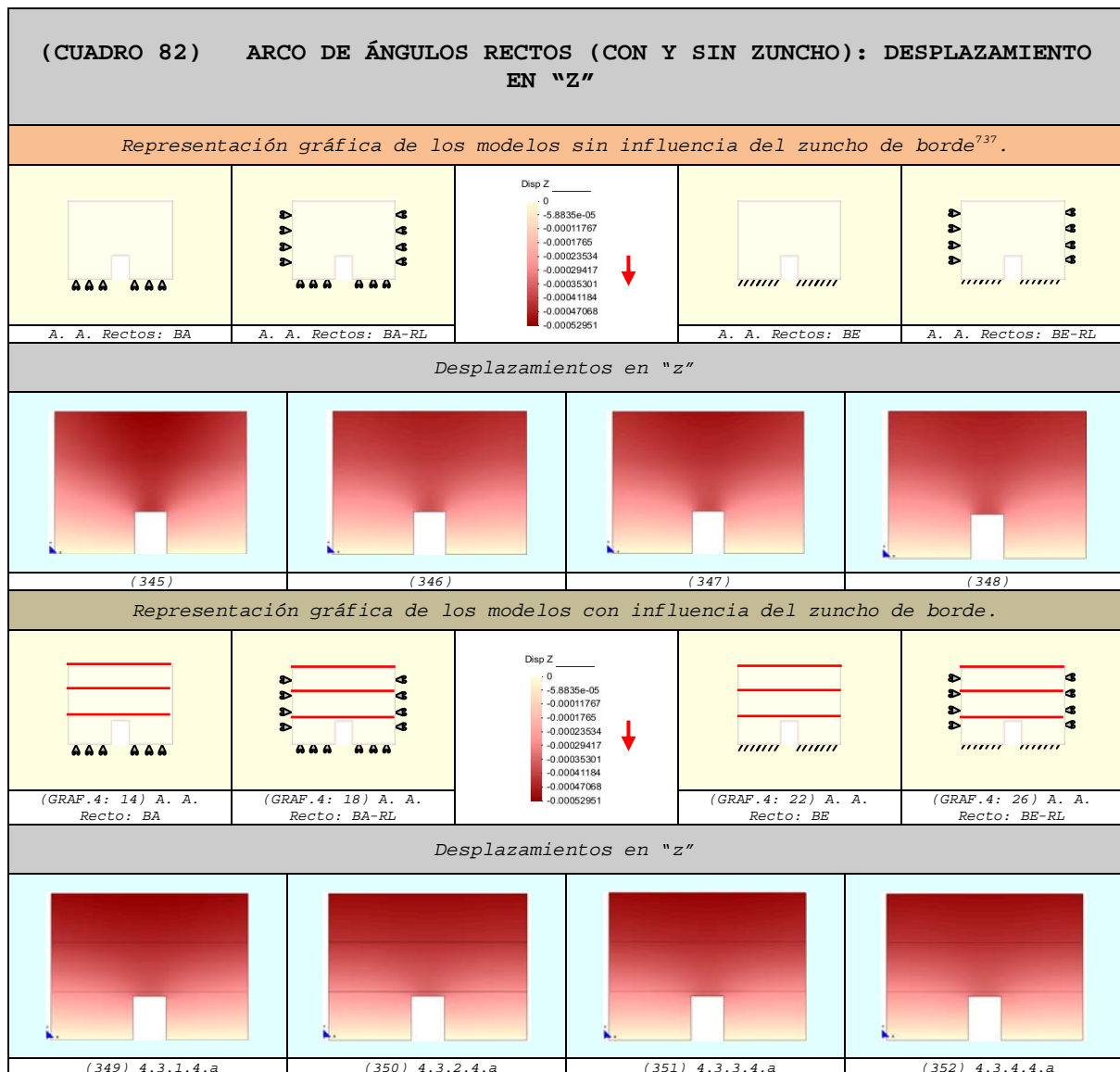
⁷³² Comparar (342) y (338): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷³³ Comparar (343) y (339): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷³⁴ Aunque en menor grado que en los casos restantes.

⁷³⁵ Comparar (344) y (340): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

4.6.4.1.2 Desplazamientos en "z" ⁷³⁶



6. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁷³⁸:

- r. La pared se deforma de un modo más homogéneo.
- s. Los desplazamientos verticales tienden a alejarse de la clave del arco.

7. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁷³⁹:

- t. Los desplazamientos ubicados en la base del modelo se reducen de modo claro.

⁷³⁶ Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se acerca al rojo intenso.

⁷³⁷ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3). Para facilitar el estudio comparativo que se realiza en el presente apartado se les identifica sólo con un número.

⁷³⁸ Comparar (349) y (345): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷³⁹ Comparar (350) y (346): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

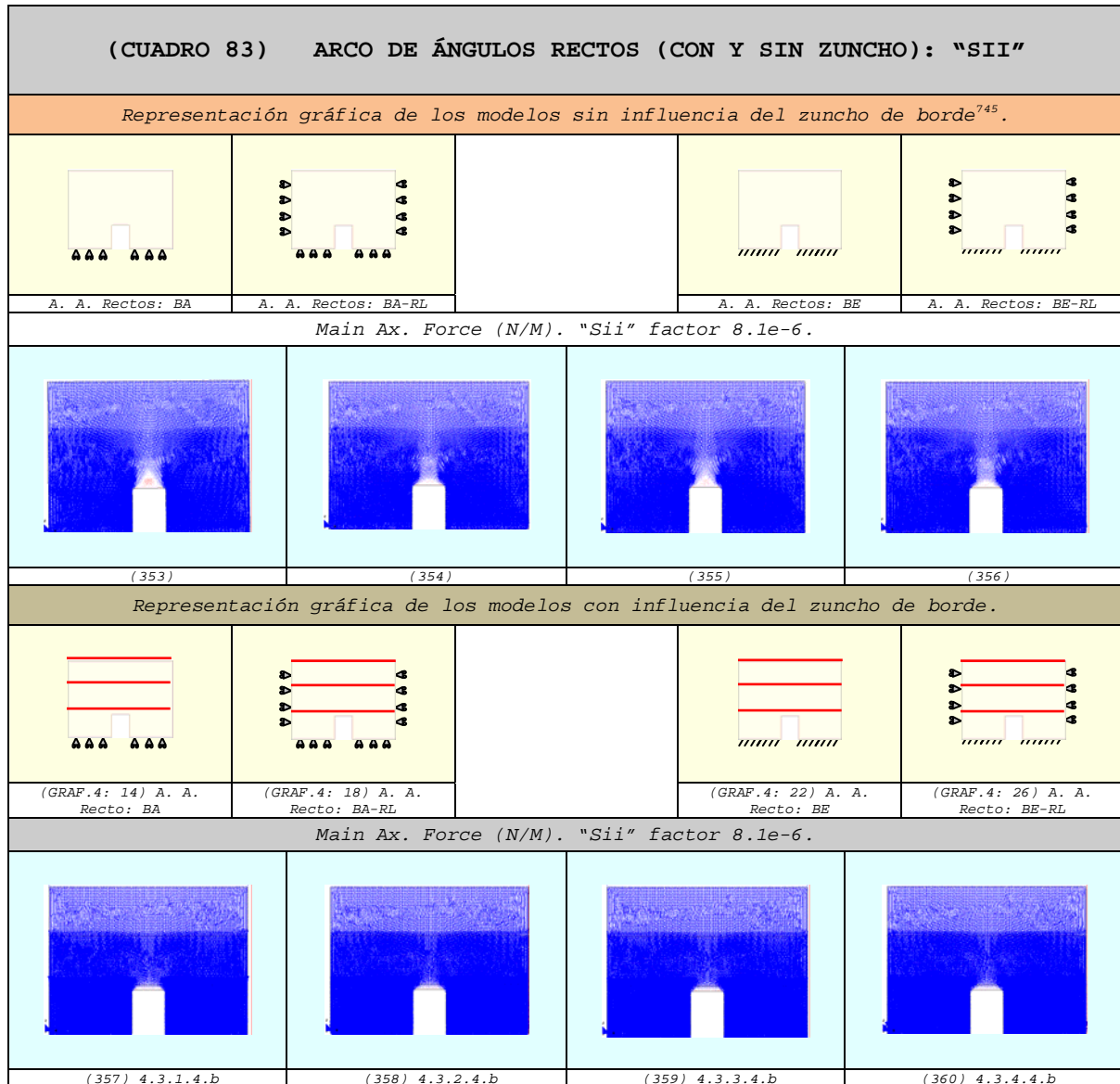
- u. Las deformaciones laterales se concentran en la clave del arco y tienen una magnitud mayor en comparación con el modelo sin zuncho.
- v. A nivel del último forjado también disminuyen los movimientos en la pared.
- 8. En el caso del modelo con la base empotrada vemos que⁷⁴⁰:
- w. Las diferencias no son tan relevantes.
- x. Las deformaciones tienden a reducirse⁷⁴¹.
- y. En la clave del arco se produce una concentración relativamente mayor de desplazamientos.
- z. Las máximas deformaciones descienden con respecto a los modelos sin la influencia del zuncho.
- 9. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁷⁴²:
- aa. El resultado que se obtiene es el mismo que en el modelo apoyado con restricciones laterales.
- bb. Los desplazamientos ubicados en la base del modelo se reducen de modo claro.
- cc. Las deformaciones laterales se concentran en la clave del arco y tienen una magnitud mayor en comparación con el modelo sin zuncho.
- dd. A nivel del último forjado también disminuyen los movimientos en la pared.
- 10. Además podemos decir que:
- ee. Los zunchos introducen un claro efecto de confinamiento en las paredes.
- ff. La existencia del zuncho hace que los modelos se deformen en menor grado.
- gg. La influencia del zuncho es más clara en el modelo apoyado y en los dos modelos con restricciones laterales.
- hh. El zuncho no aporta gran ayuda al modelo con la base empotrada.

⁷⁴⁰ Comparar (351) y (347): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷⁴¹ Aunque en menor grado que en los casos restantes.

⁷⁴² Comparar (352) y (348): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

4.6.4.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22"
(Sii) ⁷⁴³⁻⁷⁴⁴



11. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁷⁴⁶:
- ii. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, se reducen considerablemente.
 - jj. Prácticamente la pared está comprimida en su totalidad.
 - kk. En la parte superior del arco tiende a disminuir la zona descomprimida de modo claro.

⁷⁴³ Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nyy=Ny'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N22".

⁷⁴⁴ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁷⁴⁵ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁷⁴⁶ Comparar (357) y (353): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

12. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁷⁴⁷:

- ll. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- mm. La pared está comprimida por completo.
- nn. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

13. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁷⁴⁸:

- oo. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- pp. La pared está comprimida por completo.
- qq. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

14. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁷⁴⁹:

- rr. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- ss. La pared está comprimida por completo.
- tt. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

15. Además podemos decir que:

- uu. La influencia del zuncho en los modelos no es tan relevante al analizar los resultados de los vectores de las direcciones principales "Sii".
- vv. Los zunchos introducen un efecto de confinamiento en las paredes.
- ww. La existencia del zuncho hace que los modelos se compriman en mayor magnitud.
- xx. La influencia del zuncho es más visible en el modelo apoyado, aunque también es apreciable en los tres modelos restantes.

⁷⁴⁷ Comparar (358) y (354): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷⁴⁸ Comparar (359) y (355): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷⁴⁹ Comparar (360) y (356): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

4.6.4.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N22" (N22) 750-751



16. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁷⁵³:

yy. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, se reducen considerablemente.

zz. Prácticamente la pared está comprimida en su totalidad.

aaa. En la parte superior del arco tiende a disminuir la zona descomprimida de modo claro.

⁷⁵⁰ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nyy=Ny" de los diferentes modelos desarrollados.

⁷⁵¹ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁷⁵² Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁷⁵³ Comparar (365) y (361): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

17. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁷⁵⁴:

- bbb. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- ccc. La pared está comprimida por completo.
- ddd. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

18. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁷⁵⁵:

- eee. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- fff. La pared está comprimida por completo.
- ggg. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

19. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁷⁵⁶:

- hhh. Las tracciones que se localizan encima del arco en el modelo sin zuncho, desaparecen claramente.
- iii. La pared está comprimida por completo.
- jjj. En la parte superior del arco desaparece la zona descomprimida.

20. Además podemos decir que:

- kkk. La influencia del zuncho en los modelos no es tan relevante al analizar los resultados de las fuerzas "N22".
- lll. Las paredes están más comprimidos, aunque es poco notorio.
- mmm. En el modelo con la base apoya es más importante la influencia de la presencia del zuncho⁷⁵⁷.

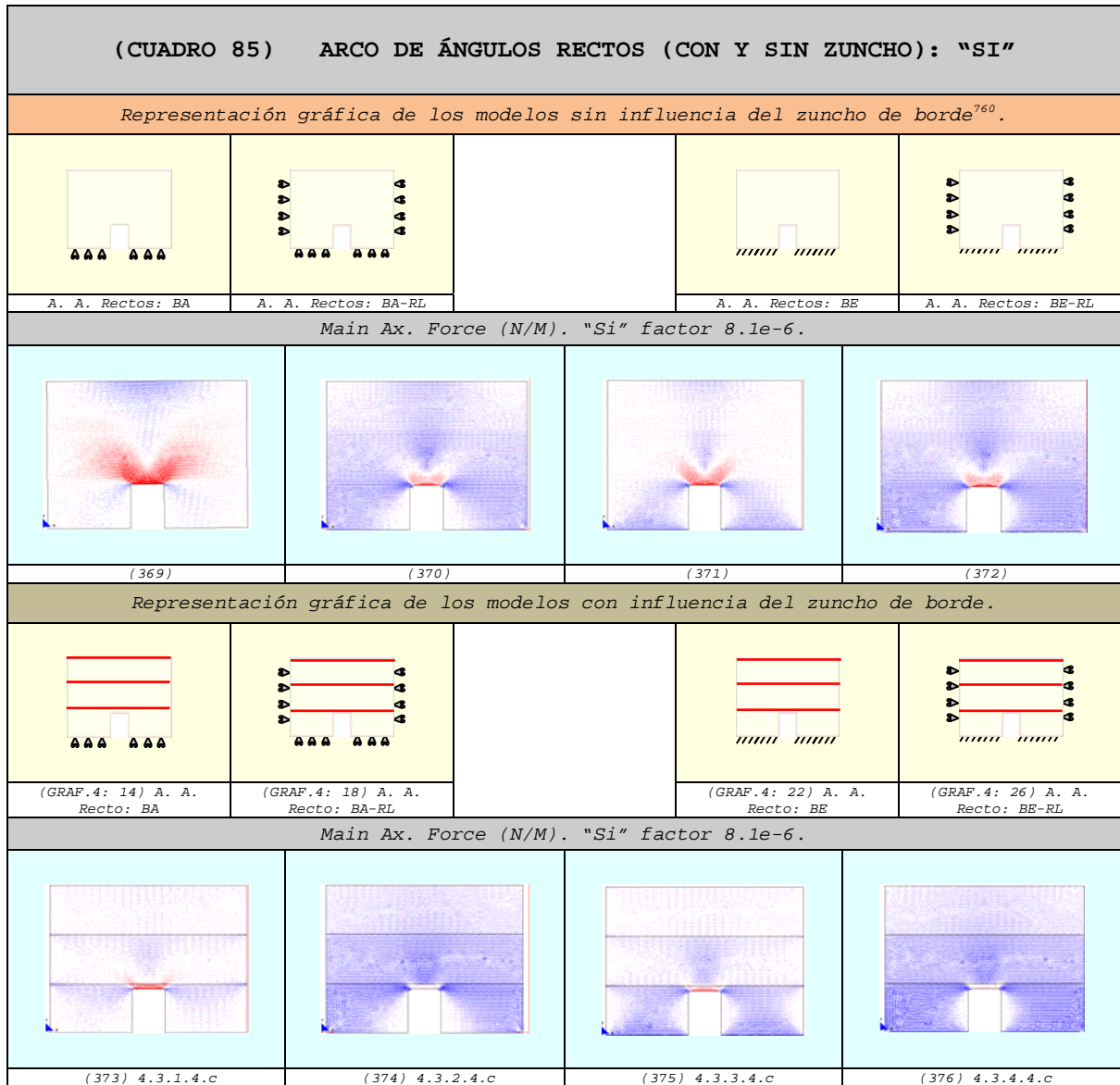
⁷⁵⁴ Comparar (366) y (362): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷⁵⁵ Comparar (367) y (363): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷⁵⁶ Comparar (368) y (364): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷⁵⁷ Al reducir las tracciones de la clave del arco.

4.6.4.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11"
(Si) ⁷⁵⁸⁻⁷⁵⁹



21. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁷⁶¹:
- nnn. La pared se comprime claramente.
 - ooo. Las tracciones se reducen de modo considerable.
 - ppp. Las máximas fuerzas de tracción se localizan en una zona bastante reducida.

⁷⁵⁸ Las comparaciones que se realizan en este apartado son completamente válidas para las fuerzas "Nxx=Nx'" de los diferentes modelos desarrollados. Por otro lado, todos los puntos son de aplicación para el estudio de las fuerzas "N11".

⁷⁵⁹ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁷⁶⁰ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁷⁶¹ Comparar (373) y (369): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

qqq. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho aparece concentración de compresiones.

22. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁷⁶²:

rrr. En la pared aumenta el grado de compresión, aunque de modo casi imperceptible.

sss. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran más compresiones.

23. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁷⁶³:

ttt. En la pared aumenta su compresión y es superior con relación al modelo anterior.

uuu. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran las fuerzas de compresión de un modo más asentado⁷⁶⁴.

24. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁷⁶⁵:

vvv. En la pared aumenta el grado de compresión, aunque de modo casi imperceptible.

www. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran más compresiones.

25. Además podemos decir que:

xxx. En el sentido de los vectores "Si" repercute favorablemente la presencia del zuncho en la pared.

yyy. Los zunchos introducen en las paredes un claro efecto de confinamiento.

zzz. La existencia del zuncho hace que los modelos se compriman en mayor magnitud.

aaaa. La influencia del zuncho es muy clara en el modelo apoyado⁷⁶⁶ ya que reduce visiblemente las tracciones de la pared.

bbbb. En los dos modelos con los lados restringidos es casi imperceptible el efecto de confinamiento⁷⁶⁷.

cccc. En el modelo con la base empotrada⁷⁶⁸ se aprecia la influencia del zuncho, aunque en menor grado que en el modelo con la base apoyada⁷⁶⁹.

⁷⁶² Comparar (374) y (370): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷⁶³ Comparar (375) y (371): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷⁶⁴ Por ser las zonas con libertad de movimiento horizontal.

⁷⁶⁵ Comparar (376) y (372): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

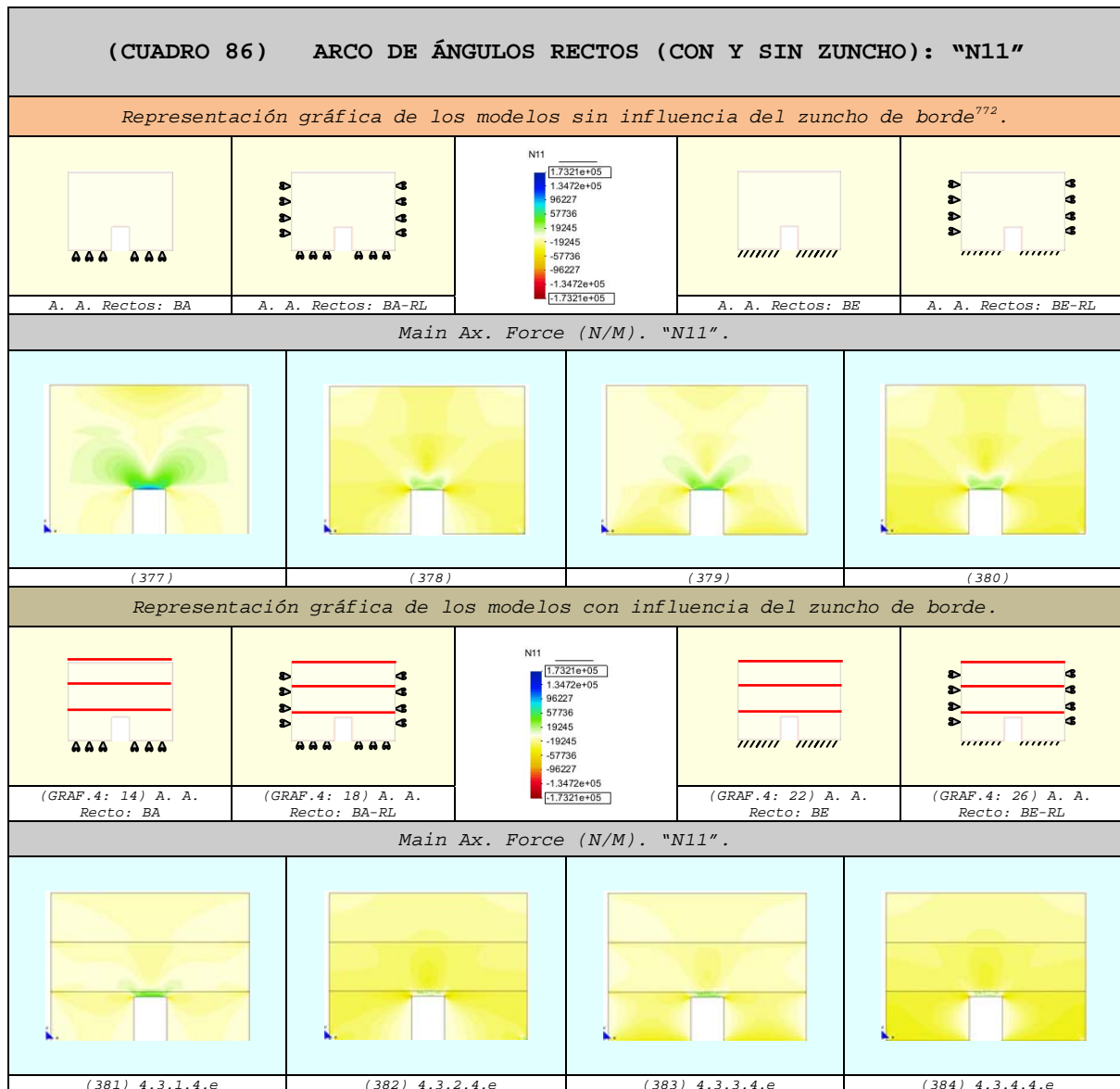
⁷⁶⁶ Comparar (373) y (369): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷⁶⁷ Lo cual es razonable, teniendo en cuenta que dichos modelos están confinados horizontalmente con las condiciones de contorno impuestas en las caras laterales de las paredes.

