

Universidad Politécnica de Cataluña
Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica I

TESIS DOCTORAL

GENERACIÓN Y CONTROL DE FORMAS LIBRES EN ENTORNOS BIM

Modelado paramétrico, modelado algorítmico

Autor: Antonio Larrondo Lizarraga
Arquitecto
2017

Director de tesis: D. Eloi Coloma Picó, Dr. Arquitecto

Co-director de tesis: D. Joaquim Manuel Regot Marimón, Dr. Arquitecto

Tutor: D. Eloi Coloma Picó, Dr. Arquitecto



Barcelona 2017

ACTA DE CALIFICACIÓN DE LA TESIS

Reunido el tribunal integrado por los abajo firmantes para juzgar la tesis doctoral:

Título de la tesis: Generación y control de formas en entornos BIM. Modelado paramétrico, modelado algorítmico.

Autor de la tesis: Antonio Larrondo Lizarraga.

Acuerda otorgar la calificación de:

- No apto
- Aprobado
- Notable
- Sobresaliente
- Sobresaliente Cum Laude

Barcelona, de de

El Presidente

El Secretario

.....
(nombre y apellidos)

.....
(nombre y apellidos)

El vocal

El vocal

El vocal

.....
(nombre y apellidos)

.....
(nombre y apellidos)

.....
(nombre y apellidos)

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.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría en estas líneas expresar mi agradecimiento más sincero a las personas que con su ayuda han contribuido a la realización de este trabajo de tesis:

A mi Tutor y Director de Tesis Dr. Eloi Coloma Picó por su dedicación, sus sugerencias y por abrirme la puerta a otros paisajes nuevos que mereció la pena visitar.

A mi Codirector de Tesis Dr. Joaquim Regot Marimón por sus orientaciones, su apoyo y su cercanía.

A mi amigo Inocencio que tan pacientemente ha colaborado a que esta tesis salga mucho más limpia, más fija y con más esplendor.

A la Universidad Politécnica de Cataluña y personal de posgrado, por su amabilidad y todas las facilidades que siempre me han dado en todas las ocasiones que lo he necesitado.

A mi familia por haberme soportado con tanta paciencia, prometo devolverles el tiempo que les he quitado.

A todos ellos muchas gracias.

RESUMEN

La aparición de nuevas tecnologías digitales en el ámbito del modelado 3D sobre entornos BIM, está modificando profundamente la forma de interactuar, representar, analizar, comunicar y experimentar la arquitectura virtualmente, antes de su ejecución y conversión en obra construida. Con ello se ponen al alcance del arquitecto nuevos recursos por explorar, permitiendo nuevas posibilidades como la creación personalizada de las propias herramientas de modelado, junto con la automatización de tareas.

El presente trabajo de tesis pretende explorar e investigar el alcance de estas nuevas herramientas y técnicas instrumentales de modelado, en el ámbito de la generación y el control de las formas libres (modelado conceptual o de masas) de geometrías generalmente complejas sobre entornos BIM. Sin olvidar su incorporación al flujo de trabajo dentro del proceso de definición del proyecto arquitectónico y de su integración en la definición del modelo BIM, a fin de permitir la comprensión visual holística de todos los elementos constructivos y arquitectónicos del modelo, dando como resultado mayor predictibilidad, disminución de incertidumbres, reduciendo pérdidas y lagunas de información.

Es también objeto de estudio de esta tesis el control de dichas formas, su análisis, estudio generativo, su geometría, los parámetros sobre los que se va a generar y gobernar y, en definitiva su optimización en base a diferentes criterios y prestaciones establecidos, para tratar de conseguir una mayor eficiencia reduciendo costos e impactos negativos en el medio ambiente. La forma se entiende como resultado de un proceso complejo de análisis y síntesis donde intervienen muchos factores y no como un mero apriorismo. Se describen técnicas para desarrollar este tipo de controles, análisis y gestión en los procesos generativos, que minimizan los factores de incertidumbre y reducen desviaciones posibles entre lo proyectado y lo ejecutado en todas las fases de desarrollo del proyecto.

Se analizan dos vías alternativas de modelado que en la actualidad proporcionan los softwares de modelado sobre entornos BIM: el modelado Paramétrico y el modelado Algorítmico de más reciente aparición. Este último necesita de un lenguaje específico propio de programación visual VPL (Visual Programming Language) para su utilización. También se estudian las relaciones y el

diálogo bidireccional que puede establecerse entre ambos (software de modelado y software de programación visual) y con otros softwares para el intercambio de información, tales como Hojas de cálculo, Bases de datos y otros (cálculo de estructuras, instalaciones, auditorías energéticas etc.) dando pie a la interoperabilidad propiedad muy favorecida y potenciada por los entornos de trabajo BIM.

La incorporación de estas técnicas digitales permite no solo la exploración de nuevas posibilidades de modelado y generación de formas complejas, con posibilidad de realización de una multiplicidad de opciones, simulaciones, comprobaciones, tanteos y análisis de alternativas de su comportamiento real que facilitarán en gran medida la toma de decisiones óptimas, sino la optimización del propio proceso de diseño haciendo cuestión de los métodos tradicionales y tempos de proyectación al uso.

Este proceso de tecnificación de la arquitectura abre nuevas vías de exploración y colaboración estrecha en el modelado de formas, permitiendo también dentro de los lenguajes de programación visual VPL, la introducción e incorporación conjunta de código de programación textual convencional (Design Script, Python, C#, etc.) para poder crear nuevas herramientas de diseño personalizadas y automatizar tareas repetitivas, con un considerable ahorro de tiempo respecto de otros tipos de modelado.

Se aplican ambas vías alternativas de modelado a un caso práctico de modelado de un edificio singular como la Torre Swiss Re de Norman Foster en Londres, donde se ponen de manifiesto las diferentes formas de trabajo, tempos, estrategias de modelado, objetivos perseguidos por cada tipo de modelado y las relaciones bidireccionales de diálogo e intercambio de información que pueden establecerse entre ambos. Así como su incorporación al flujo de trabajo de desarrollo y definición gradual del proyecto.

Descriptor clave: Modelado de formas libres, modelado conceptual, modelado de masas, modelado paramétrico, modelado algorítmico, editor gráfico de algoritmos, lenguajes de programación visual, lenguajes de programación orientados a objetos.

ABSTRACT

The appearance of new digital technologies in the field of 3D modeling on BIM environments is significantly changing the way of interacting, representing, analyzing, communicating and experiencing architecture virtually, before its implementation and transformation into a completed building work. Thus, the architects are provided with new resources to explore, allowing them for new possibilities such as the customized creation of personal modeling tools, along with the automation of processes.

The present thesis work intends to explore and research how far these new tools and modeling techniques can reach, regarding the generation and control of free forms (conceptual or mass modeling) in geometries generally complex on BIM environments, including its incorporation to the work flow within the definition process of the architectural project, as well as its integration in the BIM model definition. This allows the holistic visual comprehension of all architectural and building elements of the model, resulting in greater predictability, decrease of uncertainties, and reducing loopholes and information losses.

It is also the aim of this study the control of such forms, its analysis, generative study, its geometry and those parameters from which generation and govern will be performed, in short, its optimization based on different criteria and given features, so as to obtain a greater efficiency by reducing costs and negative impacts on the environment. Forms are understood as a result of a complex synthesis and analysis process, and not just as a mere apriorism. Techniques are described to develop this kind of controls, analysis and management for the generating processes, which minimize the uncertainty factors and reduce possible deviations between the projection and its execution in all development phases of the project.

Two alternative ways for modeling provided by current modeling software on BIM environments are analyzed: parametric modeling and the more recent algorithmic modeling. The latter needs its own specific VPL visual programming language to be used. Relationships and bidirectional dialogue established between the two is also studied, as well as regarding other software for the exchange of information, such as spreadsheets, data bases and others (structures calculation, installations,

energetic audits, etc.), allowing for interoperability, a property benefitted and empowered by BIM work environments.

The incorporation of these digital techniques allows not only the exploration of new modeling possibilities and complex forms generation, with the possibility of performing multiple options, simulations, checking, trials and the analysis of alternatives regarding their real behavior, that will help optimal decision making, but the optimization of the design process itself, focusing on traditional methods and projection tempos.

This technification process of architecture opens up new ways of exploration and collaboration in forms modeling, also allowing, within VPL visual programming languages, the introduction and incorporation of conventional textual programming code (Design Script, Python, C#, etc.) to be able to create new customized design tools and automate repetitive tasks, with a considerable time saving regarding other types of modeling.

Both modeling alternative ways are applied to a practical modeling case involving a very singular building such as Norman Foster's Swiss Re Tower in London, where the different forms of work, tempos, modeling strategies, objectives and dialogue bidirectional relationships and exchange of information between the two can be noticed, as well as the incorporation to the development and project gradual definition work flow.

Key concepts: free forms modeling, conceptual modeling, mass modeling, parametric modeling, algorithmic modeling, algorithmic graphic editor, visual programming languages, object-oriented programming languages.

INDICE DE ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS Y SIGLAS

AEC	Arquitectura, Ingeniería y construcción
API	Interfaz de Programación de Aplicaciones
BIM	Modelado de Información de la Construcción
CAD	Diseño Asistido por Ordenador
CAM	Fabricación Asistida por Ordenador
DLL	Librería de Enlace Dinámico
FFI	Interfaz para Funciones Exteriores
GP	Programación Gráfica
GPL	Lenguaje de Programación Gráfica
IDE	Entorno de Desarrollo Integrado
LSI	Indexación Semántica Latente
TPL	Lenguaje de Programación Textual
UPC	Universidad Politécnica de Cataluña
VBA	Visual Basic para Aplicaciones
VP	Programación Visual
VPL	Lenguaje de Programación Visual

ÍNDICE: TESIS DOCTORAL

AGRADECIMIENTOS	6
RESUMEN	7
ABSTRACT.....	9
ÍNDICE DE ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS Y SIGLAS.....	11
ÍNDICE	12
1. INTRODUCCIÓN	15
2. CONTEXTO DEL TEMA DE ESTUDIO	25
2.1. ANTECEDENTES	25
2.2. ESTADO DEL BIM EN OTROS PAISES DEL MUNDO Y EN ESPAÑA	28
2.3. EL MODELADO DE FORMAS LIBRES CON BIM	37
2.4. LOS SISTEMAS DE MODELADO ALGORÍTMICO.....	46
2.5. COORDINACIÓN ENTRE MODELOS ALGORÍTMICOS Y MODELOS BIM	49
3. PERTINENCIA, OBJETIVOS, METODOLOGÍA, HILO CONDUCTOR	53
3.1. PERTINENCIA DEL TEMA DE ESTUDIO Y VINCULACIÓN CON EL AUTOR.....	53
3.2. OBJETIVOS Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	56
3.3. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	58
3.4. HIPÓTESIS DE TRABAJO E HILO CONDUCTOR DEL DESARROLLO DE LA TESIS.....	65
4. DESARROLLO: GENERACIÓN Y CONTROL DE FORMAS LIBRES CON BIM	69
4.1. QUÉ ES REVIT, ANTECEDENTES, CARACTERÍSTICAS Y PARTICULARIDADES.....	69
4.2. ESTRUCTURA INTERNA, ENTORNOS DE TRABAJO, CARACTERÍSTICAS	72
4.2.1. MODELADO DETALLADO, MODELADO CONCEPTUAL.....	72
4.2.2. ENTORNO DE PROYECTO	75
4.2.3. ENTORNO DE FAMILIAS DE COMPONENTES.....	75
4.2.4. ENTORNO DE FAMILIAS DE MASAS CONCEPTUALES	76
4.3. RELACIÓN Y CONEXIONES ENTRE LOS TRES ENTORNOS DE TRABAJO	78
4.4. OBJETOS DE MODELADO: FAMILIAS	80
4.4.1. FAMILIAS DE SISTEMA.....	81
4.4.2. FAMILIAS DE COMPONENTES (ESTÁNDAR O CARGABLES Y DE MASAS)	83
4.4.3. FAMILIAS IN SITU	84
4.5. MASAS CONCEPTUALES PROPIEDADES, DISEÑO CONCEPTUAL.....	85
4.6. MASAS: TIPOS DE FORMAS GENERADAS	89
4.7. ELEMENTOS DE APOYO AUXILIARES	93
4.8. GENERACIÓN DE FORMAS SIN RESTRICCIONES Y BASADAS EN REFERENCIA	95
4.9. EDICIÓN Y MANIPULACIÓN DE FORMAS.....	96
4.10. PLANTILLAS PARA LA GENERACIÓN DE MASAS	99
4.11. DIVISIÓN DE GEOMETRÍA: RACIONALIZACIÓN DE SUPERFICIES, REJILLAS	101
4.12. FAMILIAS DE COMPONENTES DE PATRÓN, FAMILIAS ANIDADAS	103
4.13. PANELIZACIÓN DE SUPERFICIES, COSIDO DE BORDES DE PANELES.....	104
4.14. COSIDO DE BORDES LATERALES DE PANELES PLANOS Y CURVOS	112
4.15. NIVELES DE DEFINICIÓN DE LAS SUPERFICIES DE MASAS	119
4.16. MODELADO PARAMÉTRICO DE COMPONENTE ADAPTATIVO BASADO EN PATRÓN.....	122
4.17. PARÁMETROS DE INFORME, CONTROL Y GESTIÓN EN FAMILIAS DE COMPONEN.....	127
4.18. SUPERFICIES CON ANIDACIÓN DE PATRÓN DE PANEL DE MURO CORTINA	129

4.19. COMPONENTE DE MASA ADAPTATIVO LINEAL, VIGA SOBRE SUPERFICIE	136
4.20. ELEMENTO DE MASA REPETITIVO EN DIVISIONES DE LÍNEA	144
4.21. MODELADO DETALLADO A PARTIR DE MASAS, FLUJO DE TRABAJO.....	154
5. DESARROLLO: MODELADO ALGORÍTMICO CON VPL	163
5.01. QUÉ SON LOS LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN VISUAL VPL.....	163
5.02. MODELADO PARAMÉTRICO, MODELADO ALGORÍTMICO CON VPL	164
5.03. DYNAMO: LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN VISUAL. MODELADO ALGORÍTMICO	165
5.04. LA BASE DE DATOS DE BIM. EXPORTACIÓN A UNA BASE DE DATOS DE ACCES.....	168
5.05. PROGRAMACIÓN VISUAL CON DYNAMO.....	175
5.06. VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE VPL CON MODELADO BIM	177
5.07. OTROS EDITORES GRÁFICOS DE ALGORITMOS GENERATIVOS	179
5.08. ANATOMÍA DE UN PROGRAMA VISUAL.....	182
5.09. FUNCIONAMIENTO DE DYNAMO: NODOS DE PROGRAMACIÓN Y CONECTORES	184
5.10. FUNCIONAMIENTO DE DYNAMO INTRODUCCIÓN DE DATOS, RECURSOS	190
5.11. NODOS CREADOS POR EL USUARIO	196
5.12. INTERACTUACIÓN DYNAMO-REVIT: CAMBIO DE PARÁMETROS DESDE DYNAMO.....	200
5.13. AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS CON DYNAMO. CREACIÓN DE SCRIPTS	210
5.14. CREACIÓN DE FORMAS LIBRES. FORMA AHUSADA, IMPORTAR GEOMETRÍA	216
5.15. OTRAS INTERACTUACIONES DYNAMO-REVIT. PUENTE (ZACH KRON)	229
5.16. ASIGNAR VALORES ALEATORIOS A PARÁMETROS DE FAMILIA	239
5.17. COMUNICACIÓN EXCEL DYNAMO, DYNAMO EXCEL.....	252
5.18. PROGRAMACIÓN TEXTUAL DE CÓDIGO EN DYNAMO	255
6. APLICACIÓN PRÁCTICA DE MODELADO A LA TORRE SWISS RE	262
6.1. DESARROLLO, ELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN.....	262
6.2. CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO Y SU ENTORNO	264
6.3. ANÁLISIS DE LA FORMA Y MODELADO BIM DEL EDIFICIO	273
6.4. MODELADO: DATOS MÉTRICOS DE LA TORRE SWISS RE	278
6.5. MODELADO DE LA FORMA GENERAL DE LA MASA	280
6.6. ESTUDIO ALTERNATIVO DE FORMAS EN FASES INICIALES	285
6.7. PIEL DEL EDIFICIO: DIVISIÓN DE SUPERFICIE DE LA MASA	289
6.8. MASA DE LA PIEL DE LA CÚPULA.....	293
6.9. MASA DE LA PIEL DEL CUERPO DEL EDIFICIO	295
6.10. INSERCIÓN DE PANELES ACRISTALADOS DE DOS TIPOS: CLAROS Y OSCUROS	296
6.11. ESTRUCTURA DEL EDIFICIO	300
6.12. SUELOS DE MASA DEL EDIFICIO	309
6.13. CREACIÓN DE SUELOS TRADICIONALES Y NÚCLEO CENTRAL	313
6.14. CREACIÓN DE LOS SEIS VACÍOS DE PATIOS EN ESPIRAL.....	314
6.15. CREACIÓN DEL ELEMENTO DE TRANSICIÓN ENTRE LA PIEL Y EL SUELO BORDES LOSA.....	321
6.16. REMATE DEL ÓCULO CURVO DE LA CÚPULA	325
6.17. ENSAMBLAJE DEL EDIFICIO. BIM CON MASAS CONCEPTUALES, FLUJO DE TRABAJO	327
6.18. DESARROLLO ANALÍTICO DEL MODELADO BIM CON MASAS	329
6.19. OBTENCIÓN DE ÁNGULOS DE INCLINACIÓN DE LOS MARCOS ESTRUCTURALES EN “A”	333
6.20. CREACIÓN DE FAMILIA DE COORDENADAS ADAPTATIVAS, TRIEDRO DE REFERENCIA.....	334
6.21. UTILIZACIÓN EN PROYECTO DE LA FAMILIA DEL TRIEDRO CREADA	337
6.22. COMPONENTE ADAPTATIVO DE MASAS PARA MEDIR CON PRECISIÓN LA SUPERFICIE.....	339
6.23. MODELADO ALGORÍTMICO DE LA TORRE SWISS RE	352
6.23.1. ESTRATEGIA DEL MODELADO Y JUSTIFICACIÓN	352
6.23.2. PROCESO Y FASES DE DESARROLLO SECUENCIAL DEL MODELADO ALGORIT.....	356
6.23.3. COMPROBACIÓN DEL SCRIPT DE MODELADO ALGORÍTMICO GENERATIVO.....	362
6.23.4. PUNTOS DE DIVISIÓN DE CONTORNOS DE CIRCUNFERENCIAS	365

6.23.5. INTRODUCCIÓN DEL ENTRAMADO ESTRUCTURAL EXTERIOR	366
6.23.6. ROTACIÓN CIRCUNFERENCIAS Y ENTRAMADO ESTRUCTURAL COMPLETO	368
6.23.7. CREACIÓN DE SUELOS A PARTIR DE LÍNEAS DE CIRCUNFERENCIA	370
6.23.8. ESTUDIOS PARCIALES DE DESARROLLOS ALGORÍTMICOS	373
6.23.9. PANELIZACIÓN DE SUPERFICIE, COMPONENTES ADAPTATIVOS	379
7. RESUMEN Y CONCLUSIONES. LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO	382
7.1. RESUMEN, LOGROS CONSEGUIDOS Y CONCLUSIONES	382
7.2. PUNTOS DÉBILES DETECTADOS.....	386
7.3. APORTACIONES PERSONALES AL TEMA DE ESTUDIO	387
7.4. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	388
8. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DOCUMENTALES	390
8.1. LIBROS IMPRESOS, ARTÍCULOS	390
8.2. TESIS DOCTORALES	392
8.3. CONFERENCIAS.....	393
8.4. BLOGS DE USUARIOS DE RECONOCIDO PRESTIGIO	395
8.5. RECURSOS	397
9. GLOSARIO DE TERMINOLOGÍA UTILIZADA.....	399

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se asiste a los estadios iniciales de una transformación que está modificando profundamente la forma de interactuar, analizar y experimentar la arquitectura virtualmente antes de su ejecución. Esto posibilitará que el edificio sea optimizado en sus prestaciones, para tratar de conseguir una mayor eficiencia y eficacia en el cumplimiento de todos los requerimientos exigibles a la edificación, reduciendo costos, tiempos e impactos negativos al medio ambiente.

*“A lo largo de la historia de la Arquitectura, la representación esencial de los edificios ha sido hecha a través de diseños. La lectura de muchos libros muestra como los diseños y los croquis son parte integrante del pensamiento y del trabajo creativo del Arquitecto. [...] La sustitución de diseños por una nueva base de representación para el proyecto, comunicación y construcción de edificios es un cambio revolucionario que marcará una época, tanto en la Arquitectura como en la Industria de la Construcción en general. Estos cambios alteran las herramientas, los medios de comunicación, y los procesos de trabajo”.*¹

Ese cambio está siendo impulsado con el advenimiento creciente de nuevas metodologías de trabajo, que se han aglutinado bajo el acrónimo de BIM (Building Information Modeling). *“BIM, es el acrónimo de Building Information Modeling (modelado de la información del edificio) y se refiere al conjunto de metodologías de trabajo y herramientas caracterizado por el uso de información de forma coordinada, coherente, computable y continua; empleando una o más bases de datos compatibles que contengan toda la información en lo referente al edificio que se pretende diseñar, construir o usar.”* [© Eloi Coloma Picó, 2008].

El concepto de BIM (Modelado de Información del Edificio), puede definirse como una metodología de trabajo aplicada a la edificación y a la obra civil, que aglutina, en un modelo digital tridimensional, una base de datos asociada que incorpora información gráfica y alfanumérica. Esta información almacenada en dicha base de datos, se va introduciendo o actualizando a medida que se progresa en la definición del modelo. Esto permite involucrar y participar a todos los actores intervinientes en el proceso edificatorio, compartiendo información entre todos ellos e integrando

¹ Charles Eastman (2006). Profesor en las facultades de Arquitectura y Ciencias de la Computación en el Instituto de Tecnología de Georgia, Atlanta.

procesos multidisciplinares, de manera que pueda ser utilizada eficientemente a través de todo el ciclo de vida del edificio. Esta metodología está soportada por el uso de un software de modelado tridimensional de edificios en tiempo real. En este proceso de modelado, se genera el modelo de información del edificio de forma coordinada, coherente, computable y continua a lo largo de todo su ciclo de vida, lo que proporciona más eficacia en los procesos de diseño-construcción-explotación y por tanto de calidad en las edificaciones. Esta información abarca no sólo la geometría sino las características físicas y propiedades (gráficas y no gráficas o alfanuméricas) de todos sus componentes.

Las ventajas que proporciona el BIM al sector de la construcción ofrecen premisas fuertes para superar la naturaleza fragmentada y descoordinada que caracteriza a esa industria. En consecuencia, la industria de la construcción está substituyendo la separación tradicional del diseño, construcción, puesta en marcha y mantenimiento de unidades constructivas, por procesos que tratan todo el ciclo de vida útil del edificio de forma integrada.

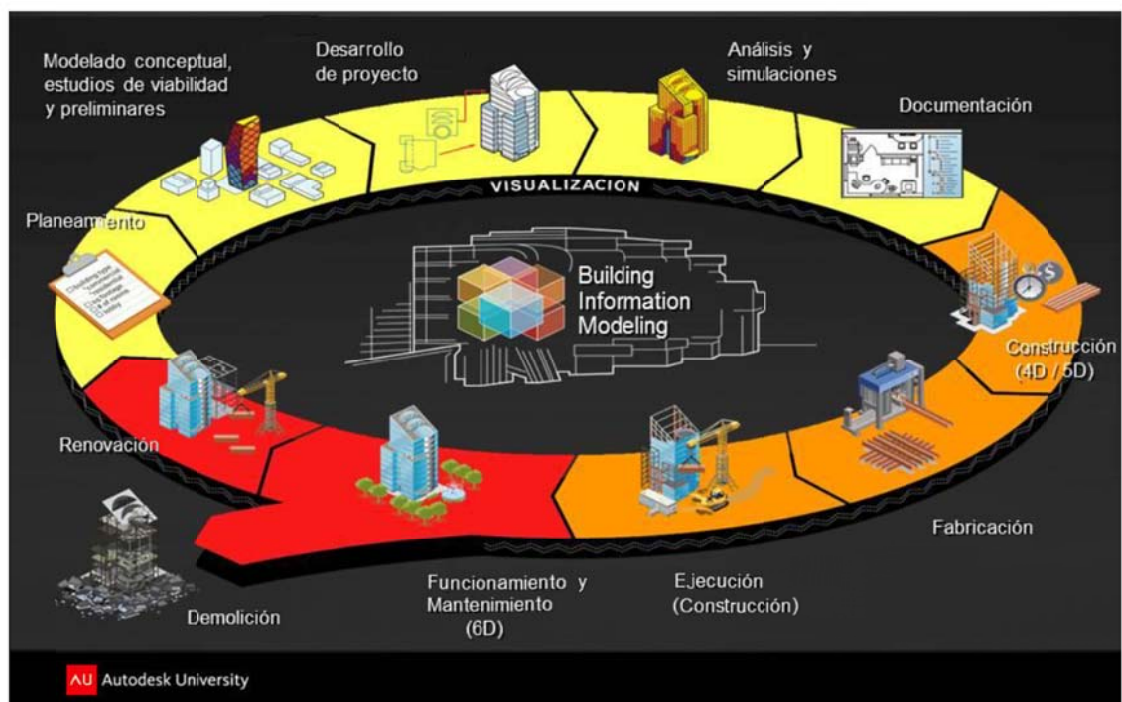


Figura 1.1. El BIM puede aplicarse a todas fases de la vida útil de una edificación, desde el inicio de modelado hasta la demolición a su renovación. En la imagen puede verse el desarrollo y la definición de las alternativas posibles por las que pasa una edificación a lo largo de su ciclo de vida. Fuente: © Autodesk University, traducción: Autor.

Adoptar BIM implica un cambio de enfoque metodológico con relación al proyecto desarrollado con sistemas gráficos 2D y 3D tradicionales. BIM ha abierto la puerta a la colaboración virtual interdisciplinar y a la coordinación de los procesos de diseño dando como resultado la optimización de esos procesos de diseño en la elaboración del modelo de información.

El presente trabajo de tesis plantea el estudio del modelado paramétrico, el modelado algorítmico y el control de formas libres, dentro de la definición del proyecto de arquitectura, bajo el nuevo paradigma que ha supuesto el BIM, al amparo de las nuevas tecnologías digitales, aplicadas al campo de la edificación.

Se pretende estudiar cómo pueden aplicarse estas nuevas estrategias de diseño a los diversos problemas que plantea la arquitectura. Se pretende reconsiderar criterios, conceptos y estrategias al enfrentar problemas de diseño en entornos diferentes y con recursos ciertamente distintos. No sólo se pretende incluir una herramienta de diseño paramétrico de arquitectura indispensable en el contexto actual del desarrollo tecnológico de diseño, sino también generar relaciones de compatibilidad entre el diseño específico de formas libres y aquellos especialmente dedicados a objetos de arquitectura.

Las herramientas digitales actuales nos deben hacer repensar y cuestionar los procesos de diseño y producción tradicionales, introduciendo nuevos criterios que permitan establecer unas bases de actuación, que sirvan de manera más eficaz a todo el proceso de diseño, construcción y explotación dentro de la industria de la edificación. En este sentido las innovaciones procedentes de la industria manufacturadora han demostrado su conveniencia, siendo posible su aplicación al sector de la construcción para una definición y ejecución más eficiente de todos los componentes que integran el conjunto arquitectónico.

Siempre se proyecta con unas limitaciones (de las que a veces no se es plenamente consciente), estas limitaciones son inherentes a la metodología utilizada e instrumental de formalización y a las técnicas disponibles de representación. Las nuevas técnicas y metodologías digitales han hecho que se cuestionen los métodos tradicionales y se replanteen los procesos de diseño y materialización o producción de lo generado, proporcionando nuevas herramientas, que son de

gran ayuda en la toma de decisiones con la aportación de datos analíticos amparados en la potencia de cálculo cada vez más grande de los ordenadores.

En el campo de las formas libres, se persiguen dos objetivos principales que van de la mano y que se retroalimentan el uno del otro. Por una lado, modelar formas de geometrías complejas, que no permiten ser abordadas con criterios rígidos y por otro, la obtención desde fases muy tempranas del diseño de precálculos y simulaciones de todo tipo, que permitan orientar mejor el diseño, a fin de hacerlo no sólo bello, sino también funcional, eficiente y viable en su construcción.

Cuando se parametriza un modelo que representa el objeto arquitectónico, también queda parametrizada su representación al trabajar directamente sobre el objeto. Con ello se obtienen objetos adaptables, permitiendo estudiar cómo influyen en su definición paramétrica la inclusión de otras funciones como soleamiento, auditorías energéticas, superficies, volúmenes, etc., relacionadas directamente con ellas. Luego, es posible gestionar todos los datos de información y medidas de esos elementos, para la toma de decisiones durante el proceso proyectual, optimizando sus componentes en base a criterios multidisciplinares para llegar a su formalización más eficiente.

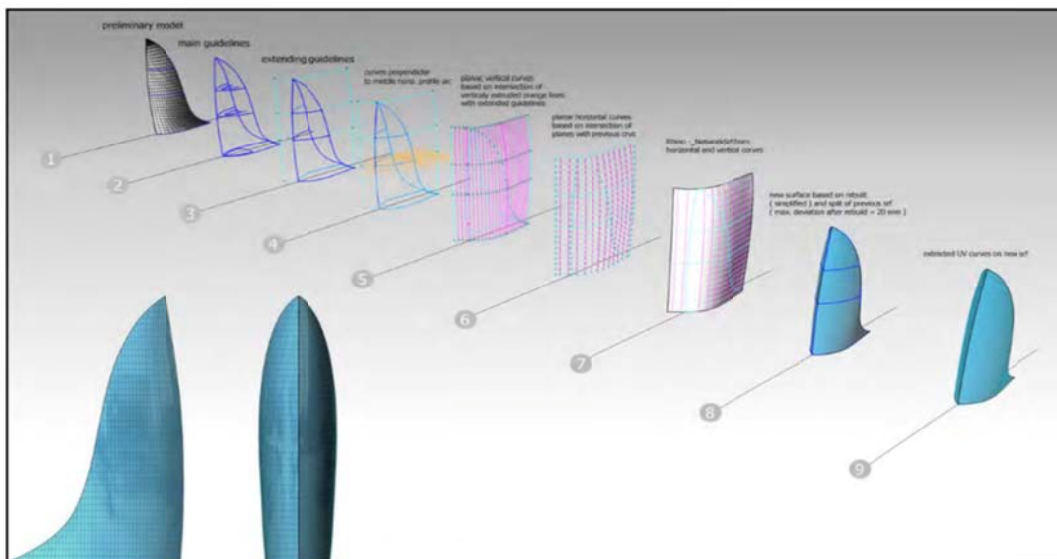


Figura 1.2. Fases iniciales de modelado del conjunto de la edificación con definición de alternativas formales de desarrollo del modelo de masas que sirve de base. Fuente: Fuente: Autodesk University 2011. AB4700: You Want to Model a WHAT? Converting Real Projects into Parametric Relationships. William Lopez Campo y Zach Kron.

A diferencia del modelado explícito, el modelado paramétrico consiste en la definición de las relaciones métricas de un objeto o entre objetos geométricos. Estas relaciones, cuando se han establecido adecuadamente, permiten crear un sistema que pueda ser utilizado para explorar una gama de opciones de diseño, mediante la modificación de los parámetros subyacentes. Esto puede mejorar el proceso de modelado, dando al arquitecto del proyecto un control preciso sobre los cambios de diseño, minimizando al máximo los posibles errores, debidos a la remodelación.

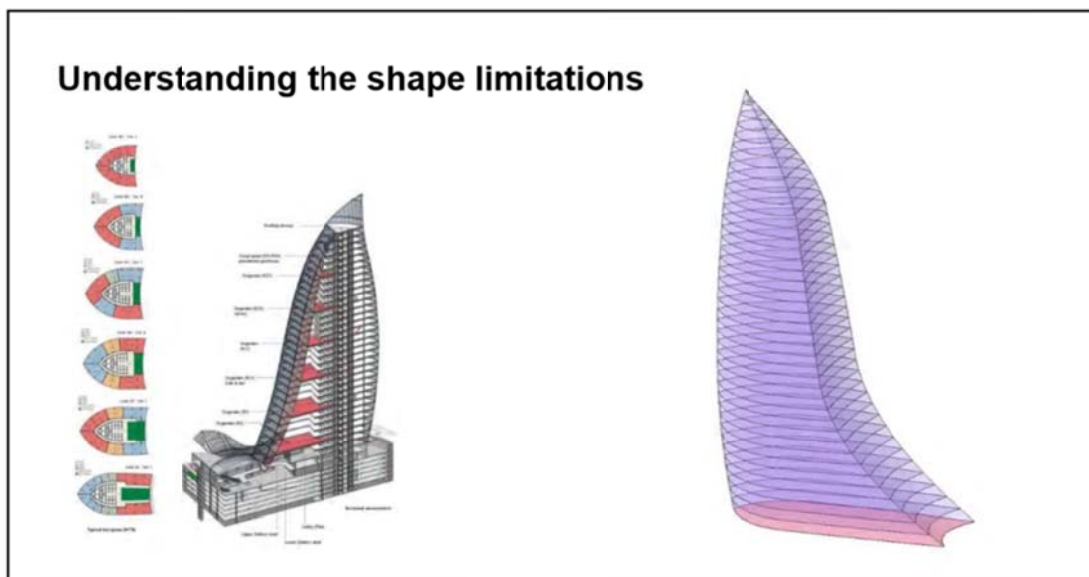


Figura 1.3. Vista de las fases de un estudio de la volumetría de las Flame Towers en Baku (Azerbaián) con metodologías BIM. Es un ejemplo de cómo se puede abordar el diseño del proyecto desde fases iniciales de proyecto. Fuente: Autodesk University 2011. AB4700: You Want to Model a WHAT? Converting Real Projects into Parametric Relationships. William Lopez Campo y Zach Kron.

Las decisiones tempranas en un proyecto tienen un efecto sustancial y perdurable en el tiempo, que afectan a la duración, costo y resultados en proyectos de renovación de edificios existentes y/o nueva construcción.

Sin embargo, el continuar adhiriéndose al paradigma tradicional (en serie) de la ejecución de proyectos, hace prácticamente imposible cambiar la ecuación; Dejando gran parte del trabajo y la toma de decisiones críticas durante la construcción. Con BIM existe la posibilidad de tomar mejores decisiones y en fases más tempranas dentro del proceso. Asimismo, las metas de la sustentabilidad son: reducir consumo de energía y desperdicio y aumentar calidad, y el periodo

más apropiado para establecerlo en un proyecto es desde su concepción. En muchos aspectos, integrar sustentabilidad en productos representa un paradigma semejante al de integrar calidad (por ejemplo, el movimiento hacia calidad total). En un proyecto, hay una relación directa entre las estrategias de BIM y la del diseño sostenible. Las estrategias incluyen el establecimiento de metas anticipadas, coordinación de los equipos de trabajo, y asignación de funciones y responsabilidades. Se deduce que la sustentabilidad y el BIM presentan oportunidades paralelas para transformar la industria de la construcción. Por lo tanto, los contratos de diseño y construcción deben establecer claramente cuáles son las obligaciones de cada organización para desarrollar un proyecto integrado, que cumpla con los requisitos de sostenibilidad.

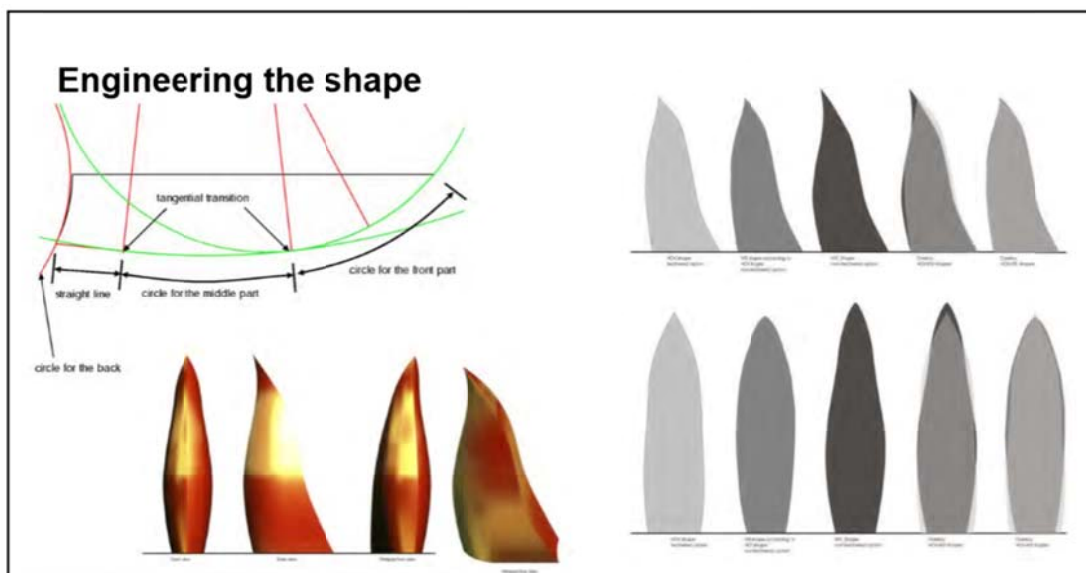


Figura 1.4. Diferentes estudios alternativos de generación de formas y su optimización comprobaciones de estudios de fachadas. Fuente: Autodesk University 2011. AB4700: You Want to Model a What? Converting Real Projects into Parametric Relationships. William Lopez Campo y Zach Kron.

Los diseñadores se enfrentan constantemente con dos desafíos relacionados: cómo racionalizar la forma en elementos edificables, y cómo establecer o generar marcos geométricos para representar los requisitos de diseño. Estos problemas son dos caras de la misma moneda. Por un lado, es necesario conocer en profundidad cómo pueden utilizarse herramientas de diseño conceptual para transformar ideas en la realidad, ya sean "pre-racionalizadora", un diseño basado en los requisitos, o "post-racionalizadora", un diseño ya existente en elementos manejables. Se hace necesario basarse en el mundo real con ejemplos y precedentes reconocibles, para estudiar

los casos de, cómo los edificios muy complejos se pueden abordar de forma rápida y con herramientas de arquitectura estándar.

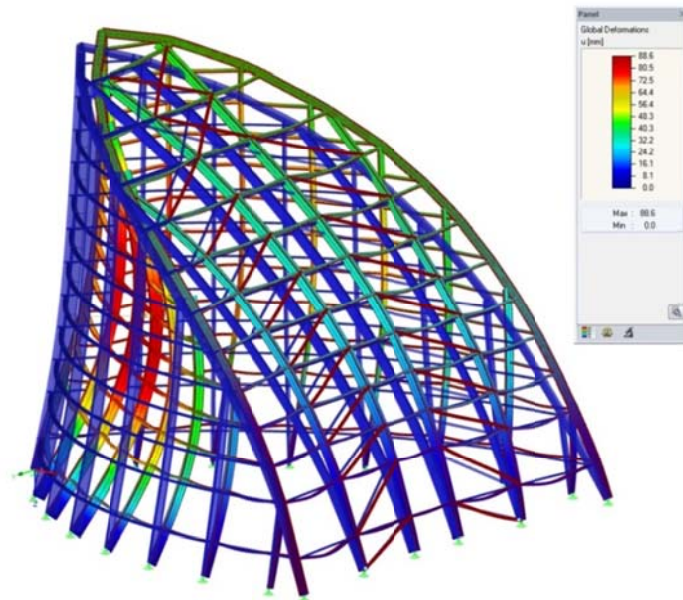


Figura 1.5. Vista del modelo estructural de remate de las Flame Towers en Bakú (Azerbaián) con metodologías BIM. Es un ejemplo de cómo se puede abordar el diseño del proyecto incluyendo el modelado estructural. Fuente: <<https://www.dlupal.com/blog/8856/designed-with-dlupal-software-baku-flame-towers-azerbaijan/>>. Acceso 13 oct. 2014.



Figura 1.6. Estudios posteriores de control de formas, simulaciones y precálculos para la optimización y toma de decisiones en las diferentes fases de diseño de las Flame Towers en Baku (Azerbaiyan). Fuente: Autodesk University 2011. AB4700: You Want to Model a What? Converting Real Projects into Parametric Relationships. William Lopez Campo y Zach Kron.

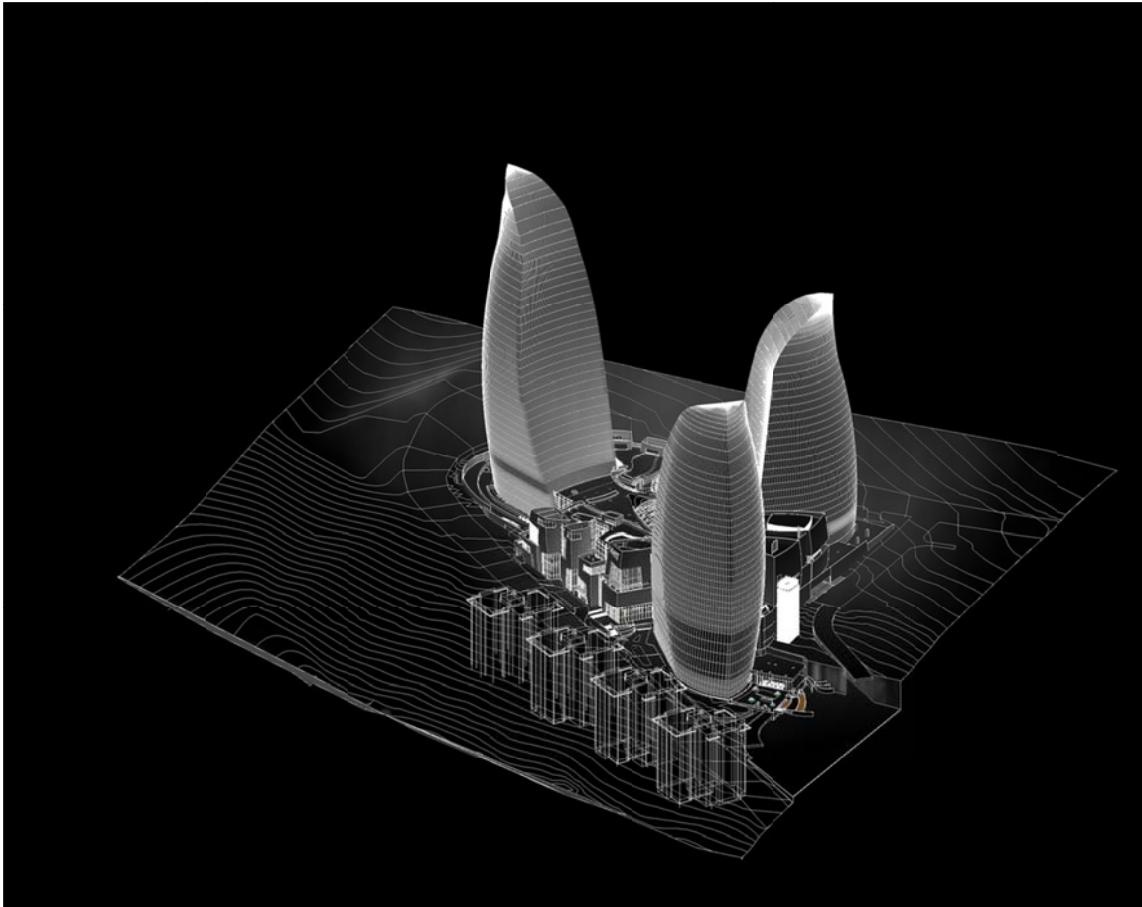


Figura 1.7. Vista de la perspectiva general de conjunto, donde pueden verse los tres volúmenes de las Flame Towers en Baku (Azerbaiyan). Fuente:

<http://www.archdaily.com/538883/baku-flame-towers-hok/53f2d5aec07a80388e00046f-baku-flame-towers-hok-axonometric>>. Acceso en: 13 oct. 2014.

Los modeladores paramétricos sobre entornos BIM son la solución específica que aportan las nuevas tecnologías para la definición, desarrollo y ejecución del modelo de información. Estas aplicaciones en los campos de la Arquitectura, Estructura e Instalaciones construidas sobre las plataformas BIM son sistemas, de diseño de edificios específicos para cada disciplina completa y documentación de apoyo en todas las fases de diseño así como documentación de la construcción. Desde los modelados conceptuales de masas hasta los de construcción más detallados y las tablas de planificación de cantidades, estas aplicaciones ayudan a proporcionar una ventaja competitiva inmediata, una mejor coordinación y calidad, y pueden contribuir a una mayor rentabilidad para los arquitectos y el resto del equipo de construcción. En el corazón de estas plataformas de modelado, es el motor de cambios paramétricos de su software, el que coordina automáticamente

los cambios realizados en cualquier lugar de las vistas del modelo o planos de dibujo, tablas de planificación, secciones, planos... etc.



Figura 1.8. A la izquierda definición o generación de un componente (panel adaptativo). Se trata de una familia que irá anidada en la masa general. Fuente: <http://www.archdaily.com/538883/baku-flame-towers-hok/53f2d5aec07a80388e00046f-baku-flame-towers-hok-axonometric>. Acceso en: 13 oct. 2014.

El cambio y la evolución de las herramientas informáticas aplicadas a la arquitectura, basadas en sistemas paramétricos, han generado una nueva forma de abordar los problemas de diseño. Por un lado, se han superado ampliamente las estrategias tradicionales de los primeros sistemas de CAD, fundamentalmente, basadas en el dibujo de representación, para introducir sistemas racionales, muy eficaces, soportados por el control matemático de la geometría y por los lenguajes de programación, capaces de abordar mucho mejor y de forma más precisa y en menos tiempo, diferentes problemas cualitativamente y cuantitativamente.

Por otro lado, a través de estos sistemas, se ha introducido una relación íntima entre los objetos de diseño y los parámetros que los definen, mediante funciones matemáticas y sus diferentes variantes. Como consecuencia, la forma y la estructura de diseño de los objetos, en sí misma,

constituye una secuencia de procesos que se puede controlar, evaluar y modificar en cualquier momento del proceso. Por lo tanto, es posible prever, definir o modificar las condiciones que definen al objeto de diseño en tiempo real.

2. CONTEXTO DEL TEMA DE ESTUDIO

2.1. ANTECEDENTES

Los avances tecnológicos en el campo del software, de los últimos años, han dado origen a la aparición de nuevas herramientas digitales para la edificación, amparadas en la potencia de cálculo cada vez más grande de los ordenadores actuales. Estas aplicaciones, ya utilizadas antes en otras industrias como la del automóvil, la aeronáutica, la ingeniería naval, los videojuegos, o el cine, se están incorporando paulatinamente a la industria de la edificación, permitiendo modelar geometrías cada vez más complejas con un mayor control de todos sus condicionantes y requisitos. A diferencia de lo que ocurría con las herramientas tradicionales de representación, es posible el estudio pormenorizado de elementos constructivos detallados, desde fases muy tempranas de diseño, así como prever las consecuencias que estos tendrán en las prestaciones del edificio una vez construido.

Estas nuevas tecnologías de generación y control de formas siguen en la actualidad dos tendencias o vías de modelado alternativo, que en su concepción y objetivos perseguidos son muy diferentes entre sí. Por un lado, existen los sistemas orientados a objetos, que persiguen el propósito de obtener en un solo modelo definitivo y terminado como resultado final, todos los aspectos de un edificio. Todo ello circunscrito y enmarcado dentro de un entorno paramétrico mucho más encorsetado, rígido y restringido, sin dejar constancia de las órdenes o procesos realizados, ni cuál ha sido la secuencia temporal utilizada para su generación. Son los actualmente conocidos como Building Information Modelers. Por otra banda se desarrolla otro tipo de modelado alternativo diferente, que dispone de herramientas que están basadas en la utilización de algoritmos generativos que dan lugar a la definición formal del modelo. Estos algoritmos codifican el propio proceso de definición y generación del modelado, dejando constancia y guionizando de forma secuenciada, la estructuración y concatenación de todas las órdenes de generación del modelo (algoritmos). De esta manera se persigue y es posible obtener como resultado, mediante la aplicación, variación o modificación de los algoritmos utilizados, un abanico o espectro de soluciones posibles de modelado para la obtención de formas muy complejas de manera mucho más precisa, más rápida y desde un entorno menos restringido, rígido y encorsetado. También como en el guión se deja constancia de todas las operaciones de diseño utilizadas, es factible la modificación de algoritmos o la introducción de otros nuevos o la modificación de los parámetros

de las diferentes variables, para obtener un conjunto de respuestas o soluciones atendiendo a propuestas o criterios diversos introducidos o establecidos por el usuario.

Ambas estrategias se complementan, ya que las posibilidades de parametrización de los sistemas orientados a objetos son limitadas y especializadas, y a menudo, necesitan del soporte de las soluciones de parametrización algorítmica genérica para cubrir las necesidades específicas. Estas pueden estar relacionadas con ámbitos muy diferentes, como son la experimentación formal, el diseño de estructuras constructivas complejas (como panelizaciones o mallas espaciales) o el estudio de las circulaciones del edificio. No obstante, es importante mantener un flujo de información coordinado entre los distintos modelos que se usan. Por tanto, los sistemas mejor integrados consiguen establecer una estrategia de conexión entre los dos modelos, con el fin de que el primero pueda adaptarse a los cambios acontecidos en el segundo.

Durante años, el seguimiento de las metodologías de modelado algorítmico generativo han sido muy minoritarias respecto al del Building Information Modeling. No obstante, en los últimos años, se ha observado un interés cada vez mayor, a juzgar por el creciente número de publicaciones electrónicas que tratan este tema. Por otra parte, también se constata la aparición de nuevas soluciones de software especializadas en el modelado algorítmico generativo, no sólo formal, y de otras que empiezan a cubrir las necesidades de interacción con los modelos BIM.

No obstante, se detectan grandes lagunas en la definición de las metodologías a aplicar en el área del modelado de formas libres de las dos tendencias descritas anteriormente. Los conocimientos documentados que hay sobre el tema son muy parciales, dispersos y desestructurados, siendo muchas veces, contradictorios e inacabados. Tampoco aparece nunca su articulación en el flujo de trabajo del proyecto arquitectónico, su incorporación en el mismo y la relación con el resto de elementos, para conformar el conjunto completo en todas sus fases. Las metodologías documentadas se refieren únicamente a procesos muy parciales, sin continuidad entre las distintas fases del ciclo de vida del edificio. De esta forma, no se aportan conocimientos globales sistemáticos y estructurados que conformen e integren el proyecto en su conjunto. Se echa en falta el desarrollo completo estructurado y sistemático, que contemple la concatenación gradual de todas las fases que componen el proceso de definición del proyecto. Tampoco existen estudios sistemáticos, ni se analizan las ventajas e inconvenientes de esta forma de procedimiento en la

definición de todo el proceso de proyecto.

PUBLICACIONES EXISTENTES SOBRE EL TEMA

Hay muy pocas publicaciones que traten este tema con profundidad. Existen numerosos tutoriales formativos sobre el desarrollo de formas libres con herramientas de modelado algorítmico y con modeladores BIM, pero los flujos de transición entre ambos no están documentados.

En el ámbito del modelado algorítmico generativo, quizá las publicaciones más completas sean las de Zubin Khabazi, con varios libros electrónicos en este ámbito, que describen metodologías de desarrollo de sistemas muy completos de fachadas o cubiertas con formas libres. No obstante, estos modelos no están preparados para contener información pluridisciplinar, ni para ser integrados en modelos completos del edificio.

Respecto al modelado BIM, son interesantes los trabajos de Zach Kron y Andy Milburn, que exponen con tutoriales, muy parciales, metodologías para el modelado de formas libres. En estas publicaciones se ponen de manifiesto las limitaciones de esos sistemas a la hora de abordar formas libres, especialmente, si comparamos sus procedimientos con los que ofrecen los sistemas de modelado algorítmico.

Finalmente, en el campo de la interacción entre sistemas algorítmicos y BIM tenemos los trabajos de Nathan Miller y Jon Mirtschin. Sus publicaciones, sólo relatan los éxitos conseguidos, no los métodos usados. Por otra parte, BIM Fórum publicó recientemente *Generative Design and Parametric Modeling* donde se exponen diversos casos de éxito en los que se relacionan modelos de estos dos tipos, sin detallar en ningún caso el nivel de integración y automatización conseguidos, y tampoco se exponen las metodologías utilizadas.

La información necesaria para la documentación del tema de investigación se ha obtenido fundamentalmente de Internet.

2.2. ESTADO DEL BIM EN OTROS PAÍSES DEL MUNDO Y EN ESPAÑA

El nivel de adopción de los sistemas BIM está en constante aumento en el mundo occidental y en las potencias emergentes. No obstante, su nivel de implantación es irregular. A continuación se resume el estado de implantación de los países más representativos en este campo.

Finlandia

La adopción de BIM en Finlandia, es el más avanzado de cualquier otro lugar del mundo. Finlandia es un país tecnológicamente avanzado, con una construcción pequeña, ágil y con una larga historia de normas fiduciarias y de código abierto, el ambiente perfecto de BIM para prosperar. A menudo se utiliza en proyectos de pequeña escala.

Noruega

El gobierno, los organismos reguladores, la industria de la construcción y la promoción han contribuido activamente a que el uso de BIM se haya consolidado para hacer de Noruega un éxito del BIM. Es obligatorio para todos los principales proyectos de infraestructura y de construcción del gobierno. Incluso se enseña en las Escuelas Técnicas.

Suecia

Suecia se está poniendo al día con Finlandia y Noruega, y en particular, es líder en el campo en el uso de BIM para diseño y construcción de grandes y complejos proyectos de infraestructura, como la carretera de circunvalación de Estocolmo, y la nueva línea de la ciudad de Estocolmo. En 2009 la organización open BIM se lanzó a establecer normas de BIM en Suecia.

Reino Unido

En Junio de 2011, el gobierno del Reino Unido publicó “Building Information Modeling (BIM) Working Party Strategy”, donde el gobierno anunciaba su intención de requerir BIM en todos los proyectos de construcción a partir del año 2016.

Alemania

La palabra de moda BIM es menos común en Alemania, ya que el mercado está dominado por software de cosecha propia. La estructura política descentralizada de Alemania se traslada a la

industria de la construcción, haciéndola muy fragmentada, aun así, son muchos los estudios de construcción y arquitectura que están adoptando el sistema de trabajo BIM con Revit.

Estados Unidos

Desde 2007, la GSA “General Services Administration” requiere que la definición geométrica y espacial de los proyectos de construcción que gestiona, esté en formato BIM. Desde 2008, el USADE “Cuerpo de Ingenieros de la Armada”, adoptó BIM como requerimiento básico en sus proyectos de nueva construcción. Otras organizaciones institucionales públicas, como por ejemplo, La Guardia Costera, también requieren que los proyectos que promueven y financian para alojar sus instalaciones se presenten en un formato BIM.

China

China está muy bien posicionada para adoptar BIM rápidamente, y el sistema está creciendo a un ritmo extraordinario. Además, existen multitud de empresas extranjeras, que están ayudando a introducir BIM. Es un sector con un frenético movimiento en la construcción, y tiene una inversión significativa en infraestructura, junto con un fuerte apoyo del gobierno, al ser una cultura basada en la confianza y el pragmatismo, son buenas bases la rápida implementación del BIM.

Australia

BIM está empezando a despegar, los gobiernos y las asociaciones de la industria están ayudando a acelerar el proceso. El Sydney Opera House es un magnífico ejemplo de cómo se utiliza BIM en la gestión de los edificios actuales.

Emiratos Árabes

Emiratos Árabes Unidos es líder en el uso del software BIM como una herramienta de diseño para edificios de la región cada vez más innovadores, y que desafían los límites.

Las empresas indias se acercan mucho a BIM con el fin de proporcionar servicios de modelado de empresas en el extranjero. La demanda de nueva infraestructura también generará proyectos que optimicen la experiencia local en el BIM.

Sudáfrica

Con una pequeña y ágil industria de la construcción, Sudáfrica abraza fácilmente cambios y nuevas tecnologías. Uno de los primeros de la tradición CAD, el sector AEC es entusiasta en su recogida de BIM y esto se vio favorecido por la posibilidad de utilizarlo en la construcción de nuevos estadios para el Mundial 2010.

Unión Europea

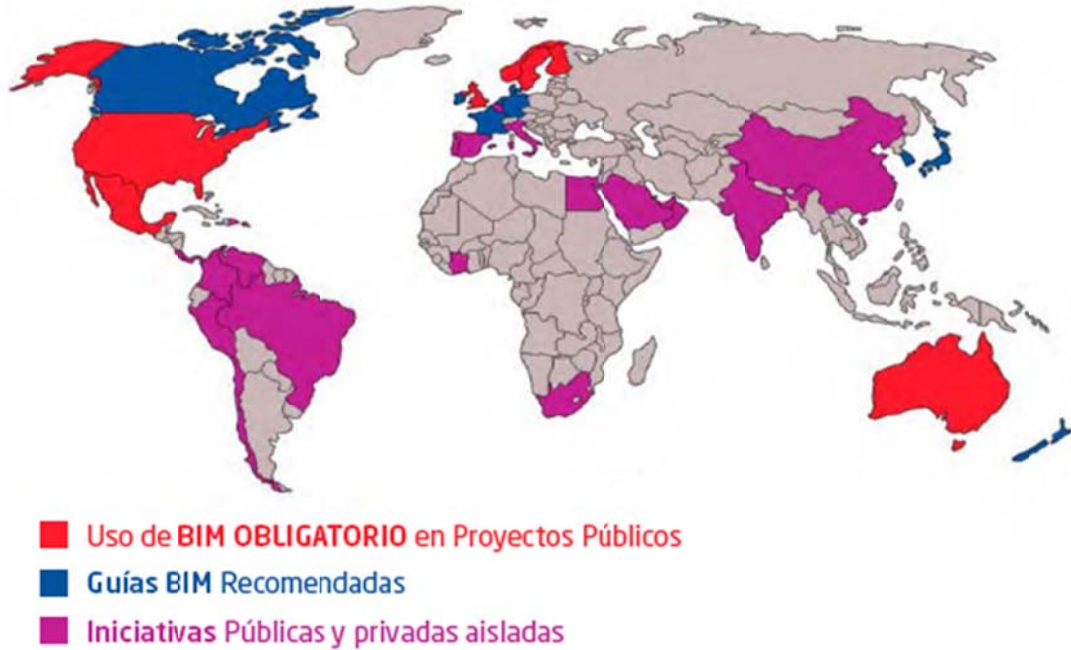
Por otra parte, recientemente, se ha divulgado la noticia de que Bruselas pretende introducir BIM en la Directiva Europea de Contratación Pública, tomando como referencia el reglamento BIM del Reino Unido, y allanar el camino para que otros miembros de la UE puedan adoptar BIM.

Puede leerse la noticia en la web: <<http://www.construction-manager.co.uk/news/initiative-proposes-assemble-buildings-overseas-cl/>>. Acceso 10 oct. 2015.

Es interesante constatar que, según dice la noticia, la nueva redacción que se quiere dar al documento ha provocado discusiones relativas al proceso de incorporación de BIM en la contratación pública, lo que ha llevado a que se convoque una conferencia para el próximo 22 de octubre del 2013. Algunos de los países miembros observaron que esta directiva puede beneficiar a empresas de construcción del Reino Unido, ya que cuentan con habilidades en BIM más avanzadas que sus competidores europeos (sobre todo, si otros países siguen el ejemplo del Reino Unido sobre las metodologías y protocolos BIM, contractuales con los que cuenta desde el año 2010). Afortunadamente, El Gobierno Británico está dispuesto a transmitir su conocimiento en la materia, porque quiere asegurarse de que la Unión Europea impulse la incorporación de BIM y sus métodos de trabajo.

Esto indica que a nivel europeo se reconoce que tomar la iniciativa en el desarrollo de metodologías BIM, representa una ventaja competitiva en el mundo profesional. Por esta razón se considera que el objeto de esta tesis doctoral, que es desarrollar y documentar una metodología de trabajo para un flujo determinado. Es pertinente, ya que representa una aportación inédita del mundo académico, al docente y al profesional.

MAPA IMPLANTACIÓN BIM DE 2014



Fuente: Dossier de la Comisión BIM, del Ministerio de Fomento · Estudio McGraw Hill

Figura: 2.1. Detalle del mapa descriptivo de implantación de la metodología BIM en los distintos países del mundo.
Fuente: Estudio McGraw Hill.

En cuanto al estudio de la comparativa a lo largo del tiempo, entre la utilización del BIM en general, y de los distintos softwares existentes de modelado BIM en el mercado, en el gráfico siguiente puede verse la evolución de tendencias a lo largo del tiempo.

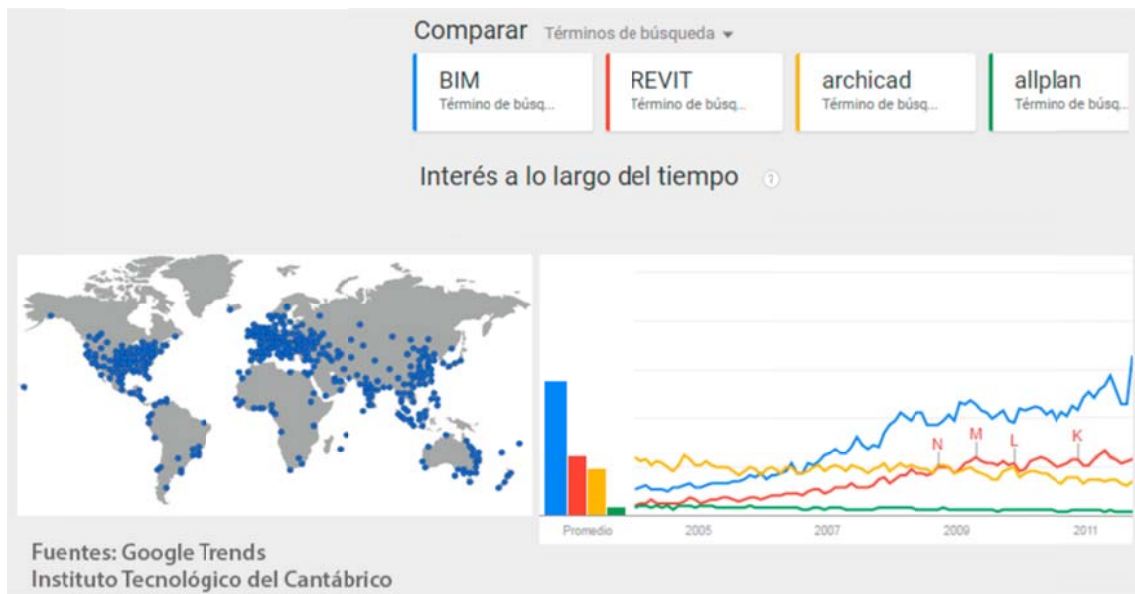


Figura: 2.2. Detalle del mapa descriptivo de la comparativa a lo largo del tiempo, entre la utilización del BIM en general y de los distintos softwares de modelado BIM, en el mercado en los distintos países del mundo. Fuente: Google Trends e Instituto Tecnológico del Cantábrico.

España

Como ha quedado expuesto, no en todos los países, el BIM se está implantado de la misma manera, y precisamente en España, todavía falta mucho por desarrollar para que los profesionales que trabajen en este entorno vayan creciendo exponencialmente. El estado del BIM en España, podría calificarse como de incipiente. Si bien, hay algunas experiencias pioneras de implantación del BIM, por parte de instituciones y administraciones públicas. El capítulo español (Spanish Chapter) de la asociación internacional BuildingSmart que promueve el uso de estándares BIM abiertos e interoperables está formalmente constituido desde noviembre de 2014 y se ha propuesto impulsar el uso del BIM a nivel nacional implicando a todos los actores del sector, públicos y privados. Como miembro de BuildingSmart, el Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña ITEC (fundación privada sin ánimo de lucro) participa y coordina sus acciones con los objetivos de BuildingSmart.

En el siguiente enlace puede verse más información sobre la implantación del BIM en España.

<http://itec.es/servicios/bim/implantacion-bim-en-espana/>. Acceso en: 13 oct. 2014.

La Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, que desarrolla normas técnicas y certificaciones, constituyó en el año 2012 el Comité de Normalización AEN/CTN 41/SC13 para la organización de modelos de información, relativos a la edificación y obra civil. El ITEC se ha incorporado, recientemente, para aportar su conocimiento sobre la estructuración y uso de bases de datos en estos ámbitos.

El Ministerio de Fomento ha decidido asumir el liderazgo del proceso de adopción de la metodología BIM, a través de la comisión constituida en la fecha 14-07-2015. La ministra Ana Pastor ha presidido el acto de constitución de la creación de la Comisión de estudio para la implantación de la metodología BIM, que mejora la calidad de los proyectos de arquitectura, ingeniería y construcción reduciendo costes, acortando tiempos de diseño y producción, e integrando en el mismo proyecto, disciplinas diversas interrelacionadas, que involucran a arquitectos, constructores, fabricantes, ingenieros industriales, civiles y estructurales junto con clientes.

La reducción del gasto, y la optimización de resultados son los nuevos objetivos de la economía, y BIM lo hace posible. Durante la jornada de constitución de la Comisión BIM, la ministra de Fomento ha señalado, que esta metodología se está implantando progresivamente; y su demanda como herramienta de trabajo, está creciendo día a día en todo el mundo. Esta comisión nace para impulsar la implantación de BIM en el sector de la construcción española, fomentar su uso en todo el ciclo de vida de las infraestructuras, sensibilizar a las administraciones públicas en el establecimiento de requisitos BIM en las licitaciones de infraestructuras, establecer un calendario para la adaptación de la normativa para su empleo generalizado, desarrollar los estándares nacionales que posibiliten su uso homogéneo, y realizar el mapa académico de formación de esta metodología en España. Todo ello servirá también para apoyar un mayor y mejor posicionamiento de la industria española en el mundo.

La Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, también ha participado en la jornada de presentación y formación de la Comisión BIM presidida por la Ministra de Fomento, Ana Pastor, iniciativa que parte del Ministerio de Fomento y está coordinada por INECO. Entre los hitos de la hoja de ruta de esta Comisión se encuentra la redacción de estándares BIM nacionales que potencien la interoperabilidad de las herramientas y potencien su uso.

AENOR participa activamente en los trabajos internacionales y europeos de estandarización BIM mediante el AEN/CTN 41/SC 13, y es Miembro de Honor del Building Smart Spanish Chapter. Asimismo, está en marcha la redacción de un documento UNE nacional sobre el estado del arte del BIM en España.

Además, dicha comisión establece un calendario con las siguientes fechas:

- 12/03/2018 - Uso recomendado de BIM en Licitaciones Públicas
- 17/12/2018 - Uso Obligatorio de BIM en Licitaciones Públicas de Edificación
- 26/07/2019 - Uso Obligatorio de BIM en Licitaciones Públicas de Infraestructuras

Página web del Ministerio de Fomento relativa a BIM:

<<http://www.buildingsmart.es/2015/07/15/el-ministerio-de-fomento-constituye-la-comisi%C3%B3n-bim>>. Acceso en: 12 oct. 2014.

En la Unión Europea, el Parlamento ya ha instado a los países miembros para que aborden la modernización de las normativas de contratación y licitaciones públicas. El pasado año, la UE pidió, por primera vez, que se considerara la conveniencia de incorporar la tecnología BIM para modernizar y mejorar los procesos de contratación pública. Se espera que, durante los próximos meses, este grupo de trabajo, tome forma y defina su hoja de ruta en relación con la trasposición de la **Directiva 2014/24/UE**. <<http://itec.es/servicios/bim/directiva-2014-24-ue/>> Acceso en: 12 oct. 2014.

Esta directiva europea, está dirigida a favorecer y recomendar la implementación del uso de BIM en todos los proyectos públicos de los 28 estados miembros. La adopción de la Directiva, cuyo nombre oficial es: “Directiva sobre contratación pública de la Unión Europea (EUPPD)” fomenta el uso de BIM para proyectos de construcción y de edificación financiados con fondos públicos en la Unión Europea para el año 2016. El Reino Unido, Países Bajos, Dinamarca, Finlandia y Noruega ya requieren el uso de BIM para proyectos de construcción financiados con fondos públicos.



Figura 2.3. Acto de constitución el día 14-07-2015 de la Comisión de Estudio para la implantación de la metodología BIM convocado por el Ministerio de Fomento y su titular Ana Pastor.

Fuente: <<http://www.fomento.gob.es/MFOMB Prensa/Noticias/1b9fde98-7d87-4aed-9a46-3ab230a2da4e>>. Acceso 20 oct. 2015.

La asociación buildingSMART Spanish Chapter trabaja para la promoción del BIM a través de estándares abiertos. Por ello, en el marco del congreso EUBIM 2013 se planteó una iniciativa de estandarización denominada uBIM cuyo objetivo inicial era el desarrollo de una guía en español para usuarios BIM.

Esta guía es una adaptación del COBIM finlandés (Common BIM Requirements 2012) elaborado por el Building Smart Finland en el año 2012, el cual ha sido adaptado a la casuística de España, atendiendo a las normativas y estándares vigentes, mediante un equipo redactor multidisciplinar integrado por expertos en cada uno de los capítulos tratados. El objetivo de dicho documento es: el de poder disponer de una guía estándar de fácil adaptación y en constante evolución, con el fin de aglutinar y coordinar a todas las disciplinas implicadas en la confección de modelados BIM; con garantías de precisión adecuadas para su uso efectivo en el sector. El desarrollo de dicha guía, se ha llevado a cabo de forma colaborativa, contando con la participación desinteresada de alrededor de 80 profesionales independientes.

La guía de usuarios BIM está compuesta de los siguientes documentos:

- D1) Parte general
- D2) Estado actual
- D3) Diseño Arquitectónico
- D4) Diseño de las instalaciones
- D5) Diseño estructural
- D6) Aseguramiento de la calidad
- D7) Mediciones
- D8) Visualización
- D9) Análisis de las instalaciones
- D10) Análisis Energético
- D11) Gestión de proyectos
- D12) Facility Management
- D13) Construcción

En Cataluña, desde el año 2014, la empresa pública Infraestructures de la Generalitat está iniciando experiencias piloto del uso de BIM en proyectos de edificación, como primeros pasos, para valorar la adopción del BIM en las obras públicas.

En febrero de 2015, en Barcelona, en el congreso Europea BIM Summit, se acordó la firma y publicación por varias instituciones catalanas de una carta de intenciones y un calendario de objetivos para la adopción del BIM por todos los agentes involucrados que trabajan en Cataluña:

Objetivo 2015-2016: Consensuar un mandato BIM en Cataluña.

Objetivo 2017: Adopción de estándares IFC, guías, clasificaciones y procesos de entrega del modelo digital pensando en cada fase del proyecto constructivo, de su ejecución, del mantenimiento posterior y de su integración en la ciudad. Definición de unos protocolos comunes para la creación y definición de la información compartida entre los agentes, orientados a la plena interoperabilidad entre las partes.

Objetivo 2018: Los equipamientos y las infraestructuras públicas con un presupuesto superior a 2 M€ deberán producirse en BIM en las fases de Diseño y Construcción.

Circunscribir este objetivo en proyectos de obra nueva.

Objetivo 2020: Todos los equipamientos y las infraestructuras públicas deberán producirse en BIM, en todas las fases: diseño – construcción – mantenimiento.

Circunscribir este objetivo a todos los proyectos de obra nueva y rehabilitación.

En lo relativo al ámbito académico, y dentro del último congreso EUBIM de mayo 2015, organizado por la Universidad Politécnica de Valencia, se tomó el acuerdo de proceder a la publicación del manifiesto BIM académico para solicitar un plan de formación BIM integrado y colaborativo entre las instituciones académicas a nivel nacional e internacional, con el objetivo de mejorar la capacitación de los estudiantes, profesores y profesionales del sector de la construcción.

2.3. EL MODELADO DE FORMAS LIBRES CON BIM

El Building Information Modeling (BIM) o Modelado de Información de la Edificación, es una metodología de trabajo destinada a la creación, almacenamiento y gestión de la información que de forma estructurada y continua es introducida y posteriormente utilizada sobre un modelo virtual digital 3D de una edificación a lo largo de todo su ciclo de vida útil. Esa información engloba a cada una de las partes individuales integrantes del modelo que se relacionan y aglutinan entre sí para formar un conjunto o un todo. Podría establecerse una analogía para definir el BIM como un contenedor digital de información ordenada y estructurada sobre un modelo 3D virtual edificatorio. Esto hace referencia directa a una base de datos donde se almacena información (gráfica y no gráfica) ordenada y estructurada sobre dicho modelo digital 3D de un edificio.

La última palabra del acrónimo y según algunos autores no está tan admitida de forma generalizada, pudiendo según ellos tomarse como Model (modelo o maqueta digital), Modeler (entendiendo la propia aplicación de modelado utilizada) o Modeling (acción propia de modelar). La acepción más generalmente admitida es esta última.

de los datos correspondientes a las puertas se lleva a cabo seleccionando registros enteros de una lista previamente cargada. El contenido de estos registros es personalizable, hasta cierto punto, con un cuerpo central previamente diseñado y una cierta capacidad de ampliación.

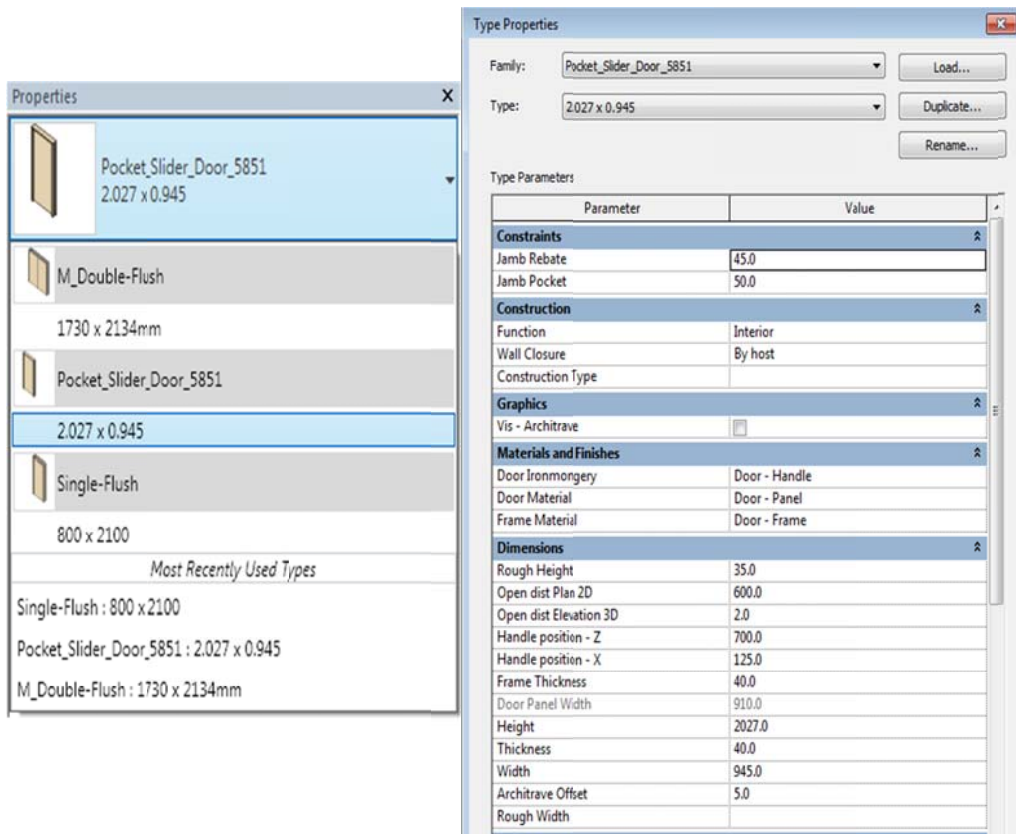


Figura: 2.6. A la izquierda, selección de registros de puertas (tipos) y, a la derecha, algunos de los datos que contiene el registro Pocket_Slider_Door_5851:2.027 x 0.945. Elaboración propia con software BIM.

Finalmente, otra importante asistencia al modelado de la información que ofrecen los sistemas BIM, es la generación de formularios a partir de plantillas prefijadas. La mayoría de estos formularios tienen la particularidad de permitir la introducción de datos mediante recursos gráficos, algo que es especialmente útil en lo que respecta a la información geométrica de los elementos. Así, en un cerramiento cualquiera señalando con el cursor su posición desde una interface espacial gráfica, se puede establecer la introducción de datos, dentro del formulario que es mostrado a su izquierda, seleccionándolos de una lista de registros con valores preestablecidos. Esta introducción o modificación de datos puede hacerse en cualquier momento o fase del proyecto y sus cambios son actualizados automáticamente en todas las vistas.

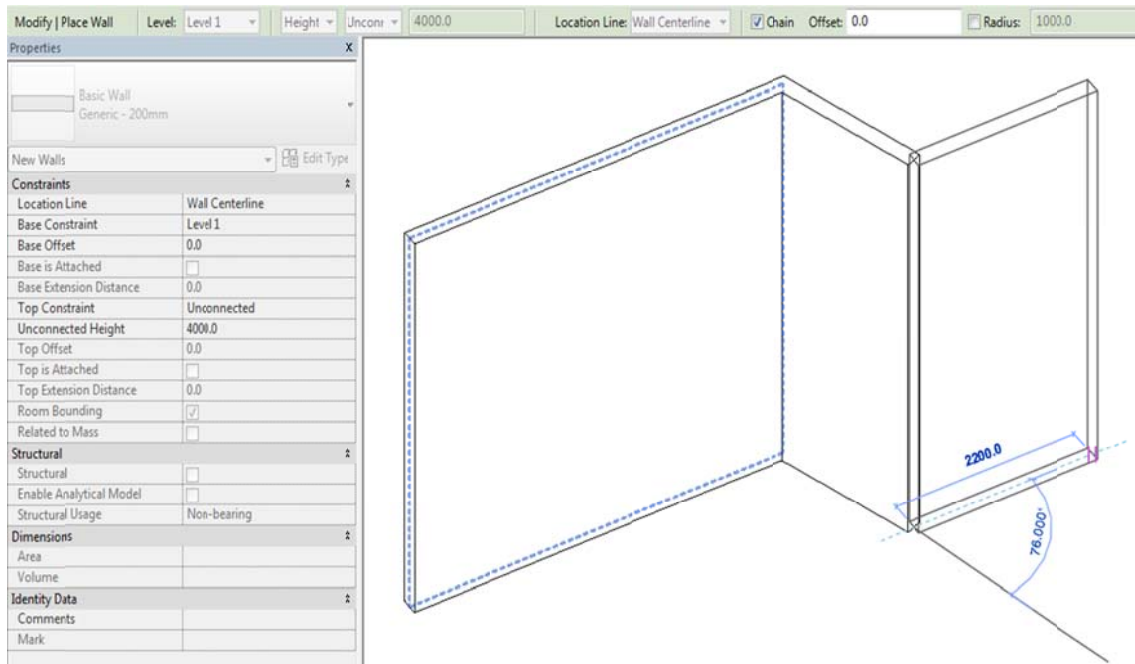


Figura: 2.7. Introducción de un cerramiento en un sistema BIM mediante un informe (vista) de tipo gráfico. A la izquierda, el registro previamente seleccionado, con algunos de sus campos ya rellenados. A la derecha, la introducción de las posiciones espaciales, mediante un cursor. Incluso se aprecia un feedback gráfico (línea a trazos del extremo derecho) que permite establecer al último tramo como paralelo del primero. Elaboración propia con software BIM.

No obstante, es importante hacer notar que esta variedad de formularios (que en los sistemas BIM se acostumbra a denominar *Vistas, Listados o Informes*) es limitada, y que sus prestaciones se restringen en pro de asegurar la eficacia y estabilidad de uso de estos sistemas. Por esta razón, algunos de los datos que almacenan los modelos de información no pueden ser listados, ni editados de forma productiva, según las necesidades de determinados flujos de trabajo, al no estar previsto en el sistema los formularios necesarios para ese proceso en concreto.

A pesar de estas limitaciones, los sistemas BIM han demostrado una gran eficacia en las tareas de construcción y gestión de modelos de edificación, imponiéndose a los sistemas al uso, de CAD tradicionales, gracias a una adecuada proporción entre prestaciones y esfuerzo de modelado.

La gestión de la representación gráfica en BIM es radicalmente distinta, ya que las vistas de plantas, secciones, alzados, perspectivas, tablas de planificación, etc. son generadas de forma automática desde el propio modelo virtual 3D garantizando siempre la coherencia formal entre el modelo y sus vistas. Cualquier modificación de cualquier elemento en cualquiera de las vistas es detectada por el software trasladando internamente dichos cambios a su base de datos que actualiza de forma automática y sin intervención del usuario todas las salidas de las vistas regenerándolas en tiempo real con los cambios introducidos.

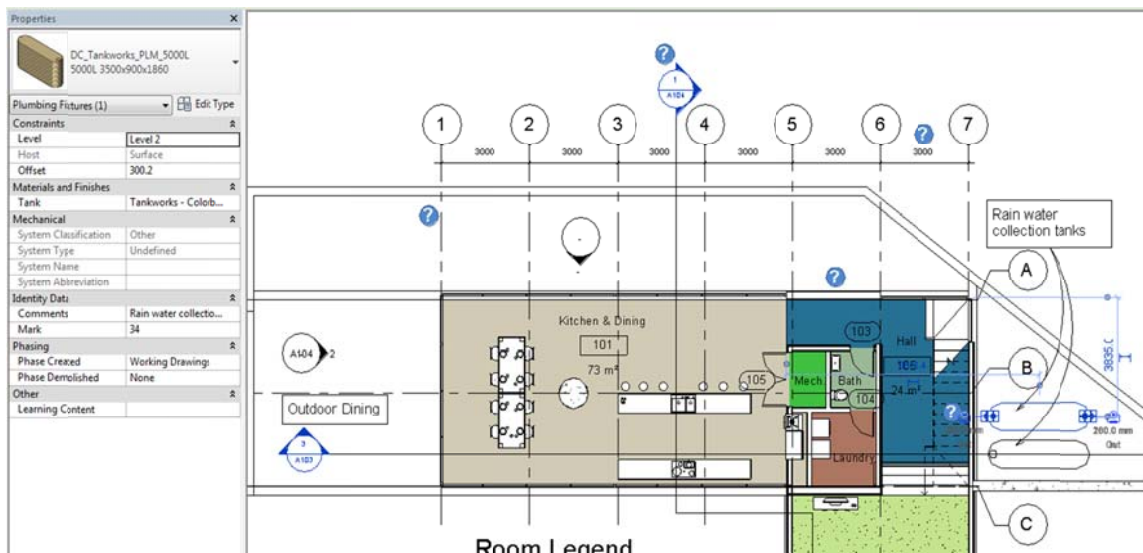


Figura: 2.8. Vista grafica mixta en la que aparece información geométrica, representada gráficamente junto a datos alfanuméricos de uno de los componentes (registro) del modelo. Es interesante observar como aparecen objetos, cuya función es la de mostrar información de otros objetos en esta vista, como la etiqueta que explica que función cumplen los registros DC_Tanworks_PLM_5000. Otros muestran la posición de otras vistas, como es el caso de los símbolos de sección. Fuente: © Revit.

La información geométrica de los elementos que se modelan en un BIM también debe ser cuantificable en forma de registros de tablas relacionales, si se desea que sus datos se puedan relacionar con los del resto del modelo. De esta forma, no sólo es posible listar las propiedades geométricas de los elementos con facilidad, sino que se puede mantener la coherencia del modelo de forma automatizada, sin intervención del usuario.

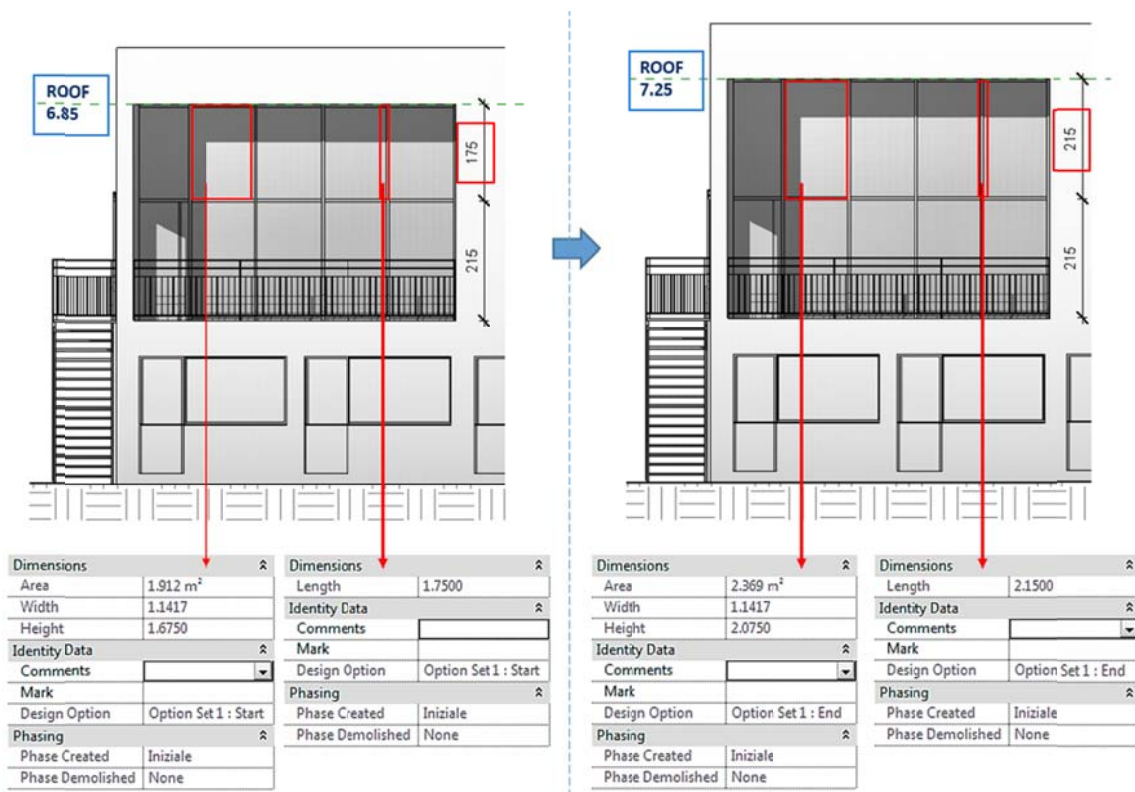


Figura: 2.9. Los vidrios del muro cortina están definidos geoméricamente, según una topología que depende de una envolvente rectangular plana, cuyas dimensiones están ligadas al campo que controla la posición del plano de referencia Roof. Para que esta relación se mantenga en todos los casos, su topología debe estar bajo control. Fuente: © Revit.

Afortunadamente, gran parte de la geometría arquitectónica es fácilmente descriptible en registros más o menos complejos, ya que su topología suele responder a leyes regulares. Por ejemplo, la mayoría de las formas arquitectónicas se pueden describir como extrusiones o barridos de perfiles planos. Por otra parte, determinadas geometrías se obtienen mediante transformaciones simples, como son operaciones booleanas, o procedimientos de baja complejidad, como la generación de perfiles paramétricos planos o la automatización de encuentros entre elementos lineales (como muros o vigas).

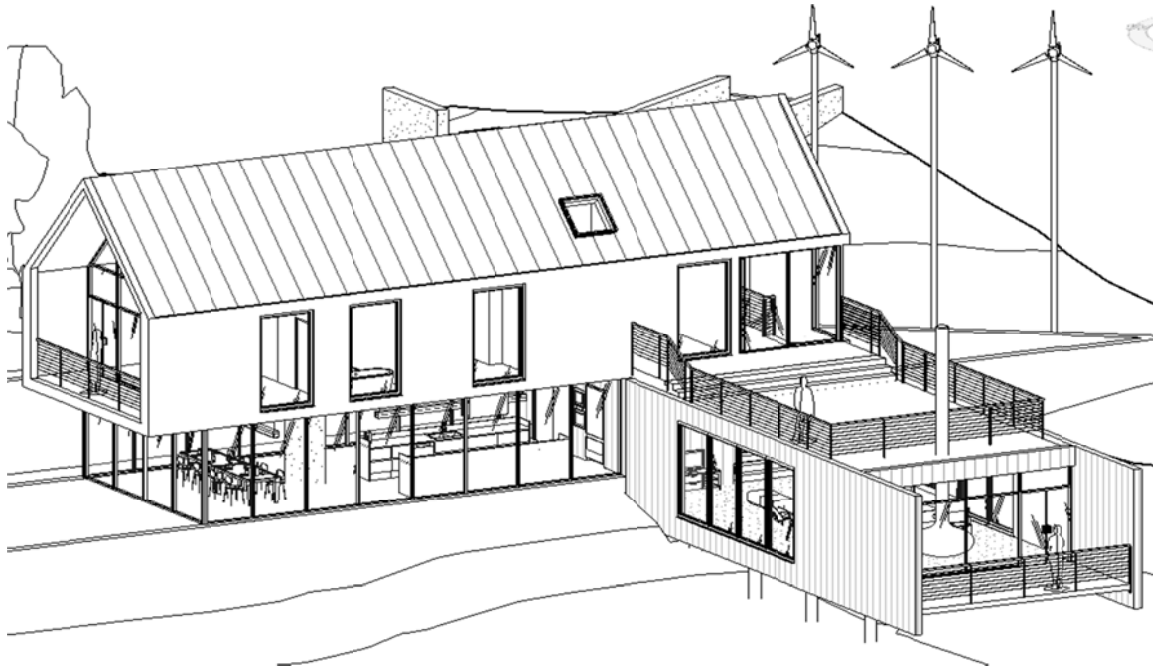


Figura: 2.10. No representa una gran dificultad cuantificar cualquiera de los elementos que aparecen en este modelo. Sólo pulsando con el cursor sobre el elemento es obtenida directamente. Fuente: © Revit.

No obstante, existen topologías que no pueden ser reproducidas mediante estas estrategias. Lo que comúnmente se conoce como formas libres, son difíciles de describir, mediante estos sistemas tan rígidos, ya que no se pueden prever todas las combinaciones posibles. Frente a este reto, algunos sistemas BIM ofrecen la capacidad de generar formas mediante funciones, que deben ser procesadas para obtener diferentes resultados, dependiendo de los valores de las variables que se declaren en ellas. Esto se lleva a cabo mediante los diferentes intérpretes de scripts que incorporan los diferentes sistemas BIM (GDL, Python, .NET, Lisp, etc.).

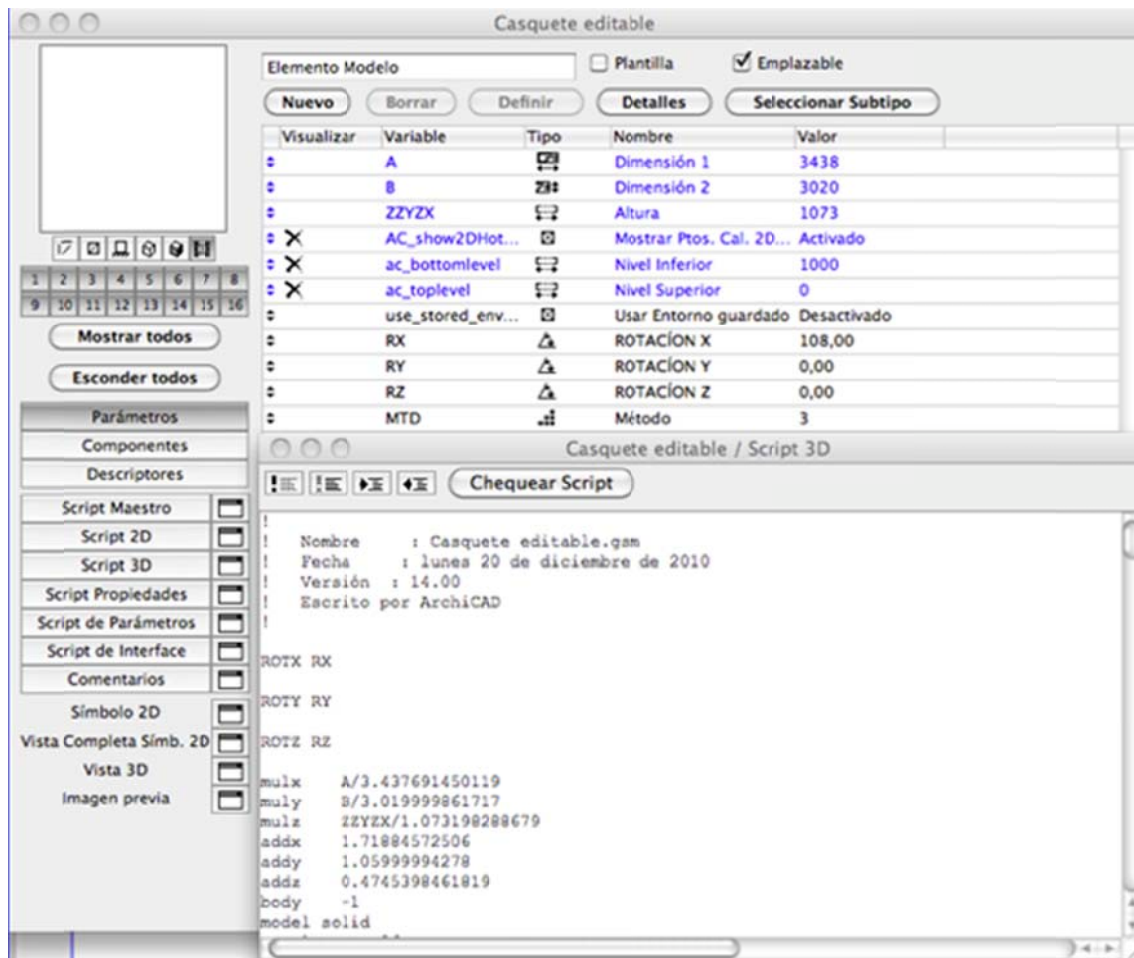


Figura: 2.11. Interface de programación en lenguaje GDL de ArchiCAD. Fuente: © ArchiCAD.

El inconveniente de esta estrategia es la complejidad del modelado, que requiere un alto grado de formación y una inversión de tiempo considerable para cada elemento; así como la baja capacidad de estos sistemas para interactuar con el usuario de una forma intuitiva. Estas limitaciones llevan a los diseñadores de este tipo de morfologías a escoger otro tipo de aplicaciones de software, especializadas en este tipo de modelado. Estas aplicaciones funcionan en base al procesado de funciones que pueden ser configuradas y ordenadas con libertad. Este tipo de soluciones, que han evolucionado en paralelo a las de BIM, ofrecen una interface y unas prestaciones especializadas para este fin, con lo que resultan mucho más adecuadas a la hora de afrontar el modelado de formas libres, que deben ser generadas mediante estructuras complejas.



Figura: 2.12. Una estructura como esta es difícilmente modelable con un sistema BIM actual, al menos de una forma suficientemente eficaz como para que sea viable su diseño y ejecución. En cambio, con una herramienta especializada, es posible definir todas sus partes. Propuesta para el Aeropuerto Internacional de Danang por Dang Tran Tuan Anh. Fuente: <<http://www.grasshopper3d.com/photo/danang-international-airport-5>>. Acceso 10 oct. 2015.

El BIM potencia la comprensión visual holística de los elementos constructivos integrantes del modelo lo que da como resultado un modelo de mayor predictibilidad, reduciendo pérdidas y lagunas de información. Permite la realización de simulaciones diversas de su comportamiento real construido, como el análisis estructural, energético, económico o de costes, etc., etc. del modelo virtual en base a los datos inherentes del proyecto. Esto reduce en gran medida los factores de incertidumbre en las fases de ejecución. Los procesos y metodologías BIM facilitan la inclusión y gestión colaborativa de datos desde los inicios de proyecto hasta su fin de ciclo, reduciendo sustancialmente la desviación típica entre lo proyectado y lo ejecutado en todas las fases de desarrollo del proyecto.

Para el desarrollo de esta tesis, se decidió de cara al estudio de la generación de formas libres dentro de los softwares existentes sobre entornos BIM, la elección de una aplicación, que fuera la más representativa en cuanto a su utilización por el número de usuarios y demanda por parte de estudiantes y profesionales del sector, optando para el modelado paramétrico por “Revit”. Esta elección vino también respaldada por contar de origen con la particularidad de disponer de un plug-in (editor gráfico de algoritmos que utiliza un lenguaje de programación visual) de código abierto y acceso gratuito denominado Dynamo, que conecta con dicha aplicación. Esto incrementa de forma sustancial sus potencialidades permitiendo su interconexión para el desarrollo del modelado algorítmico con programación visual y todo ello siempre dentro de plataformas sobre entornos BIM, que también es tema de estudio de la tesis.

2.4. LOS SISTEMAS DE MODELADO ALGORÍTMICO

Al contrario de los sistemas de Building Information Modeling (BIM), los sistemas de modelado algorítmico describen procesos de generación de resultados. Una función matemática, por ejemplo, es un algoritmo y como tal, puede formar parte de uno más grande. Por otra parte, cualquier software está formado por algoritmos, que procesan datos de entrada y obtienen datos de salida, lo que ocurre es que estos sistemas se especializan en ofrecer una interface que permita manipular con facilidad estos procesos, de tal manera que se pueden obtener variaciones sobre el resultado final con facilidad, y con un abanico infinito de posibilidades. Mediante esta estrategia se trabaja sobre el propio proceso de diseño del modelado y no sobre su resultado final. Esto hace posible que se pueda reescribir la historia de una representación en cualquier momento; alterando partes de ella y observando sus consecuencias. En cambio, los sistemas de modelado paramétrico BIM, están más orientados a ofrecer una buena interacción del resultado final en detrimento de cierto control de las relaciones internas que lo originan.

BIM, ya sea por cuestiones de productividad, o porque sencillamente no se puede representar alguno de sus condicionantes.

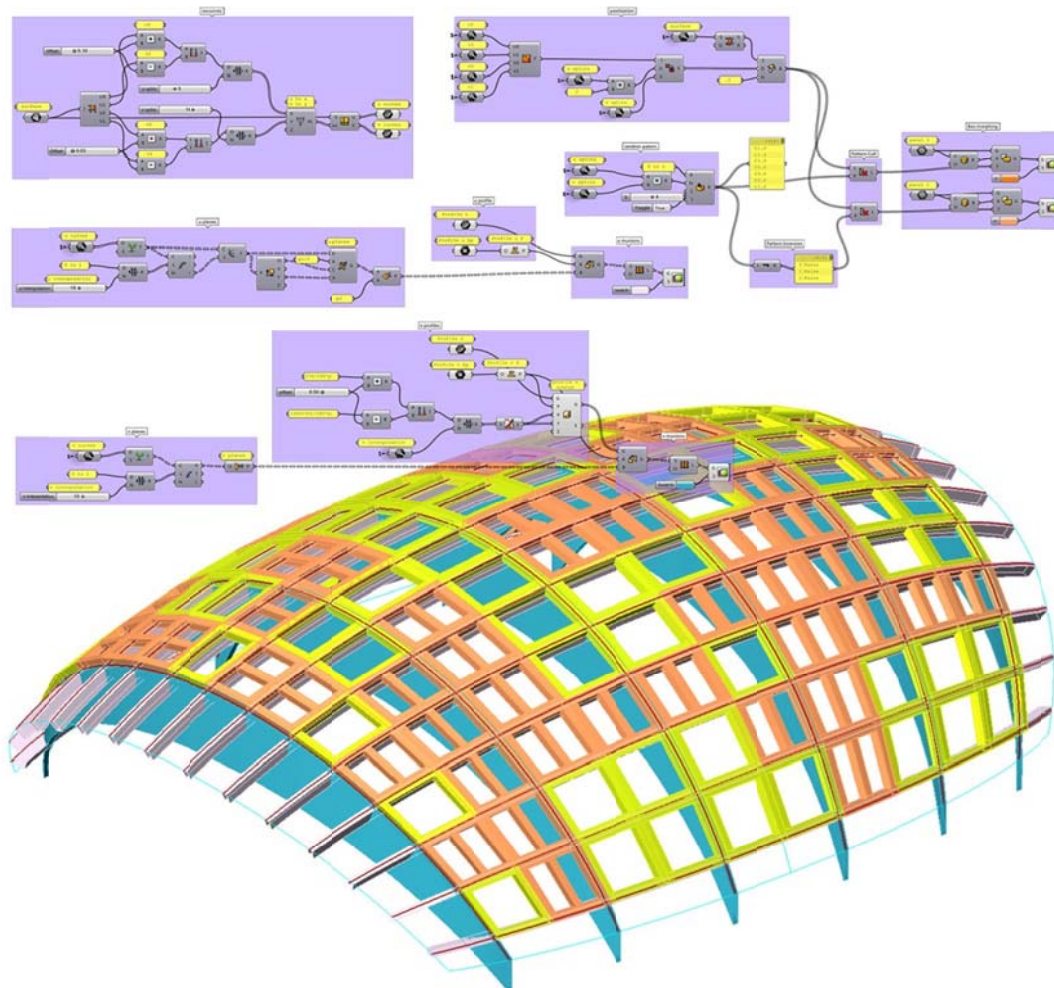


Figura: 2.14. El potencial de este sistema de modelado algorítmico es que se puede describir cualquier tipo de proceso, e introducir en él todos los condicionantes que lo constriñen. En esta estructura, por ejemplo, se establece que la sección vertical de las vigas principales será vertical (para que pueda ser encofrada con facilidad) y que, en cambio, las riostras se orientarán perpendicularmente a las primeras. Fuente: Artículo “La docencia de la representación paramétrica”. © Eloi Coloma Picó.

2.5. COORDINACIÓN ENTRE MODELOS ALGORÍTMICOS Y MODELOS BIM

De lo dicho hasta ahora se podría concluir que existen dos estrategias diferentes de parametrización de un edificio. Por una parte, están los sistemas paramétricos de generación algorítmica, que buscan la máxima libertad, y prestaciones a la hora de describir cualquier representación, asumiendo limitaciones en la extensión que estas pueden abarcar. Por otra parte, existen los modeladores BIM que persiguen el objetivo de representar en un modelo coordinado todos los aspectos de un edificio, estableciendo un entorno paramétrico mucho más restringido.

Ambas estrategias se complementan, ya que, las posibilidades de parametrización de los sistemas orientados a objetos son limitadas y especializadas, y a menudo, necesitan del soporte de las soluciones de parametrización algorítmica para cubrir las necesidades específicas. Estas pueden estar relacionadas con ámbitos muy diferentes, como son la experimentación formal, el diseño de estructuras constructivas complejas, (como panelizaciones o mallas espaciales) o el estudio de las circulaciones del edificio.

No obstante, desde la óptica del Building Information Modeling, es de suma importancia mantener un flujo de información coordinado entre los distintos modelos que se utilizan. Por tanto, las metodologías de trabajo mejor integradas, consiguen establecer una estrategia de conexión entre los dos tipos de modelos, con el fin de que el primero pueda adaptarse a los cambios acontecidos en el segundo. El método más simple consiste en modelar en ambos modelos una representación del contexto de interrelación entre ambos sistemas, con el fin de tenerlo en cuenta, en cada uno de los modelos a coordinar. Por ejemplo, se puede modelar toda la distribución, estructura vertical y cerramientos exteriores de un edificio con una aplicación BIM, y dejar el diseño de la cubierta para un modelador paramétrico libre. Si en este, se establece el dominio de los puntos de apoyo de la estructura a partir de una extracción de datos automatizada procedente del modelo BIM, tendremos dos modelos coordinados paramétricamente.

Por otra parte, es importante tener en cuenta que el Building Information Modeling precisa que la información no sólo esté coordinada, sino que sea accesible por todos los implicados a largo del ciclo de vida del edificio. Por esta razón, si no se consigue integrar todos los datos de los modelos algorítmicos, tarde o temprano esta se perderá, o dejará de estar coordinada con el resto de

información del edificio, pudiéndose romper la coherencia de la información. En este sentido, hay que tener en cuenta que una representación paramétrica puede contener datos que no intervengan en ninguno de los procesos descritos en ella, pero que jueguen un papel importante, cuando estos son introducidos en representaciones de otros modelos, o son procesados por otras aplicaciones que puedan leerlos. Esto permite la incrustación de información multidisciplinar en ellos, aunque no sea utilizada en primera instancia por los diseñadores. Por ejemplo, incluir el cálculo de los valores de transmisión térmica de la representación paramétrica de una fachada en función del espesor de sus elementos puede no tener ningún efecto en su formalización, pero sí que entrará en juego cuando participe de un proceso de análisis energético que, a su vez, podría aconsejar modificaciones en el espesor de este elemento. Esta estrategia no sólo permite coordinar modelos entre sí, sino que además, facilita enormemente la gestión eficiente de la información que se tiene acerca del edificio. De esta forma, el Building Information Modeling se puede utilizar realmente como base de coordinación de los sistemas modernos de diseño, construcción y gestión de edificios.

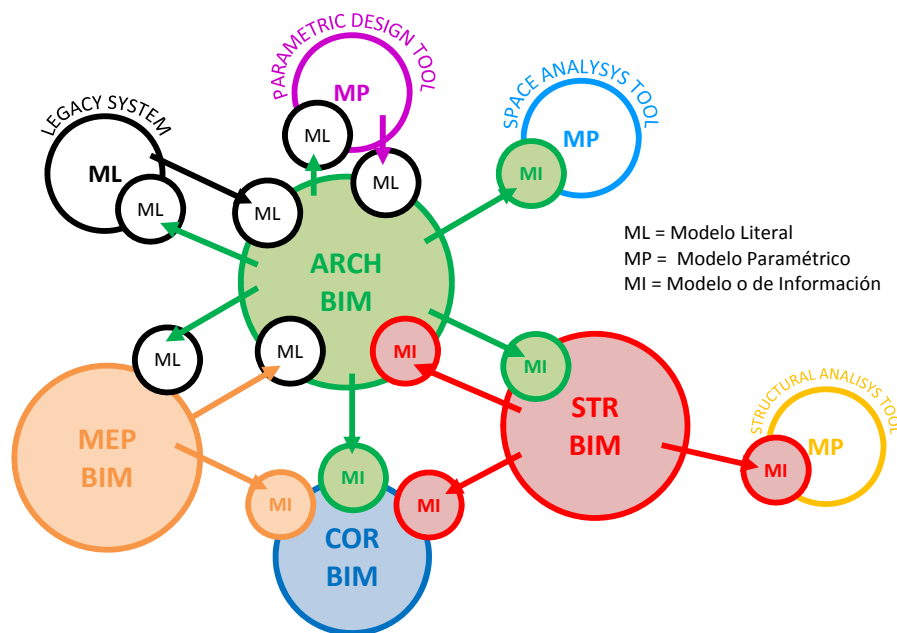


Figura: 2.15. En la actualidad, el proyecto arquitectónico desarrollado con tecnología BIM integra diversos modelos, algunos de información (BIM), otros algorítmicos, y otros literales (los tradicionales CAD), conformando lo que podríamos llamar un Meta-BIM. Fuente: © Eloy Coloma Picó.

Con el fin de conseguir una integración mayor de la información, que vaya más allá de incrustar parte de los resultados de un modelo en el otro, desde hace años se han venido desarrollando métodos de comunicación, que usan las API de cada uno de los modeladores para programar sistemas que trasladen la parametrización de un modelo a otro.

Cada solución de modelado paramétrico utiliza su propio lenguaje para describir sus representaciones. Cada lenguaje utiliza términos y sintaxis diferentes, que a menudo, no pueden ser traducidos de forma literal a otros sistemas. Por ejemplo: la forma que tiene Autodesk Revit de escribir un simple muro y sus relaciones con el resto de elementos de un edificio es muy distinta a la que pueda usar ArchiCAD o AllPlan, por ejemplo; a pesar de que su aspecto externo sea exactamente el mismo. Esto hace que no sea posible importar una representación paramétrica modelada en otro sistema, sin la intervención de un convertidor que actúe en los dos extremos de la transferencia. Estos intérpretes identifican los elementos, parámetros y relaciones que se pueden reproducir en uno y otro sistema, y se ocupa de que en cada uno de ellos, se pueda generar automáticamente un modelo paramétrico que clone las propiedades del otro.

Esto es lo que persiguen los mejores convertidores que usan IFC (Industry Foundation Classes) o formato de archivo de protocolo internacional y de código abierto creado como formato para el intercambio de información, los cuales actúan tanto en el emisor como en el receptor. También siguen esta estrategia otro tipo de conectores como Hummingbird, Chamaleon, o los últimos desarrollos de la consultoría Case¹, así como las abundantes herramientas que conectan bidireccionalmente las bases de datos de los modeladores BIM con tablas de Excel, las cuales pueden ser fácilmente editadas, mediante otros softwares.

¹ Consultoría con sede en Nueva York que lidera esfuerzos en diseño computacional, modelado complejo, diseño algorítmico generativo, así como en el desarrollo de aplicaciones de software de modelado personalizadas.

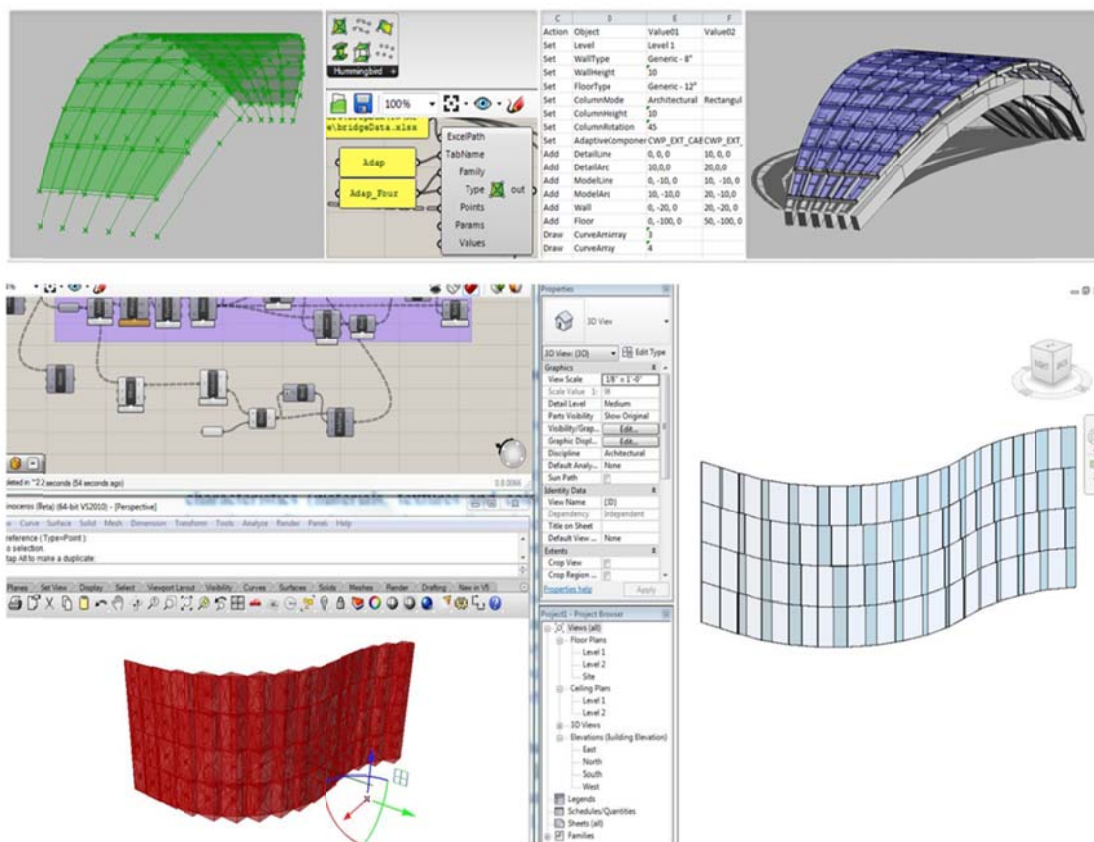


Figura 2.16. Project Hummingbird permite modelar objetos de Revit dentro de Grasshopper para que estos puedan ser reinterpretados correctamente, siempre que se disponga del correspondiente importador específico que suministra para Revit. Fuente: © Hummingbird <<https://ghummingbird.wordpress.com/>>. Acceso en: 10 sep. 2015.

3. PERTINENCIA, OBJETIVOS, METODOLOGÍA, HILO CONDUCTOR

3.1. PERTINENCIA DEL TEMA DE ESTUDIO Y VINCULACIÓN CON EL AUTOR

Aunque todo lo expuesto hasta aquí parezca relativamente sencillo de implementar, en la actualidad todavía se está en pleno proceso de desarrollo para dar una solución adecuada a todas estas cuestiones planteadas. Hay que tener en cuenta, en primer lugar, que los sistemas BIM deben tener una API, Application Programming Interface, (Interfaz de Programación de Aplicaciones). Esta interface es un conjunto de subrutinas, funciones y procedimientos (o métodos orientados a objetos) que ofrece una biblioteca de programación, que posibilita su utilización por otro software. Esto faculta el acceso a los mecanismos internos de programación de su software para permitir interactuar y comunicarse con él y, en segundo lugar, es necesario, que se programen dos aplicaciones, una para cada plataforma que se desee conectar. Por otra parte, el BIM está eclosionando ahora, y eso quiere decir, que las reglas de lo que es conveniente y lo que no lo es, se están escribiendo en estos momentos. Por esta razón, muchas de las herramientas de conexión actuales provienen de consultores que desarrollan herramientas específicas para sus clientes, con el fin de superar retos muy concretos en edificios, con elevados presupuestos de ejecución. Más tarde, los resultados de estos procesos son expuestos públicamente; pero nunca documentados al detalle, ya que forman parte de la ventaja competitiva de las firmas que han pagado por su desarrollo.

En nuestro país, la utilización, implantación, desarrollo y estudio de estas nuevas tecnologías digitales de última generación y metodologías BIM, a pesar de su uso creciente, distan mucho de alcanzar el nivel de otros países de nuestro entorno. Esto nos sitúa en clara desventaja, en la carrera para lograr el cambio, explícitamente demandado por las principales instituciones del primer mundo.

La Universidad Politécnica de Cataluña y la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, ha sido pionera en abrir una línea de investigación relacionada directamente con el BIM. En este sentido, la aparición de la tesis doctoral que lleva el título *“Tecnología BIM per al disseny arquitectònic”* de Eloi Coloma Picó (2011), ha sido el desencadenante, para elegir esa universidad y pretender seguir avanzando, en la misma línea de investigación abierta: el BIM, y en un campo

para el que suscribe de especial interés personal, el diseño conceptual o modelado conceptual de masas de formas libres, en el que este doctorando viene trabajando desde el año 2007.

En esa tesis doctoral en la página 439 se dice: *“Aquesta tendència es mantindrà (se refiere al avance del BIM) en els pròxims anys. Opino que bàsicament s’avançarà en cinc grans direcció:”*. En el segundo de estos cinco puntos indicados se dice:

“2) Modelat de formes cada cop més lliures mantenint un alt grau de facilitat d’ús. Augmentant la seva versatilitat a través de les eines adequades (panelització, especejament, etc.)”. Es, precisamente, en esta dirección, donde podría encuadrarse la vía de investigación que se pretende con la propuesta de presentación de esta tesis, para avanzar en el conocimiento en ese campo.

En la actualidad, existen numerosos proyectos de edificación, que precisan de este tipo de conocimientos, porque, a pesar de contar con un gran presupuesto, sus promotores no desean desviarse de las previsiones iniciales. Esto obliga a una planificación detallada de todas las fases del ciclo de vida del edificio, especialmente en las de diseño y construcción; pero también en las de explotación, donde la optimización del consumo energético y la facilidad de mantenimiento serán cada vez más importantes. En este contexto, el control de las formas libres y su optimización en la fase de diseño es de suma importancia.

Múltiples factores, pero fundamentalmente se intuyen los de tipo crematístico, están contribuyendo a la falta de divulgación y por tanto al conocimiento convenientemente documentado de los procedimientos, técnicas instrumentales y de una metodología a aplicar clara, estructurada, contrastada y sistemática, que estudie y aborde la generación de formas libres de geometrías complejas y su incorporación dentro de todo el proceso de desarrollo del proyecto arquitectónico en su conjunto, desde las fases iniciales más tempranas hasta la completa definición, ejecución y gestión de toda la información. Con mucha frecuencia se aportan, únicamente, resultados parciales, de aspectos muy concretos y fragmentarios, sin desarrollo y exposición detallada clara de cómo se ha llegado a los mismos, ¿Cuáles han sido los mecanismos necesarios y/o aplicaciones utilizadas que han permitido su obtención? El reflejo de esto es claro y se pone de manifiesto de una manera más que evidente en las fuentes documentales examinadas,

tanto en la bibliografía existente, en soporte papel, como en publicaciones digitales de todo tipo, disponibles en la Red.

Por otra parte, en la recopilación de información que se ha llevado a cabo, se ha podido comprobar la evolución de las herramientas relacionadas con esta cuestión; por el número de publicaciones nuevas aparecidas, de unos años a esta parte, un interés real y creciente que no deja lugar a dudas. El desarrollo del software comercial suele hacerse eco de intereses y demandas de los usuarios y es un buen termómetro, para rastrear tendencias de evolución y respuesta a la demanda de intereses de las aplicaciones. En este sentido, el interés por aplicaciones que permitan traspasar los límites de los actuales sistemas BIM en el campo del diseño formal es evidente.

Se considera por todo lo anterior, la utilidad, el interés y la necesidad de cubrir lagunas de conocimiento; estructurando y aglutinando el conocimiento asistemático, fragmentado y disperso existente, por lo que se considera pertinente el desarrollo del tema de investigación que se pretende.

VINCULACIÓN CON EL AUTOR

Desde el trabajo profesional de arquitecto que el que suscribe ha venido desarrollando, se ha utilizado desde hace tiempo diferentes sistemas de CAD relacionados todos ellos con el diseño arquitectónico. Fue en el año 2007 cuando se optó por la incorporación de aplicaciones BIM y más concretamente Revit Architecture para el desarrollo de proyectos. Desde entonces, se ha podido comprobar cómo la introducción de estos sistemas ha ido cambiando la forma, el proceso de diseño, los tempos de desarrollo, el grado de definición y la precisión de la documentación del proyecto arquitectónico. En pocos años, se han ido incorporando nuevas potencialidades en las aplicaciones sobre estos entornos de trabajo para hacerlas más versátiles y más libres en la definición y generación de formas. Se van introduciendo capacidades de interoperabilidad con otras aplicaciones, para facilitar el intercambio de información, y la colaboración en un proceso que poco a poco se está introduciendo de manera imparable.

También desde el año 2010 el autor se ha dedicado a la docencia sobre estos sistemas BIM, y en la actualidad y desde hace tres años se ha estado preparando un libro sobre Revit. Desde el comienzo de ese cambio a las plataformas BIM, se ha tenido un particular interés por el modelado de formas libres y su articulación e integración en el flujo de trabajo de definición del proyecto. Quizás porque es una manera diferente de acometer el proyecto, sin los corsés preestablecidos de los sistemas tradicionales usados hasta la fecha. También se cree que aporta muchas ventajas añadidas en las visualizaciones previas, tanteos iniciales, estudios y análisis previos, simulaciones y en definitiva, supone una gran ayuda en la toma de decisiones desde fases muy tempranas y atendiendo a múltiples variables. Es en este campo en el que a este doctorando le gustaría especializarse. Poder aportar conocimientos de carácter eminentemente prácticos, que puedan interesar y a la vez ser de aplicación muy directa al colectivo de arquitectos, y buscar también una salida profesional para el futuro.

3.2. OBJETIVOS Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

OBJETIVOS

El objetivo principal de esta tesis es el de la exploración de los mecanismos, recursos, procesos, estrategias y metodologías a utilizar para la generación de formas libres de geometrías complejas, dentro de las dos vías alternativas actualmente existentes en el ámbito del modelado. El modelado BIM o modelado paramétrico y el modelado generativo algorítmico basado en códigos de programación VPL (Lenguajes de programación visual). Se explorarán también en paralelo qué herramientas de análisis, gobierno, gestión y control disponen y cuáles son los procedimientos para su utilización en ambas vías de modelado, en aras a la búsqueda y consecución de la optimización de dichas formas libres generadas.

Estas dos vías de generación de formas son muy diferentes con recursos, objetivos y estrategias de diseño muy diferentes y aparentemente sin ninguna relación. En la vía paramétrica se utilizarán herramientas comerciales proporcionadas por un software de modelado BIM y en la vía algorítmica será utilizado un software de modelado VPL (Lenguaje de Programación Visual).

No se perderá de vista tratándose de entornos BIM, la integración e incorporación a la definición del proyecto de las formas generadas dentro del flujo de trabajo continuo en la gestación, desarrollo, terminación y documentación del proceso de diseño del proyecto arquitectónico. Estas labores podrían encuadrarse en algo que otros han dado en llamar tecnificación de la arquitectura.

Se estudiará también como parte integrante de los objetivos principales del trabajo a realizar las características, los objetivos que persiguen, sus estrategias de modelado y las posibles relaciones de comunicación bidireccional, interoperabilidad y complementariedad, que puedan presentar ambas vías: la de modelado BIM o vía la paramétrica, y la algorítmica con código de programación visual VPL. Así como la existencia o no de comunicación, extracción e intercambio de datos de sus dos softwares de modelado, con otros tales como hojas de cálculo y bases de datos. Para ello se desarrollarán y documentarán unas metodologías de trabajo en la generación y el control de formas libres sobre entornos BIM. Entendiendo el BIM como una metodología de trabajo que engloba el uso coordinado, colaborativo e interdisciplinar de todo tipo de herramientas paramétricas.

ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Dada la amplitud que representa el estudio genérico del BIM, que puede ser aplicado a múltiples facetas o áreas de la edificación, como el propio modelado, introducción de información al modelo, la gestión de la información introducida, el mantenimiento, la ampliación, rehabilitación etc., y a su vez, dentro de estas, a los diferentes procesos de diseño, producción y explotación, se ha procedido a acotar el alcance del estudio del tema. El trabajo se ha centrado en tres temas principales, por considerar que son los más directamente relacionados con el propósito central de la investigación. Estos tres temas son los siguientes:

a) El modelado de formas libres orientados a grandes sistemas de cerramiento como son: cubiertas, fachadas y sistemas estructurales de soporte. No se tratará el problema de las formas libres de elementos de pequeñas dimensiones o autónomos, al entenderse que no representan un reto de importancia para los sistemas actuales. Todo ello en las dos vías de modelado existentes la paramétrica y la algorítmica.

b) Gestión de la información y datos paramétricos de todos esos elementos, para poder realizar análisis posteriores; como son la cuantificación, la medición, optimización y gestión de esa información.

c) Aplicación de estas dos vías de modelado en la definición progresiva e incorporación de formas al proyecto arquitectónico, es decir su aplicación práctica para la integración y conversión de esas formas libres, para la definición de sus elementos constitutivos dentro del flujo de trabajo del proyecto, desde el inicio a la terminación.

En cuanto al software de modelado para no dispersar ni hacer demasiado extensa la investigación, se ha elegido el que cuenta con más documentación y más accesible y cuyos costes de implantación son reducidos, ya que ha sido voluntad del autor de este trabajo que los resultados obtenidos puedan ser aprovechados por el mayor número de personas estudiantes y profesionales. Afortunadamente, la mayoría de las aplicaciones relacionadas en este tipo de procesos tiene costes muy bajos o son gratuitas; ya que sus desarrolladores están interesados en que sean usadas por un gran número de usuarios que, al explorar libremente sus posibilidades, reporte sus resultados y ayude a priorizar futuras mejoras.

3.3. METODOLOGIA DE TRABAJO

Para el desarrollo y consecución de los objetivos principales o generales, se establecerán un conjunto de objetivos específicos, que son los que identificarán las acciones y tareas a realizar para lograr alcanzar dichos objetivos principales. En base a la formulación de una serie de cuestiones o preguntas relacionadas con esos objetivos, se tratarán de direccionalizarlos operativamente formulando las tareas a establecer para su consecución, con indicadores de sus variables involucradas, para comprobar en la obtención de los resultados la determinación de su validación o rechazo. También se hará una reflexión metodológica de lo que se hace y porqué, justificando si los resultados son extrapolables y universalizables a otros casos parecidos con evidencias objetivas sólidas y comprobables, que puedan convertir el caso particular estudiado en regla general.

El método utilizado será por tanto el camino, procedimiento o conjunto de procedimientos que servirán de instrumentos para lograr los objetivos de la investigación. Para ello, el trabajo pretende dar respuesta a las siguientes preguntas que serán sus objetivos parciales, específicos o particulares para alcanzar el objetivo general ya expuesto:

1) ¿Qué mecanismos y herramientas de generación de formas disponen los modeladores paramétricos BIM y los sistemas de modelado algorítmico para la generación, exploración, manipulación, edición de formas libres? ¿Cómo se utilizan dichos mecanismos, qué elementos o componentes son necesarios y de qué manera deben disponerse para llevar a cabo dicha generación de formas?

Los objetivos que se persiguen son el conocimiento y la comprensión de los mecanismos y las técnicas instrumentales propias del modelado o generación de formas libres en su entorno de trabajo propio de masas conceptuales. Cuáles son los mecanismos empleados en la generación de formas y los recursos de que se disponen para su manipulación y o edición directa. Para alcanzar estos objetivos, se realizarán primero tareas que comportan la generación de masas desde su entorno propio de trabajo. Se verán sus dos vertientes de masas sólidas y masas de superficie y cómo es su manipulación y o edición directa de sus caras, aristas y vértices.

Otra parte importante dentro de este apartado, sería el de la división de superficies aplicando un sistema de enrejillado y luego un patrón de superficie que pueda contener otros componentes anidados (paneles), que cubran toda la división de dicha superficie. Se estudiará cómo se comportan los paneles y el cosido de sus caras con los paneles circundantes, así como su relación topológica dentro de los bordes de la masa general. Se verán técnicas de panelización de superficies de masas con componentes adaptativos basados en patrón, anidados planos y curvos de recubrimiento de diferentes mallas espaciales, así como el cosido de bordes y como se comportan en su anidación y borrado y sustitución individual de paneles.

2) ¿Qué herramientas de análisis, gobierno, gestión y control disponen los modeladores BIM y los sistemas algorítmicos y como se utilizan para la exploración, el análisis, la inserción y obtención de datos relacionados con las formas generadas? ¿Qué metodologías instrumentales pueden incorporarse para la obtención de listados de informes de parámetros y cálculos (longitudes,

perímetros, áreas, volúmenes, ángulos, etc.) en familias de componentes de masa de elementos utilizados?

En este apartado los objetivos que se persiguen son examinar, conocer, comprender y utilizar las herramientas de parametrización. Como se introducen y extraen datos de los distintos tipos de variables paramétricas en los elementos modelados, para obtener comportamientos perseguidos en la generación de dichas formas, y/o extraer valores de otros parámetros que aportarán información relevante, en la toma de decisiones.

Se analizarán y estudiarán las herramientas de parametrización de masas y cómo pueden introducirse en las familias de masas conceptuales distintas variables paramétricas para su generación, gobierno, control y gestión. Estas variables serán vitales para la conducción de las formas que pretendan crearse en base al análisis que de sus datos puedan obtenerse, y arrojarán datos importantes de los resultados obtenidos para su optimización.

Se analizará la utilización de tablas de cantidades para la incorporación e introducción de parámetros de informe en dichas tablas para la conducción del diseño y toma de decisiones.

3) ¿Cuáles son las características, prestaciones, objetivos y estrategias que se persiguen en cada una de las dos vías alternativas de modelado? ¿Qué diferencias existen entre ambas y es posible establecer el diálogo e intercambio de información entre ambas vías de modelado?

Se pretenden poner de manifiesto los diferentes objetivos y estrategias que se persiguen en cada una de las vías de modelado, la manera de proceder y las estrategias de modelado empleadas en cada planteamiento el paramétrico y el algorítmico.

También se persigue la comprobación de la interoperabilidad, intercomunicación e intercambio de datos y cómo puede producirse este entre los dos softwares de modelado BIM y VPL, y entre estos y otros softwares diversos. Ver qué relaciones de diálogo pueden establecerse entre ambos, y qué estrategias existen para la coordinación entre los dos tipos de modelado. Comprobar si es posible la incorporación de información modelada de forma algorítmica dentro de un sistema BIM y viceversa.

4) ¿Cómo se produce la integración y definición progresiva de las masas conceptuales generadas en su entorno de trabajo, dentro de la definición del modelo virtual BIM de un proyecto arquitectónico, qué requisitos tienen que darse en esa integración dentro del software de modelado BIM?

Los objetivos que se persiguen, son el descubrimiento de las diversas fases marcadas por la gradual y progresiva definición de las masas conceptuales desde su creación de inicio en el entorno de masas, hasta su conversión en elementos de modelado detallado dentro del entorno de trabajo del proyecto. Para ello se procederá a documentar todo el flujo de trabajo a seguir en la definición de gradual de las formas y su incorporación al entorno de trabajo de proyecto. Se verán las fases de definición del flujo de trabajo en un ejemplo de una arquitectura y se dispondrá por fases todo el flujo de trabajo completo.

5) ¿Es posible la optimización de formas libres según ratios de explotación y la introducción de diferentes criterios de parametrización de cara a conseguir eficiencia en mejora de prestaciones? ¿Qué criterios pueden introducirse para la optimización de prestaciones mediante el modelado conceptual.

6) ¿Qué ventajas y potencialidades tienen ambos sistemas de modelado y qué limitaciones comporta su uso? ¿Pueden trabajar de forma complementaria aprovechando las potencialidades de los dos sistemas a la hora de afrontar la creación, exploración y construcción del diseño?

Se persigue la comprobación de la mejor y más eficaz forma de trabajo, aprovechándose de las dos vías alternativas disponibles para la realización y el cumplimiento de objetivos marcados. Para ello se estudiará el comportamiento de un mismo edificio a modelar, (la torre Swiss Re) en ambos softwares de modelado, contrastando el trabajo de modelado en cada uno por separado y luego el trabajo conjunto para ver el resultado.

Las respuestas obtenidas deberán arrojar luz sobre estas cuestiones de tal forma que todo tipo de profesionales pueda aprovecharlas para mejorar los flujos de trabajo en los que participen. En este nuevo contexto, donde la colaboración pluridisciplinar es de una gran importancia, y donde se precisan de expertos en todo tipo de nuevas metodologías, se abren oportunidades para aquellos que sepan aportar valor en áreas hasta ahora muy poco exploradas.

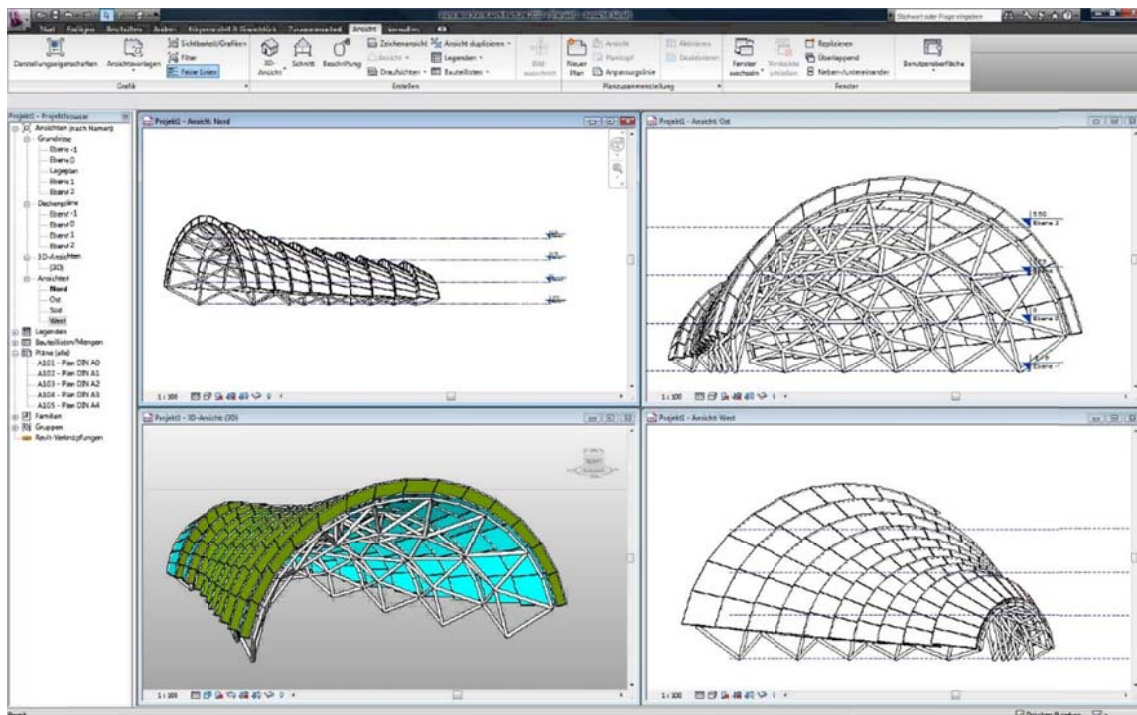


Figura: 3.1. En la figura se muestra un modelo desarrollado con una herramienta de modelado algorítmico (Generative Components) insertado en un modelo BIM de Revit para ser puesto en relación con el resto de elementos arquitectónicos. ¿Hasta qué punto se ha podido incluir información del modelo? ¿Sólo se ha incluido información geométrica o también de otro tipo de características? ¿El sistema BIM receptor será capaz de listar sus partes y de exportar su estructura para su cálculo o la inserción será un elemento extraño dentro del sistema? La respuesta a estas preguntas es lo que nunca se publica. Fuente: <<https://bimboombam.wordpress.com/tag/generative-components/>>. Acceso en: 10 nov. 2014.

Se abordará la manera de poder aplicar metodologías BIM en el ámbito de la creación del modelado conceptual de formas libres, para definir completamente y formalizar todo el proceso de creación del proyecto arquitectónico, incluida la gestión de cada uno de los elementos que lo integran.

No se pretende teorizar sobre la creación apriorística de la forma, sino buscar cuales son los mecanismos generativos, la manera de utilizarlos en el proceso de definición, análisis y desarrollo del proyecto arquitectónico, ¿qué herramientas y qué metodologías se tienen al alcance o se disponen?, ¿cuáles son sus limitaciones?, ¿con qué instrumentos de análisis se cuenta para su estudio, exploración y optimización de cara a obtener, generar, manipular y gestionar? En resumen modelar, formas libres de geometrías complejas de difícil representación integradas en la definición del proyecto.

Se intentarán establecer unas bases metodológicas, y procedimientos claros y estructurados, que abarquen todas las fases de su definición gradual, optimización, medición y gestión de la información, para ser incorporadas dentro del proceso de desarrollo siempre complejo, del diseño del proyecto arquitectónico. La definición abarcará todos los elementos del conjunto, ya que una de las principales características del BIM, es el estudio de las relaciones y articulaciones entre las partes y el conjunto, o el todo, tratándolas como algo más que la mera adición de las mismas.

Se ha empezado por el estudio de las herramientas de modelado de formas libres que disponen los softwares sobre entornos BIM dentro del modelado paramétrico, haciendo hincapié sobre todo en los sistemas de generación o creación de formas (extrusión, fundido, revolución, barrido y fundido de barrido). Estas herramientas de trabajo especializadas en el modelado libre son accesibles dentro de entornos de trabajo específicos y diferenciados, con herramientas diferentes y prestaciones distintas al del modelado convencional con elementos referidos a objetos como muros, suelos, escaleras, techos, etc.

El software de modelado establece dos situaciones o estrategias de modelado diferentes que se interrelacionan y pueden convivir juntas, pero que se crean en origen en entornos de trabajo diferentes. Por un lado el modelado detallado o de objetos que se realiza con la incorporación de elementos constructivos convencionales al uso (muros, suelos, techos, escaleras, cubiertas, etc.) y variables paramétricas predefinidas por el sistema de software de forma automática. Por otro el modelado conceptual o de masas realizado con masas que de manera abstracta serían objetos o componentes (asimilables a bloques) fácilmente moldeables o deformables por el usuario con una libertad de generación, modificación y edición mucho mayor que los anteriores y con la particularidad de que una vez definidos sus límites o contornos exteriores, cuentan con la opción de ser convertibles en elementos de detallados es decir en elementos constructivos (muros, suelos, techos y cubiertas). El inconveniente radica en que es el propio usuario el encargado de que una vez modelado el componente, introduzca de forma manual, todas las variables de su parametrización para su posterior gobierno, gestión y control, ya que debido al mayor grado de libertad en su creación, no son gestionadas por el sistema de forma automática.

