

**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](http://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](http://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](http://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

TESI DOCTORAL

**COMPORTAMENT MECÀNIC-ESTRUCTURAL DELS EDIFICIS HISTÒRICS DE  
MURS D'OBRA DE FÀBRICA DE MAÓ DE L'EIXAMPLE DE BARCELONA**

CÒSSIMA CORNADÓ BARDÓN

DIRECTOR DE TESI: CÈSAR DÍAZ GÓMEZ

DOCTORAT EN TECNOLOGIA DE L'ARQUITECTURA, EDIFICACIÓ I URBANISME

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

ETSAB 25 de juny 2015

## Agraïments

---

A tots aquells que desinteressadament m'han ajudat en el procés d'obtenció de la mostra i en el desenvolupament de la tesi:

Mariona Jiménez, Daniel Teixidor i la seva tieta, Helena Berlanga, Sílvia Martí, Daniel Marhuenda, Josep Coromina, Gemma Pascual, Maite de Viatges Cum Laude i la seva família, Lluís López Vidal, Emili Giménez, Elisenda Rosas, Haritz Amillategui, Alba Vilaró, Joan Sesserres, Albert Sanjuà, Núria Miret, Cèlia Vall, Lledó Gas, Araceli i M.Dolors García, Anna Pagès, Carlota Casanova, Isabel Marín, Ricard Fabregat, Carmen Pérez, Casa Asia, Nona i Roqui Roqueta i l'empresa AESA, Andrea del poliesportiu Joan Miró, Nuria Villalonga, Sara Armada, Laura Granell, Roser de la Ossa, Rita Roqueta, Estefanía Martín, Anna Rubirola Lopez, Ester Pallisa, Mari Angels Sala i Fran Godoy, Marta Costa i el seu oncle Juan, Joan Gener, Joan Cortés, Gustavo Cela, Carme Val, Pedro Serrano, Aida Urgell i família, Josep M. Esteva, Aida Espanyol, Alexandra Blanch, Ingrid Bové, Jose Luís Costa, Joan Manel Govern, Blanca Borràs, David Jiménez Ruiz, Erik Guillem Iglésias, Mariona Genis, Manuela Bardón, Francesc Cornadó, Sara Armada, Alan i Geli Campillo, Jorge Abarza, Anna Fernández, Francesc Pla, Avia d'Aida Urgell, Maria Lluïsa Marín, Airy Navarro, Joan de la Malla, Mireia Ferrer i avis, Miguel Sagüés, Dani Prades, María Hernández, Pep Cots, Mauricio Tovar, Samuel López Fabre, Hector Ortín, Catalina Salvà, Gerogina Rodríguez Urgell, MercLaura Bové i pare, María Luisa Samaranch, Albert Simon, Emma Colom, Carles Godoy, Anna Feu, Imma Vallmitjana, Joaquin Angulo, Sara Vima, Guida Maymó Camps, Irene Gibrat Pineda, Florencia Garriga, Santi Vela, Jaime D. Parra i Carme Jounou, Mauri Trepal, Antonio M. Díaz

Muñoz, Maria Pedroto, Alberto Rodríguez, Alessandra Currelli, Georgina Rodonet, Joan Minguell, Xavier Teixidó, Ramon Casas.

A tots aquells que m'han acompanyat en la recerca: als professors del Departament de Construccions Arquitectòniques I i en particular al meu director de tesi, als companys de recerca del SUBTIS i del MICROPAR i a tots aquells que em van acompanyar durant l'estada pre-doctoral a Porto, FEUP

Als meus pares, família i amics.

## Resum

---

Passat un segle i mig de l'inici de la construcció de l'Eixample aquest s'ha convertit en un dels emblemes de la ciutat. A més de les moltes virtuts urbanístiques, es pot entendre que l'Eixample té un valor que li ve donat per la uniformitat formal i constructiva que proporciona l'abundància dels seus edificis històrics, constituint en la seva globalitat un valor patrimonial de necessària conservació. L'evolució dels marcs normatius i l'increment en les exigències en seguretat estructural han donat lloc a conflictes en la conservació que han motivat la present tesi l'objectiu principal de la qual és conèixer i definir el comportament mecànic-estructural de les estructures dels edificis històrics de murs d'obra de fàbrica de maó de l'Eixample de Barcelona.

A tal efecte es parteix d'una mostra representativa del conjunt que prové principalment de fonts primàries, majoritàriament d'aixecaments in situ realitzats per la mateixa autora. La mostra conté tant edificis situats en banda com en xamfrà. A partir de la mostra es realitza una classificació tipològica de la configuració estructural que inclou els principals elements estructurals: ubicació de murs portants, obertures en els murs, sentits i llums de l'embigat, estintolaments a plantes baixes i caixes d'escala. De l'anàlisi tipològica s'obtenen i parametritzen uns tipus representatius del conjunt que donen lloc a un seguit de models estructurals.

Els models resultants corresponents a les estructures de mur d'obra de fàbrica de maó s'analitzen a partir d'una simulació mitjançant elements finits en un càlcul elàstic amb les accions verticals normatives. S'estudien detalladament els punts més crítics de cada tipus

adaptant els models a les diferents mides extremes que es donen en ells per així poder obtenir els rangs de tensions que s'hi donen i avaluar les condicions de seguretat.

Per últim, es contrasten els resultats obtinguts de l'anàlisi amb la realitat de l'estat patològic dels edificis estudiats. Es descriuen els danys més habituals i les causes que els generen comparant-los amb els resultats obtinguts de l'anàlisi estructural dels models.

Les conclusions i aportacions de la tesi doctoral abasten els següents àmbits: mostratge i definició tipològica de l'edifici històric de l'Eixample, coneixement del model estructural, comportament estructural, límits de seguretat i conclusions referents a l'estat patològic. Aportacions transversals que aprofundeixen en el coneixement de l'edifici històric de l'Eixample de Barcelona proporcionant dades sobre els seu comportament cap a una conservació més conscient.

## o Índex

---

<b>Agraïments</b> .....	<b>1</b>
<b>Resum</b> .....	<b>3</b>
<b>0 Índex</b> .....	<b>5</b>
0.1 Llistat de figures.....	10
<b>1 Justificació i objecte de la recerca</b> .....	<b>21</b>
1.1 Justificació.....	21
1.2 Objectius de la investigació .....	22
1.3 Estructura de la Tesi.....	23
<b>2 Estat de la qüestió</b> .....	<b>25</b>
2.1 Sobre l'edifici d'habitatges de l'Eixample .....	26
2.1.1 La formació de l'Eixample .....	26
2.1.2 Les ordenances de l'edificació .....	26
2.1.3 L'edifici històric de l'Eixample, vessant constructiva .....	30
2.1.4 Estudis tipològics .....	32
2.2 Marcs normatius .....	36
2.2.1 Graus actuals de protecció de l'edificació històrica de l'Eixample .....	36
2.2.2 En l'àmbit de la seguretat estructural .....	39
2.2.3 Necessitat d'un marc normatiu específic per la rehabilitació .....	43
2.3 Anàlisi estructural .....	44
2.3.1 Coneixement dels materials .....	45
2.3.2 Sobre els models .....	46
2.3.3 Altres anàlisis de l'Eixample a nivell estructural.....	51
2.4 Referències .....	53

<b>3</b>	<b>Metodologia general.....</b>	<b>61</b>
3.1	Fases metodològiques .....	61
3.2	Definició de l'objecte de l'estudi.....	62
3.3	Recollida de la informació.....	63
3.4	Definició de la mostra .....	63
3.4.1	Determinació de la població a estudiar .....	63
3.4.2	Selecció de la mostra .....	64
3.5	Anàlisi tipològica.....	65
3.5.1	Tractament de la mostra per a l'anàlisi tipològica .....	65
3.5.2	Anàlisi tipològica de les plantes tipus .....	66
3.5.3	Anàlisi tipològica de les plantes baixes.....	66
3.5.4	Anàlisi de les remuntes .....	66
3.6	Anàlisi estructural i del comportament.....	66
3.6.1	Elaboració de models .....	66
3.6.2	Anàlisi estructural dels models.....	67
3.6.3	Anàlisi del comportament i dels danys existents .....	67
3.7	Referències .....	68
<b>4</b>	<b>Metodologia de mostratge i tractament de la mostra .....</b>	<b>69</b>
4.1	Mostratge .....	70
4.1.1	Determinació de la població a estudiar .....	70
4.1.2	Selecció de la mostra .....	77
4.2	Segmentació de l'edifici en unitats d'anàlisi estructural .....	83
4.2.1	Les plantes tipus.....	83
4.2.2	Les plantes baixes .....	84
4.2.3	Les remuntes .....	85
4.3	Presentació de la informació .....	87
4.4	Conclusions sobre el mostratge.....	88
4.5	Referències .....	89
<b>5</b>	<b>Anàlisi tipològica .....</b>	<b>91</b>
5.1	Principis considerats per a la generació d'un model estructural .....	92
5.2	Tipologia.....	94
5.2.1	Edificis en banda .....	94
5.2.2	Edificis en xamfrà .....	118
5.2.3	Les plantes baixes .....	124
5.3	Anàlisi de les classificacions tipològiques .....	127
5.3.1	Edificis en banda .....	127
5.3.2	Anàlisi de les freqüències dels tipus dels edificis en xamfrà .....	147
5.3.3	Anàlisi classificació de les plantes baixes .....	148
5.4	Conclusions sobre la classificació tipològica.....	149
5.4.1	Conclusions referents a les mides de parcel·la.....	149
5.4.2	Conclusions referents a l'abundància i paràmetres dels tipus .....	149
5.5	Referències .....	152
<b>6</b>	<b>Consideracions prèvies a l'anàlisi estructural.....</b>	<b>153</b>
6.1	Elaboració de models a partir de la tipologia .....	155
6.1.1	Definició dels models en altura.....	155
6.1.2	Definició dels models en planta .....	156
6.1.3	Resum dels models a analitzar .....	166
6.2	L'obra de fàbrica de maó a l'Eixample de Barcelona .....	169
6.2.1	Els maons .....	170
6.2.2	Els morters .....	172
6.2.3	L'obra de fàbrica.....	173
6.3	Accions del càlcul.....	183
6.4	Anàlisi de l'estructura mitjançant simulacions per elements finits.....	185



6.5	Referències.....	189
<b>7</b>	<b>Anàlisi i avaluació del sistema estructural.....</b>	<b>191</b>
7.1	Descripció de la metodologia.....	191
7.2	Valors i distribució de les tensions en els murs.....	192
7.2.1	Efecte de l'esveltesa.....	193
7.2.2	Efecte del tipus edificatori.....	196
7.2.3	Localització i anàlisi dels punts més sol·licitats.....	202
7.3	Valors i distribució de les tensions en la fonamentació.....	216
7.4	Coeficients de seguretat residuals.....	220
7.5	Conclusions.....	226
7.5.1	En referència als valors i distribució de les tensions.....	226
7.5.2	En referència al comportament dels diferents tipus.....	227
7.5.3	En referència a la seguretat estructural.....	227
7.6	Referències.....	229
<b>8</b>	<b>Comparació entre els resultats teòrics i el comportament observat.</b>	
	<b>Anàlisi de danys.....</b>	<b>231</b>
8.1	Anàlisi dels danys més freqüents.....	231
8.1.1	Danys causats per efectes locals de concentració de càrrega.....	233
8.1.2	Danys amb un origen en el terreny o en la fonamentació i quadres fissurats que se'n deriven.....	242
8.1.3	Danys causats per moviments i/o rigideses diferencials entre parts de l'estructura o entre l'estructura i els tancaments.....	248
8.2	Conclusions.....	253
8.2.1	Conclusions relatives a les causes i la freqüència dels danys.....	253
8.2.2	Conclusions relatives als danys específics que es corresponen a aquest tipus estructural i constructiu.....	254
8.3	Referències.....	256
<b>9</b>	<b>Conclusions de la tesi.....</b>	<b>257</b>
9.1	Conclusions i aportacions sobre el mostratge i la definició tipològica.....	258
9.2	Conclusions i aportacions sobre el coneixement del model estructural.....	259
9.3	Conclusions i aportacions sobre el comportament estructural.....	261
9.4	Conclusions referents als límits de seguretat.....	263
9.5	Conclusions referents a l'estat patològic.....	265
9.6	Conclusions Finals.....	268
9.7	Aplicació del coneixement i futures línies de recerca.....	269

## ANNEXES

<b>I</b>	<b>Càlculs estadístics de la mostra.....</b>	<b>271</b>
I.1	Metodologia estadística.....	271
I.2	Càlcul de la representativitat de la mostra.....	273
I.3	Càlcul de la representativitat parcial de la mostra respecte la població dels edificis en banda.....	274
I.4	Càlcul de la representativitat parcial de la mostra respecte la població dels edificis en xamfrà.....	275
I.5	Referències.....	275
<b>II</b>	<b>Llistat dels edificis que formen la mostra estudiada.....</b>	<b>277</b>
II.1	Llistat general edificis que formen la mostra, fonts i condicions d'accés per a A (plantes tipus), B (planta baixa) i C (remuntes).....	279
II.2	Plantes sobre rasant.....	282
II.3	Llistat parcial d'edificis que formen la mostra de la Tesi Final de Màster.....	286
<b>III</b>	<b>Plànols dels edificis de la mostra.....</b>	<b>287</b>

III.1	Contingut de l'annex.....	287
<b>IV</b>	<b>Documentació per la tipologia de la Tesi Final de Màster .....</b>	<b>463</b>
IV.1	Definició de la tipologia.....	463
IV.1.1	Principis generadors de la tipologia.....	464
IV.1.2	Edificis en banda .....	466
IV.1.3	Edificis en xamfrà.....	474
IV.2	Anàlisi de la classificació tipològica .....	477
IV.2.1	Freqüència dels tipus .....	477
IV.2.2	Estudi comparatiu dels tipus segons profunditat edificada i amplada de parcel·la .....	480
IV.3	Quadres tipologia.....	487
IV.4	Quadres x-y .....	490
IV.5	Quadres x-y amb promitjos dels subtipus.....	501
IV.6	Localització en mostra/població.....	506
IV.7	Referències.....	510
<b>V</b>	<b>Tipologia estructural .....</b>	<b>511</b>
V.1	Contingut de l'annex.....	511
V.2	Quadres tipològics.....	512
V.2.1	Edificis en banda .....	512
V.2.2	Edificis en xamfrà .....	516
V.2.3	Caixes d'escapes.....	517
V.3	Planols edificis classificats .....	519
V.3.1	Edificis en banda .....	521
V.3.2	Edificis en xamfrà .....	525
V.4	Taules de tipus dins la mostra.....	529
V.4.1	Taules tipus edificis mostra.....	529
V.4.2	Taules crugies frontals i posteriors amb paràmetres mètrics d'aquest àmbit .....	534
V.4.3	Taules tipus cos central, crugies i paràmetres mètrics d'aquest àmbit .....	538
V.4.4	Taules plantes baixes .....	543
V.5	Anàlisi estadística de les principals mides de la planta.....	547
V.5.1	Estadística de les mides de les crugies perpendiculars a façana .....	547
V.5.2	Estadística amples façana.....	552
V.5.3	Estadística crugies i altres mesures de la planta dins del cos central.....	553
V.5.4	Estadística caixa d'escapes.....	556
<b>VI</b>	<b>Resultats numèrics de les simulacions.....</b>	<b>557</b>
VI.1	Contingut de l'annex.....	557
VI.2	Tipus 1A.....	558
VI.2.1	Gradients de tensions en els murs .....	558
VI.2.2	Fonamentació.....	559
VI.2.3	Anàlisi dels punts més sol·licitats .....	560
VI.2.4	Coeficients de seguretat residuals .....	563
VI.3	Tipus 1B.....	564
VI.3.1	Gradients de tensions en els murs .....	564
VI.3.2	Fonamentació.....	565
VI.3.3	Anàlisi dels punts més sol·licitats .....	566
VI.3.4	Coeficients de seguretat residuals .....	570
VI.4	Tipus 2A.....	571
VI.4.1	Gradients de tensions en els murs .....	571
VI.4.2	Fonamentació.....	572
VI.4.3	Anàlisi dels punts més sol·licitats .....	573
VI.4.4	Coeficients de seguretat residuals .....	577
VI.5	Tipus 2b.....	578
VI.5.1	Gradients de tensions en els murs .....	578

---

VI.5.2	Fonamentació.....	579
VI.5.3	Anàlisi dels punts més sol·licitats .....	580
VI.5.4	Coeficients de seguretat residuals .....	584
VI.6	Tipus 2c.....	585
VI.6.1	Gradients de tensions en els murs .....	585
VI.6.2	Fonamentació .....	586
VI.6.3	Anàlisi dels punts més sol·licitats .....	587
VI.6.4	Coeficients de seguretat residuals .....	591
VI.7	Tipus V1A.....	592
VI.7.1	Gradients de les tensions en els murs .....	592
VI.7.2	Fonamentació.....	593
VI.7.3	Anàlisi dels punts més sol·licitats .....	594
VI.7.4	Coeficients de seguretat residuals .....	597
VI.8	Tipus v1b.....	598
VI.8.1	Gradients de tensions en els murs .....	598
VI.8.2	Fonamentació.....	599
VI.8.3	Anàlisi dels punts més sol·licitats .....	600
VI.8.4	Coeficients de seguretat residuals .....	603
<b>VII</b>	<b>Danys estructurals en murs.....</b>	<b>605</b>
VII.1	Contingut de l'annex.....	605
VII.2	1 .....	606
VII.3	2 .....	613
VII.4	3 .....	619
VII.5	4 .....	629
VII.6	5 .....	636
VII.7	6 .....	641
VII.8	7 .....	645
VII.9	8 .....	652
VII.10	9.....	653
VII.11	10.....	656
VII.12	Quadre resum.....	660

## 0.1 Llistat de figures

Figura 1: Evolució de les altures edificables segons ordenances municipals .....	30
Figura 2: Llistat de tipus segons ample de parcel·la.....	34
Figura 3: Dues plantes d'edificis de l'Eixample .....	34
Figura 4: Classificació tipològica dels edificis entre mitgeres que abasten, entre altres, l'àmbit de l'Eixample .....	35
Figura 5: Conjunt especial l'Eixample.....	37
Figura 6: Sector de conservació de l'edificació de l'Eixample .....	38
Figura 7: Consideracions de modelització que es prenen en els micromodels detallats b) i els micromodels simplificats c).....	48
Figura 8: Macromodelització d'un fragment de mur d'obra de fàbrica de maó.....	49
Figura 9: model d'uns dels tipus estructurals de l'Eixample estudiats per R.L.Bonett Díaz. ....	52
Figura 10: esquema metodològic de la tesi .....	62
Figura 11: tres unitats d'anàlisi estructural de l'edifici de l'Eixample.....	65
Figura 12: fases metodològiques prèvies a l'estudi tipològic .....	70
Figura 13: Divergències en la definició dels límits de l'Eixample: en línia contínua, límit del conjunt especial l'Eixample; en línia discontinua, límit de la qualificació 13E i, en ombrejat, límit del districte l'Eixample .....	71
Figura 14: Parcel·les amb edificació destinada a ús residencial compreses dins de l'àmbit d'estudi.....	72
Figura 15: Distinció de parcel·les amb construcció residencial segons època de construcció, en gris clar els edificis anteriors a 1940 i en gris fosc els posteriors a aquesta data. ....	73
Figura 16: Distribució de l'edificació residencial anterior a 1940 .....	74
Figura 17: Sector de conservació de l'edificació de l'Eixample.....	74
Figura 18: distribució de l'edificació residencial posterior a 1940.....	75
Figura 19: Parcel·les que contenen la població objecte d'estudi: 5097 edificis.....	76
Figura 20: Part de la mostra d'edificis on la informació prové de fonts bibliogràfiques ..	79
Figura 21: Mostra total (parcel·les que contenen els edificis que formen part de la mostra definitiva).....	80
Figura 22: Població en banda i en xamfrà.....	81
Figura 23: Exemple d'edifici en banda i Exemple d'edifici en xamfrà.....	81
Figura 24: Tres unitats d'anàlisi estructural de l'edifici de l'Eixample.....	83
Figura 25: Exemples del tipus d'informació disponible pel que fa a les plantes tipus .....	84
Figura 26: Evolució de les ordenances.....	86
Figura 27: Exemple de fitxa d'informació d'edifici.....	87
Figura 28: Quadre resum tipus amb escala central .....	96

Figura 29: Quadre resum dels tipus amb escala lateral Anàlisi de la classificació tipològica.....	97
Figura 30: Diferències en la zona de cos central de dos edificis amb el mateix subtipus de la tipologia estructural de l'obra grossa.....	98
Figura 31: Edificis de tipus C(escala central) i tipus L(escala lateral) que corresponen a un mateix esquema de murs del cos central.....	98
Figura 32: Esquema generador de la planta tipus de l'edifici de l'Eixample situat en banda .....	100
Figura 33: Possibles combinacions de cos central amb les crugies frontals i posteriors .....	101
Figura 34: Nomenclatura dels murs.....	103
Figura 35: Mallorca 230 .....	104
Figura 36: Imatge façana Eixample (Gran Via 472 i Provença 365) .....	104
Figura 37: Fotografia façana posterior (Gran via 474 i Entença 40).....	105
Figura 38: Configuracions més habituals de forats en els murs M5 i M6 .....	105
Figura 39: Diferents tipus de cos central .....	107
Figura 40: Tres graus d'unió del cos central.....	107
Figura 41: Modificació de la tipologia amb escala lateral .....	108
Figura 42: Afectació de les obertures en els murs M3 i M4 en funció del subtipus de cos central 1a o 1b (Calàbria 75, Bruc 154-156, respectivament).....	109
Figura 43: Nomenclatura crugies i paràmetres estudiats per al tipus 1 de cos central .	109
Figura 44: Edificis amb cos central tipus 1a (esquerra) i tipus 1b (dreta) .....	110
Figura 45: Subtipus de cos central tipus 2.....	111
Figura 46: D'esquerra a dreta, edificis amb tipus de cos central 2a, 2b, 2c i 2d. ....	111
Figura 47: Nomenclatura dels diferents paràmetres de la configuració estructural i de les diverses crugies dels tipus de cos central 2 (2a, 2b, 2c i 2d) .....	112
Figura 48: Jàssera recolzada sobre pati lateral.....	113
Figura 49: Jàssera Llúria 19 .....	113
Figura 50: Condicions particulars d'unió dels cossos centrals de tipus 2a.....	114
Figura 51: Jàssera que escurça la llum de la crugia x2 .....	115
Figura 52: Exemple de nomenclatura pels tipus de caixa d'escala.....	116
Figura 53: Classificació tipològica de la caixa d'escalas .....	117
Figura 54: Empentes horitzontals de les voltes d'escala en funció dels tipus i els trams .....	118
Figura 55: Quadre resum dels tipus en xamfrà .....	121
Figura 56: <i>Tipus V1A Tipus V1B</i> .....	121
Figura 57: <i>Tipus V2B1 Tipus V2B2 Tipus V2AB2</i> .....	122
Figura 58: <i>Tipus V3 Tipus V3</i> .....	123
Figura 59: Exemple de caixa d'escala d'un edifici en xamfrà.....	123
Figura 60: Pilastra de mur de vestíbul que recolza jàssera metàl·lica superior .....	125
Figura 61: Murs que arriben a planta baixa en un edifici en xamfrà. ....	125

Figura 62: Biga a mode de jou que estintola el mur del pati mitger .....	126
Figura 63: Plantes de tipus C21AB i C22AB .....	128
Figura 64: Plantes de tipus L21A i L22AB .....	129
Figura 65: Representació en eixos de coordenades de les amplades i fondàries de les plantes dels edificis de tipus C (amb caixa d'escala central) .....	130
Figura 66: Representació en eixos de coordenades de les amplades i fondàries de les plantes dels edificis de tipus L(amb caixa d'escala lateral).....	131
Figura 67: Mides promig de planta per als tipus i subtipus d'escala central (C).....	133
Figura 68: Mides promig de planta per als tipus i subtipus d'escala lateral (L) .....	133
Figura 69: Nomenclatura crugies.....	139
Figura 70: Paràmetres mètrics estudiats de l'estructura vertical .....	140
Figura 71: Punts per on s'acoten les crugies X1 i l'ample de la caixa d'escalas (a) .....	141
Figura 72: Prolongació dels murs lateral de la caixa d'escala per formar la crugia X1 i exemple contrari .....	142
Figura 73: Distàncies entre unions dels murs de façanes i paral·lels / amplades de façana .....	142
Figura 74: Paràmetres mètrics estudiats pels cossos centrals de tipus 2 .....	143
Figura 75: Esquema del procés metodològic seguit per a l'Avaluació Analítica.....	154
Figura 76: Morfologia del model en planta tipus, fonamentació i global tridimensional .....	155
Figura 77: Altures adoptades per a la modelització .....	156
Figura 78: Nomenclatura dels paràmetres estudiats de les plantes tipus .....	157
Figura 79: Histograma dels amples de façana en el total de la mostra d'edificis situats en banda .....	158
Figura 80: Influència de l'amplada de façana en el tipus de cos central de la planta .....	158
Figura 81: Diferents amples de façana i nombre d'obertures .....	159
Figura 82: Model per al tipus de cos central 1a (esquerra) i exemples d'aquest tipus (dreta).....	160
Figura 83: Model per al tipus de cos central 1b (esquerra) i exemples d'aquest tipus (dreta).....	161
Figura 84: Model per al tipus de cos central 2a (esquerra) i exemples d'aquest tipus (dreta).....	162
Figura 85: Model per al tipus de cos central 2b (esquerra) i exemples d'aquest tipus (dreta).....	163
Figura 86: Model per al tipus de cos central 2c (esquerra) i exemples d'aquest tipus (dreta).....	164
Figura 87: Model per al tipus V1A (esquerra) i exemples d'aquest tipus (dreta).....	165
Figura 88: Model per al tipus V1B (esquerra) i exemples d'aquest tipus (dreta) .....	166
Figura 89: Exemple de comportament biaxial .....	169

Figura 90: Corbes tensió deformació dels assajos de Powel i Hodgkinson per a fàbriques amb 4 tipus de maó (esquerra) i corba tensió-deformació paràbola-rectangle per a la fàbrica de maó a la FL-90 (centre) i mateixa gràfica del CTE-DB-SE-F (dreta) .....	174
Figura 91: Taula 4.4 del CTE-DB-SE-F, resistència característica a compressió de les fàbriques habituals.....	176
Figura 92: Formulació empírica per a l'obtenció de la resistència a compressió de l'obra de fàbrica i exponents a aplicar a les resistències del morter i el maó segons l'Eurocodi 6 i el CTE-DB-SE-F.....	177
Figura 93: Formulació per a l'obtenció de la resistència a compressió de l'obra de fàbrica amb coeficients i exponents proporcionats al BD 21/93 per a morter 1:2:9 (esquerra) i morter 0:1:3 (dreta) .....	177
Figura 94: Fórmula d'Olher per a l'obtenció de la resistència a compressió de la fàbrica. ....	178
Figura 95: Histograma de freqüències dels valors de resistència dels assajos realitzats en provetes extretes de murs al laboratori de materials de l'Escola d'Edificació de Barcelona 1995-2013 .....	182
Figura 96: Diferència entre els valors obtinguts a càrrega centrada a la base del mur a planta principal (esquerra) respecte als valors obtinguts amb càrrega descentrada per esveltesa a mitja altura de mur de planta principal (dreta). ....	194
Figura 97: Variació $\Phi$ en funció de l'altura.....	195
Figura 98: Distribució de tensions en els murs: tipus 1a .....	197
Figura 99: Distribució de tensions en els murs: tipus 1b .....	197
Figura 100: Distribució de tensions en els murs: tipus 2a.....	198
Figura 101: Distribució de tensions en els murs: tipus 2b .....	198
Figura 102: Distribució de tensions en els murs: tipus 2c.....	199
Figura 103: Distribució de tensions en els murs: tipus v1a .....	200
Figura 104: Distribució de tensions en els murs: tipus v1b.....	200
Figura 105: Rangs de tensions dels punts més sol·licitats en base de mur de planta principal.....	215
Figura 106: Rangs de tensions dels punts més sol·licitats a mitja altura de mur de planta principal.....	215
Figura 107: Tensions a base de fonamentació per als tipus 1a i 2a .....	217
Figura 108: Tensions a base de fonamentació per als tipus v1a i v1b.....	218
Figura 109: Reaccions a base de fonamentació .....	219
Figura 110: Coeficients de seguretat residuals en els murs per al tipus 1a .....	221
Figura 111: Coeficients de seguretat residuals en els murs per al tipus 1b .....	221
Figura 112: Coeficients de seguretat residuals en els murs per al tipus 2a .....	222
Figura 113: Coeficients de seguretat residuals en els murs per al tipus 2b .....	222
Figura 114: Coeficients de seguretat residuals en els murs per al tipus 2c.....	223
Figura 115: Coeficients de seguretat residuals en els murs per al tipus v1a .....	223
Figura 116: Coeficients de seguretat residuals en els murs per al tipus v1b.....	224

Figura 117: Esquema de línies isostàtiques de compressió sota recolzament de biga (esquerra), distribució de tensions en planta en un esquema estructural en xamfrà (dreta).	234
Figura 118: Exemples d'esquerdes sota recolzament de biguetes (1, 2 i 3 Castillejos 168, 4 Pau Claris, 76)	235
Figura 119: Façanes de l'Eixample (Gran Via 472 i Provença 365)	236
Figura 120: Exemples de llindes trencades en els accessos principals.	236
Figura 121: Esquerdes en celobert (1, Provença 363; 2 i 3, Rocafort 217)	237
Figura 122: Resultats de les tensions a la part baixa del mur, esquerra tensions en sentit vertical, dreta tensions en sentit horitzontal.	238
Figura 123: Valors de les tensions (N/mm <sup>2</sup> ) en diversos punts de l'eix del pati	240
Figura 124: Obertures sense llinda	241
Figura 125: Llindes inexistent trencades. Vilamarí, 27 (a dalt), Paral·lel 124 (a baix).	242
Figura 126: Continuïtat de l'esquerda de mur per paviment (Castillejos, 168)	244
Figura 127: Formes de trencament per assentament global general i seccions d'edificis que presenten dita patologia: Calabria, 75 (esquerra) i Vilamarí, 27 (dreta)	245
Figura 128: Esquerdes per assentament diferencial de pilastra respecte el mur de vestíbul, Provença, 363.	246
Figura 129: Reaccions a terreny per al tipus 1B	246
Figura 130: D'esquerra a dreta, degradat tensional amb les tensions de compressió per al tipus 1B i esquerdes en cantonada de pati sota línia de finestres amb continuïtat per sostres i paviments en un edifici del tipus 1B, Casanova, 178.	247
Figura 131: Esquerdes entre envà i mur de càrrega (esquerra) i esquerra per flexió de biguetes (dreta), Rosselló 210	249
Figura 132: Fissures en envans per flexió de sostre	250
Figura 133: Dues possibles causes de les esquerdes inclinades sota els ampits de finestra del pati lateral	251
Figura 134: Esquemes de descensos de càrregues i reaccions a terreny que mostren la pilastra de vestíbul sota cantonada de pati com a zona especialment carregada	251
Figura 135: Esquerdes inclinades en patis mitgers, d'esquerra a dreta: Casanova 178, Paral·lel 124, Pau Claris 76, Provença 363	252
Figura 136: Quadre resum tipus amb escala central	465
Figura 137: Tipus C11A, C11B, C11C, C11AB	466
Figura 138: Tipus C11A Tipus C11AB Tipus C11C	467
Figura 139: Tipus C21A, C21B, C21AB	467
Figura 140: Tipus C21A Tipus C21B Tipus C21AB	468
Figura 141: Tipus C12A, C12B, C12AB	468
Figura 142: Tipus C12A Tipus C12AB	469
Figura 143: Tipus C22A, C22B, C22AB	470
Figura 144: Tipus C22A Tipus C22B Tipus C22AB	470



Figura 145: Quadre resum dels tipus amb escala lateral Anàlisi de la classificació tipològica.....	471
Figura 146: <i>Tipus L11 i L21</i> .....	472
Figura 147: <i>Tipus L11 Tipus L21</i> .....	472
Figura 148: Tipus L12A, L12B, L22A, L22B, L22AB.....	473
Figura 149: Tipus L12 Tipus L22A Tipus L22B Tipus L22AB.....	473
Figura 150: Quadre resum dels tipus en xamfrà.....	474
Figura 151: <i>Tipus V1A Tipus V1B</i> .....	475
Figura 152: Tipus V2B1 Tipus V2B2 Tipus V2AB2.....	476
Figura 153: <i>Tipus V3 Tipus V3</i> .....	476
Figura 154: Distribució dels subtipus d'escala central.....	477
Figura 155: Plantes de tipus C21AB i C22AB.....	478
Figura 156: Distribució dels subtipus d'escala lateral.....	478
Figura 157: Plantes de tipus L21A i L22AB.....	479
Figura 158: Distribució dels tipus d'edificis en xamfrà.....	479
Figura 159: Recompte dels subtipus en què es descompon la mostra.....	480
Figura 160: Representació en eixos de coordenades de les amplades i fondàries de les plantes dels edificis situats en banda que formen la mostra.....	481
Figura 161: Representació en eixos de coordenades de les amplades i fondàries de les plantes dels edificis de tipus C (amb caixa d'escala central).....	482
Figura 162: Representació en eixos de coordenades de les amplades i fondàries de les plantes dels edificis de tipus L(amb caixa d'escala lateral).....	483
Figura 163: Mides mitjanes de planta per als tipus i subtipus d'escala central (C).....	485
Figura 164: Mides mitjanes de planta per als tipus i subtipus d'escala lateral (L).....	486
Figura 165: Quadre tipològic per als tipus en banda amb escala central.....	487
Figura 166: Quadre tipològic per als tipus en banda amb escala lateral.....	488
Figura 167: Quadre tipològic per als tipus en xamfrà.....	489
Figura 168: Mides de profunditat edificada i ample de parcel.la del total d'edificis situats en banda.....	490
Figura 169: Mides de profunditat edificada i ample de parcel.la del total d'edificis situats en banda amb escala central.....	491
Figura 170: Mides de profunditat edificada i ample de parcel.la dels edificis corresponents als subtipus C11.....	492
Figura 171: Mides de profunditat edificada i ample de parcel.la dels edificis corresponents als subtipus C12.....	493
Figura 172: Mides de profunditat edificada i ample de parcel.la dels edificis corresponents als subtipus C21.....	494
Figura 173: Mides de profunditat edificada i ample de parcel.la dels edificis corresponents als subtipus C22.....	495
Figura 174: Mides de profunditat edificada i ample de parcel.la del total d'edificis situats en banda amb escala lateral.....	496

Figura 175: Mides de profunditat edificada i ample de parcel·la dels edificis corresponents als subtipus L11.....	497
Figura 176: Mides de profunditat edificada i ample de parcel·la dels edificis corresponents als subtipus L12.....	498
Figura 177: Mides de profunditat edificada i ample de parcel·la dels edificis corresponents als subtipus L21.....	499
Figura 178: Mides de profunditat edificada i ample de parcel·la dels edificis corresponents als subtipus L22.....	500
Figura 179: Mitjanes de les mides de profunditat edificada i ample de parcel·la per als subtipus C11 .....	501
Figura 180: Mitjanes de les mides de profunditat edificada i ample de parcel·la per als subtipus C12 .....	502
Figura 181: Mitjanes de les mides de profunditat edificada i ample de parcel·la per als subtipus C21 .....	503
Figura 182: Mitjanes de les mides de profunditat edificada i ample de parcel·la per als subtipus C22 .....	504
Figura 183: Mitjanes de les mides de profunditat edificada i ample de parcel·la per als subtipus d'escala lateral.....	505
Figura 184: Localització dels subtipus C11 dins la població total .....	506
Figura 185: Localització dels subtipus C12 dins la població total .....	506
Figura 186: Localització dels subtipus C21 dins la població total .....	507
Figura 187: Localització dels subtipus C22 dins la població total .....	507
Figura 188: Localització dels subtipus d'escala lateral dins la població total .....	508
Figura 189: Localització dels subtipus V1 dins la població total.....	508
Figura 190: Localització dels subtipus V2 dins la població total.....	509
Figura 191: Localització dels subtipus V3 dins la població total.....	509
Figura 192: Diverses variants de crugies frontals i posteriors i cos central possibles ...	512
Figura 193: Possibles combinacions de cos central amb les crugies frontals i posteriors. .....	513
Figura 194: Nomenclatura crugies i paràmetres estudiats per al tipus 1 de cos central	515
Figura 195: Nomenclatura dels diferents paràmetres de la configuració estructural i de les diverses crugies dels tipus de cos central 2 (2a, 2b, 2c i 2d) .....	515
Figura 196: Tipus d'edificis en xamfrà.....	516
Figura 197: Tipus de configuració de les caixes d'escala .....	517
Figura 198: Possibles recolzaments de les voltes d'escala segons tipus .....	518
Figura 199: Edificis en banda amb indicació de les diferents crugies .....	521
Figura 200: Edificis que pertanyen als diferents tipus de cos central .....	523
Figura 201: Edificis en xamfrà.....	525
Figura 202: Edificis que pertanyen als diferents tipus en xamfrà.....	527
Figura 203: Resultat de les tensions en els murs a la base de mur de planta principal (esquerra) i a mitja altura de planta principal (dreta).....	558

Figura 204: Resultat de les tensions a base de fonamentació (esquerra), indicació de valors de referència (dreta) i reaccions del terreny (a baix).....	559
Figura 205: Coeficients de seguretat residuals a la base del mur de planta principal (esquerra) i a mitja altura de planta principal tenint en compte l'excentricitat del mur (dreta).....	563
Figura 206: Resultat de les tensions en els murs a la base de mur de planta principal (esquerra) i a mitja altura de planta principal (dreta).....	564
Figura 207: Resultat de les tensions a base de fonamentació (esquerra), indicació de valors de referència (dreta) i reaccions del terreny (a baix).....	565
Figura 208: Coeficients de seguretat residuals a la base del mur de planta principal (esquerra) i a mitja altura de planta principal tenint en compte l'excentricitat del mur (dreta).....	570
Figura 209: Resultat de les tensions en els murs a la base de mur de planta principal (esquerra) i a mitja altura de planta principal (dreta).....	571
Figura 210: Resultat de les tensions a base de fonamentació (esquerra), indicació de valors de referència (dreta) i reaccions del terreny (a baix).....	572
Figura 211: Coeficients de seguretat residuals a la base del mur de planta principal (esquerra) i a mitja altura de planta principal tenint en compte l'excentricitat del mur (dreta).....	577
Figura 212: Resultat de les tensions en els murs a la base de mur de planta principal (esquerra) i a mitja altura de planta principal (dreta).....	578
Figura 213: Resultat de les tensions a base de fonamentació (esquerra), indicació de valors de referència (dreta) i reaccions del terreny (a baix).....	579
Figura 214: Coeficients de seguretat residuals a la base del mur de planta principal (esquerra) i a mitja altura de planta principal tenint en compte l'excentricitat del mur (dreta).....	584
Figura 215: Resultat de les tensions en els murs a la base de mur de planta principal (esquerra) i a mitja altura de planta principal (dreta).....	585
Figura 216: Resultat de les tensions a base de fonamentació (esquerra), indicació de valors de referència (dreta) i reaccions del terreny (a baix).....	586
Figura 217: Coeficients de seguretat residuals a la base del mur de planta principal (esquerra) i a mitja altura de planta principal tenint en compte l'excentricitat del mur (dreta).....	591
Figura 218: Resultat de les tensions en els murs a la base de mur de planta principal (esquerra) i a mitja altura de planta principal (dreta).....	592
Figura 219: Resultat de les tensions a base de fonamentació (esquerra), indicació de valors de referència (dreta) i reaccions del terreny (a baix).....	593
Figura 220: Coeficients de seguretat residuals a la base del mur de planta principal (esquerra) i a mitja altura de planta principal tenint en compte l'excentricitat del mur (dreta).....	597

Figura 221: Resultat de les tensions en els murs a la base de mur de planta principal (esquerra) i a mitja altura de planta principal (dreta).....	598
Figura 222: Resultat de les tensions a base de fonamentació (esquerra), indicació de valors de referència (dreta) i reaccions del terreny (a baix).....	599
Figura 223: Coeficients de seguretat residuals a la base del mur de planta principal (esquerra) i a mitja altura de planta principal tenint en compte l'excentricitat del mur (dreta).....	603
Figura 224: Façana carrer Calàbria .....	606
Figura 225: Apunts dels esquemes fissuratius més remarcables .....	608
Figura 226: Planta principal .....	609
Figura 227: Secció longitudinal A-A' .....	610
Figura 228: Secció longitudinal B-B' .....	610
Figura 229: Esquerda volta d'escala .....	611
Figura 230: Esquerda porta d'accés habitatge - recolzament volta d'escala.....	611
Figura 231: Esquerda vertical a pati interior .....	612
Figura 232: Detall llinda entrada.....	615
Figura 233: Planta primera.....	615
Figura 234: Seccions longitudinals de l'edifici.....	616
Figura 235: Esquerdes en patis laterals .....	616
Figura 236: Esquerdes en pati central que travessen el mur .....	617
Figura 237: Esquerda vertical en mur mitger .....	617
Figura 238: Esquerda vertical en mur mitger de la finca veïna.....	618
Figura 239: Danys planta baixa.....	622
Figura 240: Danys planta entresòl.....	623
Figura 241: Danys planta primera .....	624
Figura 242: Danys planta tercera .....	625
Figura 243: Esquerdes verticals a planta baixa. En pilar d'obra de fàbrica (esquerra) i en mur de pati central (dreta) .....	626
Figura 244: Esquerdes en mur de tancament a planta baixa.....	626
Figura 245: Humitats en mur de pati central a planta baixa.....	627
Figura 246: Esquerda vertical en mur que continua per paviment (Grup d'esquerdes A, planta entresòl) .....	627
Figura 247: Esquerda entre fals sostre i façana av. Diagonal .....	628
Figura 248: Apunts dels esquemes fissuratius .....	632
Figura 249: Esquerdes en patis mitgers.....	633
Figura 250: Esquerdes sobre portes d'accés als habitatges i a les voltes d'escala.....	634
Figura 251: Esquerda en mur de caixa d'escala que es prolonga trencant la volta.....	634
Figura 252: Esquerdes en pati central .....	635
Figura 253: Façana a carrer Pau Claris .....	636
Figura 254: Principals esquerdes observades en murs .....	638

---

Figura 255: Esquerdes en llinda d'entrada principal i continuació d'aquestes en llosa de balcó .....	639
Figura 256: Esquerda sota recolzament de bigueta sobre llinda de finestra .....	639
Figura 257: Esquerdes en patis .....	640
Figura 258: Esquerdes en celobert .....	643
Figura 259: Esquerdes en pati central .....	643
Figura 260: Grapatge d'esquerda en mitgera .....	644
Figura 261: Ubicació en planta de les principals esquerdes .....	644
Figura 262: Esquerdes en pati central .....	647
Figura 263: Esquerdes en vestíbul d'accés .....	648
Figura 264: Esquerda entre murs de pati i el seu grapatge (esquerra) i continuació d'aquesta esquerda en mur oposat del pati en la cara interior (dreta) .....	648
Figura 265: Esquerda en façana posterior en recolzament de bigueta metàl·lica .....	649
Figura 266: Aixecament de les principals esquerdes en murs .....	650
Figura 267: Esquerdes en patis mitgers .....	651
Figura 268: Esquerdes en pati central .....	652
Figura 269: Ubicació en planta de les principals esquerdes .....	654
Figura 270: Esquerda entre mur portant i envà de la galeria interior .....	654
Figura 271: Esquerda entre envà i mur de pati central .....	655
Figura 272: Esquerda en paviment en zona central de la planta .....	655
Figura 273: Principals esquerdes en murs .....	658
Figura 274: Esquerda en mur mitger en pis principal 1a i a coberta .....	658
Figura 275: Danys en mur de pati central .....	659



# 1 Justificació i objecte de la recerca

---

## 1.1 Justificació

Passat un segle i mig de l'inici de la construcció de l'Eixample de Barcelona aquest s'ha convertit en un dels emblemes de la ciutat amb un parc constructiu d'uns 10000 edificis. Es pot entendre que l'Eixample té un valor, a més de per les virtuts urbanístiques sobre les que s'ha escrit àmpliament, que li ve donat per l'abundància del que s'ha conegut de forma general com a casa de l'Eixample que proporciona una uniformitat formal i constructiva al conjunt. Així doncs, l'edificació de l'Eixample constitueix en la seva globalitat un valor patrimonial de necessària conservació. La casa de l'Eixample, a més, serveix de referent e informa de la manera de concebre i entendre l'edificació residencial a nombroses poblacions en una determinada època. Es per aquest motiu que s'ha optat per centrar-se en el període 1860-1940 en el qual es van construir els edificis més representatius i que responen a la manera de construir i concebre l'estructura que es vol estudiar.

Inevitablement, amb el transcurs dels anys, les necessitats d'habitabilitat han anat variant, fent-se cada vegada més exigents i els marcs normatius han anat evolucionant incorporant les millores de confort i de seguretat que ha anat requerint la societat.

Amb l'entrada en vigor del Codi Tècnic de l'Edificació s'han posat de manifest certes incompatibilitats entre les possibilitats d'acompliment del text normatiu i les necessitats de conservació d'edificis patrimonials o d'interès. En aquesta línia s'han elaborat guies d'aplicació del CTE que proposaven certes salvetats per als edificis patrimonials (veure

Capítol 2 Estat de la qüestió) però que, malauradament, no han entrat en vigor fins al moment.

Com que es tracta d'un conjunt la uniformitat del qual és el que es vol preservar, sovint, quan es fa referència a la conservació de l'edifici històric de l'Eixample es tracta aquesta com un problema epidèrmic que abasta únicament la conservació de les façanes. Aquesta tendència comporta grans modificacions en l'estructura de l'edifici en el moment d'adequar-la al marc normatiu actual.

Si es vol optar, al contrari, per una conservació més global dels edificis, entenent com a patrimoni no només els aspectes superficials de l'edifici sinó també els elements constructius, les formes de treballar estructuralment, els valors espacials i distributius, etc. cal una anàlisi profunda de comportament global de l'edifici.

En aquesta línia es plantegen els objectius descrits en l'apartat següent.

Un segle després dels anys de màxima activitat constructiva de l'Eixample es proposa fer una revisió general de la capacitat del tipus constructiu i edificatori característic de l'Eixample d'adaptar-se i adequar-se als nous requeriments d'us i nous marcs normatius. En aquest context, la tesi se centra en els aspectes de seguretat estructural.

## 1.2 Objectius de la investigació

L'objectiu principal de la investigació és:

*Conèixer/Definir el comportament mecànic-estructural de les estructures dels edificis construïts a base de murs de fàbrica de maó en l'Eixample de Barcelona en el període 1860 – 1936. A partir d'aquí es podrà avaluar l'adequació dels edificis històrics de l'Eixample de Barcelona front els requeriments normatius estructurals que marquen els usos actuals*



Per assolir aquest objectiu principal caldrà, també, assolir els següents objectius secundaris:

- Establir una classificació tipològica estructural dins del tipus edificatori de l'Eixample i determinar de quins factors tecnològics, urbanístics i/o funcionals en depèn.
- Aprofundir en el coneixement del tipus edificatori de l'Eixample.
  - Edifici entre mitgeres
  - Edifici en xamfrà
- Localitzar punts de conflicte entre la necessitat de conservació del tipus edificatori de l'Eixample i els nous marcs normatius (CTE)
- Avaluar qualitativament i quantitativa l'adequació del tipus edificatori de l'Eixample a les noves exigències de seguretat estructural
- Definir/determinar possibles limitacions d'ús per una millor conservació de l'edificació
- Facilitar la pre-diagnosi d'edificacions concretes a partir de la adequació a un tipus estructural concret
- Facilitar una metodologia aplicable a altres casos d'estudi

Per assolir els objectius fixats s'ha seguit la metodologia establerta al Capítol 3 *Metodologia*.

### 1.3 Estructura de la Tesi

Aquesta tesi es compon de nou capítols. El present capítol i el 2n (*Estat de la Qüestió*), estableixen els objectius i els punts de partida de la investigació que es duu a terme a la tesi. A continuació segueix el capítol 3er *Metodologia*, on s'exposa de forma sintètica la metodologia seguida al llarg de la recerca de la tesi. Aspectes més concrets i detallats de la metodologia es detallen en capítols posteriors.

A continuació segueix el grup de capítols que componen el cos principal de la tesi, que es divideix en tres blocs. El primer d'ells, destinat a la definició de la tipologia de la configuració estructural de l'edifici de l'eixample, està format per dos capítols anomenats 4rt *Metodologia de mostratge i tractament de la mostra* i 5è *Anàlisi tipològica*. El capítol 4rt descriu la metodologia de mostratge i classificació seguida, mentre que els resultats obtinguts es mostren i es comenten al capítol 5è. El segon bloc es centra en l'anàlisi del comportament estructural i està format pels capítols 6è *Consideracions prèvies a l'anàlisi estructural* i 7è *Anàlisi i avaluació del sistema estructural*. Seguint l'estructura del bloc anterior, el capítol 6è és de caire metodològic i en ell es defineixen els punts de partida i la metodologia seguida per a obtenir els resultats de l'anàlisi estructural, que es presenten en el capítol 7è. I, per últim, el tercer bloc que està format pel capítol 8è *Comparació entre els resultats teòrics i el comportament observat. Anàlisi de danys* on s'analitzen els danys en

les estructures de l'edifici objecte d'estudi, creuant els resultats del càlcul amb el comportament real.

Per últim, en el capítol 9è es presenten les *Conclusions* generals de la tesi, agrupant les conclusions que ja han estat recollides en els corresponents capítols.

A més dels nou capítols, la tesi està formada per 7 *Annexes* que proporcionen informació complementària, detallada i específica sobre temes concrets de la recerca duta a terme.

## 2 Estat de la qüestió

---

L'Eixample ha estat tradicionalment objecte d'estudi des de diferents vessants, per tant el coneixement que és el punt de partida per l'elaboració de la tesi és ampli i, a la vegada, divers. En el present capítol no es pretén re escriure les aportacions prèvies sino organitzar la informació i proporcionar les fonts que aprofunditzen sobre els temes que s'exposen. Així, La informació s'ha organitzat en els següents grans blocs:

- Sobre l'edifici d'habitatges de l'Eixample
  - La formació de l'Eixample (inclou vessant constructiva i descripció general del tipus de planta)
  - Les ordenances de l'edificació
  - L'edifici històric de l'Eixample, vessant constructiva
  - Estudis tipològics
- Marcs normatius
  - Graus actuals de protecció de l'edificació històrica de l'Eixample
  - En l'àmbit de la seguretat estructural
  - Marc normatiu vigent per l'edificació existent
  - Antecedents normatius
  - Marcs normatius actuals que tot i no ser d'obligat compliment poden servir de referència
  - Marcs no normatius i antigues regles del "ben fer"
  - Necessitat d'un marc normatiu específic per la rehabilitació
- Anàlisi estructural

- Coneixement dels materials
- Els maons a l'Eixample
- Els morters a l'Eixample
- Material compost (l'obra de fàbrica)
- Sobre els models
- Models normatius i models que consideren l'obra de fàbrica en un règim elàstic i com a material homogeni
- Altres models no normatius (es podia considerar dins de l'annex D)
- Altres anàlisis de l'Eixample a nivell estructural

## 2.1 Sobre l'edifici d'habitatges de l'Eixample

### 2.1.1 La formació de l'Eixample

A mitjans del s. XIX, la construcció de l'Eixample de Barcelona suposava la satisfacció de les aspiracions de creixement de Barcelona fora dels seus límits emmurallats. Amb urgència, el nou barri, es va estendre fora dels límits de la ciutat antiga estenent-se pel Pla de Barcelona, connectant amb els límits dels antics municipis propers, avui barris perifèrics de la ciutat (Sants, les Corts, Sant Gervasi de Cassoles, Gràcia, Sant Andreu de Palomar i Sant Martí de Provençals). El Pla d'Eixample —o més exactament *Pla de Reforma i Eixample*— va ser projectat per l'enginyer de camins Ildefons Cerdà, qui ja havia traçat la carretera de Sarrià (1845-50) i havia establert el pla topogràfic dels voltants de la ciutat antiga (1855), aprovant-se per una ordre reial del govern d'Espanya (decret de 31 de maig de 1860) per sobre del resultat del concurs que s'havia convocat i fallat amb anterioritat.

El pla Cerdà es va poder implantar de manera ràpida i econòmica, accelerant-se pel fet que no requeria una reparcel·lació general, només petites adaptacions a l'ortogonalitat del pla (Cócola Gant, 2007). La requalificació dels terrenys agrícoles a urbans va engegar un procés especulatiu fent que el preu del sòl augmentés 60 vegades el seu valor original només en tres anys (Capel Sáez, 1983).

### 2.1.2 Les ordenances de l'edificació

Des de la seva vessant urbanística, l'Eixample ha estat àmpliament estudiat tant des del punt de vista del disseny urbanístic, com de la parcel·lació i de les diferents ordenances que han estat vigents en cada moment.

#### LLIBRES

- J. Sabaté Bel, *“El Proyecto de la calle sin nombre los reglamentos urbanos de la edificación”*(Sabaté Bel, 1999)
- J. Busquets Grau, *“Estudi de L'Eixample”* (Busquets, 1983)
- M. Corominas i Ayala, *“Los orígenes del Ensanche de Barcelona: suelo, técnica e iniciativa”* (Corominas Ayala, 2002)

- A.A.V.V., *“Treballs sobre Cerdà i el seu Eixample a Barcelona = Readings on Cerdà and the extension plan of Barcelona”* (Busquets, Corominas Ayala, Eizaguirre i Garaitagoitia, & Sabaté Bel, 1992)
- M. Saura i Carulla, *“Història de l’Eixample: una metodologia de disseny”*(Saura i Carulla, 1997)
- M. de Solà-Morales i Rubió, *“Las formas de crecimiento urbano”*(Solà-Morales, 1997)

#### TESIS DOCTORALS

- J. Llobet i Llobet, *“Urbanització i planejament urbanístic: Barcelona 1917-1936”*(Llobet i Llobet, 1984)
- J. Sanmarti Verdager, *“La remodelació de l’Eixample Cerdà, avui”* (Sanmarti Verdager, 1987)
- J. Sabaté Bel, *“El proyecto de la calle sin nombre: los reglamentos urbanos de la edificación”* (Sabaté Bel, 1992)
- M. Corominas Ayala, *“Suelo, técnica e iniciativa en los orígenes del Ensanche de Barcelona”*(Corominas Ayala, 1986)
- J. Molet i Petit, *“Barcelona entre l’enderroc de les muralles i l’Exposició Universal: arquitectura domèstica de l’Eixample”* (Molet i Petit, 1997)

#### TESIS DE MÀSTER

- R. Villuela Bayon, *“Análisis de la evolución del Ensanche desde una perspectiva de normativa”*

Les ordenances de l’edificació amb les que s’inicia la construcció de l’Eixample van ser aprovades tres anys abans del Pla Cerdà. S’inclouen en les Ordenances Municipals que van entrar en vigor l’11 de novembre de 1956(Ayuntamiento de Barcelona, 1856) i que tenien, lògicament, com a àmbit d’aplicació Ciutat Vella. Amb la construcció de l’Eixample, es va veure la necessitat de modificacions puntuals, que es van succeir els anys 1865, 1868 i 1879.

A l’ordenança de 1856 l’altura màxima permesa per a amplades de carrer com les de l’Eixample era de 19,40m repartida entre planta baixa i tres pisos, que en una segona fase van passar a ser-ne quatre(Sabaté Bel, 1999) (veure Taula 1). En aquesta primera etapa de les ordenances no es regulava la profunditat màxima edificable sinó que es fixava un percentatge d’ocupació en planta de cada parcel·la, d’aquesta manera la superfície del pati interior d’illa quedava regulada automàticament. Tampoc estaven regulats els patis de ventilació.

L’ordenança també fixava els gruixos que havia de tenir la façana segons les altures (pb:60cm i la resta 30cm – si es tractava d’obra de fàbrica de maó - ) i per la resta de murs

es deixava a “*prudencia del director de la obra*”, fet que va portar a parets de càrrega de 15cm de gruix.

La modificació de 1879 augmenta l'altura permesa a 22m, però sense autoritzar més plantes que a l'ordenança de 1856 (Sabaté Bel, 1999). En aquesta modificació s'especifica que el 30% de la parcel·la ha de quedar lliure i en el centre de la mançana, igualment s'obliga que les parcel·les no tinguin una profunditat superior a 26m – 27m si es tenen el compte els cossos volats cap a l'interior – en un intent de recuperar el model ideat per Cerdà. A partir d'aquesta ordenança ja es regulen els patis de ventilació (veure Taula 1).

El 1891 s'aproven les primeres ordenances de l'edificació sorgides exclusivament per a regular la construcció en l'Eixample de Barcelona. Aquestes ordenances van mantenir l'altura de 22m (pb+5) i la profunditat de 28m, introduint dues novetats: la possibilitat d'ocupar tota la planta baixa del pati interior d'illa i de sobresortir les tribunes i balcons una distància més gran sobre la rasant longitudinal, es permeten vols d'1,5m en la façana principal i de 2m en la posterior. Cal fer esment que les ordenances anteriors havien estat criticades ja que donaven poc marge a la “creativitat”. Anteriorment a 1891, era habitual la invasió de l'espai públic amb miradors o balcons que excedien els límits de les ordenances, aquestes accions estaven penalitzades amb sancions que, en qualsevol cas, no impedièren la construcció fora de la normativa (Molet i Petit, 1997). Els canvis que van suposar les ordenances de 1981 i les posteriors modificacions de 1922 i 1932 van ser sempre en favor de la propietat privada (Solans, 1975), evidenciant-se ja en 1932 la tendència congestiva que marquen les ordenances de 1942 (Taula 1 i **Error! Reference source not found.**).

De la bibliografia citada s'ha pogut extreure el quadre de la Taula 1 on es resumeix l'evolució de les ordenances a l'Eixample. Els soterranis queden regulats en les diferents ordenances tal i com es mostra a la **Error! Reference source not found.** on, en cas d'existir no s'arriba a més d'una planta sota la rasant de carrer.

ANY	O	P.E	ALTURA REGULADORA	ALTURES (DETALL)	PATIS VENTILACIÓ	PATI D'ILLA
1856	50%	Variable	PB+3 (16m)	PB 3,88; P1 3,98; P2 3,29; P3 3,10; cambra d'aire 0,4 a 1,2m		
Proposta de Garriga i Roca (1859)			PB+4 (18,25m) PB+PE+3 (18,25m)	Variable Distribució alçades dels pisos		
Proposta de Fontseré (1859)			PB+PE+4 (18,25m) entresol exterior o golfes hab.			
1865	50%		PB+4 (20m)	P4 3,00m golfes <1,80m (inclou sostre)		
1868	70%		PB+3 (16m) carrers < 20m PB+4 (20m) Carrers > 20m	PB 4m; P1 3,6m; P2 3,4m; P3 3,2m; P4 3,0m; cambra d'aire 0,6m		
1877 1879	70%	26m (+1m) cos volat	PB+PE+4 (22m)	Cossos Terrat no visibles des de la vorera de davant	En funció del nombre de façanes, entre un 6% i 12% de la superfície del solar per patis de ventilació. Sup min. Patis 8%	30% de mansana lliure
1889	75%					
1891 1923	73,6 %	28m	PB+5 (22m)	PB 4m Altura min. altell 2,5m Pisos de 2,80 a 3m lliures Cambra d'aire entre 0,4 i 1,2m Construccions terrat sota plans inclinats que formen la línia horitzontal de l'ARM i una vertical de 3m a mitja profunditat (a excepció de la caixa d'escala propera a la primera crugia, se li permet alç. màx de 3m) Es permet la subdivisió de la planta baixa en planta semisoterrani i entresol	Edifici 1 façana 12% Edifici 2 façanes 8% Edifici més de 2 façanes 6%	Altura màxima interior d'illa 4,40m
1932			PB+6+A (23m)	PB 4m Altura min. altell 2,5m i reculat 3m Pisos 3m Àtic 3m reculat 3m		
1942 1947 1958	73%	28m	PB+6+A+SA (23,85m)	PB 4m Altura min. altell 2,5m i reculat 3m Pisos 2,80m Àtic 2,8m a 3,2m reculat 3m Sobreàtic 2,8m	Sup. Mín 12% Patis d'11m2 com a mínim (de 22m2 en el cas que hi ventilin menjadors o sales d'estar)	Altura màx interior d'illa 5,50m
			PB+7+A+SA (24,40m carrers de 20m) (27,45 carrers de 30m)	PB 4m Altura min. altell 2,5m i reculat 3m Pisos 2,80m Àtic 2,8m a 3m reculat 3m Sobreàtic 2,8m		
				PB 4m Altura min. altell 2,5m i reculat 3m Pisos 2,80m Àtic 2,8m a 3m reculat 3m Sobreàtic 2,8m límit a 45°		
PGM 1976	70%	26m	PB+5 (20,75m carrers de 20m) PB+6 (23,80m carrers de 30m)	PB 4m Altura min. altell 2,5m i reculat 3m Pisos 2,80m Soterranis 2,20m No es permet la subdivisió de la pb en semisoterrani i entresol	Patis de 16m2 com a mínim	Altura màx interior d'illa 4,50m
1986		26m (+13m)	PB+5 (no límit) es manté el nombre de plantes			

Taula 1: Evolució de les ordenances a l'Eixample(Colom, 2014)

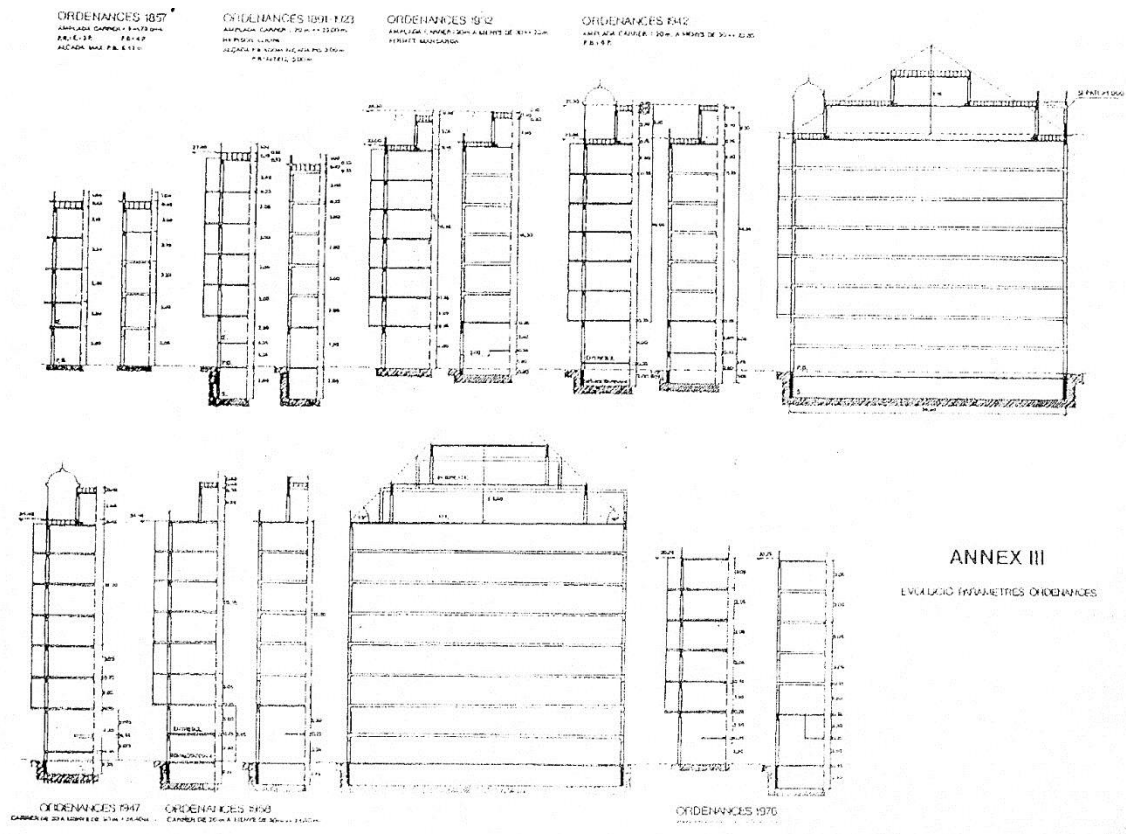


Figura 1: Evolució de les altures edificables segons ordenances municipals (Corporació Metropolitana de Barcelona, 1985)

### 2.1.3 L'edifici històric de l'Eixample, vessant constructiva

Tot i que menys estudiat que des del punt de vista urbanístic, l'edificació de l'Eixample també ha estat estudiada àmpliament des del punt de vista dels materials i les solucions constructives. Els documents que han servit de base pel coneixement constructiu necessari per elaborar la present tesi són els següents:

#### LLIBRES

- A.A.V.V., *"La Rehabilitació de l'Eixample 1987-1991"* (La Rehabilitació de l'Eixample 1987-1991, 1993)
- Paricio Casademunt, *"Secrets d'un sistema constructiu l'Eixample"*, Edicions UPC, Barcelona, (2008) (Paricio Casademunt, 2008)
- De Sivo, C. Díaz Gómez, *"Il Vasto a Napoli, el Ensanche de Barcelona : due realtà a confronto : progetto collaborativo: Architettura e tecniche costruttive tradizionali nell'area mediterranea = el contraste entre dos realidades : proyecto de colaboración: Arquitectura y técnicas constructivas tradicionales en el área mediterránea"* (De Sivo & Díaz, 2001)



## TESIS DOCTORALS

- P. Giol Draper, *“La Casa de veïns del segle XIX a Barcelona : avaluació tipològica, arquitectònica i estructural-constructiva del tipus de casa de residència del s. XIX, a partir de l’anàlisi dels edificis construïts entre 1800 i 1920, a Ciutat Vella i a l’Eixample Central”* (Giol Draper, 1995)
- R. Gumà i Esteve, *“Origen i evolució de les tipologies edificatòries i característiques constructives dels edificis de la indústria tèxtil a Catalunya (període 1818-1925)”* (Gumà i Esteve, 1996)
- Paricio Casademunt, *“Anàlisi del sistema constructiu a base de murs de càrrega, utilitzats en la formació de l’Eixample de Barcelona”* (Paricio Casademunt, 1998)
- Ma. I. Rosselló i Nicolau, *“L’interior a Barcelona en el segle XIX”* (Rosselló i Nicolau, 2005)
- R. Graus i Rovira *“Modernització tècnica i arquitectura a Catalunya 1903-1929”* (Graus Rovira, 2012)

Entre aquests es troben els tres treballs amb més rellevància i que són de referència sobre dels edificis de l’Eixample. El primer d’ells és la tesi doctoral de Pere Giol (Giol Draper, 1995), que tot i centrar-se en Ciutat Vella, analitza una primera etapa de construcció a l’Eixample estudiant els edificis de la primera corona de la trama Cerdà propera a les actuals Rondes (St. Pau, St. Antoni, Universitat i St. Pere). El segon és la publicació de la tesi doctoral d’Antoni Paricio (Paricio Casademunt, 1998) i les seves posteriors publicacions com a llibre (Paricio Casademunt, 2001) (Paricio Casademunt, 2008), aquesta es va desenvolupar a partir d’un treball de camp en relació amb enderrocs i reformes en nombrosos edificis de l’Eixample. I, per últim, el tercer treball de referència és una comparació constructiva de dos barris construïts en la mateixa època però en diferent context: *Il Vasto* de Nàpols i l’Eixample de Barcelona, en aquest llibre es pren com a mostra la totalitat dels edificis de dues mançanes diferents (De Sivo & Díaz, 2001).

Així doncs, les aportacions d’aquests treballs fan que es pugui fer referència a un sistema constructiu, o com a vegades s’anomena: el “model Eixample” fruit de l’edifici com a resultat d’un tipus de construcció (sistema constructiu) + unes ordenances + un ús residencial burgès.

En aquesta línia A. Paricio afirma a la tesi: *“el sistema de construir edificis en aquesta etapa històrica és perfectament repetible i extrapolable; quasi tot es feia de la mateixa manera. Per tant, el concepte de <sistema> és perfectament aplicable al procés edificatori de l’Eixample”*. Aquest fet és raonable tenint en compte que la tecnologia de la construcció és una de les que evoluciona més al llarg de la història (Cócola Gant, 2007): les innovacions triguen temps a implementar-se i poden passar varies dècades fins que la mà d’obra s’acostuma a elles i, una vegada trobat un sistema que resulta competitiu, aquest es

repeteix fins al paroxisme. Pel que fa a la morfologia de la illa, si s'observa els 113m de costat de façana de la illa i els seus respectius xamfrans es constata com aquests són molt escassos en relació a la superfície edificable, a cada metre de façana li corresponen 29,5m<sup>2</sup> de sòl (Cócola Gant, 2007). Per maximitzar la rendibilitat de les propietats, els edificis de l'Eixample han tingut una tendència històrica a créixer en profunditat i en altura, fet que, juntament amb unes tècniques constructives específiques de l'època origina un tipus edificatori concret, la "casa de renta", d'una amplada d'entre 11 i 14 metres (Corominas Ayala, 2002) (entre 8 i 10 immobles per cada costat de la mançana), i dos habitatges per planta, fet que canvia més endavant, amb la tendència a augmentar el nombre d'habitatges per planta de dos a quatre. Una vegada descrit a grans trets el tipus de planta que s'hi desenvolupà cal especificar la seva alçada i profunditat màxima permeses. A banda d'arguments constructius, l'ordenament municipal establí límits a l'ocupació de les parcel·les, pel que fa a profunditat i altures edificables.

Pel que fa al sistema estructural d'aquest tipus d'edificis està format per murs de càrrega de fàbrica de maó de diferents gruixos i sostres de biguetes metàl·liques o de fusta. És habitual trobar estintolaments dels murs de les plantes superiors a les plantes baixes per mitjà de jàsseres metàl·liques sobre pilars de fosa.