⁷⁶⁸ Comparar (375) y (371): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷⁶⁹ Es importante advertir que esta influencia no es tan notoria al tener restringido el movimiento horizontal en la base.

4.6.4.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11"
(N11) 770-771



26. En el modelo con la base apoyada (BA) se puede observar que⁷⁷³:

dddd. La pared se comprime claramente.

eeee. Las tracciones se reducen de modo considerable.

ffff. Las máximas fuerzas de tracción se localizan en una zona bastante reducida.

gggg. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho aparece concentración de compresiones.

⁷⁷⁰ En este apartado también son válidos los puntos obtenidos del anterior. Las comparaciones del presente apartado son completamente aplicables para las fuerzas "Nxx-Nx" de los diferentes modelos desarrollados.

⁷⁷¹ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁷⁷² Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

⁷⁷³ Comparar (381) y (377): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

27. En el caso del modelo con la base apoyada y restricciones laterales (BA-RL) se aprecia que⁷⁷⁴:

hhhh. En la pared aumenta el grado de compresión, aunque de modo casi imperceptible.

iiii. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran más compresiones.

28. En el caso del modelo con la base empotrada (BE) vemos que⁷⁷⁵:

jjjj. En la pared aumenta su compresión y es superior con relación al modelo anterior.

kkkk. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran las fuerzas de compresión de un modo más asentado⁷⁷⁶.

29. En el caso del modelo con la base empotrada y restricciones laterales impuestas (BE-RL) podemos notar que⁷⁷⁷:

llll. En la pared aumenta el grado de compresión, aunque de modo casi imperceptible.

mmmm. En las zonas de la pared donde se localiza el zuncho se concentran más compresiones.

30. Además podemos decir que:

nnnn. En el sentido de las fuerzas "N11" repercute favorablemente la presencia del zuncho en la pared.

oooo. Los zunchos introducen en las paredes un claro efecto de confinamiento.

pppp. La existencia del zuncho hace que los modelos se compriman en mayor magnitud.

qqqq. La influencia del zuncho es muy clara en el modelo apoyado⁷⁷⁸ ya que reduce visiblemente las tracciones de la pared.

rrrr. En los dos modelos con los lados restringidos es casi imperceptible el efecto de confinamiento⁷⁷⁹.

ssss. En el modelo con la base empotrada⁷⁸⁰ se aprecia la influencia del zuncho, aunque en menor grado que en el modelo con la base apoyada⁷⁸¹.

⁷⁷⁴ Comparar (382) y (378): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷⁷⁵ Comparar (382) y (378): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷⁷⁶ Por ser las zonas con libertad de movimiento horizontal.

⁷⁷⁷ Comparar (383) y (380): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷⁷⁸ Comparar (381) y (377): modelo con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷⁷⁹ Lo cual es razonable, teniendo en cuenta que dichos modelos están confinados horizontalmente con las condiciones de contorno impuestas en las caras laterales de las paredes.

⁷⁸⁰ Comparar (382) y (378): modelos con zuncho y sin zuncho respectivamente.

⁷⁸¹ Es importante advertir que esta influencia no es tan notoria al tener restringido el movimiento horizontal en la base.

MJIG

CAPÍTULO-4

- 1.- ASPECTOS GENERALES
- 2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS
- 3.- ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE ARCOS
- 4.- INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO
- 5.- INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO
- 6.- ANÁLISIS COMPARATIVO: INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO
- 7.- CUADRO COMPARATIVO: INFLUENCIA DE LA FORMA DE LOS ARCOS EN LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO**
- 8.- CONCLUSIONES

MIIG

4.7 CUADRO COMPARATIVO: INFLUENCIA
DE LA FORMA DE LOS ARCOS EN LOS
MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO

- 1.- MODELO CON LA BASE APOYADA
- 2.- MODELO CON LA BASE APOYADA Y
RESTRICCIÓN LATERAL
- 3.- MODELO CON LA BASE EMPOTRADA
- 4.- MODELO CON LA BASE EMPOTRADA Y
RESTRICCIÓN LATERAL

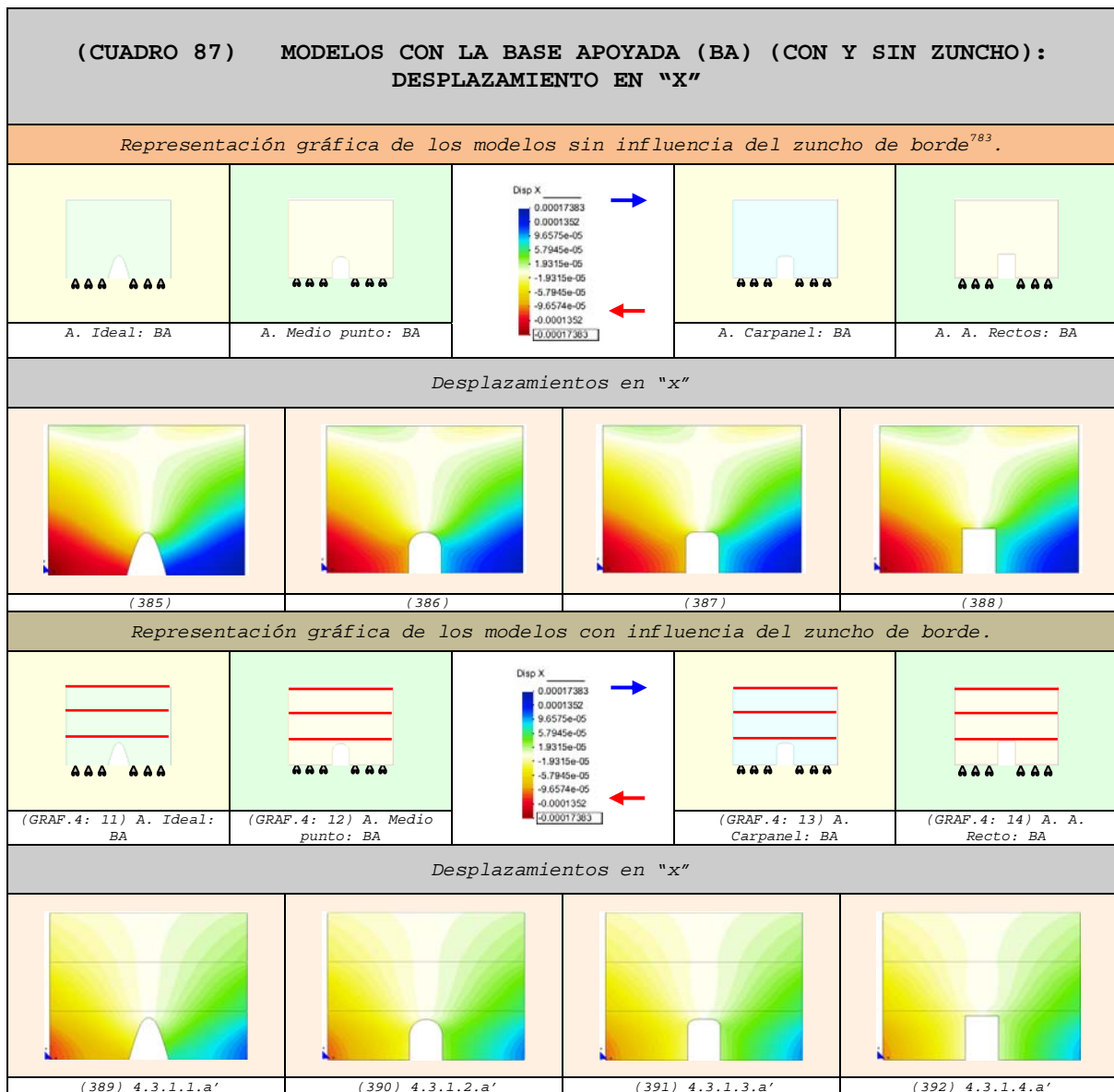
4.7 CUADRO COMPARATIVO: INFLUENCIA DE LA FORMA DE LOS ARCOS EN LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO

A continuación, se realizan comparaciones gráficas entre los diferentes tipos de arcos de los modelos con zuncho y sin zuncho con la misma condición de contorno.

4.7.1 Modelo con la base Apoyada

4.7.1.1 Comparación de los Desplazamientos:

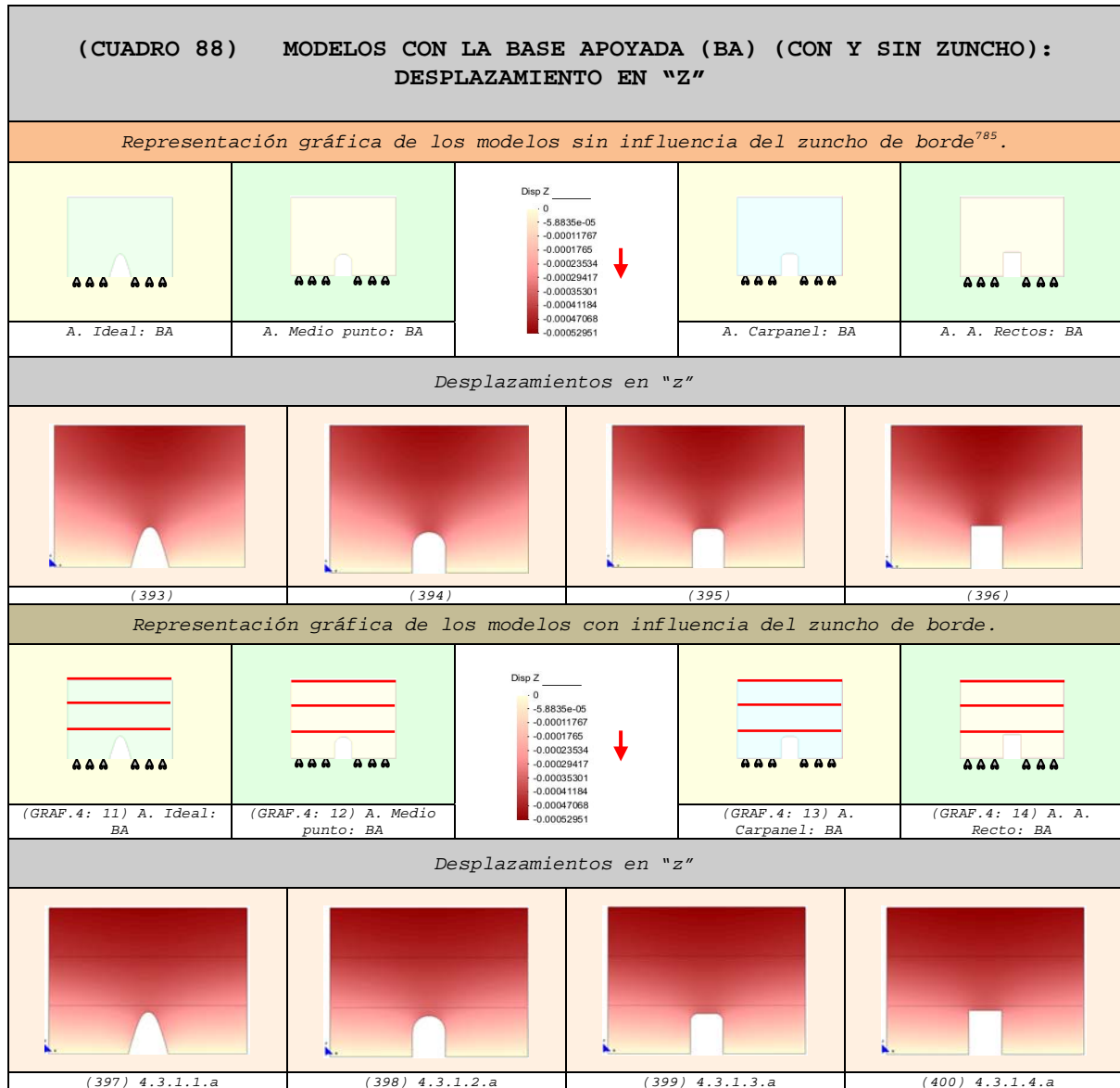
4.7.1.1.1 Desplazamientos en "x" ⁷⁸²



⁷⁸² Los desplazamientos hacia el lado derecho se representan con la gama de colores fríos (verde-azul) y los desplazamientos hacia el lado izquierdo con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo).

⁷⁸³ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

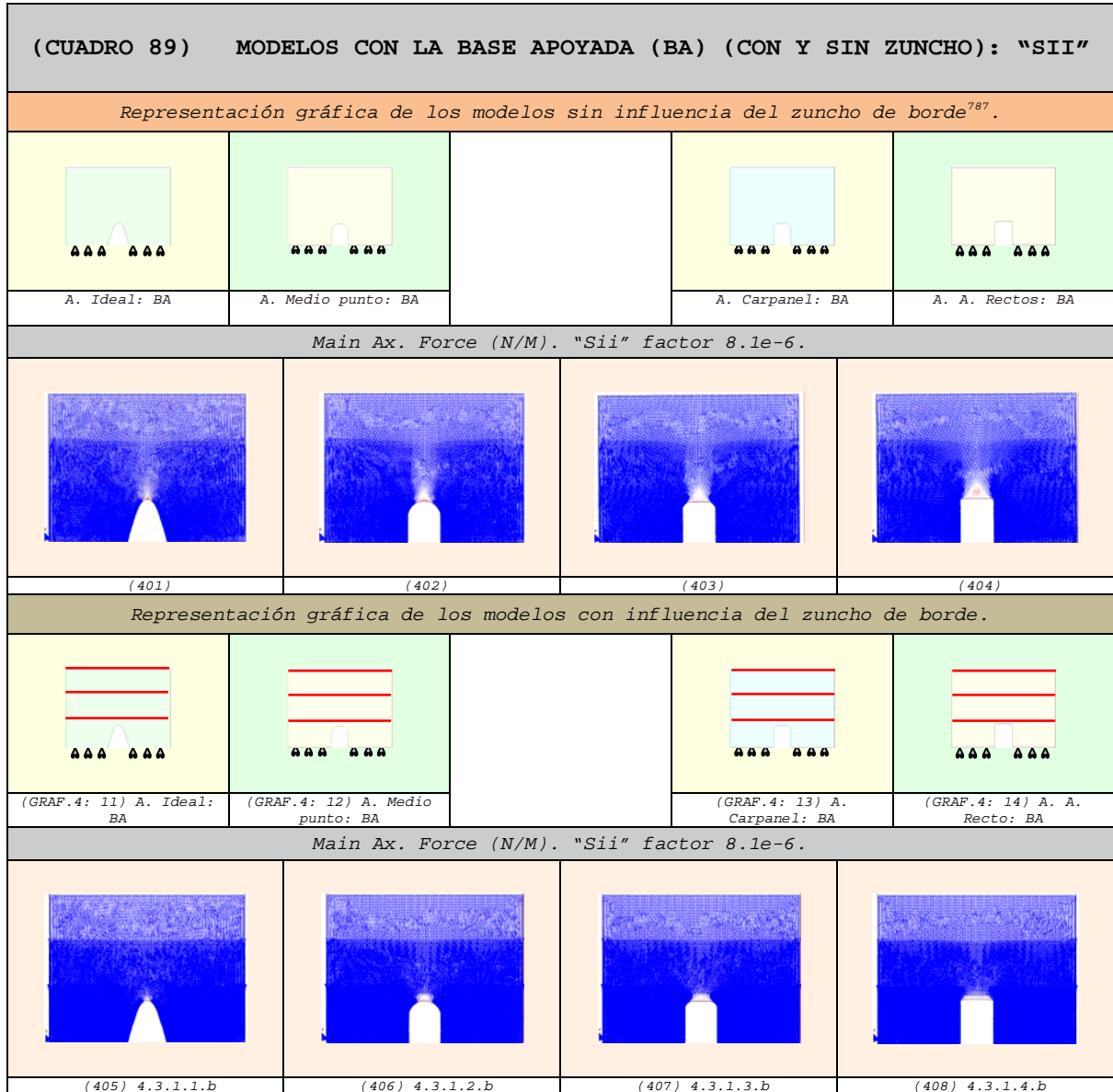
4.7.1.1.2 Desplazamientos en "z"⁷⁸⁴



⁷⁸⁴ Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se acerca al rojo intenso.

⁷⁸⁵ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

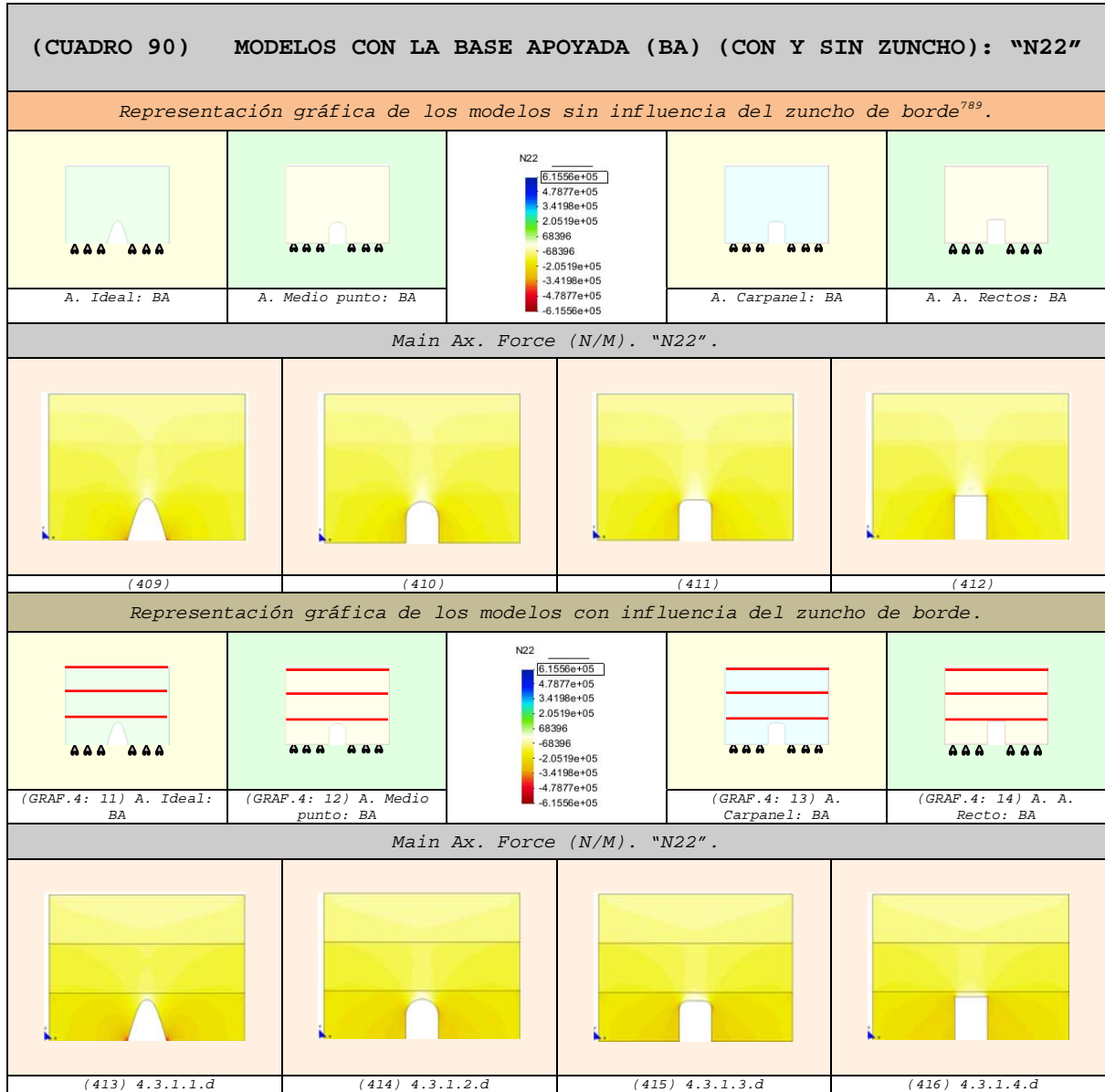
4.7.1.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22"
(Sii)⁷⁸⁶



⁷⁸⁶ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁷⁸⁷ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