Con posterioridad a la generación de masas por los cinco sistemas de antes mencionados se ha intentado proceder al rastreo de herramientas de manipulación, modificación, edición, y análisis

dimensional de las formas ya generadas por los sistemas antes mencionados y los elementos que las integran como puntos, rectas, planos y vértices, aristas y caras.

Siguiendo el orden lógico de definición gradual de los elementos de masas una vez producido el modelado general del componente que puede estar conformado a su vez por más de un objeto, con las técnicas anteriores, se procedió al estudio de las herramientas disponibles de parametrización con la definición e introducción de variables paramétricas de los componentes constitutivos del objeto general. En esta parametrización cabe la introducción de fórmulas matemáticas que operen con funciones dependientes de los propios parámetros introducidos, así como parámetros condicionales. También es posible la introducción de parámetros con el único propósito de obtener información relevante del elemento o elementos que interesen (parámetros de información) como cálculo de longitudes, ángulos, áreas, volúmenes, etc.

Otro de los puntos abordados una vez vistos los anteriores ha sido el estudio de los VPL lenguajes de programación visual, utilizados en los editores gráficos de algoritmos paramétricos, que abren una nueva vía de modelado (modelado algorítmico). Con los editores gráficos de algoritmos (programación visual) y su conexión al software de modelado y otro tipo de softwares (hojas de cálculo, base de datos, software de cálculo de estructuras, energéticos, etc.) es posible el intercambio de información, pudiendo extraer de ellos tanto la geometría como otro tipo de datos que puedan ser de utilidad para incorporarlos a dichos softwares y efectuar simulaciones, comprobaciones, tanteos, etc. etc. de todo tipo de cara a la toma de decisiones, optimización y eficacia de resultados. Este comportamiento en el intercambio de información es por tanto bidireccional y pluridisciplinar, arrojando datos importantes que serán de gran ayuda en la toma de decisiones en el proceso de generación y control de formas. Este proceso de tecnificación interdisciplinar de la arquitectura abre nuevas vías de exploración y colaboración estrecha en el campo del modelado

Fundamentalmente, se centrará la investigación en el uso Revit, en el campo del BIM, y Dynamo, en el del modelado generativo, por ser las de mayor implantación dentro del entorno de aplicaciones pertenecientes a entornos de trabajo BIM. Se estudiarán sus posibilidades y limitaciones, en cuanto al modelado conceptual paramétrico de formas libres. Se estudiarán también las posibilidades de comunicación e intercambio bidireccional de datos entre la base de

datos de Revit y su relación con Dynamo, por ser este un potente editor gráfico de algoritmos paramétrico, que utiliza la programación visual y está integrado en él, sirviendo para aumentar todavía más sus capacidades de generación de formas de Revit.

Una vez concluido el desarrollo anterior, se ha procedido al estudio y aplicación práctica de parte de lo expuesto en el cuerpo de la tesis, para ver cómo pueden aplicarse las técnicas y herramientas instrumentales proporcionadas por estas nuevas metodologías BIM, al modelado completo de información de un edificio concreto real y singular como es la torre Swiss Re en Londres de Norman Foster (terminada en año 2004). Se ha desarrollado este edificio desde los primeros estadios iniciales partiendo de su modelado conceptual o de masas, para gradualmente ir definiendo y formalizando, aplicando las técnicas y metodologías definidas, esbozando posibles vías de desarrollo de su modelado, para cubrir todas las fases de definición hasta su terminación. De esta manera puede vislumbrarse toda la complejidad del proceso de creación y evolución que incluye la documentación necesaria para su construcción y gestión de toda la información del modelo BIM. Se verán las posibilidades que conlleva su utilización y se analizarán los resultados obtenidos desglosando sus ventajas e inconvenientes en su desarrollo de definición de proyecto para completar el modelado de información del edificio.

Por último, se expondrán a modo de resumen, las conclusiones del trabajo desarrollado en la tesis y se esbozarán los caminos de las posibles vías o líneas de investigación abiertas con el presente estudio para futuros desarrollos posibles.

3.4. HIPOTESIS DE TRABAJO E HILO CONDUCTOR DEL DESARROLLO DE LA TESIS

La hipótesis inicial de partida que se pretende verificar es que el modelado de masas sobre entornos BIM y la utilización de herramientas y metodologías proporcionadas y soportadas por estos softwares, es la forma de trabajo que reporta más beneficios a la hora de acometer el proceso de diseño arquitectónico ya que mejora sustancialmente, el análisis, exploración, comunicación visual, tanteos alternativos y simulaciones de todo tipo, aportando luz en la toma de decisiones y optimizando el propio proceso de diseño, poniendo en cuestión los métodos y “tempos” tradicionalmente utilizados en el sistema de proyectación al uso (sistemas CAD).

La hipótesis de trabajo también sostiene, que es posible partir de un modelado volumétrico de masas conceptuales para ir procediendo desde ahí y aplicando un conjunto de procedimientos y técnicas instrumentales, llegar dentro del flujo de trabajo normal de elaboración del proyecto sin discontinuidades, saltos ni interrupciones, a su gradual concreción, estudio, definición, ajuste, optimización de su forma y cómputos de su medición, hasta el nivel de detalle requerido para su ejecución práctica real, y gestión de la información en todo el proceso proyectual y vida útil del edificio. Y todo ello con un ahorro significativo de tiempo en comparación con los sistemas tradicionales.

Se postula que este procedimiento es el más indicado no sólo para la generación de formas libres, sino por extensión para la generación y creación de la forma global de todo el modelo, y su gradual definición e incorporación al proyecto, ya que permite un grado mucho mayor de libertad en el proceso de modelado de objetos que el que ofrecen los objetos preconfigurados del modelado detallado (muros, suelos, techos, etc.). Partiendo de la definición o modelado de este tipo de formas libres, generalmente de geometría compleja y de difícil representación gráfica, se pueden obtener también sobre sus superficies delimitadoras exteriores, mallados en retícula con un patrón de superficie variable al que es posible incorporar un sistema de panelado superficial racionalizando el tamaño de sus celdillas y mejorando en el grado de definición, análisis de dimensiones del panel y cómputo total de todos sus elementos. Este tipo de modelado y sus metodologías, permiten también la individualización y creación de subelementos dentro de la definición general, cosa que no permite el modelado explícito mediante familias de sistema preconfiguradas.

Otra de las principales ventajas o características al trabajar con estas células paramétricas es la de automatizar procesos de trabajo o diseño. Se puede explorar geometrías complejas con procesos sencillos de definición de la unidad de la célula espacial insertada en la definición espacial general de la malla justificada en función de unos parámetros que definamos eliminando la arbitrariedad del diseño. Parametrizar una forma es obtener la formulación del proceso generativo, el gobierno control y gestión de su forma.

Con la reciente aparición de nuevas técnicas de modelado, se incorporan los lenguajes de programación visual VPL (Visual Programming Language) en editores gráficos de algoritmos

paramétricos, que permiten el enlace con el software de modelado. Surge así otra vía alternativa al modelado paramétrico BIM y es el modelado algorítmico, que también puede trabajar sobre entornos BIM. Esta situación cambia de manera drástica la forma de abordar y acometer esa generación de formas libres y su incorporación al modelo de información BIM, y también permite la convivencia y el diálogo bidireccional entre ambas vías alternativas y softwares de modelado. Todo ello conlleva la modificación y alteración de forma sustancial la hipótesis inicial de trabajo que sufre un vuelco importante.

Ya no será necesario recurrir a las masas como paso previo para la generación de formas libres, que más adelante con su manipulación progresiva y parametrización lleguen a ser o devenguen en su conversión a elementos de detalle del modelo BIM como muros, techos, suelos, etc. Ahora es posible con el modelado algorítmico y su conexión con el software de modelado paramétrico BIM, la conversión directa, desde la propia definición formal utilizando la programación visual del editor gráfico de algoritmos, en elementos de detalle que aparezcan importados en el propio software de modelado BIM, siendo reconocidos por este, como elementos nativos de dicho software, es decir con la posibilidad de edición individualizada en su propio software. Por tanto es factible hacer la conversión directamente, con muchos más recursos de modelado, más precisos, más potentes y con la posibilidad de generar herramientas propias y personalizadas de modelado que permitan automatizar tareas. También se optimiza el propio proceso de diseño ya que permite otra vía de modelado.

La hipótesis inicial sufre una modificación sustantiva y es que en el escenario actual y con los avances que introduce la vía algorítmica de modelado, el paso previo de las masas para llegar al modelado detallado, puede sustituirse como alternativa por el modelado algorítmico. Este tipo de modelado establece un sistema algorítmico de búsqueda de soluciones de diseño, soportadas por el empleo de lenguajes de programación visual y textual que supone una vía alternativa de modelado más compleja, pero mucho más potente, más precisa, más eficiente, con muchos más recursos y sobre todo mucho más rápida. Con la posibilidad de convertir los elementos generados por vía algorítmica, directamente en elementos de modelado detallado sin pasar por el recurso de las masas conceptuales.

La facultad de tener guionizado secuencialmente el propio proceso de diseño con la introducción de algoritmos generativos, introduce la posibilidad de poder cambiar parámetros y algoritmos que reobran sobre el modelado de forma inmediata y automática posibilitando un sistema de búsqueda de soluciones y la realización de muchos procesos al mismo. Con estas herramientas de modelado algorítmico se incorporan nuevas estrategias de creación de formas mediante la incorporación de lenguajes de programación que al comunicarse con el software de modelado en un lenguaje que entiende, incorpora la posibilidad de generar herramientas de diseño personalizadas que redundan en una mayor eficacia y disminución de tiempo en las tareas de modelado. El modelado algorítmico viene a suplementar así y dar apoyo al modelado gráfico.

4. DESARROLLO: GENERACIÓN Y CONTROL DE FORMAS LIBRES CON BIM

4.1. QUÉ ES REVIT, ANTECEDENTES, CARACTERÍSTICAS Y PARTICULARIDADES

Revit surge cuando Leonid Raiz e Irwin Jungreis dos de los principales desarrolladores del software “Pro-Engineer” para el diseño paramétrico de objetos mecánicos de la compañía Parametric Technology Corporation, deciden crear una empresa en Newton, Massachusetts en la costa nordeste de los EEUU, el 31 de octubre de 1997 llamada Charles River Software. La idea compartida por ambos, era la de desarrollar un software paramétrico para la arquitectura, como el que ya existía para la mecánica. Tenían la intención de acercar el poder del modelado paramétrico a la industria de la edificación. La empresa donde trabajaban Parametric Technology Corporation había tratado comercializar con anterioridad y poco éxito, su recién adquirido software “Reflex” (1997), para el sector de la construcción. REFLEX era un software de modelado 3D, orientado al modelado de objetos y al sistema de gestión, que permitía a los diseñadores utilizar objetos, creados y almacenados en bases de datos de una biblioteca, diseñar, visualizar, administrar y operar los distintos tipos de proyectos. En esos momentos no existía un software completamente paramétrico para la arquitectura.

Con el financiamiento de capital de riesgo Atlas Venture y North Bridge Venture Partners, Raiz y Jungreis contratan a varios desarrolladores de software y arquitectos comenzando a desarrollar Revit en C++ en la plataforma Microsoft Windows. El cometido era resolver lo que ellos pensaban que era la ausencia de una plataforma de modelado 100% paramétrico para la arquitectura. En 1999 contrataron a Dave Lemont como CEO y reclutaron a los miembros del consejo Jon Hirschtick, fundador de SolidWorks y Arol Wolford, fundador del grupo CMD. Después de incorporar esas personas a su empresa, cambian el nombre del proyecto llamándolo “Revise Instantly” (Revisión o modificación Instantánea), más conocido hoy en día por su nombre corto de “Revit”. La empresa cambia así su nombre pasándose a llamar “Revit Technology Corporation” en enero del 2000.

La versión de Revit 1.0 es lanzada el 5 de abril del 2000, un producto (en fase de desarrollo), que permitía crear muros con inserción de puertas y ventanas, apenas podía hacer algo más. Aun así,

cabe destacar que fue uno de los primeros intentos de crear una herramienta paramétrica de software desde el sector de la arquitectura para el sector de la arquitectura. El software progresó rápidamente, con las versiones 2.0, 3.0, 3.1, 4.0 y 4.1 lanzadas en Agosto de 2000; Octubre de 2000; Febrero de 2001; Junio de 2001; Noviembre de 2001; y Enero de 2002, respectivamente.



Figura 4.1. Una de las primeras imágenes de la aparición de Revit versión 1.0 en funcionamiento. Fuente: <<http://revit.in>>. Acceso en: abril de 2013.

En el año 2002 la empresa de CAD Autodesk, desarrolladora de AutoCAD, compra la “Revit Technology Corporation” con sede en Massachusetts por 133 millones de dólares. Dicha compra permite más investigación, y el desarrollo y mejora del software. Autodesk ha lanzado varias versiones de Revit desde 2004. En 2005 Revit Structure se introdujo, a continuación, en 2006 Revit MEP. Después del lanzamiento del año 2006 “Revit Building” fue rebautizado como Revit Architecture. Desde Revit 2013 las diferentes disciplinas (arquitectura, estructura e instalaciones) se han aglutinado en un solo producto, llamado simplemente “Revit”. Con su plataforma Revit, Autodesk se erige como una de las empresas más importantes en el mercado BIM, junto con

Nemetschek (creadores de ArchiCAD, Allplan y Vectorworks) y Tecnologías de Gehry con CATIA basada en Digital Project.

El gran éxito de este programa fue la idea de su concepción, ya que a medida que se trabaja gráficamente sobre el edificio, el modelo de construcción paramétrico capta información sobre el desarrollo del proyecto de construcción de otros dibujos y documentación. Como resultado, la información adicional se crea simultáneamente y permite a los profesionales de la construcción cuantificar el alcance de los contenidos de un proyecto así como sus materiales.

El programa usa un único archivo que contiene toda la información del proyecto, incluidas las vistas, láminas u hojas de presentación y las bibliotecas de objetos paramétricos. De todas las aplicaciones BIM, es la que está más orientada hacia la tecnología de modelos de información, disfrutando de una estructura interna muy coherente en la que cualquier elemento del proyecto es tratado de manera similar. Cuenta con herramientas que permiten establecer determinadas relaciones asociativas entre objetos, sean del tipo que sean. Permite a los usuarios modelar un edificio, su estructura, las instalaciones y sus componentes en 3D, así como anotar el modelo con elementos de dibujo en 2D, y el acceso de información de edificios de la base de datos del modelo de construcción. Revit es 4D BIM, con herramientas para planificar y realizar un seguimiento de las diversas etapas del ciclo de vida del edificio, desde el modelado conceptual o de masas hasta la construcción y demolición posterior.

Desde el principio, este software mantuvo la intención de permitir que los arquitectos y otros profesionales de la construcción pudieran diseñar y documentar un edificio mediante la creación de un modelo tridimensional paramétrico. Incluía tanto la geometría como la información sobre el diseño y la construcción no geométrica, lo que más tarde se conocería como Building Information Modeling o BIM. Dos diferencias clave fueron que sus componentes paramétricos (bloques según la terminología CAD) fueran creados usando un "editor gráfico de la familias" en lugar de un lenguaje de programación. Y que todas las relaciones entre los componentes, vistas y anotaciones fueran capturados por el modelo de modo que un cambio en cualquier elemento se propagaría automáticamente sin intervención del usuario, para mantener la consistencia del modelo. Por ejemplo, mover una pared actualizaría las paredes vecinas, suelos y techos, corregiría la colocación y los valores de las dimensiones y notas, ajustaría las áreas de suelo calculadas en tablas, volvería

a dibujar las vistas de sección, etc., por lo que el modelo se mantendría conectado y toda la documentación estaría coordinada. El concepto de asociatividad bidireccional entre los componentes, vistas y anotaciones es una característica distintiva de este software. La facilidad de hacer cambios inspiró el nombre de Revit, una contracción de “Revise Instantly” (modificación o revisión instantánea).

En el corazón de Revit como pieza clave, se encuentra incorporado un motor de cambios paramétrico, que detecta en su base de datos las variaciones de objetos del modelo, que puedan realizarse en cualquiera de sus vistas. Al tiempo que propaga dichos cambios de forma automática a todas las vistas, siendo modificadas y actualizadas en tiempo real, garantizando en todo momento la coherencia formal entre el modelo y todas las vistas obtenidas de él, que son “presentaciones” (gráficas y no gráficas) de información del modelo de la edificación. Es lo que se ha denominado y se conoce como asociatividad bidireccional. El término paramétrico fue adoptado para reflejar el hecho de que los cambios en los parámetros trascienden a todo el modelo de construcción y su documentación asociada, no sólo los componentes individuales. Con el lanzamiento de la versión Revit 2015 Autodesk abandona el soporte para Windows de 32 bits, pasando al de 64 bits.

4.2. ESTRUCTURA INTERNA, ENTORNOS DE TRABAJO, CARACTERÍSTICAS

4.2.1. MODELADO DETALLADO, MODELADO CONCEPTUAL

El ambiente de trabajo de este software permite a los usuarios por un lado generar y manipular edificios 3D enteros o conjuntos de edificios (en el entorno del proyecto) con herramientas de modelado detallado, que utilizan elementos de construcción preconfigurados por el sistema (muros, suelos, techos, escaleras, cubiertas, etc.). Y por otro objetos y formas 3D individuales muy variadas, a modo de bloques (en el entorno del editor de familias de componentes y de masas) que se incorporarán al entorno de proyecto mediante su creación primero y posterior importación.

Las masas cuentan con un tratamiento muy diferenciado que posibilita la generación, manipulación y edición especial de formas abstractas que permiten un modelado propio al que se

ha denominado conceptual. Este tipo de modelado especial alternativo, posibilita de forma muy rápida, fácil y potente la obtención de formas libres sin las limitaciones y restricciones que presenta el modelado detallado con elementos preconfigurados. Estas formas libres de masas pueden incorporarse al entorno del proyecto y proseguir con su definición gradual para integrarse en el modelo 3D con el resto de elementos de modelado detallado, y formar parte de la propia definición del modelo. Además cuentan con la particularidad de poder convertirse y obtener de los contornos de sus formas si se requiere, elementos de modelado detallado como muros, cubiertas, suelos, techos, etc, para completar la definición de formas.

Como ya se ha dicho el software, dispone de tres entornos de trabajo bien diferenciados, con distinta aunque muy parecida interfaz gráfica, funcionalidades específicas diferentes dentro del flujo de trabajo y del grado de definición del modelo, y finalidades proyectuales distintas. Consiguientemente también están dotados de herramientas específicas diferentes y adecuadas a esas funcionalidades específicas y prestaciones dentro de cada uno de ellos.

Estos entornos de trabajo aunque pueden utilizarse de forma independiente y autónoma, no funcionan como compartimentos estancos, sino que están interrelacionados y solapados entre ellos para favorecer su relación de forma fluida y flexible. Tienen como nexo común y como finalidad última cubrir todo el proceso del diseño del proyecto o modelo 3D, de forma continua y sin saltos o rupturas en todas sus fases (desde los bocetos iniciales hasta la terminación completa) y en todos sus detalles y componentes (no sólo gráficos, sino descriptivos, analíticos y otros relevantes para su construcción, control y gestión).

Se accede a cada uno de ellos, desde la pantalla de inicio, sin necesidad de cerrar uno para entrar en otro y poder ver así el comportamiento de los elementos que se crean y se incorporan con los ya existentes. También existen conexiones entre los tres que permiten el paso de uno a otros a través de elementos in situ, o de su carga y manipulación dentro del proyecto. Cada entorno de trabajo, sugiere y posibilita una fase de trabajo diferente y complementaria en el flujo de trabajo y en su grado de definición diferente en la concreción del modelo. Los tres entornos de trabajo son: de proyecto, de familias de componentes y de diseño conceptual o de masas.

Es importante conocer en detalle el funcionamiento, las características, prestaciones y potencialidades de cada uno de ellos, así como las conexiones y relaciones existentes entre los mismos. Con ello se conseguirá utilizarlos de la manera correcta y más eficaz, en orden a sacar el mayor partido posible de las técnicas de modelado y aprovechar la rapidez de ejecución proporcionada, en el desarrollo del flujo de trabajo y en el grado de definición del modelo de construcción. En el desarrollo de esta tesis se estudiarán y expondrán como se producen estas conexiones y se profundizará en el establecimiento de técnicas instrumentales para la generación, manipulación, gestión e incorporación de las formas libres al proceso gradual de definición del proyecto arquitectónico con el modelado de masas.

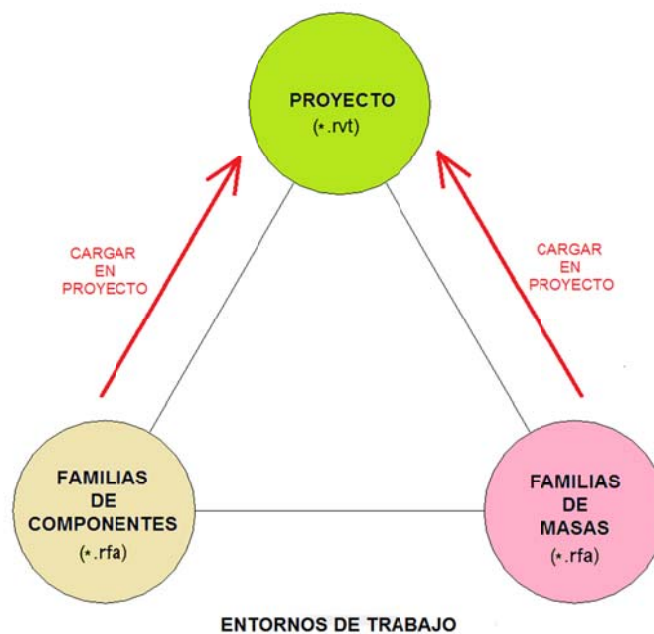


Figura 4.2. Representación esquemática de los tres entornos de trabajo existentes dentro del software. El rango jerárquico de estos entornos lo encabeza el entorno de Proyecto ya que en él confluyen lo que se crea en los otros dos. Elaboración propia.

A continuación se describen de forma breve cada uno de los tres entornos de trabajo, sus particularidades y características más relevantes.

4.2.2. ENTORNO DE PROYECTO

Es el entorno de trabajo por excelencia, donde se crea con elementos de detalle el proyecto o modelo 3D concebido como una totalidad. En él confluyen y van a desembocar el resto de elementos generados en los otros dos entornos (familias de componentes y familias de masas), para completar como parte integrante del mismo, la definición de dicho modelo. Se configura como una única base de datos en la que se introduce y extrae toda la información (gráfica y no gráfica), datos o variables en general, relacionada con los elementos del modelo de construcción con los que se obtendrán todas las vistas, tablas de cantidades, presentaciones o modelados de la información.

Desde él se generan todos los elementos necesarios de arquitectura del proyecto ubicados por niveles, que se asocian a planos horizontales de planta a distintas alturas. Este entorno tiene conexiones sin necesidad de cerrarlo con los otros dos (familias de componentes y familias de masas) mediante los comandos existentes de familias y masas in situ. Se utilizan para su definición y generación, elementos constructivos preconfigurados de modelado detallado tales como muros, suelos, techos, ventanas, puertas, etc. Es el único de los tres entornos que dispone de las herramientas completas de análisis y tablas de planificación de cantidades y en él se integran y confluyen como destino final, los trabajos que se realicen en los otros dos, para completar el proyecto y/o dar continuidad al desarrollo de sus fases, en la definición gradual evolutiva de la definición del mismo.

El proyecto se guarda dentro de este entorno con un nombre y una extensión (*.rvt), y puede contener familias cargadas de los otros dos entornos de trabajo (componentes y masas de extensión *.rfa) formando parte del mismo.

4.2.3. ENTORNO DE FAMILIAS DE COMPONENTES

Es el entorno donde se modelan, crean y editan los componentes estándar o familias cargables personalizadas (puertas, ventanas, muebles, símbolos de anotación, carátulas, etc.), que se usan para su integración en el modelo de construcción sin necesidad del empleo de ningún lenguaje de

programación. Es un modo de edición gráfica, con un proceso de trabajo que requiere primero del modelado particularizado de los elementos que integrarán el componente de que se trate. Se establecerán por tanto una serie de relaciones geométricas, medidas, elementos de referencia y utilización de restricciones impuestas, para definir con exactitud dicha geometría. Luego se incorporarán y se definirán también todas las variables paramétricas que se necesiten para su definición, gobierno, gestión y control.

A diferencia del entorno conceptual o de masas, las herramientas básicas de creación de formas (sólidas y vacías) son explícitas e incluyen los cinco mecanismos de generación que son: extrusión, fundido, revolución, barrido y fundido de barrido. La familia que se crea específicamente dentro de este entorno, es necesario primero gravarla con un nombre y una extensión (*.rfa), para luego poder cargarla y utilizarla dentro del proyecto activo.

4.2.4. ENTORNO DE FAMILIAS DE MASAS CONCEPTUALES

El entorno de diseño conceptual CDE (Conceptual Design Environment) ha sido ideado para plasmar y desarrollar las primeras ideas embrionarias o bocetos iniciales 3D del proceso de diseño del proyecto con un alto grado de indefinición. En él se crean familias de masas paramétricas que van manipulándose progresivamente dentro de un flujo de trabajo continuo que se irá concretando paulatina y gradualmente hasta su definición más detallada, y su incorporación al entorno de trabajo de proyecto donde se integrará en el modelado de información de la construcción (BIM). Las características fundamentales de este entorno de trabajo son altas prestaciones de flexibilidad, fluidez, versatilidad y rapidez en cuanto a la creación, modificación, manipulación y edición directa de formas y superficies. Todo ello con el mínimo empleo de comandos (utilización de herramientas implícitas: extrusión, fundido, revolución, barrido, fundido de barrido y modelado de superficies). Estas herramientas, incluyen la creación de formas llenas o sólidas y vacías, que interactúan entre las dos para conformar el modelo, gestionando entre ellas las operaciones booleanas de adición y sustracción. Es un editor de familias paramétrico (de masas) con herramientas y técnicas de modelado avanzado, para crear familias de masas y superficies.

Otro aspecto fundamental a medida que se avanza en su definición gradual, radica como en las familias de componentes, en la incorporación de parámetros de todo tipo que incluso con pueden contener operaciones aritméticas, órdenes condicionales y fórmulas que son función de variables ya definidas para su gobierno gestión y control.

Operaciones Aritméticas

Adición	+	Logaritmo	Log	Arco seno	Asin
Substracción	-	Raiz Cuadrada	sqrt: sqrt(16)	Arcos seno	Acos
Multiplicación	*	Seno	Sin	Arco tangente	Atan
División	/	Coseno	Cos	e elevado a potencia x	Exp
Exponenciación	^: x^y	Tangente	Tan	Valor absoluto	Abs

Órdenes condicionales

IF (<condición>, <resultado verdadero>, <resultado falso>)
IF: =IF (Length < 3000mm, 200mm, 300mm)
IF con parámetro de texto: =IF (Length > 35, "String1", "String2")
IF con condición AND: =IF (AND (x = 1 , y = 2), 8 , 3)
IF con condición OR: =IF (OR (A = 1 , B = 3) , 8 , 3)
Condición con otra condición: =IF (Length < 35 , 2.6 , IF (Length < 45 , 3 , IF (Length < 55 , 5 , 8)))
IF con Yes/No en la condición: =Length > 40 (Marcar "Checkbox" en caso positivo).
Para marcar un resultado falso en la fórmula anterior utilizar : =NOT(Lenght>40)

Figura 4.3. Cuadros resumen de las operaciones aritméticas, órdenes condicionales admitidas y su sintaxis en la definición y parametrización de las familias de masas. Elaboración propia.

Estas masas y superficies son susceptibles de racionalizarse con la utilización de mallas espaciales, que siguen los contornos de la superficie. Con estas mallas de división o líneas de rejillas equipotenciales aplicadas en dos direcciones (es posible regular los espaciamentos y direcciones) se forman en sus intersecciones unos puntos que conforman unas celdillas internas de división, siendo factible la aplicación o cosido en ellas de un patrón de superficie y en última instancia rellenarse ese patrón y el resto de los existentes en la trama, con un componente (panel) creado "ex novo" de familia (familia anidada).

Si la familia de masas se crea específicamente dentro de este entorno, es necesario primero gravarla con un nombre y una extensión (*.rfa) para luego poder cargarla y utilizarla dentro del proyecto activo.

4.3. RELACIÓN Y CONEXIONES ENTRE LOS TRES ENTORNOS DE TRABAJO

Las herramientas de modelado detallado (generado con elementos de construcción de familias de sistema) y las de modelado conceptual (generadas con familias de masas) pertenecen a entornos de trabajo distintos e independientes. Dichos entornos a pesar de su independencia pueden relacionarse e integrarse entre ellos, siendo posible convertir las masas a medida que se van definiendo, en elementos de arquitectura (diseño detallado). En otros softwares estos flujos no se relacionan entre sí, teniendo que partir de cero en el diseño detallado, sin que pueda integrarse en él, el modelado conceptual. Revit puede incorporar o aglutinar en su flujo de trabajo ambas estrategias de modelado: el detallado y el conceptual, para obtener la documentación de proyecto, de cada disciplina, soportando todas las fases del diseño, generando la documentación para la construcción. Con esto pueden conseguirse modelados más complejos, más rápidos, más coordinados con el mínimo de errores y con más mejor manejo de la información, potenciando el intercambio de dicha información y la interdisciplinaridad.

Dado que el proyecto en Revit se concibe como un todo, en el que las partes se articulan interrelacionan e interactúan entre ellas dentro de ese todo, alimentando y nutriendo una única base de datos desde la que se obtienen la diferentes vistas o modelados de información, se comprende que toda esa información elaborada para el mismo proyecto, deba confluir necesariamente en el entorno de trabajo por excelencia o entorno de diseño de proyecto, desde donde se almacena, se prepara, se cocina, se analiza, se gestiona y es servida toda la información en vistas modeladas según lo requiera la información a presentar.

CONEXIONES ENTRE ENTORNOS DE TRABAJO DE REVIT

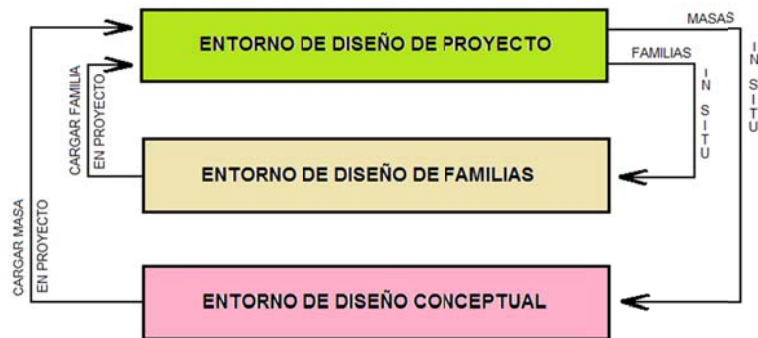


Figura 4.4. Representación esquemática de las relaciones y conexiones establecidas entre los tres entornos de trabajo. Aunque pueden ser autónomos cada uno de los entornos, no funcionan como compartimentos estancos. Permiten establecer relaciones entre ellos para ver el comportamiento que tienen los elementos generados en cada uno de ellos dentro del proyecto. Elaboración propia.

Esta relación entre los tres entornos de trabajo se hace imprescindible y no funciona por compartimentos estancos, sino que permite realizarse y articularse de una forma solapada y en dos direcciones. Una iría de los entornos de familias y masas al entorno de proyecto ya que si se parte de ellos y se crea la familia correspondiente (de componente o de masas), es necesario cargar dicha familia dentro del proyecto activo para que se pueda incorporar al mismo. La otra dirección en la relación iría en sentido contrario desde dentro del propio entorno de proyecto hacia los otros dos (familia y masas) ya que existen conexiones mediante comandos incorporados dentro del proyecto (Familias in situ y Masas in situ) que sirven de nexo entre los entornos para facilitar la creación de familias y masas in situ de una manera directa sin necesidad del cambio a otro entorno. En este segundo caso para crear una Familia in situ lo primero que se nos pediría es establecer la Categoría de familia y luego su Nombre. Y en el caso de crear una Masa in situ desde dentro del entorno de proyecto lo primero que se nos pediría es el Nombre de la masa a crear, y en ambos casos quedarían incorporadas ya al propio proyecto.

Las masas realizadas dentro del entorno de diseño conceptual y cargadas como familias dentro del entorno de proyecto así como las que se realicen dentro del propio proyecto (Masas in situ) son procesadas desde el entorno de proyecto y sus parámetros utilizados en la definición del diseño conceptual se pueden convertir en elementos constructivos de arquitectura. Quedarán integradas

en el entorno de proyecto, desde donde se pueden realizar análisis y tablas de planificación de cantidades. Esta conversión se realiza con el comando Modelo por cara para dar como resultado una cubierta, un sistema de muro cortina, un muro o un suelo.

4.4. OBJETOS DE MODELADO: FAMILIAS

Los diferentes tipos de objetos utilizados en el modelado (muros, suelos, techos, componentes, masas, etc.) internamente se ordenan y se reconocen por pertenecer a categorías diversas que se denominan "familias" en la terminología de Revit. Las familias son el corazón de la estructura organizativa de datos interna (ver referencia Autodesk University AB110-1P). Cada objeto ya se trate de un elemento de modelado detallado (muros, suelos, techos, etc.), un componente de anotación, una vista o cualquier otro componente en Revit pertenece a una familia. Una familia es una definición de un objeto en cuanto a su modelado, topología y comportamiento paramétrico. A partir de cada familia, se pueden obtener diferentes variaciones del mismo objeto variando el valor de sus parámetros, siendo todos ellos de la misma familia. Todos los elementos constitutivos del modelo pertenecerán obligatoriamente a una familia que contendrá objetos que comparten similares características o propiedades comunes y similar representación gráfica que serán compartidos por esa familia.

Las familias pueden contener más de un elemento y según sean estos elementos serán reconocidos individualmente atendiendo a una clasificación intrínseca de los mismos por categorías como por ejemplo muros, suelos, techos, puertas, ventanas, etc. Estas categorías dependiendo del propio elemento de que se trate estarán compuestas a su vez por subcategorías distintas. Por ejemplo en el caso de una ventana dicha categoría estará conformada a su vez por el dintel, el marco, el cristal, la persiana, etc., que serán subcategorías diversas con entidad propia de cara a su modelado y a la visualización de su representación, para que de esa manera puedan ser activadas o desactivadas a modo de capas y puedan ser visualizadas en su conjunto o de forma parcial según se requiera.

Las familias se crean como modelos paramétricos con dimensiones y propiedades. Esto permite modificar un componente dado, cambiando el conjunto de los parámetros predefinidos, tales

como longitud, altura, anchura o número en el caso de una matriz, etc. De esta manera una familia define una geometría que es controlada por parámetros y puede contener dentro de ella uno o más tipos. La familia de muros contiene dentro de ella diferentes tipos (de hormigón, de ladrillo, de estratos diversos, etc.). Son variaciones que tienen por base la modificación de uno o más parámetros dependientes del tipo. La alteración de un parámetro dependiente del tipo produce de forma inmediata la modificación de todos los objetos de ese tipo que estén insertados en el proyecto.

Una característica importante de las familias es que diferencian los parámetros que individualizan de forma particular un elemento o elementos de la familia, llamados parámetros de ejemplar, y otros que son compartidos por todos los elementos de dicha familia, llamados parámetros de tipo. Por ejemplo tratándose de muros, su altura concreta particular o su situación u orientación en una planta determinada dentro de un edificio, sería una variable de ejemplar. Y una variable de tipo sería su composición por estratos, su espesor, o su peso por metro cuadrado.

Cada combinación de parámetros se puede guardar como un tipo, y cada aparición (ejemplar) de un tipo también puede contener otras variaciones. Las familias atendiendo a su gobierno, gestión interna y control de sus parámetros por el programa vienen organizadas o estructuradas en tres formatos diferentes: Familias de sistema, Familias estándar o cargables (incluye a las familias de componentes y de masas) y Familias in situ.

4.4.1. FAMILIAS DE SISTEMA

La característica fundamental más importante es que son gestionadas internamente por el sistema (software) con intervención mínima del usuario de cara a su inserción directa. Utilizan elementos de modelado detallado donde la mayoría de sus parámetros vienen preconfigurados o predefinidos y gobernados rígidamente por el software para que puedan seleccionarse y elegirse dentro de un listado de selectores de tipo, siendo su personalización limitada y con restricciones. En el caso de un muro por ejemplo el sistema lleva la cuenta de su longitud, altura, espesor, composición por estratos, área, descuento de huecos etc. de forma automática y sin intervención del usuario.

Las vistas, cotas, textos etc. pertenecen todas ellas a familias de sistema, al igual que los objetos de modelado detallado tales como muros, pisos, techos y escaleras (cualquier cosa que pudiera ser montada o ensamblada en el sitio de trabajo). Se guardan internamente incrustadas dentro del propio proyecto o plantilla (*.rvt ó *.rte) y no admiten ser almacenadas en directorios externos de bibliotecas creadas al efecto, pero pueden transferirse de un proyecto a otro (Transferir normas de proyecto). Ejemplos: muros, suelos, techos, cubiertas, escaleras, cotas, tablas de cantidades, etc. Como las gobierna de manera automática el sistema, admiten un grado de libertad reducido en su creación o modificación, impuesto por él. Incorporan en su constitución parámetros predefinidos por defecto, dependiendo de la categoría a la que pertenezca la familia, y pueden añadirseles otros creados según los intereses del usuario para el desarrollo del trabajo diario.

En la figura siguiente puede verse un ejemplo de una familia de sistema (categoría de muros) con sus parámetros de ejemplar y sus parámetros de tipo que la definen. Todos esos parámetros vienen predefinidos por defecto por el sistema (software) y son gobernados internamente también por el propio sistema.

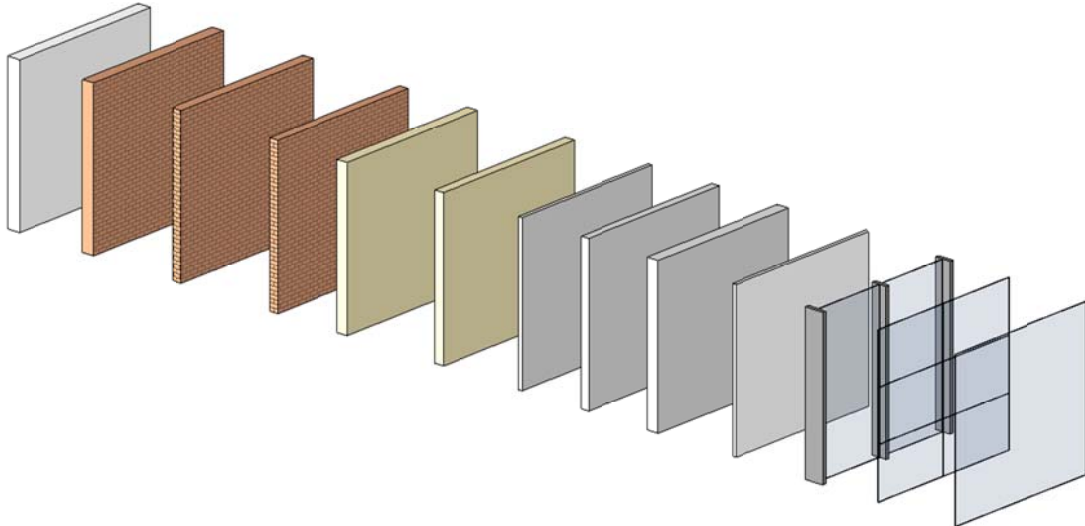


Figura 4.5. Ejemplos de familias de sistema de la categoría muros. Son elementos de diseño detallado que vienen preconfigurados y son gestionados y gobernados internamente por el sistema. Elaboración propia con software BIM.

En la figura siguiente se ve a la izquierda las propiedades de ejemplar y a la derecha las de tipo, de un muro básico.

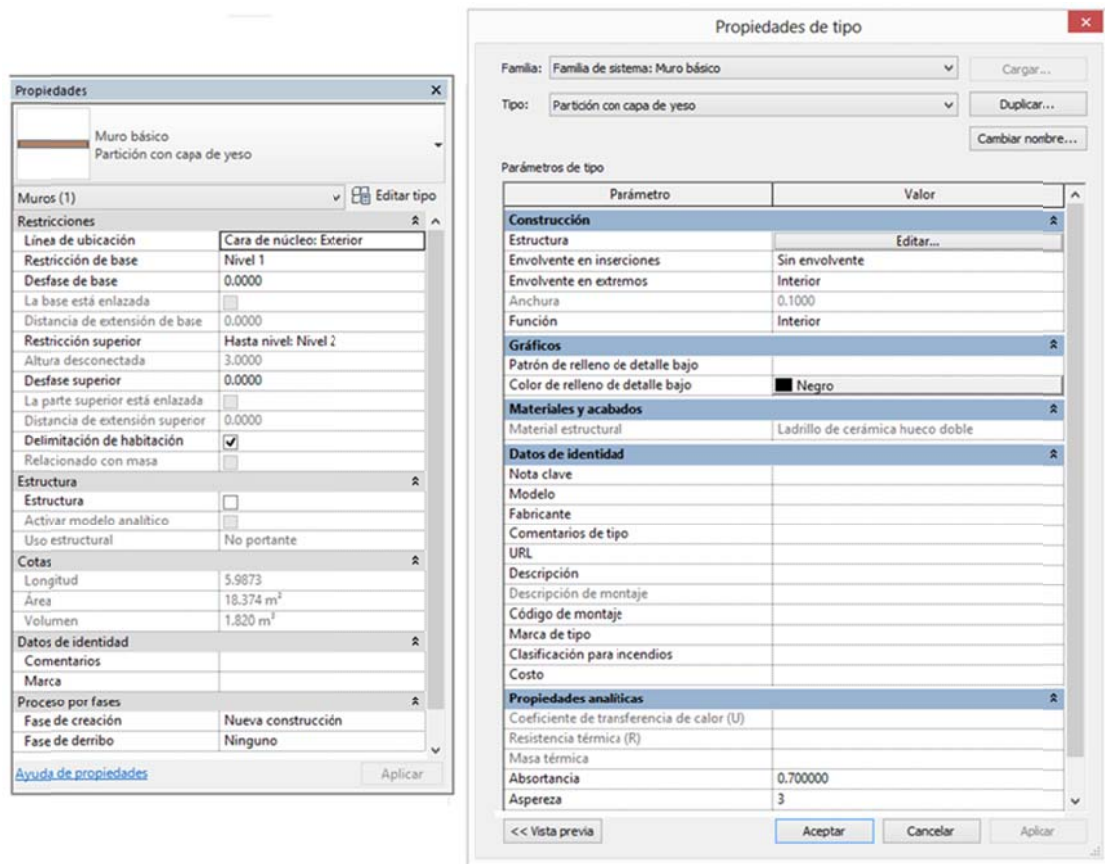


Figura 4.6. Detalle de la información de las propiedades que ofrece una familia de sistema (muro básico) gestionada internamente por el software. A la izquierda pueden verse las propiedades de ejemplar del elemento. A la derecha aparecen las propiedades de tipo. Todos los parámetros que aparecen son controlados internamente por el sistema con una intervención mínima del usuario, y con un margen de maniobra reducido. Elaboración propia con software BIM.

4.4.2. FAMILIAS DE COMPONENTES (ESTÁNDAR O CARGABLES Y DE MASAS)

Son las que se crean y han sido pensadas para un uso repetitivo, continuo y estandarizado, se generan desde cero (también pueden crearse con la ayuda de plantillas preconfiguradas) por el usuario de forma personalizada en un entorno de trabajo específico para la definición completa de todos sus componentes y parámetros necesarios. Se guardan en directorios externos formando bibliotecas especializadas. Al contrario de las anteriores es el propio usuario quien determina y quien introduce los parámetros que deberá tener y como se gestionan y gobiernan esos parámetros (de ejemplar y de tipo) para que la familia responda a los requerimientos que se necesiten en cada una de ellas. Ya no será el sistema o software el que las maneje de forma

automática. En función del elemento que se pretenda modelar y de qué funciones se requieran para dicho elemento así será el grado de su parametrización. En el caso del modelado de un panel por ejemplo, donde se requiera el cómputo de su superficie acristalada y la longitud de sus perfiles será el propio usuario y no el sistema, el que se encargue de la introducción de los parámetros necesarios para realizar dicho cómputo.

Las masas conceptuales o diseño conceptual representan una alternativa al diseño tradicional del proyecto, realizado con elementos de modelado detallado. Las familias de masas conceptuales son desde el punto de vista de la organización y clasificación interna de los elementos que maneja el software fundamentalmente familias de componentes “especiales”. Son distintas del resto de componentes que no ostentan la categoría de masas, ya que son las únicas que tienen la capacidad de poder convertir sus límites exteriores de definición o delimitación de sus formas (con las herramientas dispuestas para ello), en elementos constructivos convencionales del modelado detallado como muros cortina, muros, suelos, y cubiertas. Estas familias se guardan en directorios externos (no incrustados en el proyecto como las de sistema) con la extensión *.rfa. En la mayor parte de los casos se crean dentro de su entorno de trabajo propio aunque pueden también generarse dentro del propio proyecto (masas in situ). También admiten la anidación dentro de ellas de otras familias de masas y es necesaria su parametrización para su gobierno gestión y control.

4.4.3. FAMILIAS IN SITU

Son aquellas que por la singularidad de su formalización e improbable repetición (ocasional o para una sola vez) o reutilización en otro proyecto se crean y se guardan dentro del propio entorno de trabajo del proyecto como un componente que es modelado “In situ” para la ocasión. Al igual que las familias anteriores es el propio usuario el que las modela atendiendo a su singularidad y composición de sus elementos integrantes y se encarga de forma manual de su parametrización para su gobierno, gestión y control.

4.5. MASAS CONCEPTUALES PROPIEDADES, DISEÑO CONCEPTUAL

Muchos de los diseños de arquitectura de hoy en día con geometrías complejas, no resulta posible acometerlos directamente usando un flujo de trabajo convencional con la incorporación de elementos de modelado de detalle (familias de sistema) dentro del entorno de trabajo del proyecto. Esto acontece por las limitaciones y restricciones que estos elementos presentan en cuanto al grado de libertad en la generación, manipulación y edición formal de sus geometrías.

Para poder acometer este tipo de modelados de geometrías complejas es necesario utilizar el modelado conceptual, también llamado modelado de masas. Se puede crear el concepto o masa del edificio (o de parte del mismo) como una forma o conjunto de formas abstractas, que tras un proceso iterativo de manipulación gradual se consiga un grado de definición conveniente, antes de crear realmente basándose en ellas, los elementos de construcción del modelado detallado. Las herramientas para ello, son proporcionadas por el software pudiendo realizarse desde el entorno de trabajo de proyecto que a su vez tiene interconexión con el de masas (masas in situ) o directamente desde el entorno de masas donde posteriormente se importará al entorno del proyecto.

Las masas conceptuales o modelado conceptual incorporan herramientas muy potentes que proporcionan los sistemas BIM, (Building Information Modeling) indicadas para la generación, exploración, manipulación y control de formas libres. Tienen la ventaja frente al modelado de detalle convencional su gran libertad, flexibilidad, versatilidad, y rapidez de creación, junto con la de poder proporcionar desde fases embrionarias muy tempranas de diseño, datos analíticos relevantes de apoyo, para su control, gestión y optimización. Tampoco hay que olvidar su implicación en la filosofía BIM de partida que debe mantenerse a lo largo de todo el desarrollo del flujo de trabajo, para no perder de vista los objetivos que se persiguen en estos sistemas: unicidad e individualización de los elementos, integración de las partes en el todo, continuidad del flujo de trabajo, computabilidad de todos sus elementos, coherencia documental de la información, etc.

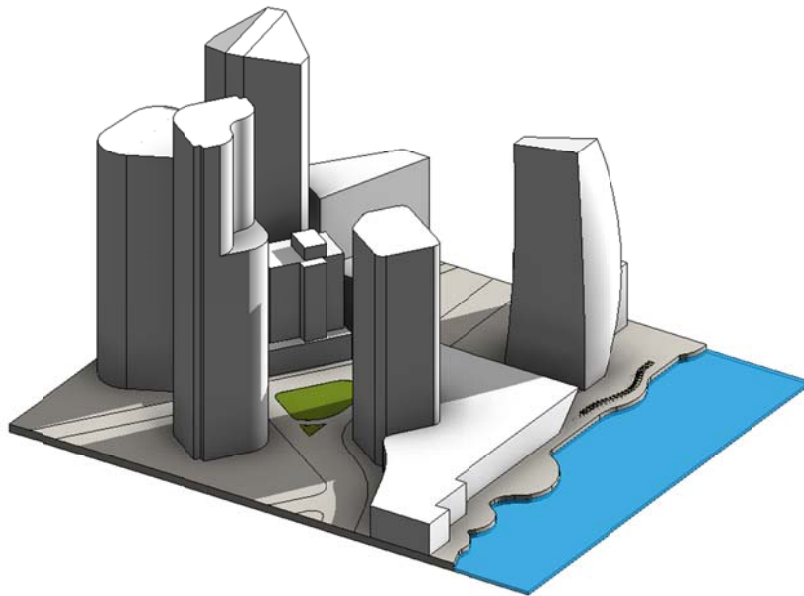


Figura 4.7. Vista de una perspectiva generada con familias de elementos sólidos de masa que simulan un levantamiento volumétrico de edificaciones con distintas formas, de un entorno urbano realizado de forma muy rápida y en el que ya puede verse el impacto del soleamiento en los distintos edificios. También permite la extracción de datos de superficie, volumen, número de plantas, etc. para la posterior toma de decisiones. Fuente: © Revit.

El modelado de masas conceptuales, es otra manera no convencional de acometer el proceso de diseño en toda su complejidad, partiendo de unas herramientas específicas y unas prestaciones propias dentro de ese entorno. Estas herramientas conciben el trabajo de modelado, de manera similar o análoga a como lo haría “un alfarero” con un material fácilmente deformable y maleable que trabajara y moldeara con sus manos interactuando directamente sobre él. En este caso las manos serían “manos electrónicas” que utilizarían el cursor del ratón para manipular y moldear las formas 3D virtuales (en nuestro caso manipulando básicamente las líneas primitivas, origen de su generación o las que forman partes de ella, como sus caras, aristas y vértices) de un modo directo como lo haría el alfarero del ejemplo.

Este entorno de trabajo es el que presenta el grado de libertad más alto de cara a la generación, manipulación, edición y exploración de formas libres, frente al diseño convencional del modelado de detalle (modelado explícito del entorno de proyecto) que genera objetos de construcción directamente como muros, suelos, techos, escaleras, cubiertas, etc. Estos objetos son gobernados rígidamente por el sistema (familias de sistema) del software, que de una manera preestablecida lleva su control interno, permitiendo formas preconfiguradas que admiten modificaciones muy

tasadas con escaso margen para su manipulación. En el modelado conceptual o modelado implícito, las masas conceptuales permiten también su parametrización pero ya no son directa y automáticamente gobernadas y gestionadas por el sistema. Será el propio usuario con la introducción de parámetros específicos encaminados a ese fin, quién se encargue personalmente de su gestión utilizando los recursos que ofrece el software para ello desde su propio entorno de trabajo.

Una de las diferencias básicas más importantes con respecto al diseño detallado anteriormente referido en las familias de sistema, es que la parametrización de estas formas (familias de componentes de masa o familias de masa) ya no es realizada directa y automáticamente por el sistema. En estas familias y debido al alto grado de libertad que asumen, será el propio usuario quien deberá hacerlo. El sistema “cede el control” (creación e introducción de parámetros diversos como altura, profundidad, condiciones de paso por otras formas, cálculos de función de otros parámetros, etc., etc.) al usuario, siendo este quién se encarga del desarrollo de su gobierno, gestión y control en su creación y manipulación manual o paramétrica. La “inteligencia” de estas familias la pone y se las da el propio usuario que manipula e interviene en la creación de los parámetros y en la gestión de los mismos para que realice las cosas que se necesiten en orden a un conjunto de requerimientos que se establezcan.

Un ejemplo de lo anteriormente referido sería la creación de una familia de masas que fuera un panel plano de espesor fijo que se adaptara a los 4 nodos o puntos de una rejilla establecida de una superficie (panel adaptativo) y que pudiera medir las dimensiones de sus 4 lados, el área del panel su volumen y su ángulo de inclinación con respecto a la vertical. Para ello el propio usuario introduciría una serie de parámetros llamados de información que serían los encargados de proporcionarnos la información individualizada (con posibilidad de utilización de fórmulas) que necesitaríamos en la definición geométrica del panel. (Este ejemplo de creación de familia es desarrollado más adelante en la aplicación práctica referida al edificio Swiss Re de Norman Foster.

Las masas así creadas se irán definiendo paulatinamente de forma progresiva y gradual, manipulando y controlando a medida que avanza el proceso de diseño, poco a poco para ajustarlas a los requerimientos de las necesidades formales y de todo tipo que se hayan establecido. Se seguirá un flujo ininterrumpido de trabajo, donde el resultado final será su

incorporación al entorno del proyecto, ya que a todos los efectos son componentes o “bloques inteligentes” insertados en el proyecto, que se convertirán con las herramientas proporcionadas por el programa, de masas conceptuales en elementos constructivos con las características propias de estos (muros, suelos, techos, etc.).

CREACION DE MASAS CONCEPTUALES E INSERCIÓN EN PROYECTO

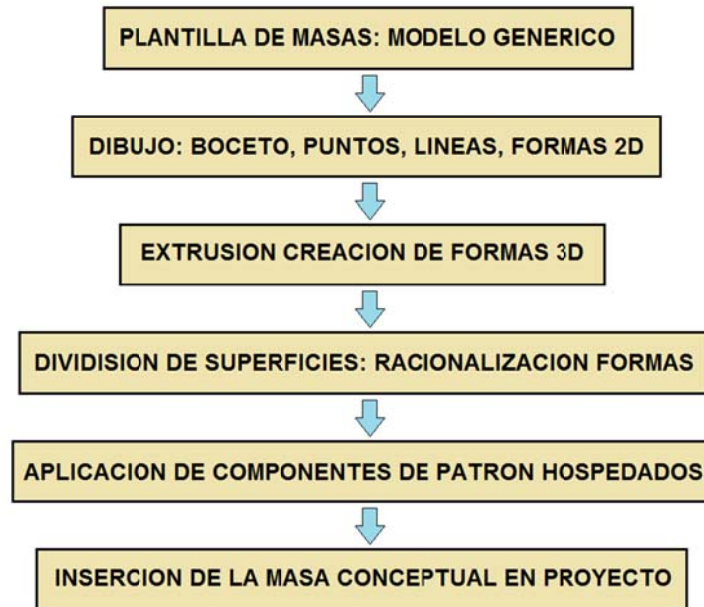


Figura 4.8. Esquema del flujo de trabajo a establecer en la creación o generación de masas conceptuales, para la definición gradual de los elementos y su inserción en el proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Quedan vinculadas las fases de diseño conceptual y las de generación de componentes de modelado detallado con elementos de construcción tradicionales para definir el modelo de la edificación. De ese modelo es posible la obtención de toda la documentación necesaria para la definición pormenorizada y detallada del proyecto. Primero se genera y desarrolla el modelo abstracto conceptual de forma autónoma e independiente y luego se convierten los elementos del mismo en elementos de modelado detallado como muros, suelos, techos, cubiertas, escaleras, etc. a medida que se avanza en la definición gradual del modelo de la edificación. Con ello se hace posible incrementar la coordinación del proyecto, acortar y reducir tiempos en la generación de la documentación incluyendo todos los planos de detalle y también permite consultar y cuantificar los cálculos y datos de la edificación.

4.6. MASAS: TIPOS DE FORMAS GENERADAS

Todos los elementos de masas están generados únicamente con líneas. Las líneas pueden ser: líneas normales de modelo, líneas de referencia, líneas por puntos, líneas importadas, bordes de otra forma y líneas o bordes de familias cargadas. Esas líneas pueden ser creadas de cero o tomarlas como pertenecientes a un borde de una geometría ya existente. Una de las propiedades más importantes de las masas es que guardan internamente dichas líneas iniciales de origen con las que han sido generadas. Son llamadas “primitivas” y siempre es posible obtener su visualización en la masa correspondiente con las herramientas disponibles (Rayos X), para poder modificar, manipular y explorar otras posibles formalizaciones. También se cuenta con la opción de poder “disolver la masa” para obtener dichas líneas primitivas y poder modificarlas para luego redefinir o manipular la masa que de ellas resulte.

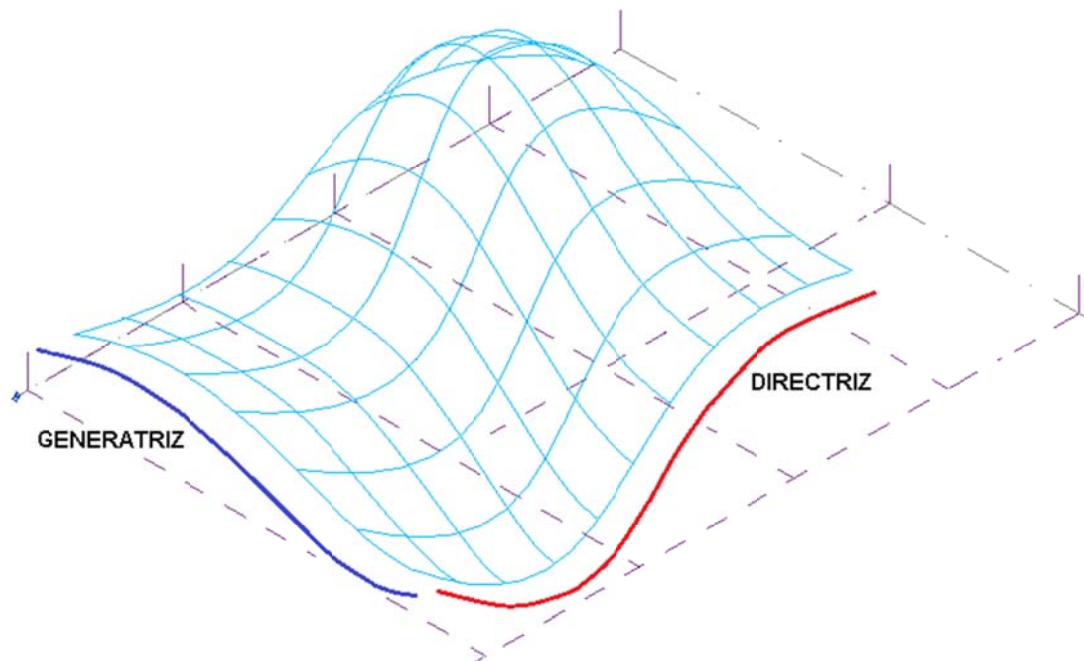


Figura 4.9. Generación de un elemento de masa superficial. Todos los elementos de masa (de superficies y sólidos o vacíos) son generados mediante la utilización de líneas. En el caso presente se trata de una superficie alabeada obtenida mediante mallas de curvas isoparamétricas. Internamente se reconocen las curvas (directriz y generatriz) que dan origen a dicha superficie, pudiendo ser manipuladas para su rápida edición. Elaboración propia con software BIM.

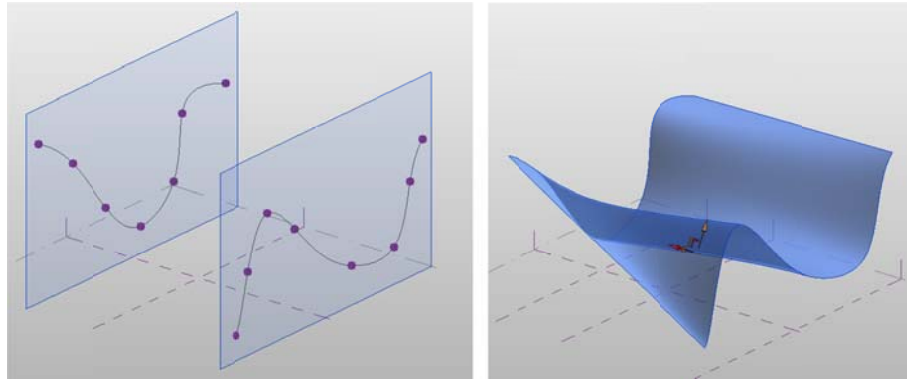


Figura 4.10. A la izquierda se ven las líneas (splines por puntos) de origen, contenidas en sendos planos verticales que genera la masa de superficie de la derecha. A la derecha puede verse la superficie conformada de la masa, que internamente guardará dichas líneas que le han dado origen para poder ser redefinidas si así se requiere, en los puntos de paso de las splines y con ello modificar y moldear dicha masa de forma directa. Elaboración propia con software BIM.

En la figura siguiente se presenta un gráfico donde puede verse el camino inverso. Se dispone de una superficie de masa ya realizada donde después de utilizarse el comando (Rayos X) pueden verse las dos líneas de inicio (primitivas) que han dado origen a la formación de dicha masa. Esas dos líneas de origen como fueron creadas mediante líneas splines pasantes por puntos, también son representadas por dichos puntos. Posicionándose sobre cualquiera de ellos es posible su modificación arrastrando el cursor sobre las flechas del triedro que aparece sobre él. De esta forma podrían modificarse muy rápidamente las primitivas de origen y con ello la superficie que las contiene.

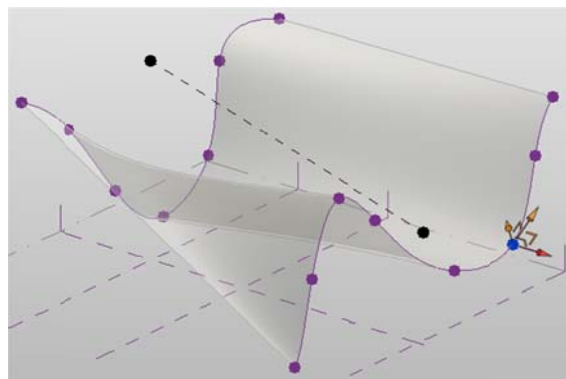


Figura 4.11. Vista de la superficie de masa anterior utilizando la herramienta “Rayos X”. Se ven las líneas primitivas origen de la masa representada y los puntos de paso utilizados para la creación de dichas líneas (splines por puntos). Es posible situándose con el cursor en el punto elegido y tirando de las flechas del triedro que en él aparecen, su reposicionamiento para retocar el paso de la spline y con ello modificar o moldear la superficie de masa de forma directa y rápida. Elaboración propia con software BIM.

Los tipos de formas que pueden generarse con el empleo únicamente de líneas en el entorno de masas son los siguientes:

- 1) Formas de superficie
- 2) Formas sólidas
- 3) Formas vacías. Interactúan con las anteriores de forma automática y admiten con ellas operaciones booleanas como suma, resta, separación, etc.

Hay cinco maneras para generar formas 3D desde el entorno de masas, y la geometría resultante puede ser un sólido o un vacío (el vacío eliminará o restará su propia geometría de la del sólido existente). Las formas sólidas por tanto son formas en positivo, que se utilizan para crear una geometría llena o sólida las formas vacías, son formas en negativo, que se utilizan para crear formas “vacías” es decir vacíos que en yuxtaposición con las formas anteriores, cortan la geometría sólida.

Los cinco métodos o mecanismos de generación utilizados serán los mismos, tanto para el modelado de sólidos como para el de vacíos, y también servirán para crear una familia in situ o una familia de componentes. Estos son los siguientes:

- 1) Extrusión: Se genera con un perfil o línea de boceto 2D (cerrada o abierta) que es barrida en el eje Z del plano de trabajo en el que fue creada la línea del boceto.
- 2) Fundido: Se crea con un perfil de boceto 2D (cerrado) para la parte inferior de la forma y un perfil de boceto 2D (cerrado) para la parte superior. La forma 3D real se extrapola desde la forma inferior, a la forma superior con la dimensión de la profundidad.
- 3) Revolución: Se genera a partir de un perfil de boceto 2D (cerrado) que gira alrededor de un eje. La forma girada puede hacerlo a través de un círculo completo o de cualquier fracción del mismo.
- 4) Barrido: Se crea a partir de un perfil o línea de boceto 2D que se conduce a lo largo de otra línea o camino de boceto 2D. La ruta de boceto debe ser continua y estar contenida en un solo plano.
- 5) Fundido de barrido: Se genera a partir de dos perfiles o líneas de boceto 2D, uno en cada uno de los extremos de otra línea de una ruta de boceto 2D. La forma resultante será interpolada a lo largo de la trayectoria entre los dos perfiles. Al igual que el camino de barrido, el Sketch Path debe existir en un solo plano.

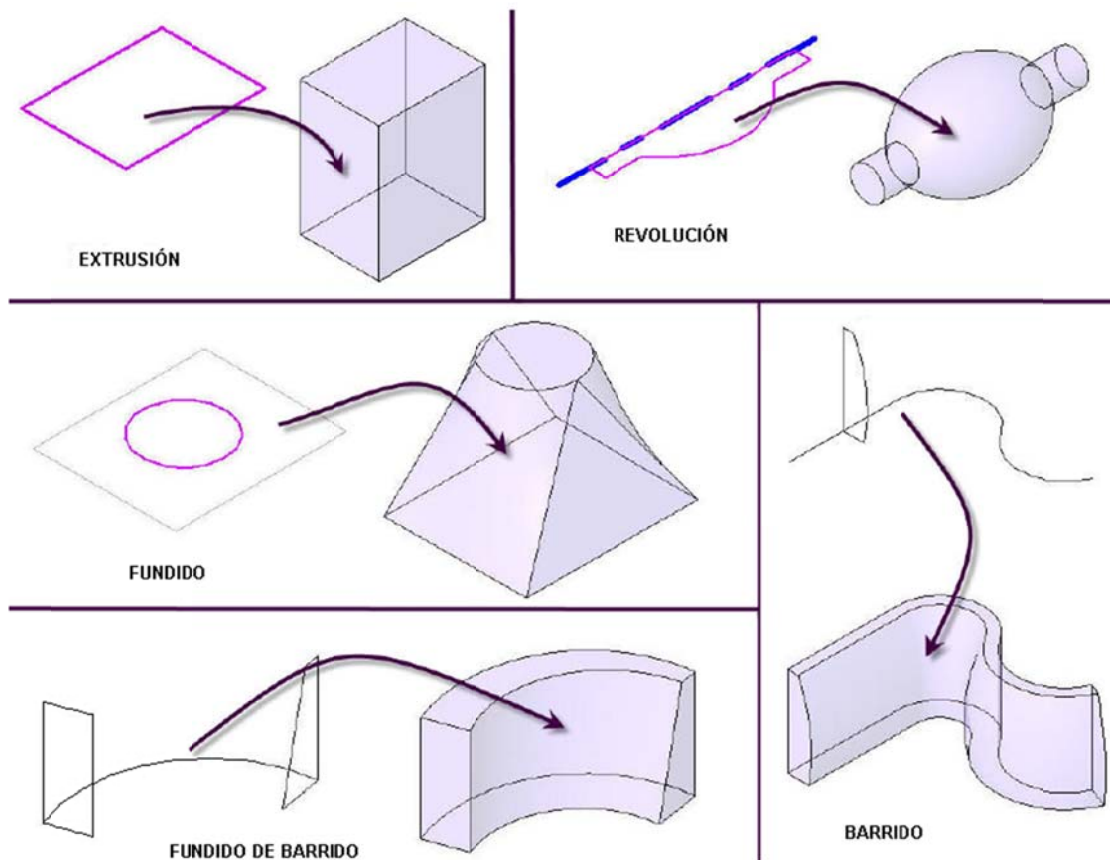


Figura 4.12. Los cinco mecanismos de creación de formas sólidas o vacías dentro de las familias de masas. Todas ellas se generan con el empleo de líneas siguiendo las convenciones que pueden verse en los gráficos. Fuente: Autodesk University 2008, AB110-1P "All in the Family: Creating Parts in Revit Architecture", Matt Dillon.

Dado que la generación de masas se realiza únicamente con líneas y que existen dos tipos de líneas a saber líneas de modelo y líneas de referencia, existe una diferencia importante en dicha generación dependiendo del tipo de línea utilizada.

Cuando se generan masas con líneas de modelo, dichas líneas se consumen o reabsorben y desaparecen en el momento de la creación de la forma de masa. Por el contrario si son generadas con líneas de referencia (líneas especiales que proporcionan cuatro planos de referencia en los que dibujar) no desaparecen quedando para seguir sirviendo de control a la forma generada.

4.7. ELEMENTOS DE APOYO AUXILIARES

Son básicos para el modelado de formas de masa. Hay tres tipos de elementos de apoyo en este entorno de trabajo: Puntos de referencia, Líneas de referencia y Planos de referencia.

PUNTOS DE REFERENCIA

Los puntos de referencia son esenciales para la creación de geometría compleja, se utilizan para definir los extremos de las líneas y los extremos de las superficies. Especifica una ubicación XYZ en el espacio de trabajo y sirve para construir, orientar, alinear y controlar la geometría de un diseño conceptual. Estos puntos deben pertenecer y estar referidos y asociados a un plano anfitrión que los contiene que cuenta con una variable por defecto que es su distancia referida a ese plano anfitrión. Disponen de una referencia de tres planos perpendiculares entre sí (triedro), cuya intersección define dicho punto y pueden utilizarse para dibujar en ellos líneas y splines.

Tienen coordenadas locales y globales con planos de referencia asociados a ellos. El sistema de coordenadas global se fija en el espacio y se establece en relación a las direcciones ortogonales en el entorno del modelo. Los ejes locales se establecen en función del punto de referencia del elemento hospedado. Es importante tener en cuenta que el eje local puede estar girado, mientras que el eje global no. Los ejes globales están representados por tres barras de colores, rojo (eje X), verde (eje Y) y azul (eje Z) como se muestra en la figura adjunta. Los ejes locales se representan por dos ejes de color naranja y otro eje de color azul. Es posible alternar la representación de ejes locales y ejes globales presionando la barra espaciadora para cambiar de uno a otro.

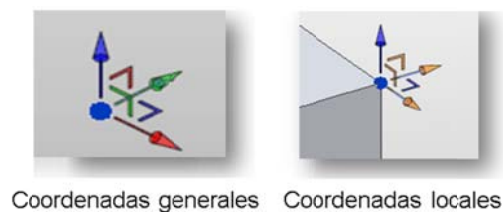


Figura 4.13. Detalle de los ejes de referencia relativos a puntos. En la izquierda el punto está referenciado a un sistema de coordenadas generales. En la derecha la referencia es a ejes locales. Elaboración propia con software BIM.

Los puntos se pueden hospedar en líneas y superficies. Hay tres tipos de puntos:

- 1) Libres: son independientes de la geometría y está colocados en un plano de referencia.
- 2) Hospedados en líneas y superficies: son los colocados a lo largo de bordes de líneas y superficies. Si estas se mueven (elemento anfitrión) también se mueve el punto (elemento hospedado).
- 3) De control geométrico: son los colocados a lo largo de bordes de líneas y superficies. Cuando el punto de referencia se mueve la línea o geometría se desplaza o se deforma para coincidir con la posición del punto.

PUNTOS ADAPTATIVOS.

Los puntos adaptativos son puntos de referencia modificados que se utilizan para modelar componentes adaptativos. Se enumeran de forma correlativa a medida que se van introduciendo. La geometría modelada con estos puntos produce un componente adaptativo en el que sus puntos reconocen y se posicionan en puntos de nodos (intersección de rejillas) pertenecientes a celdillas de división de superficies de masas pudiendo repetir su inserción en toda la superficie.

LINEAS DE REFERENCIA.

Pueden ser rectas y también curvas. Las líneas de referencia curvas sólo tienen planos de referencia en sus dos extremos inicial y final. Las líneas de referencia rectas disponen de cuatro planos de referencia, dos en cada uno de sus extremos pasando por ellos y siendo perpendiculares a la línea recta. Otro plano que contiene a la propia recta y es perpendicular al plano horizontal de referencia y otro plano perpendicular al anterior y conteniendo también dicha recta. En estos planos es posible dibujar cualquier línea recta curva o spline.

Es importante tener en cuenta que cualquier spline también es susceptible de convertirse en línea de referencia.

NIVELES, PLANOS DE REFERENCIA Y PLANOS 3D.

Son planos que sirven para una vez creados y seleccionados dibujar directamente sobre ellos cualquier tipo de líneas. Es uno de los ingredientes fundamental para poder modelar cualquier geometría compleja en Revit. Los planos formados por las caras de cualquier masa también pueden seleccionarse y tienen la capacidad de poder ser utilizados como planos de trabajo para dibujar en ellos cualquier línea o boceto.

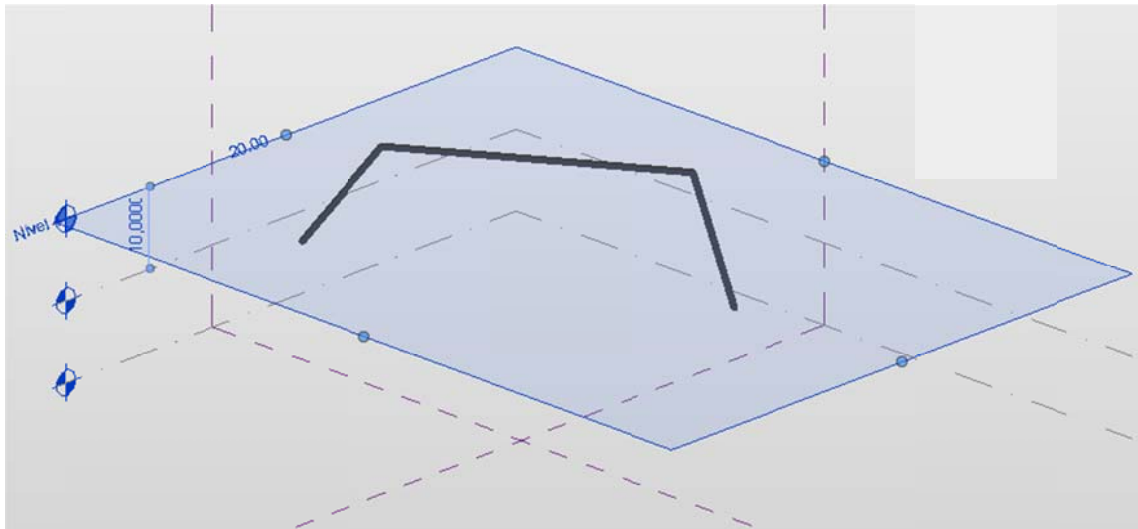


Figura 4.14. Detalle de planos de referencia horizontales establecidos en Niveles que son asociados a distintas alturas. Hay que seleccionarlos primero para poder dibujar líneas encima de ellos. Pueden verse también la referencia de otros dos planos verticales que vienen preestablecidos por defecto. Elaboración propia con software BIM.

4.8. GENERACIÓN DE FORMAS SIN RESTRICCIONES Y BASADAS EN REFERENCIAS

Dentro del entorno de diseño conceptual las masas como ya se ha dicho se generan siempre con líneas. Pero esas líneas pueden ser líneas de modelo o líneas de referencia de comportamiento entre ambas muy diferente. Las líneas de referencia al contrario de las de modelo permiten crear restricciones proporcionando cuatro planos de referencia en los que poder dibujar. Dependiendo de la que se elija para su creación se estará ante dos tipos distintos de masa generada con comportamientos diferentes únicamente en cuanto a la modificación de su forma se refiere, dando lugar a dos tipos de formas con propiedades distintas que son las siguientes:

1) FORMAS SIN RESTRICCIONES: En este sistema de generación se visualiza una línea continua cuando se selecciona el segmento o líneas con los que se ha generado (primitiva).

Esta forma no depende de otros objetos. Los perfiles están bloqueados por defecto. Los bordes, las superficies y los vértices se pueden editar directamente. Cuando se eliminan las formas creadas a partir de las líneas, las líneas originales se eliminan también.

2) FORMAS BASADAS EN REFERENCIA: En este sistema de generación se visualiza una línea discontinua cuando se selecciona el segmento o líneas (primitivas) con los que se ha generado la forma de masa. Depende de sus referencias al crear la línea de generación. Al cambiar la referencia de la que depende, también cambiará la forma basada en referencia. Los perfiles están bloqueados por defecto para extrusión y barridos. Se modifican editando directamente el elemento de referencia, por ejemplo seleccionando una Línea de referencia y arrastrándola usando los controles 3D. Cuando se eliminan las formas creadas a partir de las líneas de referencia, las líneas de referencia se mantienen para recrear fácilmente la forma.

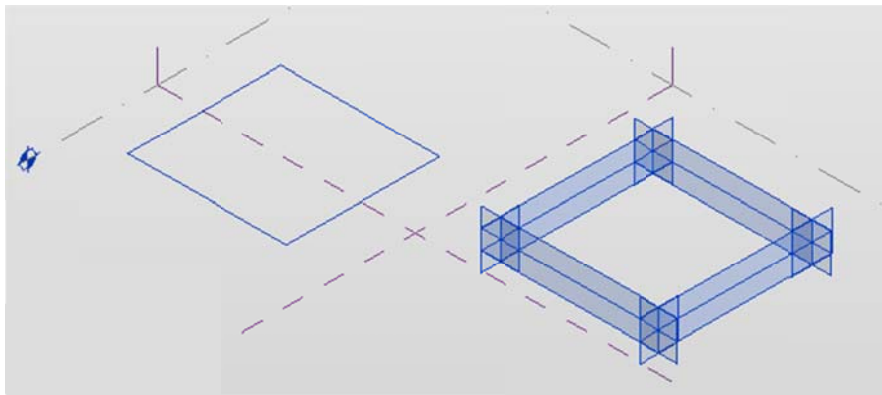


Figura 4.15. Detalle de dos tipos de líneas para generar masa la de la izquierda línea sin restricciones. La de la izquierda línea de referencia con restricciones. Elaboración propia con software BIM.

El concepto de edificación se desarrollará con formas geométricas, extrusiones, barridos, fundidos, y rotaciones diversas. Las formas se crean siempre trazando líneas, seleccionándolas y haciendo click en “Crear forma”. Esta herramienta se utiliza para desarrollar superficies o formas sólidas o vacías 3D que luego podrá manipular directamente mediante los controles de manipulación de forma 3D.

4.9. EDICIÓN Y MANIPULACION DE FORMAS

Todos los elementos de masa generados pueden ser manipulados, modificados y/o editados muy rápidamente de manera directa, actuando sobre sus componentes o elementos de forma con el

cursor del ratón, que al pasar por encima de ellos son resaltados automáticamente en color azul. Estos componentes o elementos de forma son básicamente tres: sus vértices (puntos), sus bordes o aristas (líneas) y sus superficies o caras (superficies planas) contenidos en sus formas, según se indica en la figura.

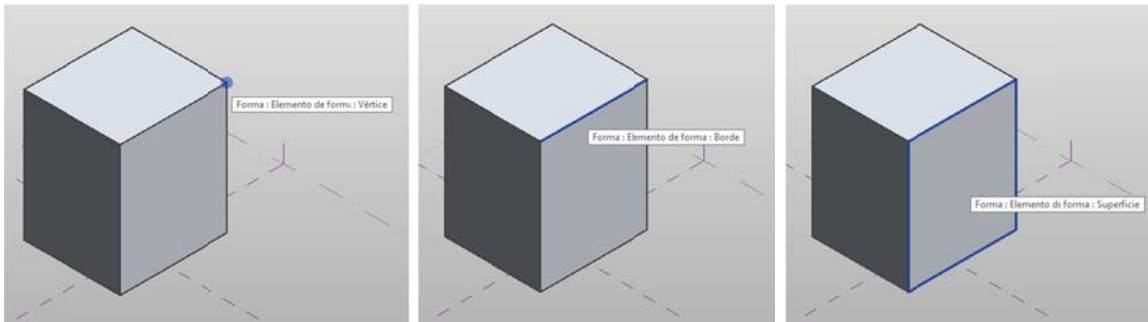


Figura 4.16. Selección de elementos de forma (vértices, bordes o aristas y superficies) de una masa genérica para su manipulación y edición directa. Al pasar el cursor por encima de ellos son resaltados automáticamente. Elaboración propia con software BIM.

Una vez el elemento de forma (vértice, arista o cara) es resaltado, haciendo clic con el ratón sobre él, aparecen en el elemento de que se trate las flechas de un triedro trirectángulo donde es posible arrastrando con el cursor sobre una de las flechas, deformar la masa a conveniencia.

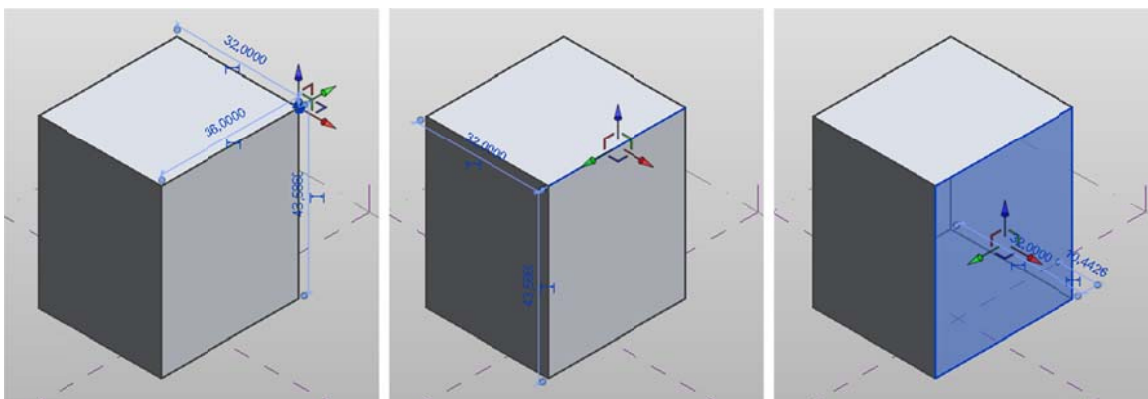


Figura 4.17. Pinzamientos en la masa de los elementos de forma (vértices, bordes y superficies). Al pulsar con el ratón sobre ellos aparecen unas flecha referidas a ejes (generales o locales), que permiten su arrastre y por tanto su manipulación y modificación directa. También es posible modificando sus cotas. Elaboración propia con software BIM.

También es posible modificar la forma interviniendo y actuando sobre las cotas temporales que aparecen en el elemento de masa cuando algún elemento de forma es seleccionado sobre ella con el cursor, como puede verse en la figura siguiente.

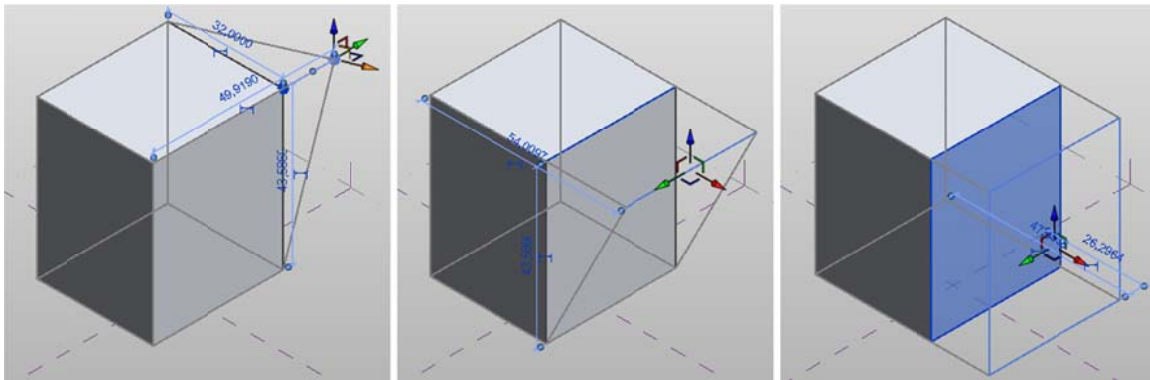


Figura 4.18. Puede verse en los gráficos cómo han sido arrastrados los elementos de forma (vértices, bordes y superficies) de las masas sólidas con la utilización del cursor del ratón de forma directa, dando como resultado las deformaciones que pueden verse en la figura. Elaboración propia con software BIM.

Si en vez de arrastrar los elementos de forma de la masa anteriores se seleccionan y luego se suprimen el resultado obtenido en el sólido anterior es el que puede apreciarse en la siguiente figura.

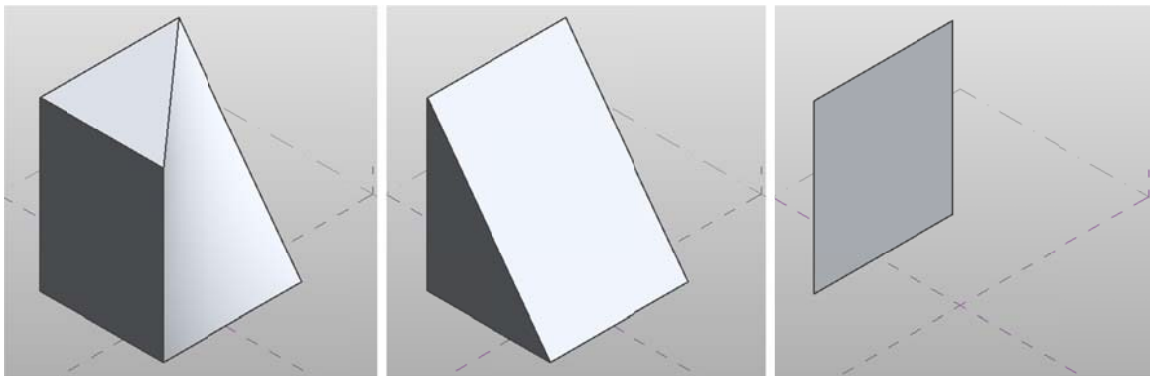


Figura 4.19. Las mismas masas que las figuras anteriores donde han sido borrados los elementos de forma que desde el inicio habían sido seleccionados (vértice, borde, superficie). El resultado de esta operación es el que puede verse en la figura. Elaboración propia con software BIM.

Como puede apreciarse en la figura anterior han sido borrados todos los elementos de forma que acometen en el vértice, arista o cara de la masa conceptual que previamente se habían seleccionado. Una vez obtenido el resultado que puede verse en la figura anterior, es posible continuar con la manipulación de modelado de la masa resultante según interese.

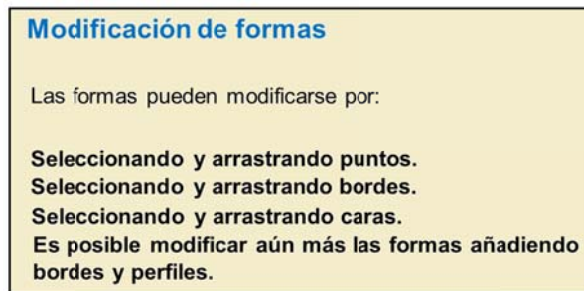


Figura 4.20. Cuadro resumen de manipulación y edición de formas de masas. Elaboración propia.

4.10. PLANTILLAS PARA LA GENERACIÓN DE MASAS

Existen cuatro tipos de plantillas de masas, pensadas cada una de ellas para que puedan servir en cometidos muy específicos y diferentes dentro de la generación de masas conceptuales. Es muy importante y necesario saber las características de cada una de ellas para la adecuada utilización de los elementos que se creen con ellas ya que tendrán propiedades y fines muy diferentes dentro del modelado.

1) “Masa métrica.rft”.- Se utiliza para el modelado más genérico de las familias de masa conceptuales. Es posible a su vez la introducción dentro de ellas de componentes anidados realizados con otras familias de masas como las que se detallan en los puntos siguientes. Pertenece dentro de los elementos generados por el software, a la categoría de “Masa”.

2) “Modelo genérico métrico Adaptativo.rft”.- Se utiliza para el modelado de familias de componentes de masa que están basados en un patrón. Van anidadas en familias de masa genéricas (“Masa métrica”) donde se introducen dentro de ella de forma individualizada, en divisiones realizadas en su superficie. No tienen que repetirse utilizando un patrón determinado

para que se recubra una zona determinada. No dispone de rejilla de patrón de baldosa. Sirven para colocar y utilizar ejemplares repetidos de componentes adaptativos a lo largo de los nodos visibles de una superficie. Para repetir sistemas generados por una matriz de varios componentes que se ajustan a restricciones definidas por el usuario. Pertenece dentro de los elementos generados por el software, a la categoría de “Modelo genérico”.

3) “Modelo genérico métrico basado en patrón.rft”.- Se utiliza para modelar familias de componentes de masa que están basados en un patrón. Van anidadas en familias de masa genéricas, donde se introducen dentro de ella para su recubrimiento, en divisiones realizadas al efecto en su superficie. Se repiten utilizando un patrón determinado para que se recubra una zona determinada. Dispone de 4 puntos adaptativos y una rejilla de patrón de baldosa que puede elegirse dentro del selector de tipos dentro de en un listado predefinido al efecto. Se utilizan para ser anidados en una familia de masas más amplia (Masa métrica) dentro de una superficie dividida o una superficie con patrón, pudiendo ser modificados individualmente. Pertenece dentro de los elementos generados por el software, a la categoría de “Paneles de muro cortina”.

4) “Panel de muro cortina métrico basado en patrón.rft”. Se utiliza para el modelado de familias de componentes de paneles de muro cortina usando. Dispone por defecto de 4 puntos adaptativos y de rejilla de patrón de baldosa. No permite borrar ni los puntos adaptativos que trae ni las líneas de referencia que unen dichos puntos. Permite la selección de la rejilla de patrón de baldosa. Pertenece dentro de los elementos generados por el software, a la categoría de “Paneles de muro cortina”.

PLANTILLAS DE MASA TIPO	Categoría	Rejilla de patrón de baldosa	Puntos adaptativos	Anidación en masa general
Masa métrica.rft	Masa	NO	NO	NO
Modelo genérico métrico Adaptativo.rft	Modelo genérico	NO	SI	SI
Modelo genérico métrico basado en patrón.rft	Paneles de muro cortina	SI	SI	SI
Panel de muro cortina métrico basado en patrón.rft	Paneles de muro cortina	SI	SI	SI

Figura 4.21. Resumen de los diferentes tipos de plantillas preconfiguradas para la utilización en el modelado de masas conceptuales, según diferentes tipos de comportamiento para en su creación y anidamientos. Elaboración propia.

Estas plantillas permiten el modelado correspondiente y la anidación de unas en otras, siempre que se cumplan una serie de requisitos de diseño que se estudiarán a continuación. Es necesario saber las características que debe reunir la familia que se necesite para en su creación generarla con el tipo de plantilla idónea y pensada para esos fines si no, en su comportamiento espacial no se conseguirá el efecto que se busca o el efecto deseado.

4.11. DIVISION DE GEOMETRIA: RACIONALIZACIÓN DE SUPERFICIES, REJILLAS

Una vez generada la forma global 3D de la masa, se hace necesario para poder obtener un control más preciso y detallado de la misma la división de su geometría. Las finalidades de ello son múltiples y diversas como su materialización o restitución espacial de lo virtual a lo real, la materialización constructiva para su recubrimiento con paneles de materiales diversos, el análisis y estudio más pormenorizado, su ejecución optimizada en taller, su medición y control, etc. etc.

A este proceso se le denomina racionalización de superficies y para ello existe una herramienta específica llamada "Dividir superficie". Esta división de la superficie de masa se realiza aplicando un sistema de líneas de rejilla isoparamétricas en dos direcciones U y V independientes entre sí y de selección individual (una de las dos direcciones) o conjunta (las dos). Para dicha división puede establecerse un número fijo de líneas de rejilla o una distancia fija entre las mismas. Los ángulos de inclinación de las rejillas pueden establecerse a voluntad. Una vez dividida la superficie es posible la aplicación de patrones diversos a la superficie en cuestión. Patrones que son tomados de un conjunto que dispone el software de forma preconfigurada en un selector de tipos.

Es posible también la división de una superficie de masa utilizando como referencia elementos intersecantes como planos de referencia previamente creados en el dibujo o niveles 3D y curvas dibujadas en planos de referencia.

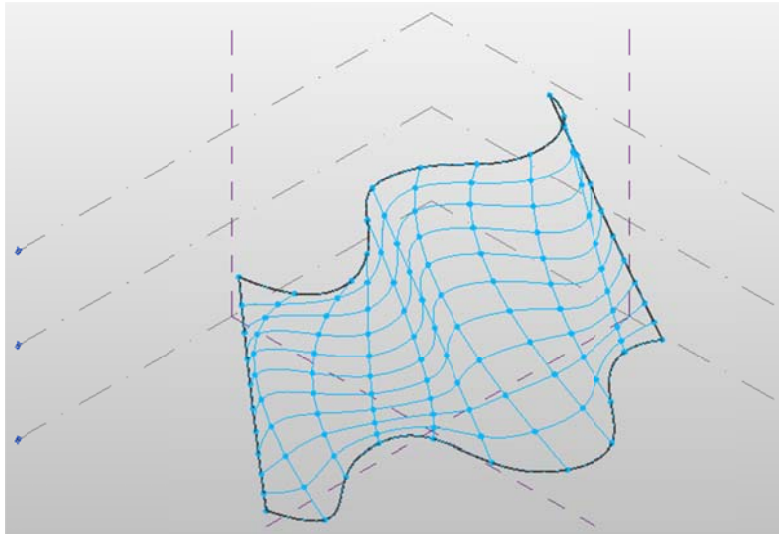


Figura 4.22. Masa de superficie en la que se ha procedido a su división interior mediante una rejilla de líneas isoparamétricas establecida en dos direcciones. Se ha elegido una representación de la masa que visualice sus nodos es decir los puntos de intersección de sus líneas de división de rejillas. Elaboración propia con software BIM.

Una vez generada una superficie cualquiera, puede ser dividida en otros subelementos propios con autonomía de diseño propio e independiente del resto de superficie, y hospedar en estos subelementos de superficie componentes que se adapten a sus divisiones específicas como por ejemplo paneles con patrones determinados. También es factible posteriormente la aplicación de patrones adaptativos a la superficie dividida. Las superficies se pueden dividir por un número concreto de divisiones o por distancias definidas entre divisiones.

Al manipularse la superficie dividida también se manipulan los componentes y los patrones con dependencias paramétricas. Algunos parámetros de la superficie dividida se pueden editar en el área de dibujo del entorno de diseño conceptual. Los componentes de patrón son familias anidadas que pertenecen a una familia de masas conceptual más amplia. Cuando se cargan en la masa conceptual, pueden aplicarse a una superficie dividida o una superficie con patrón. Después de aplicarse a la superficie dividida, los componentes de patrón se pueden modificar individualmente.

Además, puede crear tablas de planificación de componentes de patrón como los paneles de muro cortina. Al crear un componente paramétrico basado en la plantilla de paneles de muro cortina por patrón, puede aplicar las herramientas de forma para crear formas diversas.

4.12. FAMILIAS DE COMPONENTES DE PATRÓN, FAMILIAS ANIDADAS

En el entorno de trabajo del diseño conceptual es posible la creación y posterior aplicación a la masa inicial de componentes de patrón (familias de componentes arquitectónicos construibles) que serán anidados en ella para que la recubran en su división. Los componentes de patrón podríamos definirlos como familias secundarias anidadas que se introducen en una familia de masas conceptuales principales más amplias que se y subordinan a ellas para la definición de las unidades de diseño del patrón al que recubren en que se ha dividido la familia principal.

Una de las capacidades o potencialidades más sugerentes y atractivas del modelado de masas utilizada con mucha frecuencia, es la creación de paneles adaptativos compuestos por células (similares a “células madre” triangulares, cuadriláteras, hexagonales, libres, etc.). Estas células modeladas al efecto se anidan, adaptan y replican de forma automática a la forma y tamaño individual de cada una de las celdillas de división realizadas en otra masa de superficie general donde se hospedan. Eventualmente pueden contener en su definición parámetros de reporte o de información y fórmulas que permiten obtener entre otras cosas longitudes de perfiles, tabulado de superficies o volúmenes, ángulos de inclinación de paneles, grado de curvatura, etc., etc., o bien crear definiciones o restricciones paramétricas de carácter geométrico. Estos parámetros de reporte servirán para extraer información valiosa sobre los elementos modelados que hagan reconducir su diseño arrojando luz en la toma de decisiones y optimización en base a criterios diversos establecidos.

Para su modelado se utiliza una plantilla preconfigurada (plantilla de Modelo genérico métrico adaptativo) que se caracteriza por no tener ninguna retícula o patrón de rejilla base, por eso no condiciona ningún comportamiento específico. Se coloca como un componente para su inserción en el proyecto. Este tipo de familia puede ser insertada y anidada en una masa métrica general ya dividida, pero previamente es necesario disponer en la familia anfitrión la visualización de los nodos de división de rejilla activos, para luego proceder a insertar la familia anidada en una de las celdillas delimitada por esos nodos.

Primero se crearán en la familia a anidar los puntos adaptativos que se necesiten para que sean coincidentes con los de los nodos de división de rejilla de la masa general. Se completará el modelado de definición del componente de anidación con líneas de referencia. Con ello quedará insertado el componente en la celdilla y luego haciendo uso del comando “Repetir” quedarán cubiertas o rellenas todas las celdillas de la superficie de masa general.

4.13 PANELIZACION DE SUPERFICIES, COSIDO DE BORDES DE PANELES

En la generación de formas libres muchas veces es necesaria no solo la materialización de la forma general mediante los comandos de creación de formas, sino recubrir esa forma generada para darle un espesor con la asignación de materiales diversos. También se hace necesario que esa superficie admita singularidades y discontinuidades en el recubrimiento de su superficie para individualizar componentes internos.

Para conseguir esa materialización es necesario que se utilicen paneles con unas disposiciones particulares, que se estudiarán a continuación y que serán como células que se auto replican dentro de la superficie general de la masa, previamente preparada, con una división interna (patrón de superficie rectángulo), que actuará a modo de guía o matriz, para que sus celdillas sean cubiertas por el panel que también se habrá dispuesto convenientemente.

Los elementos a utilizar para la panelización serán por tanto dos:

a) Una superficie global general inicial a recubrir que en principio no tendrá espesor, pudiendo ser plana o curva, que servirá de matriz o guía.

b) Una superficie individual o particular (panel) que actuará a modo de “célula” que se replica a sí misma y recubre dicha superficie global, completamente. Ambas superficies (la global y la individual o particular), deben estar interrelacionadas en cuanto al sistema de divisiones que se establezca entre ellas, para que la superficie general reconozca en su guía interna, el sistema de división de la célula y permita que esta se autorreplique dentro de su división guía interior. Las dos superficies se realizarán con plantillas diferentes y se anidará la particular en la general.

La superficie de la célula que se replica y su modelado no tienen por qué ser planos, pueden ser curvos y tener el espesor que se requiera. En un principio se le dará a la superficie particular un espesor o grosor y su modelado será plano, más adelante se explorarán otras disposiciones.

En el ejemplo siguiente se generarán dos superficies iniciales una plana y otra curva. Se empezará abriendo la plantilla de familia genérica “Masa métrica.rft” en el entorno de masas conceptuales, donde se dibujarán en una vista en planta sendas líneas (recta y curva) a las que se les aplicará una extrusión, obteniendo las superficies que pueden verse en la figura siguiente:

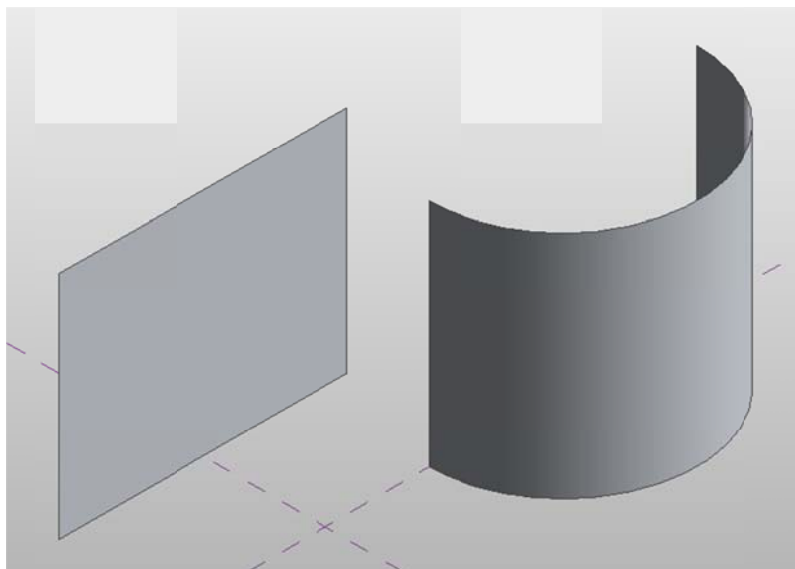


Figura 4.23. Detalle de generación de dos superficies de masas sin espesor, creadas por extrusión de dos líneas (recta y arco de curva) situadas en el plano horizontal de referencia. Se recubrirán ambas superficies con paneles de muro cortina después de su división. Elaboración propia con software BIM.

A las superficies anteriores se les aplicará una división interior, mediante el comando “Dividir superficie”, que divide la superficie seleccionada con líneas isoparamétricas en dos direcciones, eligiendo un espaciado de rejilla por un número fijo de partes iguales a 12 en ambas direcciones. Luego dentro del selector de tipos se aplicará a las superficies, un patrón rectangular como el que se ve en la figura siguiente:

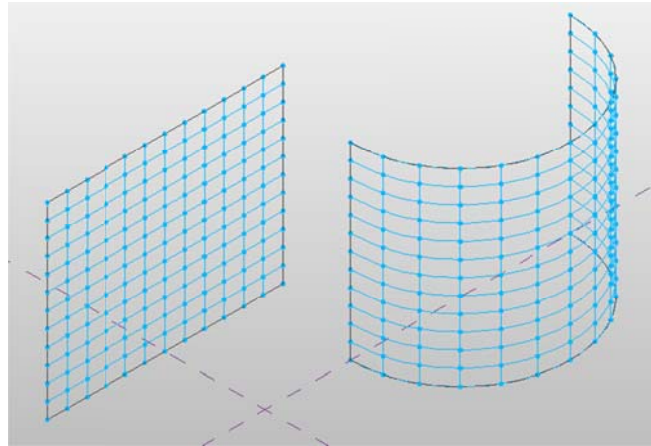


Figura 4.24. Las mismas superficies anteriores a las que se les ha dividido con unas divisiones de rejilla establecidas en dos direcciones U y V pudiendo modificarse por distancia o por número de líneas. Elaboración propia con software BIM.

Para la generación del panel de recubrimiento se modelará un componente de masa repetitivo que se realizará en otro archivo independiente del anterior para su posterior anidación en él. Se utilizará para ello una plantilla de masas denominada “Modelo genérico métrico basado en patrón.rft”, esta plantilla es de la categoría Panel de muro cortina, contando en su definición geométrica por defecto, con un cuadrilátero de base formado por líneas de referencia que en cada uno de sus vértices dispone de un punto adaptativo. Las líneas están conformadas siguiendo una rejilla de patrón de baldosa que es un rectángulo.

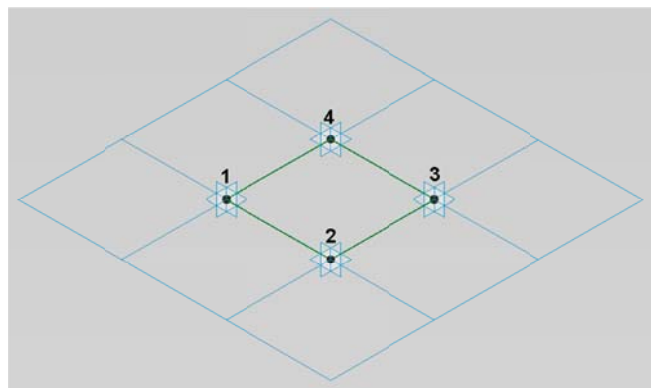


Figura 4.25. Plantilla “Modelo genérico métrico basado en patrón.rft” por defecto trae una rejilla de patrón de baldosa rectangular con 4 puntos adaptativos unidos por una cadena de líneas de referencia. Definición del cuadrilátero base inicial de la célula adaptativa que compondrá el panel (panel adaptativo). Elaboración propia con software BIM.

Al panel se le dará un grosor cualquiera para obtener una forma sólida, para ello se seleccionarán las cuatro líneas de referencia del cuadrilátero que pasa por los puntos adaptativos y se extruirán con el comando “Crear forma”, que por defecto marcará una altura determinada, para generar la forma sólida que puede verse en la figura siguiente:

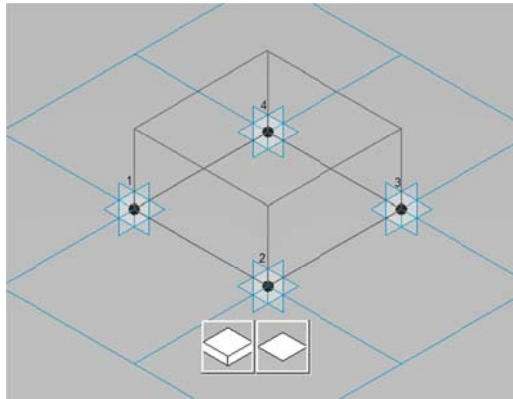


Figura 4.26. Vista alámbrica de la generación de un componente (panel adaptativo) después de su extrusión, para ver los puntos adaptativos que lo componen. Se trata de una familia que irá anidada en la masa general. Elaboración propia con software BIM.

Los cuatro puntos adaptativos que conforman la plantilla de familia de base con la que se ha modelado el panel de recubrimiento y su rejilla de patrón de baldosa (rectángulo), tienen una misión muy importante dentro del panel, ya que es como si determinaran el ADN de la célula adaptativa del panel que se autorreplicará en su anidación, en la superficie general a recubrir para que esta la reconozca por su ADN y permita que sea hospedada en su interior. Deberán coincidir sus patrones en los puntos determinados por los nodos de la superficie general y en los puntos adaptativos dispuestos en la superficie particular o célula adaptativa. Si esto no sucede no se producirá la réplica del panel. En la figura siguiente puede verse terminada la disposición del panel sólido generado, que conforma la célula que recubrirá la superficie general:

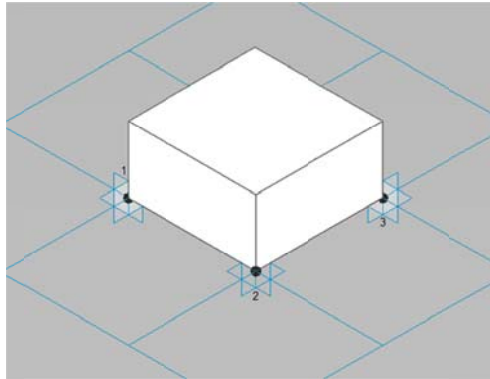


Figura 4.27. Vista en línea oculta del componente de panel terminado (panel adaptativo). Se trata de una familia que irá anidada en la masa general. Elaboración propia con software BIM.

Una vez terminada la generación de la célula del panel (panel de muro cortina), se guardará como un archivo de familia para posteriormente cargarlo en el archivo de la masa general de la superficie primitiva, y proceder a su anidación.

Al cargar el archivo anterior dentro de la masa general, y seleccionar la superficie de dicha masa, puede verse en el selector de tipos de la paleta de propiedades, que dentro de los patrones de relleno definidos por defecto, que pueden aplicarse a la superficie dividida de la masa y justo debajo del patrón de división aplicado a la propia masa (Rectángulo), se encuentra el del nombre dado a la célula del panel que acaba de crearse. Se seleccionará el nombre atribuido a la célula patrón, y de forma automática dicha célula se repetirá las veces necesarias hasta cubrir toda la rejilla de división de la superficie.

Dicha repetición se producirá solapándose los puntos adaptativos de la “célula” patrón del panel generado, con los puntos de los nodos de cada celdilla definidos en la división de la superficie general de la masa, y ambas serán “cosidas” en ese plano común, es decir plano de cada celdilla de la superficie general de nodos, con plano de la superficie particular de los puntos adaptativos de la “célula”.

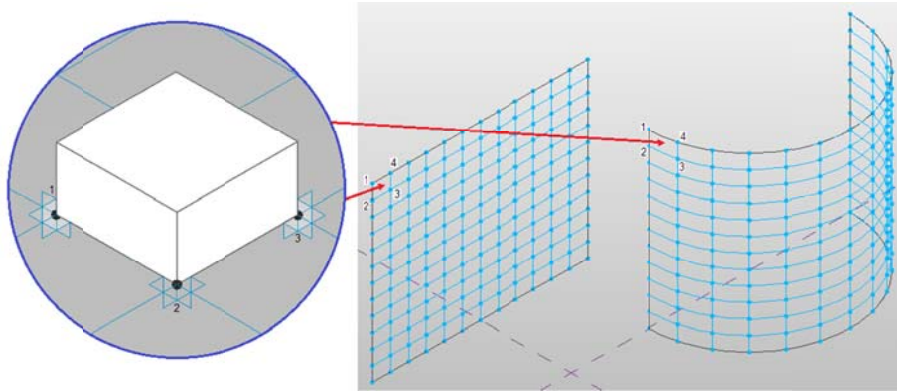


Figura 4.28. A la izquierda definición de la “célula” patrón del componente (panel adaptativo) que será anidada en las dos superficies de masa general siguiendo el orden de sus puntos adaptativos. Elaboración propia con software BIM.

Después de la anidación, el panel se habrá repetido recubriendo toda la superficie general como puede verse en la figura siguiente:

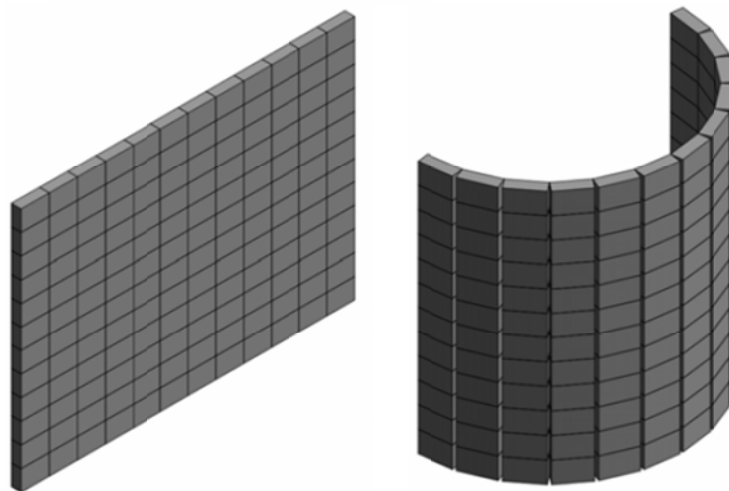


Figura 4.29. Resultado final de la anidación del componente (panel adaptativo) en las superficies generales. A la izquierda en una superficie plana y a la derecha en una superficie curva. Fuente: Autodesk University 2010, AB316-1L/AB330-5L “Au Bon Panel: Baking Your Own Adaptive Components and Panels with Autodesk Revit Architecture”. Robert Manna y Zach Kron.¹

Puede verse que cuando la superficie general está contenida en un plano la unión entre caras de paneles de la célula adaptativa que también es plana (ver vista 1 de la figura anterior) no refleja

¹ Las aportaciones de Zach Kron dentro del modelado paramétrico son dignas de mención a nivel internacional. Es arquitecto y analista de programas de Autodesk y viene trabajando estrechamente con diseñadores y desarrolladores de productos de Autodesk y en la extensión de Dynamo.

ningún problema entre las uniones de caras de paneles limítrofes, pero cuando la superficie general es curva se aprecian problemas de unión en borde de caras (ver vista 2 de la figura anterior).

La situación anterior puede producir efectos no deseados en las superficies de los paneles no pertenecientes a los planos de cosido entre las dos superficies: las superficies de las “células” del panel y la superficie general de la masa. Con la solución anterior solo quedan cosidos entre sí los bordes de las caras de los paneles donde se superponen los puntos adaptativos del panel con los nodos de la superficie general, el resto de bordes de las caras de los paneles, no quedarán cosidos entre sí, como puede apreciarse mejor en la vista de la superficie curva de masa de la figura siguiente:

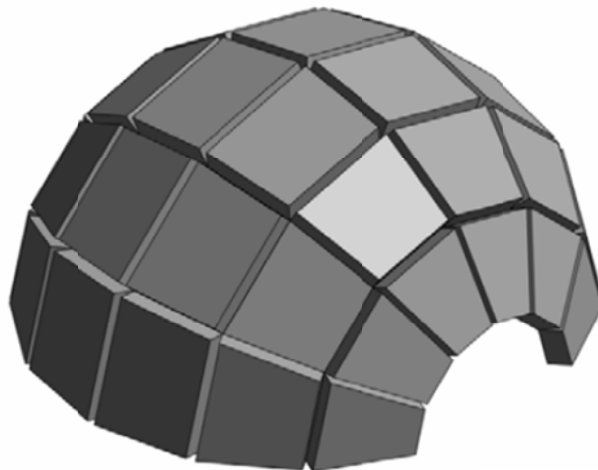


Figura 4.30. Vista del mismo panel plano adaptativo de la figura anterior, aplicado esta vez a una superficie esférica. Puede verse mejor el problema de cosido de bordes de paneles. Fuente: Autodesk University 2010, AB316-1L/AB330-5L “Au Bon Panel: Baking Your Own Adaptive Components and Panels with Autodesk Revit Architecture” Robert Manna y Zach Kron”.

Habrá por tanto que modificar y redefinir el modelado de la “célula” del panel para que el resto de bordes de unión de las caras que conforman su definición (realizada mediante una extrusión), cosan las uniones de los bordes de las caras limítrofes como se ve en la vista 2 de la figura anterior. Con la extrusión de un cuadrilátero base de referencia formado por líneas de referencia que unen cuatro puntos adaptativos, se obtiene un paralelepípedo recto de masa con la caras

laterales perpendiculares al plano base del cuadrilátero de referencia de la extrusión, no haciendo posible el de las caras laterales adyacentes, como se refleja en la figura siguiente.

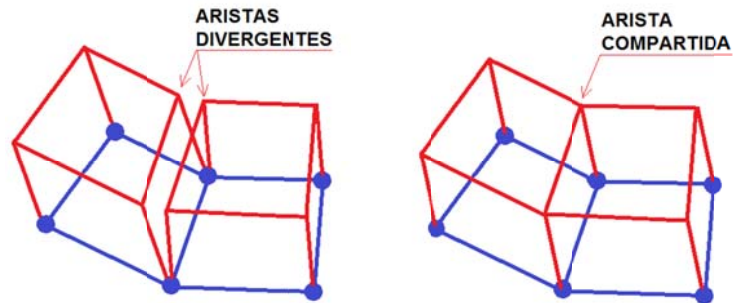


Figura 4.31. Vista 3D alámbrica del comportamiento de un componente o panel adaptativo. En la vista izquierda no está resuelta la unión de sus aristas y caras laterales. En la derecha se ve el cosido de las caras que se va buscando. En color azul se ve la cara inferior del panel formada por puntos adaptativos que si están cosidos. Elaboración propia.

Será necesario para realizar el cosido de paneles en los bordes laterales de todas sus caras, que las aristas de los paneles superiores confluyan en un mismo borde tal como se refleja en la figura siguiente.

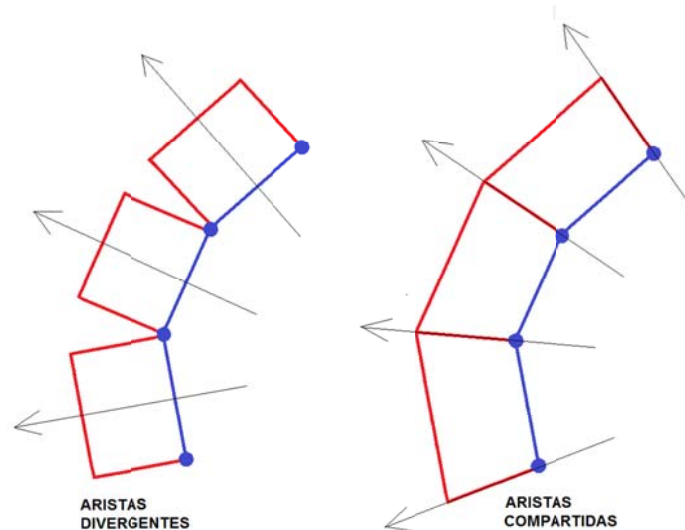


Figura 4.32. Detalle de la situación anterior vista en sección. En la izquierda al producirse la extrusión perpendicular al plano inferior (líneas en azul) de los puntos adaptativos, solo hay cosido de aristas de paneles en el plano inferior no en el superior y por lo tanto en laterales (líneas rojas En la derecha se ve lo que se persigue para que se produzca el cosido de paneles en el plano superior del panel. Elaboración propia.

4.14. COSIDO DE BORDES LATERALES DE PANELES PLANOS Y CURVOS

Para que se produzca el cosido de bordes de los paneles en las aristas de contacto de las caras superiores será necesario modificar el modelado de componente de masa adaptativo antes realizado, ayudándose de otro cuadrilátero superior de puntos adaptativos como el que ha servido para hacer la base del componente anidado.

Se modificará el panel anterior incorporando una tapa superior con otro cuadrilátero similar al de la inferior con otros cuatro puntos adaptativos. De esta manera la generación no será por extrusión sino por fundido y habrá atracción de puntos adaptativos en el plano superior.

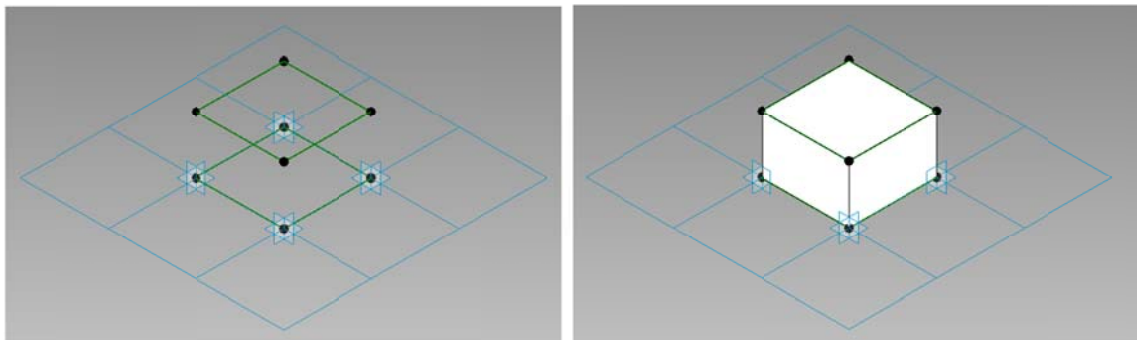


Figura 4.33. Modificación del componente adaptativo inicial. Ahora dispone de un cuadrilátero base con 4 puntos adaptativos y otro similar en la zona superior como puede verse a la izquierda. Habrá que parametrizar la altura entre estos dos cuadriláteros que será el espesor de la pieza al convertirlo en una masa sólida. A la derecha se ve el resultado de su conversión. El componente luego irá anidado en la masa general. Elaboración propia con software BIM.

Para la parametrización del espesor del panel dentro de Propiedades se seleccionará uno de los puntos de referencia y para “Desfase” se pulsará sobre el cuadrado de la derecha y se abrirán los cuadros de diálogo donde se podrá introducir el parámetro de familia que será la altura o espesor según puede verse en la figura siguiente.

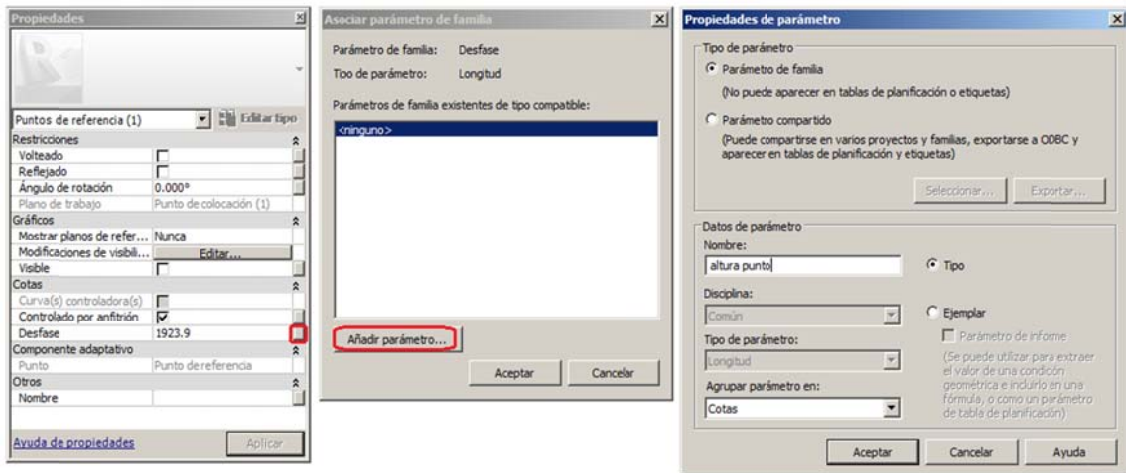


Figura 4.34. Incorporación del parámetro “altura punto” para la definición del grosor que tendrá el panel adaptativo en su modelado paramétrico. Elaboración propia con software BIM.

Se hará lo mismo para los otros tres puntos adaptativos restantes. Los tres puntos tomarán el mismo valor de altura de punto ya definido como variable.

Con los cuatro puntos de referencia introducidos a la misma altura, se creará una línea (de referencia) que los una. Luego se seleccionarán con el cursor los dos cuadrados (líneas en verde) existentes y se generará mediante el comando “Crear forma” forma sólida, obteniendo la masa definitiva que será guardada en un archivo.

A continuación se cargará el archivo en la masa general donde se sustituirá para que reemplace al anterior. El resultado es el que puede verse en la figura siguiente.

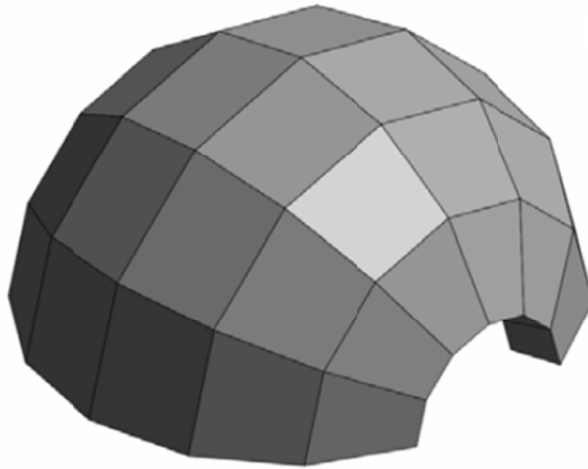


Figura 4.35. El resultado ahora es el cosido de los paneles que dan solución al problema planteado, resuelto con paneles planos. Ya que las líneas de unión para la preparación de la familia anidada se hicieron con líneas rectas. Elaboración propia con software BIM.

COSIDO DE BORDES LATERALES CON PANELES CURVOS

En el modelado anterior el recubrimiento y su cosido ha sido realizado utilizando un modelado de panel basado en patrón (patrón rectangular) con puntos adaptativos y rectas que unían esos puntos por eso el resultado de la panelización es un recubrimiento con espesor pero plano sin adaptación total a la superficie curva. Para modelar el panel de recubrimiento de la superficie anterior pero adaptándose al contorno curvo es necesario utilizar no líneas rectas entre los puntos adaptativos sino curvas y más concretamente curvas splines.

En el ejemplo anterior se ha cubierto una superficie curva con paneles de masa planos, en este ejemplo se creará una familia de masa que genere paneles de masa adaptativos curvos, para que se adapten a la superficie original de forma exacta. Se partirá de una plantilla de “Modelo genérico adaptativo” disponiendo de nueve puntos adaptativos que se unirán con líneas (curvas) splines de referencia, siguiendo el orden de numeración que se establece en la figura siguiente.

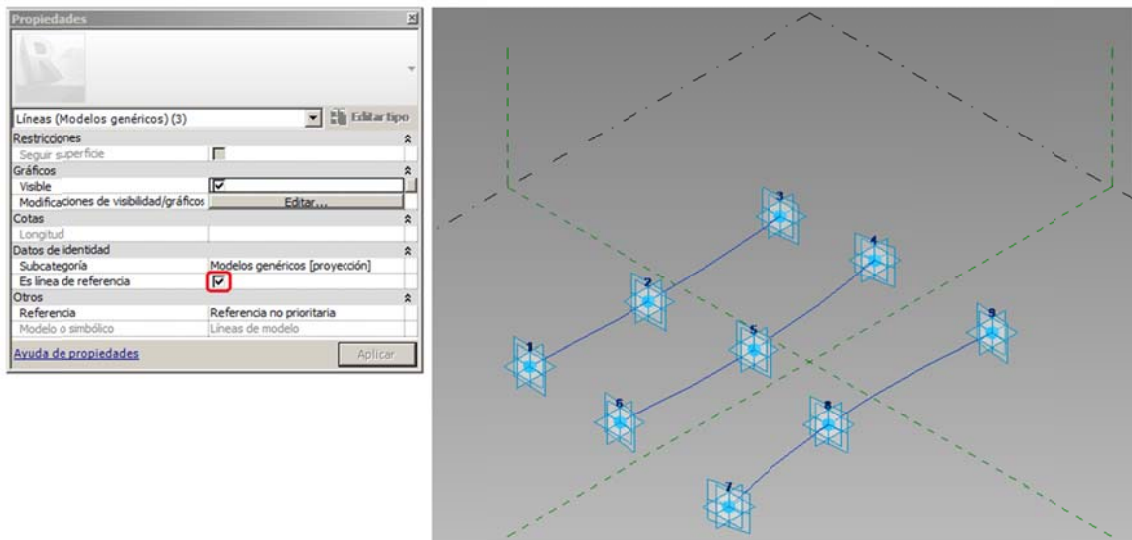


Figura 4.36. A la derecha apertura de Plantilla de Modelo genérico métrico Adaptativo con inserción de 9 puntos adaptativos y unión de puntos con líneas (curvas) splines siguiendo un orden correlativo. A la izquierda selección de las líneas y conversión en líneas de referencia. Elaboración propia con software BIM.

Las líneas splines de referencia unen los puntos 1-2-3, 4-5-6 y 7-8-9. Aparecen en los extremos de las splines anteriores unas marcas de planos en sus extremos.

Se introducirán 9 puntos más de referencia, sobre cada uno sobre uno de los puntos adaptativos ya existentes. Luego a estos 9 puntos se les dará un desfase de altura que será la misma para todos ellos. Antes de introducir cada punto (9 en total) se selecciona el plano de trabajo del triedro de referencia del punto adaptativo sobre el que va. Serán introducidos por ternas que luego irán unidas con líneas splines en cada terna.

Luego se hará clic en cada punto introducido y para darle una elevación hacia arriba arrastrando la flecha roja de cada punto sin preocuparse de más, como se refleja en la figura siguiente.

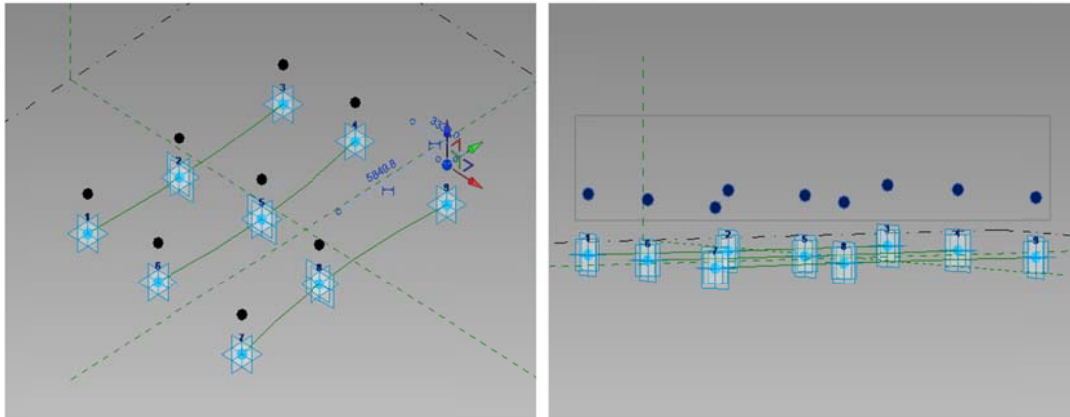


Figura 4.37. A la izquierda creación de otros nueve puntos para el panel con unas alturas de elevación dadas en la misma vertical que los numerados del 1 al 9. A la derecha escorzado de la vista 3D para capturar con una ventana gráfica los puntos con elevaciones dadas y darles a todos la misma variable de altura. Elaboración propia con software BIM.

En este estado se procederá a la creación de una variable paramétrica que será el grosor o espesor del panel curvo representado por la altura de los puntos creados, que será la misma para los 9 puntos es decir será compartida por los nueve puntos anteriores. Muevo la vista 3D para poder seleccionar con una ventana de captura todos los puntos introducidos y asignarles la misma variable seleccionando el cuadrado de su derecha en el parámetro de “Desfase”. Con esto se abre el cuadro de diálogo que permite asociar el parámetro de familia. Dentro de Datos de parámetro para Nombre pongo grosor y dentro de Agrupar parámetro en elijo Cotas y el Tipo de parámetro elijo Tipo

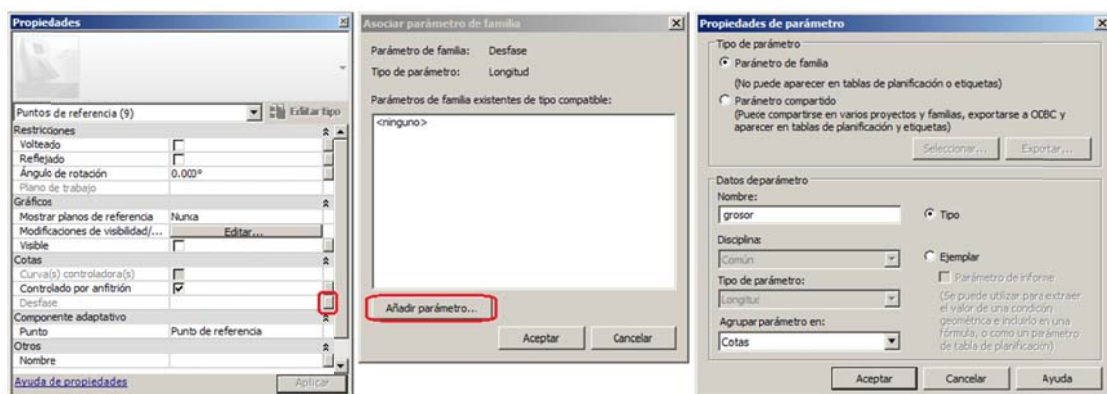


Figura 4.38. Introducción de variable paramétrica relativa al “grosor” del panel y asignación a los puntos de elevación dada de esta variable paramétrica. Se trata de una familia que irá anidada en la masa general. Elaboración propia con software BIM.

Después de lo anterior se unen con líneas de Referencia splines cada terna de puntos creada encima de cada uno de los puntos adaptativos existentes de la familia utilizada. Se cierra también con líneas de Referencia las splines superior e inferior de cada terna de puntos a modo de bucles tal y como se aprecia en la figura adjunta.

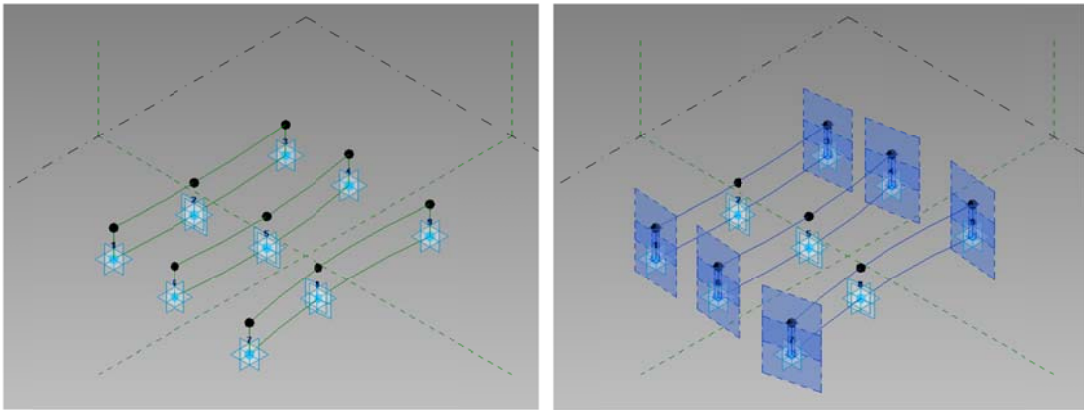


Figura 4.39. A la izquierda definición del componente (panel adaptativo) con parejas de puntos adaptativos. A la izquierda cerrado de bucles por ternas de puntos con líneas splines de referencia. Elaboración propia con software BIM.

Se seleccionan luego los tres bucles independientes, formados todos ellos por líneas de Referencia splines superior, inferior y laterales ayudado de la tecla ctrl. Luego se genera la forma sólida formada por los tres bucles cerrados así definidos dando como resultado la forma sólida del panel adaptativo curvo que aparece en la figura dibujados en Línea oculta la primera y en Estructura alámbrica la segunda.

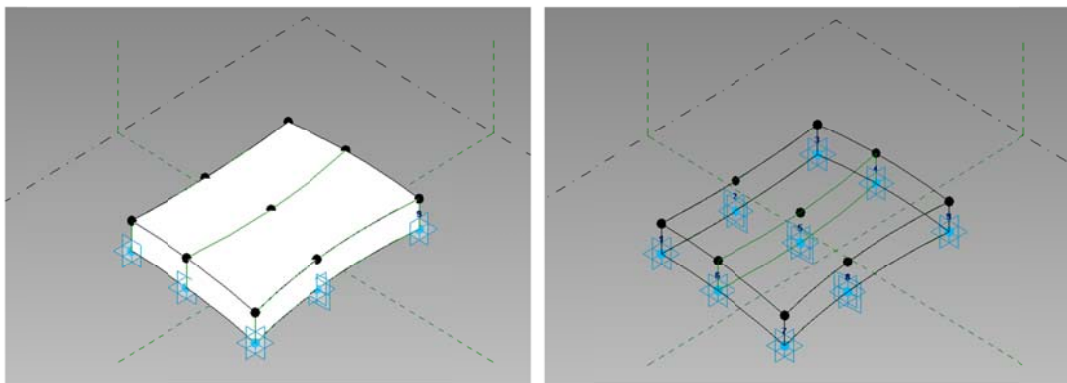


Figura 4.40. Panel de recubrimiento con espesor formado por puntos adaptativos. A la derecha el mismo panel en vista alámbrica para que se vea su constitución y puntos adaptativos. Elaboración propia con software BIM.

La célula o panel adaptativo creado, esta vez con la variable paramétrica “grosor”, es capaz de cubrir puntos que se encuentren en el mismo nivel (altura o desfase del punto) o en distintas alturas ya que los puntos base adaptativos, se pueden subir o bajar variando sus cotas.

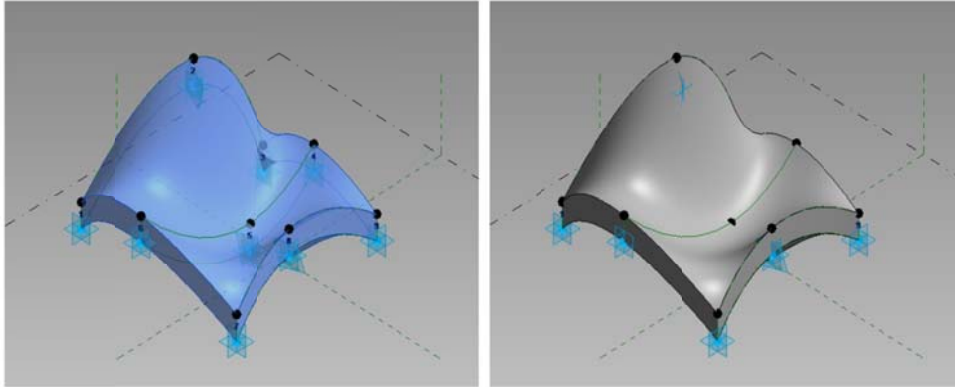


Figura 4.41. Vista de la deformación del panel por cambio de cota de puntos adaptativos de base. A la izquierda se visualiza el componente generado (panel adaptativo curvo) y los puntos adaptativos que lo conforman (9 puntos). Se trata de una familia que irá anidada en la masa general. Elaboración propia con software BIM.

La familia anterior se inserta para que cubra una superficie curva, tomando como referencia los nodos visibles de una superficie con sus puntos adaptativos introducidos por orden. Ver figura.