Una manera d'enfocar la descripció de la manera de generar-se el sistema estructural és el que descriu José Luís González Moreno-Navarro (De Sivo & Díaz, 2001) quan afirma: "la variable principal de este sistema y el tipo de vivienda es la dimensión de la crujía que viene determinada por la luz más rentable de las viguetas de los forjados y que coincide con las distancias más habituales de las estancias domésticas: de 4 a 5 metros". D'aquesta manera, habitualment els quatre murs que formen el perímetre de l'edifici són murs de càrrega al igual que ho és la caixa d'escals i els murs que limiten els patis interiors.

La present tesi, gràcies al coneixement actual dels sistemes estructurals, quantifica i dona valors extrapolables estadísticament d'aquestes afirmacions, que fins al moment s'han fet de forma qualitativa.

En aquests treballs també es descriu el diferent disseny de la planta baixa i el soterrani – quan existeix – d'aquest tipus d'edificis quan per necessitats comercials es solen substituir els murs superiors per estructures porticades de jàsseres i pilars de fosa amb la finalitat de crear espais diàfans (Paricio Casademunt, 2008). El present treball també té com a objectiu l'aprofundiment en la definició de la configuració estructural de les plantes baixes.

#### 2.1.4 Estudis tipològics

Tal i com s'ha descrit en el punt 2.1.3 L'edifici històric de l'Eixample, vessant constructiva, l'edificació residencial a l'Eixample de Barcelona es pot considerar producte d'una parcel·lació regular i d'un sistema constructiu determinat. Aquesta producció

arquitectònica podria semblar en els seus aspectes formals, funcionals i estructurals gairebé seriada. És, per tant, possible establir-hi una tipologia (Quaroni, 1980). En la present tesi doctoral la tipologia es dedueix d'una sèrie d'exemplars que formen la mostra d'estudi<sup>1</sup>.

Amb anterioritat a la tesi s'han elaborat altres estudis tipològics que estudien l'edificació residencial a l'Eixample, coincidint o no amb l'àmbit temporal d'estudi<sup>2</sup> proposat en ella.

Un d'ells és l'estudi tipològic que es desenvolupa en els "Estudios de tipología de la vivienda: Entre medianeras. Información de base." (Paricio Ansuategui, 1974) on s'analitzen qüestions d'habitabilitat en el parc edificat barceloní. Aquest estudi analitza funcionalment les diferents configuracions dels habitatges existents a l'àrea de Barcelona en àmbits com l'habitabilitat i el confort – no només a l'Eixample i abastant la totalitat del segle XX – i, per tant, no es fa referència a sistemes estructurals.

Un altre estudi tipològic portat a terme és la classificació feta per J. Vila Robert a la seva tesi doctoral (Vila, 1989) que engloba l'edificació de l'Eixample en els 5 primers anys de la seva construcció, abans de la modificació de les ordenances de 1857 feta el 1879 quan la configuració espacial i estructural d'aquests edificis encara s'estava definint. Aquest estudi pren com a mostra la totalitat dels expedients d'edificis construïts en aquest període i els analitza funcionalment i morfològicament. Aquest treball també inclou informació molt valuosa pel que fa a les proporcions de les façanes.

Un altre estudi tipològic és el que elabora Pere Giol a la seva tesi doctoral (Giol Draper, 1995), on s'arriba a una primera classificació tipològica de l'edifici de l'Eixample com a evolució de la casa de veïns de Ciutat Vella. Cal fer esment que la tesi, tot i que està centrada en l'àmbit de Ciutat Vella, inclou una primera corona de l'Eixample paral·lela a Rondes. La classificació tipològica és funcional i estructural i estudia els edificis situats en banda (comprovar-ho).

Per últim, la classificació d'Antoni Paricio a la seva tesi doctoral que elabora un llistat dels tipus existents a l'Eixample a partir de dades del registre administratiu<sup>3</sup>. No es tracta d'una classificació tipològica sinó d'un llistat dels tipus més comuns on es mostra la configuració dels tancaments però no el sentit de càrrega de l'estructura.

Fora d'aquests estudis esmentats, cal fer esment que la majoria dels estudis tipològics que s'han fet sobre l'Eixample són de caràcter general-urbanístic i presenten una disposició ideal de les crugies i dels espais delimitats pels murs de càrrega (Figura 2). Es sol partir d'un paral·lelisme que no sempre existeix en la configuració dels límits de

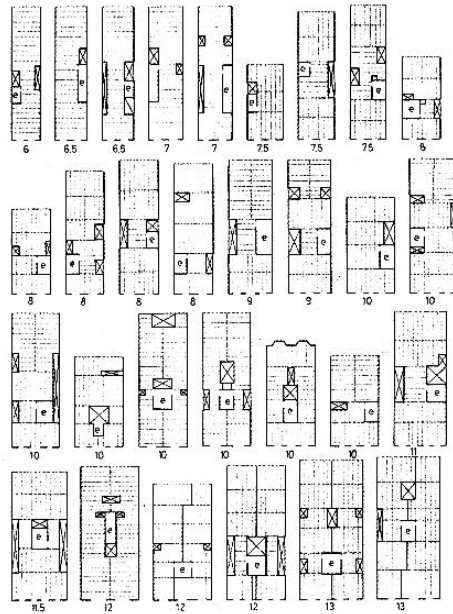
---

<sup>1</sup>Veure Capítol 3 Metodologia

<sup>2</sup>Veure Capítol 3 Metodologia

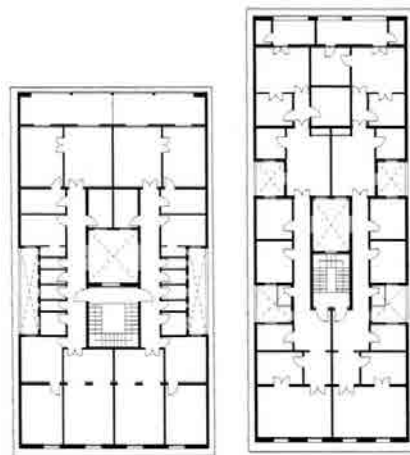
<sup>3</sup>Registre administratiu

parcel·la i de la col·locació de patis i de nucli d'escala; a més, la caixa d'escala es sol dibuixar en una posició ideal on cap crugia queda.

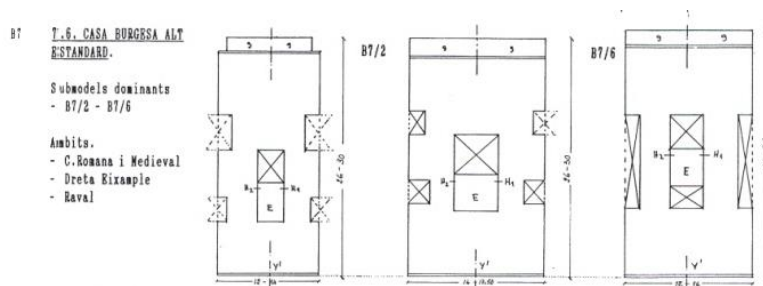


**Figura 2:** Llistat de tipus segons ample de parcel·la (Sabaté Bel, 1999)

Per a contrastar els casos ideals s'han buscat plànols d'aixecaments d'edificis on es pot observar punts on la situació dels patis interiors i el nucli d'escala poden alterar o desquadrar algun d'aquests esquemes (Figura 3).



**Figura 3:** Dues plantes d'edificis de l'Eixample (Paricio Casademunt, 1998)



**Figura 4:** Classificació tipològica dels edificis entre mitgeres que abasten, entre altres, l'àmbit de l'Eixample (Giol Draper, 1995)

Es veu doncs, la necessitat d'elaborar un estudi tipològic estructural complet de l'àmbit de l'Eixample per poder contrastar allò ideal amb la realitat, per poder conèixer en profunditat els diferents tipus edificatoris més representatius de la construcció entre 1856 i 1936 tant pel que fa a edificis en banda com edificis en xamfrà, aquests últims menys estudiats en la bibliografia. Es pretén entrar a un nivell més real i constructiu per poder aprofundir en el coneixement d'una realitat que sovint és menys teòrica i ideal del que es presenta.

Com a estudis que s'han servit de referència en l'elaboració de l'estudi tipològic estructural d'aquesta tesi cal fer especial esment a estudis de caràcter general com els de Pere Giol per Ciutat Vella (Giol Draper, 1995), o la metodologia seguida en la classificació tipològica dels edificis industrials duta a terme per Ramón Gumà (Gumà i Esteve, 1996). També cal esmentar un altre estudi de caire similar és el de M. Larrosa i Padró a Sabadell (Larrosa & Torres i Capell, 1986) (Larrosa, 1989). En aquest últim estudi tipològic, que abasta des de 1900 a 1938, es fa una classificació tipològica espacial dels habitatges de l'Eixample de Sabadell prenent com a base la casa de cos a la vegada que es compara amb les dades extretes d'arxiu de les llicències d'obres.

Un altre treball tipològic interessant, sobretot per l'aproximació estadística que s'hi fa, és la tesina de màster de M. Chirino (Chirino Andalco, 2011), que es realitzà amb motiu de les operacions de tunelació per la línia 9 de Barcelona, i que estudia tipològicament i d'una manera estadística aquells àmbits que es veien implicats en el traçat de la tunelació, abastant parcialment l'Eixample. Altres estudis tipològics que cal mencionar són les tesines de màster d' A. Planells (Planells, 2012), sobre l'edificació a Santa Coloma de Gramenet, d'E. Colom (Colom, 2014), sobre les remuntes a l'Eixample i la de l'autora de la tesi (Cornadó, 2009) on s'inicia el treball tipològic que aquí es presenta.

## 2.2 Marcs normatius

### 2.2.1 Graus actuals de protecció de l'edificació històrica de l'Eixample

L'Eixample disposa des de l'any 2000<sup>4</sup> d'una classificació urbanística pròpia, 13E, que recull la seva especificitat respecte altres àrees de Barcelona d'edificació residencial compreses al PGM de 1976 (Comisión Provincial de Urbanismo de Barcelona, 1976). A la Taula 2 es llisten els principals aconteixements normatius per a la conservació dels edificis històrics de l'Eixample.

Any	Fet
1976	Pla General Metropolità
1979	Ordenança sobre protecció del patrimoni arquitectònic, històric i artístic de la ciutat de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 1979)
1983-1986	Es proposen experimentalment proteccions parcials de façana i la substitució d'algunes cases de renda per nous habitatges i aparcaments
1984	Llei de mesures d'adequació de l'ordenació urbanística de Catalunya 3/84 Distinció entre dos règims: fora d'ordenació i en disconformitat Art. 45 "de los edificios y de los usos disconformes"
1986	Ordenança de protecció i millora de l'Eixample (Ajuntament de Barcelona, 1986) Frena l'enderro de les cases de renda i s'imposa la conservació i rehabilitació de l'edificació existent. S'ha de conservar les cases construïdes abans de 1932
1991	Ordenança sobre la protecció del patrimoni arquitectònic, històric i artístic de la ciutat de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 1991)
1994	Modificació de l'Ordenança de protecció i millora de l'Eixample (Ajuntament de Barcelona, 1994) Introdueix l'opció de cedir l'espai interior de mansana per a ús públic
2000	Modificació del PGM per la creació de la qualificació 13 E Proposta per aconseguir espais enjardinats a l'interior de les mansanes Es determina la situació de disconformitat en les construccions que ocupen el pati de mansana
2000	Modificació del Pla especial de patrimoni arquitectònic, històric i artístic de la ciutat de Barcelona per al districte de l'Eixample Declara l'obligació legal de conservació i rehabilitació dels edificis amb valor cultural i en perfectes condicions de seguretat, salubritat i "ornato" públic per part dels propietaris Classificació en quatre nivells (A Interes Nacional, B local, C valors històrics, artístics i estètics i D es precis conservar documentalment)
2002	Modificació de l'Ordenança de protecció i millora de l'Eixample (Ajuntament de Barcelona, 2002) Es redueix a la protecció únicament de la façana per conservar "el paisatge que reflexa l'Eixample". Únicament es podrà dur a terme l'enderroc de la façana si es demostra la impossibilitat de mantenir-la estructuralment

Taula 2: Principals aconteixements en la legalitat de la conservació dels edificis històrics de l'Eixample

<sup>4</sup> Modificació puntual de les NNUU del PGM per a l'adequació del règim urbanístic del conjunt especial de l'Eixample, creació de la qualificació 13 Eixample, 12 de desembre de 2000.

A nivell arquitectònic, l'ordenança sobre protecció del patrimoni arquitectònic històric-artístic de la ciutat de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 1991) regula el grau de protecció dels edificis dins de l'Eixample. En la mateixa ordenança es defineixen tres graus de protecció de l'edificació històrica de l'Eixample, de menys més protecció a més:

**El Conjunt Especial l'Eixample** (Figura 5). Delimitat per l'avinguda Diagonal, passeig de Gràcia, c. Còrsega, c. Bailèn, Travessera de Gràcia, c. Cartagena, c. Sant Antoni Maria Claret, passeig Maragall, c. Còrsega, c. Independència, c. València, c. La Corunya, C. Consell de Cent, c. Castillejos, carretera de Ribes, passeig de Carles I, passeig de Pujades, passeig de Lluís Companys, c. Trafalgar, pl. Urquinaona, c. Fontanella, pl. Catalunya, c. Pelai, pl. Universitat, ronda Sant Antoni, ronda de Sant Pau, avinguda Paral·lel, c. Tarragona i avinguda Josep Tarradellas.

Dins d'aquest perímetre l'edificació està subjecta a la normativa general de les Ordenances d'Edificació amb limitacions i restriccions centrades essencialment en les façanes i els seus sortints, les altures entre plantes i la volumetria en general.

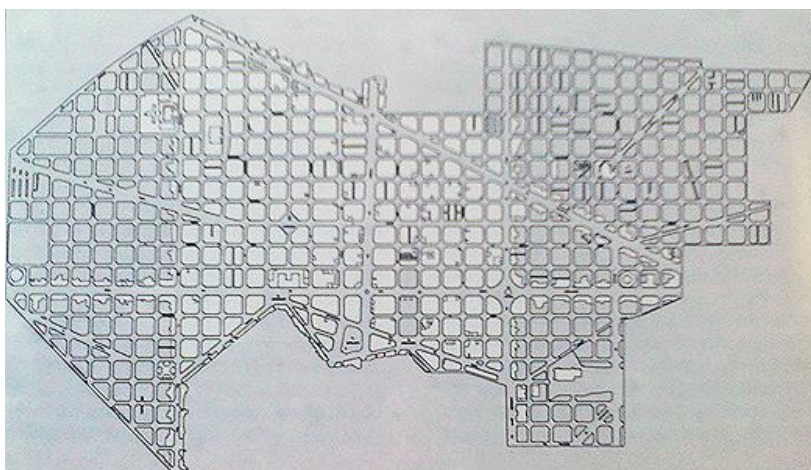
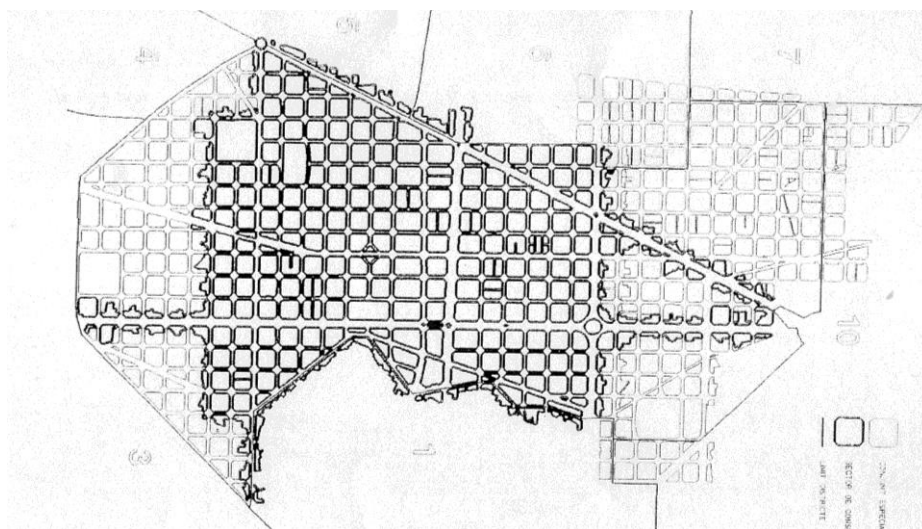


Figura 5: Conjunt especial l'Eixample

**Sector de conservació de l'Eixample** (Figura 6) situat dins del Conjunt Especial l'Eixample, amb un major grau de protecció. La seva delimitació està definida per l'avinguda Diagonal, passeig de Gràcia, c. Còrsega, passeig de Sant Joan, . Trafalgar, pl. Catalunya, c. Pelai, pl. Universitat, ronda Sant Antoni i c. Urgell, així com la prolongació de l'avinguda Diagonal fins la plaça de les Glòries Catalanes, de la Gran Via de les Corts Catalanes fins a la plaça d'Espanya, la del passeig de Gràcia fins al carrer Gran de Gràcia i la ronda Sant Pau fins l'avinguda del Paral·lel, aquestes últimes prolongacions inclouen les dues façanes.

Respecte als enderrocs en aquest sector l'esmentada ordenança estableix que "degut a que la configuració arquitectònica d'aquest Sector de Conservació està definida per la presència d'unes característiques comunes a la gran majoria de les construccions que el constitueixen, aquestes no podran ésser enderrocades [...] llevat que hi concorri alguna de

les següents circumstàncies:” aquestes circumstàncies es refereixen a que si l’edifici és anterior a l’Ordenança de 1932 estigui declarat legalment com a ruïna o no es correspongui arquitectònicament al tipus Eixample (Ajuntament de Barcelona, 1991), o si aquest és posterior a l’Ordenança de 1932 que no estigui catalogat.



**Figura 6:** Sector de conservació de l’edificació de l’Eixample (AA.VV., 2002)

Finalment, el màxim grau de protecció és el d’aquells edificis catalogats (Lacuesta, 2003) individualment tant com a Monuments d’Interès Nacional<sup>5</sup> i els qualificats d’interès provincial o local<sup>6</sup> com els edificis i elements arquitectònics inclosos en el Catàleg Municipal<sup>7</sup>. Els immobles catalogats no podran ser enderrocats o desmuntats totalment o parcialment, ni podran realitzar-s’hi obres de reforma o reparació malgrat que no afecti danyinament els seus valors artístics o històrics” (Ajuntament de Barcelona, 1991) amb excepció d’aquelles operacions de restauració i manteniment programades per allargar la seva vida.

“En aquelles situacions en les que el manteniment de parts de l’edifici obliguin, excepcionalment i per raons tècniques, al seu enderroc i posterior reconstrucció, la Comissió de l’Eixample establirà les condicions en les què aquesta es realitzarà, previa presentació de la documentació precisa. Si per raons de tipus tècnic, materials actualment exhaurits, tècniques desaparegudes, elements decoratius irrepetibles, etc., la reconstrucció resulta impossible, la Comissió determinarà el manteniment d’aquests element durant el procés de construcció” (Ajuntament de Barcelona, 1991).

<sup>5</sup>Conforme a la llei del 13 de maig de 1933

<sup>6</sup>Decret de 22 de juliol de 1958

<sup>7</sup>[http://w110.bcn.cat/portal/site/Urbanisme/menuitem.38ead442d60e56329fc59fc5a2ef8a0c/?vgnnextoid=0380408f99e48210VgnVCM10000074fea8c0RCRD&vgnnextchannel=0380408f99e48210VgnVCM10000074fea8c0RCRD&lang=es\\_ES](http://w110.bcn.cat/portal/site/Urbanisme/menuitem.38ead442d60e56329fc59fc5a2ef8a0c/?vgnnextoid=0380408f99e48210VgnVCM10000074fea8c0RCRD&vgnnextchannel=0380408f99e48210VgnVCM10000074fea8c0RCRD&lang=es_ES)



Cal remarcar que això només es diu per aquells edificis que estan catalogats però no d'aquells que estan inclosos en cap dels dos perímetres.

### 2.2.2 En l'àmbit de la seguretat estructural

Pel que fa l'àmbit de la seguretat estructural, cal referir-se a aquells textos normatius que siguin d'obligat compliment per l'edificació existent. En el punt 2.2.2.1 Marc normatiu vigent per l'edificació existent s'enuncien tant aquells que fan referència a l'edificació existent, que són pocs, com a aquells de caràcter general.

Cal tenir present, les paraules recollides en a la Guia de Aplicación del Código Técnico Español para Patrimonio (GACTEP) (AA.VV., 2009b): “Toda Normativa intenta superar los defectos que puedan tener los edificios construidos anteriormente a su promulgación, y por esa misma razón, esos edificios anteriores no la cumplen; lo cual no quiere decir que sean inseguros o no funcionales”

Per aquest motiu cal referir-se no només a la normativa sinó a les regles del “ben fer” constructiu seguides en l'època de construcció de l'Eixample (veure capítol 6) i a d'altres marcs normatius anteriors (punt 2.2.2.2 Marcs normatius actuals que tot i no ser d'obligat compliment poden servir de referència), que tot i no ser vigents, ajuden a la comprensió de la situació normativa actual i poden servir com a models de referència per determinades comprovacions estructurals.

#### 2.2.2.1 Marc normatiu vigent per l'edificació existent

En l'àmbit estatal manca una regulació específica per a la verificació de seguretat estructural en edificis existents, essent aplicable en aquests casos la normativa destinada a obra nova. Les condicions per a la seguretat estructural queden especificades en el document bàsic del Código Técnico CTE-DB-SE i les accions a considerar per l'avaluació queden determinades a CTE-AE.

En el cas de Catalunya existeix la normativa NRE-AEOR-93 que és específica del camp de la rehabilitació i que estableix unes accions en l'edificació en les obres de rehabilitació estructural dels sostres d'edificis d'habitatges lleugerament menors a les d'obra nova.

No obstant ser un text normatiu destinat a l'obra nova, el Código Técnico de la Edificación (CTE) sí que esmenta les obres de rehabilitació o intervencions en edificis existents en els següents documents i apartats: CTE Capítulo 1 Disposiciones generales – 2 ámbito de aplicación, CTE-DB-SE i CTE-DB-SE Anejo D.

En àmbit europeu només en fa referència la part 3 de l'Eurocodi 8 (*EN 1998 Eurocode 8 - structures for earthquake resistance*, 1998) que conté disposicions concretes per a l'anàlisi, reparació i reforç sísmic d'edificis existents.

Fora dels esmentats textos, que es comenten a continuació, sobre l'edificació existent s'aplica la mateixa normativa que en la resta de casos. Aquest fet porta a haver de comprovar les estructures històriques construïdes a base de murs de maçoneria amb una normativa pensada específicament per l'edificació de nova planta.

Si es comenta amb més profunditat el cas concret del Código Técnico de la Edificación, les dificultats apareixen quan s'intenta aplicar l'annex D del CTE-DB-SE. Ja des d'un inici, a l'apartat D.1.1 on es defineix l'àmbit d'aplicació s'estableix que els criteris generals de l'Annex són aplicables a qualsevol tipus d'edifici existent sempre que es compleixi alguna de les següents condicions, per una banda que s'hagi construït segons les regles en vigor del moment de la seva realització, o bé, - i aquí és on apareixen les primeres ambigüitats - que l'edifici s'hagi construït d'acord amb la bona pràctica, l'experiència històrica i la pràctica professional acceptada. Es fa molt difícil definir d'una manera fefaent què és una bona pràctica constructiva i què no ho és, és més, el fet que una pràctica professional sigui acceptada no té perquè ser correcta necessàriament. Sovint, l'experiència empírica en construcció ha portat a la optimització de determinats sistemes constructius motivada per raons econòmiques, és un exemple els murs d'obra de fàbrica de maó excessivament esvelts de les fàbriques del XIX a Catalunya. En altres casos, han estat pràctica professionalment acceptada durant molts anys solucions estructurals que més endavant, portades a l'extrem han resultat d'una seguretat estructural insuficient, és un exemple el col·lapse a l'any 1962 d'un hotel a Pineda de Mar de vuit plantes construït segons la pràctica acceptada amb murs d'obra de fàbrica que motivà l'aparició de la primera normativa espanyola sobre obra de fàbrica (la PIET-70). Per tant, queden fora de la normativa vigent aquells edificis no considerats dins de la "bona praxis" existint igualment ambigüitats dins de la definició d'aquesta.

En el cas d'haver d'avaluar un edifici existent que si que es pugui englobar dins d'un dels dos supòsits esmentats en el punt anterior, l'Annex proporciona dos maneres de procedir a aquesta avaluació: a partir d'una avaluació quantitativa o bé d'una avaluació qualitativa. En l'Annex D en el punt D.2.1 es descriu com ha de ser aquest procés, es determina que "normalmente se verificará mediante una evaluación cuantitativa" a partir d'una avaluació per fases en la que en cada una de les fases s'augmentarà el grau de coneixement de l'edifici i la precisió de les hipòtesis de l'avaluació fins a poder arribar a una conclusió inequívoca de la seguretat estructural de l'edifici o bé de les mesures que es fan necessàries. Arribar a assolir una conclusió inequívoca sobre la seguretat estructural d'un edifici històric és altament difícil, tal i com descriu J.L. González (Gonzalez Moreno-Navarro, 2002) així que es fa necessari portar a terme un nombre molt elevat d'assajos que, tal i com cita la norma, han de ser representatius. És impossible assolir una representativitat estadística de les mostres extrems d'un edifici ja que el simple procés d'extracció de les mostres no és aleatori sinó que es fa per conveniència, facilitat o seguretat. Igualment, per obtenir dades representatives cal un nombre d'assajos tan elevat que es fa inviable la majoria de vegades a causa de l'alt cost econòmic. Aquests fets porten

a que tot i que es consideri “normal” i preferible a nivell normatiu efectuar avaluacions quantitatives, la realitat de la pràctica professional porta als tècnics a haver-se d’acollir a una avaluació qualitativa. Per a l’avaluació qualitativa s’esmenta que l’edifici ha d’estar construït segons les regles del “ben fer”, existint les ambigüitats comentades anteriorment, a més, s’estableix que no superen l’avaluació qualitativa aquells edificis que presentin danys. Aquest últim fet és discutible ja que en edificis històrics és freqüent l’existència d’esquerdes que no comprometen la seguretat estructural de l’edifici, en aquests casos la normativa obliga a reforçar l’estructura encara que no sigui necessari.

Davant d’aquesta situació d’incertesa pel que fa a l’edificació existent, i davant de la impossibilitat d’acompliment del CTE en edificacions antigues el Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España (CSCAE) encarregà en 2006 a un equip del Departament de Construccions Arquitectòniques I de la UPC dirigit pel catedràtic J.L. González Moreno-Navarro una revisió del marc normatiu que quedà reflectida en el document “Nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) y la Restauración Arquitectónica. Primera Fase: Estado de la cuestión”(Gonzalez Moreno-Navarro, 2006).

En 2009, a arrel d’aquest document i d’altres treballs que s’havien estat portant a terme<sup>8</sup>, es va signar entre el mateix grup de professors de la UPC, el CSCAE i el ministeri el “Convenio Específico de Colaboración para la realización de un estudio relativo a la aplicación del Código Técnico de la Edificación (CTE) a las obras de intervención y restauración arquitectónica en los edificios protegidos “ que va establir les bases per redactar la Guia de Aplicación del CTE a los Edificios Protegidos” (GACTEP)(AA.VV., 2009b).

La GACTEP posa de manifest com als DBs específics de cada un dels materials estructurals compresos en el CTE no es fa cap referència a l’edificació existent, especialment al DB-F on s’afirma concretament que no és d’acompliment. En canvi el DB-SE si que és d’obligat compliment per edificis existents, i per tant pels edificis històrics de l’Eixample tot i estar aquests construïts a base de murs d’obra de fàbrica de maó, tal i com s’indica a l’apartat “Generalidades” del mateix document.

L’establiment de tres nivells de coneixement per l’avaluació qualitativa no és un criteri únic del CTE, aquesta estratègia també es segueix l’altre text normatiu d’abast europeu i que també fa referència a l’edificació existent, l’Eurocodi 8 que es comenta a continuació.

A nivell dels Eurocodis, només la part 3 de l’Eurocodi 8, dedicat al dimensionament sísmic d’estructures, fa referència a l’edificació existent. Aquesta conté disposicions específiques per a l’anàlisi, reparació i reforç sísmic d’edificis existents (*EN 1998 Eurocode 8 - structures for earthquake resistance*, 1998). En l’avaluació d’estructures existents que es fa en aquesta part de l’Eurocodi 8 s’introdueix el concepte de Nivell de Coneixement,

---

<sup>8</sup>Ponència presentada en el Workshop de la IRCC *Heritage and Performance-Based Building Codes: Approaches and Experiences* que se es va realitzar a Madrid organitzat pel Ministerio de la Vivienda.

associat a la quantitat i la qualitat de la informació que se'n disposa, el qual determina la validesa dels mètodes d'anàlisi estructural i els valors dels Coeficients de Confiança (CF) que afecten a les propietats dels materials: Coneixement limitat (KL1), Coneixement normal (KL2) i Coneixement complet (KL3).

Aquests tres nivells de coneixement estan relacionats com un major o menor grau de coneixement de la geometria de l'edifici, dels detalls constructius i de les característiques dels materials. En particular, l'Eurocodi 8 considera exigències mínimes per a diferents Nivells d'Inspecció i Tests del Materials:

- Limitat (KL1): El percentatge d'elements que han de ser inspeccionats, verificant *in situ* l'esquema estructural, els materials i les dimensions dels elements, és del 20% havent-se de retirar una proveta o assajar *in situ* una zona per cada una de les plantes, per a la verificació de les propietats dels materials.
- Extens (KL2): El percentatge d'elements que han de ser inspeccionats, verificant *in situ* l'esquema estructural, els materials i les dimensions dels elements, és del 50% havent-se de retirar dues provetes o assajar *in situ* dues zones per cada una de les plantes, per a la verificació de les propietats dels materials.
- Complert (KL3): El percentatge d'elements que han de ser inspeccionats, verificant *in situ* l'esquema estructural, els materials i les dimensions dels elements, és del 80% havent-se de retirar tres provetes o assajar *in situ* tres zones per cada una de les plantes, per a la verificació de les propietats dels materials.

Aquests nivells d'inspecció, que es reflecteixen en el nivell de coneixement adquirit, es tradueixen en diferents valors del factor de confiança, factor que permet transformar els valors promitjos de les propietats dels materials obtingudes en els tests, en valors de càlcul en la verificació de seguretat. S'apunten com a acceptables els següents valors de coeficients de confiança (CF), en funció del nivell de coneixement: 1,35 per al nivell KL1, 1,2 per al nivell KL2 i 1 per al nivell KL3.

Aquests tres nivells de coneixement són comentats al Manual do Apoio ao projecto de reabilitação de edificios(AA.VV., 2012) on es considera que per arribar a tenir un nivell de coneixement suficient per poder-se considerar KL2 o LK3 el nombre d'assajos a realitzar és tant elevat que rarament és possible, sobretot en aquells casos d'intervenció habitual en edificis existents que són el cas de l'edificació no catalogada com a patrimoni. És per tant, una opinió compartida amb J.L. González *et al.*(AA.VV., 2009a)(Gonzalez Moreno-Navarro, 2006).

#### **2.2.2.2 Marc normatius actuals que tot i no ser d'obligat compliment poden servir de referència**

Com s'ha descrit anteriorment, avui dia les operacions de rehabilitació d'edificis construïts amb maçoneria es troben en una situació de buit normatiu per l'obligatorietat

d'acompliment del DB-SE amb un annex D que no esclareix la situació, i un DB-SE-F i EC6 vigents només aplicables a edificis amb sostres rígids de formigó. J. L. González ed al comenten detalladament les possibilitats d'aplicar els models per l'avaluació de la capacitat portant de murs d'obra de fàbrica de maó i la seva comprovació a l'esveltesa que apareixen en el DB-SE-F i l'Eurocodi 6<sup>9</sup>.

Tot i això, els valors que es proporcionen en aquests dos textos sobre les característiques mecàniques dels maons, i sobretot, dels morters, corresponen a valors molt més alts que els tenen realment, ja que es corresponen a materials de fabricació actual. És per aquest motiu, que també es fa necessari fer referència a tots aquells textos normatius que han contemplat l'obra de fàbrica de maó<sup>10</sup> amb anterioritat als vigents. Aquests, igualment han estat concebuts per estructures on la rigidesa global de l'edifici la proporciona l'estructura de formigó amb sostres encadellats i pilars, on les parets d'obra de fàbrica de maó, tot i ser estructural, queden interrompudes a cada una de les plantes. No obstant, certs models que es descriuen i els valors sobre els materials de construcció que aporten es poden aplicar en l'avaluació de les estructures existents (AA.VV., 2009b).

### 2.2.2.3 Marcs no normatius i antigues regles del “ben fer”

Al capítol 6 es detallen aquells marcs no normatius i regles antigues del “ben fer” que han servit com a referència a l'hora de considerar les principals característiques mecàniques de l'obra de fabrica de maó que històricament es determinava de forma empírica. En aquests valors de la resistència eren recomanacions i no estaven recollits en textos normatius (veure en detall a Capítol 6).

### 2.2.3 Necessitat d'un marc normatiu específic per la rehabilitació

Ja són múltiples les veus que reclamen codis normatius dissenyats específicament per a edificis existents<sup>11</sup> (AA.VV., 2012), a continuació es descriuen iniciatives que s'han o s'estan portant a terme per a l'adaptació del CTE a obres de rehabilitació o restauració.

Com s'ha esmentat anteriorment, una experiència a nivell de l'Estat Espanyol és la redacció de la Guía de “APLICACIÓN DEL CTE (Código Técnico de la Edificación) A LAS OBRAS DE INTERVENCIÓN Y RESTAURACIÓN ARQUITECTÓNICA DE EDIFICIOS PROTEGIDOS” (AA.VV., 2009b), a partir d'ara GACTEP. Per encàrrec del Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España (CSCAE).

La guia, tenia com a antecedents el document “*Nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) y la Restauración Arquitectónica. Primera Fase: Estado de la cuestión*” redactat el 2006 per J.L. González ed al. i té com a referència per la protecció dels edificis protegits les

---

<sup>9</sup>Veure punt 2.2.3 i Annex C del GACTEP.

<sup>10</sup>PIET 70, MV-72 i FL-90

<sup>11</sup>2008 Workshop de la IRCC *Heritage and Performance-Based Building Codes: Approaches and Experiences* que se realizo en Madrid auspiciado por el Ministerio de la Vivienda.

*Recommendations for the Analysis and Restoration of Historical Structures*<sup>12</sup>. així com les Cartes de Venècia i Cracòvia (ICOMOS, 1964)(ICOMOS, 2000) i la legislació espanyola vigent en el moment<sup>13</sup>.

Aquesta guia pretenia ser d'aplicació en aquells casos on l'acompliment de les exigències del CTE en les obres d'ampliació modificació, reforma o rehabilitació en edificis protegits on la possible intervenció presentés incompatibilitats amb el grau de protecció dels edificis per així aportar criteris metodològics per abordar aquestes situacions. La GACTEP abasta els mateixos àmbits que el vigent CTE: seguretat estructural, seguretat d'ús, seguretat contra incendis, HS, HE, HR, etc.

Es presenta la possibilitat de no compliment total de les exigències mínimes que es demanen als edificis de nova planta en favor d'una millor conservació dels edificis patrimonials. Amb la idea que: "la aplicación estricta de normativa de obra nueva a los edificios históricos (protegidos o no) es inviable al 100% so pena de someterlos a intervenciones tan severas que pueden suponer desde la alteración de su imagen hasta llegar a la destrucción de algunos de sus elementos o partes de los mismos o su totalidad."

La guia es divideix en dues parts: una primera part que conté el conjunt de principis, conceptes, criteris, idees, etc. sobre les que es basa la guia i una segona part que conté els criteris sobre els quals s'ha de realitzar l'avaluació dels edificis i el desenvolupament de solucions.

En aquesta segona part i pel que fa a la seguretat estructural CE-SE es detallen els mètodes per l'avaluació dels diferents materials estructurals proporcionant valors de referència de les resistències dels diferents materials usats en la construcció històrica. En els annexes A i C es proporciona respectivament, entre d'altres, una metodologia per interpretar els danys existents en els edificis Annex i un comentari detallat sobre la possible aplicabilitat del DB-SE i de l'Eurocodi 6.

També cal citar els treballs (Vega Catalán, 2011)(Paricio Ansuategui & Gibernau Ponsà, 2011) que es centren en les possibilitats d'adequació del CTE a les obres de rehabilitació i van ser presentats en la fira CONSTRUMAT de maig de 2011 a Barcelona.

## 2.3 Anàlisi estructural

L'apartat dedicat a l'anàlisi estructural s'ha dividit en els següents tres subapartats:

- Coneixement dels materials
- Sobre els models

---

<sup>12</sup> ISCARSAH International Committee on Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage, de ICOMOS.

<sup>13</sup>Ley de Patrimonio Español de 1985, Ley del Patrimonio Histórico de Andalucía de 2007 (Espanya, 1996)

- Altres anàlisis dels edificis històrics de l'Eixample

### 2.3.1 Coneixement dels materials

A continuació es detallen les fonts que donen informació sobre els elements constructius i materials que configuren l'estructura dels tipus d'edifici estudiat.

Les principals fonts són:

Pel que fa a les dades:

- La tesi Doctoral Antoni Paricio (Paricio Casademunt, 1998)
- Els llibres de J. Bergós (Bergós, 1953) (Bergós, 1945) i els de F. Cassinello (Cassinello Pérez, 1964)(Cassinello Pérez, 1966) (Cassinello Pérez, 1960)
- Les dades cedides pel laboratori d'assajos de l'Escola d'Edificació de Barcelona i processades ex professo per la tesi.

Pel que fa a comportament:

- La tesi Doctoral de Climent Molins (Molins Borrell, 1996)
- Diverses publicacions internacionals destacant les d'autoria de Samarashinge, Dhanasekar & Page (W. Samarashinge, A.W. Page, 1982) (M. Dhanasekar, 1986) i A. W. Hendry (Hendry, 1990)

Sense descartar les aportacions sobre comportament, dades de les característiques mecàniques i aproximacions al càlcul i l'avaluació dels textos normatius que han existit fent referència a l'obra de fàbrica:

- PIET 70 (Instituto de la Construcción y del Cemento "Eduardo Torroja," 1971)
- MV 72 ("MV 201/72 Muros resistentes de fábrica de ladrillo," 1972)
- FL 90 (Espanya.Ministerio de Obras Públicas, 1994)
- CTE-DB-SE-F i CTE-DB-SE (*Código Técnico de la Edificación Technical Building Code Ley 38 1999, De 5 De Noviembre, De Ordenacion De La Edificacion. Law 38 1999 of 5 November, Construction Planning., 2010*)
- EUROCODE 6 (*Eurocódigo 6 : proyecto de estructuras de fábrica, 1997*)

Al Capítol 6 s'aporten dades recollides de testimonis orals locals sobre les característiques mecàniques que se li suposaven a l'obra de fàbrica de maó així com assajos històrics d'altres obres de fàbrica de maó a partir de les quals es podrien establir analogies.

### 2.3.2 Sobre els models

El present apartat descriu aquells mètodes d'anàlisi estructural que es fan servir per avaluar aquest tipus d'estructures (tant a nivell pràctic com a nivell teòric). Es diferencia entre dos tipus de models:

Mètodes normatius i models simples

Mètodes no normatius i models més avançats

#### 2.3.2.1 Models normatius i models que consideren l'obra de fàbrica en un règim elàstic i com a material homogeni

Tradicionalment, s'han emprat i encara s'empren mètodes molt senzills pel càlcul d'edificis a base de murs de càrrega davant d'accions gravitatòries basats en un repartiment isostàtic de les càrregues dels forjats entre les diferents parets. Així, la càrrega final a la base de cada mur s'obté fent el sumatori d'aquelles transmeses per cada un dels forjats i el pes propi del mur. Independentment, la consideració de l'excentricitat de les càrregues transmeses i l'esveltesa del mur es tenen en compte de forma simple a la majoria dels codis de disseny i normatius a partir de senzilles consideracions d'equilibri o bé, tal i com es procedia prèviament a l'aparició de textos normatius, de forma empírica. Existeixen diverses formes senzilles de comprovar aquests tipus de murs i que avui dia es fan servir en els despatxos professionals a continuació se'n descriuen dues possibles aproximacions:

- Considerar un treball dels murs a càrrega centrada i avaluació del coeficient de seguretat residual.
- Normatives PIET 70 MV72 i FL90: es considera la possibilitat de què les càrregues es descentrin en el gruix del mur. Aquesta excentricitat pot tenir dos orígens que, a la vegada es poden combinar, l'excentricitat provocada pel moment induït al mur pels sostres de formigó i l'excentricitat pròpia que es genera per les heterogeneïtats de la obra de fàbrica com a material, en aquest cas les esmentades normatives consideren un comportament perfectament plàstic de l'obra de fàbrica.

#### 2.3.2.2 Altres models no normatius

Cal fer esment que tradicionalment l'anàlisi d'estructures d'obra de fàbrica de maó s'ha portat a terme a partir de models lineals i unidireccionals. Tot i això el coneixement sobre el comportament del material i les aproximacions de càlcul arriba molt més enllà (Roca Fabregat, Cervera, Gariup, & Pela, 2010)(Roca Fabregat, 2011).



És important remarcar que la causa principal del comportament no lineal de l'obra de fàbrica de maó és la seva baixa resistència a tracció. Quan es sotmet a tracció la maçoneria experimenta fàcilment estats d'intensa fissuració. D'aquesta manera, la forma més senzilla de reproduir gran part del comportament lo lineal d'aquest material és considerar-lo amb una resistència a tracció nul·la o limitada (Molins Borrell, 1996). Altres formulacions tenen un encara major grau de simplificació en considerar, a més, que el comportament en compressió és rígid (Heyman, 1982). La majoria dels mètodes d'anàlisi límit d'estructures unidimensionals de maçoneria utilitzen aquestes hipòtesis.

En les últimes dècades les tècniques modernes de càlcul basades en el mètode dels elements finits han experimentat una gran evolució gràcies als avenços en la computació. Aquestes noves tècniques han proposat models desenvolupats específicament per abordar l'anàlisi d'estructures de maçoneria, deixant de banda les antigues simplificacions que la consideraven un material elàstic i isòtrop, i incorporant aspectes del comportament real d'aquest material com la degradació de la rigidesa causada per la fissuració en zones traccionades o sotmeses a esforços de tall, les resistències reals a compressió i a tracció, etc. Aquests nous models sorgits de les noves possibilitats de computació permeten una aproximació bidimensional i tridimensional. Les principals aplicacions d'aquests models estan, òbviament, en el tractament d'elements estructurals manifestament bidimensionals, com ara murs i voltes.

Aquests models es generen a partir de la mecànica dels sòlids i tenen en compte el comportament anisòtrop de l'obra de fàbrica de maó, en el sentit que és un material que presenta direccionalitat en les seves propietats actuant les juntes de morter com a plans de debilitat en el material. En general l'aproximació cap a una modelització numèrica es pot enfocar amb Micromodels, els quals discretitzen de forma detallada i separada maons i juntes. També, cap la possibilitat de fer un tractament com a Macromodel, on es tracta l'obra de fàbrica de maó com un material compost. Depenent del nivell de detall desitjat és possible utilitzar les següents formes de modelització:

#### 2.3.2.2.1 Micromodels

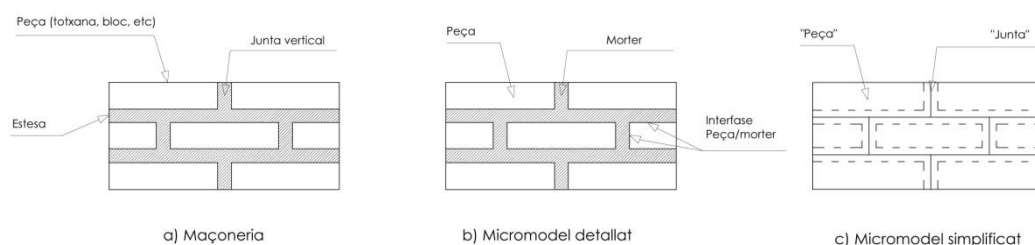
La micromodelització consisteix en reproduir el comportament global d'un material compost mitjançant una discretització geomètrica detallada de cada un dels components, morter, maons i interfase, incorporant-hi les lleis constitutives no lineals de cada un d'ells. Així doncs, en els micromodels les peces i el morter de les juntes es representen per separat.

Per causa d'aquesta complexitat, l'aplicació de micromodels a la maçoneria requereix un enorme esforç de càlcul per la necessitat d'emprar discretitzacions denses i mètodes iteratius per resoldre els sistemes d'equacions no lineals que en resulten. Conseqüentment, la seva aplicació queda restringida, en general, a l'estudi de panells individuals o murs amb un nombre molt reduït d'obertures o a l'estudi dels efectes locals. No obstant, la micromodelització és avui en dia un cap d'investigació amb molta puixança

juntament amb l'experimentació que aprofundeix en el coneixement del comportament real de l'obra de fàbrica.

En general, i entrant en detall, per als maons es solen emprar elements finits de tensió plana mentre que per a les juntes de morter s'usen bàsicament dues tècniques depenent del compromís entre la precisió i la senzillesa de la modelització (Molins Borrell, 1996). Rots (Rots, 1991) i Lourenço (P.B. Lourenço, 1994) distingeixen entre (Figura 7):

- Micromodels detallats: maons i morters són representat per elements continus, mentre que el comportament de la interfase morter-maó es representa per elements discontinus.
- Micromodels simplificats: en aquest cas, els materials estan representat per un element continu on el comportament de les juntes de morter i la interfase maó-morter està separada per discontinuïtats.

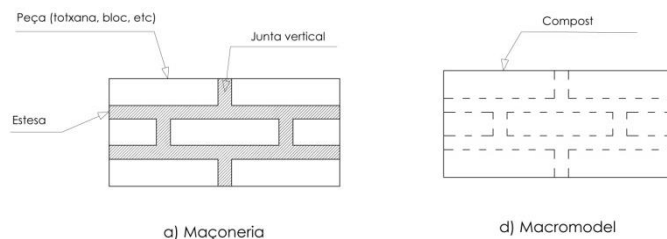


**Figura 7:** Consideracions de modelització que es prenen en els micromodels detallats b) i els micromodels simplificats c)

Els micromodels tenen el seu camp d'aplicació en l'estudi del comportament local de detalls estructurals d'obra de fàbrica com estudi del comportament real de la interfase i comportament entre portes i finestres (discontinuitats en l'estructura). Aquest tipus de discontinuïtats generalment són determinants en el comportament global d'aquest tipus d'estructures. Generalment són sistemes de modelització més propers a la investigació del comportament de l'obra de fàbrica i les eines d'anàlisi aplicables a aquest material que a l'aplicació professional. Aquest fet es deu a que aquest tipus de modelització aplica una notable discretització en elements, el que comporta un cost computacional molt alt respecte l'escala per la que s'utilitza.

#### 2.3.2.2.2 Macromodels

En els macromodels, els maons, morter e interfase maó-morter estan englobats per un mateix element continu amb una determinada equació constitutiva, incloent-hi una relació tensodeformacional i un criteri de ruptura (Figura 8).



**Figura 8:** Macromodelització d'un fragment de mur d'obra de fàbrica de maó

Normalment es distingeix entre dos tipus de macromodels: uns són aquells que es basen en models existents que s'han desenvolupat per modelitzar el formigó, els altres, els que s'han desenvolupat específicament per a la maçoneria.

Si ens referim al segon tipus, els models específicament desenvolupats per a la maçoneria tenen en compte en la seva concepció, a diferència dels primers, l'anisotropia originada per l'existència de les esteses.

Una aproximació en el procés d'anàlisi va consistir en suprimir la rigidesa i la resistència dels elements on se supera el criteri de ruptura. Aquest model va ser contrastat amb assajos (W. Samarasinghe, A.W. Page, 1982)(W. Samarasinghe, 1980) i va resultar positiu en la predicció de l'esquema de fissuració. Un altre macromodel més sofisticat va ser el de Dhanasekar i Page (1986) que incloïa les relacions de tensió-deformació no lineals (M. Dhanasekar, 1986) i el criteri de ruptura bidimensional empíric dels mateixos autors.

Una altra aproximació és la de considerar l'obra de fàbrica com un material periòdic estratificat mitjançant tècniques d'homogeneïtzació, són exemples (G.N. Pande, J.X. Liang, 1989)(P.B. Lourenço, 1995)(López, Oller, & Oñate, 1998). S'ha comprovat però (P.B. Lourenço, 1995), que l'aplicació d'aquestes tècniques en el rang no lineal presenta inconvenients que es consideren causa de la no continuïtat de les juntes verticals i de les deformacions gens uniformes que es generen en la cel·la unitària.

Els macromodels són aplicables quan l'estructura està composta per murs sòlids amb dimensions suficientment grans que fan que les tensions a través i al llarg dels elements siguin essencialment uniformes. Evidentment, la macromodelització més pràctica degut al menor cost computacional així com una més gran facilitat en la generació de la malla. Aquest tipus de modelització té més valor quan el compromís entre precisió i eficiència és necessari. Normalment, és aquest tipus de modelització el que s'aplica en situacions de la vida professional, molt sovint, a partir de models desenvolupats per materials que no tenen el comportament biaxial de l'obra de fàbrica i en règim elàstic. Els macromodels també han estat emprats en l'obtenció de patrons de fissuració en les tesines de J. Gálvez (Gálvez Buezo, 2012) i C. Camós (Camós Andreu, 2011), en totes dos treballs s'ha obtingut un mapa realista de danys per assentament i comparar-lo amb la realitat amb resultat favorable. Cal recalcar que tot i ser més àgils que els micromodels a nivell computacional, fer un anàlisi acurat amb macromodels precisen de molta feina, en les dues tesines de

màster s'analitza únicament un mur. Per tant, arribar a anàlisis realistes d'edificis construïts amb murs d'obra de fàbrica amb macromodels és, encara avui dia, utòpic.

### 2.3.2.2.3 Altres models

També és possible calcular l'obra de fàbrica discretitzant-la en models de barres, on el maó es desratitza en una barra mentre que les juntes de morter es representen per suports elàstics en un extrem de la barra.

Degut a la diversitat de l'obra de fàbrica descrita en el punt anterior, la utilització de models numèrics com a contraposició als assajos experimentals té un gran interès. De tots formes, l'obtenció dels paràmetres cal que sigui generalment determinada a partir d'assajos experimentals per posteriorment poder introduirlos com a dades en els models numèrics. La precisió dels micromodels i els macromodels d'estructures de mamposteria exigeix una descripció dels materials a través d'experimentació.

Pel que fa a la vessant estructural caldrà tenir en compte bibliografia referida a altres estudis estructurals de caràcter similar, bibliografia referida a la caracterització anàlisi i simulació d'estructures de murs d'obra de fàbrica de maó exposades a diferents sol·licitacions. Els llibres i tesis que aquí es citen serviran de base, com a coneixement previ i punt de partida per l'anàlisi i avaluació estructural. També caldrà comptar amb altres publicacions del tipus article en revista i proceedings de congressos sobre la temàtica que estan citats en l'apartat de bibliografia.

#### LLIBRES

F. Cassinello, *"El ladrillo y sus fábricas"* Manuales y Normas del Instituto Eduardo Torroja, Madrid, (1966)(Cassinello Pérez, 1966)

F. Cassinello, *"Muros de carga de fábrica de ladrillo"* Monografías del Instituto Eduardo Torroja, Madrid, (1964) (Cassinello Pérez, 1964)

F. Cassinello, *"Los amigos del ladrillo"*, Instituto técnico de la construcción y el cemento, (1960) (Cassinello Pérez, 1960)

J. Lahuerta, L.F. Rodríguez, *"Muros de fábrica de ladrillos: normas y estudios extranjeros para su proyecto y ejecución"*, Ministerio de la Vivienda, Secretaría General Técnica, Madrid, (1962) (Lahuerta Vargas & Rodríguez, 1962)

M.T. Valdehita Rosselló, *"Morteros de cemento para albañilería"*, Monografías del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y el Cemento, Madrid, (1976) (Valdehita Rosello, 1976)

G. Araiza Garaygordóbil, *"Reparación y refuerzo de paredes de obra de fábrica. Estudio experimental de la respuesta ante tensiones de corte"* (Araiza Garaygordobil, 2005)

### 2.3.3 Altres anàlisis de l'Eixample a nivell estructural

Els efectes d'un possible sisme han estat àmpliament estudiats des del Departament de Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria, concretament des del (MC)2 - Grup de Mecànica Computacional en Medis Continus. Amb treballs que es remunten a la dècada dels anys noranta. A continuació, es relacionen cronològicament els treballs d'investigació en aquesta línia, tant de revistes com d'articles en revistes:

C. Caicedo Caicedo, "Vulnerabilidad sísmica en zonas urbanas. Aplicación a un sector del Ensanche de Barcelona" Tesis doctoral UPC. Barcelona 1993. (Caicedo Caicedo, 1993)

F.Yépez, A.H. Barbat, J.A.Canas, "Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería", Monografía CIMNE, Barcelona, (1995) (Yépez, Barbat, & Canas, 1995)

Barbat, A. H., Yépez, F. y Canas, J. A. (1996). "Damage scenarios simulation for seismic risk assessment in urban zones". Earthquake spectra 12 (3): 371-394. (Alex H. Barbat, Moya, & Canas, 1996)

Barbat, A. H. (1998). El riesgo sísmico en el diseño de edificios. Cuadernos técnicos 3. Calidad Siderúrgica, Madrid. 248 pp. (A. H. Barbat, 1998)

R. L. Bonett Díaz, "Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios : aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta i moderada" Tesis doctoral UPC. Barcelona 2003. (Bonett Díaz, 2003)

Bonett, R., Barbat, A. H., Pujades, L. G., Lagormarsino, S. y Penna, A. (2004). Performance assessment for unreinforced masonry buildings in low seismic hazard areas. Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver B.C (Canadá), CD-ROM, Paper No. 409. (Ricardo León Bonett, 2006)

R. Moreno González. "Evaluación del riesgo sísmico en edificios mediante análisis estático no lienal: Aplicación a diversos escenarios sísmicos de Barcelona" Tesis doctoral UPC. Barcelona 2006. (Moreno González, 2006)

A.Roca, J. Irizarry, N. Lantada, A. Barbat, X. Goula, L. I. Pujades, T. Susagna. "Método Avanzado para la Evaluación de la Vulnerabilidad y el Riesgo Sísmico. Aplicación a la Ciudad de Barcelona." En revista Física de la Tierra Vol 18 (2006) (A. ROCA, 2006)

M.N. Lantada Zarzosa, "Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas gis. Aplicación a la ciudad de Barcelona." Tesis doctoral UPC. Barcelona 2007. (Lantada Zarzosa, 2007)

Els diferents textos estudien la vulnerabilitat sísmica dels edificis en general, fent servir diferents metodologies per poder arribar a mapes de dany dels diferents barris de la ciutat de Barcelona (A. ROCA, 2006). Per arribar a aquests mapes de dany, cal remarcar que els

estudis portats a terme en la tesi doctoral de R. L. Bonett Díaz (Bonett Díaz, 2003) on en la segona part, on a més d'estudiar la vulnerabilitat sísmica dels edificis construïts amb pòrtics de formigó de la ciutat de Manizales (Colòmbia) caracteritzada per un risc sísmic alt i de Barcelona, estudia tres models individuals d'edificis construïts a base de murs de càrrega d'obra de fàbrica de maó basats amb les descripcions d'Antoni Paricio en la seva tesi doctoral (Paricio Casademunt, 1998). Amb tres models individuals afirma que cobreix el 80% dels casos dels edificis històrics de l'Eixample, els quals afirma que són el 70% del total en aquesta àrea.

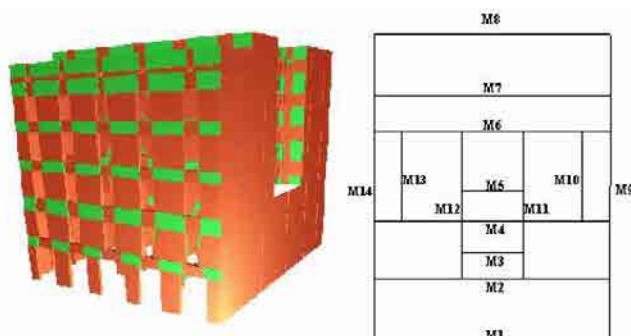


Figura 9: model d'uns dels tipus estructurals de l'Eixample estudiats per R.L.Bonett Díaz.

Un altre treball de caire semblant és la tesi doctoral de R. Moreno González (Moreno González, 2006). On estudia la vulnerabilitat sísmica d'edificis construïts amb estructura de formigó i després modela tres edificis representatius. Les conclusions es mostren sobre composicions de conjunt amb illes senceres.

I per últim, en ordre cronològic, en la tesi doctoral de M.N. Lantada Zarzosa (Lantada Zarzosa, 2007) s'analitzen diversos barris i districtes de Barcelona, tant a nivell de dany material com humà. Concretament en relació a l'Eixample, conclou que: " El distrito de l'Eixample destaca por ser el de mayor riesgo debido a la vulnerabilidad de sus edificios, a la alta densidad de edificios y de población y al valor expuesto. Se confirma que, en ciudades como Barcelona, situadas en regiones de peligro sísmico entre bajo y moderado, la escasa o nula conciencia del peligro sísmico y la ausencia de precauciones de protección sísmica conduce a una elevada vulnerabilidad de sus edificios y, consecuentemente, a un elevado riesgo".

## 2.4 Referències

- A. ROCA, J. I. (2006). Método Avanzado para la Evaluación de la Vulnerabilidad y el Riesgo Sísmico. Aplicación a la Ciudad de Barcelona. *Física de La Tierra*.
- AA.VV. (2002). Text refós de l'ordenança de rehabilitació i millora de l'Eixample. Barcelona: Ajuntament de Barcelona.
- AA.VV. (2009a). *Aplicación del CTE (código técnico de la edificación) a las obras de restauración arquitectónica*. Barcelona.
- AA.VV. (2009b). *Aplicación del CTE (código técnico de la edificación) a las obras de restauración arquitectónica. Convenio CSCAE-UPC sobre aplicación del CTE a las obras de restauración arquitectónica (version provisional)*. Barcelona.
- AA.VV. (2012). *Manual do Apoio ao projecto de reabilitação de edificios antigos*. Porto: Faculdade de engenharia. Universidade do Porto. Ordem dos Engenheiros Regiao Norte.
- Ajuntament de Barcelona. Ordenança sobre protecció del patrimoni arquitectònic, històric i artístic de la ciutat de Barcelona (1979). Barcelona.
- Ajuntament de Barcelona. Ordenança de Rehabilitacio i millora de l'Eixample (1986). Àmbit d'Urbanisme, Obres i Serveis.
- Ajuntament de Barcelona. Ordenança sobre protecció del patrimoni arquitectònic històric-artístic de la ciutat de Barcelona (1991). Àmbit d'Urbanisme, Obres i Serveis.
- Ajuntament de Barcelona. Text refós de l'ordenança de rehabilitació i millora de l'Eixample (1994). Àmbit d'Urbanisme, Obres i Serveis.
- Ajuntament de Barcelona. Text consolidat de l'ordenança de rehabilitacio i millora de l'Eixample (2002). Barcelona.
- Araiza Garaygordobil, G. (2005). *Reparación y refuerzo de paredes de obra de fábrica : estudio experimental de la respuesta ante tensiones de corte*. Retrieved from <http://catalog.upc.edu/record=b1275204~S1%2Acat>
- Ayuntamiento de Barcelona. Ordenanzas Municipales de Barcelona de 1856 (1856). Barcelona.
- Barbat, A. H. (1998). El riesgo sísmico en el diseño de edificios. *Calidad Siderúrgica, Cuadernos*, 248.
- Barbat, A. H., Moya, F. Y., & Canas, J. (1996). Damage Scenarios Simulation for Seismic Risk Assessment in Urban Zones. *Earthquake Spectra*, 12(3), 371-394. <http://doi.org/10.1193/1.1585889>

- Bergós, J. (1945). *Construcciones urbanas y rurales*. Barcelona : Bosch. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1024505~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1024505~S1*cat)
- Bergós, J. (1953). *Materiales y elementos de construcción : estudio experimental*. Barcelona : Bosch. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1006932~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1006932~S1*cat)
- Bonett Díaz, R. L. (2003). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios : aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta i moderada*. Retrieved from <http://cataleg.upc.edu/record=b1240270~S1%2Acat>
- Busquets, J. (1983). *Estudi de L'Eixample*. Barcelona : Ajuntament. Àrea d'Urbanisme. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1047686~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1047686~S1*cat)
- Busquets, J., Corominas Ayala, M., Eizaguirre i Garaitagoitia, X., & Sabaté Bel, J. (1992). *Treballs sobre Cerdà i el seu Eixample a Barcelona = Readings on Cerdà and the extension plan of Barcelona*. Barcelona : Ajuntament. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1065664~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1065664~S1*cat)
- Caicedo Caicedo, C. (1993). *Vulnerabilidad sísmica en zonas urbanas. Aplicación a un sector del Ensanche de Barcelona*. Tesi doctoral UPC, Barcelona.
- Camós Andreu, C. (2011). *A case study of damage on masonry buildings produced by tunneling induced settlements*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Capel Sáez, H. (1983). *Capitalismo y morfología urbana en España*. Barcelona: Amelia Romero.
- Cassinello Pérez, F. (1960). *Los Amigos del ladrillo*. Madrid : I.T.c.c. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1048091~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1048091~S1*cat)
- Cassinello Pérez, F. (1964). *Muros de carga de fábrica de ladrillo*. Madrid : Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Patronato Juan de la Cierva de Investigación Técnica. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1162897~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1162897~S1*cat)
- Cassinello Pérez, F. (1966). *El Ladrillo y sus fábricas*. Madrid : IETcc. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1029959~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1029959~S1*cat)
- Chirino Andalco, M. (2011). *Estudio tipológico y estadístico de las estructuras de los edificios de la ciudad de Barcelona*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2099.1/13617>
- Cócola Gant, A. (2007). El modelo ensanche, Pere Falqués y la casa Rocamora. O sobre propiedad, ordenanzas y elementos estructurales en Barcelona a finales del siglo XIX. In *Espais interiors casa i art: des del segle XVII al XXI. Ponències presentades a les Jornades Internacionals Espais Interiors Casa i art (s. XVIII-XXI)*. Barcelona: Publicacions i edicions de la Universitat de Barcelona.
- Código Técnico de la Edificación Technical Building Code Ley 38 1999, De 5 De Noviembre, De Ordenacion De La Edificacion. Law 38 1999 of 5 November, Construction Planning*. (2010). Tecnos Editorial S A. Retrieved from [http://www.worldcat.org/title/codigo-tecnico-de-la-edificacion-technical-building-code-ley-38-1999-de-5-de-noviembre-de-ordenacion-de-la-edificacion-law-38-1999-of-5-november-construction-planning/oclc/654311004&referer=brief\\_results](http://www.worldcat.org/title/codigo-tecnico-de-la-edificacion-technical-building-code-ley-38-1999-de-5-de-noviembre-de-ordenacion-de-la-edificacion-law-38-1999-of-5-november-construction-planning/oclc/654311004&referer=brief_results)



- Colom, E. (2014). *Classificació i anàlisi tipològica de les remuntes en edificis residencials històrics de l'Eixample de Barcelona*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Comisión Provincial de Urbanismo de Barcelona. Pla general metropolitana d'ordenació urbana (1976).
- Cornadó, C. (2009). *Classificació i anàlisi tipològica dels edificis de l'Eixample construïts entre 1860 i 1936*.
- Corominas Ayala, M. (1986). *Suelo, técnica e iniciativa en los orígenes del Ensanche de Barcelona*. Retrieved from <http://cataleg.upc.edu/record=b1053402~S1%2Acat>
- Corominas Ayala, M. (2002). *Los Orígenes del Ensanche de Barcelona : suelo, técnica e iniciativa*. Barcelona : Edicions UPC. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1204537~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1204537~S1*cat)
- Corporació Metropolitana de Barcelona. (1985). *Ordenança metropolitana de rehabilitació*. Barcelona : Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1009474~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1009474~S1*cat)
- De Sivo, B., & Díaz, C. (2001). *Il Vasto a Napoli, el Ensanche de Barcelona : due realtà a confronto : progetto collaborativo: Architettura e tecniche costruttive tradizionali nell'area mediterranea = el contraste entre dos*. [Napoli] ;[Barcelona]: CITTAM Università degli studi di Napoli Federico II ;;DCA I Universitat Politècnica de Catalunya.
- EN 1998 Eurocode 8 - structures for earthquake resistance (1998). The European Union Per Regulation.
- Espanya. (1996). *Patrimonio histórico español : textos íntegros*. Madrid : Civitas. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1195334~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1195334~S1*cat)
- Espanya.Ministerio de Obras Públicas, T. y M. A. (1994). *FL-90 : muros resistentes de fábrica de ladrillo*. Madrid : Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1099577~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1099577~S1*cat)
- Eurocódigo 6 : proyecto de estructuras de fábrica*. (1997). Madrid : AENOR. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1130433~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1130433~S1*cat)
- G.N. Pande, J.X. Liang, J. M. (1989). Equivalent elastic moduli for brick masonry. *Computers and Geotechnics*, 8, 243–265.
- Gálvez Buezo, J. (2012). *Análisis de la respuesta de edificios unifamiliares adosados de obra de fábrica sometidos a asentamientos inducidos por tunelación*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2099.1/14714>
- Giol Draper, P. (1995). *La Casa de veïns del segle XIX a Barcelona : avaluació tipològica, arquitectònica i estructural-constructiva del tipus de casa de residència del s. XIX, a partir de l'anàlisi dels edificis construïts entre 1800 i 1920, a Ciutat Vella i a l'Eixample Central*. Retrieved from <http://cataleg.upc.edu/record=b1108738~S1%2Acat>
- Gonzalez Moreno-Navarro, J. L. (2002). Problemas específicos de las construcciones de paredes de obra de fábrica” en Evaluación y rehabilitación estructural de edificios.