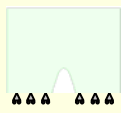

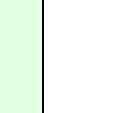
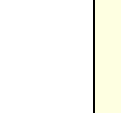
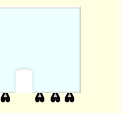
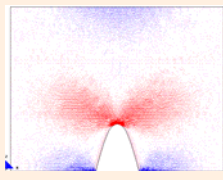
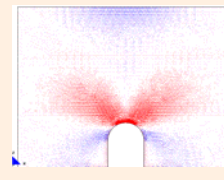
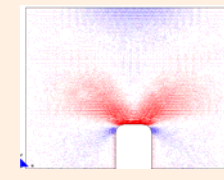
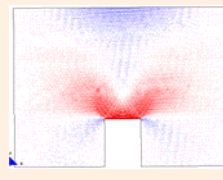
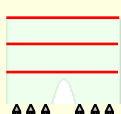
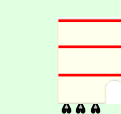
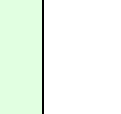
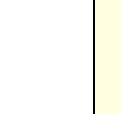
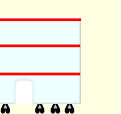
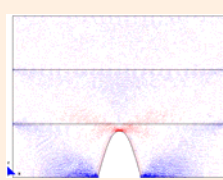
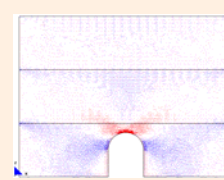
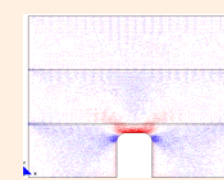
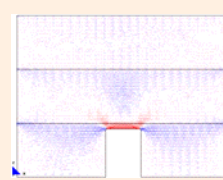
4.7.1.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N22"
(N22)⁷⁸⁸



⁷⁸⁸ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁷⁸⁹ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

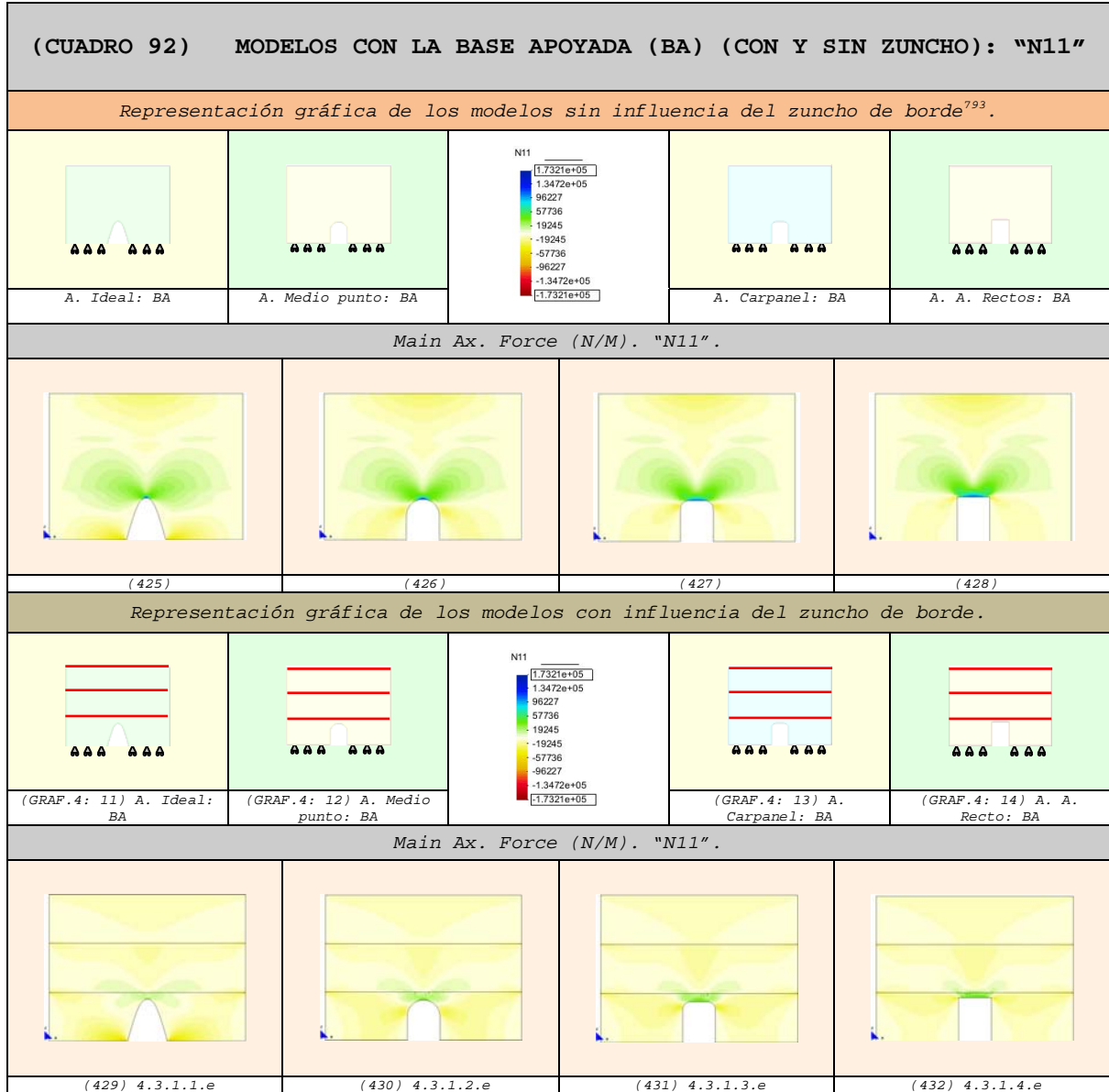
4.7.1.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11"
(Si)⁷⁹⁰

(CUADRO 91) MODELOS CON LA BASE APOYADA (BA) (CON Y SIN ZUNCHO): "SI"				
<i>Representación gráfica de los modelos sin influencia del zuncho de borde⁷⁹¹.</i>				
				
A. Ideal: BA	A. Medio punto: BA	A. Carpanel: BA	A. A. Rectos: BA	
Main Ax. Force (N/M). "Si" factor 8.1e-6.				
				
(417)	(418)	(419)	(420)	
<i>Representación gráfica de los modelos con influencia del zuncho de borde.</i>				
				
(GRAF.4: 11) A. Ideal: BA	(GRAF.4: 12) A. Medio punto: BA	(GRAF.4: 13) A. Carpanel: BA	(GRAF.4: 14) A. A. Recto: BA	
Main Ax. Force (N/M). "Si" factor 8.1e-6.				
				
(421) 4.3.1.1.c	(422) 4.3.1.2.c	(423) 4.3.1.3.c	(424) 4.3.1.4.c	

⁷⁹⁰ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁷⁹¹ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

4.7.1.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "11"
(N11)⁷⁹²



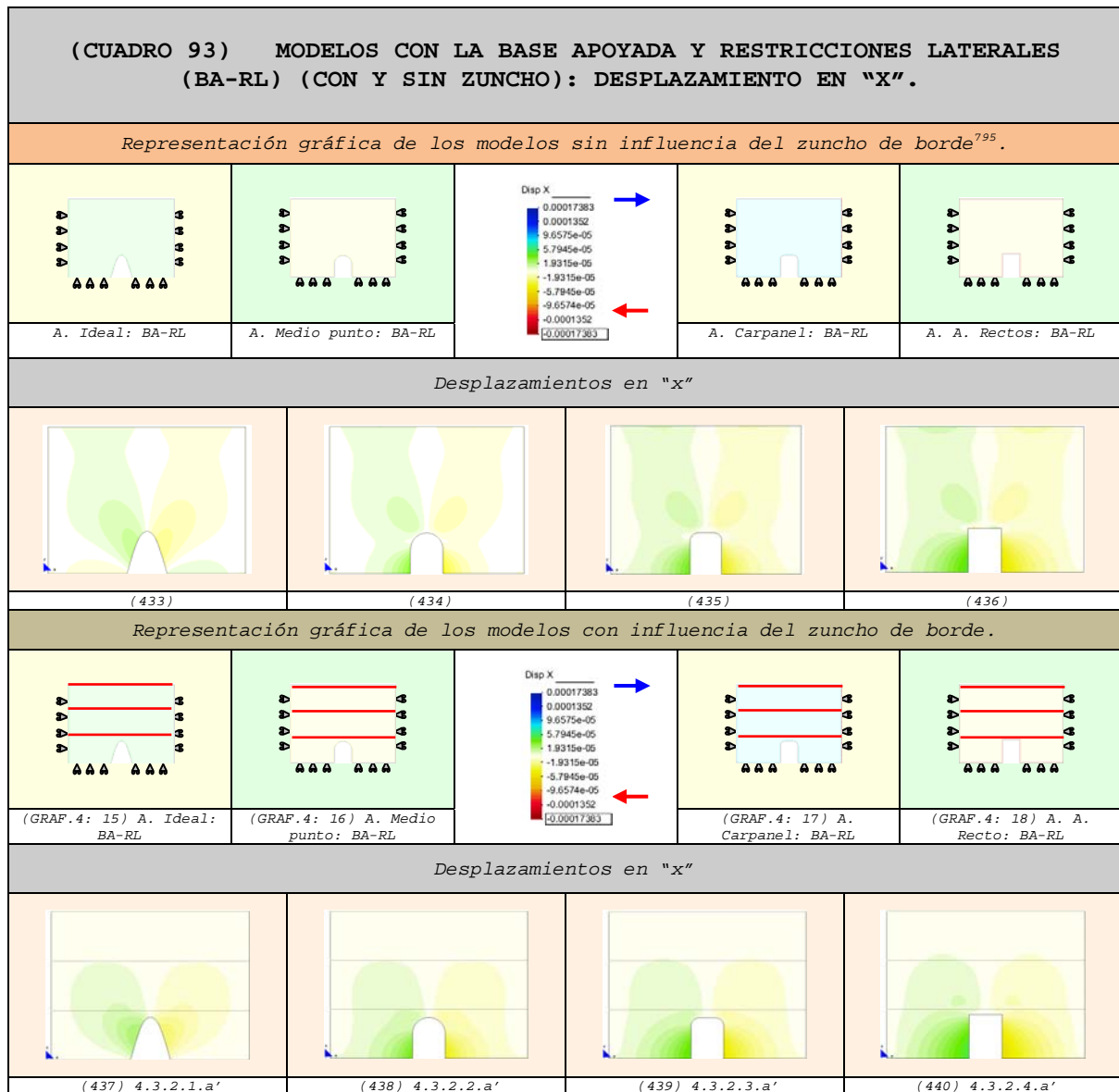
⁷⁹² Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁷⁹³ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

4.7.2 Modelo con la base Apoyada y Restricción Lateral

4.7.2.1 Comparación de los Desplazamientos

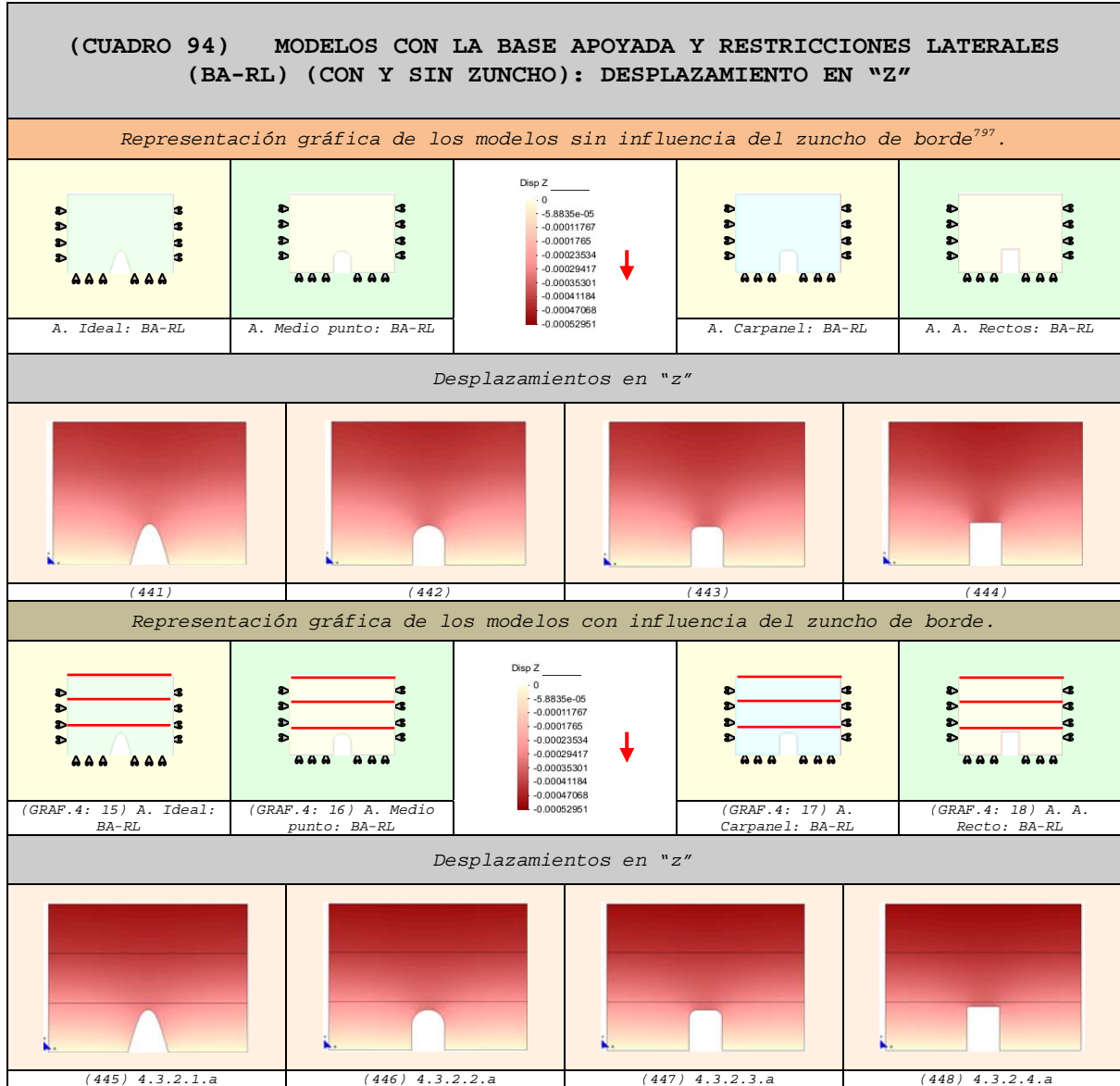
4.7.2.1.1 Desplazamientos en "x" ⁷⁹⁴



⁷⁹⁴ Los desplazamientos hacia el lado derecho se representan con la gama de colores fríos (verde-azul) y los desplazamientos hacia el lado izquierdo con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo).

⁷⁹⁵ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

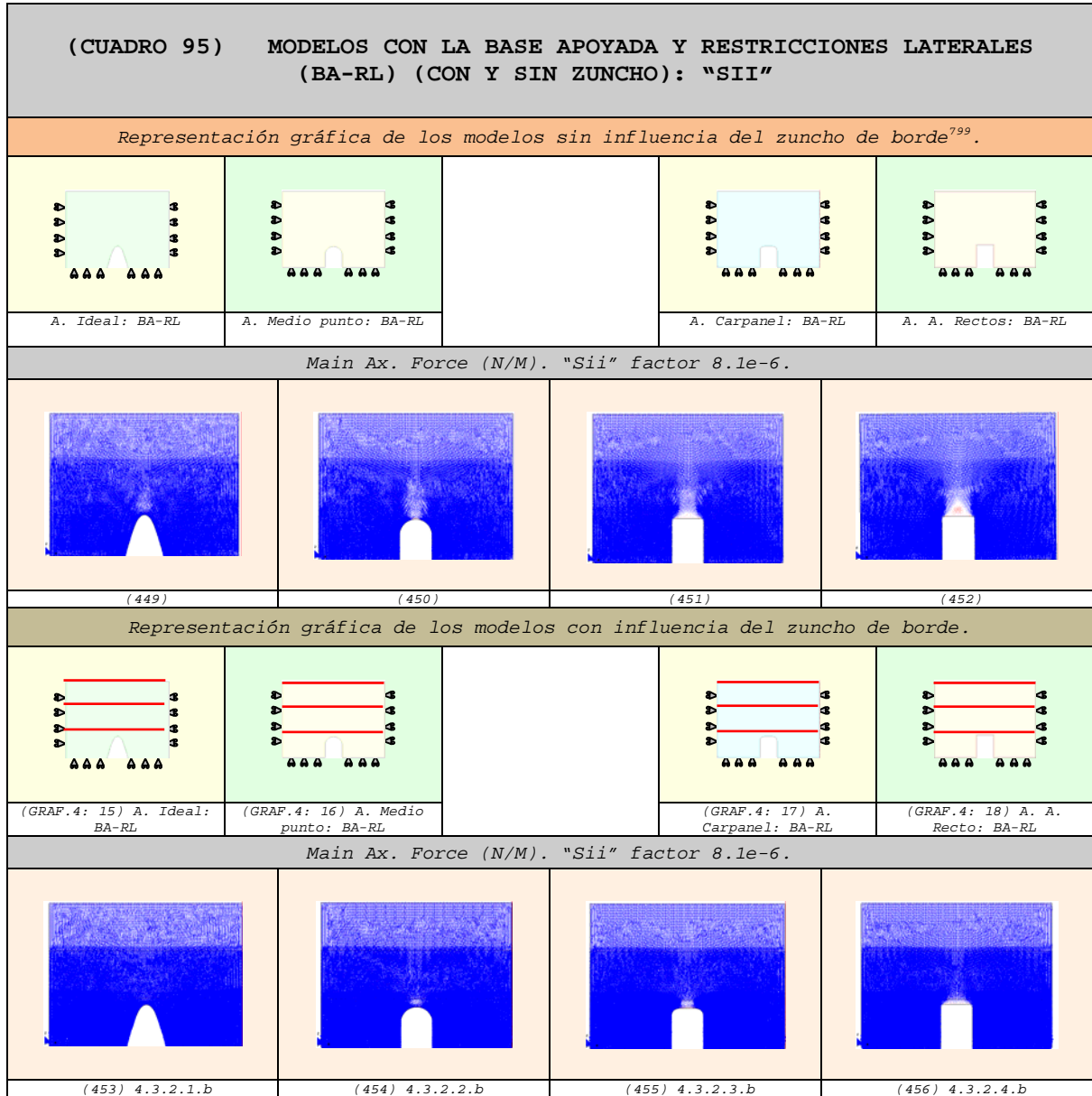
4.7.2.1.2 Desplazamientos en "z" ⁷⁹⁶



⁷⁹⁶ Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se acerca al rojo intenso.

⁷⁹⁷ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

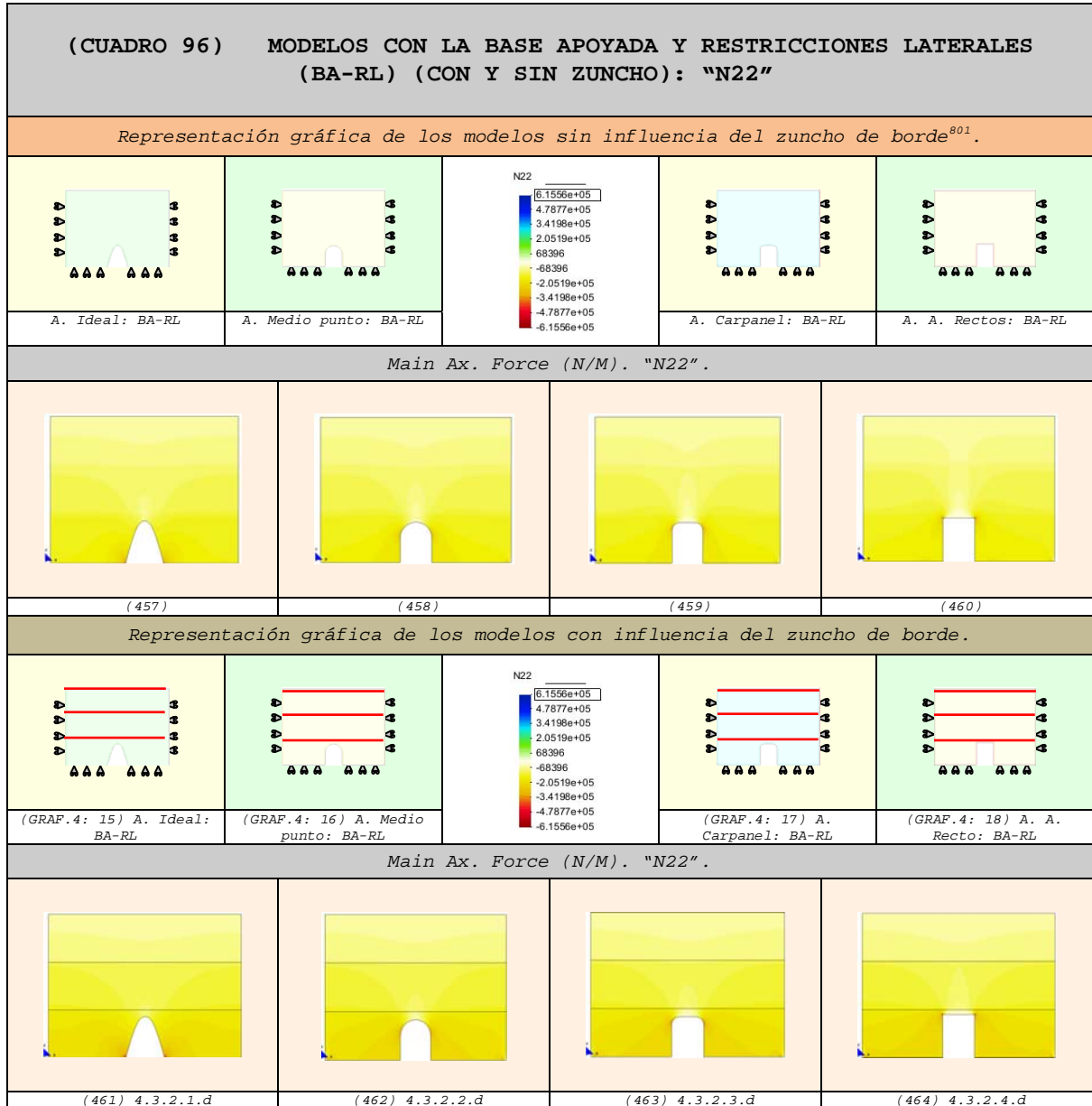
4.7.2.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22"
(Sii)⁷⁹⁸