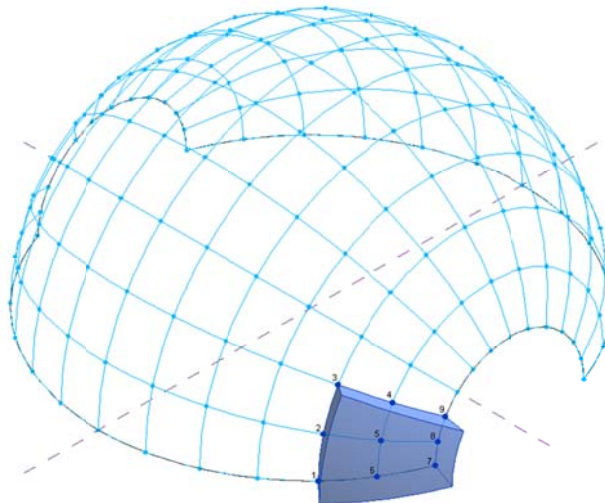


Figura 4.42. Para la inserción del componente creado (panel curvo adaptativo) que irá anidado sobre la masa general, es necesario que esta masa esté dividida con un sistema de rejillas y que sus nodos estén visualizados para que los puntos adaptativos del panel se cosan sobre los nodos y además en el orden establecido por esos puntos adaptativos. Elaboración propia con software BIM.

Una vez introducido el primer panel adaptativo en el orden correcto se seleccionará con el cursor y con la orden "Repetir" el panel se adaptará recubriendo toda la superficie general.

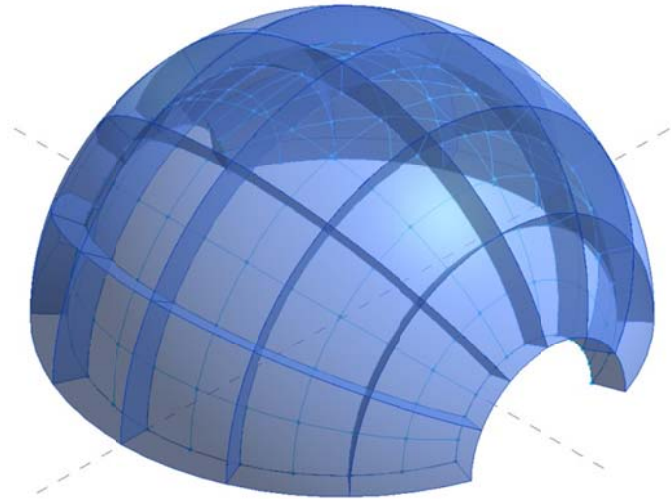


Figura 4.43. Resultado final del recubrimiento de la superficie esférica general con un panel adaptativo curvo con espesor. El componente anidado (panel adaptativo) en la masa de superficie, se ajusta a ella perfectamente. Elaboración propia con software BIM.

4.15. NIVELES DE DEFINICION DE LAS SUPERFICIES DE MASAS

Una superficie cualquiera de una masa conceptual es posible visualizarla con cuatro niveles distintos o grados de definición:

- 1) la superficie original de la masa en el momento mismo de su creación
- 2) la superficie dividida al aplicarle con el comando "Dividir superficie" una división U (horizontal) y V (vertical)
- 3) la superficie con un patrón de rejilla pegado a la división que se haya dispuesto
- 4) la superficie con componentes anidados (paneles adaptativos) que rellenen el patrón de rejilla anterior.

En las figuras siguientes pueden verse los grados de definición comentados.



Figura 4.44. A la derecha Grado de definición 1 superficie de masa original después de su creación. A la izquierda pueden verse las primitivas o líneas básicas que guarda la superficie conformada y que son origen de su generación, se guardan dentro de la masa. Fuente: Autodesk University 2012, AB3555 “Beyond Massing: Conceptual Design Tools in Autodesk Revit Architecture”. David Fano.

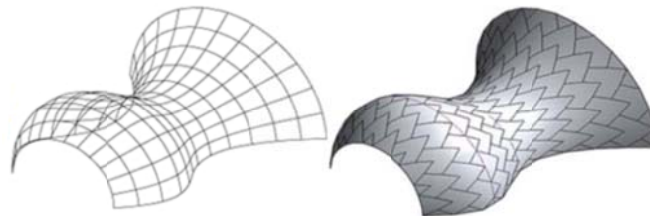


Figura 4.45. Grados de definición 2 y 3. A la izquierda masa dividida por una rejilla en dos direcciones U y V (grado de definición 2). Puede estar dispuesta a distancias fijas o por división en un número entero. A la derecha (grado de definición 3) la superficie con un patrón de división de rejilla. Fuente: Autodesk University 2012, AB3555 “Beyond Massing: Conceptual Design Tools in Autodesk Revit Architecture”. David Fano.

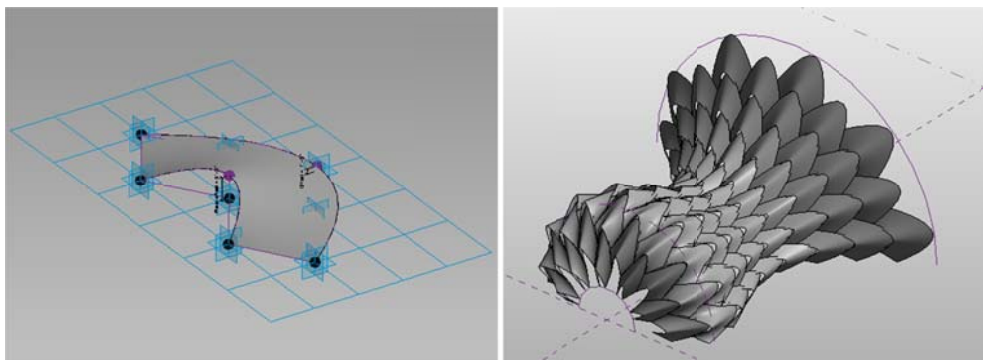


Figura 4.46. A la izquierda componente de masa (panel adaptativo) basado en patrón para anidar en la masa general. A la derecha superficie de masa (grado de definición 4) con componentes anidados en ella. El componente se adapta al patrón de rejilla de la masa general. Fuente: Autodesk University 2012, AB3555 “Beyond Massing: Conceptual Design Tools in Autodesk Revit Architecture”. David Fano.²

² David Fano es socio fundador de CASE, consultoría con sede en Nueva York de diseño computacional y modelado algorítmico generativo, así como desarrollo de aplicaciones de software de modelado personalizadas.

Con la misma superficie de masa general anterior, es posible el cambio tanto del patrón de rejilla asignado a la superficie general como del propio componente adaptativo (panel) que rellenará la rejilla. Pero se establece una correlación entre los dos ya que el patrón de rejilla y adoptado para la superficie general y el patrón de baldosa del componente deben ser coincidentes ya que de otra forma no lo reconocería como propio y no admitiría la anidación del componente adaptativo en la superficie general de la masa.

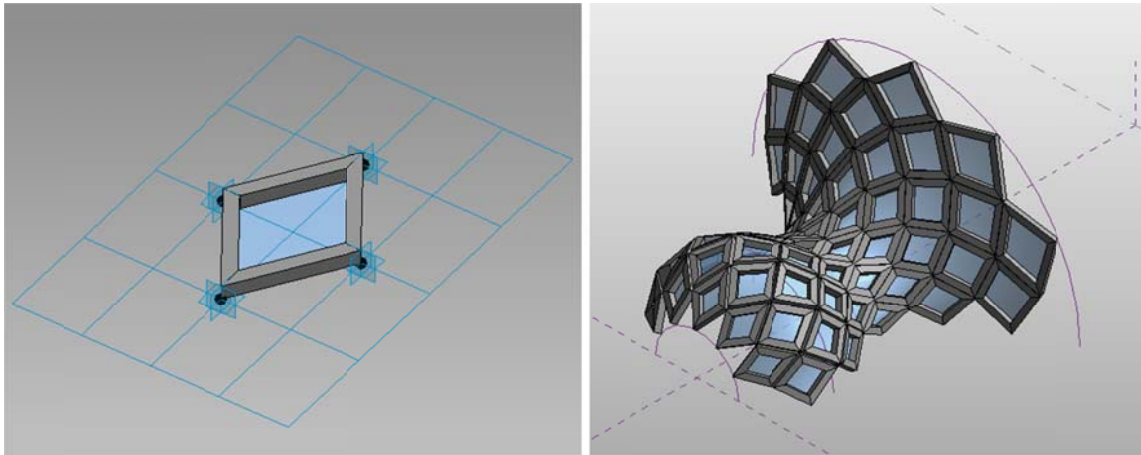


Figura 4.47. A la izquierda componente de masa (panel adaptativo) basado en patrón diferente para anidar en la masa general. A la derecha superficie de masa (grado de definición 4) con componentes anidados en ella. El componente se adapta al patrón de rejilla de la masa general. Fuente: Autodesk University 2012, AB3555 “Beyond Massing: Conceptual Design Tools in Autodesk Revit Architecture”. David Fano.

La división de superficie de masa para aplicar después un componente de patrón vale para cualquier superficie ya sea esta horizontal o vertical o para planos parciales contenidos en la forma de la masa. En el caso de la introducción de componentes de patrón de geometría compleja y con parámetros variables muchas veces función a su vez de otras variables, la parametrización del componente representa un desafío para la correcta definición y modelado que se necesita.

El modelado individualizado del componente adaptativo y todos los elementos que este contenga se realiza con las mismas herramientas y mecanismos de generación que el que se utiliza para modelar una masa general, pero utilizando la plantilla adecuada. También se introducirán todas las incorporaciones de variables paramétricas según lo requiera el comportamiento de la célula adaptativa.

4.16. MODELADO PARAMÉTRICO DE COMPONENTE ADAPTATIVO BASADO EN PATRÓN

Se describe a continuación las fases de modelado de una célula o familia de componente adaptativo basado en patrón para ser insertada en una superficie cualquiera. Los mecanismos de generación de formas utilizados para este modelado son los mismos que brinda el modelado genérico de masas. También su parametrización utiliza los mismos recursos. En el caso presente y dado que se trata de modelar básicamente barras que pasan por puntos, se ha utilizado el barrido partiendo del dibujo de líneas de referencia con ubicación de puntos en esas líneas, donde se reconoce el plano perpendicular a la barra pasando por el punto introducido. Seleccionando ese plano, se inserta en él la sección circular de la barra de que se trate. Seleccionando luego el círculo de sección y la línea o líneas donde este tiene que ser barrido se obtiene la forma sólida.

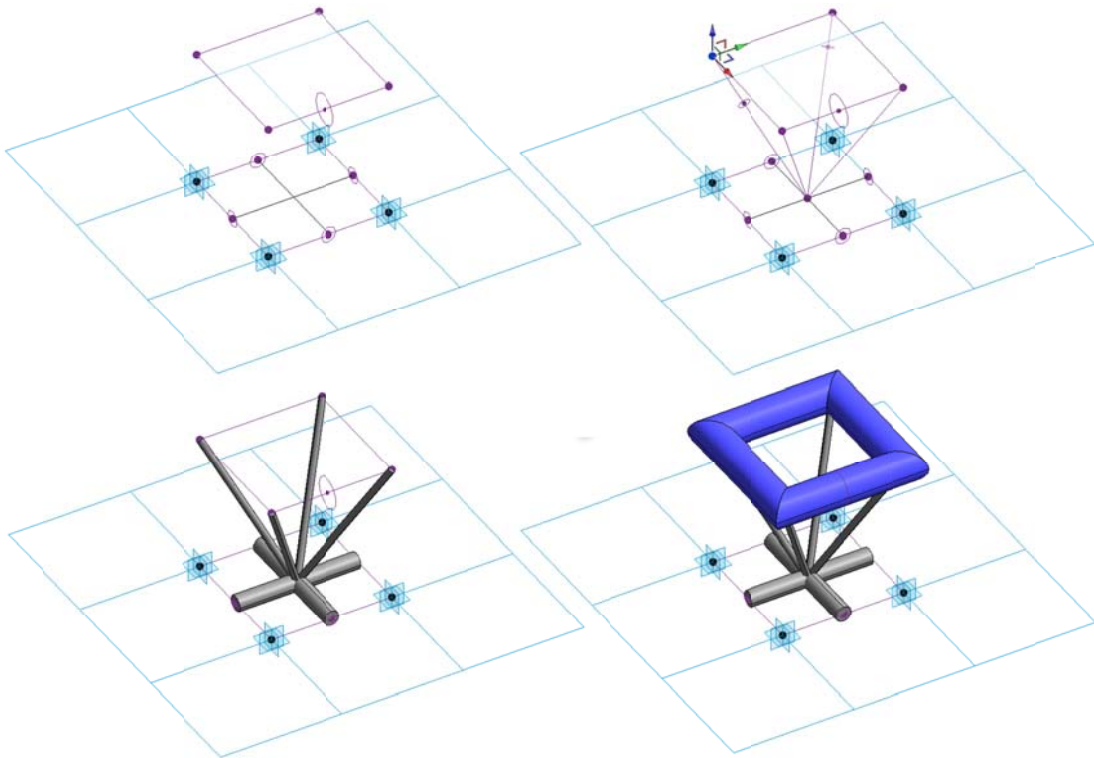


Figura 4.48. Fases de modelado de una célula adaptativa (componente basado en patrón) sobre un patrón de rejilla rectangular, que debe ser el mismo (patrón rectangular) para su cosido que el de división de rejilla de la superficie general donde irá anidado. Elaboración propia con software BIM.

La introducción de parámetros de gobierno, gestión y control de la familia anterior (parametrización) será realizada añadiendo las variables que convengan a cada caso en función de los requerimientos que se persiga en su modelado. En este caso se ha parametrizado el espesor o grosor de la tridilosa y los diámetros de las barras inferior y superior como puede verse en la figura siguiente.

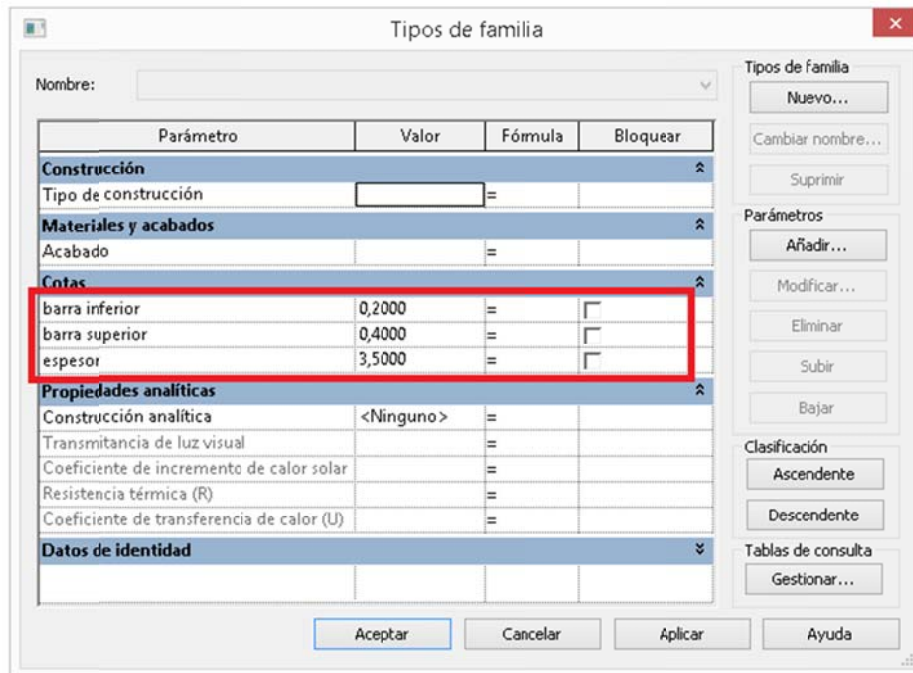


Figura 4.49. Introducción y definición de parámetros de gobierno, gestión y control de la familia (parametrización) en función de los requerimientos que se persigan en el modelado del objeto. Elaboración propia con software BIM.

Las variables introducidas en el objeto a modelar no necesariamente deben ser sólo las geométricas o de forma, sino otras muchas de todo tipo como por ejemplo, materiales, longitudes de las propias barras, peso de las barras en función de sus longitudes y materiales, superficie acristalada del panel superior, costes por superficie, ángulos, curvaturas y un largo etc. Cada variable requerirá de su parametrización adecuada al caso concreto.

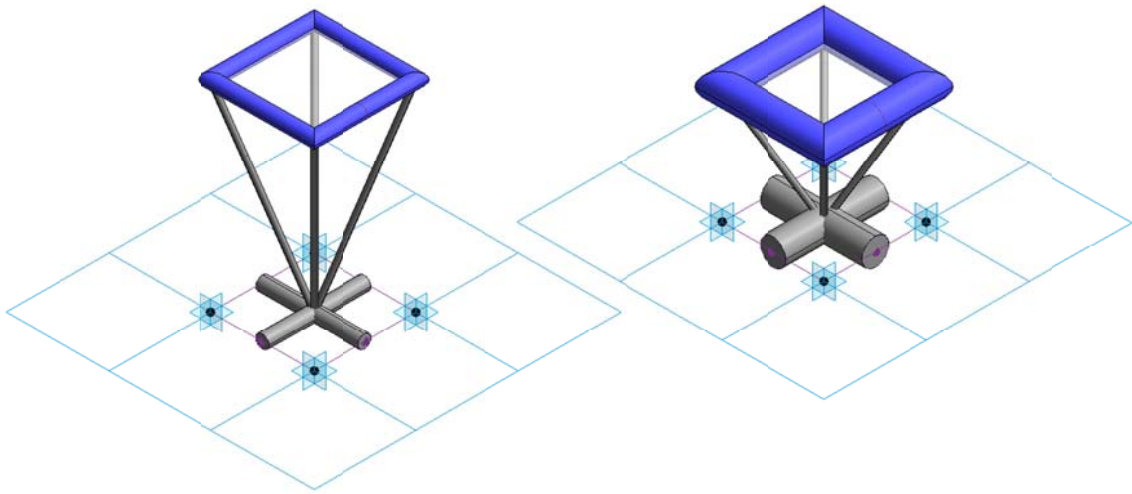


Figura 4.50. Modificación de parámetros de definición de la familia anterior (altura y diámetro de barras superior en inferior). Puede verse como al variar dichos parámetros se modifica automáticamente la familia. Elaboración propia con software BIM.

La familia anterior se insertará anidada en una cubierta de masa realizada al efecto con líneas como la que puede verse en la figura siguiente.

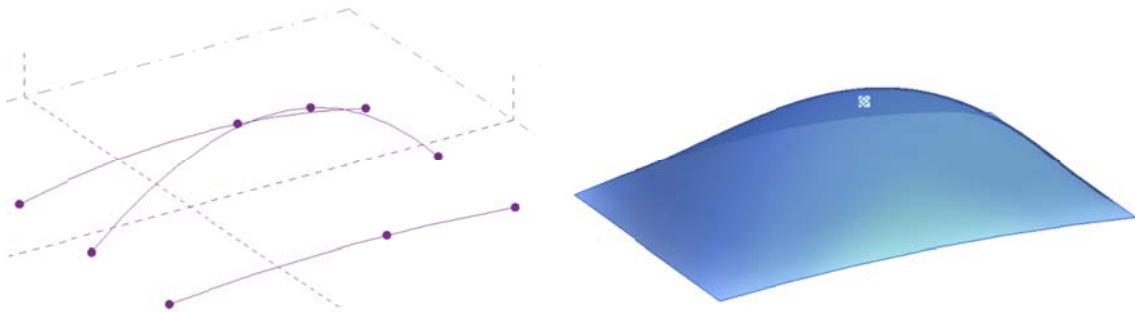


Figura 4.51. A la izquierda líneas 3D contenidas en planos verticales que generan y dan origen a la masa de superficie de la derecha. Esas líneas (primitivas) pueden visualizarse en la masa de superficie cuando se precise, al objeto de poder manipular su generación. Elaboración propia con software BIM.

La superficie de masa anterior (familia genérica de masas) se dividirá aplicando una rejilla para poder aplicar luego en ese patrón (rectangular) un patrón de superficie y se harán visibles sus nodos.

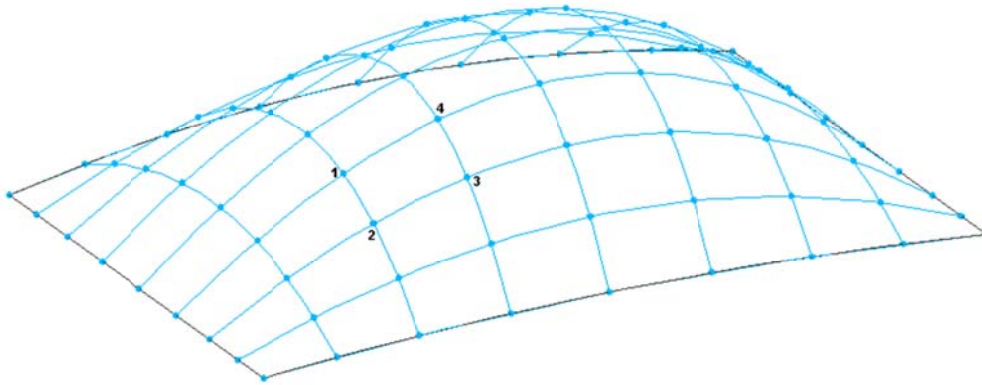


Figura 4.52. Representación de la superficie anterior con aplicación de rejillas de división (patrón rectangular) y visualización de nodos de la rejilla o puntos de intersección de la malla espacial. Elaboración propia con software BIM.

En este estado ya es posible la anidación de la familia creada, en la masa general que dará como resultado el modelo que puede verse en la figura siguiente.

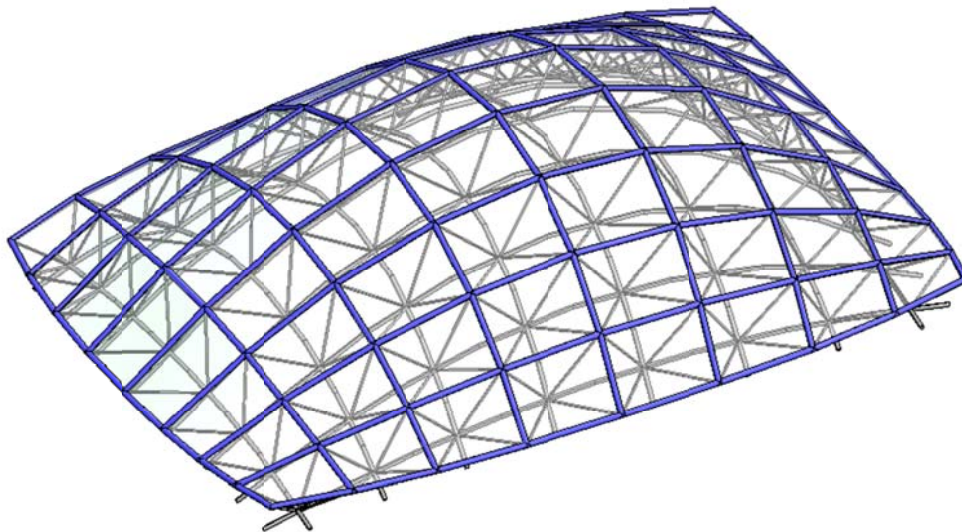


Figura 4.53. Superficie de la masa general con la anidación de la familia anteriormente creada. Debe de haber coincidencia entre la división del patrón de la rejilla general aplicada a la superficie general y el patrón de baldosa con que se ha modelado el componente (panel adaptativo) si no, no se producirá la inserción. Elaboración propia con software BIM.

Es posible generar también la anidación en la superficie de origen (masa general) de células o familias adaptativas de componentes que no estén basadas en patrón como la que se ve en la figura.

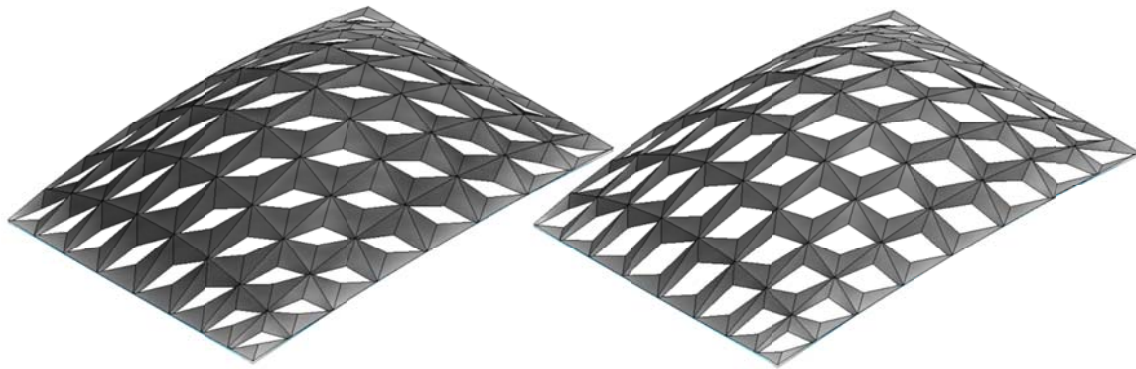


Figura 4.54. Familia o célula adaptativa anidada en la superficie general de la masa. No está basada en un patrón de superficie y su inserción se hace manualmente. La célula formada por puntos adaptativos detecta los nodos (puntos de intersección de la malla de rejilla) adaptándose a ellos. El comando “Repetir” cubre con la familia de componente todas las celdillas de la rejilla. Elaboración propia con software BIM.

En este caso la parametrización de esta familia es mucho más compleja ya que lo que se pretende gobernar es la apertura de un panel más complejo donde intervienen otros parámetros, fórmulas y órdenes condicionales según puede verse en la figura adjunta.

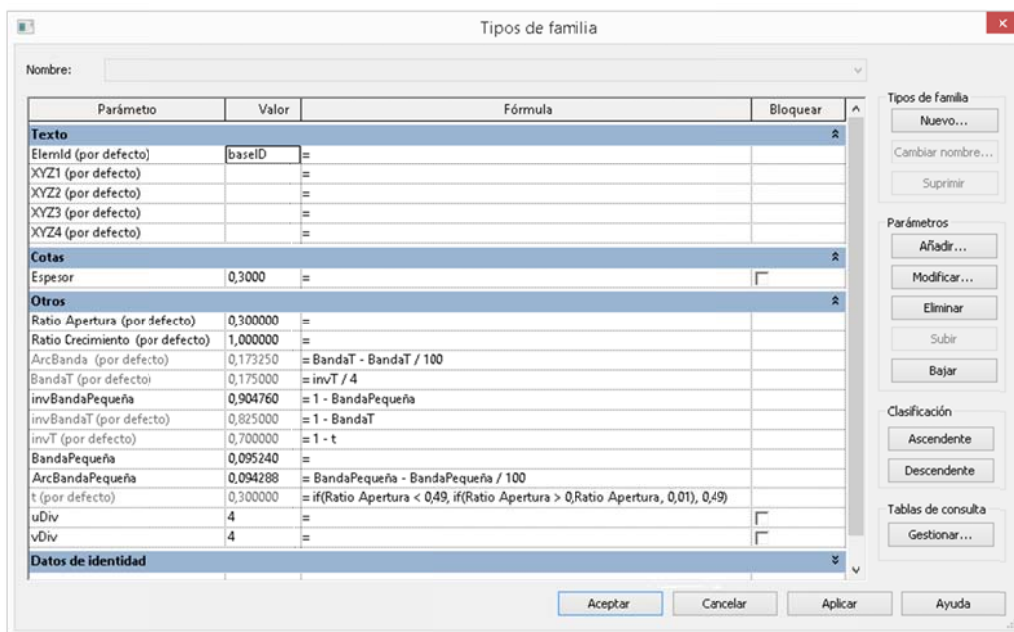


Figura 4.55. Parametrización de la familia insertada. Pueden verse todos los parámetros regulados por dicha familia y sus valores. Estos parámetros incluyen fórmulas matemáticas, operaciones aritméticas y trigonométricas e instrucciones condicionales en fórmulas. Elaboración propia con software BIM.

4.17. PARAMETROS DE INFORME, CONTROL Y GESTIÓN EN FAMILIAS DE COMPONENTES

Las familias de componentes anidadas introducidas en los ejemplos anteriores para recubrir una superficie genérica cualquiera, no presentan por defecto parámetros que informen sobre las características geométricas u otro tipo de información relevante de los paneles obtenidos como resultado de dicho recubrimiento.

Cuando se procede al estudio de las posibles soluciones o alternativas de diseño de componentes de masas, muchas veces se hace necesario obtener información de dichos componentes introducidos para la toma de decisiones. En estos casos Es posible la introducción de parámetros muy diversos en la definición de estas familias, para analizar la geometría, para obtener tablas que ofrezcan información de múltiples variables, por ejemplo variables que midan la deflexión, deformación superficial o curvatura del panel, las longitudes de sus lados y sus ángulos correspondientes que lo conforman, o la dispersión o variación de superficies de los paneles de una serie de paneles respecto de una medida dada. Esta información es muy útil ya que permite reconducir el diseño de los paneles resultantes en función de determinado tipo de requerimientos que puedan considerarse para optimizar el resultado final.

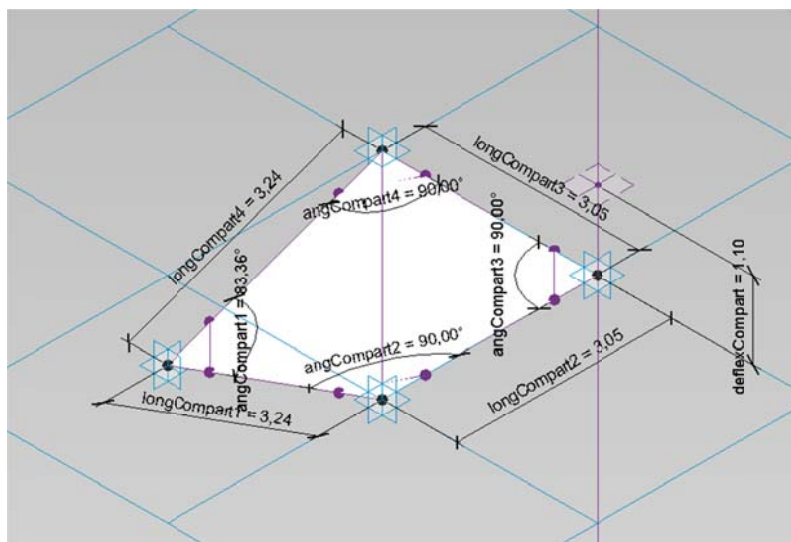


Figura 4.56. Creación en el entorno de trabajo de masas conceptuales, de un panel adaptativo. Se introducen parámetros de informe que proporcionan datos relevantes del propio panel como longitudes de los lados del panel, ángulos que forman los lados, áreas, grado de curvatura o deflexión, etc. Fuente: © Zach Kron.

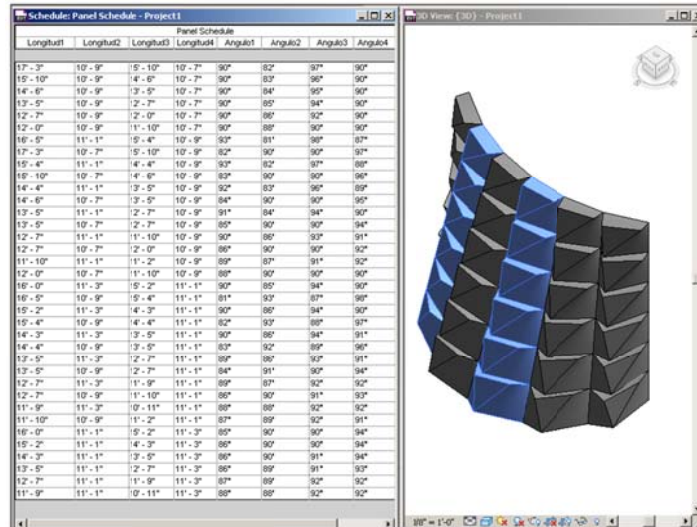


Figura 4.57. Vista de una tabla de planificación dentro del entorno de trabajo de proyectos, donde se obtienen todos los parámetros de informe introducidos previamente como variables paramétricas, en la definición de la familia correspondiente según se necesite. Fuente: © Zach Kron.

También los resultados anteriores pueden obtenerse de forma explícita mediante visualización por códigos de color en función de los rangos de volumen por ejemplo o de otro tipo de magnitud, que ofrecen información codificada de parámetros que se necesiten en cada momento por aplicación de filtros de color aplicados a la forma resultante.

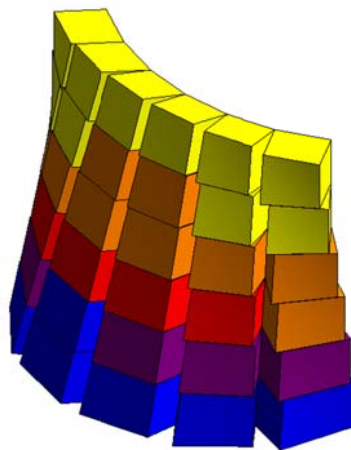


Figura 4.58. Vista obtenida con filtros de selección de color, establecidos por rangos de magnitud de un parámetro de informe introducido previamente en la familia paramétrica, en este caso de volumen de los componentes adaptativos, anidados en una superficie de masas. Elaboración propia con software BIM.

4.18. SUPERFICIES CON ANIDACIÓN DE PATRÓN DE PANEL DE MURO CORTINA

En el siguiente caso se recubrirán con componentes de masa (paneles de muro cortina basados en patrón), las cuatro fachadas de un elemento de masa superficial general (únicamente planos de cierre de fachadas) que podría ser semejante o asimilarse al modelado de la Torre Hearst (Hearst Headquarters) en Manhattan, Nueva York de Norman Foster. En este caso se aprecian unos componentes estándar de paneles de repetición modular en los 4 planos de fachada y unos componentes “especiales” con función distinta de los anteriores que sirven de cosido en las 4 esquinas de los planos de fachada. Hay tres componentes de paneles o células distintas involucradas en su modelado.

- 1) Panel de muro cortina de repetición modular estándar en fachadas (3 puntos adaptativos).
- 2) Panel de cosido de esquinas en dos alturas (cuatro puntos adaptativos).
- 3) Panel de cosido de esquinas triangular (tres puntos adaptativos).



Figura 4.59. Torre Hearst en Manhattan, Nueva York de Norman Foster. Detalle de la composición modular de paneles de muro cortina y resolución de encuentros en las intersecciones de planos de fachada. © Norman Foster

Para modelar los planos de superficie de las cuatro fachadas se partirá del dibujo de líneas en una plantilla de masa general (Masa métrica.rft) para luego proceder a crear la forma sólida mediante una extrusión obteniendo los cuatro planos de fachada. Se creará luego la división de la superficie mediante su selección, para aplicar una rejilla y luego un patrón de superficie. Los patrones aplicados forman parte de dicha superficie y según su forma y requisitos de perímetro requerirán un número concreto de divisiones necesarias de celdas de superficie al aplicarse. Esto se debe tener en cuenta al planificar las divisiones y el diseño de los componentes de patrón en la masa conceptual. Una vez aplicada la división el modelado quedará con muestra la figura.

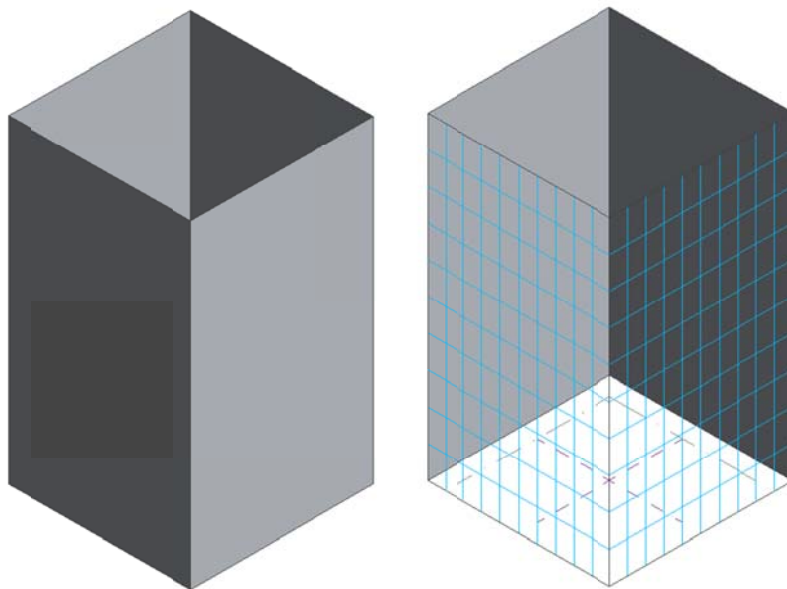


Figura 4.60. Masa conceptual de superficie formada por cuatro planos de fachada. Seleccionando uno o varios de los planos es posible la división de su superficie por rejillas y posteriormente la aplicación de un patrón de superficie de los que vienen preconfigurados por defecto en el selector de tipos. Elaboración propia con software BIM.

Una vez preparada la superficie de masa general será necesario modelar en un archivo diferente para luego anidarlo en ella, el componente adaptativo o panel de muro cortina que estará basado en un patrón de repetición para cubrir automáticamente todas las celdillas de división de superficie general adaptándose a sus nodos o puntos de intersección de la rejilla.

El patrón de rejilla definitivo se elegirá en el selector de tipos de patrón que trae predefinido por defecto el software y que puede verse en la figura siguiente.


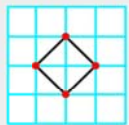

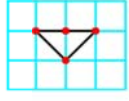

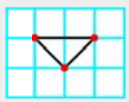
Nombre de patrón	Número de celdas de superficie requeridas	Diseño de patrón
 Romboide ajedrezado	4 (2 x 2)	
 Triángulo (curvado)	2 (1 x 2)	
 Triángulo (plano)	2 (1 x 2)	

Figura 4.61. Diferentes tipos de patrones de rejilla disponibles en el selector de tipos. Pueden introducirse en una superficie previamente dividida. En el caso presente se elegirá el patrón Triángulo (curvado). Fuente: © Revit.

Para modelar el componente del panel se utilizará la plantilla (Panel de muro cortina basado en patrón.rft) que es una familia de componente adaptativo para anidar. Una vez abierta se elegirá una rejilla de patrón de baldosa que sea la misma aplicada a la superficie general donde será anidada para que la reconozca y la integre. Sobre la línea de referencia que une los puntos adaptativos que trae la plantilla se creará una superficie sólida con “Crear forma” y se le asignará un material acristalado que el del panel como se indica en la figura siguiente.

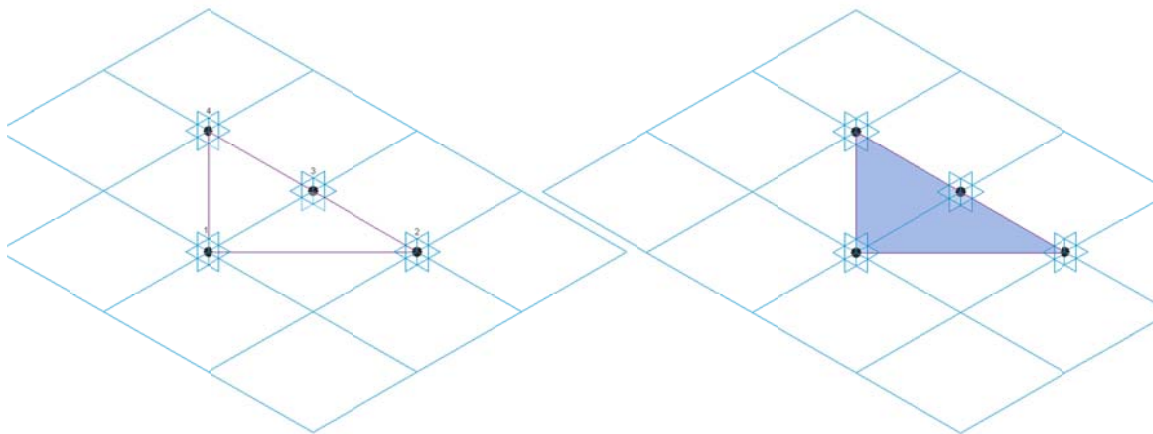


Figura 4.62. A la derecha vista de la plantilla Panel de muro cortina basado en patrón. A la izquierda definición o generación de un componente (panel adaptativo). Se trata de una familia que irá anidada en la masa general. Elaboración propia con software BIM.

En el punto adaptativo 3 será seleccionado el plano perpendicular a la línea de referencia que pasa por él y allí se dibujará un rectángulo que servirá para marcar el perfil del barrido que se realizará a continuación para crear la forma del bastidor del panel, como puede verse en la figura.

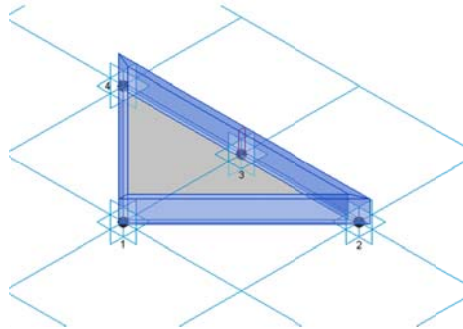


Figura 4.63. Generación del bastidor del panel adaptativo. Se dibuja un rectángulo seleccionando el plano perpendicular a la línea de referencia que pasa por el punto 3. Seleccionando la línea de referencia que une los tres puntos adaptativos y el rectángulo creado, con “Crear forma” se generará el barrido creando la forma. Elaboración propia con software BIM.

Una vez terminado el componente adaptativo del panel se anidará en la superficie general de la masa dando como resultado la representación que aparece en la figura.

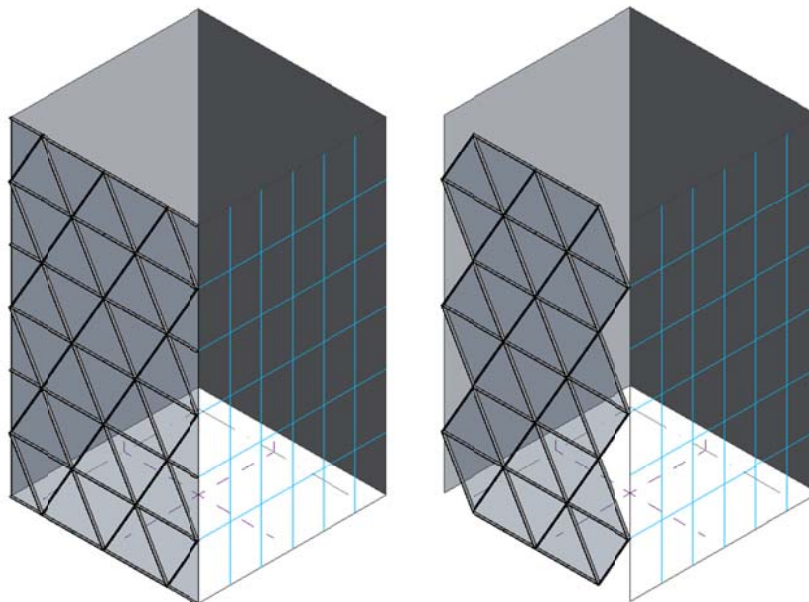


Figura 4.64. A la izquierda anidación del componente de panel adaptativo. A la derecha eliminación de los paneles de esquina de la masa general, para sustituirlos por otros de cosido de esquinas. Elaboración propia con software BIM.

En la figura anterior puede verse que han sido borrados los componentes anidados de las esquinas para sustituirlos por otros que “cosan” esas esquinas ya que son distintos. Se hará lo mismo que se ha hecho hasta aquí con el resto de los planos de fachada dando como resultado la vista del gráfico.

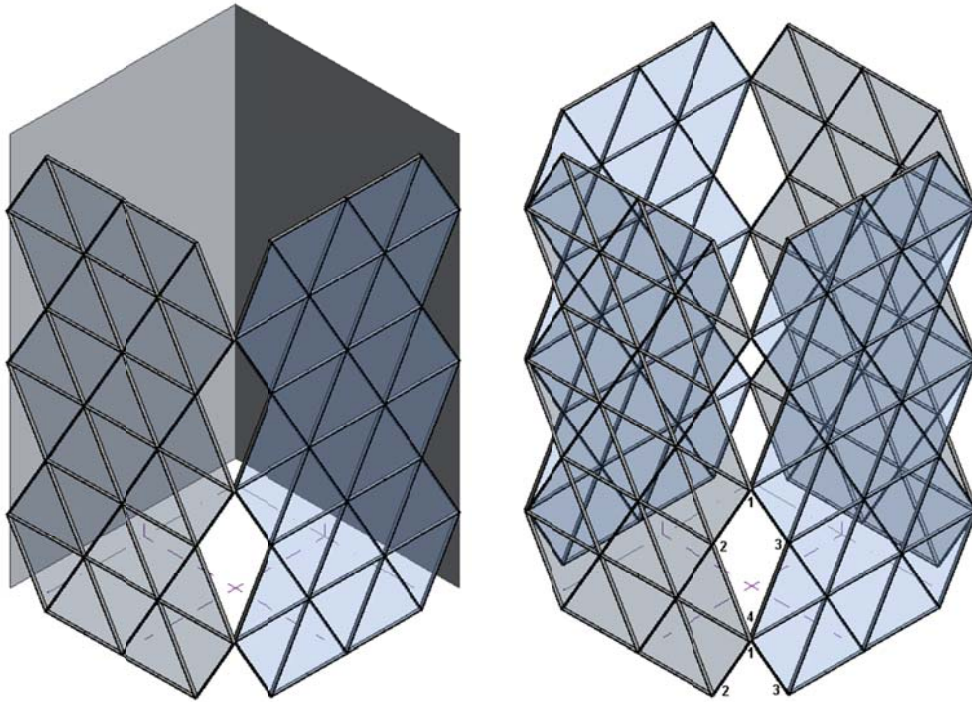


Figura 4.65. A la izquierda anidación de los paneles de dos fachadas borrando los de las esquinas. A la derecha anidación de los paneles completos de las cuatro fachadas salvo los de esquina. Elaboración propia con software BIM.

COMPONENTES DE BORDES DE RELLENO EN LAS ESQUINAS DE LA MASA GENERAL

Dentro de la definición de los paneles de cubrición, tienen un tratamiento diferenciado los paneles que componen el cierre de las cuatro esquinas de la masa general, ya que son paneles que no están en el mismo plano que los generales de fachadas y no les son de aplicación esos patrones de rejilla. Estos dos paneles son los que cierran las esquinas de la masa general y sirven de unión de dos fachadas de esquina. Su configuración es la que aparece en la figura siguiente y no están basados en patrón, por eso se crearán con la plantilla de modelo genérico adaptativo.

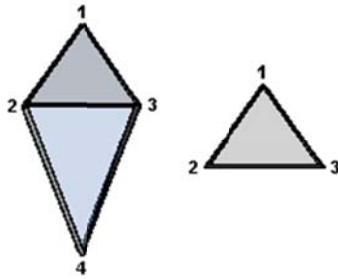


Figura 4.66. Paneles para cierre de esquinas. En la derecha el formado por 4 puntos y dos planos que comparten arista común (2-3) abarcando dos altura en la superficie de masa general. A la derecha panel de esquina triangular y de un solo plano y abarcando una altura en la superficie de masa general. Elaboración propia con software BIM.

Para realizar el panel de esquina que abarca dos alturas se partirá de una plantilla de masa adaptativa (Modelo genérico métrico Adaptativo.rft). Se introducirán 4 puntos adaptativos en el plano horizontal de referencia. Se dibujarán dos bucles cerrados de líneas de referencia que contorneen dos triángulos. Uno pasando por 1-2-3-1 y otro pasando por 2-3-4-2. Luego como en el caso anterior se seleccionarán cada uno de los bucles de líneas dibujados y con “Crear forma” se generarán sendas superficies de masa a las que se asignará un material acristalado. Y también de la misma forma se procederá con cada uno de los dos triángulos conformados, para modelar los paneles como se indica en la figura. Puede verse en la figura como si se eleva el punto adaptativo que conforma el vértice 1 se forman dos planos de arista compartida común.

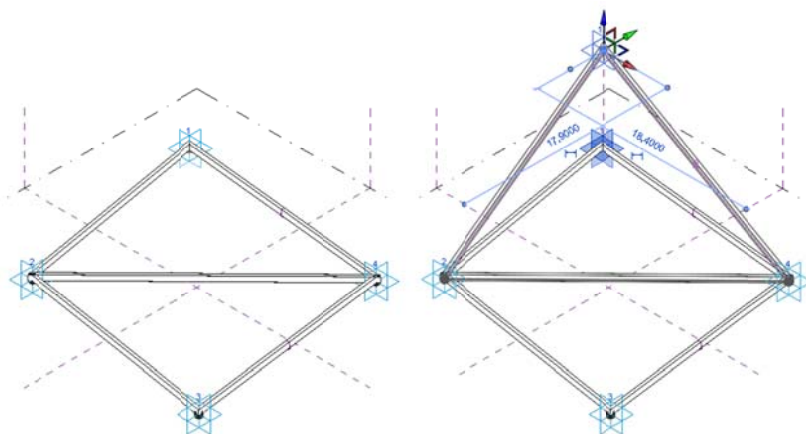


Figura 4.67. A la izquierda definición o generación de un componente (panel adaptativo) formado por cuatro puntos adaptativos que conformarán el panel de esquina de 4 puntos. A la derecha comprobación de que al elevar el punto adaptativo se forman dos planos que comparten la línea común de intersección 2-4. Esta familia adaptativa irá anidada en la masa general. Elaboración propia con software BIM.

Para terminar se modelará eligiendo la misma plantilla que el panel anterior, el panel triangular de esquina que falta, de la misma forma ya referida.

Las dos familias anteriores se insertarán anidadas en la superficie general únicamente en definición de las cuatro esquinas de la masa general, teniendo en cuenta el orden de numeración de los puntos adaptativos que han sido dispuestos en el modelado del panel adaptativo. El resultado es el que puede verse en la figura y que completa su modelado.

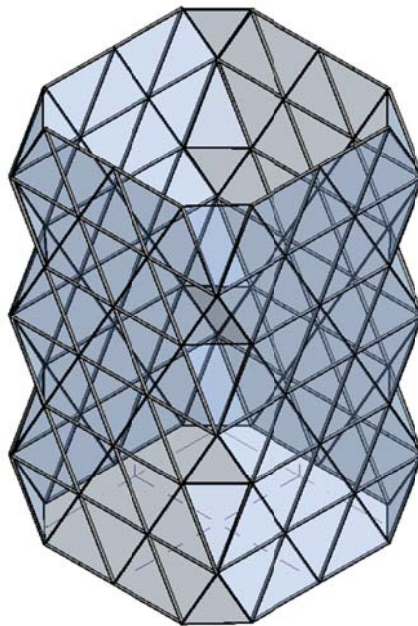


Figura 4.68. Cubrición completa de la masa general con tres tipos diferentes de paneles. Uno conformado por una rejilla de patrón de baldosa (Triángulo curvado) de tres puntos para los paneles de los planos de fachadas que no configuran las aristas de las esquinas. Y dos paneles más para configurar las esquinas uno de tres puntos plano y otro de cuatro puntos, conformado por dos planos con arista común de intersección. Elaboración propia con software BIM.

MODIFICACIÓN DE COMPONENTES PATRÓN DE FORMA INDIVIDUALIZADA

Es posible en la masa anterior que viene ya dispuesta con un patrón de rejilla y unos paneles cualesquiera proceder a la sustitución individualizada de ejemplares diferentes. Para ello se seleccionará el panel que se quiera situándose con el cursor encima del deseado y con la tecla de tabulador seleccionar un componente o componentes para borrarlos y sustituirlos por otros, o

cambiar todo el patrón de rejilla y seleccionar otro. El nuevo componente de patrón elegido reemplazará a los componentes inicialmente seleccionados.

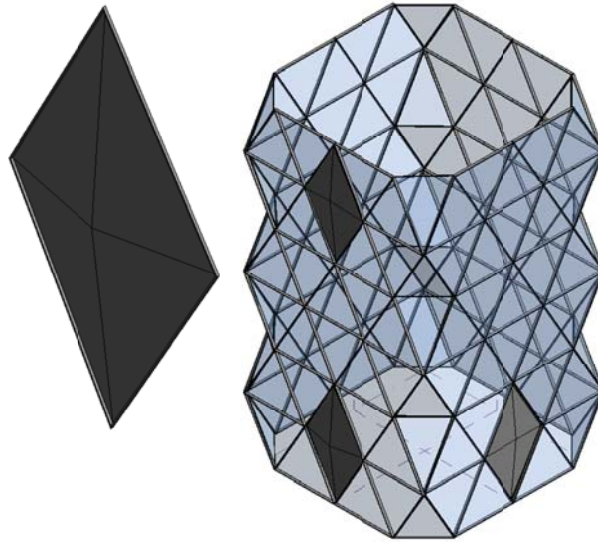


Figura 4.69. Sustitución de paneles de forma individualizada por otros de tipo diferente. A la izquierda se ve el panel que se introducirá en sustitución de los eliminados. A la derecha el resultado del cambio. Elaboración propia con software BIM.

4.19. COMPONENTE DE MASA ADAPTATIVO LINEAL, VIGA SOBRE SUPERFICIE

Hay veces que es necesaria la introducción de elementos lineales adaptativos y no superficiales sobre los límites de una superficie como por ejemplo vigas o pilares y que puedan repetirse con un espaciado variable. En estos casos las técnicas instrumentales a utilizar para resolver el problema varían de lo anteriormente expuesto. Se expondrá el caso de la creación de un elemento lineal adaptativo (una viga de forma cualquiera) que se ajuste a los puntos nodales de una superficie general cualquiera (en concreto a una superficie alabeada), adaptándose dichos elementos lineales que se introduzcan a la superficie.

Se modelará primero la superficie alabeada general con una plantilla de familia de masa genérica (Masa métrica.rft). Para ello se crearán tres planos más sin contar con el plano Frontal/Posterior ya existente en la plantilla, paralelos a él y por delante. En cada uno de ellos se dibujarán sendas líneas splines (como líneas de referencia) que son las que conformarán la superficie alabeada

general. Se dispondrán a continuación dos planos más, perpendiculares a los anteriores y a un lado y otro del plano Izquierda/Derecha existente también en la plantilla, donde se dibujarán en cada uno de ellos una línea horizontal de referencia a distintas alturas según queda reflejado en la figura adjunta.

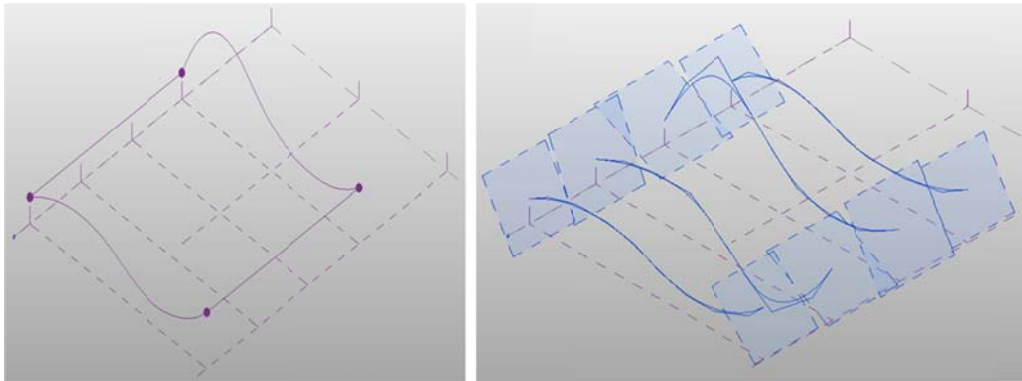


Figura 4.70. A la izquierda disposición de las líneas splines (líneas de referencia) y construcción auxiliar. A la derecha el conjunto dispuesto con las líneas curvas (splines de referencia) que dará lugar a la superficie de masa general. Elaboración propia con software BIM.

Las líneas de Referencia (splines) dibujadas se seleccionarán, para a través de ellas crear la masa de superficie, dando como resultado la superficie que puede verse en la figura siguiente.

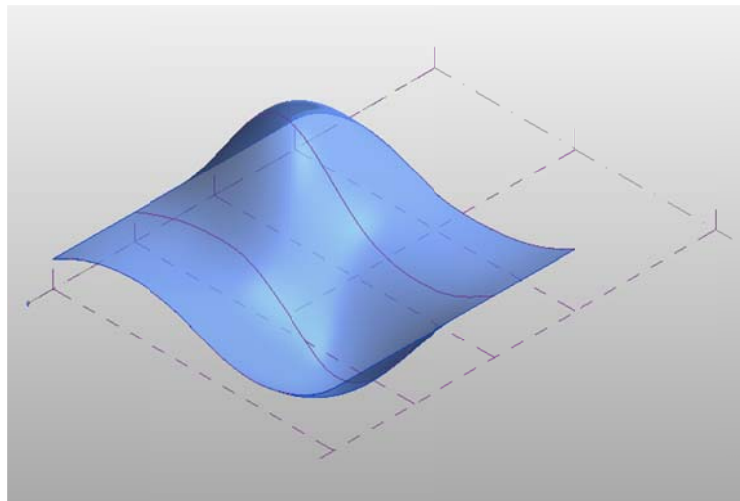


Figura 4.71. Masa de superficie general creada con las cuatro líneas curvas splines de referencia anteriores. Elaboración propia con software BIM.

La superficie obtenida se dividirá con una rejilla que por defecto tendrá divisiones $U=10$ y $V=10$.

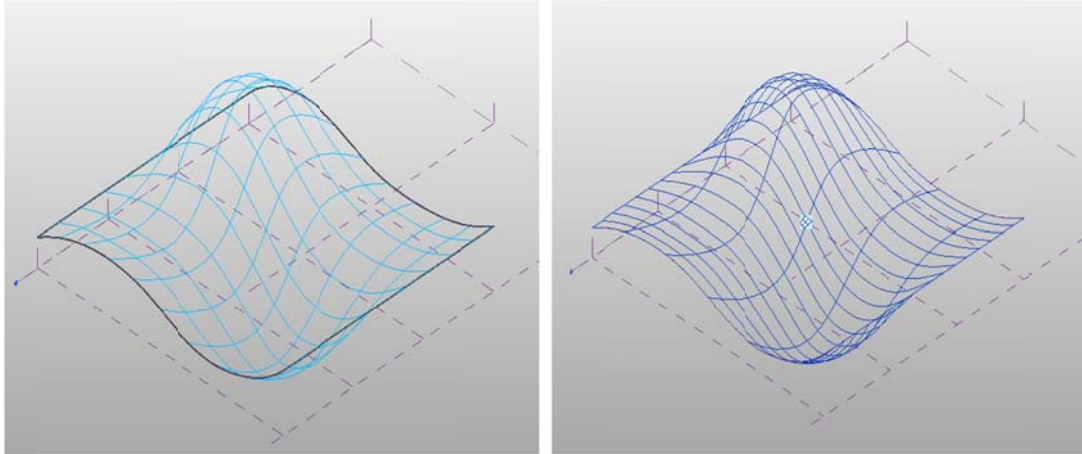


Figura 4.72. A la izquierda división de la superficie resultante por rejillas con divisiones $U=10$ y $V=10$. A la derecha cambio de divisiones en la rejilla ahora con $U=18$ y $V=6$. Elaboración propia con software BIM.

Se harán visibles en la superficie anteriormente creada la representación de los nodos de la rejilla tal como queda reflejado en la figura siguiente.

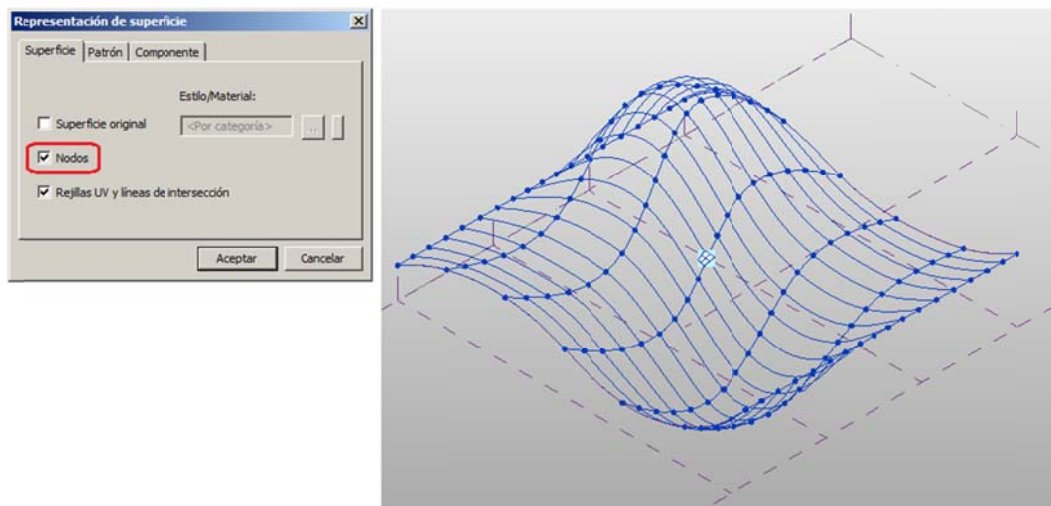


Figura 4.73. A la izquierda cuadro de diálogo de selección, para que en la representación de la superficie sean visualizados los nodos de división de la rejilla. A la derecha representación gráfica de la superficie generada con los nodos de la rejilla de división utilizada. Elaboración propia con software BIM.

Una vez terminada la familia anterior se gravará y se abrirá otra plantilla (Modelo genérico métrico Adaptativo.rft) donde se creará el elemento adaptativo lineal estructural (viga) basado en la colocación de 7 puntos adaptativos sobre el plano horizontal existente en dicha plantilla. El resultado es el que puede verse en la figura.

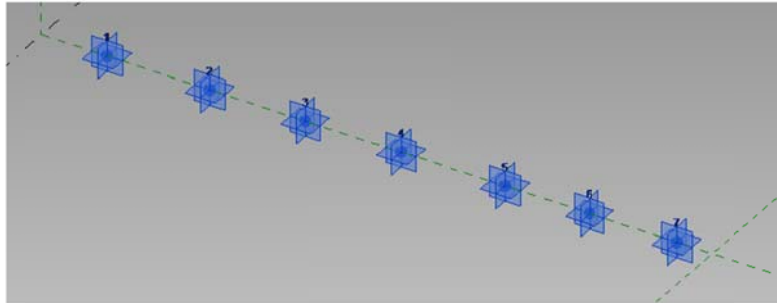


Figura 4.74. Creación de 7 puntos de referencia de numeración correlativa situados en el plano horizontal, coincidentes con la división de rejilla en una de las direcciones la dirección V = 7. Elaboración propia con software BIM.

En cada punto adaptativo creado se dibujará un rectángulo de dimensiones 700x2800mm. Para ello antes de dibujarlo se seleccionará el plano del dibujo en el triedro de referencia de cada punto y luego se dibujará en él como se indica en la figura siguiente.

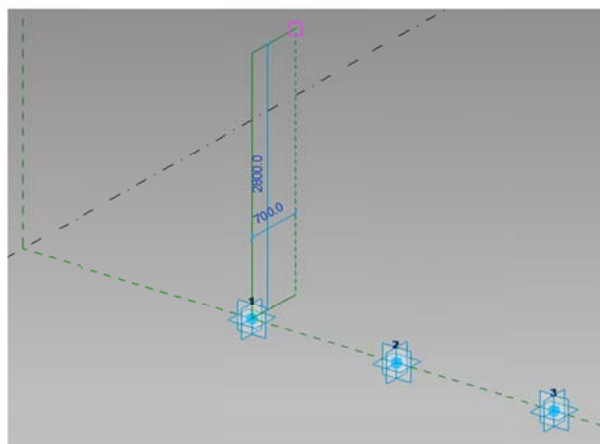


Figura 4.75. Selección en el punto adaptativo del plano sobre el que se va a trabajar y luego se dibuja en él, el rectángulo de dimensiones 700x2800mm. Será la sección rectangular transversal de la viga lineal a introducir. Elaboración propia con software BIM.

Se procede de igual manera con el resto de los puntos adaptativos, hasta tener dibujados con líneas de referencia los rectángulos en cada punto. Se seleccionan todos ellos y con el comando “Crear forma” se obtendrá la masa sólida de la viga adaptativa tal como muestra la figura.

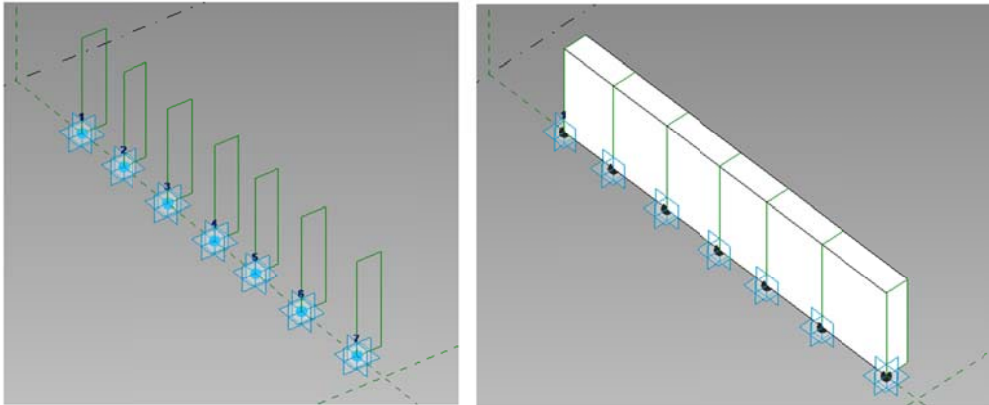


Figura 4.76. A la izquierda dibujados en cada punto adaptativo un rectángulo con líneas de referencia e iguales dimensiones (700x2800mm). A la derecha forma creada con los 7 rectángulos. Elaboración propia con software BIM.

Al seleccionar uno de los puntos adaptativos de la familia creada se visualiza de forma automática unos ejes de coordenadas generales con tres flechas. Arrastrando con el cursor la flecha azul hacia arriba puede verse como el punto adaptativo se desplaza y con él también se deforma la viga en ese tramo. Esta manifestación es indicativa de que la parametrización funciona y ha sido realizada de forma correcta.

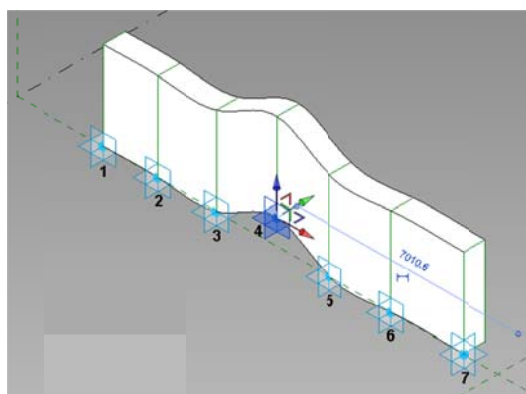


Figura 4.77. Comprobación del comportamiento de la familia generada. Al desplazar y arrastrar con el cursor un punto adaptativo de la viga en dirección vertical, esta se deforma. Elaboración propia con software BIM.

Se seleccionarán ahora todos los puntos adaptativos de la familia creada y dentro de las propiedades de esos puntos adaptativos en “Orientación” se seleccionará la opción de Vertical al colocar. De esa manera los rectángulos de los puntos adaptativos del elemento lineal de la familia, aparecerán dibujados verticalmente a los nodos de la superficie de la inserción. Ver figura y opciones del cuadro de “Propiedades”.

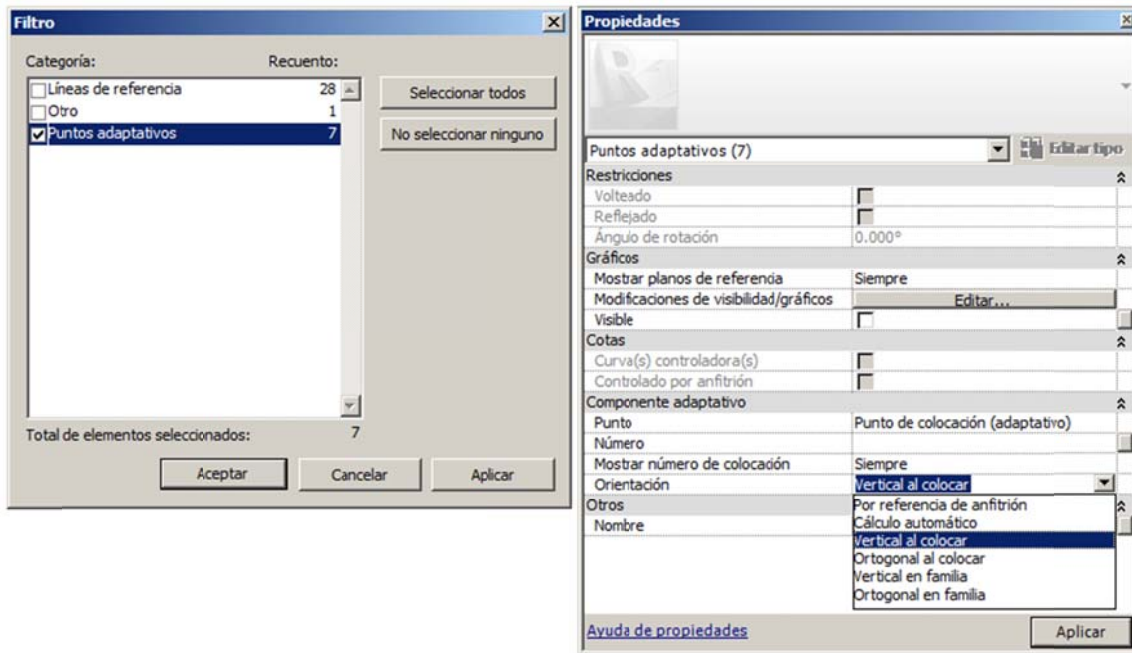


Figura 4.78. A la izquierda filtro de selección de “Puntos adaptativos” para asignarles a todos ellos dentro de la propiedad Orientación (vista derecha) la opción “Vertical al colocar”. Elaboración propia con software BIM.

Con la familia anterior ya modelada se gravará, para a continuación proceder a su inserción y anidamiento dentro de la familia de masa general inicial (superficie alabeada). Esta inserción deberá hacerse siguiendo el orden en los puntos adaptativos en los nodos de la superficie. Se empezará por el punto izquierdo y se seguirá por orden en los nodos de la rejilla en dirección V=6 (son 7 nodos coincidentes con los 7 puntos adaptativos de la familia). Ver figura siguiente.

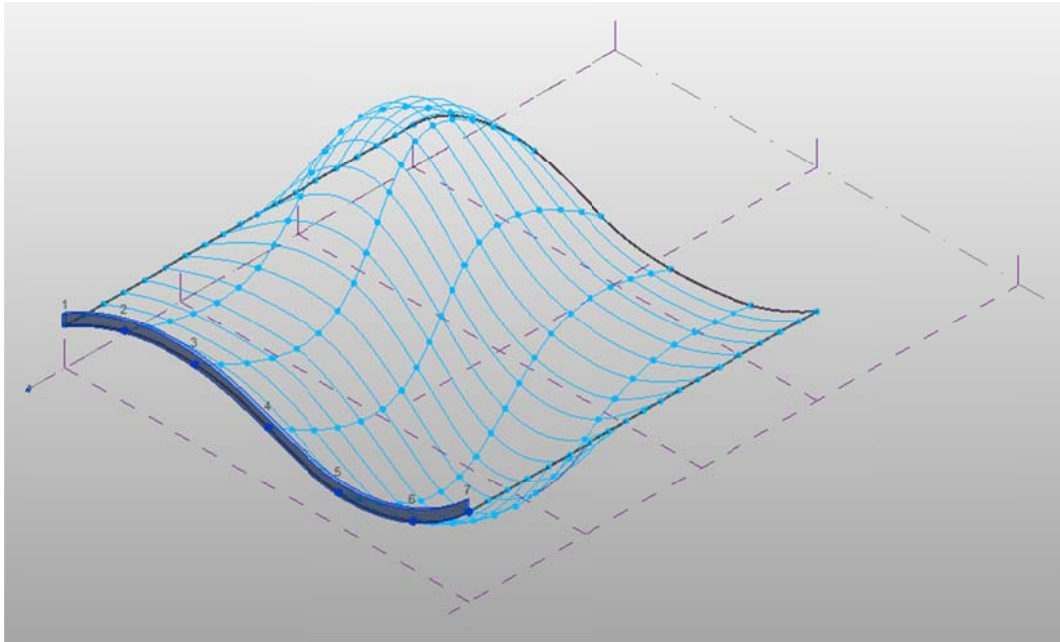


Figura 4.79. Inserción en la masa general de la familia adaptativa de 7 puntos que quedará anidada en ella cosida en los nodos de la dirección V de la rejilla de división de superficie. Elaboración propia con software BIM.

La familia adaptativa generada aparece representada en el dibujo sobre los nodos de la rejilla de superficie, hacia arriba y en vertical tal y como se había creado, adaptándose sus puntos a los nodos de rejilla de la superficie alabeada.

Al hacer clic en la familia adaptativa introducida en el dibujo esta queda resaltada apareciendo en ella sus puntos adaptativos numerados. Con el comando “Repetir” se consigue su réplica en el resto de líneas de la misma dirección de la rejilla existente y por los puntos de sus nodos. Si se quisiera eliminar del dibujo, alguno de sus componentes adaptativos repetitivos, posicionándose con el cursor encima del elemento adaptativo de que se trate y haciendo clic en la tecla tabulador este quedará remarcado. Volviendo a clicar con el ratón quedará seleccionado y pulsando en la tecla suprimir (SUPR) será eliminado.

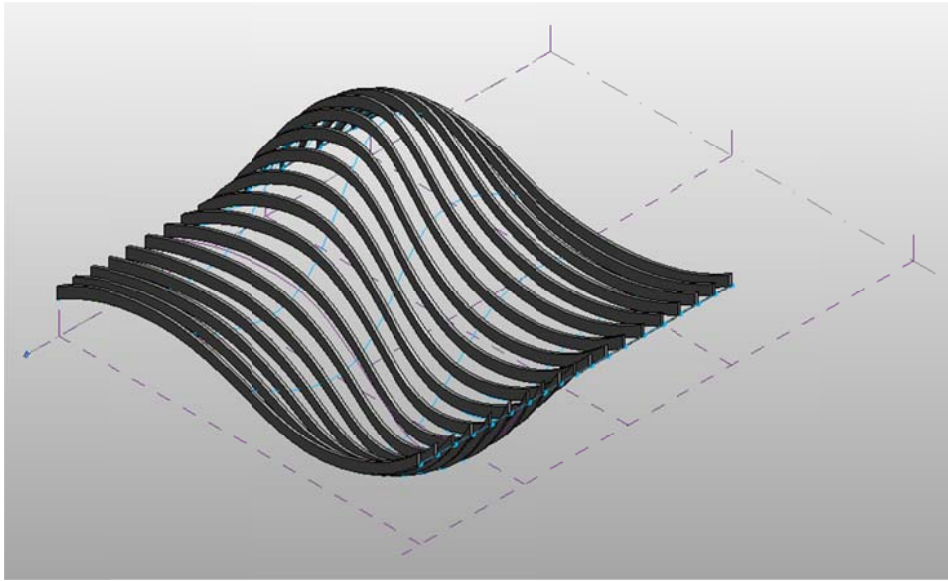


Figura 4.80. Vista de conjunto con la anidación y repetición de la familia de componente adaptativa (viga de sección rectangular) en la superficie de masa general. Elaboración propia con software BIM.

Procediendo de igual manera en cada uno de los 7 puntos adaptativos, pero esta vez dibujando en sus planos de trabajo círculos con centro en esos puntos y todos ellos con el mismo diámetro se obtendrá la familia que aparece en la figura (viga de sección circular).

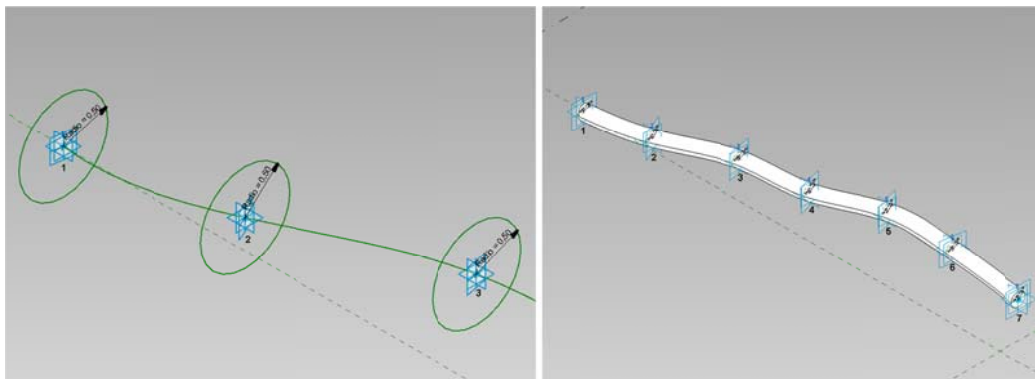


Figura 4.81. A la izquierda círculos con centros en puntos adaptativos y radio como variable paramétrica y líneas de referencia. A la derecha generación de la masa (viga de sección circular). Elaboración propia con software BIM.

De igual manera que se ha procedido en el caso anterior pero esta vez dentro del cuadro de diálogo de Propiedades, para cada uno de los puntos adaptativos se elegirá dentro de "Orientación" la opción de "Ortogonal en familia" para que las secciones transversales circulares

definidas en cada punto adaptativo se mantengan ortogonales en relación a las líneas que siguen los nodos de la superficie general. Se obtendrá el modelo que puede verse en la figura.

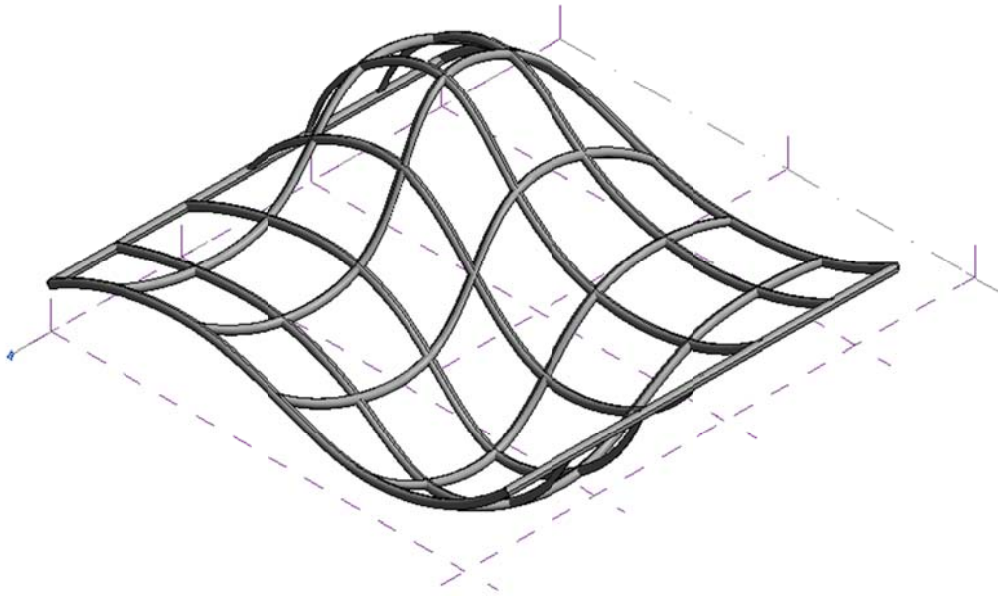


Figura 4.82. La misma superficie alabeada inicial cambiando la familia anidada anterior por la última modelada (viga de sección circular adaptativa), se obtiene el modelo que puede verse en la figura. Elaboración propia con software BIM.

4.20. ELEMENTO DE MASA REPETITIVO EN DIVISIONES DE LINEA

Se ha visto cómo las familias de masas de componentes pueden anidarse para recubrir por repetición una superficie de otra familia de masa más general donde se agrupan más componentes para rellenar las celdillas de la rejilla y dar como resultado modelos de objetos repetitivos más complejos. También se ha visto en el apartado anterior el recubrimiento de una superficie general de masas por un componente lineal de masa (viga) siguiendo la trayectoria de puntos particulares de cruce de nodos de la superficie general. Ahora se verá la repetición de un componente adaptativo (soporte) a lo largo de puntos de una línea dividida en su trayectoria para dar como resultado modelos más complejos.

Los componentes de masa pueden repetirse tomando como referencia una o varias líneas (no es necesario que sean planas) siguiendo sus trayectorias marcadas y quedando fijos, en puntos de división establecidos al efecto mediante la introducción de marcación por nodos de división. Estas líneas base en el espacio serán tomadas como bordes geométricos formas ya existentes que posteriormente serán divididas por nodos que servirán como elementos anfitriones para alojar en ellos componentes adaptativos. La división puede hacerse añadiendo intersecciones de plano.

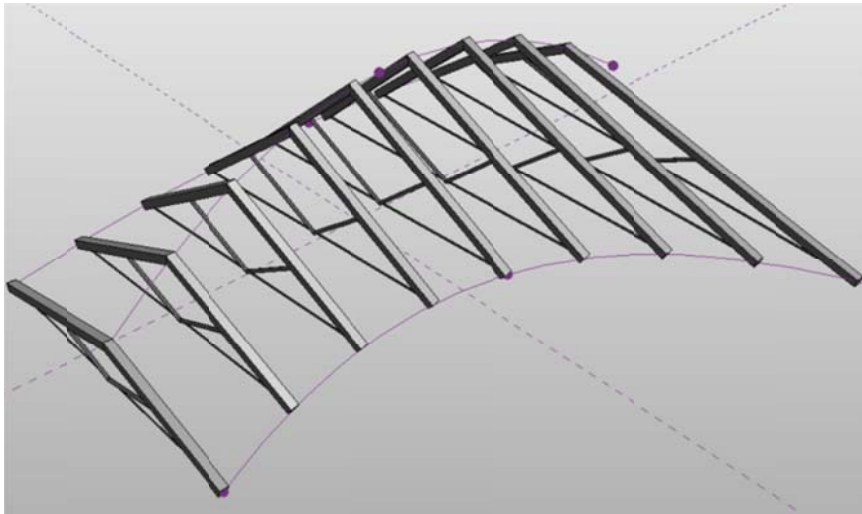


Figura 4.83. Repetición de una familia de componentes (cercha adaptativa) en los nodos de división de líneas situadas en el espacio. Esta familia al igual que la anterior irá anidada en la masa general. Elaboración propia con software BIM.

En el caso presente se generará un componente de masas que será un elemento de soporte o pilar estructural con forma singular (hipérbola) y sección variable. Este soporte será repetido 16 veces utilizando como líneas de trayectoria dos círculos situados en planos horizontales paralelos que serán divididos por nodos interiores que dividan al círculo un número de veces (16) en partes iguales. Esta división en partes iguales será introducida como variable paramétrica, para poder generar el número de divisiones deseadas y con ello el de pilares asociados a esas divisiones. Se pretende generar utilizando esta técnica el modelado de la Catedral de Brasilia (Nossa Senhora Aparecida 1958-1970) de Oscar Niemeyer. Posteriormente se modelará el hiperboloide de revolución que cierra el espacio conformado por los 16 soportes estructurales.



Figura 4.84. Fotografía de la Catedral del Brasilia (Nossa Senhora Aparecida) de Oscar Niemeyer. Fuente: <<http://inarquitectura.blogspot.com.es/2011/07/catedral-de-brasilia-de-oscar-niemeyer.html>> Acceso en: 02 nov. 2015.

Primero se definirá la línea de paso por puntos de la hipérbola que servirá de guía para ubicar en su contorno las secciones transversales del elemento estructural (pilar) que tomarán como base 5 puntos de referencia. Esa línea tendrá como referencia otra línea vertical con dos puntos adaptativos en sus extremos que son los que servirán para su hospedaje en las circunferencias superior e inferior de referencia que serán divididas en un número de partes iguales para su ubicación y repetición en ellas.

A continuación se crearán las secciones transversales (5 en total) que son variables, más gruesas en la zona central y superior y adelgazando en las zonas de sus extremos. Para ello se creará otra familia donde se modelarán tres ejemplares de la sección variable: una pequeña otra mediana y otra grande. Se anidarán en la anterior en los puntos de referencia indicados en la hipérbola y repartidos según las variables “Parámetro de curva normalizado” y “Medir desde inicio” tal como se indica en las figuras siguientes.

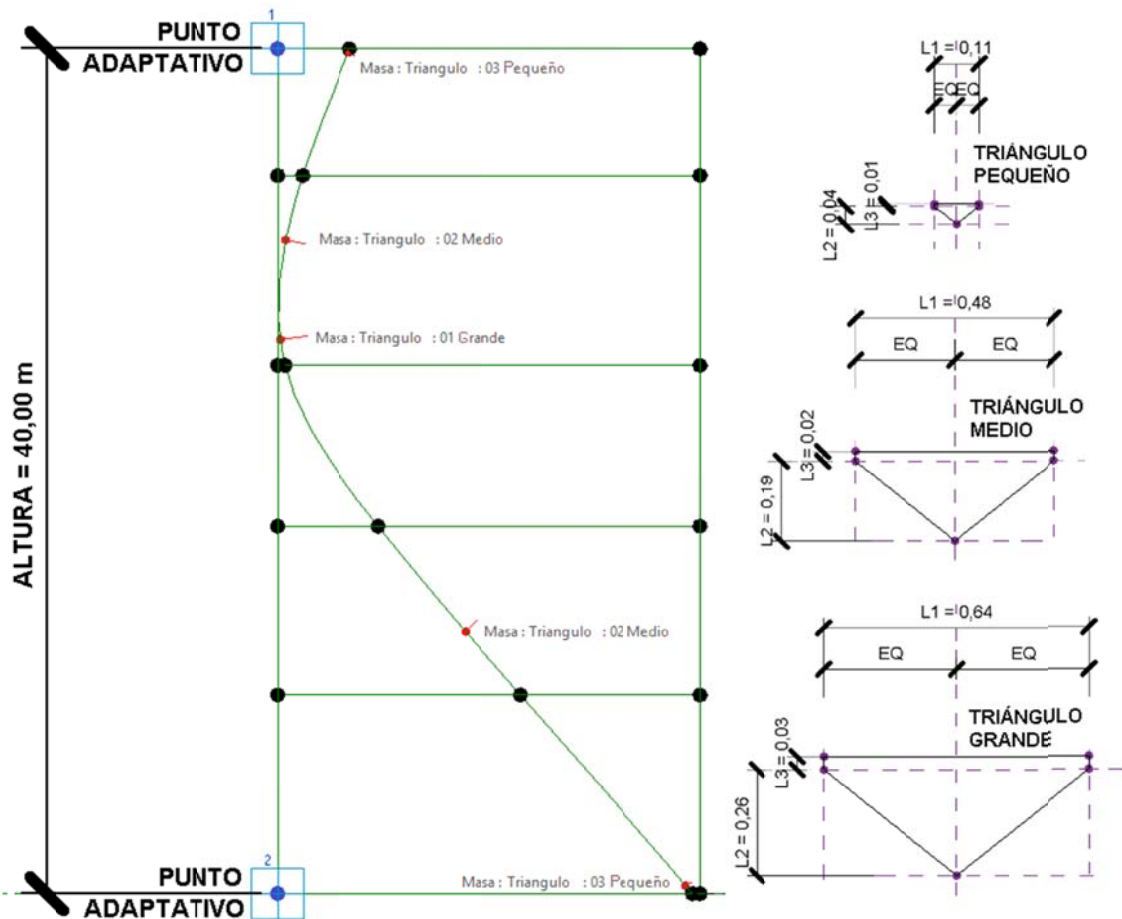


Figura 4.85. A la izquierda definición de la hipérbola mediante puntos y líneas de referencia. Se introduce una recta tangente vertical de posición, con dos puntos adaptativos. También se incorporan 5 puntos de referencia que introducen secciones transversales variables (pequeña, media y grande). A la derecha definición de esas secciones mediante una familia anidada que incluye tres perfiles de esas secciones. Elaboración propia con software BIM.

Las secciones del pilar son variables a lo largo de su longitud, siendo más reducida en el inicio de sus dos extremos y más gruesa a medida que se acerca al eje horizontal de la hipérbola (vértice). Los 5 puntos de referencia introducidos cuando se seleccionan con el cursor dejan resaltado un plano perpendicular a la línea pasando por el punto. Se seleccionará dicho plano y en él se anidará la sección del perfil que corresponda (pequeña, media o grande) como puede verse en la figura siguiente.

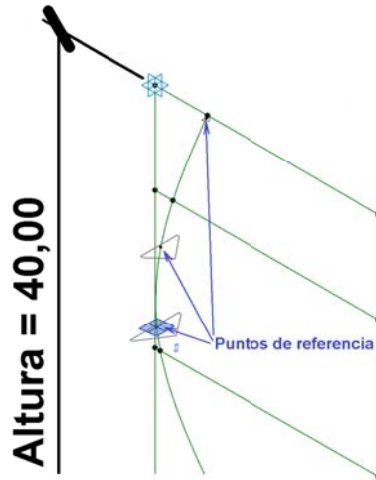


Figura 4.86. Detalle de la inserción de puntos de referencia dispuestos en la línea (hipérbola) y que se orientan en su trayectoria. Al seleccionar uno de ellos se resalta el plano perpendicular a dicha línea. En ese plano se insertará la familia antes modelada con los perfiles de sección del pilar en ese punto. Se hará lo mismo para el resto de puntos (en total son cinco puntos). Elaboración propia con software BIM.

Los lados y el Pico triangular de la sección del pilar han sido parametrizados introduciendo fórmulas que hacen posible variar la sección interna mediante una constante paramétrica que interviene en la fórmula que definen los parámetros de dicha sección.

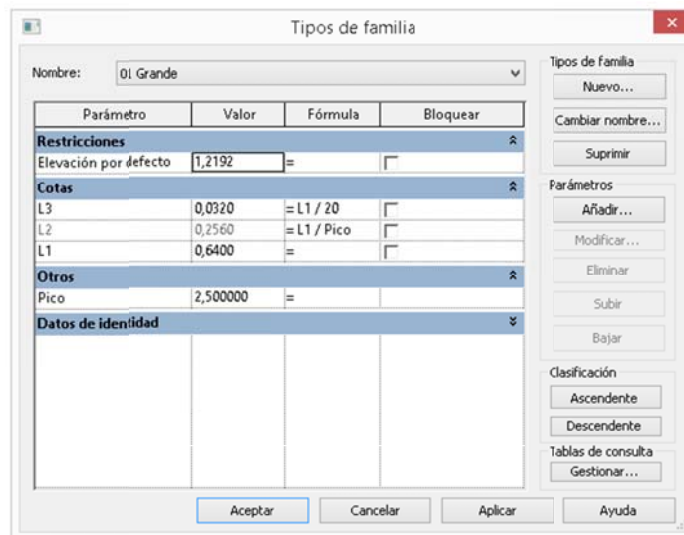


Figura 4.87. Variables introducidas en la parametrización de la sección transversal del soporte. Se trata de una familia que irá anidada en la masa de modelado del soporte. Elaboración propia con software BIM.

Seleccionando las secciones de referencia en los 5 puntos guía de la hipérbola y la propia línea de esta hipérbola con “Crear forma” y “Forma sólida” se generará el soporte que puede verse en la figura siguiente.

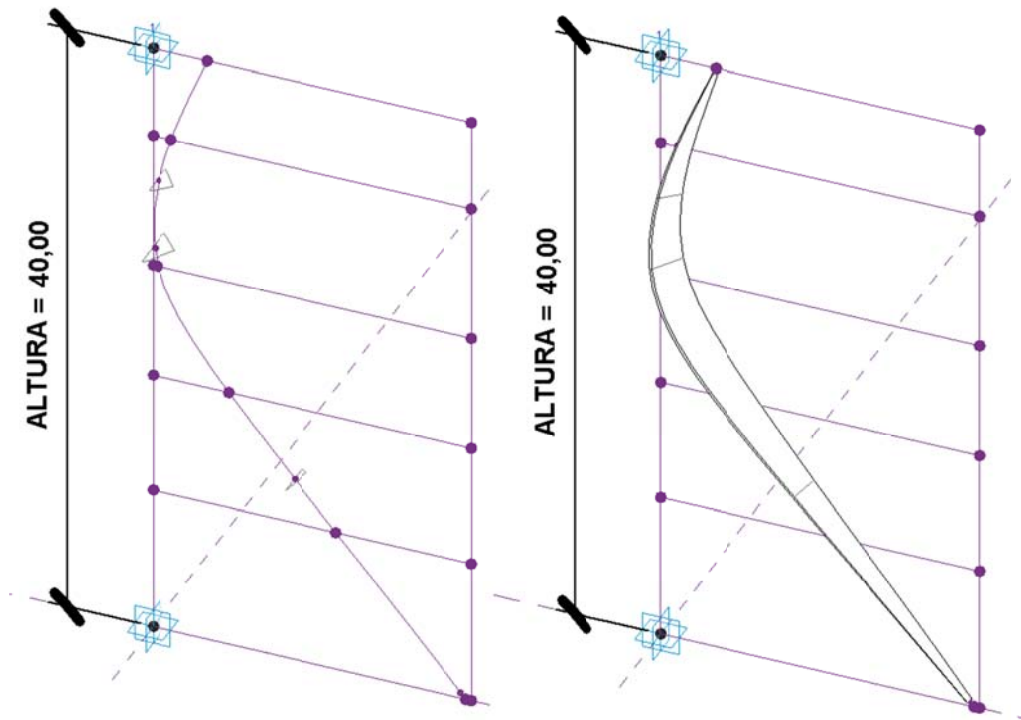


Figura 4.88. A la izquierda definición por puntos de la hipérbola con líneas de referencia y dos puntos adaptativos. Sirve de base también para posicionar puntos de ubicación de las secciones transversales de los perfiles que se dispondrán repartidos en sus tres tipos distintos (pequeño, mediano y grande). A la derecha generación de la forma sólida del soporte paramétrico completo. Elaboración propia con software BIM.

Modelado el soporte y tomados como referencia para su inserción en un elemento de masa general, los dos puntos adaptativos (situados en los extremos de una misma línea vertical definida), es posible utilizar en su colocación y repetición, líneas de posición en el espacio (masa general) que se dividen en su trayectoria (“Dividir camino”) en un número determinado de segmentos demarcados por nodos, que sirven como anfitrión para la colocación de los soportes adaptativos.

En la siguiente figura puede verse el proceso de inserción de la colocación y repetición del soporte. Se establece en las líneas de trayectoria superior e inferior contenidas en planos paralelos el número de nodos del camino dividido (en el ejemplo de la figura 20) con “Dividir camino”.

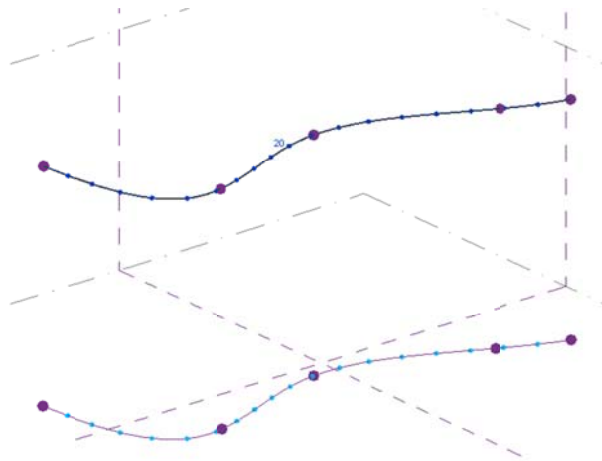


Figura 4.89. Líneas de masa general situadas en planos paralelos. Serán divididas en su trayectoria en nodos por partes iguales donde irá colocado el componente del soporte anidado. Luego con el comando “Repetir” se duplicará a lo largo de todos los nodos de división establecidos. Elaboración propia con software BIM.

Se anidará luego dicho soporte en las líneas de masa general entre el primer nodo de la división de la línea superior y de la inferior valiéndose de los puntos adaptativos generados en el soporte. Con el comando “Repetir” se repetirá de forma automática en todos los nodos de división dispuestos.

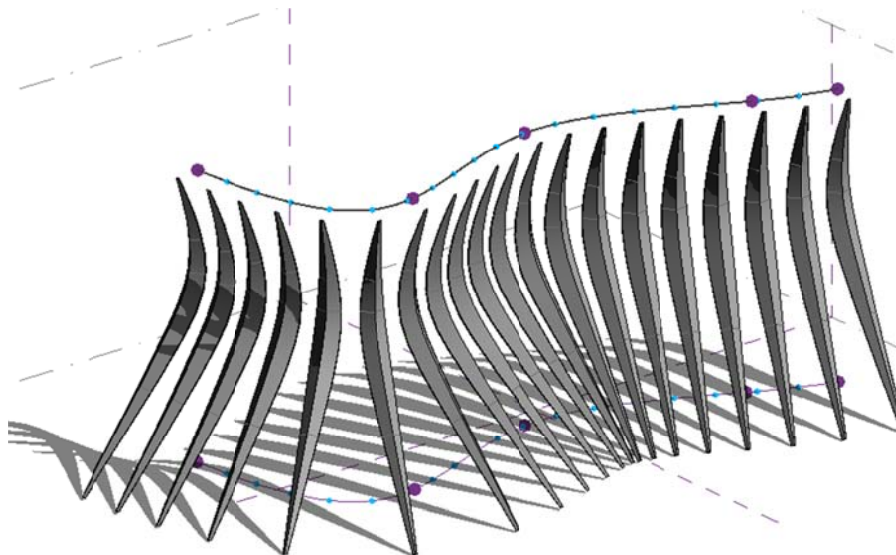


Figura 4.90. Vista del soporte anidado colocado en el primer nodo de las líneas superior e inferior de masa general. Con el comando “Repetir” se duplica el número de veces elegido a lo largo de las divisiones de la trayectoria de las líneas. Elaboración propia con software BIM.

Dibujando ahora dos circunferencias de 8,00 metros de radio como líneas de trayectoria y un número de división de líneas igual al del número de soportes se obtendrá el modelo de figura.

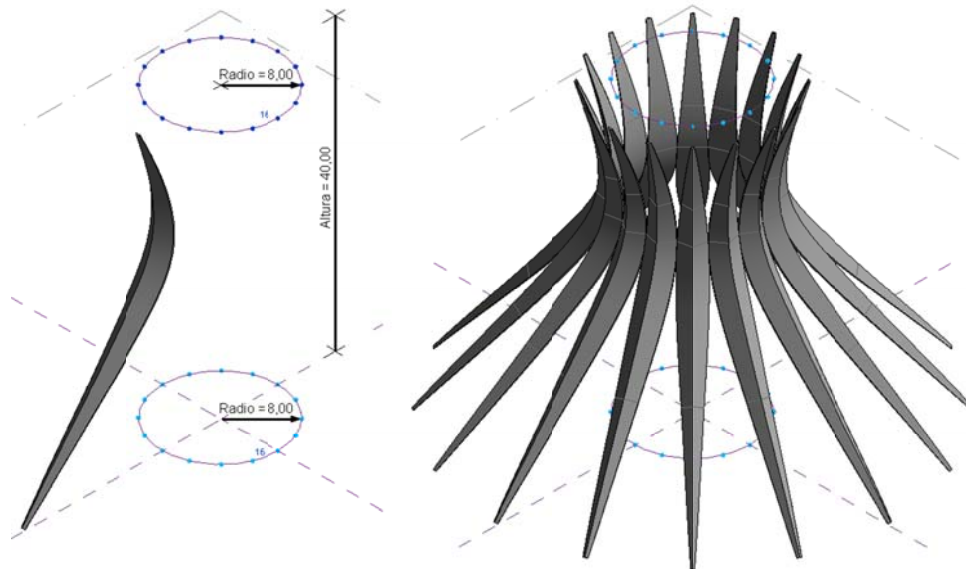


Figura 4.91. A la izquierda inserción del soporte adaptativo anidado en puntos homólogos de dos líneas de trayectoria circular divididas (masa general). Con la “Repetición” del elemento soporte parametrizado en su definición de familia se obtiene la figura de la derecha. Elaboración propia con software BIM.

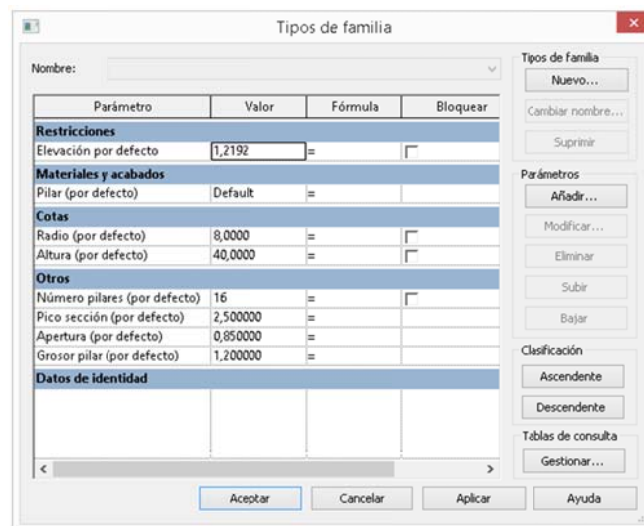


Figura 4.92. Definición de la totalidad de parámetros intervinientes en el modelado de la disposición general del conjunto de la masa. Elaboración propia con software BIM.

Modificando el parámetro de “Apertura” en el modelo puede verse el cambio producido de forma automática.

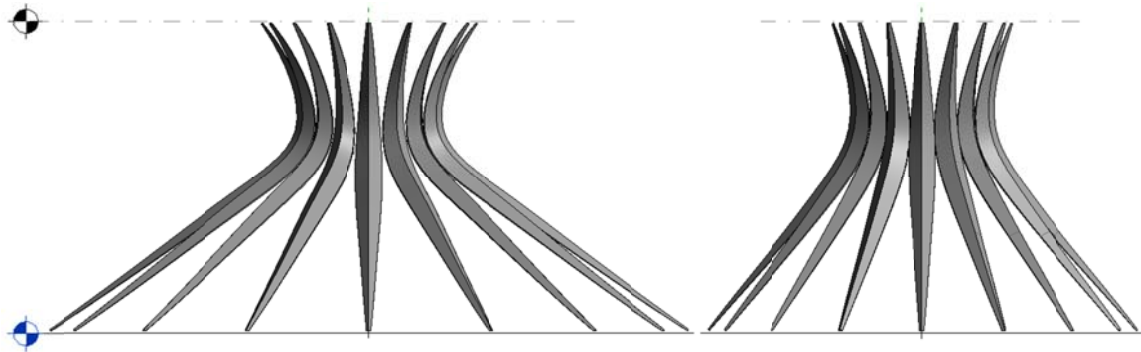


Figura 4.93. Modificación del parámetro “Apertura” en la definición del modelo de la familia parametrizada y resultado obtenido con el cambio. Elaboración propia con software BIM.

Para generar la superficie de cubrición exterior (paraboloide hiperbólico de revolución) se partirá de una línea de contorno de la hipérbola y un eje de giro vertical en el mismo plano. Seleccionando la dos líneas coplanares y con “Crear forma” se creará la superficie de la figura.

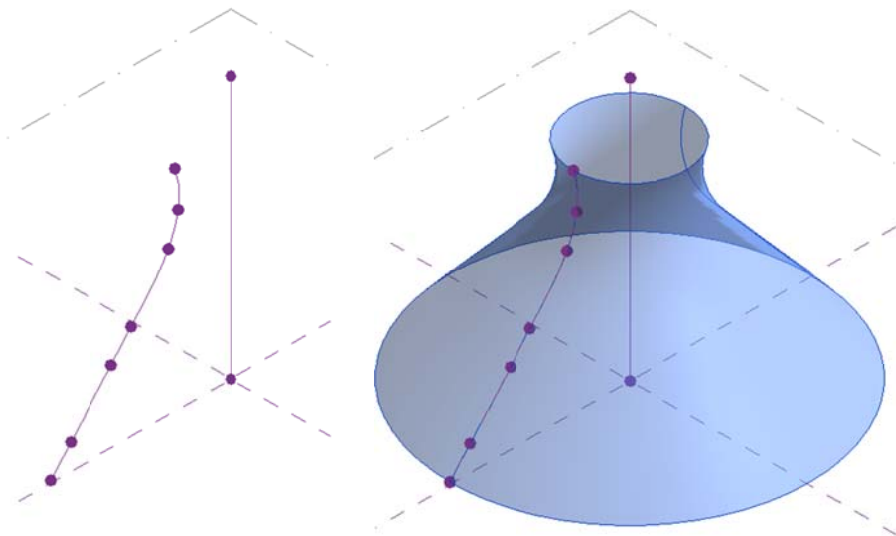


Figura 4.94. A la izquierda pueden verse las líneas de definición (una hipérbola y una recta vertical) que darán origen a la superficie de masa de la derecha (Hiperboloide de revolución). Elaboración propia con software BIM.

Con “Dividir superficie” se obtiene la división y aplicación de un sistema de rejilla que posibilita la aplicación de un patrón de superficie. Se seleccionará Triángulo ajedrezado (curvado).

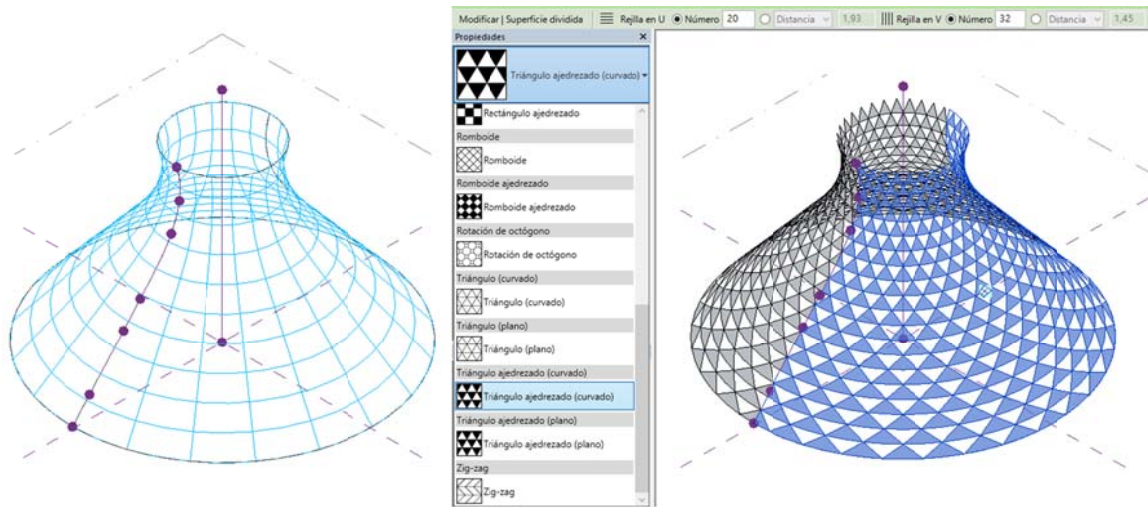


Figura 4.95. A la izquierda se ve el hiperboloide de revolución con su superficie dividida. A la derecha la misma superficie con las divisiones $U = 20$ y $V = 32$ a la que se ha aplicado un patrón de superficie de “Triángulo de ajedrezado (curvado)”. Elaboración propia con software BIM.

El resultado de juntar los dos modelados es el que puede verse en la figura siguiente.

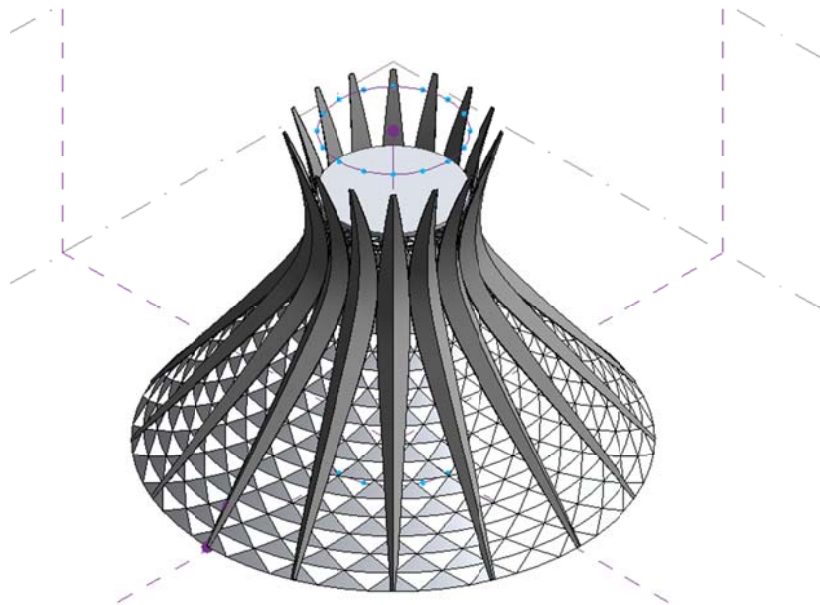


Figura 4.96. Vista del resultado completo con la incorporación de los 16 pilares estructurales y el hiperboloide de revolución acristalado que cierra el espacio que conforman los pilares. Elaboración propia con software BIM.

El modelado anterior servirá para la realización de simulaciones pluridisciplinarias, como por ejemplo la del comportamiento estructural del modelo, factible desde fases muy tempranas que harán posible la optimización de resultados.

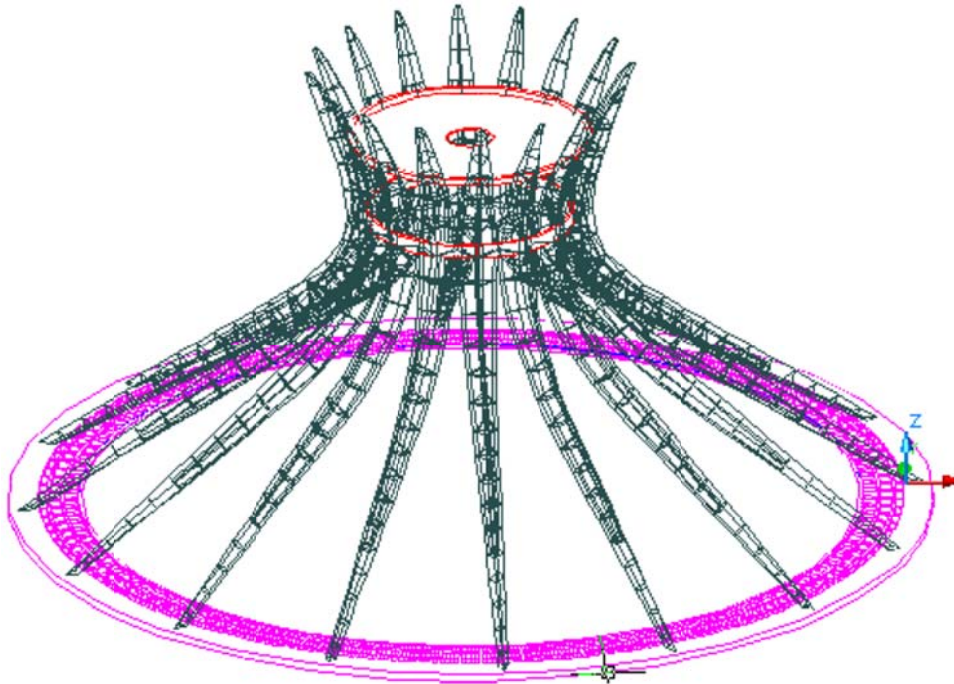


Figura 4.97. Simulación del comportamiento estructural del conjunto de la edificación incluyendo el zunchado inferior del anillo circular perimetral de la base de cimentación. Fuente: <<http://www.eniopadilha.com.br/arquivos/CatedraldeBrasilia.pdf>> Acceso en: 02-nov. 2015.

4.21. MODELADO DETALLADO A PARTIR DE MASAS, FLUJO DE TRABAJO

Como ya ha quedado dicho de todas las familias de elementos existentes dentro del software, las masas son las únicas que permiten su conversión en elementos constructivos de modelado detallado (muros, suelos, techos, etc.). Esta conversión solo puede hacerse con las herramientas dispuestas dentro del entorno de trabajo del proyecto. Por eso una vez que el modelado de masas se ha realizado es necesaria su importación a este entorno de trabajo para proceder a dicha conversión. Se detallará el flujo de trabajo con el ejemplo de la edificación de la figura siguiente.

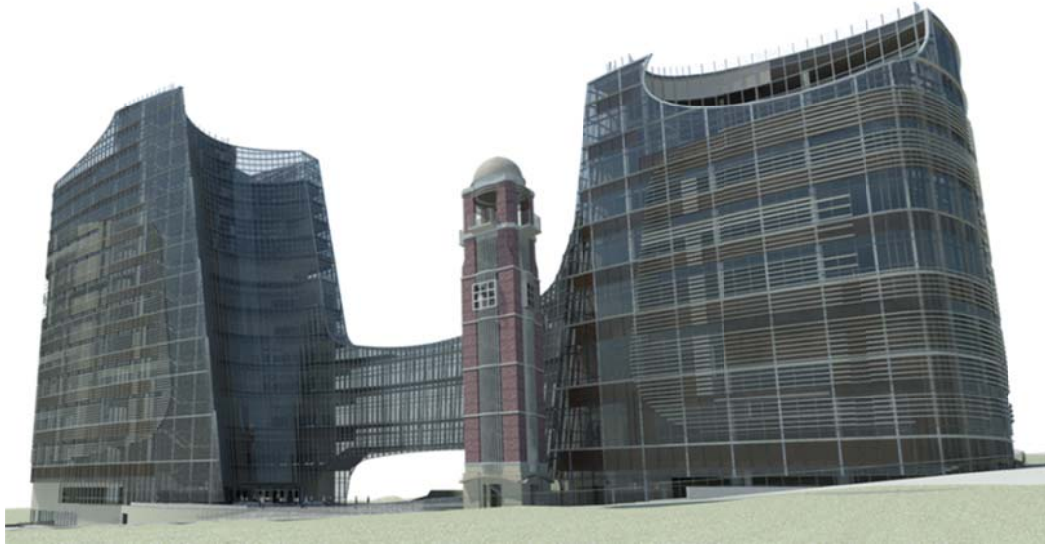


Figura 4.98. SaRang Church (Iglesia Sarang) Seoul, Corea del Sur. Beck Group Architects. Construcción 01-01-2010 a 28-02-2013. Disponible en <www.beckgroup.com>. Acceso en: 02-nov. 2015.

El edificio de la figura anterior presenta un desarrollo en planta que procede de la figura que puede verse en el gráfico siguiente.

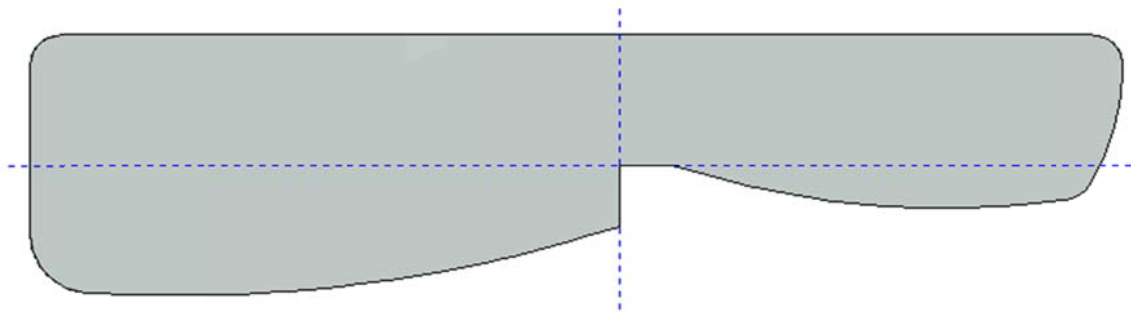


Figura 4.99. Dibujo en planta del boceto de partida de la edificación anterior. En fases iniciales el grado de indefinición del es grande y se procederá a los ajustes necesarios por aproximación para la obtención de la masa general de la edificación. Elaboración propia con software BIM.

Una vez que se tiene un esbozo de la planta, para obtener la volumetría de la masa se realizará la extrusión de la planta para obtener la masa general de la edificación. Ver figura siguiente.

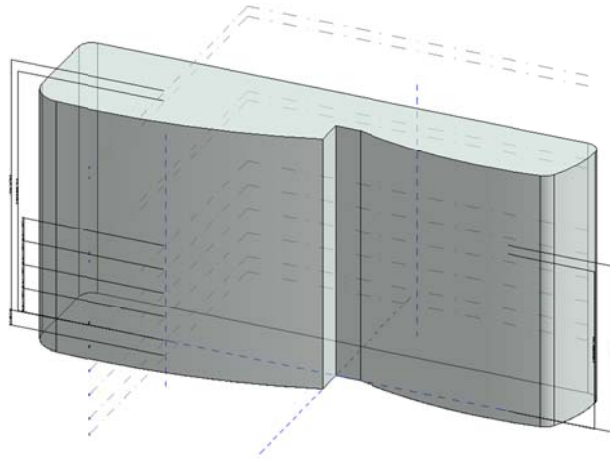


Figura 4.100. Detalle de la volumetría de inicio de la masa conceptual realizada por extrusión paramétrica a partir de la planta de la figura anterior. Elaboración propia con software BIM.

Se va parametrizando y añadiendo variables métricas de forma gradual y continua que van esculpiendo la volumetría de masas que se quiere obtener. En estas fases iniciales ya pueden obtenerse datos muy precisos longitudes, perímetros, áreas y volúmenes del conjunto de las formas generadas que conducen el diseño general.

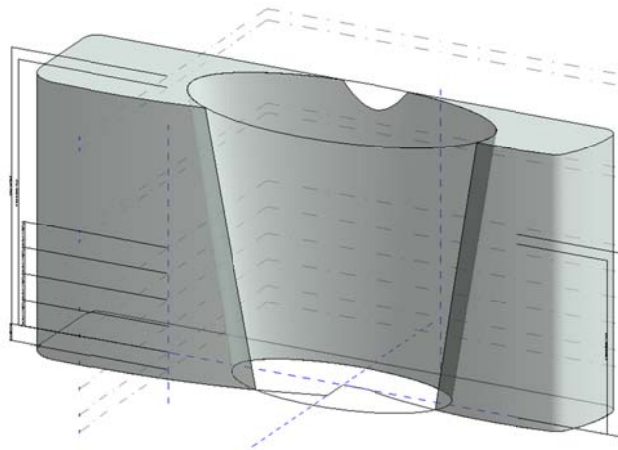


Figura 4.101. Ajustes del modelo que incluyen el modelado en sus dos variantes de generación: sólidos y vacíos. En la figura puede verse un tronco de cono elíptico invertido que vacía la parte sólida en negativo en la conformación gradual de la masa. Elaboración propia con software BIM.

Los volúmenes vacíos introducidos restan su corporeidad al sólido de masa, permitiendo también modelar en negativo para obtener formas de masa diversas. Estos vacíos deben al igual que los sólidos parametrizarse para proceder mediante tanteos a sus ajustes de diseño.

Poco a poco se va definiendo y parametrizando la masa conceptual global del conjunto con las cinco operaciones de generación de sólidos y vacíos: extrusión, fundido, rotación, barrido y fundido de barrido junto con la edición directa por pinzamiento de las formas de masas.

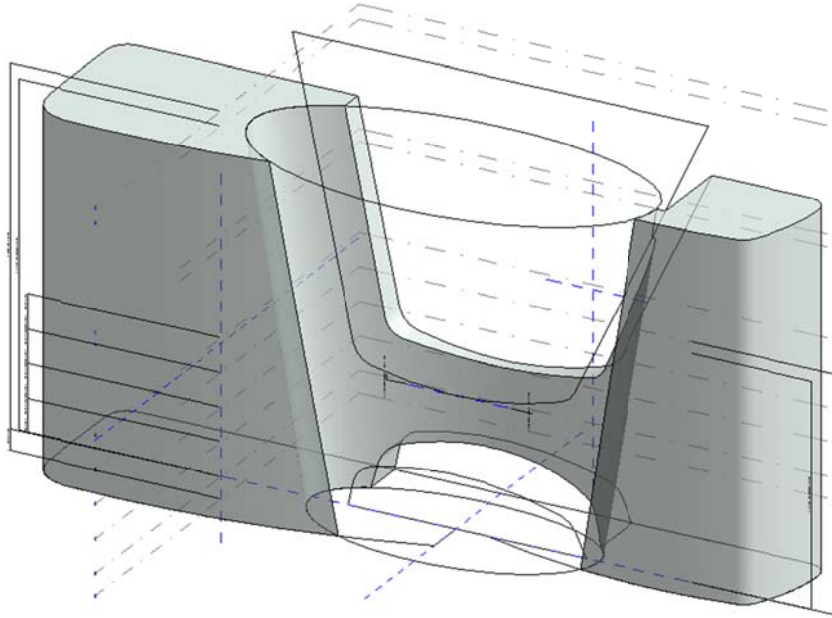


Figura 4.102. Modelado de la masa conceptual del edificio. Parametrización de sólidos y vacíos para la definición volumétrica del conjunto. Elaboración propia con software BIM.

También desde la planta de la edificación es posible realizar operaciones de modelado que conlleven la creación de sólidos y vacíos y su parametrización correspondiente.

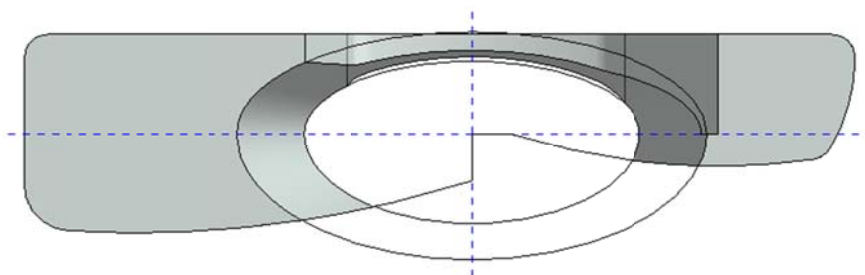


Figura 4.103. Vista de planta del modelo anterior donde puede verse la constitución de los elementos que integran la definición de la masa conceptual general y las operaciones de vaciado interior. Elaboración propia con software BIM.

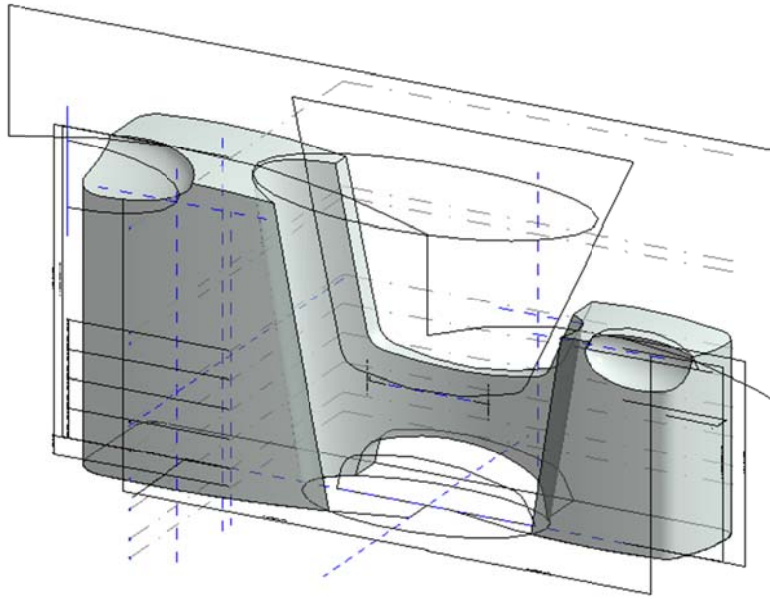


Figura 4.104. Cualquier forma es susceptible de poder ser modelada de forma muy rápida y posteriormente manipulada y editada directamente hasta su definición completa. Elaboración propia con software BIM.

Para poder generar de forma automática elementos de modelado detallado (familias de sistema como: muros, suelos, techos, cubiertas, etc.) a partir de masas conceptuales, es necesario la inserción de la masa generada, en el entorno de trabajo de proyectos.

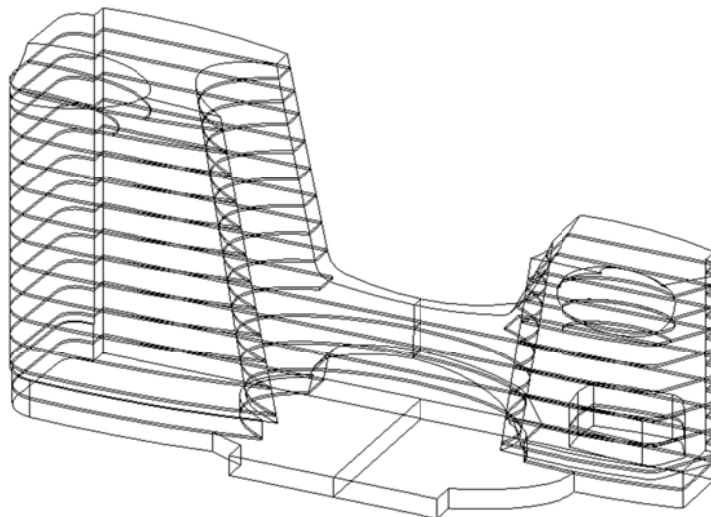


Figura 4.105. Obtención de suelos de masa por intersección de la masa general del edificio con los planos horizontales que definen los niveles de plantas establecidos dentro del entorno de proyecto. Elaboración propia con software BIM.

Desde el entorno de trabajo del proyecto donde estarán ya definidos los niveles de trabajo o altura de las plantas, se obtendrán suelos de masa que son reconocidos como intersecciones del volumen de la masa con los planos de trabajo definidos por los niveles de las plantas.

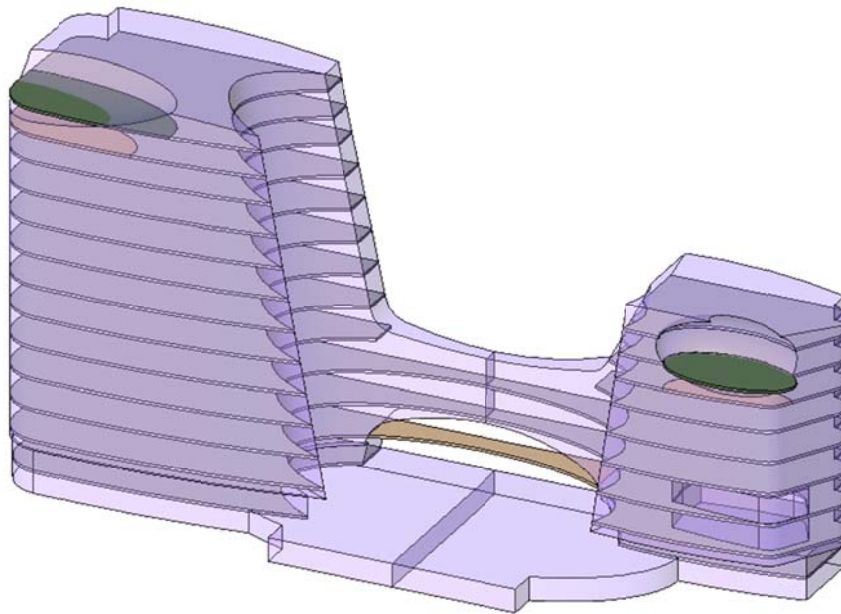


Figura 4.106. Obtención partiendo de los suelos de masa, en suelos convencionales de modelado detallado que se elegirán dentro del selector de tipos. Elaboración propia con software BIM.

La información que se obtiene de los suelos de masa incluye el perímetro conformado por los suelos de masa individualizados por niveles según estos estén definidos. El área de todos esos suelos por niveles. El área de la superficie exterior de cierre de la masa entre niveles y el volumen comprendido entre niveles. Ver figura indicativa siguiente.

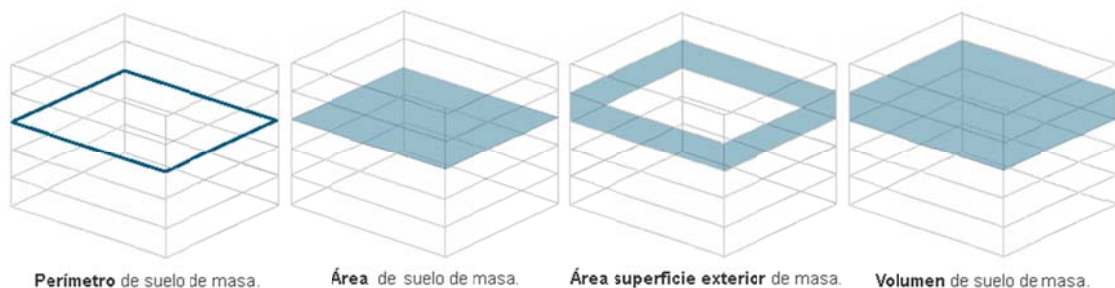


Figura 4.107. Suelos de masa obtenidos de la masa general e información que es posible obtener de ellos en tablas de planificación de cantidades dentro del entorno de proyectos. Elaboración propia con software BIM.

En este caso las variaciones de una solución con respecto a otras aunque sean pequeñas o mínimas son computables utilizando tablas de planificación desde el entorno de proyectos, lo que servirán para establecer la comparativa de magnitudes entre varias propuesta alternativas y orientar las decisiones en función de los datos analíticos aportados por las tablas.

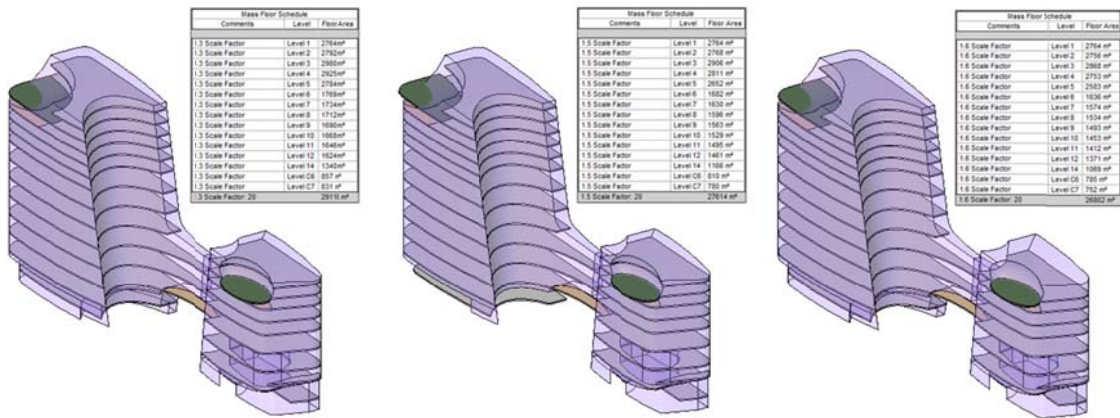


Figura 4.108. Estudio de diferentes alternativas de diseño, y ajuste u optimización de formas resultante en base a una tabulación de datos proporcionadas por tablas de planificación de cantidades. Elaboración propia con software BIM.

Los datos proporcionados por las tablas de planificación en función de los diversos elementos a medir, servirán para obtener determinadas características de dichos elementos y poder valorar su orden de magnitud, para producir los ajustes de modelado necesarios, hasta su definición.

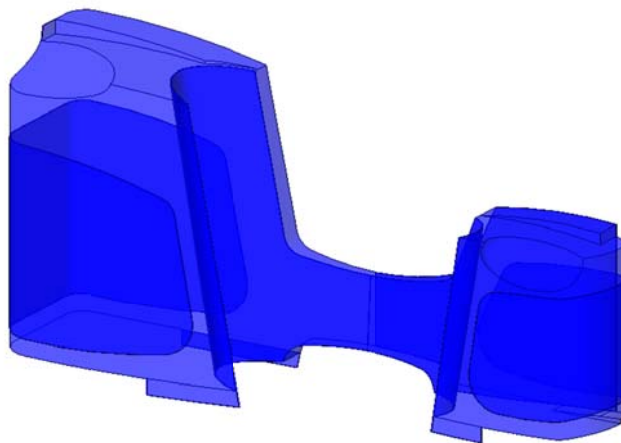


Figura 4.109. Masa general con diferenciación de las superficies de recubrimientos envolventes exteriores de fachada, que darán origen a elementos singulares de paneles sobre los muros cortina que serán definidos más adelante en el proceso de modelado detallado. Elaboración propia con software BIM.

Dentro ya del entorno de proyectos y definida la masa, el paso final es la conversión de los elementos de masa, a elementos de modelado detallado (familias de sistema). Se obtiene una solución única, sin dejar constancia del proceso seguido para su obtención.

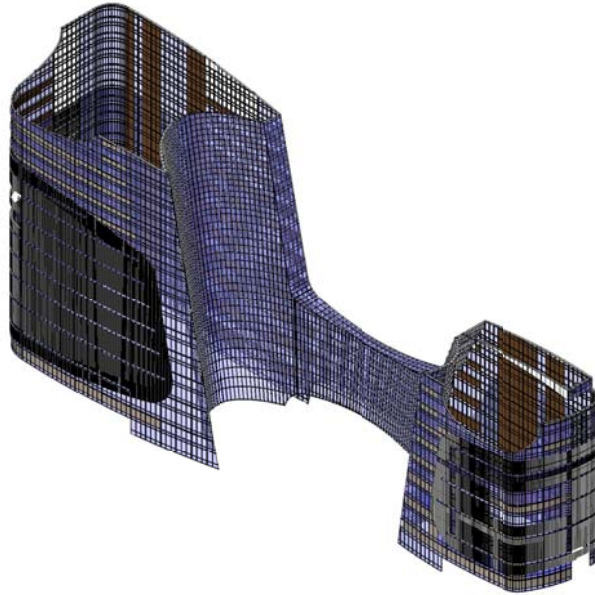


Figura 4.110. Detalle de las superficies de fachada con todos los elementos de división de los paneles de muro cortina generados en la masa hasta convertirlos en elementos de modelado detallado. Pueden verse los recubrimientos envolventes exteriores de fachada antes referidos. Fuente: © Kelly Cone, The Beck Group.

En la figura siguiente puede ver el grado de definición que puede alcanzarse con el modelado detallado.

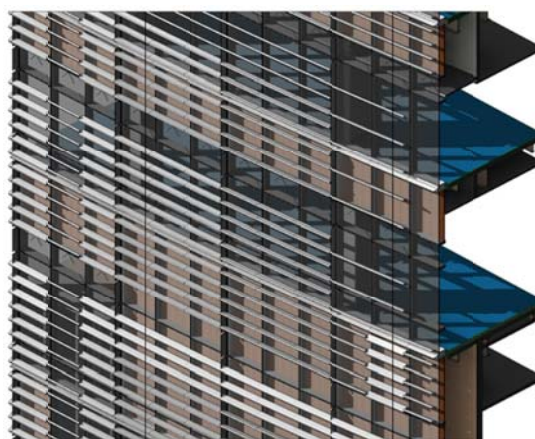


Figura 4.111. Detalle de las superficies de fachada con todos los elementos de división de los paneles de muro cortina generados en la masa, hasta convertirlos en elementos constructivos de detalle. Fuente: © Kelly Cone, The Beck Group.

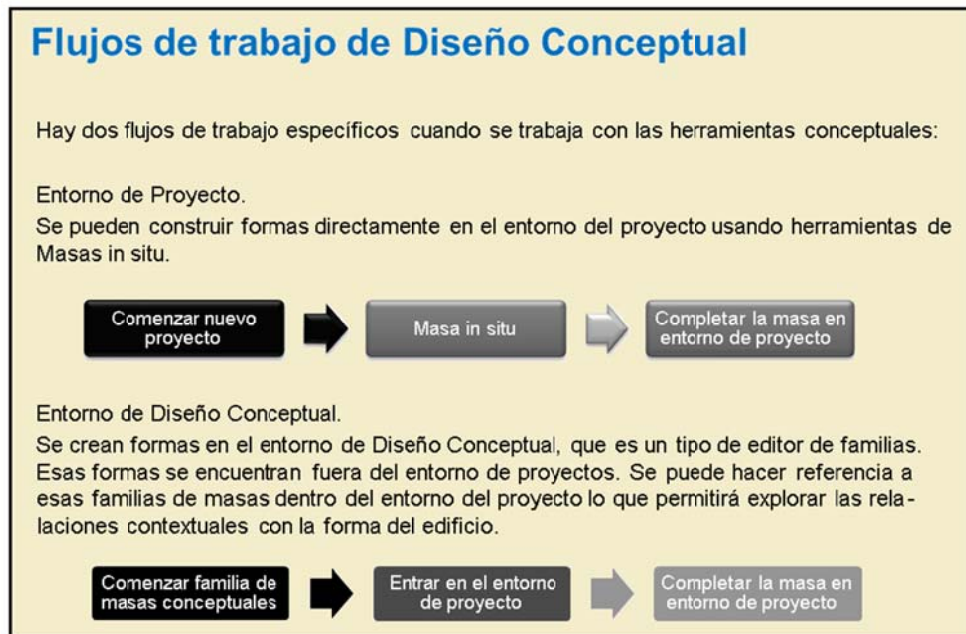


Figura 4.112. Cuadro resumen de los flujos de trabajo con herramientas de modelado conceptual en los entornos de diseño conceptual o de masas y de proyecto. Elaboración propia.