- Posibilidades de las técnicas numéricas y experimentales. In *Monografía CIMNE nº 65*. Barcelona.
- Gonzalez Moreno-Navarro, J. L. (2006). *Nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) y la Restauración Arquitectónica. Primera Fase: Estado de la cuestión*. Barcelona.
- Graus Rovira, R. (2012). *Modernització tècnica i arquitectura a Catalunya 1903-1929*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Gumà i Esteve, R. (1996). *Origen i evolució de les tipologies edificatòries i característiques constructives dels edificis de la indústria tèxtil a Catalunya (període 1818-1925)*. Retrieved from <http://cataleg.upc.edu/record=b1135633~S1%2Acat>
- Hendry, A. W. (1990). *Structural masonry*. London : MacMillan. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1064960~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1064960~S1*cat)
- Heyman, J. (1982). *The Masonry Arch*. (E. Horwood, Ed.). New York.
- ICOMOS. INTERNATIONAL CHARTER FOR THE CONSERVATION AND RESTORATION OF MONUMENTS AND SITES (THE VENICE CHARTER 1964) (1964). Venecia.
- ICOMOS. PRINCIPLES FOR CONSERVATION AND RESTORATION OF BUILT HERITAGE. The Charter of Krakow 2000 (2000). Cracovia.
- Instituto de la Construcción y del Cemento "Eduardo Torroja." (1971). *P.I.E.T. 70 : prescripciones del Instituto Eduardo Torroja : obras de fábrica*. Madrid : IETcc. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1029961~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1029961~S1*cat)
- La Rehabilitació de l'Eixample 1987-1991*. (1993). Barcelona : Metro-3. Retrieved from [http://cataleg.uab.cat/record=b1388281~S1\\*cat](http://cataleg.uab.cat/record=b1388281~S1*cat)
- Lacuesta, R. (2003). Els municipis i el patrimoni arquitectònic. Compendi legislatiu comentat. Plecs 5. In *Els municipis i el patrimoni arquitectònic. Compendi legislatiu comentat. Plecs 5*. Barcelona: Diputació de Barcelona, àrea d'Infraestructures, Urbanisme i Habitatge.
- Lahuerta Vargas, J., & Rodríguez, L. F. (1962). *Muros de fábrica de ladrillos : normas y estudios extranjeros para su proyecto y ejecución*. Madrid : Ministerio de la Vivienda, Secretaría General Técnica. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1057470~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1057470~S1*cat)
- Lantada Zarzosa, N. (2007). *Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas GIS : aplicación a la ciudad de Barcelona*. Retrieved from <http://cataleg.upc.edu/record=b1313208~S1%2Acat>
- Larrosa, M. (1989). *L'Evolució de la construcció i l'habitatge a Sabadell de 1900 a 1938 : una anàlisi de les llicències municipals d'obres*. [Sabadell : s.n.]. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1119233~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1119233~S1*cat)
- Larrosa, M., & Torres i Capell, M. de. (1986). *La Urbanització de la ciutat industrial : Sabadell, 1845-1900*. Sabadell : Col. Of. de Doctors i Llicenciats en Filosofia i Lletres i en Ciències. Districte Univ. de Cat. i Balears. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1057536~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1057536~S1*cat)

- Llobet i Llobet, J. (1984). *Urbanització i planejament urbanístic : Barcelona, 1917-1936*. Retrieved from <http://catalog.upc.edu/record=b1067004~S1%2Acat>
- López, J., Oller, S., & Oñate, E. (1998). *J. López, S. Oller, E. Oñate. Cálculo del Comportamiento de la Mampostería Mediante Elementos Finitos. Monografía CIMNE nº46*. Barcelona.
- Lourenço, P. B. (1994). No Title Analysis of masonry structures with interface elements: Theory and applications. In *Delft University of Technology Report n. 03-21-22-0-01*. Delft.
- Lourenço, P. B. (1995). The elastoplastic implementation of homogenisation techniques with an extension to masonry structures. In *Delft University of Technology, Report n. 03-21-1-31-01*. Delft.
- M. Dhanasekar, A. W. P. (1986). The influence of brick masonry infill properties on the behaviour of infilled frames. In *Proc. Instn. Civ. Engrs* (pp. 593–605).
- Molet i Petit, J. (1997). Normativa i infracció: la força de la iniciativa privada en la construcció del primer Eixample, 1860-1891. In *Expansió urbana i planejament a Barcelona* (pp. 73–82). Barcelona: Institut Municipal d'Història, Edicions Proa.
- Molins Borrell, C. (1996). *Un Model per a l'anàlisi del comportament resistent de construccions de maçoneria*. Universitat Politècnica de Catalunya. Retrieved from <http://www.tdx.cat/TDX-0919103-080125/>
- Moreno González, R. (2006). *Evaluación del riesgo sísmico en edificios mediante análisis estático no lineal : aplicación a diversos escenarios sísmicos de Barcelona*. Retrieved from <http://catalog.upc.edu/record=b1299940~S1%2Acat>
- MV 201/72 Muros resistentes de fábrica de ladrillo. (1972). Ministerio de la Vivienda.
- Paricio Ansuategui, I. (1974). *Estudios de tipología de la vivienda: Entre medianeras. Información de base*. Barcelona: Sección de Estudios de la vivienda del C.O.A.C.B.
- Paricio Ansuategui, I., & Gibernau Ponsà, L. (2011). La redacción de los Manuales R con las comunidades autónomas. In *La adecuación del CTE a la Rehabilitación*. ITEC, CONSTRUMAT, Secretaria de Estado de Vivienda y Actuaciones Urbanas.
- Paricio Casademunt, A. (1998). *Anàlisi del sistema constructiu a base de murs de càrrega, utilitzats en la formació de l'Eixample de Barcelona*. Retrieved from <http://catalog.upc.edu/record=b1155142~S1%2Acat>
- Paricio Casademunt, A. (2001). *Secrets d'un sistema constructiu : l'Eixample*. Barcelona : Edicions UPC. Retrieved from [http://catalog.upc.edu/record=b1203785~S1\\*cat](http://catalog.upc.edu/record=b1203785~S1*cat)
- Paricio Casademunt, A. (2008). *Secrets d'un sistema constructiu : l'Eixample*. Barcelona : Edicions UPC. Retrieved from [http://catalog.upc.edu/record=b1335364~S1\\*cat](http://catalog.upc.edu/record=b1335364~S1*cat)
- Planells, A. (2012). *Clasificación y análisis tipológico de edificios residenciales construidos entre 1950 y 1975 en Santa Coloma de Gramenet*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Quaroni, L. (1980). *Proyectar un edificio : ocho lecciones de arquitectura*. Madrid : Xarait. Retrieved from [http://catalog.upc.edu/record=b1050328~S1\\*cat](http://catalog.upc.edu/record=b1050328~S1*cat)

- Ricardo León Bonett, A. B. (2006). Performance assessment for unreinforced masonry buildings in low seismic hazard areas. *Revista Ingenierías, Universidad de Medellín*, ISSN: 1692-3324, 5(8), 115 – 118.
- Roca Fabregat, P. (2011). Estructuras y patrimonio cultural. Análisis, conservación y restauración. *Ingeniería y territorio*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3643698>
- Roca Fabregat, P., Cervera, M., Gariup, G., & Pela, L. (2010). Structural Analysis of Masonry Historical Constructions. Classical and Advanced Approaches. *Archives of computational methods in engineering: state of the art reviews*. International Center for Numerical Methods in Engineering (CIMNE). Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4081699&info=resumen&idioma=SPA>
- Rosselló i Nicolau, M. (2005). *L'Interior a Barcelona en el segle XIX*. Retrieved from <http://cataleg.upc.edu/record=b1274382~S1%2Acat>
- Rots, J. G. (1991). Numerical simulation of cracking in structural masonry. *Heron*, 36(2), 49–63.
- Sabaté Bel, J. (1992). *El proyecto de la calle sin nombre: los reglamentos urbanos de la edificación*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Sabaté Bel, J. (1999). *El Proyecto de la calle sin nombre : los reglamentos urbanos de la edificación París-Barcelona*. Barcelona : Caja de Arquitectos, Fundación. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1165815~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1165815~S1*cat)
- Sanmarti Verdaguer, J. (1987). *La remodelació de l'Eixample Cerdà, avui*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Saura i Carulla, M. (1997). *Història de l'Eixample : una metodologia de disseny*. Barcelona : Edicions UPC. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1130397~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1130397~S1*cat)
- Solà-Morales, M. de. (1997). *Las Formas de crecimiento urbano*. Barcelona : UPC. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1122234~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1122234~S1*cat)
- Solans, J. A. (1975). La apropiación de Barcelona por los propietarios del suelo. De las constituciones a los edictos de obrería, de los edictos a las ordenanzas de edificación, de las ordenanzas a las normas urbanísticas. *Arquitecturas Bis*, 5.
- Valdehita Rosello, M. T. (1976). *Morteros de cemento para albañilería*. Madrid : I.E.T.c.c. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1050972~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1050972~S1*cat)
- Vega Catalán, L. (2011). Adecuación del CTE a la intervención en edificios existentes. In *La adecuación del CTE a la Rehabilitación*. Barcelona: ITeC, CONSTRUMAT, Secretaria de Estado de Vivienda y Actuaciones Urbanas.
- Vila, J. (1989). *La Casa original del ensanche a Barcelona : 1860-1864 : los parámetros formales y métricos de la unidad residencial de la manzana Cerdà*. Retrieved from <http://cataleg.upc.edu/record=b1061478~S1%2Acat>

- W. Samarasinghe, A.W. Page, A. W. H. (1982). A finite element model for the in-plane behaviour of brickwork. In *Proc. Instn Civ. Engrs* (pp. 171–178).
- W. Samarasinghe, A. W. H. (1980). Strength of brickwork under biaxial stress. In *Proc. 7th Int. Symp. Loadbearing Brickwork, British Ceramic Society, Stoke-on-Trent*. London.
- Yépez, F., Barbat, Á. H., & Canas, J. A. (1995). *Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería*. Barcelona : CIMNE. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1111364~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1111364~S1*cat)



## 3 Metodologia general

---

### 3.1 Fases metodològiques

Per assolir els objectius prèviament descrits s'han organitzat diverses fases de treball que es corresponen amb els apartats d'aquest capítol, són les següents:

- Definició de l'objecte d'estudi
  - S'estableix una delimitació cronològica i física.
- Recollida de la informació
  - Es realitza a partir del coneixement previ existent sobre l'objecte d'estudi.
- Definició de la mostra i selecció dels edificis a estudiar.
  - Una vegada definida la població d'edificis a estudiar, se defineix una mostra representativa d'edificis sobre els quals es recullen les dades de l'estructura necessàries (veure Capítol 5) a partir d'aixecaments in situ. Per tant, es disposa d'informació quantitativa i real tant de l'estructura dels edificis com del seu estat actual. A partir de la recollida d'informació s'elaboren un seguit de fitxes que formen la base (annex III) sobre la qual es realitza l'estudi posterior.
- Anàlisi tipològica.
  - Es classifiquen tipològicament els edificis que componen la mostra i es defineixen i parametritzen uns tipus estructurals, representatius del conjunt, que són la base dels models estructurals estudiats.
- Anàlisi estructural i del comportament.

- S'avaluen a nivell tensional enfront càrrega vertical els models resultants de l'anàlisi tipològica prenent com a referència el marc normatiu actual CTE-DB-SE. A partir del tractament i elaboració de les dades d'assajos de trencament d'obra de fàbrica d'edificis de l'Eixample cedits pel laboratori de l'Escola d'Edificació de Barcelona, s'avalua la seguretat estructural, obtenint-ne el grau d'acompliment normatiu.
- Es contrasten els resultats obtinguts del càlcul amb les dades obtingudes de l'observació dels danys estructurals existents en els edificis de la mostra per tal d'extreure conclusions.

Amb aquesta recerca es vol aportar una metodologia que sigui extrapolable a altres casos d'estudi similars a la vegada que proporcionar eines que puguin ser útils davant el coneixement del possible comportament estructural de casos concrets.

La metodologia general que s'ha seguit per l'elaboració de la tesi queda resumida en el quadre de la Figura 10.

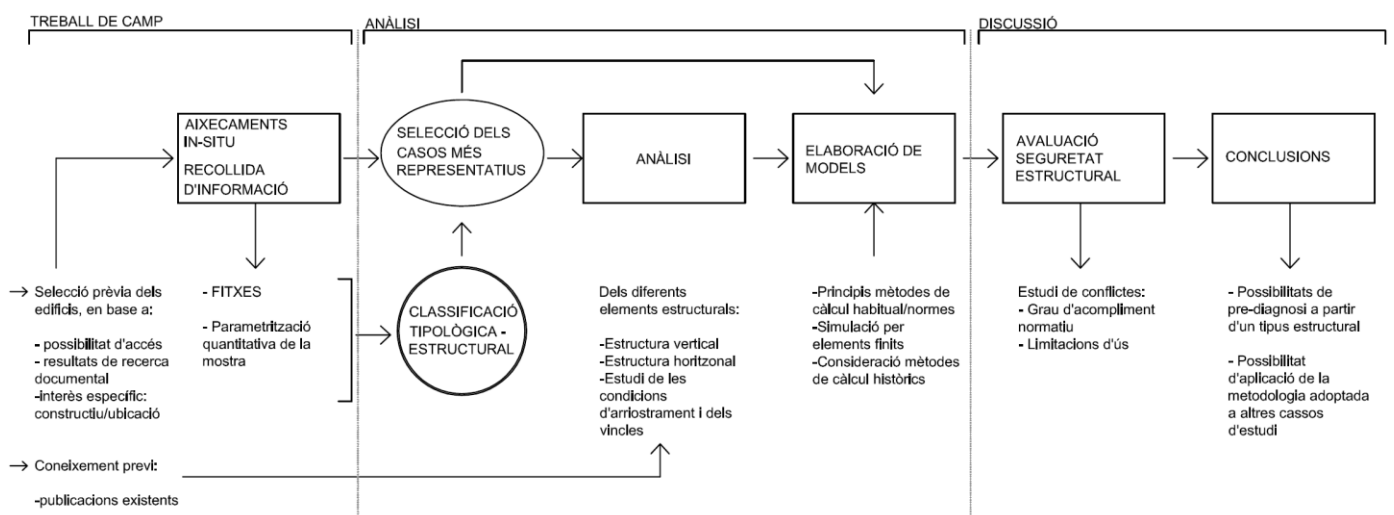


Figura 10: esquema metodològic de la tesi

### 3.2 Definició de l'objecte de l'estudi

*L'objecte d'estudi és l'edifici històric residencial de l'Eixample de Barcelona.*

Com a edifici històric de l'eixample s'entén aquell edifici que, dins de l'entorn urbà de l'Eixample de Barcelona, està construït amb estructura de murs de fàbrica de maó massís i sostres unidireccionals de bigues de fusta o d'acer i revoltos ceràmics. Les voltes d'escala dels quals són ceràmiques, les obertures en façana verticalitzades (Vila, 1989) i tenen una distribució funcional habitual d'un a quatre habitatges per replà (Busquets, 1983)(Giol Draper, 1995)(Paricio Casademunt, 1998) amb unes plantes baixes habitualment



estintolades amb elements metàl·lics. Aquest tipus de construcció convencional de la segona meitat del segle XIX i primera meitat de XX<sup>14</sup> genera un tipus d'edifici característic, concret i reiterat quan es veu inserida dins la parcel·lació regular que suposa la trama Cerdà (Paricio Casademunt, 1998) (Cócola Gant, 2007).

### 3.3 Recollida de la informació

El coneixement previ que es disposa sobre l'objecte d'estudi i que és necessari per assolir els objectius de la present tesi es detalla al capítol 2 Estat de la qüestió. Aquest, s'organitza en tres grans blocs:

- Recopilació d'informació sobre l'objecte d'estudi: tant des del punt de vista general com de les ordenances de la construcció que han afectat a aquest tipus d'edifici, la descripció constructiva i informació sobre altres estudis tipològics portats a terme i que han estat d'interès per elaborar el de la present tesi.
- Marcs normatius: sobre els actuals graus de protecció de l'edificació històrica de l'Eixample i marcs normatius en l'àmbit de la seguretat estructural, tant pel què fa a edificació existent com a la de nova planta, per així posar de manifest la necessitat d'un marc normatiu específic per a la rehabilitació.
- Coneixement necessari per l'anàlisi estructural: sobre altres estudis realitzats sobre l'Eixample des del punt de vista estructural i sobre aquelles dades d'entrada necessàries per a l'anàlisi, com són els materials que formen l'estructura dels edificis estudiats, amb especial interès sobre l'obra de fàbrica, i els mètodes i hipòtesis de càlcul aplicables en aquest cas.

### 3.4 Definició de la mostra

El procés per a l'obtenció de la mostra d'edificis a estudiar, una vegada definit l'objecte d'estudi, han estat les següents:

- Determinació de la població total a estudiar
- Establiment d'una metodologia de mostratge i obtenció de la mostra
- Tractament de la mostra per a posterior anàlisi

#### 3.4.1 Determinació de la població a estudiar

Per a la selecció de la mostra és necessari definir la població total d'edificis objecte d'estudi, emmarcant-la físicament i cronològica.

- Es determina que l'àmbit d'obtenció de la mostra per l'estudi del tipus d'edifici objecte d'estudi s'ubica geogràficament a l'Eixample de Barcelona. En el punt 4.1.1.1 *Àmbit físic* es defineix el perímetre dins del qual s'inclou la població a estudiar.

---

<sup>14</sup> Matissat i justificat en el punt 3.2.1

- Es defineix el límit cronològic on s'emmarca l'objecte d'estudi és el període comprès entre 1860 i 1940. En el punt 4.1.1.2 es justifica l'elecció d'aquest període.

Una vegada fixat l'àmbit físic i geogràfic s'han discriminat aquells edificis que han estat població d'estudi (veure metodologia seguida a l'apartat 4.1.1.2.). S'observa que existeixen tres possibles situacions de l'edificiació: en banda, en xamfrà i en passatge. Es descarta l'estudi de la població situada en passatge atesa la seva petita rellevància en el total de la població (1,3%), veure apartat 4.1.1.2.

### 3.4.2 Selecció de la mostra

Pel què fa a la naturalesa de la informació de la mostra que es disposa per l'elaboració de la present tesi doctoral, cal remarcar que aquesta prové essencialment de fonts primàries, majoritàriament aixecaments *in situ* efectuats per la mateixa autora i aixecaments recents cedits per altres tècnics, per tant, es disposa d'informació quantitativa del seu estat actual<sup>15</sup>. Així, doncs, la informació sobre els edificis amb la què s'ha treballat correspon a la realitat dels edificis d'avui dia. No obstant, no s'ha descartat aquella informació publicada en les fonts bibliogràfiques, sovint referent a edificis d'especial interès arquitectònic i que ha estat verificada en la mesura del possible prèviament a la incorporació d'aquestes dades en el conjunt total. (veure apartat 4.1.2.1).

Els criteris de mostratge emprats s'han definit per tal d'aproximar la mostra obtinguda el més possible a la que s'obtidria utilitzant un mètode de mostreig aleatori simple. Ateses les condicions d'accés, la metodologia de mostreig aplicada correspon a un mostreig per conveniència o accessibilitat juntament amb un mostreig per bola de neu.. Per a més informació sobre aquests criteris i la metodologia veure el punt 4.1.2.2.

Les mostres d'edificis situats en banda i en xamfrà s'han estudiat com a mostres separades (estratificades) vistes les seves evidents diferències morfològiques.

Per tal d'aproximar les representativitats de la mostra obtinguda s'han emprat les formules de la inferència estadística (veure punt 4.1.2.3 i annex I).

El còmput total d'edificis que pertanyen a la mostra de la tesi és el següent:

	NOMBRE D'EDIFICIS	REPRESENTATIVITAT
Població total (banda+xamfrà)	175	93,2%
Població en banda	136	92,4%
Població en xamfrà	39	85,5%

Taula 3: Recompte i representativitats totals i parcials dels edificis que formen la mostra

<sup>15</sup> Veure punt 3.2

## 3.5 Anàlisi tipològica

### 3.5.1 Tractament de la mostra per a l'anàlisi tipològica

A partir de la recollida d'informació dels edificis que componen la mostra s'han confeccionat un seguit de fitxes que formen la base sobre la qual s'ha elaborat l'estudi posterior. En aquestes es troba la informació completa dels edificis que formen la mostra d'estudi i inclouen dades generals de cada edifici com el carrer i número de l'immoble, l'any de construcció, el nom de l'arquitecte o mestre d'obres, la informació que se'n té sobre la planta i les remuntes, la font bibliogràfica o l'accés que s'hi ha tingut, el seu emplaçament a l'Eixample, una fotografia de la façana, els plànols i la catalogació tipològica.

Per tal de preparar la mostra per al posterior estudi a nivell tipològic estructural, s'ha procedit a fragmentar la informació dels edificis de la mostra en tres unitats d'anàlisi:

- -A: plantes tipus
- -B: plantes baixes
- -C: remuntes

De cada una d'elles se'n té diferents nivells de coneixement per causa de les diverses condicions d'accés, de la mateixa manera que cada una d'aquestes parts té una influència diferent en el conjunt estructural (per a més informació veure apartat 4.2). Per tant, l'anàlisi tipològica s'aborda de manera diferent en cada una de les tres unitats d'anàlisi. La classificació tipològica és la base per a l'anàlisi estructural que es desenvolupa en el capítol següent

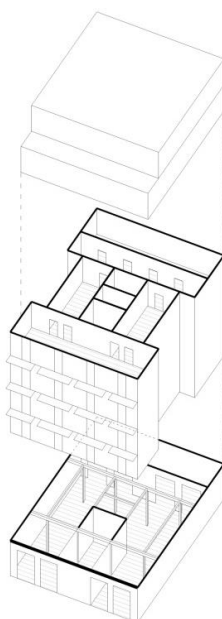


Figura 11: tres unitats d'anàlisi estructural de l'edifici de l'Eixample

### 3.5.2 Anàlisi tipològica de les plantes tipus

A la present tesi doctoral s'aporten dues classificacions tipològiques, una per als edificis situats en banda i una altra pels edificis situats en xamfrà (veure capítol 5). Aquestes dues classificacions es complementen amb els resultats prèviament obtinguts de l'anàlisi tipològica realitzada en motiu del TFM (veure capítol 5 i annex IV).

Les tipologies que s'aporten es realitzen sobre la configuració estructural de les plantes tipus i són fruit d'una consideració específica i únicament estructural, amb uns principis generadors inicials que es defineixen en el capítol 5 i que són coherents amb aquest objectiu.

### 3.5.3 Anàlisi tipològica de les plantes baixes

La informació corresponent a la unitat d'anàlisi estructural formada per les plantes baixes s'analitza a l'apartat 5.2.3 del Capítol 05 Anàlisi Tipològica. S'estudia la incidència dels elements estructurals i també les combinacions dels elements més habituals que trobem a les plantes baixes, tot complementant la tipologia estructural per a la definició dels models informàtics que s'elaboren per tal de dur a terme l'anàlisi estructural (veure Capítol 6).

### 3.5.4 Anàlisi de les remuntes

Les remuntes s'han comptabilitzat i tingut en consideració per l'anàlisi estructural i la confecció de models, per tant, no han estat incloses en l'anàlisi tipològica.

## 3.6 Anàlisi estructural i del comportament

Per a l'avaluació mecànica i del comportament estructural es parteix dels tipus obtinguts i del coneixement previ, tot seguint els següents passos:

- Recopilació de dades inicials dels models per la simulació, de les propietats mecàniques de l'obra de fàbrica i del marc normatiu vigent.
- Anàlisi estructural dels models mitjançant una simulació per elements finits
- Anàlisi dels danys existents en els edificis de la mostra per contrastar-los amb els resultats analítics.

Cada una d'aquestes fases es detalla en els apartats que segueixen.

### 3.6.1 Elaboració de models

Per a l'elaboració dels models que s'analitzen amb posterioritat es duen a terme els següents passos:

- Recopilació d'informació sobre el comportament i les propietats mecàniques de l'obra de fàbrica. Destaca la recopilació de dades provinents dels assajos

realitzats a murs d'edificis de l'Eixample cedits pel laboratori de materials de l'Escola d'Edificació de Barcelona.

- Elaboració de models informàtics a partir de la tipologia estructural per al seu posterior anàlisi. Es té en compte la informació de la classificació tipològica tant de les plantes tipus com de les plantes baixes, les remuntes es consideren a efecte de sobrecàrrega.
- Coneixement del marc normatiu i elecció de les accions a tenir en compte en el càlcul.

Tant la metodologia seguida com el software emprat i les característiques morfològiques dels models es descriuen al capítol 6.

### 3.6.2 Anàlisi estructural dels models

La citada informació de partida permet portar a terme l'anàlisi per elements finits que es concreta en els punts següents i es troba en el capítol 7:

- Simulació mitjançant elements finits (macroelements) dels diversos models establerts. Aquesta fase inclou una primera simulació amb models representatius de cada tipus estructural per a la determinació dels punts més sol·licitats que donen lloc a les situacions més crítiques com una posterior anàlisi d'aquests punts.
- Estudi detallat dels punts més crítics de cada tipus adaptant els models de cada tipus a les mides extremes de les diferents crugies i paràmetres de la planta que hi intervenen.
- Avaluació de les condicions de seguretat del sistema estructural respecte el marc normatiu.

### 3.6.3 Anàlisi del comportament i dels danys existents

Per últim, s'han contrastat els resultats obtinguts de l'anàlisi amb la realitat dels edificis estudiats. S'han obtingut dades d'una mostra d'edificis que ha servit per la realització de l'anàlisi tipològica d'aquells que presentaven danys visibles. Els danys, majoritàriament esquerdes en els murs, han estat grafiats i s'han analitzat les causes que els han provocat, aquesta informació es troba a l'annex VII.

Una vegada sistematitzada la informació, s'han observat característiques comunes dels danys, tant pel que fa a la simptomatologia com a les seves causes i s'han exposat al capítol 8. En aquest mateix capítol es combina l'explicació dels danys amb models informàtics parcials on, mitjançant el càlcul per elements finits, es dona explicació a les esquerdes trobades.

Aquesta informació, juntament amb la proporcionada per l'anàlisi estructural dels tipus, porta a conclusions sobre el comportament d'aquest tipus d'edificis.

### 3.7 Referències

- Busquets, J. (1983). *Estudi de L'Eixample*. Barcelona :: Ajuntament. Àrea d'Urbanisme. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1047686~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1047686~S1*cat)
- Cócola Gant, A. (2007). El modelo ensanche, Pere Falqués y la casa Rocamora. O sobre propiedad, ordenanzas y elementos estructurales en Barcelona a finales del siglo XIX. In *Espais interiors casa i art: des del segle XVII al XXI. Ponències presentades a les Jornades Internacionals Espais Interiors Casa i art (s. XVIII-XXI)*. Barcelona: Publicacions i edicions de la Universitat de Barcelona.
- Giol Draper, P. (1995). *La Casa de veïns del segle XIX a Barcelona : avaluació tipològica, arquitectònica i estructural-constructiva del tipus de casa de residència del s. XIX, a partir de l'anàlisi dels edificis construïts entre 1800 i 1920, a Ciutat Vella i a l'Eixample Central*. Retrieved from <http://cataleg.upc.edu/record=b1108738~S1%2Acat>
- Paricio Casademunt, A. (1998). *Anàlisi del sistema constructiu a base de murs de càrrega, utilitzats en la formació de l'Eixample de Barcelona*. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1155142~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1155142~S1*cat)
- Vila, J. (1989). *La Casa original del ensanche a Barcelona : 1860-1864 : los parámetros formales y métricos de la unidad residencial de la manzana Cerdà*. Retrieved from <http://cataleg.upc.edu/record=b1061478~S1%2Acat>

## 4 Metodologia de mostratge i tractament de la mostra

---

El present capítol està dedicat a la metodologia de mostratge, al tractament de la mostra, i a la presentació de la informació que se'n disposa, tasques prèvies totes elles a l'anàlisi tipològica. D'una manera sumaria, en aquest capítol trobem:

- Descripció de la metodologia de mostratge emprada, tant pel què fa a la determinació de la població d'estudi com pel què fa a l'obtenció de la mostra definitiva.
- Descripció de la segmentació de l'edifici de l'Eixample en les unitats d'anàlisi estructural que s'adopten més endavant.
- Descripció de la manera de presentar la informació sobre els edificis de la mostra en la present tesi doctoral.

## 4.1 Mostratge

### 4.1.1 Determinació de la població a estudiar

És possible parlar de *tipus edificatori* en l'edifici històric d'habitatges de Barcelona ja que s'observa una regularitat en la parcel·lació i en les façanes, així com en les tècniques constructives i en el sistema estructural. Així doncs, és possible establir una classificació tipològica.

Metodològicament, es fa necessari, en una primera etapa, definir una mostra representativa del conjunt i de la qual és possible obtenir informació representativa de l'objecte d'estudi. Aquesta s'obté de la població total d'edificis existents d'aquesta naturalesa (Figura 12).

Per definir la població s'estableixen dues condicions, o límits, que els edificis han de complir per pertànyer a ella:

- Límits cronològics que corresponen al període de construcció del tipus edificatori estudiat. (veure apartat 4.1.1.2)
- Límits físics o geogràfics dins dels quals es donen les condicions de parcel·lació i d'ordenances que propicien el tipus estudiat (veure apartat 0)

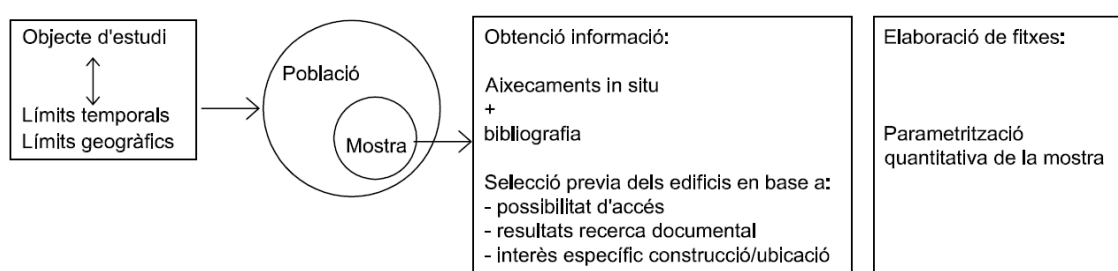


Figura 12: fases metodològiques prèvies a l'estudi tipològic

#### 4.1.1.1 Àmbit físic

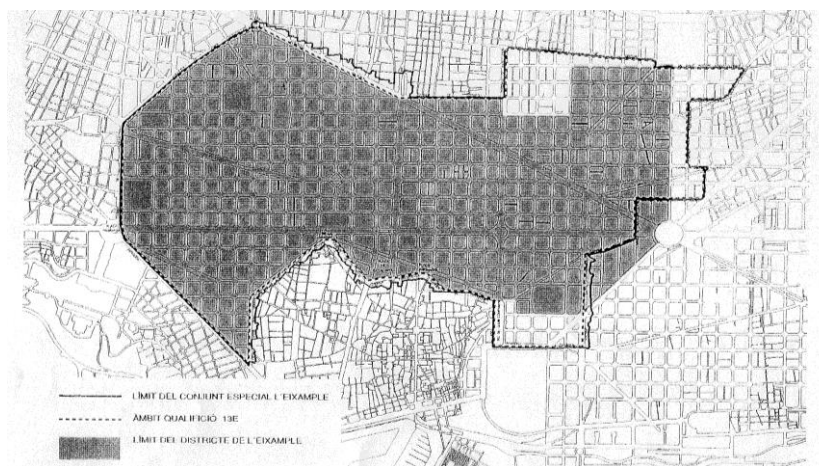
*L'àmbit d'obtenció de la mostra per l'estudi del tipus d'edifici objecte d'estudi s'ubica geogràficament a l'Eixample de Barcelona.*

En la definició de l'Eixample cal esmentar que, sovint, hi ha petites variacions en la descripció i concreció dels seus límits. A la Figura 13 es pot observar aquesta falta de consens entre les diverses delimitacions de l'Eixample que es poden trobar en diferents normatives:



- En línia contínua es mostra la definició del conjunt especial de l'Eixample<sup>16</sup>, segons la definició de l'Ordenança de rehabilitació i millora de l'Eixample de Barcelona, que modifica la Subsecció 3a i de l'art. 3 de l'Ordenança sobre protecció del patrimoni arquitectònic històric-artístic de la ciutat de Barcelona. (Vigència 26-7-1986) (BOP 25-7-1986);
- en línia discontinua, l'àmbit de qualificació 13E17 [Definit en les Normes urbanístiques del Pla General Metropolità]<sup>17</sup>,
- en ombrejat, el límit del districte de l'Eixample<sup>18</sup>. [Aprovat el 1984 per l'Ajuntament de Barcelona]

Una altra qüestió a referir-se és que la trama Cerdà (generadora de l'Eixample) s'estén més enllà dels límits del districte de l'Eixample, incloent l'àmbit de Vila Olímpica, Poblenou i Sant Martí. No obstant, s'ha optat per excloure aquests barris de l'àmbit d'estudi ja que a finals del s.XIX i començament del s.XX, el seu ús era predominantment industrial (Simancas Alarcón, n.d.) essent la incidència de l'ús residencial, i per tant del l'edificació que aquí s'estudia, molt baixa. Aquesta decisió queda reforçada per la baixa presència d'edificis d'aquesta època en les zones més perifèriques del que quedarà definit com a àmbit físic d'obtenció de la mostra (Figura 16).



**Figura 13: Divergències en la definició dels límits de l'Eixample: en línia contínua, límit del conjunt especial l'Eixample; en línia discontinua, límit de la qualificació 13E i, en ombrejat, límit del districte l'Eixample (AA.VV., 2002)**

<sup>16</sup> Definit a l'Ordenança de rehabilitació i millora de l'Eixample de Barcelona, la qual representa la modificació de la Subsecció 3a i de l'art. 3 de l'Ordenança sobre protecció del patrimoni arquitectònic històric-artístic de la ciutat de Barcelona. (Vigència 26-7-1986) (BOP 25-7-1986)

<sup>17</sup> Definit en les Normes urbanístiques del Pla General Metropolità.

<sup>18</sup> Aprovat el 1984 per l'Ajuntament de Barcelona.

Així doncs, la població a estudiar ha d'ésser destinada a un ús residencial i quedar inclosa dins de l'àrea delimitada per: Av. Paral·lel, Ronda Sant Pau, Ronda Sant Antoni, Pl. Universitat, C. Pelai, Pl. Catalunya, C. Fontanella, C. Trafalgar, Ronda Sant Pere, Passeig Lluís Companys, Passeig de Pujades, Av. Meridiana, Pl. Glòries, Av. Meridiana, C. Independència, C. Sant Antoni Maria Claret, C. Bailèn, C. Còrsega, Av. Diagonal, Pl. Francesc Macià, Av. Josep Tarradellas, C. Tarragona i Pl. Espanya (Figura 14).

Dins de l'esmentat perímetre la població total és d'uns 9930 edificis.



Figura 14: Parcel·les amb edificació destinada a ús residencial compreses dins de l'àmbit d'estudi

#### 4.1.1.2 Àmbit temporal

*El límit cronològic on s'emmarca l'objecte d'estudi és el període comprès entre 1860 i 1940.*

El límit inicial de 1860 es justifica per què és quan comença la construcció de l'Eixample –amb la col·locació de la primera pedra a la plaça Catalunya per la reina Isabel II, el 14 de setembre de 1860 –.

El límit final de 1940 es justifica per què acabada la Guerra Civil al 1939 amb la següent postguerra, s'obre un període d'extraordinària escassetat constructiva i una subsegüent utilització del formigó armat en la dècada de 1950 com a sistema estructural predominant.

En el període d'estudi, l'activitat edificatòria no és constant sinó que ve marcada pels esdeveniments de les dues exposicions universals la de 1888 i la de 1929 (Paricio Casademunt, 1998).

Amb l'objectiu de destriar aquells edificis que pertanyen a l'àmbit temporal establert i que es troben dins de l'àmbit físic d'estudi, s'ha portat a terme una revisió exhaustiva de

totes i cada una de les façanes de l'àmbit de l'estudi. La campanya es va dur a terme l'estiu de 2009. Així, amb un reconeixement visual i el previ coneixement del tipus arquitectònic exposat a l'estat de la qüestió (simetria de façana + obertures verticalitzades + acompliment de les ordenances) ha sigut possible fer un recompte dels edificis que pertanyen a la població a estudiar i diferenciar-los dels d'èpoques posteriors.

S'ha optat per aquesta metodologia, enfront a la discriminació segons les dades del cadastre, ja que aquestes, al tractar-se d'un inventari o registre dels bens immobles, la data que hi apareix és la de la creació de la propietat en qüestió i no la de construcció de l'edifici. Les anotacions registrals d'operacions de divisions horitzontals, unificacions i modificacions d'escriptures poden portar a errors si no es verifica visualment la realitat construïda. En conseqüència, tot i tenir en compte el possible error humà, s'ha considerat més fiable la observació directa. El resultat ha estat un plànol de l'àmbit de l'Eixample on s'observen els dos tipus de construcció, l'edificació anterior a 1940 i la posterior a aquest any (Figura 15).



Figura 15: Distinció de parcel·les amb construcció residencial segons època de construcció, en gris clar els edificis anteriors a 1940 i en gris fosc els posteriors a aquesta data.

Quantitativament, la campanya de classificació ha permès obtenir el següent còmput general:

- Nombre d'edificis anteriors a 1940: 5162 (52%)
- Nombre d'edificis posteriors a 1940: 4768 (48%)

S'observa, que la dispersió de l'edificació antiga dins del territori definit no és homogènia. Aquesta és majoritària en les zones més centrals de l'Eixample i aquelles àrees de construcció més antiga com poden ser les zones de la dreta de l'Eixample, més properes a Ronda Sant Pere, i a l'esquerra de l'Eixample, al barri de Sant Antoni (Figura 16).

Aquesta concentració d'edificació antiga concorda amb el sector de conservació de l'edificació de l'Eixample (Figura 17). S'observa com en les zones limítrofes la construcció antiga va disminuint (Figura 18); fet que justifica que l'adopció d'un límit o d'un altre, en aquest cas, és quelcom irrellevant alhora de d'establir una classificació tipològica.



Figura 16: Distribució de l'edificació residencial anterior a 1940

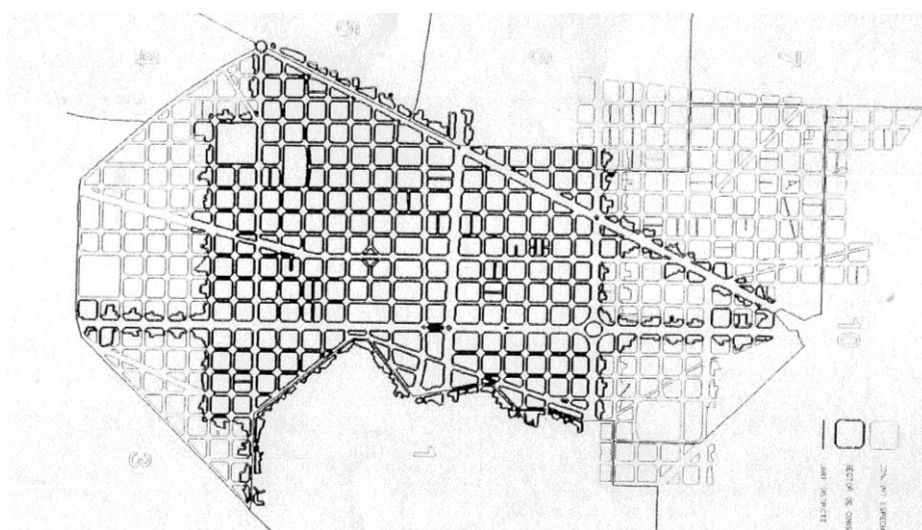


Figura 17: Sector de conservació de l'edificació de l'Eixample (AA.VV., 2002)



Figura 18: distribució de l'edificació residencial posterior a 1940

De cara a l'estudi tipològic s'han analitzat per separats els edificis de la mostra depenent de la seva ubicació dins de la illa de cases. Així doncs dels 5162 edificis anteriors a 1940 (Figura 16) es troba la següent distribució:

- 4254 edificis situats en banda (82,4%) , és a dir, aquells edificis que tenen dues parets mitgeres, amb façana a carrer i a pati interior d'illa. De forma rectangular o de paral·lelepípede.
- 843 edificis situats en xamfrà (16,3%) és a dir, aquells edificis que tenen com a mínim una de les seves façanes formant xamfrà.
- 65 edificis situats en un passatge (1,3%) és a dir, aquells edificis amb parcel·la situada en un passatge interior d'illa i amb façana principal donant a aquest.

De la població a estudiar s'exclou de l'estudi posterior els edificis situats en passatge, ja que té molt poca incidència estadística sobre el conjunt, tractant-se només d'un 1,3%. A més a més, els edificis en aquesta situació no es corresponen, generalment, amb l'edifici residencial plurifamiliar que és objecte d'aquest treball. Una vegada deduïda la població d'edificis en passatge, la població definitiva queda tal i com es mostra a la Figura 19.



Figura 19: Parcel·les que contenen la població objecte d'estudi: 5097 edificis

En conclusió, aquesta tasca d'observació i classificació temporal:

- Dóna idea del nombre d'edificis que romanen construïts avui en dia que són anteriors a 1940.
- Mostra on es produeix la màxima concentració de construccions antigues en el conjunt de l'Eixample.
- Quantifica el nombre d'edificis anteriors a 1940 i el seu percentatge en relació als que són posteriors.
- Permet establir la rellevància dels 3 tipus bàsics d'emplaçament (en banda, xamfrà o passatge), i centrar la resta de l'estudi en els edificis ubicats en banda i en xamfrà d'illa.

Com s'ha esmentat, les campanyes d'observació es van dur a terme durant l'estiu del 2009, per tant, amb el pas del temps el nombre d'edificis històrics només pot fer que disminuir i, per tant, augmentar la representativitat de la mostra estudiada (veure apartat 4.1.2.3).

## 4.1.2 Selecció de la mostra

### 4.1.2.1 Característiques de la mostra

Com s'ha exposat en el capítol 3 Metodologia la informació que es disposa sobre els edificis de la mostra objecte d'estudi prové essencialment de fonts primàries, majoritàriament aixecaments *in situ* efectuats per l'autora de la tesi i també aixecaments recents cedits per altres tècnics, que l'autora ha contrastat. Per tant, la informació correspon a la realitat dels edificis d'avui dia.

En la totalitat dels edificis estudiats s'ha pogut accedir a una planta principal o tipus, amb la possibilitat d'una inspecció visual complerta i l'aixecament planimètric de la distribució interior i la configuració estructural. En una àmplia majoria d'aquests edificis s'ha pogut accedir total o parcialment a la planta baixa obtenint informació de la configuració estructural. Quant a les remuntes, es té coneixement de la seva existència en cada cas però no s'hi ha tingut accés (veure Annex II).

Tot i disposar de la informació obtinguda a partir dels aixecaments, no s'ha volgut descartar la informació que existeix publicada fins a dia d'avui (*La Rehabilitació de l'Eixample 1987-1991*, 1993)(Hernández-Cros, Mora, Pouplana, & Moretó i Navarro, 1990)(Paricio Casademunt, 1998)(De Sivo & Díaz, 2001) sobre alguns edificis de l'eixample, ja que aquesta permet ampliar la mostra d'estudi. Aquestes fonts d'informació, sovint extreuen les dades dels expedients existents en els diversos arxius públics<sup>19</sup> i s'entén que, o bé no han patit modificacions estructurals respecte al que es descriu a la bibliografia, ja que es tracta d'edificis protegits, o bé, si han patit modificacions, aquestes ja queden reflectides a les publicacions (*La Rehabilitació de l'Eixample 1987-1991*, 1993). En qualsevol cas, s'han visitat les parts públiques d'aquests edificis, normalment plantes baixes, per contrastar i completar la informació que se'n disposava. Les remuntes s'han tractat de la mateixa manera que en la resta de la mostra provinent dels aixecaments *in situ* (veure Annex II).

### 4.1.2.2 Metodologia estadística aplicada en la selecció de la mostra

Els mètodes de mostratge per l'extracció d'una mostra a partir d'una població finita poden ser de dos tipus(Gómez Villegas, 2005):

- Probabilístics: són aquells que garanteixen que tots els individus tenen la mateixa probabilitat de ser elegits per formar part d'una mostra i, conseqüentment, totes les possibles mostres de mida  $n$  tenen la mateixa probabilitat de ser seleccionades. D'aquesta manera asseguren la representativitat de la mostra extreta i són, per tant, els més recomanables. Amb aquests mètodes de mostreig es pot estimar l'error i fer projeccions (inferència estadística). Dins dels mètodes de mostreig probabilístics es troben els següents tipus: mostreig aleatori simple, mostreig

---

<sup>19</sup> Arxiu Municipal Administratiu, Arxiu Històric de la Ciutat, Arxiu Municipal de l'Eixample i Arxiu Històric del COAC.

aleatori sistemàtic, mostreig aleatori estratificat i mostreig aleatori per conglomerats.

- No probabilístics: donen informació sobre la població però no es té certesa que la mostra extreta sigui representativa, ja que no tots els subjectes de la població tenen la mateixa probabilitat de ser elegits. Es fan servir per a estudis exploratoris però no per a estimacions inferencials sobre la població. Els elements de la mostra es seleccionen seguint determinats criteris que cal definir prèviament procurant, en la mesura del possible, que la mostra sigui representativa. S'admet però que en algunes circumstàncies s'estimin les representativitats tot i tractar-se de situacions de mostreig no probabilístic ("El Muestreo," n.d.)<sup>20</sup>. Són mètodes de mostreig no probabilístics: mostreig per quotes, mostreig intencional o de conveniència, mostreig per bola de neu i mostreig discrecional.

Sempre és preferible un mostratge a partir de mètodes aleatoris, però la naturalesa de la mostra que es precisava obtenir, on era necessari l'accés a propietats privades, impossibilitava qualsevol dels tipus de mostratge probabilístic basat en l'atzar.

Per tant, la mostra s'ha obtingut amb una combinació dels mètodes de mostreig de conveniència o disponibilitat<sup>21</sup> i de mostreig per bola de neu<sup>22</sup>. Una vegada localitzada la mostra disponible a través de les fonts bibliogràfiques existents, es va iniciar una campanya on propietaris i/o usuaris coneguts s'oferien per facilitar l'accés i l'obtenció de dades dels seus habitatges (*mostreig per conveniència*). A partir d'ells es contactava amb altres propietaris i/o usuaris que també n'estiguessin disposats (*mostreig per bola de neu*).

---

<sup>20</sup> Per exemple, als estudis de cas control que es tracten de estudis epidemiològics, observacionals, analítics, en els quals els subjectes són seleccionats en funció que tinguin (casos) o no tinguin (control) una determinada malaltia, o en general un determinat efecte.

<sup>21</sup> Mostreig per conveniència o disponibilitat: Consisteix en l'elecció per mètodes no aleatoris d'una mostra amb característiques similars a les de la població objectiu en funció de la disponibilitat. Cal establir uns criteris de la selecció de la mostra per a què aquesta sigui el més representativa possible.

<sup>22</sup> Mostreig per bola de neu: Es localitza a alguns individus, els quals condueixen a altres, i aquests a altres, i així fins aconseguir una mostra suficient.



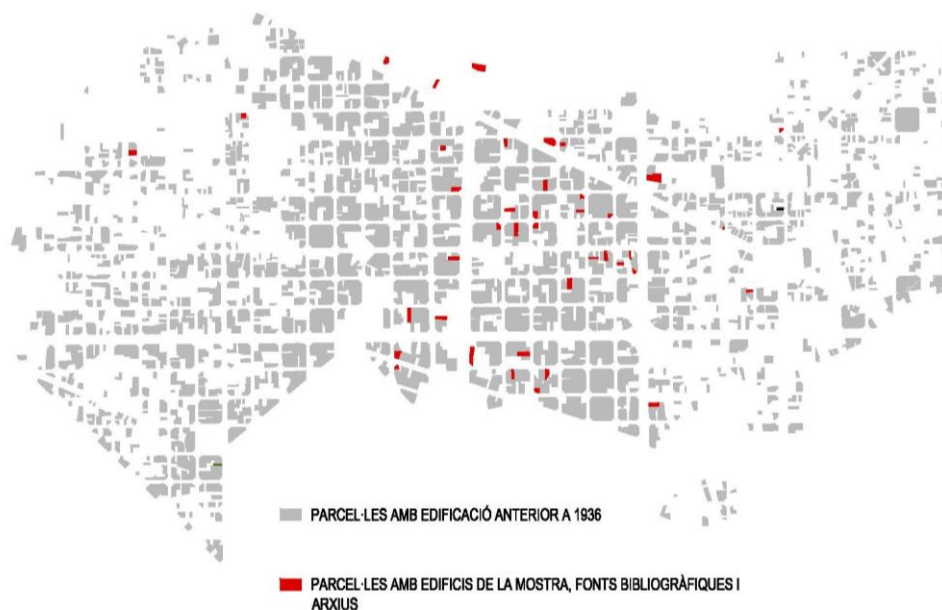


Figura 20: Part de la mostra d'edificis on la informació prové de fonts bibliogràfiques (Hernández-Cros et al., 1990)(La Rehabilitació de l'Eixample 1987-1991, 1993)(De Sivo & Díaz, 2001)

Els criteris definits a priori i que han servit per donar per vàlid un edifici i incloure'l a la mostra han estat els següents:

- Afavorir les localitzacions més disperses i perifèriques per tal de contrapesar l'acumulació de les mostres que provenen de les fonts bibliogràfiques que es refereixen principalment a la part més cèntrica de l'Eixample.
- Propiciar l'obtenció de tipus variats dins la mostra a mesura que es presentaven noves possibilitats: a mesura que s'agafava experiència en l'observació, es podia anticipar tipus edificatoris *a priori* observant només en el plànol parcel·lari, la col·locació de la caixa d'escala, dels patis i la mida de parcel·la.
- Propiciar l'obtenció de tipus en xamfrà per així augmentar l'escàs coneixement existent dels edificis en aquesta situació.

Amb tot, la distribució de la mostra de la tesi dins de l'eixample és mostra a la Figura 21.



Figura 21: Mostra total (parcel·les que contenen els edificis que formen part de la mostra definitiva)

Tot i que el mètode de mostreig seguit té una component atzarosa, no es pot assegurar que tots els individus de la població total disposin de la mateixa probabilitat de ser elegits en la mostra. No obstant això, s'ha propiciat que la mostra tingués una distribució el més assimilable possible al d'un mostreig aleatori simple (Gómez Villegas, 2005). Per aquest motiu, s'han emprat les expressions de la inferència estadística per estimar la representativitat de la mostra per així poder tenir una referència del nombre d'edificis que es feia necessari incloure dins la mostra (veure annex I)<sup>23</sup>.

El recompte dels edificis que conformen la mostra d'estudi s'ha fet primerament d'una manera global i després separatament, considerant els edificis situats en banda i en xamfrà, per atendre a les diferències morfològiques evidents, tal i com podria tractar-se d'una mostra estratificada<sup>24</sup> (Figura 23).

---

<sup>23</sup> El procés d'obtenció de la mostra s'ha efectuat en dues fases. La primera va permetre obtenir una mostra d'anàlisi preliminar, presentada en un treball anterior (Cornadó, 2009). Aquest primer anàlisi va proporcionar criteris per augmentar la representativitat de l'estudi en una segona fase, fins a obtenir la mostra definitiva a partir de la qual s'elabora l'anàlisi tipològica en la present tesi (veure annex I).

<sup>24</sup> Mostreig estratificat: Consisteix a considerar categories típiques diferents entre si (estrats) que es constata que posseeixen gran homogeneïtat respecte a alguna característica (es pot estratificar, per exemple, segons la professió, el municipi de residència, el sexe, l'estat civil, etc.). El que es pretén amb aquest tipus de mostreig és assegurar-se que tots els estrats d'interès estaran representats adequadament en la mostra. Cada estrat funciona independentment, podent aplicar dins d'ells el mètode de mostreig que es consideri oportú.



Figura 22: Població en banda i en xamfrà

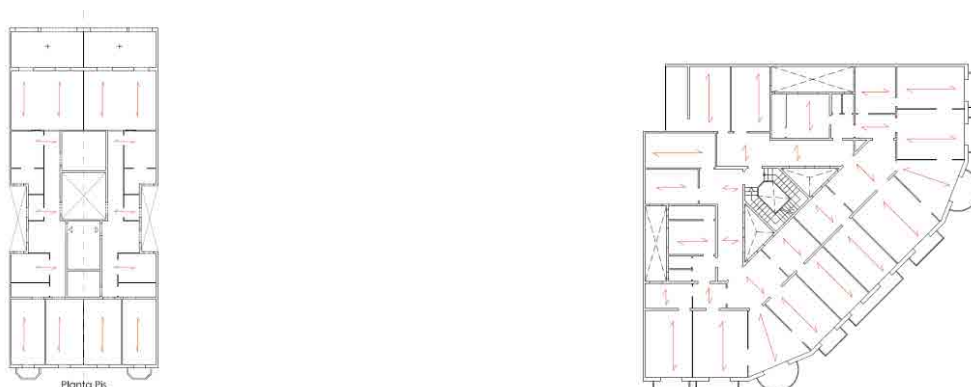


Figura 23: Exemple d'edifici en banda<sup>25</sup> i Exemple d'edifici en xamfrà<sup>26</sup>

#### 4.1.2.3 Definició i quantificació de la mostra estudiada

Per l'elaboració de l'estudi tipològic i estructural s'han estudiat un total de 175 edificis construïts entre 1860 i 1940.

Els percentatges corresponents a les representativitats de la mostra respecte el total de la població s'han calculat segons les expressions de la inferència estadística per a poblacions finites (veure annex I).

Dels 175 edificis que formen la mostra els còmputos i les representativitats són els següents (veure annex I):

	<b>NOMBRE D'EDIFICIS</b>	<b>REPRESENTATIVITAT</b>
<b>Població total (banda+xamfrà)</b>	175	93,2%
<b>Població en banda</b>	136	92,4%
<b>Població en xamfrà</b>	39	85,5%

Taula 4: Recompte i representativitats total i parcials dels edificis que formen la mostra

<sup>25</sup> Gran Via, 494

<sup>26</sup> Llúria, 82

Els valors de les representativitats es consideren adequats ja que si és volgués arribar a les representativitats que s'exigeixen en altres camps com la medicina o en experimentació de laboratori, del 95% o superiors (Hyman, 1982) (Contandriopoulos, Champagne, Potvin, Denis, & Boyle, 1991) (Milton, 1994), s'hauria d'augmentar la mostra considerablement, com a mínim fins als 357 edificis en el cas d'estudiar la població total. Considerant la naturalesa diferent de l'objecte d'estudi, edificis, i l'aparició de redundàncies morfològiques, tal i com es veu a l'anàlisi tipològica, fiabilitats superiors al 90% són suficients (Hyman, 1982) (Contandriopoulos et al., 1991) (Milton, 1994). En el cas dels edificis en xamfrà tot i no arribar al 90%, degut a dificultat d'accés, es considera una mostra suficient ja que proporciona informació prou consistent sobre aquest tipus d'edificis tal i com es constata en el capítol 5 Anàlisi Tipològica.

Pel que fa a la naturalesa de les fonts, la majoria dels edificis de la mostra, en concret 123, el 71%, han estat aixecaments *in situ*. Es tracta doncs, de dades provinents de la realitat existent avui en dia. L'altra part dels edificis estudiats, en concret 52, que representa el 29% restant, provenen de fonts bibliogràfiques prèvies.

## 4.2 Segmentació de l'edifici en unitats d'anàlisi estructural

De cara a la metodologia per l'estudi estructural es proposa fragmentar els edificis de la mostra en tres unitats d'anàlisi (Figura 24). Cada una de les tres unitats d'anàlisi A, B o C influeix d'una manera diferent en el conjunt estructural donades les seves característiques constructives i morfològiques. Conseqüentment a cada un dels grups (A/B/C) se li demana el coneixement d'uns paràmetres diferents.

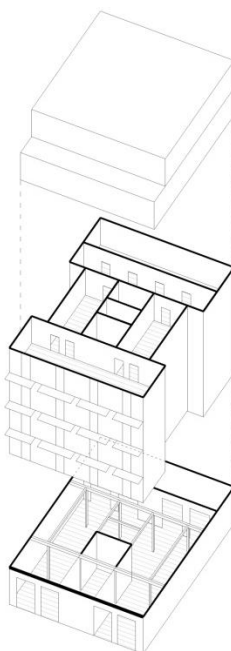


Figura 24: Tres unitats d'anàlisi estructural de l'edifici de l'Eixample

### 4.2.1 Les plantes tipus

Com s'ha esmentat anteriorment, s'ha realitzat una inspecció visual i l'aixecament planimètric de la distribució interior i de la configuració estructural dels edificis de la mostra a partir de, com a mínim, una planta principal o tipus a la que s'ha tingut accés directe (Figura 25). L'objectiu ha estat conèixer la configuració i ubicació en planta dels murs de càrrega, per tal d'obtenir tant la llum i la direcció de les crugies com les distàncies entre els elements de travada, així com la quantitat, mida i ubicació de les obertures en aquests murs.

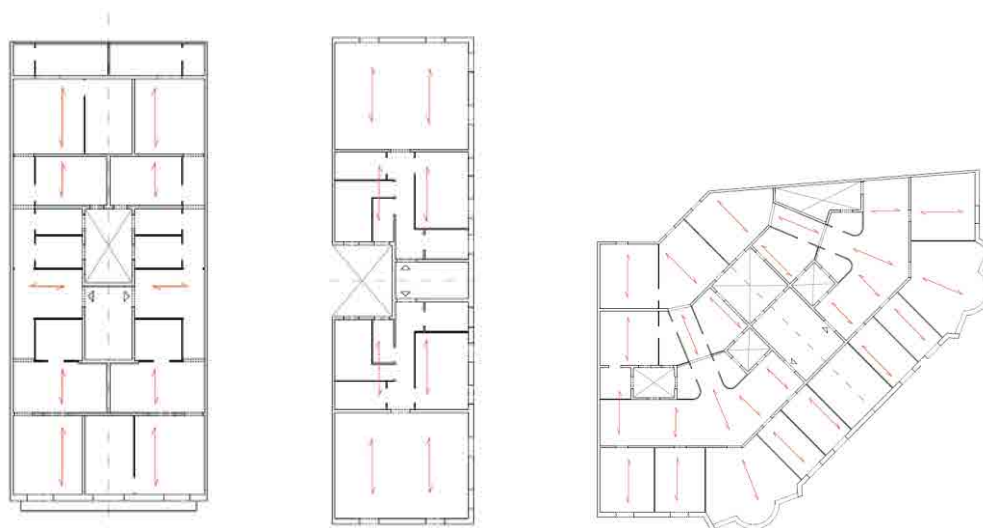


Figura 25: Exemples del tipus d'informació disponible pel que fa a les plantes tipus<sup>27 28 29</sup>

En el cas dels edificis on la informació prové de fonts bibliogràfiques, aquesta s'ha redibuixat i verificat a partir de visites a les plantes baixes. En els casos que només ha estat possible una visita parcial a la planta tipus, en aquells edificis on apareixen més de dos habitatges per planta, s'ha completat la resta de planta estructural a partir d'altres referències dels patis i les plantes baixes aconseguint disposar de la ubicació dels murs però sense poder disposar d'alguna dada sobre les obertures de murs no exteriors. Pel que fa a les altures entre pisos s'ha adoptat les de les ordenances en el moment de construcció (Sabaté Bel, 1999). Aquesta informació es detalla a l'Annex II.

#### 4.2.2 Les plantes baixes

Les diferències funcionals de les plantes baixes respecte les plantes tipus fa que aquelles tinguin una configuració i sistema estructural generalment diferent de les plantes superiors, ja que, encara que les línies de càrrega es mantinguin, els murs sovint estan estintolats en jàsseres i pilars.

De la mostra total d'edificis que s'estudien, se'n té diferents graus de coneixement sobre les plantes baixes (veure annex II):

- Coneixement total: 10 edificis (el 6%), es disposa de l'aixecament complet de la planta baixa i dels seus elements estructurals.
- Coneixement parcial: 145 edificis (el 83%) ha estat possible realitzar una inspecció visual però no s'ha pogut accedir a parts dels locals, normalment amb accés només a la part pública.

<sup>27</sup> Diputació, 139

<sup>28</sup> Parlament, 49

<sup>29</sup> Rambla Catalunya, 105

- Coneixement deduït: 20 edificis (l'11% restant) no s'ha pogut accedir a la planta baixa per diversos motius, tot i què es pot deduir la configuració estructural a partir de les plantes superiors i el coneixement previ del tipus.

Aquest funcionament autònom de la planta baixa, juntament amb les limitacions d'accés a algunes parts, ha fet que s'hagi optat per una metodologia de classificació tipològica diferent de la de les plantes tipus basada en la identificació i la comprovació en cada un dels edificis que componen la mostra d'una sèrie d'elements estructurals definidors del tipus (veure capítol 5 Anàlisi tipològica). L'estudi d'aquests paràmetres en la totalitat de la mostra dona una radiografia general i estadística del funcionament estructural dels baixos en edificis de l'Eixample.

### 4.2.3 Les remuntes

S'inclouen en aquesta categoria només les remuntes no enrassades amb el pla de façana. El motiu és que fins a 1942 es va poder créixer en altura fins a planta baixa més 6 pisos i què, abans d'aquesta data, part dels edificis de la mostra ja havien suportat remuntes, majoritàriament alineades amb el pla de façana, sobretot a partir de les ordenances de 1932. Aquestes remuntes, per època de construcció, estaven construïdes amb un sistema estructural de murs aixecats seguint la configuració dels murs de càrrega de les plantes inferiors, per tant, es continuava amb la repetició de la planta tipus en altura. Si que s'inclouen en aquesta categoria d'anàlisi les remuntes posteriors al 1932 quan es permeten remuntes amb retranquejos en secció, separant-se de façana i diferenciant-se de la planta tipus, arribant fins a planta baixa més 9 pisos en les ordenances de 1958 (Figura 26)(veure capítol 2 Estat de la Qüestió) .

La informació que es disposa sobre les remuntes és una informació qualitativa que dona idea de la seva existència i dels seus límits. Aquesta informació s'ha obtingut d'inspeccions visuals i de consultes al Punt d'Informació Cartogràfica (PiC); es pot trobar en l'annex II. El percentatge d'edificis que tenen remuntes enretirades respecte el pla de façana és del 51% respecte el total, essent el més habitual la remunta de una única planta enretirada respecte l'alineació del carrer.

Per a la consideració estructural de les remuntes enretirades respecte el pla de façana, s'ha optat per incloure-les a l'estudi estructural com una sobrecàrrega a tenir en compte independentment de la distribució funcional i estructural que tinguin.

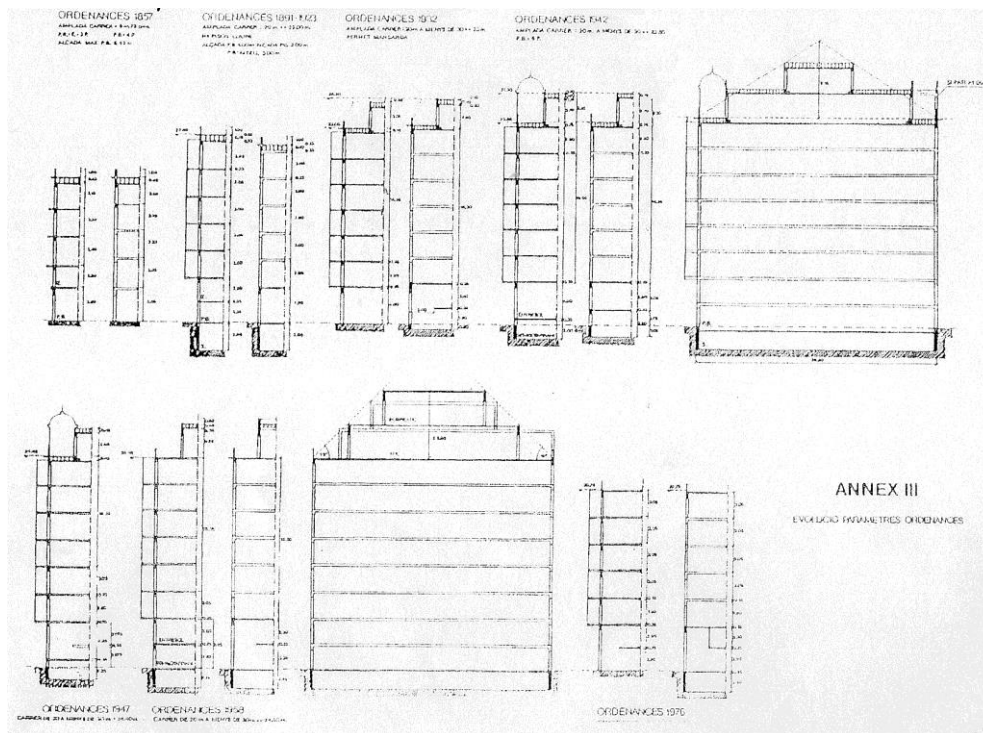


Figura 26: Evolució de les ordenances (Sabaté Bel, 1999)



### 4.3 Presentació de la informació

De cada un dels edificis que formen la mostra s'ha elaborat una fitxa amb un resum de la informació de partida. Totes les fitxes estan recollides en l'annex III i inclouen dades generals de cada edifici, com el carrer i número on es troba, l'any de construcció, el nom de l'arquitecte o mestre d'obres, la informació que se'n té sobre la planta i les remunes, la font bibliogràfica o l'accés que s'ha tingut, el seu emplaçament en l'Eixample, la fotografia de façana, els plànols i la catalogació tipològica. La informació sobre l'any de construcció s'ha extret del llibre *El Creixement de l'Eixample: registre administratiu d'edificis: 1860-1928* (Aragó i Cabañas, 1998), que només abasta fins 1928, i s'ha completat amb les dades disponibles en el cadastre sempre que aquestes es consideressin concordants amb l'aspecte i la construcció de l'edifici.

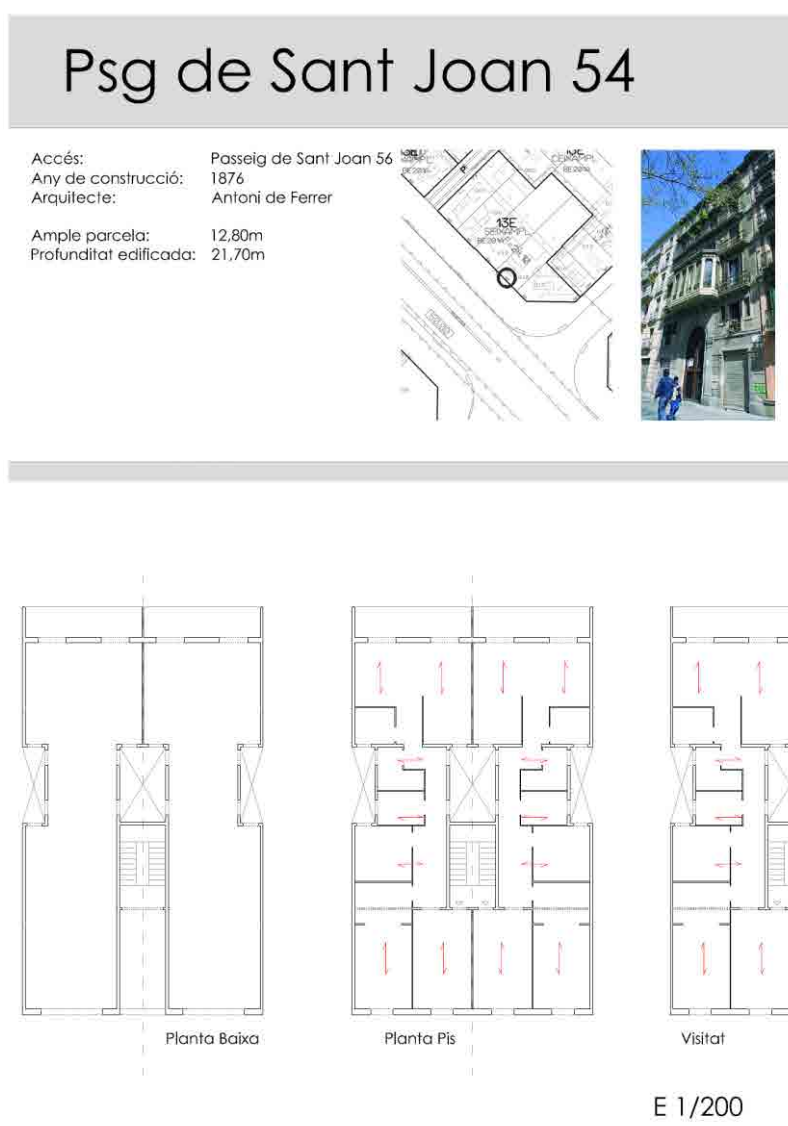


Figura 27: Exemple de fitxa d'informació d'edifici

## 4.4 Conclusions sobre el mostratge

S'aporta una metodologia de mostratge aplicable a l'estudi i la classificació de parcs edificats que presentin regularitats en aspectes morfològics i/o constructius. Aquest fet és possible ja que:

- Es sistematitza el mostratge en funció de la font d'accés a la informació, tractant-lo de manera estadísticament diferenciada en cada cas:
  - Accés directe i verificació *in situ*: mètodes no probabilístics amb prèvia definició dels criteris d'obtenció de la mostra per augmentar la representativitat el màxim possible
  - Informació provinent d'arxius i fonts bibliogràfiques: mètodes probabilístics.
- Es quantifica la representativitat de la mostra i, per tant, la rellevància de l'anàlisi posterior.
- Es proposa la segmentació de l'edifici objecte d'estudi en diverses unitats d'anàlisi que tenen característiques diferenciades; en aquest, cas diferents sistemes estructurals. Això fa possible l'estudi dels diversos paràmetres característics de cada una de les unitats d'anàlisi de l'edifici per separat, permetent un major aprofundiment en el coneixement.

En el cas d'extrapolar la metodologia presentada en aquesta tesi a un altre parc edificat on s'apreciessin regularitats, es recomana superar la representativitat del 90%, que es sol considerar acceptable per extreure conclusions significatives de l'objecte a estudiar. En tal cas, si es pogués garantir l'accés a qualsevol punt del parc edificat es recomanaria fer servir un mètode aleatori simple per l'obtenció de la mostra.

## 4.5 Referències

- AA.VV. (2002). Text refós de l'ordenança de rehabilitació i millora de l'Eixample. Barcelona: Ajuntament de Barcelona.
- Aragó i Cabañas, L. M. (1998). *El Creixement de l'Eixample : registre administratiu d'edificis : 1860-1928*. Barcelona: Demarcació de Barcelona del Col·legi d'Arquitectes de Catalunya.
- Contandriopoulos, A., Champagne, F., Potvin, L., Denis, J., & Boyle, P. (1991). *Preparar un proyecto de investigación*. Barcelona: SG Editores.
- Cornadó, C. (2009). *Classificació i anàlisi tipològica dels edificis de l'Eixample construïts entre 1860 i 1936*.
- De Sivo, B., & Díaz, C. (2001). *Il Vasto a Napoli, el Ensanche de Barcelona : due realtà a confronto : progetto collaborativo: Architettura e tecniche costruttive tradizionali nell'area mediterranea = el contraste entre dos*. [Napoli] ;[Barcelona]: CITTAM Università degli studi di Napoli Federico II ;;DCA I Universitat Politècnica de Catalunya.
- El Muestreo. (n.d.). Retrieved September 2, 2014, from <http://www.estadistica.mat.uson.mx/Material/elmuestreo.pdf>
- Gómez Villegas, M. A. (2005). *Inferencia estadística*. Madrid : Díaz de Santos. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1316535~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1316535~S1*cat)
- Hernández-Cros, J. E., Mora, G., Pouplana, X., & Moretó i Navarro, B. (1990). *Arquitectura de Barcelona*. Barcelona : Demarcació de Barcelona del Col·legi d' Arquitectes de Catalunya. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1016976~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1016976~S1*cat)
- Hyman, R. (1982). Quasi-Experimentation: Design and Analysis Issues for Field Settings (Book). *Journal of Personality Assessment*. [http://doi.org/10.1207/s15327752jpa4601\\_16](http://doi.org/10.1207/s15327752jpa4601_16)
- La Rehabilitació de l'Eixample 1987-1991*. (1993). Barcelona : Metro-3. Retrieved from [http://cataleg.uab.cat/record=b1388281~S1\\*cat](http://cataleg.uab.cat/record=b1388281~S1*cat)
- Milton, J. S. (1994). *Estadística para biología y ciencias de la salud*. Madrid [etc.] : McGraw-Hill. Interamericana. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1175778~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1175778~S1*cat)
- Paricio Casademunt, A. (1998). *Anàlisi del sistema constructiu a base de murs de càrrega, utilitzats en la formació de l'Eixample de Barcelona*. Retrieved from <http://cataleg.upc.edu/record=b1155142~S1%2Acat>
- Sabaté Bel, J. (1999). *El Proyecto de la calle sin nombre : los reglamentos urbanos de la edificación París-Barcelona*. Barcelona : Caja de Arquitectos, Fundación. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1165815~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1165815~S1*cat)
- Simancas Alarcón, L. (n.d.). Intervenciones en edificaciones objeto de cambio de uso. Bibliotecas públicas de la provincia de Barcelona : análisis de los edificios ubicados en Barcelona 1994-2004. Universitat Politècnica de Catalunya. Retrieved from <http://www.tdx.cat/handle/10803/134799>



## 5 Anàlisi tipològica

---

La present tesi analitza els edificis de l'Eixample construïts amb estructura de murs de càrrega de fàbrica de maó.