⁷⁹⁸ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁷⁹⁹ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

4.7.2.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N22"
(N22)⁸⁰⁰



⁸⁰⁰ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁸⁰¹ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

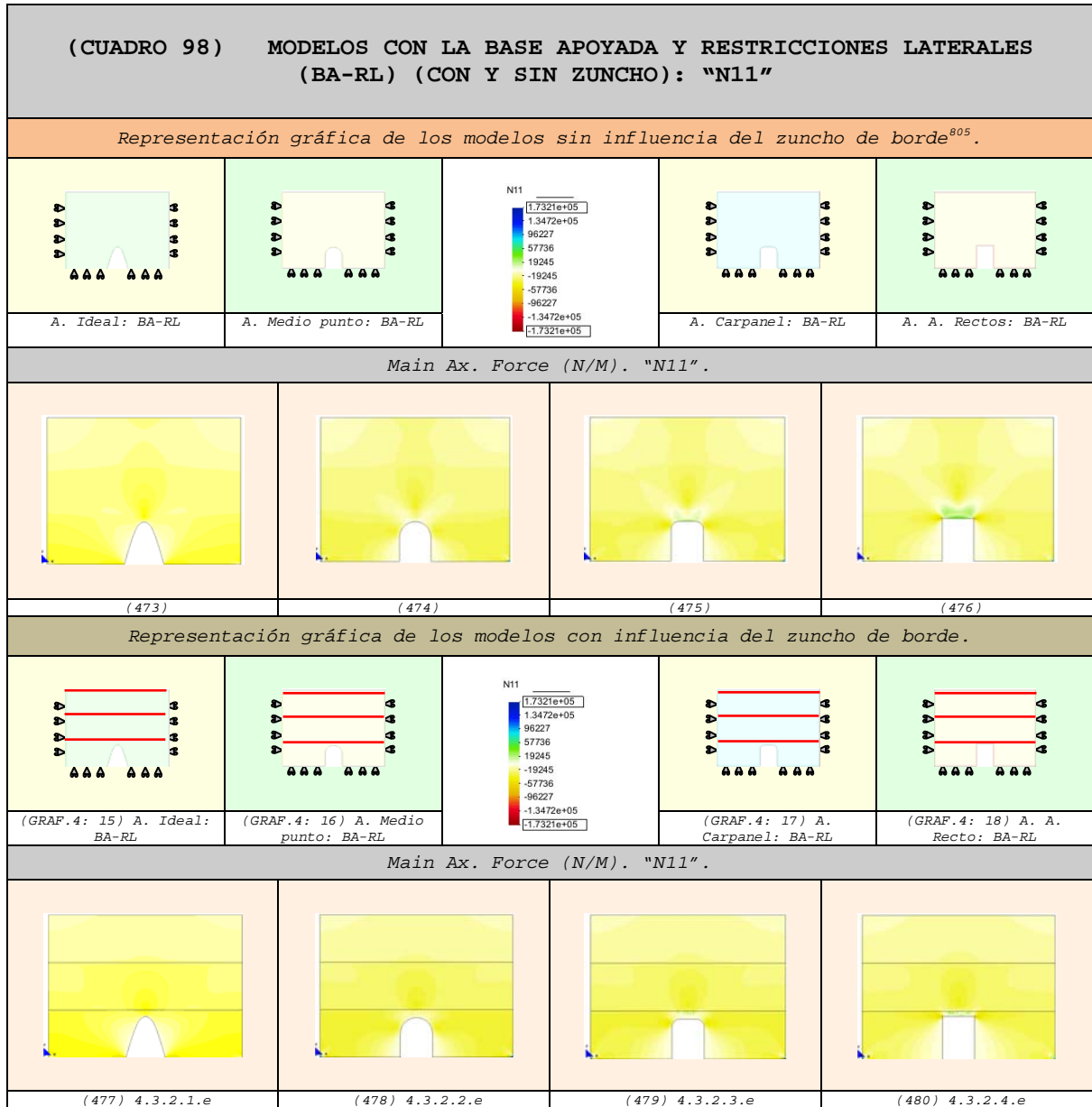
4.7.2.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11"
(Si)⁸⁰²

(CUADRO 97) MODELOS CON LA BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL) (CON Y SIN ZUNCHO): "SI"				
Representación gráfica de los modelos sin influencia del zuncho de borde ⁸⁰³ .				
A. Ideal: BA-RL	A. Medio punto: BA-RL	A. Carpanel: BA-RL	A. A. Rectos: BA-RL	
Main Ax. Force (N/M). "Si" factor 8.1e-6.				
(465)	(466)	(467)	(468)	
Representación gráfica de los modelos con influencia del zuncho de borde.				
(GRAF.4: 15) A. Ideal: BA-RL	(GRAF.4: 16) A. Medio punto: BA-RL	(GRAF.4: 17) A. Carpanel: BA-RL	(GRAF.4: 18) A. A. Recto: BA-RL	
Main Ax. Force (N/M). "Si" factor 8.1e-6.				
(469) 4.3.2.1.c	(470) 4.3.2.2.c	(471) 4.3.2.3.c	(472) 4.3.2.4.c	

⁸⁰² Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁸⁰³ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

4.7.2.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N11"
(N11)⁸⁰⁴



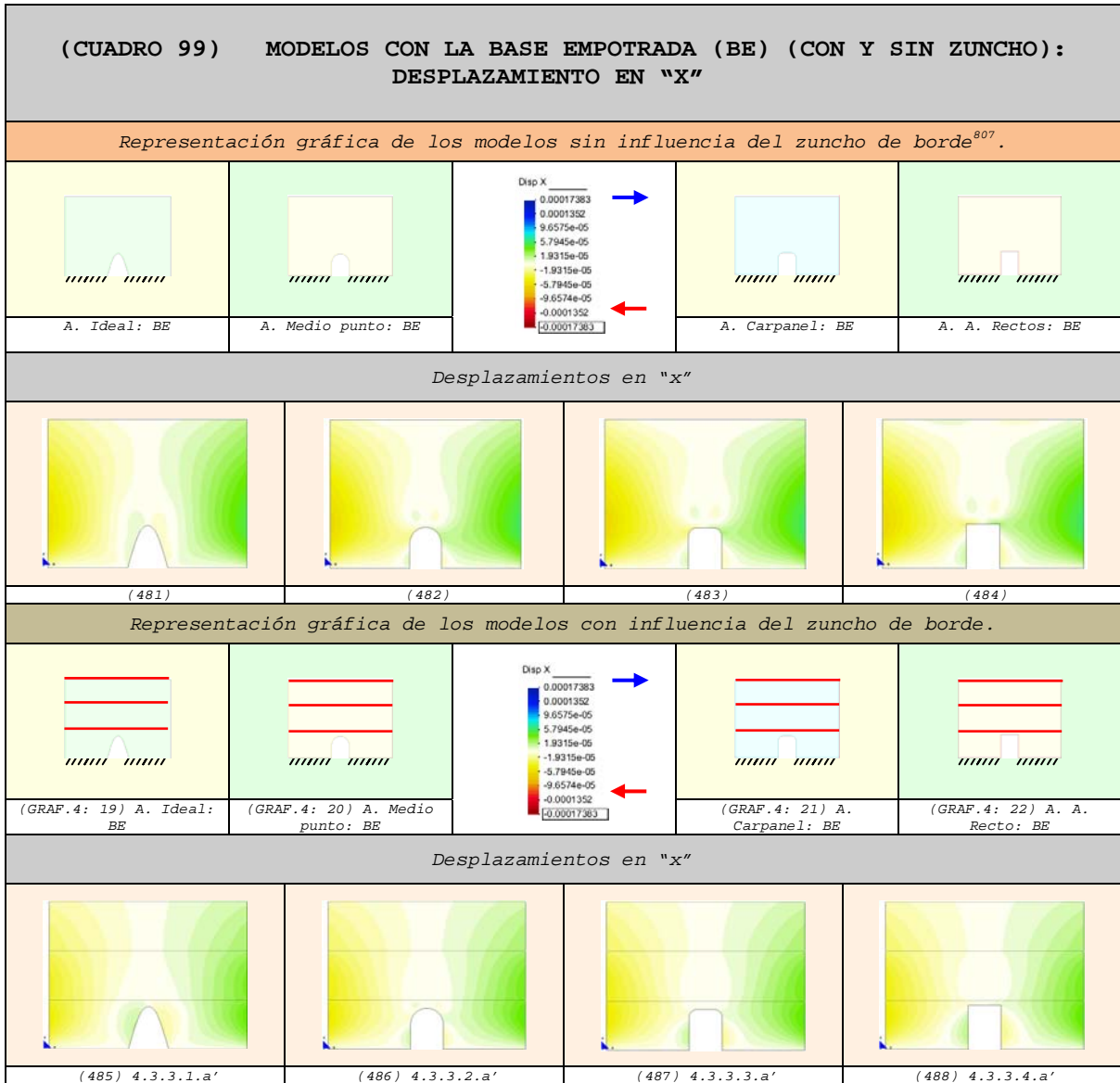
⁸⁰⁴ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁸⁰⁵ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

4.7.3 Modelo con la base Empotrada

4.7.3.1 Comparación de los Desplazamientos

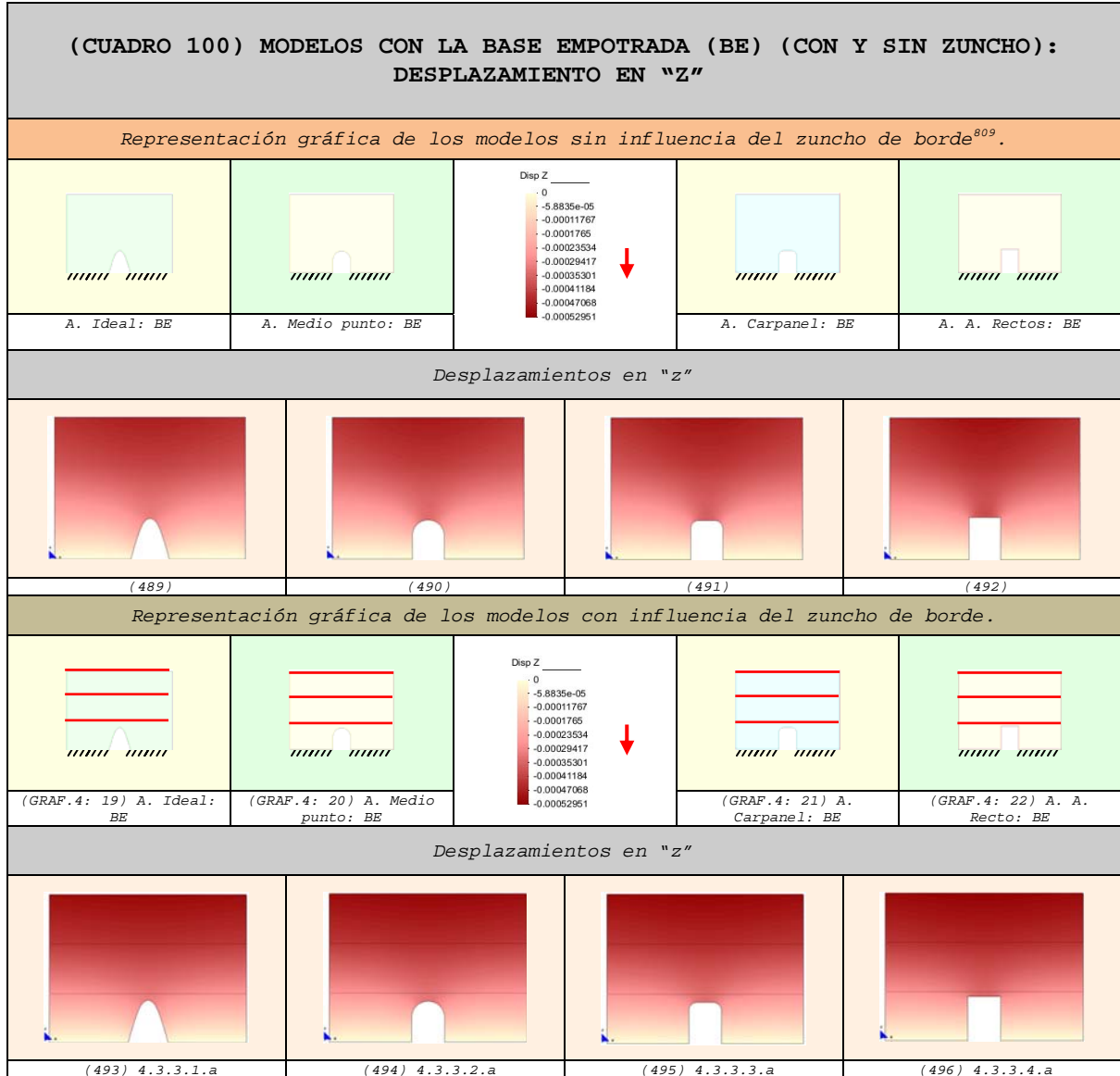
4.7.3.1.1 Desplazamientos en "x" ⁸⁰⁶



⁸⁰⁶ Los desplazamientos hacia el lado derecho se representan con la gama de colores fríos (verde-azul) y los desplazamientos hacia el lado izquierdo con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo).

⁸⁰⁷ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

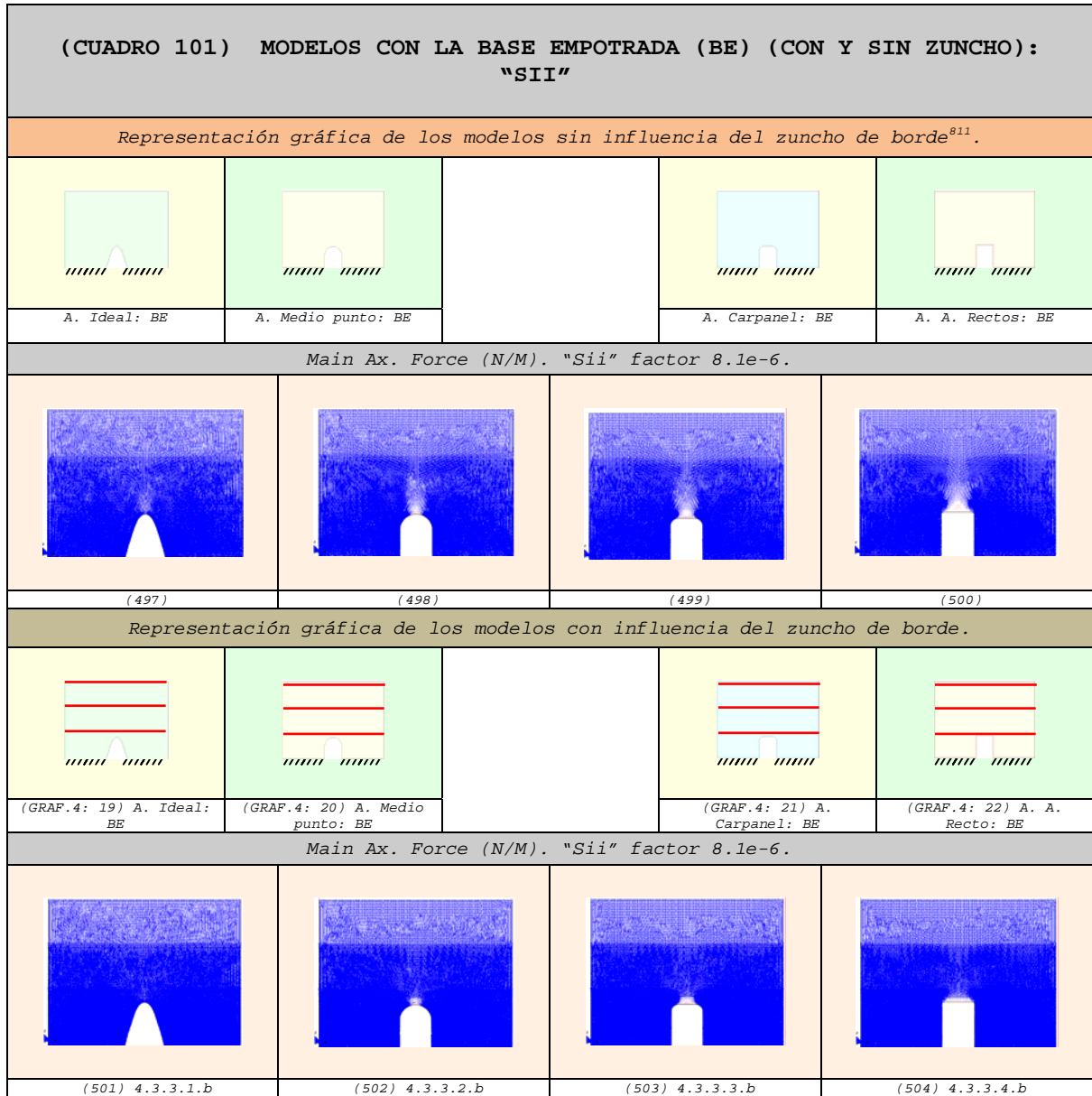
4.7.3.1.2 Desplazamientos en "z" ⁸⁰⁸



⁸⁰⁸ Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se acerca al rojo intenso.

⁸⁰⁹ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

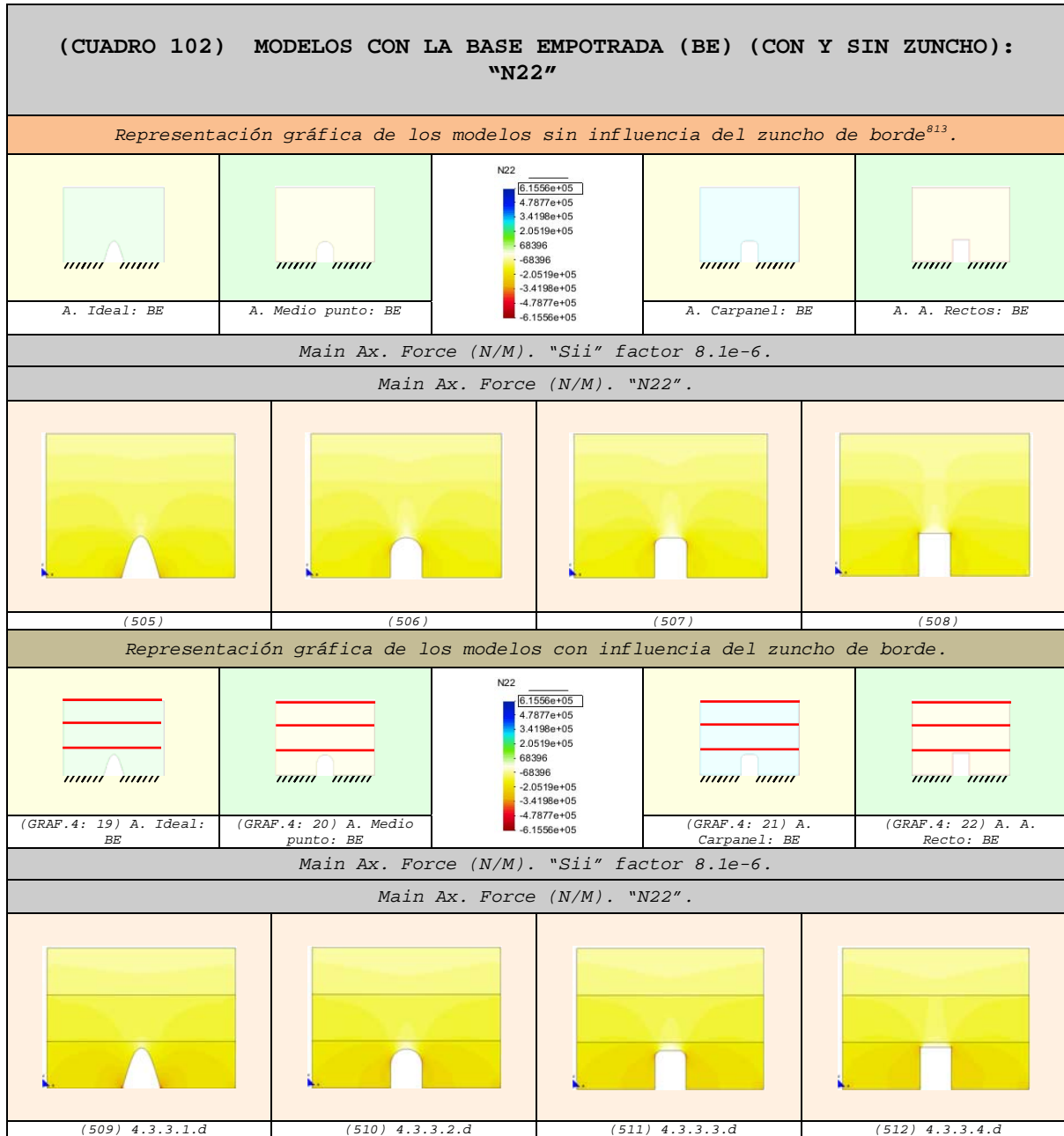
4.7.3.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22"
(Sii)⁸¹⁰



⁸¹⁰ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁸¹¹ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