El uso de masas implica la dedicación inicial de tiempo para desarrollar el modelo conceptual, pero conlleva grandes ventajas en fases posteriores de diseño y documentación. El desarrollo de una masa conceptual implica la adquisición de conocimientos de modelado y también de técnicas de parametrización para conseguir hacer una masa completamente paramétrica. Aprender a utilizar el editor de formas para el análisis y la gestión de los cambios. El modelado de masas no es sólo una herramienta para diseñadores en las fases embrionarias de un proyecto. El uso de masas permite el ahorro de muchas horas/persona no solo en un proyecto de diseño esquemático, sino en el resto de todo el proceso y obtención de documentos de construcción.

5. DESARROLLO: MODELADO ALGORÍTMICO CON VPL

5.01. QUÉ SON LOS LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN VISUAL VPL

Los lenguajes de programación visual o VPLs (Visual Programming Language), fueron desarrollados en los años 70. Surgen de la combinación entre lenguajes de programación e interacción y comunicación usuario-ordenador, en trabajos de computación gráfica. La idea principal que subyace en este tipo de lenguajes es facilitar la comunicación usuario-ordenador con el aprendizaje y utilización, de herramientas gráficas más accesibles en contraposición al uso de un lenguaje poco amigable de código de programación textual convencional.

En los lenguajes de programación textuales el usuario debe aprender la sintaxis del lenguaje para poder codificar programas. En las herramientas basadas en VPL, la lógica de los programas se estructura usando diagramas gráficos compuestos por elementos llamados “Nodos”. Los nodos contienen encapsuladas internamente las estructuras utilizadas por el lenguaje de programación visual. Cuando el usuario crea un gráfico de un programa (llamado también script), indirectamente está produciendo códigos de programación que quedan ocultos dentro de los nodos del gráfico. Al ejecutar el script gráfico se crea una geometría 3D resultado de procesar el código incorporado internamente en sus nodos. Las herramientas VPL ofrecen una interface usuario-ordenador más amigable facilitando mucho el aprendizaje y la utilización de un lenguaje de programación (lenguaje gráfico).

Los lenguajes de programación visual (VPL) son más simples de aprender que los lenguajes de programación textuales, y no requieren del conocimiento de la sintaxis de programación convencional, son lenguajes de programación para no programadores. Están enfocados en lo relativo al diseño 3D a los usuarios que trabajan con herramientas de modelado BIM. Los VPLs en este sentido serían los intérpretes o traductores de las órdenes o requerimientos demandados por el modelador BIM a un lenguaje (lenguaje de programación gráfica) que el software de modelado BIM entiende. Se persigue por tanto la comunicación bidireccional estrecha entre los VPL y los softwares de modelado BIM por un lado, y el usuario por otro, para que ese diálogo sea lo más fluido, fácil y rápido posible. Todas estas herramientas de asistencia al modelado 3D y por

extensión al proyecto, están evolucionando muy rápidamente y exigirán cada vez más a sus usuarios, capacidades nuevas que hasta el momento no se consideraban necesarias.

Una secuencia de comandos de programación visual se ve como un conjunto de nodos que van conectados por sus extremos (inputs y outputs). Estos nodos tienen funciones predefinidas muy diversas, disponiendo de puertos de entrada y puertos de salida. Los nodos ejecutan sus funciones en una secuencia de entrada de datos, procesado interno de los mismos y generación de resultados o salida de datos. El usuario final de una herramienta de programación visual, no necesita entender lo que está dentro de un nodo; lo único que se precisa conocer son los datos necesarios de entrada y su formato, lo que hace o lo que produce el nodo y los datos de salida.

Se estudiará si las herramientas basadas en VPL pueden ser utilizadas en la elaboración de modelos sobre entornos de modelado BIM. Cómo puede ser de efectiva esa utilización, qué ayuda pueden prestar al modelado de formas 3D, al proyecto arquitectónico y el tiempo necesario para la elaboración de esos modelos. Se verá también el uso combinado de herramientas VPL y de modelado BIM y qué tipo de relaciones pueden establecerse entre ambas dentro de entornos BIM. Para atender este objetivo fueron seleccionadas las herramientas Autodesk Revit® y Dynamo®.

5.02. MODELADO PARAMETRICO, MODELADO ALGORÍTMICO CON VPL

El modelado paramétrico convencional o modelado literal, actúa de forma lineal para obtener un resultado final. Trabaja sobre elementos u objetos 3D particulares y su objetivo es obtener el modelo definitivo terminado, o su resultado final. No deja constancia de las órdenes u operaciones realizadas, ni de cuál ha sido la secuencia utilizada para el modelado generado. Si se quiere modificar el modelo generado hay que introducir cambios a dicho modelo y por tanto hay que deshacer lo ya hecho modificando el modelo para obtener otro diferente.

El modelado algorítmico creado con VPLs trabaja sobre el propio proceso de definición del modelado, sobre su estructuración y secuenciación de órdenes de diseño y no sobre un modelo concreto para obtener su terminación, resultado final o visualización final. En un modelado algorítmico con VPLs la estructura del algoritmo y su secuenciación es lo esencial y queda

explicitada y guionizada de forma gráfica, con todas sus órdenes secuenciadas en el propio algoritmo. La ejecución del programa gráfico o script es planteada de forma abierta y relacionada automáticamente con los datos de las variables introducidas en los algoritmos. Por eso el resultado es un proceso asociado a una combinación de variables por tanto las soluciones son múltiples y cambiantes como sus parámetros. Para modificar el modelo solo basta modificar los parámetros de definición incluidos en los algoritmos y el modelo es regenerado automáticamente porque contiene todas las órdenes de diseño, programadas y secuenciadas, encaminadas a su generación 3D.

También es posible cambiar, variar o modificar la estructura del algoritmo y el resultado será modificado, será otro distinto es por tanto recursivo pudiendo utilizarse muchas veces. Permite analizar entre múltiples propuestas, modificando los algoritmos de definición del modelo para obtener un lote que será chequeado en sus múltiples variantes hasta llegar a la solución más eficiente y adecuada para resolver un problema de diseño concreto, conduciendo a la optimización de formas.

5.03. DYNAMO: LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN VISUAL. MODELADO ALGORÍTMICO

¿Qué es Dynamo? Dynamo es un plug-in o software de lenguaje de programación visual (VPL) de código abierto (open source) y gratuito, que utiliza un entorno visual gráfico para la creación y edición de algoritmos paramétricos, diseñado originalmente para trabajar con Autodesk Revit y Vasari. Utiliza un tipo de programación visual en el que todos los “comandos” se disponen a manera de “nodos”, cajas, o bloques con puertos de entrada a su izquierda y salida a su derecha, unidos por “conectores” o cables que hacen fluir la información direccionalmente entre ellos. Los nodos con su representación gráfica en forma de cajas sustituyen a las líneas de código escrito de la programación convencional, que se fragmenta en pequeños bloques que contienen internamente las órdenes a realizar.

Estas operaciones específicas y concretas de cada nodo se realizan mediante unos inputs o entrada de datos, un procesado de los mismos siguiendo las órdenes de contenido interno del

propio nodo y unos outputs o salida de datos. Este esquema se repite para el resto de nodos interconectados hasta completar la totalidad del organigrama del script o programa visual.

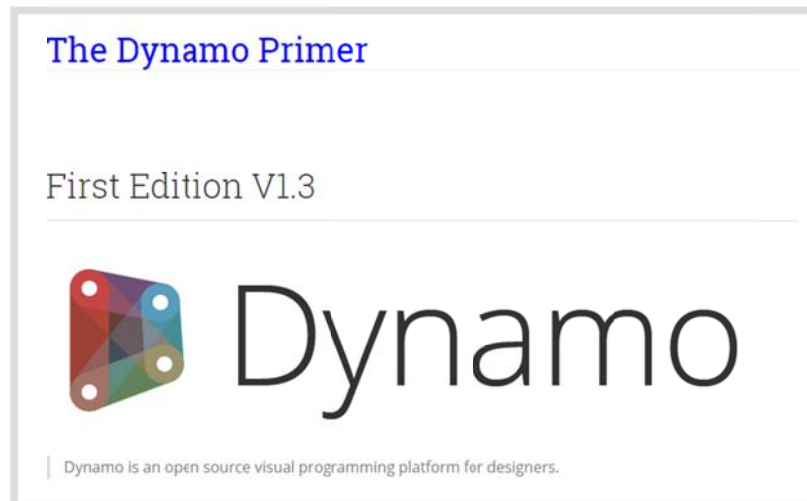


Figura 5.01. Programación para no programadores. Dynamo software sobre plataforma de programación visual VPL, de código abierto (open source). Fuente:< <http://dynamoprimer.com/index.html> >. Acceso en: 15 nov. 2015

Fundamentalmente Dynamo realiza en esencia dos cometidos, por un lado genera su propia geometría utilizando relaciones paramétricas, y por otro lee, escribe e intercambia información desde y hacia bases de datos externas. La comunicación con Revit se realiza a través de su API (Application Program Interface o Interfaz de Programación de Aplicaciones). Este software desarrollado por arquitectos e ingenieros se empezó a gestar en torno al año 2007 por Ian Keough³ (arquitecto) patrocinado por la casa Autodesk, y su desarrollo en los últimos años está siendo fulgurante, con actualizaciones prácticamente cada dos meses, gracias a su libre distribución y a los continuos y constantes aportes y contribuciones de todos los usuarios de la comunidad virtual que lo utilizan a diario.

El código fuente del proyecto Dynamo es de código abierto, lo que permite extender su funcionalidad a cualquier usuario o colaborador interesado, permitiendo su personalización e incor-

³ Ian Keoug, ingeniero principal de Autodesk y el creador del Dynamo, así como Nathan Miller y Matthew Nelson de CASE consultoria de Diseño computacional.

poración de nodos creados por la comunidad de usuarios de internet, que trabaja activamente, para desarrollar una amplia gama de flujos de trabajos creativos.



Figura 5.02. Dynamo lenguaje de programación visual VPL de código abierto, diseñado originariamente para Revit y Vasari, que utiliza un entorno visual gráfico, para la creación y edición de algoritmos paramétricos. Relaciones e interacciones entre los softwares Dynamo y Revit, en la definición geométrica de formas. Fuente: <<http://simplydynamo.blogspot.com.es/2014/05/what-is-dynamo.html>> Marcello Sgambelluri.⁴ Traducción: Autor. Ver enlace <<http://therevitcomplex.blogspot.com.es/>>. Acceso en 13 dic. 2016.

Dynamo se ajusta perfectamente en su interacción e intercomunicación con Revit, ya que Revit es una base de datos que contiene información gráfica y no gráfica y Dynamo lee, escribe e intercambia información hacia y desde la base de datos de Revit. Este intercambio de información se hace a través de la API (Application Program Interface o Interfaz de Programación de Aplicaciones), los datos podrían ser, por ejemplo, los valores de cada uno de los parámetros de una familia, su geometría, su colocación etc. Dynamo puede manipular la base de datos de Revit en cosas que la Interfaz de Usuario no podría. Por ejemplo, podría modificarse la altura base de

⁴ Marcello Sgambelluri es el Director BIM de John A. Martin & Associates Structural en Los Angeles, CA. Es Ingeniero Civil y prueba las versiones beta anuales de los productos de Autodesk y Dynamo.

todos los muros y todos los pilares, para que estuvieran a la misma altura, esto significa que podrían configurarse parámetros de diferentes familias para que pudieran ser iguales entre sí.

El arquitecto Ian Keough comenzó el desarrollo de Dynamo mientras trabajaba en la oficina Happold ingenieros consultores en Nueva York, con el objetivo de acercar el diseño por ordenador a través de programación visual para BIM. El programa se hizo popular en un primer momento en la generación de masas conceptuales de geometrías complejas. En la actualidad trabaja para la casa Autodesk, siendo el supervisor principal del desarrollo del proyecto Dynamo.

5.04. LA BASE DE DATOS DE BIM. EXPORTACIÓN A UNA BASE DE DATOS DE ACCES

El modelado BIM es una base de datos o contenedor de información (gráfica y no gráfica) coordinada y estructurada, y como tal es susceptible de exportación para su lectura, extracción de datos, manipulación, gestión de la información, etc., a otras bases de datos cualesquiera como por ejemplo MySQL, SQLite o Acces entre otras.

Al exportar el contenido completo de la base de datos del modelo BIM a otra base de datos, como por ejemplo Acces, todos los elementos del modelo son almacenados en tablas con una estructura ordenada por categorías, según sean las categorías de los objetos originales existentes en el modelo BIM, y es posible identificar cada una de esas tablas correspondientes a cada una de las categorías de esos objetos.

En el ejemplo del gráfico siguiente puede verse esa exportación de la base de datos de un modelo BIM a Acces, donde aparecen almacenados en tablas todos los elementos del modelo agrupados por categorías (muros, suelos, techos, cubiertas, escaleras, barandillas, etc.). Cada tabla contiene a todos los elementos que pertenecen a la misma categoría, junto con la información asociada (gráfica y no gráfica) que se incorpore al elemento en cuestión.

de muro, el correspondiente al elemento con un ID o número de identificación 244435, ese número es único y exclusivo. Junto con esa información aparecen otras como el ID o identificador del tipo de muro con número 16262, Volumen, Área, Comentarios, Longitud, Marca, Uso estructural y un largo etc. Hay otra tabla abierta debajo, relacionada con la anterior llamada Tipos de muro, si se entra en ella con el número anterior de ID de tipo se puede comprobar que el muro anterior con esa identificación de tipo, corresponde a un Muro básico con el nombre Ext-piedra trasd cerámico – 30 cm. Incorporando el resto de información relativa al tipo y que es compartida por todos los muros de ese mismo tipo.

ID	IDdetipo	Volumen	Área	Comentarios	Longitud	Marca	Usoestructural	Desfasadesuperio	Desfasedebase	Restriccióndebi	Alturadescoec	Restricci
242296	14460	0,6250729160	7,2997316602	tabiquería baja	3,5949568103		No portante	0	0	1679	3	
242423	14460	0,9056628027	9,0566280271	tabiquería baja	3,5053396960		No portante	0	0	1679	3	
242559	14460	2,1064320166	21,064320166	tabiquería baja	8,7008467758		No portante	0	0	1679	3	
244364	16262	5,5657039695	18,552946562	baja fachada	9,1910023947		No portante	0	0	1679	3	
244435	16262	0,8372395693	3,4362364065	baja fachada	1,0185246063		No portante	0	0	1679	3	
244749	16262	0,3428666294	1,1428887646	baja fachada	0,2671126878		No portante	0	0	1679	3	
245750	14460	0,97458	9,7458	tabiquería baja	4,27		No portante	0	0	1679	3	
262008	14460	0,53803475	6,40935	tabiquería baja	3,16		No portante	0	0	1679	3	
266758	180395	3,0020813697	75,056488772		23,849409250		No portante	-0,768492645	-0,715309060	933	5,7548164147	
268759	14460	1,0103392139	10,103392139	tabiquería baja	4,5005080798		No portante	0	0	1679	3	
268838	14460	0,1561800000	1,5618000000	tabiquería baja	0,6700000000		No portante	0	0	1679	3	
268989	14460	0,0619389331	0,6193893311	tabiquería baja	1,4003386960		No portante	0	1	1679	2	
269047	14460	0,078	0,78	tabiquería baja	2,46		No portante	0	1	1679	2	

ID	Notaclave	Descripción	Nombredefamili	Nombredetipo	Marcadetipo	Clasificaciónparaínc	Costo	Anchura
14460	Mb/B	Muro básico	Tabique - 10 cm					0,10
16251	Md.1	Muro básico	Por defecto - 30 cm					0,30
16252	Mc.4	Muro cortina	Muro cortina - simple					
16256	Me.2.1	Muro básico	Ladrillo cara vista - trasd. cerámico - 27 cm					0,27
16257	Me.2.2	Muro básico	Ladrillo cara vista - trasd. P.Y.L. - 23 cm					0,23
16258	Me.4.1	Muro básico	Ladrillo enfoscado - trasd. cerámico - 28 cm					0,28
16259	Me.4.2	Muro básico	Ladrillo enfoscado - trasd. P.Y.L. - 24 cm					0,24
16260	Me.3.3	Muro básico	Bloque hormigón enfos. trasd. cerámico - 31 cm					0,31
16261	Me.3.2	Muro básico	Bloque hormigón enfos. trasd. P.Y.L. - 27 cm					0,27
16262	Me.6.1	Muro básico	Ext-piedra trasd. cerámico - 30 cm					0,30
16263	Me.6.2	Muro básico	Chapado piedra trasdosado P.Y.L. - 30 cm					0,30
16264	Me.7.2	Muro básico	Fachada ventilada - muro ladrillo - 27 cm					0,27
16265	Me.7.1	Muro básico	Fachada ventilada - muro hormigón - 30 cm					0,30
16266	Me.1.1	Muro básico	Hormigón - 30 cm					0,30
16280	Mc.2	Muro cortina	Muro cortina - vertical					
16281	Mc.1	Muro cortina	Muro cortina - horizontal					

Figura 5.04. Contenido de las tablas de muros y de tipos de muros, extraídas de la exportación de la base de datos del modelo BIM a Acces. Puede verse que las dos tienen el campo ID de identificación del elemento que individualiza el objeto en este caso un muro. Elaboración propia con software de base de datos.

Para la identificación de los elementos dentro del modelo BIM se dispone de dos comandos de consulta: uno para saber cuál es ese número exclusivo de identificación ID de un elemento previamente seleccionado, y que es asignado automáticamente por la base de datos del modelo BIM. Otro en el que dado ese número de identificación ID del elemento, que puede venir ya determinado en la base de datos exportada, localizar su ubicación gráficamente dentro del entorno de proyecto del modelo.

Muros : Tabla						
ID	IDdetipo	Volumen	Área	Comentarios	Longitud	
242296	14460	0,6250729160	7,2997316602	tabiquería baja	3,5849568103	
242423	14460	0,9056628027	9,0566280271	tabiquería baja	3,5053386960	
242559	14460	2,1064320166	21,064320166	tabiquería baja	8,7008467758	
244364	16262	5,5657039685	18,552346562	baja fachada	9,1910023947	
244439	16262	0,8372395693	3,4362364065	baja fachada	1,0185246063	
244745	16262	0,3428666294	1,1428887646	baja fachada	0,2671126878	
245750	14460	0,97458	9,7458	tabiquería baja	4,27	

Figura 5.05. Detalle del contenido de la tabla de muros, obtenida al exportar la base de datos de un proyecto BIM al software de base de datos. La información del modelo BIM se almacena de forma ordenada y estructurada en tablas agrupadas por categorías de objetos, que son asignados desde el programa nativo de BIM. Cada elemento de la tabla tiene un ID o número de identificación único y exclusivo que permite su localización dentro del modelo BIM. Elaboración propia con software de base de datos.

Por tanto, la localización gráfica de un elemento cualquiera, dentro del modelo, siempre es posible en el entorno de trabajo BIM, conociendo para ello ese número ID exclusivo de identificación.

Los comandos disponibles dentro de entorno BIM, para esta localización son “ID de selección”, del grupo Consultar, en donde pulsando sobre un elemento del modelo con el cursor, se obtiene directamente su número de selección (ver gráfico siguiente). El otro comando es “Selección por ID” dentro del mismo grupo, que se encuentra situado a su lado en la parte inferior, y que hace posible la selección inversa, es decir, dado un número ID de selección de un elemento cualquiera de la base de datos, anteriormente exportada, localizar gráficamente su ubicación dentro del modelo. En ese caso, una vez introducido su número ID en el cuadro de diálogo del comando anterior, el elemento del modelo queda resaltado cambiando de color y se ilumina dentro del mismo, para indicarnos de que elemento se trata y si es el caso proceder a su revisión o modificación.

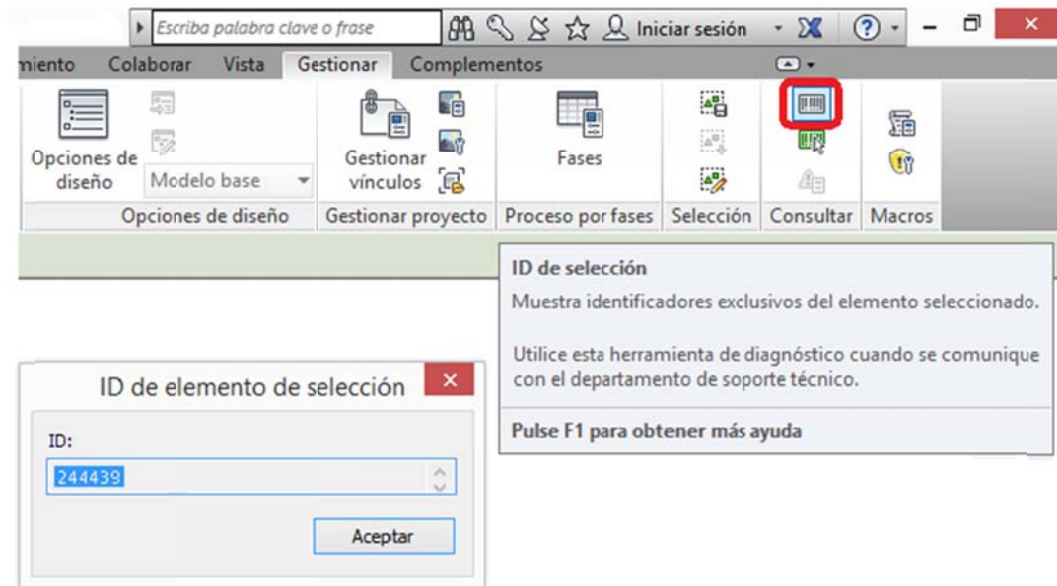


Figura 5.06. Comandos de consulta en el entorno de trabajo BIM, para saber el número ID de identificación exclusivo de un elemento del modelo previamente seleccionado, o conociendo ese número exclusivo de identificación de cualquier tabla de información, saber su ubicación exacta dentro del modelo BIM. Elaboración propia con software BIM.

Todo lo anterior es de vital importancia para comprender la interacción del software VPL con el software de modelado BIM, ya que muchas veces se hace necesario traspasar la geometría o datos creados en BIM al software VPL o viceversa, para seguir con su procesamiento y desarrollo paramétrico de programación. En esos casos, el software de modelado algorítmico necesita leer la base de datos del modelo BIM, para identificar qué elemento o elementos y datos del modelo BIM debe procesar e incorporar en su programación visual. Para ello, es necesario incorporar nodos de selección que especifiquen e identifiquen esos elementos que queremos procesar en el software algorítmico VPL. En esos nodos como el que aparece en la figura siguiente (ver lado izquierdo), se hará clic con el cursor donde dice "Seleccionar", y a continuación y también con el cursor, se seleccionarán los elementos del modelo BIM involucrados en dicha selección. Automáticamente y en el mismo nodo anterior en su zona inferior, aparece ese elemento o elementos y un número o números. Esos números corresponden precisamente al ID de los elementos seleccionados, asignados en la base de datos del modelo BIM.

Por tanto lo que hace el software VPL cuando es necesaria la selección de elementos del modelo BIM para su procesamiento paramétrico posterior en su interacción bidireccional, es detectar el elemento o elementos seleccionados desde el modelo BIM y una vez detectados los identifica en

la base de datos BIM, obteniendo primero su número exclusivo de ID del elemento, y luego el resto de la información necesaria para ese proceso, información que se encuentra almacenada en su base de datos. Un ejemplo de esta selección referido al elemento del ejemplo anterior (ID 244439) queda reflejado en los nodos del software VPL dispuestos en la figura siguiente. El primero “Select Model Element” dispone del puerto “Seleccionar”, primero se hará clic sobre él, y luego con el cursor y dentro del modelo BIM se marcará el elemento o elementos que estén involucrados en la programación visual. Una vez seleccionados y dentro del mismo nodo del software VPL aparecerán con sus números ID de identificación, ese elemento o elementos seleccionados.

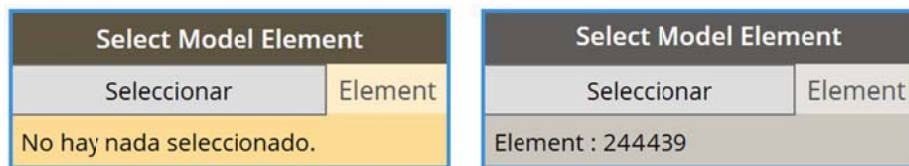


Figura 5.07. Nodo del software VPL utilizado en la selección de elementos del modelo BIM, sobre ellos se actuará según lo especificado en otros nodos previos. La selección es realizada con el cursor marcando sobre él o los elementos del modelo BIM que queramos. Los elementos son identificados y leídos en el software VPL por su ID de elemento asignado en la base de datos BIM, apareciendo en el nodo (derecha) después de su selección. Elaboración propia con software VPL.

El modelado VPL también establece una relación directa y bidireccional entre su propia geometría y la geometría del modelo BIM, estableciendo vinculaciones entre los dos softwares. Podría modelarse en el software algorítmico una curva en el espacio, y dicha curva podría materializarse en el modelo BIM, siempre que se utilizaran los nodos necesarios al efecto. A partir de ese momento quedarían ambas curvas vinculadas. Si posteriormente dentro del modelo BIM se generara con base en esa curva una viga (categoría de Armazón estructural), y se modificara moviendo dicha curva desde el software VPL, también quedaría reflejado ese movimiento dentro del modelo BIM, actualizando su posición y consiguientemente la viga asociada.

El modelado algorítmico se puede utilizar para personalizar una gran variedad de procesos de diseño por ordenador, como la creación de geometría automática, ajuste de parámetros de familia, usando datos externos y compartir información con las diferentes plataformas de diseño, dentro del Building Information Modeling (BIM).

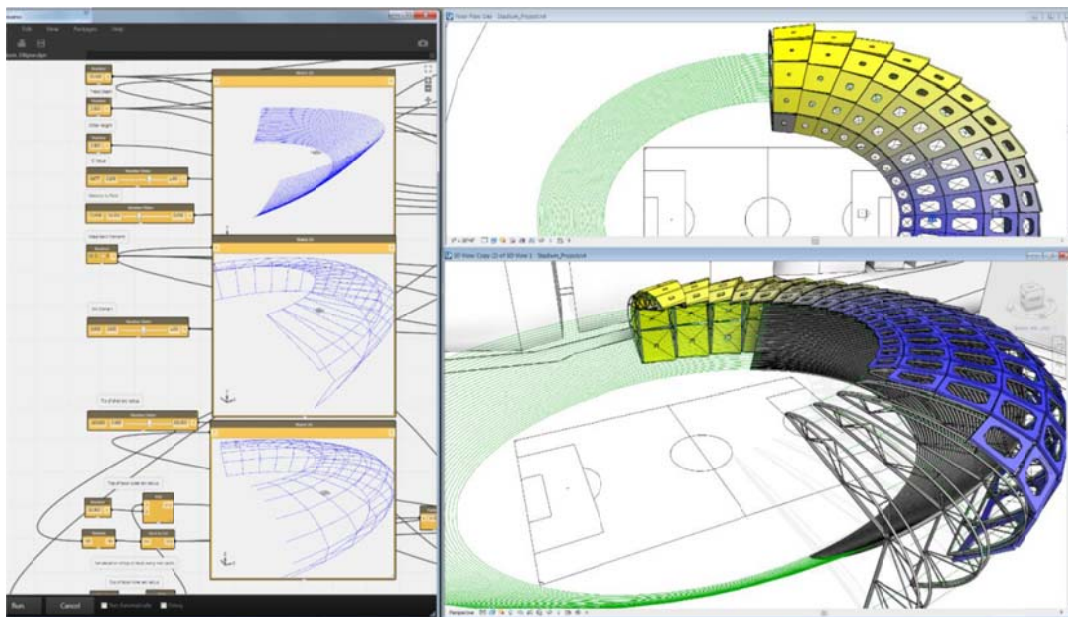


Figura 5.08. Ejemplos de utilización de lenguaje de programación visual de código abierto diseñado para modelados BIM, que utiliza un entorno visual gráfico, para la creación y edición de algoritmos paramétricos. Interactuación entre los dos tipos softwares. Fuente: <<http://www.dinamoBIM.org>>. Acceso en: 02 mayo 2015.

El modelado con software VPL tiene la capacidad de vincular una solución creativa con potentes y novedosos algoritmos, desarrollados en lenguaje de programación visual, para automatizar tareas con scripts paramétricos y generar soluciones de diseño. El diseño generativo algorítmico está teniendo un impacto profundo en la práctica de la Arquitectura, en los últimos años. Compañías y empresas de diseño, grandes y pequeñas, han comenzado a invertir en nuevas capacidades de modelado por ordenador que les permiten personalizar el proceso y llevar a cabo nuevos programas de diseño innovadores, mejorando la calidad de lo ejecutado y abaratando costes al reducir errores en la producción.

El diseño algorítmico también puede aprovecharse para una gran variedad de tareas, tales como la automatización de los procesos redundantes, o para generar formas de geometrías complejas de difícil representación, visualización y materialización. Sin importar el destino final, los diseñadores están demandando cada vez más nuevas capacidades y potencialidades dentro del modelado VPL con nuevas estructuras algorítmicas, que les permitan construir sus propias herramientas personalizadas.

5.05. PROGRAMACIÓN VISUAL CON DYNAMO

Diseñar implica con frecuencia el establecimiento de relaciones visuales, formales o geométricas, entre las partes constitutivas de un diseño y su conjunto o el todo. Muchas veces, estas relaciones se materializan mediante flujos de trabajo, que llevan desde la idea o concepto de lo que se pretende desarrollar, hasta dar con el descubrimiento de una lógica interna de las reglas, o relaciones geométricas formales, que permiten su materialización. Tal vez, sin saberlo de una manera consciente se está trabajando algorítmicamente, es decir, se está procediendo a la definición de un conjunto de acciones paso a paso que siguen una lógica básica de entrada, un procesamiento de datos o variables y una salida. La programación visual permite seguir trabajando de esta manera pero formalizando los procesos con la utilización de algoritmos.

El “Lenguaje de Programación Visual” es un concepto que ofrece a los diseñadores los medios para el establecimiento de las relaciones programáticas con una interfaz gráfica de usuario. En lugar de escribir directamente código de programación desde cero, es el propio usuario quien establece las relaciones personalizadas, mediante la conexión de los nodos pre-empaquetados juntos, para hacer un algoritmo lógico personalizado. Esto significa que un diseñador puede aprovechar conceptos informáticos, sin la necesidad de escribir código de programación.

El software VPL y el de modelado BIM ejecutan la interfaz de usuario conjuntamente. El primero proporciona un entorno de programación visual para definir la lógica algorítmica y generar el modelo, pudiendo importarse a BIM. También permite que programas basados en código tradicional (en lenguaje de programación Python, IronPython, Design Script, etc.) se escriban en bloque de código. Muchas de las formas complejas que son difíciles de generar en Revit, pueden hacerse usando software VPL.

El software algorítmico básicamente permite a los usuarios utilizar la API del modelado BIM a través de la programación visual, utilizando los nodos y conectores en lugar de líneas de programación en código de texto, es un programa complemento de del software de modelado. Permite a los diseñadores, la generación de geometrías complejas y automatizar procesos o tareas a través de una interfaz visual de programación basada en nodos. Se les da capacidades a los usuarios para la manipulación sofisticada de datos, estructuras y control geométrico que no son

posibles usando una interfaz convencional del modelo. Además, proporciona la ventaja añadida de ser capaz de aprovechar los flujos de trabajo de diseño por ordenador en el contexto de los entornos BIM. Cualquier usuario puede utilizar la API de BIM para crear rutinas y construir sistemas personalizados para controlar las familias y sus parámetros sin necesidad de conocer el lenguaje C# y .NET y sin tener que contratar a un consultor API exterior.

Los editores gráficos de algoritmos son el paradigma de una fundamental nueva forma de trabajar con la información geométrica dentro de los modeladores BIM. Los usuarios pueden crear marcos de control para crear el posicionamiento y la visualización de la geometría. El entramado visual de programación, permite al usuario crear sistemas únicos y relaciones para ampliar la forma en que el modelo BIM puede ser utilizado para impulsar la ideación del diseño.

Estos editores gráficos cuentan con una interfaz gráfica que está basada en la disposición y utilización de nodos muy similar a la desarrollada por Grasshopper. Sin embargo al ser compatibles con entornos BIM están constituidos sobre la plataforma API (Application Program Interface o Interfaz de Programación de Aplicaciones), circunstancia que lo diferencia mucho de él, y ese hecho es la clave de su potencial novedad y relevancia.

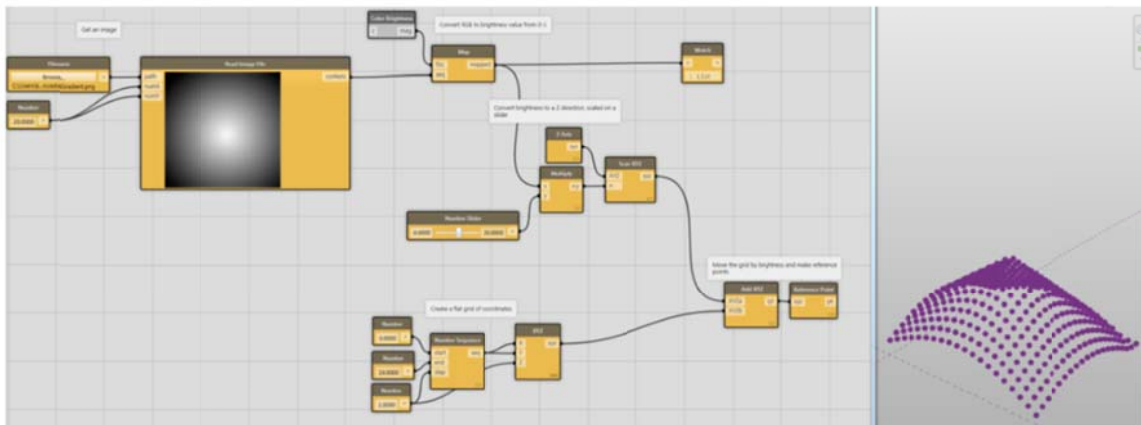


Figura 5.09. Programación para no programadores. Introducción de nodos con estructura en árbol. Detalle de las interfaces gráficas de los softwares abiertos para la creación de los scripts, sistemas VPL y BIM. En primer plano la interfaz de Dynamo que se conecta con la de Revit. Fuente: <<http://www.dinamoBIM.org>>. Acceso en: 12 enero 2013.

5.06. VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE VPL CON MODELADO BIM

Los VPL en su interacción bidireccional con el software de modelado BIM aportan las siguientes potencialidades dentro del diseño paramétrico:

1) Personalización y automatización de tareas de modelado BIM: los VPL permiten a los usuarios crear rutinas o scripts de automatización del trabajo de modelado BIM para mecanizar tareas repetitivas y conseguir incrementos en la productividad, con la creación de scripts particularizados que permiten construir herramientas propias con una reducción significativa de la curva aprendizaje. Minimiza el esfuerzo, y la automatización de procesos de producción redundantes con importante reducción de los tiempos de ejecución y con entregas más rápidas. Permite la personalización y adaptación de procesos, reutilizando definiciones de tareas comunes, esto abre numerosas oportunidades a los usuarios de modelado BIM, para que puedan personalizar sus propios flujos de trabajo y la consecución de algoritmos personalizados, aprovechando y utilizando conceptos de programación visual, sin la necesidad de aprender el funcionamiento de la API de modelado BIM ni escribir código con lenguajes de programación convencionales.

2) Mejor y mayor control de los parámetros de información del modelo: los VPL guionizan todo el proceso de generación del modelo con inclusión parámetros y relaciones de dependencia entre todas sus partes. En el modelo BIM no se explicitan estas interdependencias en la creación de geometría, sin ser posible realizar el seguimiento de sus fases desde el inicio hasta su terminación. Los VPL plantean todo su recorrido generativo y permiten a los usuarios formular relaciones sistemáticas de dependencia, entre todas las partes de sus componentes y los parámetros de información del modelo. Esto permite la manipulación de los parámetros y relaciones entre los elementos del modelo, que de otra manera sería imposible con las herramientas BIM convencionales.

3) Diseño sobre entornos BIM: el BIM se pone a menudo en la tesitura de ser utilizado sólo para la “producción” no para el diseño. Los VPL tienen el potencial y las herramientas para convertir las ideas preconcebidas en la cabeza, en un diseño paramétrico. Permite a los diseñadores explorar marcos iterativos en el contexto de las herramientas de modelado BIM. Permiten nuevas posibilidades en su interrelación y colaboración con el software de modelado BIM; posibilitando

nuevos escenarios en la generación de formas y control geométrico de esas formas, que no es posible crear en un entorno de modelado convencional.

4) Nuevas herramientas de diseño: Permite la creación de nuevas herramientas de diseño personalizadas, que hacen posible la exploración de nuevos diseños generativos y su control de formas. El software VPL proporciona nuevas herramientas y siempre en el contexto de las plataformas BIM para la generación, análisis, manipulación, control y gestión de formas minimizando el esfuerzo de creación y pruebas de cientos de opciones para la optimización de los resultados en base a diferentes variables o criterios de parametrización. Permite la manipulación sofisticada y dinámica del control geométrico de formas, datos y estructuras relacionales.

5) Nueva forma de trabajar: Los VPL permiten crear, manipular, experimentar formas geométricas y explorar nuevos enfoques de diseño, obteniendo la visualización y optimización de sus componentes integrantes que impulsan la ideación del diseño. Los VPL pueden utilizar también la geometría extraída del entorno de modelado BIM y realizar una gran cantidad de transformaciones diferentes en esa geometría. Es posible su manipulación de diversas maneras y obtener mucha información sobre la geometría de todos sus elementos con los nodos disponibles y su amplia lista de operaciones. Por último se puede tomar esa información para colocar en las superficies componentes adaptativos que hayan sido generados con el software de modelado BIM.

En resumen los VPL por tanto amplían y extienden considerablemente la funcionalidad, prestaciones y potencialidades paramétricas del modelado BIM, pudiendo utilizarse para la manipulación de elementos programables de forma visual en lugar de tener que especificar esa programación con introducción de códigos de texto. Crea su propia geometría con relaciones paramétricas, pudiendo leer y escribir extrayendo información de y hacia bases de datos externas incluyendo Acces y Excel entre otros. También tiene la posibilidad de leer, intercambiar y escribir información hacia y desde la base de datos propia del modelo BIM mediante la API (Application Program Interface) Interfaz de Programación de la Aplicación BIM. Permite automatizar tareas, crear y reestructurar elementos en el modelo, y un largo etc., mejorando significativamente su comportamiento para el desarrollo y automatización de tareas repetitivas. El espíritu de código abierto de los VPL (open source) estimula y favorece la colaboración de la comunidad

internacional de usuarios ya formada, que con sus aportaciones y nuevas ideas comparten conocimientos y nodos especializados, convirtiéndose en desarrolladores del programa haciendo de él lo que ellos quieren que sea.

5.07. OTROS EDITORES GRÁFICOS DE ALGORITMOS GENERATIVOS

El más utilizado es Grasshopper que es un plug-in del desarrollador de Rhinoceros, orientado al diseño paramétrico que funciona como un editor de algoritmos generativos integrado con herramientas de modelado 3D de Rhinoceros. Rhinoceros también conocido como Rhino es un software que permite el modelado 3D de manera intuitiva y precisa. Tiene el inconveniente de que Grasshopper no pertenece a un entorno BIM, y por lo tanto sería necesaria siempre su conversión, mediante la utilización de los softwares de lectura, para luego proceder a su posterior conversión, para que pueda incorporarse al programa BIM. A diferencia RhinoScript, Grasshopper no requiere conocimientos de programación o secuencias de comandos; pero permite a los diseñadores el modelado preciso y la generación de formas que van de lo simple a lo más complejo y sofisticado. Más información en <http://www.grasshopper3d.com/>

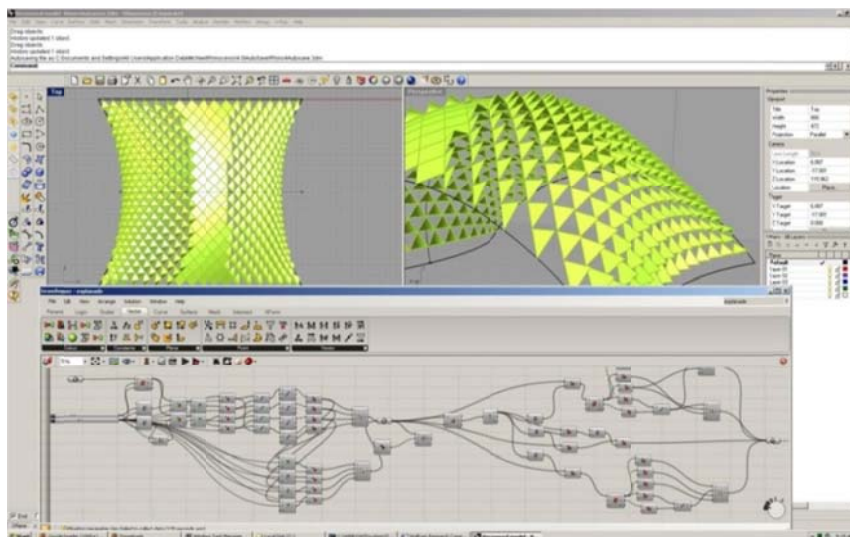


Figura 5.10. Ejemplo de utilización del software Grasshopper que es un plug-in de Rhinoceros, que utiliza también al igual que Dynamo un entorno visual gráfico, para la creación y edición de algoritmos paramétricos. Fuente: <<https://metaarquitectura.wordpress.com/2012/11/11/la-diferencia-entre-el-parametricismo-y-la-modelacion-por-algoritmos-generativos/>>. Acceso en: 13 jun. 2015.

La necesidad de operar entre múltiples tecnologías, dentro del diseño paramétrico, está creciendo continuamente día tras día. Nuevas aplicaciones se incorporan resultando difícil estar al día en sus innovaciones, representando también un desafío el intercambio de datos entre las diferentes plataformas, ya que a menudo, al importar la geometría no se puede editar, salvo dentro de su formato nativo.

PROJECT HUMMINGBIRD

(Proyecto Colibrí) es un proyecto conjunto, desarrollado por Tim Meador y Mario Guttman, que consiste en un conjunto de componentes de Grasshopper y complementos Revit, utilizados para facilitar la creación de la geometría nativa de Revit. Este proceso utiliza un pseudo-lenguaje simplificado en Excel, para describir todos los aspectos de la geometría BIM de Revit, traduciendo la geometría primitiva de Rhino a Revit. Se ha simplificado mucho el proceso sin la necesidad de establecer vínculos a objetos de referencia. Permite que el modelo de Revit pueda ser modificado y adaptado en toda la duración del proyecto.

Ahora, existe la posibilidad de intercambio de datos bidireccional entre Revit y Rhino. La nueva versión se está en el link: <http://www.food4rhino.com/project/hummingbird?etx&ufh> que incluye un componente para la lectura de archivos CSV y el uso de los datos para construir la geometría en Rhino-Grasshopper. Esta versión también incluye una gran cantidad de pequeñas correcciones y adiciones. También hay un nuevo sitio, además del sitio FoodForRhino, donde se puede descargar el software, así como datos de la muestra y otros tipos de recursos en el vínculo siguiente <http://www.whitefeet.com/Hummingbird/>

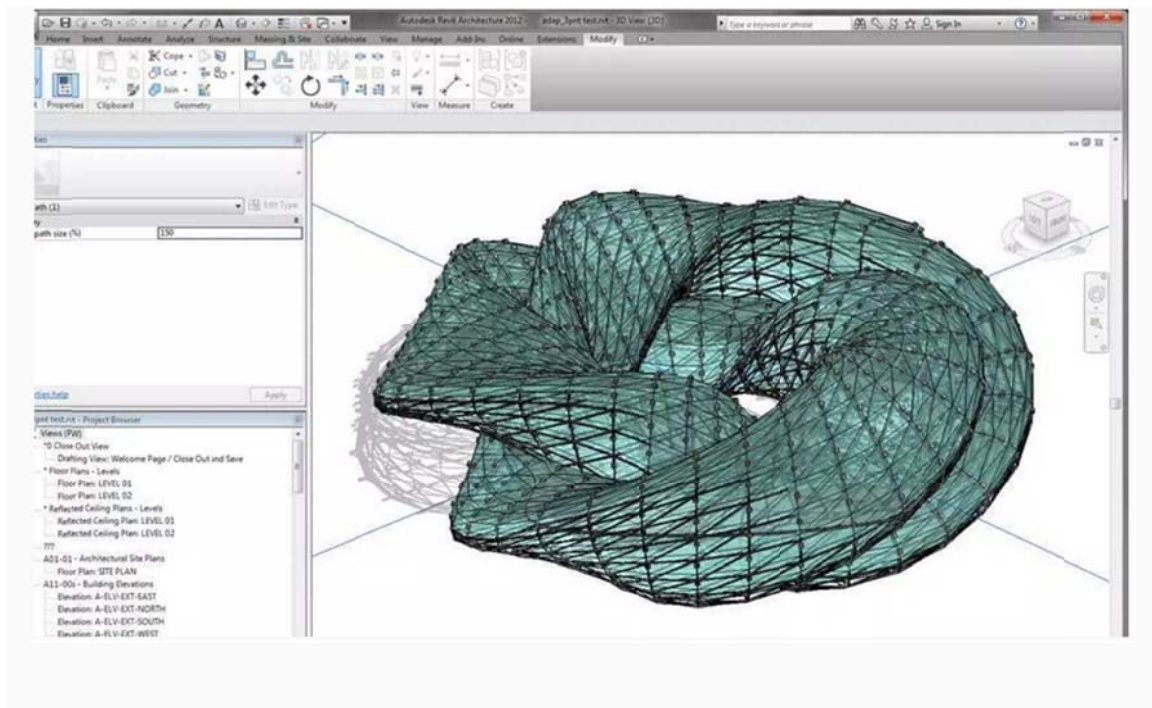


Figura 5.11. Detalle del modelado paramétrico de una geometría 3D realizada originalmente utilizando Rhinoceros y el plug-in de Gashopper e importada posteriormente con Hummingbird para convertirla a un archivo que permite la lectura desde Revit. Fuente: <<https://ghummingbird.wordpress.com/about/>>. Acceso en 23 oct.2016

CHAMELEON

Chameleon es un plug-in gratuito para Grasshopper y un complemento para Revit desarrollado por Hiroshi Jacobs para Grasshopper y Revit con un enfoque en la interoperabilidad, la simulación, y los flujos de trabajo de prácticas eficientes. La principal ventaja del Camaleón es su capacidad para facilitar una fácil transferencia de datos geométricos entre Grasshopper y Autodesk Revit, pero también incluye otras herramientas valiosas para hacer la vida más fácil, tanto en Grasshopper como en Revit. La última versión, incluye la actualización de la funcionalidad de las herramientas de gestión de la cortina de cuadrícula para usuarios de Revit. Estas herramientas permiten ahora el control de paneles de muro cortina, además de las rejillas y los parteluces. También hay una vista previa para mostrar los resultados de los cambios antes de aceptar.

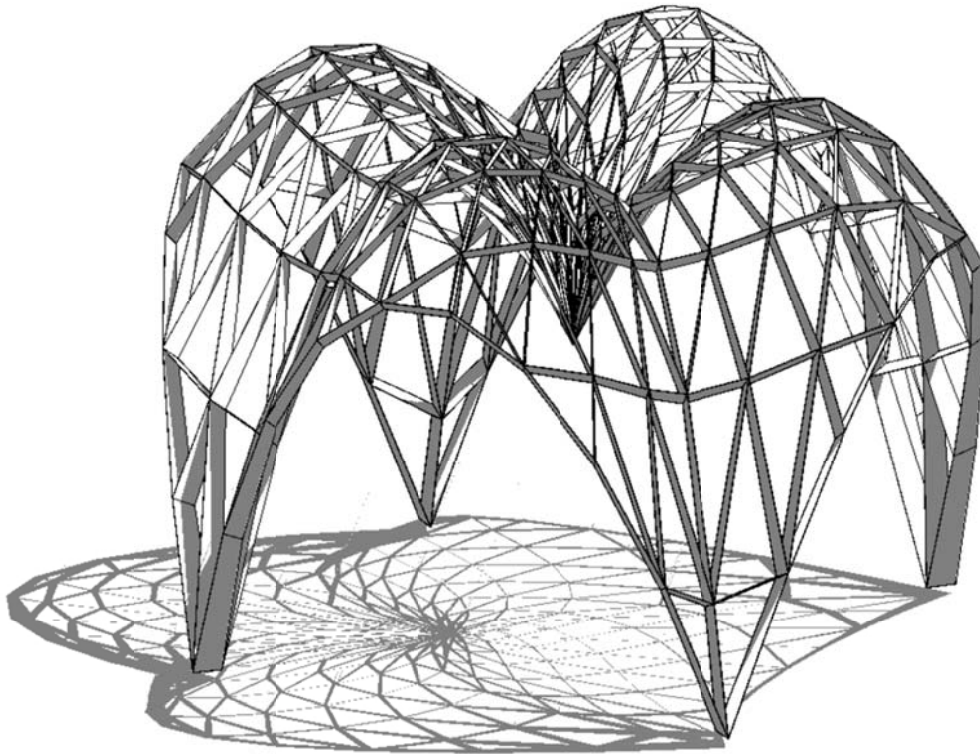


Figura 5.12. Detalle de la visualización de una geometría 3D compleja, desarrollada con el plug-in Grasshopper para Rhinoceros y convertida con Chameleon para su lectura con Revit. Fuente: <<http://collectivebim.com/grasshopper-revit-interoperability-chame-leon/>>. Acceso en: 16 oct. 2015

En la figura anterior se ha incorporado una visualización de una geometría 3D paramétrica realizada con el plug-in de Rhinoceros Grasshopper y exportada a Chameleon para poder hacer su lectura dentro del entorno de Revit.

Más información sobre Chameleon en <<https://aec-apps.com/app/app/chameleon>>

5.08. ANATOMIA DE UN PROGRAMA VISUAL

Los VPL disponen de un entorno gráfico que permite la creación de programación visual en un área de trabajo mediante la incorporación de gran número de nodos disponibles, que son seleccionados e introducidos desde su biblioteca, formando una estructura ramificada en árbol

por la interconexión de dichos nodos con conectores a modo de cables que transportan la información de unos a otros.

Los nodos disponibles que trae la biblioteca de Dynamo por defecto pueden estar contenidos dentro de ocho categorías diferentes 1) Analyze (Analizar), 2) Builtin (Funciones), 3) Core (Núcleo), 4) Display (Visualización), 5) Geometry (Geometría), 6) Office (Oficina), 7) Operators (Operadores) y 8) Revit.

De todas estas categorías los nodos más numerosos se encuentran dentro de “Core” y en la categoría “Geometry”. Suelen seleccionarse de dos formas diferentes, la primera, utilizando la búsqueda rápida, mediante el recuadro al efecto, ubicado en la zona superior izquierda de la interfaz gráfica y a la derecha del icono de la lupa encima del texto BUSCAR BIBLIOTECA. Tecleando las primeras letras del nodo se despliegan más abajo, los nodos coincidentes con el literal del texto introducido. La segunda, navegando a través de los desplegables de las categorías de nodos, hasta encontrar el que se busca, para luego hacer clic sobre él.

Una vez, son introducidos los nodos en el área de trabajo, deberán posteriormente ser interconectados entre ellos, utilizando otros elementos denominados conectores, dispuestos al efecto para especificar el flujo direccional lógico de trabajo, establecido en el desarrollo del Programa Visual resultante. Estas conexiones internodales dan como resultado una estructura en árbol más o menos compleja, en función del número de procesos o pasos que se requieran para realizar la programación a realizar, hasta la terminación completa de todo el script, para luego terminar procediendo a su ejecución y obtención de resultados.

A continuación se estudiarán los elementos constitutivos de la programación visual, la organización de los nodos disponibles en las Bibliotecas de Dynamo, la incorporación y utilización de nuevos nodos creados por el usuario y otros, contenidos en paquetes funcionales, desarrollados por usuarios de la comunidad virtual Dynamo, de utilización gratuita; las partes y los estados de nodos, y las mejores prácticas para introducirlos en sus áreas de trabajo.

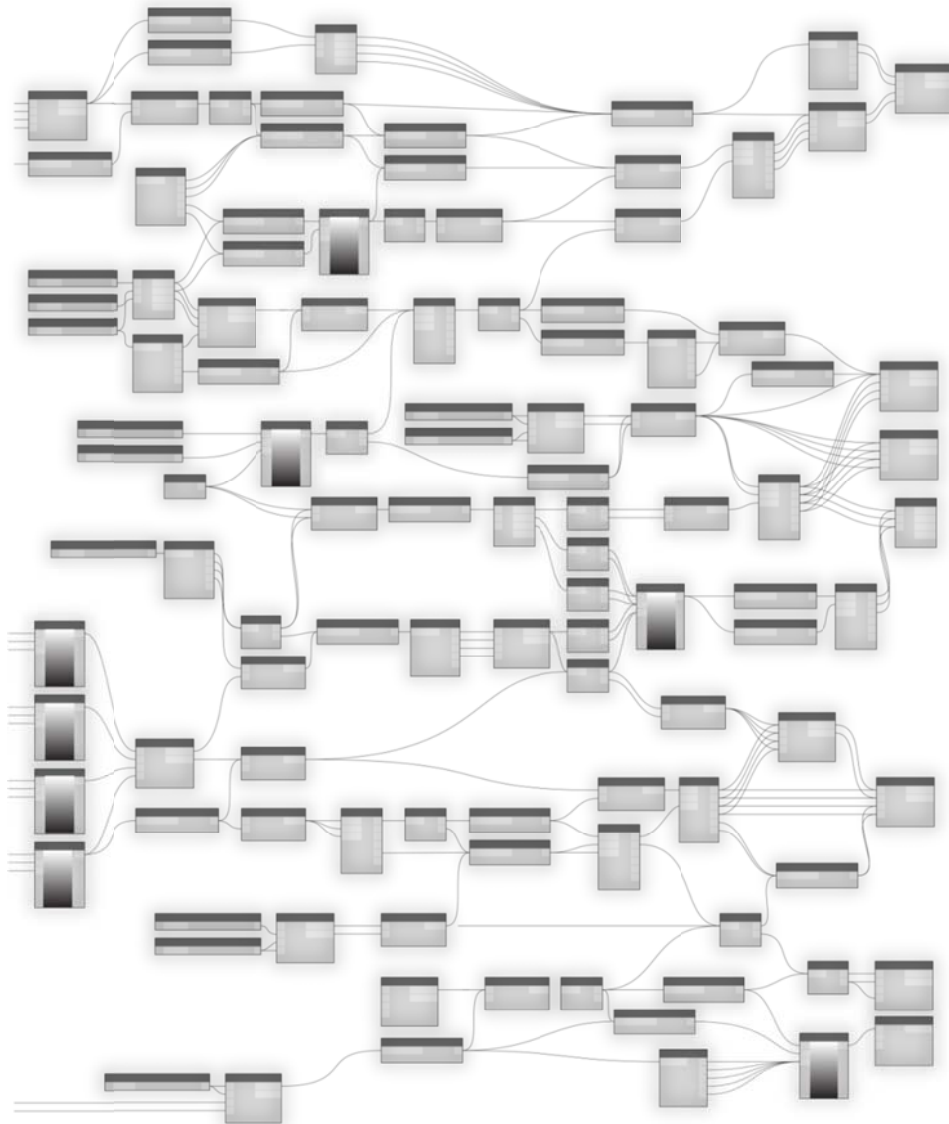


Figura 5.13. Detalle de un esquema de organización genérica del desarrollo de programación visual de un script en Dynamo con inclusión de nodos y conectores. Fuente: <<http://dynamoprimer.com/>>. Acceso 15 junio 2014

5.09. FUNCIONAMIENTO DE DYNAMO: NODOS DE PROGRAMACIÓN Y CONECTORES

Dynamo y los softwares VPL en general trabajan básicamente con “nodos”, que son los operadores utilizados para la realización de funciones relacionadas con el diseño algorítmico y su

programación visual. Estos nodos se conectan entre sí por medio de conectores o cables, para la creación de relaciones lógicas de interacción y flujo de trabajo e información; conformando una estructura ramificada que compone el conjunto del script o programa visual a desarrollar. La información fluye entre los nodos de izquierda a derecha a través de los conectores, que a modo de cables transportan la información de un nodo a otro. Los conectores conectan el puerto de salida de un nodo con el puerto de entrada de otro.

Los nodos pueden representar elementos de modelado BIM, como líneas de modelo, puntos de referencia o comandos de funciones como extrusiones, traslaciones, rotaciones etc. También pueden representar operaciones como funciones matemáticas. Cuentan en su configuración con puertos de entradas en su lado derecho y puertos de salidas en su lado izquierdo, para establecer la direccionalidad del flujo de ejecución del programa, por lo general, de izquierda a derecha, pudiendo disponerse estos por toda el área de trabajo.

Dado que el software dispone de una biblioteca que contiene un número significativo de nodos para componer la programación visual, se hace necesaria la incorporación de un mecanismo de búsqueda y localización rápida de nodos, junto con una descripción breve de las funciones que realizan cada uno.

Esta búsqueda o localización rápida de nodos se confía a un buscador que está situado en un lateral, en la zona superior izquierda de la interfaz gráfica, en un recuadro, a la derecha de un icono representado por una lupa y el literal BUSCAR BIBLIOTECA. Nada más empezar a teclear las primeras letras del nombre del nodo, se inicia la búsqueda automáticamente, en la zona inmediata inferior al buscador, aparece un listado de nodos con los literales iguales al tecleado.

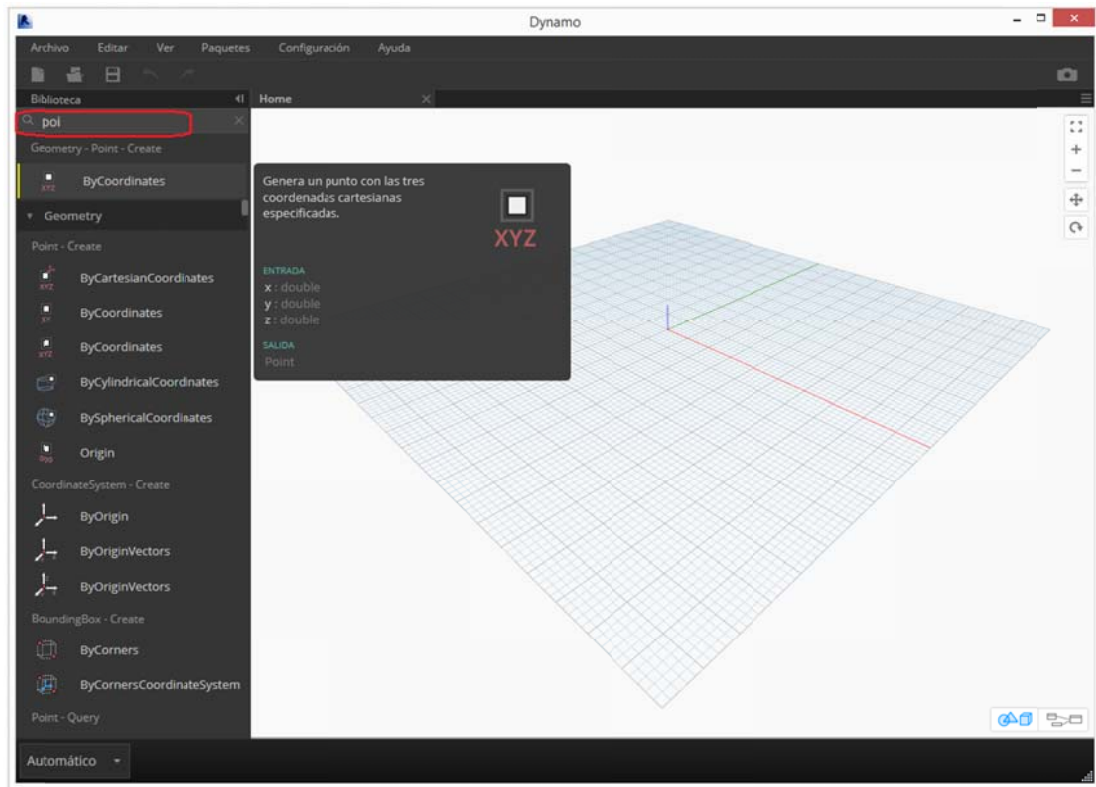


Figura 5.14. Vista de la interfaz gráfica del software VPL y su área de trabajo. Puede verse la sugerencia del nodo correspondiente al pasar el cursor del ratón sobre el listado que aparece debajo de la línea de búsqueda de nodos de la librería. Dicha sugerencia dispone de un texto con una breve explicación del mismo y los datos necesarios de sus puertos de entrada y salida. Elaboración propia con software VPL.

Posicionando el cursor sobre cualquiera de los nombres de los nodos que aparecen en el listado de la biblioteca de nodos, aparece, en la zona inmediata de la derecha una referencia del mismo con su nombre completo, la explicación de la función realizada por ese nodo y las entradas y las salidas de sus puertos respectivos. Si se pulsa con el cursor sobre él, se ve en el área de trabajo el propio nodo en cuestión y si se pulsa y se mantiene pulsado el cursor, se puede arrastrar a la zona del área de trabajo que nos interese para que pueda quedarse en esa posición, pudiendo desplazarlo, arrastrándolo a otra zona en cualquier momento.

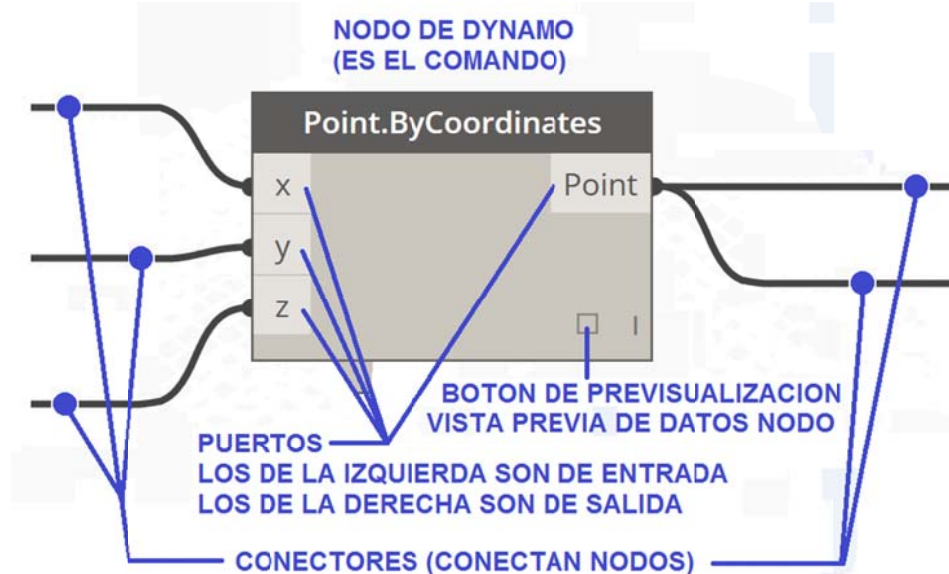


Figura 5.15. Detalle de las partes integrantes de un nodo y sus conectores de entrada y salida con otros nodos adyacentes. Es importante poder tener acceso mediante el botón de previsualización del nodo a la vista previa de los datos de salida, generados por la actuación del nodo dentro del esquema general del script, para comprobar que los resultados de la operación realizada por dicho nodo son los que se buscan. Elaboración propia con software VPL.

Los conectores, son “cables” que conectan la salida del puerto de un nodo con la entrada del puerto de otro nodo. Los puertos del nodo, situados en la zona lateral izquierda de este, son de entrada, y los que se sitúan en la zona lateral derecha son de salida. Para introducir un conector que una dos nodos, se hará clic con el botón izquierdo del ratón en el puerto de salida del nodo y se moverá el cursor del ratón hasta el puerto de entrada del otro nodo que se pretenda conectar, donde se volverá a hacer clic con el ratón y quedarán unidos ambos por un cable. Nada más hacer clic en el puerto de salida del primer nodo y desplazar el cursor, la línea del conector aparece, se ve como una línea discontinua a trazos, hasta que se hace el segundo clic, en ese momento, si la unión es correcta aparece como continua.

En el caso de que se quiera quitar un conector, ya creado entre dos nodos, se hace clic con el botón izquierdo del ratón sobre el extremo derecho del conector, justo en el puerto de entrada y se desplaza el cursor del ratón volviendo a clicar en la zona externa del nodo, con esto quedará eliminado.

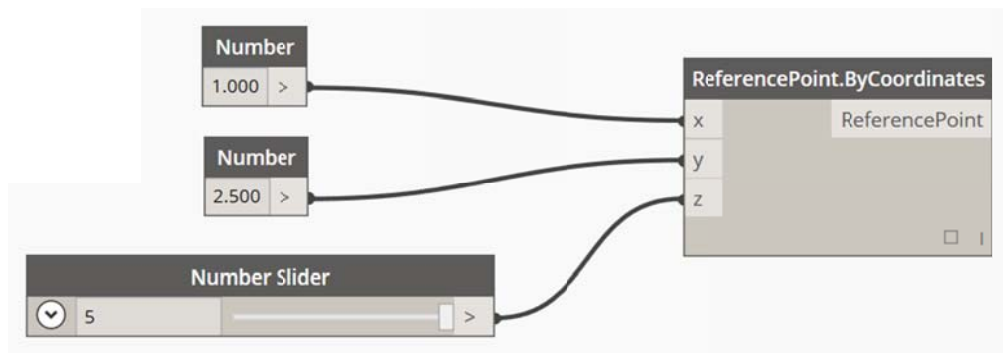


Figura 5.16. Detalle de un ejemplo de las interconexiones nodales que se establecen en el desarrollo de la estructura en árbol del script de la programación visual, entre los diferentes nodos que intervienen en su desarrollo. Elaboración propia con software VPL.

Existen nodos como el que aparece en la figura anterior con el nombre de “Number Slider”, que permiten la generación de valores numéricos, utilizando el movimiento de una barra deslizante, lo que permite que dicha generación de valores pueda realizarse de forma dinámica moviendo a un lado u otro el marcador de la barra.

Cada uno de los nodos, en función del estado de su ejecución dentro del programa visual, transmiten información mediante códigos de color para indicar su estado. También, pueden ofrecer información adicional, haciendo clic derecho sobre el nombre del nodo o sobre sus puertos de entrada y de salida; presenta información y opciones adicionales sobre el menú contextual que se abre. Los estados de los nodos pueden ser según su color:

- 1) Activo: fondo oscuro, estos nodos están bien conectados en todas sus entradas.
- 2) Inactivo: color gris, permanece inactivo y necesita estar conectado por los cables o conectores para formar parte del flujo de trabajo del programa en el área de trabajo.
- 3) Seleccionado: contorno perimetral azul, son los nodos seleccionados en un momento dado
- 4) Advertencia: color arena, estos nodos presentan un estado de advertencia.
- 5) Error: fondo rojo, presentan un estado de error. Es posible comprobar el tipo de error de que se trata pasando el ratón sobre el nodo y leer en él el texto de descripción emergente.
- 6) Valor por defecto: Se hace clic derecho en un puerto de entrada y puede elegirse la opción de poner los valores predeterminados, en caso de que los tenga, que pueden ser utilizados según convenga.

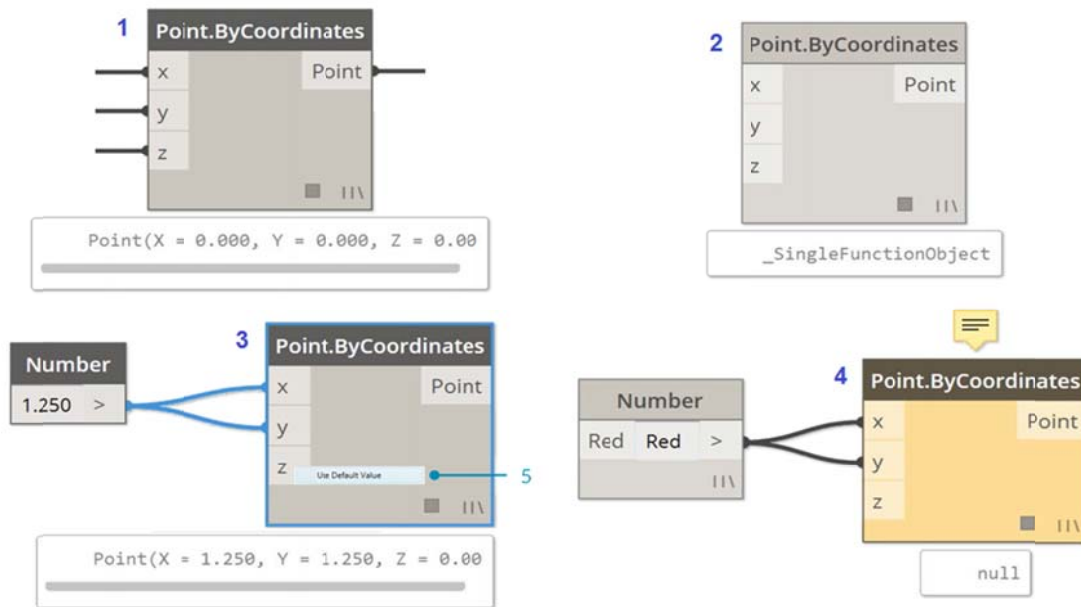


Figura 5.17. Detalle de los diferentes estados posibles en que puede encontrarse un nodo dentro del esquema general de programación visual, para la creación de los scripts, en función de las conexiones que se establezcan con otros nodos próximos y la idoneidad de los datos entre los puertos de entrada y salida. Elaboración propia con software VPL.

Si el programa visual contiene advertencias o errores, son indicados proporcionando información adicional. Cualquier nodo con fondo color arena, presenta una etiqueta encima de su nombre con información sobre las incidencias de las herramientas.

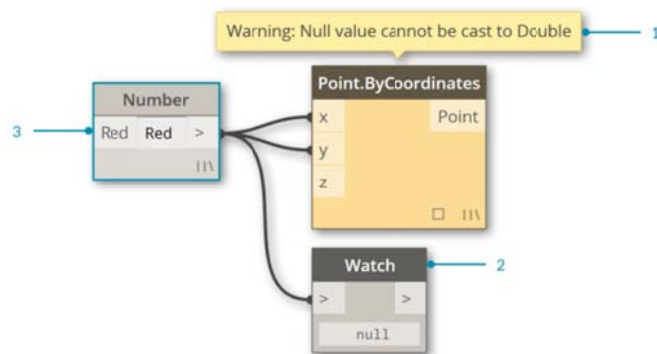


Figura 5.18. Detalle de una incidencia o advertencia dentro de un nodo con la aparición de una etiqueta con un texto indicativo del tipo de error, en que puede incurrirse en la conexión de datos del nodo actual, que cambia de color con los nodos limítrofes. Para el correcto funcionamiento del script, es necesaria la corrección de todas las notas o incidencias de error, que aparezcan en los nodos introducidos y en sus interconexiones. Elaboración propia con software VPL.

En el caso de que quisiera abrirse un archivo de Dynamo (*.dyn) que contuviera nodos personalizados o pertenecientes a paquetes que no estuvieran previamente cargados, dentro del nodo en cuestión aparecería un mensaje indicando este error, tal como se ve en la figura que se adjunta.

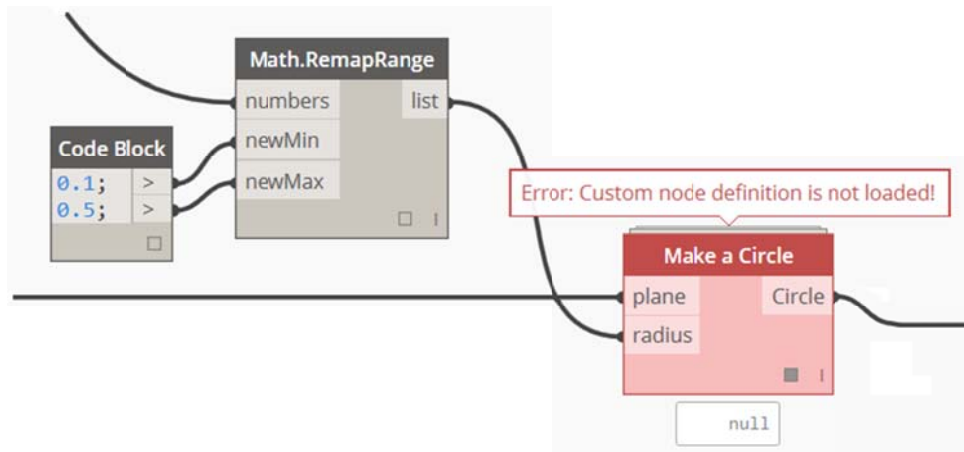


Figura 5.19. Cuando se comparte un archivo de Dynamo con alguien, que no dispone del nodo personalizado o paquete previamente instalado, aparece una advertencia en el nodo que indica esta circunstancia. Fuente: <<http://dynamobim.org/issues/extend-dynamo-with-packages/>>. Acceso en: 15 oct. 2015.

5.10. FUNCIONAMIENTO DE DYNAMO INTRODUCCIÓN DE DATOS, RECURSOS

Dentro de Dynamo pueden remarcarse tres tipos de operativas en su utilización, que es necesario controlar y que podrían enumerarse según los siguientes apartados

TIPOS DE INPUTS O ENTRADA DE DATOS

La entrada de datos de los nodos requiere saber de antemano el formato de los mismos, para que el nodo pueda ejecutarse correctamente, ya que en caso contrario nos mostraría un aviso de error y no se ejecutaría. El tipo de formatos que admiten las entradas son los siguientes:

1. String = Texto
2. Integer = Número Entero (245)
3. Double = Número Decimal (245.00) tiene parte entera y parte decimal

4. Boolean = True or False
5. Información = Path (ruta archivo), Parámetro, etc.
6. Crear Tipos de Familia

DATOS Y LISTAS

Las listas con datos son elementos muy frecuentemente utilizados en Dynamo, y de una enorme importancia, ya que pueden establecerse como inputs o entradas de datos (estableciendo la ruta de archivos de datos como por ejemplo tablas de excel) en los nodos. Esto posibilita hacer una pluralidad de series de procesos al mismo tiempo y para varios objetos, al contrario de Revit, donde es necesaria la realización de un proceso cada vez para cada objeto, no admitiendo procesos con listas de datos. Es comprensible que las listas indexadas sean la columna vertebral del diseño algorítmico.

El lenguaje de programación, que internamente procesan los nodos, está escrito en Python, donde se trabaja mucho con listados de datos. Por eso los nodos relacionados con las listas, como por ejemplo, "List.Create" (Creación de Listados con datos) son recursos que es muy importante conocer en profundidad para sacar el máximo partido.

PACKAGES MANAGER. GESTOR DE PAQUETES DE DYNAMO

Los Packages o paquetes son recursos existentes dentro de la comunidad virtual de Dynamo, que han sido creados y desarrollados por los propios usuarios de la comunidad virtual, para compartir nodos personalizados, que realizan una serie de funcionalidades muy diferentes y diversas dentro de la programación visual de diseño paramétrico, estableciendo un directorio, como un set de herramientas, donde se pueden descargar. Estas funciones que realizan estos paquetes proporcionan ahorros de tiempo importantes en nodos empaquetados de tareas generalmente repetitivas, resolviendo numerosos requerimientos. Ver el vínculo siguiente:

<<http://www.dynamopackages.com/>>. Acceso en 18 octub. 2015.

Los más frecuentemente utilizados son los que se pasan a describir de forma resumida a continuación:

Bumblebee: Es un plugin de interoperabilidad Excel y Dynamo, que mejora enormemente la capacidad del Dynamo para leer y escribir archivos de Excel.

<http://archi-lab.net/bumblebee-dynamo-and-excel-interop/>

Clockwork: Es una colección de nodos personalizados para el entorno de programación visual Dynamo. Contiene muchos nodos relacionados con Revit; sino también una gran cantidad de nodos para otros fines tales como: la gestión de la lista, operaciones matemáticas, operaciones de cadena, conversiones de unidades, operaciones geométricas (que limitan principalmente cajas, mallas, planos, puntos, superficies, UV y vectores) y paneles.

<http://archi-lab.net/bumblebee-dynamo-and-excel-interop/>

Dynamo SAP: Es una interfaz paramétrica para SAP2000, construida en la cima de Dynamo. El proyecto permite a los diseñadores e ingenieros la generación y el análisis de sistemas estructurales en SAP, utilizando Dynamo para conducir el modelo SAP. El proyecto establece unos flujos de trabajo comunes que se describen en los archivos de ejemplo incluidos, y ofrece una amplia gama de oportunidades para la automatización de las tareas típicas de SAP.

<http://core.thorntontomasetti.com/dynamosap-is-now-open-source/>

Dynamo Unfold: Esta biblioteca amplía la funcionalidad de Dynamo/Revit permitiendo a los usuarios desplegar geometría de la superficie y poli-superficie. La biblioteca permite a los usuarios traducir primero superficies en topología teselado plano, entonces se desarrollan usando herramientas Protogeometry en Dynamo. Este paquete también incluye algunos nodos experimentales, así como algunos archivos básicos de la muestra.

<https://github.com/mjkkirschner/DynamoUnfold>

Dynastrator: Importación ilustración de arte de Illustrator o en la web utilizando .svg. Esto le permite importar dibujos creados manualmente en Dynamo para operaciones paramétricas.

<http://dynamopackages.com/>

Energy Analysis: permite modelado paramétrico de energía y creación de flujos de trabajo de análisis de toda la energía en Dynamo 0.8. Análisis de Energía para Dynamo permite al usuario configurar el modelo energético de Autodesk Revit, someterse a Green Building Studio para

análisis energético DOE2 y profundizar en los resultados devueltos por el análisis. El paquete está siendo desarrollado por el estudio NÚCLEO de Thornton Tomasetti.

<https://github.com/tt-acm/EnergyAnalysisForDynamo>

Firefly: Es una colección de nodos que permiten a Dynamo comunicarse con los dispositivos de entrada/salida, como el microcontrolador Arduino. Debido a que el flujo de datos que sucede "en vivo", Firefly abre muchas oportunidades para la creación de un prototipo interactivo entre los mundos digital y físico a través de cámaras web, teléfonos móviles, dispositivos de juego, sensores y más.

<http://dynamopackages.com/>

Lunchbox: Es una colección de geometría y de gestión de datos y nodos reutilizables. Las herramientas han sido probadas con Dynamo 0.8.1 y Revit 2016. La herramienta incluye nodos para paneles de superficie, la geometría, la recopilación de datos Revit, y mucho más.

<http://provingground.io/tools/lunchbox/>

Malla Toolkit Dynamo: Ofrece muchas herramientas útiles para trabajar con la geometría de la malla. La funcionalidad de este paquete incluye la capacidad de importar mallas de formatos de archivos externos, generar mallas de objetos de geometría Dynamo preexistentes, y manualmente construir mallas a través de vértices y la información de conectividad. Además, este kit de herramientas incluye herramientas para modificar y la geometría de malla reparación.

<https://github.com/DynamoDS/Dynamo/wiki/Dynamo-Mesh-Toolkit>

Mantis Shrimp: es un proyecto de interoperabilidad que permite importar fácilmente geometría de Grasshopper y / o la geometría de Rhino en Dynamo.

<https://github.com/ksobon/MantisShrimp>

Optimo: Proporciona a los usuarios dínamo la capacidad para optimizar los problemas de diseño autodefinidos, utilizando varios algoritmos evolutivos. Los usuarios pueden definir el problema objetivo o conjunto de objetivos, así como funciones de fines específicos.

<https://github.com/BPOpt/Optimo/wiki/0-Home>

Rhynamo: La biblioteca nodo Rhynamo proporciona a los usuarios la capacidad de leer y escribir archivos 3DM de Rhino desde dentro de Dynamo. Rhynamo traduce geometría Rhino en la geometría Dynamo, utilizable mediante el uso de la biblioteca OpenNURBS de McNeel que permite nuevos flujos de trabajo, que pueden intercambiar geometría y datos de manera fluida entre Rhino y Revit. Este paquete también contiene algunos nodos experimentales que permiten el acceso "directo" a la línea de comandos de Rhino.

<https://bitbucket.org/caseinc/rhynamo>

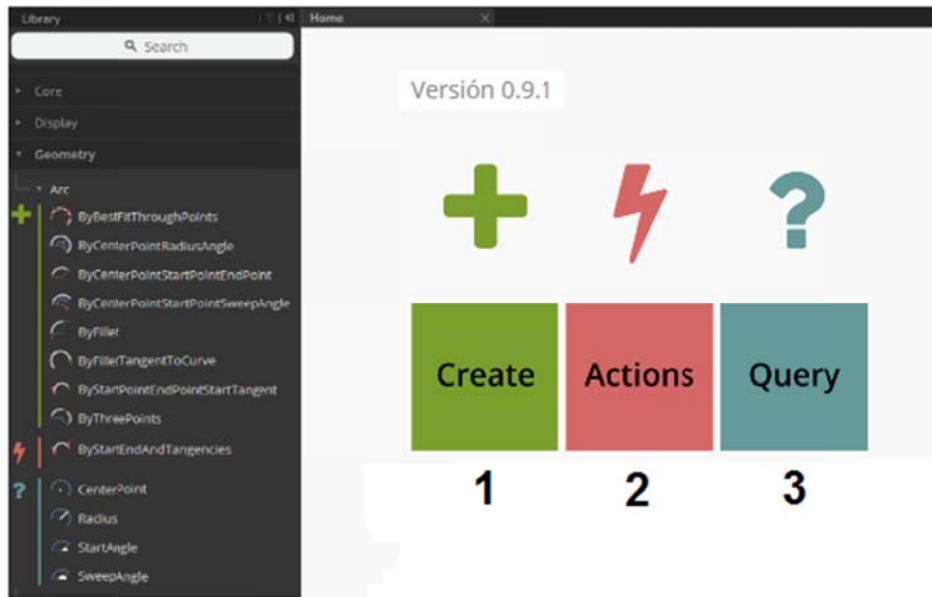
Uno de los recursos importantes de Dynamo puede encontrarse en <http://dynamobim.com/> y dentro de la página web anterior, lo relacionado con La Comunidad.

COMANDOS Y FUNCIONALIDADES BÁSICAS RECURRENTE SOBRE ENTIDADES

El software VPL utiliza en los nodos disponibles en su biblioteca una serie de funcionalidades básicas, que es conveniente conocer y diferenciar, se dividen en tres grupos según la función realizada, son las siguientes:

1. Create (Creación): Creación de una entidad
2. Actions (Acciones): Acciones con una entidad
3. Query (Consultas): Informaciones sobre una entidad

Estas tres funcionalidades dentro de la biblioteca de dynamo se diferencian según los tipos de nodos a seleccionar con una simbología diferente para cada una de ellas, a saber:



Mejoras de la biblioteca

Ahora la biblioteca está organizada como una vista de árbol para que sea más fácil encontrar los nodos. También se utiliza un código de color para los tipos de nodo, que facilita la localización de los nodos de creación, acción y consulta de la biblioteca.

Figura 5.20. Interfaz gráfica del software de modelado algorítmico VPL. Puede verse la organización de los nodos con los que cuenta la biblioteca de nodos. Los nodos son de tres categorías distintas como se ve en la figura, identificados por símbolos con códigos de color. Fuente: <<http://dynamoprimer.com/en/>>. Acceso en 15 oct. 2015.

NAVEGACIÓN EN DYNAMO

Dynamo dentro de su entorno de trabajo permite dos tipos de navegación, alternando entre la navegación 3D, donde se visualiza únicamente la geometría del objeto 3D, pudiendo recorrerlo de forma dinámica con el cursor del ratón y cambiando el punto de vista y la navegación por los nodos, donde solamente podría actuarse sobre la parte de la programación visual, sin posibilidad de alterar o interactuar sobre otra cosa, que no fueran los nodos que forman parte de la programación visual del desarrollo del script de que se trate. El tipo de navegación pretendida se seleccionará haciendo clic sobre uno de los dos iconos de navegación, dispuestos al efecto (Geom/Nodo), en la zona superior derecha dentro del área de trabajo.

5.11. NODOS CREADOS POR EL USUARIO

Es posible crear nodos propios reutilizables y recursivos en Dynamo, sin necesidad de conocer un lenguaje de programación convencional. Estos nodos pueden ser utilizados en el área de trabajo actual o en otras áreas de trabajo de la máquina. También es posible compartir estos nodos con otros usuarios. Pueden crearse nuevos nodos al seleccionar un nuevo nodo al lado de la barra de búsqueda. Para ello se le da al nodo un nombre y una categoría (seleccionar en el menú desplegable o introduciendo un nombre nuevo). Puede observarse, que el color de fondo se vuelve más claro, cuando se está editando un nodo creado por el usuario.

Los nodos creados por el usuario aparecen en la lista de nodos como uno más. Es posible hacer doble clic para editar los nodos en cualquier momento o seleccionar su nombre en el menú desplegable View. Los nodos creados por el usuario se distinguen gráficamente de otros nodos por la sombra paralela. Cuando se ve a un nodo con una sombra es una indicación de que es posible hacer doble clic en él para editar el contenido. Se pueden compartir los nodos que se creen con otras personas, mediante el comando Guardar como en el Menú. Se puede abrir el archivo *.Dyn de un script de Dynamo, y este se importará obteniendo los nodos en el directorio de definiciones local.

La interfaz gráfica se ha actualizado completamente a partir del lanzamiento de la versión 0.8, con un desarrollo más claro de los menús y herramientas de trabajo y la incorporación de nuevas capacidades funcionales del programa, además de la reestructuración de las ya existentes. Cambia la biblioteca de la interfaz de usuario, con un aspecto que visualmente resulta más expresivo y ordenado; que ahora presenta nuevos iconos, e información de herramientas mejoradas, que permiten hacer mejor la búsqueda y la elección de las funciones de manera mucho más fácil y agradable.

Se incorpora también el soporte "Unicode", o "carácter especial", debido a que con las versiones anteriores, los flujos de trabajo con "caracteres especiales" común a muchos idiomas, no eran posibles. A partir de esta versión es posible la introducción de estos caracteres especiales en los parámetros de Revit y en los bloques de código con el formato "Unicode".

Se incorpora en la interfaz gráfica una cuadrícula de referencia, sobre un plano horizontal a cota cero y el origen de coordenadas representado por los tres ejes de coordenadas: el eje “X” en color rojo, el eje “Y” en color verde y el eje “Z” en color azul.

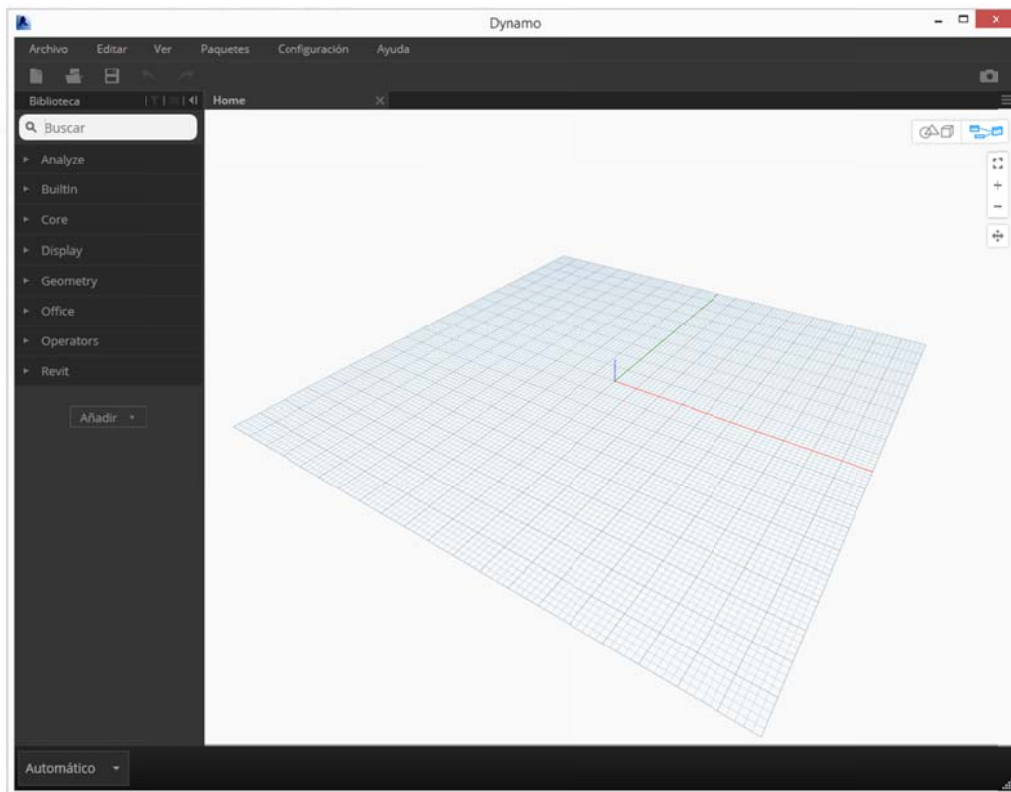


Figura 5.21. Detalle de la interfaz gráfica de Dynamo con el plano horizontal de referencia, la cuadrícula y los ejes de coordenadas de referencia, estableciendo el origen de coordenadas del sistema con un código de colores. Eje X de referencia en color rojo, eje Y de referencia en color verde y eje Z de referencia en color azul. Elaboración propia con software VPL.

En la figura anterior puede verse la Interfaz gráfica de la aplicación Dynamo, para programación visual (editor gráfico de algoritmos paramétrico).

En la zona superior derecha del área de trabajo se encuentran los dos modos de navegación que admite el programa. El icono primero es el de navegación por la Geometría y el segundo el de navegación por los Nodos.

Es posible la creación de nodos personalizados

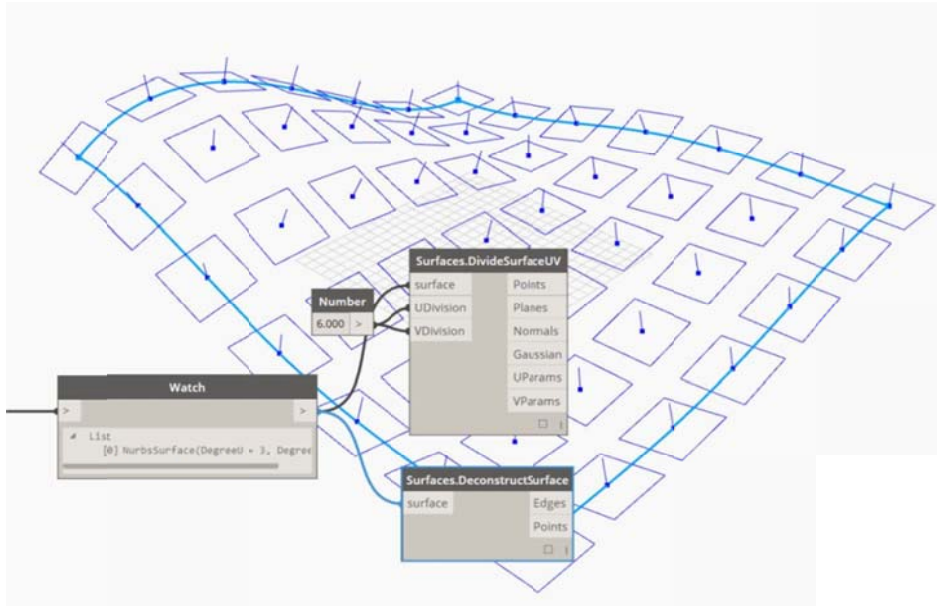


Figura 5.22. Elemento de superficie alabeada, dentro del entorno de trabajo de Dynamo, con aplicación de rejillas de división de superficie en dos direcciones U=6 y V=6, mediante la aplicación del nodo “Surfaces. DivideSurfaceUV”. Pueden verse también representadas las normales en todas las celdillas de división de la rejilla. Fuente: Nathan Miller <<http://www.theprovingground.org/2015/04/back-to-basics-with-lunchbox-and-dynamo.html>>. Acceso en 15 oct. 2015.

Es posible orientar los puntos de una superficie para obtener sus normales en esos puntos.

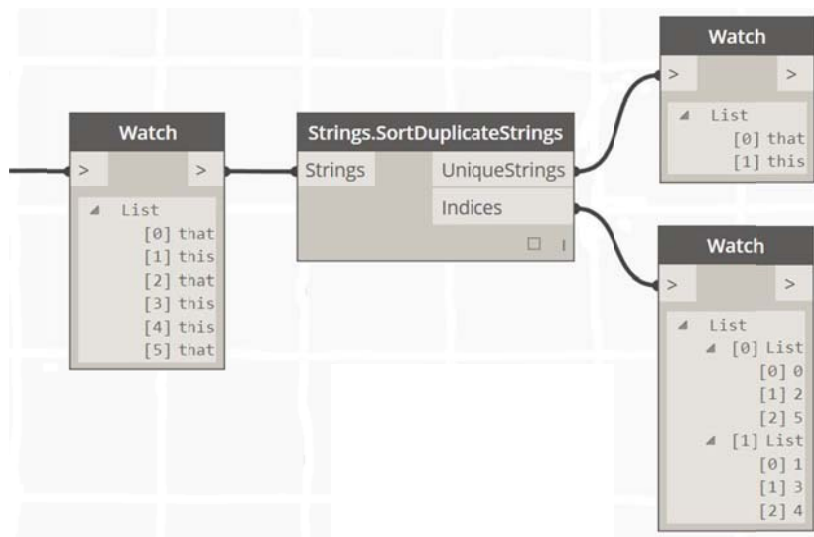


Figura 5.23. Detalle de utilización de nodos “Watch”, que permiten el listado de datos obtenido del propio procesado interno, realizado por el comando o nodo que devuelve la información para su comprobación. Fuente: Nathan Miller <<http://www.theprovingground.org/2015/04/back-to-basics-with-lunchbox-and-dynamo.html>>. Acceso en 15 oct. 2015.

Pueden verse los nodos con los puertos de entrada y salida unidos por sus conectores.

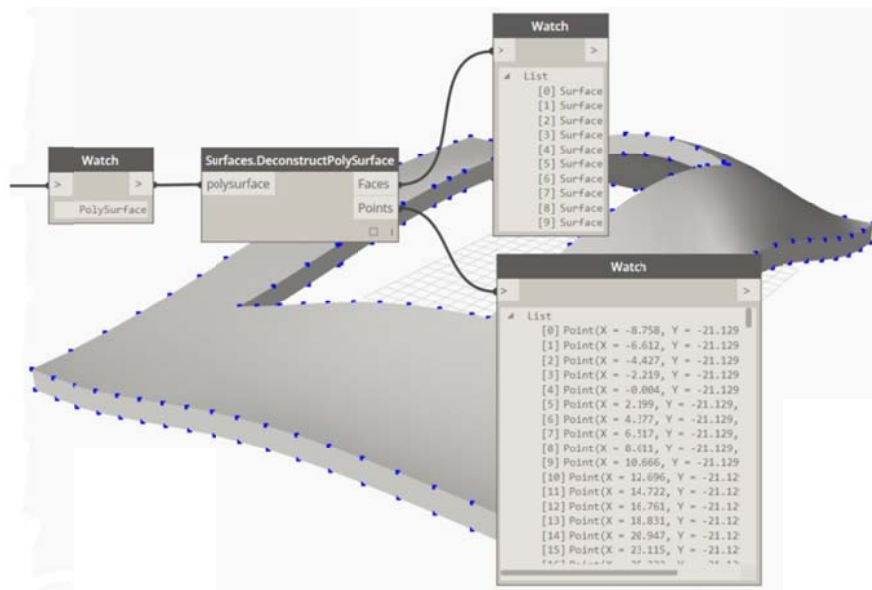


Figura 5.24. Otro detalle de utilización de nodos “Watch” sobre una superficie con espesor, que permiten ver un listado de datos, obtenido del propio procesado interno, realizado por el comando o nodo que devuelve la información para su comprobación. Fuente: Nathan Miller.<<http://www.theprovingground.org/2015/04/back-to-basics-with-lunchbox-and-dynamo.html>>. Acceso en: 15 oct. 2015.

Es posible utilizar tablas de datos procedentes de otras aplicaciones, o propias.

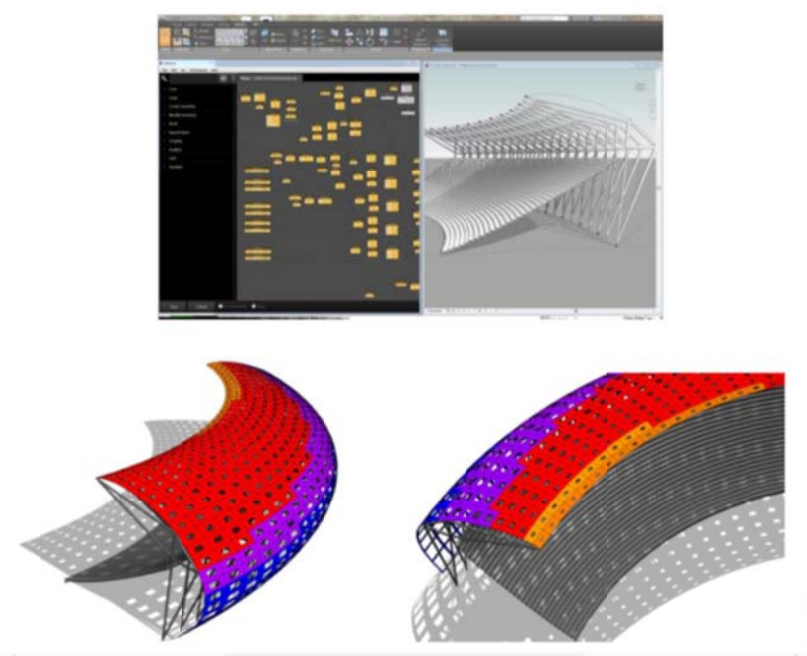


Figura 5.25. Vistas de utilización de la programación visual con software VPL en un proyecto de resolución de cubierta y estructura de un graderío. Estudios de sombreados. Fuente: <<http://dynamoprimer.com/>>. Acceso en 15 oct. 2015.

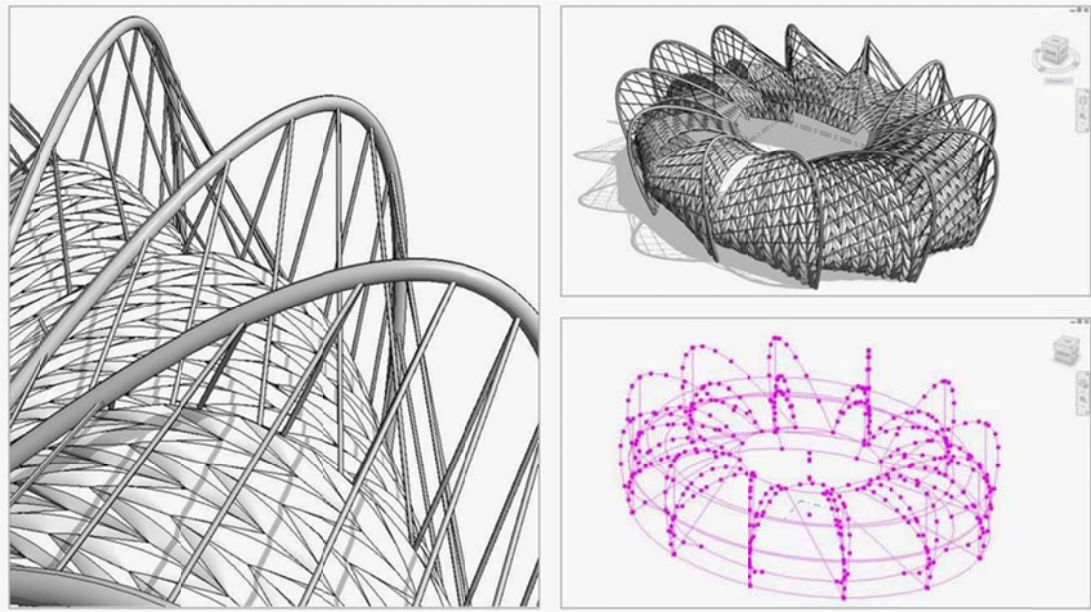


Figura 5.26. Generación de formas libres de geometría compleja, mediante la utilización de la programación visual para la creación de los scripts. Dynamo interactúa con Revit aumentando su potencial y las prestaciones en el campo del diseño paramétrico. Otros ejemplos de actuación con el programa Dynamo y sus resultados. Fuente: <<http://dynamoprimer.com/>>. Acceso 15 oct. 2015.

5.12. INTERACTUACIÓN DYNAMO-REVIT: CAMBIO DE PARÁMETROS DESDE DYNAMO, DE UNA FAMILIA DE MASA CREADA EN REVIT

Dynamo permite la interacción conjunta con Revit, ya que mantiene una conexión directa con su API y su base de datos, pudiendo intercambiar datos e información de forma bidi-reccional. Extrae información, parámetros, datos de ubicación de geometría, etc de Revit hacia Dynamo. En Dynamo tenemos la capacidad de procesar esos datos, modificarlos, complementarlos y utilizar fuentes de información externas como puede ser Excel, o cualquier otra base de datos en general. Cuando estos datos de las bases de datos se complementan e integran con Dynamo, posteriormente se pueden reinsertar en Revit, anexándolos a determinados parámetros, para obtener muy buenos resultados en trabajos de automatización de tareas, como la generación de masas de geometrías complejas.

Cuando se crea una geometría en el entorno de Dynamo, dentro del entorno de Revit, no sucede nada. Ya que para visualizar esa geometría creada en Dynamo, dentro del entorno de Revit es

necesario disponer de los nodos adecuados dentro del script de Dynamo, para poder referenciarla y así poder visualizarla en su entorno. Esos nodos son diferentes en función de los elementos de la geometría a visualizar (puntos, rectas, superficies, sólidos, elementos estructurales, etc.) y del entorno de trabajo donde se necesite su visualización (entorno de proyectos, entorno de familias). Dynamo tiene la posibilidad de interactuar bidireccionalmente con Revit en todos sus entornos de trabajo, tanto en los archivos de Revit *.rfa de familias de masa, como en los archivos de extensión *.rvt de proyecto, que se encuentre activo en el momento de su ejecución.

En el siguiente ejemplo se creará un script desde Dynamo con el que será posible la modificación de los parámetros que han sido introducidos en la creación de una familia en Revit, y se gestionará la modificación de estos parámetros de forma dinámica. Los parámetros creados en la familia de Revit, que se pueden modificar con Dynamo, son todos los que contiene la familia primitiva: ancho y profundidad de la base, ancho y profundidad de la parte superior, ángulo de giro de la torre y altura de la torre (seis parámetros en total).

Es imprescindible que la familia de masas de Revit, sobre la que vamos a interactuar en la modificación de sus parámetros esté cargada previamente en el entorno de proyectos de Revit, para poder acceder a esos parámetros, de familia desde Dynamo. Que este cargada no significa que además haya sido insertada en el área de dibujo, en este caso se cargará, pero no se procederá a su inserción, ya que, esta inserción se hará desde la propia aplicación de Dynamo. Si estuviera insertada en el área de trabajo, se produciría la duplicación de la familia y quedaría vinculada el duplicado de la familia con el programa de Dynamo.

Para ejecutar el software de Dynamo, lo que habrá que hacer en el caso presente, es situarse dentro del entorno de proyectos de Revit, y en la pestaña Complementos del grupo Visual Programming se pulsará sobre el icono con el nombre Dynamo 0.9. y una vez abierto el software de Dynamo, se pulsará sobre la opción Nuevo, dentro de Archivos. En la siguiente figura puede verse el inicio del arranque del software.

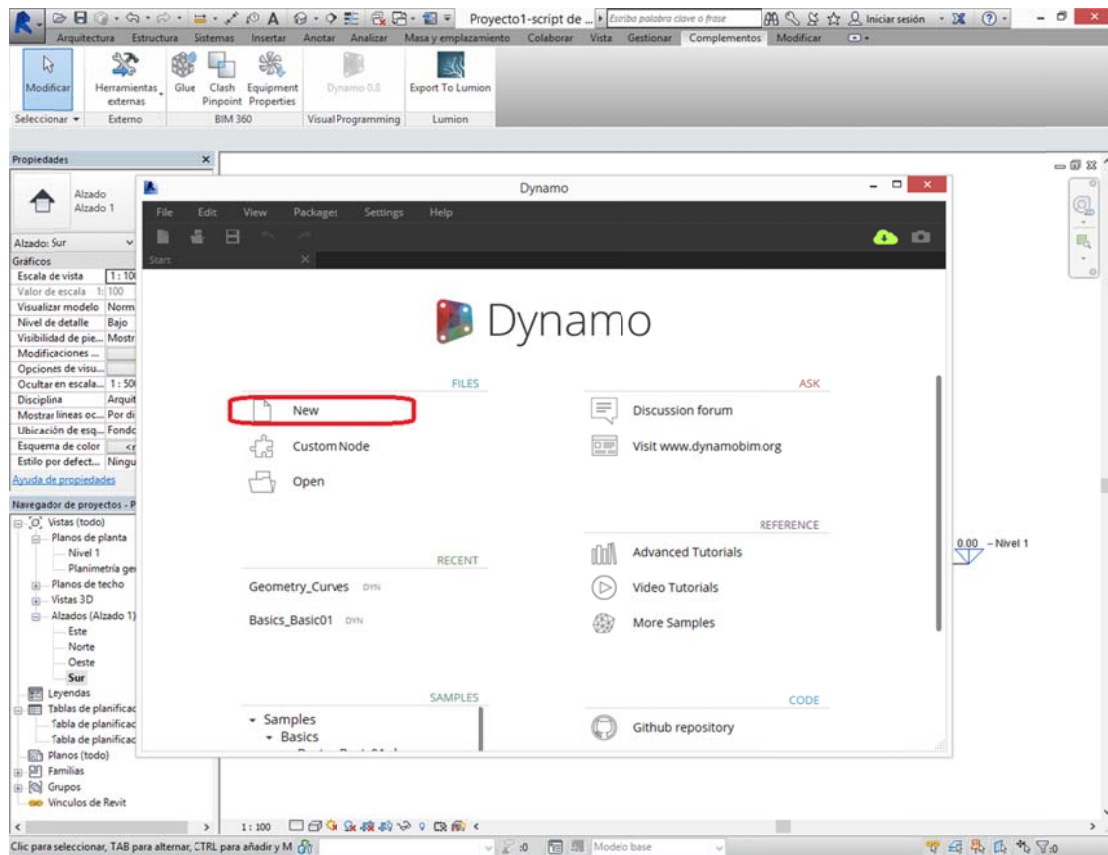


Figura 5.27. Detalle de las interfaces gráficas de los dos softwares abiertos Dynamo y Revit, para la creación de programación visual y generación de scripts. Deben trabajar ambos softwares conjuntamente para que puedan establecer su conexión bidireccional en interactuar juntos. En primer plano Dynamo mostrando la creación de un archivo nuevo. Elaboración propia con software VPL y BIM.

La familia creada al efecto, dentro del entorno de familias de masas de Revit, es un bloque con forma de paralelepípedo donde se han parametrizado una serie de variables anteriormente definidas. Esas variables incluyen un ángulo de giro del plano superior o tapa del paralelepípedo, que inicialmente se ha dado el valor de cero grados para modificarlo desde Dynamo. La forma inicial de la familia de masa generada junto con sus variables y parámetros iniciales de asignación, pueden verse en la figura siguiente.

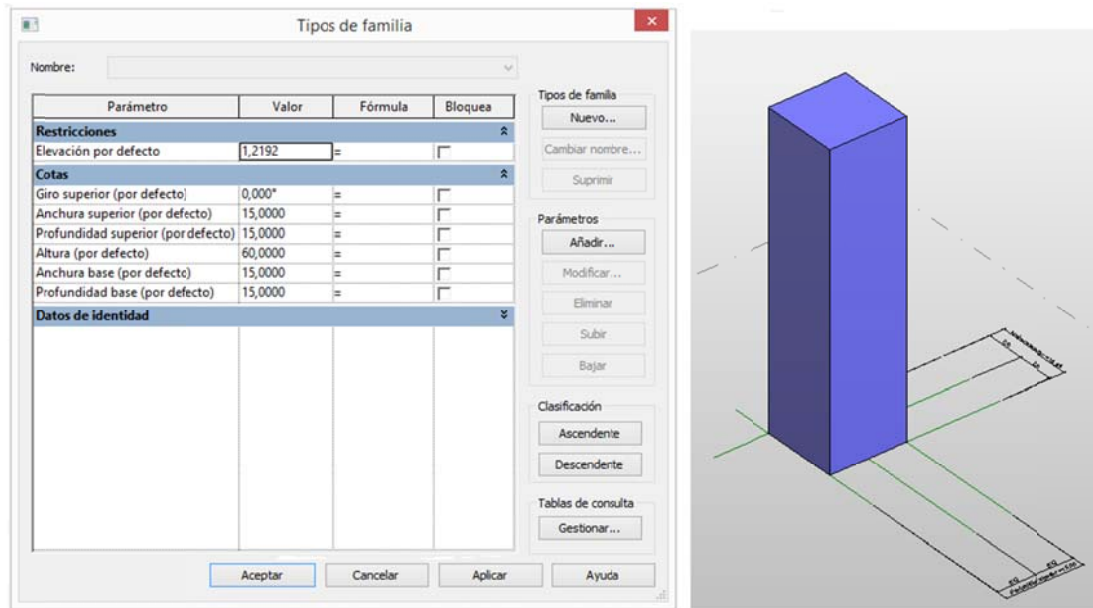


Figura 5.28. Detalle del listado de parámetros que están contenidos en la definición de la familia de masas “Torre.rfa” y representación gráfica 3D dentro del entorno de modelado BIM de dicha familia con esas variables definidas en su entorno de trabajo (familia de masas conceptuales). Elaboración propia con software BIM.

Se abrirá el entorno de trabajo de proyectos del programa Revit donde será cargada la familia anterior (Torre.rfa); pero no se insertará en el área de trabajo.

Como es una familia, lo que se ha cargado, lo primero que se hará en el entorno de Dynamo, será buscar un nodo, que identifique cuál de las familias existentes en Revit, es aquella sobre la que se va a actuar. Para ello, se utilizará la búsqueda rápida de nodos y en el icono de la lupa donde se lee “SEARCH LIBRARY” (buscar librería), se tecleará el texto “Family”. En la zona inmediata inferior aparecerán los comandos relacionados con ese literal, siendo el primero que aparece en el listado el que se elegirá. Para cargar ese nodo en el área de trabajo, se hará clic en él “Family Types” y será visualizado en el área de trabajo.

Si se despliega la flecha del nodo anterior, podrán verse en un desplegable, que se abre, todas las familias precargadas en el proyecto de Revit. Se seleccionará la que interese, que en el caso del ejemplo, es la familia “Torre”. Ver figura siguiente.

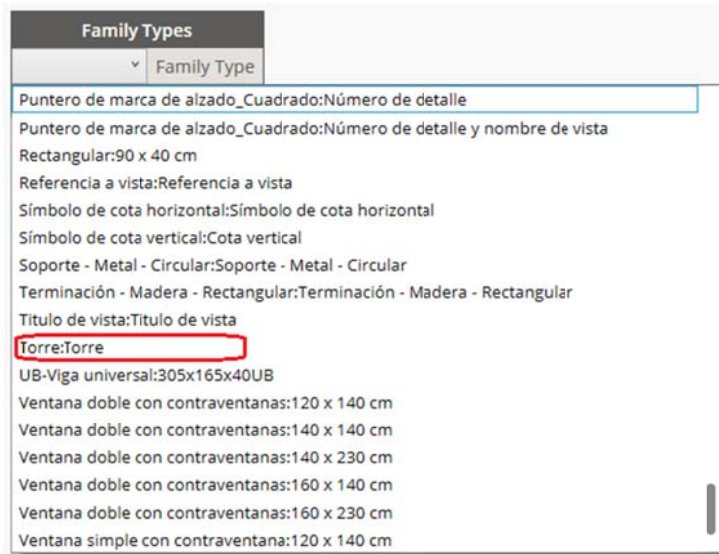


Figura 5.29. Detalle del listado desplegable emergente al hacer clic sobre la flecha del nodo “Family Types”, donde aparecen todos los tipos de familia disponibles en el documento, dentro del entorno de trabajo de modelado BIM. Se seleccionará la familia sobre la que se va a actuar que es “Torre”. Elaboración propia con software VPL.

Una vez que se tiene identificada esa familia, en particular hay que indicar un punto de inserción para ubicarla en el espacio; para ello, la lógica en la secuencia de introducción del resto de nodos, es la de utilizar un nodo de creación de un punto de ubicación de la familia que utilizará unas coordenadas de referencia en su inserción. Se procederá de la misma forma anterior, tecleando “Point” y seleccionando en el listado “Point.ByCoordinates”, este nodo requiere de otro que especifique el valor numérico de esas coordenadas, por las que pasará la familia y que se llama “Number”, que por defecto es cero. Será introducido de la misma forma.

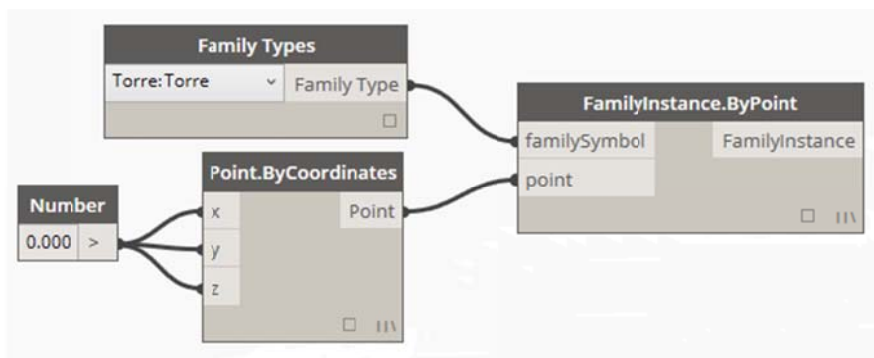


Figura 5.30. Nodos involucrados en el script y sus conectores para la definición de su programación visual en Dynamo. Ubicación por coordenadas (X=0, Y=0, Z=0) del ejemplar de la familia. Elaboración propia con software VPL.

El valor de las coordenadas del punto para este ejemplo ha sido 0,00, el mismo para los ejes X, Y y Z (origen de coordenadas). Puede verse en la figura anterior, que también se ha introducido el nodo “FamilyInstance.ByPoint”, que es el que conecta la familia anterior con la coordenada 0, 0, 0, para que pueda ubicarse definitivamente la familia.

A continuación y para terminar el script, se introducirán los nodos que indicarán qué parámetros son los que quiero controlar o modificar, de todos los disponibles en esa familia cargada. Esos parámetros pueden ser todos los que contiene la familia o solamente algunos de ellos. Esos nodos hay que desdoblarlos en dos, ya que el principal hace referencia al set de parámetros dentro de la familia y el secundario, al nombre individualizado del parámetro.

En la figura siguiente puede verse que dentro de los nodos “Element.SetParameterByName” y utilizando otro nodo secundario “String”, se han seleccionado para su manipulación, el nombre exacto de los parámetros de Altura, Anchura base y Giro superior, que estaban ya definidos en la familia de Revit. Posteriormente, se introducirán el resto de parámetros. Faltaría únicamente, asignar el nuevo valor que se les va a dar a esos parámetros para su manipulación.

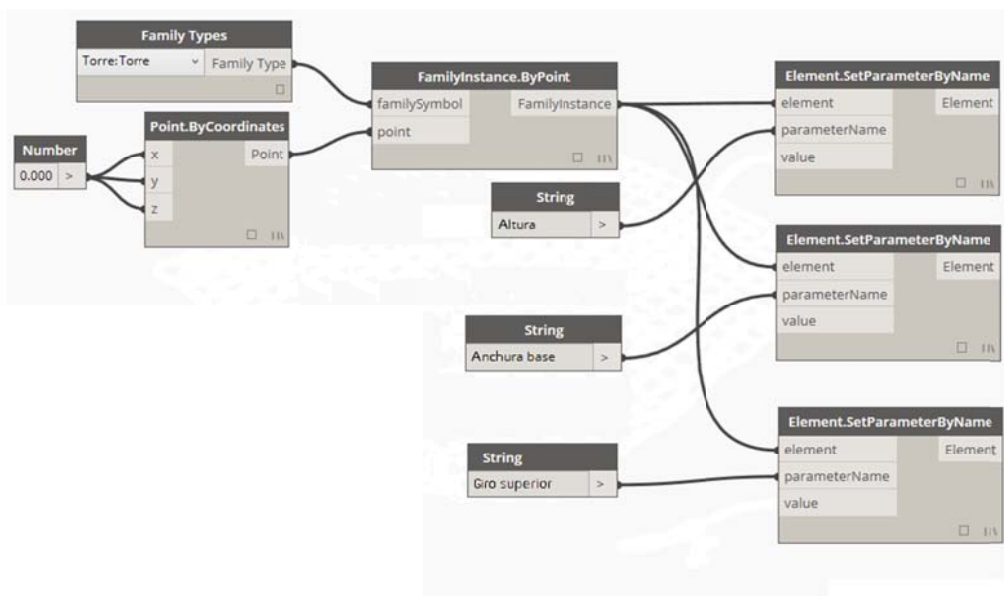


Figura 5.31. Detalle de otra fase de desarrollo para completar la programación visual del script que se divide en partes funcionales relacionadas, hasta su completa terminación. Puede verse la elección de los parámetros de la familia de Revit por su nombre, que deberán tener coincidencia plena con los introducidos en la familia de origen, para que sea posible su modificación. Elaboración propia con software VPL.

Como se pretende, que la modificación de los valores de los parámetros de la familia sea dinámica, serán introducidos en los nodos correspondientes a los parámetros anteriores y en los puertos de entrada de dichos nodos, su valor correspondiente. Para ello conectaremos ese nodo con otro, que hará posible su introducción de manera dinámica y que se llama “Number Slider”. Deslizando la barra de posición el número se modifica de forma dinámica.

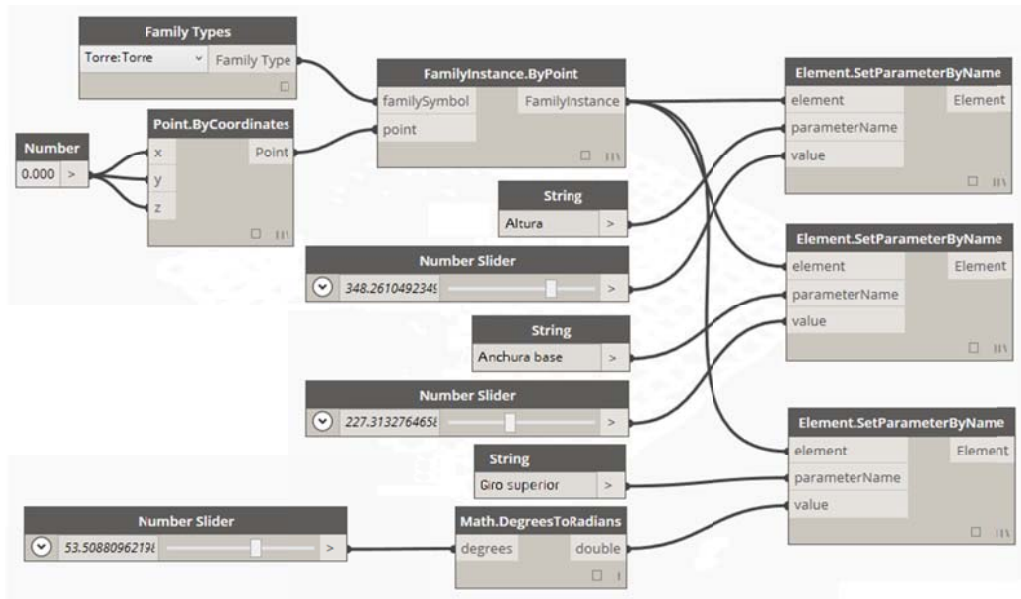


Figura 5.32. Detalle de la introducción en el script de nodos “Number Slider” que añaden valores numéricos para cierto tipo de variables o parámetros del script, que permiten su modificación de forma dinámica solo con desplazar el indicativo de la barra, para ir viendo de este modo, las modificaciones o alteraciones que estos cambios producen en la ejecución del script. Elaboración propia con software VPL.

En el último de los parámetros que es un ángulo de giro (Giro superior), y dado que Dynamo lee y computa los ángulos en Radianes, se ha introducido un nodo intermedio de conversión “Math.DegreesToRadians”, cuyo cometido es la conversión de grados que es la unidad del parámetro de giro la familia de Revit a radianes, que es la unidad angular de Dynamo.

Cuando la estructura en árbol del script se complica y se hace muy extensa para poder seguir todo el entramado de nodos y comprobar las distintas funcionalidades de los grupos de nodos unidos, es posible, con la última versión de Dynamo (versión 0.9), de cara únicamente a la representación gráfica del script, hacer grupos con colores de nodos y poner un texto explicativo que dé una idea de su contenido funcional y así no perderse.

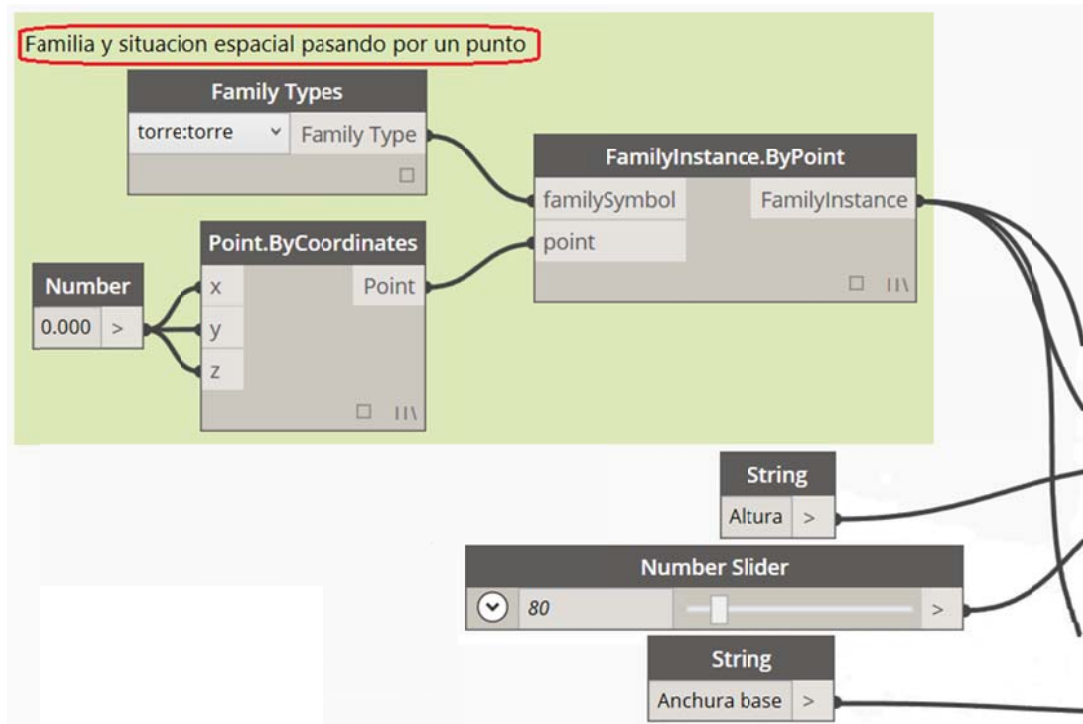


Figura 5.33. Detalle de la creación de un grupo funcional dentro del script con asignación de color, con el único cometido de diferenciar por colores las partes constitutivas de que se compone con la agrupación de nodos relacionados o paquetes, y tener un mayor control del funcionamiento del conjunto, sin dejarse nada en la definición completa del script. También permite asignar al conjunto un nombre o texto explicativo, para su diferenciación del resto de grupos, con funcionalidades específicas diferentes, dentro de la estructura en árbol de la programación visual. Elaboración propia con software VPL.

Se procederá de igual modo, para la introducción del resto de los parámetros que faltan en la definición de la familia, como son Anchura superior, Profundidad superior y Profundidad base. Una vez introducidos estos nodos, el script queda de la forma que se indica en la figura siguiente.

Es importante cuando se introduzca el nombre del parámetro “parameterName” en el nodo correspondiente del Set de parámetros, que coincidan exactamente, el literal del parámetro que se teclea con el de la definición de la familia, para que sea reconocido, ya que, si no hay coincidencia exacta, no se producirá el cambio que se persigue.

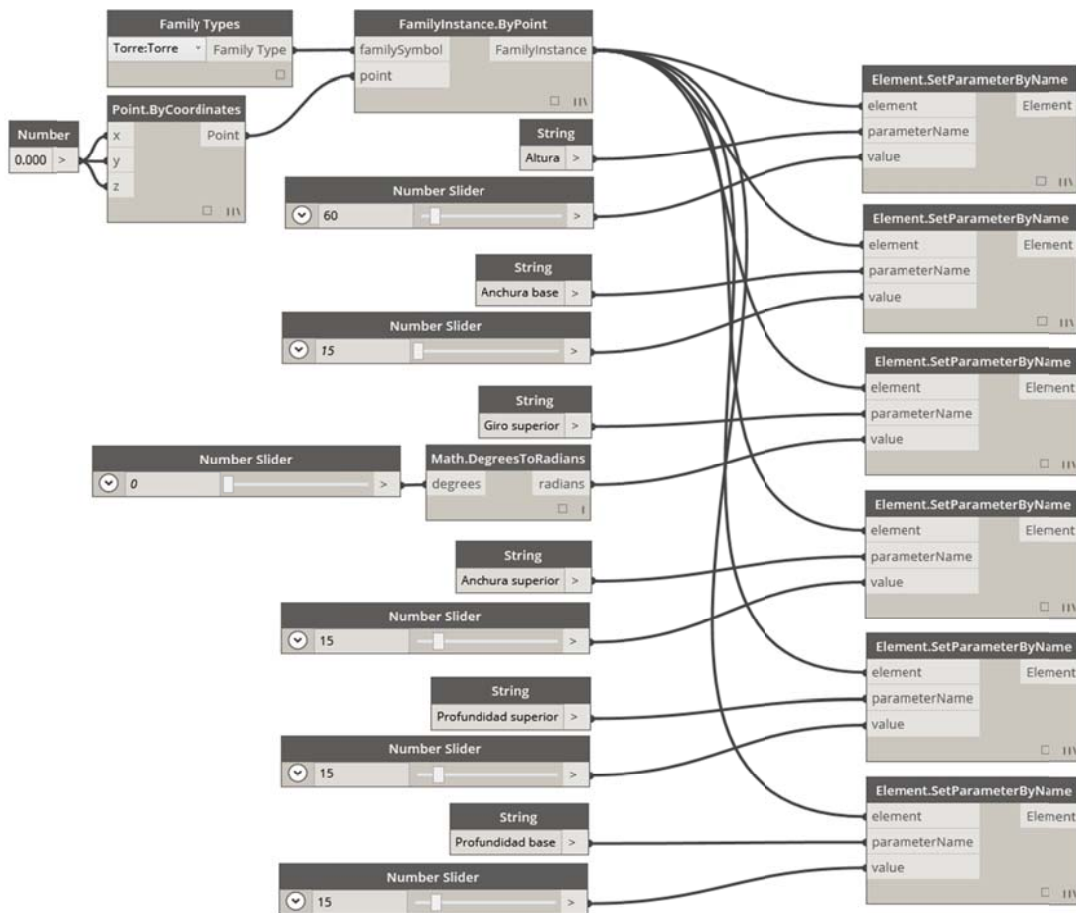


Figura 5.34. Detalle del listado completo del script de la programación visual con Dynamo. Pueden verse todos los parámetros de definición de la familia “Torre” con sus nodos “Number Slider” conectados al puerto de valores de dichos parámetros, para que puedan modificarse sus variables de forma dinámica. Elaboración propia con software VPL.

Una vez terminado el script de Dynamo, hay que pulsar ejecutar automáticamente, para que este pueda ejecutarse. El resultado es el que puede verse en la figura siguiente, donde moviendo los sliders de los nodos de Dynamo relativos a los parámetros de propiedades de familia, esta va modificándose de dentro de Revit de forma dinámica.

En la figura siguiente, en la zona inferior de las masas queda reflejada de forma estática, los cambios que de forma dinámica, se han introducido con indicación de los parámetros de cada una de las formas obtenidas en esos cambios. También figuran otros parámetros, que pueden obtenerse directamente de las familias generadas, como el área de superficie de cada una de las formas y su volumen total.

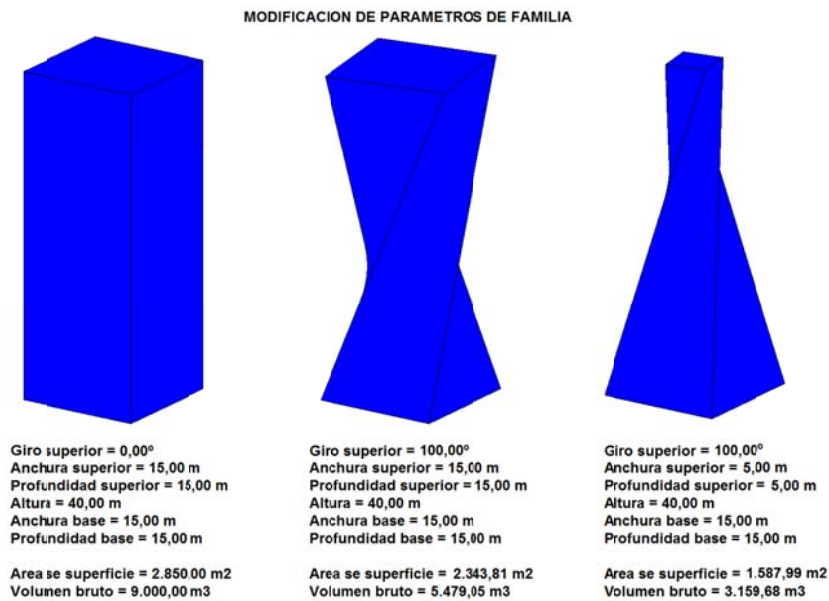


Figura 5.35. Detalle de las diferentes geometrías resultantes de la modificación de los parámetros, que forman parte de la definición de la familia primitiva (Torre) dentro de Revit. En el texto, al pie de las formas, puede verse la combinación de parámetros, que da como resultado dichas formas resultantes. Elaboración propia con software BIM.

Podrían modificarse todos los parámetros de la familia de masas de Revit, utilizando el entorno de Dynamo y de forma dinámica con el uso de nodos con Number Slider.

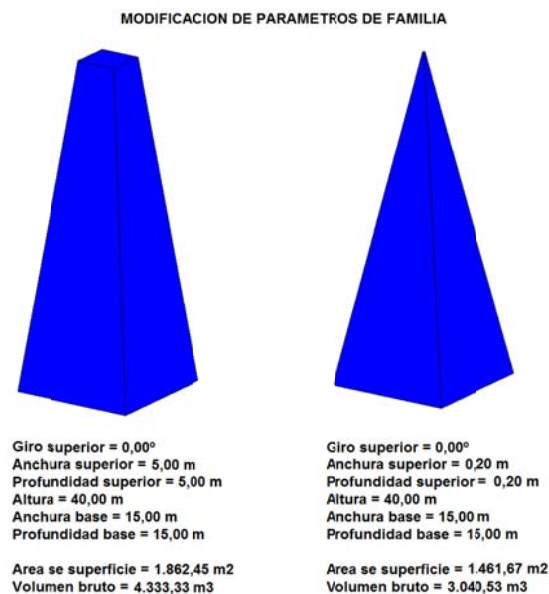


Figura 5.36. Igual que en la figura anterior, se muestran los detalles de las geometrías resultantes, siguiendo los parámetros que se desglosan en el pie de las figuras resultantes. Elaboración propia con software BIM.

Nota importante: Cuando se quiera terminar la relación o el vínculo directo, que mantiene un elemento en el entorno de Dynamo con Revit, bastará con que se cierre el programa Dynamo, de esa manera el vínculo se rompe. Si se sale de la interfaz de Dynamo, dejando abierta la masa conceptual en Revit, si se vuelve a entrar en Dynamo, cargando el script cerrado ese mismo script vuelve a crear dentro de Revit otro elemento de masa (duplicando al existente), que es con el que se reestablecerá otra vez, el vínculo con Dynamo.

5.13. AUTOMATIZACIÓN DE PRODESOS CON DYNAMO. CREACIÓN DE DOS SCRIPTS PARA CREAR NIVELES Y REJILLAS

Una de las ventajas más importantes, que aporta la utilización de Dynamo conjuntamente con Revit, es el de la automatización de tareas repetitivas, que pueden llegar a consumir mucho tiempo de preparación; suponiendo un costo importante en el desarrollo del trabajo. La programación visual permite la creación de scripts, que minimizan estas tareas, pudiendo personalizarlas según las necesidades del usuario.

CREACIÓN DE NIVELES Y REJILLAS

A continuación, serán creados con programación visual en Dynamo, conectado a Revit dos scripts muy frecuentemente utilizados en la automatización de tareas repetitivas, como son la creación de niveles (plantas) en un edificio o masa conceptual, y la de creación de rejillas de referencia. El primero es de más fácil programación que el segundo; pero en ambos casos se procederá de igual manera, abriendo primero el software de Revit con una plantilla genérica de proyecto arquitectónico dentro del entorno de proyectos, para luego y desde la pestaña “Complementos” del grupo Visual Programming pulsar sobre el icono con el nombre Dynamo 0.9.1.

De esta manera, quedan interconectados entre sí ambos softwares, para que sea factible la interacción entre sus APIS, y sea posible continuar con la creación de los scripts. Por defecto, la plantilla anterior incorpora dos niveles preconfigurados. En una vista de alzado, se dejará sólo el Nivel 1 que está a cota 0,00 con unidades en metros, borrando el nivel 2.

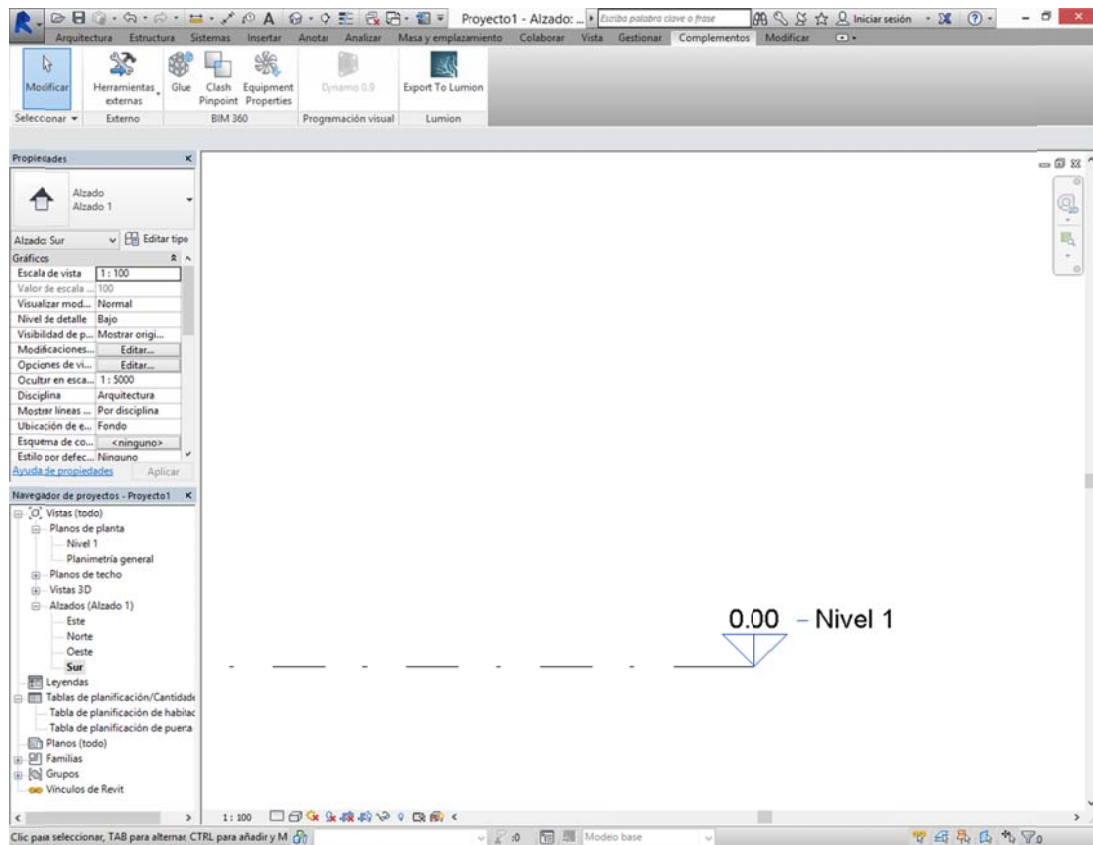


Figura 5.37. Detalle del estado inicial de los niveles establecidos dentro del entorno de trabajo del proyecto de Revit en un plano del alzado sur, antes de aplicar y ejecutar lo que se desarrollará en el script de Dynamo. Elaboración propia con software BIM.