Per bé que sempre parlem d'edificis amb estructura de murs de càrrega, cal dir que generalment a les plantes baixes d'aquests, els murs poden ser substituïts per pòrtics de pilars i jàsseres de diferents materials. En les plantes superiors, en canvi, l'estructura vertical està construïda amb murs de càrrega.

Previ a l'anàlisi estructural es fa necessari establir un ordre dins la mostra d'estudi, és possible fer una classificació tipològica de les plantes dels edificis segons la seva morfologia geomètrica i/o estructural que estarà referida a la situació de l'edifici dins la trama Cerdà, ja sigui en situació en banda o en xamfrà.

A partir de la tipologia aportada en la present tesi es fa possible:

- Concretar els diversos esquemes estructurals que es donen a l'Eixample (ubicació dels murs portants i situació dels embigats).
- Conèixer la freqüència d'aparició dels tipus en la mostra estudiada.
- Conèixer el nombre i ubicació dels patis en els diversos tipus estructurals; així com relacionar les diverses configuracions de patis amb les mides de parcel·la.
- Relacionar la morfologia dels edificis en banda amb les mides globals de la planta, que venen donades per l'amplada de parcel·la i la profunditat edificada/edificable.

- Parametritzar l'esquema dels tipus estructurals pel que fa a mides de crugies i distàncies entre murs.
- Discretitzar els esquemes estructurals en elements estructurals (murs i crugies) per estudiar-los independentment pel que fa a les seves característiques d'obertures i unions. És a dir dividir la distribució estadística dels esquemes estructurals estudiats per tal d'analitzar-los com a elements (murs i crugies)
- Poder analitzar el seu comportament estructural a partir de l'elaboració de models a partir dels tipus.

La tipologia de la configuració estructural de les plantes tipus és fruit d'una consideració específica i únicament estructural i és la base per a l'anàlisi estructural que es desenvolupa en el capítol següent.

Tal i com ja ha estat esmentat al capítol anterior, les remuntes, no s'han inclòs en l'anàlisi tipològica, no obstant, la seva presència i nombre sí que s'ha tingut en consideració per a l'anàlisi estructural.

Els quadres tipològics i la informació completa sobre la classificació tipològica es troben a l'annex V.

Per elaborar l'anàlisi tipològica estructural presentat en aquesta tesi doctoral s'ha considerat la totalitat de la mostra d'edificis, amb un total de 175 edificis.

## 5.1 Principis considerats per a la generació d'un model estructural

Els **critèris** i **principis** que s'han emprat per a generar la tipologia estructural i que defineixen els tipus i subtipus són els següents:

- Morfologia de la **parcel·la**: influeix directament en la morfologia de la configuració estructural, distingirem entre edificis en banda i edificis en xamfrà.
- Ubicació de la **caixa escala**: podent ser central (tipus C) o adossada a una paret mitgera (tipus L). La situació de l'escala repercutirà en la disposició dels altres murs estructurals.
- Existència de **patis**: a mesura que la parcel·la s'eixampla, es fa necessària l'aparició de patis adossats a les parets mitgeres, a més del/s existent/s en posició central en contacte amb la caixa d'escala, que afavoreixin la il·luminació i ventilació de la zona central de la planta.
- **Direcció i llum de l'embigat**: depèn directament de la ubicació dels murs.
- **Gruix dels murs**. Els murs, que formen l'estructura vertical de la planta principal i plantes superiors són, en la seva majoria, de 15cm de gruix, a excepció del mur

de façana que és de 30cm d'ample (Paricio Casademunt, 2008). La façana posterior pot ser de 15cm o de 30cm.

- **Unions** amb altres murs (elements de travada) i formació de caixes tancades.
- Nombre i tipus d'**obertures**.

És important mencionar que els **paràmetres** anteriors apareixen lligats a unes funcions i a unes localitzacions concretes, de manera que no es poden concebre sense tenir en compte les característiques funcionals de la planta i del seu ús: l'habitatge. Es pot entendre la variació entre els diferents tipus com un resultat de l'evolució i complexificació de la planta de l'edifici plurifamiliar de l'Eixample, que tindria els seus estadis inicials en l'edifici de renda de Ciutat Vella (Giol Draper, 1995).

## 5.2 Tipologia

### 5.2.1 Edificis en banda

A partir dels principis generadors prèviament descrits i per establir la tipologia dels edificis situats en banda, es va elaborar una classificació tipològica que va quedar inclosa dins la tesis final de màster amb títol *Classificació i anàlisi tipològica dels edificis de l'Eixample construïts entre 1860 i 1936* (Cornadó, 2009) i que es pot trobar a l'annex IV. En ella es partia de la ubicació de la caixa d'escala creant una primera distinció entre tipus d'escala central (C) i tipus d'escala adossada a mitgera (L). Per sistematitzar la definició dels tipus es disposaven uns eixos de coordenades a la planta on en l'eix d'abscisses es representaven els amplex de parcel·la i el l'eix d'ordenades la profunditat edificada. Els subtipus quedaven definits per la ubicació dels patis i la direcció de les crugies tal i com es descriuen a la Taula 5, la Taula 6, la Figura 28 i la Figura 29.

Quadre resum del conjunt de tipus i subtipus dels edificis amb l'escala central

tipus	característiques del tipus	subtipus	característiques del subtipus
C11	Edifici estret i curt amb un únic pati central d'il·luminació i ventilació. Apareixen habitacions no principals que donen al pati de llums als passadissos adossats a la mitgera.	C11A	una crugia anterior i una de posterior amb embigat perpendicular a façanes i una crugia central amb embigat perpendicular a mitgeres.
		C11B	dues crugies anteriors i dues de posteriors amb embigat perpendicular a façanes i dues crugies centrals amb embigat paral·lel a mitgeres
		C11C	tots els embigats són paral·lels a façana.
		C11AB	dues crugies anteriors i dues de posteriors amb embigat perpendicular a façanes i una crugia central amb embigat perpendicular a mitgeres.
C21	Edificis d'amplada superior al tipus C11. Edificis amb un patis central y patis laterals adossats a les mitgeres.	C21A	una crugia anterior i una de posterior amb embigat perpendicular a façanes i unes crugies centrals amb embigat perpendicular a mitgeres.
		C21B	dues crugies anteriors i dues de posteriors amb embigat perpendicular a façanes i dues crugies centrals amb embigat paral·lel a mitgeres, pot donar-se el cas de què en la zona central trobem embigats perpendiculars a mitgera.
		C21 AB	una o dues crugies anteriors i una o dues de posteriors amb embigat perpendicular a façanes i dues crugies centrals (a banda i banda) amb embigat perpendicular a mitgeres, pot donar-se el cas que aparegui una crugia en la zona central amb embigats paral·lels/perpendiculars a mitgera
C12	Edificis construïts en parcel·la estreta però amb una fondària important, apareix un segon	C12A	les crugies anteriors i posteriors (corresponents a les façanes respectives) tenen un embigat perpendicular a façana i les crugies centrals tenen l'embigat perpendicular a les mitgeres
		C12B	els embigats de totes les crugies són perpendiculars a façana.



	pati adjacent a la caixa d'escala. En aquest tipus, sovint un dels dos patis és descobert i l'altre és cobert formant part de la caixa d'escala.	C12AB	dues crugies anteriors i dues de posteriors amb embigat perpendicular a façanes i les crugies centrals amb embigat paral·lel a mitgeres.
C22	Edificis construïts em parcel·les 95més grans tant d'amplada com de fondària on trobem, com a mínim, dos patis centrals i patis laterals donant a mitgeres.	C22A	una crugia anterior i una de posterior amb embigat perpendicular a façanes i les crugies centrals amb embigat perpendicular a mitgeres, apareixen unes crugies petites al mig de la planta, situades entre els patis interiors on l'embigat pot tenir les dues direccions.
		C22B	dues crugies anteriors i dues de posteriors amb embigat perpendicular a façanes i dues crugies centrals amb embigat paral·lel a mitgeres. En la zona central, entre els patis de mitgera i els patis centrals apareixen crugies que poden tenir l'embigat en qualsevol de les dues direccions principals.
		C22AB	dues crugies anteriors i dues de posteriors amb embigat perpendicular a les façanes i dues crugies centrals amb embigat perpendicular a les mitgeres.

Taula 5: característiques dels tipus d'escala centrals aportats a la tesi de màster (Cornadó, 2009)

Quadre resum del conjunt de tipus i subtipus dels edificis amb l'escala lateral

tipus	característiques del tipus	subtipus	característiques del subtipus
L11	Edifici construït en parcel·la estreta amb un únic pati adossat a mitgera.	L11A	una crugia anterior i una de posterior amb embigat paral·lel a façanes.
L21	Edificis d'amplada superior al tipus L11.	L21A	dues crugies anteriors i dues de posteriors amb embigat perpendicular a façanes.
L12	Edificis construïts en parcel·la estreta amb el pati i l'escala col·locats longitudinalment, un a continuació de l'altra, adossats a mitgera, amb un únic habitatge per planta.	L12A	tot l'embigat és paral·lel a façanes
		L12B	la crugia anterior i posterior tenen l'embigat perpendicular a façana i la crugia central té l'embigat perpendicular a mitgera.
L22	Edificis construïts amb el conjunt d'escala i pati col·locats longitudinalment i adossats a una mitgera i un altre pati generalment adossat a l'altra mitgera.	L22A	tot l'embigat és paral·lel a façanes.
		L22B	una crugia anterior i una de posterior amb embigat perpendicular a façanes i una crugia central amb embigat perpendicular a mitgeres.
		L22AB	dues crugies anteriors i dues de posteriors amb embigat perpendicular a les façanes i la crugia central amb embigat perpendicular a les mitgeres.

Taula 6: característiques dels tipus d'escala lateral aportats a la tesi de màster (Cornadó, 2009)

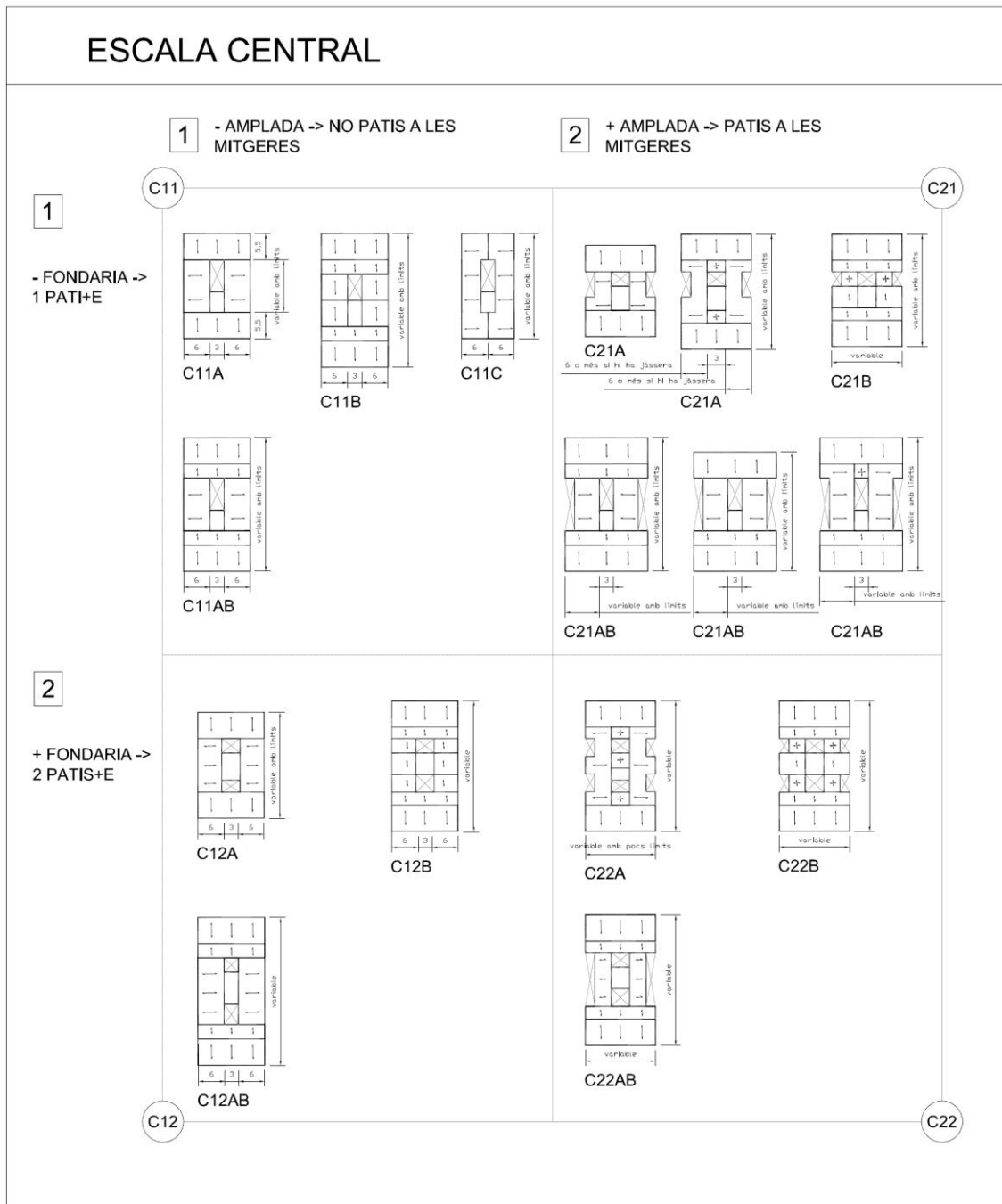


Figura 28: Quadre resum tipus amb escala central

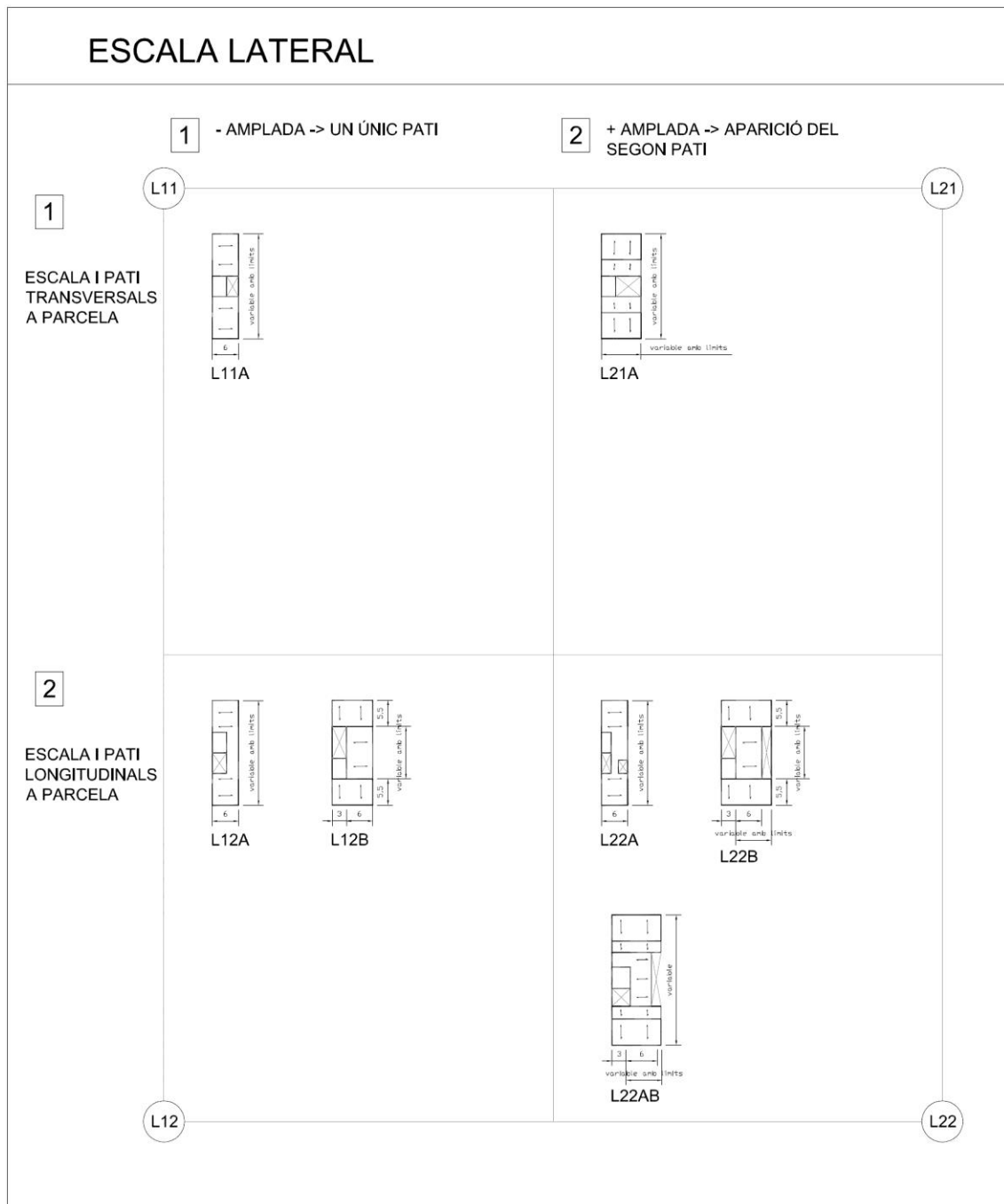


Figura 29: Quadre resum dels tipus amb escala lateral Anàlisi de la classificació tipològica

Els principals punts febles d'una anàlisi tipològica generada a partir de paràmetres funcionals de la planta (nombre de patis, ubicació caixa d'escala), són els següents:

- Edificis del mateix tipus presenten configuracions estructurals del cos central notablement diferents. A la Figura 30 s'aprecia com:
  - L'esveltesa horitzontal dels murs dels patis és diferent
  - Les crugies de la zona central de la planta són diferents entre elles en la primera de les plantes mentre que a l'altra són totes iguals.

- En una poden aparèixer jàsseres per salvar la llum de la zona central de la planta, en l'altra no

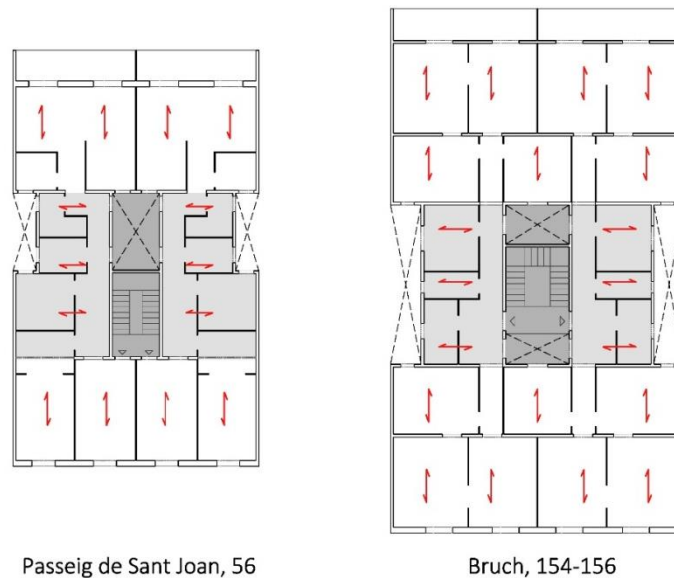


Figura 30: Diferències en la zona de cos central de dos edificis amb el mateix subtípus de la tipologia estructural de l'obra grossa

- Edificis que es classifiquen de manera diferent (tipus L i C) poden tenir el mateix comportament estructural amb l'aparició de murs amb els mateixos esquemes d'obertures i crugies amb el mateix sentit de càrrega (Figura 31)

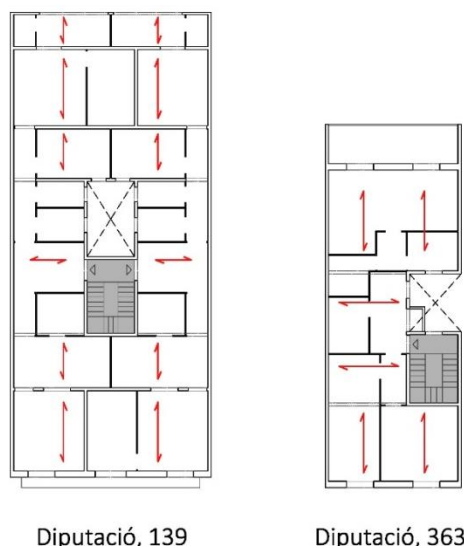


Figura 31: Edificis de tipus C (escala central) i tipus L (escala lateral) que corresponen a un mateix esquema de murs del cos central.

Per tant, es comprova que una primera classificació tipològica dels edificis en banda, que pren com a punt de partida principal la ubicació de l'escala, característica més de caire funcional, porta a tipus dels quals no se n'extreuen conclusions purament estructurals,

però que de cap manera cal descartar-les, és per aquest motiu que s'han inclòs en aquest capítol.

No obstant, es fa necessària una tipologia que tingui en compte els principis generadors llistats en l'apartat 5.1 *Principis considerats per a la generació d'un model estructural*.

A partir de la observació de les plantes tipus dels edificis que formen la mostra s'ha observat un esquema recurrent, tanmateix ja conegut (De Sivo & Díaz, 2001), que és la utilització del mur de façana com a element portant (veure apartat 5.2.1.1.1), a més de la seva funció de tancament. Això fa que, prop de la façana principal i la façana posterior, apareguin un o dos murs paral·lels a aquestes que recullen les successives crugies que es generen. Aquest esquema es repeteix fins a arribar a la caixa d'escala o els patis. Aquests altres elements en forma de caixa tenen influència en tot l'àmbit de la planta on s'aprofiten les parets de tancament de l'escala i dels patis com a elements portants, fent que habitualment, es canviï el sentit de càrrega respecte les crugies provinents de les façanes.

Per a l'anàlisi tipològica s'han estudiat els **paràmetres** descrits amb anterioritat en aquests tres àmbits per separat:

- **Murs de façana i murs paral·lels a aquests.** Són elements de morfologia similar i comportament anàleg, presents a la majoria dels edificis i per tant, es poden estudiar en gairebé la totalitat de la mostra dels edificis situats en banda, essent independents de l'esquema estructural de les "caixes" de murs que puguin existir en la planta en la zona més pròxima a l'escala i als patis. (veure apartat 5.2.1.1)
- **Zona del "cos central".** És l'àmbit d'influència de la caixa d'escala i dels patis i zona de la planta on es concentra el major grau de variació entre els diferents edificis analitzats. En aquest àmbit hi ha més variabilitat de les obertures i apareixen elements tipus "capsa" i plecs en els murs. Per a l'estudi d'aquest àmbit, s'han distingit un seguit de tipus que responen a diferents esquemes de planta i que generen unes particularitats concretes en els murs que els defineixen per a cada tipus. (veure apartat 5.2.1.2)
- **Caixes d'escala.** Són presents en tots els edificis. En el present capítol s'analitzen de manera comuna als edificis en banda i en xamfrà en l'apartat 5.2.1.3 on també s'especifiquen els principis generadors de la classificació que s'adopta.

La disgregació de la planta en unitats que permeten un estudi detallat té els següents avantatges:

- L'estudi mur a mur i element a element, permet una anàlisi més detallada de les obertures i de les particularitats estructurals del cos central.
- Els tipus es poden recomptar igualment, tot i que per obtenir l'esquema global de la planta cal afegir al cos central, la informació de les crugies frontals i posteriors.

- Per l'estudi de les diferents crugies es disposa d'una mostra més variable que s'adapta en cada cas, podent augmentar-ne les representativitats.
- El fet de considerar els patis adjacents a l'escala com part de la caixa d'escala, facilita l'estudi i classificació del cos central, ja que redueix les variables, i l'estudi dels recolzaments de les voltes d'escala, que venen directament influenciats per l'existència de patis.

D'aquesta manera es pot entendre la configuració de la planta tipus de l'edifici de l'Eixample tal com l'esquema que es presenta a la Figura 32, on el tipus queda definit pel tipus de cos central al que se li afegeixen les crugies davanteres i posteriors així com un anàlisi pormenoritzat de les característiques de la caixa d'escala. En l'esquema s'ha d'interpretar com a l'esquema de la part central, que pot rotar, se li adjunten les grugies corresponents a les façanes davantera i posterior.

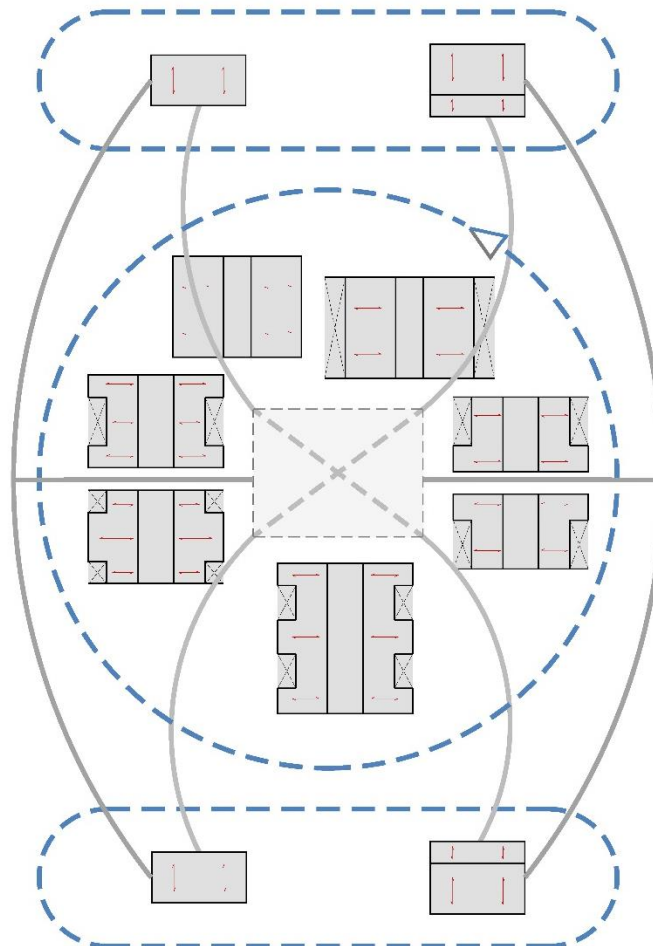


Figura 32: Esquema generador de la planta tipus de l'edifici de l'Eixample situat en banda

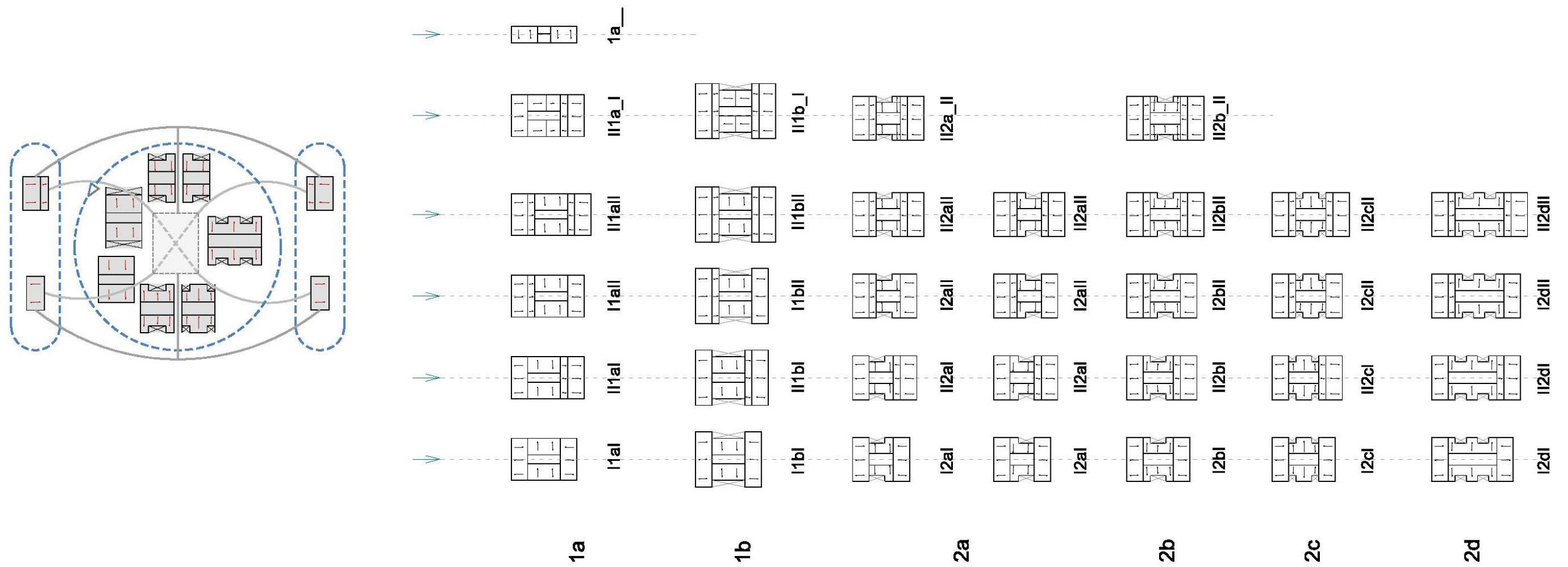


Figura 33: Possibles combinacions de cos central amb les crugies frontals i posteriors





### 5.2.1.1 Façana i murs paral·lels a façana (crugies frontals i posteriors)

Com s'ha esmentat amb anterioritat, la façana i els altres murs paral·lels a ella s'han estudiat conjuntament ja que es tracta d'elements de morfologia similar i comportament anàleg que són presents a la majoria dels edificis. Cada un dels murs en aquesta casuística, té unes característiques pròpies pel que fa a gruixos, obertures i condicions de càrrega que s'especifiquen més endavant per a cada un d'ells.

Per l'estudi dels murs paral·lels a façana s'ha fet servir la següent nomenclatura dels murs (Figura 34):

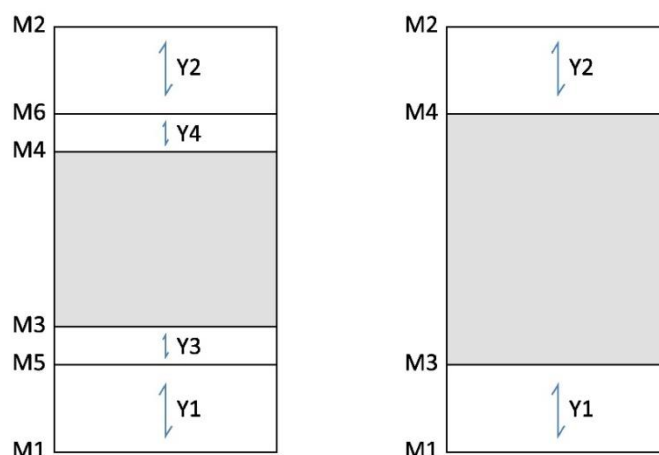


Figura 34: Nomenclatura dels murs

En els següents apartats es descriuen les característiques morfològiques dels murs paral·lels a façana.

#### 5.2.1.1.1 Mur M1 (Façana)

El mur de façana segueix l'alineació i la rasant del carrer. Per al període estudiat, la façana arriba fins als 24,4m d'altura<sup>30</sup>. En alguns casos el mur s'estintola parcialment o totalment en planta baixa per tal de permetre una entrada més gran als locals. Aquests murs construïts amb obra de fàbrica de maó tenen un gruix de 30cm a l'altura de les plantes tipus. En alguns casos s'hi fa un regruix amb un envà per amagar uns porticons corredissos, cosa que fa que la percepció de l'ample del mur sigui superior (Figura 35), però aquest regruix queda separat i no té funció estructural. A les plantes baixes el gruix augmenta fins als 45cm, podent ser d'obra de fàbrica de maó o bé de pedra, mur de carreus o paredat.

Una característica estructural del mur de façana és que el sentit de càrrega li és excèntric tot suportant la meitat de la càrrega de una de les crugies més amples de l'edifici i només

<sup>30</sup> Ordenança de 1942

queda unit a la resta de murs estructurals en els seus dos extrems a les parets mitgeres. Aquesta característica es fa més extrema a mesura que la parcel·la és més ampla i la distància entre les dues parets mitgeres augmenta. A més, la façana també ha de suportar el pes de les llosanes de balcó i tribunes (Rodríguez Ferreiro, 2012)(Paricio Casademunt, 2008)<sup>31</sup>. Les obertures del mur de façana tenen un esquema verticalitzat amb buits d'1m fins als 1,45m d'ample(Vila, 1989)(Paricio Casademunt, 1998) (Figura 36).

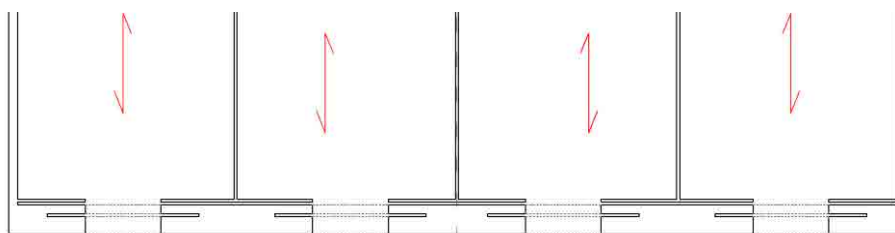


Figura 35: Mallorca 230

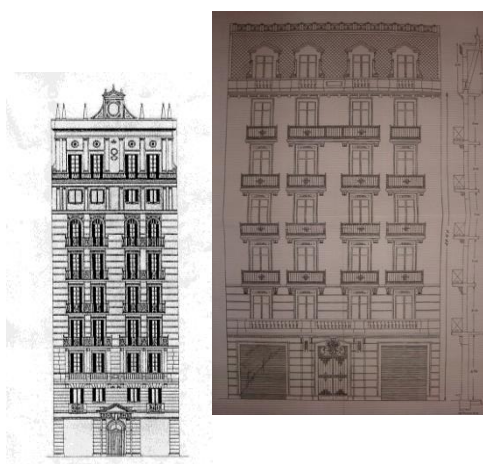


Figura 36: Imatge façana Eixample (Gran Via 472 i Provença 365)

#### 5.2.1.1.2 Mur M2 (Façana posterior)

El mur que forma la façana posterior, quan aquesta és portant, (cas M2) es troba en la mateixa condició de càrrega i unió amb els murs mitgers que el mur de façana principal. També té la càrrega excèntrica, suportant una de les crugies més amples de l'edifici amb la diferència que a vegades el seu gruix és de 15 cm i a vegades de 30. Aquest mur també ha de suportar el pes de les tribunes (Paricio Casademunt, 1998). Les obertures reproduïxen sovint l'esquema d'obertures de la façana principal, tot i que en el cas d'haver tribunes tancades les obertures s'eixamplen reduint les agulles de càrrega de la façana posterior.

<sup>31</sup> Veure tota la variabilitat de subjecció de les llosanes de balcó a (Rodríguez Ferreiro, 2012)



Figura 37: Fotografia façana posterior (Gran via 474 i Entença 40)

#### 5.2.1.1.3 Murs M5 i M6

Els murs M5 i M6 existeixen quan la distància a salvar entre la façana, principal o posterior, i els murs que tanquen la caixa d'escals i els patis és superior a la que es podria considerar salvable amb una única crugia (De Sivo & Díaz, 2001). Les crugies que donen a carrer i pati interior (Y1 i Y2) són significativament més amples que les adjacents, les que recolzen el seu altre extrem en la caixa d'escals i patis (Y3 i Y5). Aquests murs són de 15 cm de gruix i reben la càrrega del bigam de tots dos costats.

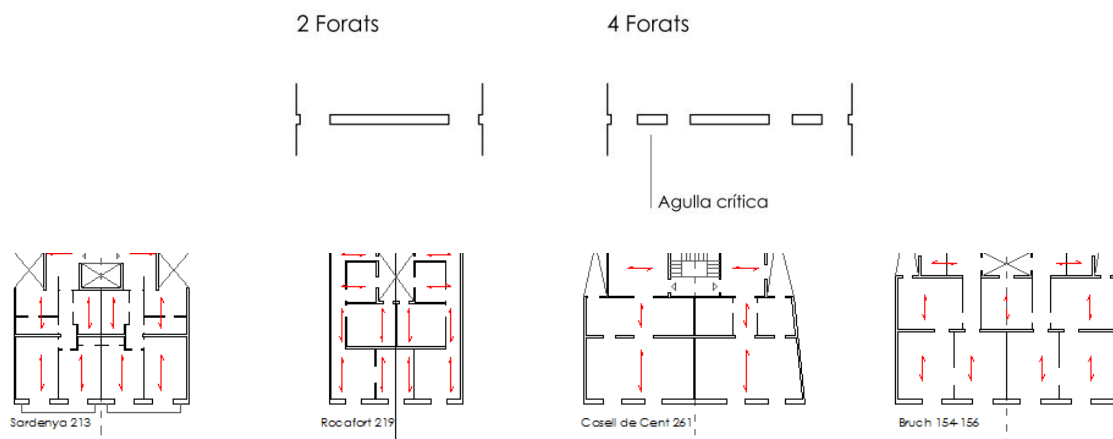


Figura 38: Configuracions més habituals de forats en els murs M5 i M6

Les obertures en els murs M5 i M6 venen marcades per la funcionalitat de la planta, essent les configuracions de dues i de quatre obertures el més freqüent (Figura 38). Es comprova que en el cas d'existir dues obertures aquestes poden quedar situades adossades a la paret mitgera, si el passadís també ho està, o bé trobar-se en posició central si el passadís passa al costat de la caixa d'escals. En parcel·les més amples és més habitual l'existència de quatre obertures, podent-se donar agulles de càrrega estretes entre dues

d'elles. També, i pel que fa a les obertures, cal fer esment que aquests murs solen ser els que més s'han vist afectats per les obres de reforma al llarg de la seva vida útil, amb freqüents estintolaments (Muñoz Soria & Paricio Casademunt, 2011) realitzats per aconseguir sales més àmplies i diàfanes.

#### 5.2.1.1.4 Murs M<sub>3</sub> i M<sub>4</sub>

Els murs M<sub>3</sub> i xM<sub>4</sub> delimiten la “zona central” de la planta i part d'ells solen tancar patis i caixa d'escala. Aquests murs tenen unions amb quatre murs perpendiculars, dues en els extrems (parets mitgeres o patis laterals) i dues corresponent als murs que acaben de formar la caixa d'escala. Aquestes peculiaritats juntament amb el molt freqüent canvi de sentit de l'embigat en la zona central, fa que aquests murs puguin tenir unes tensions superiors als altres murs de la planta.

Pel que fa a les obertures, aquestes dependran del tipus de cos central de l'edifici, veure apartat 5.2.1.2 i subapartats segons tipus.

#### 5.2.1.2 Cos central

En el present estudi tipològic estructural s'estudia la part central de l'edifici anomenant-la *cos central*, com a contraposició a les crugies frontals i posteriors, exposades amb anterioritat. El cos central és l'àmbit de la planta que es veu influenciat per la presència de la caixa d'escala i els patis i celoberts.

El cos central es caracteritza per un freqüent gir del sentit de càrrega i, pel que fa a l'estructura horitzontal, es compon generalment per dues crugies a banda i banda de la caixa d'escala, recolzant-se en aquesta i en les parets mitgeres o els murs dels patis de mitgera. A partir dels recolzaments de les crugies s'estableix la primera classificació del cos central (Figura 39), es distingeix entre:

- Cos central de tipus 1: els murs paral·lels als laterals de la caixa d'escala són murs continus, donant lloc a una crugia de mida uniforme on totes les bigues salven la mateixa llum.
- Cos central de tipus 2: on els murs oposats a la caixa d'escala presenten plecs que donen lloc als patis de mitgera; en conseqüència, la crugia del cos central varia de llum i apareixen trams de murs de 15cm que no suporten cap sostre i que tanquen els patis.

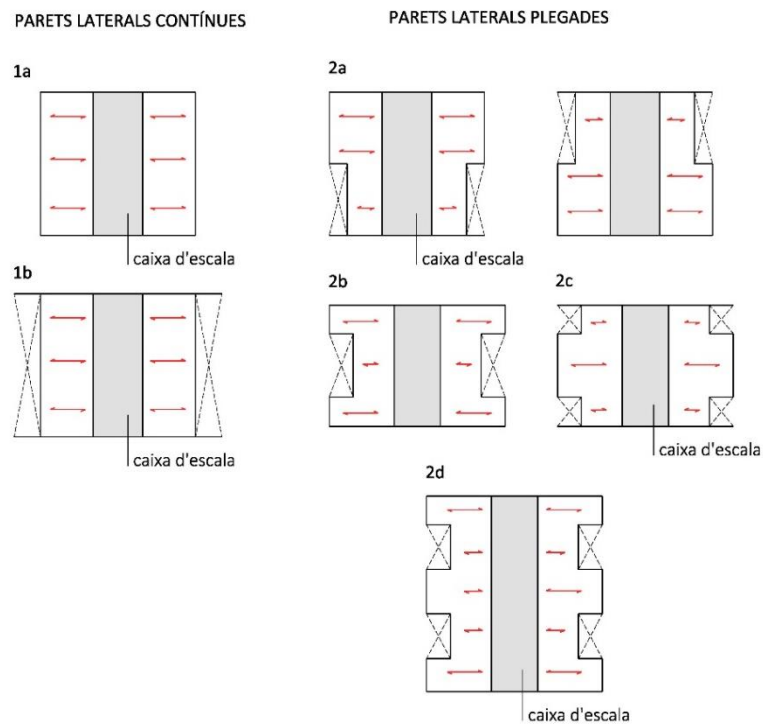


Figura 39: Diferents tipus de cos central

A partir d'aquesta primera distinció, els subtipus dins de cada tipus queden definits per les obertures dels murs laterals (veure apartats 5.2.1.2.1 i 5.2.1.2.2).

Per a cada un dels tipus s'ha distingit tres possibles condicions de contorn del cos central dependent del tipus d'unions que es donen amb la resta de la planta. S'han designat com a 0, 1 o 2 en funció del nombre de murs existents que tanquin el cos central (M3 i M4) i que l'uneixin amb les mitgeres (Figura 40). En els casos "0" els murs M3 i M4 han estat substituïts per jàsseres que adopten la funció de recolzament de les crugies perpendiculars a façana però no contribueixen a la rigidesa global del conjunt, en els casos "1" només ho està un dels dos murs. Sovint, sota la jàssera es troba un envà de 5cm que separa estances però inicialment no té funció estructural.

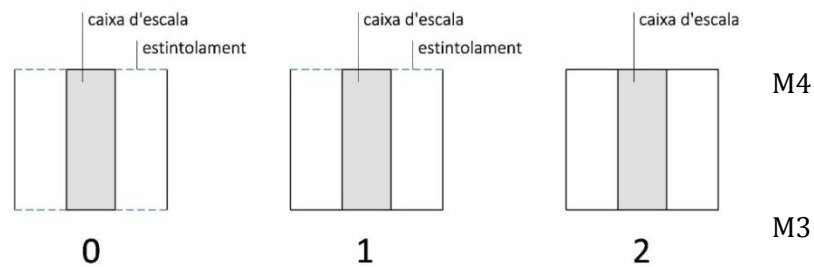


Figura 40: Tres graus d'unió del cos central

En el cas dels edificis de parcel·la estreta on la caixa d'escala es troba adossada a una mitgera el cos central només disposa d'una crugia contigua a la caixa d'escala (Figura 41). S'ha optat per fer servir la mateixa nomenclatura dels tipus que en els casos on l'escala es troba en posició central ja que la ubicació lateral de l'escala no té implicacions significatives de cara al comportament enfront les accions verticals que es consideren en la present tesi.



Figura 41: Modificació de la tipologia amb escala lateral

#### 5.2.1.2.1 Tipus 1

Com s'ha descrit anteriorment, aquest tipus es caracteritza per la continuïtat de les parets laterals. A més, els cossos centrals de tipus 1 tenen la particularitat que tots els seus murs tenen funció portant, ja sigui per recollir l'embigat de les cruïes que venen perpendiculars a façana (murs M3 i M4), com els murs de la caixa d'escala o els murs laterals o mitgers que recullen les cruïes un cop girat el sentit de càrrega. Depenent de l'amplada de l'edifici aquests murs coincideixen amb la paret mitgera (subtipus 1a), o bé se separen de la línia de parcel·la donant lloc a llargs patis laterals (subtipus 1b) (Figura 39).

La diferència entre els dos subtipus rau en l'existència o no d'obertures en els murs laterals paral·lels a la caixa d'escala: en el subtipus 1a no existeixen obertures en els murs

laterals ja que són els murs mitgers, en canvi, en el subtipus 1b el mur lateral està perforat per les finestres d'habitacions, bany i/o cuina que donen al pati lateral i que, tot i tenir en un origen les característiques habituals de les obertures en murs d'aquesta època, han estat objecte de múltiples modificacions al llarg del temps per causa de les reformes interiors que s'hi ha dut a terme. Igualment, la pertinença a un subtipus o un altre té implicacions en les obertures dels murs M3 i M4 (Figura 42), en el cas de no trobar-se estintolats.

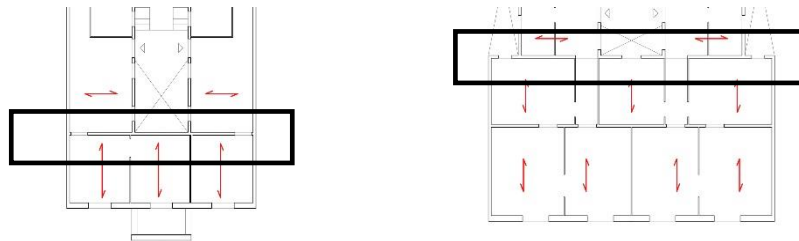


Figura 42: Afectació de les obertures en els murs M3 i M4 en funció del subtipus de cos central 1a o 1b (Calàbria 75, Bruc 154-156, respectivament)

En la Figura 43 es mostren les diferents variants dels subtipus 1a i 1b i la nomenclatura que s'ha seguit tant per a les crugies com per al paràmetre "d" que mesura l'esveltesa horitzontal dels murs laterals.

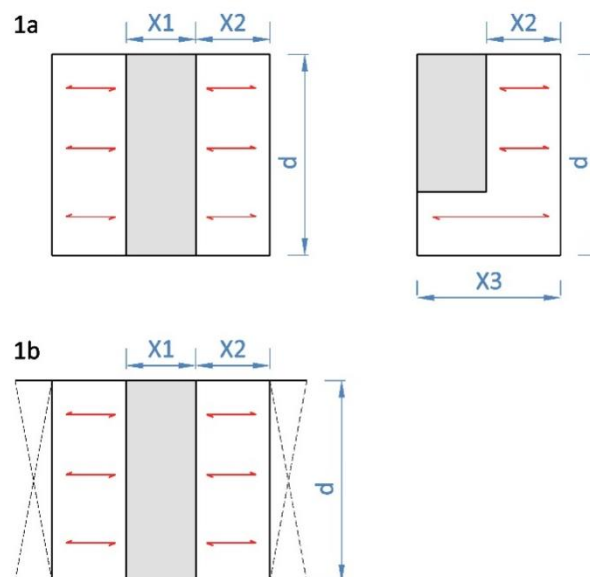


Figura 43: Nomenclatura crugies i paràmetres estudiats per al tipus 1 de cos central

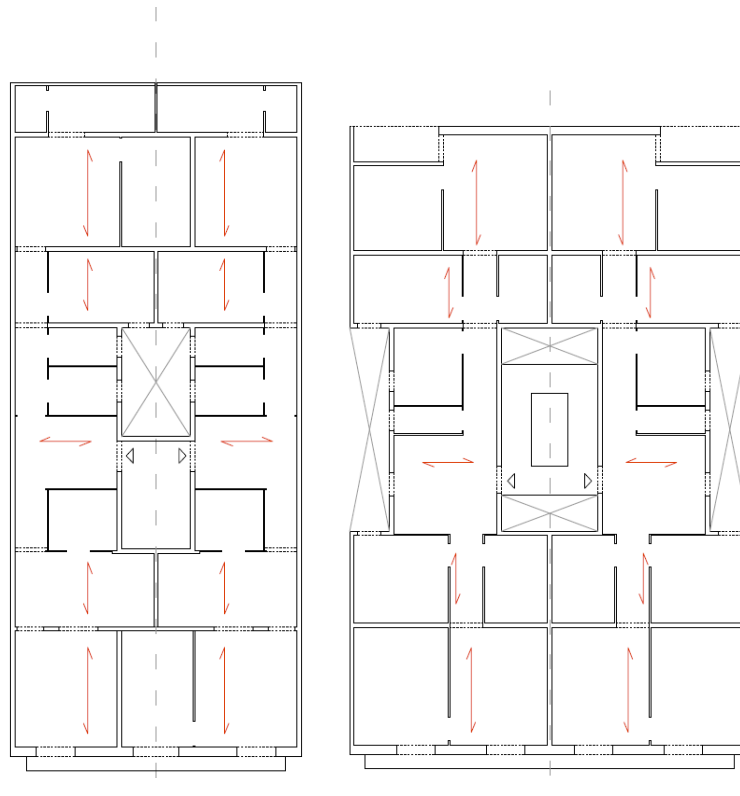


Figura 44: Edificis amb cos central tipus 1a<sup>32</sup> (esquerra) i tipus 1b<sup>33</sup> (dreta)

Aquelles variants dels subtipus no incloses en els subtipus 1a i 1b són minoritàries (veure apartat 5.3.1.3.2) i es poden trobar grafiades a l'annex V.

#### 5.2.1.2.2 Tipus 2

Com s'ha descrit anteriorment aquest tipus es caracteritza perquè els murs oposats a la caixa d'escapes presenten *plecs que donen lloc als patis de mitgera*.

Depenent de la longitud de l'edifici els murs laterals és plegaran més o menys vegades per tal de formar tants patis mitgers com requereixi la distribució funcional de la planta. D'aquestes diferències neixen els diversos subtipus del tipus 2 de cos central (Figura 45).

<sup>32</sup> Diputació 139

<sup>33</sup> Mallorca, 132



PARETS LATERALS PLEGADES

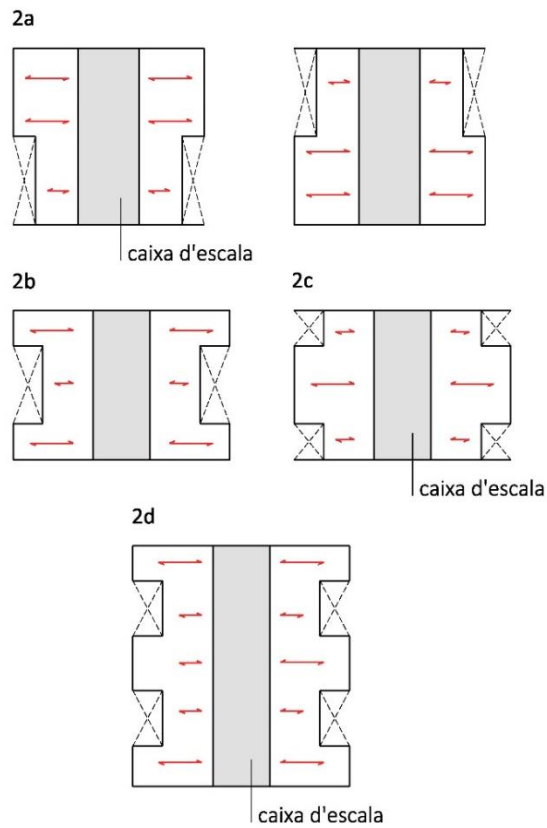


Figura 45: Subtipus de cos central tipus 2

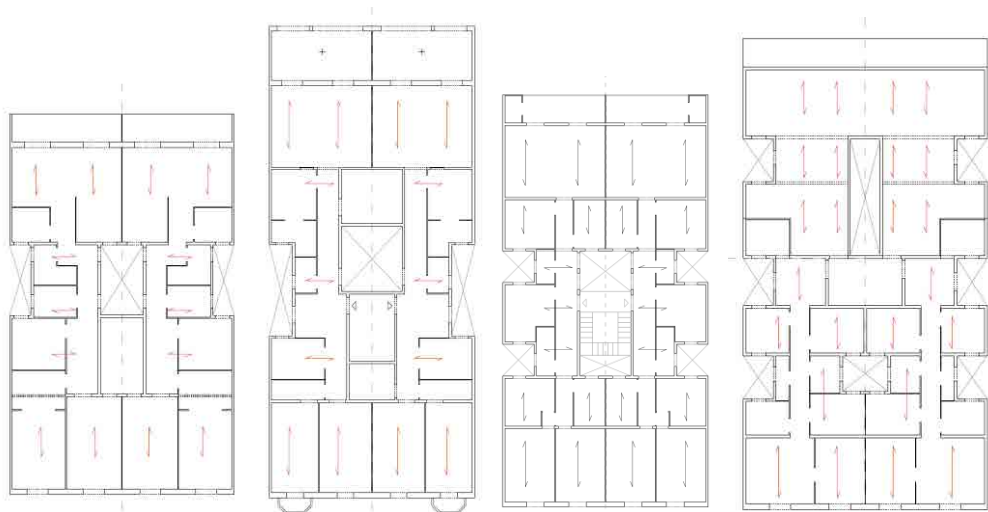


Figura 46: D'esquerra a dreta, edificis amb tipus de cos central 2a<sup>34</sup>, 2b<sup>35</sup>, 2c<sup>36</sup> i 2d<sup>37</sup>.

<sup>34</sup> Passeig de Sant Joan, 54

<sup>35</sup> Gran Via de les C.C., 494

A diferència del tipus 1, els cossos centrals de tipus 2 es caracteritzen perquè existeixen murs de 15 centímetres que no tenen funció portant. És remarcable el fet que en tota la mostra estudiada, per tant, en els 43 edificis de tipus 2, és a dir, de la globalitat de la mostra dels 136 edificis no s'ha trobat cap mur que tingués una funció exclusivament de travada o de "tancament de caixa" sinó que els murs presenten un gruix de 15 cm per tal d'acomplir la funció de tancament dels patis. És precisament en aquests trams de mur "plegat" que no suporten bigam on és habitual trobar les finestres de les diferents habitacions i/o cuines i banys que ventilen a través dels patis laterals.

En la Figura 47 es mostren les diferents variants dels subtipus 2a, 2b, 2c i 2d i la nomenclatura que s'ha seguit tant per a les crugies com per als paràmetre "d", "e" i "f" que mesuren l'esveltesa horitzontal dels murs laterals.

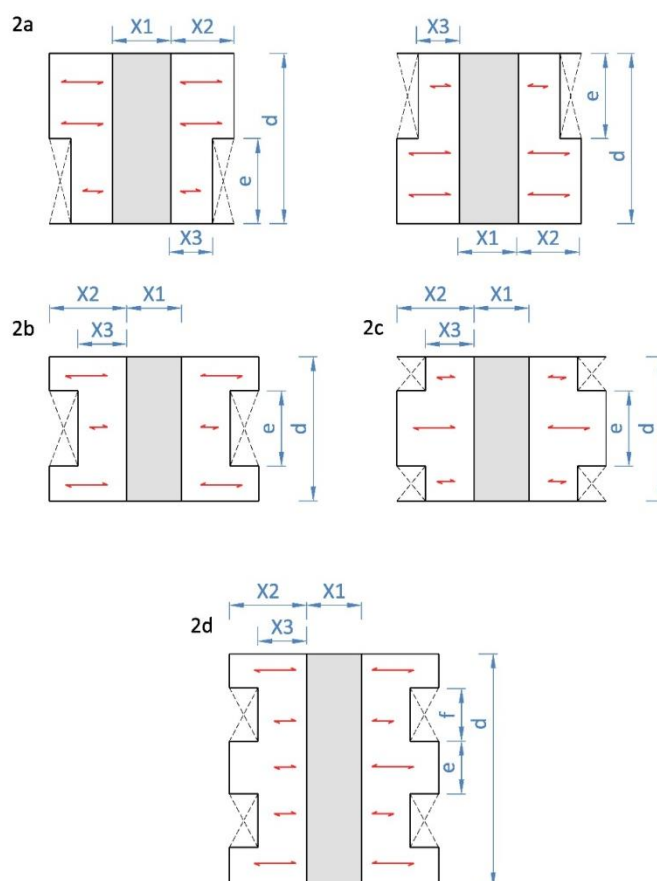


Figura 47: Nomenclatura dels diferents paràmetres de la configuració estructural i de les diverses crugies dels tipus de cos central 2 (2a, 2b, 2c i 2d)

- Subtipus 2a

<sup>36</sup> Casanova, 75

<sup>37</sup> Provença, 365

El subtipus 2a es caracteritza perquè les parets laterals tenen dos angles donant lloc a un mur en forma de Z. Aquesta geometria fa que dels tres segments que formen cada un dels murs laterals hi hagi un d'ells, el central que és el perpendicular a la mitgera, que sobre ell no s'hi recolza el sostre i que té com a única funció el tancament del pati que s'origina amb el plec.

En aquest subtipus es dona la particularitat de què en alguns casos<sup>38</sup> el pati mitger continua més enllà de l'àmbit que abasta el cos central. Llavors apareix una jàssera que recull la crugia Y1-Y3 o Y2-Y4 depenent si es tracta de la part davantera o posterior de l'edifici. La jàssera recolza sobre el mur del pati creant una càrrega puntual (Figura 48).

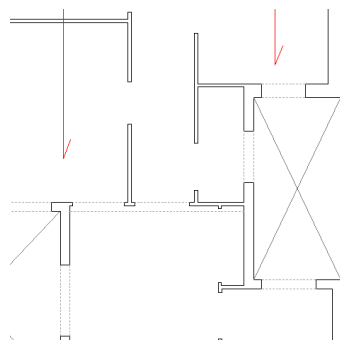


Figura 48: Jàssera recolzada sobre pati lateral

Només en un dels casos<sup>39</sup> estudiats s'han trobat jàsseres que recolzen en el vèrtex del pati i en el mur M3 o M4 tot escurçant la llum que han de salvar les biguetes de la crugia X2 (Figura 49).

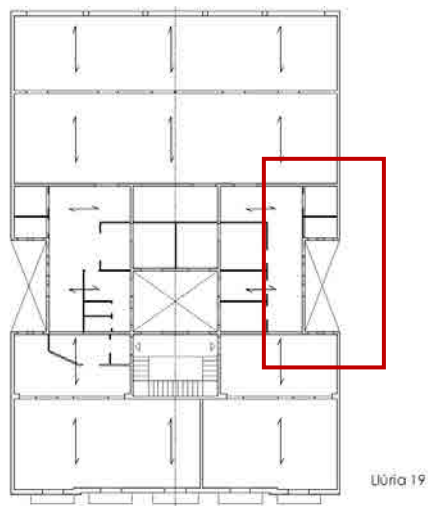


Figura 49: Jàssera Llúria 19

<sup>38</sup> Bruc 3, Consell de Cent 362, Consell de Cent 364, Diputació 164 i Rocafort 78bis

<sup>39</sup> Llúria 19

En el cas particular d'aquest subtipus 2a i, pel que fa a l'estudi de les condicions d'unió i atesa la asimetria del subtipus, s'ha diferenciat entre les condicions d'unió 1a, on el estintolat correspon al del costat curt, i la 1b on el mur estintolat correspon al de costat més llarg (veure Figura 50).

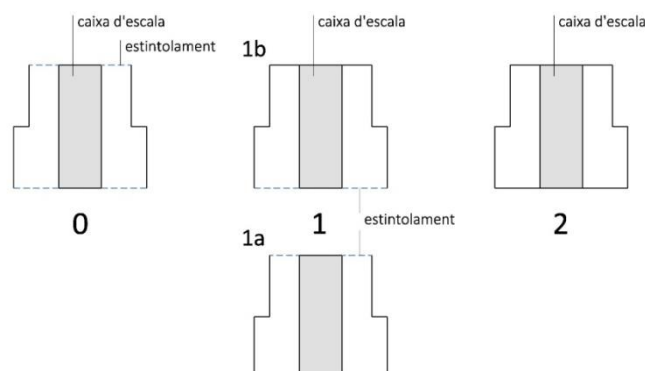


Figura 50: Condicions particulars d'unió dels cossos centrals de tipus 2a

- Subtipus 2b i 2c

Els subtipus 2b i 2c es caracteritzen perquè les parts laterals tenen quatre angles donant lloc a un mur en forma de  $\Omega$ . Aquesta geometria fa que dels cinc segments que formen cada un dels murs laterals hi hagi dos d'ells, que sobre ell no s'hi recolza el sostre i que tenen com a única funció el tancament dels patis que s'originen amb el plec. La diferència entre els subtipus 2b i 2c rau en la concavitat o convexitat d'aquest mur lateral.

De la mostra total, 15 edificis pertanyen al tipus 2b i 4 al 2c<sup>40</sup>. Com a particularitats, només en un cas del tipus 2b s'ha observat l'aparició de jàsseres que recolzen la crugia X2 quan la distància a salvar entre la caixa d'escala i la paret mitgera es fa massa gran<sup>41</sup> (Figura 51).

<sup>40</sup> Tant per a l'estudi del tipus 1b com del tipus 2c s'han exclòs els edificis de Floridablanca 99 i 101 que són un cas excepcional mixt de tots dos, les dades dels quals es troben a l'annex V

<sup>41</sup> Entença 133

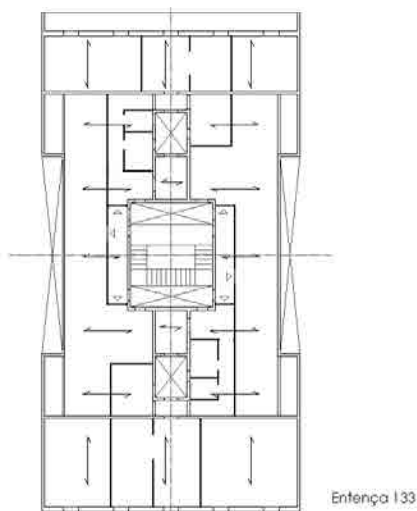


Figura 51: Jàssera que escurça la llum de la crugia x2

- Subtipus 2d

El subtipus 2d es caracteritza perquè els murs tenen vuit angles donant lloc a un mur en forma de doble  $\Omega$  i a dos patis de mitgera. Al igual que en els tipus anteriors, aquells trams de mur que són perpendiculars a mitgera no són portants, són únicament de tancament.

### 5.2.1.3 Nuclis caixa d'escaleres

La caixa d'escala és un element estructural i funcional sempre present. Per al seu estudi s'ha utilitzat la totalitat de la mostra dels edificis (175 edificis).

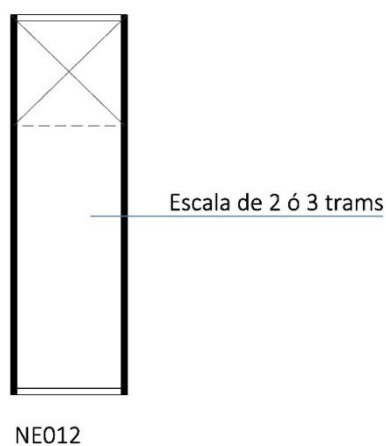
Els murs que constitueixen la caixa d'escala tenen tota l'altura de l'edifici, i són d'obra de fàbrica, en la seva totalitat, tot i que en planta baixa podem trobar murs de pedra o mixts. Els murs de planta baixa tenen una amplada de 30cm i en ells hi apareixen pilastres a les cantonades i quan hi ha encontres amb murs perpendiculars. Per permetre l'accés a l'escala, un dels quatre murs està estintolat en planta baixa. A les plantes superiors els murs s'aprimen fins als 15cm de gruix.

En l'àmbit de la caixa d'escala s'han tingut en compte el conjunt dels que configuren els patis centrals i que suporten les voltes de l'escala.

Els criteris per classificar tipològicament la caixa d'escala (Figura 53) han estat els següents:

- Existència o no d'un o diversos murs transversals que servessin per donar travada al conjunt del nucli d'escals. D'aquí apareixen tres tipus principals que es corresponen a no tenir cap mur central transversal, a tenir-ne un i, menys freqüentment, a tenir-ne dos.
- Nombre de patis existents en la caixa d'escala. L'aparició de patis fa que la caixa d'escala s'allargui, fent que els murs longitudinals augmentin la seva esveltesa horitzontal, sobretot si no tenen cap unió amb cap mur transversal.
- Condicions de càrrega dels murs existents en el nucli d'escala. Els subtipus es classifiquen en 0, 1, 2, 3 o 4 en funció del nombre de murs perimetrals de la caixa d'escala que reben càrrega de les biguetes.

La nomenclatura dels diferents tipus de caixa d'escals s'estableix segons aquests paràmetres i s'indica tal com mostra la Figura 52.



Exemple:

Tipus: **NE012**

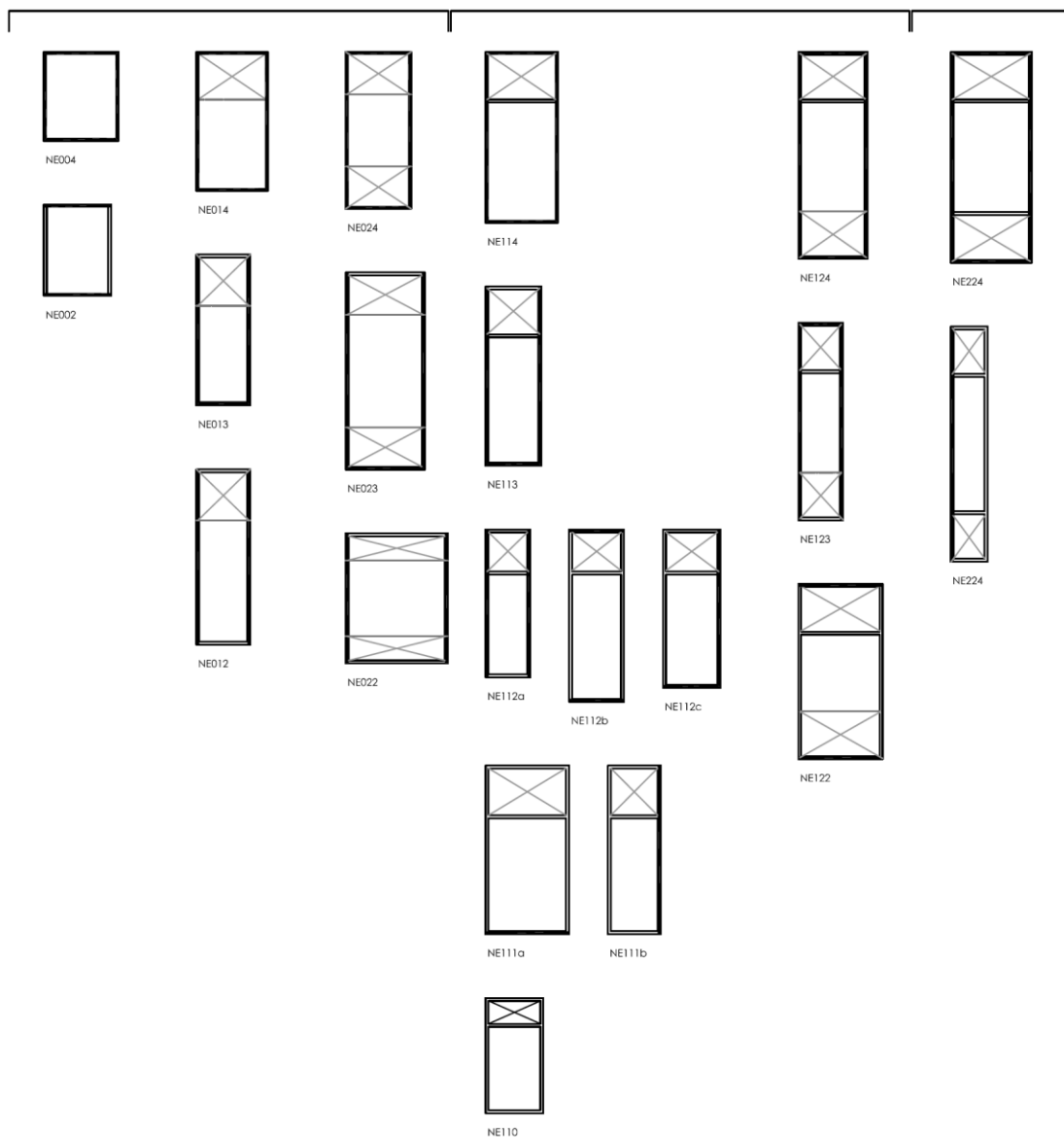
**NE:** Nucli d'escals

**0:** nombre de murs transversals interiors

**1:** nombre de patis

**2:** nombre de murs del perímetre que reben càrrega de les biguetes

Figura 52: Exemple de nomenclatura pels tipus de caixa d'escala



**Figura 53: Classificació tipològica de la caixa d'escalles**

Pel que fa a les obertures, cal remarcar que la presència de l'escala, de 2 o 3 trams, fa que els murs que reben la càrrega de les voltes d'escala no disposin d'obertures. La resta de murs del nucli d'escala són murs àmpliament perforats per les finestres de les diferents estances que donen al pati (Paricio Casademunt, 1998). Quan existeixen murs transversals en l'interior del perímetre de la caixa d'escala, en aquests apareixen obertures generoses en forma d'una gran finestra o dues de més estretes, ocupant gran part de l'amplada del mur.

Pel que fa al recolzament de les voltes d'escala, hi ha dos factors que el condicionen, per una banda, el nombre de trams de l'escala, per l'altra l'existència de murs o bé de patis en

els límits de l'escala. Els murs rebran les empentes horitzontals, tal com mostra la Figura 54. La gran majoria de les escales dels edificis de la mostra són de tres trams.