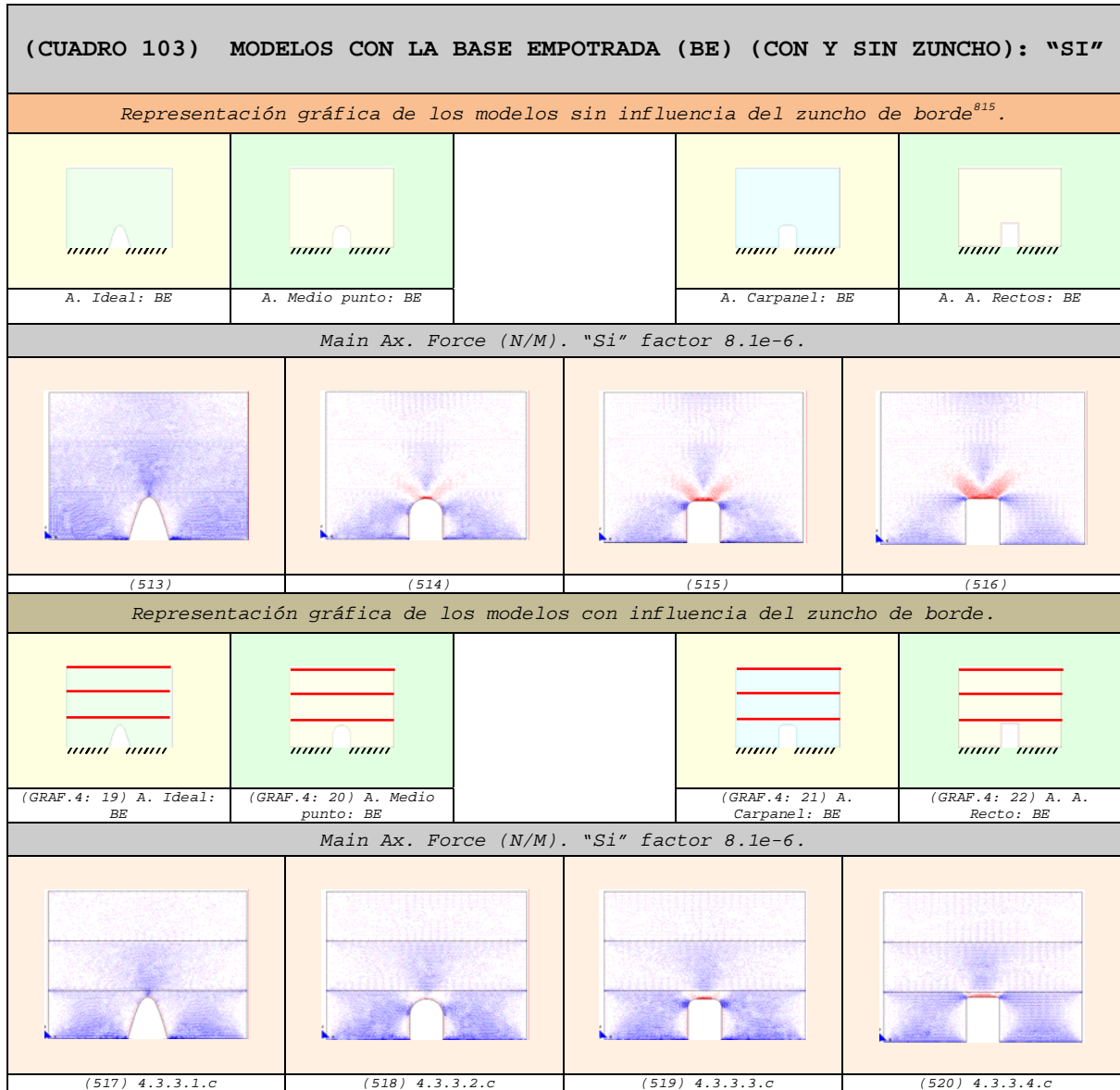
4.7.3.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N2"
(N22)⁸¹²



⁸¹² Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁸¹³ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

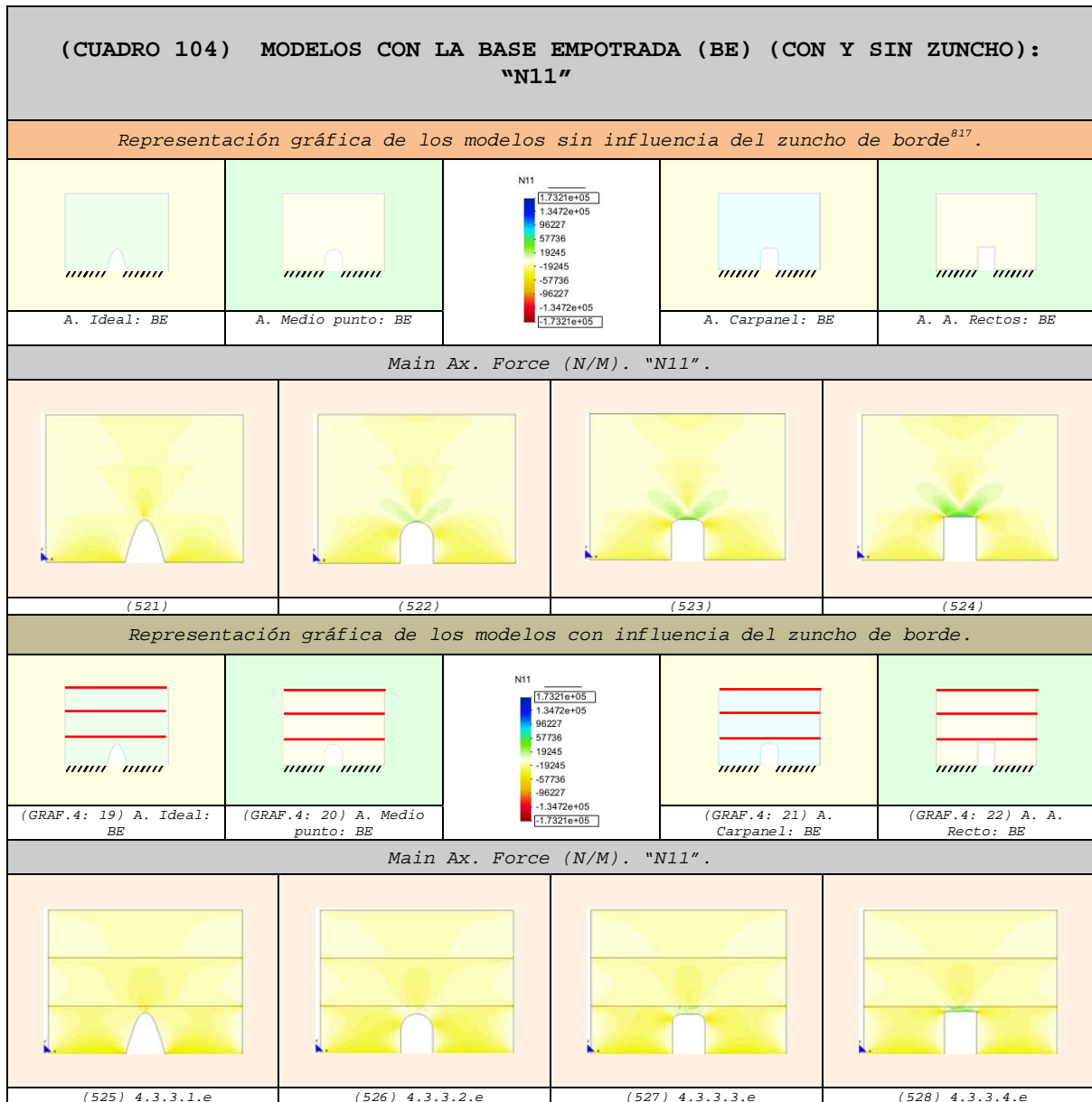
4.7.3.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11"
(Si)⁸¹⁴



⁸¹⁴ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁸¹⁵ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

4.7.3.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N11"
(N11)⁸¹⁶



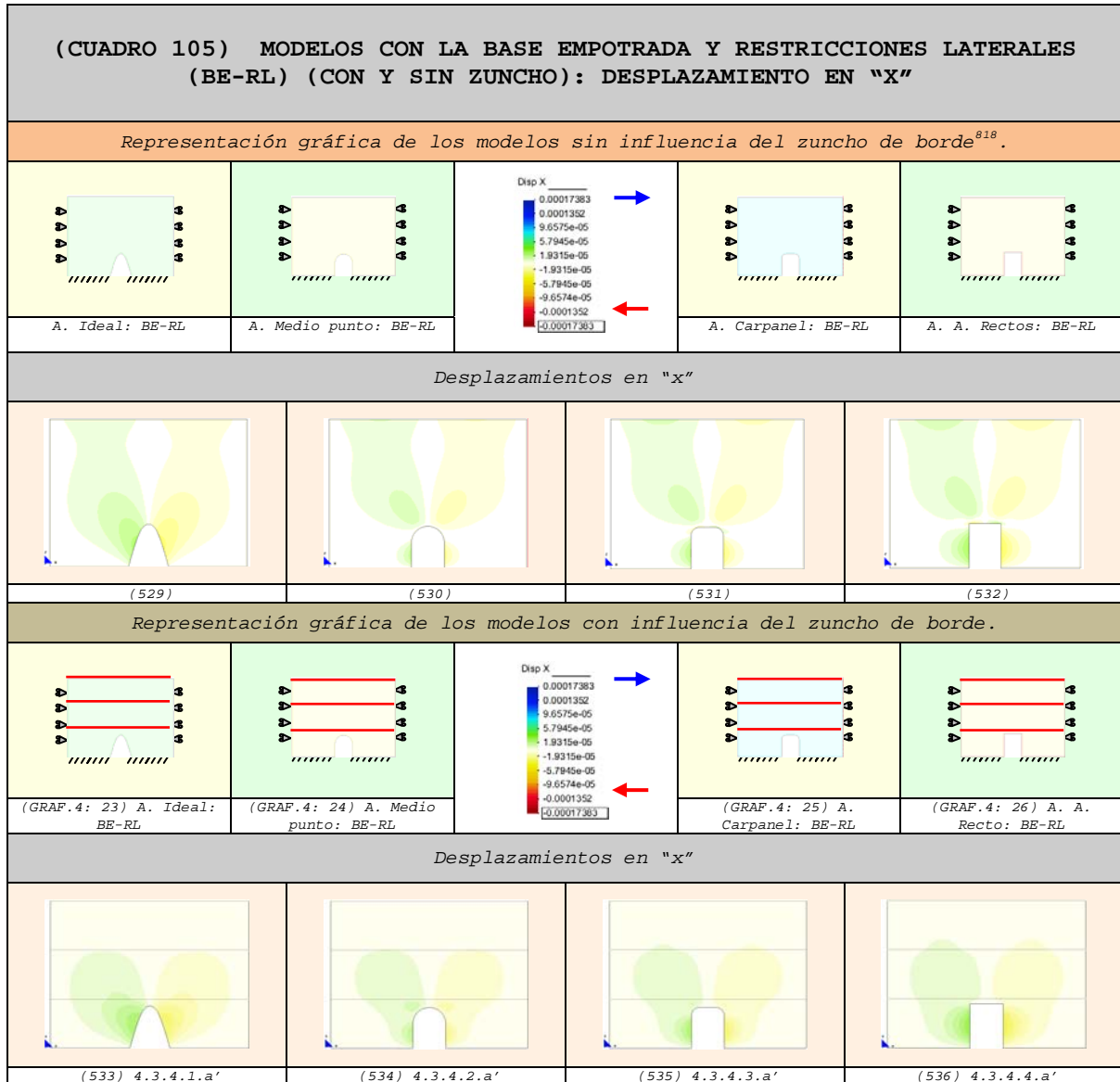
⁸¹⁶ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁸¹⁷ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

4.7.4 Modelo con la base Empotrada y Restricción Lateral

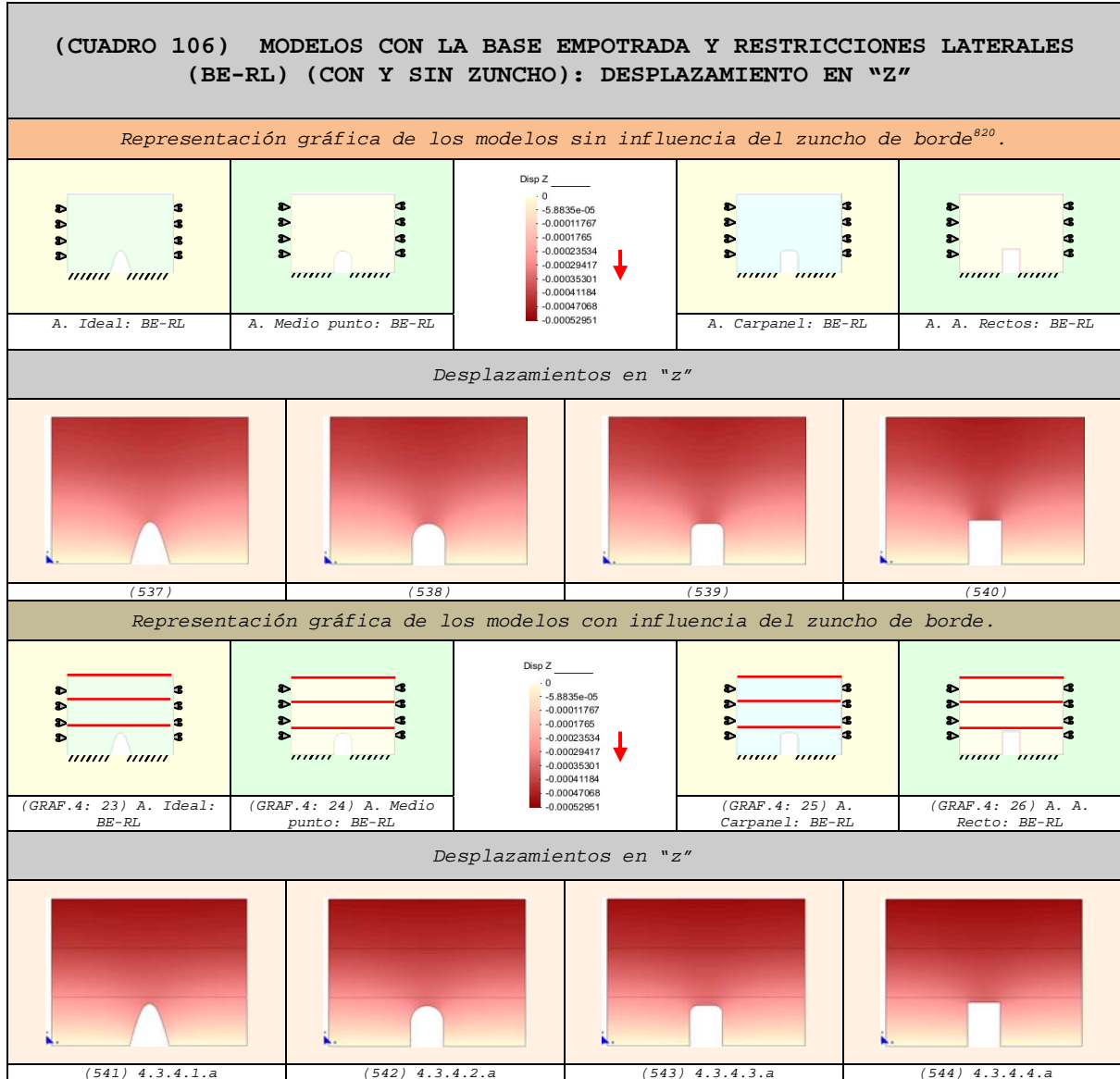
4.7.4.1 Comparación de los Desplazamientos

4.7.4.1.1 Desplazamientos en "x"



⁸¹⁸ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

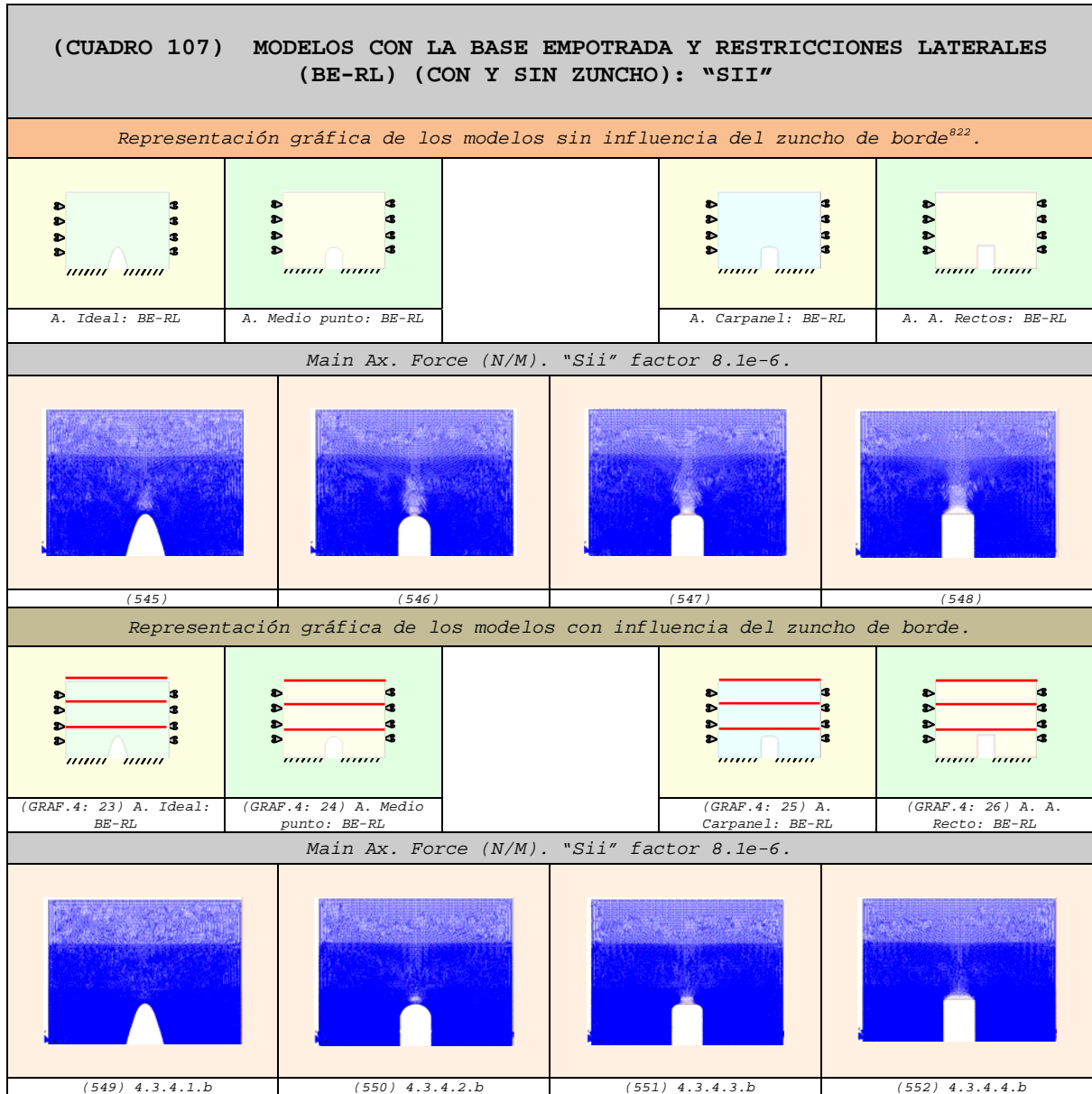
4.7.4.1.2 Desplazamientos en "z" ⁸¹⁹



⁸¹⁹ Los desplazamientos aumentan de valor a medida que el color se acerca al rojo intenso.