Es necesaria la creación de un nodo, que en lenguaje de programación se llama “Code Block” (bloque de código), donde se introducirán tres valores separados por dos puntos. El primer valor es el que corresponderá al valor de la cota de altura, desde donde empezará a situarse el primer nivel, que será introducido sobre el ya existente, su valor es de 10 metros, o sea, que empezará su colocación a una altura de 10 metros a contar sobre el nivel 1 de referencia. El segundo valor será el del rango, es decir el último valor o valor final, en este caso es 100 metros o cota de altura de la última planta. Ambos valores se separan por dos puntos. El tercer valor es el intervalo, o valor de paso entre los niveles que serán creados, que para el caso presente es de 5 metros. Se deberá terminar la orden con punto y coma (;), que indica al nodo que el proceso de introducción de datos ha terminado. Ver figura siguiente.



Figura 5.38. Detalle de la composición de los nodos necesarios y conectores en la programación visual dentro del entorno de trabajo de Dynamo, para la terminación del script de creación de niveles dentro del entorno de trabajo de Revit. Elaboración propia con software VPL.

El segundo nodo utilizado hace referencia a la orden propiamente dicha de creación de niveles, correspondientes al listado de los datos especificados en el Code Block y se llama “Level.ByElevacion”, que se encuentra localizado en el grupo Elements > Level > Create. Para ver el listado producido por el bloque de código, se hará clic izquierdo con el cursor en el cuadradito inferior derecho del nodo, para desplegar la tabla de datos, ver figura a continuación.

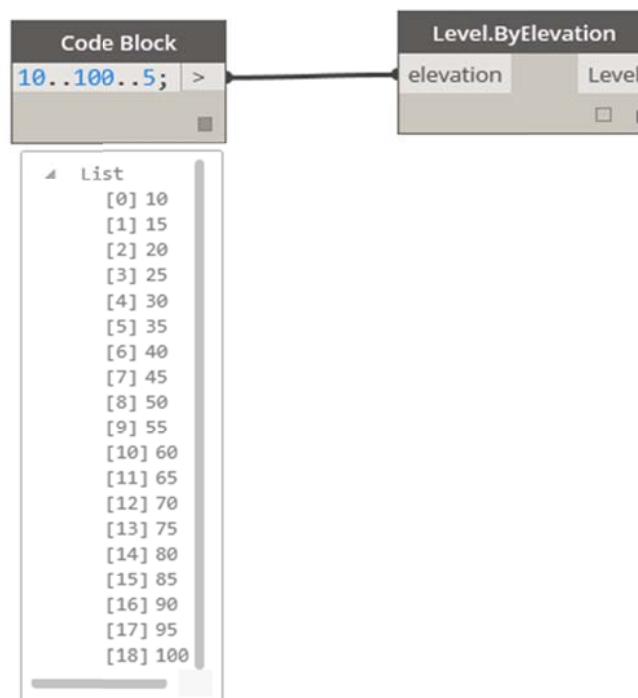


Figura 5.39. Detalle del listado de la salida de datos del nodo “Code Block” obtenido al pulsar el cuadradito inferior o botón de visualización. Pueden verse en el listado las 19 salidas, que representan las alturas donde serán creados los niveles y las separaciones o intervalos entre dichos niveles. Se utiliza siempre el número cero [0] como primera salida en todos los listados. Elaboración propia con software VPL.

Una vez concluido el script, y en el caso de que la ejecución del mismo esté en el modo manual, se procederá a su ejecución, haciendo clic en la zona inferior izquierda del área de trabajo donde aparece el texto “Ejecutar automáticamente”.

Nada más hacer clic en la ejecución automática dentro del entorno de Dynamo en Revit son creados los niveles correspondientes a los datos introducidos en el script, quedando su disposición tal y como aparece reflejado en la figura siguiente.

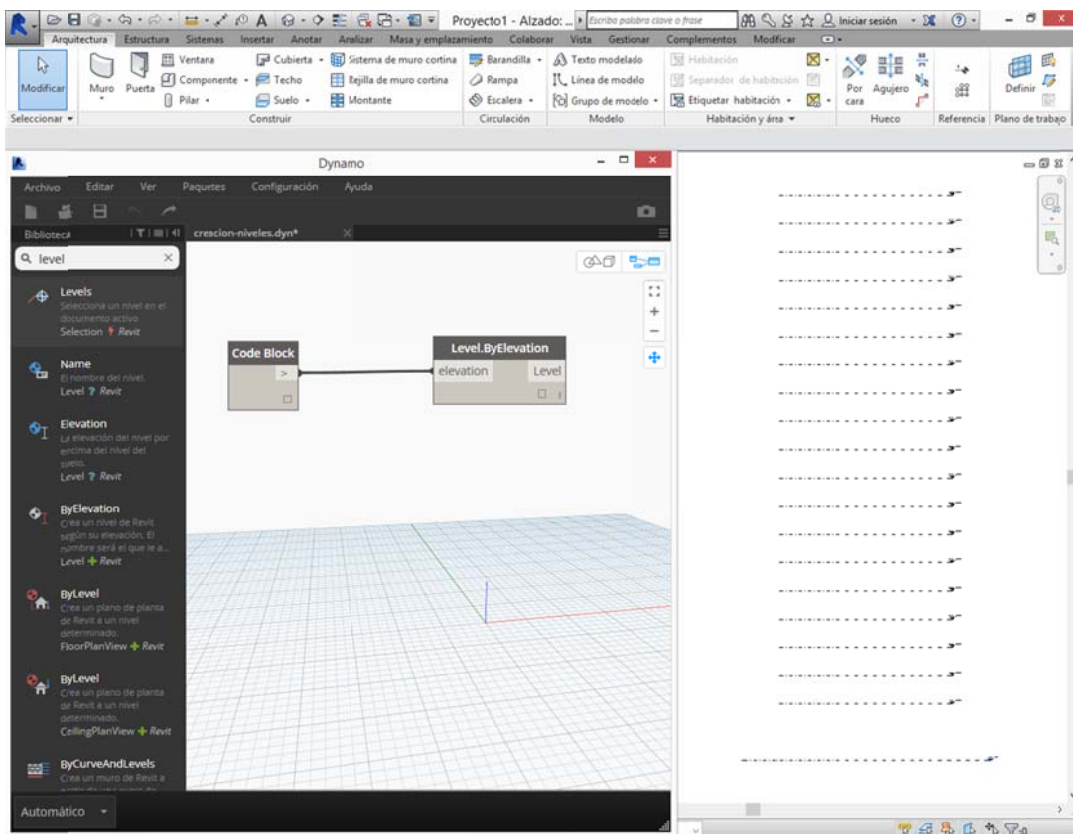


Figura 5.40. Vista de los dos entornos gráficos de interacción bidireccional entre Dynamo y Revit. Puede verse, dentro de Revit, la creación automática después de la ejecución del script de Dynamo de los niveles que se generan sobre la vista abierta (plano de alzado), siguiendo las indicaciones de alturas especificadas en el script. Elaboración propia con software VPL y BIM.

Han sido creados con el script anterior 19 niveles, partiendo del Nivel 1 ya existente a cota cero hasta el Nivel 20 a cota 100,00 metros con desfase de niveles entre el primer nivel creado (Nivel 2) y los siguientes hasta el Nivel 20 de 5,00 metros de altura.

CREACIÓN DE ENTRAMADO DE LÍNEAS DE REJILLA

Se procederá como en el caso anterior, abriendo previamente la plantilla arquitectónica del proyecto que ya viene preconfigurada. Con la vista en planta del primer nivel activa, y desde la ficha Complementos de Revit, del grupo Programación visual, se abrirá el programa de Dynamo.

Se necesitarán dos sets de puntos, que conformarán las dos direcciones ortogonales entre sí de la rejilla. El primer nodo, que es el que creará propiamente las líneas de conformación de la rejilla, se llama "Grid.ByStartPointEndPoint". Este nodo se acompañará de otro en su lado izquierdo, que será un "Code Block" y es el que contendrá los sets de puntos para que la rejilla pase por ellos.

Para su incorporación al nodo anterior, se hará doble clic en el área de trabajo para que aparezca allí, de forma automática el nodo "Code Block". La primera pareja de nodos conectados, crean las líneas de rejilla paralelas al eje "X" y la segunda pareja de nodos hace lo mismo con las líneas de rejilla paralelas al eje "Y". Para generar dichas líneas de rejilla paralelas al eje "X", hay que indicar un punto inicial y otro final que marque la dirección de dicho eje. Esto se consigue entrando en el nodo "Code Block" y tecleando Point. En ese instante, aparece un menú contextual donde se elegirá la opción "By Coordinates". Luego se introducirán las coordenadas de los dos puntos que definirá de la línea.

Los valores a introducir dentro del Code Block serán "PointByCoordinates". Estos valores se introducirán de forma similar a las coordenadas (x, y, z) de un punto, cuyos valores vienen separados por comas, indicando también en la coordenada correspondiente los valores de situación del punto de paso del eje, rango o valor final y el intervalo de paso del eje a crear, esos tres valores separados, como en el ejemplo anterior, por dos puntos y terminando siempre al final por (;).

Para el presente caso, los valores necesarios que habrá que introducir en el nodo referidos a los ejes paralelos al X, serán los siguientes empezando por los puntos inicial y final respectivamente (-50..50..5, 50, 0); y (-50..50..5, -50, 0); y para el nodo de las líneas de eje paralelas al eje "Y" será (50, -50..50..5, 0); y (-50, -50..50..5, 0); Es necesario terminar el paréntesis con (;). En esos sets de puntos también figuran como ha quedado dicho, las separaciones de los intervalos inter ejes.



Figura 5.41. Detalle del desarrollo de la programación gráfica del script de creación de rejillas utilizando Dynamo en conexión con Revit. Pueden verse los nodos y sus interconexiones en cada una de las dos direcciones ortogonales entre sí y paralelas a los ejes X e Y. Elaboración propia con software VPL.

Quando se ejecuta el script desde el software VPL, en el entorno del modelo BIM queda generada la cuadrícula de rejillas que aparece representada en la figura siguiente.

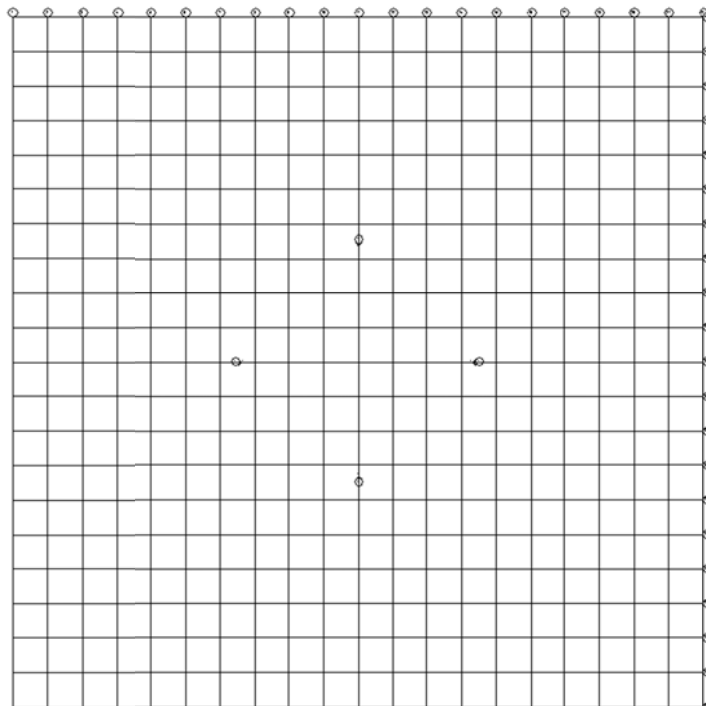


Figura 5.42. Detalle del resultado de la ejecución del script dentro del entorno gráfico de modelado BIM. Puede verse la generación de una rejilla en cada una de las direcciones de los eje X e Y, a una distancia de 5 metros. Elaboración propia con software BIM.

5.14. CREACIÓN DE FORMAS LIBRES. FORMA AHUSADA, IMPORTAR GEOMETRÍA

Para la creación de formas libres dentro del entorno de Dynamo, los procedimientos a emplear son similares a los utilizados en Revit; pero utilizando nodos que realizan funciones análogas, haciendo uso de la programación visual, lo que implica emplear una lógica de programación de los procesos a seguir muy estricta, marcada y estructurada. Se creará en el caso siguiente una geometría libre de forma ahusada, con indicación de los procesos lógicos y procedimientos a seguir en su programación visual, para luego, poder llevar a cabo la modificación de dichos parámetros de creación y tener diferentes alternativas de diseño.

En primer lugar, se ubicarán en el espacio unos círculos de paso de referencia por los que más adelante se hará pasar la forma del sólido resultante, a unas cotas de altura y unos radios variables obtenidos de los datos conocidos que se indican a continuación:

Círculo C_7 con $R_7 = 2,80$ m y $H_7 = 179,10$ m;

Círculo C_6 con $R_6 = 7,25$ m y $H_6 = 174,80$ m;

Círculo C_5 con $R_5 = 15,02$ m y $H_5 = 157,70$ m;

Círculo C_4 con $R_4 = 17,80$ m y $H_4 = 149,40$ m;

Círculo C_3 con $R_3 = 25,90$ m y $H_3 = 107,90$ m;

Círculo C_2 con $R_2 = 27,75$ m y $H_2 = 58,10$ m;

Círculo C_1 con $R_1 = 24,26$ m y $H_1 = 0,00$ m;

El primer nodo por el que se empezará la programación visual del script a crear, es el de creación de un punto por coordenadas, que será el que defina la ubicación del centro del primer círculo C_1 , de base situado en cota cero $H_1 = 0,00$ metros y radio $R_1 = 24,26$ metros. Para ello se tecleará en el buscador de nodos de la biblioteca "point", y en el listado desplegable de nodos, se elegirá el primero que aparece en el listado inferior "Point.ByCoordinates". Ese nodo dispone en el puerto de entrada de tres entradas, una para cada una de las coordenadas (x, y, z) de ubicación del punto. Los valores asignados por defecto, a esas coordenadas del nodo por el programa son siempre cero, por lo que no será necesario para este primer círculo anexarle a su derecha, ningún otro nodo que asigne valor a cada una de ellas, para que quede situado el punto.

Para el resto de los seis círculos a crear, al ser concéntricos con el primero, sus coordenadas en x e y seguirán teniendo el valor cero, debiendo introducir un valor numérico únicamente para las coordenadas del eje z, que definen las alturas de ubicación de sus centros. Para comprobar los valores que por defecto son asignados por el programa a las coordenadas x, y, z del nodo "Point.ByCoordinates", se hará clic izquierdo en el cuadradito inferior derecha del nodo, en el botón de previsualización de los datos del nodo, y aparecerá un listado con esos valores.

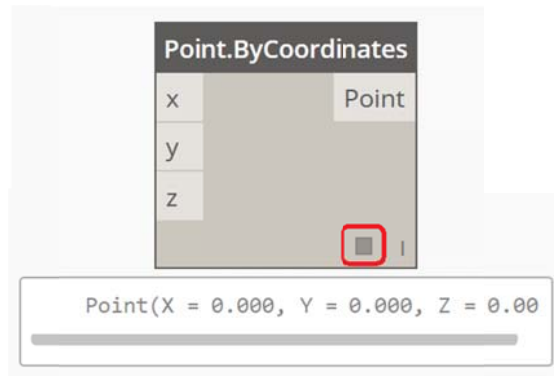


Figura 5.43. Detalle del nodo "Point.ByCoordinates" utilizado en el script de programación visual. Este nodo, al igual que otros muchos, tiene asignados por defecto, unos valores que pueden verse, haciendo clic sobre el botón de previsualización de salidas de nodo, en la zona inferior derecha. Elaboración propia con software VPL.

A continuación, se utilizará el nodo que genera el círculo propiamente dicho, ese nodo de creación es "Circle.ByCenterPointRadius", que necesita para su creación de un punto que será el centro del círculo (anteriormente definido) y un valor para el radio que es el nodo que faltaría para su completa definición. Dicho nodo "Number" especifica un valor numérico para el radio.

Se introducen los conectores tal y el valor del radio tal y como se refleja en el gráfico siguiente.

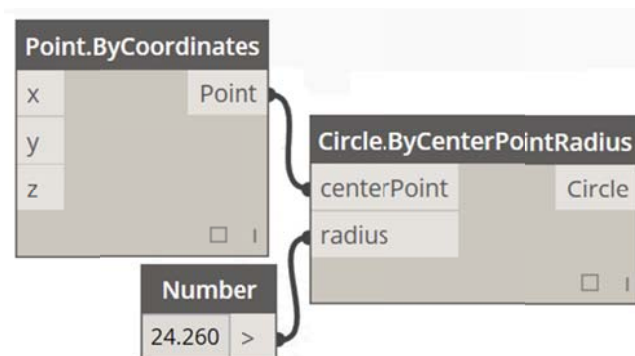


Figura 5.44. Detalle de la disposición de nodos de Dynamo para conformar la generación del primer círculo formado por su centro que se materializa en el origen de coordenadas y su radio R= 24,260 m. Elaboración propia con software VPL.

El segundo círculo a introducir es igual que el primero, salvo en la definición de las coordenadas del centro del círculo donde variará solamente el valor numérico de la coordenada en z.

Por eso, se introducirá a mayores, otro nodo “Number” con el valor de esa coordenada, y se cambiará el valor del radio del segundo círculo, tal y como aparece indicado en la figura.

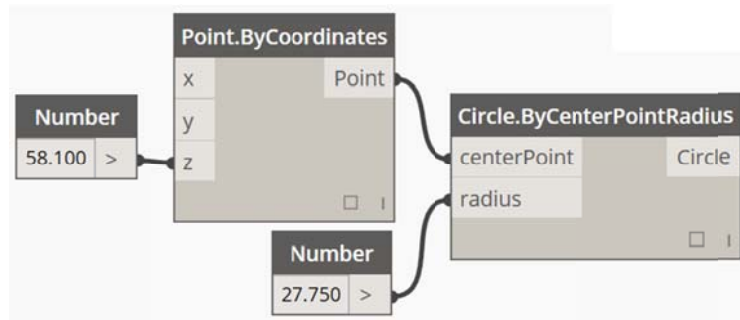


Figura 5.45. Detalle de los nodos que materializarán el segundo círculo con centro en el mismo punto anterior; pero elevado con respecto a él, una altura de 58,100 m. y radio de 27,750 m. Elaboración propia con software VPL.

Como se pretende que los radios de todos los círculos a crear puedan modificarse de manera dinámica, para poder modificar a su vez la forma del sólido, que pase por ellos en su generación, se recurrirá a un nodo especial llamado “Number Slider” de manera que, la medida de los radios pueda variarse numéricamente, de forma dinámica, empleando la barra deslizante que contiene dicho nodo; que puede moverse modificando su valor, para que no tenga un valor fijo.

Los dos primeros círculos se ejecutarán con los siguientes nodos, quedando como puede verse en la figura siguiente:

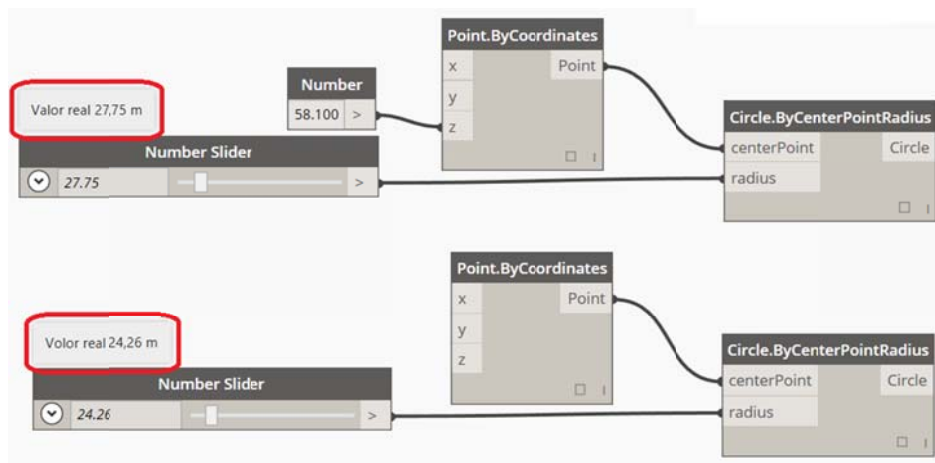


Figura 5.46. Introducción en los nodos de creación de los círculos en la dimensión de sus radios de barras deslizantes, de asignación de valores numéricos de forma dinámica, y texto indicativo de valor inicial real introducido haciendo clic sobre la combinación de teclas o comando abreviado CTRL+W. Elaboración propia con software VPL.

Utilizando el comando abreviado CTRL+W es posible poner un texto explicativo en el nodo que se quiera. En este caso, tal y como se aprecia en la figura anterior, se ha introducido en el nodo "Number Slider" un texto indicando Valor real y un número, para tener constancia del valor numérico de partida, en caso de que posteriormente, se modifique su valor inicial.

La ejecución de los nodos anteriores, dentro del entorno de Dynamo, devuelve como resultado la generación de los dos primeros círculos en el espacio con centros en el eje Z de coordenadas, por donde se obligará a pasar al sólido resultante. Dentro de dicho entorno de Dynamo se visualizarán estos círculos, tal y como queda reflejado en la figura siguiente.

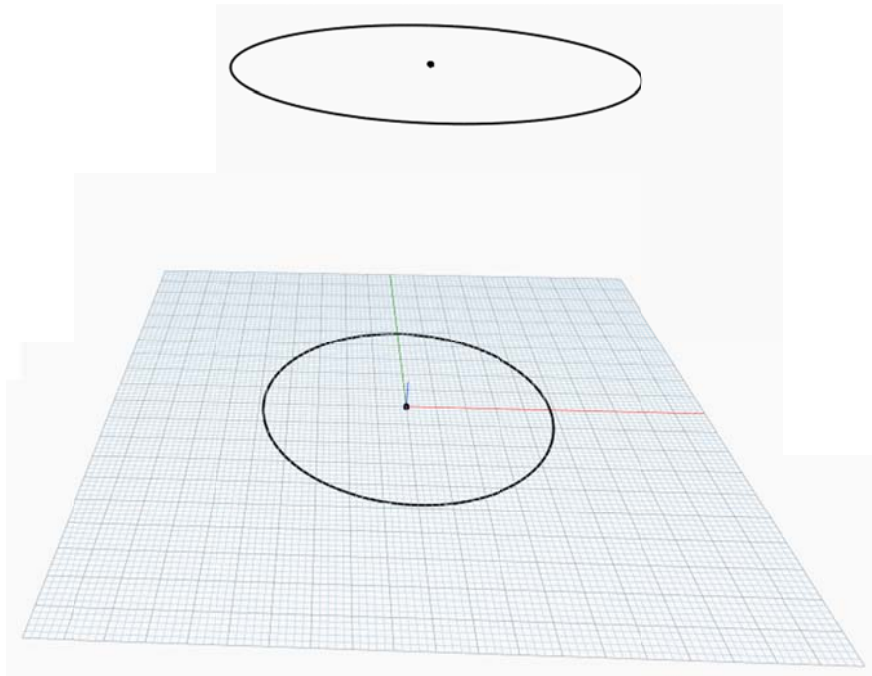


Figura 5.47. Detalle de la visualización de la ejecución del script. La geometría creada son dos círculos en el espacio, situados en planos horizontales a distintas alturas y distinto radio. Con centro en $X=0$, $Y=0$. Estos círculos podrían manipularse, cambiando sus radios de forma dinámica, para tantear otro resultado. Elaboración propia con software VPL.

Se procederá de igual manera en la generación y conexión de los nodos, para el resto de los círculos que quedan, cuidando de introducir correctamente los datos numéricos particulares de posición y radio de cada uno de los círculos.

Una vez introducidos y conectados todos los nodos, y al solicitar su ejecución dentro del entorno de Dynamo, se verá el conjunto como aparece en la figura siguiente:

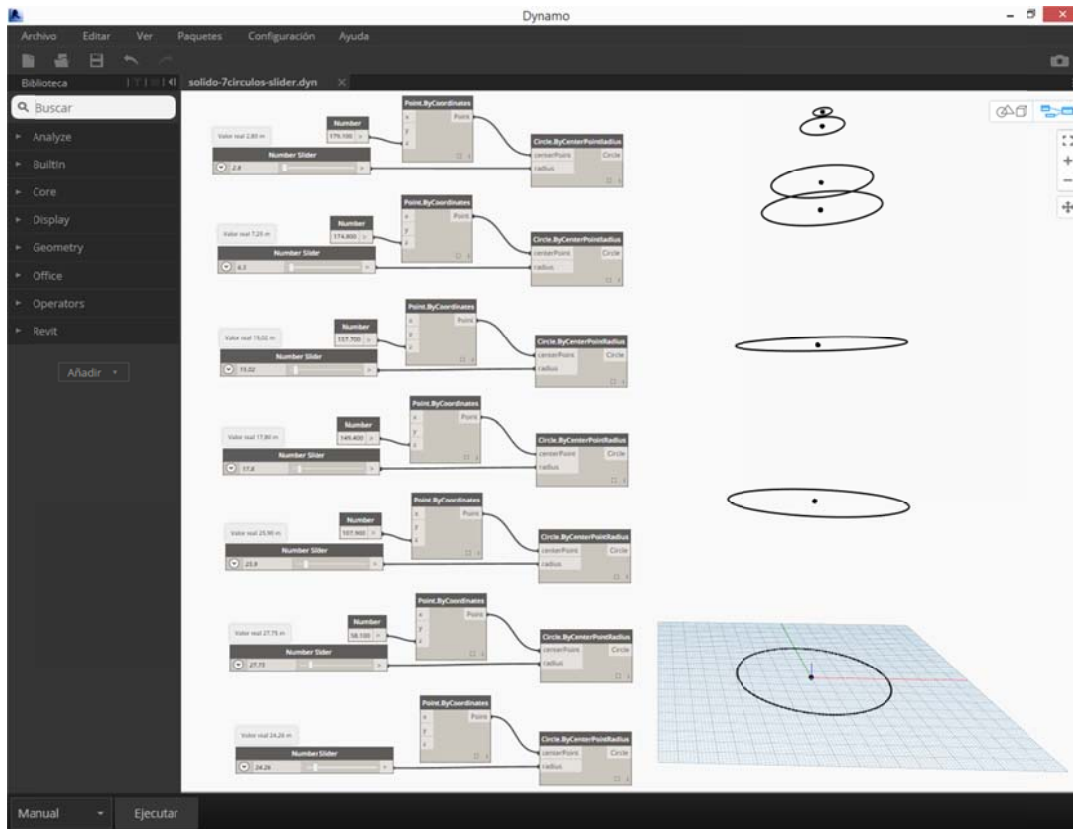


Figura 4.48. Detalle de la ejecución completa del script de Dynamo con la programación visual. Contiene 7 círculos en el espacio, y al igual que los dos anteriores, están todos ellos en planos horizontales a distintas alturas y con distintos radios. Sus centros están en $X=0, Y=0$, variando únicamente la coordenada Z de la altura del centro. Elaboración propia con software VPL.

CREAR UN SÓLIDO A TRAVÉS DE SIETE CURVAS CERRADAS DE PASO

Una vez generados los siete círculos con sus radios y a sus alturas correspondientes, se creará un sólido, imponiendo la condición de paso por esos siete círculos. En el buscador de nodos de la librería de Dynamo, se introducirá con el teclado el literal “solid” y en el resultado de la búsqueda se hará clic sobre el nodo “Solid.ByLoft”; que creará un sólido mediante la solevación entre curvas cerradas de sección transversal de entrada. Se deberían conectar cada una de las salidas de los nodos de los siete círculos existentes con este último nodo (“Solid.ByLoft”); pero tal como está, solo admitiría una conexión, por lo que hay que establecer entre ellos un nodo puente de enlace.

Dado que hay siete curvas de entrada una por cada círculo, se necesitará antes un nodo previo, que establezca un listado de datos, que determine esas siete curvas de entrada, al que posteriormente se conectará definitivamente con el nodo “Solid.ByLoft”; que será el que termine generando el sólido buscado pasante por esas curvas.

Se tecleará para ello en el buscador de la biblioteca el literal “list”, haciendo clic luego sobre el nodo que aparece en el listado de la zona inferior “List.Create”, que crea una nueva lista a partir de las entradas especificadas. En ese nodo, se hará clic con el botón derecho del ratón sobre el signo + hasta que aparezcan siete entradas (item0,..., hasta item6). Si se pulsa sobre el signo –, se eliminarán del listado una entrada cada vez. Acto seguido, se conectarán los puertos de salida de cada uno de los círculos con las entradas de este nodo, y luego se conectará el nodo anterior con “Solid.ByLoft”.

Si se quiere ver el listado de datos generado por el nodo “List.Create”, para poder comprobar los datos generados por las entradas de los siete círculos que concurren en él, con las coordenadas de sus centros y las longitudes de los radios correspondientes; se pulsará con el cursor el cuadradito de su parte inferior derecha, y en ese momento se desplegará un listado con sus parámetros internos, pudiendo visualizar todos los datos. Para hacer que desaparezca el listado, se volverá a pulsar sobre el cuadradito anterior y este desaparecerá.



Figura 5.49. Detalle del listado de datos generado por el nodo “List.Create”. Previamente en ese mismo nodo se han introducido 7 items (uno por cada círculo generado desde el 0 al 6) haciendo clic sobre el signo (+), que aparece en su parte superior, estando conectados a los puertos de salida de cada círculo creado anteriormente. Elaboración propia con software VPL.

El resultado del script hasta ahora presentará el aspecto que se indica a continuación en siguiente figura:

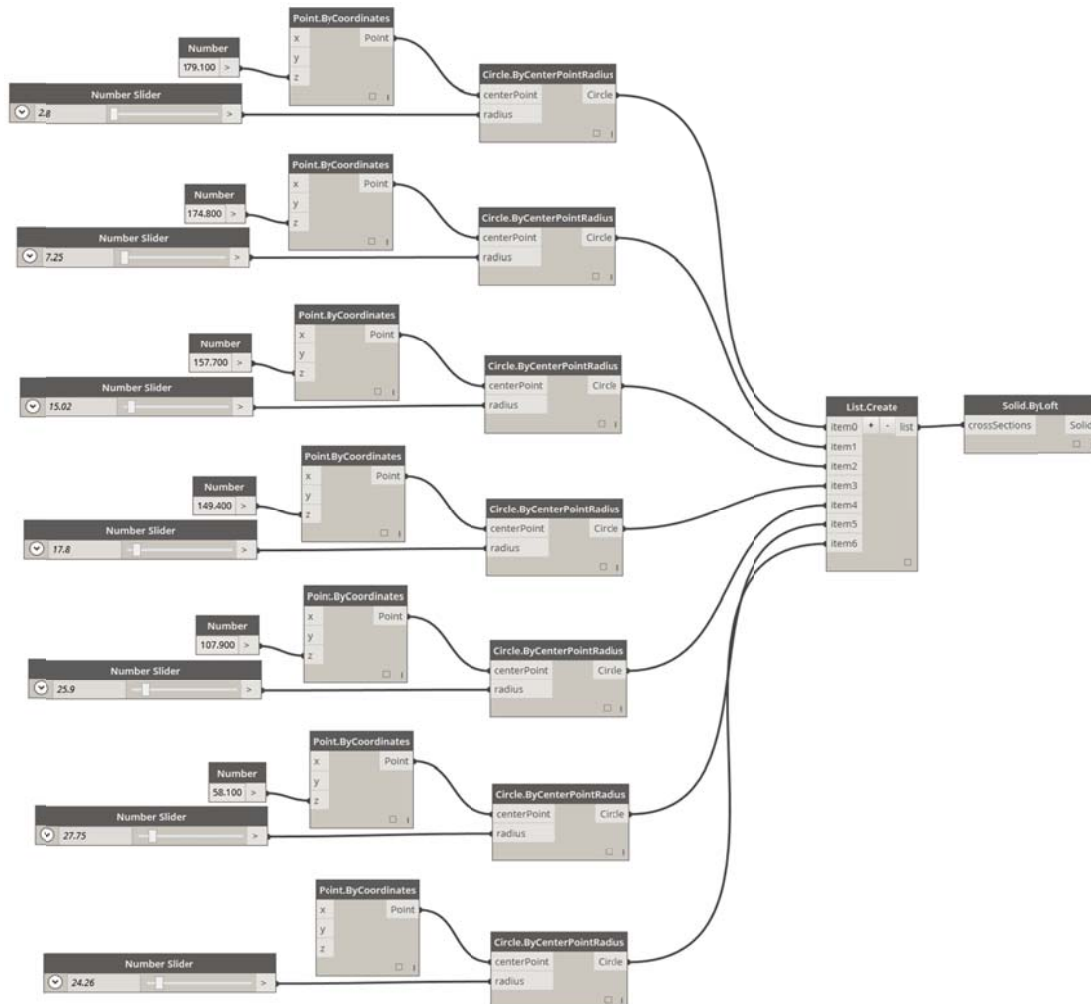


Figura 5.50. Programación visual con Dynamo. Detalle del script con el último nodo introducido “Solid.ByLoft” de creación del sólido mediante el soleado entre 7 curvas cerradas (7 círculos antes creados) de sección transversal de entrada. El sólido generado por el nodo pasa a la vez por los 7 círculos a distintas alturas, creados en las fases anteriores. Elaboración propia con software VPL.

Una vez más, solicitaremos al programa dentro del entorno de Dynamo, que ejecute el script anterior, ya que en el caso presente no está activa la ejecución automática, y se obtendrá como resultado el gráfico del sólido que puede verse en la figura siguiente:



Figura 5.51. Detalle de la visualización del sólido creado en el entorno de trabajo de Dynamo, al ejecutar el script de su programación visual. Pueden verse los siete círculos, que han servido como referencia para el paso del sólido generado. Elaboración propia con software VPL.

Dentro del entorno de Revit, no aparece grafiado nada hasta el momento, si se quiere que el sólido generado, dentro de Dynamo, aparezca grafiado dentro del entorno de Revit; habrá que

disponer en Dynamo, de un último nodo, para que mande la orden a Revit y este realice su importación y pueda visualizarse dentro de él.

IMPORTAR LA GEOMETRÍA GENERADA EN DYNAMO DENTRO DE REVIT

Para poder ver en el ejemplo anterior la geometría del sólido generado en Dynamo y establecer una interconexión visual gráfica entre los dos entornos de Dynamo y Revit, se necesita la introducción en Dynamo de un último nodo con que se rematará el script. Este nodo indica a Dynamo que ejecute una orden de importación, para que desde Revit, se realice dicha importación y pueda visualizarse el sólido generado. Una vez se produzca dicha importación las modificaciones realizadas en Dynamo, podrán verse y tendrán su reflejo inmediato en Revit, quedando vinculado a ese software cualquier modificación introducida en Dynamo.

Como en anteriores veces, se tecleará en el buscador de acceso rápido de la biblioteca de nodos el literal "Import", y del listado de los nodos contextuales que aparecen en la zona inmediata inferior del buscador se pulsará sobre el que dice "ImportInstance.ByGeometry", que importa la geometría creada (sólido, curva, superficie, etc.) en Revit. Por último, se terminará estableciendo la conexión entre los nodos "Solid.ByLoft" con el que se acaba de crear "ImportInstance.ByGeometry". El script en su parte final quedará rematado tal y como puede apreciarse en la figura siguiente:

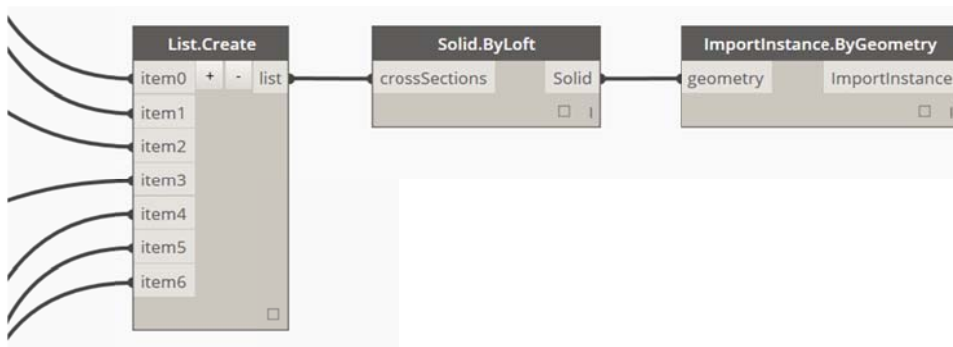


Figura 5.52. Detalle de la incorporación de otro nodo "ImportInstance.ByGeometry" al script anterior, para que la geometría creada en el entorno de trabajo de Dynamo, pueda ser importada al entorno de trabajo de Revit, y sea posible la visualización de dicha geometría. Elaboración propia con software VPL.

Con la definición y conexión del último nodo de la importación a Revit, queda terminada la programación del script, y antes de proceder a su ejecución con el comando que se encuentra en la zona inferior izquierda de su interfaz (ejecución manual), se presenta el esquema de desarrollo completo con la inclusión de todos sus nodos, conexiones y textos aclaratorios. Ver gráfico que se adjunta en la figura siguiente.

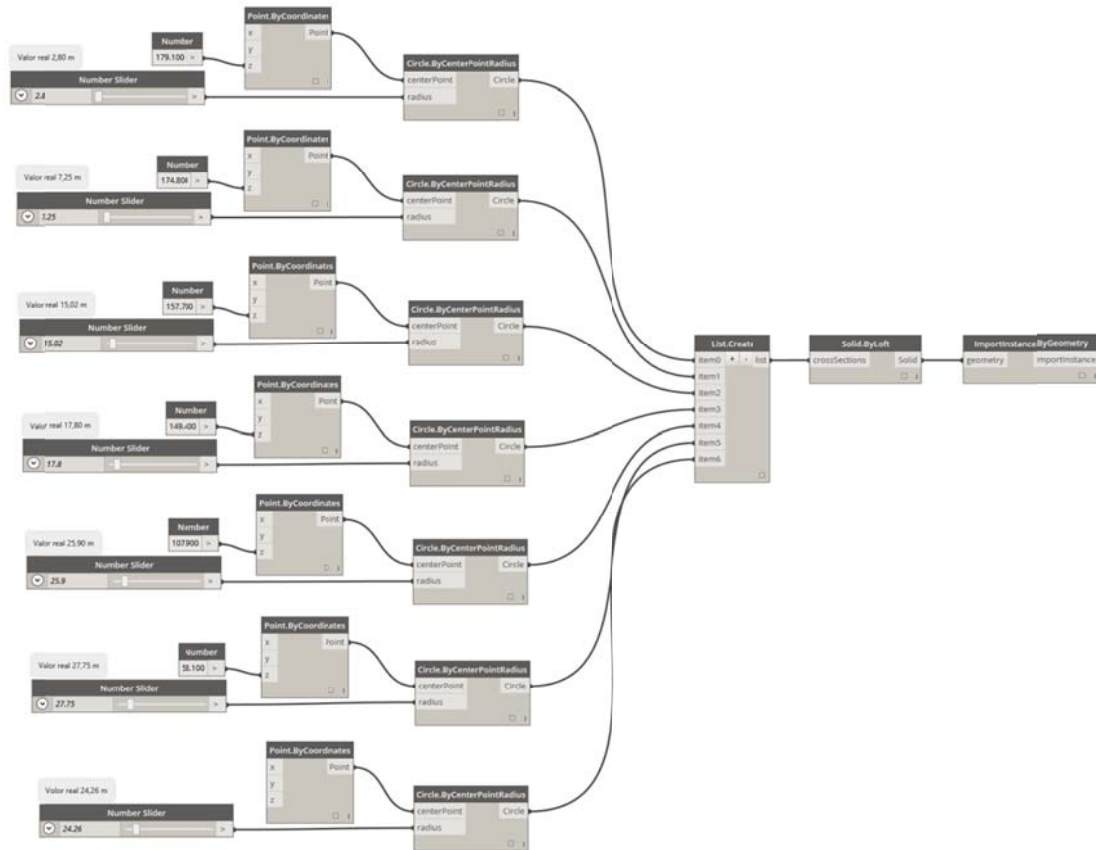


Figura 5.53. Detalle del script de la programación visual en Dynamo con la incorporación definitiva de todos los nodos anteriores, para que sea posible la visualización del sólido generado por el script en los dos entornos de trabajo de Revit y Dynamo. Elaboración propia con software VPL.

Una vez ejecutado el script anterior, tanto en Dynamo como en el entorno de Revit, aparecen insertadas automáticamente la geometría del sólido generado en Dynamo, y ambas geometrías quedan vinculadas, actualizándose automáticamente las modificaciones que se produzcan en Dynamo.

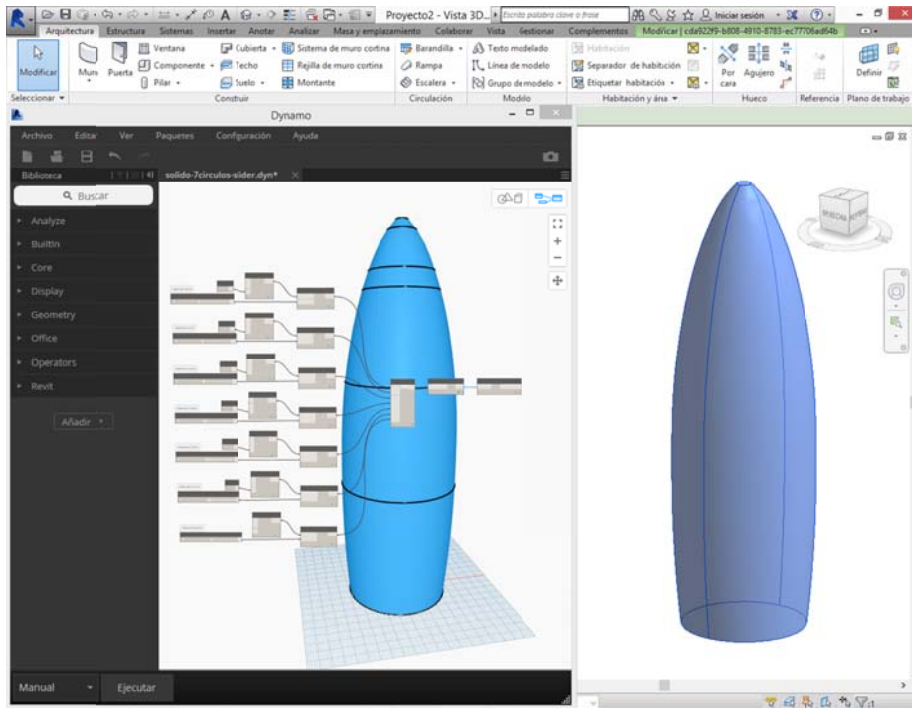


Figura 5.54. Detalle de la visualización del script de la programación visual con Dynamo una vez se procede a su ejecución. Con la introducción del último nodo “ImportInstance.ByGeometry” dentro Dynamo, es posible la visualización del sólido generado dentro del entorno de Revit. Pueden verse las interfaces gráficas de los dos softwares abiertos y su conexión entre los dos en la generación del sólido. Elaboración propia con software VPL y BIM.

Dentro del entorno de Dynamo, y modificando únicamente, las barras deslizantes de los nodos dispuestos al efecto, y que gobiernan el tamaño de los radios de las circunferencias de paso por las que se ha impuesto el paso al sólido generado, pueden obtenerse, de forma dinámica y muy rápidamente, las modificaciones formales que sean necesarias para su estudio y análisis más pormenorizado. Todas esas modificaciones son reflejadas automáticamente, y por tanto de forma también dinámica dentro del entorno de Revit.

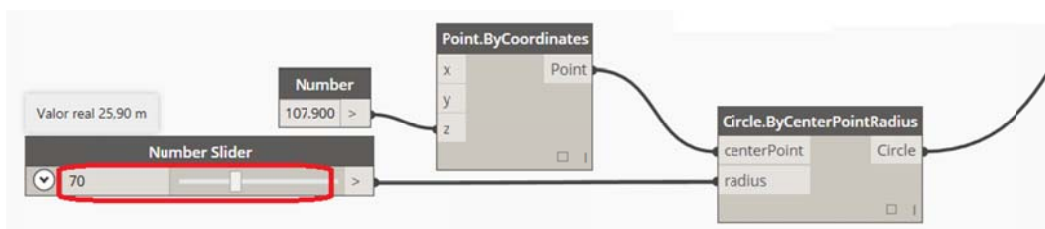


Figura 5.55. Detalle de introducción en la dimensión del radio de generación del círculo de un nodo “Number Slider” con barra deslizante, para modificar su valor de forma dinámica. Elaboración propia con software VPL.

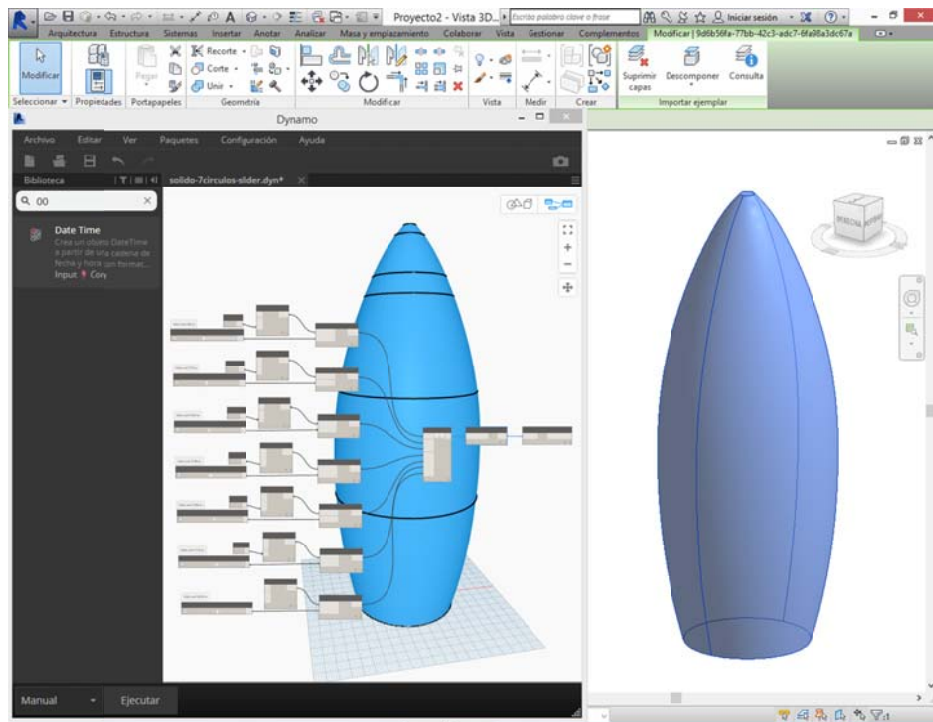


Figura 5.56. Detalle de visualización del sólido generado por el script anterior, pero modificando el radio de los círculos de paso de dicho sólido en Dynamo. Puede verse la vinculación establecida entre los dos softwares Dynamo y Revit. Las modificaciones establecidas dentro de Dynamo se reflejan automáticamente dentro de Revit. Elaboración propia con software VPL y BIM.

En la figura siguiente pueden verse varias opciones de tanteo formal del sólido anterior.

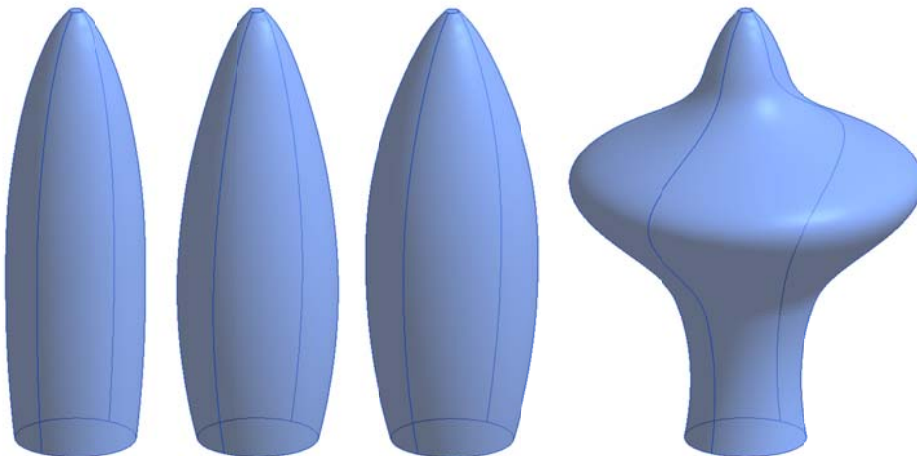


Figura 5.57. Detalle de visualización de diferentes tanteos formales en Revit, resultantes de la modificación de parámetros del script de Dynamo, realizadas muy rápidamente y de forma dinámica. Elaboración propia con software BIM.

En la figura siguiente, puede verse la utilización del nodo “ImportInstance.ByGeometry” utilizado para que Revit pueda importar el sólido generado en el entorno de Dynamo (Solid.ByLoft) y aparezca visible en la pantalla de Revit el sólido creado en el entorno de Dynamo. También se puede apreciar en la figura, que el número de identificación del sólido creado ID (150387) es coincidente en los dos entornos de trabajo Dynamo y Revit; ya que se establece una relación bidireccional entre los dos softwares, leyendo uno la base de datos del otro, y actuando los dos conjuntamente, estableciendo vínculos entre ellos bidireccionalmente.

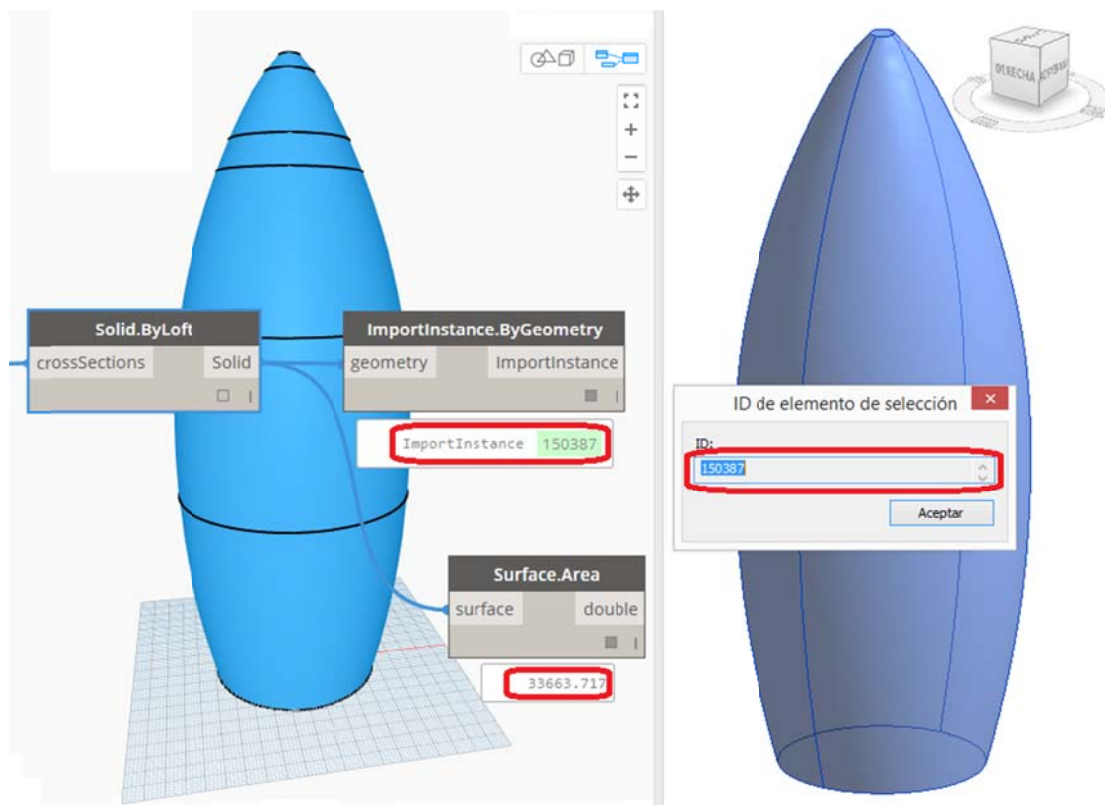


Figura 5.58. Visualización del sólido generado en el entorno Dynamo, mediante la programación gráfica del script a la izquierda y su correlativo importado a Revit a la derecha. Pueden verse en los dos entorno de trabajo (Dynamo y Revit) que el ID o número de identificación del sólido generado por el script son coincidentes. Pueden utilizarse nodos en Dynamo que sirven para cálculos de parámetros como área, volumen, etc. Elaboración propia con software VPL y BIM.

En la figura anterior puede verse la adición de un nodo (“Surface.Area”), cuyo objetivo es el de calcular el área de la superficie externa del sólido que aparece en pantalla, y que en el caso concreto de la figura es $S = 33.663,717 \text{ m}^2$. De igual manera es posible introducir otros nodos, que permitan otros cálculos sobre el sólido anterior, para obtener información analítica.

5.15. OTRAS INTERACTUACIONES DYNAMO REVIT. PUENTE (ZACH KRON)

Una de las posibilidades de interacción bidireccional entre los dos entornos de trabajo de Dynamo y Revit de mucha utilidad, consiste en generar una geometría paramétrica esquemática de base, conformada únicamente por la introducción de líneas en Dynamo (modelado alámbrico), para luego importarla desde Revit, y completarla posteriormente en su conjunto y desde ese entorno de trabajo con la incorporación de formas sólidas asociadas a esas líneas de base para completar el modelado sólido 3D, hasta su terminación. Con este modo de proceder quedan vinculadas ambas geometrías y es posible modificar los parámetros de las formas alámbricas esquemáticas de Dynamo que interesen y esas modificaciones se actualizan instantáneamente de forma dinámica en el 3D sólido de Revit.

El script ya terminado, solo se explicará parcialmente para no alargar en exceso el desarrollo de la exposición del trabajo. Ha sido bajado directamente del blog de Zach Kron y es el que aparece en la figura siguiente que representa una pasarela colgante.

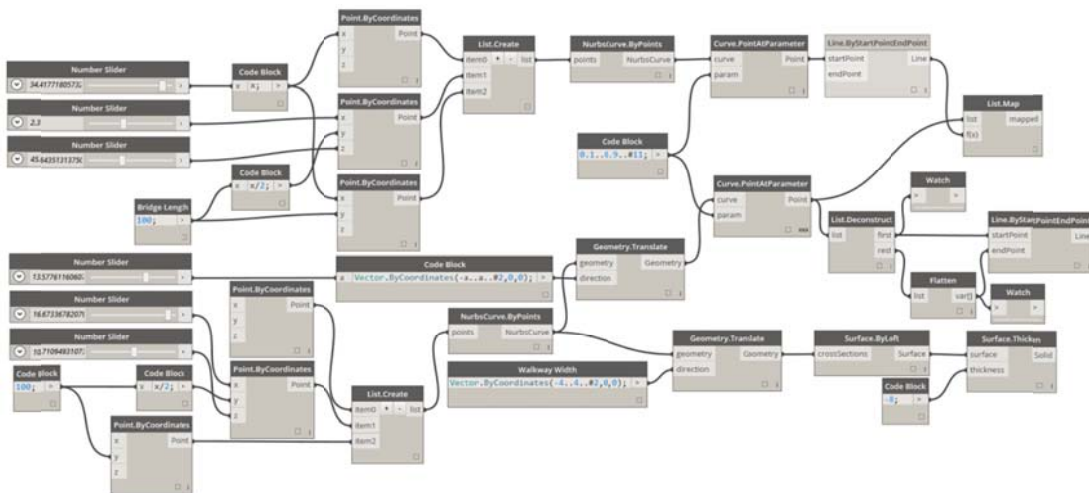


Figura 5.59. Detalle de representación de la programación visual completa del script de Dynamo que reproduce en estructura alámbrica una pasarela o puente. Fuente: Zach Kron <<http://buildz.blogspot.com.es/2014/06/i-love-me-parametric-bridge.html>>. Acceso en: 6 feb. 2015.

Una vez ejecutado dicho script en el entorno de Dynamo, el resultado de la programación visual es el que puede apreciarse gráficamente en estructura alámbrica en la siguiente figura.

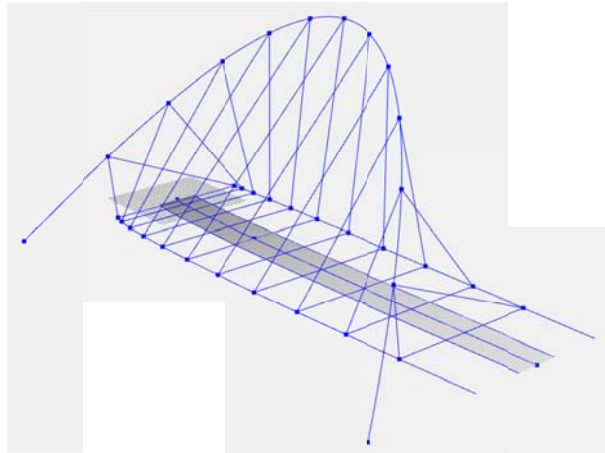


Figura 5.60. Detalle de la visualización del modelo ejecutando el script en Dynamo. Está realizado en estructura alámbrica y contiene todas las líneas de definición de la pasarela. Arco portante longitudinal, tirantes, tablero con paso y líneas laterales. Fuente: Zach Kron <<http://buildz.blogspot.com.es/2014/06/i-love-me-parametric-bridge.html>>. Acceso en: 6 feb. 2015.

Dentro de Revit no se vería nada, debido a que no se han dispuesto nodos que permitan su visualización. Es posible en todo momento, la modificación del script anterior para variar los parámetros de definición formal de la pasarela o hacer que se visualice el modelo en el entorno de Revit, esto obliga a conocer la función de cada nodo, que tiene el control de la parte que se quiera modificar. Modificando el arco portante longitudinal del que cuelga la pasarela para bajar su altura, el resultado que se obtiene es el que se ve en la figura.

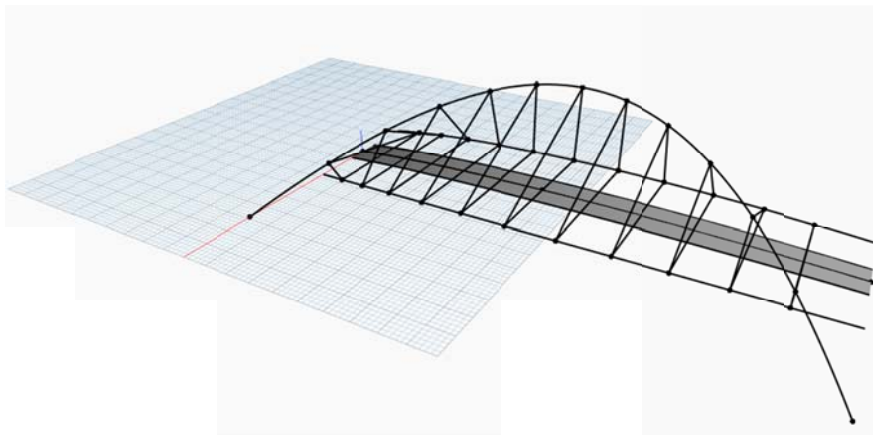


Figura 5.61. Detalle de la visualización de la pasarela anterior con modificación de la altura del arco portante longitudinal, cambiando los parámetros apropiados dentro del script de la programación visual de Dynamo. Fuente: Zach Kron <<http://buildz.blogspot.com.es/2014/06/i-love-me-parametric-bridge.html>>. Acceso en 6 feb. 2015. Modificación Autor.

En la modificación anterior del script, se ha actuado sobre el paquete funcional que genera la curva del arco portante principal longitudinal del puente, que es una curva Nurbs que pasa por tres puntos, ese paquete funcional aislado es el que puede verse en la figura siguiente:

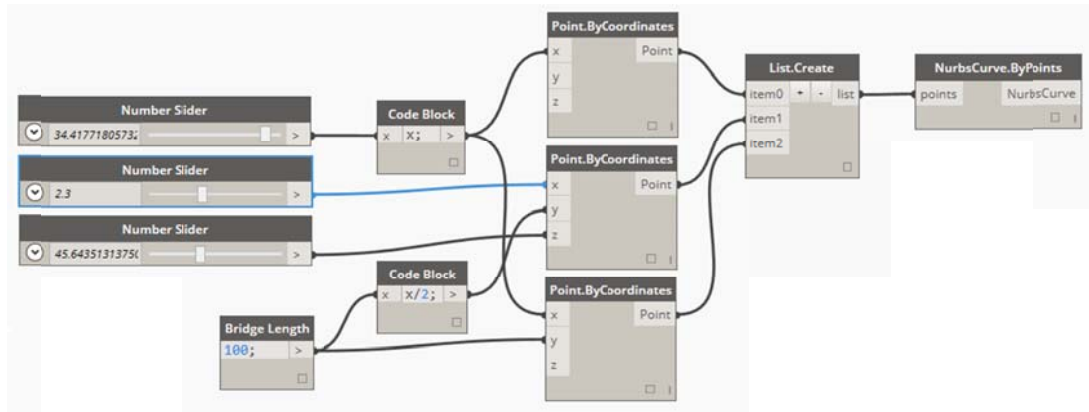


Figura 5.62. Detalle del script inicial modificado para aislar la generación del arco portante longitudinal de la pasarela que está conformado por una curva Nurbs que pasa por tres puntos definidos por sus coordenadas (“Point.ByCoordinates”). Elaboración propia con software VPL.

La curva del arco portante principal del puente es una curva nurbs a la que se le ha impuesto la condición de su paso por tres puntos, dos fijos en el plano horizontal o nivel de referencia cero y otro punto superior libre que estará en la mitad del arco, que es la clave o centro del arco equidistante de los otros dos puntos. Los tres puntos de paso de esta curva principal son los que se especifican a continuación:

P1 de coordenadas (x = 34,418; y = 0,000; z = 0,000) pertenencia al plano horiz. de referen.

P2 de coordenadas (x = 2,300; y = 50,000; z = 45,644) libre

P3 de coordenadas (x = 34,418; y = 100,000; z = 0,000) pertenencia al plano horiz. de referen.

El nodo específico para la creación de esa curva Nurbs en Dynamo es “NurbsCurve.ByPoints”, pero antes se deberá crear un listado de datos con el nodo “List.Create”; que disponga de tres entradas, que se definirán para cada uno de los puntos de paso definidos por las coordenadas, referidas anteriormente.

El script anterior de la unidad funcional generadora del arco portante principal, longitudinal de la pasarela o curva Nurbs, es el que aparece en la figura siguiente:

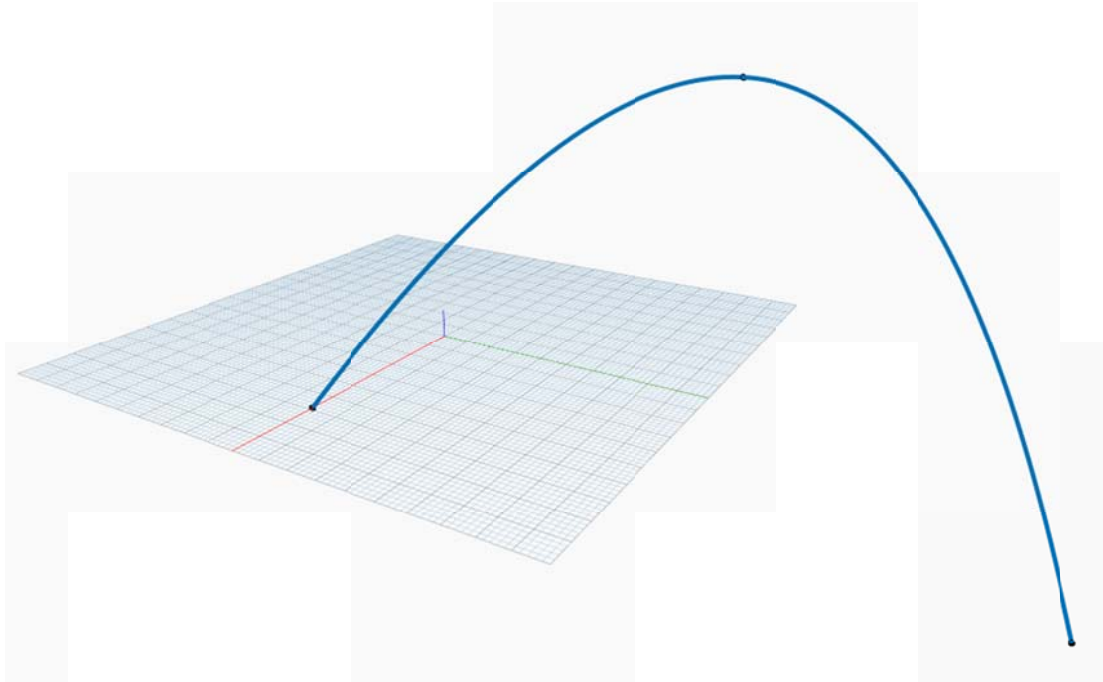


Figura 5.63. Representación gráfica en el entorno de trabajo de Dynamo de una curva nurbs que pasa por tres puntos y que representa el arco portante longitudinal del puente. Dos de los puntos del arco tienen como condición su ubicación en el plano horizontal y su equidistancia respecto el tercero de los puntos que se sitúa en la mitad del arco. Elaboración propia con software VPL.

Modificando las coordenadas de paso del punto medio del arco portante principal por donde debe de pasar la curva nurbs, definida por los tres puntos anteriores, se van formando planos con distinta inclinación, que contienen el desarrollo de la curva de paso por esos tres puntos. Este tanteo puede visualizarse directamente en el entorno de trabajo de Dynamo, sin necesidad de ejecutar o tener definido todo el script, para visualizar la forma e inclinación de la curva.

Ya se ha dicho en otra parte del texto, que en Dynamo es posible ver la salida de datos de la programación visual, que se esté realizando en los nodos que nos interesen, utilizando recursos disponibles con los que cuenta el software, como por ejemplo, el Botón de previsualización del nodo que devuelve en un listado los datos de salida del nodo de que se trate. Pero Dynamo también dispone de nodos específicos, que cumplen con esta función (“Watch”); incluso cuando se trata de salidas gráficas relativas a la geometría de creación de determinado tipos de nodos que generan formas. Un ejemplo de esta utilidad es el nodo “Watch 3D”, que muestra una vista preliminar dinámica de la geometría de salida de un nodo.

Dentro del script parcial anterior se dispondrá del nodo “Watch 3D” antes explicado quedando como puede verse en la figura siguiente:

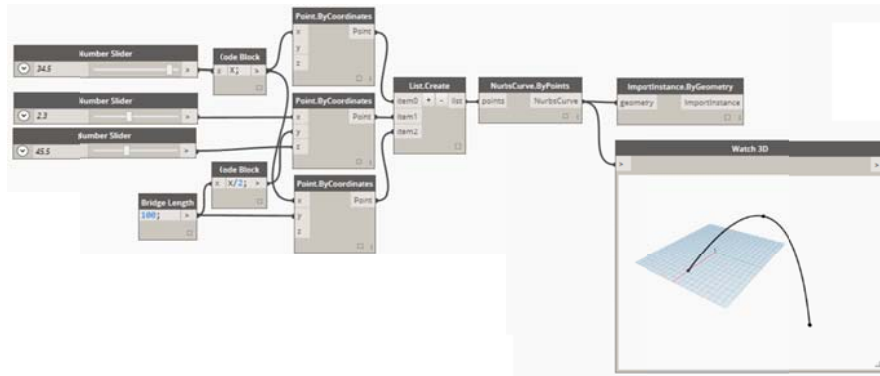


Figura 5.64. Detalle de la incorporación en el script de Dynamo de uno nodo “Watch 3D” en la salida de un nodo de creación gráfica, que muestra una vista preliminar dinámica de la geometría creada en la salida de dicho nodo. Elaboración propia con software VPL.

Para que la curva nurbs, que genera Dynamo del arco portante longitudinal de la pasarela, pueda verse dentro del entorno de Revit, es necesaria la incorporación al script parcial anterior del nodo “ImportInstance.ByGeometry”, que hace que Revit pueda importarla para su visualización. Esta curva dentro de Revit, es posible utilizarla para su conversión en una familia in situ, que modele dicho elemento partiendo de la forma alámbrica. Ver figura adjunta.

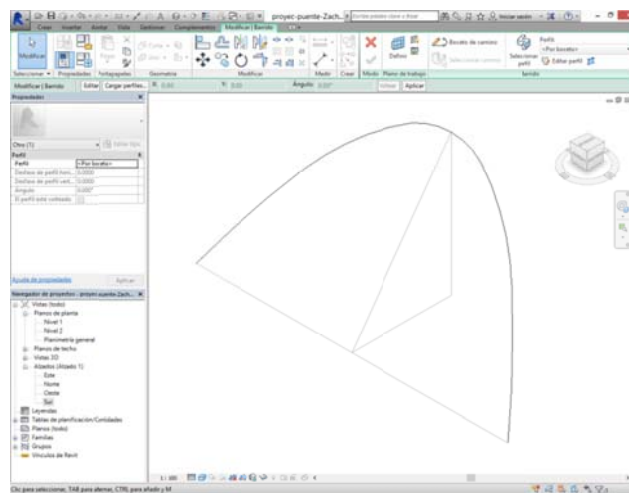


Figura 5.65. Detalle de la curva nurbs importada de Dynamo al entorno de trabajo de Revit. Con ello es posible continuar en Revit su definición de modelado 3D, tomando como base el modelo alámbrico de Dynamo. Los cambios en Dynamo de los parámetros actualizarían automáticamente el modelo en Revit. Elaboración propia con software BIM.

Con base en el modelo alámbrico de Dynamo importado por Revit, es posible completar el modelado 3D de la pieza del arco. Los cambios realizados en dicho modelo alámbrico de Dynamo se actualizarían de forma automática en Revit. Ver figura adjunta.

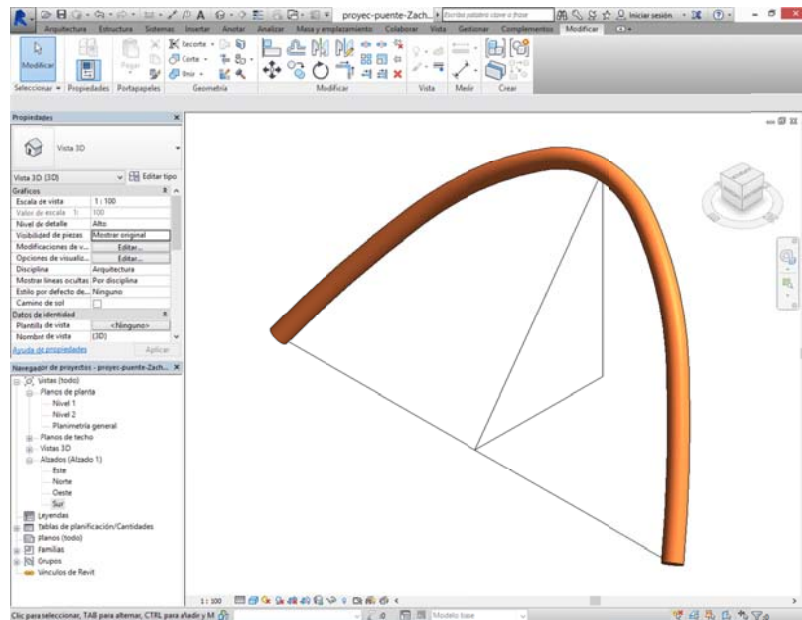


Figura 5.66. Detalle del arco portante de la pasarela. Partiendo de la curva Nurbs importada para su generación en Revit se completa su modelado 3D en este caso creando una familia in situ generada por el barrido de un perfil circular a lo largo del camino del arco. Elaboración propia con software BIM.

Desde Revit puede introducirse un tramado superficial para simular la repetición de piezas.

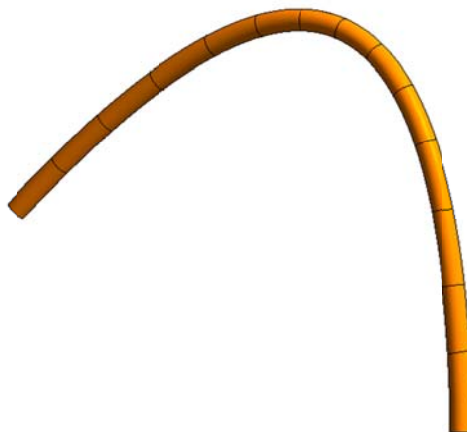


Figura 5.67. Introducción en el arco anterior de un tramado en la superficie de la familia in situ para simular una repetición de piezas, realizado desde en entorno de Revit. Elaboración propia con software BIM.

CONVERSIÓN DE LÍNEAS ALÁMBRICAS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE REVIT

En el ejemplo anterior, la pasarela paramétrica generada por el script de Dynamo se ha realizado con línea en estructura alámbrica. Pero este software, pensado para trabajar conjuntamente con Revit, permite utilizar nodos que asignan directamente a las líneas de base alámbricas de Dynamo familias de Revit; como son los elementos estructurales que se seleccionan, eligiendo la familia estructural que se aplicará a las líneas alámbricas que se quieran.

Siguiendo el mismo caso anterior, se modificará el script parcial de generación de la línea del arco portante longitudinal, para que se convierta dentro de Revit, en un elemento de familia de Armazón estructural. Debemos tener previamente cargadas dentro de Revit las familias de la categoría Armazón estructural, para seleccionar cuál de ellas es la que, basándose en esa línea alámbrica, haga que se convierta en ese elemento estructural. Las familias que se cargarán serán de la biblioteca de Revit con el nombre “HSS-Tubo estructural redondo.rfa”, “Barra redonda.rfa” y “RHS-Sección hueca rectangular.rfa” ver figura adjunta:

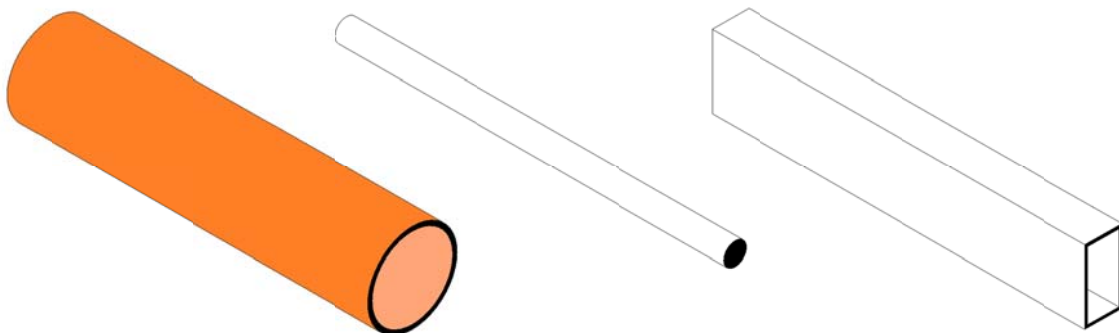


Figura 5.68. Introducción previa en el archivo del proyecto de Revit, donde se importarán los elementos de la pasarela generados por Dynamo, de familias de la categoría Armazón estructural como son “HSS-Tubo estructural redondo.rfa”, “Barra redonda.rfa” y “RHS-Sección hueca rectangular.rfa”. Elaboración propia con software BIM.

La modificación del script original para que las líneas de la estructura alámbrica sirvan de guía a las familias estructurales contendrán el nodo de Dynamo “StructuralFraming.BeamByCurve”, que sirve para generar una viga en Revit. Ese nodo específico tiene tres puertos de entrada, siendo el primero de ellos “curve” que indica cuál será la línea que servirá de guía a la viga, que se genere en este caso, será la curva Nurbs ya generada; el segundo es “level”, que indica el nivel dentro de Revit donde se encuentra la curva (Nivel 1) y el tercero es “structuralFraming-Type”, que indica la selección del tipo de familia de Armazón estructural. Para este puerto las familias de Armazón

estructural deberán estar previamente cargadas, para que aparezcan en la selección y elegir la que se quiera. El script modificado con la introducción del nodo anterior sería el que puede verse en la figura.

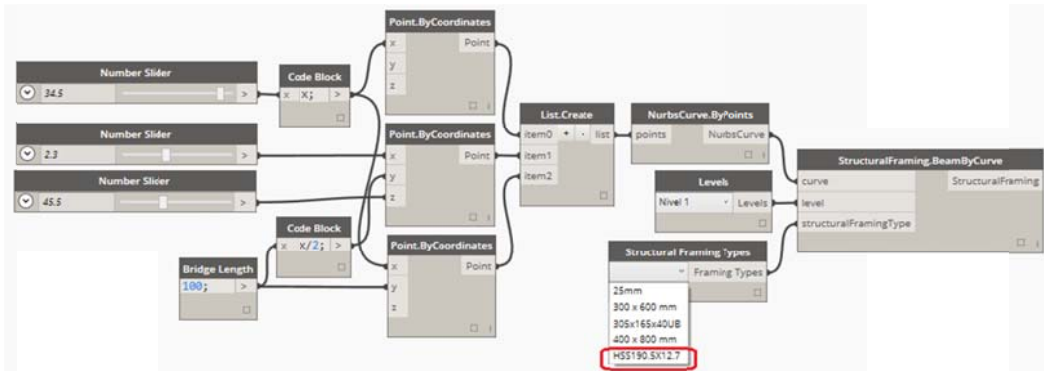


Figura 5.69. Detalle del script parcial modificado del arco portante longitudinal de la pasarela. Para que esta línea de la estructura alámbrica del arco se convierta en una viga (Armazón estructural) dentro de Revit, se introducirá un nodo que modele dicha viga en Revit. Se incorporará el nodo “StructuralFraming.BeamByCurve”. Puede verse el desplegable de los tipos de familia de la categoría Armazón estructural. Elaboración propia con software VPL.

La ejecución, dentro de Dynamo del script anterior, da como resultado el modelo que se refleja en la figura siguiente:

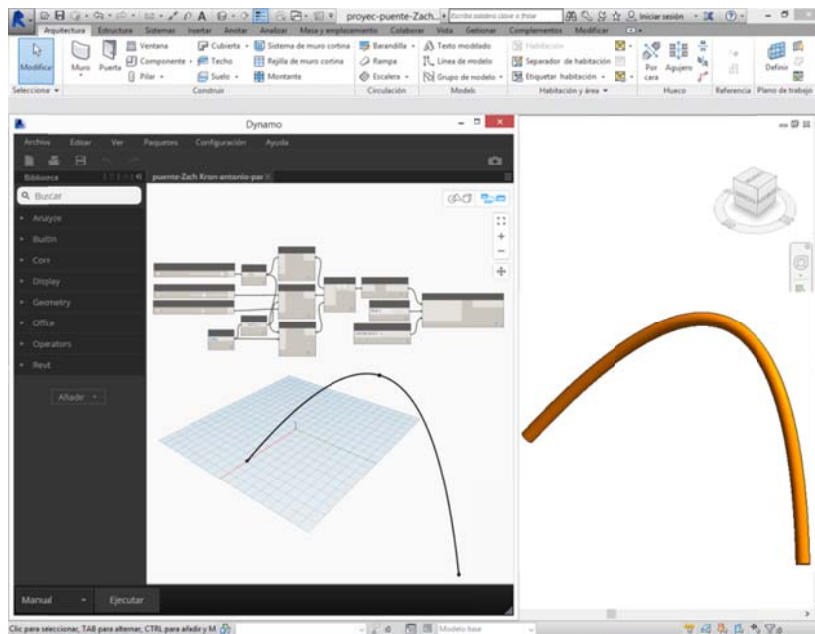


Figura 5.70. Detalle de la visualización de la ejecución del script de Dynamo para la generación del elemento estructural de la viga del arco portante longitudinal de la pasarela, utilizando una familia de la categoría Armazón estructural. Elaboración propia con software VPL y BIM.

A la viga resultante del script también se le puede aplicar, como en el caso anterior y dentro de Revit, un patrón de superficie con líneas horizontales que simule un despiece de la viga. También es posible la edición de la familia de Armazón estructural para su modificación de dimensiones, forma, material, etc.

Si se retocan los nodos dentro de Dynamo que generan geometría en el script de la programación visual completa inicial, y se introducen como en el caso anterior los nodos dentro de Dynamo, que convierten las líneas alámbricas de la pasarela en elementos estructurales con la elección conveniente de los tipos de familias de la categoría Armazón estructural, el script modificado quedaría como en la vista siguiente:

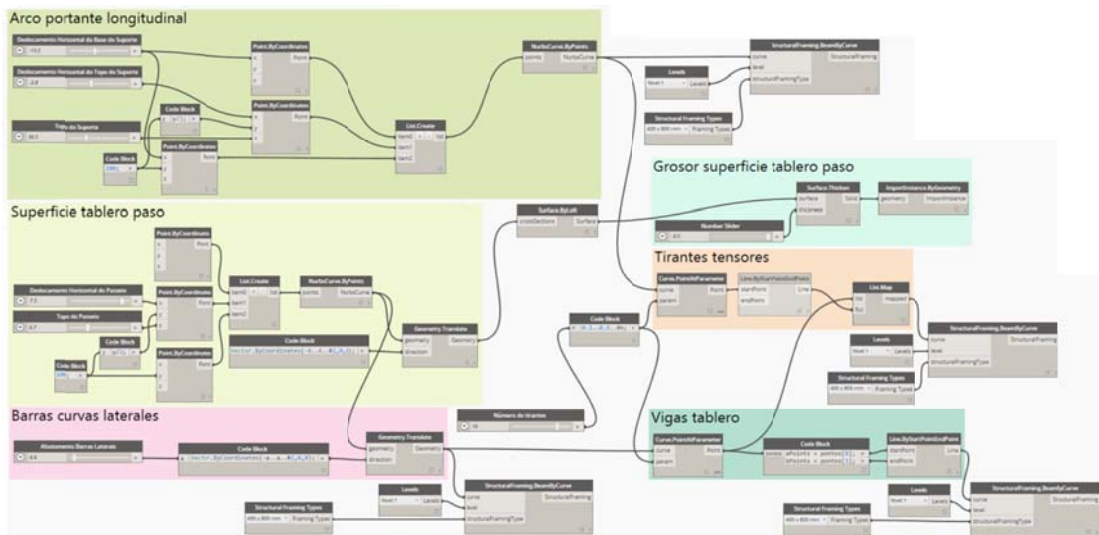


Figura 5.71. Detalle del script inicial modificado para convertir, la pasarela de estructura alámbrica de origen generada con Dynamo, en elementos estructurales en Revit. Han sido coloreados, con asignación de texto explicativo, dentro del propio programa Dynamo los paquetes funcionales en que se divide el script. Elaboración propia con software VPL.

La importación a Revit del modelo alámbrico creado se realiza manteniendo como referencia las coordenadas de origen, con las que se ha generado la geometría en el script de Dynamo.

Aunque el autor del blog (Zach Kron), donde se ha obtenido el archivo original del script de la generación paramétrica de la pasarela, no especifica si el modelado está basado o no en una construcción real de pasarela existente. Puede verse en las fotos siguientes, su parecido con la Pasarela Zubizuri, ejecutada por Santiago Calatrava en Bilbao años 1994-1997.



Figura 5.72. Pasarela peatonal Campo Volatín o Pasarela Zubizuri (Puente blanco), proyectada y ejecutada por Santiago Calatrava Valls en la ciudad de Bilbao años 1994-1997. Fuente: internet.



Figura 5.73. Pasarela peatonal Campo Volatín o Pasarela Zubizuri (Puente blanco), proyectada y ejecutada por Santiago Calatrava Valls en la ciudad de Bilbao años 1994-1997. Fuente: internet.

A continuación, se incorporan unas vistas generadas en Revit de las visualizaciones obtenidas después de la ejecución del script de Dynamo con las modificaciones introducidas en él. Se han obtenido, utilizando en la conversión de los elementos lineales de la estructura alámbrica, 4 familias de la categoría Armazón estructural, que han modelado el arco portante longitudinal, las barras curvas laterales del tablero, las vigas transversales del tablero, y los tirantes. El único elemento no estructural ha sido la superficie de paso del tablero y su espesor.

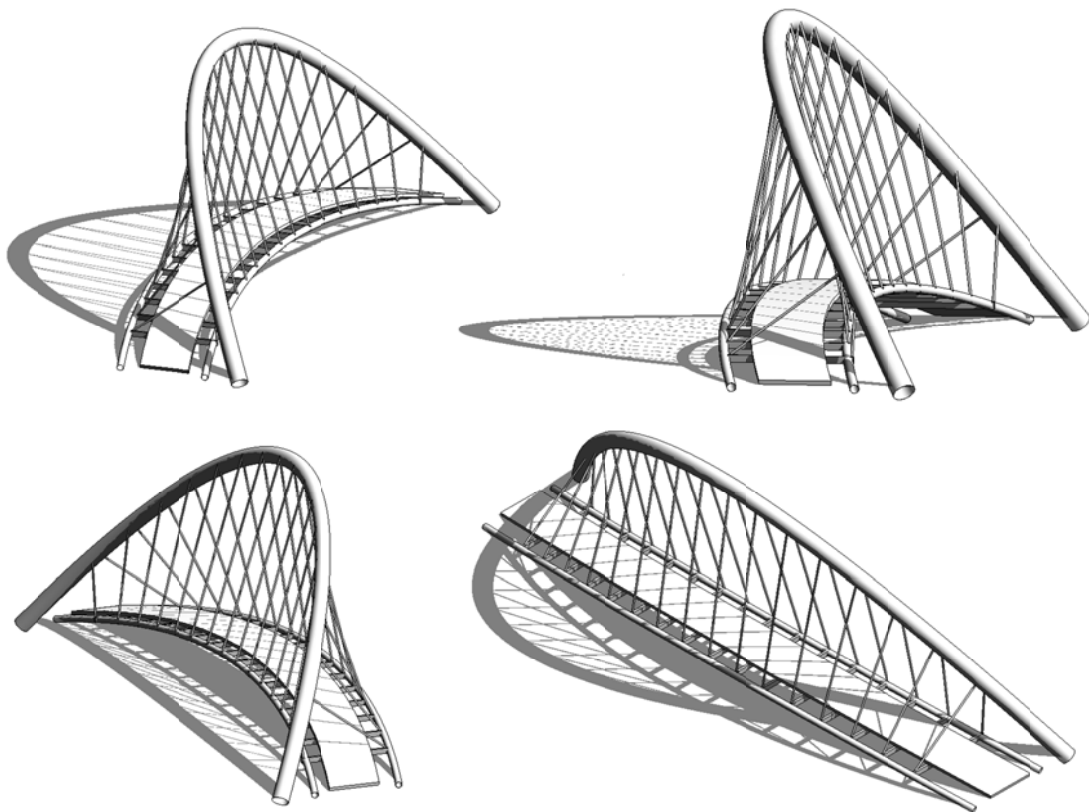


Figura 5.74. Visualizaciones de la pasarela desde diversos puntos de vista, tomados en el entorno gráfico de proyecto de Revit, una vez convertidos los elementos lineales de la estructura alámbrica de Dynamo en elementos estructurales en Revit. Elaboración propia con software BIM.

5.16. ASIGNAR VALORES ALEATORIOS A PARÁMETROS DE FAMILIA

En algunas ocasiones, para la definición geométrica de determinado tipo de masas conceptuales a generar, se requiere el empleo de familias anidadas (paneles de muro cortina métricos basados en

patrón) con parámetros de definición, que requieren del empleo para algunos de ellos, de valores aleatorios (ver figura XX). Esto se consigue dentro del entorno de Revit de forma manual, actuando una por una sobre las familias de masas anidadas una vez insertadas; modificando sus propiedades de ejemplar, sólo para determinado tipo de parámetros necesarios, y asignando luego de forma manual por el usuario, unos valores aleatorios a los parámetros. Con ello se obtendría el resultado perseguido, pero consumiendo en su desarrollo gran cantidad de tiempo. Esto puede conseguirse dentro de Dynamo de forma automática, mucho más rápida y de una sola vez con la programación visual, creando un script que automatice el trabajo anterior.

En el ejemplo siguiente, dentro del entorno de trabajo de Dynamo, se creará un script que realice estas funciones de asignación de valores aleatorios a determinados parámetros de una familia de masas anidada, que se repite dentro de Revit. Se partirá del diseño de la familia de masas general con división de su superficie y aplicación de una rejilla de patrón rectangular, para luego crear otra familia de masas, que irá anidada en la anterior (panel), e insertada en la masa general, recubriendo cada una de las celdillas de la rejilla en toda su superficie. En la definición de determinados parámetros de la familia anidada, será necesario asignar valores aleatorios que, posteriormente y con el script creado dentro de Dynamo, serán asignados todos a la vez.

Es importante y es necesario tener en consideración dos cosas fundamentales:

- 1) Saber el número de veces que se irá a repetir la anidación de la familia, dentro de la definición de la masa general; ya que, en la programación del script, se deberán crear un conjunto de valores aleatorios tal, que su número cubra el número de veces de la repetición de la familia (panel anidado), para que cada uno de ellos pueda tener un valor aleatorio de asignación, que será aplicado a cada una de las familias anidadas repetida. De otra manera, si fuera menor, habría familias repetidas, que no tendrían asignado el valor aleatorio y asumirían para ese parámetro el valor que tenga asignada por defecto la familia anidada en su creación y por lo tanto no sería aleatorio sino fijo.

- 2) Definir el parámetro que corresponda a la variable aleatoria, como parámetro de ejemplar y no de tipo, para que permita su asignación y variación ejemplar por ejemplar que es lo que se persigue.

Se empezará con la creación de la masa general, para ello se abrirá el entorno de trabajo de familias de masas conceptuales de Revit, donde se procederá a cargar la plantilla genérica de familias de masas "Masa métrica.rft", después se dibujará en el plano horizontal de referencia una línea spline con la que se generará la superficie que puede verse en la figura siguiente mediante su extrusión.

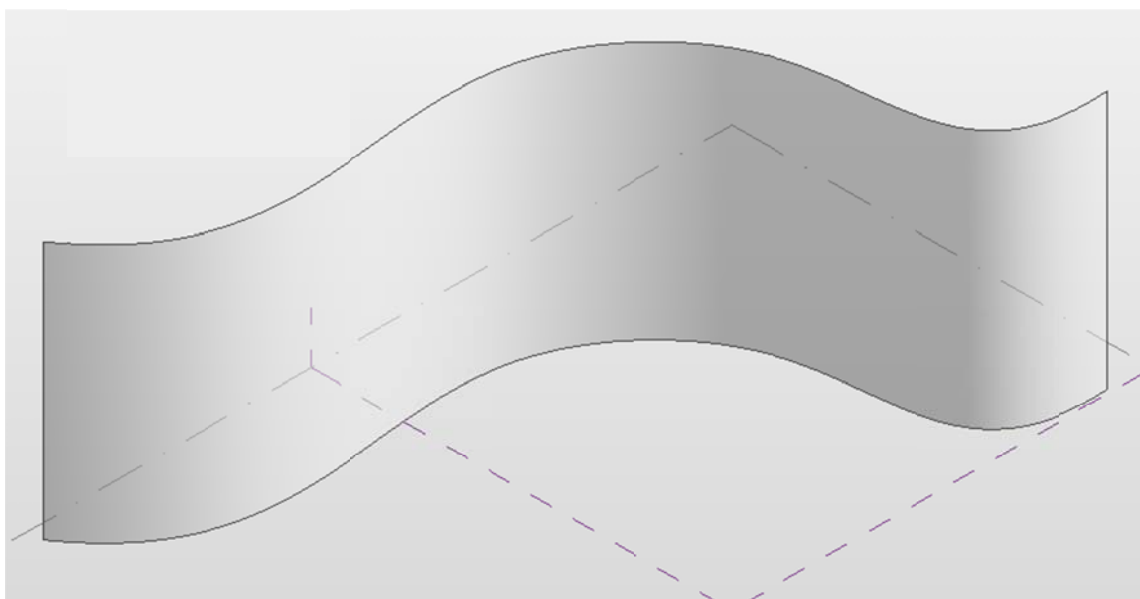


Figura 5.75. Vista de la creación de la masa general dentro del entorno de trabajo de familias de masas de Revit. Está formada por la extrusión de una línea spline, situada en el plano horizontal de referencia. Elaboración propia con software BIM.

Se dividirá la superficie de la masa anterior con el comando "Dividir superficie" del grupo Dividir, aplicando unas divisiones de rejilla por Número, seleccionando para $U = 5$ y para $V = 15$. A continuación, se seleccionará la rejilla anterior y se le aplicará un patrón de superficie rectangular, desplegando en la paleta de propiedades la flecha de la derecha donde dice "Sin patrón" en el desplegable se selecciona el que dice Rectangular. La masa queda como puede verse en la figura siguiente:

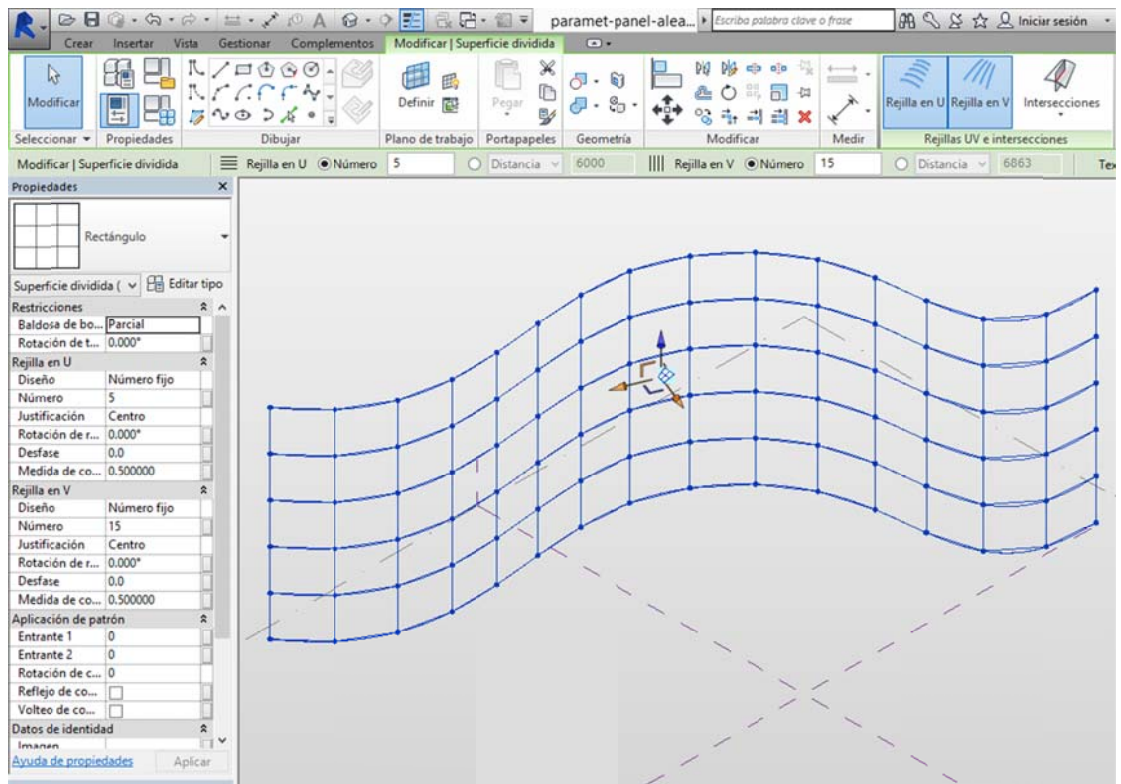


Figura 5.76. Detalle de representación de la superficie anterior, que ha sido dividida utilizando una división de rejillas rectangular, con U=5 y V=15. Se ha dispuesto la visualización para que se aprecien todos sus nodos. Elaboración propia con software BIM.

En el siguiente paso se creará la familia de masa anidada, una familia que se insertará y anidará en la anteriormente creada y que utilizará la plantilla “Panel de muro cortina métrico basado en patrón.rft”. Esta plantilla como indica su nombre, se utiliza para generar un panel y lo que se pretende con la anidación es que el panel se auto replique; recubriendo cada una de las celdillas de división, que han conformado las divisiones de rejilla aplicadas anteriormente, (U=5, V=15) en la superficie de la masa general primitiva.

El panel de la familia anidada está formado por cuatro puntos adaptativos, que son los vértices de un patrón de baldosa rectangular. En la anidación cada uno de los cuatro puntos adaptativos de estos vértices de cada panel se adaptarán, ya que son puntos adaptativos, a los cuatro nodos de cada una de las celdillas, que conforma la división de rejillas, recubriendo con el panel la totalidad de su superficie.

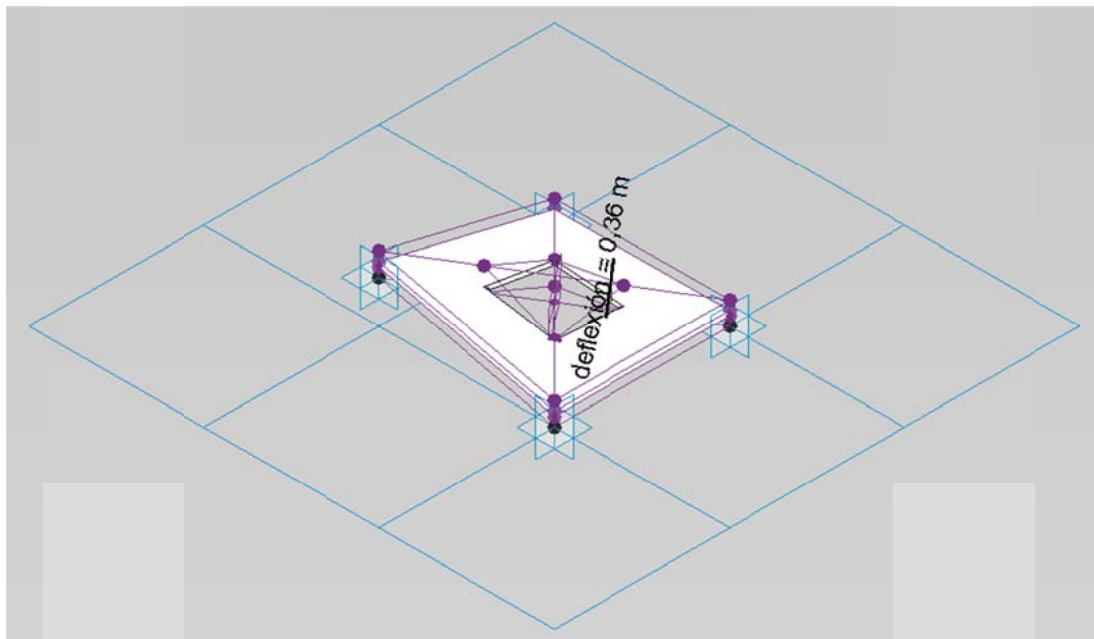


Figura 5.77. Detalle de la generación de la familia de masa anidada (panel de abertura variable). Puede verse en la zona central del panel la abertura formada por un elemento de masa vacío que crea el hueco central de dimensión variable. Dispone de una rejilla de patrón de baldosa rectangular para que ajuste en su inserción con los nodos de la rejilla de división de la superficie general de anidación. Elaboración propia con software BIM.

Este panel adaptativo tiene un espesor que ha sido parametrizado y al que, por defecto se le ha dado el valor de 0,40 metros y contiene también en su definición una abertura realizada con un elemento de forma vacío, que proporciona el agujero interior cuadrado en el centro del panel con una dimensión que se pretende sea variable. A esta dimensión se le asignará una variable paramétrica y se le dará el nombre de “apertura”, que indica mediante un número la magnitud de apertura del hueco o vacío del panel (cero estaría abierto del todo y 0,45 es la abertura mínima casi cerrado). Más adelante, y utilizando Dynamo, se asignará a este parámetro de la familia anidada, valores aleatorios en su inserción.

Existe en la familia otra variable relacionada con la anterior (gobierno apertura), que regula propiamente la apertura del panel y que establece unas condiciones de esa apertura. Está gobernada por una fórmula condicional, que es función del valor numérico de la variable “apertura” al establecer unos límites relacionados con ella; si se supera el valor de 0,45, que es el límite del valor numérico de la apertura del panel, se tomará como valor de la variable “gobierno

de apertura” el valor de 0,45. Y si es menor, tomará el número que resulte siempre mayor que cero.

En la figura siguiente pueden verse todos los parámetros de definición del panel de apertura variable. El parámetro “gobierno apertura” dispone de una fórmula condicional dependiente del valor del parámetro “apertura”.

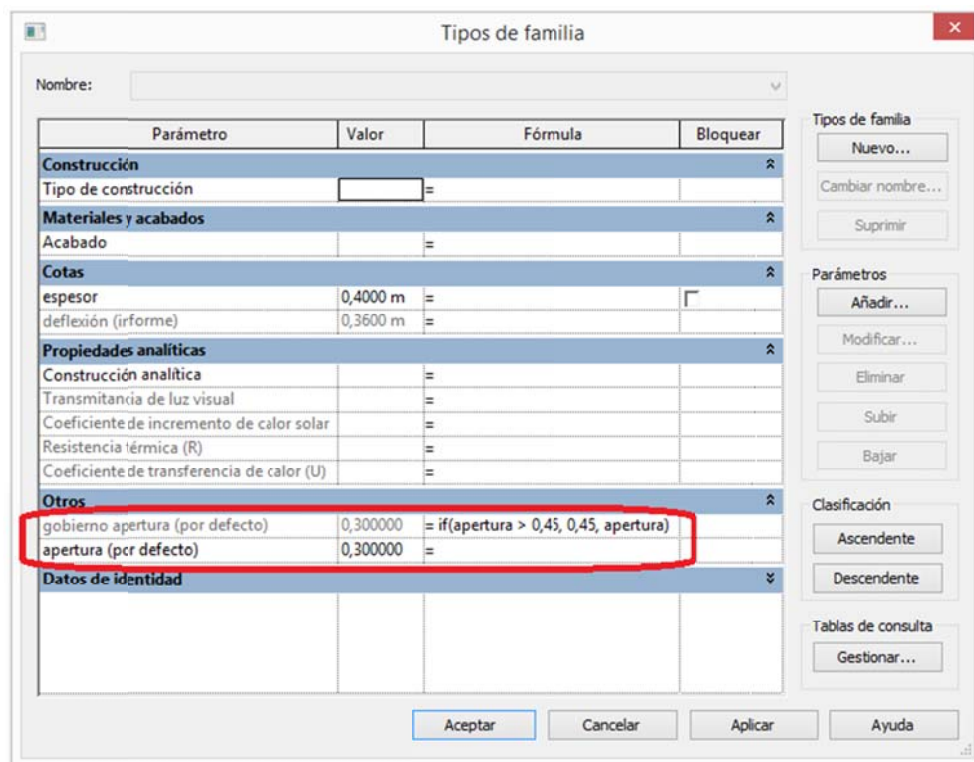


Figura 5.78. Detalle de los parámetros involucrados en la creación de la familia anidada del panel de muro cortina métrico basado en patrón. Fuente: Autor. Puede verse el parámetro “apertura”, que regula de forma numérica la modificación del hueco o vacío interior del panel. El parámetro “gobierno apertura” hace efectiva esta apertura con la introducción de una fórmula condicional, estableciendo la condición numérica entre una horquilla de valores. Elaboración propia con software BIM.

Puede verse en la figura anterior el parámetro introducido que se ha llamado “apertura”, al que por defecto se ha dado un valor de 0,30; este parámetro oscilará entre los valores de 0,00 y 0,45 metros. También este panel basado en patrón, tiene definido otro parámetro, que es su espesor.

Los parámetros de “apertura” y “gobierno apertura”, según ha quedado dicho con anterioridad, deben estar definidos en las propiedades de familia como parámetros de ejemplar para que

admitan su cambio individual ejemplar por ejemplar, sin que afecte al conjunto de la familia. De esta manera, cuando se anide la familia anterior y el panel recubra todas las celdillas de la rejilla de la masa general, cada panel admitirá para esos dos parámetros, valores diferentes. En la figura siguiente puede verse esta definición de las propiedades aludidas a dichos parámetros.

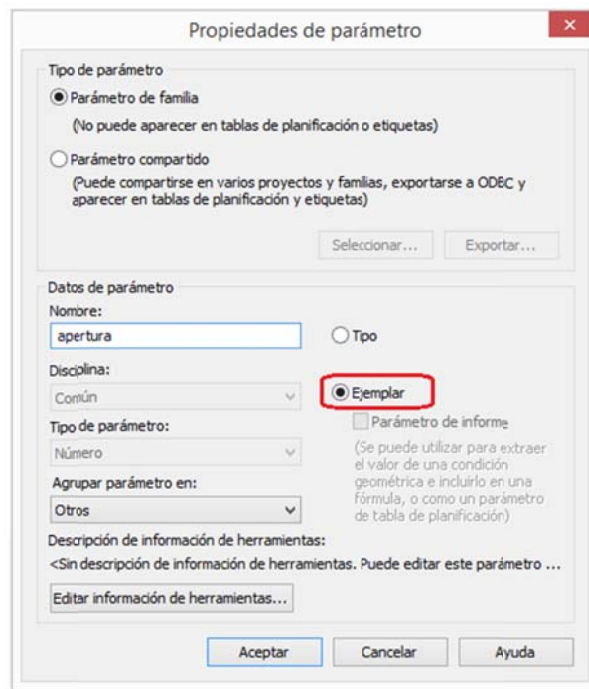


Figura 5.79. Propiedades asignadas al parámetro “apertura”, que representará la abertura variable del panel. Puede verse que esa propiedad se ha dispuesto para que sea de Ejemplar y no de tipo. Con esto se consigue, que en su repetición cada ejemplar del panel anidado pueda tener diferente tamaño de apertura. Elaboración propia con software BIM.

En este momento, que ya se tiene la definición geométrica y los parámetros que compondrán la familia del panel métrico basado en patrón (rectangular), es posible su introducción en la masa general de inicio, para que ocupe todas las celdillas de división de su rejilla. Para que ocurra esto, deben tener tanto la superficie de masa general, como el panel anidado el mismo patrón para que puedan casar la una en el otro correctamente.

Al introducir la familia anidada en la definición de superficie de la masa general, aplicada sobre el patrón de rejilla rectangular anterior quedaría como puede verse en la figura siguiente:

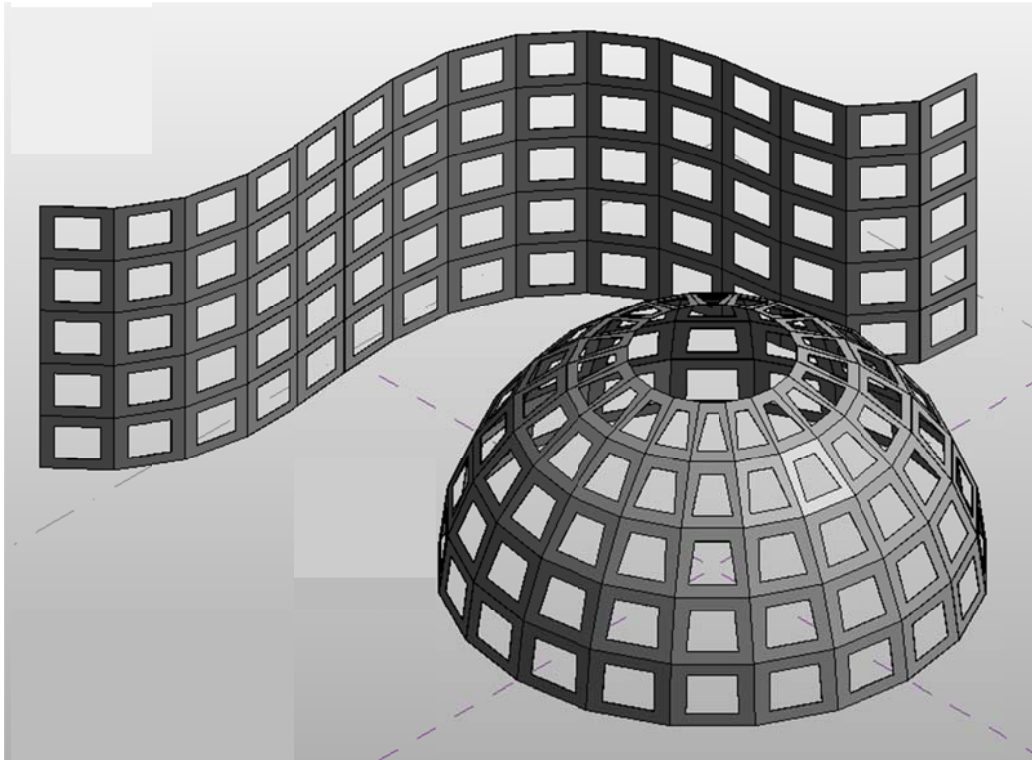


Figura 5.80. Visualización de la familia de masas completa con inclusión de la familia del panel de abertura variable anidado, que se auto replica para recubrir toda la superficie de la masa inicial genérica. Elaboración propia con software BIM.

Puede verse en la figura anterior, como todos los paneles anidados, que recubren toda la superficie, tienen asignados el mismo valor para el parámetro “apertura”, que es la apertura del panel y ese valor está definido en la familia con un valor de 0,30 m.

Si se quisiera cambiar el parámetro “apertura” para modificar la abertura del vacío central de algunos paneles, se conseguiría editando cada uno de los paneles de forma individualizada y cambiando el parámetro “apertura”, con esto se conseguiría el propósito de la modificación individualizada. Si lo que se persigue es cambiar la totalidad de los paneles anidados, entonces antes de la anidación, se modificaría primero en la definición de los parámetros de la familia el valor del parámetro “apertura”, dando otro valor al que inicialmente tiene, por ejemplo 0,10 m; y después se gravaría la familia otra vez, para que ese valor modificado quedara guardado. Para terminar, se anidaría la familia modificada anterior en la superficie general de la masa y el resultado sería el que se refleja en la figura siguiente:

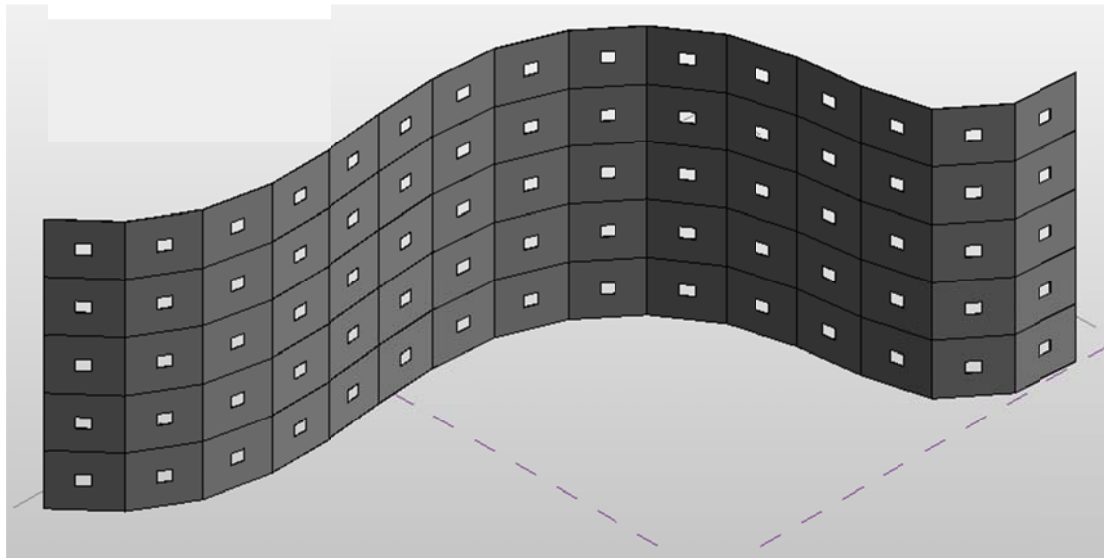


Figura 5.81. Detalle de la visualización de la familia de masas general con la inclusión del panel de muro cortina métrico formado por 4 puntos adaptativos. En esta figura la abertura del panel (familia anidada) ha sido modificada al mínimo y todos los paneles que se replican en la masa general toman el mismo valor. Elaboración propia con software BIM.

Si lo que se quiere, es la asignación de valores aleatorios de apertura a cada panel anidado; Revit sólo permite la asignación manual por el usuario de forma individualizada, editando panel por panel e introduciendo manualmente los valores del parámetro “apertura”, que es el que está involucrado en la variación del hueco del panel.

Esta asignación de valores aleatorios a determinado tipo de parámetros, pertenecientes a una familia de Revit, que en su anidación, se repite muchas veces, es rapidísima y se hace de una sola vez utilizando la programación visual con Dynamo en combinación con Revit. Para la creación del script es necesario saber cuantas veces se repite la familia anidada del panel dentro de la superficie de masa general. Viendo la imagen anterior, se establece el recuento de 5 filas y 15 columnas, que coincide con la división de la rejilla, que se introdujo en el comienzo en la división de la masa general. Esto hace un total de $5 \times 15 = 75$ anidaciones.

Se necesitará crear un script que genere un listado de datos con 75 salidas de números aleatorios; ya que cada salida del número aleatorio será asignada a cada una de las repeticiones anidadas de la familia. También, es necesario indicar en ese script, la especificación del nombre de la familia

anidada y el nombre del parámetro de esa familia al que se asignará los valores aleatorios. Se empezará la creación del script determinando estas circunstancias.

El primer nodo, "Family Types", hace referencia a los tipos de familia que hay en el documento. Al pulsar sobre la flecha se abre un desplegable, donde se seleccionará la familia anidada sobre la que se actuará. En el caso presente la familia anidada es "aperturaPanel.rfa".

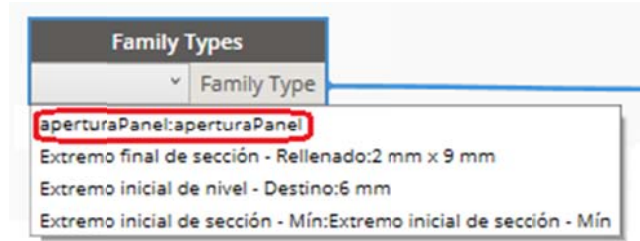


Figura 5.82. Detalle del nodo, "Family Types", al pulsar sobre la flecha se abre un desplegable con el listado de familias cargadas del documento, se seleccionará la familia anidada "aperturaPanel". Elaboración propia con software VPL.

El nodo "Element.SetParameterByName" define uno de los parámetros del elemento, en el caso presente, el de la familia anidada y en ese nodo es necesario poner el nombre exacto del parámetro de la familia ("apertura"), al que se asignarán valores aleatorios y la entrada valor que es la que pide también este nodo. La primera parte del script quedaría como se refleja en la figura siguiente:

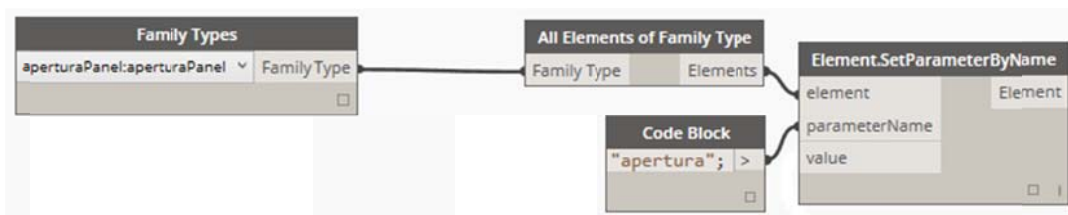


Figura 5.83. Desarrollo del inicio del script donde se especifica el nombre de la familia anidada sobre la que se va a actuar y, dentro de ella, el nombre del parámetro que será seleccionado "apertura" para la asignación de unos valores determinados a realizar. Elaboración propia con software VPL.

Por último, quedaría la segunda parte del script, donde se introduce el nodo de creación de 75 salidas numéricas y la asignación posterior a cada una de ellas de un número aleatorio, que será el valor, que se le asigne al parámetro "apertura". Esta segunda parte quedaría como aparece en la figura siguiente:

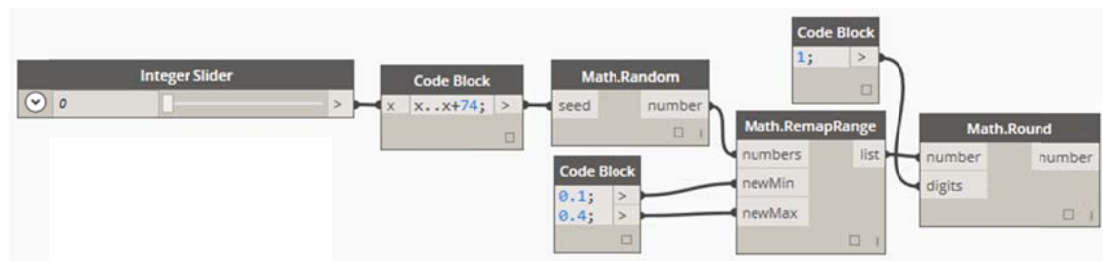


Figura 5.84. Detalle de la incorporación de nodos de la programación visual de la segunda parte del script con Dynamo. Se introducen con el nodo “Code Block” 75 salidas (del 0 al 74), para luego generar en ese rango los valores aleatorios y que estén comprendidos entre 0,1 y 0,4. Elaboración propia con software VPL.

Si se pulsa sobre el botón de previsualización del nodo “Code Block”, se despliega una lista con un conjunto de salida de 75 componentes (a contar desde el número [0] y siguiendo correlativamente por el resto de números enteros hasta el número [74]).

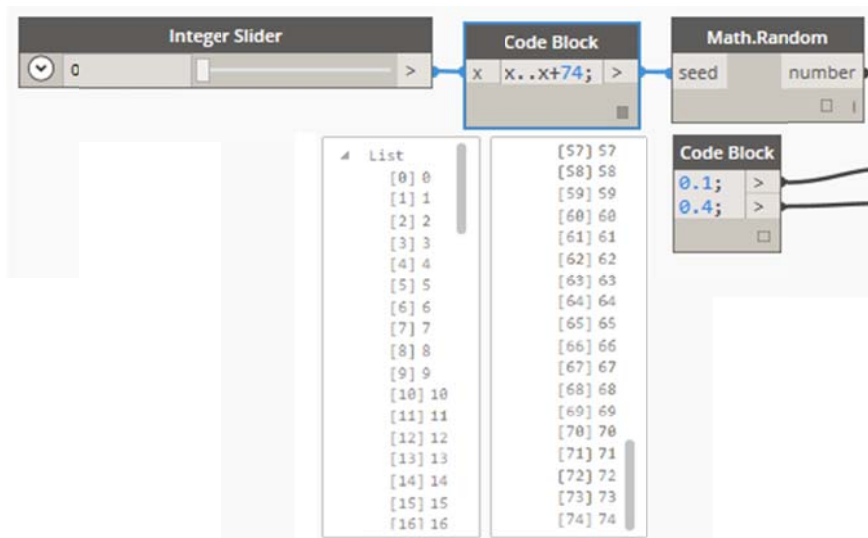


Figura 5.85. Detalle de las salidas numéricas con la preparación del rango de generación del nodo “Code Block”, partiendo del [0] y terminando en el [74]. A esas 75 salidas con el nodo “Math.Random”, se les asigna números aleatorios entre los valores dispuestos en el nodo posterior “Code Block” 0,1 y 0,4. Elaboración propia con software VPL.

A cada una de estas 75 salidas hay que asignarle un número aleatorio comprendido entre 0,1 y 0,4, que es lo que establecen los nodos siguientes y luego un redondeo de un decimal para que los valores definitivos de las aperturas del panel estén comprendidos entre 0,1 y 0,4.

La redacción del script definitivo quedaría tal y como puede verse en la figura siguiente:

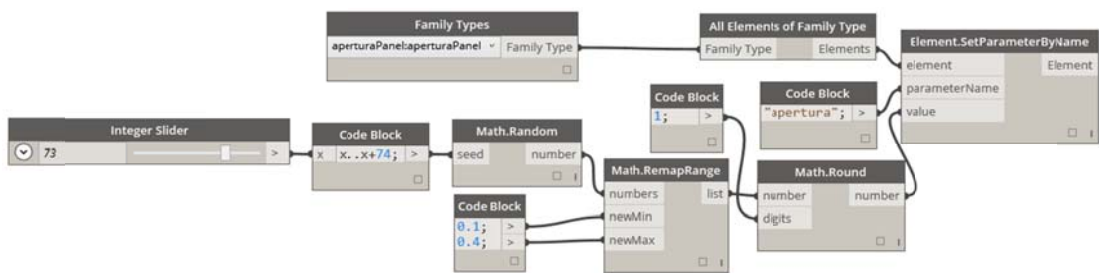


Figura 5.86. Detalle de la representación completa de la programación visual con las dos partes del script terminado. Elaboración propia con software VPL.

Ejecutando el script anterior, dentro del entorno de Dynamo, no sucede nada; pero en el entorno de Revit, son asignados automáticamente los valores aleatorios de apertura del panel a cada uno de los paneles de que se compone las divisiones de rejilla, quedando la familia definitiva como se ve en la imagen siguiente.

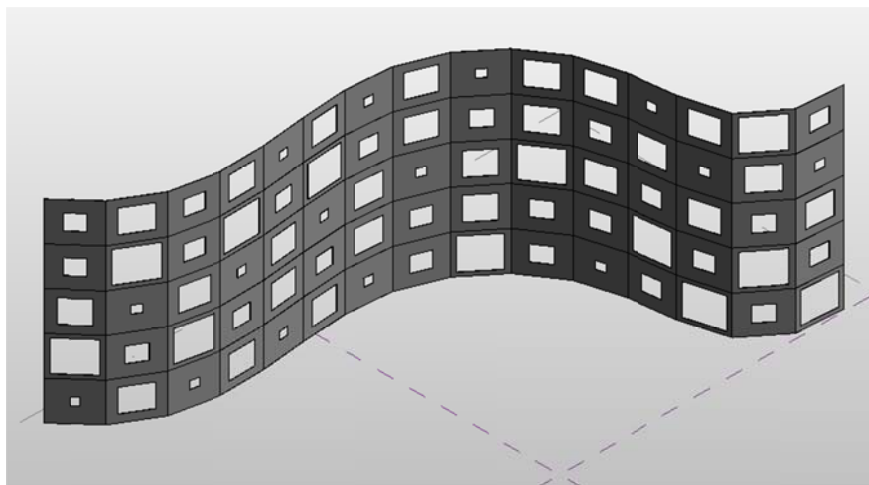


Figura 5.87. Detalle de la visualización de la superficie general con la anidación del panel de apertura variable y la asignación a cada uno de ellos de parámetros de apertura aleatorios. Elaboración propia con software BIM.

Lo establecido para el panel anidado en la masa de superficie del ejemplo anterior, podría aplicarse en la inserción de familias de componentes que se repiten muchas veces, como por ejemplo, la inserción de vegetación dentro de un proyecto para modificar, de forma aleatoria las alturas de unos árboles o vegetación insertada. En las figuras siguientes puede verse su utilización en masas de árboles.

La primera figura contiene un grupo de masas de árboles con los parámetros de altura iguales en todas las inserciones.

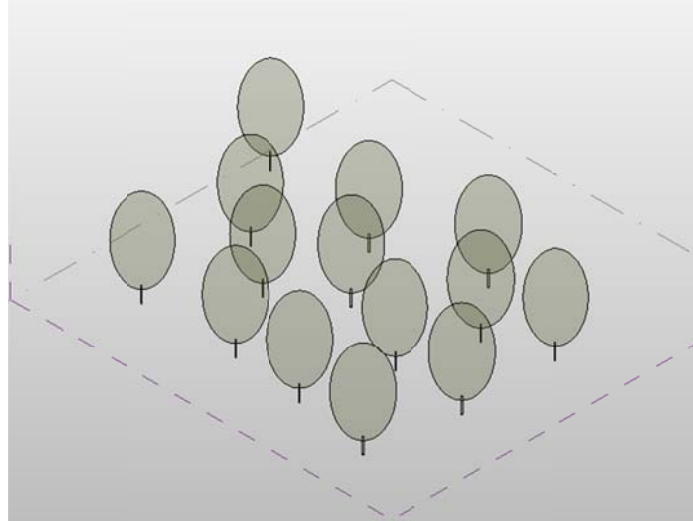


Figura 5.88. Introducción en el modelo de familias de vegetación repetidas (árboles) sin modificación de sus variables paramétricas de altura (variables de ejemplar) definidas en la familia de origen. Para su modificación sería necesaria su edición de forma individualizada y la asignación por el usuario de alturas diferentes a cada uno. Elaboración propia con software BIM.

La misma figura anterior pero introduciendo parámetros aleatorios para la altura del árbol.

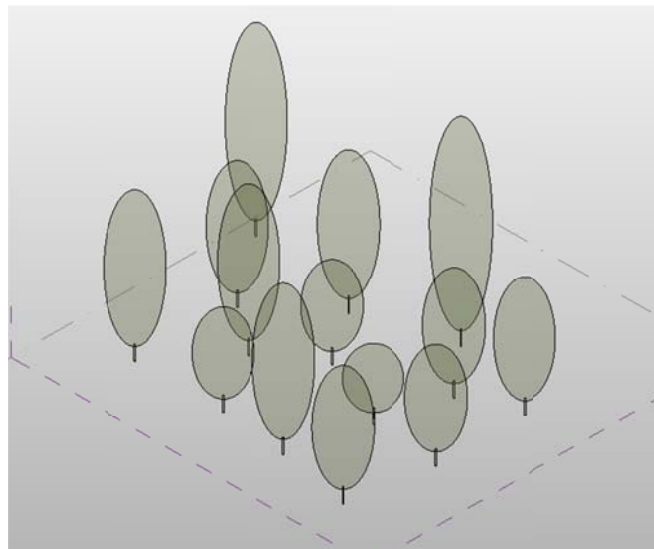
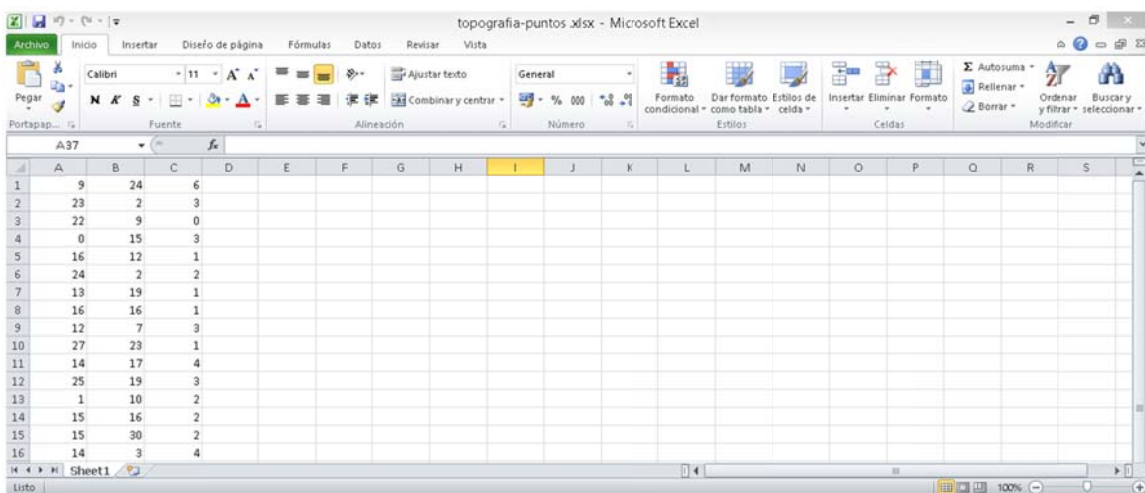


Figura 5.89. Figura anterior, con la modificación mediante la utilización de un script de Dynamo de la asignación aleatoria del parámetro de la altura del ejemplar de la familia insertada. Consiguiendo que todos los ejemplares de la familia utilizada tengan valores aleatorios en su altura. Elaboración propia con software BIM.

5.17. COMUNICACIÓN EXCEL DYNAMO, DYNAMO EXCEL

Los lenguajes de programación visual VPLs como Dynamo, establecen relaciones de comunicación no sólo con los programas gráficos de modelado sobre entornos BIM, sino con otros softwares. Una de las comunicaciones o enlaces más destacados entre los VPLs y otros softwares es la establecida con los programas de hojas de cálculo como Excel. Dynamo contiene nodos que hacen posible, rápida y muy fácil esta comunicación. Comunicación que puede establecerse de forma bidireccional. Es posible traspasar datos contenidos en hojas de cálculo Excel a Dynamo para procesarlos según convenga y a la inversa capturar datos obtenidos de cualquiera de los procesos establecidos en Dynamo y agruparlos en hojas de cálculo para su estudio, comprobaciones, análisis, simulaciones, etc. Esta comunicación proporciona grandes ventajas para seguir procesos iterativos que ayuden en la toma de decisiones de las labores de modelado.

En el caso que ahora se propone se partirá de un archivo de Excel que contiene las coordenadas X, Y y Z de puntos en el espacio de una superficie topográfica o terreno, definido por ese archivo de puntos. Este archivo deberá leerlo Dynamo para extraer su información y procesarla, para ello habrá que indicar su ubicación y su nombre. El archivo de puntos en Excel es el que puede verse en la figura siguiente.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1		9	24	6															
2		23	2	3															
3		22	9	0															
4		0	15	3															
5		16	12	1															
6		24	2	2															
7		13	19	1															
8		16	16	1															
9		12	7	3															
10		27	23	1															
11		14	17	4															
12		25	19	3															
13		1	10	2															
14		15	16	2															
15		15	30	2															
16		14	3	4															

Figura 5.90. Vista del contenido del archivo Excel, donde están listados por filas el valor de las coordenadas X, Y y Z de los puntos de la superficie de un terreno topográfico. Elaboración propia con software de hoja de cálculo.

El nodo básico dentro de la programación gráfica para para indicar la ubicación y nombre del archivo es “File Path” que en su interior contiene la etiqueta Examinar... Se pulsará sobre ella para acceder al Explorador de archivos y se indicará su ubicación y nombre, que aparecerá en la zona inferior del mismo nodo una vez seleccionado. El siguiente nodo más importante involucrado en el script será “Excel.ReadFromFile” que es el encargado de leer la información contenida en el archivo por filas.

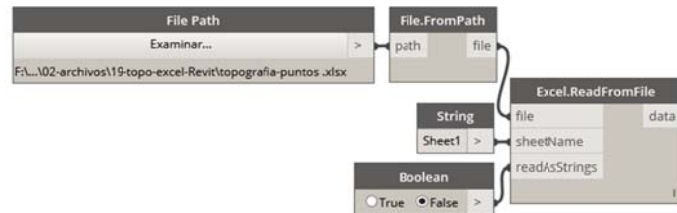


Figura 5.91. Inicio de la creación del script para que Dynamo lea el archivo de puntos de la hoja de cálculo de Excel. Se indica la ubicación del archivo y el nodo de lectura “Excel.ReadFromFile”. Elaboración propia con software VPL.

El paso siguiente es el del intercambio de filas y columnas, en una lista de listas que es lo que se produce en el procesamiento de la lectura de datos del archivo Excel, realizado por el nodo “List.Transpose”. Luego se ordenan con el comando “List.GetItemAtIndex” que aparece por triplicado para reorganizar la lista agrupando por separado los valores en X en una lista los Y en otra y los Z en otra.

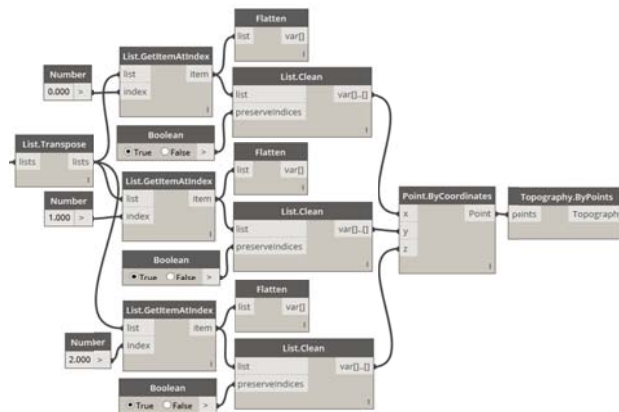


Figura 5.92. Continuación del script anterior con la reorganización de una lista que agrupa por separado los valores X, Y, Z de los puntos del archivo Excel y preparación de la topografía con esos datos. Elaboración propia con software VPL.

Para terminar el script son agrupadas las tres listas de puntos independientes anteriores en una única lista en el nodo “Point.ByCoordinates” que agrupa las salidas por ternas de información X, Y y Z de los puntos de las listas independientes. Después con el nodo “Topography.ByPoints” crea

una superficie topográfica a partir de una lista de puntos por ternas agrupadas X, Y y Z. El script terminado puede verse en la figura siguiente.

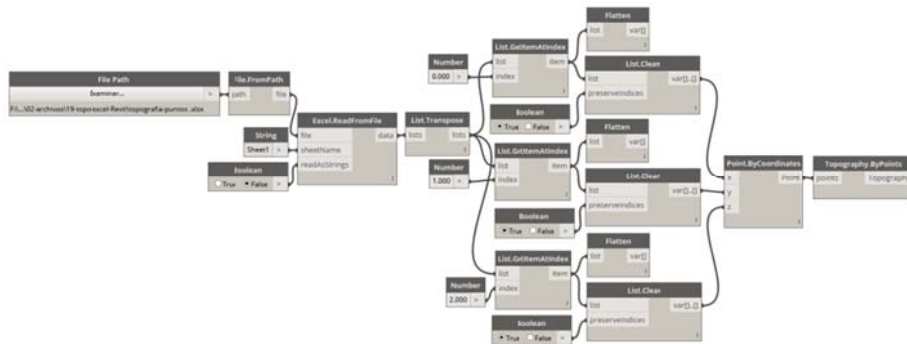


Figura 5.93. Script completo. Se procederá a su ejecución en el software VPL que reflejará la ubicación de puntos en el espacio. En el software BIM aparecerá la superficie topográfica que los contiene. Elaboración propia con software VPL.

Al ejecutar el script el resultado es la creación de la superficie topográfica del terreno.

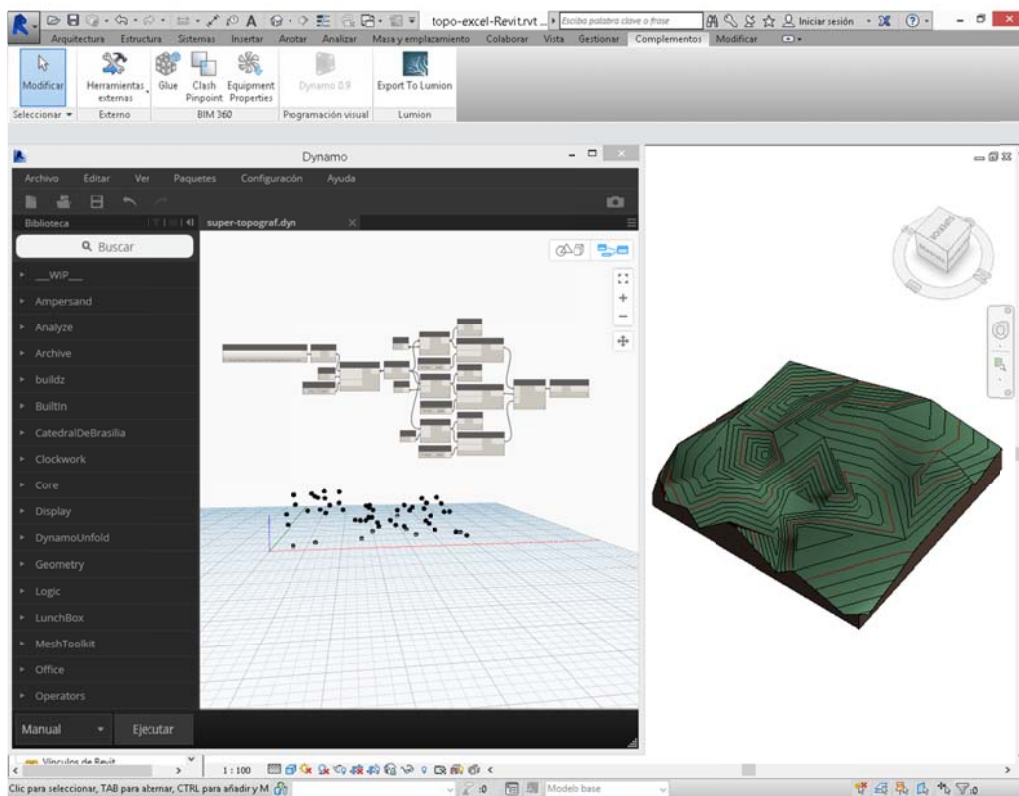


Figura 5.94. A la izquierda, ejecución del script dentro de Dynamo donde se ven todos los puntos de la superficie restituidos en el espacio. A la derecha dentro del programa de modelado BIM la superficie topográfica generada a partir de dicha lista de puntos. Elaboración propia con software VPL y BIM.