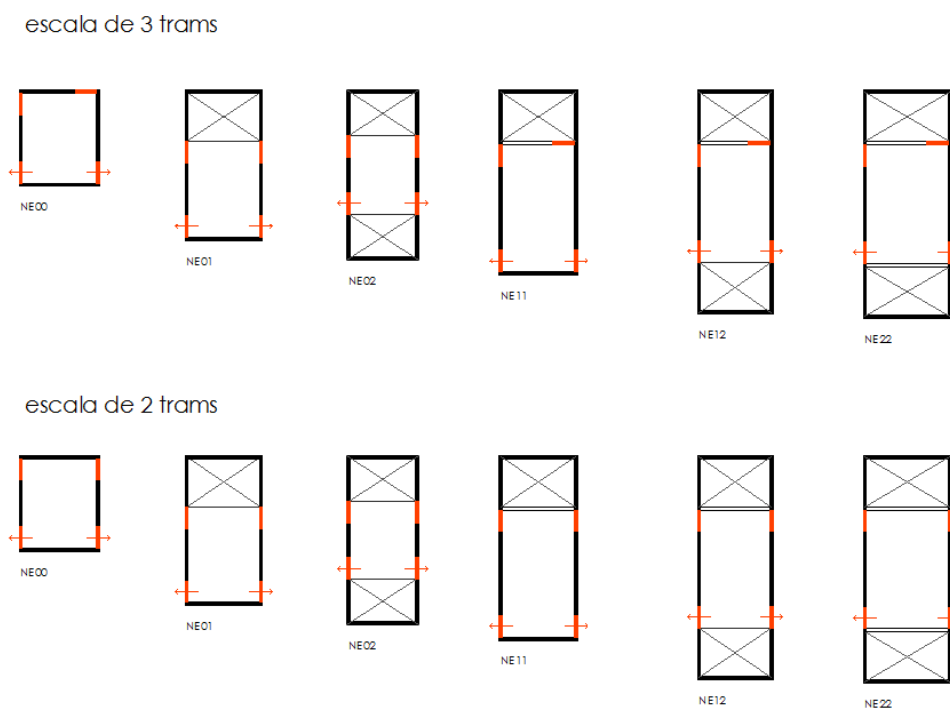


Figura 54: Empentes horitzontals de les voltes d'escala en funció dels tipus i els trams

### 5.2.2 Edificis en xamfrà

Sobre la classificació tipològica de l'edifici en xamfrà cal esmentar que presenta una gran variabilitat morfològica de les parcel·les on s'ubica corresponents a xamfrans "clàssics" i a altres amb parcel·les en cantonada amb geometries generades per interseccions de carrers que tallen la trama cerdà obliquament. Aquest fet provoca més variació a les possibles ubicacions de patis, escales i elements estructurals, i, per tant, suposa un increment de la complexitat en el procés de definició dels tipus en xamfrà.

Els paràmetres que han servit per a la classificació tipològica dels edificis en xamfrà provenen de la observació de la totalitat d'edificis que formen la mostra i de la posterior identificació d'unes característiques comunes possibles d'agrupar són els següents:

- La pertinença a una mansana regular o no, i la conseqüent afectació a la geometria de la planta. (tipus V1 i V2 vs. V3)
- La configuració morfològica de l'estructura de caixes que queda conformada pels murs de càrrega i altres elements estructurals. (tipus V1 vs. V2)



La classificació tipològica de l'edifici de l'Eixample en xamfrà queda reflectida en la Figura 55 i les característiques dels tipus i subtipus llistades a la Taula 7.

Quadre resum del conjunt de tipus i subtipus dels edificis en xamfrà

tipus	característiques del tipus	subtipus	característiques del subtipus
V1	Edificis construïts en parcel·les de xamfrà sencer o bé partit.	V1A	La distribució estructural és radial sustentant l'embigat en murs paral·lels a façana. Tot l'embigat en perpendicular a façana.
		V1B	La introducció de patis interiors organitza l'embigat de tal manera que unes crugies tenen embigat paral·lel a façana o a murs paral·lels a façana (solen ser les crugies anteriors) i altres crugies tenen l'embigat perpendicular als murs dels patis o de la caixa d'escala.
V2	Son els edificis construïts en parcel·les que tenen façana al xamfrà i als dos carrers que el formen. Considerem dues parts: la que és ortogonal als carrers, i la que correspon a l'espai restant triangular que és la que forma el xamfrà pròpiament dit. Segons les característiques d'una o d'una altra es deriva tota la combinatòria de casos possibles. La construcció que forma la "L" ortogonal als carrers variaran segons la profunditat edificada i l'amplada des del xamfrà fins al fons de la	V2A1	Està format per una part triangular, la que forma el xamfrà, amb una crugia d'embigat perpendicular a façana del xamfrà i una altra part en forma de L, els braços de la qual són perpendiculars als carrers, amb estructura segons els models dels edificis en banda, ens trobem amb patis adossats a mitgera, una crugia central amb embigat recolzat als murs dels patis i unes crugies anterior i posterior amb embigat perpendicular a façana.
		V2A2	Està format per una part triangular, la que forma el xamfrà, amb dues crugies d'embigat perpendicular a la façana del xamfrà i una altra part en forma de L, els braços de la qual són perpendiculars als carrers amb estructura segons els models dels edifici en banda, ens trobem amb patis adossats a mitgera, una crugia central amb embigat recolzat als murs dels patis i unes crugies anterior i posterior amb embigat perpendicular a façana.
		V2B1	Està format per una part triangular, la que forma el xamfrà, amb una crugia d'embigat perpendicular a la façana del xamfrà i una altra part en forma de L, els braços de la qual són perpendiculars als carrers, i presenten la seva estructura segons els models dels edificis en banda, aquí no trobem amb patis de mitgera i tot l'embigat és paral·lel a façana.
		V2B2	Està format per una part triangular, la que forma el xamfrà, amb dues crugies d'embigat perpendicular a la façana del xamfrà i una altra part en forma de L, els braços de la qual són perpendiculars als carrers, i presenten la seva estructura segons els models dels edificis en banda, aquí no trobem amb patis de mitgera i tot l'embigat és paral·lel a façana.

	<p>parcel·la, en canvi, els tipus que formen el xamfrà variaran, incloent una o dues crugies, segons la col·locació a més o menys fondària de la caixa d'escaleres o els patis centrals.</p>	V2AB1	<p>Està format per una part triangular, la que forma el xamfrà, amb una crugia d'embigat perpendicular a la façana del xamfrà i una altra part en forma de L, els braços de la qual són perpendiculars als carrers, amb estructura segons els models dels edificis en banda, aquí no trobem amb patis de mitgera i tot l'embigat és paral·lel a façana.</p>
		V2AB2	<p>Està format per una part triangular, la que forma el xamfrà, amb dues crugies d'embigat perpendicular a la façana del xamfrà i una altra part en forma de L, els braços de la qual són perpendiculars als carrers, amb estructura segons els models dels edificis en banda, amb patis de mitgera els embigats són perpendiculars a façana en les crugies anteriors i perpendiculars a mitgera en les crugies interiors</p>
V3	<p>Son els edificis construïts en parcel·les de cantonades que no presenten el xamfrà característic de la trama Cerdà, es tracta, generalment, d'aquelles parcel·les corresponent a carrers que tallen la quadrícula de l'Eixample segons alineacions no ortogonals.</p>	V3	<p>La distribució en planta dels elements estructurals prové de la distorsió d'una planta rectangular habitual per arribar a una solució estructural i d'habitabilitat convenient.</p>

Taula 7: Tipus i subtipus de la classificació tipològica d'edificis en xamfrà

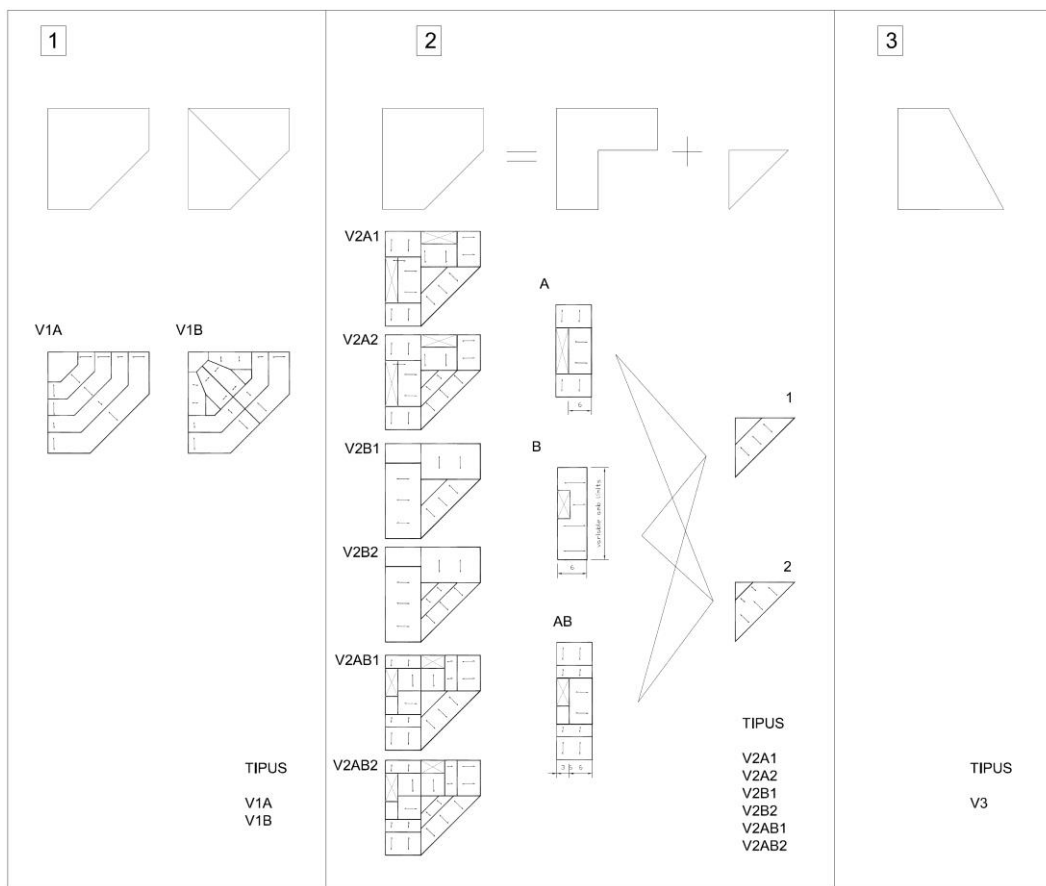


Figura 55: Quadre resum dels tipus en xamfrà

5.2.2.1.1 Tipus en ventall: V1

El tipus V1 es dóna en parcel·les de xamfrà sencer o bé partit i es correspon a aquelles solucions específicament dissenyades per la forma aixamfranada de la parcel·la.



Figura 56: Tipus V1A<sup>42</sup> Tipus V1B<sup>43</sup>

<sup>42</sup> Diagonal, 105

Es distingeixen dos subtipus, el subtipus V1A i el V1B. En el primer d'ells, el sentit de l'embigat es manté perpendicular a la façana en tota la planta, existint un seguit de murs paral·lels a façana en tot el gir de la cantonada, els murs no s'uneixen entre ells amb cap element de l'estructura vertical tret de les parets mitgeres i la caixa d'escala que ho fa puntualment. El segon subtipus, el V1B, l'embigat canvia de sentit amb l'aparició dels patis interiors, i és propi del cas dels edificis construïts en parcel·les de xamfrà partit.

#### 5.2.2.1.2 Tipus en macla: V2

El tipus V2 presenta diverses variacions. Els edificis que pertanyen a aquest tipus poden ser els construïts en parcel·les no simètriques i els construïts en parcel·les que abasten un tram de carrer suficient com per considerar la introducció de trets morfològics característics dels tipus edificatoris propis de la construcció de parcel·les situades en banda.

En aquest tipus es consideren dues parts: la que és ortogonal als carrers, i la que correspon a l'espai restant, aquesta és triangular i és la que forma el xamfrà pròpiament dit. Segons les característiques d'una o d'una altra es deriva tota la combinatòria de casos possibles. La construcció que forma la "L" ortogonal als carrers (veure Figura 55) variarà segons la profunditat edificada i l'amplada des del xamfrà fins al fons de la parcel·la, en canvi, els tipus que formen el xamfrà variaran, incloent una o dues crugies, segons la col·locació a més o menys fondària de la caixa d'escala o els patis centrals.

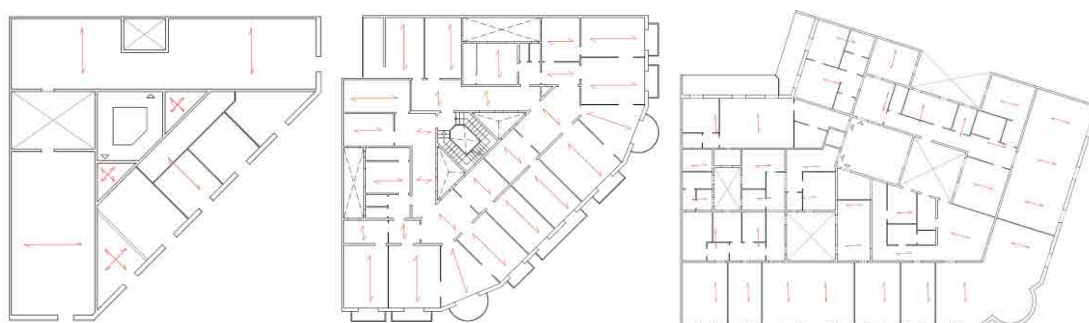


Figura 57:

Tipus V2B1<sup>44</sup>

Tipus V2B2<sup>45</sup>

Tipus V2AB2<sup>46</sup>

#### 5.2.2.1.3 Tipus de xamfrà de geometria variada: V3

El tipus V3 apareix sobretot en geometries que no corresponen a la parcel·lació habitual de xamfrà. La distribució en planta dels elements estructurals prové de la distorsió d'una

<sup>43</sup> Consell de Cent, 233

<sup>44</sup> Comte Borrell, 61

<sup>45</sup> Llúria, 82

<sup>46</sup> Ronda Universitat, 17

planta rectangular habitual per arribar a una solució estructural i d'habitabilitat convenient.

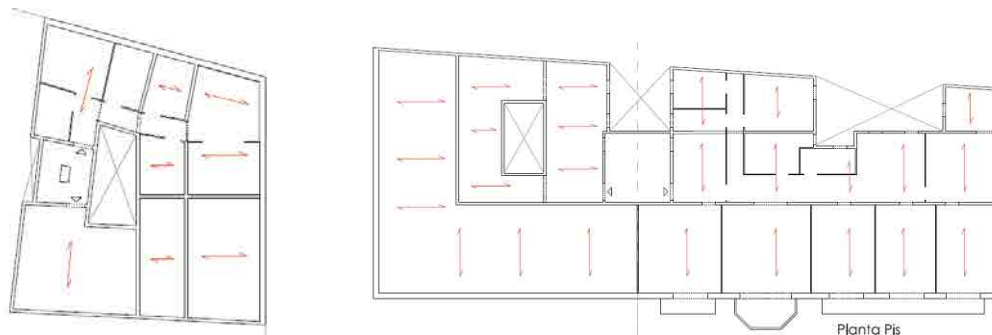


Figura 58: Tipus V3<sup>47</sup> Tipus V3<sup>48</sup>

### 5.2.2.2 Nuclis caixa d'escaleres

Si s'observa els nuclis d'escala dels edificis en xamfrà s'observa que aquests prenen morfologies triangulars, pentagonals i rectangulars. En el cas de tractar-se de nuclis d'escala rectangulars, s'ha fet servir la nomenclatura descrita per al cas dels edificis en banda (veure apartat 5.2.1.3). Quan la geometria de la caixa d'escala en els edificis en xamfrà és assimilable a una de rectangular - pel que fa a nombre de patis i condicions de càrrega -, però pel que fa a la travada hi ha petites diferències per l'aparició de nous vèrtexs s'ha fet servir la mateixa nomenclatura amb una "v" final (Figura 59). En el cas de correspondre a una geometria irregular triangular el tipus s'ha designat com a "v" i en el cas de correspondre a una geometria ortogonal i irregular no assimilable a cap dels tipus anteriors s'ha designat "x" (veure classificació annex V).

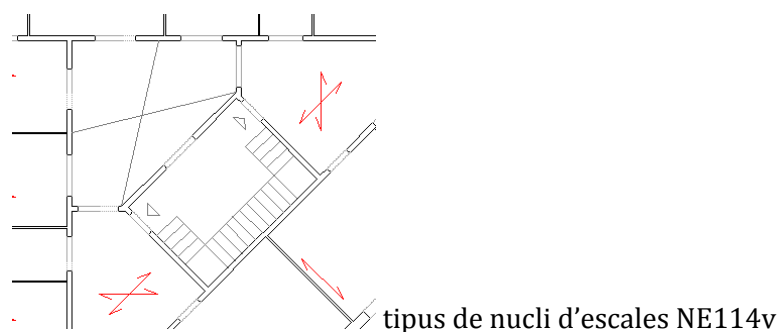


Figura 59: Exemple de caixa d'escala d'un edifici en xamfrà<sup>49</sup>

<sup>47</sup> Calàbria, 183

<sup>48</sup> Pau Claris, 190

<sup>49</sup> Muntaner, 77

### 5.2.3 Les plantes baixes

La diferència principal que caracteritza les plantes baixes respecte les plantes superiors és l'habitual estintolament dels murs que es practica per tal d'obtenir espais diàfans en la mesura del possible. Els estintolaments es realitzen habitualment amb pilars de fosa i jàsseres metàl·liques (encara que també existeixen de fusta<sup>50</sup> en una primera època). Les unions entre els elements estintoladors són de caràcter isostàtic. L'element que sempre es manté sense estintolar, però, és l'accés a la caixa d'escapes construït a base de murs d'obra de fàbrica de maó o pedra. Una altra característica habitual és l'existència de pilastres en els murs que recullen les jàsseres (Paricio Casademunt, 1998) (Paricio Casademunt, 2001).

Per a l'estudi de les plantes baixes s'han triat una sèrie d'elements constructius que defineixen el seu esquema estructural i s'ha comprovat si hi són presents en cada un dels edificis de la mostra (veure llistat a l'annex V), són:

- Pilastres
- Murs sense estintolar que arriben fins a planta baixa (diferents dels de la caixa d'escapes) i jàsseres que estintolen murs
- Murs de patis sense estintolar que arriben fins a planta baixa
- Pilars de fosa

A partir de l'estudi de les combinacions de l'existència dels elements anteriors, es poden deduir aquells esquemes estructurals més habituals.

#### 5.2.3.1 Elements estructurals de les plantes baixes

Per a tal de tipificar les plantes baixes de la mostra: es descriuen a continuació les principals característiques dels elements estructurals.

- **Pilastres:** Les pilastres adossades als murs que arriben a planta baixa tenen la funció constructiva de recolzar les jàsseres metàl·liques que estintolen els murs de les plantes superiors. Es troben adossades a les parets mitgeres i als murs de la caixa d'escala i constituïdes del mateix material que aquests. A més de la funció de recolzament, l'existència de pilastres aporta estabilitat als murs, reduint-ne la seva esveltesa horitzontal.

---

<sup>50</sup> Dins la mostra l'edifici situat a Comte Borrell 61



Figura 60: Pilastra de mur de vestíbul que recolza jàssera metàl·lica superior

- **Murs sense estintolar que arriben fins a planta baixa (diferents dels de la caixa d'escals):** En aquesta categoria s'inclouen tots els murs de càrrega que no estan estintolats<sup>51</sup> i que arriben a planta baixa com a tals. Quan s'estintolen, queden recolzats sobre jàsseres, tal i com es descriu en l'apartat 5.2.3.1. Les obertures que presenten els murs que arriben a planta baixa són portes que comuniquen els diferents àmbits. La fonamentació dels murs en general es sol resoldre amb fonamentació contínua superficial.



Figura 61: Murs que arriben a planta baixa en un edifici en xamfrà.

<sup>51</sup> Cal fer esment que és donen casos on l'estintolament de murs no és d'origen sinó que hagin estat fruit d'intervencions posteriors, en la present tesi es té en compte l'estat actual

- **Murs de patis sense estintolar que arriben fins a planta baixa:** S'han estudiat els estintolaments dels murs que formen els patis. D'aquests, n'hi ha de dos tipus els que s'inclouen dins del perímetre de la caixa d'escala i aquells que estan adossats als límits laterals de parcel·la.

Per a cada un dels edificis de la mostra s'ha verificat si els murs dels patis arriben a planta baixa o bé si es troben estintolats. Les condicions d'accessibilitat han dificultat l'observació dels patis centrals contigus a la caixa d'escala, ja que normalment aquesta zona de la planta pertany a la part no pública dels locals.

En canvi, en la majoria de locals on s'ha tingut accés s'ha pogut observar que els patis laterals es troben estintolats. Quan això succeeix, l'estintolament es produeix sobre una biga a mode de jou, recolzant-se a les bigues que estintolen els murs M3 i M4(Figura 62).

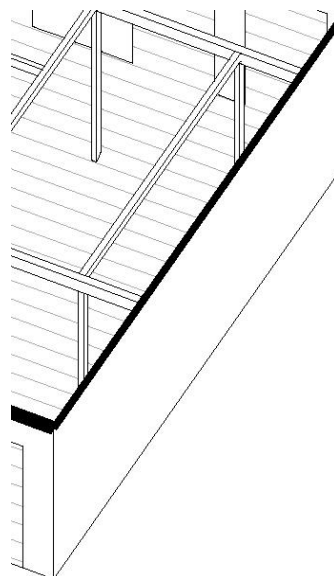


Figura 62: Biga a mode de jou que estintola el mur del pati mitger

- **Pilars de fosa:** Quan les jàsseres que estintolen els murs de les plantes superiors no recolzen en les pilastres dels murs, es disposen pilars de fosa en les plantes baixes per tal de recollir les càrregues. Així, es poden trobar pilars de fosa en la part posterior dels locals de les plantes baixes (en edificis estrets), quan els edificis són més amples els trobem en diverses situacions; en els edificis en xamfrà els trobem en situacions variades i en els estintolaments dels patis laterals. La fonamentació dels pilars de fosa es sol resoldre amb fonamentació superficial aïllada.



## 5.3 Anàlisi de les classificacions tipològiques

### 5.3.1 Edificis en banda

#### 5.3.1.1 Anàlisi de la freqüència dels edificis amb caixa d'escala central o lateral

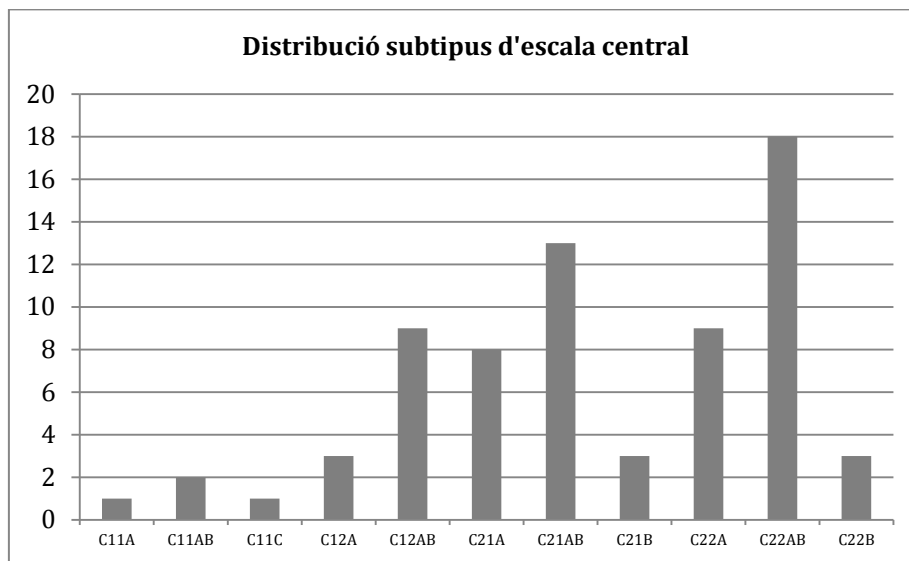
Dels 87 edificis en banda que conformaven la mostra que es va tenir en compte per a la classificació tipològica de la tesi de màster amb títol *Classificació i anàlisi tipològica dels edificis de l'Eixample construïts entre 1860 i 1936*, ens trobem amb:

- 70 edificis de tipus C (amb escala central), el 80,5%
- 17 edificis de tipus L (amb escala lateral), el 19,5%

Si s'observa la distribució per subtipus dels edificis situats en banda (Taula 8) es comprova que són més abundants aquelles configuracions estructurals on apareixen dues crugies perpendiculars a les façanes principal i posterior (tipus AB), seguides pels tipus amb una única crugia perpendicular a façanes (tipus A), a molta distància pel que fa a la incidència d'aquells tipus on no es canvia el sentit de càrrega (tipus B i C). Es pot afirmar que el tipus de planta més habitual en els edificis en banda de l'Eixample són les del tipus C22AB i C21AB, representant entre tots dos subtipus el 35,2% (Figura 63).

Tipus	Nombre d'edificis	Percentatge sobre el total	Percentatge sobre el total
C11A	1	1,1%	4,5%
C11AB	2	2,3%	
C11C	1	1,1%	
C12A	3	3,5%	13,8%
C12AB	9	10,3%	
C21A	8	9,2%	27,2%
C21AB	13	14,5%	
C21B	3	3,5%	
C22A	9	10,3%	34,5%
C22AB	18	20,7%	
C22B	3	3,5%	

Taula 8: tipus segons ubicació d'escala i freqüència



Taula 9: Distribució dels subtipus d'escala central

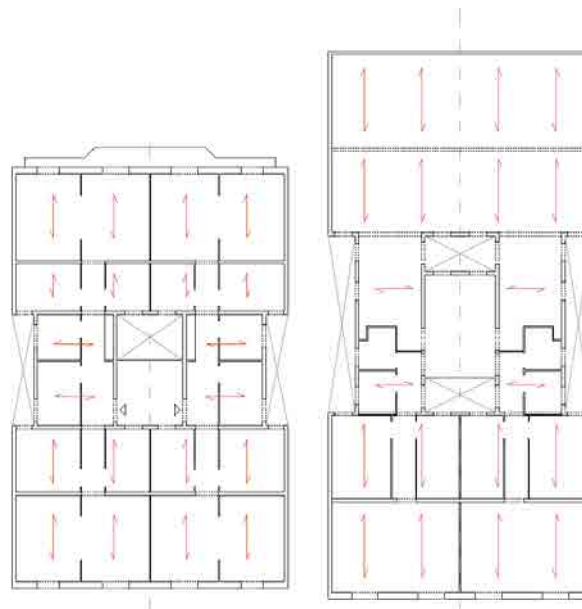


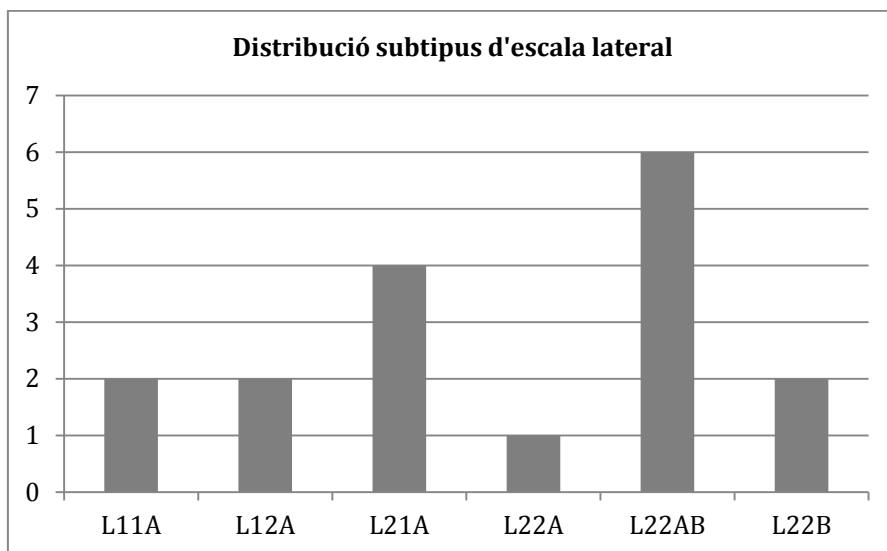
Figura 63: Plantes de tipus C21AB<sup>52</sup> i C22AB<sup>53</sup>

Pel que fa als tipus d'escala lateral s'observa que tot i tractar-se de parcel·les estretes on podria ser possible aprofitar les parets mitgeres com a elements de càrrega, els tipus més habituals són aquells en els que la façana és un element estructural (L21A, L22B i L22AB), amb especial abundància dels tipus L21A i L22AB) (Figura 64)

La ubicació dels diferents tipus i subtipus en el parcel·lari general es mostra a l'annex IV.

<sup>52</sup> Provença 186

<sup>53</sup> Diputació 424



Taula 10: Distribució dels subtipus d'escala lateral

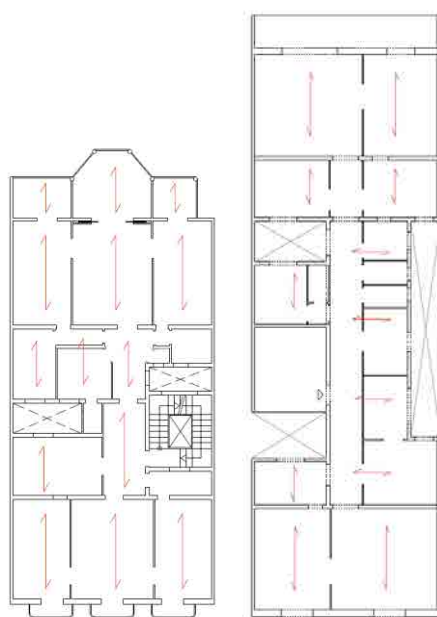


Figura 64: Planes de tipus L21A<sup>54</sup> i L22AB<sup>55</sup>

<sup>54</sup> Llúria 84

<sup>55</sup> Diagonal 349

### 5.3.1.2 Anàlisi de la relació dels tipus en funció de la ubicació de la caixa d'escaleres i les dimensions de parcel·la

Com s'ha esmentat anteriorment, es pot relacionar el tipus edificatori amb les mides de la planta de l'edifici, és a dir, amb l'amplada de parcel·la i la fondària edificada. S'ha optat per representar cada un dels edificis de la mostra situada en banda, ara ja classificats per tipus, en uns eixos de coordenades.

En els quadres de la Figura 65 i Figura 66 es representen per separat els edificis corresponents als tipus d'escala central (tipus C) i aquells corresponents als tipus d'escala lateral (tipus L) representant amb un pictograma circular cada un dels edificis de la mostra. La llegenda de colors indica la pertinença un tipus determinat. Les línies als eixos en color vermell indiquen edificis anteriors a 1890 quan es fixava un percentatge de la parcel·la a ocupar, i en color gris aquells edificis posteriors a 1890, quan la dada fixada era la profunditat edificada.

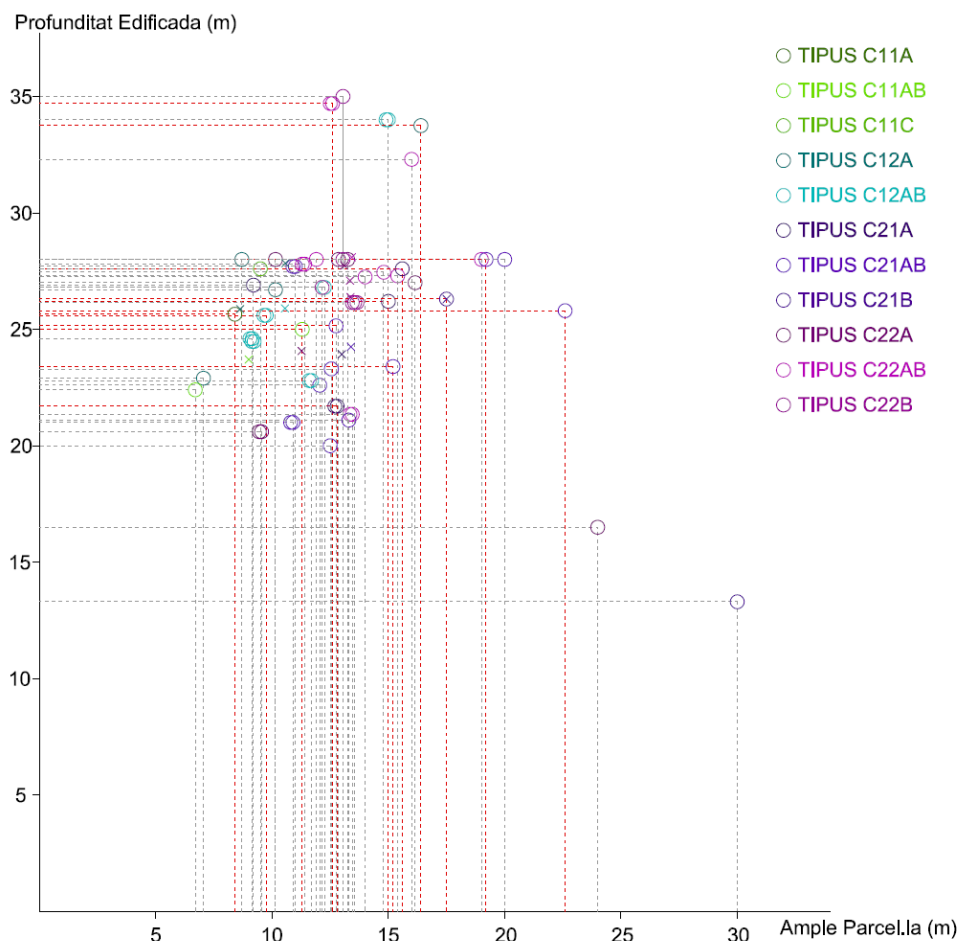


Figura 65: Representació en eixos de coordenades de les amplades i fondàries de les plantes dels edificis de tipus C (amb caixa d'escala central)

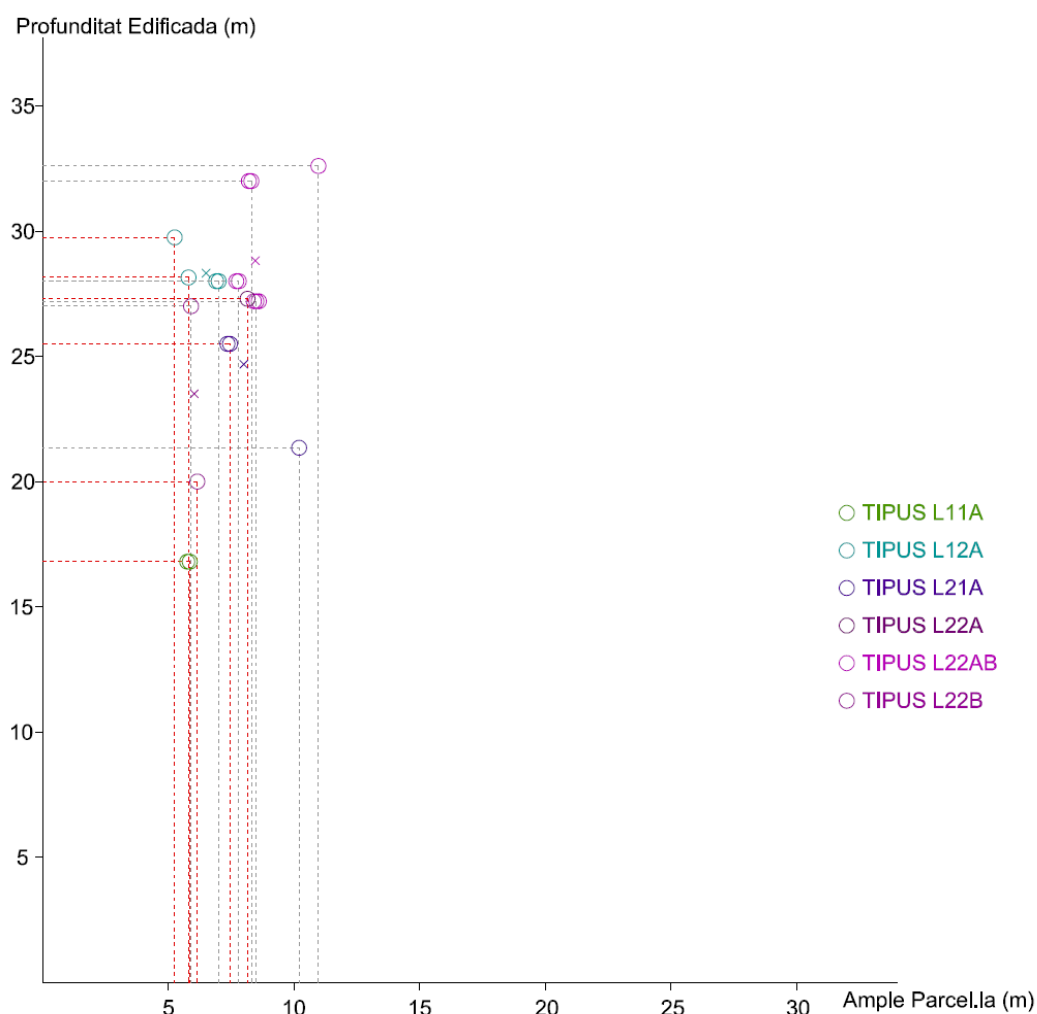


Figura 66: Representació en eixos de coordenades de les amplades i fondàries de les plantes dels edificis de tipus L(amb caixa d'escala lateral)

De les gràfiques anteriors es dedueix el següent:

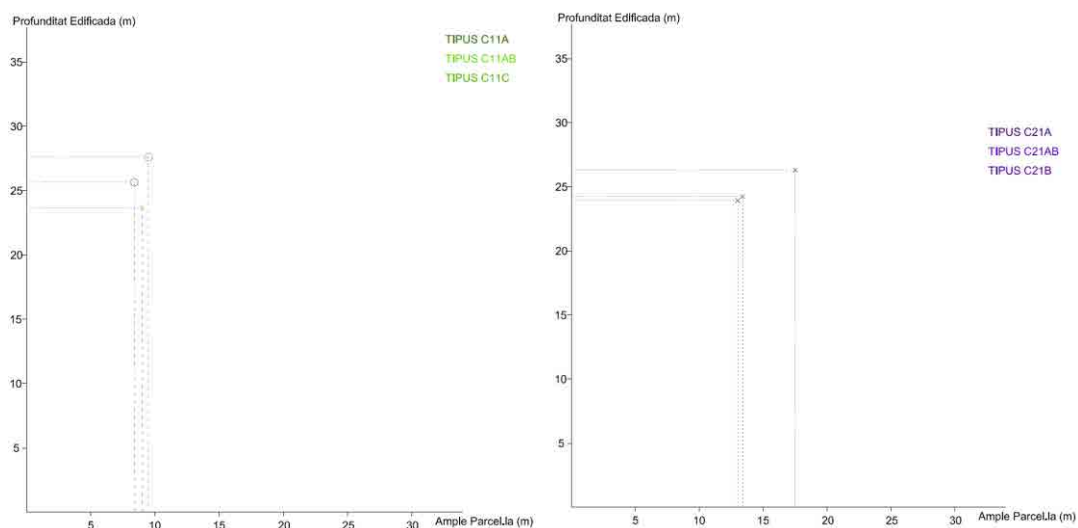
- Es confirma que els edificis de la mostra del tipus L corresponen a parcel·les estretes, tal i com s'observa en la concentració de punts de la Figura 66. Aquest fet és una conseqüència del disseny estructural del tipus i de la limitació de la mida de les biguetes.
- Els edificis de la mostra que pertanyen al tipus C presenten més variabilitat pel que fa referència a les mides de parcel·la. Aquest fet es pot observar en que els punts corresponents als edificis de la mostra del tipus C es troben més dispersos. Tot i això, apareix un rang dimensional més freqüent, amb abundància de parcel·les d'entre 8 i 18m d'amplada i profunditats edificades d'entre 21 i 28m.
- S'observa que les mides dels edificis anteriors a 1890 presenten més variabilitat que les posteriors a aquesta data. Les primeres ordenances de parcel·la

permetien una major dispersió de les mides i proporcions de l'edificació, al fixar un percentatge d'ocupació de la parcel·la. En canvi a partir de 1891, al fixar-se una profunditat edificable màxima, fet que es manté en les successives ordenances, el tipus arquitectònic es va definint i fixant progressivament.

De la mostra disponible per a cada tipus edificatori, s'han mesurat les mides d'amplada de façana i fondària de l'edifici, obtenint la mida mitjana per a cada un dels tipus i representant-la en els quadres de la Figura 67 i Figura 68 en forma de creu. Els quadres resultants es troben en l'annex IV.

En la Figura 67 es presenten els quadres resum de la mitjana de cada un dels tipus i subtipus d'escala central. S'observa com en els edificis de la mostra es confirmen les hipòtesis que es tenien sobre les mides de la planta dels edificis en relació amb el tipus: el tipus C11 és aquell que correspon a parcel·les més estretes i edificacions menys fondes, el tipus C21 augmenta sobre el tipus C11 en amplada, tot conservant la profunditat edificada. El tipus C12 augmenta la profunditat edificada respecte el C11 i el tipus C22 correspon al tipus destinat als edificis de més amplada i fondària. Destaca la concentració dels punts que corresponen a la mitjana de cada subtipus, sobretot pel que fa al tipus C22, fet que indica una homogeneïtat gran pel que fa als edificis d'aquest subtipus.

### Tipus C



### Tipus C11

### Tipus C21

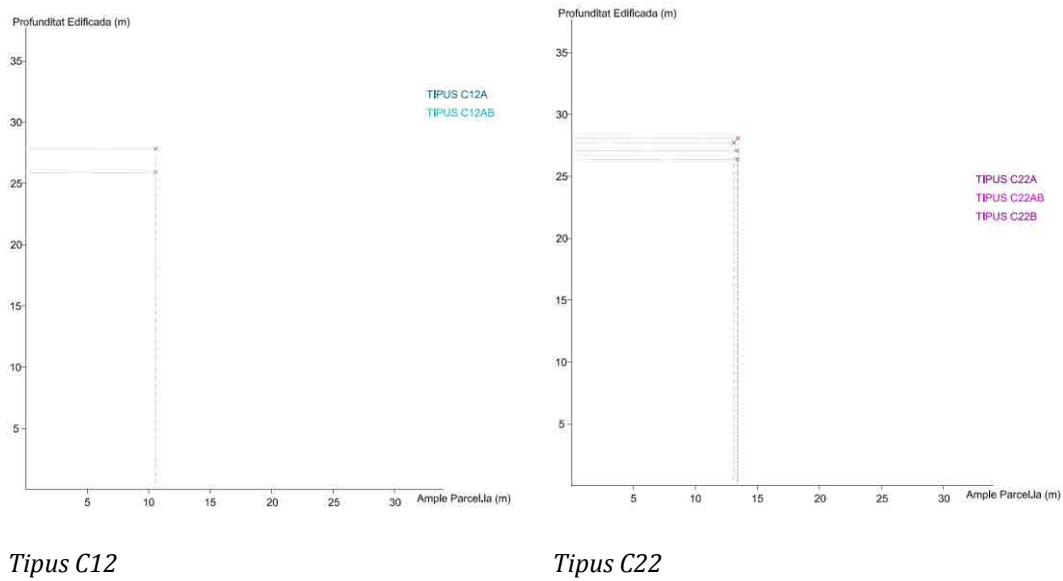


Figura 67: Mides promig de planta per als tipus i subtipus d'escala central (C)

En l'estudi de les mitjanes dels tipus L es confirma que aquest correspon a edificis estrets. També es confirma la hipòtesi ja avançada que, d'igual manera que els tipus d'escala central, la mitjana de L12 creix en profunditat respecte la seva variant més petita, la L11. I també que la mitjana de L22 creix en profunditat respecte la seva variant més petita, la L21 (veure Figura 68).

### Tipus L

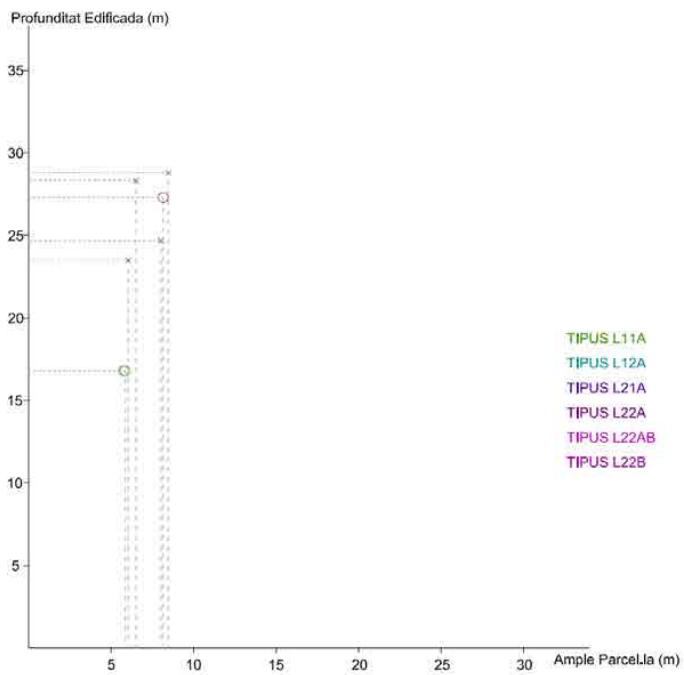


Figura 68: Mides promig de planta per als tipus i subtipus d'escala lateral (L)

### 5.3.1.3 Freqüència dels tipus

#### 5.3.1.3.1 Façana i murs paral·lels a façana .Crugies frontals i posteriors

A continuació es presenta el còmput de la presència de les crugies frontals i posteriors per als edificis situats en banda. En l'apartat 5.3.1.4 se'n fa una parametrització.

Globalment, dels 136 edificis estudiats en situació en banda resulta que:

- En el 90,4% dels casos (123 edificis) existeix la crugia Y1.
- En el 84,6% dels casos (115 edificis) existeix la crugia Y2.
- En el 64% dels casos (87 edificis) existeix la crugia Y3 i, per tant, el mur x5
- En el 58% dels casos (79 edificis) existeix la crugia Y4 i, per tant, el mur x6.

Dels percentatges anteriors se'n dedueix que:

- En el 90,4% dels casos la façana és un element portant
- En el 84,6% dels casos la façana posterior és un element portant
- Dels edificis on la façana és un element portant (123 edificis) en el 70,7% dels casos (87 edificis) apareix un tercer mur paral·lel a façana (mur x5)
- Dels edificis on la façana posterior és un element portant (115 edificis) en el 68,7% dels casos (79 edificis) apareix un tercer mur paral·lel a façana posterior (mur x6)

Per tant, es pot afirmar que en l'Eixample són majoritaris els edificis amb dues crugies perpendiculars a les façanes situades entre aquestes i el cos central que conté la caixa d'escalas i els patis.

#### 5.3.1.3.2 Tipus de cos central

Segons aquesta classificació, sobre el total d'edificis que disposen de cos central, que són el total d'edificis en banda (136) s'estableix el recompte següent referents als tipus, subtipus i condicions d'unió amb la resta de murs que formen el sistema estructural.



**FREQÜÈNCIA DELS TIPUS. Edificis amb cos central**

TIPUS COS CENTRAL	núm edificis	%	subtipus	núm edificis	%	núm edificis en funció de les condicions d'unió del cos central		
						2 murs	1 mur + jàssera	cap mur, 2 jàsseres
1	85	62,5	1a	43	50,6	24	7	12
			1b	42	49,4	15	12	15
2	43	31,6	2a	17	39,5	7	8	2
			2b	15	34,9	17	1	1
			2c	4	9,3			
			2d	7	16,3	7	0	0
edificis amb cos central mixt	2	1,5	<p>Del conjunt dels 128 edificis que componen els tipus 1 i 2 trobem que un 54,69% tenen murs (M3 i M4) als extrems del cos central</p>					
edificis sense cos central	3	2,2						
edificis sense classificació	3	2,2						

Taula 11: Freqüència dels tipus de cos central i condicions d'unió amb la resta de la planta

Pel que fa a les condicions de contorn i d'unió del cos central amb les crugies davanteres i posteriors:

- Subtipus 1a

De tots els casos estudiats de subtipus 1a (43) només en un d'ells s'ha observat que el sentit de les crugies continués perpendicular a façana, sense alterar-se en aquesta part central de la planta<sup>56</sup>.

S'ha estudiat les condicions d'unió dels cossos centrals de tipus 1a, resultant:

- 24 edificis (el 55,9%) disposen de murs en els dos extrems del cos central, murs M3 i M4
- 12 edificis (el 27,9%) no disposen de murs en els extrems del cos central, sinó que aquests han estat substituïts per jàsseres o dobles biguetes sobre envans.
- 7 edificis (el 16,2%) disposen d'un mur en un dels extrems del cos central i en l'altre extrem hi apareix una jàssera o doble bigueta que el substitueix.

En els tipus de cos central 1 en el cas que no existeixin els murs M3 i M4 els murs mitgers són totalment continus fins les façanes o fins els murs M5 i M6. En el cas d'existir, la distància mitjana entre murs perpendiculars a mitgera és de 15,6m

- Subtipus 1b

De tots els casos estudiats de subtipus 1b (42<sup>57</sup>), en dos d'ells s'ha observat que el sentit de les crugies continuava perpendicular a façana, sense alterar-se en aquesta part central de la planta<sup>58</sup>.

En aquest subtipus 1b, a l'igual que l'1a, també es dona el cas on la caixa d'escala i el pati interromp tot l'ample de la planta de l'edifici(2 casos<sup>59</sup>), en aquests. la mida  $d$  s'ha mesurat com en el cas anterior.

S'han estudiat les condicions d'unió dels cossos centrals de tipus 1b, d'aquests:

- 15 edificis (el 35,7%) disposen de murs en els dos extrems del cos central, murs M3 i M4

---

<sup>56</sup> Indústria, 7.

<sup>57</sup> Tant per a l'estudi del tipus 1b com del tipus 2c s'han exclòs els edificis de Floridablanca 99 i 101 que són un cas excepcional mixt de tots dos, les dades dels quals es troben a l'annex V

<sup>58</sup> Passeig de Gràcia 8-10 i Mallorca 291-293

<sup>59</sup> Enric Granados 107 i 109

- 15 edificis (el 35,7%) no disposen de murs en els extrems del cos central, sinó que aquests han estat substituïts per jàsseres o dobles biguetes sobre envans.
- 12 edificis (el 28,6%) disposen d'un mur en un dels extrems del cos central i en l'altre extrem hi apareix una jàssera o doble bigueta que el substitueix.

En aquest cas quan no existeix cap paret en els extrems, part de l'estabilitat ve donada per el plec que fa el mur de 15cm, que tanca el pati lateral que connecta el mur longitudinal del pati lateral amb el mur de mitgera.

- Subtipus 2a

S'han estudiat les condicions d'unió dels cossos centrals de tipus 2a (17 edificis), d'aquests:

- 7 edificis (el 41,2%) disposen de murs en els dos extrems del cos central, murs M3 i M4
- 8 edificis (el 47%) disposen d'un mur en un dels extrems del cos central i en l'altre extrem hi apareix una jàssera o doble bigueta que el substitueix. D'aquests 6 perden el seu costat més curt i 2 el més llarg
- 2 edificis (el 11,8%) no disposen de murs en els extrems del cos central, sinó que aquests han estat substituïts per jàsseres o dobles biguetes sobre envans

- Subtipus 2b i 2c

S'han estudiat les condicions d'unió dels cossos centrals dels tipus 2b i 2c (15 i 4 edificis respectivament), d'aquests:

- 17 edificis disposen de murs en els dos extrems del cos central, murs M3 i M4
- Només 1 edifici, del tipus 2b, disposa d'un mur en un dels extrems del cos central i en l'altre extrem hi apareix una jàssera o doble bigueta que el substitueix.
- Només 1 edifici, del tipus 2c, no disposa de murs d en els extrems del cos central.

- Subtipus 2d

De la mostra estudiada només 7 edificis tenen aquesta configuració de cos central i en tots els cassos existeix travada en els dos extrems amb murs perpendiculars.

## 5.3.1.3.3 Tipus de caixa d'escala

Dels 175 edificis que formen la mostra d'estudi, el recompte de tipus de les caixes d'escala és el que queda reflectit a la Taula 12.

<b>Quadre resum de la classificació de les caixes d'escala</b>					
<b>mostra de 175 edificis</b>					
	num	característiques de la caixa d'escala	núm	%	
<b>edificis banda</b>	<b>en</b>	<b>136</b>	<b>geometria variada</b>	<b>3</b>	<b>2,2</b>
			<b>sense cap mur intermig (NE0)</b>	<b>50</b>	<b>36,8</b>
			<b>amb un mur transversal (NE1)</b>	<b>79</b>	<b>58,1</b>
			<b>amb dos murs transversals (NE2)</b>	<b>4</b>	<b>2,9</b>
<b>edificis xamfrà</b>	<b>en</b>	<b>39</b>	<b>irregular triangular (NEv)</b>	<b>21</b>	<b>53,9</b>
			<b>rectangle modificat (Nexxxv)</b>	<b>8</b>	<b>20,5</b>
			<b>rectangles diversos</b>	<b>10</b>	<b>25,6</b>

Taula 12: freqüència dels tipus de caixa d'escala

Per tant, tot i que podem trobar-se caixes d'escala rectangulars en els edificis en xamfrà no és el més habitual.

A la Taula 13 es detalla la presència de cada un dels subtipus en els subtipus de caixa d'escala rectangulars, per a més informació consultar l'annex V:

<b>Tipus NE0</b>		<b>Tipus NE1</b>		<b>Tipus NE2</b>	
<b>Nom subtipus</b>	<b>Nombre edificis</b>	<b>Nom subtipus</b>	<b>Nombre edificis</b>	<b>Nom subtipus</b>	<b>Nombre edificis</b>
<b>NE002</b>	<b>2</b>	<b>NE110</b>	<b>6</b>	<b>NE221</b>	<b>1</b>
<b>NE004</b>	<b>5</b>	<b>NE111a</b>	<b>1</b>	<b>NE224</b>	<b>3</b>
<b>NE012</b>	<b>5</b>	<b>NE111b</b>	<b>3</b>	<b>NE224v</b>	<b>2</b>
<b>NE013</b>	<b>3</b>	<b>NE112a</b>	<b>2</b>		
<b>NE014</b>	<b>22</b>	<b>NE112b</b>	<b>4</b>		
<b>NE014v</b>	<b>1</b>	<b>NE112c</b>	<b>11</b>		
<b>NE022</b>	<b>1</b>	<b>NE113</b>	<b>7</b>		
<b>NE023</b>	<b>2</b>	<b>NE114</b>	<b>27</b>		
<b>NE024</b>	<b>15</b>	<b>NE114v</b>	<b>5</b>		
		<b>NE122</b>	<b>3</b>		
		<b>NE123</b>	<b>2</b>		
		<b>NE124</b>	<b>18</b>		

Taula 13: relació del nombre per tipus de caixa d'escala dins la mostra

De l'estudi i el recompte de les caixes d'escala dels edificis de la mostra se'n pot deduir el següent:

- S'observa que els tipus més abundants són aquells que reben l'embigat de forma lateral procedent de les crugies X2, en un 91% dels casos. Per tant, es confirma la utilització de la caixa d'escala per a recolzament de les crugies del cos central.

- De la mateixa manera també són majoritaris els tipus on les quatre parets que formen el perímetre de la caixa d'escala reben l'embigat de forma lateral, concretament en un 56% dels casos.
- Estudiant les plantes dels edificis (annex V) i els tipus de caixa d'escala, es constata que els tipus NE112c, NE112a i NE110 corresponen eminentment a edificis on la caixa d'escala té una posició lateral dins la planta del edifici; essent, un dels murs laterals de la caixa d'escala, part de la paret mitgera.

#### 5.3.1.4 Parametrització de la planta

A continuació s'estudien en detall diversos paràmetres mètrics que defineixen la tipologia estructural de l'edifici de l'Eixample. Aquests paràmetres són:

- La mida de les crugies (llum) que formen l'estructura horitzontal (Figura 69)
- La distància entre determinats murs definidors dels tipus (Figura 70)

Per a cada un d'ells s'ha procedit al mesurament de tots els edificis de la mostra que en disposen, amb l'objectiu de:

- Obtenir una representació dels valors que prenen cada un dels paràmetres (veure annex V) per conèixer aquells valors més habituals i aprofundir en el coneixement del tipus, conèixer les mesures més habituals i els valors màxims i mínims que donen idea de rang.
- Disposar de dades paramètriques per a l'anàlisi estructural

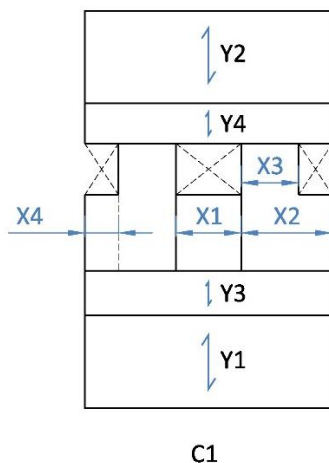
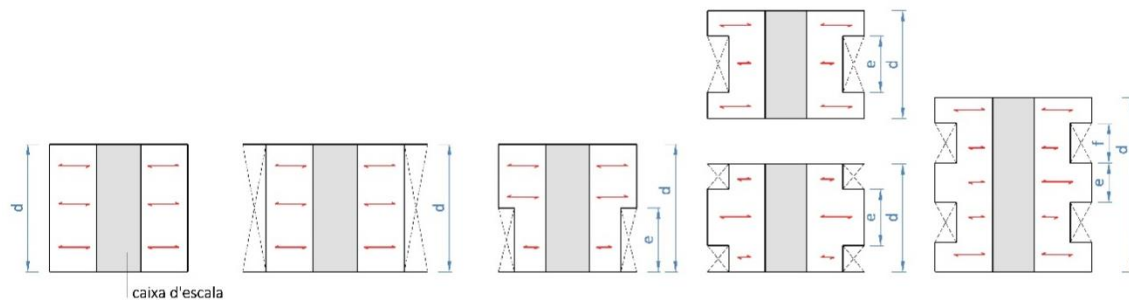


Figura 69: Nomenclatura crugies

ALTRES PARÀMETRES:  
DEL COS CENTRAL



DE LES CRUGIES FRONTAL I POSTERIOR

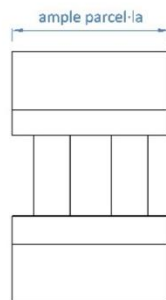


Figura 70: Paràmetres mètrics estudiats de l'estructura vertical

Els paràmetres que s'han estudiat són:

- Mida de les crugies Y1, Y2, Y3, Y4, X1, X2, X3 i X4
- Distància màxima sense unions amb altres murs de les façanes i murs paral·lels a façana (corresponent a l'amplada de l'edifici).
- Paràmetres d, e, f que corresponen a les màximes distàncies sense unió amb cap mur dins de la zona del cos central (Figura 70)
- Agulla mínima on es poden donar les màximes concentracions de càrrega.

En el cos de la tesi es presenta un resum de les mesures dels paràmetres anteriors, la informació completa es troba a l'annex V.

Pel que fa a les mides de les diferents **crugies** de la tipologia, s'han obtingut els següents resultats:

denominació crugia	núm. edificis	mínim	màxim	promig	banda	moda
Y1	123	2,9 <sup>60</sup>	5,95 <sup>61</sup>	4,4	3,5≈5	4
Y2	115	3,2 <sup>62</sup>	6,1 <sup>63</sup>	4,39	3,5≈5,5	4,6
Y3	93	1,75 <sup>64</sup>	5,7 <sup>65</sup>	3,16	2≈4,5	2,95
Y4	79	1,75 <sup>66</sup>	5,95 <sup>67</sup>	3,33		2,6
X1	27	1,5 <sup>68</sup>	4,3 <sup>69</sup>	2,9	2,5≈4	
X2	123	1,35 <sup>70</sup>	5,85 <sup>71</sup>	3,9		3,5
X3	52	1,3 <sup>72</sup>	5,25 <sup>73</sup>	3,27		4
X4	4 <sup>74</sup>	1,05	3,9	2,47		

Taula 14: Dades paramètriques de les principals crugies

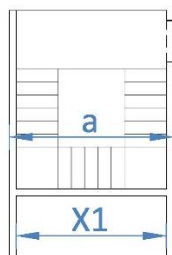


Figura 71: Punts per on s'acoten les crugies X1 i l'ample de la caixa d'escaleres (a)

<sup>60</sup> Rosselló 156, any de construcció 1894 i València 45, 1936

<sup>61</sup> Mallorca 291-293, casa Thomas, L. Domènech i Montaner, any de construcció 1898

<sup>62</sup> Compte Borrell 88, any de construcció 1918

<sup>63</sup> Passeig de Gràcia 43 (casa Batlló – A. Gaudí – 1904-5) i Passeig de Sant Joan 108 (casa Macaya-J.Puig i Cadafalch - 1899)

<sup>64</sup> Ausiàs March 52, any de construcció 1896

<sup>65</sup> Passeig de Gràcia 43 (casa Batlló – A. Gaudí – 1904-5)

<sup>66</sup> Rocafort 117 i 119, any de construcció 1930

<sup>67</sup> Viladomat 124 i 126, any de construcció 1915

<sup>68</sup> Floridablanca 99

<sup>69</sup> Passeig de Gràcia 43 (Casa Batlló)

<sup>70</sup> Pau Claris 76

<sup>71</sup> Aragó 364

<sup>72</sup> Diputació 30 i 32

<sup>73</sup> Floridablanca 99 i 101

<sup>74</sup> Aragó 364, Consell de Cent 377, Entença 133 i Llúria 19

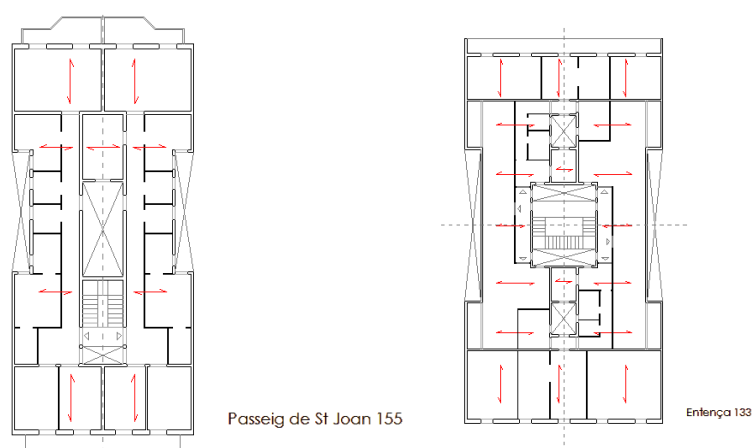


Figura 72: Prolongació dels murs lateral de la caixa d'escala per formar la crugia X1 i exemple contrari

Es comprova les següents relacions  $Y1/Y3=1,39$  i  $Y2/Y4=1,31$ .

Pel que fa als valors dels diferents paràmetres mètrics de la planta referits a distàncies entre murs i agulles mínimes, s'han obtingut el següents resultats:

- **Distància entre unions per a façanes i murs paral·lels.**

Tant façanes com els seus murs paral·lels solen estar units únicament a altres murs en els seus extrems (en un 90,4% dels casos en les façanes principals i un 84,6% dels casos de les façanes posteriors, veure apartat 5.3.1.3.1). Per tant, la mesura de l'ample de parcel·la coincideix en tots aquests casos amb la distància entre les unions extremes dels murs M1, M2, M3 i M4.

Aquesta distància presenta una gran variabilitat (Figura 73), però es pot afirmar que l'augment de l'amplada de la parcel·la no implica l'aparició de murs perpendiculars a façana en punts centrals (per a més informació veure l'annex V).

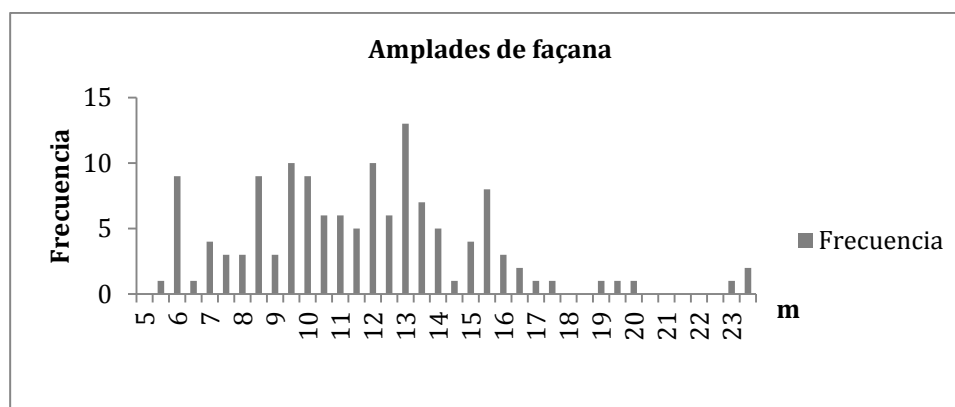


Figura 73: Distàncies entre unions dels murs de façanes i paral·lels / amplades de façana



- **Distància  $d$**

La mida del paràmetre  $d$  indica la distància entre els murs M3 i M4, o és a dir, la longitud del cos central. En els cossos centrals de tipus 1, el que implica el paràmetre  $d$  és la distància entre les unions dels murs longitudinals de la caixa d'escala, de les mitgeres o bé dels murs de tancament dels patis laterals amb d'altres de perpendiculars. En el cossos centrals del tipus 2, el paràmetre  $d$  indica la distància en la qual els murs de mitgera tot i plegar-se formant patis, no es traven amb cap mur formant configuració de caixa.

La distància  $d$  presenta una gran variabilitat dins la mostra estudiada, des d'un mínim de 1,95m<sup>75</sup> fins a un màxim de 28,05<sup>76</sup>m concentrant-se la majoria de valors entre els 7 i els 12m (veure annex V).

Si s'estudien les distàncies de  $d$  en funció del tipus de cos central, s'observa que tant en els tipus 1a, 1b com 2a, prenen valors d'un ordre semblant, als valors de 9,25m pels tipus 1a i 1b i de 8,2 pel tipus 2a. En canvi, si s'observa per als tipus 2b, 2c i 2d, el valor de  $d$  augmenta considerablement, de 14,55m per als tipus 2b i 2c fins als 19,9m de promig per als tipus 2d.

- 

- **Distàncies  $e$  i  $f$**

La distàncies  $e$  i  $f$  corresponen als plecs que formen els murs laterals dels cossos centrals de tipus 2 tal i com s'indica a la Figura 74, limitant l'esveltesa horitzontal d'aquests murs. La majoria de les distàncies  $e$  es troben entre 2,5m i 5m, presentant una variabilitat més gran que les distàncies  $f$  (veure dades a annex V)

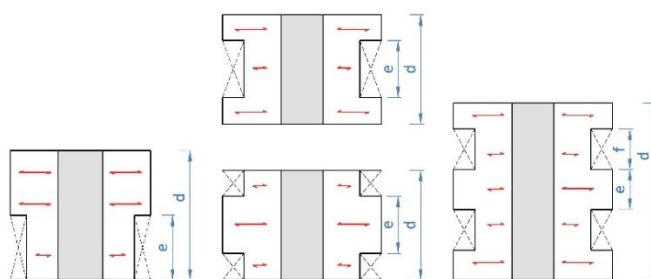


Figura 74: Paràmetres mètrics estudiats pels cossos centrals de tipus 2

<sup>75</sup> Passeig de Sant Joan 65

<sup>76</sup> Girona 104

- **Agulles mínimes**

S'han estudiat, en aquells murs que reben més càrrega, que la presència d'agulles de càrrega estretes pot donar lloc a situacions de compressió local excessiva. Aquests murs són els murs M5 i M6 sobre els que recolzen les biguetes de les dues crugies paral·leles a façana a carrer i façana posterior respectivament.

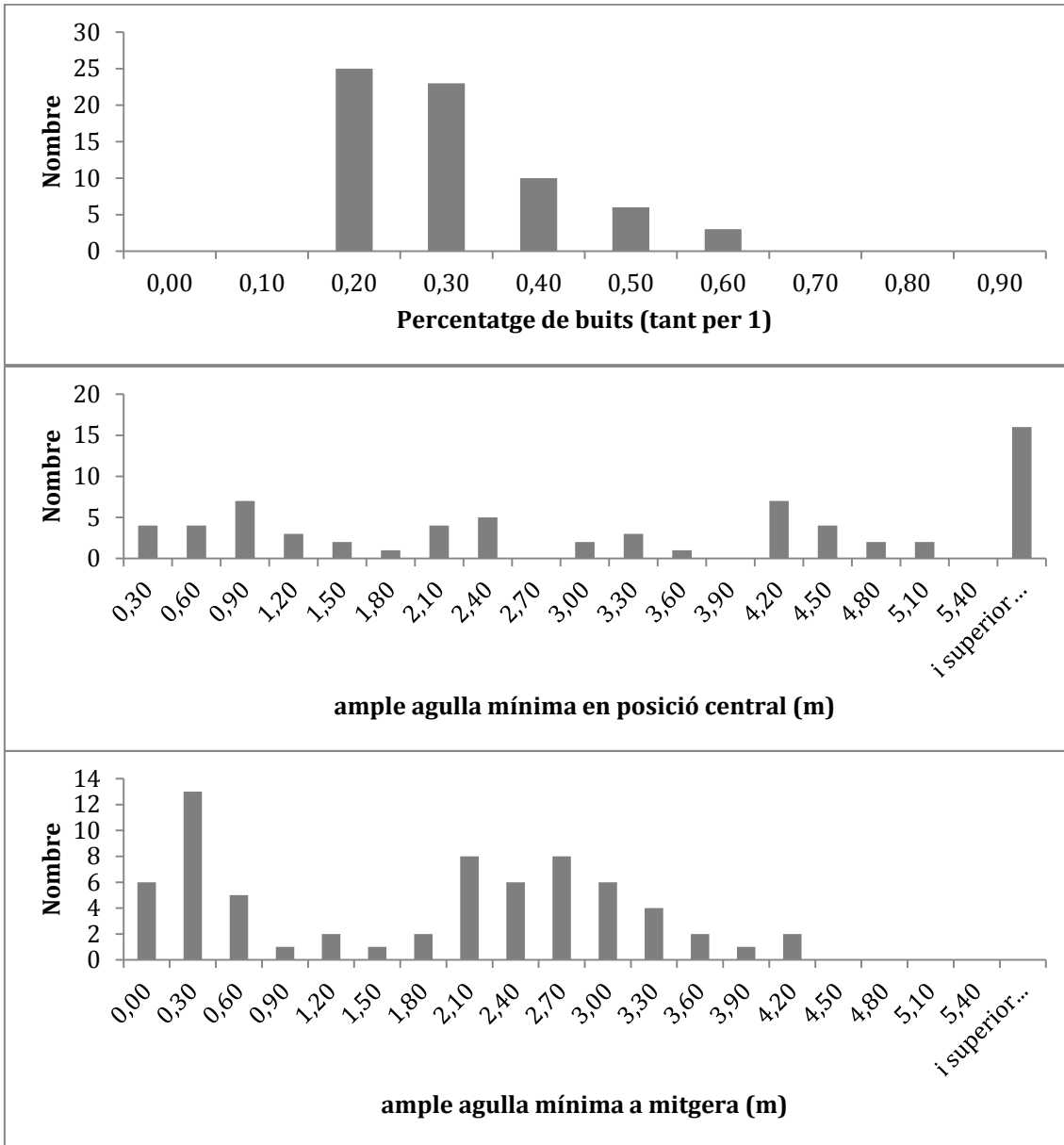
La variació en les obertures dels patis, així com l'estat actual d'aquests, fruit de successives reformes, ha fet que no hagi estat possible l'estudi de les agulles mínimes en aquesta zona d'una manera sistemàtica, si bé, tot i que reben llums menors, en una anàlisi edifici per edifici, sí que es recomanaria destinar-hi especial atenció.