⁸²⁰ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

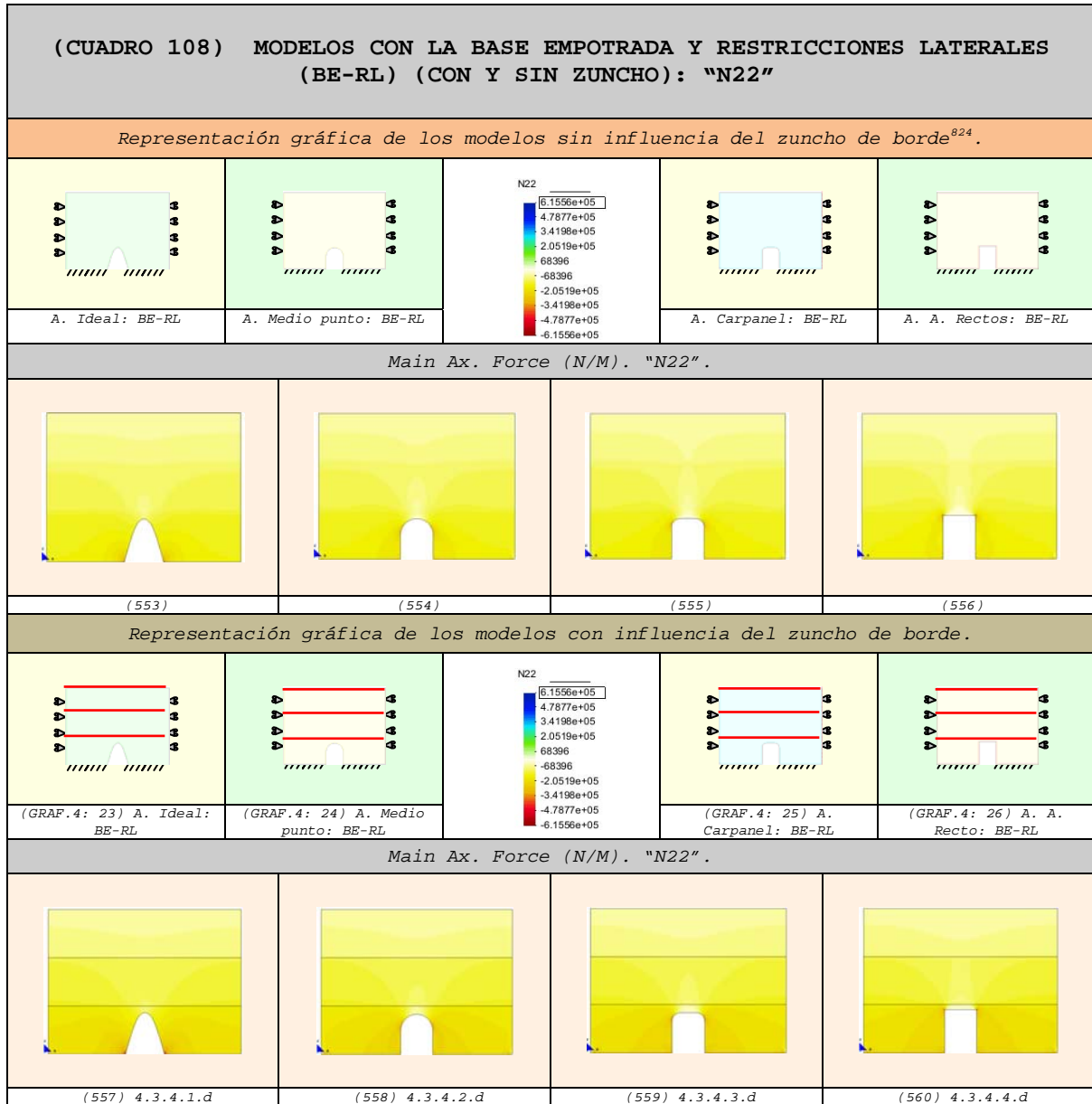
4.7.4.2 Vectores en el sentido de la dirección principal "22"
(Sii)⁸²¹



⁸²¹ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁸²² Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

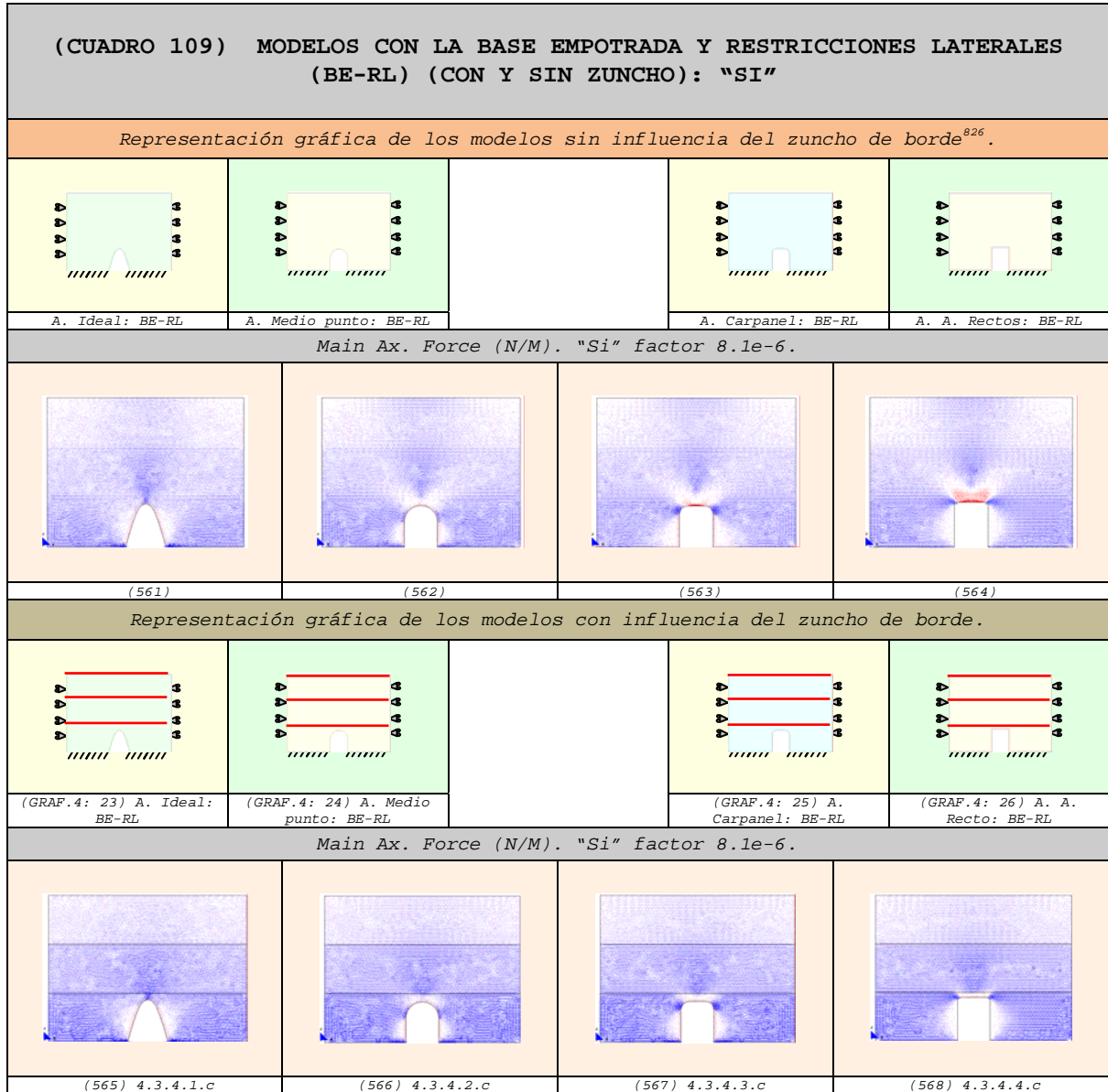
4.7.4.3 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N22"
(N22)⁸²³



⁸²³ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁸²⁴ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

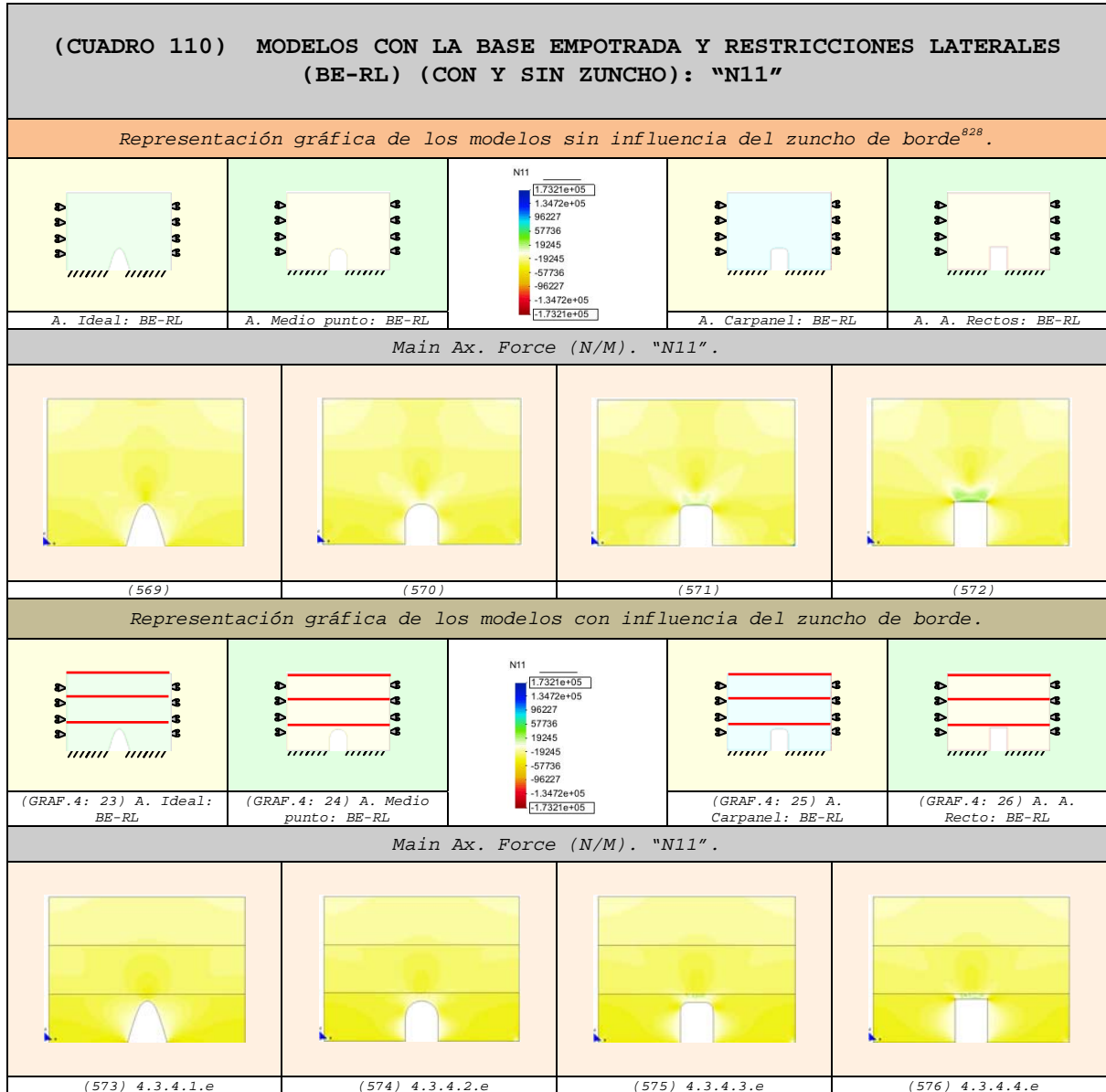
4.7.4.4 Vectores en el sentido de la dirección principal "11"
(Si)⁸²⁵



⁸²⁵ Los vectores de compresión son de color azul y los de tracción son de color rojo.

⁸²⁶ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

4.7.4.5 Fuerzas en el sentido de la dirección principal "N1"
(N11)⁸²⁷



⁸²⁷ Las compresiones se representan con la gama de colores cálidos (amarillo-rojo) y las tracciones con la gama de colores fríos (verde-azul). Las máximas compresiones alcanzan el color rojo y las máximas tracciones el color azul.

⁸²⁸ Todos los resultados de los modelos "sin zuncho" se analizan detalladamente en el capítulo anterior (Capítulo-3), aunque, en el caso que nos ocupa, se les identifica sólo con un número para facilitar su estudio comparativo.

MJIG

CAPÍTULO-4

- 1.- ASPECTOS GENERALES
- 2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS
- 3.- ANÁLISIS DE DIFERENTES TIPOS DE ARCOS
- 4.- INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO
- 5.- INFLUENCIA DE LA FORMA DEL ARCO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO
- 6.- ANÁLISIS COMPARATIVO: INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO EN LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO
- 7.- CUADRO COMPARATIVO: INFLUENCIA DE LA FORMA DE LOS ARCOS EN LOS MODELOS CON ZUNCHO Y SIN ZUNCHO

8.- CONCLUSIONES

4.8 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO-4

Las conclusiones que se presentan a continuación, ponen de manifiesto la influencia favorable de los zunchos cuando se ejecutan apeos.

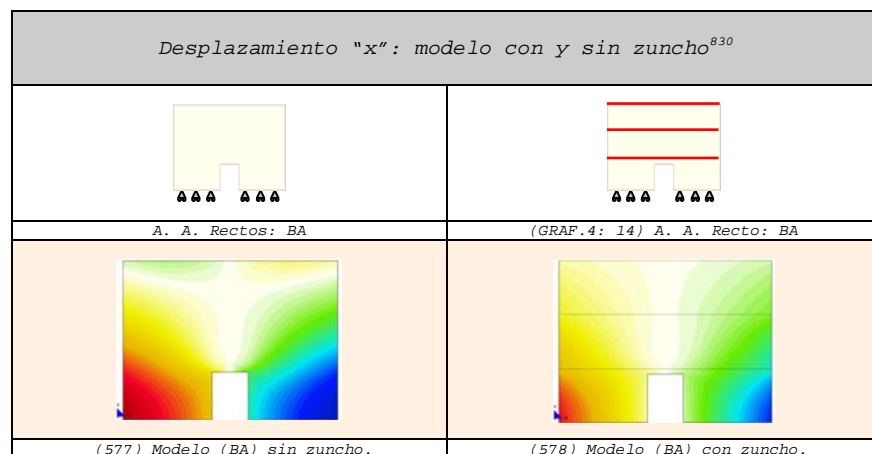
Todos los modelos se ven favorecidos y de un modo especial aquellos que tienen la base apoyada sin movimientos laterales impedidos.

Se ve conveniente clasificar las conclusiones dependiendo de la condición de contorno que se utiliza en el estudio.

4.8.1 Modelos con la base apoyada (BA)

El comportamiento estructural de la pared "mejora sustancialmente" cuando consideramos la influencia del zuncho de forjado perimetral en los modelos. Es mayor al no existir confinamiento ni en la base ni en las caras laterales de los modelos, como se demuestra a continuación, en los modelos que se presentan:

1. La pared aumenta su rigidez⁸²⁹.
 - a. Los "desplazamientos en el sentido del eje "x"" se reducen considerablemente en los modelos:



- b. Los "desplazamientos en el sentido del eje "z"" se ven poco afectados.
2. Los zunchos introducen fuerzas que comprimen la pieza en el sentido del eje "x"⁸³¹.
 - c. Las "fuerzas de tracción" disminuyen de modo perceptible⁸³²:

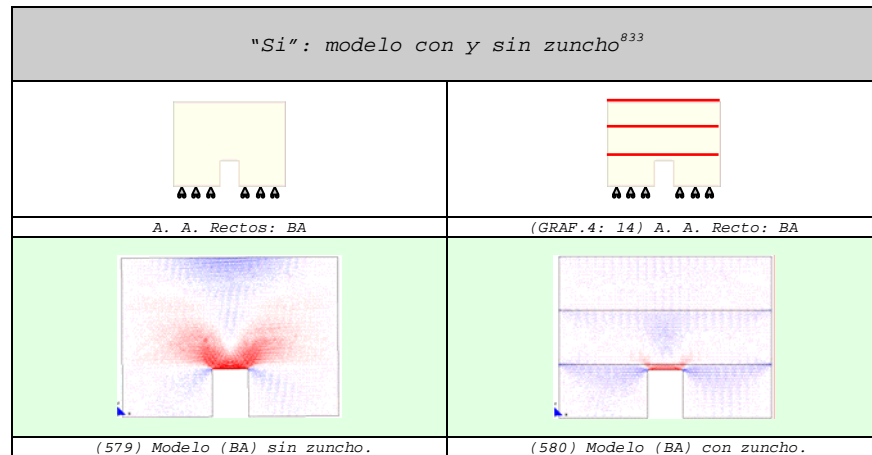
⁸²⁹ De este modo da lugar a una pieza menos deformable.

⁸³⁰ (BA) = Base Apoyada. Los otros modelos se pueden ver en el (CUADRO 87).

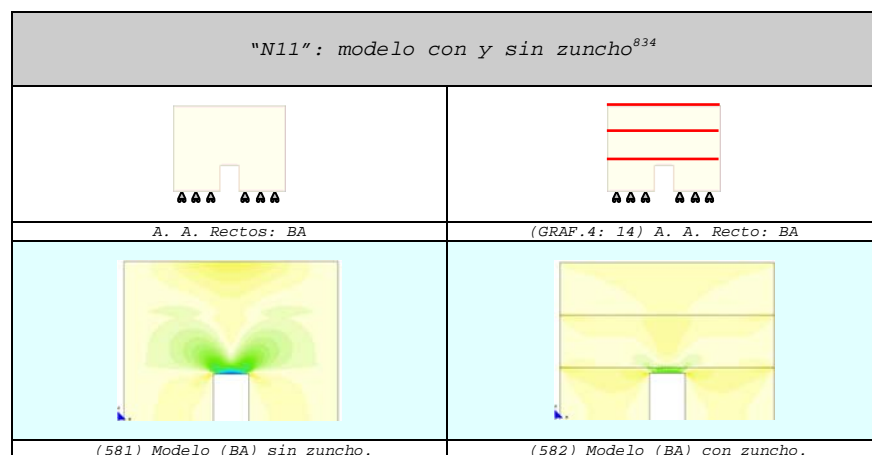
⁸³¹ Estas fuerzas se deben al efecto de zunchado que origina el zuncho al estar embebido en la pared.

⁸³² Este aspecto es muy importante teniendo en cuenta que la obra de fábrica tiene una baja resistencia a las fuerzas de tracción.

- Los vectores de tracción se minimizan en el sentido de la dirección principal "11" (Si).



- Las fuerzas de tracción disminuyen en el sentido de la dirección principal "11" (N11).



- d. Las fuerzas de compresión aumentan sustancialmente⁸³⁵:
- Los vectores de compresión se intensifican en el sentido de la dirección principal "11" (Si)⁸³⁶.
 - Las fuerzas de compresión aumentan en el sentido de la dirección principal "11" (N11)⁸³⁷.

3. Los zunchos introducen en los modelos pequeñas fuerzas que comprimen la pieza en el sentido del eje "z"⁸³⁸.

- e. Las fuerzas de tracción se reducen en menor magnitud en comparación con el sentido del eje "x" en⁸³⁹:

⁸³³ (BA) = Base Apoyada. Los modelos restantes se pueden ver en el (CUADRO 91).

⁸³⁴ (BA) = Base Apoyada. Los modelos restantes se pueden ver en el (CUADRO 92)

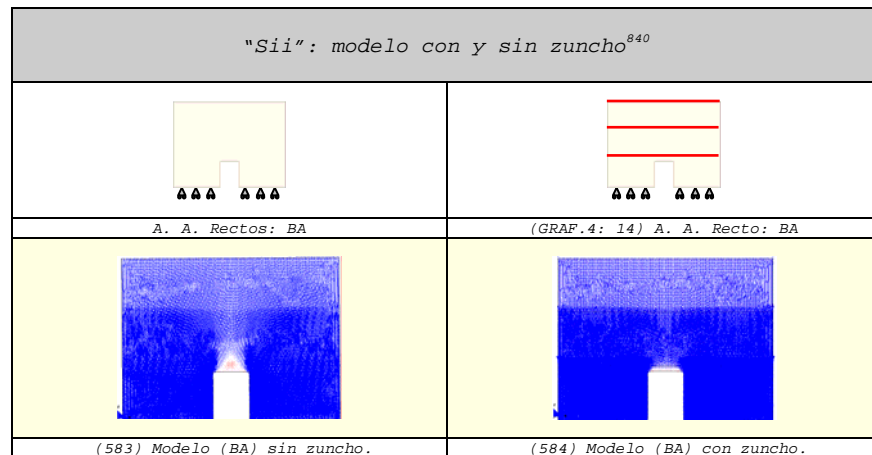
⁸³⁵ Este aspecto es muy importante teniendo en cuenta que la obra de fábrica resiste de mejor forma las fuerzas de compresión.

⁸³⁶ Ver (CUADRO 91).

⁸³⁷ Ver (CUADRO 92).

⁸³⁸ Estas fuerzas se deben al efecto de zunchado que origina el zuncho al estar embebido en la pared.

- Los vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).



- Las fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).



- f. Las fuerzas de compresión aumentan de modo casi imperceptible⁸⁴² en:
- Los vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii)⁸⁴³.
 - Las fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22)⁸⁴⁴.

4.8.2 Modelos con la base apoyada y restricciones laterales

4. La pared aumenta su rigidez⁸⁴⁵.

⁸³⁹ Este aspecto es muy importante teniendo en cuenta que la obra de fábrica tiene una baja resistencia a las fuerzas de tracción.

⁸⁴⁰ (BA) = Base Apoyada. Los modelos restantes se pueden ver en el (CUADRO 89).

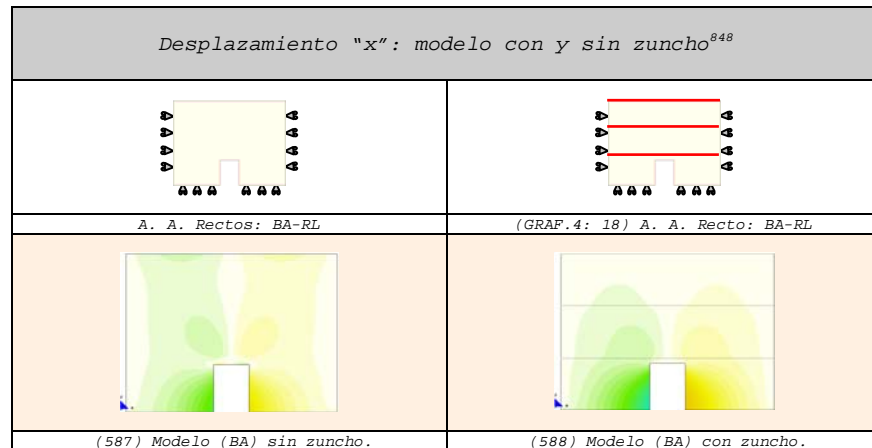
⁸⁴¹ (BA) = Base Apoyada. Los modelos restantes se pueden ver en el (CUADRO 90).

⁸⁴² Este aspecto es muy importante teniendo en cuenta que la obra de fábrica resiste de mejor forma las fuerzas de compresión.

⁸⁴³ Ver (CUADRO 89).

⁸⁴⁴ Ver (CUADRO 90).

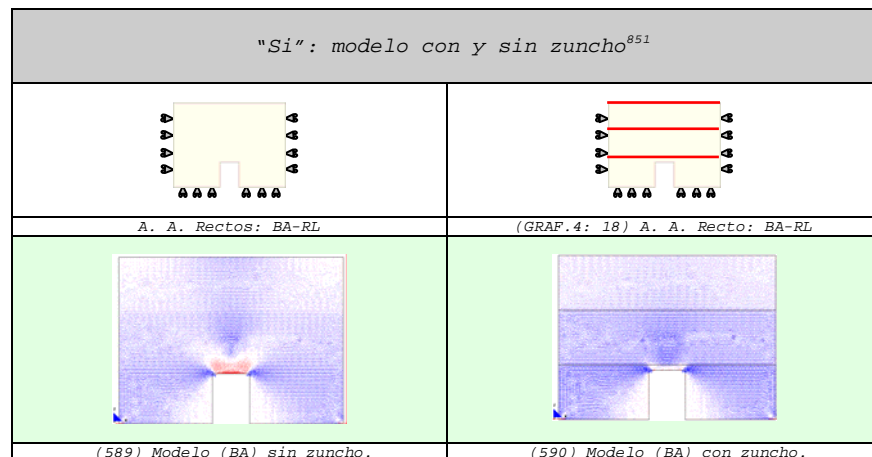
- g. Los desplazamientos en el sentido del eje "x" se reducen en las plantas superiores de los modelos⁸⁴⁶, aunque tienden a intensificarse en las caras laterales de los huecos⁸⁴⁷.