Pueden verse en la figura anterior, dentro del editor gráfico de algoritmos la restitución espacial de todos los puntos del listado en Excel y a la derecha la superficie topográfica ya generada a partir de ese listado de puntos.

De igual manera pero con otros nodos, también podría hacerse la comunicación inversa Dynamo Excel, es decir obtener una hoja de cálculo en un archivo Excel, en cualquier fase de procesado de algoritmos de Dynamo, con las salidas de datos que se necesiten.

5.18. PROGRAMACIÓN TEXTUAL DE CÓDIGO EN DYNAMO

La programación visual con lenguajes VPL (Visual Programming Language) y más concretamente con Dynamo proporcionan unas librerías de nodos ciertamente cada vez más extensas para la utilización de recursos de programación visual en su comunicación con los programas de modelado. Pero en determinadas ocasiones son necesarias resoluciones de modelados que implican la creación de nuevas funcionalidades específicas dada la naturaleza digital de la arquitectura y el diseño complejo de hoy. Estas funcionalidades que permiten acceder a los mecanismos internos del software de modelado con Dynamo se amplían todavía más si cabe con el empleo de la programación textual convencional.

Dynamo consciente de esta posibilidad de comunicación con el software de modelado, permite dentro de su programación visual compatibilizar la utilización de código de programación textual convencional para ampliar sus potencialidades de comunicación. En su nodo "Code Block" permite utilizar código textual de programación en Design Script, Python y C# para la generación de rutinas personalizadas que sirvan para automatizar procesos repetitivos o para acortar tiempos de elaboración o realización de tareas o para crear nuevas herramientas de modelado añadiendo funciones nuevas. Trabajar con la máxima eficiencia y el mínimo esfuerzo.

Cada vez se hace más necesario contar con conocimientos de programación para tener dominio de las herramientas digitales que nos proporcionan las nuevas tecnologías. Es una herramienta capaz de crear nuevas herramientas. A continuación se expondrá de forma breve un ejemplo práctico de esto que se acaba de exponer. Utilizando una herramienta de lenguaje de programación textual

convencional en código texto de programación (Python) que sea capaz de generar otra herramienta que realice una función que servirá de acotado automático de objetos como líneas dentro de programa de modelado, para automatizar procesos repetitivos y acortar tiempos de trabajo. Se partirá de unas líneas ya existentes en el software de modelado como las que se muestran en la figura siguiente a modo de ejemplo sobre las que se aplicará la nueva función de acotado automático. En el software de modelado utilizado existe la función de acotado automático de muros pero no la de líneas.

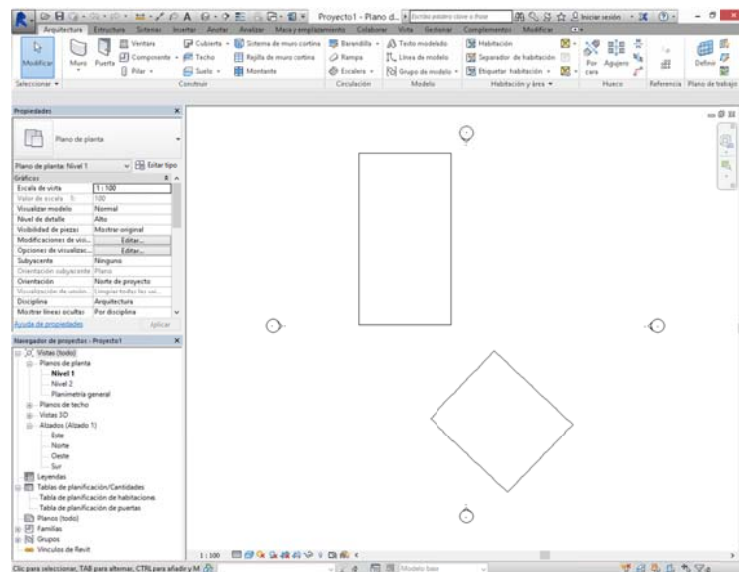


Figura 5.95. Líneas existentes en el software de modelado BIM que serán seleccionadas para su procesado dentro del programa de generación algorítmica VPL, para programar la obtención de su acotado automático. Se utilizará para ello código de programación textual Python. Elaboración propia con software BIM.

Dentro del software de modelado que contendrá los elementos (líneas de modelo) sobre los que se establecerá el acotado automático se abrirá el editor gráfico de algoritmos (Dynamo) para establecer la comunicación entre ambos softwares. Los nodos a utilizar en el script son solamente tres. El primero de ellos "Select Model Elements" servirá de selección de todos los elementos del modelo sobre los que se va a intervenir en la ejecución del script. Aparece en color naranja porque en el momento de su introducción no hay nada seleccionado como puede verse en el texto dentro de mismo, mostrando un error indicativo de que es necesario antes de la ejecución la selección de los elementos. Otro de los nodos "Code Block" establece un dato numérico que es la distancia en unidades del dibujo, de la distancia entre la cota que será generada y el elemento a acotar. Esta

distancia podría ser modificada de forma dinámica introduciendo en el script un nodo que contemplara esta posibilidad como por ejemplo “Number Slider” que dispone de una barra deslizante que de forma dinámica puede cambiar esa distancia.

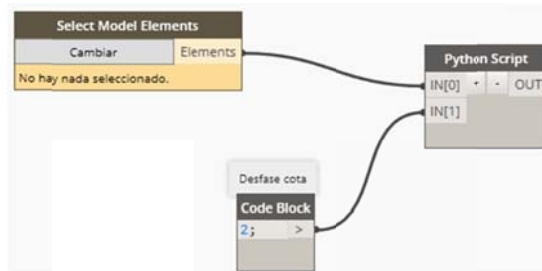


Figura 5.96. Contenido del script de programación visual con Dynamo, que consta de tres nodos. Uno de ellos “Python Script” es el que posibilita la introducción de código de programación en lenguaje Python. En él se teclea toda la sintaxis del contenido de la programación textual. Este script combina la programación visual con la textual para comunicarse con el software de modelado. Elaboración propia con software VPL.

En la figura siguiente se ven abiertos los dos softwares que entrarán en comunicación para la creación de una herramienta personalizada de trabajo.

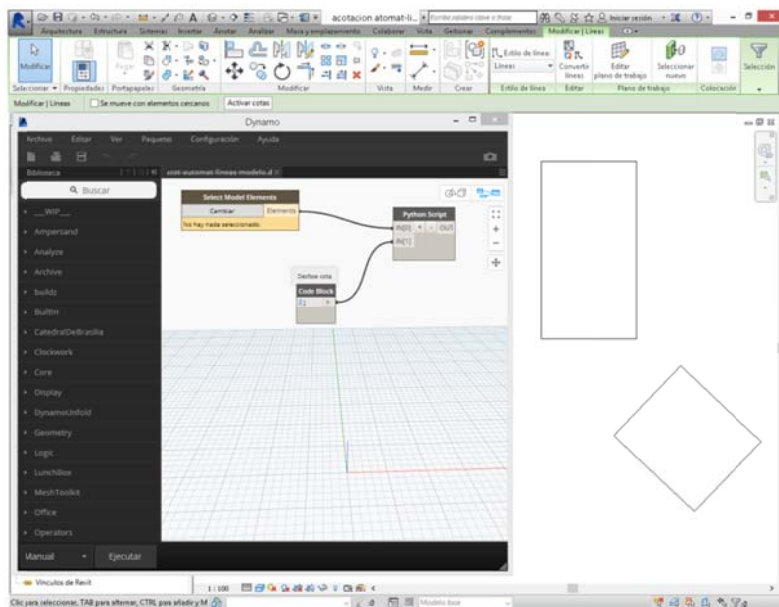


Figura 5.97. Superposición de los dos softwares VPL y BIM para su interoperabilidad. En la izquierda el software algorítmico y en la derecha el de modelado BIM. El nodo en color amarillo “Select Model Element” indica que se seleccionen los elementos de modelo involucrados en el proceso posterior. Elaboración propia con software VPL y BIM.

Cuando son seleccionados pulsando en “Cambiar” dentro del nodo “Select Model Elements” los elementos a acotar con una ventana de selección, dentro del nodo aparecen reflejados los ID de selección de los elementos a acotar.

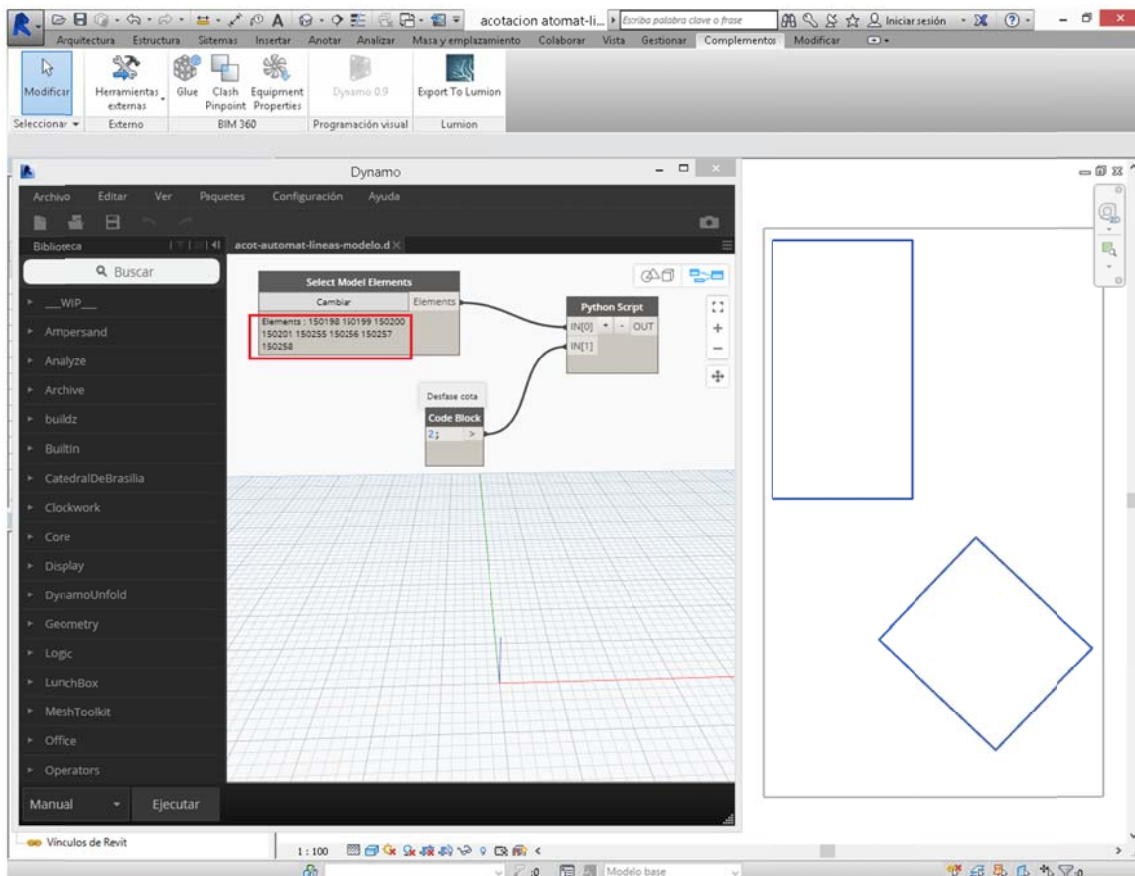


Figura 5.98. A la izquierda creación del script dentro de Dynamo. A la derecha dentro del programa de modelado la selección de líneas sobre las que actuará la ejecución de dicho script. Elaboración propia con software VPL y BIM.

Si se hace doble clic sobre el interior del nodo “Python Script” (tercer nodo del script) se abre una ventana como la que aparece en la figura siguiente donde se va introduciendo línea a línea el código de programación textual en lenguaje Python, para que contenga todas las instrucciones que se necesiten para su ejecución completa. Una vez terminadas de introducir dichas líneas se pulsará sobre la etiqueta inferior derecha de la ventana en “Aceptar cambios” para dar por terminado el script. Las expresiones que aparecen al abrir la ventana significan lo siguiente:



Figura 5.99. Ventana abierta del nodo “Python Script” que da paso a la incorporación de líneas de código de programación textual en lenguaje Python dentro de Dynamo. Elaboración propia con software VPL.

- La primera fila “import clr” significa importar como Language Runtime esto permite mantener la interoperabilidad con Dotnet de Windows. Como Dynamo y Revit están escritos en Dotnet es decir en C# se necesita una compatibilidad entre Python que es otro lenguaje de programación con los lenguajes de programación de Dotnet por eso se importan esas librerías de “clr”.
- La segunda línea “clr.AddReference('ProtoGeometry')” va a permitir generar geometría propia de Dynamo.
- La tercera línea “from Autodesk.DesignScript.Geometry import *” hace referencia a que de la librería de Autodesk DesignScript (DesignScript es un lenguaje de programación textual convencional para diseño explorativo y es un lenguaje que se creó específicamente para la arquitectura) no se va a importar un elemento en particular sino todo lo que tenga dentro Autodesk.DesignScript.Geometry
- Cuando se introduce el signo # lo que se escriba a continuación es un comentario y aparecerá en color gris.
- La expresión “DataEnteringNode = IN” Luego significa que todo el input va a ser guardado en una variable.

Se creará un nodo con Python para que al ejecutarlo acote de forma automática las líneas que se seleccionen dentro del software de modelado. Las líneas de código que compondrán la

programación textual dentro del nodo "Python Script" son la que se reproducen a continuación.

```

1 import clr
2 clr.AddReference("RevitAPI")
3 import Autodesk
4 from Autodesk.Revit.DB import *
5 from System.Collections.Generic import *
6 import System
7 import math
8
9 clr.AddReference("ProtoGeometry")
10 from Autodesk.DesignScript.Geometry import *
11
12 from operator import itemgetter, attrgetter
13
14 clr.AddReference("RevitNodes")
15 import Revit
16 clr.ImportExtensions(Revit.Elements)
17 clr.ImportExtensions(Revit.GeometryConversion)
18 clr.ImportExtensions(Revit.GeometryReferences)
19
20 clr.AddReference("RevitServices")
21 import RevitServices
22 from RevitServices.Persistence import DocumentManager
23 from RevitServices.Transactions import TransactionManager
24
25 doc = DocumentManager.Instance.CurrentDBDocument
26 uidoc = DocumentManager.Instance.CurrentUIApplication.ActiveUIDocument
27 uiapp = DocumentManager.Instance.CurrentUIApplication
28 app = uiapp.Application
29
30 gopt = Options()
31 gopt.ComputeReferences = True
32 view = doc.ActiveView
33 gopt.View = view
34
35
36 elem=IN[0]
37 ref= ReferenceArray()
38 d=IN[1]
39 p1=Point.ByCoordinates(0,0)
40 p2=Point.ByCoordinates(0,d)
41 vec1=Vector.ByTwoPoints(p1,p2).ToXYZ()
42
43 p3=Point.ByCoordinates(d,0)
44 vec2=Vector.ByTwoPoints(p1,p3).ToXYZ()
45
46 TransactionManager.Instance.EnsureInTransaction(doc)
47 for i in IN[0]:
48     line = UmrapElement(i).GeometryCurve
49     length=UmrapElement(i).GeometryCurve.ToProtoType().Length
50     dirX=UmrapElement(i).GeometryCurve.ToProtoType().Direction.X/length
51     dirY=UmrapElement(i).GeometryCurve.ToProtoType().Direction.Y/length
52     a = UmrapElement(i).GeometryCurve.GetEndPointReference(0)
53     ref.Append(a)
54     b = UmrapElement(i).GeometryCurve.GetEndPointReference(1)
55     ref.Append(b)
56     newdim = doc.Create.NewDimension(doc.ActiveView, line, ref)
57     newdim.ToStyle(False)
58
59     if abs(dirX) < 0.1:
60         ElementTransformUtils.MoveElement(doc,newdim.Id,vec2)
61     else:
62         ElementTransformUtils.MoveElement(doc,newdim.Id,vec1)
63
64     ref.Clear()
65
66 TransactionManager.Instance.TransactionTaskDone()

```

Figura 5.100. Introducción dentro del nodo "Python Script" de Dynamo de líneas de código de programación textual en Python para crear una herramienta de trabajo personalizada de acotación automática. Elaboración propia con software VPL.

El resultado del script es el que puede verse en la zona de la derecha de la figura siguiente.

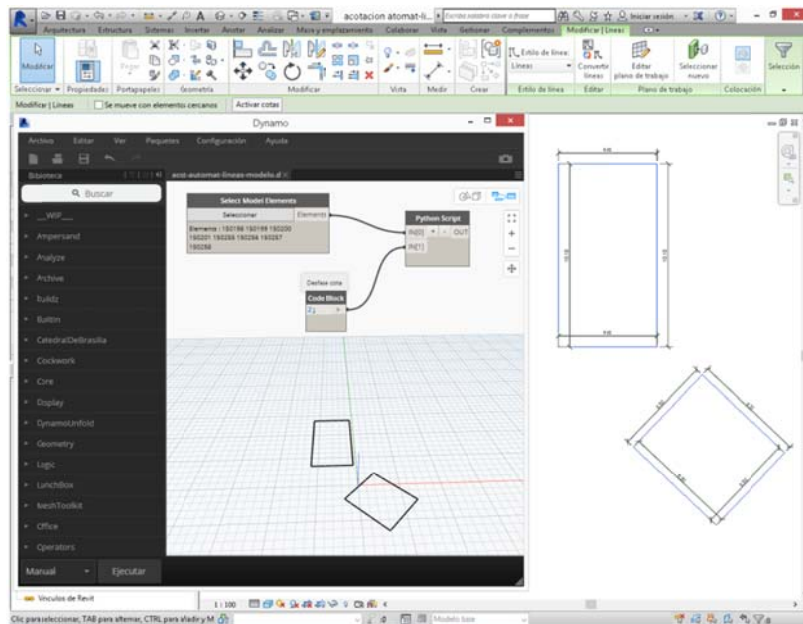


Figura 5.101. A la izquierda ejecución del script en Dynamo. A la derecha resultado de la ejecución del script en el software de modelado: acotación automática. Elaboración propia con software VPL y BIM.

En la figura anterior a la derecha puede verse como han quedado acotadas de forma automática muy rápidamente, todas las líneas que forman parte de la selección del modelo (8 líneas de modelo). Esta herramienta generada con la utilización de programación textual dentro de los softwares con lenguajes de programación visual es un ejemplo de cómo es posible generar a su vez nuevas herramientas personalizadas que permiten automatizar tareas repetitivas acortando en gran medida los tiempos de trabajo destinados las mismas. La admisión de estos lenguajes textuales, aumenta todavía más si cabe las potencialidades y capacidades que brindan estos editores gráficos de algoritmos en combinación y diálogo con los softwares de modelado.

La incorporación de conocimientos de programación visual y textual introducirá dentro del modelado de formas libres, nuevas herramientas y técnicas que producirán cambios de paradigma en la forma de proyectar y modelar añadiendo ventajas competitivas que modificarán los tiempos de desarrollo del trabajo. La programación ayuda a entender y a dominar las herramientas digitales.

6. APLICACIÓN PRÁCTICA DE MODELADO BIM A LA TORRE SWISS RE

6.1. DESARROLLO, ELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

En los siguientes apartados, se aplicarán parte de los contenidos ya expuestos en el tema de la tesis, al desarrollo de un caso práctico de modelado en un entorno BIM, de un edificio complejo y singular. Se verá de forma práctica, parte de lo especificado de forma teórica. Se analizarán las posibilidades (ventajas, inconvenientes, limitaciones, flujo de trabajo, gestión de la información, etc.), que proporcionan este tipo de metodologías en el desarrollo del proyecto arquitectónico, comparado con los sistemas tradicionales.



Figura 6.1. Torre Swiss Re, en 30 St. Mary Axe (The Gherkin) Londres, arquitecto Norman Foster & Partners. Fuente: Internet.

Se ha elegido este edificio por la singularidad de todos los elementos que lo componen, por la extraordinaria precisión de ensamblaje e integración de todas las partes entre sí para formar un todo armónico; y por la solución de su lógica estructural unida íntimamente y formando parte

importante del proceso de diseño, vinculándose con él activamente en su solución definitiva. También se ha optado por esta construcción por la complejidad y dificultad de elaboración de una geometría de difícil representación, en la que se han incorporado en el diseño formal del conjunto de la torre, nuevas tecnologías de optimización y creación de algoritmos generativos aplicados al diseño y generación de la forma y su ejecución.

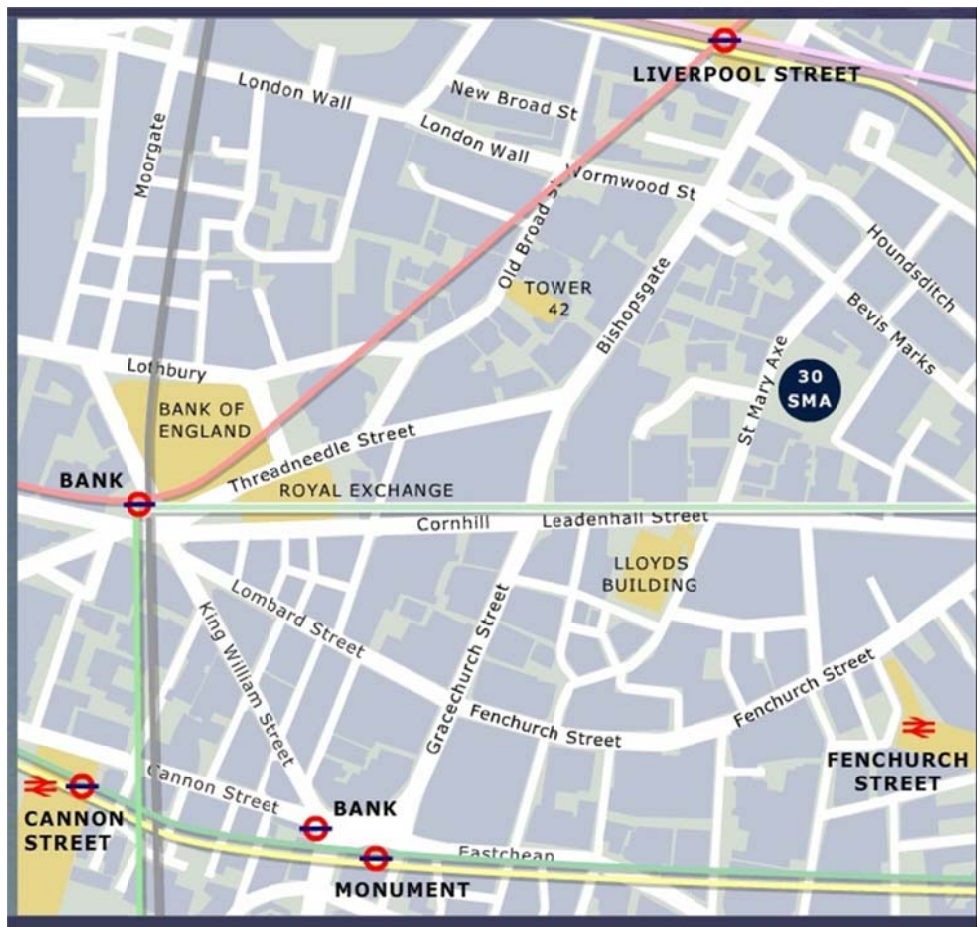


Figura 6.2. Plano de situación de la Torre Swiss Re en Londres.

No obstante, pese a que sobre el edificio Swiss Re hay muchísima información en internet y videos sobre su construcción, no hay nada documentado sobre los sistemas de modelado usados para desarrollar el proyecto (el proyecto es del año 1997 y la ejecución fue empezada en 2001 y terminada en 2004). En la página web de Foster and Partners, se muestra un video de la torre, donde puede verse cómo la forma general del perfil de la edificación se ha realizado empleando algoritmos generativos, y se comprueba cómo el perfil del edificio, cambia a medida que se

modifican ciertos parámetros de definición del algoritmo. Es importante el control de esos parámetros, porque es necesario en función de la altura de cada planta saber su giro así como los tamaños de los 6 triángulos que conforman los patios interiores de ventilación e iluminación.

Se ha comprobado por el redactor de esta tesis, que el plano del alzado general de la torre, presenta diferencias con el proporcionado en las vistas de los modelos tridimensionales generados por los sistemas BIM (Revit). También puede verse la existencia de muchísimas maquetas, incluso a escala de detalle, de los cerramientos de cristal, del interior, de los patios, etc., lo que hace sospechar que buena parte del proyecto se ha desarrollado mediante metodologías vinculadas al CAD tradicional, con una gran parte del trabajo coordinado manualmente. Tampoco hay constancia documental en el modelado del edificio, de problemas que el BIM no haya podido resolver, ni de cuándo se ha tenido que recurrir a sistemas CAD tradicionales, para paliar estas situaciones.

6.2. CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO Y SU ENTORNO

La torre Swiss Re (30 St. Mary Axe Street) se encuentra ubicada en Londres, es propiedad de la Swiss Reinsurance Company of Zurich, y el autor del proyecto es Norman Foster & Partners Architects. El edificio surge en el mismo lugar donde en otro tiempo se encontraba la sede de la Baltic Exchange, empresa que gestionaba los alquileres marítimos y que se ocupaba de la venta de barcos. En el centro de la City (parte más antigua), en el barrio financiero de Londres. En 1992 una bomba del IRA destruye el edificio primitivo. El proyecto es del año 1997, el inicio de la construcción es del año 2001, su terminación es en el 2004 y su inauguración se produce el 25 de mayo de 2004. Sólo en el año 2000 se dio el consentimiento para su edificación, después de mucha polémica causada no solo por su forma e impacto visual en la zona, sino por los temores de los ataques a las torres gemelas (11 de septiembre de 2001), año en el que empezaba su construcción. La concesión de la licencia de edificación, se discutió en la Cámara de los Comunes y levantó una expectación inaudita por parte de los medios de comunicación.

La realización de su construcción, fue llevada a cabo por la empresa sueca Skanska, siendo la empresa encargada de la ingeniería estructural Ove Arup Engineers.

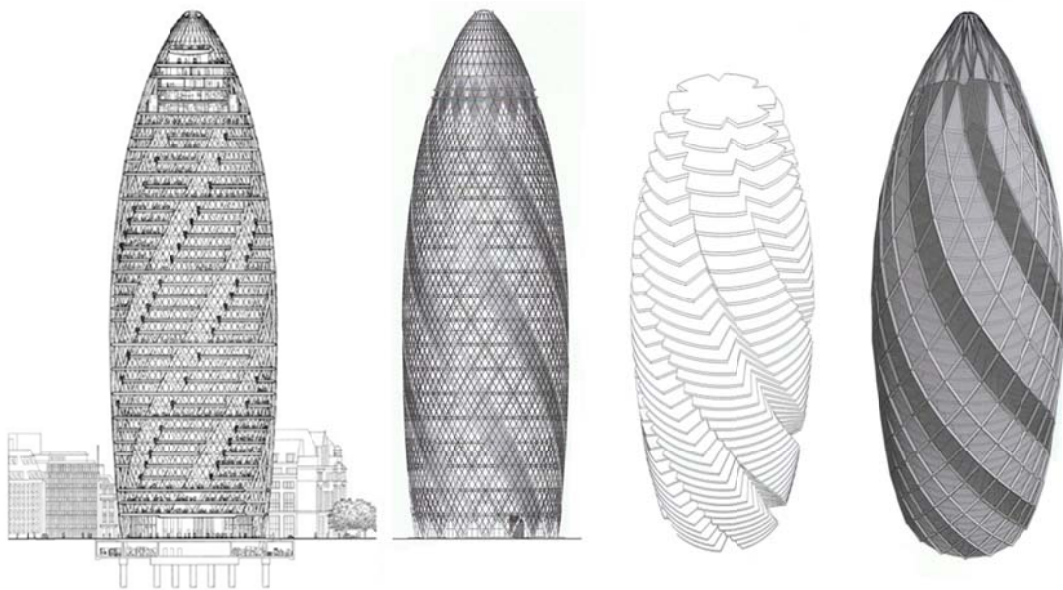


Figura 6.3. Sección, alzado y perspectivas de la torre Swiss Re de Norman Foster. Fuente: © Norman Foster

Con forma ahusada y aspecto de cohete acristalado es de planta circular y es el resultado lógico de un largo proceso de investigación. Es conocido también por los londinenses como el pepino (the gherkin). Con una altura total de 180 metros, 40 plantas, un diámetro de base de 49 metros, un diámetro máximo de 56,50 metros y 26,50 metros en la última planta. Las plantas de los forjados van rotando 5º a medida que se asciende de piso, en la altura del edificio. Las propiedades efectivas de la retícula diagonal giratoria “Diagrid” (diagonal grid), se combinan con la curvatura de la torre para proporcionar mayor movimiento y rotación a un objeto estático.

Hay dos estructuras primarias. La conformada por la rejilla diagonal o diagrid, es la estructura principal externa que rodea todo el edificio, resiste cargas horizontales y de gravedad, esta estructura portante está formada por marcos estructurales en forma de “A” de acero tubular interconectados unos con otros en diagonal, otorgando más flexibilidad a las plantas. Cada marco estructural en “A” tiene una altura de dos plantas (4,15 m + 4,15 m = 8,30 m).

La segunda estructura es la compuesta por el núcleo central compuesto por vigas y pilares metálicos que resiste cargas gravitatorias y que no demanda ningún tipo de refuerzo diagonal. Interiormente hay en el núcleo central 20 pilares metálicos que lo rodean.



Figura 6.4. Unidad de marco estructural en “A” que conforma la estructura de acero tubular de la rejilla diagonal. Hay 18 unidades en el contorno perimetral de cada planta. Arranca en el piso a nivel de suelo y llega al piso 38. En esa altura hay 19 unidades, una por cada dos plantas.

Hay un conector especial que transfiere cargas, tanto vertical como horizontalmente en los nodos que son rígidos, monolíticos y soldados entre sí. En total la rejilla diagonal se compone de 360 nodos. Se reduce de esta manera el gasto en acero estructural para minimizar costos, eliminándose las esquinas. Son 18 marcos estructurales en “A” por planta, los que componen cada anillo de la estructura diagrid que completa. Tiene 19 anillos superpuestos.



Figura 6.5. Detalle del nudo estructural del interior del marco metálico de acero tubular de los encuentros de detalle del nudo estructural encuentro de los marcos metálicos de la rejilla diagonal. En la parte inferior del nudo confluyen dos diagonales del marco estructural en “A” y en la parte superior descansan los arranques inferiores de los marcos desplazados de las bases de dos marcos distintos.

Las columnas o puntales diagonales de acero tubular de la rejilla diagonal van desde un diámetro de 508 mm y 40 mm de espesor en el arranque, hasta 273 mm de diámetro y 12,5 mm de espesor en el piso 36 al 38. Son todas rectas, por los cambios de dirección ya sea en plano o alzado y se apoyan en los nodos, que fueron diseñados para simplificar la construcción de la rejilla diagonal. Cada nodo consiste en tres placas de acero soldadas entre sí con diferentes ángulos y perforado para atornillar y conectar con los puntales o elementos estructurales tubulares. La estructura principal, que va forrada de planchas de aluminio se detiene en el piso 38. Los pisos 39 y 40 no contienen marcos en "A" estructurales.



Figura 6.6. Detalle de las dos estructuras primarias, una al exterior (rejillas diagonales) de acero tubular, y la otra de núcleo central con pilares metálicos. Se unen las dos por vigas radiales.

La torre difiere de las de la mayoría de los edificios altos, que usan el centro para dar la estabilidad lateral. Descansa sobre 360 pilotes de 75 cm. de diámetro que van unidos a la estructura de acero que rodea el perímetro del edificio, siendo distribuidos en 20 pilotes por cada nodo estructural que parte del nivel cero de la estructura metálica del exterior.

Se dispone en el perímetro del edificio de seis atrios o patios triangulares en el interior con perfecta geometría tridimensional. Se requiere por la normativa contra incendios de la zona, de

unos cortafuegos cada seis plantas, para interrumpir el efecto chimenea en toda la altura del edificio. Sólo hay una pieza de cristal curvo en todo el edificio en la parte alta de la cúpula.

Resuelve muy bien el doble problema que plantean los edificios en altura, que son el peso y las cargas de viento, que aumentan con la altura, al aumentar la velocidad del viento en las cotas superiores. El peso del edificio se reparte como si fuera el esquema de una pirámide aproximadamente. La forma ahusada del edificio, favorece el flujo de los vientos alrededor de las fachadas, disminuyendo la presión sobre la estructura y evitando que se direccionen hacia el nivel del suelo. Fue realizada por la empresa Arup Ingenieros.

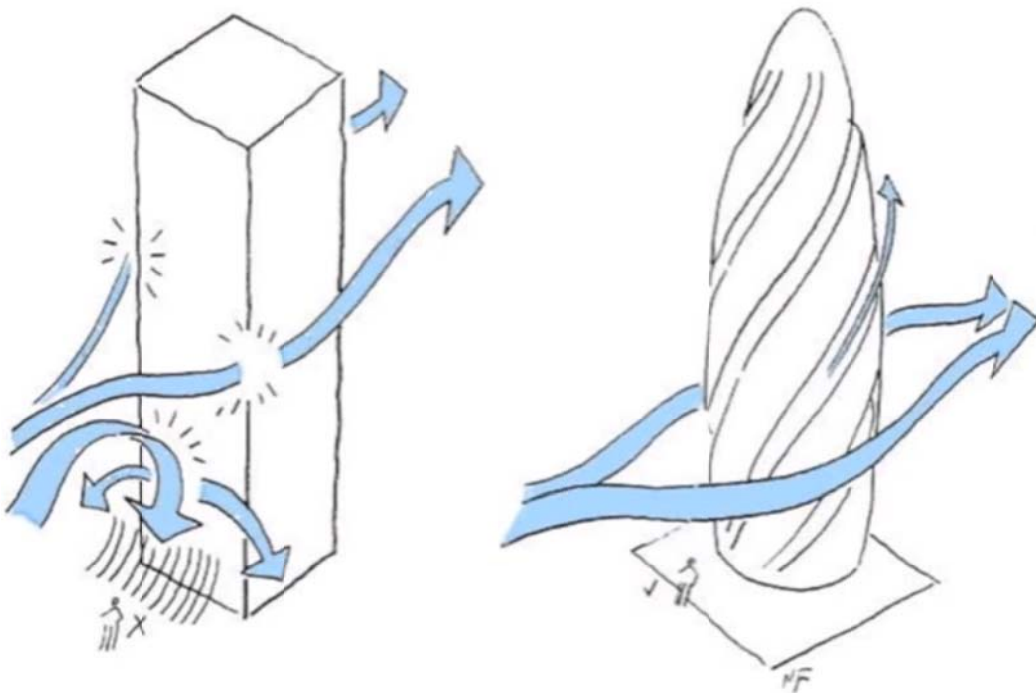


Figura 6.7. Bocetos en fases iniciales de definición del proyecto que hacen incidencia sobre el impacto del viento y sus consecuencias, en las fachadas de edificios en altura con formas diversas. Fuente: © Norman Foster.

La rejilla más externa de la fachada está formada por 5.500 paneles todos planos salvo el del centro de la cúpula, que es el único cristal curvo de todo el edificio. Son de triple espesor: vidrio doble al exterior y un vidrio laminado hacia el interior. Se han desplegado herramientas digitales en el diseño del proyecto y en la ejecución de piezas estructurales en taller.

Se ha convertido en uno de los edificios más carismáticos de Londres. Está dotado de tecnología sofisticada contra el fuego, posee un sistema de ventilación natural. Dispone de calefacción pasiva

basada en la energía solar. Tiene 2,75 metros que es la altura típica de suelo a techo terminado. La fuente de alimentación es dual y el criterio de diseño es de una persona cada 10 metros cuadrados y está realizado con materiales reciclables. Mientras que en la mayor parte de los edificios de estas características, tienen en los últimos pisos la maquinaria para los ascensores, en la torre Swiss Re no fue así, porque el bar o cafetería desde el comienzo del proyecto se contempló en la última planta. Los arquitectos hicieron que los ascensores principales llegasen sólo hasta la planta 34. Hay otros ascensores secundarios desde la planta 34 a la 39. Se dispuso de una escalera de mármol y un ascensor especial para discapacitados que llega hasta el bar, para arrendatarios y huéspedes de la planta 40. El piso 39 es de restaurantes. El piso 38 contiene salones privados donde se puede cenar.

El propio Norman Foster entrevistado sobre su propio edificio hace un comentario, que resulta muy ilustrativo al respecto de lo que serían los resultados y logros conseguidos en la torre Swiss Re: *“Y pensé: Sí, es un edificio que cambiará la ideas preconcebidas”*.

En la Swiss Re, cada decisión de proyecto desde la triangulación de la fachada, a la circulación del aire de los patios helicoidales parece provenir de una impecable lógica estructural y funcional, y el resultado es un objeto de rara perfección, posado en el entorno congestionado y mediocre del barrio financiero de Londres, como una nave espacial capaz de transportarnos hasta ese planeta de leche y miel que la modernidad ha prometido tantas veces sin éxito.

La ejecución de este cohete de vidrio constituye un formidable logro técnico y singular espectáculo urbano. Es extraordinaria la precisión del ensamblaje con pernos de acero que cada dos plantas y 20º de apertura, va triangulando la fachada portante, que va por detrás de los paneles de vidrio del cerramiento. Sólo es comparable a la exactitud minuciosa de la carpintería del cerramiento de fachada, modulada con intervalos de 5º. La rejilla estructural portante de la fachada, para dar cumplimiento a la normativa contra incendios, se recubre primero con aislamiento y posteriormente se remata, con una carcasa envolvente de aluminio.

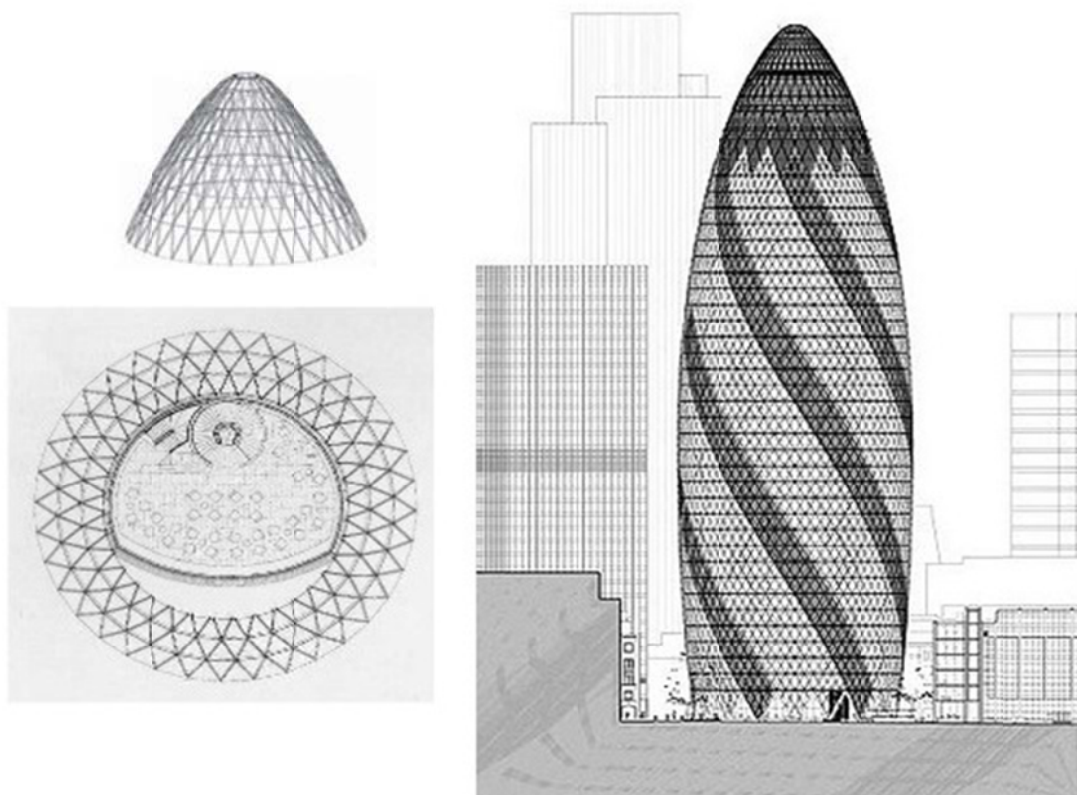


Figura 6.8. Torre Swiss Re en Londres de Norman Foster. Cúpula, plano de la última planta y alzado del conjunto.
Fuente: © Norman Foster

La retícula diagonal del cerramiento es estructural, y refuerza el efecto espiral centrífugo de la forma. Las áreas diagonales de cristal oscuro son conductos de ventilación, que actúan como chimeneas para la ventilación natural por convección de la torre, dispone de un total de seis en todo su perímetro.

La geometría de la torre exigió un sistema innovador para la fabricación de los paneles de revestimiento individuales, debido al alto nivel de variación. El modelo 3D del ordenador del sistema estaba vinculado directamente a la línea de producción en taller.

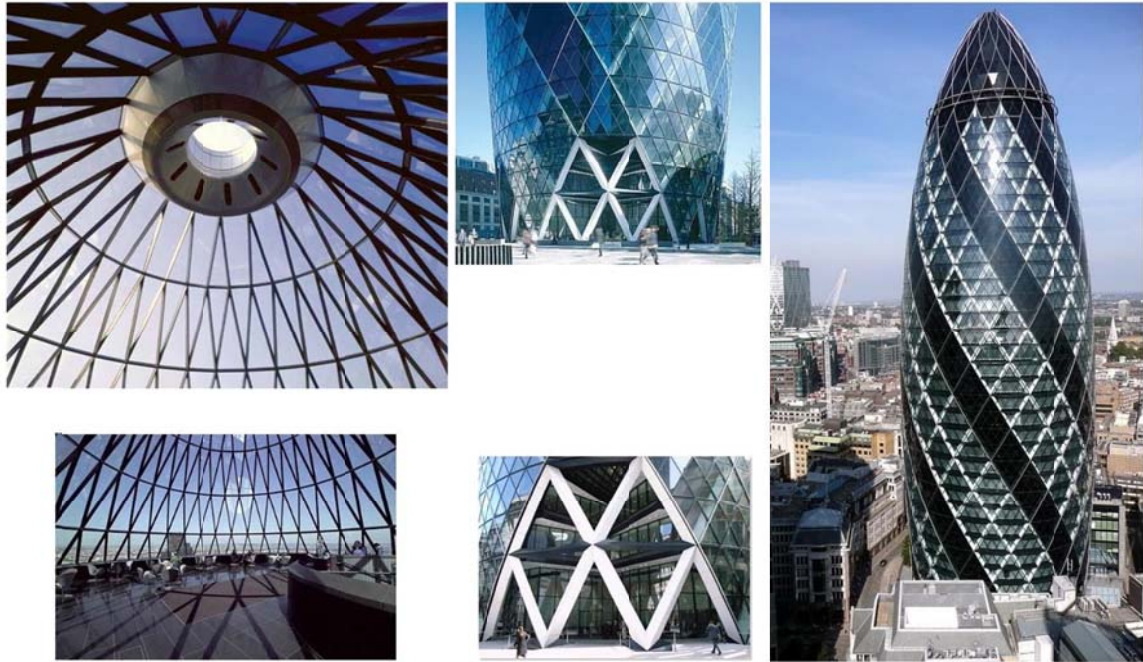


Figura 6.9. Torre Swiss Re en Londres, vistas cúpula y cafetería última planta. Fachadas y vista general.

En cada planta, una serie de huecos seis en total, las atraviesan a modo de conducciones que conforman un sistema de ventilación natural, funcionando como un doble cristal. Este sistema facilita el enfriamiento del aire en verano, extrayendo el aire caliente del edificio y realizando el efecto contrario en invierno.

El control sistemático del microclima interno y las soluciones para el ahorro energético han llevado a una reducción de entre el 40 a 50% en el consumo de energía, en cualquier caso necesaria para un edificio de ese tamaño.

Existen 18 ascensores en todo el edificio.

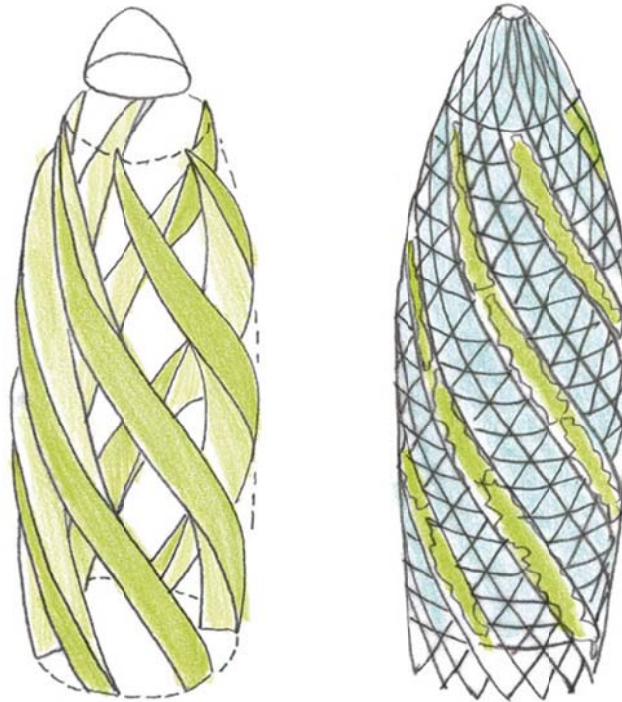


Figura 6.10. Torre Swiss Re en Londres, bocetos de vistas generales de la edificación enfatizando los vacíos o patios espirales perimetrales que producen un efecto ascendente. Fuente: © Norman Foster.

El arquitecto del edificio Norman Foster obtuvo el prestigioso premio, Stirling Prize, que otorgan el Royal Institute of British Architects y el Architects Journal con el voto unánime del jurado.

Otros datos relevantes de su edificación:

Arquitectos colaboradores: Rob Harrison y Michael Gentz, arquitectos de Foster and Partners.

Año de terminación del Proyecto 1999 (con variaciones en el interior respecto del primitivo).

Construcción: Empresa sueca Skanska año 2000-2004

Número de plantas: 40 plantas y sótano. Altura por planta 4,15 metros.

Altura libre interplanta: 2,75 metros (de suelo acabado a falso techo rematado).

Altura entre suelo acabado y falso techo inferior rematado de la misma placa 1,40 metros

Altura total: 179,77 metros.

Ingeniería estructural: Ove Arup Engineers and Partners

Paneles planos externos doble acristalamiento 7.429

Diseño ecológico BDSP

6.3. ANÁLISIS DE LA FORMA Y MODELADO BIM DEL EDIFICIO

Antes de empezar con el modelado se ha procedido al estudio sistemático del edificio de forma global recopilando abundante información sobre todos sus extremos, no sólo desde el punto de vista formal o geométrico sino también: funcional, estructural, ambiental, urbanístico, energético, constructivo, económico, etc. Por entender la forma como un resultado que es la síntesis de un proceso donde intervienen muchos factores y variables que interactúan entre sí; y a los que la forma debe dar respuesta adecuada y eficaz. En este proceso de análisis y síntesis propio del diseño arquitectónico, las herramientas que proporciona el BIM, son una ayuda que viene a dar luz y consistencia a la toma de decisiones y eso desde fases o estadios muy tempranos del alumbramiento.

Las masas conceptuales o modelado conceptual son herramientas muy potentes, que disponen los sistemas BIM indicadas, para la generación y manipulación de formas libres que tienen la ventaja de su versatilidad, libertad y rapidez de generación y de proporcionar, como se ha dicho en fases muy tempranas, datos analíticos de apoyo para su control y optimización. Tampoco hay que olvidar la filosofía BIM de partida que debemos mantener a lo largo de todo el desarrollo del flujo de trabajo, para alcanzar los objetivos que persigue el modelado de información del edificio.

Se partirá de un modelado conceptual o de masas y se irá formalizando gradualmente aplicando diversas metodologías, técnicas y procedimientos, en todas las fases de definición e incorporación al proyecto hasta su terminación, con la generación de toda la documentación necesaria para su construcción y gestión de toda la información del modelo BIM. La aportación de interés pretendida es la de desarrollar, sistematizar y documentar la generación y el control de las formas libres de diferentes sistemas de modelado (BIM y algorítmicos) a lo largo de todo el proceso metodológico de definición formal e integración en las fases de desarrollo de un proyecto singular ya ejecutado. Estudiar sus limitaciones, sus ventajas y potencialidades con relación a los sistemas de diseño explícito normal y tradicional.

Para realizar este proceso se partirá del estudio de toda la información disponible (bocetos previos, maquetas, modelados, planos de proyecto, fotos de ejecución, etc.) intuyendo las intenciones que han dado origen a la solución elegida de proyecto, qué problemas se han

planteado, como han sido resueltos en proyecto, que herramientas y metodologías se han utilizado, y cómo se han llevado a la práctica para lograr materializarlas y ejecutarlas mediante el empleo de sistemas BIM. Y estudiar cómo es posible gestionar toda la información generada y contenida en el modelo, para su cuantificación, medición y creación de posibles formularios, informes o consultas sobre dicha información.

Desde un primer momento, el estudio de Norman Foster encaminó sus primeros pasos a la comparación de las formas tradicionales de resolución volumétrica de los edificios en altura con otras posibles alternativas, que dieran una solución más eficaz y vanguardista a los problemas planteados por este tipo de construcciones. Uno de los arquitectos del equipo redactor comenta al respecto: *“La filosofía del equipo de diseño fue que la innovación en la construcción y forma provienen del desarrollo de nuevas tecnologías y técnicas en la construcción. La apariencia expresionista de la fachada se desarrolló en realidad a través de pruebas de flujo de aire (ingeniería ARUP). Este diseño resultó ser el mejor ante el flujo de aire que era originado alrededor del edificio. También disminuyó el tamaño de la huella de la edificación en el suelo del edificio, lo que permite una plaza pública muy accesible a nivel de suelo”*.

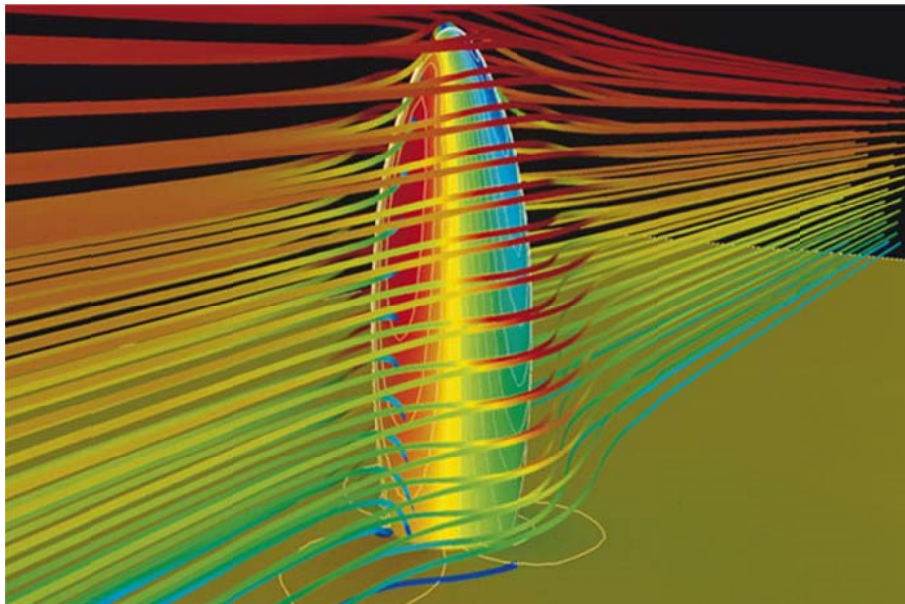


Figura 6.11. Estudio de flujo de aire con formas ahusadas es el de mejor comportamiento. Fuente <<http://www.fosterandpartners.com/>>. Acceso en: 08 enero 2015.

Del estudio de todo el material disponible de la documentación de este edificio, podría afirmarse que ha sido concebido de fuera hacia adentro, del exterior hacia el interior; quedando constancia escrita de la realización de multitud de tanteos previos de muy diversa índole, hasta dar con el resultado definitivo. A continuación pueden verse distintas alternativas formales, y tanteos de resolución formal en un entorno digital próximo recreado donde se visualizan los volúmenes edificatorios de los edificios circundantes existentes de su entorno, y el impacto visual del volumen introducido.

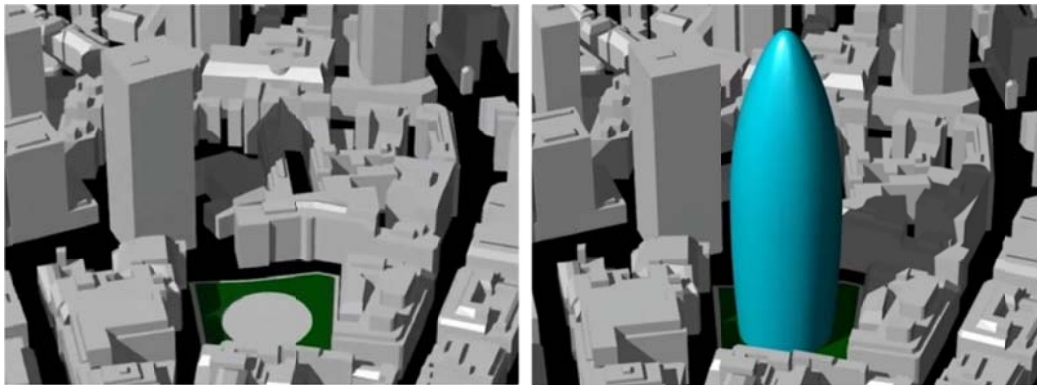


Figura 6.12. Estudios de simulaciones propuestas del edificio en su entorno virtual con volumetrías conceptuales. Fuente: Imagen de video <https://www.youtube.com/watch?v=TBlvNxQDBB4&ab_channel=CarolinaRodriguez>. Acceso en: 15 mayo 2014.

Puede apreciarse la volumetría inicial de partida que no se abandona y persiste en todos los tanteos. Las masas son en este sentido, los elementos más indicados para iniciar el estudio en los primeros estadios de definición del proyecto.

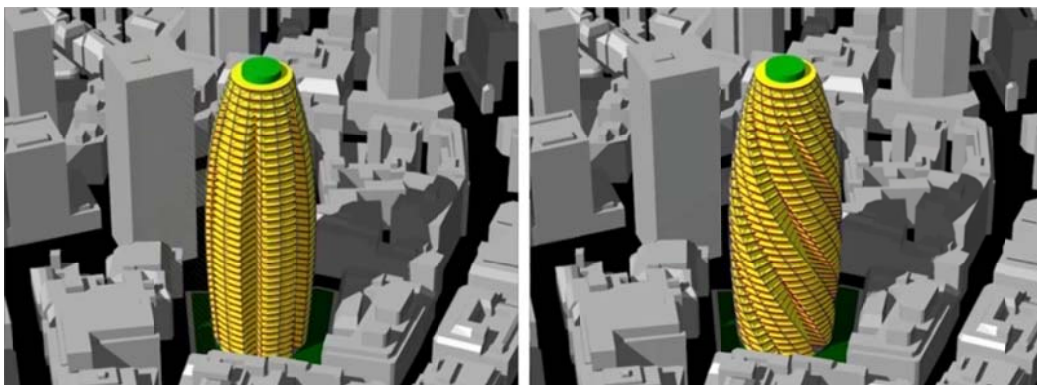


Figura 6.13. Otros modelados previos de fases sucesivas de definición en su entorno virtual. Fuente: imagen de video <https://www.youtube.com/watch?v=TBlvNxQDBB4&ab_channel=CarolinaRodriguez>. Acceso en: 15 mayo 2014.

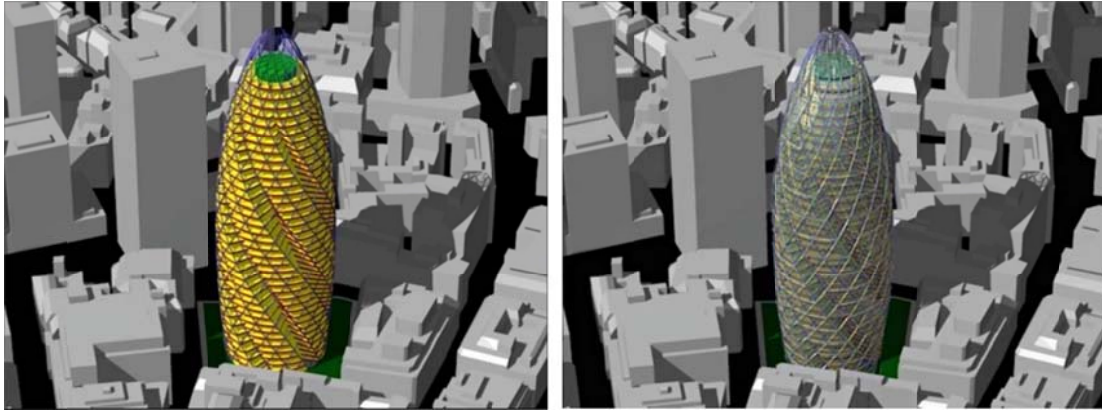


Figura 6.14. Soluciones más elaboradas de definición espacial del modelo. Fuente: Imagen de video <https://www.youtube.com/watch?v=TBlVxQDBB4&ab_channel=CarolinaRodriguez>. Acceso en: 15 mayo 2014.

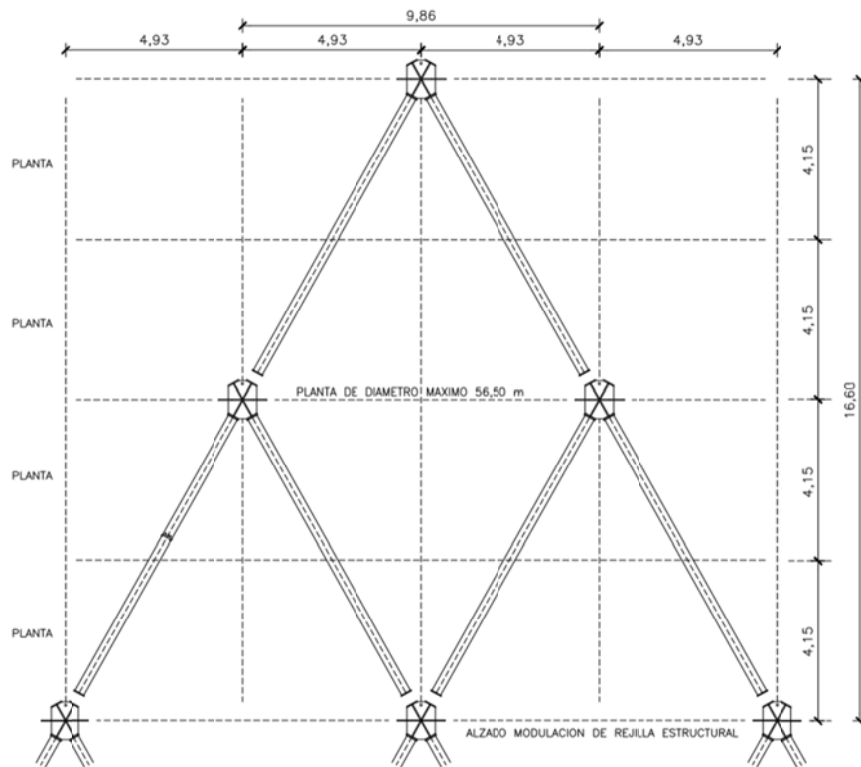


Figura 6.15. Alzado acotado con el detalle de la disposición de la carcasa estructural envolvente de la torre, con la resolución de la unión de los marcos de acero tubular en "A" de enrejado diagonal metálico o diagrid de fachada. Fuente: Elaboración propia.

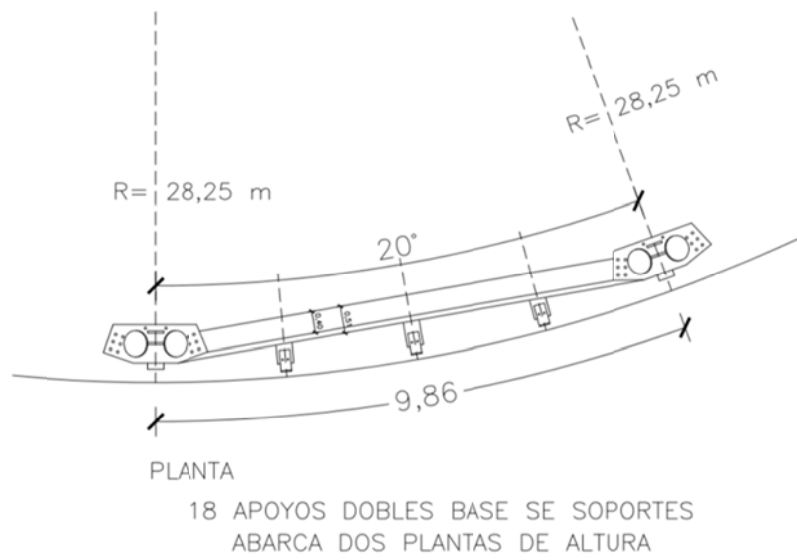


Figura 6.16. Detalle de planta de las cabezas de soportes del esquema anterior. Fuente: Elaboración propia. © AutoCAD.

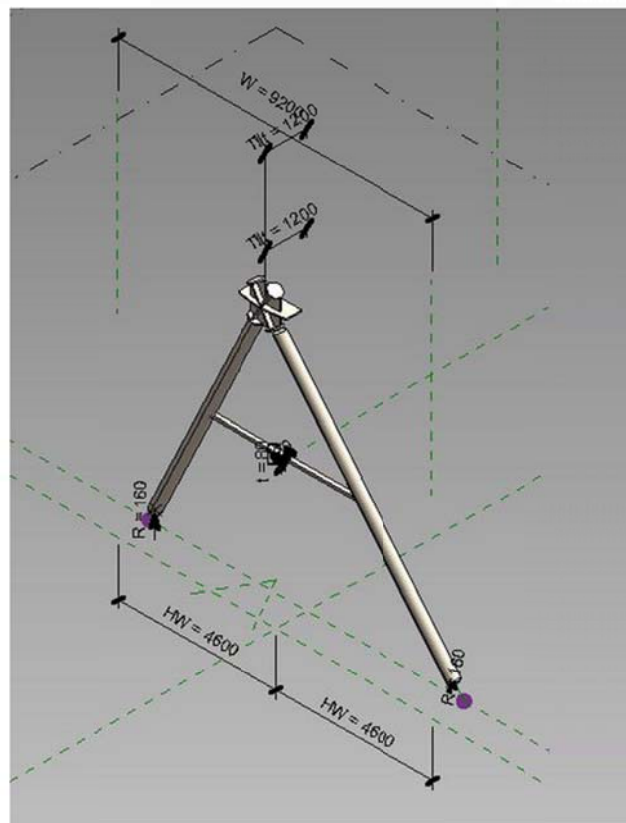


Figura 6.17. Unidad aislada del modelado del marco metálico de la estructura diagrid de acero tubular. Fuente: Blog Shades of Grey de Adrew Milburn <<http://grevity.blogspot.com.es/2011/12/grasping-gherkin.html>>. Acceso en: 17 oct. 2015.

Una forma posible para conseguir crear la estructura metálica por el interior de la envolvente de aluminio que la recubre, sería hacer una línea que pasara por las diagonales de todos los marcos estructurales metálicos en "A", y que perteneciera a la superficie de la forma creada. Posteriormente se realizaría el barrido de un perfil y generaría toda la línea hasta donde se quisiera.

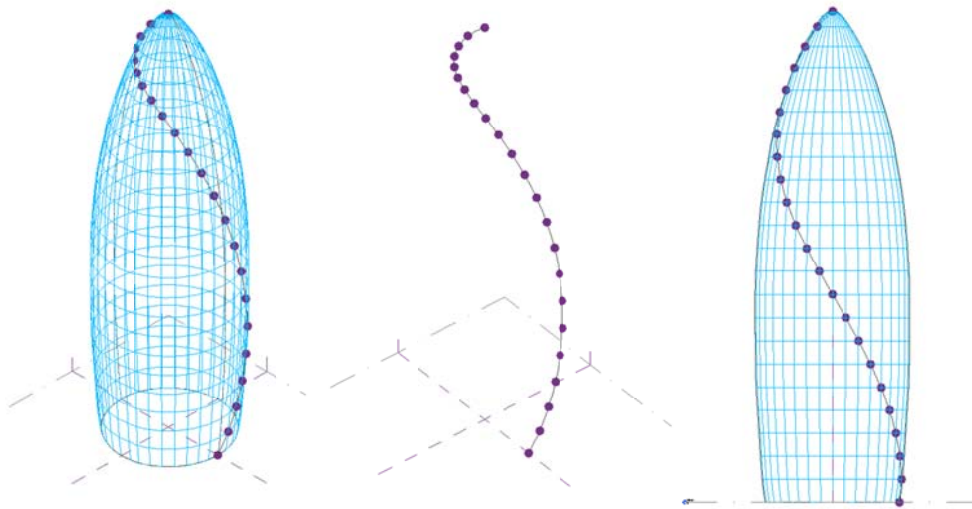


Figura 6.18. Es posible crear líneas tal y como se ve en el gráfico, que pertenezcan a la forma definida en el inicio, apoyándose en los nodos de división de la rejilla, para luego generar el sistema de enrejado metálico de perfiles metálicos en "A", que pasen por el interior de la envolvente definida anteriormente. Esa línea sería el camino para hacer un barrido y crear el sistema estructural. Elaboración propia con software BIM.

6.4. MODELADO: DATOS MÉTRICOS DE LA TORRE SWISS RE

Datos conocidos del edificio Swiss Re, altura de plantas:

P ₋₀₁ sótano 1: -6,15 m	P ₁₅ oficina: +62,25 m	P ₃₁ oficina: +128,85 m
P ₀₀ entrada: 0,00 m	P ₁₆ oficina: +66,40 m	P ₃₂ oficina: +132,80 m
P ₀₁ doble altura: +4,15 m	P ₁₇ oficina: +70,55 m	P ₃₃ oficina: +136,95 m
P ₀₂ oficina: +8,30 m	P ₁₈ oficina: +74,70 m	P ₃₄ oficina: +141,10 m
P ₀₃ oficina: +12,45 m	P ₁₉ oficina: +78,85 m	P ₃₅ planta: +145,25 m
P ₀₄ oficina: +16,60 m	P ₂₀ oficina: +83,00 m	P ₃₆ planta: +149,40 m
P ₀₅ oficina: +20,75 m	P ₂₁ oficina: +87,15 m	P ₃₇ cocina: +153,55 m

P ₀₆ oficina: +24,90 m	P ₂₂ oficina: +91,30 m	P ₃₈ com./trabajo: +157,70 m
P ₀₇ oficina: +29,05 m	P ₂₃ oficina: +95,45 m	P ₃₉ com./trabajo: +161,85 m
P ₀₈ oficina: +33,20 m	P ₂₄ oficina: +99,60 m	P ₄₀ entresuelo: +166,00 m
P ₀₉ oficina: +37,35 m	P ₂₅ oficina: +103,75 m	Parte superior: +179,77 m
P ₁₀ oficina: +41,50 m	P ₂₆ oficina: +107,90 m	
P ₁₁ oficina: +45,65 m	P ₂₇ oficina: +112,05 m	
P ₁₂ oficina: +49,80 m	P ₂₈ oficina: +116,20 m	
P ₁₃ oficina: +53,95 m	P ₂₉ oficina: +120,35 m	
P ₁₄ oficina: +58,10 m	P ₃₀ oficina: +124,50 m	

Los diámetros de las distintas plantas son:

D ₀ = 48,52 m	D ₁₀ = 54,37 m	D ₂₀ = 55,50 m	D ₃₀ = 47,14 m
D ₁ = 49,30 m	D ₁₁ = 54,86 m	D ₂₁ = 55,20 m	D ₃₁ = 45,75 m
D ₂ = 50,10 m	D ₁₂ = 55,20 m	D ₂₂ = 54,67 m	D ₃₂ = 44,08 m
D ₃ = 50,73 m	D ₁₃ = 55,45 m	D ₂₃ = 54,02 m	D ₃₃ = 42,28 m
D ₄ = 51,40 m	D ₁₄ = 55,50 m	D ₂₄ = 53,36 m	D ₃₄ = 40,29 m
D ₅ = 52,04 m	D ₁₅ = 55,70 m	D ₂₅ = 52,73 m	D ₃₅ = 38,06 m
D ₆ = 52,56 m	D ₁₆ = 55,83 m	D ₂₆ = 51,81 m	D ₃₆ = 35,58 m
D ₇ = 53,18 m	D ₁₇ = 55,80 m	D ₂₇ = 50,78 m	D ₃₇ = 32,90 m
D ₈ = 53,60 m	D ₁₈ = 55,84 m	D ₂₈ = 49,70 m	D ₃₈ = 30,03 m
D ₉ = 54,06 m	D ₁₉ = 55,76 m	D ₂₉ = 48,60 m	D ₃₉ = 27,00 m
			D ₄₀ = 23,70 m

Diámetros cúpula y sus alturas respectivas

D ₃₈ = 30,03 m	D ₃₉ = 27,00 m	D ₄₀ = 23,70 m	D ₄₁ = 19,50 m
H ₃₈ = 157,70 m	H ₃₉ = 161,85 m	H ₄₀ = 166,00 m	H ₄₁ = 170,40 m
D ₄₂ = 14,50 m	D ₄₃ = 9,90 m	D ₄₄ = 5,50 m	
H ₄₂ = 174,80 m	H ₄₃ = 177,80 m	H ₄₄ = 179,80 m	

La altura entre pisos es de 4,15 m en todas las plantas de pisos y la altura de suelo rematado a falso techo por planta, es de 2,75 m.

Estos datos han sido obtenidos de la información de los planos de proyecto de Norman Foster and Partners.

6.5. MODELADO DE LA FORMA GENERAL DE LA MASA

PRIMERA OPCIÓN

Para un primer estudio a la aproximación de la forma del conjunto, se ha partido de los puntos que definen el perfil del contorno exterior del edificio, obtenidos de los planos de alzados disponibles del proyecto, para luego proceder a una rotación en torno a su eje de giro vertical. Este sistema de generación es más laborioso y salvo que se establezca un algoritmo generativo (como el que se utilizó en el edificio original), que de forma automática nos proporcione los puntos del perfil, es de más difícil parametrización.

Los resultados de la generación de la forma utilizando esta opción, pueden verse en el siguiente gráfico:



Figura 6.19. Primera aproximación a la creación de la forma general, partiendo del contorno exterior procedente de los planos de alzados del edificio y posterior rotación alrededor del eje vertical. Elaboración propia con software BIM.

El gráfico siguiente, obtenido de la documentación de Foster and Partners, muestra una representación de pantalla con la utilización de algoritmos generativos, empleando 6 arcos de curva concatenados, que son los encargados de crear un perfil exterior, que por rotación con respecto al eje vertical central del edificio, dará origen a la forma exterior y su volumetría.

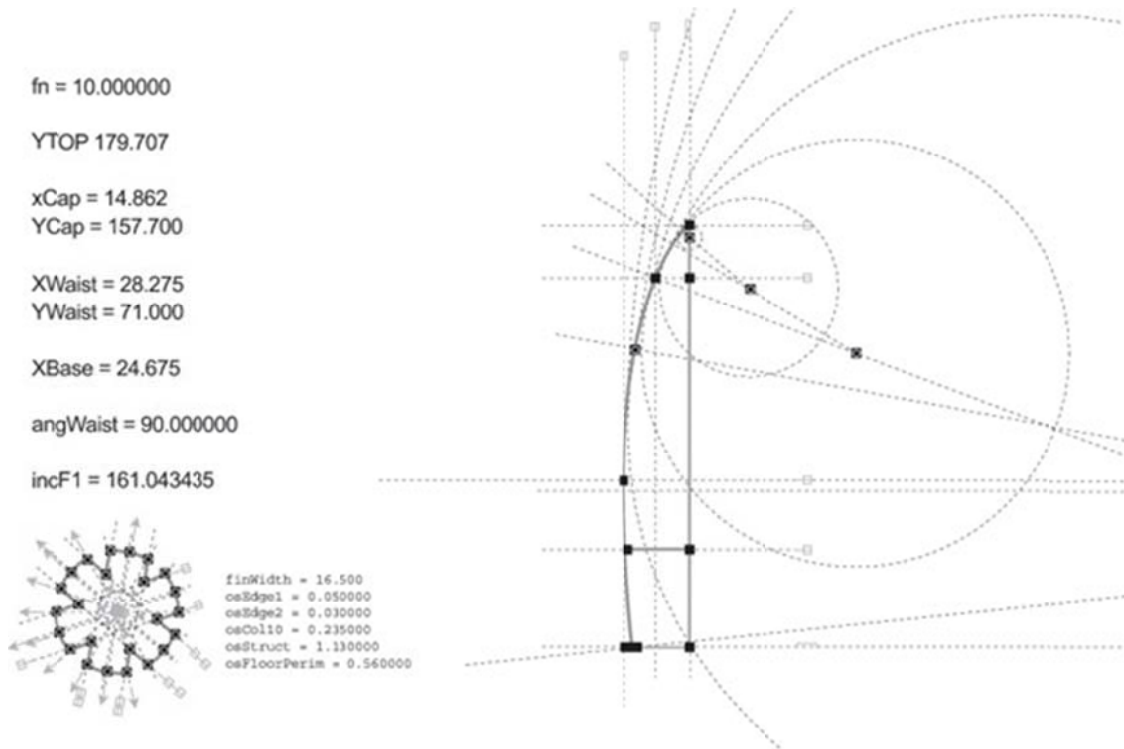


Figura 6.20. Desarrollo formal del perfil exterior del edificio, con utilización de algoritmos paramétricos generativos, con el empleo de 6 arcos de curva concatenados. Obtenido de la documentación del estudio Norman Foster and Partners. Fuente: © Norman Foster <<http://www.fosterandpartners.com/>>. Acceso en: 12 enero. 2014

En la documentación no se explica, ni aparece formalizado la obtención del algoritmo generativo original del perfil exterior del edificio; pero puede verse, por un video de Foster and Partners, su existencia y su modificación que concatena seis arcos de curva, como se aprecia en la figura anterior. Se desconoce por tanto ya que no está documentada en la información del proyecto dicha generación algorítmica original, donde modificando uno de los parámetros del algoritmo cambia el perfil exterior curvándose de manera diferente. Por esta razón y en vista al estudio de la generación de la forma exterior, se recurrirá para su obtención a una segunda opción, que es la de establecer círculos de paso de la forma, conocidos y obtenidos de los alzados del proyecto, que sí se dispone de ellos, pudiendo luego producir modificaciones por parametrización del radio de dichos círculos. Esta opción se explica en el apartado siguiente.

SEGUNDA OPCIÓN

Es posible también generar la masa completa de la forma ahusada, partiendo de una familia paramétrica a modo de perfil, a base de círculos de radios variables y con elevaciones diferentes o desfases de altura de esos círculos. Esta segunda opción es más versátil y de más fácil parametrización que la primera, conduciendo a resultados muy similares. Es la que en adelante se tomará para la realización del estudio de modelado.

Se creará un perfil, que será un círculo, utilizando una masa genérica (Masa métrica.rft) y se ubicará en el centro de coordenadas. Con ese perfil de círculo creado, se procederá a introducir una variable paramétrica que será su radio. Esta familia genérica incorpora por defecto, otra variable que es un desfase de altura o Elevación, que servirá para poder introducir ese perfil circular varias veces y a diferentes alturas en el espacio.

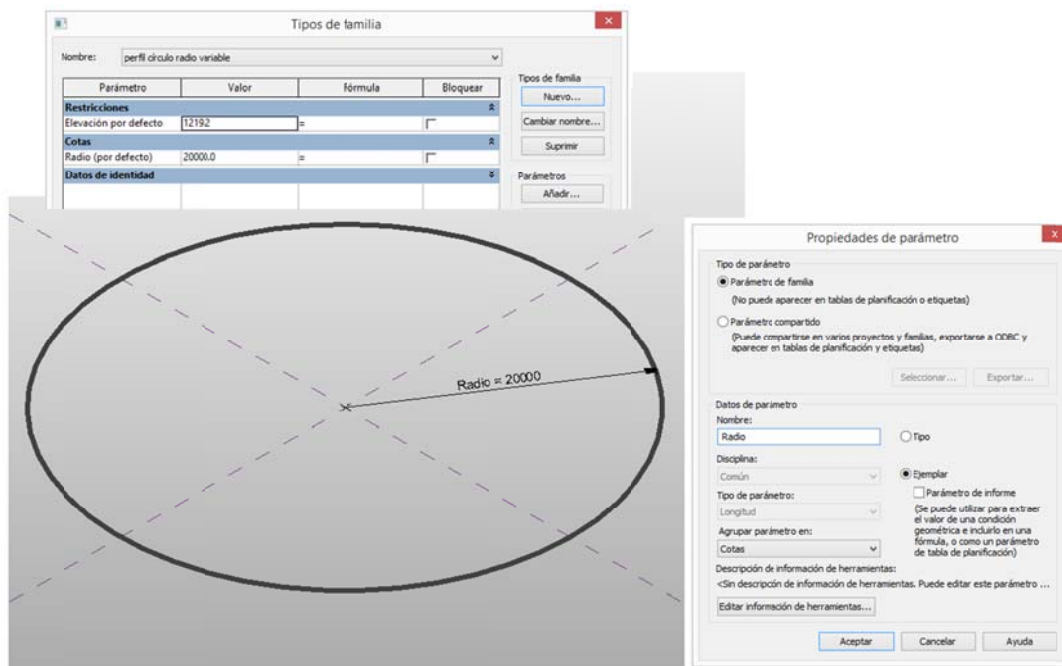


Figura 6.21. Detalle de creación y parametrización de un perfil circular de inserción, para la creación de la masa genérica que se restringirá al paso por los círculos definidos previamente. Elaboración propia con software BIM.

Una vez generado y parametrizado el perfil circular anterior se guarda con su nombre como un archivo de masas. Se abrirá otra masa genérica (Masa métrica.rft) y se anidará en ella el perfil anteriormente creado, introduciéndolo en el centro de coordenadas. A medida que se van

introduciendo los perfiles circulares en el centro de coordenadas, se van particularizando, cambiando sus parámetros de radio y desfase o altura por sus valores correspondientes.

Círculo C_7 radio $R_7 = 2,80$ m, altura $H_7 = 179,10$ m (planta 44)

Círculo C_6 radio $R_6 = 7,25$ m, altura $H_6 = 174,80$ m (planta 42)

Círculo C_5 radio $R_5 = 15,02$ m, altura $H_5 = 157,70$ m (planta 38)

Círculo C_4 radio $R_4 = 17,80$ m, altura $H_4 = 149,40$ m (planta 36)

Círculo C_3 radio $R_3 = 25,90$ m, altura $H_3 = 107,90$ m (planta 26)

Círculo C_2 radio $R_2 = 27,75$ m, altura $H_2 = 58,10$ m (planta 14)

Círculo C_1 radio $R_1 = 24,26$ m, altura $H_1 = 00,00$ m (planta 0)

Con todos estos parámetros, introducidos en los círculos correspondientes, se obtiene un resultado similar al que puede verse en la figura siguiente.

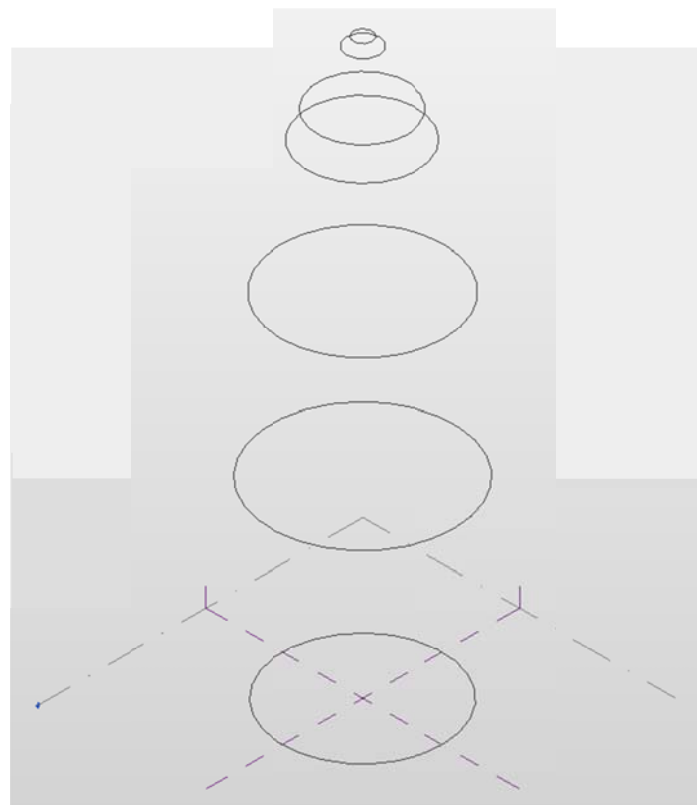


Figura 6.22. Creación de una masa conceptual, partiendo de su paso por 7 círculos con centros situados en el eje vertical de simetría de la masa, y con radios y desfases de altura parametrizados, para poder variar de esta manera la forma exterior de paso de la masa resultante. Elaboración propia con software BIM.

Se guardarán estas familias de masas cambiándoles el nombre. Después, se creará una masa, que tenga como restricción la de estar obligada a pasar por los 7 perfiles conformados por los círculos anteriores, cada uno a su altura correspondiente y con un radio distinto. Para ello se seleccionarán los 7 círculos de la figura y se hará clic en “Crear forma”. Con esto se obtiene la masa general con la forma ahusada del edificio. Esta masa al estar realizada con siete círculos de una familia de masa, dichos círculos no se consumen al generar la forma de la masa global ahusada y siguen estando en su formalización en la volumetría general, pudiéndose modificar. El resultado de la formalización anterior es el que puede verse en el gráfico siguiente:

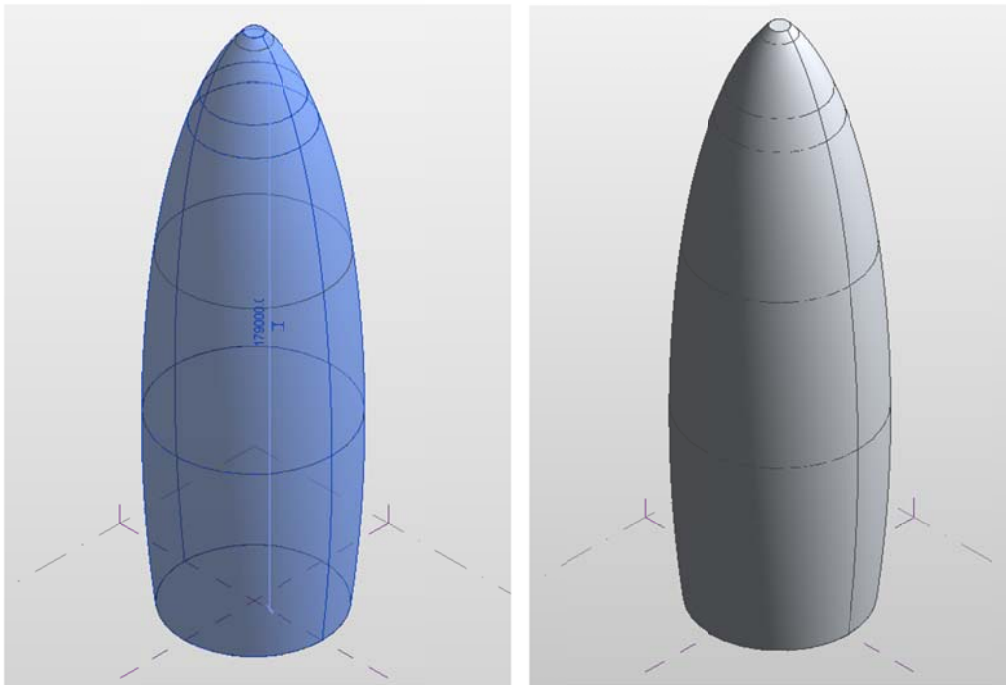


Figura 6.23. Masas obtenidas con los círculos anteriores. Se han realizado con el comando Crear forma en el entorno de familias de masas conceptuales, imponiendo su paso o restricción por cada uno de los 7 círculos de referencia anteriores. Elaboración propia con software BIM.

Como ya se ha dicho anteriormente, está documentado que en la formalización del conjunto de la torre Swiss Re por Norman Foster, se utilizaron técnicas digitales para la definición general de la volumetría de la torre y su impacto de resistencia ante los efectos de viento. Se estudiaron los perfiles externos con el empleo de algoritmos paramétricos para la generación del perfil, que originaría en su rotación axial, la forma definitiva del edificio.

Partiendo de la utilización de masas conceptuales los estudios volumétricos, de viento, soleamiento, auditorías energéticas y otros, pueden informar la fase de creación y elaboración del proyecto desde los inicios del mismo en fases muy iniciales; permitiendo tener gran cantidad de datos, que pongan de manifiesto la eficacia y la optimización de las formas de proyecto, que pueden seguir modificándose, de manera muy rápida, en base a esos datos obtenidos y rehacer los cálculos. Esto no sucede con el sistema tradicional de diseño del proyecto que hasta fases muy avanzadas, no se tiene la forma resultante, por lo que los cambios hipotéticos resultarían mucho más caros de realizar, por la inversión de tiempo invertido hasta ese momento y el tiempo requerido para la introducción de las modificaciones correspondientes.

6.6. ESTUDIO ALTERNATIVO DE FORMAS EN FASES INICIALES

Los sistemas BIM disponen de un entorno de trabajo diferenciado, basado en formas conceptuales o diseño de masas conceptuales, que es otra manera no convencional de diseño. Cuentan con unas herramientas específicas y prestaciones propias de ese entorno, que simulan el trabajo de modelado, como lo haría “un alfarero” con un material de arcilla, que trabajara y moldeara directamente con sus manos sobre él. En este caso, las manos serían manos electrónicas, que utilizan las teclas del ratón para manipular las formas (en nuestro caso manipulando las líneas que las han generado o que son partes de ella) de un modo directo como lo haría el alfarero del ejemplo.

Este entorno de trabajo es el que presenta el grado de libertad más alto para la generación y manipulación de formas libres. Frente al diseño convencional analógico, que realiza objetos de construcción directamente (muros, suelos, techos), rígidamente gobernados por el sistema (familias de sistema) informático, que de una manera preestablecida lleva su control interno permitiendo formas preconfiguradas, que presentan modificaciones muy tasadas con escaso margen para su manipulación.

El entorno de diseño conceptual permite la generación, manipulación y exploración de formas con un grado de libertad muchísimo más grande, de una manera muy rápida y permitiendo también su parametrización, que ya no es directamente gobernada por el sistema informático, sino por

herramientas encaminadas a ese fin; pero que el usuario se encarga de gestionar, utilizando un herramental específico, propio del programa.

Una de las diferencias más importantes con respecto al diseño analógico, anteriormente referido en las familias de sistema (muros, suelos, techos, etc.) es que la parametrización de estas formas ya no es realizada directa y automáticamente por el sistema, como sucede en las anteriores; ya que estas familias de masas, y debido al grado de libertad que presentan, no son denominadas de sistema, sino de componentes y es el usuario quien debe hacerlo. El sistema “cede el control” (introducción de parámetros diversos como altura, profundidad, condiciones de paso por otras formas, cálculos de función de parámetros, etc., etc.) al usuario siendo este el que se encarga de su control en su creación y manipulación manual o paramétrica.

Las masas así creadas se irán definiendo y manipulando poco a poco para ajustarlas a las necesidades formales requeridas en un flujo ininterrumpido de trabajo, donde el resultado final es su incorporación al entorno del proyecto; ya que a todos los efectos son componentes o “bloques inteligentes” insertados en el proyecto, que se convertirán con las herramientas proporcionadas por el programa de masas conceptuales, en elementos constructivos con las características propias de estos (muros, suelos, techos, etc.).

Se examinarán a modo de ensayo cuatro formas alternativas (paralelepípedo, cilindro, Gherkin real, Gherkin retocado) de la misma altura; y que han sido parametrizadas para su estudio comparativo y posterior toma de decisiones. Esta parametrización permite la modificación de los parámetros introducidos independientemente en cada una de las formas establecidas (produciendo su variación automática en nuestro caso forma), para proceder de manera dinámica a sus modificaciones, y tener diferentes ponderaciones en tablas de resultados que sean más versátiles para su estudio y la toma de decisiones.

En este caso, cada masa individual ha sido creada en el entorno de componentes de masas (cuatro componentes de masa), con unos parámetros o variables diferentes para cada una de ellas introducidas de forma manual por el usuario. Las variables han sido para el paralelepípedo la anchura, la profundidad y la altura. Para el cilindro el radio y la altura, y para el Gherkin el paso por una serie de círculos establecidos a alturas diferentes y de radios variables. Una vez generadas

estas 4 familias, se han guardado y posteriormente, han sido cargadas como componentes de masa en el entorno de proyecto. El resultado formal es el que puede verse en la figura siguiente.

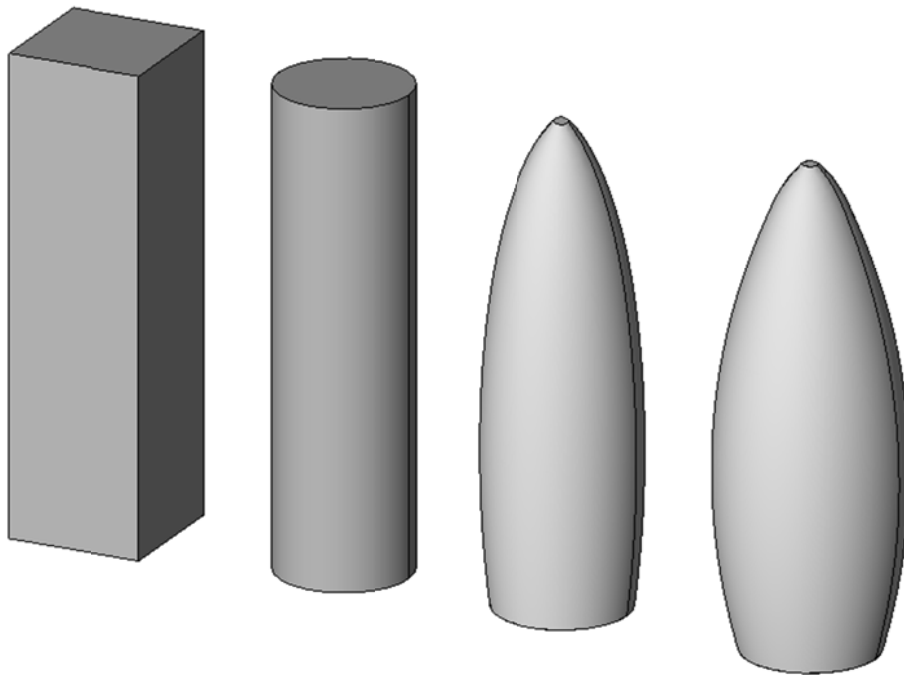


Figura 6.24. Generación de masas paramétricas alternativas con la misma altura, para proceder a un primer estudio inicial comparativo de sus diversos parámetros relacionados con sus formas, volúmenes y superficies. Elaboración propia con software BIM.

Con las cuatro masas ya cargadas en el entorno del proyecto, es el momento de establecer en una primera instancia la tabulación de cálculos iniciales de las cuatro alternativas para obtener unos resultados métricos, como son su volumen total y el área de la superficie, suma de todas sus caras.

En una segunda instancia pueden obtenerse, lo que se conoce en la jerga del modelado conceptual como suelos de masa, que representan la intersección de los planos establecidos en el proyecto como niveles de altura de las plantas ya definidas, con las masas insertadas en el mismo. Estos suelos de masas también pueden ser tabulados en tablas de cantidades según sus niveles, para cada una de las masas individualizadamente y también planta por planta. Posteriormente pueden convertirse en suelos convencionales de familias de sistema.

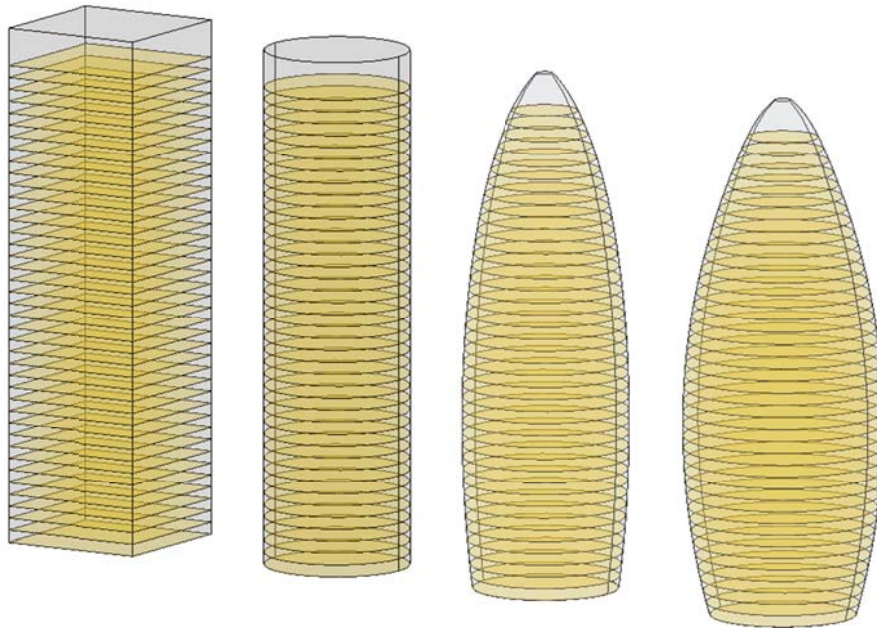


Figura 6.25. Suelos de masa que pueden obtenerse y medirse individualizadamente de forma automática, forma por forma y planta por planta. Se producen al intersectar los planos de niveles a sus alturas correspondientes, definidos en el entorno de proyecto, con los objetos de masas definidos y que pueden ser parametrizados. De esta forma al introducirse estos suelos es posible realizar las variaciones que se necesiten o se quieran. Edificios 01, 02, 03 y 04. Elaboración propia con software BIM.

En la tabla de cantidades de la figura siguiente, puede verse una primera estimación del computo comparativo con los parámetros explicados anteriormente y aplicados a las cuatro masas alternativas definidas de forma paramétrica. Con eso se tendrá una idea de partida de una primera aproximación a la obtención de datos analíticos, que pueden proporcionar las masas conceptuales en estadios muy iniciales, y que puede enriquecerse comparativamente de forma dinámica, modificando los parámetros establecidos en inicio.

<Tabla de estudio comparativo de masas>				
A	B	C	D	E
Familia	Área de superficie bruta	Área de suelo bruta	Volumen bruto	Comentarios
01-Paralelep-parametrico	40800,00 m ²	102500,00 m ²	447500,00 m ³	edificio-1
02-Cilindro-parametrico	32044,28 m ²	80504,07 m ²	351465,68 m ³	edificio-2
03-Gherkin-masa-parametriz-1	28927,86 m ²	81417,19 m ²	335431,84 m ³	edificio-3
04-Gherkin-masa-parametriz-2	33127,77 m ²	107693,62 m ²	444829,85 m ³	edificio-4

Figura 6.26. Tablas de cantidades con los datos comparativos de las cuatro masas alternativas insertadas en proyecto. Es posible obtener gran cantidad de datos como área de suelo por planta, etc. Elaboración propia con software BIM.

Podrían haberse obtenido de igual manera, otros datos analíticos siguiendo diferentes estrategias en la elaboración de las formas dentro del entorno de masas, como por ejemplo: dimensiones de paneles de recubrimiento de forma individualizada, o panelizado de dichas masas, ángulos que midan sus inclinaciones, sus lados o las superficies individualizadas de cada uno de los paneles de recubrimiento etc., etc.

6.7. PIEL DEL EDIFICIO: DIVISIÓN DE SUPERFICIE DE LA MASA

Una vez que se tiene la masa con la volumetría general de conjunto, se opera con esta masa para dividir su superficie. Con la división de la superficie, se persigue la aparición y visualización sobre dicha superficie de un sistema de rejillas, es decir un sistema de líneas de división sobre la superficie en dos direcciones U y V. Posteriormente, y una vez dividida la superficie podrá aplicarse sobre ella a modo de guía, un patrón definido y que es denominado como patrón de superficie. Los patrones de superficie tienen su diseño propio; y una vez aplicados e insertados en la superficie en cuestión, forman parte de la superficie y en función de qué forma se les dé, necesitarán cierto número de celdillas de división para poder aplicarse. Debe tenerse esto muy en cuenta a la hora de diseñar las divisiones y los componentes del patrón. El software de modelado BIM aporta una variedad de tipos de patrones diferentes disponibles para su aplicación.

Se selecciona con el cursor la masa anteriormente creada, esta cambiará de color en su totalidad, indicando que ha sido seleccionada completamente y no una parte de ella. En ese momento será posible la división de su superficie con la herramienta de división.

La superficie de la masa quedará dividida por defecto sin ningún patrón aplicado en ella, quedando la rejilla U dividida en un número fijo que es 10 con Justificación al centro y Rotación de rejilla y desfase cero, al igual que la rejilla V.

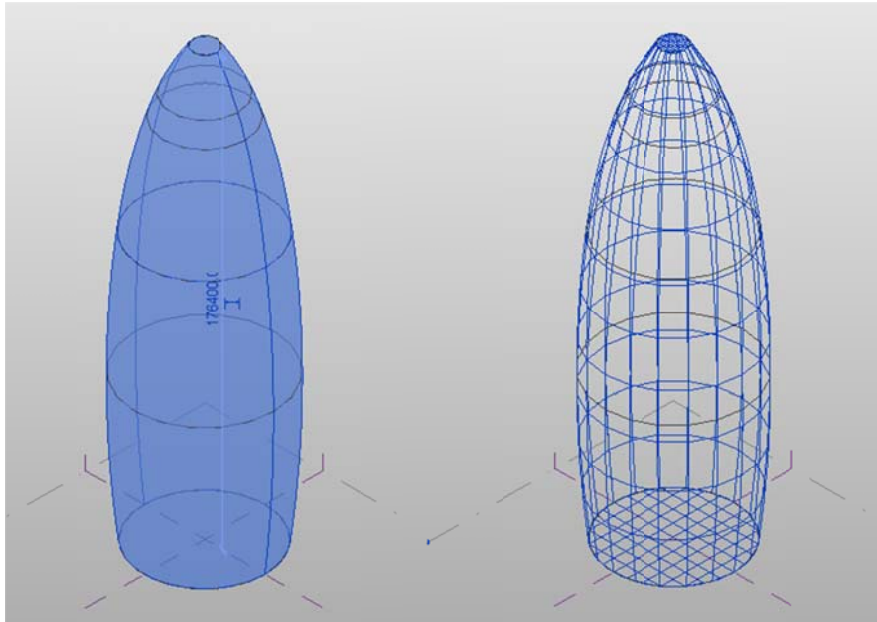


Figura 6.27. Desarrollo formal del modelado de la masa de la piel del edificio, con aplicación de una división de su superficie. Elaboración propia con software BIM.

Después de esto, a la superficie dividida anterior, se le aplica como patrón de superficie un Romboide donde la rejilla U es un número fijo de valor Número 84, justificación, Centro y Medida de correa 0,500 y la rejilla V tiene como división Número 72, justificación Centro y medida de correa 0,500.



Figura 6.28. Vista de disposición de paneles acristalados de piel del edificio, divisiones. Fuente: internet.

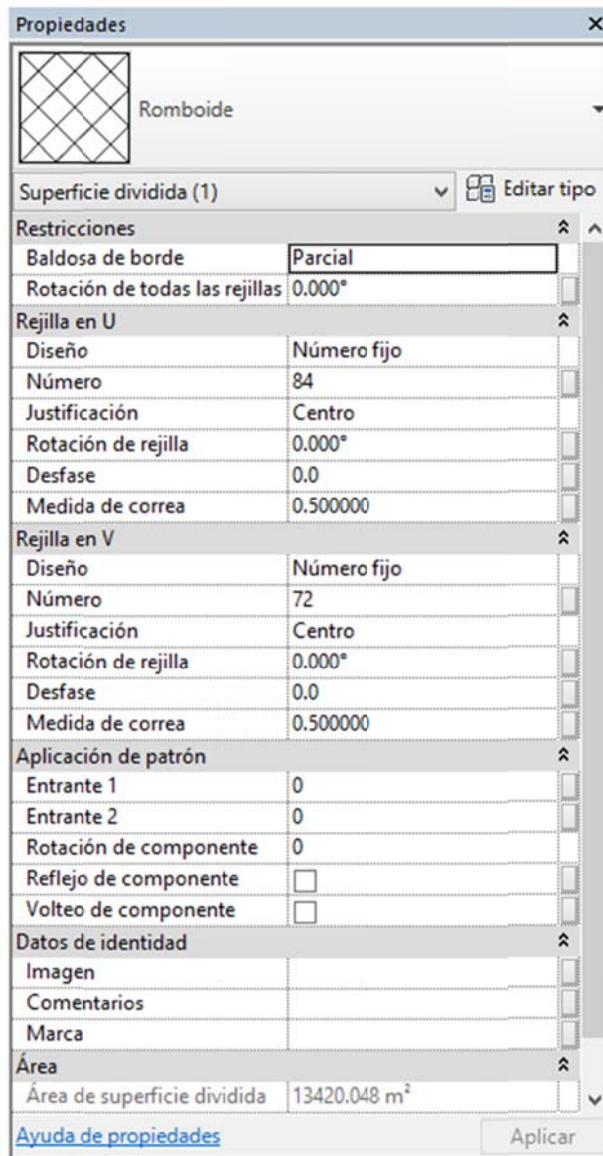


Figura 6.29. Paleta de propiedades de Superficie dividida y patrón aplicado de rejilla. Elaboración propia con software BIM.

Esta familia de masas conceptuales representa la piel o zona más exterior del edificio, en esta familia con un patrón aplicado, será necesario anidar otra familia de masas que represente el panel de recubrimiento. Habrá que definir otra familia (anidada), que quede cosida al patrón anterior, y que sea adaptativa para que se adapte su superficie a cada una de las celdillas de la rejilla de la masa general para que las cubra todas.

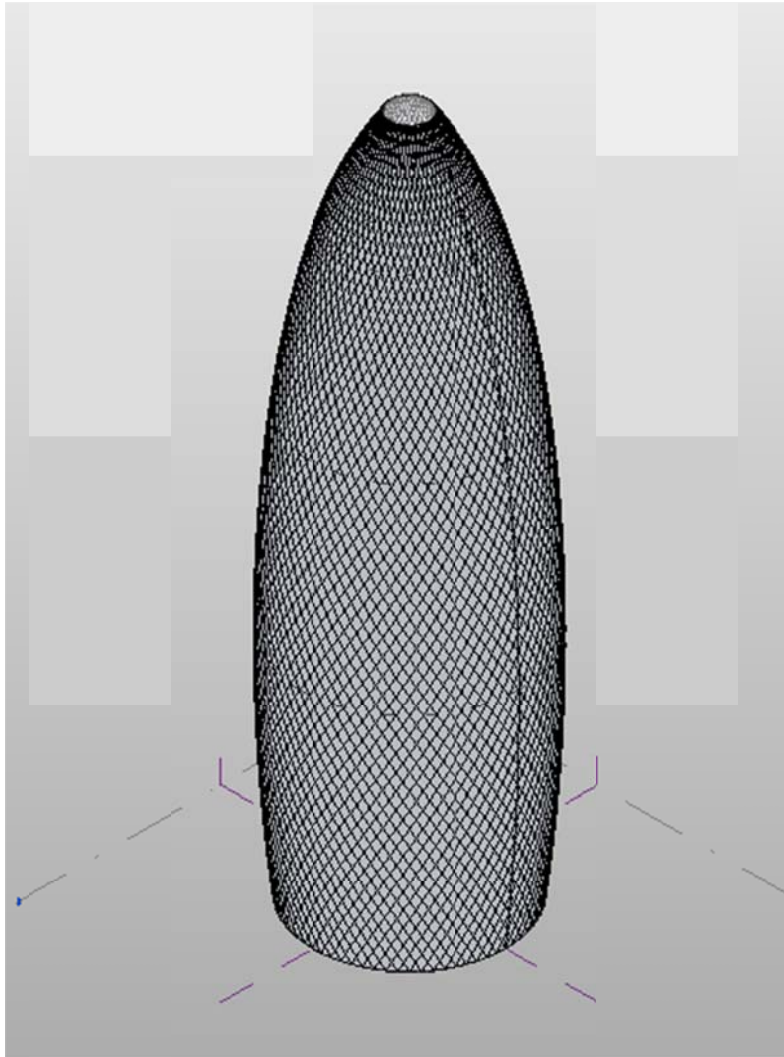


Figura 6.30. Masa que representa la piel más externa del edificio. Primero se le aplicará un patrón de superficie con la forma del patrón de la celdilla que dividirá toda la masa. Posteriormente, se anidará dentro de ella otra familia con el modelado de la celdilla, que será el panel con que se recubran todas las celdillas del patrón. Elaboración propia con software BIM.

Pero la piel más externa del edificio no es la misma en toda su superficie exterior, y hay diferencias de función entre el cuerpo del edificio y su domo o cúpula. Para diferenciar esta especialización de la piel el edificio por zonas, debe descomponerse el mismo en dos masas y darles un tratamiento bien diferenciado.

Para dar respuesta a estos requerimientos se procederá a la división de la masa total del edificio en dos, una que representará la masa de la cúpula y la otra la masa del cuerpo.

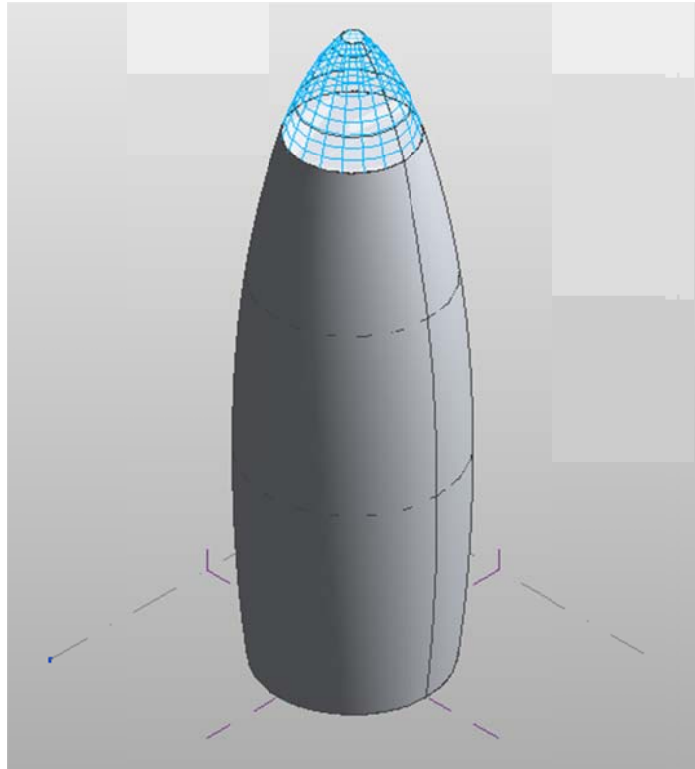


Figura 6.31. Detalle Masa que representa la piel externa del edificio en la cúpula. Elaboración propia con software BIM.

5.8. MASA DE LA PIEL DE LA CÚPULA

La masa de esta parte del edificio llega desde la altura máxima anterior de 151,20 metros hasta una altura de 179,00 metros; y por encima de ella, se situaría el óculo de cristal curvo, que es la única pieza curva de todo el edificio. Se procederá a su creación con la incorporación de cuatro perfiles circulares, cada uno con un radio y un desfase distinto, formados por una familia paramétrica de radio y desfase variable, que se anidará en la general de la masa. Los datos son los siguientes:

DATOS PARA LA CREACIÓN DE LA PIEL DE LA CÚPULA DE LA TORRE

Círculo C_7 : radio $R_7 = 2,80$ m, altura $H_7 = 179,10$ m (planta 44)

Círculo C_6 : radio $R_6 = 7,25$ m, altura $H_6 = 174,80$ m (planta 42)

Círculo C_5 : radio $R_5 = 15,02$ m, altura $H_5 = 157,70$ m (planta 38)

Círculo C_4 : radio $R_4 = 17,80$ m, altura $H_4 = 149,40$ m (planta 36)

Una vez que se tiene la forma de la masa de la cúpula, se dividirá la superficie anterior aplicándole como patrón de superficie un Romboide (panel plano) donde la rejilla U es un número fijo de valor Número 8, y la rejilla V es otro número fijo de valor Número 36. Después de la división se le aplicará un patrón adaptativo con el cristal del panel oscuro. La piel de la cúpula después de la aplicación del patrón quedaría como se ve en la figura que sigue:

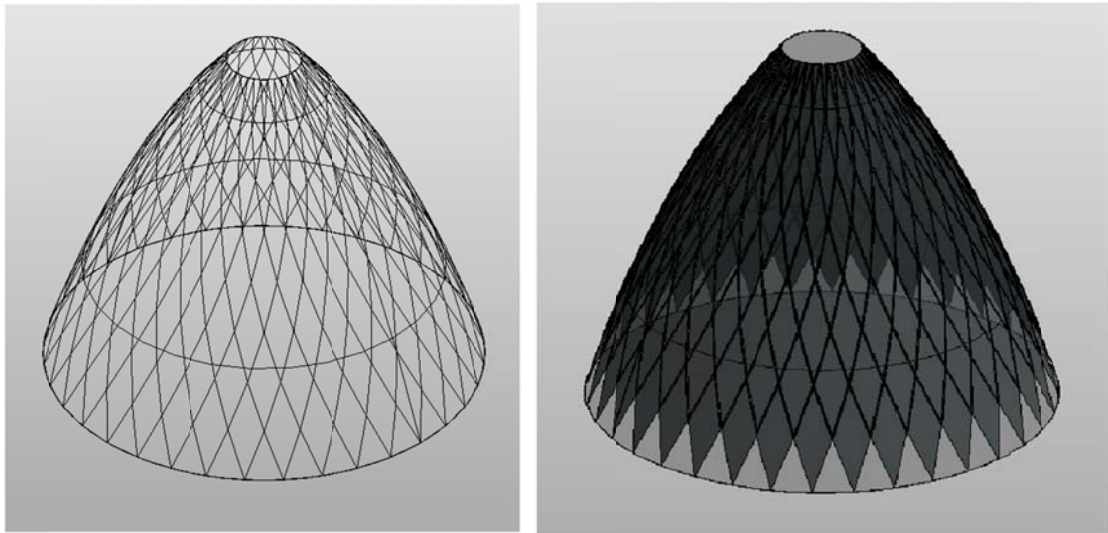


Figura 6.32. Detalle de formación de la masa que dará la piel de la cúpula del edificio, a partir de círculos de radio variable con la altura para formar la cúpula. Elaboración propia con software BIM.

Se le quita la parte inferior del romboide que baja por debajo de la familia del círculo C_5 , que es la base de la cúpula.

FAMILIAS ANIDADAS DE LA CÚPULA

Las familias anidadas que integran la masa anterior son las siguientes:

1) Masa:

Masa-perfil-circulo.rfa: Plantilla utilizada "Masa métrica.rft"

Con la familia anterior, se situarán en el espacio a las alturas correspondientes, los círculos de base, mediante los cuales se establecerán las referencias para la creación de las masas M1 y M2.

5.9. MASA DE LA PIEL DEL CUERPO DEL EDIFICIO

La masa de esta parte del edificio nace en el nivel 0,00 de la planta de entrada y llega hasta el piso 38, a cota 157,70 metros; y es la parte del edificio que hay hasta el arranque de la cúpula, se creará con la incorporación de cuatro perfiles circulares cada uno, con un radio y un desfase distinto, formados por una familia paramétrica de radio y desfase variable y se anidará en la general de la masa. Los datos para la creación de esta zona de la torre son los siguientes:

DATOS PARA LA CREACIÓN DE LA PIEL DEL CUERPO DE LA TORRE

Círculo C₅: radio R₅ = 15,02 m, altura H₅ = 157,70 m (planta 38)

Círculo C₄: radio R₄ = 17,80 m, altura H₄ = 149,40 m (planta 36)

Círculo C₃: radio R₃ = 25,90 m, altura H₃ = 107,90 m (planta 26)

Círculo C₂: radio R₂ = 27,75 m, altura H₂ = 58,10 m (planta 14)

Círculo C₁: radio R₁ = 24,26 m, altura H₁ = 0,00 m (planta 0)

Después de esto se dividirá la superficie anterior aplicándole como patrón de superficie un Romboide (panel plano) donde la rejilla U es un número fijo de valor Número 72, y la rejilla V tiene como división Número 72. La piel del cuerpo después de la aplicación del patrón quedaría como sigue.

Norman Foster tomó la decisión inicial de partida de hacer todos los paneles acristalados de recubrimiento exterior de la piel del edificio planos para abaratar costes en su fabricación; ya que los paneles curvos encarecían mucho la solución del recubrimiento exterior. El único cristal curvo de todo el edificio es el de la zona superior de remate de la cúpula del edificio.

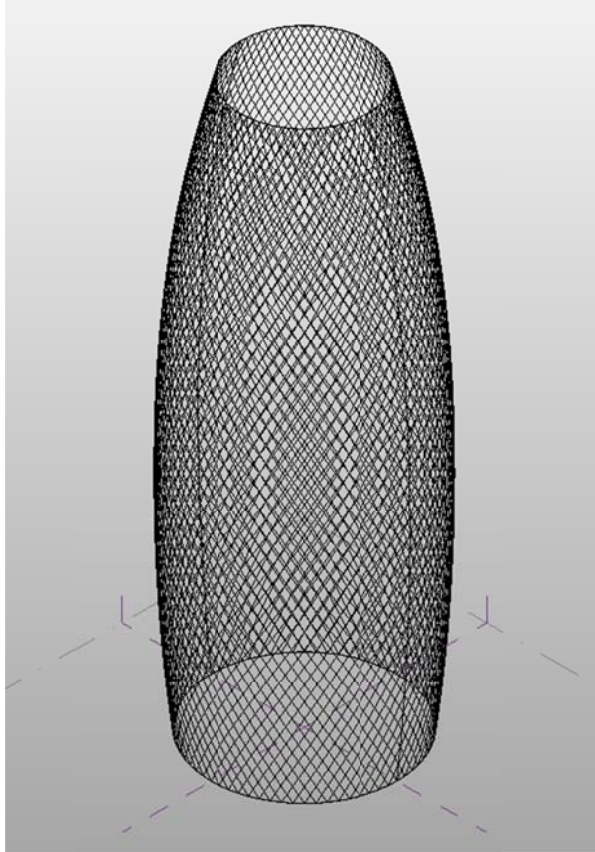


Figura 6.33. Detalle de creación de la masa de piel del cuerpo de la torre, a partir de círculos de radio variable. Elaboración propia con software BIM.

6.10. INSERCIÓN DE PANELES ACRISTALADOS DE DOS TIPOS: CLAROS Y OSCUROS

En el cuerpo y la cúpula de la piel del edificio existen dos tipos de paneles acristalados que la recubren, unos son claros y otros oscuros. Por eso, al crear la familia del panel, que recubrirá la superficie de la piel del edificio, se dispondrán para esa familia dos tipos de paneles: uno con cristal claro y otro con cristal oscuro. El panel también contendrá un marco exterior metálico en el perímetro de su contorno; pero para que no llegue a duplicarse este marco al juntarse con los paneles adyacentes limítrofes, que recubrirán la superficie del edificio, dispondremos su creación sólo en el borde de la zona superior del panel. Ver figura siguiente.

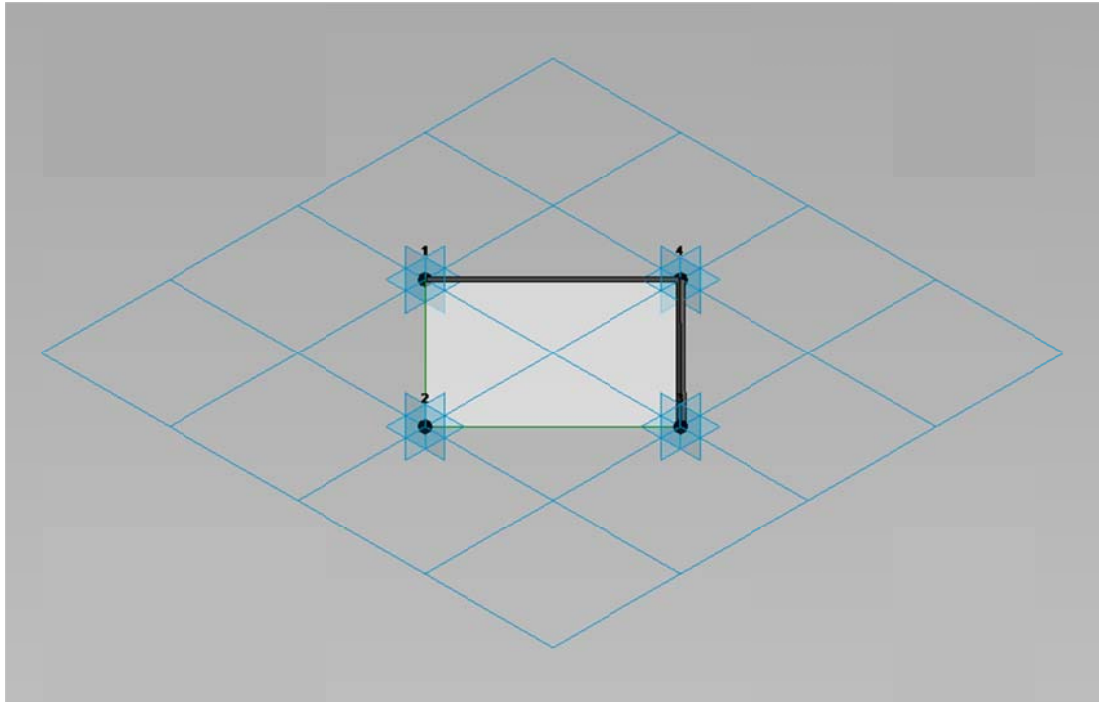


Figura 6.34. Detalle de la célula de definición del panel acristalado de recubrimiento exterior de la torre, se le aplica una rejilla de patrón de baldosa de Romboide coincidente con la división de la superficie general de piel, para que casen perfectamente los puntos adaptativos con los nodos de la trama exterior. Elaboración propia con software BIM.

Se creará el perfil de ese marco tal y como puede verse en la figura siguiente.

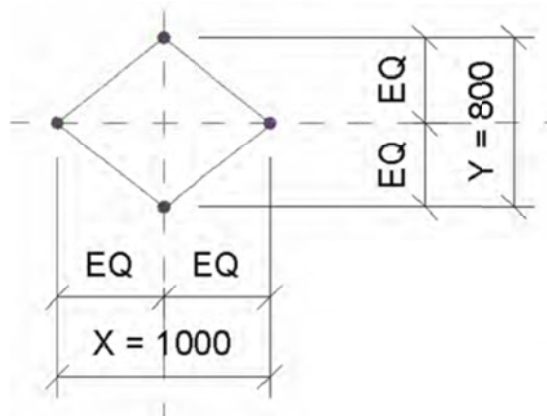


Figura 6.35. Formalización del perfil del marco metálico que llevará el panel. Elaboración propia con software BIM.

Dependiendo de la función y los requerimientos del espacio interior; así también se especializa el recubrimiento de la piel exterior del edificio para adaptarse mejor a esos requerimientos.

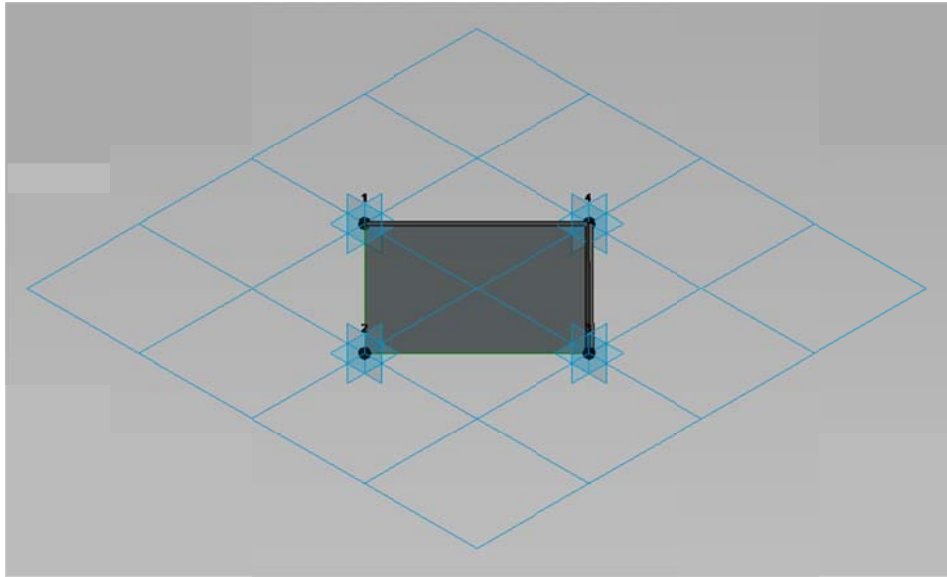


Figura 6.36. Detalle de la definición del segundo tipo de panel acristalado oscuro. Elaboración propia con software BIM.

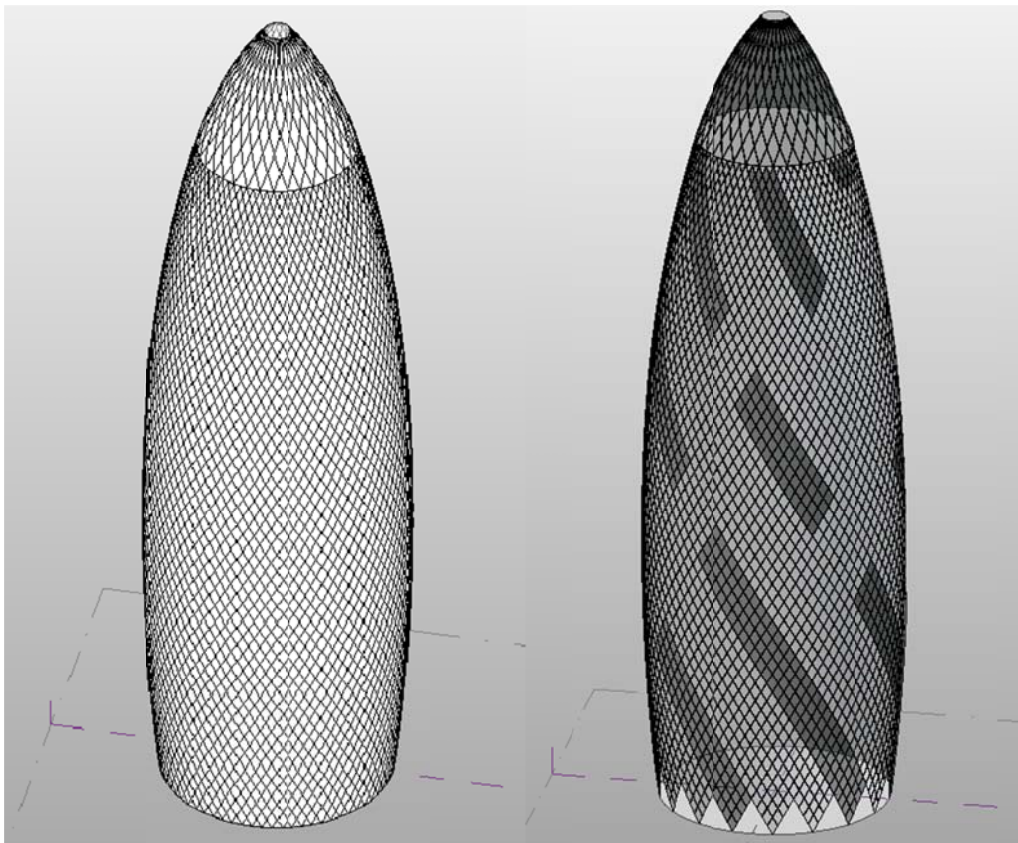


Figura 6.37. Detalle de la Introducción en la piel del edificio de los dos tipos de paneles acristalados existentes, unos son claros y los otros oscuros. Elaboración propia con software BIM.

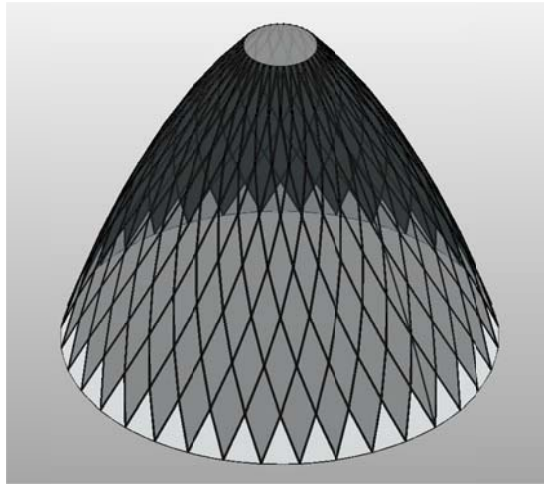


Figura 6.38. Detalle de división de la cúpula y paneles. Elaboración propia con software BIM.

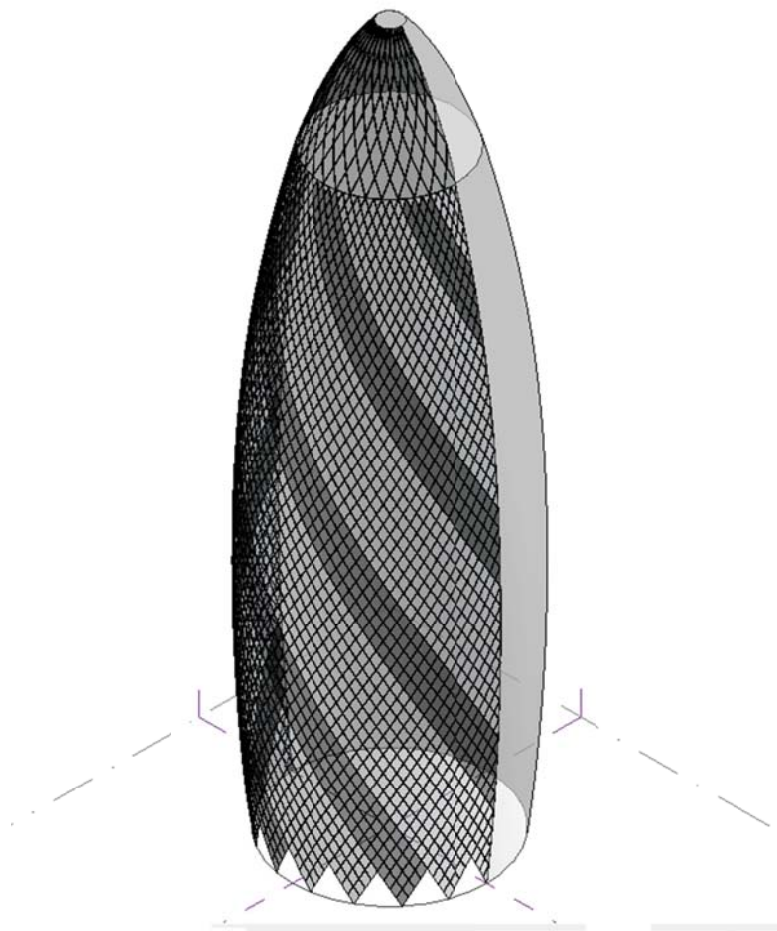


Figura 6.39. Piel del edificio en la que hay una diferenciación entre la cúpula y el cuerpo del edificio. También hay otra diferenciación en cuanto al color del panel, ya que la piel se especializa en las zonas de los patios helicoidales y en esas zonas los paneles cambian de color, con división de tipos claros y oscuros. Elaboración propia con software BIM.

6.11. ESTRUCTURA DEL EDIFICIO

Con el mismo sistema ya utilizado anteriormente para generar las masas de piel del edificio (cúpula y cuerpo), esta vez se procederá a la generación de la masa, que conformará la estructura del conjunto de la torre formada por el enrejado diagonal tubular de acero. Al igual que antes, se parte de la colocación de una familia de masas compuesta por un perfil de forma circular con parámetros variables que son el radio y la altura de ubicación del círculo en el espacio, tomando como referencia el plano horizontal del primer nivel de la torre. Esta familia se introducirá cinco veces con sus datos particularizados, y se anidará en otra familia de masas, que es la que la contendrá la forma global de la estructura.

La estructura que se irá a generar, parte del nivel del suelo y llega hasta el piso 38 (altura 157,70 metros), va por dentro de la piel y separada de esta en los nodos, a una distancia de medio metro. Con las características que presenta la edificación, y desde un punto de vista constructivo es la estructura la que se realizará y ejecutará primero, sirviendo de referencia para el replanteo de la envolvente de la piel.

DATOS PARA LA CREACIÓN DE LA ESTRUCTURA REJILLA DIAGONAL

Círculo C_5 : radio $R_5 = 14,52$ m, altura $H_5 = 157,70$ m (planta 38)

Círculo C_4 : radio $R_4 = 17,30$ m, altura $H_4 = 149,40$ m (planta 36)

Círculo C_3 : radio $R_3 = 25,40$ m, altura $H_3 = 107,90$ m (planta 26)

Círculo C_2 : radio $R_2 = 27,25$ m, altura $H_2 = 58,10$ m (planta 14)

Círculo C_1 : radio $R_1 = 23,76$ m, altura $H_1 = 0,00$ m (planta 0)

Estos círculos se introducirán por anidación en un archivo de masas genérico, después de haber creado la familia con los parámetros anteriormente descritos. Están desfasados con respecto a los círculos que definían la piel del edificio medio metro hacia el interior ya que conformarán la estructura interior de la rejilla diagonal.

Para crear la masa M1 global de la estructura se seleccionarán los cinco círculos anteriores y posteriormente, con en el comando "Crear masa" será generada de forma implícita la forma de la masa que se busca, que llevará impuesta la restricción o condición de pasar a la vez por esos cinco

círculos de radio y altura variable. La forma general que se obtiene y los círculos de base de partida, son los que aparecen a continuación en la siguiente figura.

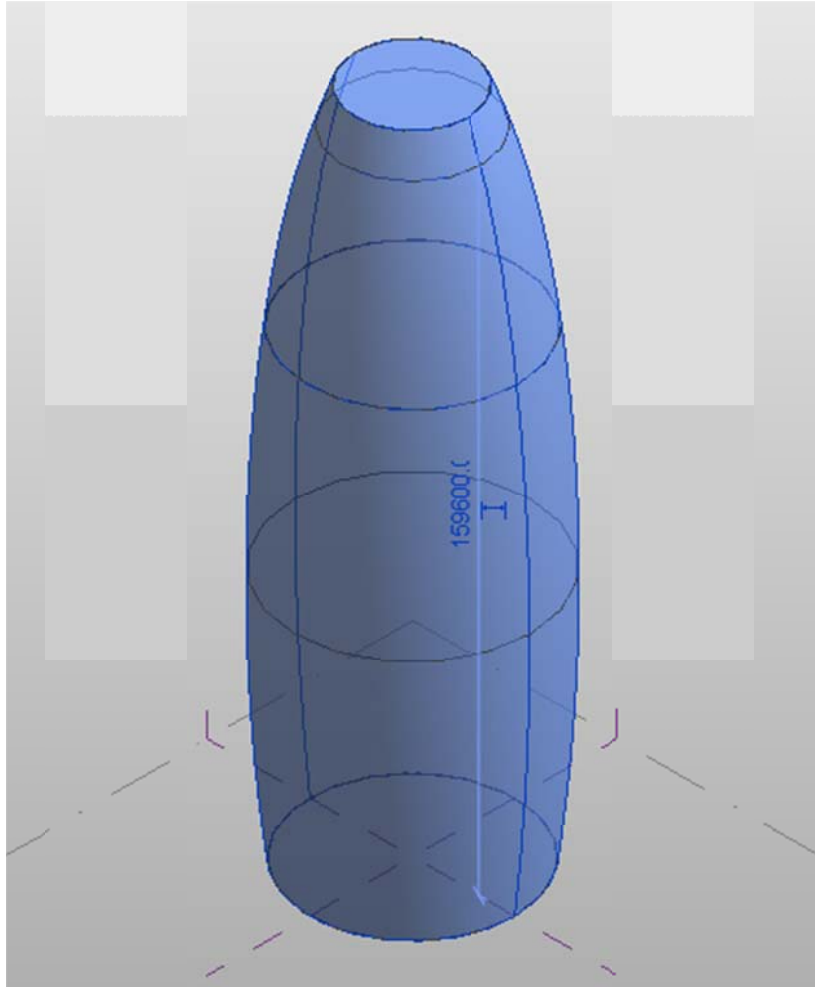


Figura 6.40. Formación de la masa con la que se obtendrá la estructura exterior del edificio. Elaboración propia con software BIM.

A la masa creada anteriormente para que se le pueda aplicar en su superficie una rejilla con un patrón determinado, con el que quede cosida encima de ella, siguiendo sus contornos naturales y forme parte de la misma, primeramente habrá que proceder a la división de su superficie, para posteriormente aplicarle un patrón de rejilla elegido. Dicho patrón será seleccionado de un listado de los que el programa dispone por defecto, en el Selector de tipos.

En la división de la superficie anterior, no se utiliza el patrón de rejilla romboide, que es el que en principio aparentemente parecería el más indicado, porque desde el punto de vista de su

geometría espacial; un estudio más en profundidad de esa pieza desaconseja su utilización por su inadaptación a la curvatura de la forma general de la edificación. El romboide de la rejilla debería tener una altura de 4 plantas consecutivas (ver fotos del gráfico siguiente) y formar un mismo y único plano, pero las plantas del edificio, debido a la curvatura que este presenta por su forma ahusada, son todas de diámetro distinto, por lo que para producir una buena adaptación del romboide y amoldarse lo más posible a esos cambios de diámetros, y esas curvaturas de la carcasa estructural, geoméricamente exigirían doblar el plano del romboide por su mitad para acomodarse a esa circunstancia por lo que se descarta dicha solución. No podría ser un romboide; ya que el romboide forma un plano único, y se necesitan dos, por lo que la forma más indicada es un triángulo por cada marco estructural metálico en “A”.