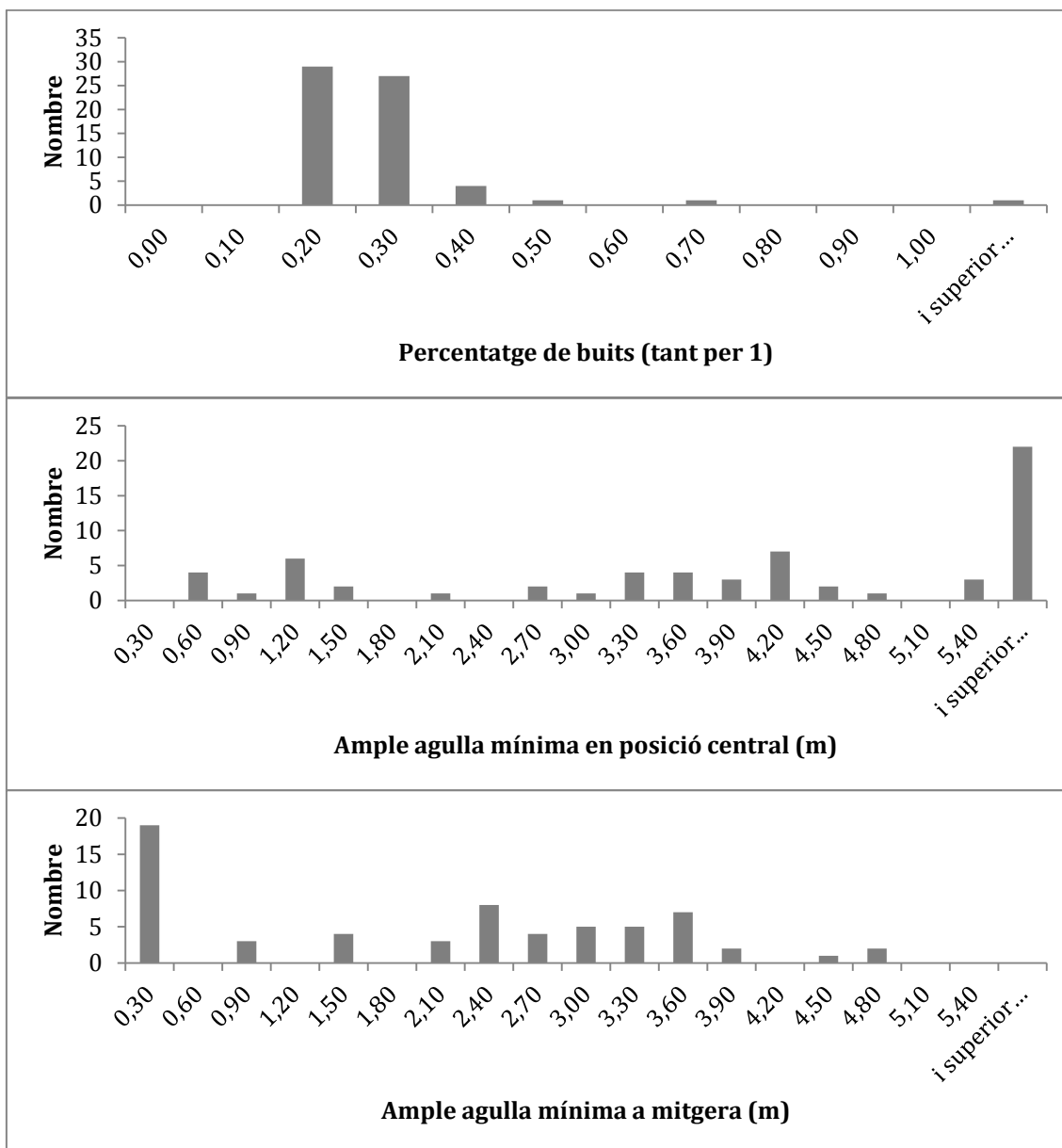
L'estudi de les agulles de càrrega dels murs M5 i M6 s'ha centrat en dues possibles situacions: l'agulla mínima de càrrega en posició central i la distància entre l'últim buit i la paret mitgera (agulla lateral). També s'ha determinat el percentatge de buits que tenen aquests dos murs que són els més carregats de la planta. S'han obtingut els següents resultats<sup>77</sup>:

---

<sup>77</sup> Més dades a l'annex V

**Per al mur M5:**



**Per al mur M6:**

- S'observa que tots dos murs tenen uns percentatges de buits similars trobant-se majoritàriament entre el 20 i el 30%.
- Pel que fa referència a les agulles mínimes en posició central cal dir que les mides d'aquestes presenten una gran variabilitat, en canvi, s'observa que abunden les agulles de càrrega adjacents a mitgera que són molt estretes o inexistents, fet que pot provocar un efecte de càrrega puntual en aquesta.

De cara a la parametrització de la **caixa d'escala** s'han estudiat les dues mides principals ample (a) i profunditat (b) <sup>78</sup> en el cas dels tipus de caixa d'escala rectangular, obtenint els següents resultats:

<b>tipus caixa escala</b>	<b>a, ample (m)</b>	<b>b, profunditat (m)</b>
<b>Mides mitjanes per a tots els tipus d'escala regulars (NE0,NE1 i NE2)</b>	<b>3,36</b>	<b>8,28</b>
<b>Mides mitjanes per a les caixes d'escala sense cap mur intermig (NE0)</b>	<b>3,44</b>	<b>7,23</b>
<b>Mides mitjanes per a les caixes d'escala amb un mur intermig (NE1)</b>	<b>3,30</b>	<b>8,84</b>
<b>Mides mitjanes per a les caixes d'escala amb dos murs intermigs (NE2)</b>	<b>3,53</b>	<b>10,93</b>

Taula 15: Dimensions principals de la caixa d'escala desglossades per tipus

S'observa com la profunditat de la caixa d'escala va augmentant a mesura que apareixen murs transversals que uneixen els dos murs laterals, en canvi, l'amplada de la caixa d'escala no varia significativament en funció del tipus. També s'ha comprovat com la presència de patis en profunditat fa augmentar la profunditat de la caixa d'escala (veure Taula 16)

<b>Mitjanes de les longituds de les caixes d'escala dels tipus en funció del nombre de patis centrals</b>	<b>b, profunditat (m)</b>
<b>Caixes d'escala sense cap pati: NE002 i NE004</b>	<b>4,51</b>
<b>Caixes d'escala amb un pati: NE012, NE013, NE014, NE014v, NE110, NE111a, NE111b, NE112a, NE112b, NE112c, NE113, NE114 i NE114v</b>	<b>8,01</b>
<b>Caixes d'escala amb dos patis: NE022, NE023, NE024, NE122, NE123, NE124, NE221, NE224 i NE224v</b>	<b>9,40</b>

Taula 16: Promitjos de les profunditats de les caixes d'escala desglossats per tipus en funció del nombre de patis centrals

### 5.3.2 Anàlisi de les freqüències dels tipus dels edificis en xamfrà

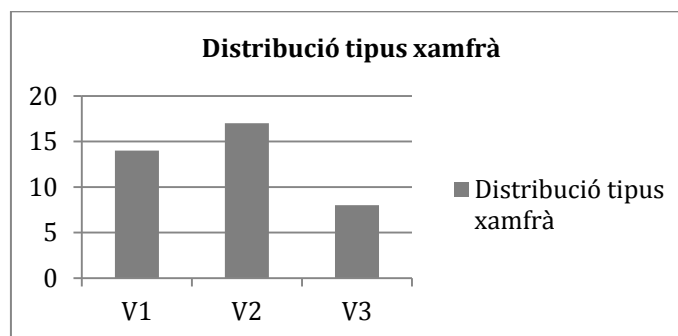
Pel que fa a la distribució dels tipus en xamfrà (Taula 17), són abundants aquelles geometries del tipus macla (tipus V2) seguides per aquelles específiques de xamfrà (V1) donant-se la següent distribució de subtipus:

<b>Tipus</b>	<b>Nombre d'edificis</b>	<b>Percentatge sobre el total</b>	<b>Percentatge sobre el total</b>
<b>V1A</b>	<b>10</b>	<b>25,7%</b>	<b>35,9%</b>
<b>V1B</b>	<b>4</b>	<b>10,2%</b>	
<b>V2A1</b>	<b>4</b>	<b>10,2%</b>	<b>20,5%</b>

<sup>78</sup> En els casos on els murs longitudinals de la caixa d'escala no són continus sinó que formen retranquejos donant lloc a dimensions variables de "a", s'ha pres el valor més desfavorable pel que fa a les condicions de trava.

V2A2	1	2,6%	
V2AB2	6	15,4%	
V2B1	1	2,6%	
V2B2	5	12,8%	
V3	8	20,5%	43,6%

Taula 17: Distribució dels tipus d'edificis en xamfrà



### 5.3.3 Anàlisi classificació de les plantes baixes

A continuació es detalla la freqüència dels elements estructurals estudiats:

Quadre resum de la classificació de les plantes baixes				
mostra de 175 edificis				
	nº d'edificis	característiques de la planta baixa	nº edif.	%
existència de pilastres en parets de mitgeres i caixes d'escala	155	amb pilastres en parets mitgeres i de caixa d'escala	141	91
		amb pilastres només en parets de caixa d'escala	13	8,38
		sense pilastres	17 <sup>9</sup>	0,64
murs interiors de les plantes superiors que arriben a planta baixa (s'exclouen els murs de la caixa d'escala)	143	murs estintolats	102	71,33
		murs no estintolats	41	28,67
murs de patis que arriben a planta baixa	117	murs estintolats	86	73,5
		murs no estintolats	30	25,5
existència de pilars de fosa	122	amb pilars	44	36,07
		sense pilars	78	63,93

Taula 18: elements i condicions estructurals estudiades per a les plantes baixes

<sup>79</sup> Diagonal 332, es podria explicar l'absència de pilastres per les reduïdes dimensions de la planta.

Cal remarcar que, dels 102 edificis on els murs de plantes superiors queden estintolats, només 11 responen a una ubicació en xamfrà; en canvi, dels 41 edificis on els murs no estan estintolats, 19 estan ubicats en xamfrà. Per tant, es pot afirmar que els murs no estintolats són molt més freqüents en edificis en cantonada. Aquest fet contribueix a l'estabilitat global de l'edifici en cantonada. També és remarcable, el fet que en la majoria de casos els patis laterals es troben estintolats (86 edificis, el 73,5%).

## 5.4 Conclusions sobre la classificació tipològica

Es constata que una tipologia necessita d'uns principis generadors, prèviament definits i adequats tant a la realitat de la població com, especialment, a les qüestions que es vulguin respondre. L'èxit i utilitat de d'una tipologia dependrà de la bondat dels principis generadors que es defineixin.

### 5.4.1 Conclusions referents a les mides de parcel·la

S'observa com, en els edificis de la mostra, es confirma la relació entre les mides de la parcel·la i la complexitat dels subtipus <sup>80</sup>. Els tipus L (la caixa d'escala en situació lateral) corresponen a edificis estrets.

S'observa que les mides dels edificis anteriors a 1890 presenten més variabilitat que les posteriors a aquesta data. Les primeres ordenances de parcel·la permetien una major dispersió de les mides i proporcions de l'edificació, al fixar un percentatge d'ocupació de la parcel·la. En canvi a partir de 1891, en fixar-se una profunditat edificable màxima, fet que es manté en les successives ordenances, el tipus arquitectònic es va definint i fixant progressivament.

### 5.4.2 Conclusions referents a l'abundància i paràmetres dels tipus

Es pot afirmar que a l'Eixample gairebé en la totalitat dels casos (90,4% i 84,6%), les façanes a carrer i posterior són elements portants<sup>81</sup>, i que també d'una manera majoritària (70,7% i 68,7% dels casos), apareix un segon mur paral·lel a façana a carrer i façana posterior<sup>82</sup>. Es constata que les crugies que donen a les façanes són més llargues que les contigües a aquestes.

---

<sup>80</sup> El tipus C11 és aquell que es correspon amb parcel·les més estretes i edificacions menys fondes, el tipus C21 augmenta sobre el tipus C11 en amplada, tot conservant la profunditat edificada. El tipus C12 augmenta la profunditat edificada respecte el C11 i el tipus C22 correspon a aquell tipus destinat als edificis de més amplada i fondària.

<sup>81</sup> Crugies Y1 i Y2

<sup>82</sup> Crugies Y3 i Y4

Així doncs, i observant les mesures de totes les crugies de la planta, es pot afirmar que els murs M5 i M6 són els murs més carregats de tota la planta. Aquest fet s'agreuja si es té en compte que per causa de la distribució funcional aquests murs sovint tenen obertures generoses que comuniquen les estances de les crugies pròximes a façana amb d'altres més interiors amb un percentatge d'obertures que està majoritàriament entre el 20 i el 30%,

Pel que fa referència a les agulles mínimes en posició central d'aquests murs, cal dir que les seves mides presenten una gran variabilitat; en canvi, s'observa que abunden les agulles de càrrega adjacents a mitgera que són molt estretes o inexistentes, fet que pot provocar un efecte de càrrega puntual en la paret mitgera.

En els edificis en banda són majoritaris els tipus de cossos centrals que responen a les geometries més simples, com són els cossos tipus 1 (62,5%). En aquests es dona la particularitat que les crugies centrals, perpendiculars a la línia de separació de parcel·la, recolzen sobre parets contínues, bé mitgeres o de tancament de pati de mitgera, que tenen gran longitud sense que hi hagi cap unió amb altre mur (murs M3 i M4).

Si es tenen en compte les condicions de contorn i unió del cos central amb la resta de la planta s'observa que en els cossos centrals de tipus 1 (1a i 1b), que són els més abundants, és més freqüent la substitució dels murs M3 i M4 per jàsseres situades sobre envans, contribuint a destravar el conjunt.

No existeix en cap edifici de la mostra, ni en xamfrà ni en banda, que disposi d'un mur d'obra de fàbrica de 15 cm o més de gruix que no tingui cap funció de tancament o suporti càrrega de les biguetes, és a dir, que tingui una funció estrictament de trava i rigidització del conjunt murari. Aquest fet, sumat a la tendència a substituir sovint certs murs per jàsseres i l'abundància dels tipus en xamfrà on no es connecten els murs paral·lels a façana, relativitza la idea que es pot tenir de l'edifici de l'Eixample com una estructura de murs que formen caixes ben travades.

En referència a les caixes d'escala, es confirma la funció portant d'aquestes que reben l'embigat a les seves parets longitudinals (91%), així com també en les seves parets transversals extremes, en un 56% dels casos. Son més comunes les caixes d'escala que disposen d'un mur intermig que serveix com a recolzament de l'escala i aporta rigidesa global al conjunt de la caixa d'escala.

Pel que fa als edificis en xamfrà cap tipus destaca en abundància per sobre dels altres, només lleugerament el subtipus V1A, com a successió de murs paral·lels a façana sense trava entre ells.

En el cas dels edificis en xamfrà, en els plecs dels murs paral·lels a façana que formen el xamfrà, també es pot donar una situació de concentració de càrrega, sobretot si aquests



estan perforats i sobretot per l'augment de l'àrea tributaria atesa la geometria de la planta en xamfrà.

Pel que fa a les plantes baixes, s'observa que dels 102 edificis on els murs de plantes superiors que no son tancament de pati queden estintolats, només 11 responen a una ubicació en xamfrà. En canvi, dels 41 edificis on els murs no estan estintolats, 19 d'ells estan ubicats en xamfrà, essent els murs no estintolats, molt més freqüents en edificis en cantonada. Aquest fet contribueix a no agreujar l'estabilitat global de l'edifici en xamfrà. És habitual que els murs de tancament dels patis tant de mitgera com patis centrals es trobin estintolats a planta baixa, en la majoria de casos amb jous metàl·lics, en d'altres hi poden aparèixer pilars de fosa.

Quan el local de planta baixa continua més enllà de la fondària edificable la façana posterior pot trobar-se estintolada amb jàsseres metàl·liques i pilars de fosa o bé disposar de grans obertures sustentades amb llindes metàl·liques recolzades en matxons d'obra de fàbrica.

L'existència de pilastres en els murs de planta baixa és àmpliament majoritària a les mitgeres (en un 91% dels casos) i s'observen a la totalitat dels casos estudiats en les caixes d'escala. Quan les parets mitgeres són llises, sense pilastres, és perquè no s'hi ha de recolzar cap jàssera. Aquest fet porta a la reflexió que probablement, l'aparició de pilastres respon més a una solució constructiva per al recolzament de les jàsseres més que no pas com una solució adoptada per a contrarestar la gran esveltesa d'aquests murs, atesa l'altura de les plantes baixes.

L'aparició de pilars metàl·lics amb fonamentacions aïllades sustentant murs considerablement carregats, sobretot en la zona posterior dels locals de planta baixa, amb fonamentacions aïllades podria donar lloc a situacions d'excés de càrrega sobre el terreny.

**A continuació, en el capítol 6, s'analitzen les conseqüències estructurals de la tipologia i es determinen els punts o localitzacions de la planta que requereixen una especial consideració a l'hora d'intervenir en l'edifici històric de l'Eixample.**

## 5.5 Referències

- Cornadó, C. (2009). *Classificació i anàlisi tipològica dels edificis de l'Eixample construïts entre 1860 i 1936*.
- De Sivo, B., & Díaz, C. (2001). *Il Vasto a Napoli, el Ensanche de Barcelona : due realtà a confronto : progetto collaborativo: Architettura e tecniche costruttive tradizionali nell'area mediterranea = el contraste entre dos. [Napoli] ;[Barcelona]: CITTAM Università degli studi di Napoli Federico II ;;DCA I Universitat Politècnica de Catalunya*.
- Giol Draper, P. (1995). *La Casa de veïns del segle XIX a Barcelona : avaluació tipològica, arquitectònica i estructural-constructiva del tipus de casa de residència del s. XIX, a partir de l'anàlisi dels edificis construïts entre 1800 i 1920, a Ciutat Vella i a l'Eixample Central*. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1108738~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1108738~S1*cat)
- Muñoz Soria, G., & Paricio Casademunt, A. (2011). *L'Arquitectura residencial barcelonina recolzada amb estructures de parets de càrrega 1.940-1.960*. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1411998~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1411998~S1*cat)
- Paricio Casademunt, A. (1998). *Anàlisi del sistema constructiu a base de murs de càrrega, utilitzats en la formació de l'Eixample de Barcelona*. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1155142~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1155142~S1*cat)
- Paricio Casademunt, A. (2001). *Secrets d'un sistema constructiu : l'Eixample. Barcelona :: Edicions UPC*. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1203785~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1203785~S1*cat)
- Paricio Casademunt, A. (2008). *Secrets d'un sistema constructiu : l'Eixample. Barcelona :: Edicions UPC*. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1335364~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1335364~S1*cat)
- Rodríguez Ferreiro, J. L. (2012). *La losa del balcón en Barcelona entre 1900 y 1940: Evolución, tipología e intervención*.
- Vila, J. (1989). *La Casa original del ensanche a Barcelona : 1860-1864 : los parámetros formales y métricos de la unidad residencial de la manzana Cerdà*. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1061478~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1061478~S1*cat)

## 6 Consideracions prèvies a l'anàlisi estructural

---

En aquest capítol es plantegen els passos previs necessaris a l'anàlisi estructural de la tipologia de l'edifici de l'Eixample exposada en el capítol anterior.

Per a l'anàlisi del comportament estructural i l'avaluació mecànica dels diferents tipus estructurals s'ha seguit la següent metodologia:

- Elaboració d'una sèrie de models derivats de l'anàlisi tipològica estructural, per a la seva posterior simulació.
- Determinació de les característiques mecàniques de l'obra de fàbrica de l'Eixample per poder-les introduir com a dades en la simulació.
- Determinació de les accions a tenir en compte per aplicar en la simulació sobre els diversos models.
- Simulació mitjançant elements finits (macroelements) dels diversos models establerts. Aquesta fase inclou una primera simulació amb models representatius de cada tipus estructural per a la determinació dels punts més sol·licitats que donen lloc a les situacions més crítiques com una posterior anàlisi d'aquests punts (veure Capítol 7).
- Estudi detallat dels punts més crítics de cada tipus adaptant els models de cada tipus a les mides extremes de les diferents crugies i paràmetres de la planta que hi intervenen (veure Capítol 7).
- Avaluació de les condicions de seguretat del sistema estructural respecte el marc normatiu (veure Capítol 7).

Amb aquests passos es pretén:

- Avaluar qualitativament i quantitativa l'adequació del tipus edificatori de l'Eixample a les noves exigències de seguretat estructural.
- Localitzar aquells punts més sol·licitats o que donen lloc a situacions més crítiques en els murs per a cada un dels tipus (hotspots) i tenir una idea del rang de sol·licitació que presenten per a cada un dels tipus.
- Estudiar el nivell de seguretat de cada un dels murs dels diferents tipus.
- Implementar en l'avaluació per elements finits aquelles consideracions sobre l'esveltesa que apareixen en el CTE i que es puguin tenir en compte en aquest tipus d'estructures muràries.
- Relacionar els danys existents en els murs amb els resultats de les simulacions.

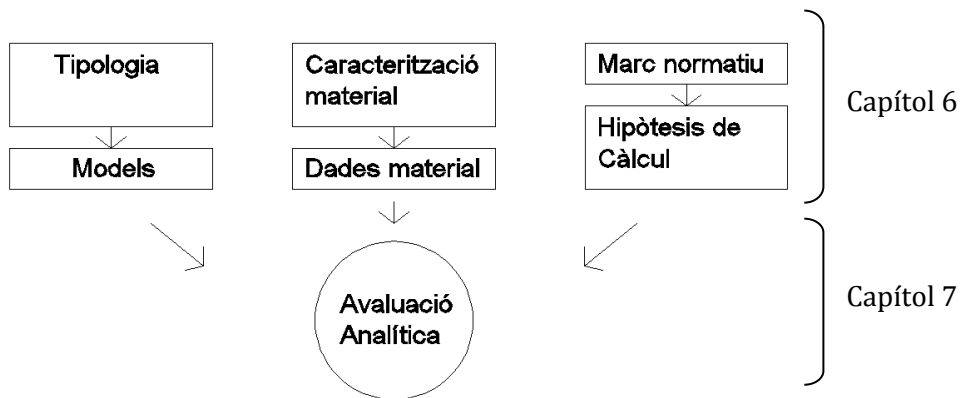


Figura 75: Esquema del procés metodològic seguit per a l'Avaluació Analítica

## 6.1 Elaboració de models a partir de la tipologia

### 6.1.1 Definició dels models en altura

Per a l'elaboració dels models a partir de la tipologia s'han pres les següents consideracions generals de caràcter morfològic que afecten a la definició en altura d'aquests:

- En referència a la segmentació de l'edifici en unitats d'anàlisi estructural.

Com s'ha descrit al capítol 4, el model s'ha fragmentat en tres unitats d'anàlisi de les que se'n disposa el coneixement d'uns paràmetres diferents, aquestes són, el cos de les plantes tipus –formada per un conjunt de caixes de murs d'obra de fàbrica de maó–, les plantes baixes –on, sovint, aquests murs es troben estintolats o parcialment estintolats, adoptant una major amplada que en les plantes superiors–, i, per últim, les remuntes no enrassades amb el pla de façana– que donada la seva major variabilitat tipològica i incertesa passen a estudiar-se com una càrrega permanent aplicada sobre el cos de les plantes tipus.

En el fragment de model de plantes tipus es defineixen els murs que generen cada un dels diferents tipus estructurals amb les seves obertures pertinents així com també les possibles substitucions dels murs que limiten la zona del cos central (M3 i M4) per jàsseres. La definició de les plantes baixes en el model s'ha establert en funció dels elements estructurals que es troben en major abundància. Atesa la natura de les comprovacions que s'efectuen, el model de la planta baixa queda subordinat a la única funció de transmissió de càrregues a la fonamentació, que s'ha considerat com de sabata correguda. (Figura 76)

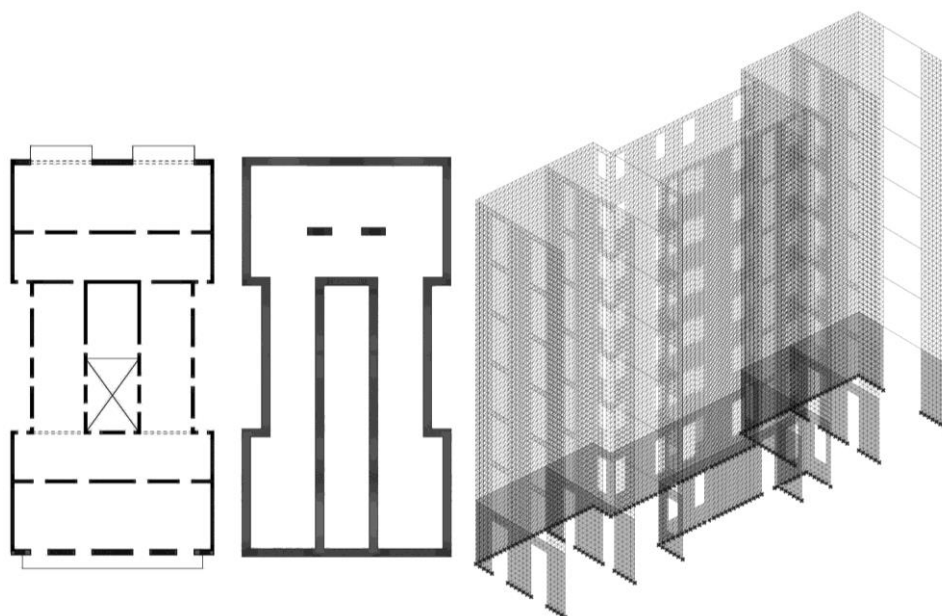


Figura 76: Morfologia del model en planta tipus, fonamentació i global tridimensional

- En referència a les altures de les plantes i l'altura total del model.  
Per a l'elaboració dels models s'ha optat per definir-los amb una altura corresponent a planta baixa, 7 plantes tipus<sup>83</sup> i una de remunta. Les altures que s'han adoptat per als models són les que s'estableixen a les ordenances i són 3,49m per a les plantes principals, 3,29m per a les plantes primeres, 3,10m per a les plantes segones i 2,52m per a la resta de plantes incloses les plantes entresols. Per a les plantes baixes s'ha considerat una altura<sup>84</sup> de 3,50m.

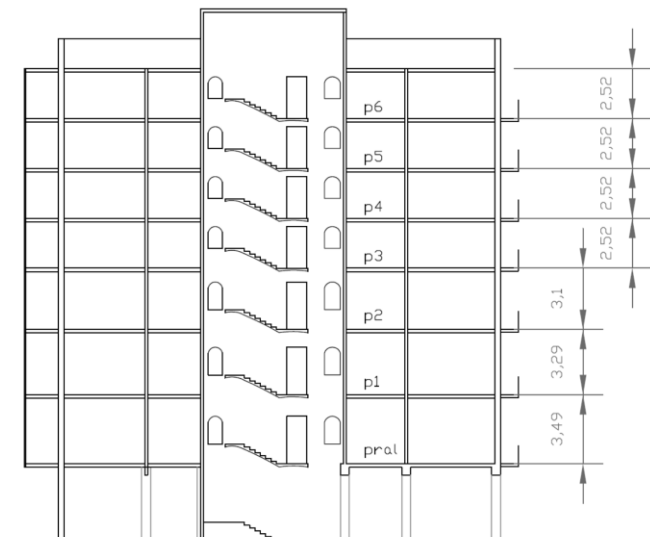


Figura 77: Altures adoptades per a la modelització

### 6.1.2 Definició dels models en planta

En aquest apartat s'aporten les dades paramètriques dels models que s'analitzaran i que provenen d'un anàlisi detallat/exhaustiu de la tipologia estructural. En l'exposició s'ha seguit el mateix esquema que en la definició dels tipus estructurals. En els edificis situats en banda, s'han tractat per separat la zona dels murs paral·lels a les façanes davantera i posterior i la zona del cos central que allotja els patis i la caixa d'escala. Els gruixos dels diferents elements estructurals d'obra de fàbrica s'han definit de la següent manera comú a tots els models:

- Murs M1 i M2 corresponents a les façanes en les plantes tipus: 30cm
- Altres murs de la planta inclosos els murs interiors i els murs dels patis en les plantes tipus: 15cm
- Murs de plantes baixes: 30 cm apilastrats
- Fonaments, sabates contínues: 60cm

<sup>83</sup> 7 altures que es corresponen a l'edificabilitat màxima de les ordenances de 1932 amb pb+6 i entresol o bé de pb+6 i considerant un altell a planta baixa.

<sup>84</sup> Es descarta la consideració dels soterranis al ja que aquests només es troben presents en tres dels edificis de la mostra, Diagonal 345-347-349.

### 6.1.2.1 Edificis en banda: Façanes i murs paral·lels a façana

Per a l'estudi de les façanes i els murs paral·lels a aquestes (M5 i M6), s'han tingut en compte els següents paràmetres:

- Ample de façana (distància entre els dos murs mitgers)
- Mida de les crugies Y1, Y2, Y3 i Y4
- Agulles mínimes de càrrega tant en posició central com adossades a la mitgera pels murs M5 i M6

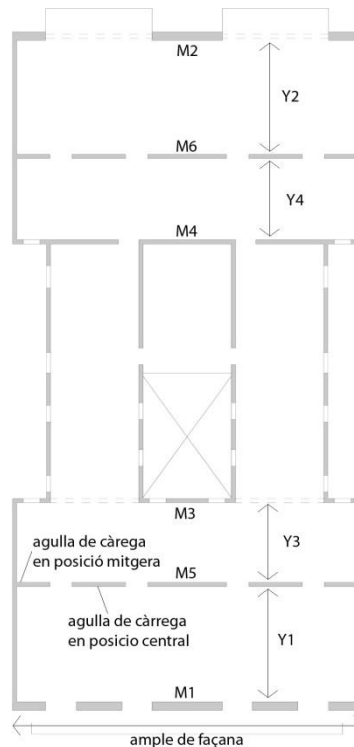


Figura 78: Nomenclatura dels paràmetres estudiats de les plantes tipus

Pel que fa als amples de façana i observant l'histograma dels amples de façana de la mostra, apareixen tres pics en els amples de 6, 10 i 12m, aquestes amplades es corresponen amb façanes que tenen majoritàriament dues, tres i quatre obertures, respectivament. Així doncs, són aquestes tres amplades les que es prenen per a l'estudi d'aquest àmbit de la planta.

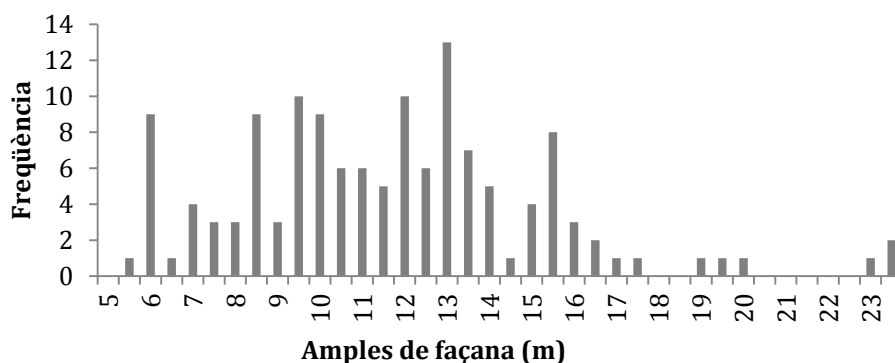


Figura 79: Histograma dels amples de façana en el total de la mostra d'edificis situats en banda

El nombre d'obertures en façana té una relació directa amb la configuració funcional de la planta. Façanes amb dues i quatre obertures es corresponen a plantes simètriques, en canvi, façanes amb tres obertures es corresponen amb plantes capiculades on un dels pisos disposa de dues estances a la part frontal de l'edifici i d'una a la part posterior i l'altre pis a l'inrevés, disposa d'una estança que dona a carrer i de dues que ho fan al pati interior d'illa. La diferència d'amplada de la parcel·la incideix directament en el tipus de cos central de la planta, així, parcel·les més amples disposaran de patis mitgers i la posició del passadís es trobarà adossada a les parets laterals de la caixa d'escala.

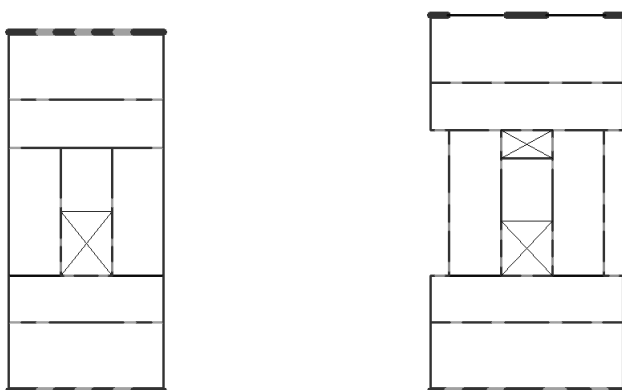


Figura 80: Influència de l'amplada de façana en el tipus de cos central de la planta

Aquestes diferències funcionals en la planta impliquen variacions en les obertures dels murs M5 i M6. En parcel·les estretes sense patis mitgers, és freqüent trobar obertures en els murs M5 i M6 adjacents a les mitgeres, si bé quan es tracta de façanes amb tres obertures i dues crugies perpendiculars a façana pot ser que hi hagi una obertura central en els murs M5 i M6 que connecta les estances de les crugies Y1 i Y3 i les de les Y2 i Y4. En canvi, en parcel·les més amples, a partir de 4 obertures en façana i patis mitgers, les obertures en els murs M5 i M6 ja no es troben adossades a mitgera, donant-se la situació més crítica pel que fa a agulles mínimes de càrrega en una posició més central.





Figura 81: Diferents amples de façana i nombre d'obertures

Per a l'elaboració dels models, s'ha optat en el cas de parcel·les amples, per disposar de grans obertures en la façana posterior (M2) corresponents als casos en els que aquest mur dóna accés a les galeries interiors.

La distribució segons freqüència de les mides de les crugies Y1-Y4 és assimilable a una distribució normal (gaussiana veure capítol 5) amb medianes diferents per a cada una de les crugies. És aquesta mida la que s'ha pres per a l'elaboració dels models amb mides mitjanes de les crugies: Y1= 4,35m, Y2= 4,30m, Y3= 3,00m i Y4= 3,05m.

En algunes circumstàncies, serà necessari considerar els valors extrems, màxims i mínims, observats en les crugies dels edificis de la mostra. Aquests valors són els següents: Y1= 2,90 - 5,80m, Y2= 3,20 - 6,10m, Y3= 1,75 - 5,70m, Y4= 1,75 - 5,95m.

#### 6.1.2.2 Edificis en banda: Combinació amb els tipus de cos central

Per a l'estudi dels diferents tipus de cos central s'han tingut en compte els següents paràmetres per a cada un dels tipus:

- Mida de les crugies X2, X3 i X4
- Ample de la caixa d'escala
- Mida dels paràmetres, d,e i f
- Distribucions més habituals d'obertures depenent del tipus estructural de cos central
- Condicions d'unió de la zona del cos central amb les crugies anteriors i posteriors

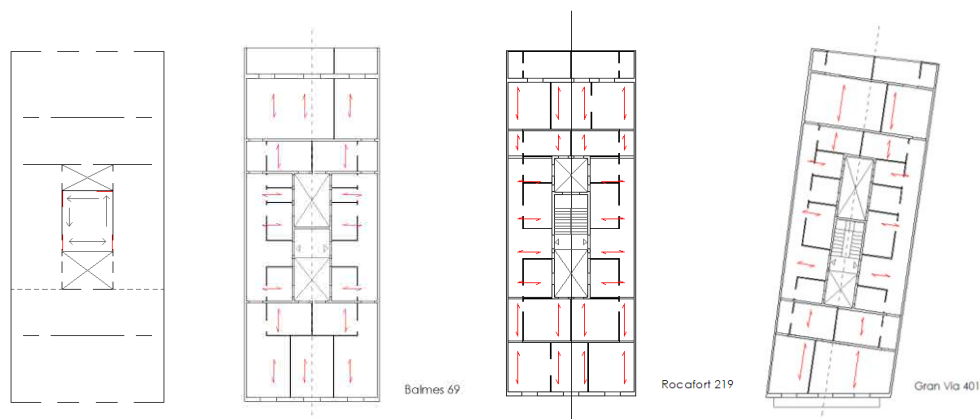
##### 6.1.2.2.1 Tipus 1a

Per a l'estudi i elaboració del model per al tipus de cos central 1a cal tenir en compte la mesura de la crugia X2, l'ample de la caixa d'escala i la longitud del cos central (d). S'observa que la distribució de les freqüències de cada una de les mesures de la crugia X2 és assimilable en perfil a les de les crugies Y1-Y4, per tant, en aquest cas també s'opta per emprar la mida mediana per als models, que per aquest tipus és de 3,30m. El mateix procediment s'ha seguit per dimensionar l'ample tipus de la caixa d'escala, en aquest cas també 3,30m.

L'ample total de l'edifici, resultant de prendre els valors de les medianes de les crugies X2 i de l'ample de la caixa d'escala, és de 9,90m. Aquesta amplada correspon a un edifici de tres obertures en façana. Es pren aquest valor de l'amplada com a definitiu per al model ja que es troba molt pròxim als 10m, que representa l'ample de façana més comú dins la

mostra. L'altre paràmetre mètric a considerar és la longitud del cos central (d). Es pren el seu valor medià, que per al cossos centrals de tipus 1a és de 8,15m. Els tipus de caixa d'escala més freqüents són els NE114, amb 10 casos, que es pren per al model, seguits pels NE124, amb 7 casos.

S'ha optat per una distribució d'obertures en els patis habitual, on apareix la porta d'accés als habitatges i diverses finestres que proporcionen llum i ventilació a les diferents estances que donen als patis.



**Figura 82: Model per al tipus de cos central 1a (esquerra) i exemples d'aquest tipus<sup>85</sup> (dreta)**

De cara al càlcul i pel que fa a les condicions d'unió de la zona de cos central amb les crugies anteriors i posteriors s'ha optat per estudiar els casos amb condicions d'unió 1, és a dir, amb un mur M3 o M4 formant caixa amb la paret mitgera i l'altre mur que limita el cos central estintolat o substituït per una jàssera sobre envà de 5cm. Aquesta solució, a més de ser la més freqüent per als cossos centrals de tipus 1, ofereix l'avantatge de poder estudiar en un mateix model els dos tipus d'unió amb les parets mitgeres d'aquesta zona de la planta.

El model resultant per al cos central 1a amb les crugies anteriors i posteriors és el que s'indica a la Figura 82.

#### 6.1.2.2.2 Tipus 1b

Per tal d'elaborar els models per als tipus de cos central de tipus 1b, s'estudia la crugia X2 i l'ample de caixa d'escala en les mateixes condicions que per al tipus 1a, prenent també les mides 3,30 per a les crugies i l'ample de la caixa d'escala. Com a ample dels patis mitgers s'ha considerat 1,20 m per a cada un d'ells, el que dóna un ample resultant de parcel·la de 12,30m, que correspon a un edifici de quatre obertures en façana. El paràmetre (d) per aquest subtipus 1b és de 9,25, el que fa més probable que hi apareguin tipus de caixa d'escala amb dos patis adjacents a la caixa d'escala. Els tipus de caixa

<sup>85</sup> Balmes 69, Rocafort 219 i Gran Via de les C.C. 401

d'escala més freqüents són els NE014, amb 13 casos, seguit pels NE024 i NE124, amb 8 casos cada un. Per al model s'adopta el tipus NE14.

Pel que fa a les obertures, s'ha optat per una distribució habitual d'aquestes en els patis, on apareix la porta d'accés als habitatges i diverses finestres que proporcionen llum i ventilació a les diferents estances que donen als patis mitgers i centrals. En aquest tipus de cos central és àmpliament freqüent l'aparició de finestres en els murs curts dels patis mitgers, és a dir, perforant els murs M3 i M4.



**Figura 83: Model per al tipus de cos central 1b (esquerra) i exemples d'aquest tipus<sup>86</sup> (dreta)**

De cara al càlcul i pel que fa a les condicions d'unió de la zona de cos central amb les crugies anteriors i posteriors s'ha optat per estudiar els casos amb condicions d'unió 1, és a dir, amb un mur M3 o M4 formant caixa amb la paret mitgera i l'altre mur que limita el cos central estintolat o substituït per una jàssera sobre envà de 5cm. Aquesta solució, a més de ser la més freqüent per als cossos centrals de tipus 1, ofereix l'avantatge de poder estudiar en un mateix model els dos tipus d'unió amb les parets mitgeres d'aquesta zona de la planta.

El model resultant per al cos central 1a amb les crugies anteriors i posteriors és el que s'indica a la Figura 83.

#### 6.1.2.2.3 Tipus 2a

Per a l'elaboració dels models per al subtipus 2a, s'han considerat les crugies X2 i X3 (la crugia X4 només es dona en un de sol de tots els edificis d'aquest subtipus<sup>87</sup>). Les mides medianes per a les crugies X2 i X3 són 3,30m i 4,90m respectivament. Amb un ample de caixa d'escala de mida mediana 3,50m, el model resultant mesura 13,30m, el què correspon a una façana de 4 finestres d'amplada. El tipus d'escala més freqüent en aquest tipus, i que ha estat adoptat pel model, és el NE114 present en un total de 8 edificis.

<sup>86</sup> Aribau 117, Còrsega 182 i Gran Via de les C.C. 433

<sup>87</sup> Llària 19

La fondària del cos central (d) té una mida mediana dins la mostra de 8,2m i la fondària del pati mitger una de 4,4m.

Pel que fa a les obertures, s'ha optat per una distribució habitual d'aquestes en els patis, on apareix la porta d'accés als habitatges i diverses finestres que proporcionen llum i ventilació a les diferents estances que donen als patis mitgers i centrals. En aquest tipus de cos central és àmpliament freqüent l'aparició de finestres en els murs curts dels patis mitgers, és a dir, perforant els murs M3 i M4.

Pel que fa a les condicions d'unió del tipus central 2a amb la resta de la planta, són gairebé tan abundants els casos en què existeixen els murs M3 i M4 formant caixa amb els mitgers (condició d'unió 2 en 7 casos) com els casos en els que un dels dos desapareix i queda substituït per una jàssera sobre un envà (condició d'unió dl tipus 1 en 6 casos). Tot i la lleugera superior presència de la condició d'unió del tipus 2, aquesta és troba dins del mateix ordre. A efectes de càlcul es decideix, per aquest model, considerar una condició d'unió del tipus 1 ja què és menys favorable donades les concentracions de càrrega que es generen i la menor rigidesa global de l'edifici a més de poder donar més informació sobre una un ventall més ampli de situacions.

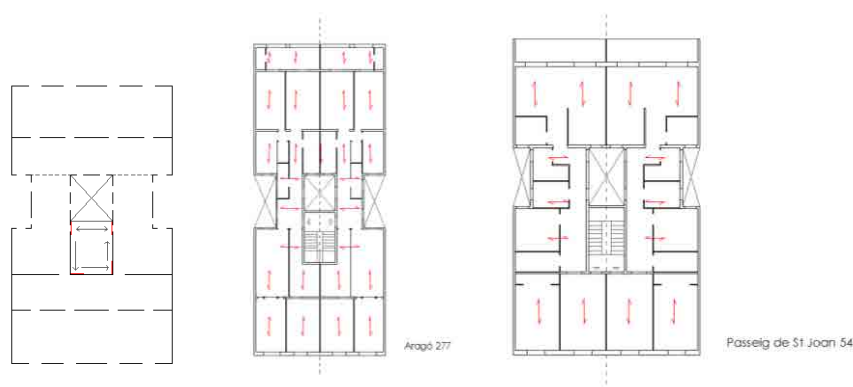


Figura 84: Model per al tipus de cos central 2a (esquerra) i exemples d'aquest tipus<sup>88</sup> (dreta)

#### 6.1.2.2.4 Tipus 2b i 2c

Per a l'estudi i elaboració dels models per als tipus de cos central 2b i 2c s'han considerat les crugies X2 i X3, que tenen mida mediana dins la mostra de 4,55 i 3m, respectivament. S'han descartat les crugies X4 i X5 per la seva poca presència dins la mostra<sup>89</sup>.

Les mides dels paràmetres (d) i (e), corresponents a la fondària del cos central i la fondària dels patis mitgers, tenen una mida mediana dins la mostra 14,55 i 3,85, respectivament.

<sup>88</sup> Aragó 277 i Passeig de Sant Joan 54

<sup>89</sup> X4 en Consell de Cent 377 i Entença 133 i X5 en Pau Claris 154 i 156.

Per al tipus 2b els tipus de caixa d'escala més freqüents són el NE112c i el NE113 (3 casos cada un), amb una amplada mediana de 3m i en una configuració on la caixa d'escala no ocupa tota la profunditat del cos central, amb aquesta última consideració el model resultant correspon a un tipus de caixa d'escala NE113.

Per al tipus 2c els tipus de caixa d'escala més freqüents són els NE024, NE123 i NE124 (2 casos cada un), amb una amplada mediana de 3,3m i majoritàriament aquesta ocupa tota la profunditat del cos central. Per al model del tipus 2c s'adopta un tipus de caixa d'escala NE124, que correspon als casos on hi apareix un mur transversal dins la caixa d'escala, existeixen dos patis, un anterior i l'altre posterior a l'escala, i els quatre murs perimetrals tenen funció portant.

Els amples totals dels edificis resultants de prendre els valors mitjans de les crugies X2 i de l'ample de la caixa són de 12,10 i 12,40 per als tipus 2b i 2c, respectivament, corresponent a una façana de quatre finestres d'amplada.

En ambdós tipus les condicions d'unió del cos central més habituals són les del a un tipus 2, on els murs M3 i M4 formen caixa amb els mitgers i no es troben estintolats.

Pel que fa a les obertures, s'ha optat per una distribució habitual d'aquestes en els patis, on apareix la porta d'accés als habitatges i diverses finestres que proporcionen llum i ventilació a les diferents estances que donen als patis mitgers i centrals. En aquest tipus de cos central és àmpliament freqüent l'aparició de finestres en els murs curts dels patis mitgers, és a dir, perforant els murs M3 i M4.

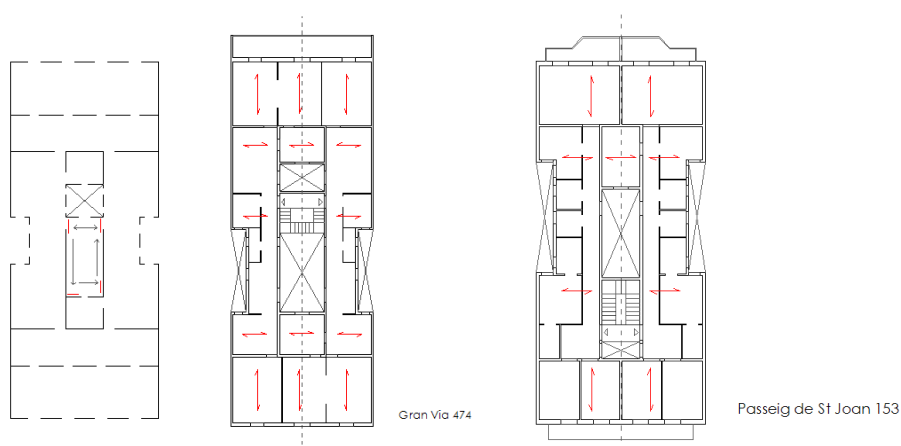


Figura 85: Model per al tipus de cos central 2b (esquerra) i exemples d'aquest tipus<sup>90</sup> (dreta)

<sup>90</sup> Gran Via de les C.C. 474 i Passeig de Sant Joan 153

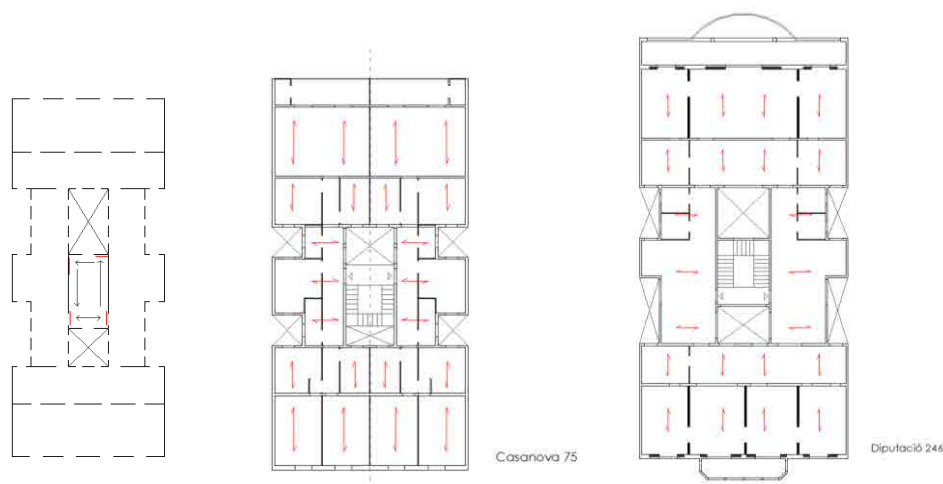


Figura 86: Model per al tipus de cos central 2c (esquerra) i exemples d'aquest tipus<sup>91</sup> (dreta)

#### 6.1.2.2.5 Tipus 2d

Es descarta la modelització del tipus 2d per la seva raresa dins del conjunt de la mostra i, per tant, de la població total.

#### 6.1.2.3 Edificis en xamfrà

Com s'exposa en el capítol 5, els tipus en cantonada presenten una major variabilitat que els tipus en banda. Aquest fet dificulta la possibilitat d'establir una nomenclatura de murs i crugies comuna a tots ells, i per tant, la possibilitat de sistematitzar els models. No obstant, com ja s'ha esmentat, s'observen una sèrie de patrons que sí que són comuns, com la freqüent l'aparició de murs paral·lels a façanes, i, per tant, l'existència de les crugies designades Y1-Y4 en els tipus en banda.

Els dos trets característics que singularitzen la planta dels xamfrans són, primer, el freqüent gir de les crugies Y1-Y4 que comporta l'aparició de punts on les càrregues es troben més concentrades, i segon, els trobaments oblics de tres murs.

S'ha optat per l'estudi dels models dels tipus V1A i V1B perquè es tracta dels tipus en xamfrà més abundants i presenten les singularitats anteriorment descrites. Les dimensions i condicions que s'han pres per a la configuració dels models són:

- Per a les crugies Y1-Y4 s'ha optat per prendre les mesures iguals que les dels tipus en banda: Y1= 4,35m, Y2= 4,30m, Y3= 3,00m i Y4= 3,05m. Aquest fet facilita l'estudi de com pot afectar el gir d'aquestes crugies en l'estat tensional en comparació amb els valors que es troben en els edificis en banda, estant així, en el rang de mides de crugia habitual per a edificis en xamfrà.

<sup>91</sup> Casanova 75 i Diputació 246

- La longitud de façana en ambdós carrers que formen el xamfrà s'ha considerat simètrica i suficient per poder-hi encabir dues estances a més de les que es troben en la zona de façana del xamfrà.
- Per al tipus V1A, s'han modelat patis mitgers i centrals amb un ample corresponent a la crugia Y4 i un ample suficient per permetre la ubicació d'una finestra. La profunditat de la caixa d'escala s'ha pres corresponent a la de la crugia Y3. (veure Figura 87 centre).
- Per al tipus V1B, s'ha pres una mida de les crugies X2 de 4m, que permeten una caixa d'escala i pati interior suficientment grans com per encabir-hi l'escala i les obertures necessàries per la ventilació (veure Figura 88 dreta). En aquest tipus s'ha modelat el mur M3 com un mur estintolat i substituït per una jàssera.
- S'ha pres una configuració d'obertures en patis interiors i façanes que es correspon amb la realitat construïda en aquests tipus, destacant la presència d'obertures laterals en els costats curts dels patis mitgers.

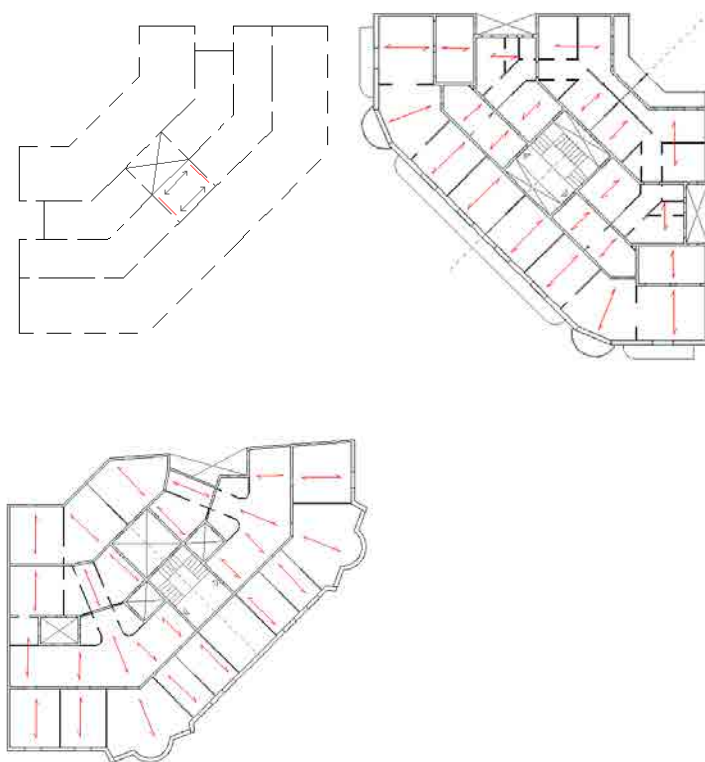


Figura 87: Model per al tipus V1A (esquerra) i exemples d'aquest tipus<sup>92</sup> (dreta)

<sup>92</sup> Balmes 94 i Rambla Catalunya 105

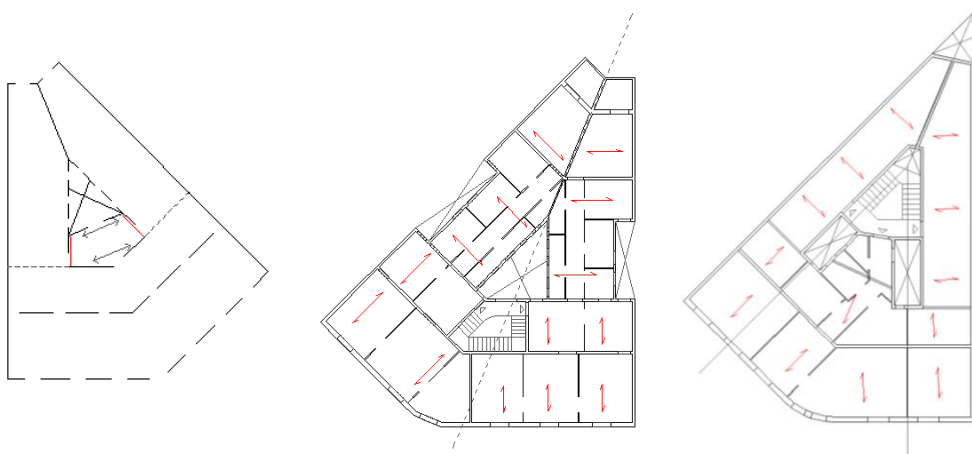
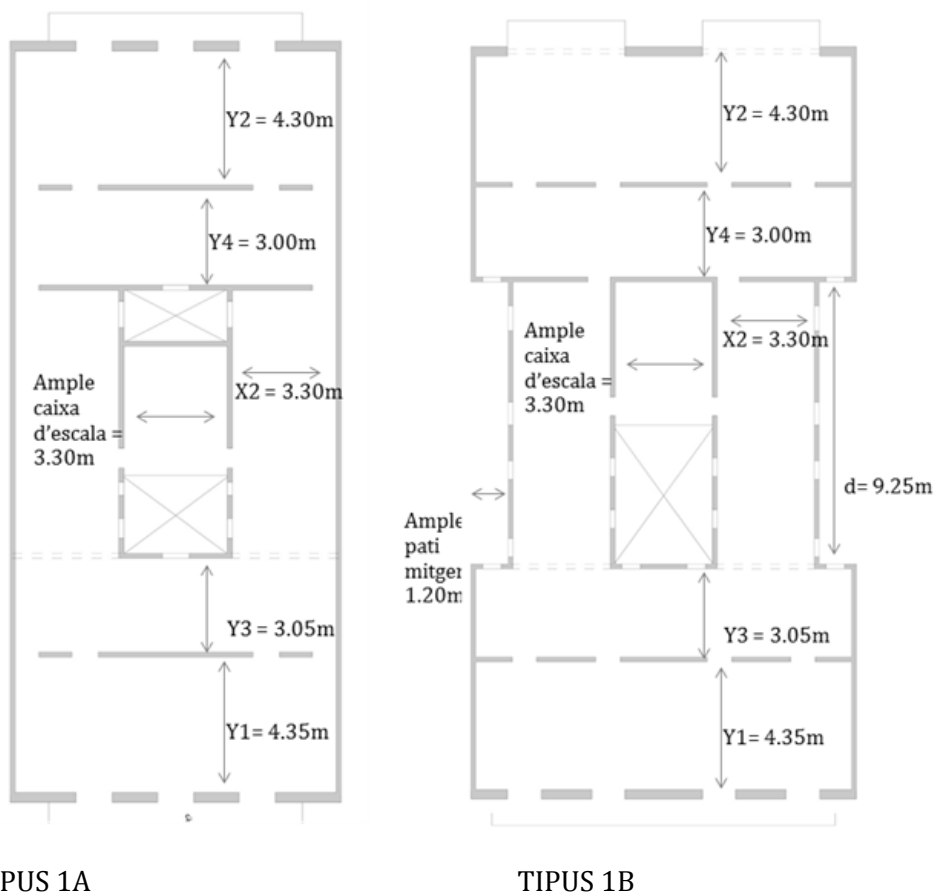


Figura 88: Model per al tipus V1B (esquerra) i exemples d'aquest tipus<sup>93</sup> (dreta)

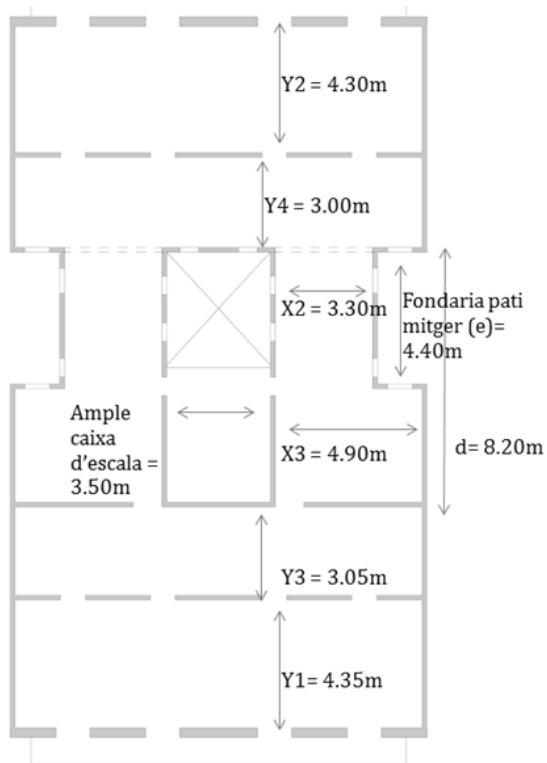
### 6.1.3 Resum dels models a analitzar

En resum, els models procedents de la tipologia estructurals que han estat adoptats per a la simulació són els següents.

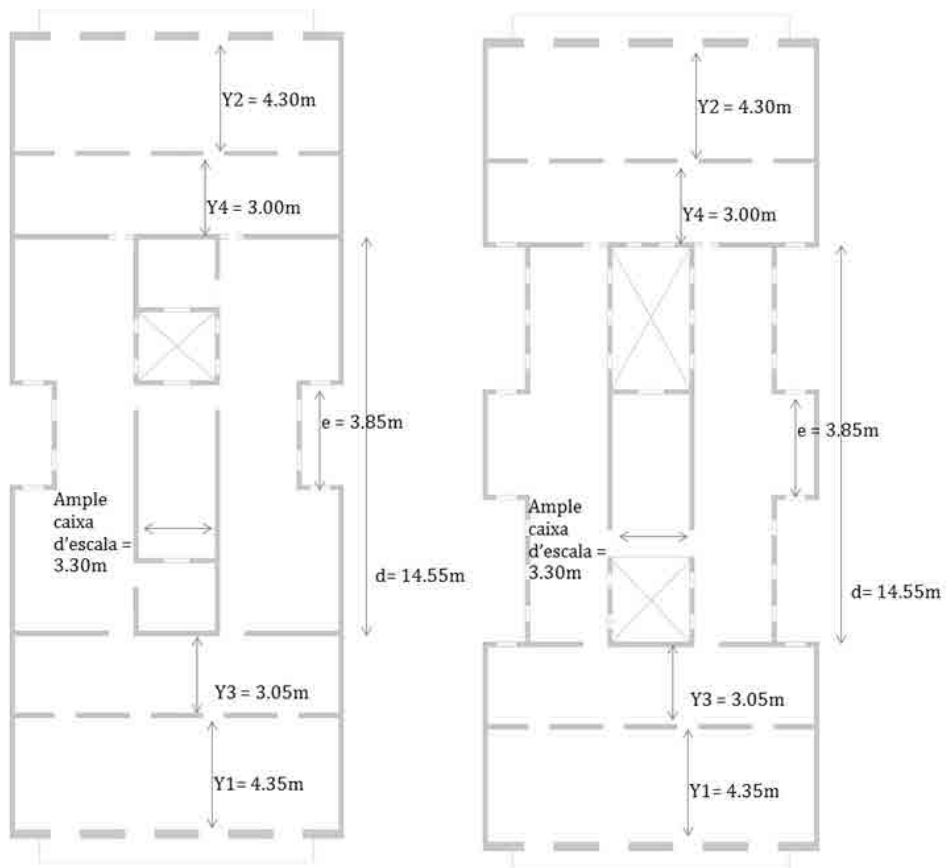


<sup>93</sup> Llúria 80 i Consell de Cent 233

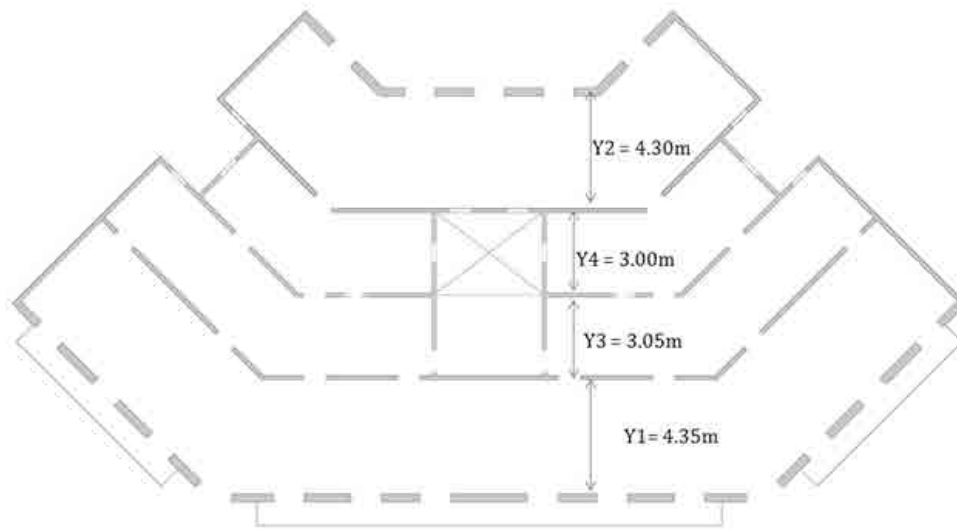




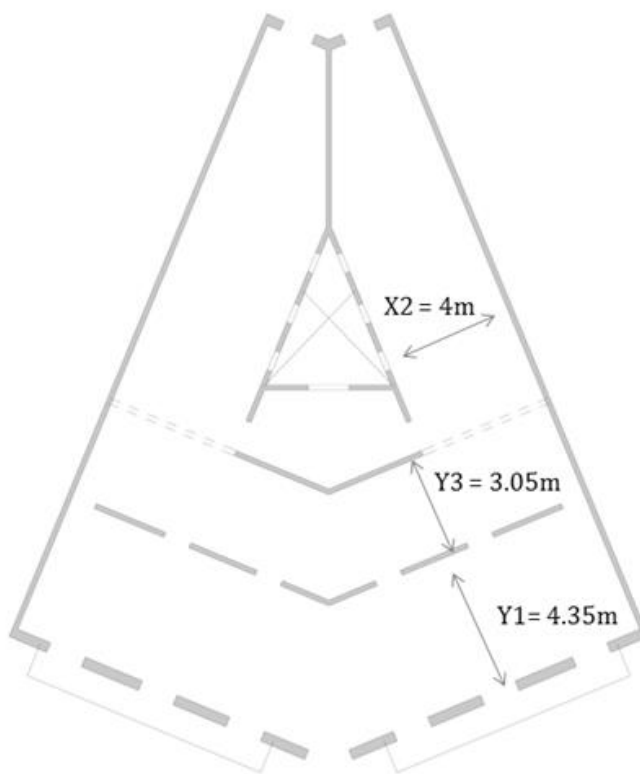
TIPUS 2A



TIPUS 2B i 2C



TIPUS V1A



TIPUS V1B

## 6.2 L'obra de fàbrica de maó a l'Eixample de Barcelona

El material principal que constitueix les estructures muràries dels edificis de l'eixample és l'obra de fàbrica de maó. Aquesta es troba present en murs de càrrega, murs de tancament i fonaments si bé en aquests últims i en les plantes baixes es pot trobar substituïda o combinada amb maçoneria de pedra o paredat.

L'obra de fàbrica, és un material compost. Els principals paràmetres que influeixen en el seu comportament mecànic són (Hendry, 1990):

- Relatiu a les peces: la resistència a tracció i a compressió, la geometria (massissa, perforada, etc.) i l'absorció
- Relatiu al morter: la deformabilitat, la resistència a compressió, i el gruix relatiu respecte les peces
- Relatiu a la maçoneria: la unió entre peça i morter, la direcció de les tensions (Figura 89) i els efectes locals (Molins Borrell, 1996).

Angle	Tracció uniaxial	Altres $\sigma_1$ i $\sigma_2$	Compressió uniaxial
0°			
22.5°			
45°			
67.5°			
90°			

Figura 89: Exemple de comportament biaxial (Molins Borrell, 1996)

A més d'aquestes, les propietats d'un element d'obra de fàbrica estan influïdes per un gran nombre de factors com les heterogeneïtats en els maons, degudes a diferències o deficiències de cocció, heterogeneïtats en els morters, per un ús de diferents dosificacions o tipus de morters, la qualitat de la mà d'obra, el grau de curat i l'edat. Aquests factors fan que existeixi un grau d'incertesa elevat per l'assumpció d'unes determinades propietats mecàniques per a l'obra de fàbrica.

Per tant, l'objectiu és disposar d'unes dades sobre l'obra de fàbrica de maó utilitzada a l'Eixample de Barcelona el més aproximades possible a la realitat per adoptar-les de cara a

l'anàlisi. A tal efecte, en els següents apartats es comenten les diferents dades locals disponibles sobre els paràmetres mecànics dels maons, dels morters i de l'obra de fàbrica de maó en l'Eixample de Barcelona, comparant-les amb altres dades procedents d'altres assajos i textos normatius que poden servir de comparació i referència.

### 6.2.1 Els maons

Pel que fa a les propietats mecàniques dels maons, cal remarcar que aquestes depenen fonamentalment de la seva composició i del procés de cocció. En principi, els maons no perforats poden considerar-se isòtrops (Martínez, Martín-Caro, & León, 2001).