- h. Los desplazamientos en el sentido del eje "z" se ven poco afectados.

5. Los zunchos introducen en los modelos fuerzas que comprimen la pieza en el sentido del eje "x"⁸⁴⁹.

- i. En la clave del arco disminuyen las fuerzas de tracción⁸⁵⁰:
- Los vectores de tracción se minimizan de modo claro en el sentido de la dirección principal "11" (Si).



⁸⁴⁵ De este modo da lugar a una pieza menos deformable.

⁸⁴⁶ La intensificación de los desplazamientos se entiende si tenemos en cuenta el efecto de zunchado que introduce el zuncho en la pared, con lo cual aporta a la zona de los forjados mayor rigidez.

⁸⁴⁷ Por ser la zona que queda con mayor libertad de movimiento.

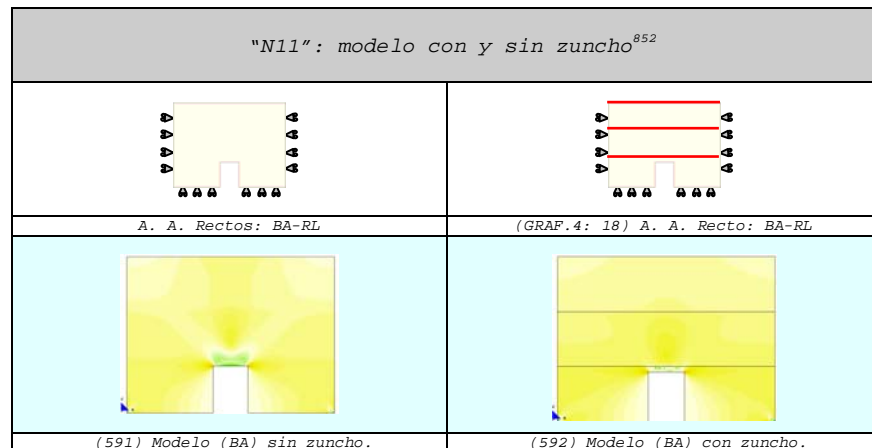
⁸⁴⁸ (BA-RL) = Base Apoyada y restricciones laterales. Los otros modelos se pueden ver en el (CUADRO 93).

⁸⁴⁹ Estas fuerzas se deben al efecto de zunchado que origina el zuncho al estar embebido en la pared.

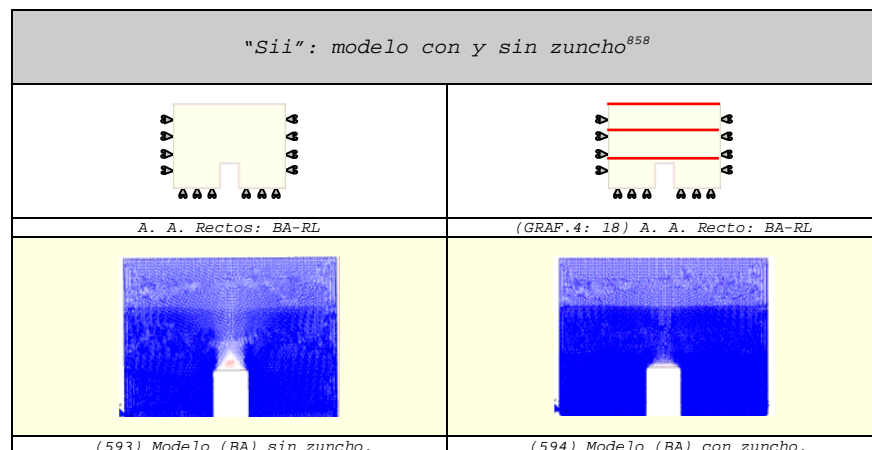
⁸⁵⁰ Este aspecto es muy importante teniendo en cuenta que la obra de fábrica tiene una baja resistencia a las fuerzas de tracción.

⁸⁵¹ (BA-RL) = Base Apoyada y restricciones laterales. Los modelos restantes se pueden ver en el (CUADRO 97).

- Las fuerzas de tracción disminuyen visiblemente en el sentido de la dirección principal "11" (N11).



- j. Las fuerzas de compresión son mayores⁸⁵³:
- Los vectores de compresión se intensifican de modo claro en el sentido de la dirección principal "11" (Si)⁸⁵⁴.
 - Las fuerzas de compresión aumentan visiblemente en el sentido de la dirección principal "11" (N11)⁸⁵⁵.
- 6.** Los zunchos introducen en los modelos pequeñas fuerzas que comprimen la pieza en el sentido del eje "z"⁸⁵⁶.
- k. Las fuerzas de tracción se reducen en menor magnitud en comparación con el sentido del eje "x" en⁸⁵⁷:
- Los vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).



⁸⁵² (BA-RL) = Base Apoyada. Los modelos restantes se pueden ver en el (CUADRO 98)

⁸⁵³ Este aspecto es muy importante teniendo en cuenta que la obra de fábrica resiste de mejor forma las fuerzas de compresión.

⁸⁵⁴ Ver (CUADRO 97).

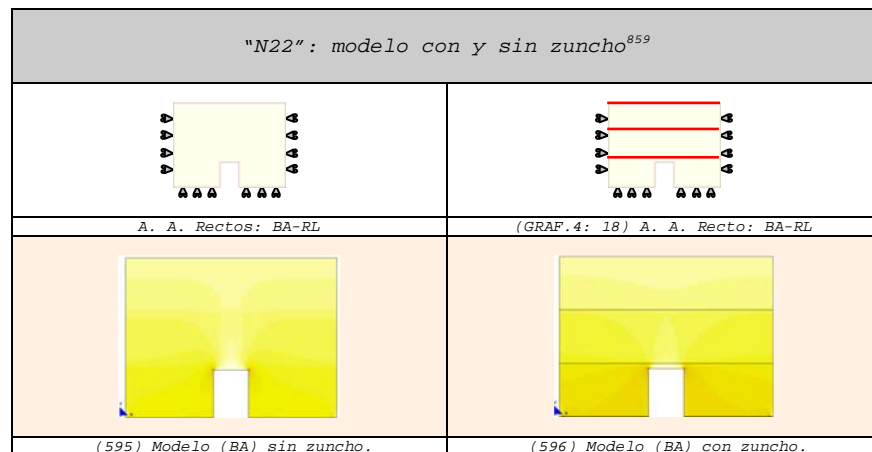
⁸⁵⁵ Ver (CUADRO 98).

⁸⁵⁶ Estas fuerzas se deben al efecto de zunchado que origina el zuncho al estar embebido en la pared.

⁸⁵⁷ Este aspecto es muy importante teniendo en cuenta que la obra de fábrica tiene una baja resistencia a las fuerzas de tracción.

⁸⁵⁸ (BA-RL) = Base Apoyada y restricciones laterales. Los modelos restantes se pueden ver en el (CUADRO 95).

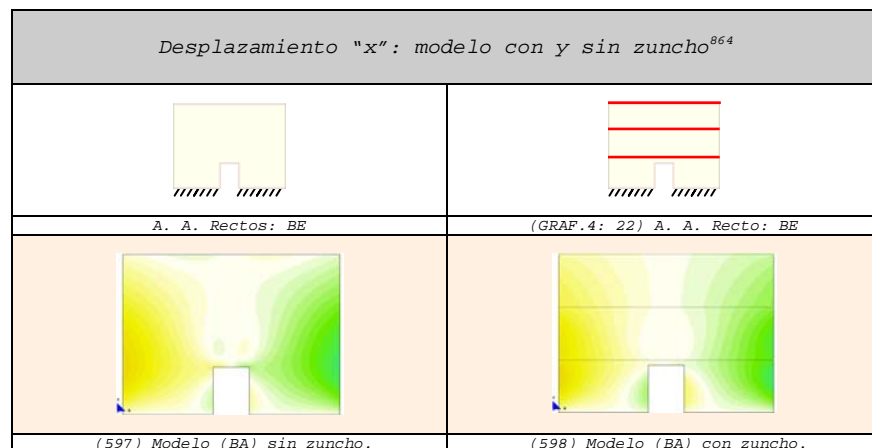
- Las fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).



- Las fuerzas de compresión aumentan de modo casi imperceptible⁸⁶⁰ en:
 - Los vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii)⁸⁶¹.
 - Las fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22)⁸⁶².

4.8.3 Modelos con la base empotrada

- La pared aumenta su rigidez⁸⁶³.
- Los desplazamientos en el sentido del eje "x" disminuyen en los lados de los modelos, aunque se intensifican en las caras laterales de los huecos.



- Los desplazamientos en el sentido del eje "z" se ven poco afectados.

⁸⁵⁹ (BA) = Base Apoyada. Los modelos restantes se pueden ver en el (CUADRO 96).

⁸⁶⁰ Este aspecto es muy importante teniendo en cuenta que la obra de fábrica resiste de mejor forma las fuerzas de compresión.

⁸⁶¹ Ver (CUADRO 95).

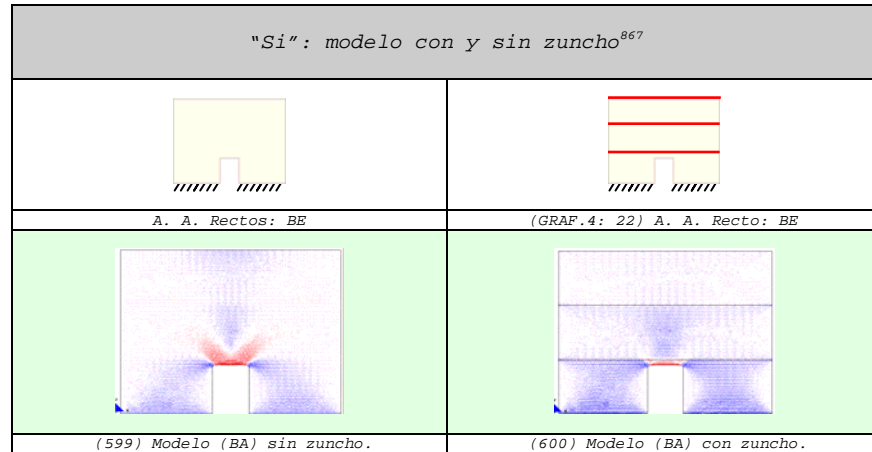
⁸⁶² Ver (CUADRO 96).

⁸⁶³ De este modo da lugar a una pieza menos deformable.

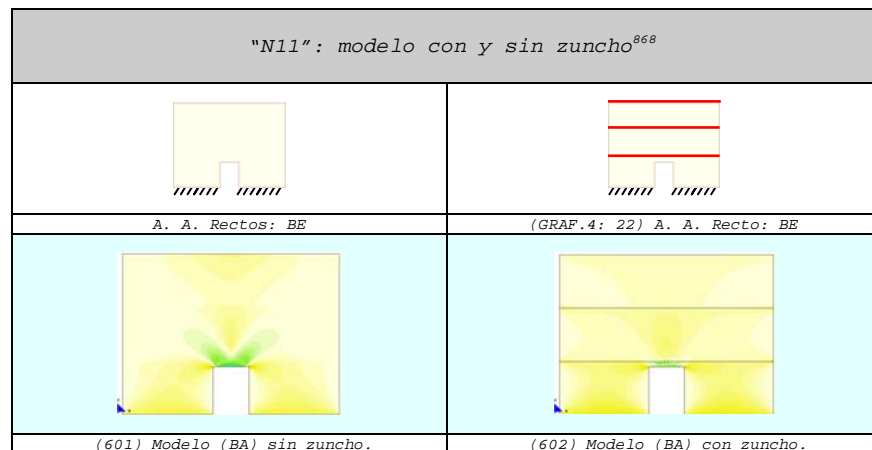
⁸⁶⁴ (BE) = Base empotrada. Los otros modelos se pueden ver en el (CUADRO 99).

8. Los zunchos introducen en los modelos fuerzas que comprimen la pieza en el sentido del eje "x"⁸⁶⁵.

- o. Las fuerzas de tracción disminuyen de modo perceptible⁸⁶⁶:
 - Los vectores de tracción se minimizan de modo claro en el sentido de la dirección principal "11" (Si).



- Las fuerzas de tracción disminuyen visiblemente en el sentido de la dirección principal "11" (N11).



- p. Las fuerzas de compresión se incrementan⁸⁶⁹:
 - Los vectores de compresión se intensifican de modo claro en el sentido de la dirección principal "11" (Si)⁸⁷⁰.
 - Las fuerzas de compresión aumentan visiblemente en el sentido de la dirección principal "11" (N11)⁸⁷¹.

⁸⁶⁵ Estas fuerzas se deben al efecto de zunchado que origina el zuncho al estar embebido en la pared.

⁸⁶⁶ Este aspecto es muy importante teniendo en cuenta que la obra de fábrica tiene una baja resistencia a las fuerzas de tracción.

⁸⁶⁷ (BE) = Base empotrada. Los modelos restantes se pueden ver en el (CUADRO 103).

⁸⁶⁸ (BE) = Base empotrada. Los modelos restantes se pueden ver en el (CUADRO 104)

⁸⁶⁹ Este aspecto es muy importante teniendo en cuenta que la obra de fábrica resiste de mejor forma las fuerzas de compresión.

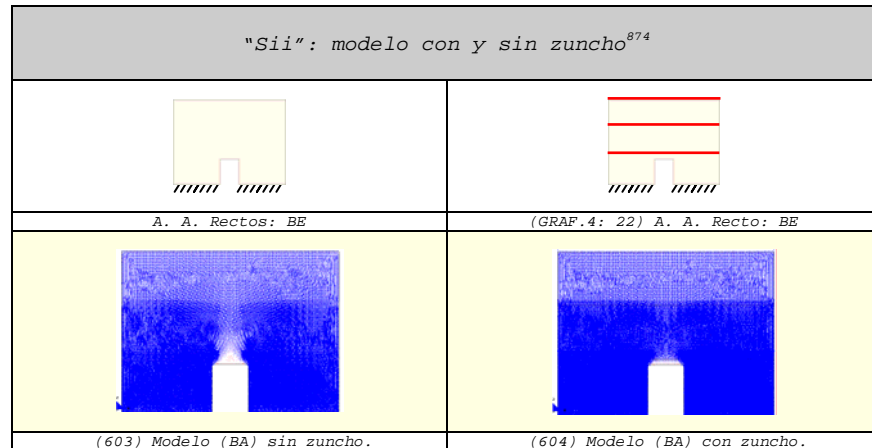
⁸⁷⁰ Ver (CUADRO 103).

⁸⁷¹ Ver (CUADRO 104).

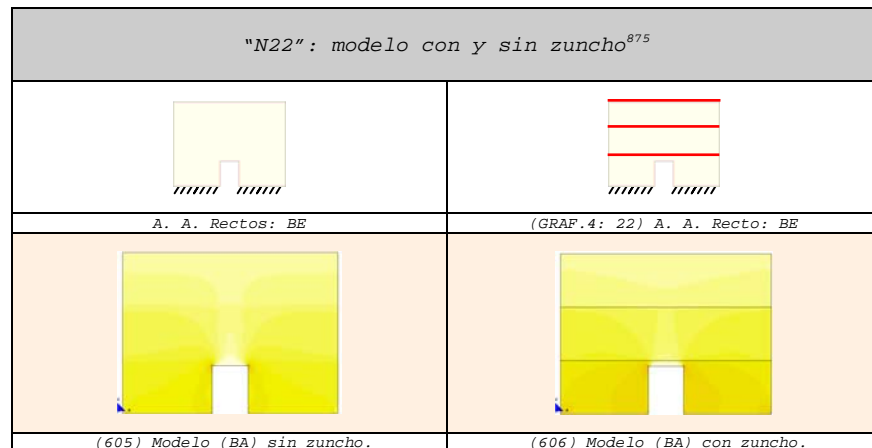
9. Los zunchos introducen en los modelos pequeñas fuerzas que comprimen la pieza en el sentido del eje "z"⁸⁷².

q. Las fuerzas de tracción se reducen en menor magnitud en comparación con el sentido en el eje "x"⁸⁷³ en:

- Los vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).



- Las fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).



r. Las fuerzas de compresión aumenta de modo casi imperceptible⁸⁷⁶ en:

- Los vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii)⁸⁷⁷.
- Las fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22)⁸⁷⁸.

⁸⁷² Estas fuerzas se deben al efecto de zunchado que origina el zuncho al estar embebido en la pared.

⁸⁷³ Este aspecto es muy importante teniendo en cuenta que la obra de fábrica tiene una baja resistencia a las fuerzas de tracción.

⁸⁷⁴ (BE) = Base empotrada. Los modelos restantes se pueden ver en el (CUADRO 101).

⁸⁷⁵ (BE) = Base empotrada. Los modelos restantes se pueden ver en el (CUADRO 102).

⁸⁷⁶ Este aspecto es muy importante teniendo en cuenta que la obra de fábrica resiste de mejor forma las fuerzas de compresión.

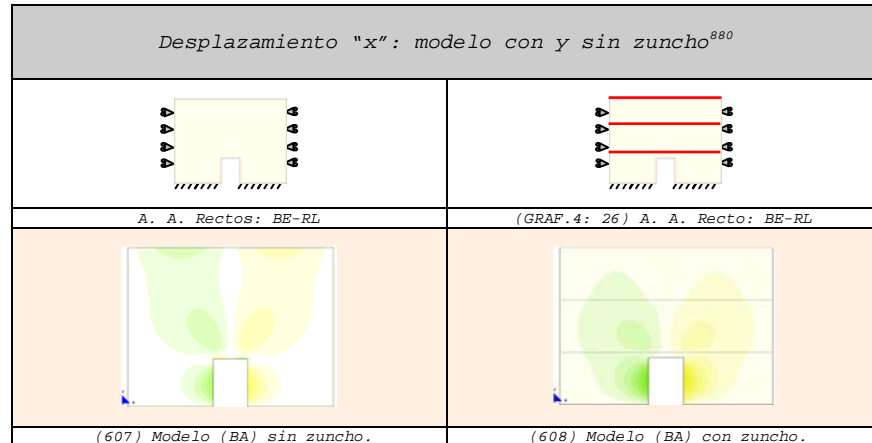
⁸⁷⁷ Ver (CUADRO 101).

⁸⁷⁸ Ver (CUADRO 102).

4.8.4 Modelos con la base empotrada y restricciones laterales

10. La pared aumenta su rigidez⁸⁷⁹.

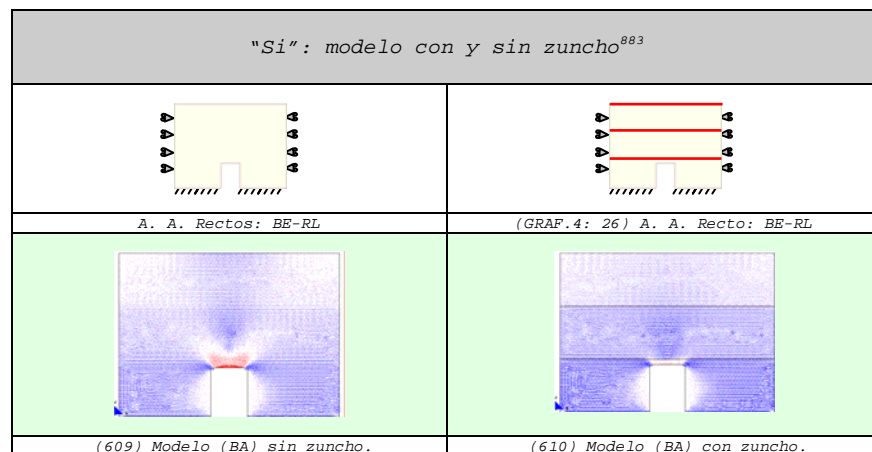
- s. Los desplazamientos en el sentido del eje "x" disminuyen en la parte superior de los modelos, aunque se intensifican en las caras laterales de los huecos.



- t. Los desplazamientos en el sentido del eje "z" se ven poco afectados.

11. Los zunchos introducen en los modelos fuerzas que comprimen la pieza en el sentido del eje "x"⁸⁸¹.

- u. Las fuerzas de tracción disminuyen de modo perceptible⁸⁸²:
- Los vectores de tracción se minimizan de modo claro en el sentido de la dirección principal "11" (Si).



⁸⁷⁹ De este modo da lugar a una pieza menos deformable.

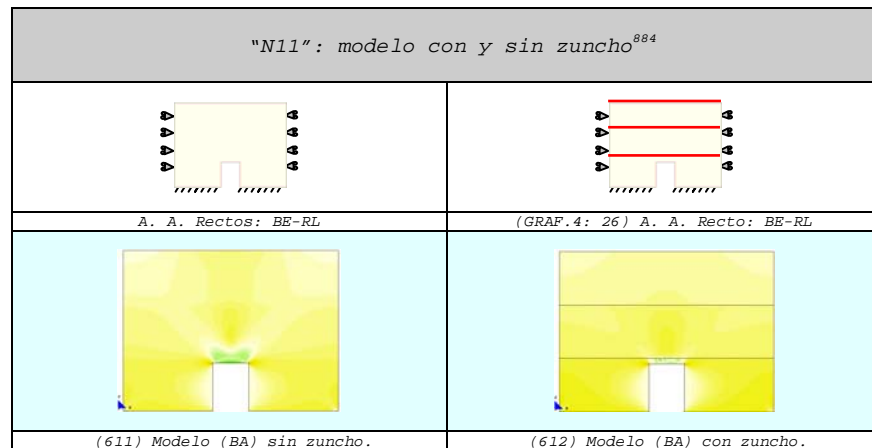
⁸⁸⁰ (BE-RL) = Base empotrada y restricciones laterales. Los otros modelos se pueden ver en el (CUADRO 105).