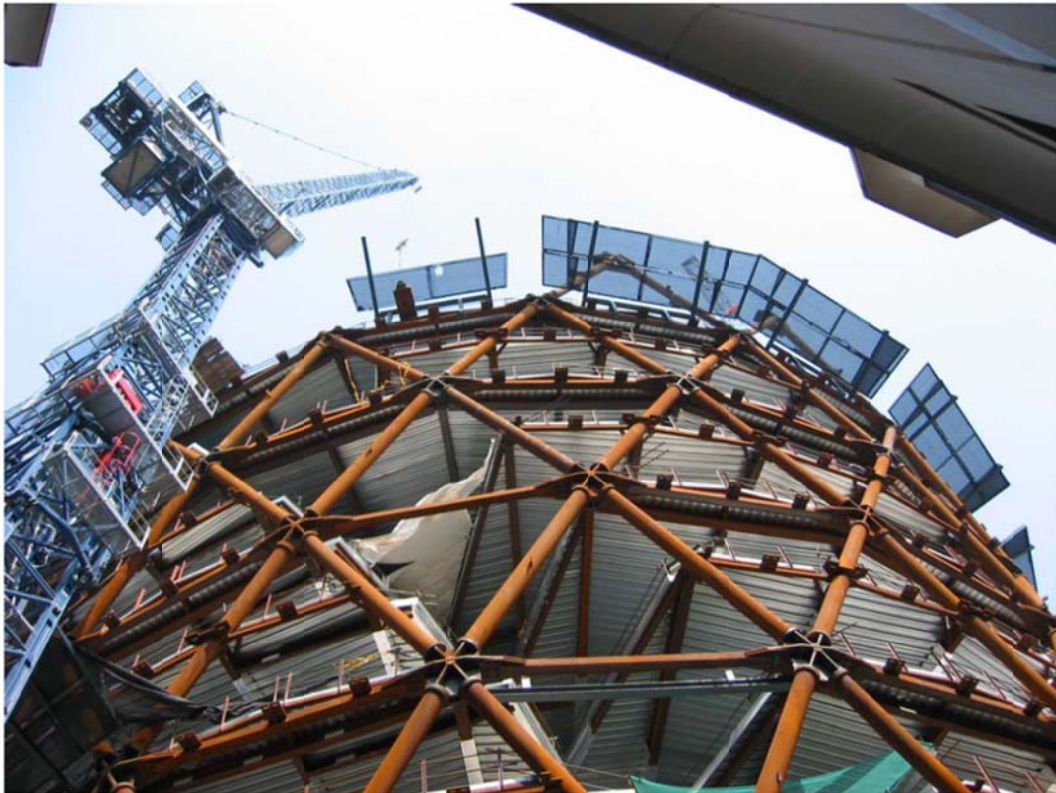


Figura 6.41. Detalle del montaje de la estructura de rejilla diagonal en acero tubular. Puede verse como lo que en principio parece un romboide son dos triángulos con un lado común y esos triángulo están en planos diferentes compartiendo un lado común. Fuente: Internet.

Los patrones de rejilla definidos por defecto y que pueden seleccionarse en el selector de tipos de la Paleta de propiedades son los siguientes:

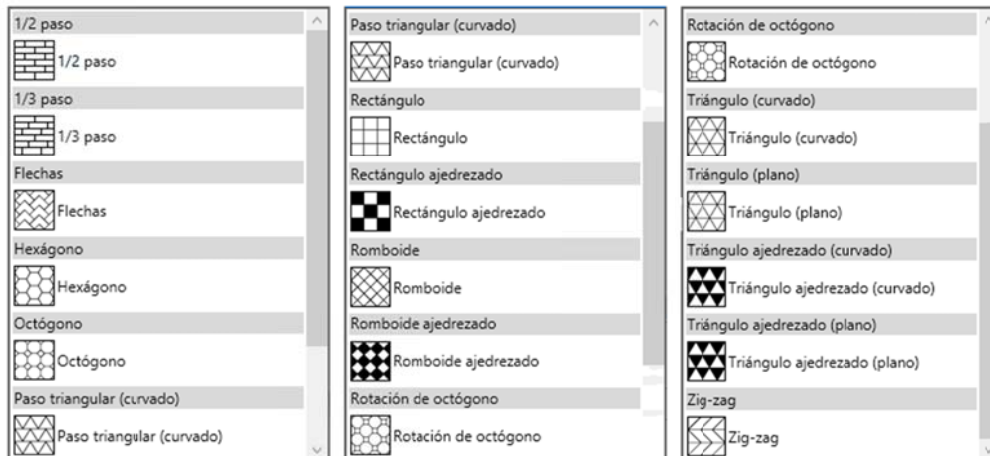


Figura 6.42. Listado de los tipos de patrón predefinidos por defecto por el programa que pueden aplicarse. Fuente: © Autodesk Revit.

Estos patrones que vienen por defecto, tienen unas características propias en la disposición del número de sus celdillas de superficie requeridas y en el número de sus puntos adaptativos, que es muy necesario saber, para modelar en ellos el objeto que nos interese que se repita espacialmente en las divisiones establecidas de la masa general en cada momento.



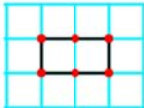

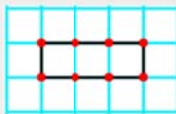
Nombre de patrón	Número de celdas de superficie requeridas	Diseño de patrón
 Sin patrón	0	El patrón se elimina de la superficie dividida.
 1/2 paso	2 (1 x 2)	
 1/3 paso	3 (1 x 3)	

Figura 6.43. Listado de algunos de los tipos de patrón que vienen predefinidos por defecto por el programa para que puedan aplicarse a una masa en su superficie dividida. Fuente: © Autodesk Revit.

Se elegirá como diseño de patrón a aplicar, el patrón de medio paso, que dispone, como puede verse en la figura anterior, de 6 puntos adaptativos y dos celdillas de anchura, ya que lo que se necesita es que dentro de ese patrón pueda modelarse el marco estructural metálico en “A”, que abarca dos plantas de alto y que en el esquema de su repetición en altura hay un desplazamiento

horizontal de la mitad del patrón, que coincide exactamente con el esquema de repetición real del marco estructural en "A".

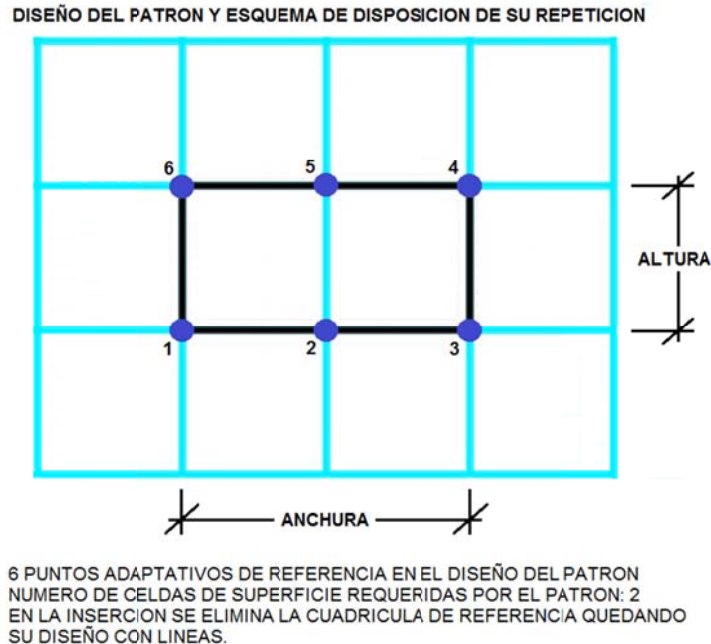


Figura 6.44. Listado de algunos de los tipos de patrón que vienen predefinidos por defecto por el programa para que puedan aplicarse a una masa en su superficie dividida. Elaboración propia.

Se persigue que el patrón (modelado dentro de la celdilla con 6 puntos adaptativos) que sea aplicado a la superficie, replique en su repetición cada uno de los marcos estructurales en "A" de la estructura tubular metálica real de la torre.

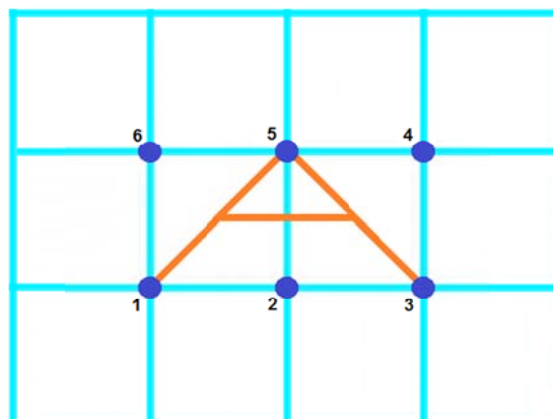


Figura 6.45. Elección del patrón de superficie a aplicar y diseño dentro del mismo del marco estructural metálico, que será replicado en las divisiones de la superficie de la masa. Elaboración propia.

La repetición del patrón anterior (1/2 paso) aplicado a la superficie de la masa global, dará como resultado la disposición que puede verse en la figura siguiente y que es coincidente con la disposición de repetición de la estructura real del edificio.

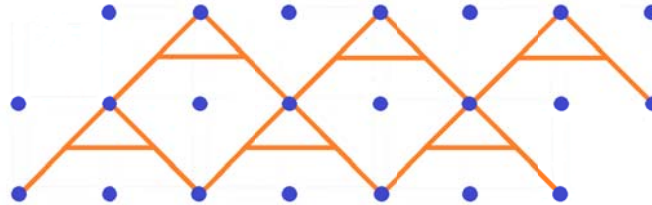


Figura 6.46. Disposición en anchura y altura de la repetición del patrón de superficie elegido (1/2 paso), para aplicar a la superficie dividida de la masa global. En color azul pueden verse los puntos adaptativos de las celdillas. Esta disposición es coincidente con la de repetición de la estructura diagonal real de la estructura. Elaboración propia.

El patrón aplicado a la superficie será un patrón de $\frac{1}{2}$ paso con unas divisiones de rejilla que son las siguientes: Rejilla en U (altura) Número = 19, Rejilla en V (anchura) Número = 18 y en ambas rejillas todo ello para que coincidan con el edificio real.

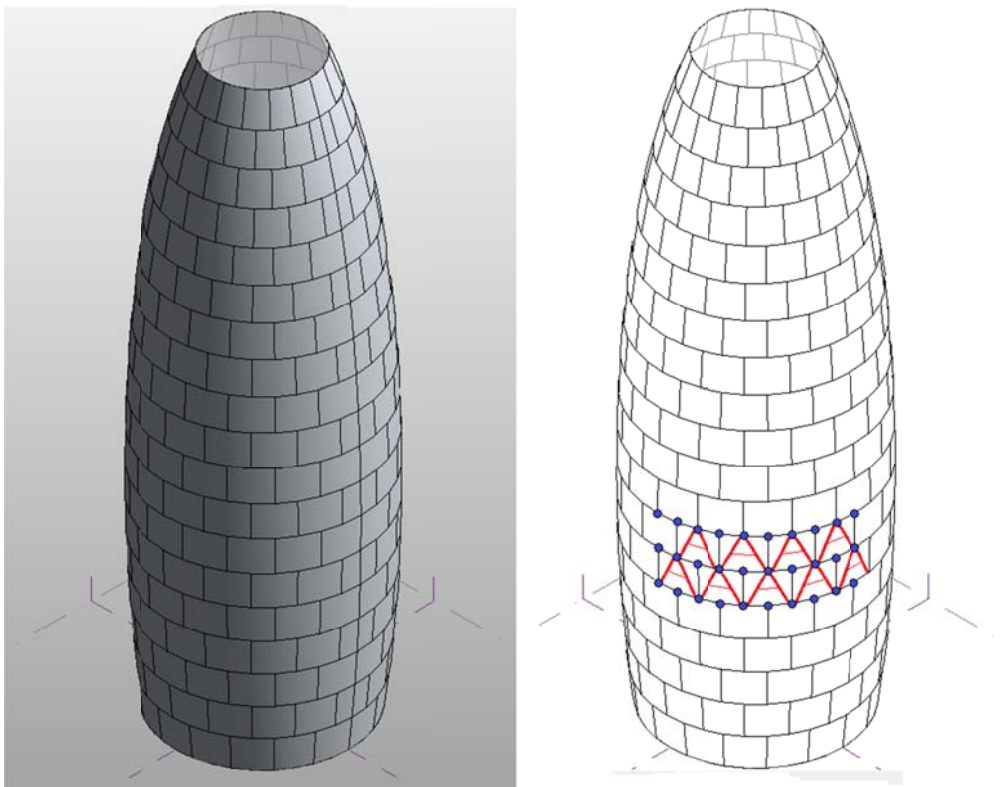


Figura 6.47. Aplicación a la masa general del cuerpo de la estructura de una división de rejilla y un patrón de superficie de medio paso, que será la estructura metálica diagonal de la torre. Elaboración propia con software BIM.

Se ha dividido la superficie anterior aplicándole un patrón de medio paso, para que con esta estrategia se pueda obtener el efecto real que se produce en los marcos estructurales tubulares de acero. En estos marcos, puede verse cómo entre dos de sus filas de alturas consecutivas existe un desfase de medio paso entre ellos, esto hace que conformen la rejilla diagonal tan característica. También más adelante, podremos acoplar a esta superficie así dividida una familia anidada en forma de “A” que rellene y pueble ese patrón de medio paso, diseñando e introduciendo en ella el marco estructural metálico, que se superpondrá con un desfase de medio paso cada dos plantas. En el gráfico siguiente queda reflejada esta disposición.

Utilizando como plantilla de familia “Panel de muro cortina métrico basado en patrón.rft” se procederá al modelado del marco estructural metálico en “A”, que conformará en su repetición sucesiva la rejilla diagonal; se empleará una rejilla de patrón de baldosa de medio paso para que coincida con la división aplicada a la masa antes creada y se superponga a ella de forma correcta.

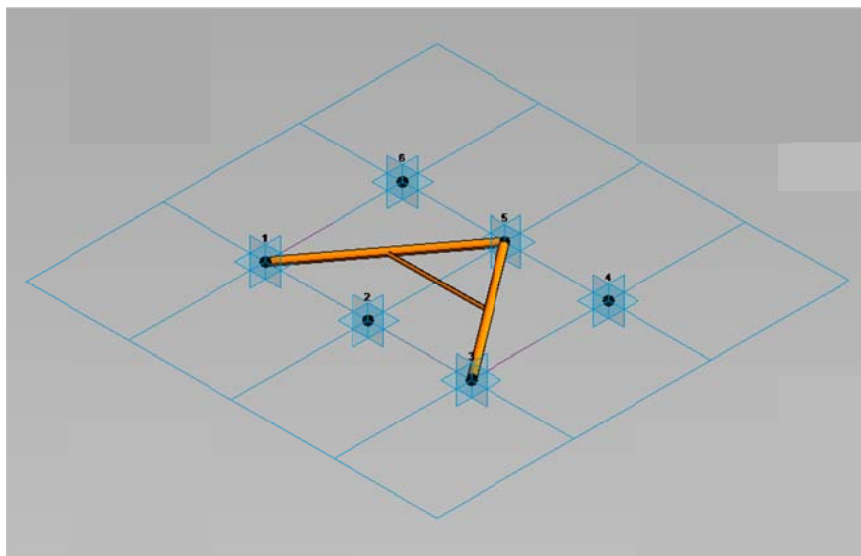


Figura 6.48. Creación de una familia anidada basada en puntos adaptativos (“Panel de muro cortina métrico basado en patrón.rft” con dos celdillas para su definición. Marco metálico estructural. Elaboración propia con software BIM.

La familia anterior dispone de seis puntos adaptativos que ocuparán sus sitios respectivos en los nodos de las divisiones del patrón de superficie generado donde se aplique. Dado que el marco estructural metálico dispone en la realidad constructiva, de un recubrimiento o carcasa de

aluminio, la familia que estamos creando dispondrá también de esa carcasa que superpondremos añadiéndolo al marco metálico.

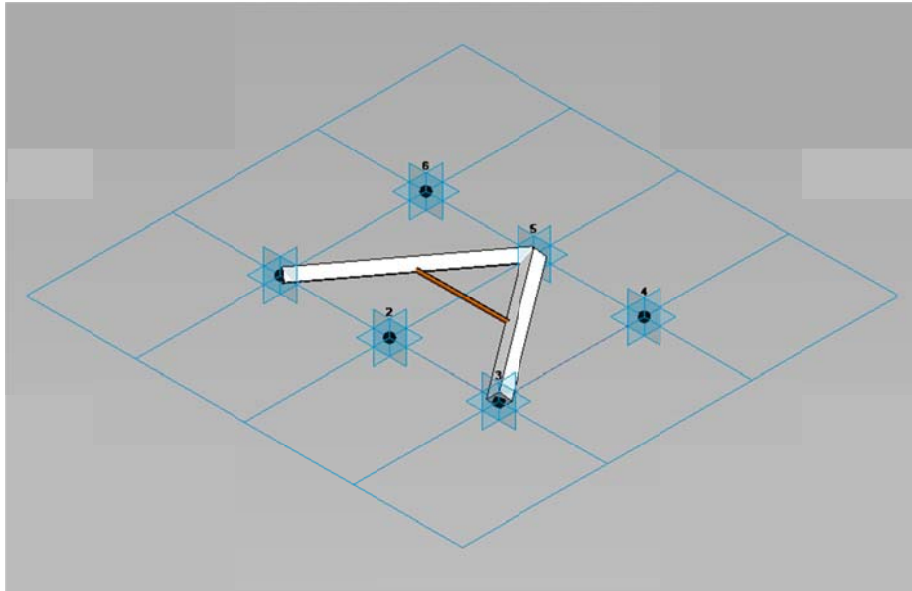


Figura 6.49. Recubrimiento con paneles de aluminio del marco estructural en “A” de acero. Elaboración propia con software BIM.

Se ha creado una misma familia con dos tipos dentro de ella, el primero representa la unidad del marco estructural en “A”, que al solaparse con el resto conformará toda la rejilla estructural de perfiles tubulares de acero. Cada dos plantas se produce el desfase de medio paso para que las piezas de los marcos estructurales conformen la rejilla diagonal. Esta estructura se interrumpe en el piso 38 por eso la división de la masa en altura es $U = 19$, es decir la mitad, ya que el marco estructural abarca dos plantas de altura. En el otro sentido $V = 18$, ya que es el número de marcos que en horizontal abarca cada planta.

El segundo tipo que dispone la familia, es el mismo que el primero; pero además contiene la envolvente de aluminio exterior de protección de los soportes tubulares de acero, de que dispone originariamente el edificio real.

Una vez finalizado el modelado de esta familia, que se ha realizada utilizando una rejilla de patrón de baldosa de medio punto, similar a la utilizada en la división de la masa general de la estructura, se insertará y anidará en ella para que quede insertada en toda la trama de la división utilizada,

tomando como referencia todos los puntos de los nodos de división. Con esto obtendremos una masa que representará la estructura de la torre, tal y como puede verse en la figura que se adjunta.

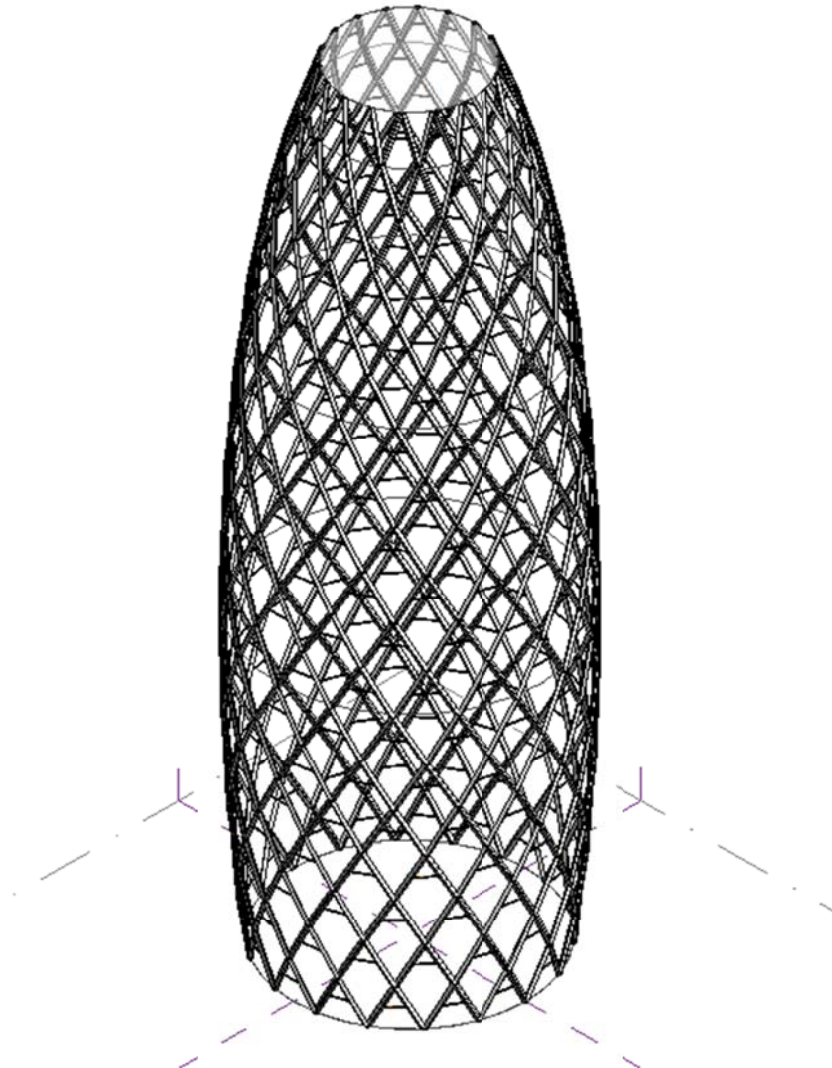


Figura 6.50. Detalle de la estructura de rejilla diagonal, llega hasta la planta 38 de la torre. La unidad de diseño de la estructura diagonal es el marco metálico de acero tubular en forma de “A”, que abarca dos plantas de altura, por tanto su repetición en toda la altura es de 19 veces. En cada planta y en sentido horizontal se repite 18 veces. Elaboración propia con software BIM.

Creación de la estructura, es el segundo “envoltorio del edificio”, ya que va por dentro del primero y más exterior, que es la piel a base de recubrimiento de paneles triangulares planos con doble acristalamiento.

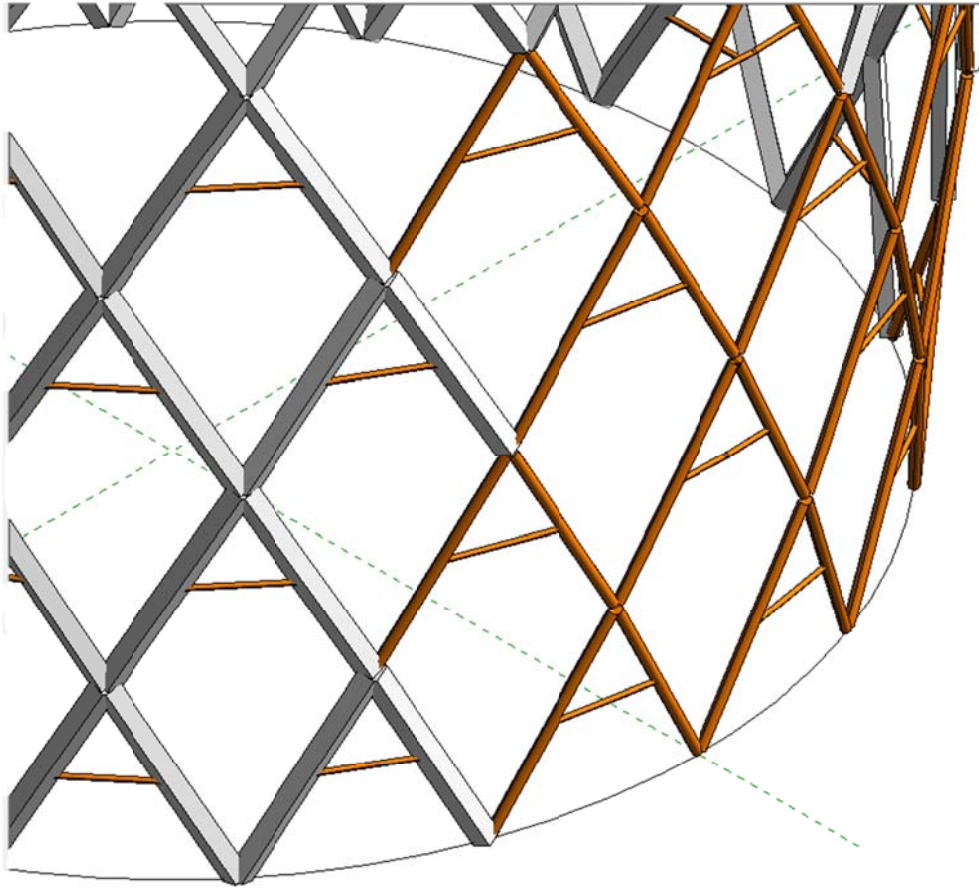


Figura 6.51. Detalle de la estructura de la rejilla diagonal, formada por marcos estructurales en “A” de acero tubular (en color naranja) que convergen en los nodos. Puede apreciarse en la figura (en color blanco) la carcasa de recubrimiento en aluminio que llevan todos los marcos (en algunos se ha quitado para ver su interior). El marco estructural lleva también un aislamiento contra el fuego que es recubierto por la carcasa y cubre dos plantas en su altura. Elaboración propia con software BIM.

6.12. SUELOS DE MASA DEL EDIFICIO

Los suelos del edificio Gherkin serán modelados, utilizando una masa global que será interna a las dos anteriores (piel envolvente y estructura de rejilla diagonal) y contendrá la envolvente del perímetro externo de todos los suelos de las plantas de la torre. Esta masa conceptual quedará gravada como una familia de masas conceptuales, para ser luego insertada en el entorno de

trabajo del proyecto arquitectónico, que previamente tendrá marcados los niveles de todas las plantas que integran la torre.

Esos niveles marcados en proyecto a sus alturas correspondientes, servirán a modo de planos de corte, que intersectarán con la masa anterior, y definirán lo que se llama “suelos por cara” que convertiremos en suelos normales tradicionales.

FAMILIAS ANIDADAS DENTRO DE LA MASA GLOBAL DE SUELOS

Para hacer la masa global de los suelos se sigue el mismo sistema, ya utilizado anteriormente para generar las masas de piel y estructura del edificio. Al igual que antes, se empezará por la colocación de una familia de masas, compuesta por un perfil de forma circular con parámetros variables que son el radio y la altura de ubicación del círculo en el espacio tomando como referencia el plano horizontal del primer nivel de referencia. Esta familia generada anteriormente, será introducida seis veces con sus datos particularizados, y será anidada en otra familia de masas, que es la que la contendrá la forma global de los suelos.

La masa global que se va a crear, va por dentro de la estructura ya generada y separada de esta en los nodos una distancia de medio metro. Con las características que presenta la edificación y desde un punto de vista constructivo, es la estructura la que se realizará y ejecutará primero, sirviendo de referencia para el replanteo de los suelos.

Al abrir el fichero del proyecto, que contiene los elementos individuales piel, estructura, suelos de masa y el conjunto en la vista 3D, que se abre por defecto tecleando VV al desplegar la categoría masas, se desmarcará la subcategoría Forma para que se vean únicamente los suelos de masa. Luego se activa para ver cómo se han creado los suelos de masa en la tercera figura.

DATOS PARA LA CREACIÓN DE LA MASA DE SUELOS DE LA TORRE

Los datos del tamaño de los círculos y sus desfases de altura para crear la masa genérica global de los suelos serán los que se especifican a continuación:

Círculo C₆: radio R₆ = 6,25 m, altura H₆ = 174,80 m (planta 42)

Círculo C₅: radio R₅ = 14,02 m, altura H₅ = 157,70 m (planta 38)

Círculo C₄: radio R₄ = 16,80 m, altura H₄ = 149,40 m (planta 36)

Círculo C₃: radio R₃ = 24,90 m, altura H₃ = 107,90 m (planta 26)

Círculo C₂: radio R₂ = 26,75 m, altura H₂ = 58,10 m (planta 14)

Círculo C₁: radio R₁ = 23,26 m, altura H₁ = 0,00 m (planta 0)

Para crear la masa general M1 de los suelos, se seleccionarán los seis círculos anteriores y se hará clic en el comando Crear masa. La forma de la masa que se busca para la creación de suelos lleva impuesta la restricción o condición de pasar a la vez, por esos seis círculos de radio y altura variable.

Con esos datos, la creación de la masa general será la que aparece en el gráfico siguiente.

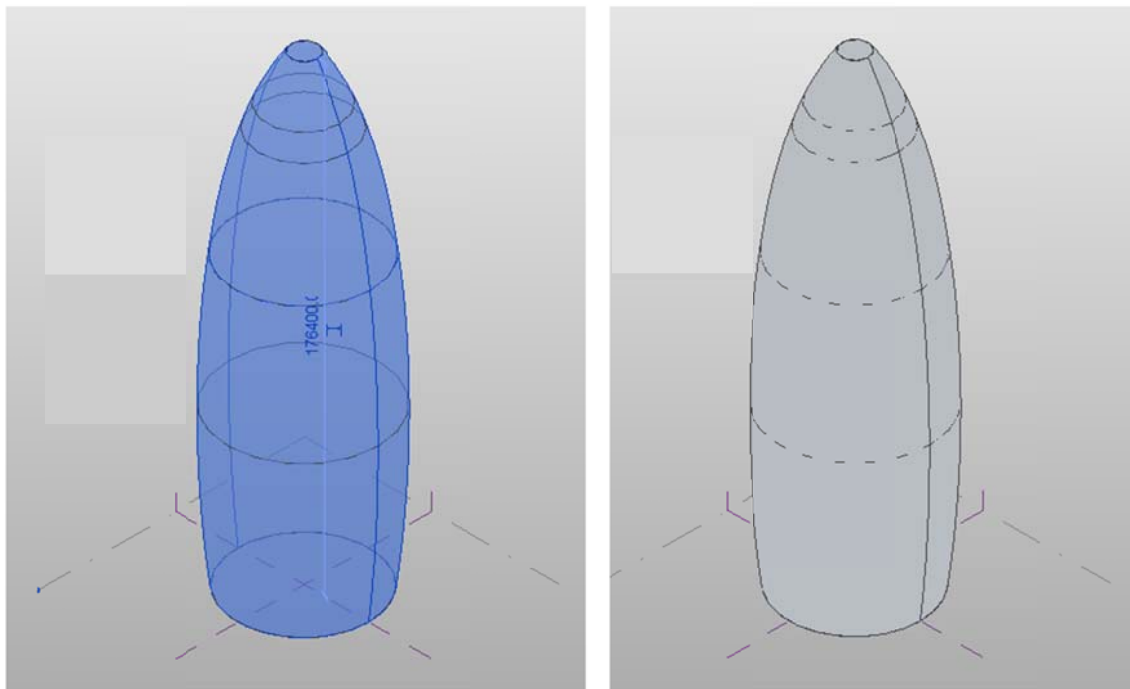


Figura 6.52. Formación de masa a partir de 6 círculos de radio y altura variables para obtención de suelos. Elaboración propia con software BIM.

Esa familia de masa se guardará, para posteriormente cargarla en un archivo de proyecto, que será el proyecto definitivo del edificio para que conformen lo que se llamará suelos de masas, y que se convertirán en los suelos de cada una de las plantas de la torre. Por eso en el proyecto, se habrán definido todos esos niveles a sus alturas correspondientes para que pueda hacerse bien la conversión. En este archivo se cargará también más adelante, el resto de archivos de las familias de masa generadas hasta el momento.

Una vez cargada la familia de masas general de suelos en el proyecto, donde ya están definidos todos los niveles de las alturas de las plantas, se utilizará la conversión de esta masa para la creación de suelos de masa y luego en suelos normales.

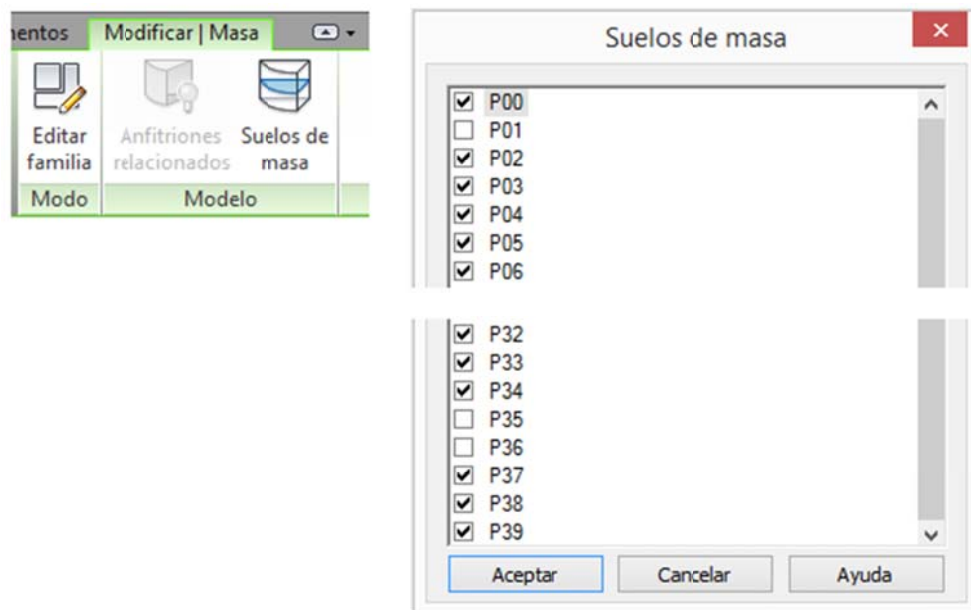


Figura 6.53. Detalle del comando de creación de suelos de masa, y cuadro de diálogo de la selección de los niveles para la creación de suelos de masas, donde se generarán en los niveles seleccionados. Elaboración propia con software BIM.

Una vez realizada la conversión de la masa global en suelos de masa, que representan las intersecciones de esa masa global con los planos horizontales de cada uno de los niveles establecidos en el proyecto; los suelos quedarán reconocidos y serán generados tal y como se representan en el gráfico siguiente.

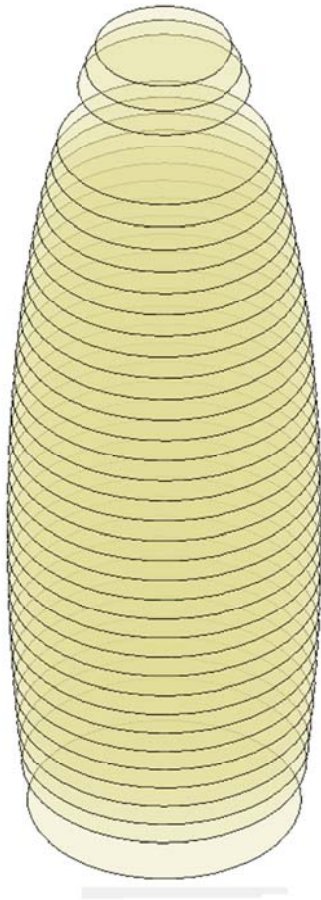


Figura 6.54. Creación de suelos de masas correspondientes a cada nivel. Elaboración propia con software BIM.

Estos suelos de masa que se han creado, no son los suelos definitivos pero se utilizarán posteriormente, para crear los suelos reales más adelante.

6.13. CREACIÓN DE SUELOS TRADICIONALES Y NÚCLEO CENTRAL

Con los suelos de masas ya creados en las alturas marcadas por los niveles correspondientes del punto anterior, es posible convertirlos en suelos tradicionales, ya definidos tomándolos del selector de tipos. Se utilizará el comando Suelo por cara, que convierte un suelo de masa en un elemento constructivo o suelo tradicional.



Figura 6.55. Detalle de creación de suelos de cada planta partiendo de los suelos de masas obtenidos al ser seccionada la masa, y determinar los niveles por donde serán realizadas sus intersecciones con estos. Elaboración propia con software BIM.

6.14. CREACIÓN DE LOS SEIS VACÍOS DE PATIOS EN ESPIRAL.

Ahora se crearán los seis patios helicoidales por planta, o vacíos triangulares en espiral, que se distribuyen a lo largo de todo el contorno perimetral del edificio y recorriendo su altura, formando en planta ángulos de 60° entre ellos. Estos patios triangulares no están situados en la misma vertical sino que van rotando, desde el centro del edificio a medida que se asciende de planta, un ángulo de 5° en sentido horario. Se realizarán mediante el comando de Abertura de agujero en la

pestaña Arquitectura del grupo Hueco. Esto creará un hueco vertical que será configurado para que atraviese el grosor del suelo sobre el que se crea.

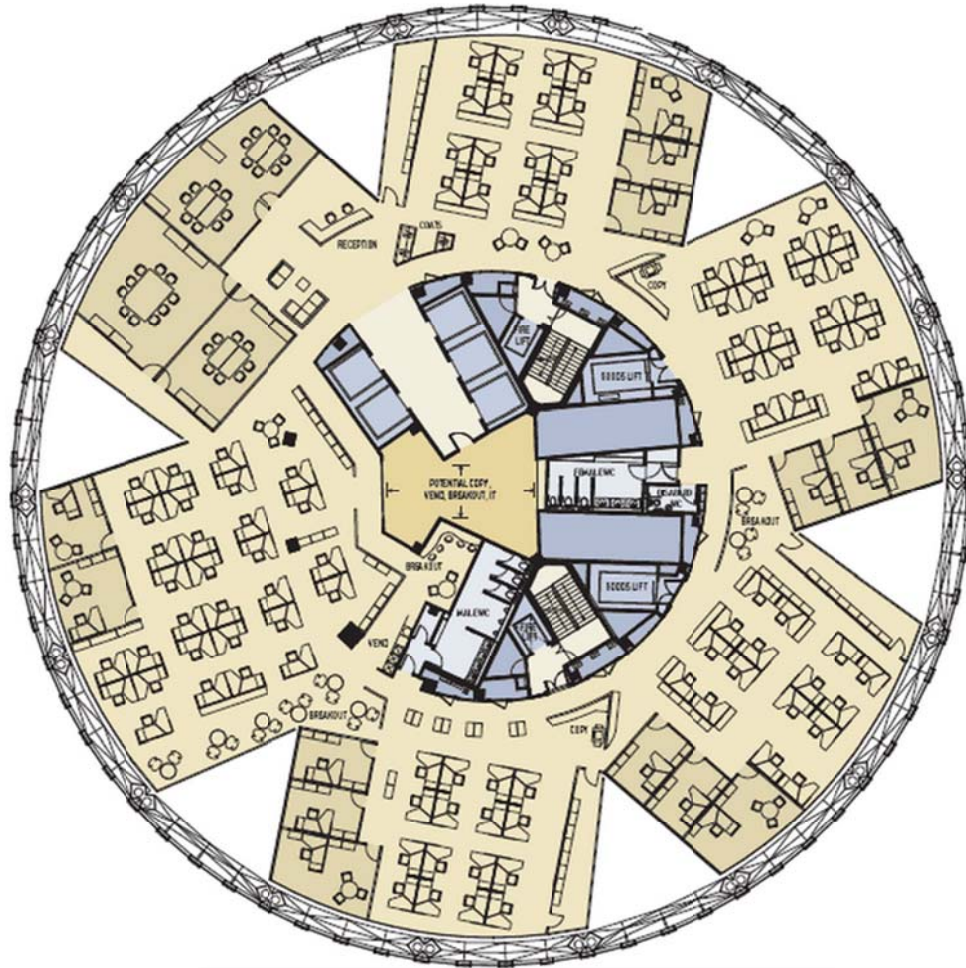


Figura 6.56. Detalle de una planta genérica de la torre, donde pueden verse la ubicación de los seis patios triangulares helicoidales que ascienden a lo largo de la altura del edificio. Fuente: Internet.

Dibujan primero dos planos de referencia y dos líneas de rejilla ortogonales para que sirvan de construcciones auxiliares en la creación a realizar. Con esto se tiene la circunferencia del edificio dividida en seis partes de 60°.

Se realiza la primera abertura de agujero situándose en el suelo de la planta del nivel 5, ya que es en esta planta donde empieza el arranque del primer patio espiral, según puede verse en el gráfico de la figura adjunta.

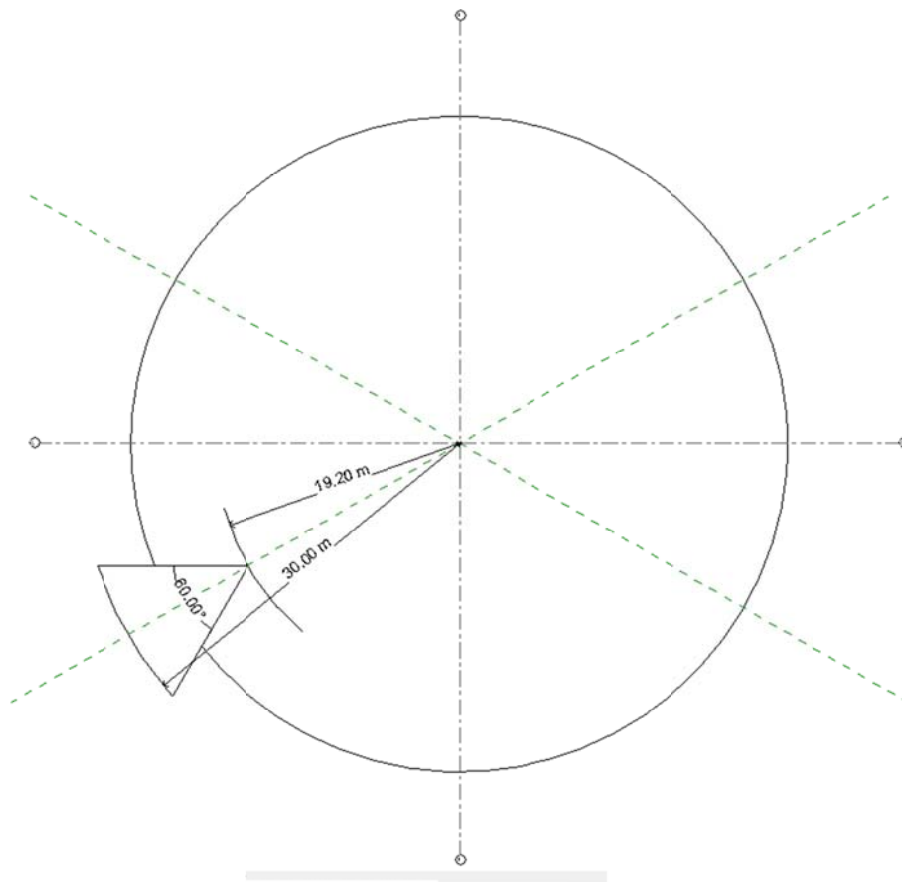


Figura 6.57. Detalle de la situación y dimensiones de uno de los patios triangulares helicoidales. En línea discontinua pueden verse los ejes radiales formando ángulos entre sí de 60°, donde irán distribuidos en la planta actual el resto de los patios triangulares existentes hasta completar los seis. Elaboración propia con software BIM.

Las propiedades de abertura de agujero creado tienen las siguientes propiedades dentro de Restricciones: Desfase superior 0,00 m, Desfase de base -1,85 m, Altura desconectada 2,30 m, Restricción de base Nivel 5 y Restricción superior No conectada.

Una vez creada la primera abertura de agujero en el suelo seleccionado (Nivel 5), realizada en el plano de planta empezando desde el nivel 5 que es donde empiezan los vacíos en espiral, se selecciona dicho hueco o abertura y mediante el comando Matriz, Matriz radial con giro de 60°, respecto del centro del edificio y con número de repeticiones 6, son generados los 6 vacíos existentes en esa planta.

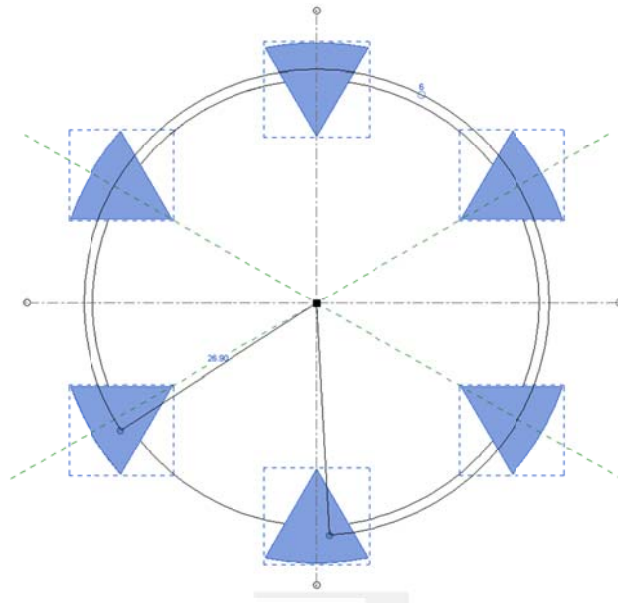


Figura 6.58. Detalle de la creación de una matriz de repetición radial de uno de los patios que sirve de base para su ejecución. El eje radial que conforma cada patio con el siguiente abarca un ángulo de 60°. Elaboración propia con software BIM.

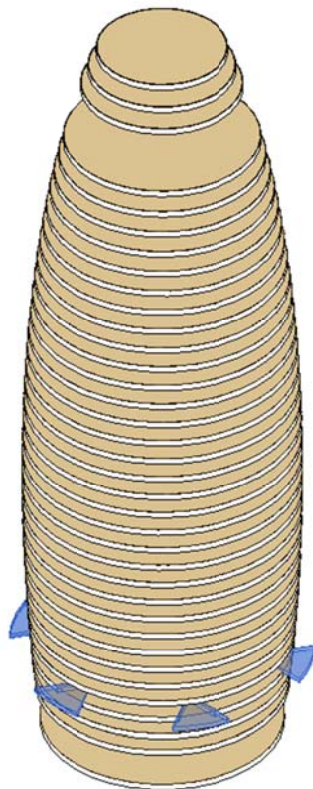


Figura 6.59. Detalle de las aberturas de agujero creadas en el suelo (nivel 4) de la planta de la torre. Estas aberturas serán restadas del suelo para dar los huecos de los patios helicoidales. Elaboración propia con software BIM.

Con esas 6 aberturas de agujero creadas anteriormente y seleccionadas con el cursor del ratón (vista en planta), se genera un grupo con el comando Crear grupo del grupo Crear, para copiar en las plantas superiores. A dicho grupo se le dará el nombre de “Abertura agujeros planta” y quedará añadido en el Navegador de proyectos dentro de Grupos > Modelo, con el nombre asignado.

En la vista en planta del nivel 5, se selecciona con el cursor el grupo anteriormente creado y se copia en el portapapeles. Luego se pega con el comando Alineado con niveles seleccionados y se seleccionan los niveles 6, 7, 8 y 9.

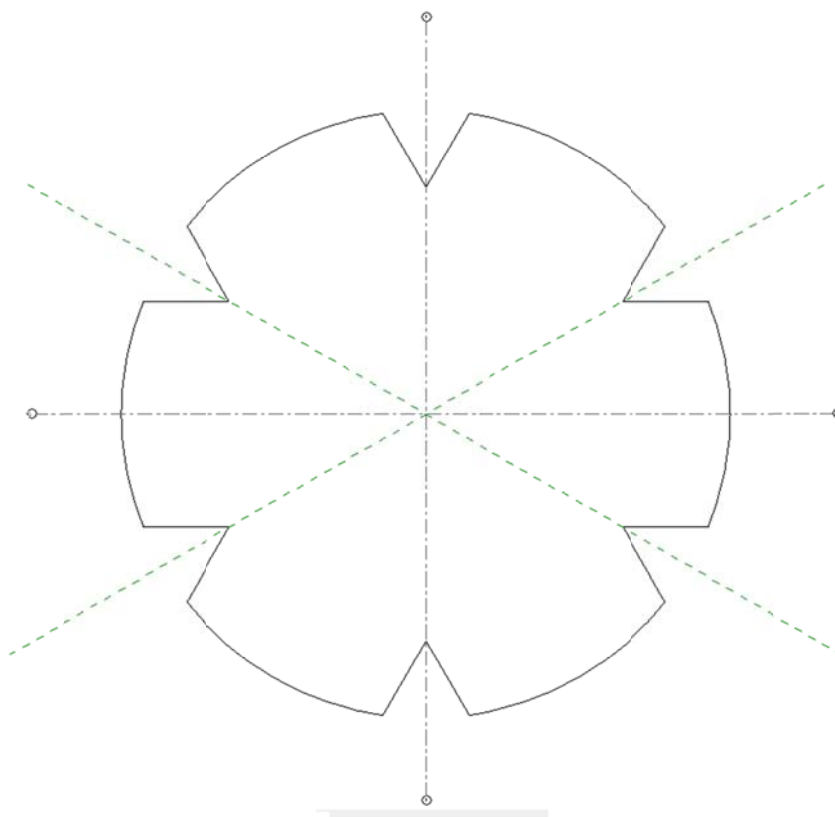


Figura 6.60. Detalle del suelo de la planta, después de la introducción de las seis aberturas de agujero que forman los patios helicoidales de la torre. Elaboración propia con software BIM.

Una vez copiado el grupo Abertura agujeros planta en sus niveles correspondientes y situándose en cada una de esas plantas, empezando por la planta siguiente a la de creación del grupo inicial, es decir, por la planta del nivel 6, y se gira 5º, en sentido horario dicho grupo. Se hace lo mismo en las plantas superiores, hasta terminar con la planta del Nivel 9. Se habrá generado con esto el modelo que aparece en la figura siguiente.

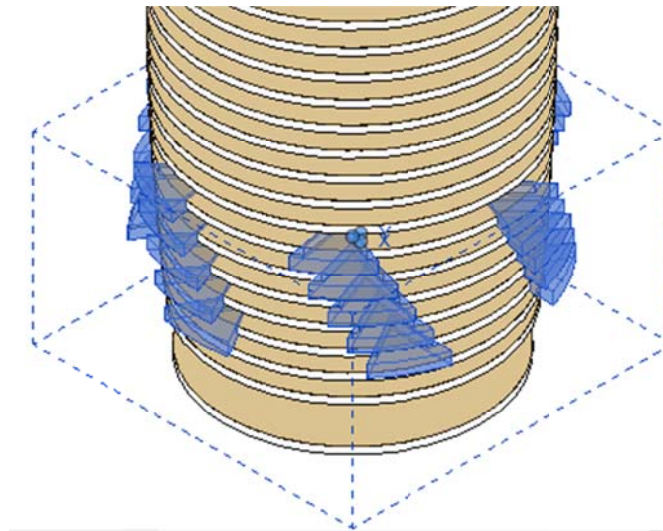


Figura 6.61. Detalle de las aberturas de agujero, que se repiten de planta en planta por grupos de seis y con su giro incluido. Nada impide hacer un grupo nuevo que esté formado por otros grupos anidados, para repetir el proceso en las plantas superiores y agilizar el modelado completo de los patios. Elaboración propia con software BIM.

En el paso siguiente, se seleccionan las 5 plantas anteriores y para convertirlas en un grupo que se repetirá periódicamente en las plantas superiores. Al igual que se hizo para crear un grupo con las seis aberturas de una planta, ahora se crea otro grupo, que estará formado por la incorporación de esas cinco plantas con sus giros por planta ya introducidos. A este grupo se le dará el nombre de “Aberturas 5 plantas”.

Se copia el grupo anteriormente creado de 5 plantas al portapapeles seleccionándolo previamente, y luego se pega con la opción Alineado con niveles seleccionados y se elige para el pegado el nivel 10. Una vez pegado, se selecciona el grupo y se gira $5^\circ \times 6 \text{ plantas} = 30^\circ$, en sentido horario. Se repite la misma operación anterior de copiado al portapapeles, pegado al nivel seleccionado, y giro posterior de 30° , cuatro veces más.

Los grupos creados en las operaciones anteriores, y los niveles que abarcan cada uno de ellos son los que se especifican a continuación:

Grupo 1: Niveles 5, 6, 7, 8 y 9

Grupo 2: Niveles 11, 12, 13, 14 y 15

Grupo 3: Niveles 17, 18, 19, 20 y 21

Grupo 4: Niveles 23, 24, 25, 26 y 27

Grupo 5: Niveles 29, 30, 31, 32 y 33

Las aberturas de las cuñas de los vacíos en los pisos nacen el piso 5, y terminan en el piso 33. Una vez realizado todo lo anterior, se obtiene el resultado que puede verse en las diversas fases de inserción de los grupos en la figura siguiente.

Con este recurso se obtienen la totalidad de las aberturas espirales de la torre.

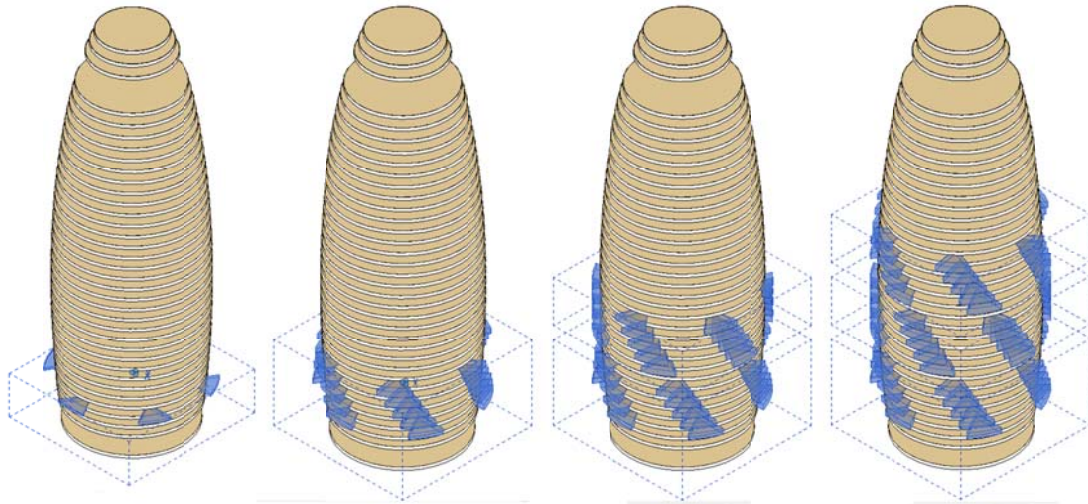


Figura 6.62. Detalle del proceso de repetición de grupos anidados, para formalizar el modelado de todo el conjunto de los patios helicoidales de la torre. Elaboración propia con software BIM.

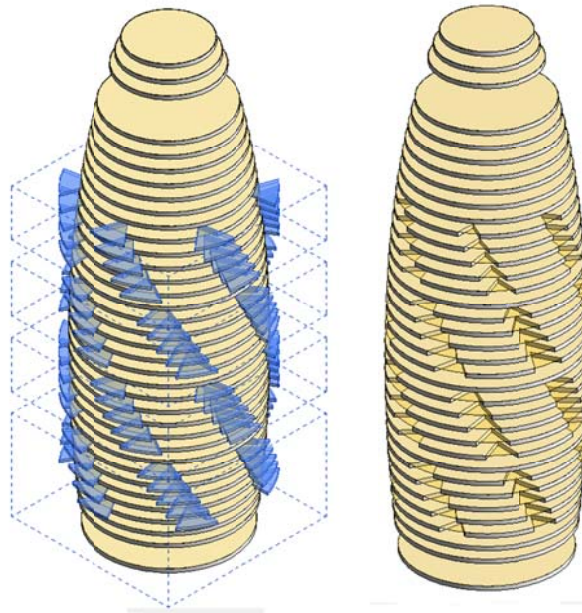


Figura 6.63. Detalle del desarrollo de los patios helicoidales. Por la normativa contra incendios se prohíbe la comunicación vertical de todos los patios, y cada seis alturas se interrumpe esta comunicación. Elaboración propia con software BIM.

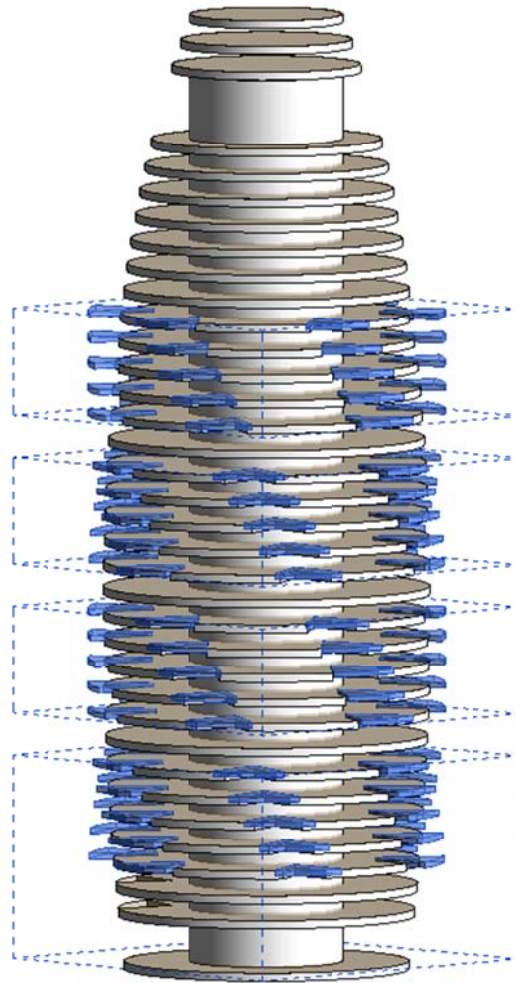


Figura 6.64. Otra vista de la preparación necesaria. Detalle de encuentros suelo con piel de cierre exterior de la torre. Elaboración propia con software BIM.

6.15. CREACIÓN DEL ELEMENTO DE TRANSICIÓN ENTRE LA PIEL DEL EDIFICIO Y EL SUELO: BORDES DE LOSA

Los pisos del edificio se encuentran con la piel exterior formada por los paneles de doble acristalamiento (vidrio templado 10mm + cámara aire 16mm + vidrio compuesto seguridad 2 x 5 mm), mediante un elemento metálico intermedio de tránsito, que es un borde de losa como puede verse en el detalle de figura siguiente, perteneciente a la torre Swiss Re. El suelo propiamente dicho, es de hormigón armado con un canto de 16 cm para minimizar su carga, con

encofrado colaborante de chapa metálica plegada. El resto del espesor hacia abajo lo conforma el falso techo y sus instalaciones.

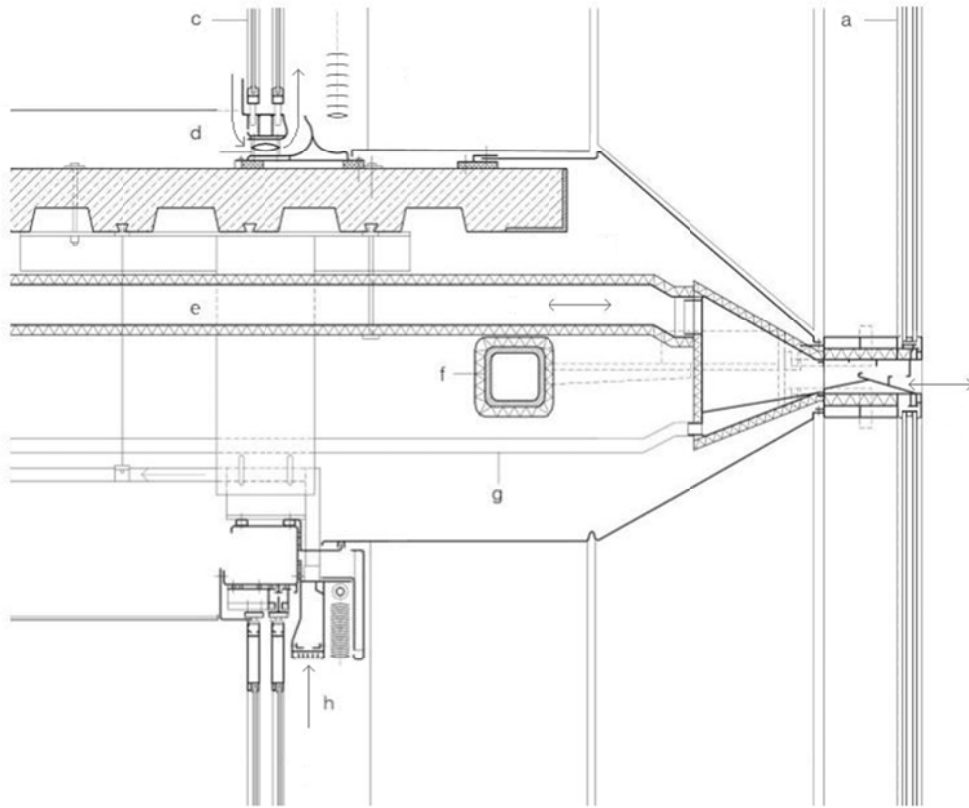
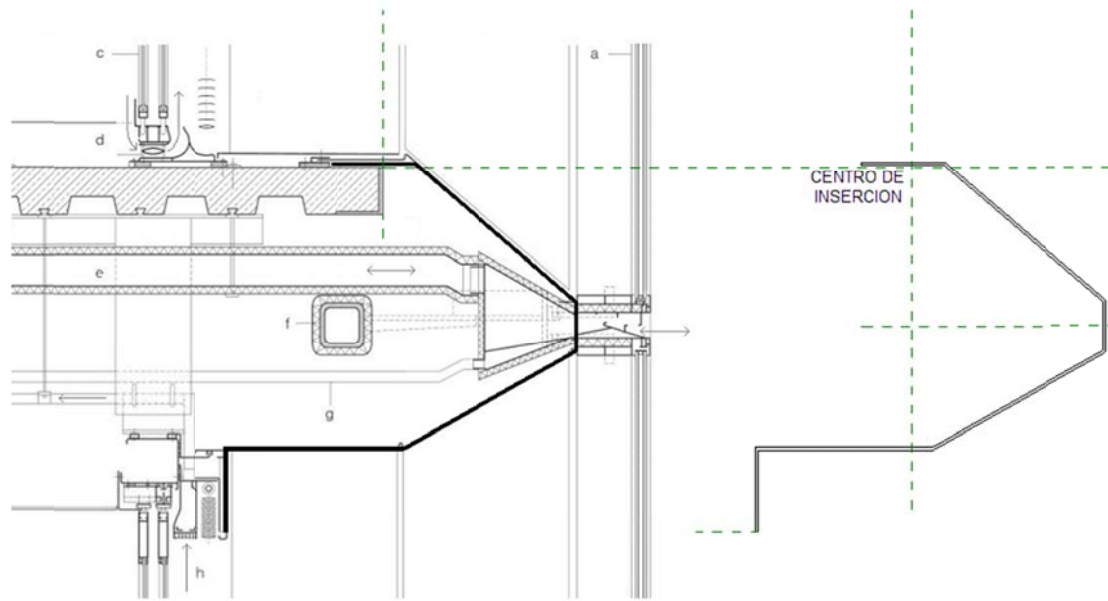


Figura 6.65. Detalle de la sección de encuentros del suelo con piel de cierre exterior de la torre. Fuente: Revista "Detail" Dic 2003 – Ene 2004.

Para proceder a su modelado es necesario primero convertir los suelos de masa en suelos normales convencionales. El espesor total del suelo incluyendo el falso techo es de 1,40 metros, ya que la altura de cada planta es de 4,15 metros y la altura de suelo terminado a techo terminado es de 2,75 metros.

INSERCIONES DE LOS BORDES DE LOSA EN PLANTAS TORRE

Basándose en la sección de la figura anterior, es posible crear un perfil de borde de losa con las mismas medidas que presenta la sección para insertarlo en el borde de la losa del suelo. Se utilizará para ello la plantilla de familia "Perfil métrico.rft", al perfil se le dará el nombre de "borde losa gherkin.rfa"



CREACION DEL PERFIL DE BORDE DE LOSA

Figura 6.66. Detalle de la creación del perfil del borde de losa que será ejecutado en chapa de aluminio en los encuentros de las cabezas de forjado con el cerramiento de paneles acristalados de muro cortina de fachada. Elaboración propia.



Figura 6.67. Detalle de la creación del perfil del borde de losa que será ejecutado en chapa de aluminio en los encuentros de las cabezas de forjado con el cerramiento de paneles acristalados de muro cortina de fachada. Fuente: © Norman Foster.

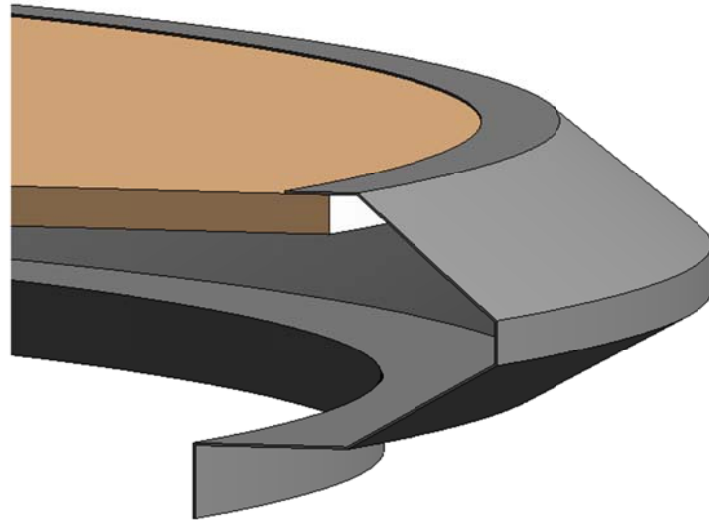


Figura 6.68. Detalle de la incorporación al suelo del borde de losa exterior. Sección de encuentros del suelo con piel de cierre exterior de la torre. Elaboración propia con software BIM.

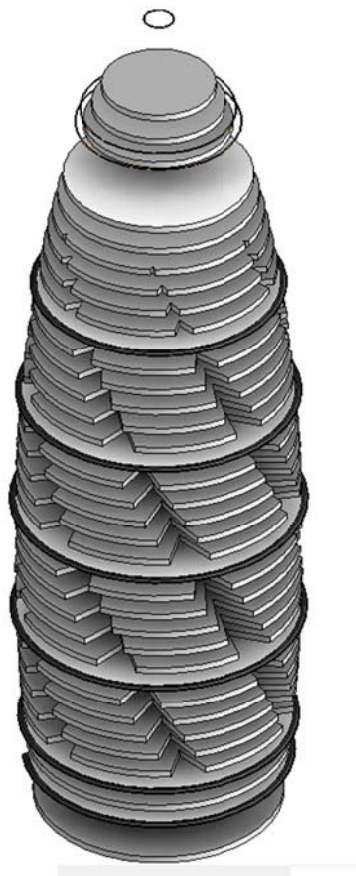


Figura 6.69. Vista de conjunto del detalle de la configuración de huecos formados por los patios helicoidales y el borde exterior de remate de la losa del suelo. Elaboración propia con software BIM.

6.16. REMATE DEL ÓCULO CURVO DE LA CÚPULA

La cúpula acristalada de remate superior de la torre es el único elemento curvo de todo el edificio. Para su creación se realizarán dos elementos de masa que rotaciones, una que conformará el cristal curvo y la otra que dará el elemento del anillo perimetral de engarce con él.

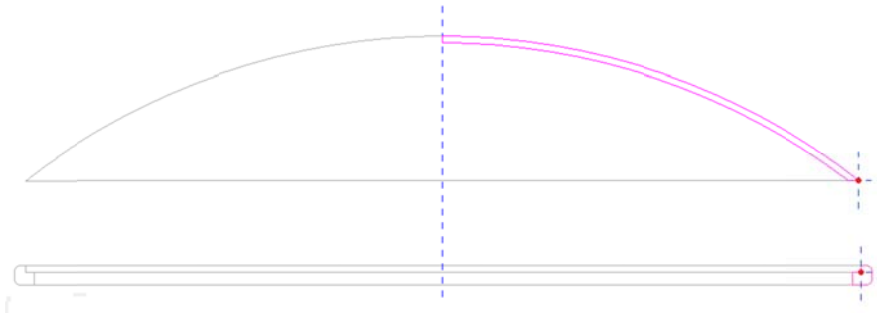


Figura 6.70. Creación del cristal curvo de remate y cubrición que conforma el óculo de la cúpula. Se ha realizado mediante una rotación de dos líneas cerradas del perfil y una línea de eje de giro. Elaboración propia con software BIM.

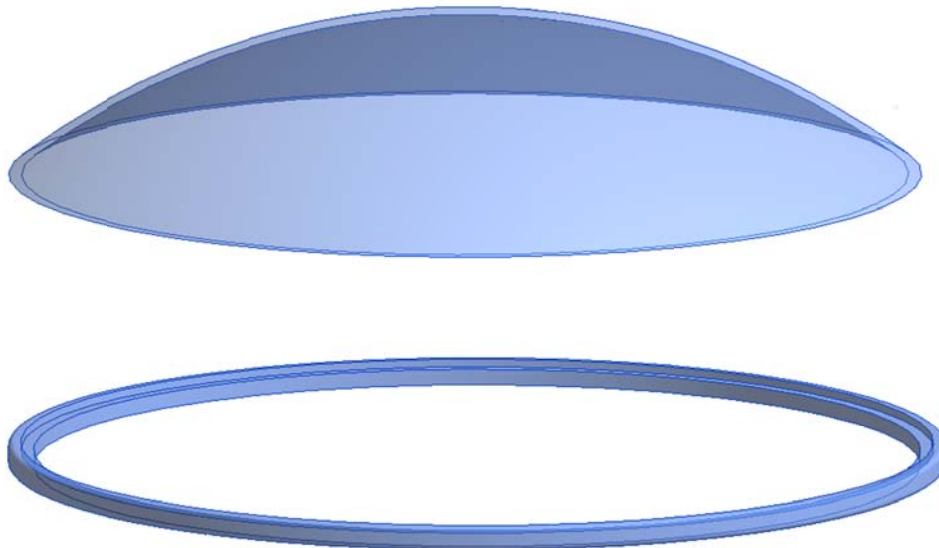


Figura 6.71. Creación del remate superior que cierra el óculo de la cúpula. Elaboración propia con software BIM.



Figura 6.72. Vista de conjunto del detalle terminado de la cubrición acristalada del óculo de la cúpula. Elaboración propia con software BIM.



Figura 6.73. Vista del cristal curvo de recubrimiento y remate del óculo central de la cúpula. Fuente: Internet.



Figura 6.74. Vista en planta del detalle de remate de la zona superior de la cúpula de la torre con la disposición del remate acristalado del óculo de la cúpula. Fuente: Internet.

6.17. ENSAMBLAJE DEL EDIFICIO. BIM CON MASAS CONCEPTUALES, FLUJO DE TRABAJO

Hacer BIM con masas conceptuales implica el seguimiento de una metodología de trabajo rigurosa, donde aparezcan modelados todos los elementos que compongan la construcción; y que a su vez, queden todos ellos relacionados e insertados de una manera correcta dentro del todo. Las partes constitutivas del modelo deben estar perfectamente interrelacionadas entre sí para conformar el todo. Debe producirse la coordinación de todos los elementos que definen el modelo para que sean únicos, y no se produzcan duplicidades, que en la medición y gestión de esos

elementos introducidos falseen la información de los resultados. También se incorporará información relevante para el diseño, construcción o mantenimiento del modelo del edificio.

En el estudio realizado de la torre Swiss Re, se ha ido descomponiendo el edificio para detectar todas sus partes integrantes, tanto del exterior como del interior, y cómo y cual es su relación entre ellas, de cara a poder dar una respuesta precisa y coherente al modelado de las mismas. Dentro del todo, se han buscado partes en las que se hayan dividido sus componentes, los elementos dentro de un todo; de tal manera que no haya duplicidad ni repetición de elementos dentro del proyecto, y sean susceptibles de poder ser medidos y gestionados de manera autónoma e individual.

Cuando las formas a manejar son complejas por su singularidad y el grado de libertad de las mismas no permite la utilización de familias de sistema, como en el caso del presente ejemplo práctico, el empleo de familias de masas conceptuales se hace imprescindible de cara al modelado de formas libres que dan respuesta a los diseños de geometrías cada vez más complejas.

Para proceder al ensamblaje de todas las masas modeladas que conforman las partes del edificio, el flujo de trabajo seguido será primero el de abrir un archivo en el entorno de proyectos y en ese archivo de proyecto, se cargarán todas las familias de masas modeladas con anterioridad, y se insertarán de tal manera que los ejes verticales de referencia de las mismas sean coincidentes para que se superpongan correctamente unas dentro de las otras, tal y como queda reflejado en la figura siguiente.

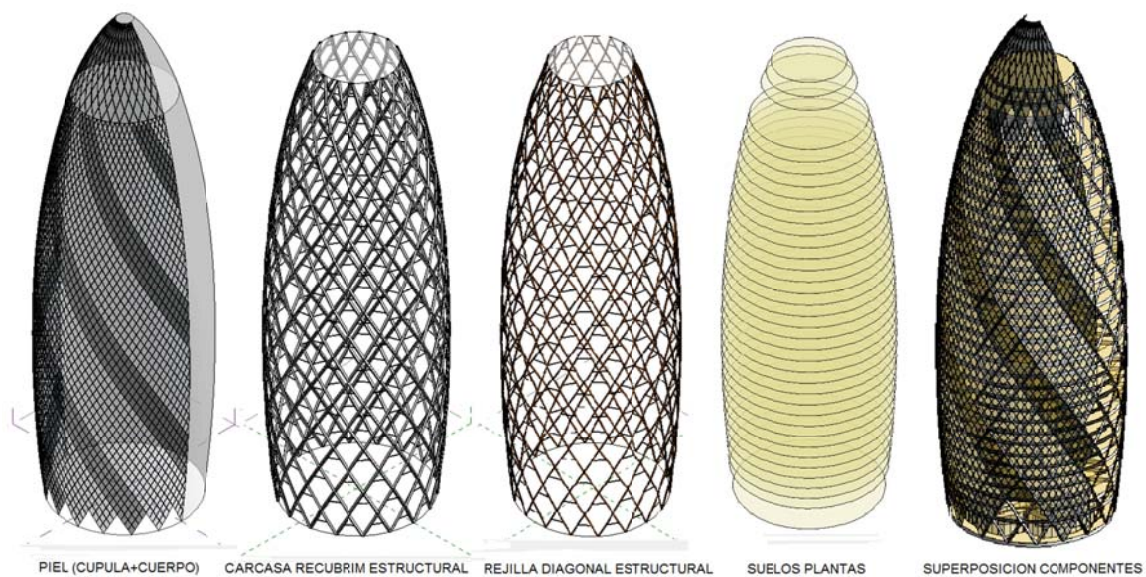


Figura 6.75. Detalle de las distintas partes de los componentes en que se divide el edificio. Más adelante se estudiará el flujo de trabajo y las fases de todo el montaje del edificio. Elaboración propia con software BIM.

Una vez “descompuesto y diseccionado” todo el edificio, se está en condiciones de poder acceder a su comprensión y entenderlo y “recrearlo”, una vez modelado en toda su complejidad.

6.18. DESARROLLO ANALÍTICO DEL MODELADO BIM CON MASAS

Una vez modelado todo el edificio, habría que proceder el estudio y las implicaciones de la parte analítica métrica. Consistiría en recabar todos los datos necesarios del modelado, básicamente los geométricos, para poder replantearlo y restituirlo a la realidad constructiva y en este caso, también dar las medidas exactas para el montaje en taller de las piezas necesarias (nodos estructurales). El punto más relevante de todos en esta fase sería el de la ejecución material y posterior replanteo de los nudos estructurales y del resto de la estructura “diagrid” (diagonal grid), ya que el resto de tareas (cubrición de la piel del edificio con paneles, etc.) tomarán como referencia la estructura replanteada y ejecutada.

Los marcos estructurales de acero tubular en “A” de la estructura, vienen montados de fábrica con la incorporación del nudo de unión en cabezas. Se hace imprescindible su estudio geométrico analítico para poder dar todos los datos a fábrica, y proceder a su montaje exacto en taller, para

luego ensamblar el resto de marcos estructurales. Estos nudos son diferentes en cada una de las plantas; ya que el grueso de las columnas en la estructura diagrid aumenta en la base del edificio y disminuye a medida que asciende. Y además, el plano que conforma ese marco estructural triangular en A cambia de ángulo con respecto a la vertical en cada uno de los nudos en altura de cada planta. Por eso es la pieza de los nudos la que más problemas plantea de cara a su ejecución en taller y replanteo en obra.

El ángulo de cada plano de apoyo de las columnas diagrid (representado en azul en el gráfico) y el de su abertura, va cambiando desde la base a medida que ascendemos en altura, siendo distinto en cada nudo de altura superior. Es debido a que los diámetros de la planta del edificio son cambiantes en cada planta, aumentando primero para disminuir después.

En los apartados siguientes se aborda el cálculo de estos elementos, y el resto de datos que harían falta para la ejecución en taller. Este estudio analítico se realizará también utilizando el modelado algorítmico; utilizando el editor gráfico de algoritmos Dynamo con el que se podrá recabar todos los datos de diseño necesarios para su ejecución en taller.

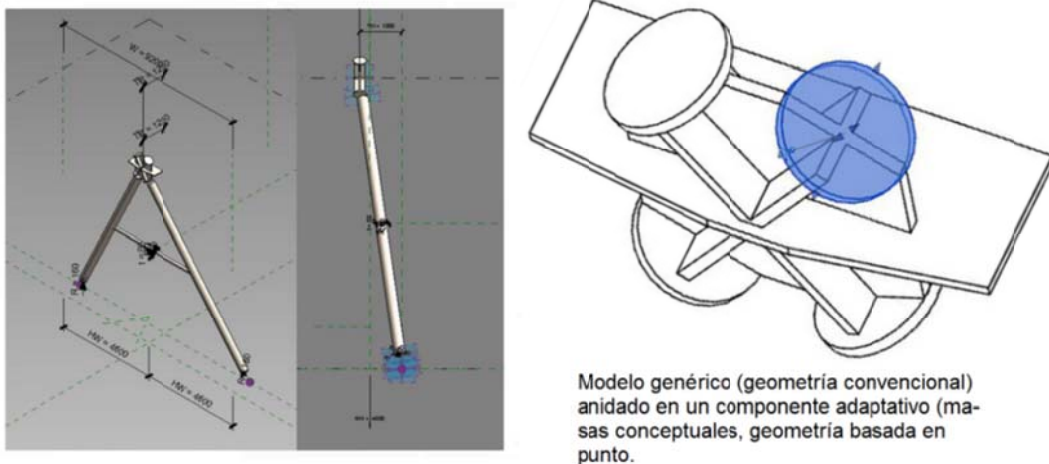


Figura 6.76. En la zona izquierda detalle del marco estructural metálico en “A” con el montaje de su nudo incorporado de taller en la zona superior de la “A”. En la zona derecha dicho nudo aislado con los cuatro puntos de unión y del nudo de unión de los mismos. Fuente: <http://grevity.blogspot.com.es/2011/12/grasping-gherkin.html> de Adrew Milburn.

En el edificio real puede verse que se utiliza la estructura diagonal metálica para proceder al replanteo del resto de elementos que definen el contorno de la piel exterior. La piel se separa de la estructura que le sirve de referencia para su ejecución.

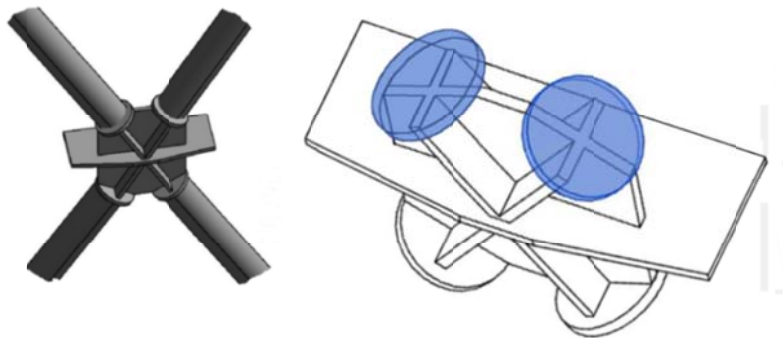


Figura 6.77. Detalle del nodo estructural metálico que viene ensamblado de taller, solamente en la zona superior del marco estructural metálico en forma de "A". Es una de las piezas más importantes de todo el montaje de la torre ya que los ángulos que forman los planos de apoyo (zona coloreada en azul) parte donde con ángulo de los encuentros de rejillas diagonales. Fuente: Fuente: <http://grevity.blogspot.com.es/2011/12/grasping-gherkin.html> de Adrew Milburn.

Los nodos estructurales deberán utilizar como datos analíticos, para su correcta ejecución y dimensionado, el ángulo de inclinación de cada uno de los marcos estructurales metálicos, tubulares de acero con la vertical, que van cambiando en cada planta al cambiar los diámetros de las plantas.



Figura 6.78. Detalle del nodo estructural metálico. Ha sido minuciosamente diseñado para el ensamble con el resto de la estructura, para su unión con el resto de los encuentros con los otros marcos estructurales en "A". Esta pieza viene montada en taller. Fuente: Internet.



Figura 6.79. Detalle del encuentro estructural en nodo de la rejilla diagonal de acero tubular. Los marcos estructurales en "A" vienen montados de taller. Fuente: Internet.

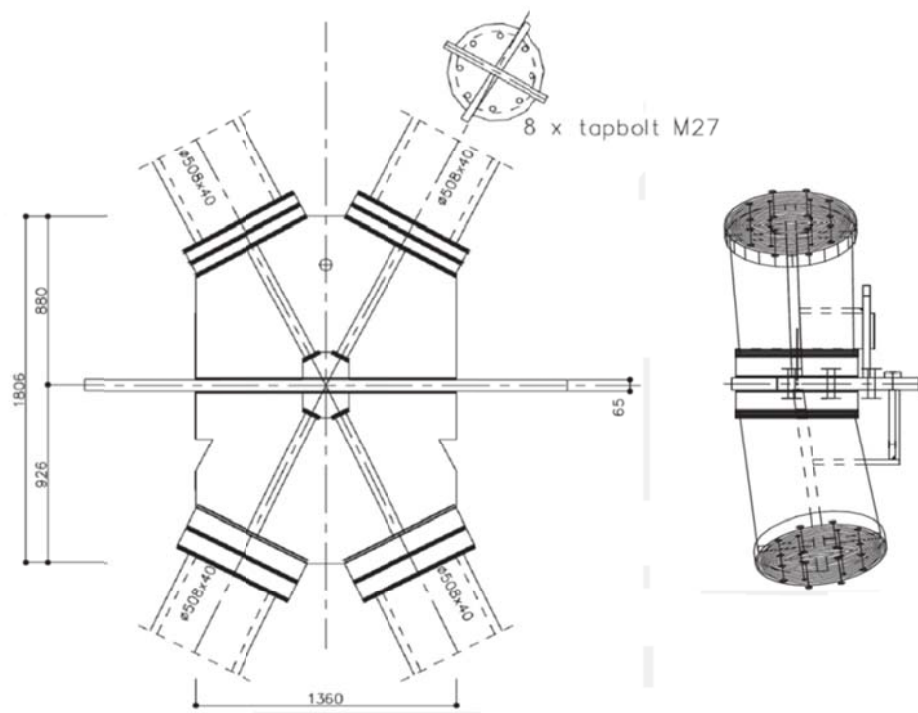


Figura 6.80. Detalle del nudo estructural de encuentro de los marcos metálicos en "A" que conforman la rejilla diagonal del edificio, con sus medidas en centímetro. Fuente: Revista "Detail" Dic 2003 – Ene 2004.

6.19. OBTENCIÓN DE LOS ÁNGULOS DE INCLINACIÓN CON RESPECTO A LA VERTICAL DE LOS MARCOS ESTRUCTURALES EN A.

En cada nudo estructural de la rejilla diagonal exterior del edificio confluyen en su parte superior las terminaciones de los extremos de las partes inferiores de dos marcos estructurales en "A" de acero tubular distintos, y por su parte inferior en encuentro superior de la "A" del marco estructural. Este es uno de los puntos más importantes de consideración de todo el conjunto, de cara a la correcta ejecución constructiva de la torre; ya que cada marco estructural en "A" trae montado de taller en su zona superior el nudo formado por piezas que vienen montadas en taller. Estas piezas especiales contienen el plano de apoyo de la platabanda con el ángulo exacto para el encuentro en cada nudo con el resto de los marcos de las plantas superiores. Dicho ángulo es distinto en cada planta por la geometría de la superficie exterior de la torre.

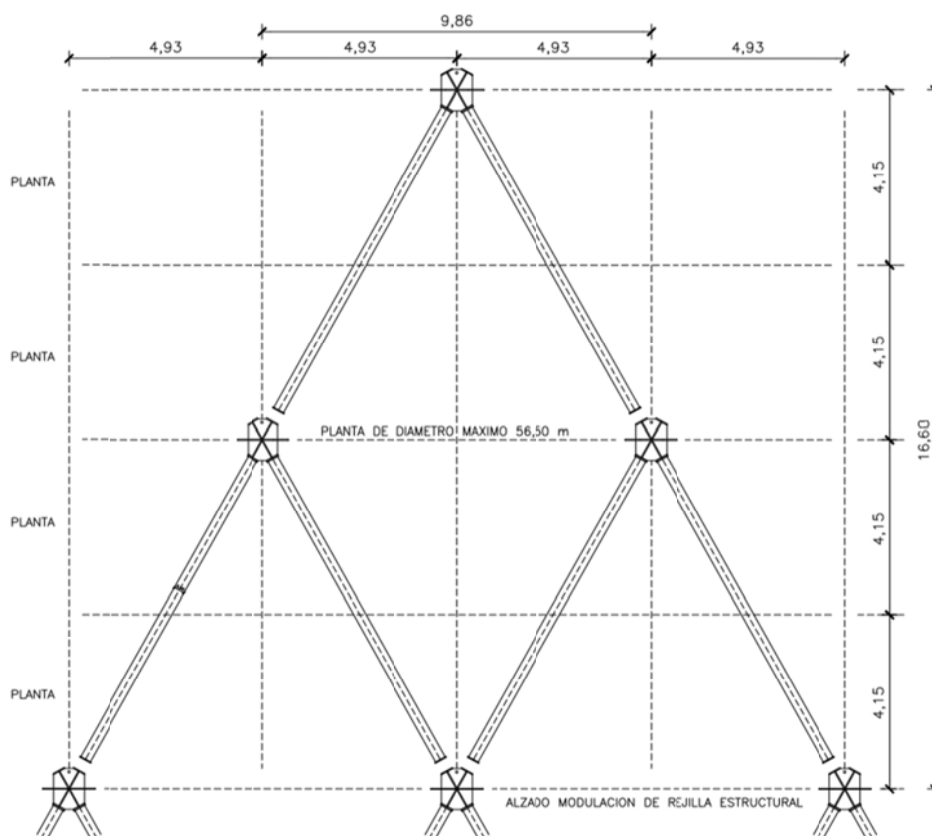


Figura 6.81. Detalle del esquema de organización de la unión del entramado de los marcos estructurales en "A" de acero tubular. Elaboración propia. Fuente: © Revit.

Para proceder al cálculo de los ángulos que forman los marcos estructurales metálicos en cada una de las plantas con la vertical y así poder diseñar el nodo con los ángulos de apoyo que forman los planos de las platabandas, se recurrirá a la creación de una familia que dibuje un triedro de referencia que se oriente en cada nodo con el plano que forma el marco metálico en "A" y que pase por él. Para ello, la familia incluye tres puntos adaptativos que se situarán en el espacio (en nuestro caso en tres puntos del triángulo que conforma el marco metálico en "A") formando un plano, con respecto al cual se dibujarán tres ejes de un triedro, uno de los cuales dará su perpendicular al plano formado por los 3 puntos adaptativos, que son los que orientan el triedro.

Con esto se conseguirá apoyar dos ejes del triedro en el plano del marco estructural en "A" que pasa por el nodo y el tercer eje dará la perpendicular al plano anterior pasando por el punto del nodo. Con lo que se consigue saber el ángulo buscado por ser el ángulo complementario del que forma el eje anterior con la vertical. Primero se creará la familia en el entorno de masas se gravará, para posteriormente cargarla en el proyecto donde se encuentre la estructura y pueda utilizarse.

6.20 CREACIÓN DE LA FAMILIA COORDENADAS ADAPTATIVAS, TRIEDRO DE REFERENCIA

Para la creación de la familia que insertará en el espacio de trabajo un triedro de referencia, se comprobará antes de nada, que pertenece a la categoría de Modelo genérico, y dentro de los Parámetros de familia únicamente la variable "Compartido" estará activada, el resto estarán sin marcar.

Se utilizará para su creación la plantilla de Masas con el nombre "Modelo genérico métrico Adaptativo.rft". Se introducirá un punto de referencia que se hará adaptativo y que será el centro del triedro de referencia que formen tres ejes. Se creará en el centro del punto adaptativo anterior un semicírculo con radio 50 mm. y después se acotará, para convertir esa cota de radio, en variable paramétrica, dándole a la variable el nombre de Centro R = 50 mm.

Para diferenciar los ejes del triedro de referencia de la familia, se crearán materiales que tendrán asignados distintos colores para cada eje (rojo, verde y azul).

Luego se dibujará la línea del eje que representará por anidamiento cada una de las direcciones del triedro de referencia y se convertirá en una masa. Para hacer esto se abrirá una nueva familia (con la plantilla “Modelo genérico métrico Adaptativo.rft”) y en ella se modelará una flecha que servirá para anidarla tres veces seguidas en cada uno de los planos que conforma el punto adaptativo generado al principio. La figura siguiente refleja esta construcción.

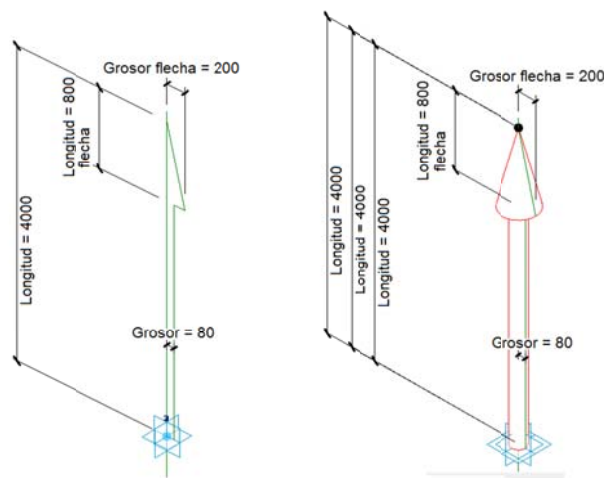


Figura 6.82. Creación de una familia que incorpora ejes locales de referencia. Esta familia creará un triedro de referencia. Contiene internamente 3 puntos adaptativos que harán que se oriente el triedro, en base al plano que conforme la ubicación espacial de esos 3 puntos adaptativos. Elaboración propia con software BIM.

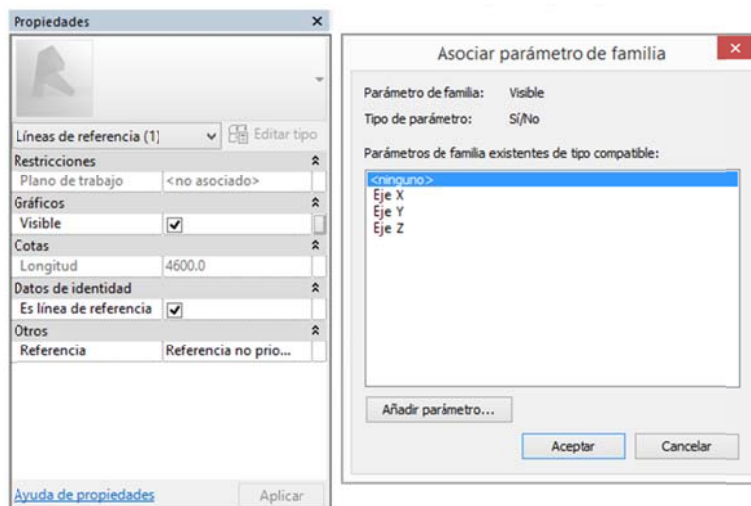


Figura 6.83. Detalle de la Paleta de propiedades con los datos de la familia. Elaboración propia con software BIM.

Una vez que se tiene la familia adaptativa que representará cada uno de los ejes del triedro local de referencia se procederá a cargarla para anidarla en la familia inicial. Será cargará tres veces una por cada uno de los ejes de referencia de coordenadas. Se empezará cargando la familia para el eje X color Rojo. Cuando se cargue en la paleta de propiedades, en el selector de tipo, aparecerá el nombre del eje X, Y, Z. Y dentro de esa paleta se editará el tipo y dentro de los Parámetro de tipo, en el apartado Otros, se hace clic dentro del cuadradillo blanco a la derecha del parámetro eje X, y se hará clic en Aceptar. La familia quedará como puede verse en la figura siguiente.

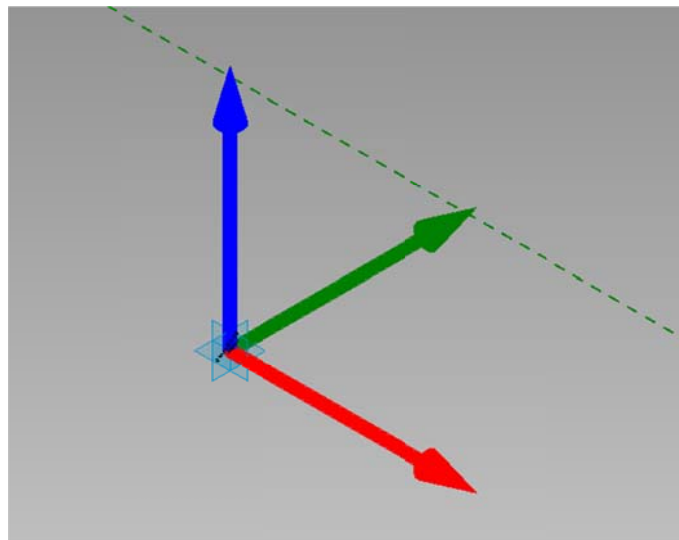


Figura 6.84. Detalle de creación de la familia que dispone de un sistema de ejes coordenados de referencia. Que se orientan en el espacio. La familia dispone de tres puntos adaptativos que definen un plano en el espacio, coincidente con el de la superficie donde se quiere insertar. Elaboración propia con software BIM.

Esta familia de componente creada, representa un triedro orientado con los ejes locales de referencia, que pueden colocarse en dos situaciones diferentes a saber:

- 1) Colocar en cara.- Coloca el elemento en una cara seleccionada de un elemento anfitrión, por ejemplo en un muro o una cubierta.

- 2) Colocar en plano de trabajo.- Coloca el elemento en un plano de trabajo seleccionado. Debe haber un plano de trabajo definido en la vista. El elemento puede colocarse en cualquier lugar del plano e trabajo. Los ejes tienen un sistema de colores donde el color rojo representa al eje X el color verde al eje Y, y el color azul al eje Z. Los ejes son locales.

En la figura siguiente se puede apreciar su inserción en puntos diversos.

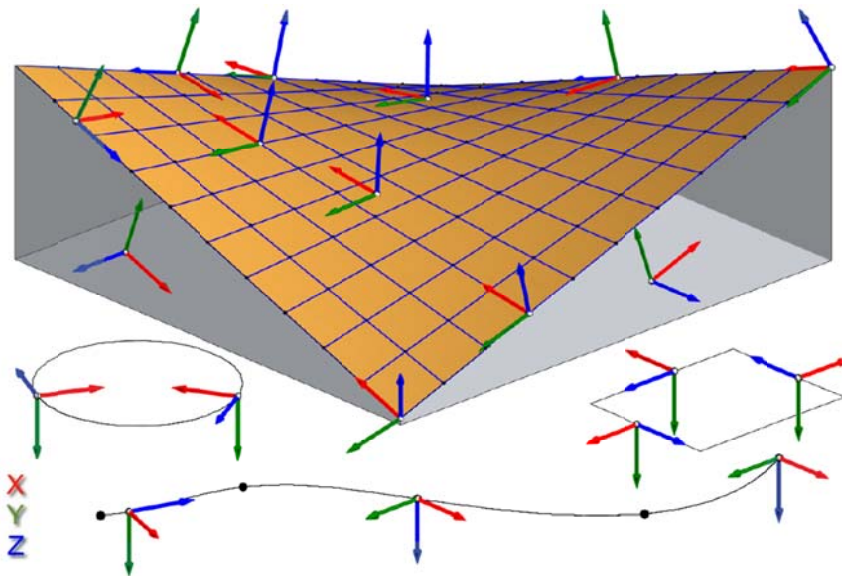


Figura 6.85. Detalle de la inserción de la familia del triedro de referencia, en diferentes situaciones dentro del espacio de trabajo y de distintas superficies. Puede verse como en una superficie alabeada se orienta en función de cómo se sitúen los tres puntos adaptativos que contiene la familia y que conformen la definición del plano formado por esos tres puntos. Elaboración propia con software BIM.

En los ejemplos del gráfico anterior, pueden verse los triedros de referencia, orientados en las dos situaciones anteriores, colocado en cara de un elemento anfitrión y colocado en un plano de trabajo activo.

6.21. UTILIZACIÓN EN PROYECTO DE LA FAMILIA DEL TRIEDRO CREADA

Para la utilización de la familia anterior, se abrirá una plantilla arquitectónica en el entorno de trabajo del proyecto y en ella se cargará la familia de masas que representa la creación de la masa general con las caras (triángulos) donde se contendrán los marcos metálicos en “A” de la estructura diagonal de rejilla del proyecto Gherkin. Ver figura 5.83.

En Revit, y dentro del entorno de trabajo del proyecto, no es posible incluir la visibilidad de los ejes (orientación mediante empleo de coordenadas locales) en los elementos de formas libres, líneas rectas, líneas curvas, splines y superficies cosa que es posible dentro del entorno de masas. La

familia creada anteriormente da solución a esta limitación en ese entorno, pudiendo situar un triedro de referencia en un plano cualquiera que nos interese. Ese triedro de referencia nos dará siempre una línea perpendicular (línea verde del eje del triedro de referencia de a figura 5.83) en el plano seleccionado mediante los puntos adaptativos que lo conformen.

Se carga en el proyecto antes creado la familia “triedro-coorden-adaptativas.rfa” Para insertar esta familia en un punto del proyecto, se hace clic en la ficha Arquitectura > grupo Construir > menú desplegable Componente > Colocar un componente. En el selector de tipos se selecciona la familia “triedro-coorden-adaptativas.rfa” y luego se hace clic en alguna de las líneas de las caras del plano, o líneas sin más del elemento que quiera utilizar para colocar sobre él un triedro de referencia, que será el que marque su orientación. Ese triedro se ubica dónde se hace clic en el elemento. El color verde del eje del triedro indica la perpendicular al plano al que pertenece el elemento o cara donde hacemos clic.

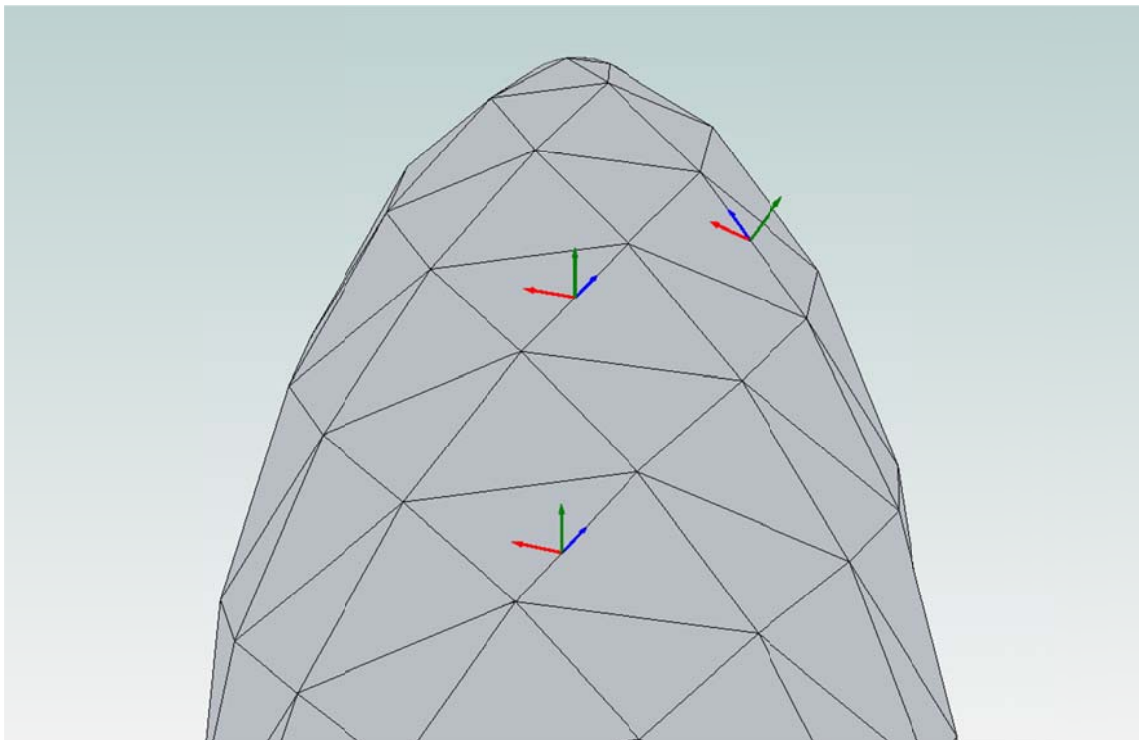


Figura 6.86. Detalle de la introducción dentro del entorno de trabajo del proyecto de la familia local de coordenadas de cada panel para obtener su ángulo de inclinación. Elaboración propia con software BIM.

Con esta familia de componentes, basada en puntos adaptativos, es posible conocer el ángulo que forma con la vertical cualquiera de los marcos estructurales; que a modo de paneles triangulares rellenan la rejilla diagonal estructural en “A”, que conforma la estructura del edificio. Estos ángulos, por la geometría del edificio son distintos en cada planta; por eso es necesario conocerlos para su exacto replanteo. Con el dato anterior, es posible saber la inclinación de los planos de apoyo de las platabandas en los nodos de los encuentros con los soportes tubulares de los marcos metálicos en “A” adyacentes; y diseñar aisladamente por separado, cada nudo (distinto en cada planta) con la información necesaria para su montaje en taller, sin necesidad de que estén modelados todos los nudos en el conjunto del modelo del edificio.

Con la creación de esta familia, se resuelve el problema del cálculo de los ángulo de inclinación con respecto a la vertical de cada uno de los marcos estructurales en “A” en cada posición de ubicación del nudo estructural, así como el de la generación de un plano normal a la columna diagonal del diagrid, que pase por un punto genérico cualquiera; y que formará parte de la definición, y el diseño en base a ese plano de apoyo de la columna diagonal del nudo estructural en cada nodo del edificio.

6.22. COMPONENTE ADAPTATIVO DE MASAS PARA MEDIR CON PRECISIÓN LA SUPERFICIE. PANEL COMO HERRAMIENTA DE MEDICIÓN

Es posible la creación e introducción de una familia anidada (panel adaptativo), que recubra la totalidad, o zonas determinadas de la superficie de una masa general existente, con el único objetivo de obtener una serie de parámetros de información, comprobación o medición, de esos elementos de recubrimiento o paneles. Esa información obtenida es de gran ayuda para reconducir el diseño de los paneles, o de la forma general donde están anidados, para su optimización en base a criterios diversos a aplicar en cada caso concreto.

Para poder panelar la superficie de la masa, y que el panel se adapte a la forma de la masa general, se necesitan dos cosas: la primera es que la masa general se encuentre dividida y tenga aplicada en sus divisiones un patrón de superficie, y la segunda es que utilicemos un panel adaptativo que se ajuste automáticamente en cada zona de la superficie al patrón de la división

resultante. Por tanto, si la división general de la masa tiene aplicada sobre ella un patrón de superficie que es la rejilla de un romboide (un punto por cada vértice cuatro en total), el panel que se utilizará para el recubrimiento de la masa general, deberá tener como rejilla de creación 4 puntos adaptativos (uno para cada vértice), ya que cada uno de esos puntos adaptativos se adaptará, y ocupará exactamente la posición del punto del nodo de la rejilla coincidente con el vértice. Esto hará que coincidan exactamente y se cosan el panel de recubrimiento con la rejilla de división de la superficie general de referencia.

También es posible la introducción de fórmulas en la familia anidada del panel adaptativo. El empleo de fórmulas en las familias, permite obtener parámetros cuyo valor depende a su vez de otros parámetros, con ello se posibilita la obtención de cálculos de expresiones algebraicas que pueden ser complejas, de forma automática. Por ejemplo, el cálculo de un área. Estas expresiones algebraicas están sometidas para la comprensión del software a una sintaxis y abreviaturas específicas que hay que conocer para su correcto desarrollo y entendimiento del software. En las fórmulas pueden utilizarse instrucciones condicionales, que sirvan para poder definir determinado tipo de acciones en la familia, dependiendo del estado o valor de otros parámetros.

En el caso de que se quisiera disponer de tablas de planificación con los listados de los parámetros de información, estos parámetros deberán introducirse como parámetros compartidos ya que si no, no podrán aparecer en dichas tablas. Podemos a su vez, mediante la utilización de parámetros incrustar en la familia relaciones métricas de diseño.

En este caso interesa el cálculo del área de cada panel, las longitudes de los lados de cada uno de ellos y los ángulos que forman sus lados entre sí, para la obtención de datos de cara a la fabricación en taller de todos los paneles involucrados en el diseño. Conocidos estos datos se podría proceder a modificar su diseño para optimizar sus prestaciones en base a requerimientos diversos establecidos, y con esa información modificar la estrategia de su nuevo diseño.

Para obtener los parámetros de información del panel antes referido, se procederá a la creación de una familia al efecto, se trata básicamente de una familia de componente de panel de muro cortina, con cuatro puntos adaptativos que cubrirán la superficie de cada cuadrilátero de los paneles de cuatro vértices que se pretenden medir. A esta familia de componente de masas se le

encomendará la misión de calcular cada uno de los lados del perímetro del cuadrilátero del panel, además de las áreas de la superficie resultante (mediante los cuatro puntos adaptativos). Para el cálculo del área se utilizará una fórmula, que es función a su vez de una serie de parámetros involucrados en ella, y relacionados con las dimensiones de los lados y ángulos entre lados del panel. Se trata de la fórmula de Bretschneider¹ que presenta la siguiente expresión:

AREA DE UN CUADRILATERO CUALQUIERA FORMULA DE BRETSCHNEIDER

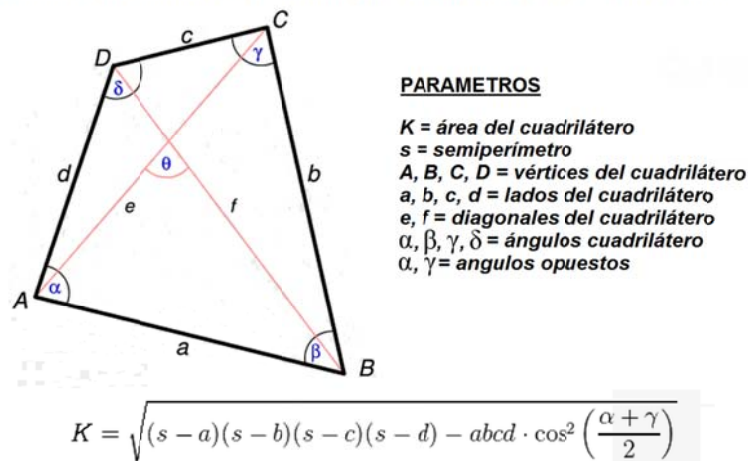


Figura 6.87. Fórmula de Bretschneider para obtener el cálculo del área de un cuadrilátero plano cualquiera. Elaboración propia.

La expresión de la fórmula anterior para el cálculo del área del cuadrilátero, adaptada a la sintaxis y abreviaturas de operadores lógicos, válidas para la comprensión por el programa tendría la siguiente disposición:

Área del cuadrilátero = K = sqrt ((s-a)*(s-b)*(s-c)*(s-d) - ((a*b*c*d)*cos ((α+γ)/2)^2))

Dado que en la anterior expresión matemática el parámetro de área es una función de otros parámetros con los que hay que operar para obtener dicho cálculo, introduciremos previamente en la creación de la familia cada uno de esos parámetros por separado (a, b, c, d, s, α, γ). Posteriormente se introducirá el parámetro K = Área, que será función de las variables anteriores,

¹ Carl Anton Bretschneider 1808-1878, matemático alemán que desarrolló la fórmula que lleva su nombre en el año 1842, y que calcula el área de un cuadrilátero plano cualquiera.

y es en la definición de este parámetro donde se introducirá la fórmula anterior para obtener su cálculo de forma automatizada.

Se insertará la expresión anterior del cálculo del área del cuadrilátero cualquiera en la familia a crear, como otro parámetro más habiendo introducido previamente los parámetros de cálculo de la expresión matemática. Una vez identificados e introducidos todos los parámetros anteriores la definición de la familia del panel adaptativo quedará como puede verse en el siguiente gráfico:

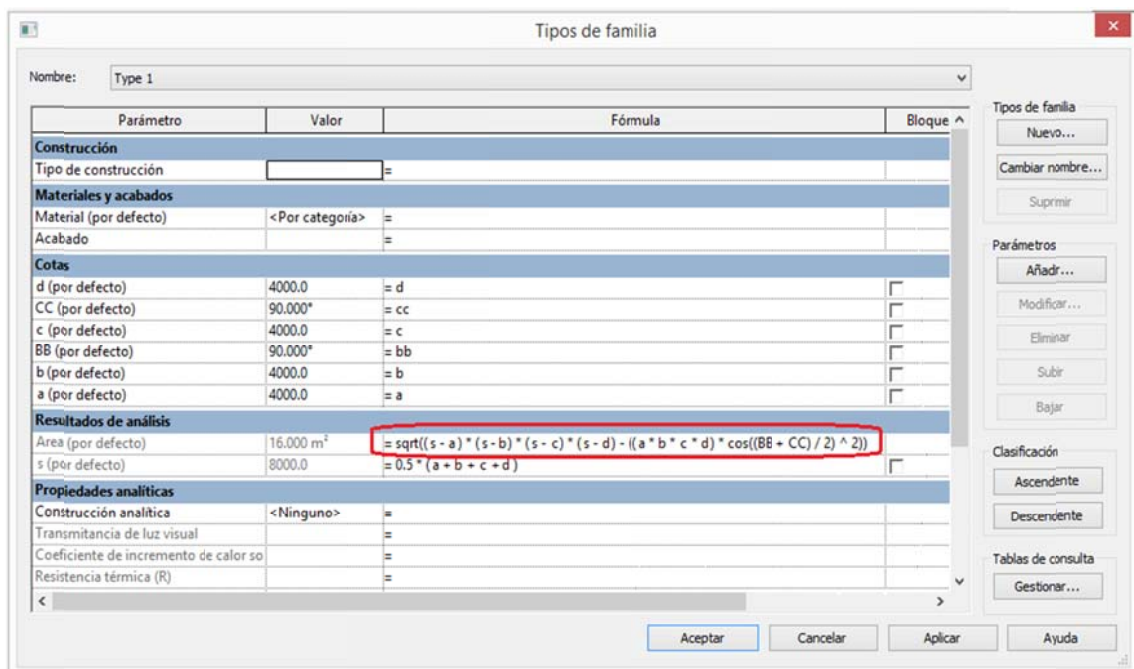


Figura 6.88. Introducción y definición de parámetros en la creación de la familia de masas (panel cuadrilátero adaptativo). Recuadrado en rojo la expresión de la Fórmula de Bretschneider para obtener el área de un cuadrilátero cualquiera. Elaboración propia con software BIM.

En el caso de que se quisiera obtener una tabla de planificación con los datos de todos los cuadriláteros introducidos en el patrón de división de superficie de la masa los parámetros anteriores deberían introducirse como parámetros compartidos.

Los datos y parámetros establecidos para la creación de la familia son los que aparecen en la figura siguiente:

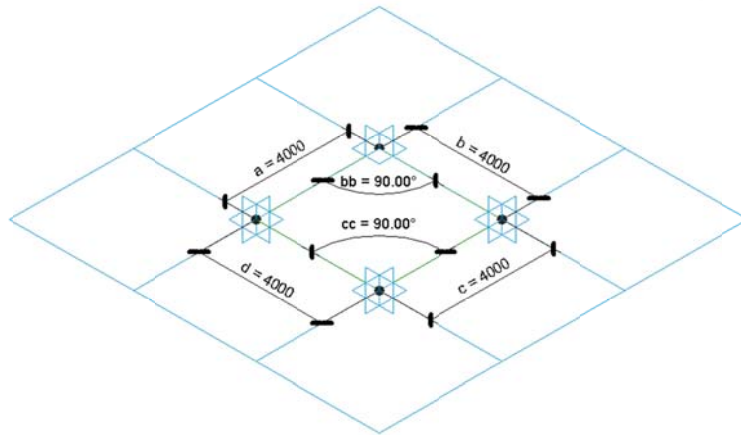


Figura 6.89. Creación de la familia de panel adaptativo. Dispone de una rejilla y cuatro puntos adaptativos. Elaboración propia con software BIM.

El listado de los parámetros introducidos en la familia, dará las medidas de los lados y los ángulos del cuadrilátero, tal y como puede verse en el cuadro de propiedades de la figura adjunta:

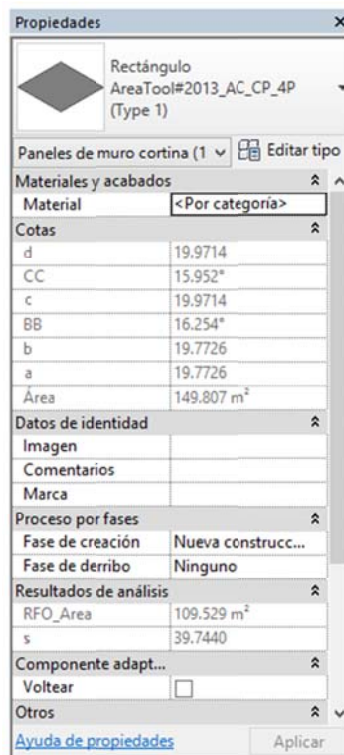


Figura 6.90. Especificaciones de parámetros de la paleta de propiedades sobre la familia introducida. Elaboración propia con software BIM.

Para la introducción en el modelo de masa conceptual, de en una masa cualquiera de familia, con esta familia basada en puntos adaptativos, una vez creada utilizando la fórmula anterior; primero se marcan los 4 puntos extremos de la malla de un cuadrilátero y luego se hace lo mismo con el cuadrilátero superior que va cambiando a medida que asciendo.

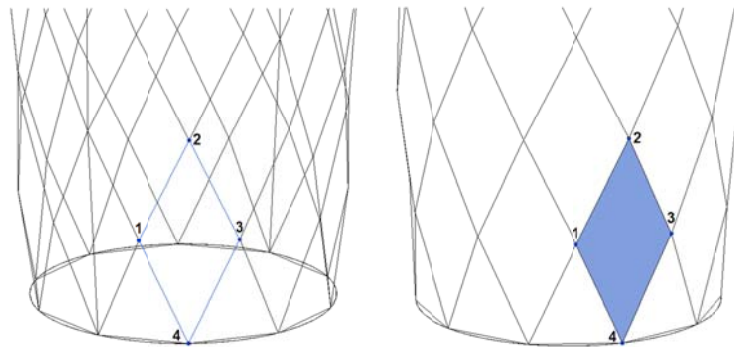
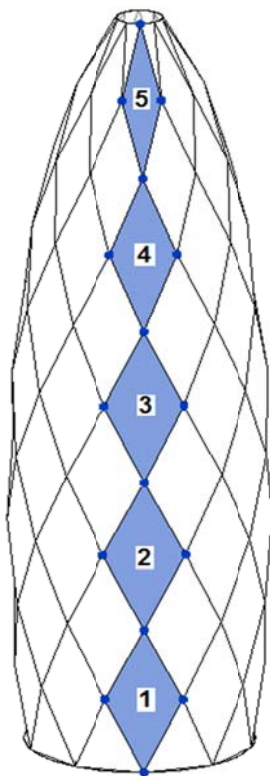


Figura 6.91. Introducción de una familia de panel basada en patrón con cuatro puntos adaptativos para la obtención de los parámetros individualizados de los paneles que se hayan introducido previamente. Elaboración propia con software BIM.



<Tabla de planificación de paneles>			
A	B	C	D
Familia y tipo	Área	Recuento	Comentarios
AreaToo#2013_AC_CP_4P	149.81 m ²	1	primer cuadrilátero
AreaToo#2013_AC_CP_4P	158.97 m ²	1	segundo cuadrilátero
AreaToo#2013_AC_CP_4P	152.98 m ²	1	tercer cuadrilátero
AreaToo#2013_AC_CP_4P	128.96 m ²	1	cuarto cuadrilátero
AreaToo#2013_AC_CP_4P	75.90 m ²	1	quinto cuadrilátero
Total general: 5	666.62 m ²	5	

Figura 6.92. Tabla de planificación para establecer el cómputo de las áreas de los 5 paneles distintos introducidos en el modelo de masa (cuadriláteros planos). Elaboración propia con software BIM.

Con la creación de esta familia de panel, se consigue no solo tabular el área individualizada de cada uno de los paneles cuadriláteros del edificio, en cualquier ubicación que queramos situar el panel, sino también obtener el resto de parámetros como son las longitudes de todos sus lados y los ángulos entre ellos, así como el cálculo de la longitud de todos los lados de cualquier cuadrilátero de un plano o una cara.

CALCULO DEL ÁREA DE PANELES TRIANGULARES FORMULA DE HERÓN

Para el cálculo de los paneles triangulares se procederá de forma similar, pero aplicando la fórmula de Herón². En la figura siguiente se detalla de forma breve su expresión.

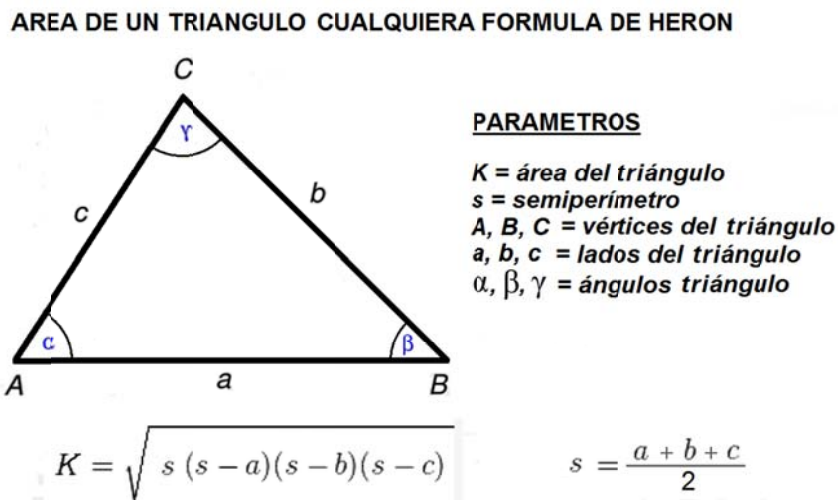


Figura 6.93. Fórmula de Herón para obtener el cálculo del área de un triángulo plano cualquiera, conociendo sus tres lados. Elaboración propia.

Para la creación de la familia correspondiente que calcule el área de los paneles triangulares, se utilizará la plantilla “Panel de muro cortina métrico basado en patrón.rft” y se elegirá como rejilla de patrón de baldosa en el selector de tipos, la que tiene el nombre Triángulo (plano), ya que el panel que se pretende medir es triangular.

² Herón de Alejandría, físico y matemático griego que vivió en Alejandría y escribió una obra compuesta por tres libros, con el título “La métrica” en el año 64 dC en la que estudia las áreas de las superficies y volúmenes de los cuerpos. Su logro más destacado en el campo de la geometría, es la denominada fórmula de Herón en la establece la relación entre el área de un triángulo y la longitud de sus lados.

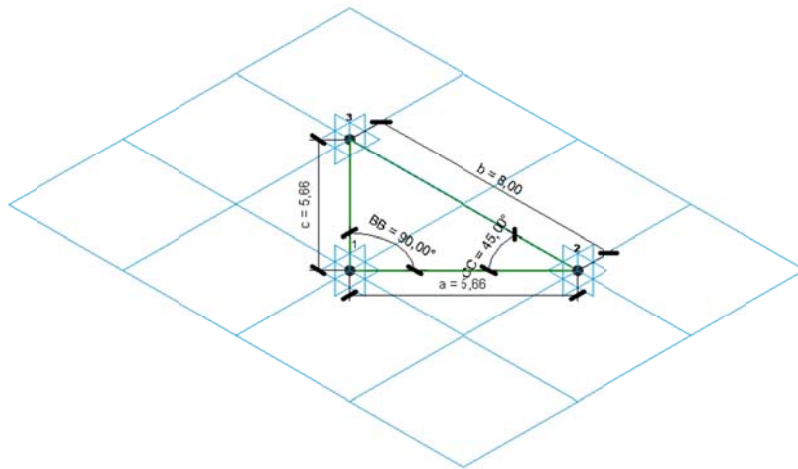


Figura 6.94. Creación de la familia de panel adaptativo. Dispone de una rejilla de patrón de baldosa Triángulo (plano) y tres puntos adaptativos. Elaboración propia con software BIM.

La expresión de la fórmula anterior para el cálculo del área del triángulo, adaptada a la sintaxis y abreviaturas de operadores lógicos, válidas para la comprensión por el programa tendría la siguiente disposición:

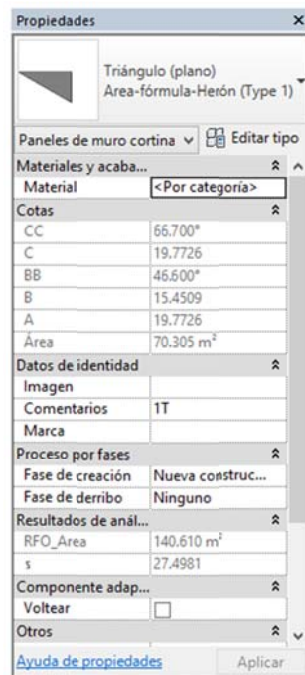


Figura 6.95. Creación de la familia de panel adaptativo. Dispone de una rejilla de patrón de baldosa Triángulo (plano) y tres puntos adaptativos. Elaboración propia con software BIM.

$$\text{Área del cuadrilátero} = K = \text{sqrt}(s*(s-a)*(s-b)*(s-c))$$

Dado que en la anterior expresión matemática el parámetro de área es una función de otros parámetros con los que hay que operar para obtener dicho cálculo, se introducirán previamente en la creación de la familia cada uno de esos parámetros por separado (a, b, c y s). Posteriormente introduciremos el parámetro K = Área, que será función de las variables anteriores, y es en la definición de este parámetro donde se introducirá la fórmula anterior para obtener su cálculo de forma automatizada.

Se insertará la expresión anterior del cálculo del área del cuadrilátero cualquiera en la familia a crear, como otro parámetro más habiendo introducido previamente los parámetros de cálculo de la expresión matemática. Para tener en una representación gráfica explícita del rango de las áreas de los paneles introducidos, por colores que expresen un orden de magnitud se creará un filtro que refleje esta disposición como indica la figura siguiente.

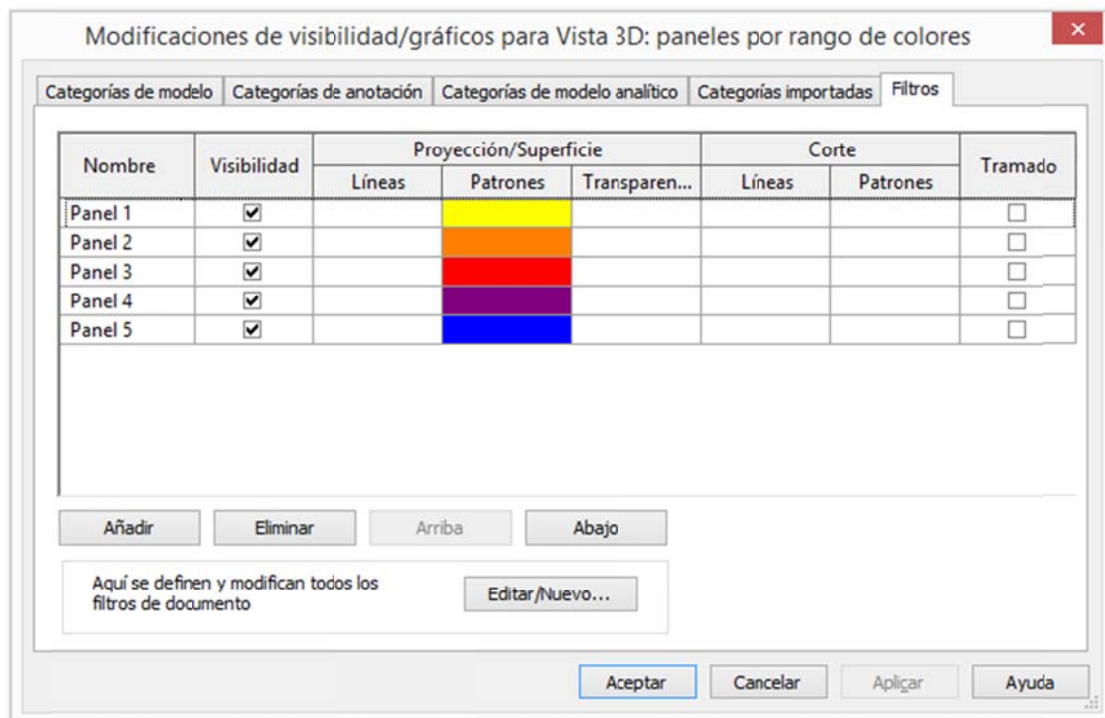


Figura 6.96. Creación de la familia de panel adaptativo. Dispone de una rejilla de patrón de baldosa Triángulo (plano) y tres puntos adaptativos. Elaboración propia con software BIM.

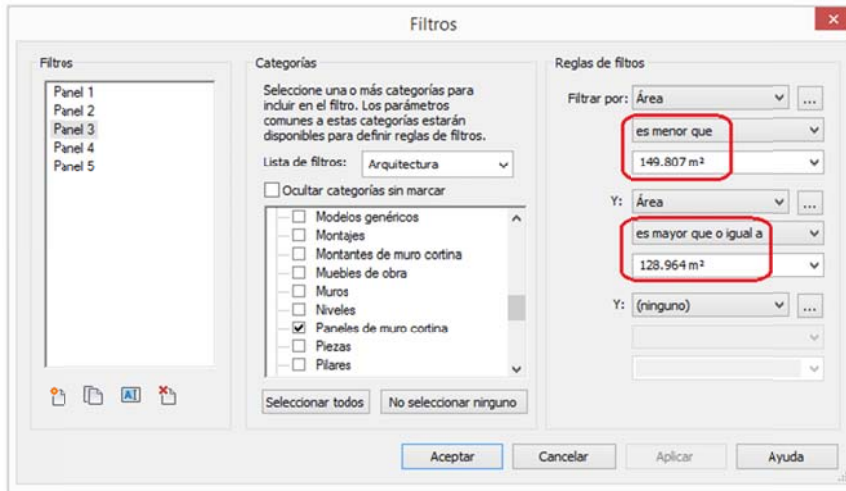


Figura 6.97. Establecimiento de un filtro por colores que expresa de forma visual el orden de magnitud de las áreas de los distintos tipos de paneles de recubrimiento sobre la superficie del modelo. Elaboración propia con software BIM.

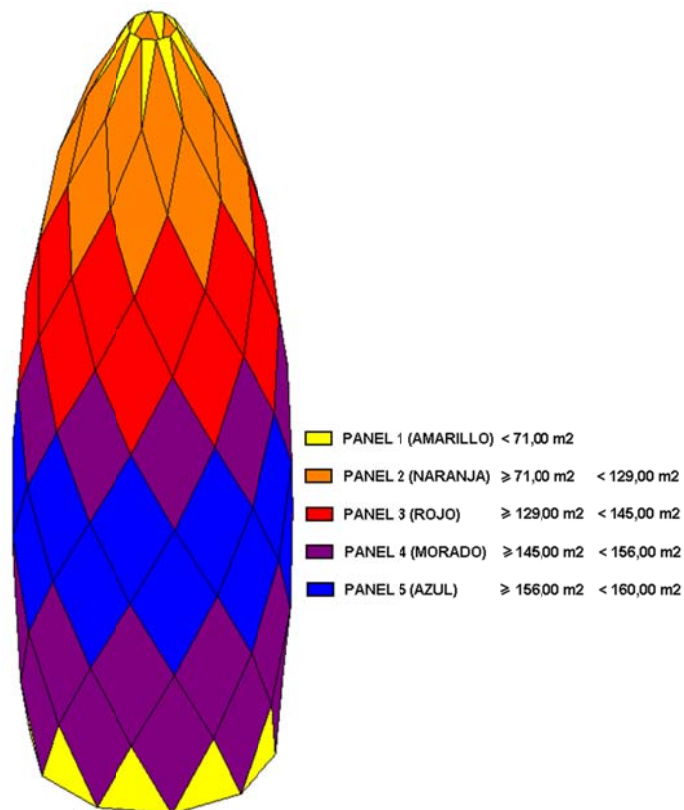


Figura 6.98. Detalle de aplicación en una vista 3D de un filtrado de paneles aplicados a una superficie de masa por colores, para obtener una visualización gráfica del rango numérico de la superficie de dichos paneles diferenciadas por colores. Elaboración propia con software BIM.



Figura 6.99. Fotografía reciente del estado actual del entorno próximo de la torre Swiss Re de Norman Foster en Londres. Fuente: Internet.

En el exterior de la torre, se han dispuesto en la zona de la cúpula del edificio, dos anillos metálicos perimetrales que sobresalen de la fachada para ubicar un dispositivo móvil con plataforma telescópica de limpieza y mantenimiento de la piel del edificio.



Figura 6.100. Detalle de los dos anillos perimetrales metálicos dispuestos en la cúpula de la edificación que sirven para la ubicación de un dispositivo móvil con plataforma telescópica, para la limpieza y mantenimiento de la torre. Fuente: Internet.

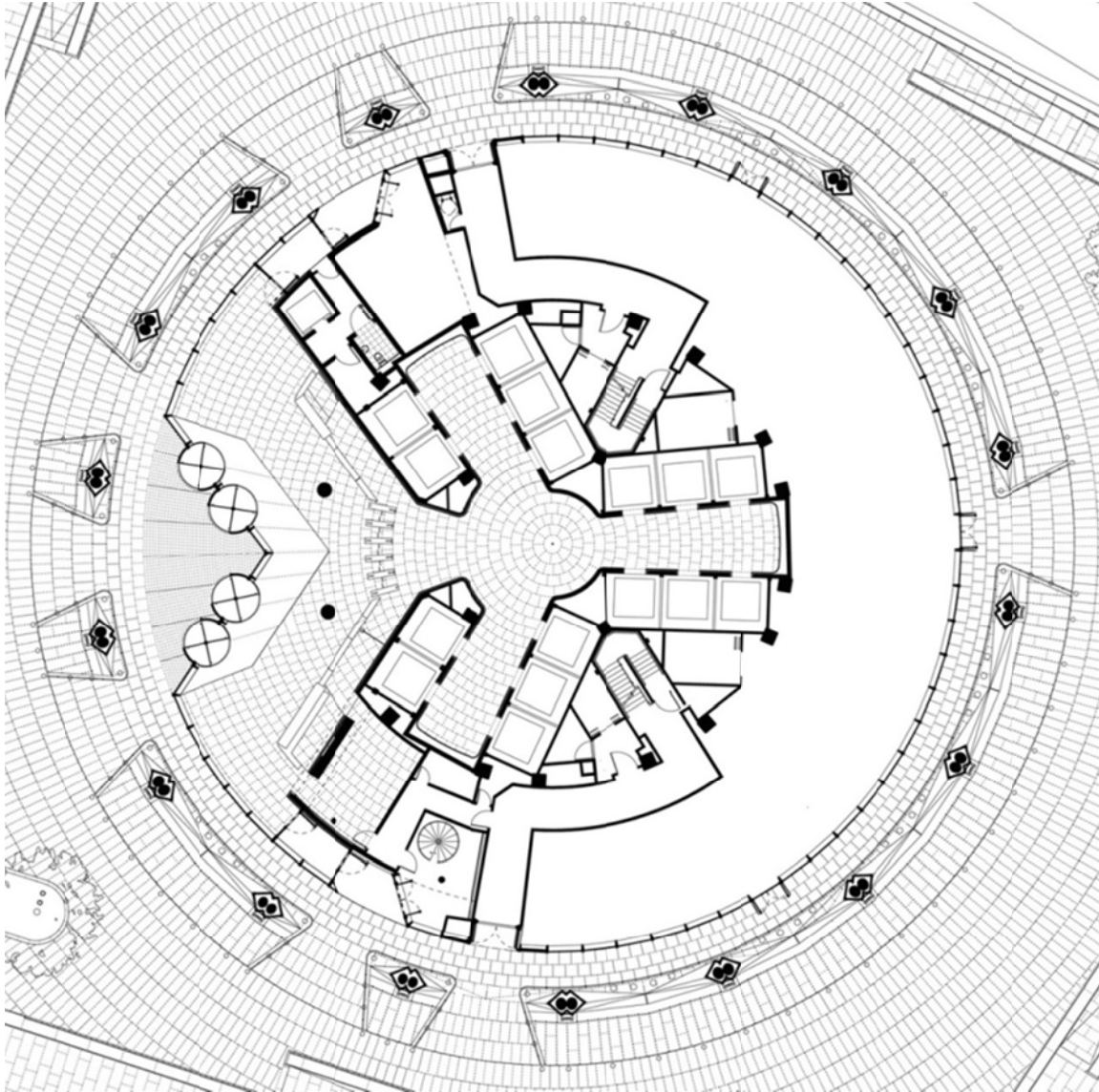


Figura 6.101. Planta de entrada de la torre Swiss Re. Puede apreciarse que hay 18 puntos dobles de apoyo de perfiles metálicos en "A" que van recubiertos de aislamiento contra el fuego y recubiertos de chapa de aluminio Fuente: © Norman Foster and Partners.

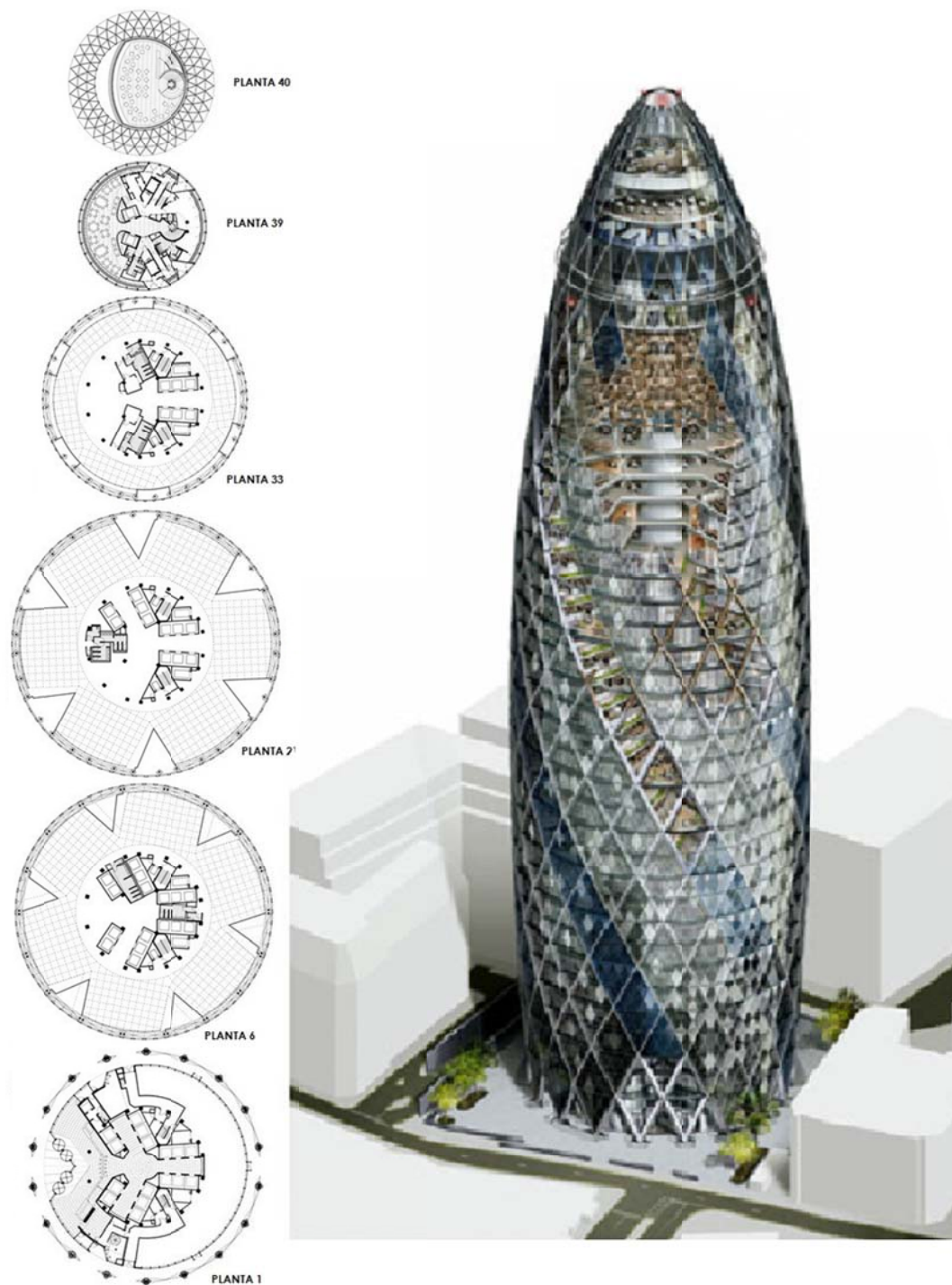


Figura 6.102. Vistas de las diferentes plantas con variación de sus diámetros en función de la altura de la edificación y perspectiva general del conjunto del edificio. Cada planta va rotando 5º a medida que asciende en altura y dispone de 6 recortes triangulares, que conforman patios o atrios generando espacios interiores en espiral ascendente que conectan todos los niveles a modo de chimeneas de iluminación y ventilación, reduciendo diferencias de temperatura. Fuente: © Norman Foster and Partners.