En el cas concret dels maons dels edificis de l'Eixample, i atès que el procés de producció a les bòbiles influeix directament en els aspectes qualitius entre els maons, cal distingir dos períodes diferenciats (Paricio Casademunt, 1998):

- **Premecanització:** Producció heterogènia als forns intermitents que s'utilitzen fins al 1925. Els maons resultants presenten heterogeneïtats en massa, són de gra gruixut i porositat elevada, els maons presenten dispersions importants en la cocció ja que les temperatures del forn es modifiquen segons apreciació humana. Les peces ceràmiques s'obtenen per emmotllatge manual.
- **Mecanització:** amb la implantació dels forns Hofftman a partir de 1918 amb cocció més uniforme i ràpida. Els maons resultants són més homogenis que els anteriors i més regulars geomètricament, donat que ja a partir de principi de segle es comença a implantar la mecanització per a l'obtenció de les peces ceràmiques per extrusió.

És per aquestes variacions en el procés de fabricació que en els maons, el rang de variació de la resistència a compressió sol ser molt gran.

Tradicionalment, en la construcció local del s.XIX i pricipis del XX, el valor de la resistència a compressió dels maons era una dada que s'assumia de forma empírica. No és fins 1919, quan comença a funcionar el Laboratori d'Assaig de la Universitat Industrial de Barcelona, que ja es fa possible determinar la resistència a compressió dels maons prèviament a la seva col·locació. A la tesi de A. Paricio (Paricio Casademunt, 1998) es refereix un assaig d'aquest mateix laboratori del 1924 on es determinen les resistències a compressió de dos maons, un obtingut per mitjà d'un procés manual i l'altre per un de mecànic. Els resultats mitjans que se n'obtenen són de 23 kg/cm<sup>2</sup> per al primer i de 152 kg/cm<sup>2</sup> per al segon. Es tracta de resultats d'una mateixa bòbila. Assajos d'altres bòbiles presenten grans dispersions entre elles, fet que fa afirmar en la mateixa tesi: "Això confirma la gran diversitat de resultats, que en cap cas no es poden extrapolar". El 1953 Bergós (Bergós, 1953) publica els resultats de diversos assajos sobre maons de diferent procedència dins la geografia catalana. En el cas de Barcelona són maons fabricats a partir d'argila vermella de Camp de l'Arpa. A continuació es detallen, tant els resultats que es disposen dels diferents valors de resistència a compressió dels maons de

l'exemple(Paricio Casademunt, 1998)(Bergós, 1953), com d'altres recollits en diverses normatives nacionals i internacionals ("Code UIC 778-3 'Recomendations pour l'evaluation de la capacíté portante des ponts-voútes existants en maçonnerie et beton," 1995)("Les Ponts en maçonnerie," 1982)("BS 5628 Code of practice for the use of masonry. Materials and components, design and workmanship," 2005) (Espanya.Dirección General de la Vivienda, 2009)(Espanya.Ministerio de Obras Públicas, 1994) ("MV 201/72 Muros resistentes de fábrica de ladrillo," 1972)(Instituto de la Construcción y del Cemento "Eduardo Torroja," 1971).

No obstant, la ruptura a compressió de l'obra de fàbrica està associada a les tensions de tracció transversals induïdes a confinar el lligant sota sol·licitacions de compressió i tall, és per aquest motiu que és imprescindible per al funcionament resistent de la fàbrica que els maons disposin, de manera individual una certa resistència a tracció. En laboratori, la determinació directa de la resistència a tracció presenta problemes d'índole pràctica i es determina més freqüentment la resistència a flexotracció.

	COMPRESSIÓ				TRACCIÓ			
	manual		mecànic					
Assaig laboratori de la Universitat de Barcelona <sup>94</sup>	23		152					
Bergós	manual		mecànic		manual		mecànic	
	simple	cúbica	simple	cúbica	simple	cúbica	simple	cúbica
	130	65	280	102	32	143	35	12
UIC <sup>13</sup>	medio		duro		5% del valor de la resistència a compressió			
	80-150		150-300					
Ponts et Maçonnerie <sup>13</sup>	medio		bueno		3% del valor de la resistència a compressió			
	100-200		200-300					
BS 5628	mínim		màxim					
	350		450					
CTE DB SE F	mínim		màxim					
	50		250					
FL-90	mínim		màxim					
	100		200					
MV-72	mínim		màxim					
	70		300					
PIET-70	mínim		màxim					
	70		300					

Taula 19: Resum dels valors de les resistències a compressió i tracció dels maons, dades en kg/cm<sup>2</sup>.

<sup>94</sup> No s'especifica la mida de la probeta

### 6.2.2 Els morters

El morter es compon d'àrid, un conglomerant i aigua. Es tracta d'un material perfectament plàstic en l'instant de col·locació que s'endureix a les poques hores, adquirint rigidesa i resistència al llarg del temps.

Les propietats mecàniques dels morters en una construcció històrica depenen d'una multitud de factors (Sickels, 1987) a més del tipus de conglomerant, com la naturalesa i granulometria dels àrids, així com d'altres factors que són de difícil saber en morters existents, com del procés d'apagat, les condicions d'exposició a la intempèrie, etc.

Els principals conglomerats que s'han fet servir per a l'elaboració dels morters de l'Eixample són els que corresponen a la construcció d'aquest període històric concret: calç aèria, calç hidràulica, ciment lent i ciment pòrtland artificial. De la mateixa manera que els maons, també es poden establir diferències segons el procés d'obtenció del morter:

- **Processos preindustrials:** com a resultat s'obté morter de calç aèria com a conglomerant. El seu ús exclusiu gairebé arriba fins al 1910. És a partir d'aquí quan progressivament coexisteix amb altres conglomerats en diferents parts de l'obra. D'enduriment lent per carbonatació, la seva utilització té com a base el coneixement empíric i tradicional i generalment estava constituït per una part de calç i dues de sorra.
- **Processos industrials:** a partir dels quals s'obtenen la calç hidràulica, el ciment natural i el pòrtland artificial. L'ús d'aquest últim estava limitat en un inici a elements de formigó en fonaments (1920), i posteriorment a usos concrets en elements constructius que es podien preveure més sol·licitats. Pràcticament no es va utilitzar en l'edificació residencial com a morter d'obra fins a la dècada dels quaranta (Paricio Casademunt, 1998). En el període estudiat el seu ús es concreta, tal com afirma A. Paricio "en l'execució de les filades d'obra immediatament inferiors al recolzament del bigam dels sostres, quan encara no es col·locava el congreny en els pilars d'obra i, generalment, en llocs on hi havia molta concentració de càrrega" amb dosificacions d'1:3 i 1:4.

Cal esmentar les aportacions referents als morters de la tesi de A. Paricio (Paricio Casademunt, 1998) on es conclou que:

- La calç aèria és el conglomerat que més s'utilitza per la seva tradició, per l'hàbit de costums i per la seva capacitat resistent.
- Es troba en una mateixa obra, o fins i tot en un mateix element constructiu, la utilització de diferents tipus de morter optimitzant-ne el tipus d'acord amb les necessitats tècniques i econòmiques.

Dins del seu funcionament habitual a l'obra de fàbrica i pel que fa a les seves propietats, el morter està sotmès a un estat tensional triaxial. D'acord amb certs estudis (Sickels,

1987) entre el 60% i el 80% de l'assentament total que experimenta un mur de fàbrica (incloent la part instantània i la diferida) té lloc en les juntes horitzontals de morter. Aquestes xifres donen una idea de la importància del comportament del morter en el conjunt de la fàbrica.

Les principals dades publicades que es disposen sobre morters de l'eixample són les que corresponen als assajos al laboratori per Joan Bergós (Bergós, 1953) on compara provetes dels morters més habituals. En la Taula 20 es mostren els resultats de la campanya d'assajos de Joan Bergós (Bergós, 1953) (Paricio Casademunt, 1998) a més d'altres nacionals i internacionals (Cassinello Pérez, 1966) ("Code UIC 778-3 'Recomendations pour l'évaluation de la capacité portante des ponts-voûtes existants en maçonnerie et beton,'" 1995) (Rondelet, 1818)(Vicat, 1818).

	calç grassa	calç hidràulica	ciment lent	ciment portland	mixt	observacions
Bergós (A. Paricio)	40	de 10 a 18	16	290	176	valor d'assaig
Bergós (100%)	115		23	395	176	valor d'assaig
Casinello	5	15		de 100 a 150	30	resistències admissibles
UIC	de 2 a 5	de 5 a 20		de 80 a 150	de 20 a 80	recomenacions
Rondelet	de 44 a 49		de 45 a 50			proveta cúbica
Vicat <sup>95</sup>	de 5 a 10					

Taula 20: Resum dels valors de les resistències a compressió i tracció dels morters, dades en kg/cm<sup>2</sup>

### 6.2.3 L'obra de fàbrica

Les estructures de fàbrica en general, voltes, pilars, murs, etc. estan sotmeses a esforços predominantment de compressió. Per això cal prestar especial atenció al mecanisme de trencament sota aquest tipus de sol·licitació i, per tant, el valor de la resistència a compressió de la fàbrica.

El trencament de la fàbrica sota esforços de compressió està directament relacionat amb la interacció que es produeix entre la peça i el conglomerant, funció de les diferents

<sup>95</sup> En el sentit de considerar la millora de la resistència a compressió per l'efecte de pas del temps, Vicat va dur a terme una campanya assajant morters extrets d'edificis antics i morters nous. La impressió que s'obté d'aquesta comparació és que, com diu Heyman (Martínez et al., 2001), els morters són *pobres en origen* (en el sentit que la seva resistència és desenes de vegades inferior a la dels morters moderns) però, com en el cas del pont de Valentré, de 400 anys, les seves propietats poden conservar durant segles si no té lloc un procés de deteriorament. Els valors de  $f_m$  donats per Vicat són comparables entre si però, per les característiques de l'assaig, no es poden interpretar com a valors absoluts de resistència.

propietats deformacionals dels dos components del mur, així com de l'aparell de la fàbrica. L'essència del fenomen resideix en que la deformabilitat més gran del morter respecte als maons facilita la manera de trencament per tracció indirecta d'aquests (*splitting*). Per tant, els factors principals que influeixen en el comportament d'aquest tipus de material són:

- La relació entre la mida de les peces i el gruix de les juntes horitzontals
- Les característiques deformacionals del morter i dels maons i la resistència a tracció d'aquests últims
- La regularitat en l'aparell.

S'ha demostrat que la configuració de l'aparell (aparell: espanyol, anglès, belga, etc.) té una influència molt petita en la resistència de la fàbrica (Hendry, 1990). No obstant això, la regularitat o qualitat de l'aparell sí que té una notable influència en la resistència de la fàbrica. En referència a aquest comportament, la norma ACI 530-99 (Porter, 2000) distingeix entre fàbrica ben aparellada (Running Bond Masonry) i d'altres (Other). A Europa, l'EC-6 (*Eurocódigo 6: proyecto de estructuras de fábrica*, 1997) especifica com s'han de solapar les peces perquè es pugui considerar que la fàbrica està ben aparellada<sup>96</sup>.

Pel que fa al comportament tensió-deformació de l'obra de fàbrica, aquest és fortament no lineal des d'estats inicials de càrrega. De manera general, el comportament és de tipus elastoplàstic. A la Figura 90 (esquerra) es mostren les corbes tensió-deformació de l'obra de fàbrica obtingudes a partir dels assajos de Powell i Hodgkinson (Hendry, 1990). No obstant, tant les diferents normatives que han estat vigents com la normativa existent per al projecte i construcció d'estructures de fàbrica assimilen les corbes tensió-deformació de l'obra de fàbrica de maó a les del formigó. Així doncs les gràfiques tensió-deformació tenen l'aspecte que es mostra a la Figura 90 (centre i dreta).

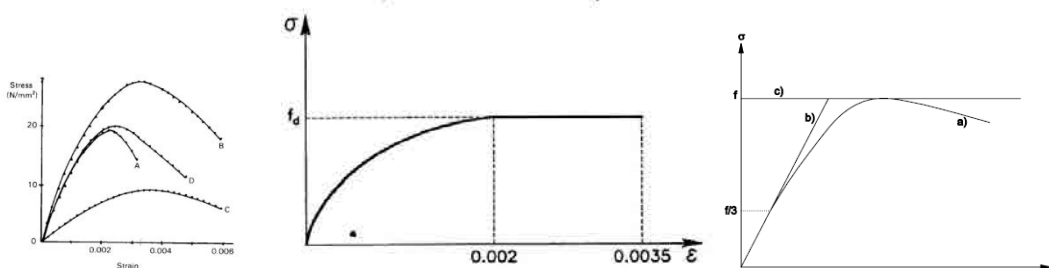


Figura 90: Corbes tensió deformació dels assajos de Powel i Hodgkinson per a fàbriques amb 4 tipus de maó maó (esquerra) i corba tensió-deformació paràbola-rectangle per a la fàbrica de maó a la FL-90 (centre) i mateixa gràfica del CTE-DB-SE-F (dreta)

Existeixen tres variables importants en el comportament uniaxial de la fàbrica: el nivell de confinament de la mateixa, l'angle d'incidència de l'esforç de compressió que fa a les esteses i, en menor mesura, el temps d'actuació de la càrrega.

<sup>96</sup> L' EC-6 especifica que les fàbriques s'han de solapar, entre filades successives, almenys 0,40 vegades l'alt de la peça i 40 mm com a mínim



En l'obra de fàbrica en que es centra la tesi, habitualment, l'angle d'incidència de la càrrega respecte la fàbrica és perpendicular a les esteses; així, doncs, podem emprar, encara que comportin una simplificació sobre el comportament real, els models normatius. En circumstàncies en les que l'esforç de compressió no fos perpendicular a les esteses es produiria una dràstica disminució en el valor de la resistència a compressió (Martínez et al., 2001) i s'esdevindria una caracterització biaxial de la fàbrica (Molins Borrell, 1996).

Històricament, el valor de la resistència a compressió de l'obra de fàbrica ha estat determinat de forma empírica, donant lloc, en el cas de Catalunya en el segle XIX, a estructures d'obra de fàbrica de maó cada vegada més arriscades i esveltes en un procés d'optimització del material gairebé al límit. Aquests valors de la resistència eren recomanacions i no estaven recollits en cap text normatiu. Bergós (Bergós, 1945) (Bergós, 1953) deixa constància del valor de  $12 \text{ kg/cm}^2$  que es prenien per a l'obra de fàbrica de maó massís. Es tractava d'un valor de tensió admissible per a una manera de calcular on no es majoraven càrregues i que ja incloïa una possible minoració de la resistència del material. Altres fonts orals dels anys 70<sup>97</sup> donen valors de la resistència a compressió de l'obra de fàbrica de maó de  $14 \text{ kg/cm}^2$  per a aquestes mateixes consideracions de càlcul. Altres receptes es basen en prendre valors orientatius de resistència de l'obra de fàbrica en funció de la resistència dels maons tals com "Resistencia admisible de un muro de fábrica (con piezas macizas) = 1/10 de la resistencia a compresión de las piezas"<sup>98</sup> o bé "Se demuestra que la resistencia a compresión de las piezas debe ser mayor que 4 veces la tensión de compresión máxima que solicita la fábrica" (Mañà i Reixach, n.d.).

En l'actualitat, és possible obtenir el valor de la resistència a compressió (perpendicular a les esteses) amb altres procediments. Aquests poden basar-se en l'ús de les taules i/o fórmules exposades en els textos normatius, a partir dels valors de resistència del morter i dels maons emprats, o bé en la realització d'assaigs<sup>99</sup>.

---

<sup>97</sup> Testimoni oral de Francesc Cornadó a l'escola d'aparelladors

<sup>98</sup> Font: testimoni oral.

<sup>99</sup> L'esveltesa i les dimensions absolutes de la proveta influeixen en el valor obtingut de resistència a compressió, la resistència in situ de les peces depèn de la geometria i que les dimensions reals no tenen perquè coincidir amb les de la proveta d'assaig, l' Eurocódigo 6, Proyecto de estructuras de Fábrica" (Eurocódigo 6 : proyecto de estructuras de fábrica, 1997) dona un factor de conversió que permet obtenir la resistència normalitzada (la utilitzada en càlculs) a partir de l' obtinguda en l'assaig.

Atenent únicament a la normativa vigent sobre obra de fabrica, el CTE-DB-SE-F proporciona dues formes de determinar la resistència característica d'una obra de fàbrica a partir de dades de resistència dels maons i del morter. La primera d'elles, la més simplificada, és prendre com a referència la taula 4.4 del DB-SE-F; la segona, a partir de la formulació aportada en l'Anejo C del mateix DB-SE-F. Amb aquest marc normatiu, per obtenir el valor de la resistència de càlcul i amb el tipus de fàbrica estudiat cal aplicar un coeficient de minoració de 3.

**Tabla 4.4 Resistencia característica a la compresión de fábricas usuales  $f_k$  (N/mm<sup>2</sup>)**

Resistencia normalizada de las piezas, $f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	5		10		15		20		25
Resistencia del mortero, $f_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	2,5	3,5	5	7,5	7,5	10	10	15	15
Ladrillo macizo con junta delgada	-	-	3	3	3	3	3	3	3
Ladrillo macizo	2	2	4	4	6	6	8	8	10
Ladrillo perforado	2	2	4	4	5	6	7	8	9
Bloques aligerados	2	2	3	4	5	5	6	7	8
Bloques huecos	1	1	2	3	4	4	5	6	6

Figura 91: Taula 4.4 del CTE-DB-SE-F, resistència característica a compressió de les fàbriques habituals.

Les resistències mínimes proporcionades en la taula per als morters són molt elevades si es vol estudiar una obra de fàbrica amb morters antics. És per aquest motiu que pot ser convenient recórrer a texts normatius que ja no estan en vigor ("MV 201/72 Muros resistentes de fábrica de ladrillo," 1972) (Instituto de la Construcción y del Cemento "Eduardo Torroja," 1971) però que sí proporcionen altres taules on es poden trobar morters amb resistències més properes a les dels morters que es troben a l'obra de fàbrica de l'Eixample.

Una altra manera d'obtenir el valor de la resistència a compressió d'una obra de fàbrica és a partir dels valors de les resistències a compressió dels morters i dels maons i recorrent a fórmules d'estimació empírica que les relacionin. Gran part de les fórmules empíriques per a l'obtenció de la resistència a compressió de l'obra de fàbrica tenen la forma que s'indica a la Figura 92, on  $f$  és la resistència a compressió de la,  $f_b$  és la resistència a compressió dels blocs i  $f_m$  la resistència a compressió del morter.  $K$ ,  $A$  i  $B$  són coeficients que s'ajusten experimentalment.  $A$  pren valors típics pròxims a 0,60,  $B$  al

Tabla 2.5 Factor entre la resistencia normalizada a compresión de la pieza ( $f_{bd}$ ) y la obtenida en el ensayo sobre probeta cúbica de 100 mm de lado. EC-6 [14]

Valores de  $\delta = f_{100x100} / f_{bd}$

Altura de la pieza [mm]	Menor dimensión horizontal de la pieza [mm]				
	50	100	150	200	250 ó mayor
50	0.85	0.75	0.70	-	-
65	0.95	0.85	0.75	0.70	0.65
100	1.15	1.00	0.90	0.80	0.75
150	1.30	1.20	1.10	1.00	0.95
200	1.45	1.35	1.25	1.15	1.10
250 ó mayor	1.55	1.45	1.35	1.25	1.15

taula extreta de (Martínez et al., 2001)

D'aquesta manera, suposant unes dimensions típiques la resistència in situ de les peces pot arribar a ser un 30% més gran en maó que la  $f_{100x100}$  dels assajos (Martínez et al., 2001)

voltant de 0,25 i K sol dependre de les característiques de la fàbrica (aparell, mida de les peces, etc.), essent variable entre 0,5 i 1,0 Aquest coeficient pot portar inclosa la minoració estadística si f és el valor característic en lloc de la mitjana (Martínez et al., 2001).

$$f = K \cdot f_b^A \cdot f_m^B \quad f_k = K_k \cdot f_b^{0.65} \cdot f_m^{0.25}$$

**Figura 92: Formulació empírica per a l'obtenció de la resistència a compressió de l'obra de fàbrica i exponents a aplicar a les resistències del morter i el maó segons l'Eurocodi 6 i el CTE-DB-SE-F.**

En el grup de fórmules empíriques exponencials del tipus de la Figura 92 està la proposta per l'Eurocodi 6 i el CTE-DB-SE-F. Perquè aquestes es puguin aplicar, els maons han de reunir els requisits prescrits en EC-6 per les 3 categories de peces i les juntes de morter han de tenir un gruix entre 8 i 15 mm. En el cas d'aquestes dues normatives la constant K adopta el valor de 0,6 en murs d'un full, quan el gruix de la fàbrica sigui igual al llarg o ample de les peces i aquestes siguin massisses, per tant, per a murs de 15 i 30 cm. Per a murs més gruixuts que 30cm no es precisa el valor que la constant K ha de prendre.

Altres fórmules d'aquest estil són les proporcionades pel BD 21/93 ("BS 5628 Code of practice for the use of masonry. Materials and components, design and workmanship," 2005) on es donen valors de la resistència característica de fàbrica per a pedra i maó amb diferents tipus de morter.

$$f_k = 0.8 \cdot f_b^{0.55} \cdot 2.5^{0.25} \quad f_k = 0.95 \cdot f_b^{0.44} \cdot 0.5^{0.25}$$

**Figura 93: Formulació per a l'obtenció de la resistència a compressió de l'obra de fàbrica amb coeficients i exponents proporcionats al BD 21/93 per a morter 1:2:9 (esquerra) i morter 0:1:3 (dreta)**

Existeixen també fórmules per quantificar f que reflecteixen, de manera directa, el mecanisme de trencament de la fàbrica, aquestes també reben el nom de fórmules fenomenològiques. En particular, fins on es coneix (Martínez et al., 2001), no s'han elaborat fórmules empíriques basades en mostres de fàbrica extretes de construccions històriques, aquest fet fa que alguns autors (Martínez et al., 2001) expressin la seva predilecció per a les fórmules fenomenològiques quan no es tracta d'obra nova. Es destaca la fórmula d'Olher per la seva bona coincidència amb els resultats experimentals i perquè permet tenir en compte de manera explícita els aspectes fonamentals que condicionen el valor de la resistència mitjançant paràmetres senzills on f és la resistència a compressió "normalitzada" de la fàbrica,  $f_b$  i  $f_m$  les resistències a compressió de les peces i el morter respectivament,  $\alpha$  i  $\beta$  són paràmetres que depenen del tipus de fàbrica i m i a paràmetres variables que varien en cada cas. Com a normatives internacionals que adoptin aquest tipus de formulacions està el codi UIC ("Code UIC 778-3 'Recommandations pour l'évaluation de la capacité portante des ponts-voûtes existants en maçonnerie et béton,'" 1995).

$$f = f_m + \frac{af_b - f_m}{1 + \frac{b\alpha}{m} \frac{f_b}{f_b}}$$

Figura 94: Fórmula d'Olher per a l'obtenció de la resistència a compressió de la fàbrica.

Atesa la variació de les característiques d'una obra de fàbrica ocasionades pel caràcter local de la fabricació dels maons, la variabilitat en els morters i les particularitats de l'execució, la manera més òptima per poder determinar les propietats mecàniques d'una obra de fàbrica concreta és amb la realització d'assajos. Si bé a nivell internacional s'han publicat resultats sobre fàbriques antigues, per a la present tesi són especialment importants aquells resultats procedents d'assajos d'obres de fàbrica de maó de Barcelona del període estudiat. En aquest grup es troben dues fonts principals, la primera, els resultats dels assajos realitzats i publicats per Bergós (Bergós, 1953) que estan àmpliament comentats a la tesi de A. Paricio (Paricio Casademunt, 1998) i, la segona, les dades facilitades pel Laboratori de Materials de l'Escola d'Edificació de Barcelona i processades per l'autora de la tesi sobre assajos realitzats per encàrrec en fàbriques de Barcelona en el període estudiat, inèdites fins la data d'avui.

Els primers resultats es troben publicats en el llibre *Materiales y elementos de construcción* de J. Bergós on s'aporten resultats d'assajos tant de maons, dels que se n'ha parlat anteriorment, com de murs d'obra de fàbrica. Sobre aquests últims, es donen els valors corresponents a provetes cúbiques d'obra de fàbrica de 29,5cm de costat, les resistències últimes de mitjana obtingudes amb els maons col·locats de pla, en funció del conglomerant són:

- Morter de calç hidràulica 1:3: 64,20 kg/cm<sup>2</sup>
- Pasta pura de guix: 78,71 kg/cm<sup>2</sup>
- Morter 1:3 de ciment ràpid: 83,23 kg/cm<sup>2</sup>
- Morter 1:3 de ciment lent: 83,57 kg/cm<sup>2</sup>
- Morter 1:3 de ciment portland: 116,89kg/cm<sup>2</sup>

Bergós, referint-se al nombre i les condicions dels assajos realitzats, afirma: “Las restricciones de tiempo y elementos, impuestas por el marco docente en que se han desarrollado los ensayos y por las limitadas posibilidades del laboratorio, no han permitido las reiteraciones indispensables para lograr una investigación profunda, y, por ello sería inadecuado vestir los resultados con un excesivo ropaje matemático”...“estos ensayos de laboratorio nos dan ideas precisas pero más fragmentarias de la realidad” ej: a medida que aumenta el tamaño de la probeta disminuye su resistencia. “de aquí la tendencia de los investigadores americanos a llegar al ensayo directo de los elementos de construcción” (Bergós, 1953, figura 19 pag 11) . Per tant, relativitza els resultats obtinguts, així com també relativitza la manera tradicional de considerar l'obra de fàbrica de cara al càlcul quan afirma: “Las fórmulas clásicas de la resistencia de materiales que nos permiten

deducir las cargas de ensayo los esfuerzos por unidad de sección, se basan en la isotropía y elasticidad perfecta de la materia. Únicamente los metales de categoría laminados se acercan a aquellas condiciones ideales...En los materiales restantes son inexactas las hipótesis de que las secciones continúen planas después de la deformación, y de que las fatigas longitudinales se repartan por las leyes rectangulares, triangulares o trapeciales en que se basan aquellas fórmulas.”(Bergós, 1953).

Fins a la data, i fins el què es coneix, no han estat publicats altres resultats sobre assajos de murs d'obra de fàbrica en el període estudiat en l'àrea de Barcelona. Per a l'elaboració d'aquesta tesi s'aporten les dades facilitades pel laboratori de materials de l'Escola d'Edificació de Barcelona i que han estat tractades per l'autora per al seu aprofitament. D'un total de més de 60 edificis d'on han estat extretes provetes d'assaig, per encàrrec des de 1995, s'han destriat 15 edificis amb un total de 37 assajos realitzats. Aquests són els que corresponen per localització i època a l'àmbit i període estudiat, les dades resultants dels assajos es mostren a la Taula 21.

ref	llarg		ample		alt		càrrega rotura		mòdul elasticitat		tensió última	
	cm	mm	cm	mm	cm	mm	kg	N	kg/cm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1057	27	270	14,5	145	28,9	289	36566		10916		93,40	9,34
1713		430		145		499		397488				6,38
1713		270		145		204		423262				10,81
2462		160		310		335		402584				8,12
3404		380		145		460		294294				5,34
2649		295		150		230		442176				9,99
2649		300		150		235		452074				10,05
946		290		140		390		178164				4,39
3293		450		140		415		487060				7,73
966		295		145		295		369656				8,64
966		365		145		405		483238				9,13
1053		400		140		430		375290		1243		6,70
1053		279		140		340		300159		1276		7,68
868	36	360	14,5	145	34,5	345	17730				33,97	3,40
868	30,5	305	14,5	145	34,5	345	19740				44,64	4,46
868	29	360	14,5	145	29,9	299	19240				45,76	4,58
868	25	360	14,5	145	30,5	305	16610				45,82	4,58
868	27,6	276	14,5	145	34,5	345	22050				55,10	5,51
868	30,5	305	14,5	145	34,5	345	24870				56,24	5,62
868	33,3	333	14,5	145	35	350	31210				64,64	6,46
1025		343		145		350		252350				5,07
1025		396		145		365		325164				5,66
2502		340		145		240		297136				6,03
952		350		140		380		220206				4,49
952		315		140		370		215502				4,89
952		300		140		310		261464				6,23

ref	llarg		ample		alt		càrrega rotura		mòdul elasticitat		tensió última	
	cm	mm	cm	mm	cm	mm	kg	N	kg/cm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1038		140		145		150		174832				8,61
1036		365		140		400		599760				11,74
1036		370		140		380		607992				11,74
1036		365		140		385		607012				11,88
990		380		145		230		337751				6,13
990		195		145		165		398566				14,10
990		165		145		120		346822				14,50
990		105		145		115		233730				15,35
990		220		145		120		715792				22,44
3308		275		145		285		107016				2,68
3308		295		145		135		378966				8,86

Taula 21: Resultats dels assajos realitzats en provetes extretes de murs al laboratori de materials de l'Escola d'Edificació de Barcelona 1995-2013.

En tractar-se d'assajos per encàrrec on el coneixement del valor de resistència de la fàbrica era la prioritat, és freqüent que aquests no incloguin una anàlisi química del morter, per tant saber la composició dels morters de les provetes és impossible. No obstant, amb el coneixement que es té de les fàbriques de l'època, es pot afirmar que majoritàriament es tracta de morters de calç i bastards.

Una altra limitació de les dades procedents d'aquests assajos és la dispersió en les mides de les provetes. Aquestes diferències en l'esveltesa fan que els valors que s'obtenen d'assaig no siguin comparables entre sí.

Per trobar una relació entre la disminució de la resistència a compressió de les provetes amb l'augment de l'esveltesa, s'han emprat les dades de publicacions que proporcionen diversos valors de resistència de l'obra de fàbrica per a diferents esvelteses de la proveta per a unes mateixes característiques de l'obra de fàbrica (Charry Ablanque, 2010). Fent una regressió lineal d'aquestes dades d'assaigs s'ha relacionat l'esveltesa amb la reducció de la resistència (Charry Ablanque, 2010) processant les dades dels valors del laboratori de materials de l'Escola d'Edificació de Barcelona i igualant-les totes a una esveltesa de la proveta de 4 amb els resultats que es mostren a la Taula 22.

ref	llarg		ample		alt		càrrega rotura		mòdul elasticitat		tensió última		resistència equivalent proveta esveltesa 4
	cm	mm	cm	mm	cm	mm	kg	N	kg/cm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	
1057	27	270	14,5	145	28,9	289	36566		10916		93,40	9,34	7,49
1713		430		145		499		397488				6,38	5,90
1713		270		145		204		423262				10,81	8,23
2462		160		310		335		402584				8,12	6,57
3404		380		145		460		294294				5,34	4,81
2649		295		150		230		442176				9,99	7,69

ref	llarg		ample		alt		càrrega rotura		mòdul elasticitat		tensió última		resistència equivalent	
	cm	mm	cm	mm	cm	mm	kg	N	kg/cm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	proveta esveltesa 4	
2649		300		150		235		452074				10,05	7,75	
946		290		140		390		178164				4,39	3,80	
3293		450		140		415		487060				7,73	6,81	
966		295		145		295		369656				8,64	6,96	
966		365		145		405		483238				9,13	7,91	
1053		400		140		430		375290		1243		6,70	5,97	
1053		279		140		340		300159		1276		7,68	6,42	
868	36	360	14,5	145	34,5	345	17730					33,97	3,40	2,82
868	30,5	305	14,5	145	34,5	345	19740					44,64	4,46	3,71
868	29	360	14,5	145	29,9	299	19240					45,76	4,58	3,69
868	25	360	14,5	145	30,5	305	16610					45,82	4,58	3,71
868	27,6	276	14,5	145	34,5	345	22050					55,10	5,51	4,58
868	30,5	305	14,5	145	34,5	345	24870					56,24	5,62	4,68
868	33,3	333	14,5	145	35	350	31210					64,64	6,46	5,39
1025		343		145		350		252350					5,07	4,23
1025		396		145		365		325164					5,66	4,77
2502		340		145		240		297136					6,03	4,69
952		350		140		380		220206					4,49	3,86
952		315		140		370		215502					4,89	4,17
952		300		140		310		261464					6,23	5,10
1038		140		145		150		174832					8,61	6,37
1036		365		140		400		599760					11,74	10,23
1036		370		140		380		607992					11,74	10,08
1036		365		140		385		607012					11,88	10,24
990		380		145		230		337751					6,13	4,74
990		195		145		165		398566					14,10	10,48
990		165		145		120		346822					14,50	10,50
990		105		145		115		233730					15,35	11,37
990		220		145		120		715792					22,44	16,25
3308		275		145		285		107016					2,68	2,15
3308		295		145		135		378966					8,86	6,47

Taula 22: Resultats dels assajos realitzats en provetes extretes de murs al laboratori de materials de l'Escola d'Edificació de Barcelona 1995-2013 amb resistències igualades per a provetes d'esveltesa 4.

Una vegada unificades les resistències a una mateixa esveltesa 4 s'obtenen valors que donen una resistència a compressió mitjana de 6,5 N/mm<sup>2</sup>, amb una gran dispersió en els assajos des d'un mínim de 2,14N/mm<sup>2</sup> a un màxim de 16,25N/mm<sup>2</sup>.

En l'anàlisi de la present tesi i a partir dels assajos realitzats en el laboratori de materials, es pren com a valor de la resistència de trencament de la fàbrica el valor de 3,6N/mm<sup>2</sup>. Aquest valor s'obté com una resistència característica ( $f_{yk}$ ), existint una

probabilitat del 95% de què es presentin valors individuals de valors de la resistència a compressió més alts que aquest (veure Figura 95).

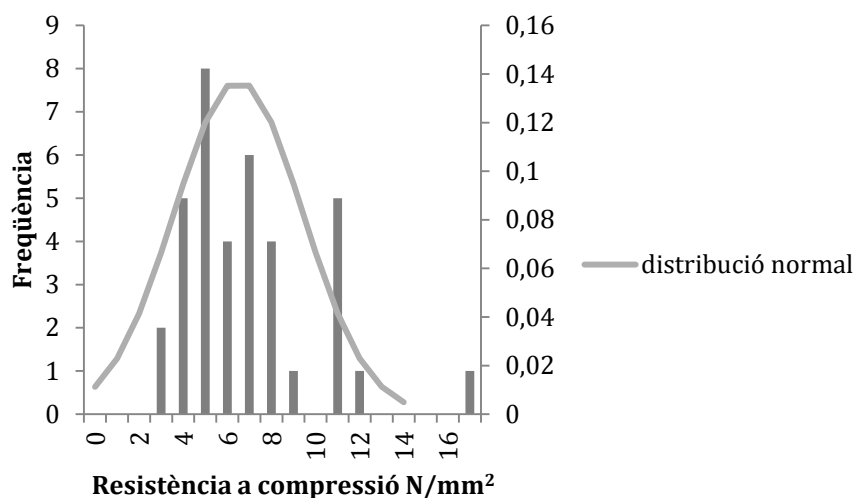


Figura 95: Histograma de freqüències dels valors de resistència dels assajos realitzats en provetes extrems de murs al laboratori de materials de l'Escola d'Edificació de Barcelona 1995-2013

D'aquests mateixos assajos realitzats en el laboratori de materials s'obtenen la resta de valors associats als materials que intervenen en les estructures analitzades i que s'han introduït en el programa de càlcul.

- Pel que fa al mòdul de Young s'ha pres el valor mitjà dels obtinguts en els assajos de l'escola d'Edificació, 1169,5 N/mm<sup>2</sup>.
- El pes específic adoptat és de 18 kN/m<sup>3</sup>(Espanya.Dirección General de la Vivienda, 2009).
- D'altra banda, el límit elàstic transversal G adoptat és 300 N/mm<sup>2</sup>(Moreno-González & Bairán, 2011).
- Per a l'acer, s'han emprat dades històriques del material facilitades pels fabricants en el període que comprèn l'estudi; el valor del seu mòdul de Young és de 21.000 N/mm<sup>2</sup>, el límit elàstic transversal és de 8076.0 N/mm<sup>2</sup>, i el pes específic del material de 78,5 kN/m<sup>3</sup>.



### 6.3 Accions del càlcul

A continuació s'exposen des de les consideracions prèvies fins a un desglossament detallat d'accions i hipòtesis de càlcul emprades. L'avaluació estructural dels models s'ha fet a partir de les càrregues verticals del context normatiu del Codi Tècnic de l'Edificació, vigent (2014). S'ha descartat la verificació enfront a esforços horitzontals, ja que:

- En el cas del sisme, l'estudi del comportament dels edificis de l'Eixample a esforços horitzontals dinàmics ja ha estat estudiat àmpliament (veure Capítol 2 Estat de la Qüestió) i s'allunya dels objectius de la present tesi.
- En els cas dels esforços horitzontals generats pel vent aquests tenen una incidència relativa en aplicar-se a edificis de no gran alçaria ubicats dins d'un entorn urbà d'alta densitat formant illes tancades. Aquesta decisió ve reforçada amb el fet d'haver comprovat en l'observació dels danys (veure capítol 8) que no hi ha cap esquerda amb causes atorgables a l'acció del vent.

Quant a l'estat de càrregues, s'ha adoptat els valors estimats que recullen les taules de l'annex D del CTE DB SE-AE. El càlcul d'accions verticals també inclou els pesos propis dels elements constructius, com ara façanes i resta d'estructura vertical.

- El desglossat de les càrregues permanents de les plantes tipus comprèn: forjat de biguetes metàl·liques i revoltos ceràmics ( $2,7\text{kN/m}^2$ ), paviment de rajola hidràulica ( $1\text{kN/m}^2$ ) i envans ceràmics ( $1\text{kN/m}^2$ ).
- Les càrregues variables a l'interior dels habitatges són de  $2\text{ kN/m}^2$ , mentre que en espais comuns i escales arriben als  $3\text{kN/m}^2$ .
- En les plantes de remunta i coberta, s'ha pres un valor de càrrega permanent promig de  $3,0\text{ kN/m}^2$ .
- El càlcul d'accions verticals també inclou els pesos propis dels elements constructius, com ara façanes i murs d'obra de fàbrica.

S'ha adoptat les hipòtesis de càlcul més desfavorables que recull el Codi Tècnic de l'Edificació en estat límit últim, que són diferents per al càlcul de murs i per al de fonamentació. Corresponen, en cada cas, a:

- En el cas dels murs, la hipòtesi adoptada combina la majoració de càrregues permanents en 1,35 i la majoració de les sobrecàrregues per 1,50.
- Pel que fa a la fonamentació, segons els procediments que es prescriuen en el CTE DB-SE C, no s'ha majorat el valor de l'axil de disseny, entenent que qualsevol coeficient de seguretat s'aplicarà sobre els valors de resistència admissible del terreny a posteriori.

En ambdós casos, tanmateix, es recorre a aplicar una reducció del 80% de les sobrecàrregues d'ús indicada en el CTE DB-SE AE<sup>100</sup>, per donar-se una repetició en més de 5 plantes del mateix ús (habitatges) .

---

<sup>100</sup> DE-SE-AE; Taula 3.2, Coeficients de reducció de sobrecàrregues

## 6.4 Anàlisi de l'estructura mitjançant simulacions per elements finits

L'anàlisi de les estructures d'obra de fàbrica s'aborda en tres fases a partir d'aproximacions successives:

- La primera fase engloba la totalitat de l'edifici, i processa cadascun dels sis models exposats en aquest capítol i que provenen de l'estudi dels paràmetres mitjans dels tipus estructurals. Aquesta té per objectiu localitzar les zones més carregades de l'edifici (hotspots) per a cada un dels tipus que seran susceptibles a un estudi en més detall.
- En la segona fase s'analitzen aquestes zones més carregades tot estudiant-les a fons; reiterativament i per cada un dels tipus, es prenen els valors màxims i mínims de les crugies implicades en aquests valors punta, per a poder conèixer el rang de variació de les tensions i donar una idea de rang de treball per a cada un dels hotspots per a cada un dels tipus.
- Independentment de l'estudi de la primera i segona fase que aporten informació teòrica i analítica sobre el comportament d'aquest tipus d'estructures, el càlcul a partir d'elements finits també hi és present a l'hora d'estudiar amb més detall determinades zones de les estructures en les quals s'ha observat uns esquemes fissuratiu concrets.

En les dues primeres fases i des d'un inici, es planteja la tasca d'avaluar un ampli paquet de models estructurals diferents, quelcom difícil de resoldre amb els programes habituals de càlcul. Se solventa gràcies a una sistematització amb el disseny paramètric. El programa escollit per a desenvolupar els dos primers nivells de modelatge i anàlisi global de l'edifici i estudi de rang de tensions és *Karamba*<sup>101</sup>, un software de càlcul d'elements finits dins el marc de *Grasshopper*<sup>102</sup>, que ofereix una aplicació única i innovadora en relació a la resta de programes de càlcul per elements finits habituals perquè l'anàlisi s'actualitza automàticament quan s'introdueixen canvis en el model. Per tant permet analitzar "en temps real". la resposta d'estructures en tres dimensions, compostes per elements finits plans ("shells") i elements finits lineals (barres), sotmeses a diferents càrregues.

Per contra, per a l'anàlisi de l'esmentat tercer nivell destinat a un anàlisi més local, i per tant, amb un especejament molt més detallat de les cel·les shell i un àmbit d'estudi més focalitzat, s'utilitza el conegut programa SAP 2000 v.11 <sup>103</sup>.

---

<sup>101</sup> Programa de disseny paramètric de codi obert desenvolupat a Viena per Clemens Preisinger en cooperació amb Bollinger-Grohmann-Schneider ZT, GmbH Vienna.

<sup>102</sup> Editor d'algoritmes gràfics integrat estretament amb les eines de modelatge 3d de Rhinoceros, desenvolupat per David Rutten, McNeel Group, Eslovàquia.

<sup>103</sup> Structural Analysis Program, CSI Computers&Engineering, California

En el transcurs de la present tesi s'ha desenvolupat ad hoc un codi de *Grasshopper* per a l'anàlisi dels models que provenen de la tipologia. En aquest procés s'han identificat els elements els que constitueixen: murs, obertures tipus porta o finestra, llums entre vans, alçades. Paral·lelament, com es detalla en els apartats anteriors, s'ha recollit els valors dels paràmetres que condicionen les característiques mecàniques dels materials i les accions normatives a aplicar. S'ha ensamblat en el programa informàtic tots aquests elements i, una vegada realitzats els càlculs, se'ls ha donat sortida gràfica. En definitiva, s'ha desenvolupat un mètode semi-automàtic per a analitzar un gran nombre d'estructures muràries en tres dimensions, partint únicament d'un croquis en planta de CAD que varia en cada cas segons el model.

Els models que es generen al partir del croquis consten dels murs en tota l'alçada que queden definits en aquest, les biguetes que recolzen sobre ells i els estintolament d'aquests a les plantes baixes. A cada una de les plantes s'apliquen de manera puntual sobre els murs les càrregues transmeses per les biguetes. En total es consideren models de 7 plantes, planta baixa i sis plantes tipus. La càrrega de les remuntes incideix sobre els murs de l'última planta.

El resultat és un descens de càrregues en una estructura tridimensional, amb unes "shells" d'una dimensió aproximada de 25 cm de costat, en el qual és rellevant destacar la importància de la rigidesa del conjunt de l'edifici ja que es compta amb la participació dels panys de mur perpendiculars en la transmissió de càrregues, que ve determinada per la rigidesa a tallant de l'obra de fàbrica.

En segon lloc, es consideren els accidents geomètrics com ara obertures de tipus porta o finestra que venen definides per l'anàlisi tipològica. No s'han inclòs elements amb diferent rigidesa a les llindes de petites obertures, havent constatat que en la realitat les obertures de finestres amb llinda són poc freqüents. D'altra banda, s'observa i es té en compte la influència que l'ús de jàsseres d'acer té en el desviament de les càrregues a les plantes baixes.

Finalment, per a la localització dels punts més carregats de l'edifici i el seu posterior anàlisi, s'obtenen els valors de les reaccions en les shells i de les tensions existents en tres ubicacions diferents que corresponen a aquelles més desfavorables:

- Base del mur de planta principal. Es tracta de zona de l'edifici on les tensions en l'obra de fàbrica per causa de la compressió seran més elevades: màxima sol·licitació i mínima secció de mur (15cm). Es descarta l'anàlisi a base de mur de planta baixa perquè en aquesta ubicació l a major amplada del mur incideix notablement en la disminució del valor de la tensió deixant de ser un punt crític.
- Mitja alçada del mur de planta principal. Es correspon a la zona de l'edifici on l'efecte de l'esveltesa dels murs influeix de manera més negativa. És més desfavorable aquesta ubicació que la mitja altura del mur de la planta baixa

perquè, tot i tenir menor altura, el mur de la planta principal és només de 15cm de gruix i no es troba apilastrat com el de la planta baixa. Per a aquest càlcul s'aplica la reducció per vinclament que recull el CTE DB SE-F<sup>104</sup> i que es detalla més endavant.

- A base de fonamentació. En aquest cas el factor limitant no és el valor de la resistència a compressió de l'obra de fàbrica sinó la del terreny.

A continuació, s'exposen diferents qüestions que ha calgut abordar en el moment de considerar l'avaluació estructural per elements finits per tots dos programaris emprats:

El comportament homogeni del material – resistència a la compressió

- L'anàlisi mitjançant programes d'anàlisi d'elements finits com Karamba o Sap 2000 no permet establir diferències en el comportament a tracció i compressió dels elements.
- L'anàlisi, però, és del tot vàlid en tant que s'ha verificat que es compleix que no apareixen traccions allà on s'avaluen les reaccions. S'assumeix, per tant, que les traccions poden estar presents de manera local, però que no interfereixen en els resultats de l'anàlisi que porten a trobar els punts més sol·licitats per cada tipologia.

Càlcul elàstic - no plàstic

- El procediment d'anàlisi elàstic adoptat es correspon a una anàlisi elàstica. No té, per tant, en compte els danys existents i s'omet el possible efecte d'una entrada en càrrega gradual de l'edifici durant la construcció adoptant una hipòtesi de càrrega simplificada. L'anàlisi plàstic no lineal dels models obtinguts de la tipologia s'apunta com una de les possibles línies futures d'investigació.

El procediment per al càlcul de l'esveltesa de murs

- S'ha incorporat en el procés de càlcul la disminució de capacitat portant per l'efecte descentrador de les càrregues provocat per l'esveltesa. Aquesta s'ha tingut en compte en la comprovació a mitja alçada del mur de la planta principal seguint el mètode que es contempla en els textos normatius vigents per a estructures d'obra de fàbrica de nova construcció: CTE- SE- DB - F i EC6 (veure Capítol 7). Per adaptar el procediment normatiu a la casuística de les estructures muràries s'han descartat possibles moments generats per l'encastament dels sostres en els murs, aquest mètode es troba generalment acceptat (Gonzalez Moreno-Navarro & Casals, 1996).

---

<sup>104</sup> Código Técnico de la Edificación Documento Básico Seguridad Estructural: Fábrica, capítulo 5.2 Muros sometidos predominantemente a carga vertical

- La disminució de capacitat portant en murs esvelts es calcula a partir de l'obtenció d'un factor  $\phi$  no linear que depèn de l'excentricitat de la càrrega vertical. Aquesta última, a la vegada, depèn de les condicions d'execució – que s'han triat en aquest cas les més desfavorables en desconèixer-les – i de les condicions de contorn i l'aparell del mur que defineixen una altura i un gruix virtual, respectivament, a tenir en compte de cara al càlcul.
- El procés de càlcul s'ha informatitzat incorporant-lo a la programació en l'entorn Grasshopper per aquesta ubicació en els murs.

#### Comportament isostàtic dels forjats

- S'assumeix un model de càlcul en què les càrregues horitzontals es transmeten a eix dels elements verticals. En el model s'apliquen càrregues puntuals en els nodes que reben les càrregues de les bigues. No s'aplica cap moment corresponent a un possible empotrament al cap dels murs. Aquesta hipòtesi ha estat àmpliament adoptada en càlculs senzills amb mètodes no numèrics amb resultats realistes.

#### Mida de les “shells”

- L'especejament de les “shells”, s'adapta a la geometria recollida en els aixecaments dels tipus de manera molt precisa. S'ha procurat que la dimensió mitja d'aquestes sigui de 25cm de costat, podent assolir un màxim de 30 cm. Aquesta mida s'estableix com a consens entre la limitació de la potència de càlcul dels processadors actuals, on s'ha detectat serioses dificultats en la manipulació de més de 30.000 elements, i l'heterogeneïtat manifesta de la realitat constructiva.

#### Model simètric

- Amb la finalitat d'estalviar recursos informàtics d'incrementar i optimitzar al màxim el detall de l'anàlisi, donat que els models són simètrics, s'han simulat únicament en una de les dues meitats. S'han establert condicions especials als nodes de vora, per restringir girs i desplaçaments en el pla perpendicular a aquest eix de simetria i emular així les condicions d'un model complet.

## 6.5 Referències

- Bergós, J. (1945). *Construcciones urbanas y rurales*. Barcelona : Bosch. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1024505~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1024505~S1*cat)
- Bergós, J. (1953). *Materiales y elementos de construcción : estudio experimental*. Barcelona : Bosch. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1006932~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1006932~S1*cat)
- BS 5628 Code of practice for the use of masonry. Materials and components, design and workmanship. (2005).
- Cassinello Pérez, F. (1966). *El Ladrillo y sus fábricas*. Madrid : IETcc. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1029959~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1029959~S1*cat)
- Charry Ablanque, J. A. (2010). *Estudio experimental del comportamiento de paredes de obra de fábrica de ladrillo ante la acción de cargas laterales*. Universitat Politècnica de Catalunya. Retrieved from <http://www.tdx.cat/TDX-0409110-133144/>
- Code UIC 778-3 "Recomendations pour l'évaluation de la capacité portante des ponts-voûtes existants en maçonnerie et béton." (1995). Union Internationales des Chemins de Fer.
- Espanya.Dirección General de la Vivienda, la A. y el U. (2009). *Documento básico SE-F : seguridad estructural : fábrica*. Madrid : Ministerio de Fomento. Dirección General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1443570~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1443570~S1*cat)
- Espanya.Ministerio de Obras Públicas, T. y M. A. (1994). *FL-90 : muros resistentes de fábrica de ladrillo*. Madrid : Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1099577~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1099577~S1*cat)
- Eurocódigo 6 : proyecto de estructuras de fábrica. (1997). Madrid : AENOR. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1130433~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1130433~S1*cat)
- Gonzalez Moreno-Navarro, J. L., & Casals, A. (1996). Nuevos datos sobre la construcción de Antoni Gaudí: la sorprendente estructura constructiva de la Casa Botines de León. *Actas Del Primer Congreso Nacional de Historia de La Construcción, Madrid 1996*.
- Hendry, A. W. (1990). *Structural masonry*. London : MacMillan. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1064960~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1064960~S1*cat)
- Instituto de la Construcción y del Cemento "Eduardo Torroja." (1971). *P.I.E.T. 70 : prescripciones del Instituto Eduardo Torroja : obras de fábrica*. Madrid : IETcc. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1029961~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1029961~S1*cat)
- Les Ponts en maçonnerie. (1982). Ministère des Transports de Francia. Direction des Routes.
- Mañà i Reixach, F. (n.d.). *La seguridad en las estructuras de fábrica*. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1367835~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1367835~S1*cat)
- Martínez, J. L., Martín-Caro, J. A., & León, J. (2001). *Comportamiento mecánico de la obra de fábrica*. [Madrid] : E.T.S.Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Departamento de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1192880~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1192880~S1*cat)

- Molins Borrell, C. (1996). *Un Model per a l'anàlisi del comportament resistent de construccions de maçoneria*. Universitat Politècnica de Catalunya. Retrieved from <http://www.tdx.cat/TDX-0919103-080125/>
- Moreno-González, R., & Bairán, J. (2011). Análisis del comportamiento sísmico de los edificios de obra de fábrica, típicos del distrito Eixample de Barcelona. *Informes de La Construcción*, 63(524), 21–32.
- MV 201/72 Muros resistentes de fábrica de ladrillo. (1972). Ministerio de la Vivienda.
- Paricio Casademunt, A. (1998). *Anàlisi del sistema constructiu a base de murs de càrrega, utilitzats en la formació de l'Eixample de Barcelona*. Retrieved from <http://cataleg.upc.edu/record=b1155142~S1%2Acat>
- Porter, M. L. (2000). Building Code Requirements for Masonry Structures (ACI 530-99/ ASCE 5-99/TMS 402-99), Specification for Masonry Structures (ACI 530.1-99/ ASCE 6-99/TMS 602-99), Commentary on Building Code Requirements for Masonry Structures, Commentary on Specification f. Retrieved from <http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?123747>
- Rondelet, J. (1818). *L'art de bâtir*. Paris.
- Sickels, L. B. (1987). Mortars in old buildings and masonry conservation : A historical and practical treatise. University of Edinburgh. Retrieved from <http://www.era.lib.ed.ac.uk/handle/1842/6986>
- Vicat, L. . (1818). *Recherches sur les mortiers*. Paris.



## 7 Anàlisi i avaluació del sistema estructural

---

En el present capítol s'exposa la tant metodologia seguida per obtenir el comportament de cada un dels tipus definits anteriorment enfront de càrregues verticals, com la posterior avaluació dels punts més carregats, tant en xifres absolutes com relatives a la legislació existent.

### 7.1 Descripció de la metodologia

S'avaluen cada un dels models corresponents als diferents tipus adoptant les característiques mecàniques dels materials i les accions descrites en el Capítol 6. S'aporten els resultats de l'anàlisi en les següents ubicacions, que corresponen a les zones més crítiques per la possibilitat de concentració de càrregues tal i com es descriu al Capítol 6:

- Extrem inferior dels murs de la planta principal
- Mitja alçada de la planta principal
- A base de fonamentació

Per cada tipus edificatori es duen a terme les accions següents:

- **Obtenció de les tensions resultants**, en cada una de les ubicacions esmentades prèviament: a extrem inferior dels murs de la planta principal, a mitja alçada dels murs de la planta principal i a base de fonamentació. El resultat es mostra en una representació en una secció horitzontal en planta que proporciona la distribució de tensions en els murs en un gradient de color continu.
- **Localització dels punts més sol·licitats**. A partir dels models dels tipus elaborats a partir de les mides promig (veure Capítol 6) i mitjançant la programació en l'entorn Grasshopper, es localitzen aquells punts del mur que presenten uns valors de les tensions de compressió més alts (*hotspots*) per a cada una de les tres ubicacions anteriors. El resultat es representa en els gràfics de tensions anteriors per, posteriorment, identificar aquelles zones que caldrà estudiar en profunditat segons el punt següent.
- **Obtenció dels rangs que prenen les tensions dels punts més carregats**. Es localitza la variació de quines crugies influeix en el comportament dels *hotspots* ja trobats. A partir d'aquí, per a cada un dels *hotspots* de cada un dels tipus i per a la ubicació on es donen les tensions més altes s'aporten els resultats corresponents als models modificats amb les mides màximes i mínimes de les crugies que influeixen sobre aquests. Els resultats es mostren tant a mitja altura de mur de planta principal (en forma gràfica) com a la base d'aquest mur (en taula). Aquests resultats proporcionen el rang de tensions que es poden donar en

els murs en les seves zones més crítiques per als edificis de la mostra dins de cada tipus. A l'Annex IV s'aporten les mides de les crugies que s'han pres per al càlcul i que han estat obtingudes dins de la mostra disponible.

- **Obtenció dels coeficients de seguretat “residuals”** per cada una de les ubicacions esmentades. S'obtenen dividint el valor de la resistència de l'obra de fàbrica de maó calculada com una resistència característica a partir del processat de les dades experimentals cedides pel Laboratori de Materials de l'Escola d'Edificació (veure Capítol 6) entre el valor de la tensió en cada un dels punts del model. Els resultats es mostren en un tall horitzontal del model (planta). De cara al gràficat s'han distingit tres rangs:
  - **Coefficient de seguretat<sup>105</sup> ( $\gamma$ ) superior a 3.** En aquest cas se supera el mínim de seguretat normativa establerta en el CTE
  - **Coefficient de seguretat ( $\gamma$ ) comprès entre 1 i 3.** En aquest cas existeix marge de seguretat però és inferior als mínims exigits normativament.
  - **Coefficient de seguretat ( $\gamma$ ) inferior a 1.** En aquest cas no existeix marge de seguretat.

Els resultats obtinguts per a cada un dels tipus s'exposen d'una manera extensiva en l'annex VI i de forma sintètica en els apartats següents on es discuteixen i se n'extreuen conclusions.

## 7.2 Valors i distribució de les tensions en els murs

Els resultats dels càlculs es gràfiquen en seccions horitzontals en planta i es fixa un gradient de colors comú a tots els tipus que proporciona la distribució de tensions en els murs. Com s'ha esmentat anteriorment, la totalitat de resultats numèrics es poden trobar a l'annex VI. En aquest apartat es mostren únicament aquells sobre els quals cal fer certes observacions:

- Primerament aquelles que fan referència als valors obtinguts en funció de l'altura del tall, on té incidència la consideració de l'excentricitat fruit de l'esveltesa del mur.
- En segon lloc, la comparació dels resultats obtinguts pels diversos tipus tant pel que fa als valors com a la distribució de les tensions.

---

<sup>105</sup> Atenent únicament a la normativa vigent sobre obra de fàbrica, el CTE-DB-SE-F estableixen a la *Taula 4.8* els coeficients de minoració que cal aplicar sobre la resistència característica de l'obra de fàbrica. En aquest cas com que es tracta de peces de control de fabricació II (apartat 8.1.1 CTE-DB-SE-F) i de categoria de l'execució C (apartat 8.2.1 CTE-DB-SE-F) s'aplica un coeficient de minoració de 3.

### 7.2.1 Efecte de l'esveltesa

Un dels primers fets que destaca una vegada realitzat els càlculs de les tensions és la notable diferència entre els resultats obtinguts per càrrega centrada (a la base del mur de planta principal) respecte els obtinguts per càrrega descentrada a causa de l'esveltesa del mur (a mitja alçada de mur de planta principal).

Per a la determinació de les tensions tenint en compte l'esveltesa, s'ha emprat el procediment proposat pel CTE-DB-SE-F considerant que no existeixen moments en el cap i en la base del mur (Bernat Maso, 2013). Per tant, únicament tenint en compte aquella excentricitat de la càrrega que es genera per les imperfeccions del material a mitja altura del mur considerat<sup>106</sup>, i que pot generar "pandeig". En aquesta ubicació, les tensions s'han dividit pel factor  $\Phi$ , és a dir, el factor de reducció del gruix del mur per efecte de l'esveltesa, per tal d'obtenir l'augment en les tensions que aquesta genera. El factor  $\Phi$  s'ha obtingut seguint el procediment de l'apartat 5.2.3 del CTE-DB-SE-F a partir de l'altura virtual del mur trobada amb el procediment de l'annex E per a un mur arriostrat en cap i peu i un gruix virtual del mur trobat segons l'apartat 5.2.5 del mateix document bàsic, seguint les expressions:

$$e_p = 0,00035 \cdot t \cdot (h_d / t_d)$$

$$e = M_{Sd} / N_{Sd} + e_a$$

$$e_m = e + e_p$$

$$\Phi = 1 - (2 e_m / t)$$

on

$e_p$	és l'excentricitat de pandeig
$t$	és el gruix del mur
$h_d$	és l'altura virtual del mur
$t_d$	és el gruix virtual del mur
$e$	és l'excentricitat deguda a les sol·licitacions en el punt estudiat $M_{Sd}/N_{Sd}$ són les sol·licitacions en el punt estudiat, al no haver-hi moments serà igual a 0
$e_a$	és un increment de l'excentricitat per causa de l'execució. En aquest cas, com que la categoria d'execució és la C107 i es tracta d'un tram entre sostres, s'adopta el valor $e_a = 20\text{mm}$

La diferència de les tensions obtingudes en les dues ubicacions citades es fa més notable a mesura que augmenta l'esveltesa del mur, que esdevé el factor determinant de cara a l'augment de tensions que s'observen en la simulació. Els resultats per a tots els tipus es troben en l'Annex VII. S'ha triat la Figura 96 com a mostra d'aquest fenomen. Cal fer esment, però, que les majors tensions obtingudes a mitja altura del mur venen influïdes, no únicament per l'efecte de l'esveltesa, sinó per les concentracions de càrrega que es donen als trams de murs entre finestres. A la base del mur considerat aquestes ja han quedat distribuïdes gracies als ampits.

<sup>106</sup> Es pren l'altura entre sostres, veure justificació al Capítol 6

<sup>107</sup> Categoria d'execució C segons l'apartat 8.2.1 del CTE-DB-SE-F

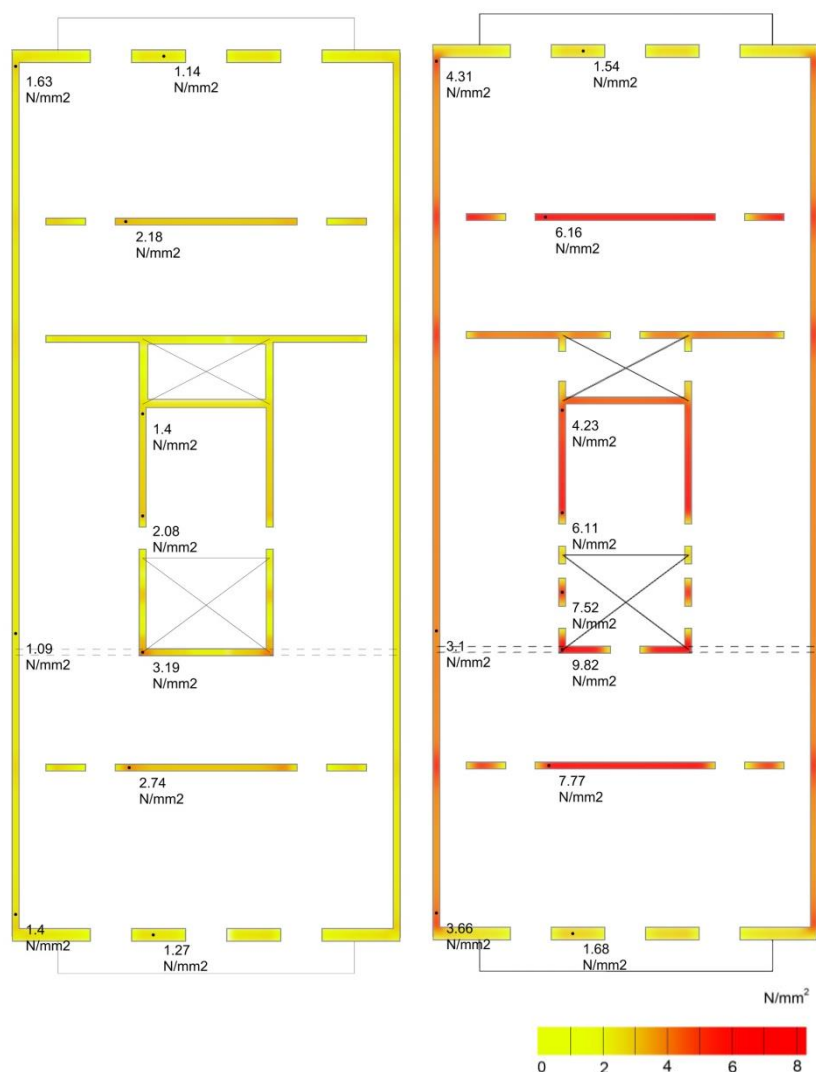


Figura 96: Diferència entre els valors obtinguts a càrrega centrada a la base del mur a planta principal (esquerra) respecte als valors obtinguts amb càrrega descentrada per esveltesa a mitja altura de mur de planta principal (dreta).

Tal i com s'ha vist anteriorment, el procediment per la determinació de l'augment de tensions per causa de l'esveltesa dels murs de fàbrica del CTE designa un factor  $\Phi$  que influirà en l'augment de les tensions en murs esvelts. Donada la regularitat de la mostra pel que fa a gruixos i altures dels murs, és possible aportar els factors  $\Phi$  per als murs de 15 i 30cm per a les altures d'entre plantes més habituals en els edificis de l'Eixample del període temporal estudiat, els resultats es mostren en la Taula 23. A la Figura 97 s'observa com varia  $\Phi$  en funció de l'altura a considerar.

<b>h (m)</b>	<b>2,50</b>	<b><math>\Phi</math> 15</b>	<b>0,53888889</b>	<b><math>\Phi</math> 30</b>	<b>0,81805556</b>
p3,4,5,etc.	2,52		0,53576533		0,81727467
	3,00		0,45333333		0,79666667
p2	3,10		0,43435556		0,79192222
p1	3,29		0,39658356		0,78247922
ppral	3,49		0,35439689		0,77193256
	3,50		0,35222222		0,77138889

Taula 23: Valors de  $\Phi$  per als murs de 15cm i 30cm dels edificis de l'Eixample en funció de l'altura de la planta.

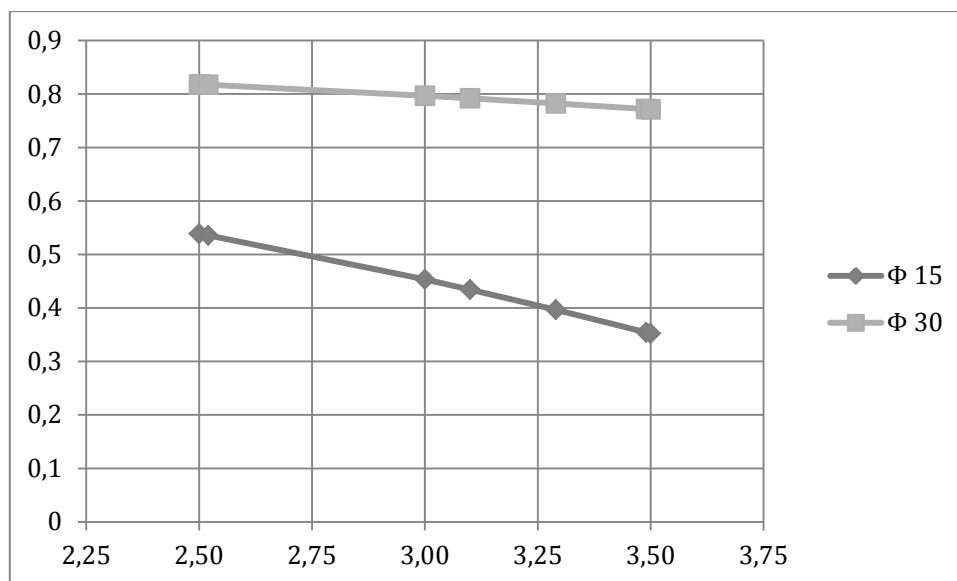


Figura 97: Variació  $\Phi$  en funció de l'altura

Per al càlcul, com que aquest ha estat realitzat en la situació més desfavorable (al mur més esvelt i més carregat, és a dir el mur de planta principal) s'ha considerat un factor  $\Phi$  per una altura 3,49m, per tant:

$$\Phi_{15} = 0,35439689$$

$$\Phi_{30} = 0,77193256$$

S'observa a la Figura 97 com en murs de 15 cm l'efecte de l'esveltesa pot fer augmentar la tensió més del doble en se les  $\Phi_{15}$  inferiors a 0,5 per a la majoria d'altures de mur habituals.

Cal tenir en compte, no obstant, que per tal d'obtenir d'una forma global els coeficients  $\Phi_{15}$  i  $\Phi_{30}$  i amb voluntat de facilitar l'aplicació dels resultats s'ha realitzat la simplificació de considerar l'altura virtual sempre igual a l'altura real del mur. A l'apartat 5.3.4 del CTE-DB-SE-F, de forma simplificada, i l'Annex E, de forma general, s'exposa la manera d'obtenir l'altura virtual del mur. Aquesta depèn d'una sèrie de factors geomètrics del mur com l'amplada, l'alçada, la longitud i les seves condicions d'unió amb sostres i murs perpendiculars. La hipòtesi que cal prendre per aquests casos és la de murs "arriostrats" en base i cap, i, tractant-se d'estructures que segueixen esquemes de caixes tancades, cal considerar també l'"arriostrament" dels murs en els seus dos extrems laterals. Amb aquests supòsits i la metodologia suggerida per l'annex E, fent els càlculs pertinents, es considera que l'altura de càlcul serà igual a la real quan se superin els 4,50m de longitud de mur per a murs de 15cm d'ample i els 9m per a murs de 30cm. S'ha optat per simplificar de cara a la seguretat i considerar per al càlcul  $h_d = h$ , ja que longituds superiors a 4,50m per a murs de 15cm i 9m per a murs de 30cm són habituals.

Cal fer esment de les diferències del procediment per considerar l'efecte de l'esveltesa dels murs sobre l'excentricitat amb que s'aplica la càrrega proposat al CTE respecte del que es proposava a la FL-90. En tots dos casos es consideren les distàncies entre murs perpendiculars i les condicions d'arriostrament en cap i sostre per a determinar l'altura virtual, si bé la FL-90 introdueix el concepte de deformabilitat de l'obra de fàbrica per a obtenir l'excentricitat unitària de "pandeig" mentre que el CTE afegeix d'una manera directa una excentricitat que se'n deriva de la categoria d'execució, que, en aquest cas prendrà el valor de 2cm en ser desconeguda (Categoria C), i que prendria  $e_a = h_d / 500$  en el millor dels casos, amb una categoria A d'execució.

### 7.2.2 Efecte del tipus edificatori

A continuació es presenten els resultats de la distribució de les tensions en planta per a tots els tipus, s'ha optat per mostrar les tensions a mitja altura del mur que consideren l'efecte de l'esveltesa ja que assoleixen valors més alts. La totalitat de resultats es troben a l'Annex VII.

Els valors de les tensions es mostren en un gradient de color on aquells punts més carregats s'apropen als tons vermells i, els menys carregats, als tons grocs. A més, s'ha optat per proporcionar alguns valors de les tensions en aquells punts més carregats de mode orientatiu.