⁸⁸¹ Estas fuerzas se deben al efecto de zunchado que origina el zuncho al estar embebido en la pared.

⁸⁸² Este aspecto es muy importante teniendo en cuenta que la obra de fábrica tiene una baja resistencia a las fuerzas de tracción.

⁸⁸³ (BE-RL) = Base empotrada y restricciones laterales. Los modelos restantes se pueden ver en el (CUADRO 109).

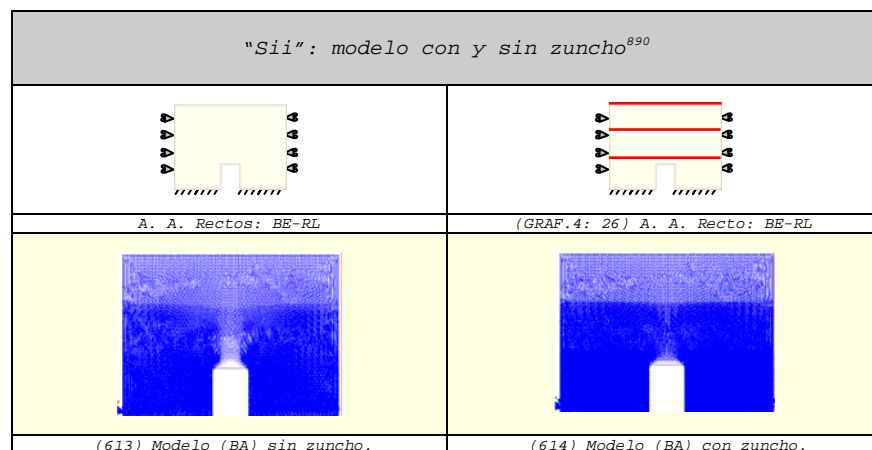
- Las fuerzas de tracción disminuyen visiblemente en el sentido de la dirección principal "11" (N11).



- v. Las fuerzas de compresión se incrementan⁸⁸⁵:
 - Los vectores de compresión se intensifican de modo claro en el sentido de la dirección principal "11" (Si)⁸⁸⁶.
 - Las fuerzas de compresión aumentan visiblemente en el sentido de la dirección principal "11" (N11)⁸⁸⁷.

12. Los zunchos introducen en los modelos pequeñas fuerzas que comprimen la pieza en el sentido del eje "z"⁸⁸⁸.

- w. Las fuerzas de tracción se reducen en menor magnitud en comparación con el sentido en el eje "x" en⁸⁸⁹:
 - Los vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii).



⁸⁸⁴ (BE-RL) = Base empotrada y restricciones laterales. Los modelos restantes se pueden ver en el (CUADRO 110)

⁸⁸⁵ Este aspecto es muy importante teniendo en cuenta que la obra de fábrica resiste de mejor forma las fuerzas de compresión.

⁸⁸⁶ Ver (CUADRO 109).

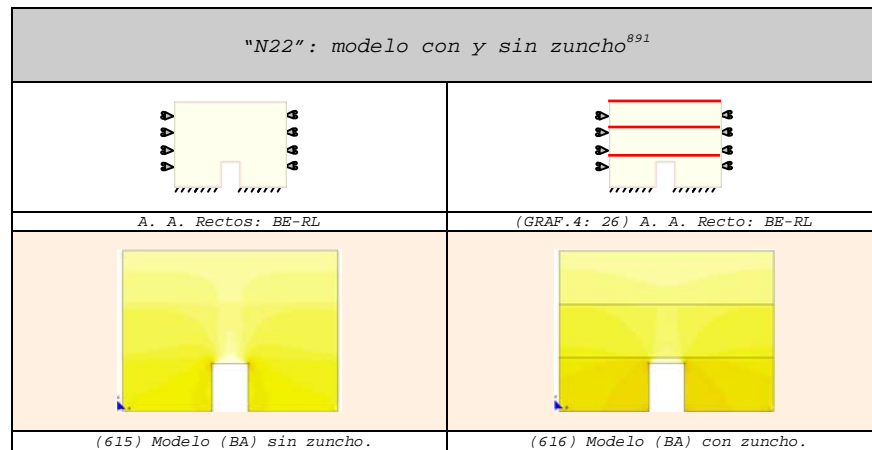
⁸⁸⁷ Ver (CUADRO 110).

⁸⁸⁸ Estas fuerzas se deben al efecto de zunchado que origina el zuncho al estar embebido en la pared.

⁸⁸⁹ Este aspecto es muy importante teniendo en cuenta que la obra de fábrica tiene una baja resistencia a las fuerzas de tracción.

⁸⁹⁰ (BE-RL) = Base empotrada y restricciones laterales. Los modelos restantes se pueden ver en el (CUADRO 107).

- Las fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22).



- x. Las fuerzas de compresión aumentan de modo casi imperceptible⁸⁹² en:
 - Los vectores en el sentido de la dirección principal "22" (Sii)⁸⁹³.
 - Las fuerzas en el sentido de la dirección principal "22" (N22)⁸⁹⁴.

⁸⁹¹ (BE-RL) = Base empotrada y restricciones laterales. Los modelos restantes se pueden ver en el (CUADRO 108).

⁸⁹² Este aspecto es muy importante teniendo en cuenta que la obra de fábrica resiste de mejor forma las fuerzas de compresión.

⁸⁹³ Ver (CUADRO 107).

⁸⁹⁴ Ver (CUADRO 108).

ÍNDICE DE CUADROS.

(CUADRO 1)	DIMENSIONES GENERALES	4-14
(CUADRO 2)	TIPOLOGÍA DE ARCOS A ESTUDIAR	4-17
(CUADRO 3)	REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS DESPLAZAMIENTOS Y GIROS	4-20
(CUADRO 4)	ESQUEMAS DE LOS MODELOS CON LAS DIFERENTES CONDICIONES DE CONTORNO A ANALIZAR	4-21
(CUADRO 5)	REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS RESULTADOS NUMÉRICOS	4-22
(CUADRO 6)	VALORES MÁXIMOS ABSOLUTOS	4-23
(CUADRO 7)	MANIPULACIÓN DE DATOS	4-23
(CUADRO 8)	MÁXIMOS ABSOLUTOS CONSIDERADOS EN EL ANÁLISIS	4-24
(CUADRO 9)	FUERZAS Y DESPLAZAMIENTO EN "X"	4-24
(CUADRO 10)	DESPLAZAMIENTO EN "Z"	4-25
(CUADRO 11)	MODELOS: BASE APOYADA	4-32
(CUADRO 12)	MODELOS: BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES	4-38
(CUADRO 13)	MODELOS: BASE EMPOTRADA	4-44
(CUADRO 14)	MODELOS: BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES	4-50
(CUADRO 15)	ARCO IDEAL (CON ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "X"	4-57
(CUADRO 16)	ARCO IDEAL (CON ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "Z"	4-59
(CUADRO 17)	ARCO IDEAL (CON ZUNCHO): "SII"	4-60
(CUADRO 18)	ARCO IDEAL (CON ZUNCHO): "N22"	4-61
(CUADRO 19)	ARCO IDEAL (CON ZUNCHO): "SI"	4-62
(CUADRO 20)	ARCO IDEAL (CON ZUNCHO): "N11"	4-64
(CUADRO 21)	ARCO DE MEDIO PUNTO (CON ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "X"	4-65
(CUADRO 22)	ARCO DE MEDIO PUNTO (CON ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "Z"	4-67
(CUADRO 23)	ARCO DE MEDIO PUNTO (CON ZUNCHO): "SII"	4-68
(CUADRO 24)	ARCO DE MEDIO PUNTO (CON ZUNCHO): "N22"	4-69
(CUADRO 25)	ARCO DE MEDIO PUNTO (CON ZUNCHO): "SI"	4-70
(CUADRO 26)	ARCO DE MEDIO PUNTO (CON ZUNCHO): "N11"	4-72
(CUADRO 27)	ARCO CARPANEL (CON ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "X"	4-73
(CUADRO 28)	ARCO CARPANEL (CON ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "Z"	4-75
(CUADRO 29)	ARCO CARPANEL (CON ZUNCHO): "SII"	4-76
(CUADRO 30)	ARCO CARPANEL (CON ZUNCHO): "N22"	4-77
(CUADRO 31)	ARCO CARPANEL (CON ZUNCHO): "SI"	4-78
(CUADRO 32)	ARCO CARPANEL (CON ZUNCHO): "N11"	4-80
(CUADRO 33)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS (CON ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "X"	4-81
(CUADRO 34)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS (CON ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "Z"	4-83
(CUADRO 35)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS (CON ZUNCHO): "SII"	4-84
(CUADRO 36)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS (CON ZUNCHO): "N22"	4-85

(CUADRO 37)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS (CON ZUNCHO): "SI"	4-86
(CUADRO 38)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS (CON ZUNCHO): "N11"	4-88
(CUADRO 39)	MODELOS CON LA BASE APOYADA (BA) (CON ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "X"	4-91
(CUADRO 40)	MODELOS CON LA BASE APOYADA (BA) (CON ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "Z"	4-93
(CUADRO 41)	MODELOS CON LA BASE APOYADA (BA) (CON ZUNCHO): "SII"	4-94
(CUADRO 42)	MODELOS CON LA BASE APOYADA (BA) (CON ZUNCHO): "N22"	4-96
(CUADRO 43)	MODELOS CON LA BASE APOYADA (BA) (CON ZUNCHO): "SI"	4-97
(CUADRO 44)	MODELOS CON LA BASE APOYADA (BA) (CON ZUNCHO): "N11"	4-99
(CUADRO 45)	MODELOS CON LA BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL) (CON ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "X"	4-100
(CUADRO 46)	MODELOS CON LA BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL) (CON ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "Z"	4-102
(CUADRO 47)	MODELOS CON LA BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL) (CON ZUNCHO): "SII"	4-103
(CUADRO 48)	MODELOS CON LA BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL) (CON ZUNCHO): "N22"	4-105
(CUADRO 49)	MODELOS CON LA BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL) (CON ZUNCHO): "SI"	4-106
(CUADRO 50)	MODELOS CON LA BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL) (CON ZUNCHO): "N11"	4-108
(CUADRO 51)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA (BE) (CON ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "X"	4-109
(CUADRO 52)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA (BE) (CON ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "Z"	4-111
(CUADRO 53)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA (BE) (CON ZUNCHO): "SII" Y "N22"	4-112
(CUADRO 54)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA (BE) (CON ZUNCHO): "N22"	4-114
(CUADRO 55)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA (BE) (CON ZUNCHO): "SI"	4-115
(CUADRO 56)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA (BE) (CON ZUNCHO): "N11"	4-117
(CUADRO 57)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL) (CON ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "X"	4-118
(CUADRO 58)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL) (CON ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "Z"	4-120
(CUADRO 59)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL) (CON ZUNCHO): "SII" Y "N22"	4-121
(CUADRO 60)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL) (CON ZUNCHO): "N22"	4-123
(CUADRO 61)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL) (CON ZUNCHO): "SI"	4-124
(CUADRO 62)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL) (CON ZUNCHO): "N11"	4-126
(CUADRO 63)	ARCO IDEAL (CON Y SIN ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "X"	4-129
(CUADRO 64)	ARCO IDEAL (CON Y SIN ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "Z"	4-131
(CUADRO 65)	ARCO IDEAL (CON Y SIN ZUNCHO): "SII"	4-133
(CUADRO 66)	ARCO IDEAL (CON Y SIN ZUNCHO): "N22"	4-135

(CUADRO 67)	ARCO IDEAL (CON Y SIN ZUNCHO): "SI"	4-137
(CUADRO 68)	ARCO IDEAL (CON Y SIN ZUNCHO): "N11"	4-139
(CUADRO 69)	ARCO DE MEDIO PUNTO (CON Y SIN ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "X"	4-141
(CUADRO 70)	ARCO DE MEDIO PUNTO (CON Y SIN ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "Z"	4-143
(CUADRO 71)	ARCO DE MEDIO PUNTO (CON Y SIN ZUNCHO): "SII"	4-145
(CUADRO 72)	ARCO DE MEDIO PUNTO (CON Y SIN ZUNCHO): "N22"	4-147
(CUADRO 73)	ARCO DE MEDIO PUNTO (CON Y SIN ZUNCHO): "SI"	4-149
(CUADRO 74)	ARCO DE MEDIO PUNTO (CON Y SIN ZUNCHO): "N11"	4-151
(CUADRO 75)	ARCO CARPANEL (CON Y SIN ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "X"	4-153
(CUADRO 76)	ARCO CARPANEL (CON Y SIN ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "Z"	4-155
(CUADRO 77)	ARCO CARPANEL (CON Y SIN ZUNCHO): "SII"	4-157
(CUADRO 78)	ARCO CARPANEL (CON Y SIN ZUNCHO): "N22"	4-159
(CUADRO 79)	ARCO CARPANEL (CON Y SIN ZUNCHO): "SI"	4-161
(CUADRO 80)	ARCO CARPANEL (CON Y SIN ZUNCHO): "N11"	4-163
(CUADRO 81)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS (CON Y SIN ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "X"	4-165
(CUADRO 82)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS (CON Y SIN ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "Z"	4-167
(CUADRO 83)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS (CON Y SIN ZUNCHO): "SII"	4-169
(CUADRO 84)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS (CON Y SIN ZUNCHO): "N22"	4-171
(CUADRO 85)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS (CON Y SIN ZUNCHO): "SI"	4-173
(CUADRO 86)	ARCO DE ÁNGULOS RECTOS (CON Y SIN ZUNCHO): "N11"	4-175
(CUADRO 87)	MODELOS CON LA BASE APOYADA (BA) (CON Y SIN ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "X"	4-179
(CUADRO 88)	MODELOS CON LA BASE APOYADA (BA) (CON Y SIN ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "Z"	4-180
(CUADRO 89)	MODELOS CON LA BASE APOYADA (BA) (CON Y SIN ZUNCHO): "SII"	4-181
(CUADRO 90)	MODELOS CON LA BASE APOYADA (BA) (CON Y SIN ZUNCHO): "N22"	4-182
(CUADRO 91)	MODELOS CON LA BASE APOYADA (BA) (CON Y SIN ZUNCHO): "SI"	4-183
(CUADRO 92)	MODELOS CON LA BASE APOYADA (BA) (CON Y SIN ZUNCHO): "N11"	4-184
(CUADRO 93)	MODELOS CON LA BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL) (CON Y SIN ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "X"	4-185
(CUADRO 94)	MODELOS CON LA BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL) (CON Y SIN ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "Z"	4-186
(CUADRO 95)	MODELOS CON LA BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL) (CON Y SIN ZUNCHO): "SII"	4-187
(CUADRO 96)	MODELOS CON LA BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL) (CON Y SIN ZUNCHO): "N22"	4-188
(CUADRO 97)	MODELOS CON LA BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL) (CON Y SIN ZUNCHO): "SI"	4-189
(CUADRO 98)	MODELOS CON LA BASE APOYADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BA-RL) (CON Y SIN ZUNCHO): "N11"	4-190
(CUADRO 99)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA (BE) (CON Y SIN ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "X"	4-191

(CUADRO 100)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA (BE) (CON Y SIN ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "Z"	4-192
(CUADRO 101)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA (BE) (CON Y SIN ZUNCHO): "SII"	4-193
(CUADRO 102)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA (BE) (CON Y SIN ZUNCHO): "N22"	4-194
(CUADRO 103)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA (BE) (CON Y SIN ZUNCHO): "SI"	4-195
(CUADRO 104)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA (BE) (CON Y SIN ZUNCHO): "N11"	4-196
(CUADRO 105)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL) (CON Y SIN ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "X"	4-197
(CUADRO 106)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL) (CON Y SIN ZUNCHO): DESPLAZAMIENTO EN "Z"	4-198
(CUADRO 107)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL) (CON Y SIN ZUNCHO): "SII"	4-199
(CUADRO 108)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL) (CON Y SIN ZUNCHO): "N22"	4-200
(CUADRO 109)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL) (CON Y SIN ZUNCHO): "SI"	4-201
(CUADRO 110)	MODELOS CON LA BASE EMPOTRADA Y RESTRICCIONES LATERALES (BE-RL) (CON Y SIN ZUNCHO): "N11"	4-202

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

(GRAF.4: 1) HUECO CON ARCO IDEAL.....	4-17
(GRAF.4: 2) HUECO CON ARCO DE MEDIO PUNTO.....	4-17
(GRAF.4: 3) HUECO CON ARCO CARPANEL.....	4-17
(GRAF.4: 4) HUECO CON ARCO DE ÁNGULOS RECTOS.....	4-17
(GRAF.4: 5) REPRESENTACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO-X (δx).....	4-20
(GRAF.4: 6) REPRESENTACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO-Y (δy).....	4-20
(GRAF.4: 7) REPRESENTACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO-Z (δz).....	4-20
(GRAF.4: 8) REPRESENTACIÓN DEL GIRO-X (θx).....	4-20
(GRAF.4: 9) REPRESENTACIÓN DEL GIRO-Y (θy).....	4-20
(GRAF.4: 10) REPRESENTACIÓN DEL GIRO-Z (θz).....	4-20
(GRAF.4: 11) A. IDEAL: BA.....	4-21
(GRAF.4: 12) A. MEDIO PUNTO: BA.....	4-21
(GRAF.4: 13) A. CARPANEL: BA.....	4-21
(GRAF.4: 14) A. A. RECTO: BA.....	4-21
(GRAF.4: 15) A. IDEAL: BA-RL.....	4-21
(GRAF.4: 16) A. MEDIO PUNTO: BA-RL.....	4-21
(GRAF.4: 17) A. CARPANEL: BA-RL.....	4-21
(GRAF.4: 18) A. A. RECTO: BA-RL.....	4-21
(GRAF.4: 19) A. IDEAL: BE.....	4-21
(GRAF.4: 20) A. MEDIO PUNTO: BE.....	4-21
(GRAF.4: 21) A. CARPANEL: BE.....	4-21
(GRAF.4: 22) A. A. RECTO: BE.....	4-21
(GRAF.4: 23) A. IDEAL: BE-RL.....	4-21
(GRAF.4: 24) A. MEDIO PUNTO: BE-RL.....	4-21
(GRAF.4: 25) A. CARPANEL: BE-RL.....	4-21
(GRAF.4: 26) A. A. RECTO: BE-RL.....	4-21
(GRAF.4: 27) "SII": DIRECCIÓN DE LOS VECTORES PRINCIPALES (EN EL EJE DE LA DIRECCIÓN PRINCIPAL "22=Y"). LOS VECTORES ROJOS REPRESENTAN TRACCIONES Y LOS VECTORES AZULES COMPRESIONES.....	4-22
(GRAF.4: 28) "N22": FUERZAS EN LA DIRECCIÓN PRINCIPAL "22=Y" (EN EL EJE DE LA DIRECCIÓN PRINCIPAL "Y").....	4-22
(GRAF.4: 29) "NYY=NY'": FUERZAS EN LA DIRECCIÓN "YY=Y'" (EN EL EJE LOCAL "Y'").....	4-22
(GRAF.4: 30) "SI": DIRECCIÓN DE LOS VECTORES PRINCIPALES (EN EL EJE DE LA DIRECCIÓN PRINCIPAL "11=X"). LOS VECTORES ROJOS REPRESENTAN TRACCIONES Y LOS VECTORES AZULES COMPRESIONES.....	4-22
(GRAF.4: 31) "N11": FUERZAS EN LA DIRECCIÓN PRINCIPAL "11=X" (EN EL EJE DE LA DIRECCIÓN PRINCIPAL "X").....	4-22
(GRAF.4: 32) "NXX=NX'": FUERZAS EN LA DIRECCIÓN "XX=X'" (EN EL EJE LOCAL "X'").....	4-22
(GRAF.4: 33) DATOS INICIALES DEL PROGRAMA. VALOR MÁXIMO ABSOLUTO (MÁX. ABS.).....	4-23

(GRAF.4: 34) DATOS MANIPULADOS: IGUALDAD ENTRE MÁXIMOS Y MÍNIMOS. VALOR DE REFERENCIA $1.5424E+05$ (MÁX. ABS.).	4-23
(GRAF.4: 35) DESPLAZAMIENTO EN "X" MÁXIMO ABSOLUTO: $0,00017383M$.	4-24
(GRAF.4: 36) DESPLAZAMIENTO EN "Z" MÁXIMO ABSOLUTO:	4-24
(GRAF.4: 37) LA FUERZA MÁXIMA ABSOLUTA EN LA DIRECCIÓN PRINCIPAL "22" ES "N22": $615562N/M$.	4-24
(GRAF.4: 38) LA FUERZA MÁXIMA ABSOLUTA EN LA DIRECCIÓN "YY" ES "NYY=NY'": $614076N/M$.	4-24
(GRAF.4: 39) LA FUERZA MÁXIMA ABSOLUTA EN LA DIRECCIÓN PRINCIPAL "11" ES "N11": $173209N/M$.	4-24
(GRAF.4: 40) LA FUERZA MÁXIMA ABSOLUTA EN LA DIRECCIÓN "XX" ES "NXX=NX'": $156236N/M$.	4-24
(GRAF.4: 41) REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS VECTORES "SI".	4-26