6.23. MODELADO ALGORÍTMICO DE LA TORRE SWISS RE

6.23.1. ESTRATEGIA DEL MODELADO Y JUSTIFICACIÓN

El modelado algorítmico es otra técnica de muy reciente aparición que puede utilizarse entre otras cosas para la generación y estudio de formas libres. Utiliza para su desarrollo lenguajes de programación visual VPL (programación para no programadores) y persigue unos objetivos muy diferentes al modelado paramétrico. Está pensado para que pueda convivir con los softwares de modelado paramétrico sobre entornos BIM y para que juntos y dialoguen bidireccionalmente en estrecha relación en la definición, estudio y optimización de formas. Es un complemento ideal para aumentar de manera considerable las capacidades de modelado y optimización de resultados y para facilitar y hacer más amigable la comunicación y relación usuario ordenador en la realización a la automatización de tareas y creación de nuevas herramientas personalizadas de modelado.

Estas nuevas herramientas de modelado algorítmico pueden ser aplicadas a diferentes escalas (arquitectura, estructura, instalaciones, diseño industrial, producción digital, etc.) y con distintas estrategias de búsqueda de generación de formas y modelado. La estrategia del modelado algorítmico implicado en la generación de formas es muy variada dependiendo en cada caso concreto de lo que se pretenda conseguir. El modelado es producto de un proceso complejo de análisis y síntesis que implica el tanteo y comprobación de un abanico de soluciones posibles y no un resultado concreto.

La estrategia perseguida en el modelado algorítmico es formalizar y guionizar secuencialmente el conjunto de órdenes (algoritmos de programación) y secuenciación del propio proceso de diseño. Se desarrollarán toda una serie de relaciones geométricas, matemáticas y operaciones de cualquier otro tipo, codificando las decisiones de diseño utilizando un lenguaje de programación visual. Esta programación secuencial del proceso completo de diseño permite la variación de los parámetros intervinientes y sus algoritmos, para explorar todo un abanico de soluciones posibles, relacionadas con los valores de los parámetros involucrados en el proceso o resultados del proceso de modelado, para que se cumplan ciertas premisas que previamente han sido establecidas. Este tanteo de soluciones posible será chequeado para buscar la respuesta óptima o más eficaz dentro del abanico de soluciones.

Es muy importante en el modelado algorítmico por la estructura lineal secuencial de entrada de datos, proceso de datos y salida de datos, el establecimiento del orden de los procesos lógicos que deben establecerse, concatenarse y secuenciarse de forma correcta. Esta es una de las características comunes esenciales de todo proceso de programación. Sin esa estructuración ordenada no se obtendrían los resultados esperados.

Dado que la estrategia de modelado puede ser muy diferente en cada caso concreto en función de las características de los objetos a modelar, es necesario estudiar y desarrollar bien esta estrategia para simplificar los procesos. En el caso concreto que nos ocupa se hará depender todo el modelado general de la torre y sus elementos interiores (suelos, techos, alturas interiores, cerramientos, etc.) del perfil exterior del edificio, del que ya se sabe por los videos que pueden encontrarse en la página web del estudio de Norman Foster and Partners que se ha parametrizado la sección exterior del edificio. En el caso que nos ocupa el proceso de la estrategia de modelado se simplifica ya que la forma del edificio es de simetría radial con un eje de giro vertical esta particularidad concreta facilita mucho su desarrollo algorítmico secuencial.

Para generar el modelado algorítmico de la torre con el editor gráfico de algoritmos (Dynamo) se empezará por la línea de contorno exterior. La estrategia que se seguirá será la de partir de la línea de contorno exterior del edificio que será ejecutada con una curva spline desde Revit tomando como base de referencia, el dibujo del contorno del edificio del que se dispone su plano de alzado original. Esa línea spline se importará dentro de Dynamo para hacer depender de ella el resto de parámetros del edificio, ya que es la línea de referencia principal y más importante. Con su rotación sobre un eje vertical central, definirá la volumetría general o piel del edificio y con ella el contorno de las plantas en sus alturas respectivas, la estructura, los paneles, los huecos helicoidales de los patios y todo lo demás.

Lo que se pretende conseguir es que únicamente con esa curva spline de contorno de la torre, dibujada desde el software de modelado, quede vinculada al editor gráfico de algoritmos y desde él desarrollar el resto del proceso generativo de la torre (con la introducción de los algoritmos correspondientes) para que todos los elementos de definición restantes de la torre sean dependientes de esa línea. De tal manera que al modificar el perfil de la torre desde el software de modelado, se obtenga en el editor gráfico de algoritmos la regeneración automática con todos

esos elementos de definición (diámetro plantas, superficies forjados, paneles, estructura, etc.). Esto permitirá el estudio de un abanico de soluciones posibles, solo con la única variación del perfil de la torre. Luego del estudio del abanico de soluciones obtenidas, se elegirá la óptima. Se pondrá de manifiesto cómo el modelado algorítmico puede suplementar al modelado gráfico paramétrico.

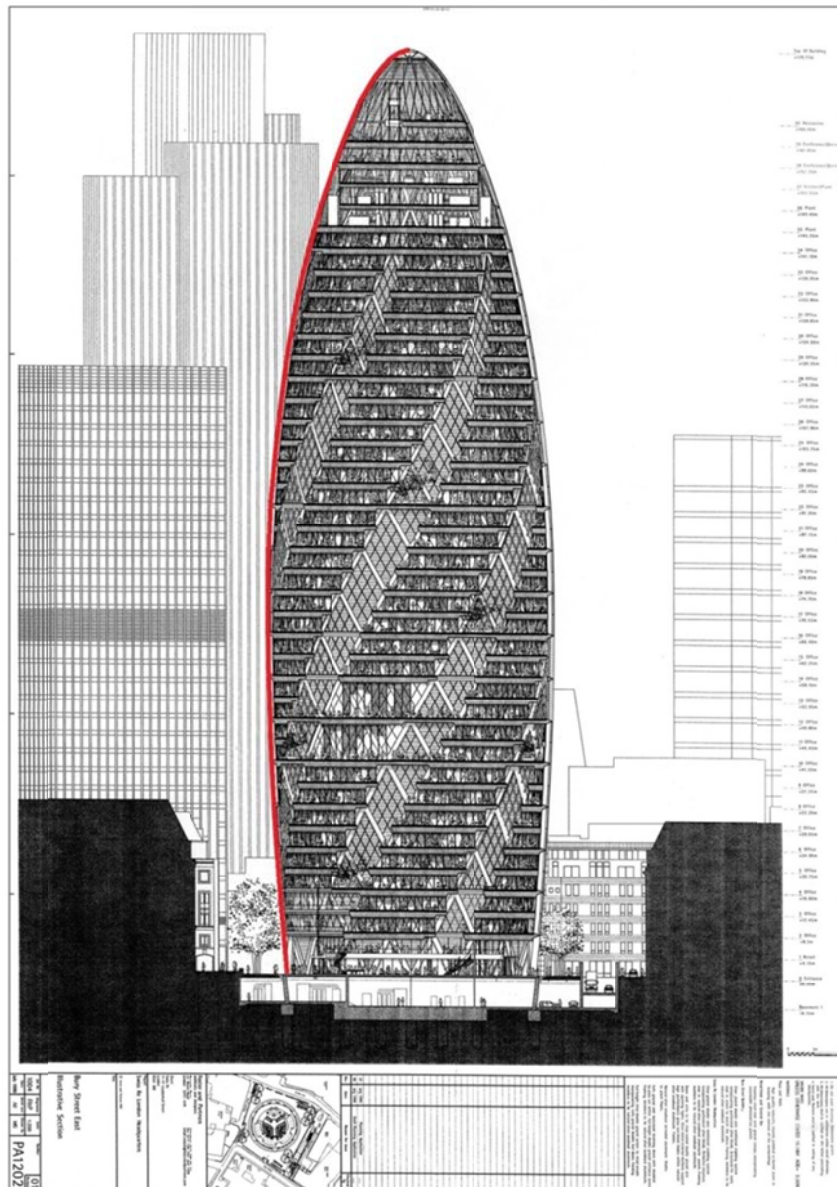


Figura 6.103. Torre Swiss Re, en 30 St. Mary Axe (The Gherkin) Londres, arquitecto Norman Foster & Partners. Plano de sección del conjunto, de él se obtendrá la línea spline por puntos de contorno del perfil de la torre, que se marca en rojo para su posterior procesado. Fuente: © Norman Foster.

Se dibujará dentro del software de modelado, la curva spline por puntos, tomando como referencia el plano del alzado, obteniendo una línea 3D del contorno exterior de la torre, tal y como puede verse en la figura que se incorpora.

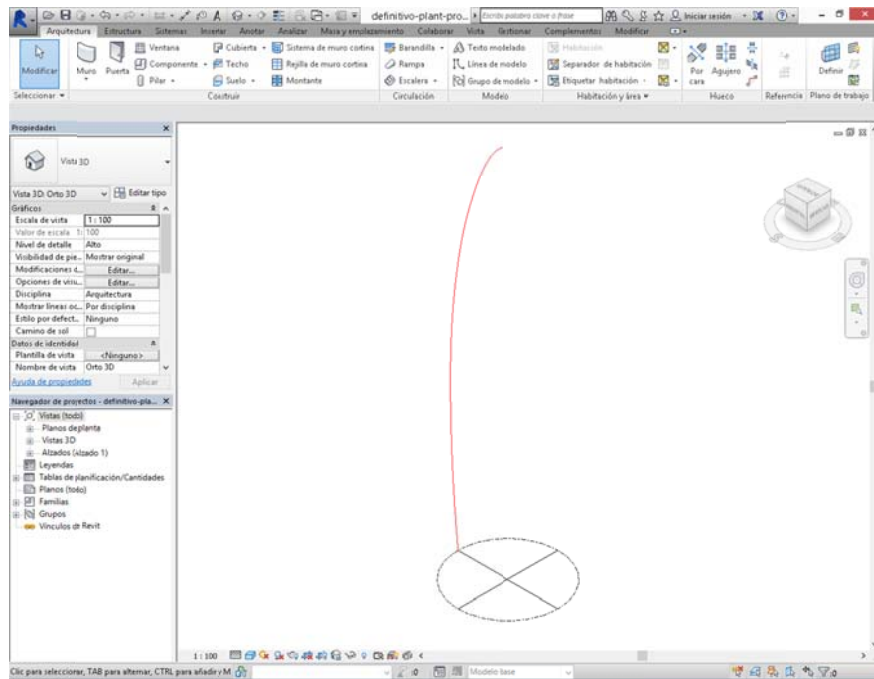


Figura 6.104. Fase 1. Dibujo en perspectiva del perfil de la torre Swiss Re en el software de modelado, obtenida del plano del alzado de la figura anterior que servirá de base para su importación al editor gráfico de algoritmos, para su posterior procesado. Elaboración propia con software BIM.

Para terminar la preparación se importará esa curva spline al editor gráfico de algoritmos y desde ese editor se seguirá con el procesado generativo para obtener la torre completa. La importación se realizará con los tres nodos que aparecen en la figura siguiente



Figura 6.105. Nodos del editor gráfico de algoritmos para importar la curva spline del software de modelado y visualizarla. El primer nodo aparece en color naranja porque es necesario presionar la etiqueta Seleccionar para marcar luego los elementos a importar (curva spline). Elaboración propia con software VPL.

El nodo involucrado para la importación de la curva spline es "Select Model Element" que sirve para su selección pero no para su visualización en el editor gráfico, hay que acompañarlo de "List.Create" que crea una lista con el elemento anterior y de "Element.Curves". Este último es el que permitirá verlo dentro del editor gráfico. Para que se haga efectiva la selección del primer nodo, se pulsará en la etiqueta Seleccionar y luego en el software de modelado, con una ventana de captura se señalará sobre el elemento o elementos que se quieran incorporar, cambiando el nodo de color. Después de realizado lo anterior el resultado será el que se ve en la figura.

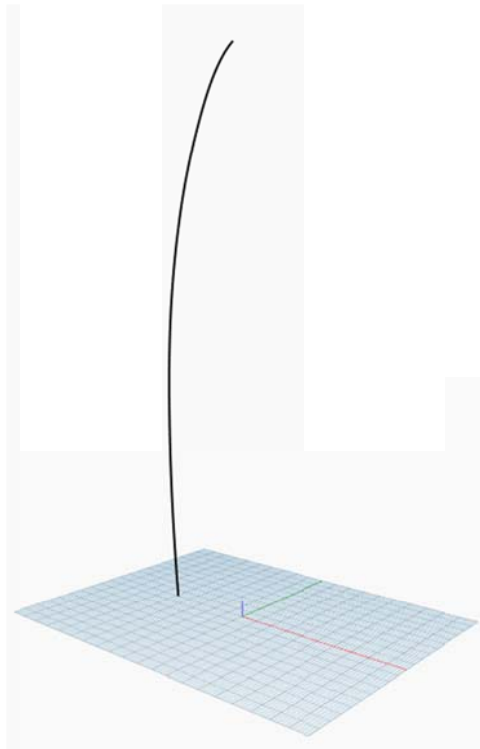


Figura 6.106. Fase 2. Importación al editor gráfico de algoritmos, de la curva spline realizada en el software de modelado. Luego se seguirán con las labores de generación algorítmica hasta terminar. Elaboración propia con software VPL.

6.23.2. PROCESO Y FASES DE DESARROLLO SECUENCIAL DEL MODELADO ALGORITMICO

El proceso secuencial de programación de los algoritmos involucrados en la generación del modelado de la torre será el que se detalla por fases, de forma resumida a continuación:

- 1) Creación en el software de modelado de la spline por puntos del perfil exterior de la torre obtenida del alzado. La spline por rotación sobre el eje de giro vertical central dará el volumen exterior general.
- 2) Exportación de ese perfil al software de modelado algorítmico para su procesamiento generativo.
- 3) Situación de puntos de paso en altura de las plantas de la torre a generar (con $X = 0$ e $Y = 0$) por tratarse de puntos ubicados todos en el eje de las Zs.
- 4) Generación de planos horizontales pasantes cada uno por los puntos anteriores.
- 5) Intersección de los planos anteriores con el perfil de la línea spline importada. Genera una lista de puntos de intersección con coordenadas X, Y, Z.
- 6) Obtención de distancia al eje central de puntos de intersección del apartado anterior.
- 7) Generación de circunferencias con centros especificados en apartado 3 y radios con distancias obtenidas en el apartado anterior 6.
- 8) Introducción de puntos de división (18) en cada una de las circunferencias obtenidas en el apartado 7 que representarán cada una de las plantas.
- 9) Introducción de entramado estructural exterior
- 10) Rotación consecutiva de cada una de las circunferencias 5° (Primer tramado diagonal).
- 11) Segundo tramado diagonal
- 12) Generación de la envolvente exterior superficial o piel exterior del edificio.
- 13) Triangulación o Panelización de la piel exterior del edificio.
- 14) Aplicación de un elemento adaptativo o familia cosida al sistema de panelización anterior.
- 15) Creación de niveles de plantas coincidentes con los planos horizontales creados en el punto 4.
- 16) Generación de suelos de plantas con líneas de círculos horizontales creados en el punto 7.

Seguidamente se realizarán los pasos indicados en los apartados número 3 y 4. Se utilizará primero un nodo "Number" para generar una secuencia de números. Para ello el nodo anterior utilizará la expresión "0..#numPlantas..4.15" donde numPlantas = 40 es establecido por otro nodo "Integer Slider". Esto significa que la serie numérica que se persigue empieza por 0 y va sumando a ese resultado la cantidad de 4,15 cada vez y así hasta 39 veces, contabilizando un total para la serie numérica de 40 números introducidos, ya que el primero es el cero. Por lo que la serie anterior sería 0, 4.15, 8.30, 12.45, 16.60... hasta hacer un total de 40 valores con incrementos entre valores de 4,15.

Los nodos que generan el listado anterior quedarían como puede verse a continuación en el gráfico siguiente.

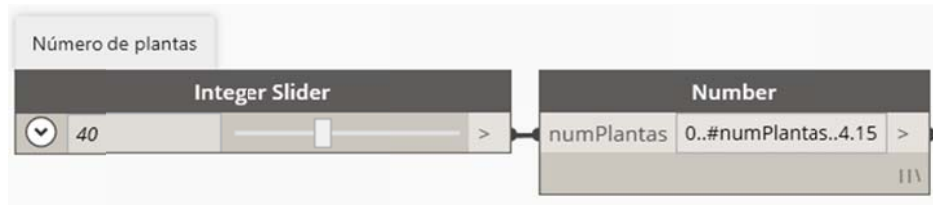


Figura 6.107. Nodos que generan una secuencia numérica partiendo del número cero y añadiendo cada vez al valor anterior un valor fijo de 4,15 hasta que la serie disponga de 40 números. Elaboración propia con software VPL.

A serie de números generados para que queden materializados como puntos en el espacio, dentro del editor, hay que añadirle un nodo de creación de puntos que sitúe estos puntos en toda esa serie numérica. Para ello se utilizará el nodo de creación de puntos "Point.ByCoordinates". Dichos puntos como puede verse en su conexión al nodo son generados en el eje de las Zs siendo sus coordenadas en Xs y en Ys igual a cero. También será necesario generar planos normales al eje de las Zs pasando por los puntos anteriores con el nodo "Plane.ByOriginNormal" y obtener sus intersecciones con la línea curva spline para ello se utilizará el nodo "Geometry.IntersectAll". El resultado del script completo hasta el momento, sería que puede verse en la figura siguiente.

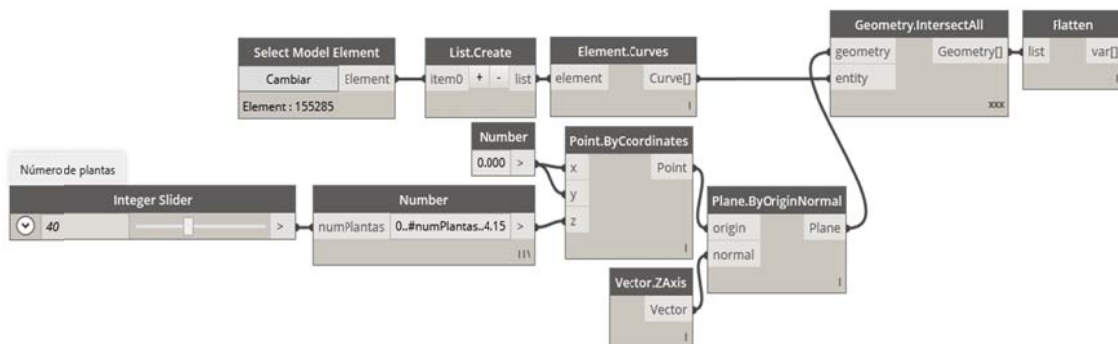


Figura 6.108. Script de programación gráfica con nodos que generan una serie de números (40 en total) y los posicionan como puntos en el eje Z, a alturas de 4,15 metros coincidentes con las alturas de las plantas de la torre. Otro nodo crea planos normales al eje Z pasando por ellos, y el último genera las intersecciones con la curva spline de los planos anteriores. Elaboración propia con software VPL.

La ejecución del script anterior da como resultado el dibujo que puede verse en la figura.

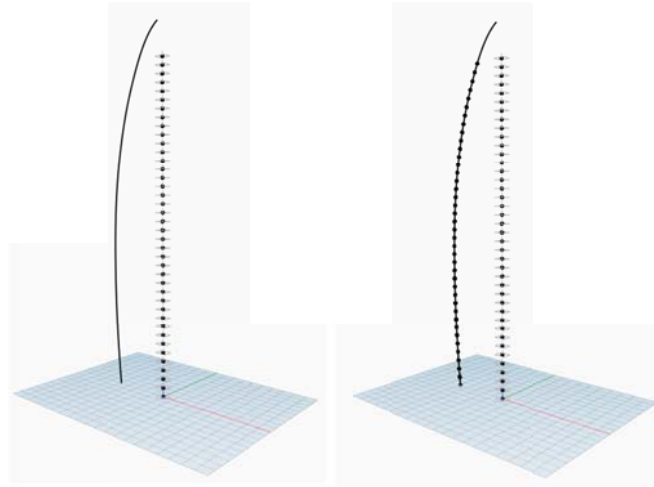


Figura 6.109. Fases 3, 4, y 5. A la derecha establecimiento de una serie de puntos situados en el eje vertical pasando por el centro y a alturas de referencia de cada una de las plantas. A la izquierda establecimientos de planos horizontales pasando por los puntos de altura de las plantas e intersección de esos planos con el perfil de la línea spline. Elaboración propia con software VPL.

Siguiendo con la estrategia de programación se realizará el paso 6, serán generadas ahora la serie de circunferencias con centros en el eje de las Zs, y radios las distancias de los puntos anteriores a los puntos de intersección de los planos perpendiculares al eje pasando por ellos con la spline. Se esquematiza esta actuación en la siguiente figura.

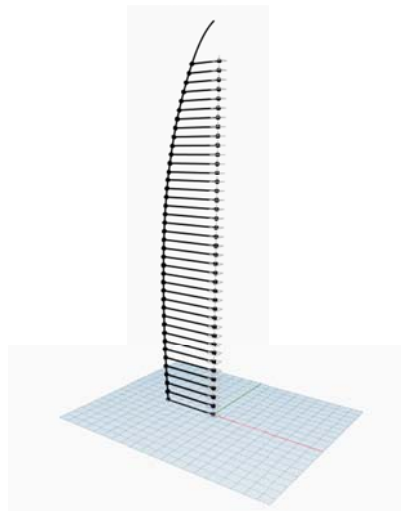


Figura 6.110. Fase 6. Obtención de la distancia del radio en cada uno de los puntos marcados en el eje vertical de las Zs con los puntos de intersección del perfil de la curva spline. Elaboración propia con software VPL.

Los nodos involucrados en el paso siguiente y serán “Flatten”, “Point.X” y “Circle.ByCenterPointRadius”. El primero aplana una lista de listas de coordenadas de puntos para hacerla unidimensional, el segundo extrae de la lista anterior únicamente los valores de las coordenadas de los puntos en X, que serán los radios de las circunferencias y tercero con esos radios dibuja las circunferencias.

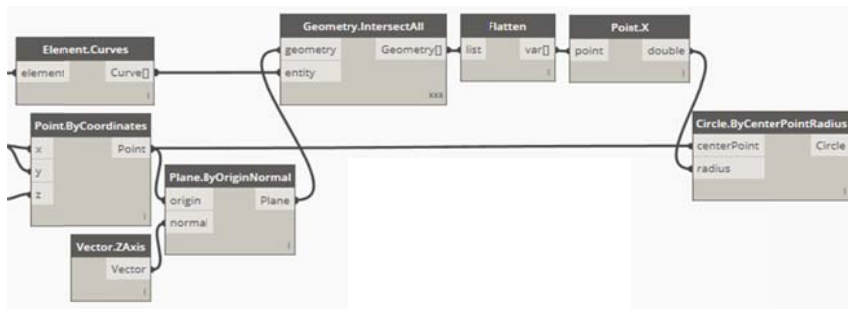


Figura 6.111. Introducción de nodos que convierten una lista de listas de coordenadas, en otra aplanada o unidimensional y extracción de ella de la coordenada X de cada punto, que determinará el valor del radio en dichos puntos. También figura el nodo de generación de las circunferencias. Elaboración propia con software VPL.

La ejecución del script anterior es el que se aporta en la figura siguiente.

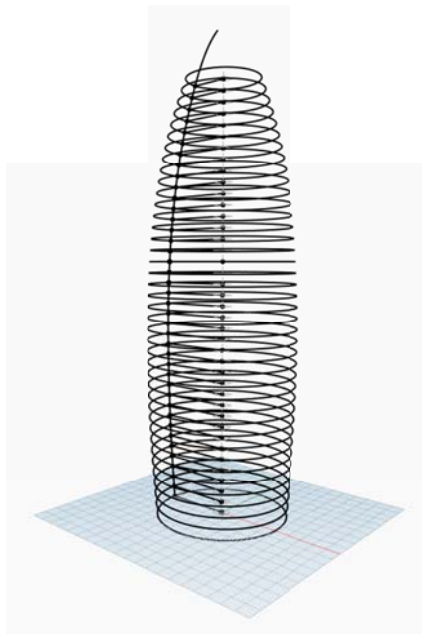


Figura 6.112. Fase 7. Circunferencias creadas con centros en el eje de las Zs y radios las coordenadas X de los puntos de intersección de los planos horizontales anteriormente creados con la línea curva spline de contorno exterior de la torre. Elaboración propia con software VPL.

Dos datos de procesamiento obtenidos en el editor gráfico algoritmos se visualizan mediante listados, que pueden abrirse dentro del nodo de que se trate. Por ejemplo si se quisiera visualizar los puntos de intersección de las circunferencias con la línea de contorno spline, se desplegaría la tabla del nodo involucrado y se vería su resultado como se refleja en la figura siguiente

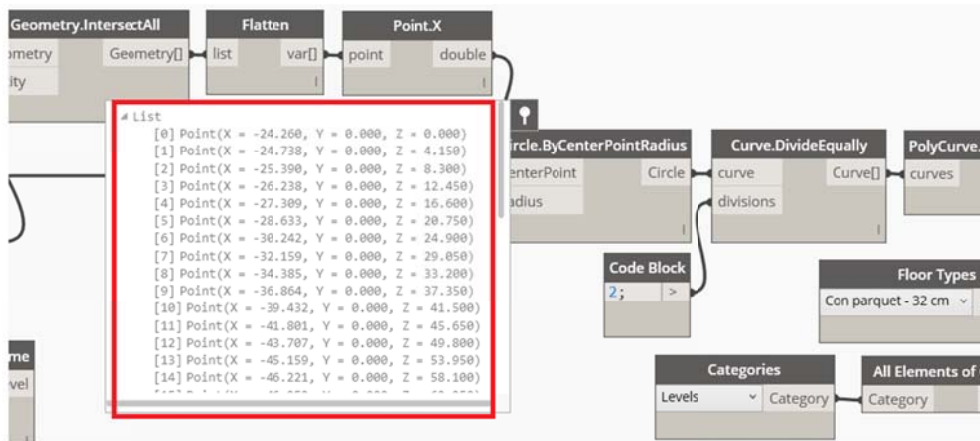


Figura 6.113. Visualización de los resultados del proceso de ejecución de un nodo donde se ven las coordenadas de los puntos de intersección de las circunferencias con el contorno de la línea spline. Elaboración propia con software VPL.

La información contenida en la tabla del nodo anterior podría extraerse a un fichero externo de hoja de cálculo como Excel. Para ello se introducirían en el editor los nodos que indican la ubicación de un fichero de Excel vacío, y el nodo de escritura al fichero anterior. Ver figura

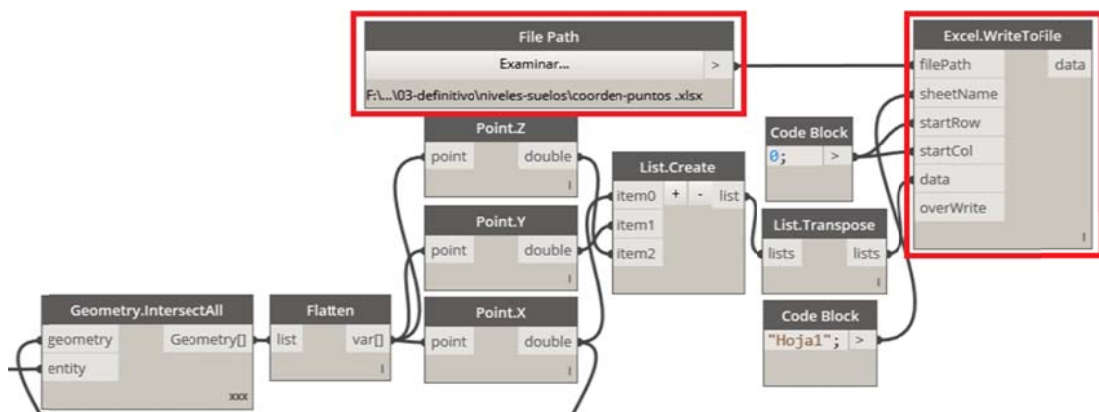


Figura 6.114. Script que dará como resultado la escritura de los datos de la tabla de datos anterior a una hoja de cálculo Excel para su posterior utilización y procesamiento. Elaboración propia con software VPL.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	-24,259857	0,000000	0,000000											
2	-24,650709	0,000000	4,150000											
3	-25,024744	0,000000	8,300000											
4	-25,380761	0,000000	12,450000											
5	-25,717473	0,000000	16,600000											
6	-26,033517	0,000000	20,750000											
7	-26,327475	0,000000	24,900000											
8	-26,597903	0,000000	29,050000											
9	-26,843396	0,000000	33,200000											
10	-27,062672	0,000000	37,350000											
11	-27,254713	0,000000	41,500000											
12	-27,418954	0,000000	45,650000											
13	-27,555542	0,000000	49,800000											

Figura 6.115. Tabla de Excel donde se han copiado los datos de la tabla de coordenadas de puntos de una salida de un nodo del editor de algoritmos. Elaboración propia con software de base de datos.

6.23.3. COMPROBACIÓN DEL SCRIPT DE MODELADO ALGORITMICO GENERATIVO

Llegados a este punto se realizará una comprobación de control para verificar que la estrategia de diseño planeada se cumple, para lo ejecutado hasta el momento y dar por buena la programación de generación algorítmica.

Se desplegarán en la pantalla ambos programas (editor gráfico de algoritmos y software de modelado) y se comprobará si deformando el perfil de la torre desde el software de modelado se regenera y redibuja automáticamente, actualizándose en el editor gráfico de algoritmos los cambios introducidos.

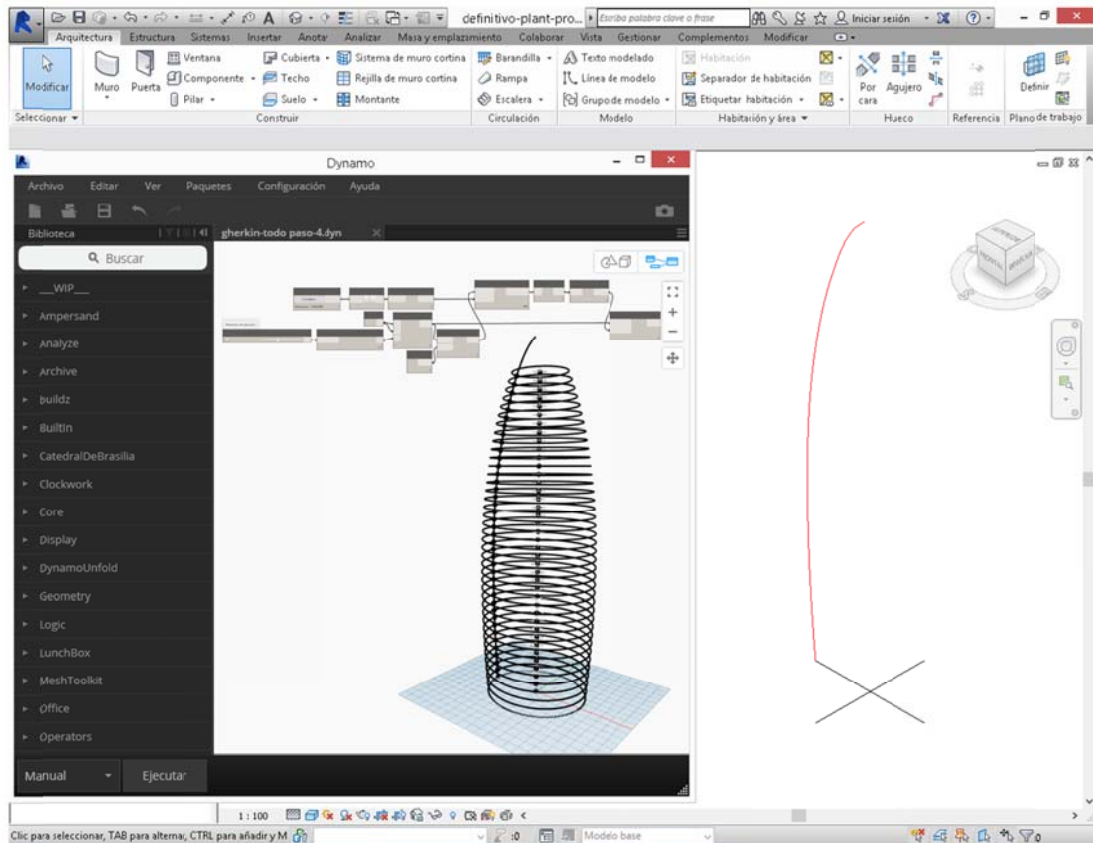


Figura 6.116. Comprobación de control del funcionamiento del script creado. A la derecha spline del perfil exterior de la torre en el software de modelado. A la izquierda script de generación algorítmica de la torre en el editor gráfico de algoritmos. Elaboración propia con software VPL y BIM.

Las circunferencias obtenidas en el editor gráfico de algoritmos, se convertirán más adelante y de forma directa y automática en suelos (elementos de modelado detallado de familias de sistema) dentro del software de modelado, sin necesidad del paso previo de las masas conceptuales.

Modificando el perfil de la spline en el software de modelado, puede verse en el editor gráfico de algoritmos cómo se actualiza toda de generación algorítmica contenida en el script, tal y como puede verse en la figura que se adjunta.

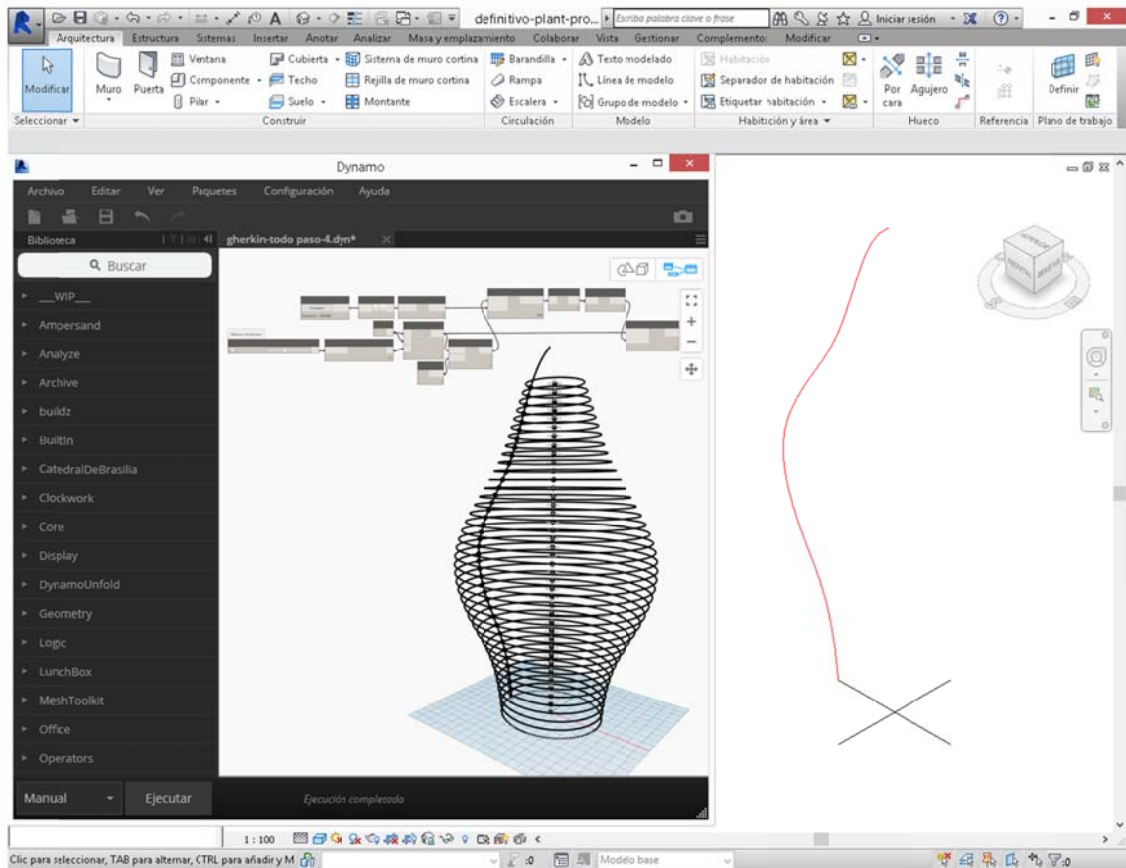


Figura 6.117. Comprobación de control del script creado. A la derecha spline del perfil de la torre que es modificado en el software de modelado. A la izquierda redibujado automático del modelo algorítmico generativo dentro del editor gráfico de algoritmos. Elaboración propia con software VPL y BIM.

Después de realizada la comprobación de control se da por bueno el funcionamiento hasta esta fase del script de programación, continuando con su desarrollo.

No se diseña el modelo directamente como en el modelado paramétrico, sino que se establecen relaciones y operaciones geométricas relacionadas e interconectadas de todo tipo, concatenadas entre unos elementos y otros que son controlados a partir de parámetros que regulan esas relaciones internas de modelado. De esta forma es posible en todo momento modificar o proceder a tanteos previos de dichas relaciones y de los parámetros y algoritmos que las regulan, para que de forma automática regeneren por completo todo el modelo, produciendo los cambios deseados o los tanteos de búsqueda precisos dentro de un abanico de soluciones posibles.

6.23.4. PUNTOS DE DIVISIÓN DE CONTORNOS DE CIRCUNFERENCIAS

Se continuará la programación del script con el desarrollo algorítmico establecido en el apartado número 8 de las fases de modelado establecidas. Se introducirán puntos de división en las circunferencias generadas, que se repetirán un número de veces iguales en su contorno (18 en este caso). Estos puntos serán la referencia de enlace con la estructura diagonal de la torre entre las plantas.

Se utilizará el nodo “Curve.PointAtParameter” que introduce un número de puntos a especificar en la curva entre el parámetro 0 (su inicio) y el parámetro 1 (su final). Se utilizará el nodo “Code Block” para indicar la secuencia de números necesaria en el establecimiento de esta variación del parámetro en el número de divisiones a la hora de la colocación de los puntos. En una circunferencia el punto 0 inicial llega a ser coincidente con el punto 1 final, por lo que habrá que quitar uno de esos puntos para evitar que no haya repeticiones. Esto hará con el nodo “List.RemoveItemAtIndex” que elimina un elemento de la lista especificada en el índice indicado. El elemento a quitar será el último punto que coincidirá con el que marca el nodo de numPuntos de “Integer Slider”. En el nodo “Curve.PointAtParameter” se modificará la variable de Encaje para elegir Producto vectorial. El número de puntos es de división es de 18.

La parte del script que refleja estas operaciones indicadas es la que se refleja en la figura adjunta.

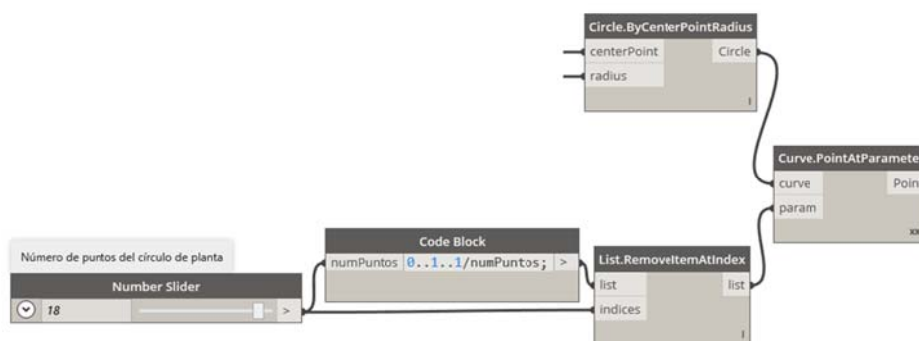


Figura 6.118. Fase 8. Script parcial para añadir al último ya referido, para la inserción de puntos de división de contornos en las circunferencias generadas en el apartado anterior. Elaboración propia con software VPL.

La ejecución del script completo da como resultado el que se ve en la siguiente figura.

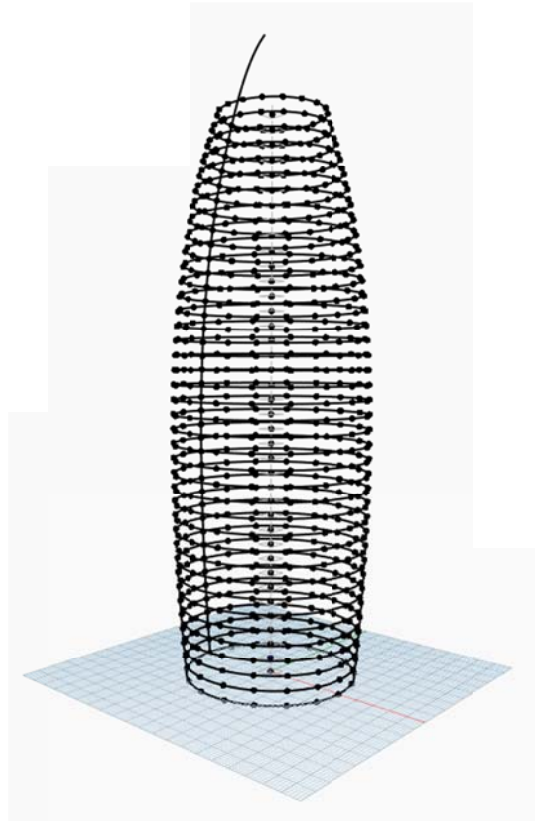


Figura 6.119. Fase 8. Resultado de la ejecución del script anterior, donde se generan en todas las circunferencias existentes puntos de división en partes iguales (18), que servirán de paso para la estructura vertical de la torre. Elaboración propia con software VPL.

5.23.5. INTRODUCCIÓN DEL ENTRAMADO ESTRUCTURAL EXTERIOR

En esta fase se introducirá el entramado estructural exterior de la torre, uniendo con líneas los puntos homólogos de división de cada una de las circunferencias de cada atura.

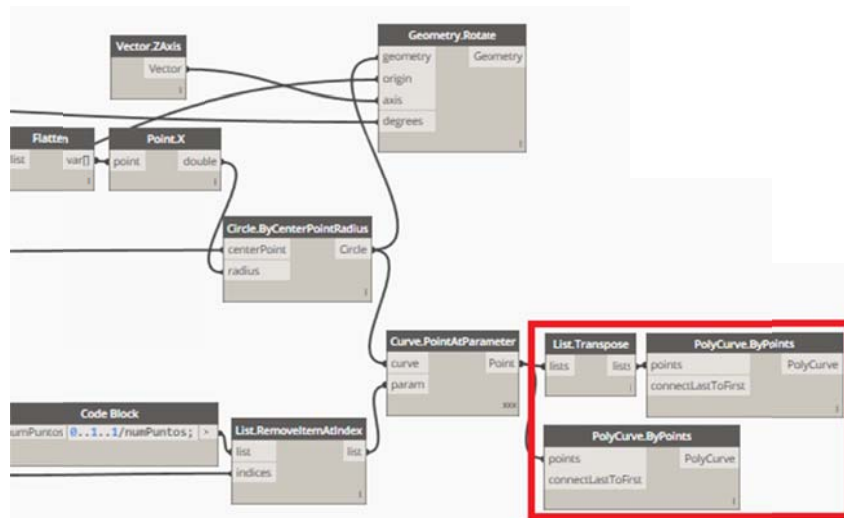


Figura 6.120. Script parcial de la fase 9. Nodos de generación de líneas que unen verticalmente los puntos homólogos de todas las circunferencias existentes en las distintas alturas. Elaboración propia con software VPL.

La ejecución del script anterior queda reflejada en la figura adjunta.

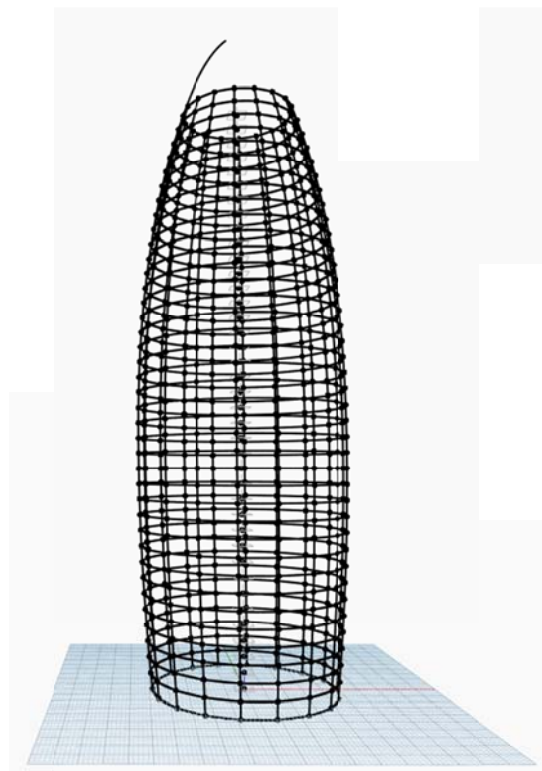


Figura 6.121. Fase 9. Resultado de la ejecución del script anterior, donde se generan en todas las circunferencias existentes, puntos de división en partes iguales que servirán de paso para la estructura de la torre. Al girar las circunferencias y sus puntos de división, la estructura pasará a ser diagonal. Elaboración propia con software VPL.

6.23.6. ROTACIÓN DE CIRCUNFERENCIAS Y ENTRAMADO ESTRUCTURAL COMPLETO

En la estrategia de modelado inicial las circunferencia generadas han sido pensadas para su posterior conversión en suelos de forjados por tanto asimiladas a las plantas de la torre 40 en total, a alturas de 4,15 metros entre forjados, aunque se han utilizados nodos que pueden hacer variable ese parámetro. Estas circunferencias (plantas) presentan rotaciones de 5º entre una y la inmediata superior.

La parametrización de esta circunstancia hace necesaria la creación de una fórmula que establezca una relación entre la rotación que se va a dar a cada planta y el número de la planta a la cual va referida la rotación acumulada. Para ello se dispondrá primero del número de pisos por la rotación. El piso 10 por ejemplo llevará acumulada la rotación de las plantas anteriores y la suya propia es decir número de plantas multiplicado por la rotación de una planta en nuestro caso $10 \text{ plantas} \times 5^\circ \text{ de rotación por planta} = 50^\circ$.

El número de plantas irá en secuencia 0, 1, 2, 3, 4...

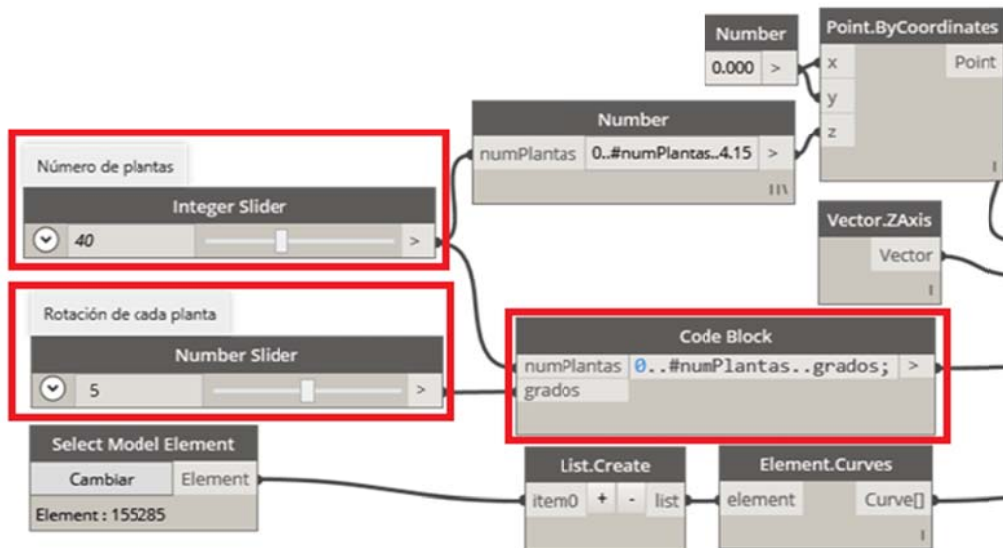


Figura 6.122. Script parcial de la fase 10, donde se ven en rojo los nodos involucrados en dicha fase, para el establecimiento de la rotación de cada una de las circunferencias que se convertirán más adelante en las plantas del edificio. Elaboración propia con software VPL.

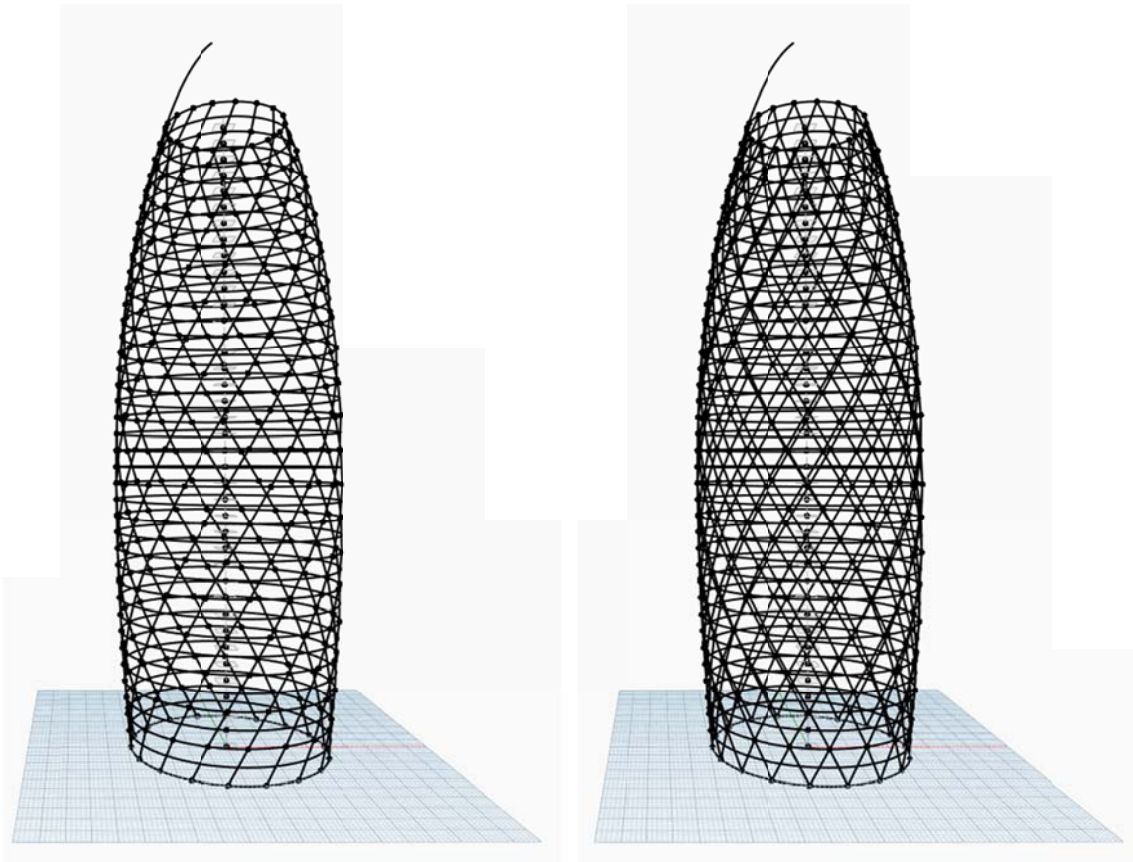


Figura 6.123. Fase 10. Resultado de la ejecución del script anterior. Se generan en todas las circunferencias existentes la unión por líneas de los puntos de división en partes iguales que servirán de paso para la estructura de la torre. A la izquierda con una inclinación y a la derecha con las dos inclinaciones. Elaboración propia con software VPL.

Una vez terminadas todas las circunferencias, que serán convertidas más adelante en plantas de la torre, con sus giros correspondientes en cada una de ellas, y todo el enrejado diagonal de la estructura exterior de la fachada en las dos direcciones que será convertido en elementos estructurales pilares, tal y como se ve en la figura anterior, se comprobará otra vez que si se modifica el perfil de la spline del que depende, el resto de elementos seguirá dicha deformación.

Al modificar en el software de modelado la spline del contorno exterior de definición del perfil de la torre. En la figura siguiente se ve el resultado de esa deformación en el modelado algorítmico comprobando una vez más que es correcto, ya que todos los elementos han respondido a la deformación, obteniendo la figura que se muestra.

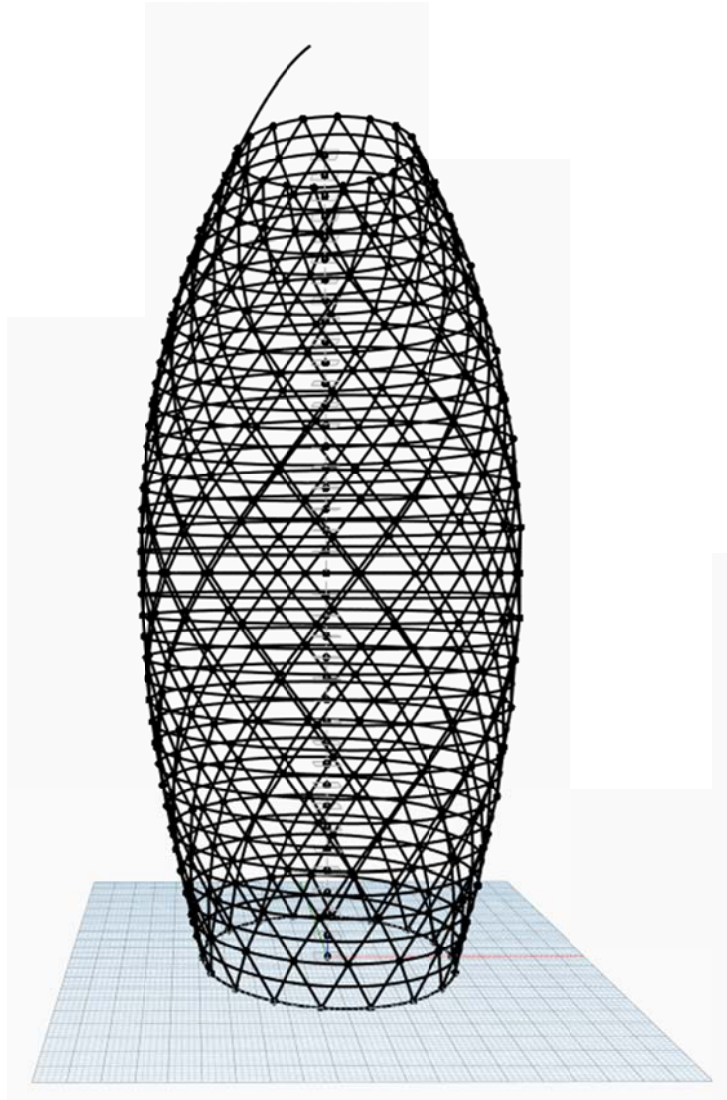


Figura 6.124. Comprobación del correcto funcionamiento del script una vez definido. Se ha retocado la línea del perfil de la spline del software de modelado para darle más “barriga”. Se comprueba como todos los elementos dependientes de la generación de esta línea se actualizan automáticamente. Elaboración propia con software VPL.

6.23.7. CREACIÓN DE SUELOS A PARTIR DE LÍNEAS DE CIRCUNFERENCIA

Se programan de forma secuencial las relaciones geométricas y su dependencia entre los elementos que se deseen generar para la definición del modelo (algoritmos generativos). Al modificar los parámetros de esas relaciones geométricas se modifican individualmente los elementos dependientes de la definición del modelo (en este caso familias de sistema suelos).

Cada una de las circunferencias obtenidas por la sección de la superficie general de rotación del contorno de la spline por los planos de los niveles a sus alturas correspondientes se convierte en un suelo distinto en su nivel y altura correspondiente previamente definida.

Se relaciona de esta manera las superficies de todos los suelos generados con el perfil exterior de definición del Modelo general. Si se modificara o variara la disposición de la línea de definición del perfil exterior del modelo, se modificarían de forma automática e individual cada uno de los suelos para adaptarse a dicha modificación, ya que en la definición del modelo se ha hecho depender unos de los otros. Esta es la característica fundamental del modelado algorítmico.

En las decisiones de programación visual de definición del modelo se ha hecho depender a todos los elementos secundarios de la forma del perfil exterior de la torre que por rotación genera el cuerpo general (pepino), del que se va a hacer depender al resto de elementos a modelar.

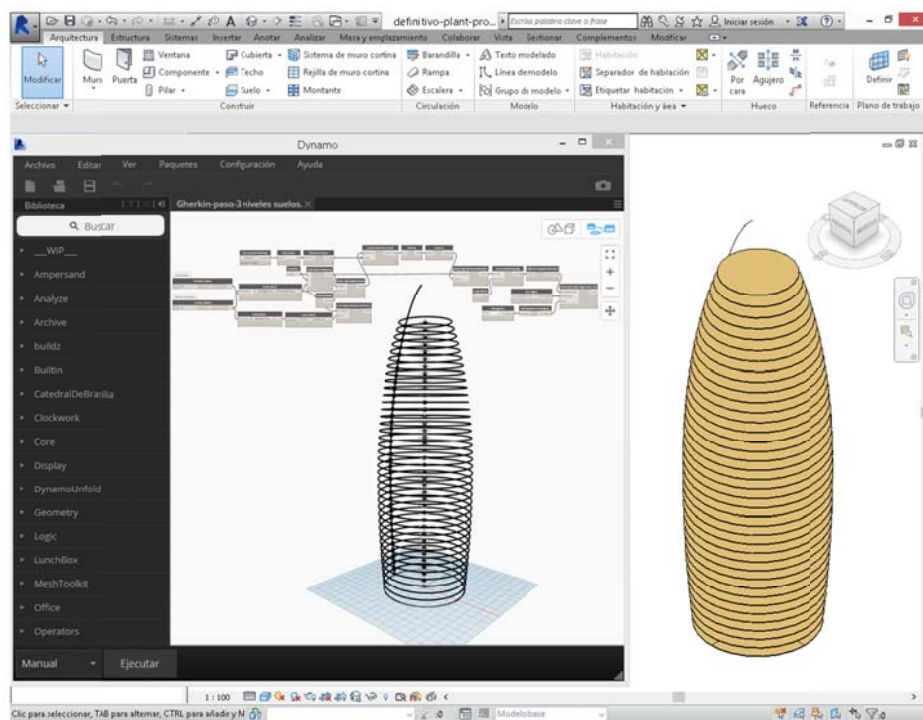


Figura 6.125. Fase 16. A la derecha generación directa de suelos en el software de modelado a partir de las circunferencias generadas en el editor gráfico de algoritmos de la izquierda. Desde el editor gráfico de algoritmos a la izquierda, las circunferencias son convertidas en suelos (modelado detallado) sin el paso previo de las masas conceptuales. Elaboración propia con software VPL y BIM.

Los suelos generados en el software de modelado por las líneas del editor de algoritmos también son dependientes del perfil contenido en ese mismo software de modelado, de tal manera que modificando dicha línea en el software de modelado, se modifica acto seguido la línea del editor del algoritmos que a su vez es actualizada en el software de modelado, como se ve en la figura. Queda patente que el diálogo entre softwares es bidireccional.

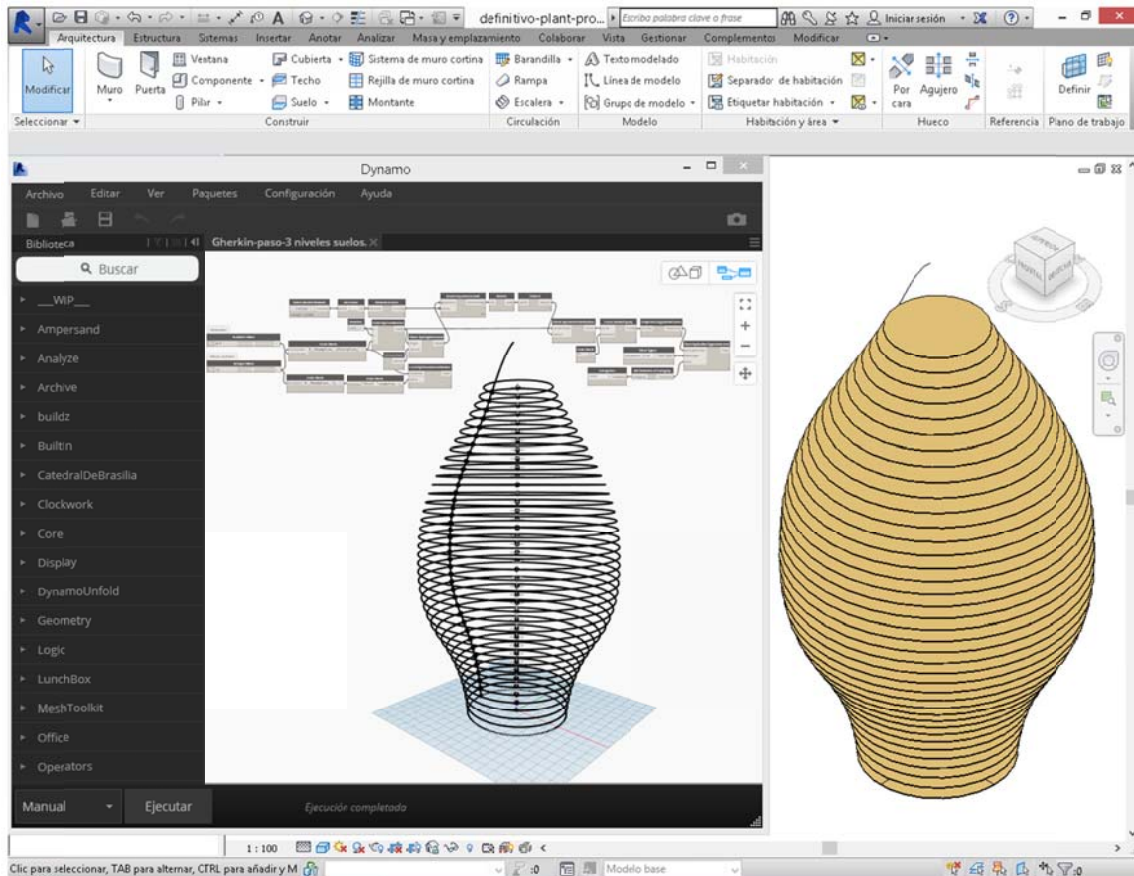


Figura 6.126. A la derecha modificación de la spline del perfil del edificio desde el software de modelado y actualización primero en el editor de algoritmos a la izquierda y luego en el software de modelado a la derecha. Elaboración propia con software VPL y BIM.

Hasta que se cierre el editor gráfico de algoritmos, los suelos resultantes de la generación algorítmica en el software de modelado, siguen siendo dependientes de los algoritmos que los han generado desde el editor.

También es posible la obtención de datos volumétricos, áreas, perímetros y de todo tipo dentro del editor gráfico de algoritmos, al igual que se obtenía dicha información en el editor de modelado de masas. Sólo es necesario utilizar los nodos apropiados al efecto. En la figura siguiente se ha procedido a la creación del volumen del modelo algorítmico.

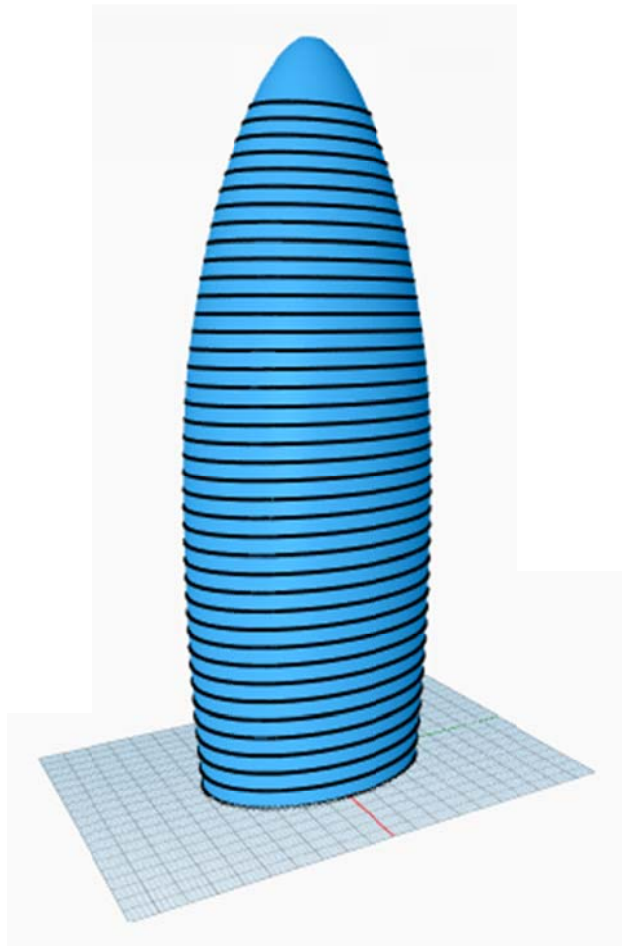


Figura 6.127. Resultado de ejecución de un script para la obtención del volumen completo de la torre, donde además pueden obtenerse muchos datos del modelo para proceder al análisis y obtención de resultados, que ayudarán en gran medida a la toma de decisiones con datos analíticos. Elaboración propia con software VPL.

6.23.8. ESTUDIOS PARCIALES DE DESARROLLOS ALGORÍTMICOS

Se pueden realizar estudios de desarrollos parciales y tanteos previos de soluciones a pequeña escala, mediante la aplicación del modelado algorítmico generativo, circunscrito a zonas parciales

concretas y particulares o problemáticas que luego serán aplicadas a mayor escala una vez tanteada y encontrada la mejor solución al problema planteado.

En este caso que puede servir como ejemplo, se estudia una solución para la generación algorítmica de las líneas diagonales, que pueden representar los marcos estructurales metálicos en forma de “A” del proyecto original. Estas líneas diagonales pueden obtenerse uniendo puntos distintos de dos circunferencias a distintas alturas asimilables a plantas que van giradas cada una 5° respecto de la siguiente. En este caso las líneas diagonales unirán puntos de división de circunferencias pero no de plantas consecutivas como puede verse en la figura, sino de puntos cada dos plantas. Eso significa que en entre esas plantas hay un giro de 10°. Esta particularidad obliga a que el algoritmo de selección, no elija todas las plantas sino solamente de ellas las impares. Todos estos razonamientos son muy importantes analizarlos con cuidado y probarlos con los algoritmos generativos ya que de lo contrario la programación del script no dará el resultado perseguido. Después de las comprobaciones de rigor el script de programación quedaría como sigue.

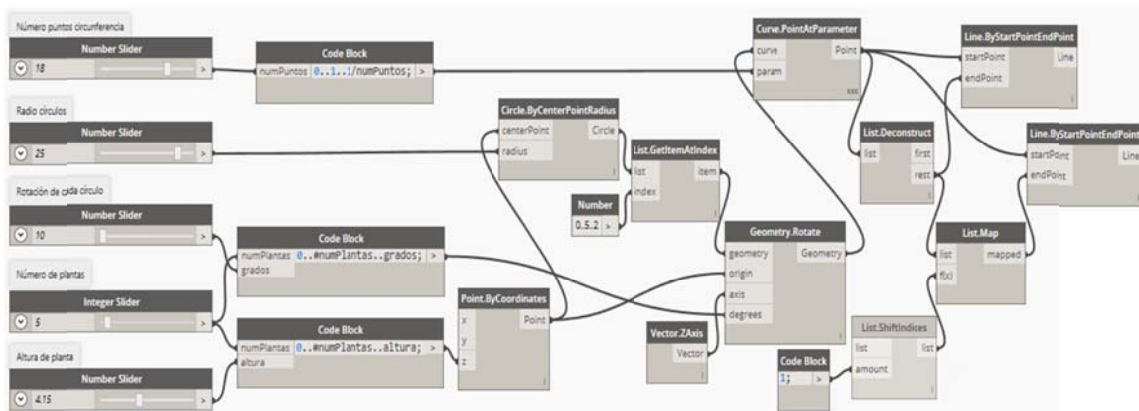


Figura 6.128. Script de un estudio de desarrollo parcial y tanteo de su solución. Se tantea a pequeña escala la resolución algorítmica de una parte del problema que necesita solución a una escala mayor. Se generan en todas las circunferencias existentes la unión por líneas de los puntos de división en partes iguales que servirán de paso para la estructura de la torre. A la izquierda con una inclinación y a la derecha con las dos inclinaciones. Elaboración propia con software VPL.

La ejecución del script anterior da como resultado el modelo que puede verse en la figura siguiente.

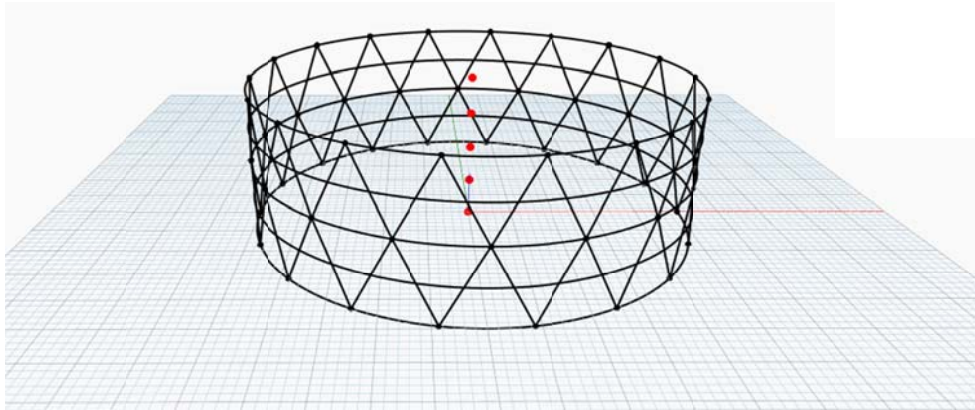


Figura 6.129. Esquema de resultado parcial en el editor gráfico de algoritmos, de un script de trabajo de una zona de estudio parcial para comprobar el comportamiento concreto de zonas parciales donde y diferentes alternativas de programación o tanteos previos de solución de problemas de elementos muy concretos dentro del conjunto. Elaboración propia con software VPL.

En este caso se ha conseguido rotando los círculos del perímetro de las plantas con el nodo “Geometry.Rotate” y luego dividiendo cada uno de los círculos para obtener 18 puntos en cada uno de ellos, utilizando el nodo “Curve.PointAtParameter” y eliminando de la lista que devuelve el nodo anterior, el último punto para que no se duplique.

El resultado del script anterior se ha ejecutado para 5 circunferencias divididas por puntos asimilables a 5 plantas al seleccionar en el nodo correspondiente “Integer Slider” dentro de la barra deslizante el número 5 que corresponderá al número de circunferencias creadas. Cada elemento generado en el editor gráfico de algoritmos (en el ejemplo básicamente líneas), como ya se ha visto en el apartado anterior, puede convertirse directamente utilizando nodos y algoritmos adecuados del editor gráfico, en elementos de diseño detallado (familias) dentro del software de modelado. Y si se modifica o varía el algoritmo generativo del elemento de que se trate se actualizará y redibujará automáticamente en el software de modelado. De esa forma las líneas diagonales podrán convertirse en elementos estructurales de modelado detallado indicando en el nodo el tipo de familia y características por la que se opta en su conversión. Al igual que el suelo del apartado anterior.

El script que daría la creación de niveles de suelos, los propios suelos y los soportes estructurales en las dos direcciones establecidas es el que puede verse la figura siguiente.

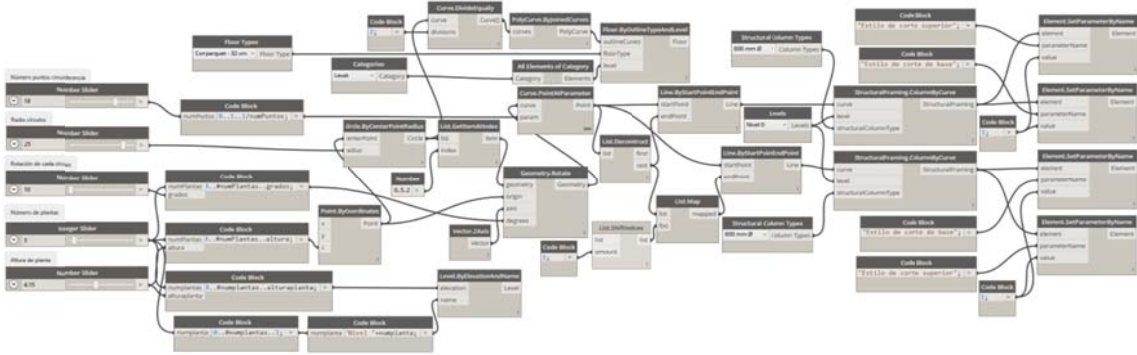


Figura 6.130. Fase 8. Script parcial para añadir al último ya referido, para la inserción de puntos de división de contornos en las circunferencias generadas en el apartado anterior. Elaboración propia con software VPL.

Como ya se ha dicho los elementos generados de forma algorítmica en el editor gráfico de algoritmos, utilizando los nodos adecuados es posible convertirlos de forma directa en elementos de modelado detallado dentro del software de modelado seleccionando la familia en la que serán convertidos dentro del nodo a que corresponda.

En este caso las 5 circunferencias serán convertidas directamente en suelos “Con parquet – 32cm” como puede verse en el nodo “Floor Types” y las líneas de enrejado perimetral serán convertidas en elementos estructurales diagonales dentro del software de modelado. Ver figura adjunta.

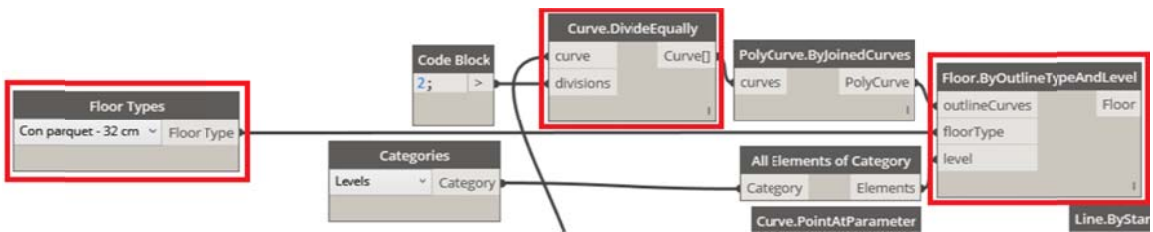


Figura 6.131. Vista parcial del Script donde puede verse la elección del tipo de suelo que se elegirá en la conversión de los elementos del editor de algoritmos dentro del software de modelado. Elaboración propia con software VPL.

En la figura siguiente otra parte del script donde se ve el nodo “Structural Column Types que es el pilar circular de diámetro 600 mm de diámetros y que corresponde a un pilar redondo. También se ven las especificaciones para ese elemento como son “Estilo de corte superior” y “Estilo de base” para completar su definición. Ver figura siguiente.

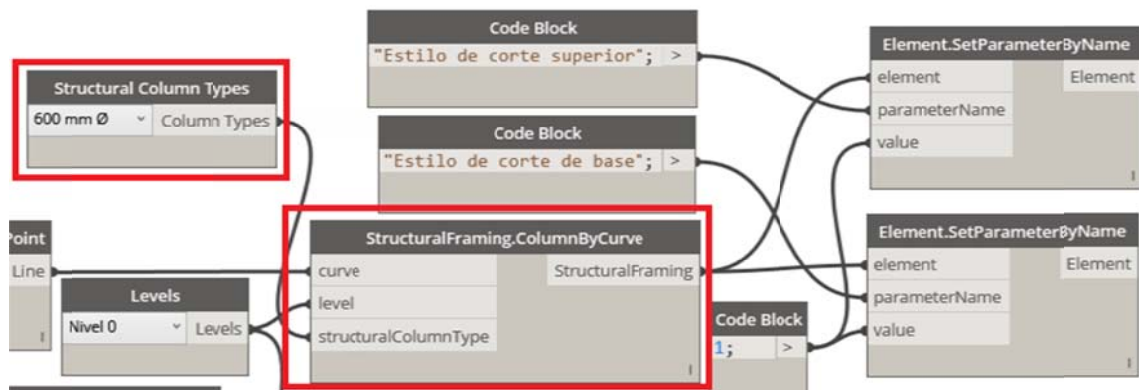


Figura 6.132. Vista parcial del Script donde puede verse el nodo de selección del tipo de “Columna Estructural” con 600 mm de diámetro que se ha elegido para la conversión de los elementos del editor de algoritmos dentro del software de modelado. Elaboración propia con software VPL.

El resultado de la ejecución del script anterior es el que se ve en el gráfico adjunto.

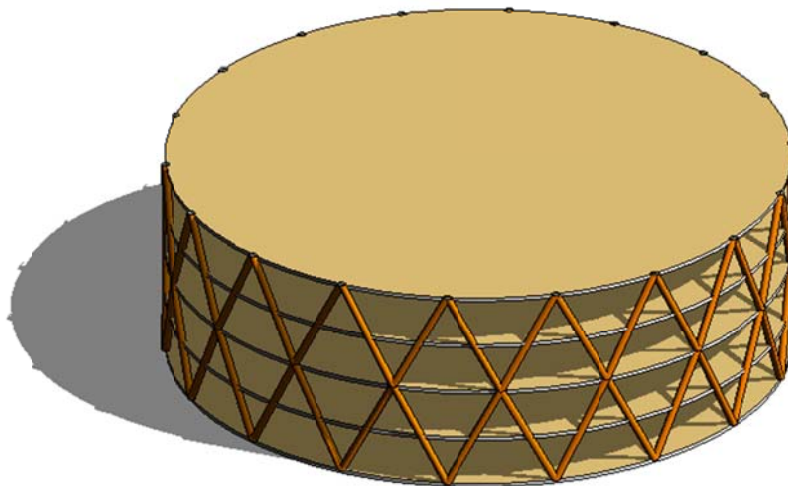


Figura 6.133. Resultado de la ejecución del Script donde aparecen en el software de modelado 5 suelos y la estructura diagonal formada por dos rejillas diagonales de pilares circulares. Elaboración propia con software BIM.

Aparecen 5 suelos creados uno por cada una de las circunferencias existentes. Estos suelos se asocian a los niveles definidos previamente en la definición del script. No puede crearse el suelo si antes no han sido creados los niveles a los que van asociados. También se ven los pilares circulares de las dos rejillas diagonales que unen los puntos de división en partes iguales de las circunferencias cada dos plantas.

En el gráfico siguiente puede verse la misma figura anterior pero en perspectiva cónica.

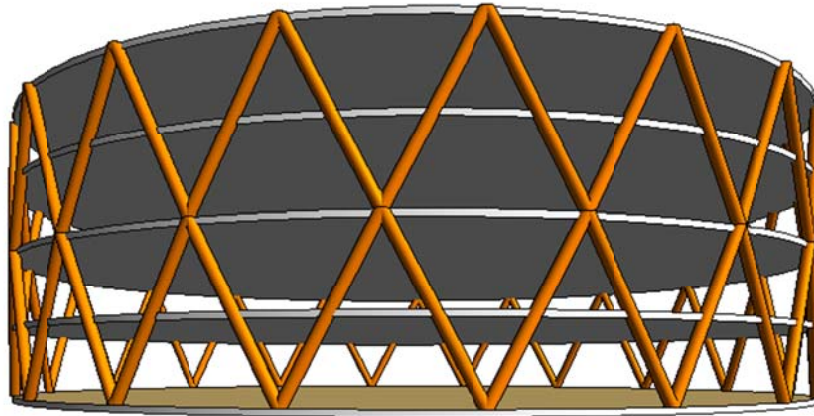


Figura 6.134. Vista en perspectiva en el software de modelado del resultado de la vista anterior con las plantas de los suelos y la estructura diagonal de fachada. Elaboración propia con software BIM.

Modificación desde el editor gráfico de algoritmos del diámetro de todos los soportes estructurales del edificio y su actualización en el software de modelado. Es posible desde este editor cambiar cualquier propiedad que pueda hacerse desde el propio software de modelado.

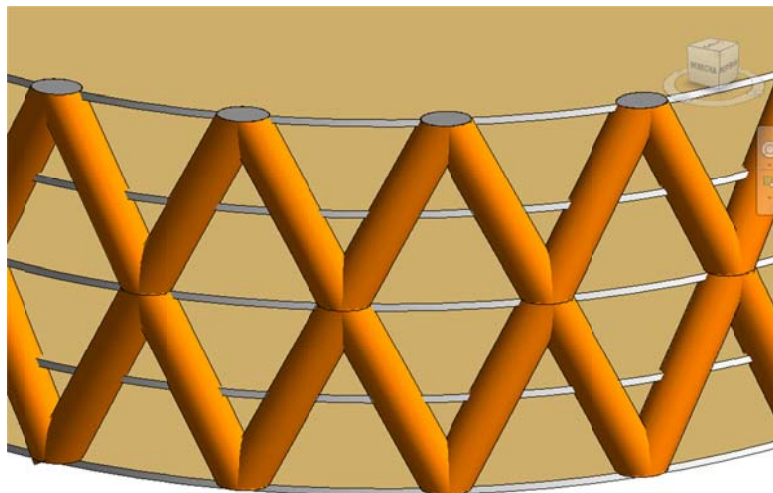


Figura 6.135. Vista en el software de modelado del cambio de diámetro de todos los soportes estructurales, realizada desde el editor gráfico de algoritmos. Elaboración propia con software BIM.

6.23.9. PANELIZACIÓN DE SUPERFICIE, COMPONENTES ADAPTATIVOS

Para crear la panelización es necesario primero generar una superficie exterior sobre la que irán cosidos los paneles adaptativos. Esta superficie se creará con el nodo "Surface.ByLoft". De un sólido también es posible extraer su superficie más exterior con la utilización del nodo "Surface.GetIsoline", estos dos nodos tienen en común que es necesario incorporar en ambos una rejilla de división de la superficie, definiendo para ello las divisiones U y V por medio de parámetros. El tipo de curva devuelto dependerá del tipo de superficie. Luego se dispondrá el panel adaptativo.

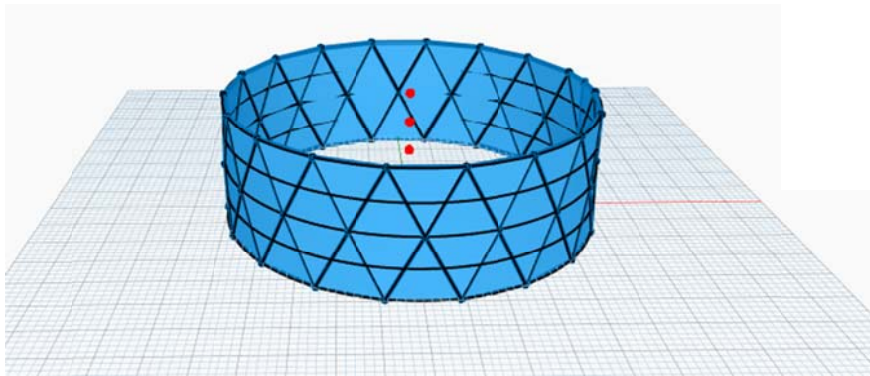


Figura 6.136. Resultado de la ejecución del script que genera primeramente la superficie exterior de la fachada y su división de rejillas $U = 36$ y $V = 2$. Luego introducirán los paneles. Elaboración propia con software VPL.

Se aplicará a la superficie anterior un patrón de rejilla de triángulos con un paquete llamado "LunchBox" descargado de internet, que utiliza un nodo ubicado en LunchBox/Geometry/Panel/"LunchBox Diamond Grid by Face". Se insertarán dos paneles uno formado por 4 puntos adaptativos (dos triángulos con arista común y otro por tres), para hacerlos cuadrar con el despiece por puntos de la figura. El nodo anterior triangula la superficie de que se trate devolviendo una superficie formada por triángulos planos y pide unos valores de U y de V para dividir la superficie dada, que es la forma de localizar las coordenadas de los puntos adaptativos dentro de dicha superficie. Luego pide la superficie donde colocar el tramado y triangula la superficie original. Para insertar paneles adaptativos es necesario ir a Revit/Elements/Adaptive-Component.

Los paneles a definir son dos uno de 4 puntos formado por dos triángulos que comparten una arista (1-3) común y que pueden formar ángulo entre ellos con la numeración que se indica de cara a la inserción y otro que es un triángulo plano normal también con la numeración que se indica de cara a su inserción tal y como queda reflejado en las figuras siguientes.

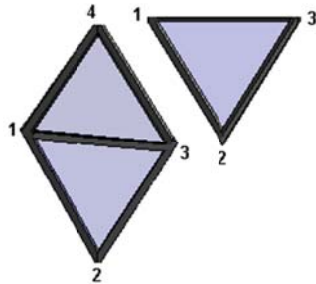


Figura 6.137. Vista de los dos tipos de paneles adaptativos distintos utilizados para la panelización de la superficie exterior de fachada. El primero formado por 4 puntos que pueden formar planos distintos y comparten una arista común (1-3), el segundo un triángulo plano normal. Elaboración propia con software BIM.

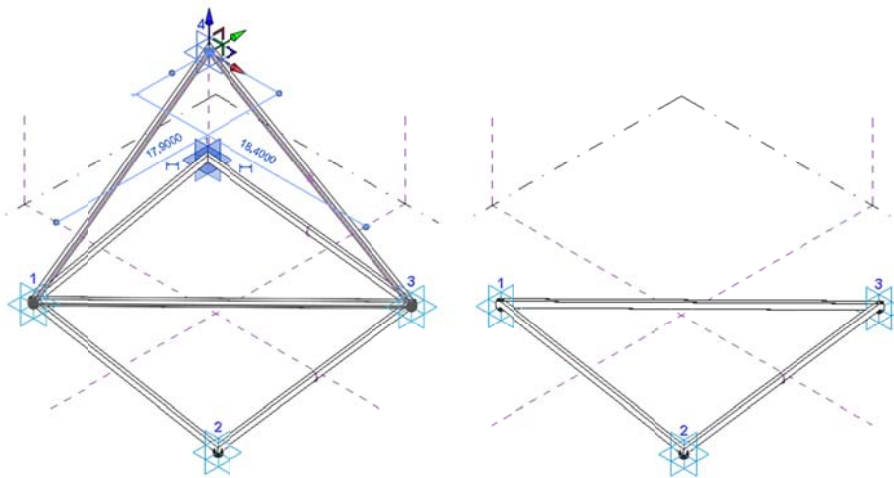


Figura 6.138. Creación de los paneles anteriores desde el software de modelado. El primero formado por 4 puntos adaptativos sin necesidad de que forme un plano único compartiendo arista común (1-3). El segundo formado por tres puntos adaptativos en un único plano. Elaboración propia con software BIM.

El script para la panelización de la superficie de fachada, con los dos paneles adaptativos anteriores sería el de la figura. Los nombres de los paneles son Panel Triangular (3P) y panel-4p-adaptativos (4P) y van cosidos a las divisiones de los puntos establecidos de la rejilla definida.

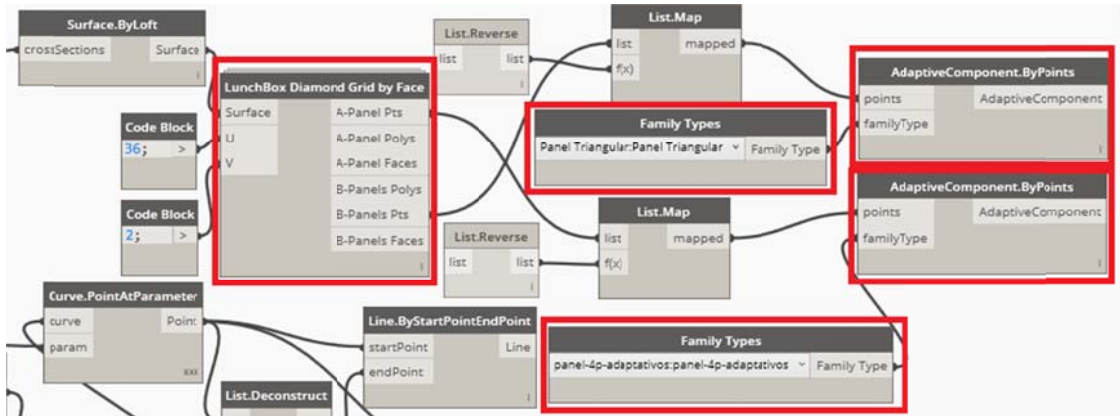


Figura 6.139. Diagrama del script que crea curvas de línea de parámetro en la superficie especificada mediante el nodo "Surface.GetIsoline", para poder insertar en la superficie un panel adaptativo. Elaboración propia con software VPL.

El resultado de la inserción de estos dos tipos de paneles adaptativos en la superficie de fachada da como resultado dentro del software de modelado, la representación que se aporta en la siguiente figura.

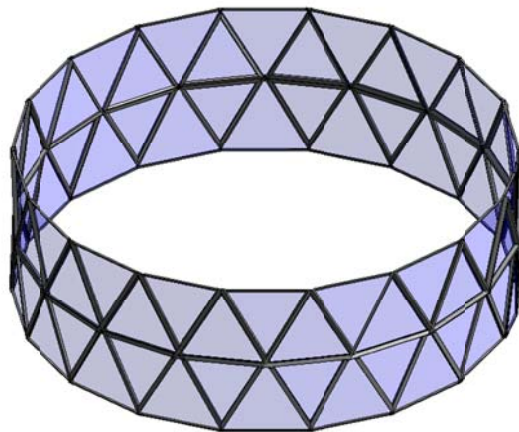


Figura 6.140. Resultado final de la panelización con los dos paneles definidos anteriores y la utilización del nodo del paquete "LunchBox" a descargar de internet llamado "LunchBox Diamond Grid by Face". Elaboración propia con software BIM.

Esta generación algorítmica de una parte, sería aplicable, con los mismos principios a totalidad del edificio inicial, por lo que para no alargar su desarrollo se da por concluida.

7. RESUMEN Y CONCLUSIONES. LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO

7.1. RESUMEN, LOGROS CONSEGUIDOS Y CONCLUSIONES

1) El resultado de la investigación aplicada al modelado algorítmico en su interacción de forma integrada con el modelo BIM se realiza sobre objetos reconocibles y definidos geoméricamente. En ellos se conceptualizan y abstraen una colección de operaciones como la iteración, la recursión y el encapsulamiento relacionadas con procesos geométricos, matemáticos, sistemas (algoritmos) y variables paramétricas. Esto permite comprobar con evidencias sólidas, objetivas, predecibles y repetibles su verificación. Los nodos utilizados en los algoritmos devuelven los valores relacionados con la ejecución de sus procesos internos. Esto garantiza la universalización de los resultados, convirtiendo el caso concreto de estudio, en regla general que permite su extrapolación a otros casos.

Se logran aunar técnicas de modelado de geometría generativa algorítmica de código de programación visual, con el modelado de geometría paramétrica BIM realizando un trabajo colaborativo bidireccional entre ambas vías de modelado. Esto beneficia a los dos sistemas de generación de formas BIM y VPL, que resultan potenciados todavía más, pudiendo optar por el trabajo conjunto o separado según convenga a cada caso.

Otro logro es la comprobación también del intercambio de información entre los dos softwares de modelado BIM y VPL con otros softwares como los de hojas de cálculo y base de datos, que permiten tanto la introducción de información como la extracción de información desde ellos a los softwares de modelado. Esto posibilita modelar objetos con información contenida en softwares externos a los de modelado. Y extraer información en hojas de cálculo o base de datos desde los softwares de modelado a hojas de cálculo o base de datos, para realizar cualquier otro tipo de auditorías con los datos extraídos.

2) La hipótesis inicial de partida de este trabajo de investigación sostenía que el modelado de masas, es la forma de trabajo que reporta más beneficios a la hora de acometer el proceso del modelado de formas. Ya que permite un grado de libertad en la creación manipulación y edición

de formas mucho mayor que el modelado tradicional o modelado de detalle, que presenta más restricciones y su grado de libertad en la generación de formas es mucho menor.

Con él se mejora sustancialmente, el análisis, manipulación, exploración, tanteos alternativos y comunicación visual, al permitir simulaciones multidisciplinares y auditorías diversas, aportando datos relevantes y apoyatura analítica, en la toma de decisiones desde fases muy tempranas de desarrollo del proyecto. En esas fases las modificaciones de proyecto, representan menos costos en tiempo y costes para el proyecto. Esto permite optimizar el propio proceso de diseño, cuestionando los métodos tradicionales utilizados para proyectar. Se proponía la vía del modelado de masas que incluye su parametrización es decir la introducción de múltiples variables paramétricas de gobierno, gestión y control formal de la familia de masas, como vía alternativa al modelado tradicional. Las masas son un recurso de modelado, que permite grados de definición progresiva, aproximación gradual y parametrización hasta llegar a su conversión a elementos de modelado detallado. Obtiene una solución única, sin dejar constancia de los procesos seguidos en su solución. Para introducir cambios hay que retocarlas y dar marcha atrás para rehacer.

3) Estas hipótesis de partida, por todo lo expuesto en el presente trabajo, sufren un vuelco y una reformulación importante, con la aparición reciente de la segunda vía alternativa de modelado, que es la vía algorítmica. Esta vía puede sustituir completamente y/o complementar a la primera. Ya no será necesario, para llegar al modelado detallado, establecer el recurso del paso previo de las masas. Los propios elementos de generación algorítmica creados en el editor de algoritmos, tienen la capacidad de ir a parar al software de modelado convertidos directamente en elementos de modelado detallado como muros, suelos, techos, pilares, etc. de familias de sistema. Esto es debido al lenguaje de comunicación (programación visual) establecido entre ambos softwares.

4) Con el modelado algorítmico se obtiene no una solución única, sino un sistema de búsqueda múltiple de soluciones, utilizando como recurso un lenguaje de programación (visual), a base de codificar secuencialmente el propio proceso de modelado generativo, vinculándolo a un conjunto de variables y algoritmos lógicos concatenados, involucrados en dicho proceso. Con ello se obtiene un abanico de soluciones, dependientes de dichas variables y algoritmos. De la multiplicidad de soluciones posibles tras su análisis y auditorías de comprobación realizadas, se elegirá la solución óptima dependiente de unos parámetros concretos. La forma sería el resultado de un proceso

complejo de búsqueda, información y decisión, las respuestas que mejor se adaptan a determinadas necesidades.

5) Esta segunda vía de modelado algorítmico y el sistema de programación visual que comporta, ofrece muchos más recursos, más potentes, con más control, más precisos y mucho más rápidos que los utilizados en el modelado paramétrico. A esto hay que añadir que estos lenguajes de programación visual, soportan y dan la opción de utilización de código de programación textual como Python, C#, Visual Basic.net y Design Script. Sirviendo como herramienta para generar nuevas herramientas específicas personalizadas para resolver problemas, y automatizar tareas repetitivas con importantes ahorros de tiempo en la realización de tareas. Herramientas que no dependerán de las compañías de software ni de plugins de terceros, aumentando todavía más si cabe su potencialidad.

6) Dado que los editores gráficos de algoritmos se relacionan bidireccionalmente con otros softwares con los que es susceptible el intercambio bidireccional de información como Hojas de cálculo (Excel), Bases de datos (Acces), etc. El modelado algorítmico mejora la productividad la precisión, etc. y es posible gestionar un modelo geométrico con tablas de datos lo que incrementa aún más sus potencialidades.

7) El nivel de definición del modelo (en el caso del edificio Swiss Re del estudio puede decirse que es de un LOD 350) que mide la cantidad y calidad de la información que tendrá el modelo, tiene sus limitaciones, en los casos de masas conceptuales en los que hay que aplicar familias adaptativas anidadas, que recubran la superficie general en cada una de las celdillas de división de la masa general, como en el caso de la torre Swiss Re. En estos casos no es posible introducir un alto grado de definición en su modelado, ya que el mismo diseño de la célula repetitiva que debe autorreplicarse, también debe adaptarse a cada una de las divisiones del patrón, de la masa general en todos los lugares haciendo variar de tamaño la célula para su adaptación.

8) La programación y utilización de sistemas algorítmicos generativos, tiene una gran incidencia y repercuten en una mayor eficiencia metodológica (replicable, reutilizable y extrapolable a múltiples casos), que permite generar un nexo efectivo, entre la forma digital y la forma real. Además el modelado algorítmico puede complementar al modelado gráfico, al determinar, ajustar y

optimizar parámetros concretos, muy específicos del propio diseño de la forma. Mejora la precisión del modelado y la productividad, siendo posible gestionar un modelo geométrico con tablas de datos procedentes de otros softwares como Excel o Acces, etc.

9) Integración más eficiente de los procesos de diseño y construcción. Los sistemas emergentes paramétricos, permiten el desarrollo de componentes generativos para la construcción de formas arquitectónicas, que incorporan variables de tipo contextual y material dentro de un mismo sistema productivo. Por otro lado, permiten asegurar una mayor flexibilidad de diseño al tener la posibilidad de hacer procesos repetitivos de forma instantánea, con diferentes y múltiples configuraciones de una misma idea de diseño, manteniendo sus relaciones topológicas, y por consiguiente garantizando una correcta materialización, por cuanto el sistema recalcula de forma automática cada ensamble entre componentes, sin importar la complejidad de la forma.

10) La integración interdisciplinar es un aspecto esencial a tener en cuenta en el desarrollo del modelo. De las especialidades involucradas en el proyecto, que permiten instaurar el proceso de diseño y el modelo de información (como producto derivado de estos sistemas de producción), como fuente principal de información, transversal a todas las especialidades (cálculo, instalaciones, construcción, etc.).

CONCLUSIONES

La programación ayuda a tener un pensamiento más analítico, más riguroso, con más objetividad, con más control, ayuda a pensar mejor y sirve para entender y dominar mejor las herramientas digitales. La incorporación de los lenguajes de programación visual y de código textual convencional, dentro del modelado algorítmico generativo de formas, aporta ventajas competitivas importantes y establecerá nuevos paradigmas sobre la forma más eficiente de modelar y proyectar las construcciones y el proceso de diseño del proyecto. El empleo de estas nuevas herramientas y tecnologías suponen un cambio de paradigma en la forma de modelar y por extensión de proyectar que modifican sustancialmente los tiempos de desarrollo del trabajo.

Esto redundará en la creación de nuevos nichos de trabajo en campos de modelado, fabricación o producción digital, realidad virtual, simulaciones multidisciplinares de comportamientos y rendimientos de los modelos generados, y el reconocimiento por parte de la sociedad de la figura del arquitecto y ayudará a divulgar la diversificación de las tareas que estos son capaces de acometer.

7.2. PUNTOS DÉBILES DETECTADOS

1) El modelado algorítmico generativo mediante la utilización de software de programación visual, como el editor gráfico de algoritmos paramétrico Dynamo, pese a que no necesita el dominio de un lenguaje de programación textual convencional al uso, y se ofrezca con el eslogan de programación para no programadores, necesita del conocimiento y conceptos mínimos de organización de tablas con entrada y salida de datos, listas de datos, conceptos matemáticos, etc, que no son tan intuitivos como pudiera serlo el software de modelado de objetos. Implica tiempo y costos de aprendizaje para hacerse con los conceptos mínimos imprescindibles requeridos para acometer su utilización. A esto se une que lleva, relativamente poco tiempo desde que inició su andadura, de todo ello se trasluce en que la curva de aprendizaje es bastante pronunciada.

2) La necesidad de operar entre múltiples tecnologías dentro del diseño paramétrico está creciendo continuamente día tras día. Nuevas aplicaciones se incorporan, resultando difícil estar al día en sus innovaciones, representando también un desafío el intercambio de datos entre las diferentes plataformas, ya que a menudo, al importar la geometría no se puede editar, salvo dentro de su formato nativo del software de origen.

3) Se han hecho pruebas en la gestión de datos de Revit, exportando la base de datos de un modelo a otro programa de base de datos como Acces, y se comprueba que la gestión de datos desde Acces es más eficiente, más rápida, y permite más posibilidades en cuanto al establecimientos de distintas consultas cruzadas, que desde el propio software de modelado. Revit no permite el establecimiento de consultas que combinen o involucren datos cruzados de tablas de categorías diferentes. No pueden establecerse consultas, que filtren por ejemplo muros y ventanas existentes en una determinada fachada del edificio. Las consultas deberán ser sobre una

misma categoría cada vez, lo que da tablas diferentes que luego pueden agruparse. Esta misma consulta en Acces es inmediata, y el resultado es mostrado en una única tabla que combina las dos categorías juntas. La gestión de datos desde Revit es uno de los puntos débiles, que habría que mejorar, para permitir las consultas cruzadas entre categorías de elementos diferentes.

4) Las masas conceptuales al no ser familias de sistema, tienen el inconveniente de necesitar de la intervención del usuario para la introducción de parámetros que las gobiernen en su generación y obtención de los resultados deseados, tanto gráficos o de modelado como analíticos o de cálculo (tabulaciones de componentes, mediciones, utilización de fórmulas diversas, etc.). Lo que hace necesario un conocimiento previo en profundidad, del funcionamiento de todas las herramientas y técnicas disponibles para la realización de estas tareas, que muchas veces no resultan sencillas ni fáciles de aprender. Esto dificulta su utilización y aprovechamiento de todo su potencial.

7.3. APORTACIONES PERSONALES AL TEMA DE ESTUDIO

La aportación más original de este trabajo de investigación dentro del campo del modelado de formas en general, se cree que ha sido la de proponer nuevas vías alternativas de modelado, frente a las herramientas tradicionales al uso, con empleo de métodos y tempos que vienen siendo utilizados para su gestión, análisis desarrollo, representación, gobierno, gestión y control de formas y por extensión al proyecto arquitectónico. Estas vías son por un lado el modelado con masas conceptuales estableciendo con él una primera vía, la vía paramétrica. Y por otro el modelado con lenguajes de programación visual (VPL) y textual, estableciendo una segunda vía de generación, la vía algorítmica. Ambas al amparo de las herramientas digitales que implican la adquisición y desarrollo de nuevas técnicas instrumentales y metodologías que comportan mejoras sustanciales en los procesos de generación, manipulación, edición, control de formas, nuevos tempos, mejoras en el desarrollo del análisis, simulación de comportamientos y auditorías de todo tipo junto con un nuevo gobierno, gestión y control de dichas formas con la capacidad de mejorar también el proceso de búsqueda de soluciones más eficientes y eficaces con un sustancial ahorro de tiempo en sus formulaciones.

Otra de las aportaciones se cree que ha sido, la del estudio comparativo y práctico de sus características propias y diferenciales y sobre todo la exploración de sus interconexiones y relaciones de diálogo y complementariedades entre ambas vías de modelado la paramétrica y la algorítmica. Todo ello para contrastar de forma práctica su utilidad y hacerse cuestión de la necesidad o no de adquisición de nuevos conocimientos que permitan su mejor entendimiento, manejo y control de las herramientas digitales y el uso de lenguajes de programación para su aplicación al modelado de un mismo edificio. Para contrastar sus diferencias sus puntos fuertes y sus puntos débiles así como sus complementariedades y como pueden entablar dialogo entre ellas interrelacionándose y hasta complementándose en un trabajo conjunto.

7.4. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

A continuación se pasan a enumerar las posibles vías de investigación relacionadas con el tema de estudio de esta tesis y que se prevén puedan ser objetos de interés para desarrollos futuros.

1) Dada la rápida evolución y desarrollo continuo en los últimos años de los lenguajes de programación tanto gráficos o visuales como textuales, aplicados al modelado 3D, se prevé como futuras vías posibles de investigación, la profundización en el estudio de estas herramientas digitales. Así como sus aplicaciones no sólo al modelado de formas sino a otros ámbitos, como el de las instalaciones o las estructuras, y su interrelación e intercambio de información entre ellas y los softwares de simulaciones y realidad virtual relacionadas con la edificación y auditorías multidisciplinares de todo tipo.

Relacionado con este ámbito del conocimiento otra de las previsible vías o líneas de investigación se considera que podría ser el la incorporación de la programación textual convencional en el desarrollo y personalización de nuevas herramientas de trabajo relacionadas no sólo con la generación de formas sino en otros campos como el de las instalaciones, estructuras auditorías energéticas, etc. Las técnicas de programación relacionadas con estas actividades, serán las nuevas destrezas que serán demandadas a los nuevos arquitectos y diseñadores.

2) Se prevén también otras posibles futuras líneas de investigación sobre la interconexión entre aplicaciones digitales e intercambio de información entre ellas que permitan realizar simulaciones, análisis de fenómenos físicos (auditorías energéticas soleamiento ventilación), chequeos, detección de interferencias y conflictos de comportamientos multidisciplinares entre los distintos sistemas incorporados al modelo. Interrelación de comportamientos virtuales de sistemas (arquitectura, estructura, e instalaciones) entre aplicaciones sobre plataformas BIM como Navisworks, Revit, Ecotect, etc.

3) También se considera que podrían ser nuevas vías de investigación previsible las relacionadas con la fabricación y producción digital en taller de los elementos y formas modeladas, con la incorporación de técnicas de modelado algorítmico generativo, en la búsqueda de soluciones y recursos de optimización de procesos recursos y resultados. Una de las ventajas del modelado algorítmico es que permite la integración de la fabricación digital de forma directa al diseño, ya que puede involucrarse la producción digital por medio de máquinas de control numérico, corte láser, impresoras 3D, etc. Así es como la producción digital puede optimizar el tiempo y los costos de producción al aplicar los conceptos básicos de la prefabricación.

Dentro del diseño generativo se prevén posibilidades de conexión más directa entre las descripciones de las formas y los artefactos, mediante maquinaria controlada numéricamente, como cortadoras de plasma, ruteadoras por ordenador CNC y en general cualquier dispositivo de fabricación asistida por ordenador (CAD-CAM), facilitando el paso entre el diseño y la construcción. No se dice a las máquinas lo que se puede hacer, sino lo que se necesita, y se permite a los ordenadores que procesen alternativas diferentes a través de la evaluación y comparación de miles de posibilidades.

8. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DOCUMENTALES

8.1. LIBROS IMPRESOS, ARTÍCULOS

- Aguilar García, María de la Cruz (2010). *"Drawing vs building information management from drawing to BIM"*
- Anderl, R., y Mendgen, R., *"Modeling with constraints: theoretical foundation and application. Computer-Aided Design 28"*, nº. 3 (1996): 155-168.
- ARCH-Vision (2009), *"European Architectural Barometer"*. Drs. Jan-Paul Schop, Gerwin Sjollema B.Ec.
- BIM Project Execution Planning Guide; Versión 2.0, Pennsylvania, 2010, The Computer Integrated Construction Research Program at The Pennsylvania State University.
- Bur, K.L. (2009). *"Creative course design: a study in student-centered course development for a sustainable building/BIM class"*. Proceedings of the 45th ASC Annual Conference, Gainesville, Florida, April 1-4, 2009.
- Becerik-Gerber B, Gerber David J, Kihong Ku (2011) *"The pace of technological innovation in architecture, engineering, and construction education: integrating recent trends into the curricula"*. Publicado: febrero de 2011 a las <<http://itcon.org/2011/24>>
- Casey M.J. (2008). *"Work in progress: How building informational modeling may unify IT in the civil engineering curriculum"*. Proceedings of 38th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, IEEE, Saratoga Springs, N.Y., S4J 5-6.
- Cife (November 22, 2007). *"Cife Technical Reports"* [www document] URL <<http://cife.stanford.edu/Publications/index.htm>>
- Dean, R. (2007), Building Information Modeling (BIM): Should Auburn University Teach BIM to Building Science Students Graduate Capstone, Department of Building Science, Auburn University.
- Eastman, Charles, *"The BIM handbook"*. 1ª edición. Wiley & Sons, 2008, 504 p.
- Eastman Charles, Chuck, Paul Teicholz, Rafael Sacks, y Kathleen Liston. *"BIM Handbook: a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors"*. John Wiley & sons, 2008.
- Halaby, Jason, *"Polyvalence and Parametrics: Parametric Modeling in Architecture Design"*. Harvard Graduate School of Design, 2004.
- Khabazi, Zubin M., *"Generative Algorithms with Grasshopper"*. Morphogenesis website, 2010.

- Khabazi, Zubin M., *"Generative Algorithms with Grasshopper. Concept and Experiments: Porous Shell"*. Morphogenesisism website, 2010.
- Khabazi, Zubin M., *"Generative Algorithms with Grasshopper. Concept and Experiments: Strip Morphologies"*. Morphogenesisism website, 2010.
- Khabazi, Zubin M., *"Generative Algorithms with Grasshopper. Concept and Experiments: Weaving"*. Morphogenesisism website, 2010.
- Kron, Zach, *"Digging on Shigeru"*. Builz Blog, 2011.
- Kron, Zach, *"Parametric Design Paterns. Index..."*. Builz Blog, 2010.
- LaSala, Allen and Tomasetti, Thorton, *"Generative Design and Parametric Modeling"*. Dallas, Texas 2012.
- Marcos, Carlos L. *"Algoritmos, Formalidad y Abstracción Parametrizada. EGA"*. (EGA) 1, nº. 15 (2010): 94-101.
- Martí Broquetas, *"Project Management"*, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Mesa, Andrés de, y Joaquin Regot, *"Diseño Gráfico. La Proyección Sobre el Plano y el Modelado Tradicional. EGA"*. (EGA) 1, nº. 5 (1999): 64-75.
- Prieto Muriel, Paloma, *"Implantación de la tecnología BIM en estudios universitarios de Arquitectura e Ingeniería"*, Master Universitario en Investigación (MUI) en Ingeniería y Arquitectura. Centro Universitario de Mérida. Universidad de Extremadura. Departamento de Expresión Gráfica en la Ingeniería.
- Sacks, R., Eastman, C.M., y Lee, G. *"Process Improvements in Precast Concrete Construction Using Top-Down Parametric 3-D Computer-Modeling"*, Journal of de Precast/Prestressed Concrete Institute 48, nº. 3 (2003): 46-55.
- Sacks, R., y Barak, R. *"Impact of Three-dimensional Parametric Modeling of Buildings on Productivity in Structural Engineering Practice"*, Automation in Construction 17, nº. 4 (2007): 439-449.
- Salazar, Guillermo y Almeida, Joao, *"Use of the Parametric Building Model in Civil and Environmental Engineering Education at WPI"*, Proceedings of the ASEE Annual Conference, Salt Lake City, Utah, June 20-23, 2004.
- Salazar, Guillermo, Polat, Ismail H., Almeida, Joao, *"The Role of the Parametric Building Model in the Future Education and Practice of Civil Engineering and Construction"*, Proceedings of the ASCE IV Joint International Symposium on Information Technology, Nashville, TN, November 15-16, 2003.

- Salazar, Guillermo, Mokbel Hala, Aboulez Mohamed, *"The Building Information Model in the Civil and Environmental Engineering Education at WPI"*, Proceedings of the ASEE New England Section 2006 Annual Conference.
- Sgambelluri, Marcello and Martin, John A. and Associates, *"Massing and Adaptive Components"*. 2013.
- Taylor J.M., Liu J., and Hein M.F. (2008). Integration of building information modelling into an ACCE accredited construction management curriculum. Proceedings of the 44th ASC National Conference, Auburn, AL, April 2-5.
- Wong A.K.D., Wong F.K.W. and Nadeem A. (2009). Attributes of building information modelling and its development in Hong Kong, *The HKIE Transactions*, Vol. 16, No. 2, 38-45.
- Wong A.K.D., Wong F.K.W. and Nadeem A. (2011). *"Building Information Modeling For Tertiary Construction Education in Hong Kong"*.
- Woo, J. H. (2006). *"BIM (Building Information Modeling) and Pedagogical Challenges"*. Proceedings of the 43rd ASC National Annual Conference, Flagstaff, AZ, April 12-14.
- Woodbury, Robert. *"Elements of parametric Design"*. Design Patterns website, 2011.
- Young N. W., Jones S.A. and Bernstein, H.M. (2008). *SmartMarket report on Building Information Modeling (BIM): Transforming Design and Construction to Achieve Greater Industry Productivity*, McGraw-Hill, New York. USA.

8.2. TESIS DOCTORALES

- Bruscato Portella, U. 2006. *"De lo Digital en Arquitectura"*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica I.
- Coloma Picó, Eloi. 2011, *"Tecnología BIM per al Disseny Arquitectònic"* Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica I.
- Costa Couceiro, M. 2008. *"Analogías Biológicas en la Arquitectura. Del Acercamiento Biónico Hacia los Paradigmas de lo Biodigital"*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Internacional de Cataluña.
- De la Barrera Poblete, C. I. 2011. *"Algoritmos Genéticos como Estrategia de Diseño en Arquitectura"*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Estructuras de la Arquitectura.

- Mancione, Leonardo, 2013 *“Proposição de uma Estrutura Conceitual de Gestão do Processo de Projeto Colaborativo com o uso do BIM”*. Tesis doctoral. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo.
- Michael Vogt, T. 2016. *“Current application of graphical programming in the design phase of a BIM project: Development opportunities and future scenarios with Dynamo”*. Tesis doctoral, University of Northumbria at Newcastle, Faculty of Engineering & Environment.
- Monreal, A. 2001. *“Modelització de Corbes Superfícies amb Aplicacions al Disseny Geomètric Assistit per Ordinador i a l’Arquitectura”* Tesis Doctoral, UPC, Facultat de Matemàtiques I Estadística.
- Nicosevici, T.M. 2009, *“Efficient 3D Scene Modeling and Mosaicing”*, Tesis Doctoral, UdG, ATC Arquitectura y Tecnología de Ordenadores.

8.3. CONFERENCIAS

MODELADO PARAMÉTRICO BIM

Cone, Kelly. 2011. *“Revit Conceptual Massing on a REAL Project”*. Conferencia presentada para Revit Technology North America, referencia RTC2011 US.

Dillon, Matt. 2008. *“All in the Family: Creating Parts in Revit Architecture”*. Conferencia presentada para Autodesk University, referencia AB110-1P.

Dillon, Matt. 2012. *“All in the Family: Creating Parametric Components in Autodesk Revit”*. Conferencia presentada para Autodesk University, referencia AB2100.

Fano, David. 2012. *“Beyond Massing: Conceptual Design Tools in Autodesk Revit Architecture”*. Conferencia presentada para Autodesk University, referencia AB3555.

Lopez Campo, William. Kron, Zachary. 2011. *“You want to model a what? Converting Real Projects into Parametric Relationships”*. Conferencia presentada para Autodesk University, referencia AB4700.

Manna, Robert. Kron, Zachary. 2010. *"Au Bon Panel: Baking Your Own Adaptive Components and Panels with Autodesk Revit Architecture"*. Conferencia presentada para Autodesk University, referencia AB316-1L / AB330-5L.

Manna, Robert. Kron, Zachary. 2010. *"Parametrics Laid Bare: Panels and Adaptive Components in Autodesk Revit"*. Conferencia presentada para Autodesk University, referencia AB322-2.

Manna, Robert. Kron, Zachary. 2011. *"Twice Baked: Creating Your Own Adaptive Components and Panels with Autodesk Revit"*. Conferencia presentada para Autodesk University, referencia AB4391-L.

Sgambelluri, Marcello. 2012. *"Advanced Autodesk Revit Modeling Techniques Using Complex Geometry: Walls, Floors, Roofs, and Beams"*. Conferencia presentada para Autodesk University, referencia AB3741.

MODELADO ALGORÍTMICO VPL

Aubin, Paul. 2016. *"Code Block Not Required - Dynamo for the Rest of Us"*. Conferencia presentada para Autodesk University en Las Vegas, referencia AR20427. Disponible en: <http://au.autodesk.com/au-online/classes-on-demand/class-catalog/2016/revit/ar20427#chapter=0>>. Acceso 20 octubre de 2016.

Jezyk, Matt. 2013. *"Design Computation Symposium"*. Conferencia presentada para Autodesk University, referencia AB2586. Disponible en: <http://au.autodesk.com/au-online/classes-on-demand/class-catalog/classes/year-2013/autocad-design-suite/ab2586>

Keough, Ian. 2014. *"Explore the Possibilities with Computational BIM"*. Conferencia presentada para Autodesk University, referencia AB6542. Disponible en: <http://au.autodesk.com/au-online/classes-on-demand/class-catalog/2014/revit-for-architects/ab6542#chapter=6>>. Acceso 3 junio 2015.

Kron, Zachary. 2013. *“Enhanced Parametric Design with Dynamo Visual Programming for Revit and Autodesk Vasari”*. Conferencia presentada para Autodesk University, referencia AB2551. Disponible en: <<http://au.autodesk.com/au-online/classes-on-demand/class-catalog/2013/vasari/ab2551#chapter=0>>. Acceso 14 septiembre 2014.

Kron, Zachary. 2014. *“Enhanced Parametric Design with Dynamo Visual Programming for Autodesk Revit and Autodesk Vasari”*. Conferencia presentada para Autodesk University, referencia AB3362-L.

McGrew, Jeffrey. 2013. *“Leapfrogging Rhino Grasshopper®: Project Dynamo and Autodesk® 123D Make for Digital Fabrication”*. Conferencia presentada para Autodesk University, referencia FB1952. Disponible en: <<http://au.autodesk.com/au-online/classes-on-demand/class-catalog/2013/building-design-suite/fb1952>>. Acceso 14 septiembre 2014.

Sgambelluri, Marcello. 2014. *“Practically Dynamo: Practical Uses for Dynamo within Revit”*. Conferencia presentada para Autodesk University, referencia AB6557 & AB7977. Disponible en: <<http://au.autodesk.com/au-online/classes-on-demand/class-catalog/2014/revit-for-architects/ab6557#chapter=0>>. Acceso 12 octubre 2014.

Sgambelluri, Marcello. 2015. *“More Practical Dynamo: Practical Uses for Dynamo Within Revit”*. Conferencia presentada para Autodesk University, referencia AS10613. Disponible en <<http://au.autodesk.com/au-online/classes-on-demand/class-catalog/2015/revit-for-architects/as10613#chapter=0>>. Acceso 12 enero 2016.

8.4. BLOGS DE USUARIOS DE RECONOCIDO PRESTIGIO

Aaron Maller of The Beck Group: <<http://malleristicrevitation.blogspot.com>>

Andy Milburn: <<http://grevity.blogspot.com>>

Beau Turner y Bradley Hartnagle: <<http://www.greenrevit.blogspot.com>>

Bradley Hartnagle: <<http://www.revitbeginners.blogspot.com>>

Bruce Gow: <<http://www.rev-it-alice.blogspot.com>>

Chris Price: <<http://www.revitrants.blogspot.com>>

Christopher Zoog: <<http://www.revitlution.blogspot.com>>

Craig Barbieri: <<http://irevit.blogspot.com>>

Daniel Hurtubise: <<http://revitit.blogspot.com>>

Daryl Gregoire: <<http://revitroks.blogspot.com>>

Dave Fano: <<http://designreform.net>>

David Baldacchino: <<http://do-u-revit.blogspot.com>>

David Duarte: <<http://revitbeginners.blogspot.com>>

David Light of Case, Inc.: <<http://www.autodesk-revit.blogspot.com>>

Glenn Katz: <<http://bimtopia.com/>>

Greg McDowell, Jr.: <<http://gmcowelljr.wordpress.com>>

Håvard y Vasshaug: <<http://revitnorge.blogspot.com>>

James Vandezande: <<http://www.allthingsbim.blogspot.com>>

Jeffrey Pinheiro (The Revit Kid): <<http://therevitkid.blogspot.com>>

Justin Taylor: <<http://www.revitup.co.za>>

Laura Handler: <<http://www.bimx.blogspot.com>>

Luke Johnson of Dimond Architects Pty Ltd: <<http://whatrevitwants.blogspot.com>>

Marcello Sgambelluri: <<http://therevitcomplex.blogspot.com.es/>>

<<http://simplydynamo.blogspot.com.es/>>

Nathan Miller: <<http://www.theprovingground.org>>

Paul F. Aubin, Consulting Services: <<http://paulaubin.com>>

Phil Read: <<http://architecture.blogspot.com>>

Philippe Drouant: <<http://revit4you.blogspot.com>>

Robert Manna: <<http://dorevit.blogspot.com>>

Rory Vance of KnowledgeSmart: <<http://the-knowledgesmart-blog.blogspot.com>>

Shaun Van Rooyen: <<http://revitfamilies.blogspot.com>>

Simone Cappochin (italiano): <<http://www.auservice-bim.blogspot.com>>

Siggi Pfundt y Gotthard Lanz: <<http://www.cmotion.net/products/revit-tools.htm>>

Steve Stafford of AEC Advantage: <<http://revitoped.blogspot.com>>

The PPI Group's Revit evangelist: <<http://www.rev-it-up.blogspot.com>>

The Revit Clinic (Autodesk): <http://revitclinic.typepad.com/my_weblog/>

Tom Dorner: <<http://blog.reviteer.com>>

Tom Vollaro, Revit Product Designers: <<http://insidethefactory.typepad.com>>

Troy Gates: <<http://www.revitcoaster.blogspot.com>>

Zach Kron, "Buildz" practical notes for making impractical things, <<http://buildz.blogspot.com>>, 2009, (8 agosto 2015).

8.5. RECURSOS

MODELADO BIM

Autodesk User Group International (AUGI), <<http://www.augi.com>>

RevitCity, <<http://www.revitcity.com>>

Revit Forum, <<https://www.revitforum.org/>>

Foro A3D, <<http://www.a3d.es/forum/>>

Foro AUGI, <<http://forums.augi.com/forumdisplay.php?f=867>>

Foro 3D Profesional, <<http://www.3dprofesional.com/foros/forumdisplay.php?f=25>>

Blog en français à propos de Revit, <http://revitez.blogspot.com.es/2013/03/didiacticiel-revit-2013-reporter-les.html>

MODELADO VPL

Página oficial Dynamo disponible en <<http://dynamobim.com/download/>>. Acceso 12 mayo 2015.

Desarrollador principal de Dynamo Ian Keough disponible en:

<<https://github.com/ikeough/Dynamo>>. Acceso en 7 marzo 2014.

The Dynamo Primer, First Edition V1.3. Guía completa de programación visual.

<<http://dynamoprimer.com/index.html>>. Acceso 12 mayo 2015.

The Dynamo Dictionary: <<http://dictionary.dynamobim.com/#/>>. Accesso 8 marzo 2016.

A World of User Groups: <<http://dynamobim.org/a-world-of-user-groups/>>. Accesso 23 junio 2015.

9. GLOSARIO DE TERMINOLOGIA UTILIZADA

Se definen en este glosario el listado de términos, que aparecen en la presentación del tema de tesis, y que se relacionan directa o indirectamente con el contenido propuesto, y metodologías BIM, para su aclaración y mejor comprensión.

Algoritmo: Es un conjunto o secuencia de instrucciones bien definidas, y finitas, que realizadas en orden por pasos sucesivos conducen a la obtención de la solución de un problema. Dado un estado inicial y una entrada, siguiendo los pasos sucesivos se llega a un estado final y se obtiene una solución.

Anidar / Anidación: Es la inserción de un componente de modelado complementario dentro de otro para formar una entidad conjunta más compleja.

Algoritmos generativos: Procedimiento de creación de formas, según reglas y parámetros determinados susceptibles de modificación o variación.

API: Es la abreviatura de Application Program Interface (Interfaz de Programación de Aplicaciones) y se refiere al conjunto de rutinas protocolos y herramientas para la construcción de aplicaciones de software. Los modeladores paramétricos actuales ofrecen Apis para que los usuarios puedan programar sus propias funciones.

Base de datos: Es un “contenedor de datos digital”, que sirve para almacenar y gestionar información. Esta información se organiza y estructura de forma ordenada, mediante tablas que permiten su relación entre ellas, de cara a extraer datos previamente introducidos en función del cumplimiento de unos requerimientos.

BIM: Acrónimo de Building Information Modeling, modelado de información del edificio, es una metodología basada en la definición de un modelo digital 3D, ligado a una base de datos de información del proyecto.

CAM: Acrónimo de Computer Aided Manufacture (Fabricación Asistida por Ordenador).

Células adaptativas o responsivas: Son elementos de definición unitarios, que pueden formar parte dentro de un patrón de las masas, se crean especialmente según una célula de patrón, para ser insertadas dentro de las divisiones del enrejillado, previamente establecido en la superficie de la masa, ocupando y adaptándose a cada una de las celdillas de la rejilla definida, dentro de dicha superficie.

Diseño conceptual o modelado conceptual: Es aquel que se realiza con entidades llamadas masas, que se crean y manipulan directamente, a las que sus caras se las pueden convertir en elementos constructivos, como suelo, paredes y techos. Tienen mucha libertad de creación.

Diseño explícito: Es aquel que utiliza para su creación herramientas explícitas de creación y familias de sistema de elementos constructivos, como por ejemplo muros, suelos, techos, etc. El grado de libertad de creación es mucho menor y está más restringido.

Diseño generativo o algorítmico: Es aquel que su creación se basa en el establecimiento de unas relaciones geométricas y sus parámetros, que pueden ser fácilmente modificables, de manera que se definen con algoritmos, toda la secuencia del propio proceso de diseño. La variación de los parámetros generará cambios en la secuencia que actualizarán instantáneamente el diseño. Está pensado para obtener no un resultado único, sino una multiplicidad de ellos y seleccionar el diseño óptimo.

Diseño implícito: Es aquel que utiliza para su creación elementos de masa conceptual, que permiten la creación y manipulación directa de las formas, facilitando diferentes posibilidades de diseño más libre.

Diseño paramétrico: Es aquel que basa cualquier elemento final “output” del mismo en una serie de leyes o “axiomas”, que toman uno o varios elementos de entrada “inputs”, que en su variación harán variar dicha salida. Se basa en el desarrollo de una idea de proyecto a partir de leyes que, tomando una serie de valores, construyen una salida o proyecto.

Dynamo: Es un plug-in de Revit, que permite la creación y edición gráfica de algoritmos paramétricos de forma visual, y sin conocimientos previos de programación, mediante la disposición de nodos y conectores que realizan funciones algorítmicas. Amplía las capacidades y funcionalidades paramétricas de Autodesk Revit.

Editor de algoritmos generativos: Aplicación informática que genera y edita dibujando curvas, los algoritmos que dan lugar a la generación analítica de esas curvas.

Elemento anfitrión: Es aquel que recibe e incorpora dentro de sí otro elemento llamado elemento hospedado. Si el elemento anfitrión es borrado se borran también los elementos hospedados.

Elemento hospedado: Es aquel que es incorporado o recibido dentro de otro elemento denominado anfitrión. Si es borrado el elemento hospedado, el anfitrión permanece.

Elementos de masa: Entidades de modelado paramétrico, destinadas para la creación de formas no directamente vinculadas con elementos constructivos, sino con formas genéricas, a las que en procesos posteriores, se pueden convertir en elementos constructivos.

Entrada: Es cualquier elemento o dato del proyecto, interno o externo, que sea requerido por un proceso, antes de que dicho proceso continúe. Puede ser el resultado de un proceso predecesor.

Familias: Son objetos o entidades o grupo de elementos para ser insertadas en sistemas de modelado BIM, que comparten entre ellos propiedades comunes llamadas parámetros y una parecida o similar representación gráfica relacionada. Los distintos elementos que pertenecen a una familia pueden tener valores diferentes en algunos o todos de sus parámetros, pero tienen el mismo conjunto de parámetros (sus nombres y significados). Estas variaciones dentro de la familia reciben el nombre de tipos de familia o tipos.

Familias de sistema: Son aquellas que vienen reconfiguradas internamente por el propio sistema BIM, por ejemplo: un muro, un suelo o un techo, pudiendo actuar únicamente sobre ciertos parámetros establecidos y muy limitados sin posibilidad de modificar o actuar sobre otros. El modelado de estas familias es más restringido y cerrado, permitiendo hacer cierto tipo de opciones, sin permitir otras más libres.

Grasshopper: Es un plug-in para Rhinoceros 3D, basado en un entorno de programación visual, que confecciona código de programación a partir de diagramas de bloques. Genera de forma visual secuencias de órdenes, creando lo que se llama definiciones, que permiten ampliar el rango de acción a la hora de diseñar de forma exponencial.

Herramienta: Algo tangible, como una plantilla o un programa de software, utilizado al realizar una actividad para producir un producto o resultado.

IFC: Acrónimo de Industry Foundation Classes. Es un formato de archivo de protocolo internacional y de código abierto, creado para el intercambio de información entre aplicaciones sobre entornos BIM. Puede ser presentado tanto en formato de texto alfanumérico como en lenguaje XML. Ha sido desarrollado por el IAI (International Alliance for Interoperability), alianza formada por diferentes organizaciones a nivel mundial, como parte de su misión “buildingSMART”, tiene como objetivos una mayor eficacia y productividad en la industria de la construcción.

Interoperabilidad: Es la capacidad de compartir datos y permitir el intercambio de información entre aplicaciones sobre entornos BIM. Normalmente se utiliza un archivo estándar o normalizado internacional con unos protocolos establecidos de intercambio de información denominado IFC (Industry Foundation Classes).

Líneas isoparamétricas: Son aquellas, que tienen asignadas un mismo valor de definición de un parámetro. Se utilizan en la división de una superficie de masas para establecer un entramado de líneas de rejilla.

LOD: Es el acrónimo de Level of development (nivel de desarrollo o detalle) concepto desarrollado por el AIA (American Institute of architects) que establece un parámetro o índice de apreciación, que pondera el nivel de definición o detalle de representación gráfica de diseño de un modelo BIM. Los valores LOD oscilan entre 100 y 500, de esta forma surge el siguiente escalado de calidades de acabado:

LOD 100 - Es un diseño conceptual, el modelo aportará una visión general, básicamente aportará el volumen general, la orientación y área.

LOD 200 - Aporta una visión general con información de magnitudes aproximadas, tamaño, forma, localización y orientación. El uso que se da es simplemente incrementar la capacidad de análisis. Pero las mediciones son aproximadas, nunca definitivas.

LOD 300 - Aporta información y geometría precisa, pendiente de algún detalle constructivo y aporta medidas más precisas que en caso de LOD 200, con un nivel de detalle externo importante pero no completo.

LOD 400 - Contiene el detalle necesario para la fabricación o construcción y el nivel de mediciones es exacto.

LOD 500 - El último nivel de desarrollo representa el proyecto, ya que se ha construido, son las condiciones conforme a obra. El modelo es adecuado para el mantenimiento y el funcionamiento de la instalación.

Cada uno de los cinco niveles mide la cantidad y la calidad de información y concreta el servicio que puede prestar el modelo generado.

Mallas espaciales: Cuando se ha creado un elemento de masa es posible dividir su superficie con líneas isoparamétricas denominadas mallas espaciales, y posteriormente aplicarles un patrón al mallado.

Masa: Es una entidad del modelado conceptual para crear formas libres. Permite la creación y manipulación directa de sus formas, y facilita la creación de diferentes posibilidades de diseño, generalmente mucho más libre que el resto de las entidades creadas y vinculadas con elementos constructivos.

Masificación: Es el procedimiento de convertir un elemento o entidad de modelado explícito en una masa conceptual, para seguir trabajando con ella en la consecución de diversos objetivos como por ejemplo auditorías energéticas, obtención de diferente tipo de simulaciones, etc.

Metodología: Conjunto de métodos que se siguen en una investigación científica o en una exposición doctrinal, para alcanzar un determinado fin.

Modelado libre: Proceso de creación de una forma genérica, normalmente tridimensional, no identificable directamente con ningún objeto constructivo. Permite la creación y manipulación directa de formas, con lo que se facilita la elaboración de diferentes posibilidades de diseño.

Panel adaptativo: Es un panel susceptible de crearse, utilizando las mismas herramientas que los elementos de masa, y que puede rellenar las rejillas de un entramado de división de superficie, previamente definido, adaptándose a cada celdilla de la división de rejilla.

Panelización: Es la división de una superficie, en otras para su racionalización u obtención de paneles de medidas fácilmente mensurables para su ejecución o construcción. Normalmente se busca su optimización según ratios de explotación.

Parametrización: Es el proceso de asignación de variables paramétricas a cualquier elemento o entidad para que pueda tomar distintos valores en su definición. También esos valores pueden ser una función de otros valores establecidos.

Parámetros de reporte o de información: Son los parámetros variables introducidos en la definición de una familia que se utilizan para obtener información de muy diversa índole sobre los propios elementos de definición de esa familia (longitudes, ángulos, áreas, curvaturas, etc.) necesarios para reconducir su diseño o extraer datos que sirvan para optimización en base a criterios establecidos y toma de decisiones.

Plug-in: Es una aplicación informática, que se relaciona con otra para aportarle una función nueva y generalmente muy específica. Esta aplicación adicional es ejecutada por la aplicación principal e interactúan por medio de la API.

Procedimiento: Es un conjunto de acciones u operaciones que tienen que realizarse de la misma forma, para obtener siempre el mismo resultado bajo las mismas circunstancias.

Proceso: Es un conjunto de acciones y actividades interrelacionadas realizadas para obtener un producto, resultado o servicio predefinido. Cada proceso se caracteriza por sus entradas, por las herramientas y técnicas que puedan aplicarse y por las salidas que se obtienen.

Procesos generativos: Procesos utilizados y aplicados al modelado conceptual o modelado de masa, para generar formas.

Racionalización de superficies: Es una técnica utilizada para poder generar rejillas con dimensiones conocidas sobre una superficie para que sean fácilmente mensurables y poder ser construidas.

Salida: Es un producto, resultado o servicio generado por un proceso. Puede ser un dato inicial para un proceso sucesor.

Script: En informática es un guion o archivo de órdenes o de procesamiento por lotes. Es un programa usualmente simple, que por lo regular se almacena en un archivo de texto.

Técnica: Un procedimiento sistemático definido, y utilizado por una o más personas para realizar una o más actividades para producir un producto o un resultado, o prestar un servicio, y que puede emplear una o más herramientas.

TIC: Con este acrónimo se conoce a las Tecnologías de la Información y la Comunicación, va intrínsecamente asociado con el concepto de tecnología informática. Puede entenderse como el conjunto de recursos, procedimientos y técnicas usadas en el procesamiento, almacenamiento y transmisión de información de forma digitalizada.

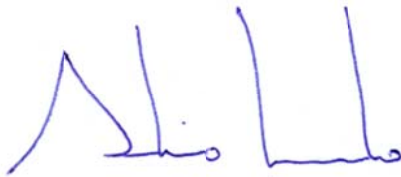
Variables paramétricas: Son aquellas que pueden asignarse con unos valores específicos pero susceptibles de cambio o variación, a cualquiera de los elementos integrantes del modelado. Permite incluso que las variables sean funciones u operaciones matemáticas, a su vez, de otras variables introducidas.

Vasari: Software independiente, desarrollado por la casa Autodesk, construida con la misma tecnología que la plataforma Autodesk Revit, destinado a la generación de diseño conceptual de edificios a través del modelado paramétrico. Soporta el diseño basado en rendimiento a través del análisis y el modelado integrado de la energía. Es posible convertir un diseño conceptual arquitectónico en un modelo de análisis energético para visualizar el consumo de energía y los

costes de cada una de las opciones de diseño en las primeras fases conceptuales.

VPL: Acrónimo de Visual Programming Language, Lenguaje de Programación Visual son lenguajes que permiten la codificación de reglas que al ser procesadas pueden generar modelos 3D. Herramientas como Dynamo, Gasshopper y Generative Components son ejemplos de aplicaciones que utilizan ese tipo de lenguaje. El cometido principal de este tipo de lenguajes es facilitar su utilización y aprendizaje, mediante el uso de herramientas gráficas en contraposición al uso de un lenguaje de programación textual convencional. En los lenguajes de programación textuales los usuarios deben aprender la sintaxis de las estructuras del lenguaje para poder codificar programas. En las herramientas basadas en VPL, la lógica de los programas es construida usando diagramas llamados gráficos que son compuestos de elementos llamados “Nodos”.

En Vigo a 5 de mayo de 2017.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several stylized, connected strokes that form a cursive-like name.

Fdo: Antonio Larrondo Lizarraga.