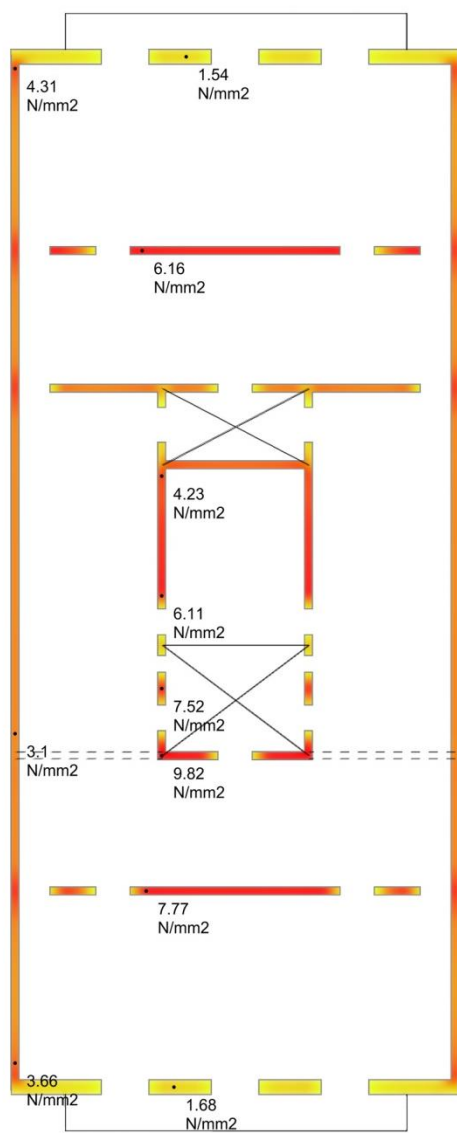


Figura 98: Distribució de tensions en els murs: tipus 1a

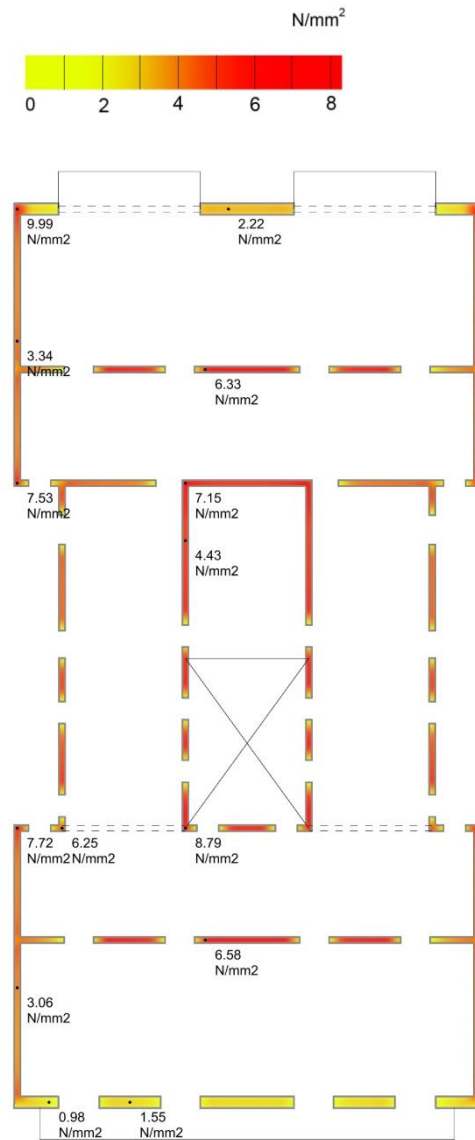


Figura 99: Distribució de tensions en els murs: tipus 1b

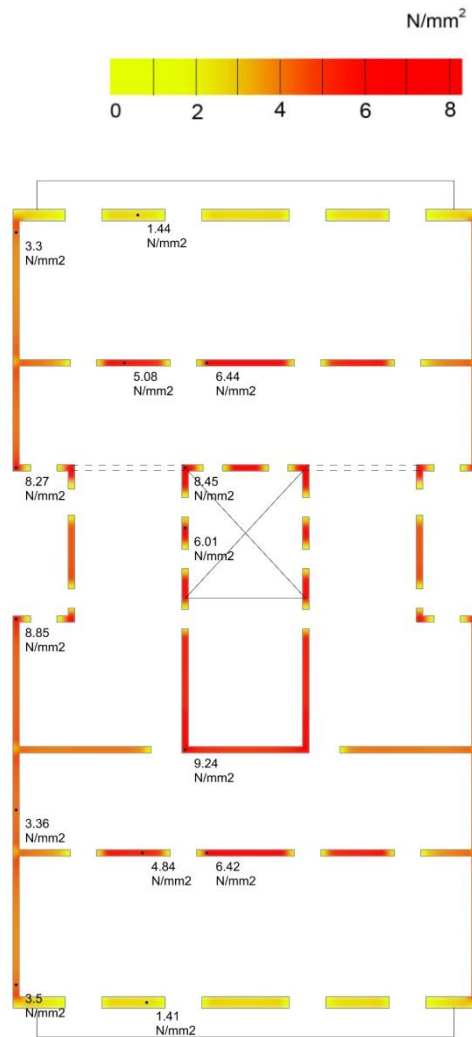


Figura 100: Distribució de tensions en els murs: tipus 2a

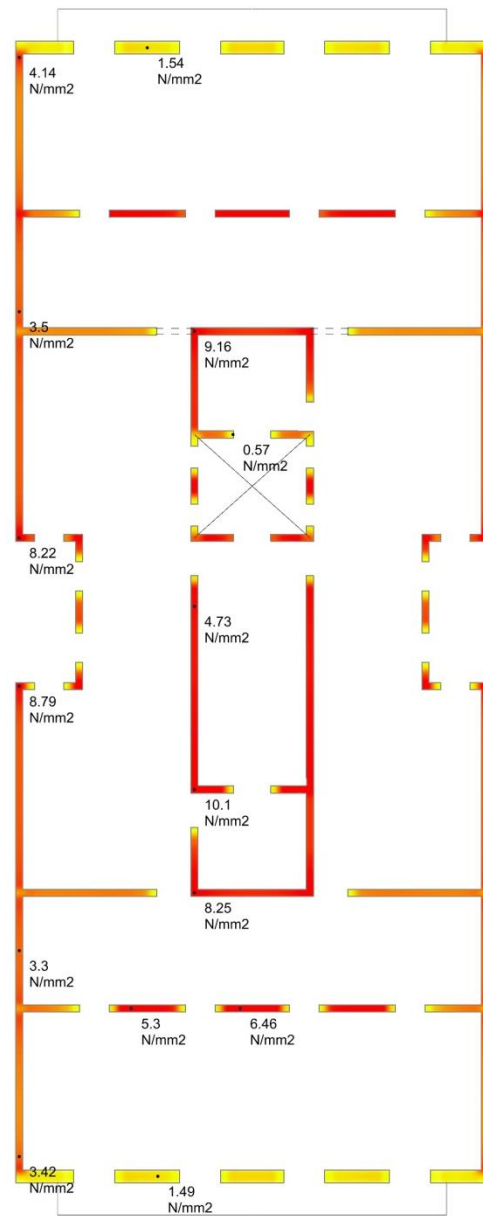


Figura 101: Distribució de tensions en els murs: tipus 2b



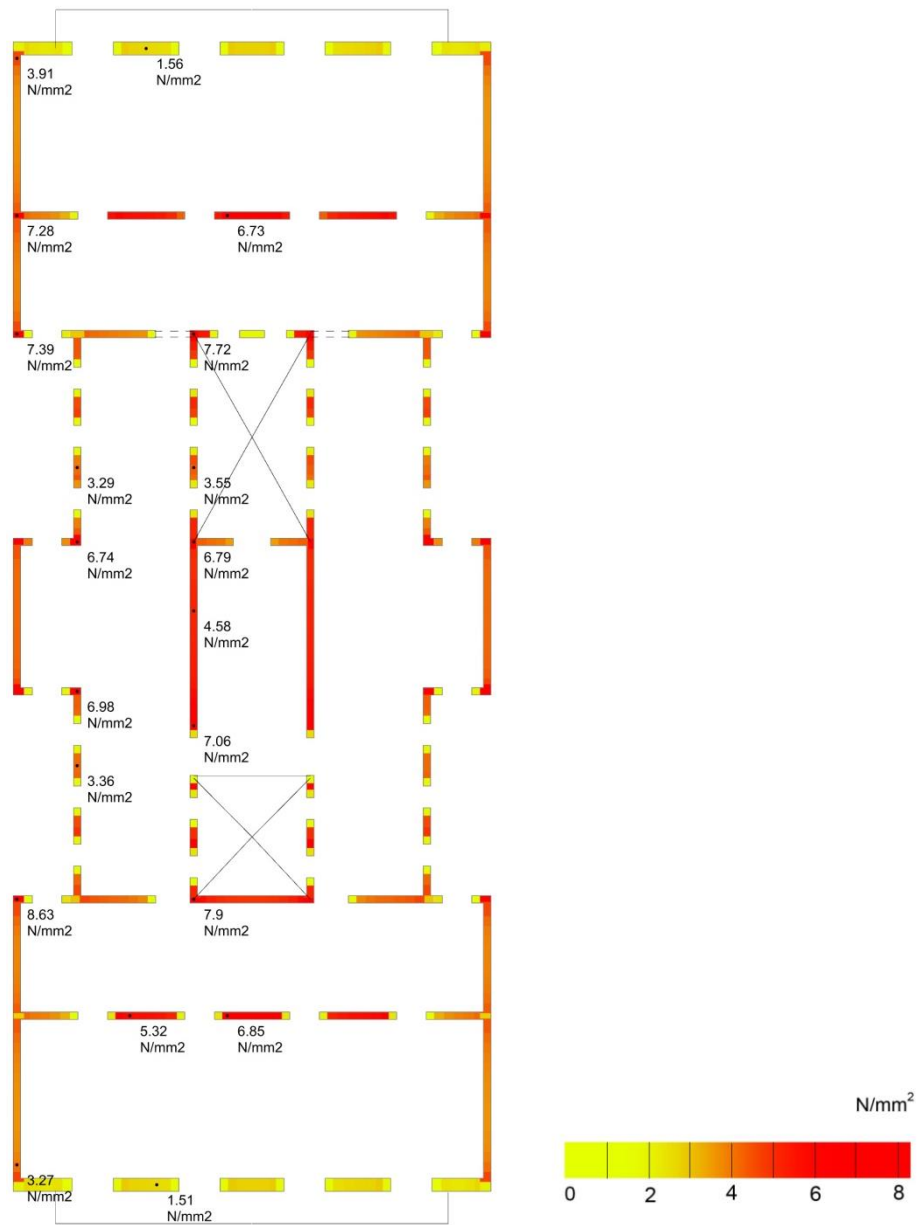


Figura 102: Distribució de tensions en els murs: tipus 2c

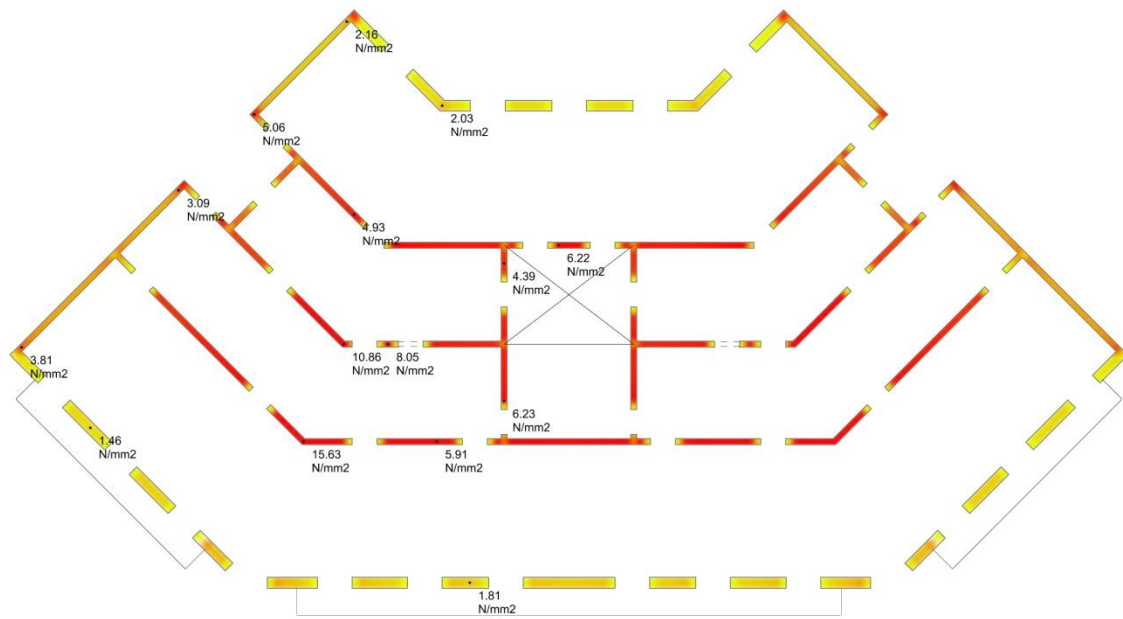


Figura 103: Distribució de tensions en els murs: tipus via

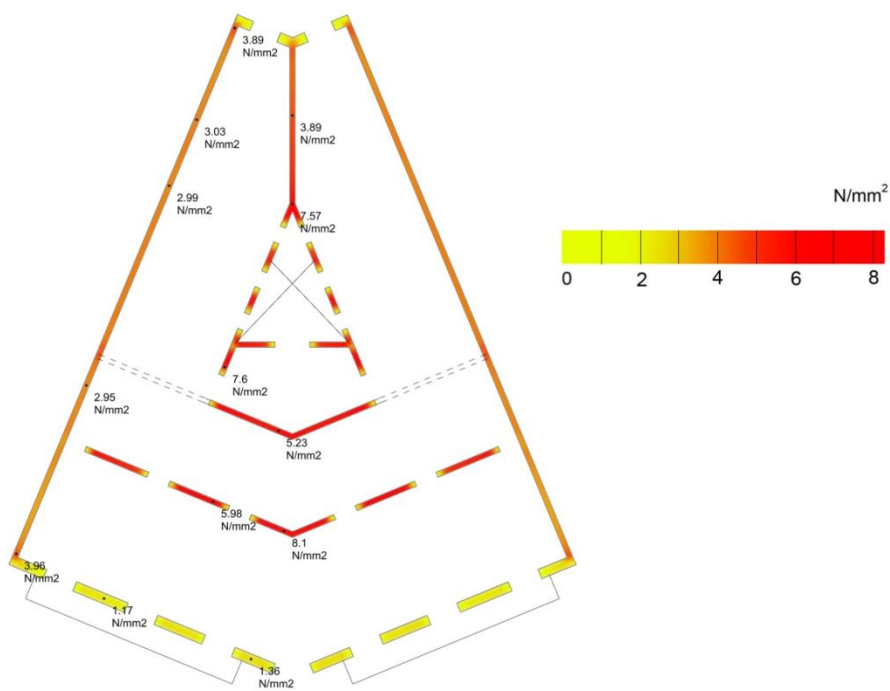


Figura 104: Distribució de tensions en els murs: tipus vb

De l'observació dels resultats per als diferents tipus es pot **concloure** que:

- En els tipus en banda s'observa com la pertinença a un tipus estructural no comporta una distribució de tensions concreta i diferenciada dels altres tipus (veure: Figura 98, Figura 99, Figura 100, Figura 101 i Figura 102). De fet, les distribucions de tensions dels diferents models segueixen un mateix patró i destaquen unes zones on es donen concentracions de tensions que són comunes a tots els tipus. Per això, aquestes s'estudien amb més profunditat en l'apartat següent i són les següents: entregues de murs en perpendicular, cantonades de la caixa d'escala, murs paral·lels a façana que reben dues crugies i cantonades de patis mitgers. No obstant això, certs tipus amb configuracions estructurals que comporten més plecs als murs dels patis (tipus 2b i 2c), són més susceptibles a l'aparició de zones diferencialment més carregades.
- En els tipus en cantonada, les tensions més altes es concentren en les zones centrals de la planta, en l'àmbit més proper a la caixa d'escala, i en els murs paral·lels a façanes principal i posterior (Figura 103 i Figura 104). Cal destacar les altes concentracions de tensions en els plecs a 135° dels murs paral·lels a façana.
- Les tensions per als tipus promig abasten un rang molt ampli de valors. Per als tipus en banda, a mitja altura del mur de planta principal, és a dir, considerant l'augment de tensió per efecte de l'esveltesa del mur, són habituals els valors de les tensions entre 3 i 5N/mm<sup>2</sup>, arribant fins als 10N/mm<sup>2</sup> en punts molt concrets (veure: Figura 98, Figura 99, Figura 100, Figura 101 i Figura 102). En canvi, per als mateixos tipus quan es comproven les tensions a base de mur, a càrrega centrada, aquestes no arriben a superar els 4N/mm<sup>2</sup> en cap dels models (veure resultats a l'Annex VI).
- Per als tipus en cantonada cal també destacar que si bé les tensions que es donen de forma generalitzada a la planta són de l'ordre de les dels edificis en banda, tant a càrrega centrada com considerant l'efecte de l'esveltesa, si que s'assoleixen tensions més elevades que en aquests en els plecs a 135° dels murs paral·lels a façana principal on s'arriba a tensions en el model de 15,63N/mm<sup>2</sup>, a mitja altura de mur (Figura 103 i Figura 104), i de 5,16N/mm<sup>2</sup> en aquesta mateixa ubicació a base de mur de planta principal (veure Annex VI).

### 7.2.3 Localització i anàlisi dels punts més sol·licitats

A partir de l'observació dels resultats tensionals dels models (veure apartat anterior i Annex VI), es localitzen en cada tipus les zones que es troben més sol·licitades. En aquesta tesi s'han anomenat *hotspots* amb la idea que són uns punts crítics on és més factible una sobresol·licitació tensional i el conseqüent dany possible.

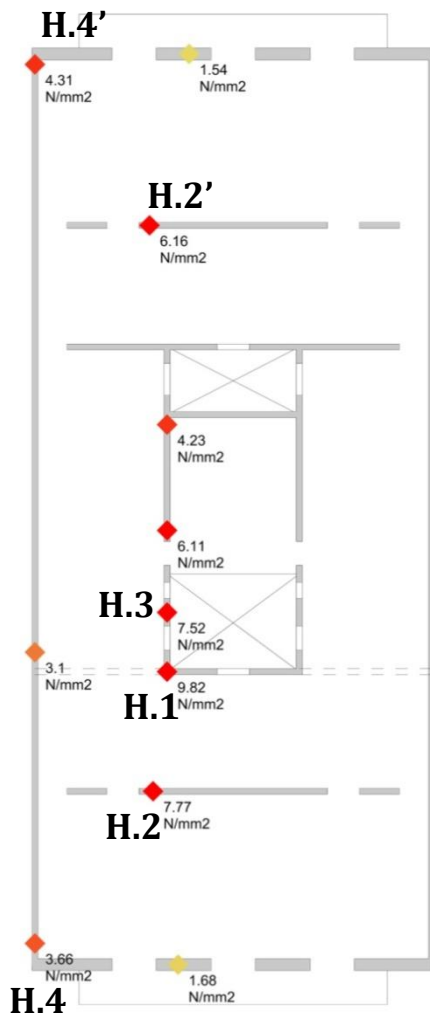
Un cop localitzats els punts més sol·licitats de cada tipus, aquests s'estudien en profunditat. Es cerca l'obtenció del rang de valors que poden adoptar les tensions en cada punt prenent com a base la totalitat de la mostra. Per obtenir-lo es modifiquen els models informàtics en funció de les diferents mides de la planta que influeixen sobre els valors de les tensions, per cada punt (*hotspot*) s'obté el valor màxim, mig i mínim, les dades paramètriques dels models s'aporten a l'Annex VI.

D'una forma global per a tots els tipus es detecten **5 hotspots**. Aquests es corresponen a unions entre murs perpendiculars, zones de mur especialment perforades i murs que carreguen més superfície de sostre, i són:

- **Hotspots del tipus H1.** La ubicació correspon a les cantonades del pati interior que recolzen les jàsseres que recullen les crugies perpendiculars a façana. En aquestes cantonades també es dona un gir del sentit de càrrega. El *hotspot* es troba de forma habitual en la cantonada del pati central i, de forma particular, en els tipus on existeixen patis mitgers, en la cantonada d'aquests quan hi existeix un recolzament de la jàssera.
- **Hotspots del tipus H2.** Es corresponen a aquelles zones més carregades dels murs paral·lels a façana principal i posterior que recolzen biguetes a ambdós costats.
- **Hotspots del tipus H3.** Es corresponen a les agulles de càrrega del pati central sobre les que recolzen les biguetes de la zona central de la planta. En aquest cas influeix l'amplada de l'agulla de càrrega que es considera en funció del tipus a estudiar.
- **Hotspots del tipus H4.** Es donen en les cantonades de mitgera amb façana principal i posterior. El punt més carregat es troba en la paret mitgera, just en contacte amb la façana.
- **Hotspots del tipus H5.** Es corresponen a les cantonades extremes del pati mitger en contacte amb mur mitger. Les obertures del mur curt del pati mitger provoquen la concentració de càrregues en aquesta zona.

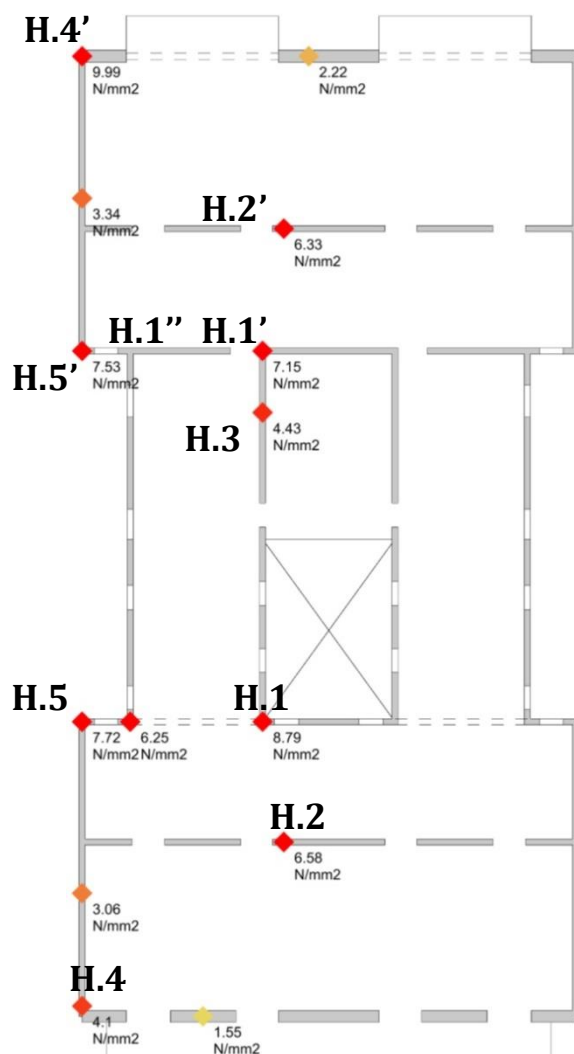
A continuació es mostren els resultats de tots els tipus i s'aporta la variació de tensions en cada *hotspot* considerant una comprovació a base de mur (a càrrega centrada) i una comprovació a mitja altura de mur (considerant els efectes de l'esveltesa de mur).

**Tipus 1a**



	MÍN	MEDIANA	MÀX	
<b>HOTSPOT 1</b> JÀSSERA PATI	5,86 1,88	9,82 3,19	18,43 6,08	mitja alçada base
<b>HOTSPOT 2</b> CRUGIA PARAL FAÇAN CARRER	3,66 1,29	7,77 2,74	11,07 3,87	mitja alçada base
<b>HOTSPOT 2'</b> CRUGIA PARAL FAÇAN INTERIOR	3,59 1,26	6,16 2,18	9,06 3,18	mitja alçada base
<b>HOTSPOT 3</b> AGULLES PATI	4,63 1,36	7,52 2,08	13,01 3,26	mitja alçada base
<b>HOTSPOT 4</b> TROBADA FAÇANA CARRER JÀSSERA	3,23 1,2	3,66 1,40	5,43 2,08	mitja alçada base
<b>HOTSPOT 4'</b> TROBADA FAÇANA INTERIOR JÀSSERA	8,14 2,91	4,31 1,63	5,33 2,04	mitja alçada base

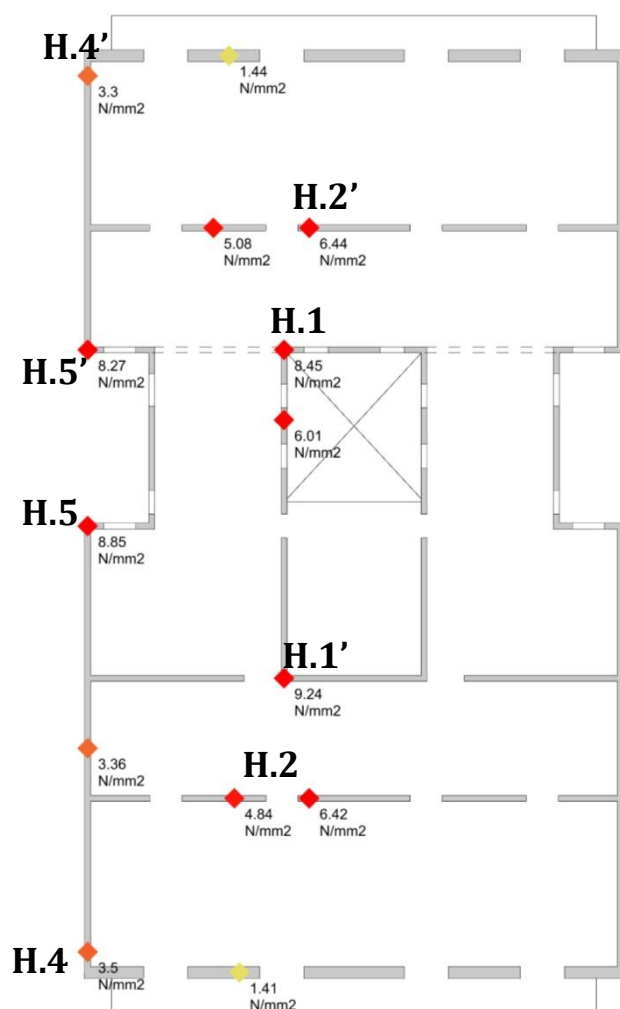
## Tipus 1b



	MÍN	MEDIANA	MÀX	
<b>HOTSPOT 1</b>	4,25	8,79	11,21	mitja alçada
JÀSSERA PATI	1,51	3,10	3,95	base
<b>HOTSPOT 1' (TOCA ESCALA)</b>	7,39	7,15	19,34	mitja alçada
INVERTINT JÀSSERA, A TOCAR DE L'ESCALA	2,64	2,61	6,92	base
<b>HOTSPOT 2</b>	4,71	6,58	8,91	mitja alçada
CRUGIA PARAL FAÇAN	1,61	2,24	2,91	base
<b>HOTSPOT 2'</b>	4,73	6,33	8,91	mitja alçada
CRUGIA PARAL FAÇAN INTERIOR	1,63	2,16	2,91	base
<b>HOTSPOT 3</b>	2,90	4,43	7,28	mitja alçada
AGULLES PATI	1,02	1,57	1,95	base

<b>HOTSPOT 4</b>	3,35	4,1	4,79	mitja alçada
TROBADA MITGERA AMB FAÇANA CARRER	1,33	1,55	1,82	base
<b>HOTSPOT 4'</b>	8,83	9,99	5,21	mitja alçada
TROBADA MITGERA AMB FAÇANA INTERIOR JÀSSERA	3,26	3,71	1,96	base
<b>HOTSPOT 5</b>	5,31	7,72	9,85	mitja alçada
TROBADA MITGERA -PATI DE MITGERA	1,91	2,53	3,45	base
<b>HOTSPOT 5'</b>	5,52	7,53	9,3	mitja alçada
TROBADA MITGERA -PATI DE MITGERA	2,04	2,79	3,22	base

## Tipus 2a

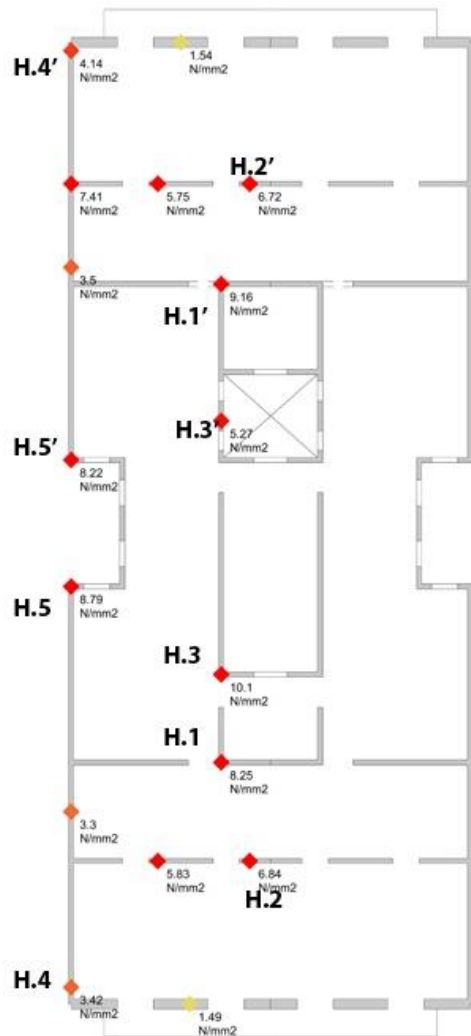


	MÍN	MEDIANA	MÀX	
<b>HOTSPOT 1</b> JÀSSERA PATI	5,07	8,45	12,57	mitja alçada
	1,74	2,90	4,31	base
<b>HOTSPOT 1'</b> TROBADA AMB ESCALA PATI	7,15	9,24	11,61	mitja alçada
	2,57	3,35	4,19	base
<b>HOTSPOT 2</b> CRUGIA PARAL FAÇAN CARRER	4,22	6,42	9,19	mitja alçada
	1,44	2,18	3,09	_ base
<b>HOTSPOT 2'</b> CRUGIA PARAL FAÇAN INTERIOR	4,14	6,44	9,57	mitja alçada
	1,42	2,20	3,22	base
<b>HOTSPOT 3</b> AGULLES PATI	3,58	6,01	8,39	mitja alçada
	0,92	1,63	2,37	base



---

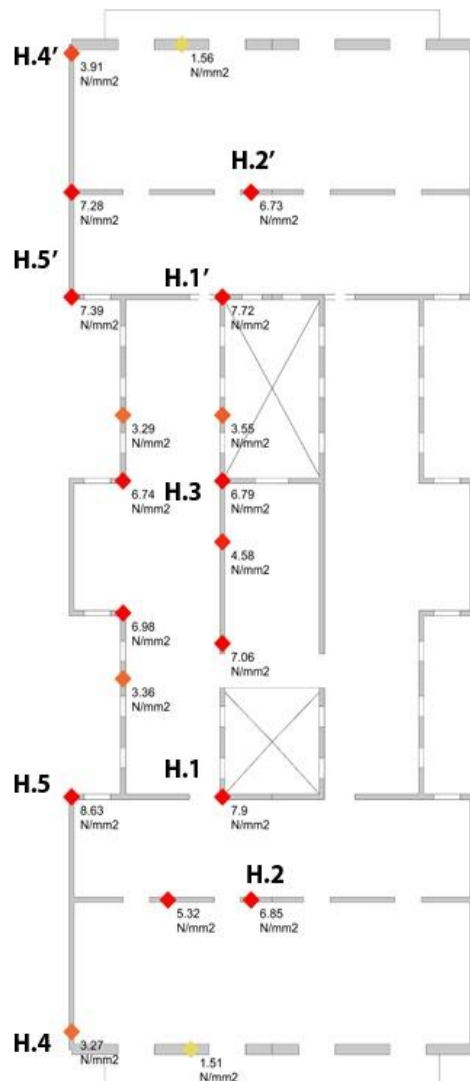
<b>HOTSPOT 4</b>	3,09	3,50	3,74	mitja alçada
TROBADA FAÇANA CARRER AMB MITGERA	1,39	0,99	1,45	base
<b>HOTSPOT 4'</b>	5,15	3,30	3,56	mitja alçada
TROBADA FAÇANA INTERIOR AMB MITGERA	1,50	1,52	1,38	base
<b>HOTSPOT 5</b>	6,47	8,85	10,87	mitja alçada
TROBADA MITGERA AMB PATI MITGERA	2,28	3,16	3,95	base
<b>HOTSPOT 5'</b>	5,57	8,27	11,18	mitja alçada
TROBADA MITGERA AMB PATI MITGERA INTERIOR	1,87	2,77	3,63	base

**Tipus 2b**

	MÍN	MEDIANA	MÀX	
<b>HOTSPOT 1</b>	5,63	8,25	10,93	mitja alçada
TROBADA CRUXIES	1,92	2,84	3,73	base
<b>HOTSPOT 1'</b>	5,82	9,16	12,38	mitja alçada
TROBADA CRUXIES	2,15	3,36	4,51	base
<b>HOTSPOT 2</b>	5,77	6,46	10,03	mitja alçada
CRUGIA PARAL FAÇAN CARRER	2,05	2,16	3,29	base
<b>HOTSPOT 2'</b>	3,63	6,72	10,25	mitja alçada
CRUGIA PARAL FAÇAN INTERIOR	1,24	2,24	3,34	base

<b>HOTSPOT 3</b>	7,11	10,10	12,38	mitja alçada
AGULLES PATI	2,65	3,79	4,71	base
<b>HOTSPOT 3'</b>	3,33	5,27	7,08	mitja alçada
AGULLES PATI	1,17	1,71	2,69	base
<b>HOTSPOT 4</b>	2,74	3,42	3,87	mitja alçada
TROBADA FAÇANA CARRER AMB MITGERA	1,22	1,32	1,51	base
<b>HOTSPOT 4'</b>	3,51	4,14	4,58	mitja alçada
TROBADA FAÇANA INTERIOR AMB MITGERA	1,30	1,57	1,77	base
<b>HOTSPOT 5</b>	4,70	8,79	9,78	mitja alçada
TROBADA MITGERA AMB PATI MITGERA	1,72	3,09	3,62	base

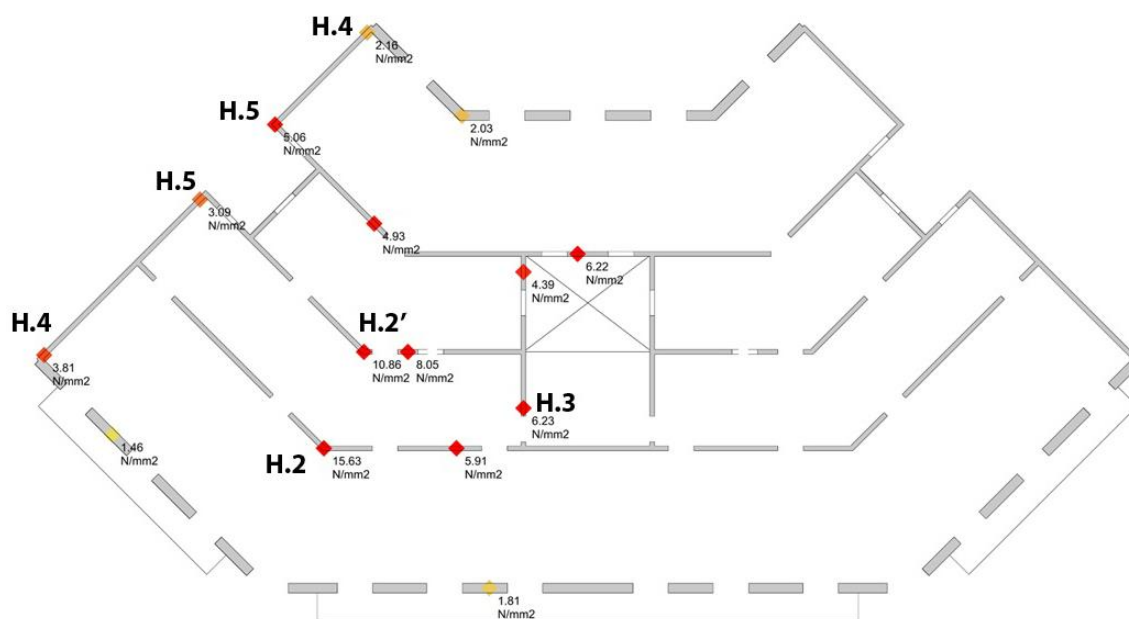
## Tipus 2c



	MÍN	MEDIANA	MÀX	
<b>HOTSPOT 1</b>	5,89	7,90	11,05	mitja alçada
TROBADA CRUGIES	1,88	2,55	3,58	base
<b>HOTSPOT 1'</b>	5,27	7,72	11,37	mitja alçada
TROBADA CRUGIES	1,77	2,59	3,80	base
<b>HOTSPOT 2</b>	4,88	6,85	10,26	mitja alçada
CRUGIA PARAL FAÇAN CARRER	1,66	2,28	3,38	base
<b>HOTSPOT 2'</b>	4,66	6,73	10,57	mitja alçada
CRUGIA PARAL FAÇAN INTERIOR	1,58	2,24	3,47	base

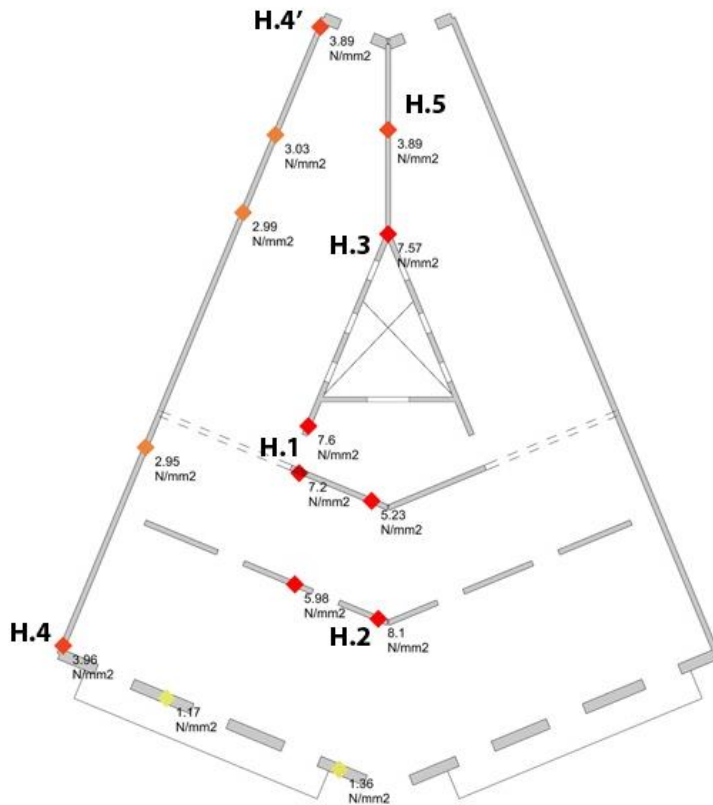
<b>HOTSPOT 3</b>	5,56	7,06	9,01	mitja alçada
AGULLES PATI	1,92	2,44	3,11	base
<b>HOTSPOT 4</b>	3,54	3,27	3,81	mitja alçada
TROBADA FAÇANA CARRER AMB MITGERA	1,32	1,26	1,48	base
<b>HOTSPOT 4'</b>	3,75	3,91	4,97	mitja alçada
TROBADA FAÇANA INTERIOR AMB MITGERA	1,38	1,48	1,89	base
<b>HOTSPOT 5</b>	6,14	8,63	12,97	mitja alçada
TROBADA MITGERA AMB PATI MITGERA	2,04	3,03	4,72	base
<b>HOTSPOT 5'</b>	4,91	7,39	10,98	mitja alçada
TROBADA MITGERA AMB PATI MITGERA INTERIOR	1,69	2,61	3,95	base

## Tipus v1a



	MÍN	MEDIANA	MÀX	
<b>HOTSPOT 2</b> CRUGIA PARAL FAÇAN CARRER	11,23	15,63	22,88	mitja alçada
	3,53	5,16	6,98	base
<b>HOTSPOT 2'</b> CRUGIA INTERMITJA	7,06	10,86	17,44	mitja alçada
	2,29	3,51	5,46	base
<b>HOTSPOT 3</b> AGULLES PATI	3,45	6,23	7,03	mitja alçada
	0,89	2,35	2,71	base
<b>HOTSPOT 4</b> TROBADA FAÇANA CARRER JÀSSERA	2,20	3,81	11,02	mitja alçada
	0,69	1,41	3,70	base
<b>HOTSPOT 4'</b> TROBADA FAÇANA INTERIOR JÀSSERA	2,29	2,16	7,58	mitja alçada
	0,82	0,77	2,62	base
<b>HOTSPOT 5</b> TROBADA MITGERA AMB PATI MITGERA	5,40	3,09	3,56	mitja alçada
	0,69	1,01	1,14	base
<b>HOTSPOT 5'</b> TROBADA MITGERA AMB PATI MITGERA INTERIOR	4,65	1,66	3,25	mitja alçada
	0,82	5,06	1,10	base

**Tipus v1b**



	MÍN	MEDIANA	MÀX	
<b>HOTSPOT 1</b> TROBADA CRUGIES	5,89	7,60	10,34	mitja alçada
	1,92	2,50	3,33	base
<b>HOTSPOT 2</b> CRUGIA PARAL FAÇAN CARRER	5,65	8,10	12,55	mitja alçada
	1,90	2,81	4,16	base
<b>HOTSPOT 3</b> TRBADA MURS CANTONADA	3,35	7,57	9,76	mitja alçada
	1,05	2,60	3,34	base
<b>HOTSPOT 4</b> TROBADA FAÇANA CARRER AMB MITGERA	3,81	3,96	5,46	mitja alçada
	1,42	1,49	1,95	base
<b>HOTSPOT 4'</b> TROBADA FAÇANA INTERIOR AMB MITGERA	0,90	3,89	4,78	mitja alçada
	0,77	1,44	1,77	base
<b>HOTSPOT 5</b> MITGERA DIVISÒRIA	2,20	3,89	4,79	mitja alçada
	0,60	1,35	1,63	base

Si es comparen els rangs de tensions obtinguts en els diferents *hotspots* per als diferents tipus (Figura 105 i Figura 106), s'observa que:

- D'una forma global, els valors més alts es corresponen als *hotspots* del tipus H1, és a dir, a les ubicacions de les cantonades del pati central, seguits pels H5, cantonades dels patis mitgers, i pels H2, murs paral·lels a façanes.
- Cap tipus destaca per sobre dels altres per tenir un espectre de valors de les tensions més ampli que els altres en els *hotspots* estudiats.
- Dins de cada *hotspot* estudiat els valors centrals de les tensions obtingudes en el càlcul són molt propers entre els diferents tipus de configuració estructural.
- Els tipus en cantonada presenten les següents particularitats:
  - Les tensions que s'assoleixen en els murs paral·lels a façana (H2) són significativament més elevades que les dels tipus en banda i també presenten un rang de valors més ampli.
  - Els valors de les tensions en les cantonades dels patis mitgers (H5) són inferiors.
- Sobre els valors del *hotspot 2 Murs paral·lels a façanes principal i posterior*. Murs sobre els quals recolzen dues crugies. En els tipus en banda a base de mur de planta principal i a càrrega centrada les tensions promig assolides són de 2,1 N/mm<sup>2</sup>, anant dels 1,2N/mm<sup>2</sup> fins als 3,8N/mm<sup>2</sup>. En la mateixa ubicació però a mitja altura de mur de planta principal i considerant l'efecte de l'esveltesa, les tensions promig assolides ronden els 7N/mm<sup>2</sup>, anant dels 3,5N/mm<sup>2</sup> fins als 11N/mm<sup>2</sup>. En els tipus en xamfrà els valors són més alts essent de 2-7N/mm<sup>2</sup> a càrrega descentrada i de 6-23N/mm<sup>2</sup> considerant l'efecte de l'esveltesa.



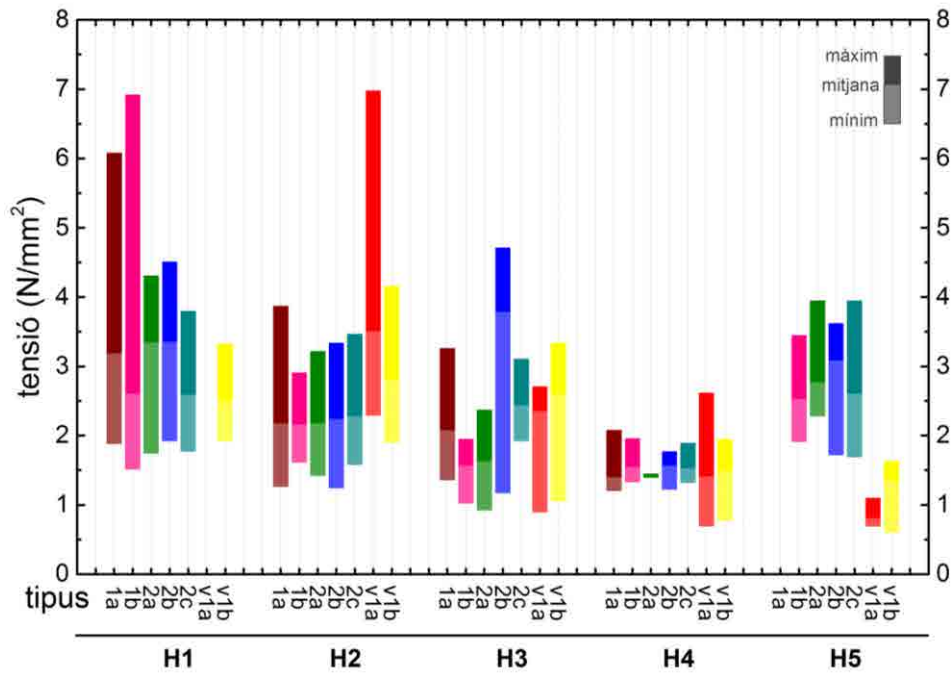


Figura 105: Rangs de tensions dels punts més sol·licitats en base de mur de planta principal

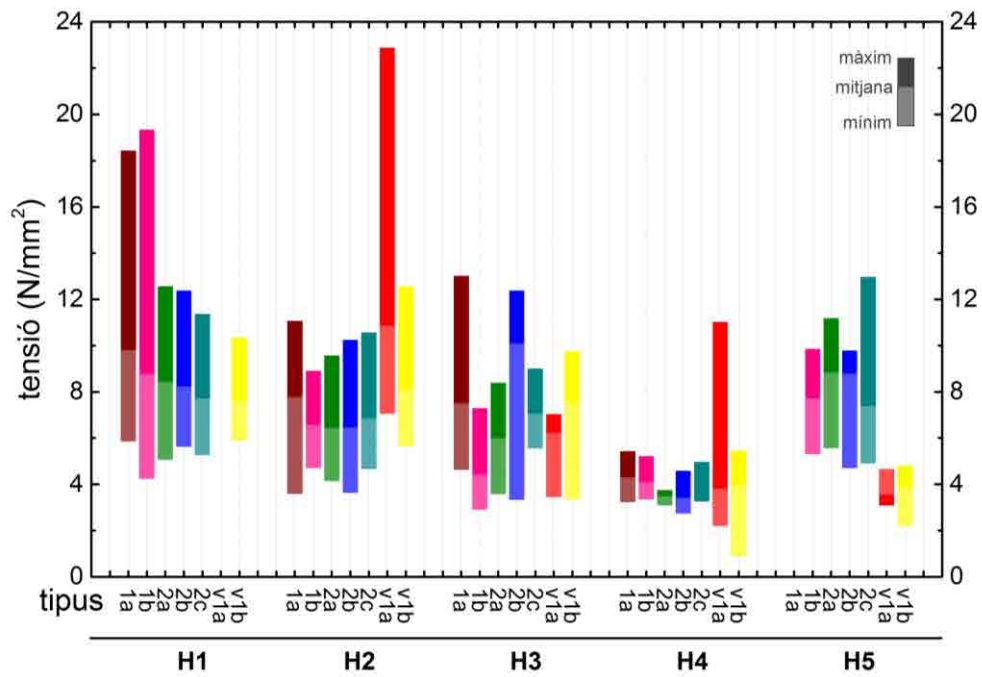


Figura 106: Rangs de tensions dels punts més sol·licitats a mitja altura de mur de planta principal

### 7.3 Valors i distribució de les tensions en la fonamentació

S'han obtingut les tensions a la base de fonamentació de tots els tipus i s'han localitzat les zones més sol·licitades, la totalitat dels resultats es troben en l'Annex VI. Els resultats es mostren codificats en escala de colors i, d'igual manera que en els murs, s'aporten els valors de les tensions per a aquells punts on aquestes són més elevades. Per als models s'ha considerat una fonamentació a base de sabates corregudes d' 1m d'amplada i 1m de fondària, exceptuant la fonamentació dels pilars de planta baixa, que s'han considerat daus de 1mx1m.

Dels resultats obtinguts se'n pot extreure el següent:

- Les tensions que arriben al terreny no presenten grans variacions en funció del tipus de configuració estructural ni tampoc si es tracta d'edificis situats en banda o en xamfrà (Figura 107 i Figura 108). Aquestes prenen valors que poden anar compreses majoritàriament entre 0,3 i 0,5 N/mm<sup>2</sup>.
- No obstant això, apareixen punts on la càrrega es concentra de forma significativa i les tensions a base de fonamentació són més elevades, aquestes corresponen a les fonamentacions aïllades sota pilars de fosa. Els valors són elevats per als tipus en banda, arribant fins als 0,95N/mm<sup>2</sup> del tipus 1b, però encara ho són més per als tipus en xamfrà, 1,82N/mm<sup>2</sup> i 1,20N/mm<sup>2</sup> per als tipus v1a i v1b, respectivament (veure la totalitat dels valors a l'Annex VI).
- S'observa una variació del valor de les tensions en el terreny al llarg dels murs que delimiten el vestíbul i la caixa d'escala. Els valors seran més alts just sota les pilastres de planta baixa que reben la càrrega dels murs paral·lels a façana principal (Figura 109).
- S'observa un augment de les tensions just en les cantonades, en les trobades de la fonamentació de murs perpendiculars entre ells (Figura 109).
- S'observa com les tensions a base de fonamentació de les façanes davantera i posterior són globalment més elevades, fora d'altres ubicacions puntuals, que les de la resta de la planta (Figura 107).

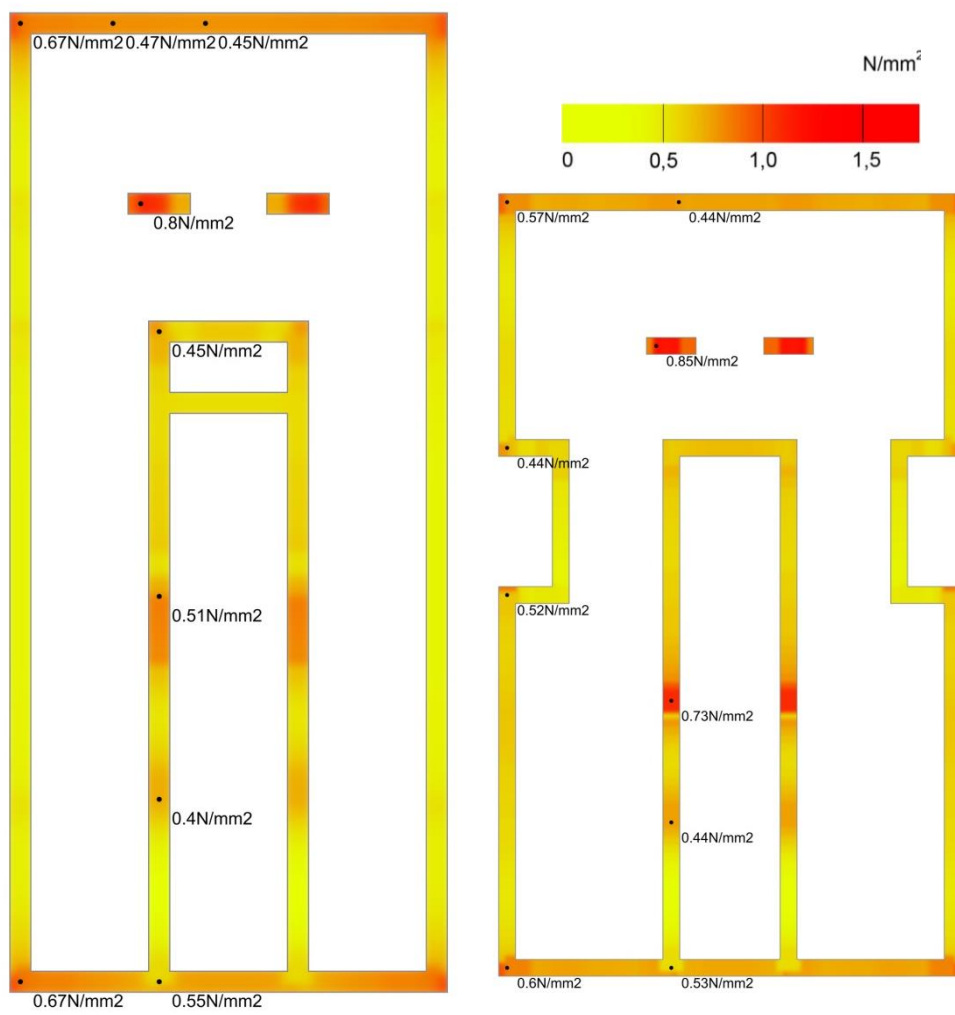
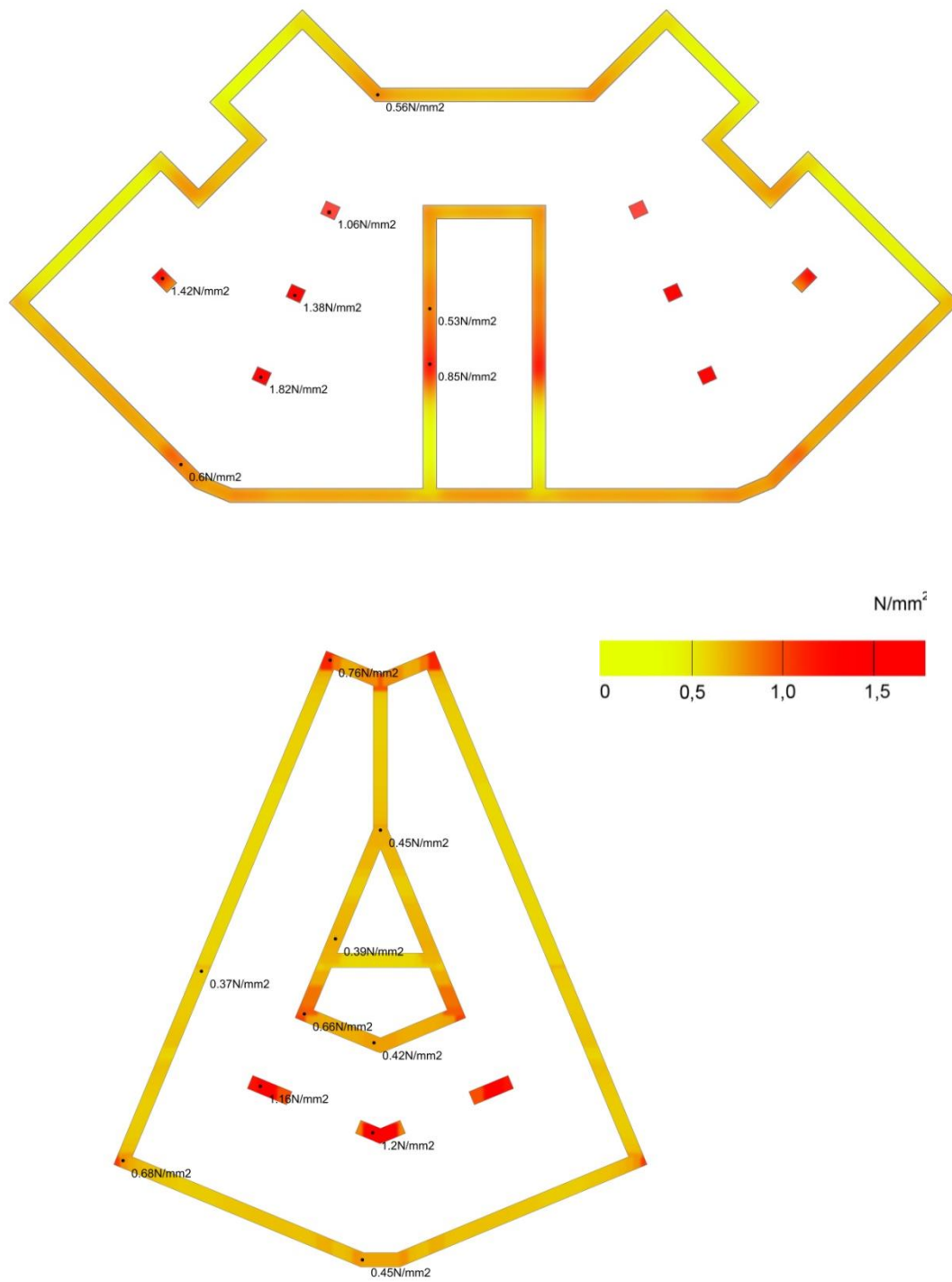


Figura 107: Tensions a base de fonamentació per als tipus 1a i 2a

Figura 108: Tensions a base de fonamentació per als tipus *via i* i *via b*

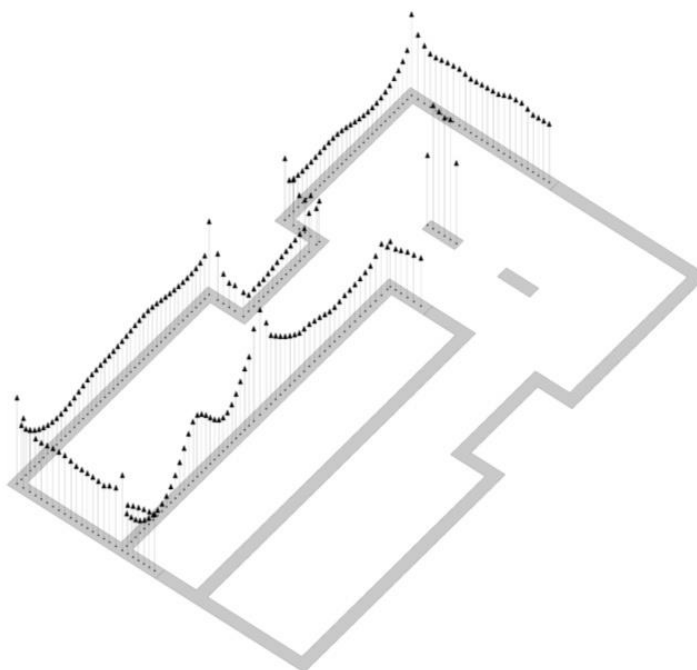


Figura 109: Reaccions a base de fonamentació

## 7.4 Coeficients de seguretat residuals

Tal i com s'exposa en l'apartat 7.1 Descripció de la metodologia, aquest apartat té com a objectiu trobar els coeficients de seguretat residuals ( $\gamma$ ) en els models estudiats i que són representatius del conjunt de la mostra. Aquests s'obtenen dividint el valor de la resistència de l'obra de fàbrica de maó calculada com una resistència característica a partir del processat de les dades experimentals cedides pel Laboratori de Materials de l'Escola d'Edificació (veure Capítol 6) entre el valor de la tensió en cada un dels punts del model. Els resultats es mostren en un tall horitzontal del model (planta) a base de mur de planta principal i a mitja altura del mur en aquesta planta. Tal i com s'ha esmentat anteriorment, de cara a la representació gràfica s'han distingit tres rangs:

- **Coeficient de seguretat<sup>108</sup> ( $\gamma$ ) superior a 3.** En aquest cas se supera el mínim de seguretat normativa establerta en el CTE
- **Coeficient de seguretat ( $\gamma$ ) comprès entre 1 i 3.** En aquest cas existeix marge de seguretat però és inferior als mínims exigits normativament.
- **Coeficient de seguretat ( $\gamma$ ) inferior a 1.** En aquest cas no existeix marge de seguretat.

A continuació s'aporten els resultats dels coeficients de seguretat residuals per a tots els tipus (Figura 110, Figura 111, Figura 112, Figura 113, Figura 114, Figura 115 i Figura 116), s'ha optat per mostrar les tensions a mitja altura del mur que consideren l'efecte de l'esveltesa ja que les tensions assoleixen valors més alts i, per tant, els coeficients de seguretat són més baixos. La totalitat de resultats es troben a l'Annex VII.

---

<sup>108</sup> Atenent únicament a la normativa vigent sobre obra de fabrica, el CTE-DB-SE-F estableix a la *Taula 4.8* els coeficients de minoració que cal aplicar sobre la resistència característica de l'obra de fàbrica. En aquest cas com que es tracta de peces de control de fabricació II (apartat 8.1.1 CTE-DB-SE-F) i de categoria de l'execució C (apartat 8.2.1 CTE-DB-SE-F) s'aplica un coeficient de minoració de 3.

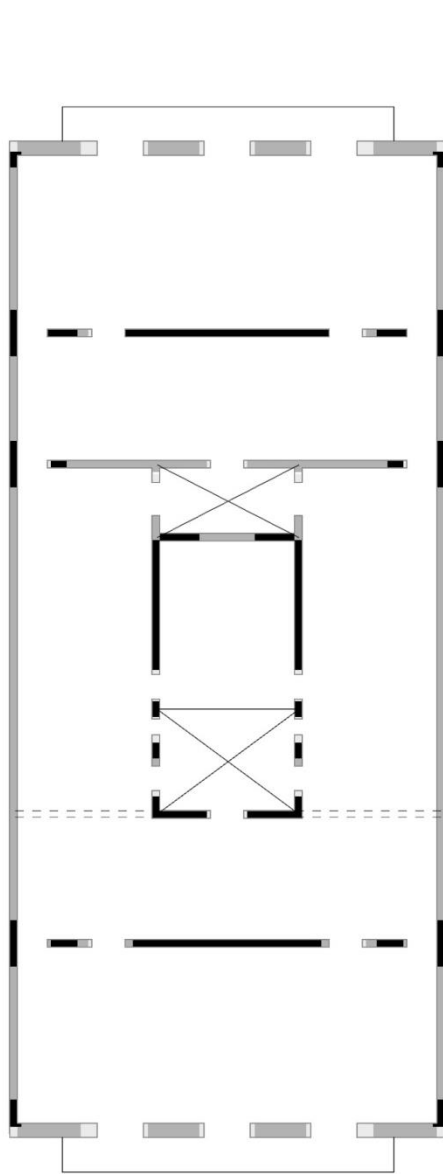


Figura 110: Coeficients de seguretat residuals en els murs per al tipus 1a

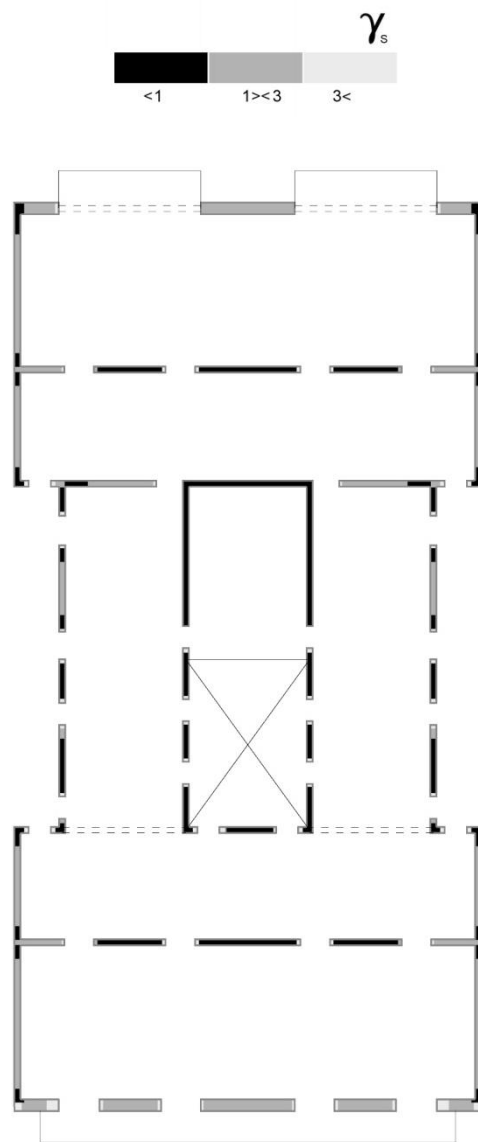


Figura 111: Coeficients de seguretat residuals en els murs per al tipus 1b

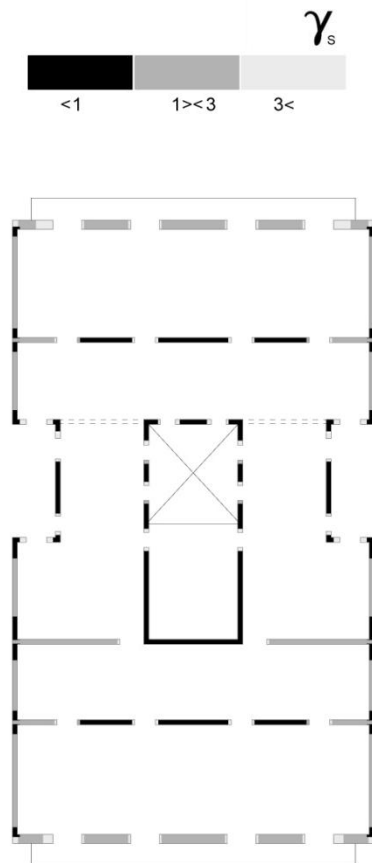


Figura 112: Coeficients de seguretat residuals en els murs per al tipus 2a

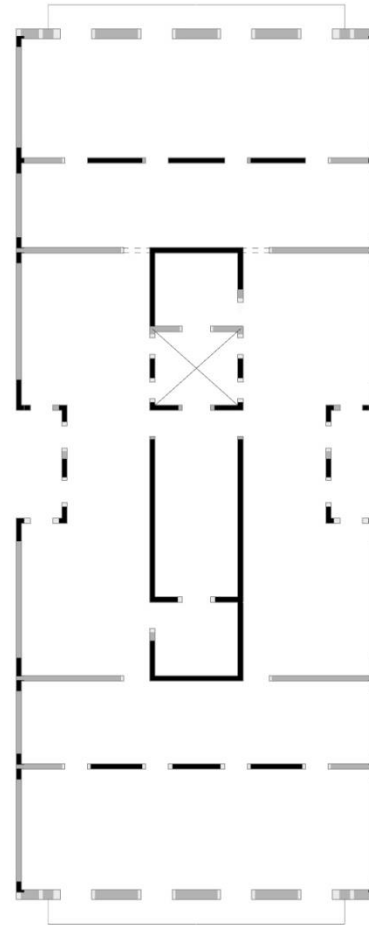


Figura 113: Coeficients de seguretat residuals en els murs per al tipus 2b



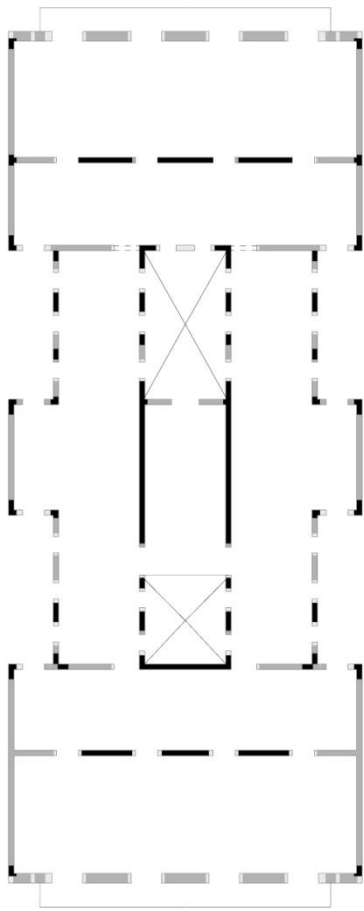


Figura 114: Coeficients de seguretat residuals en els murs per al tipus 2c

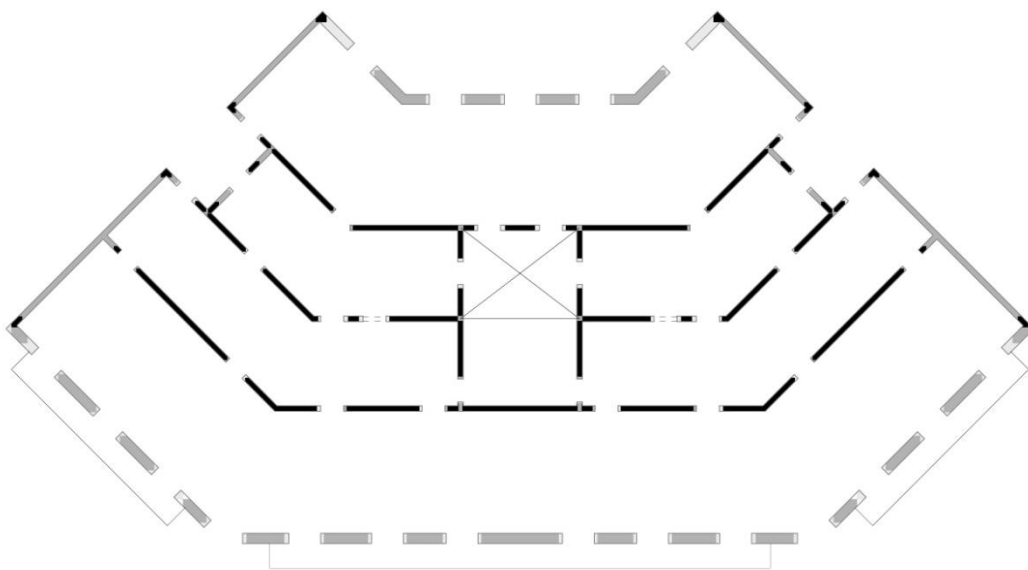
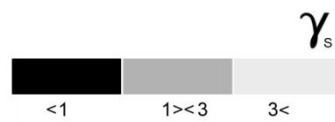


Figura 115: Coeficients de seguretat residuals en els murs per al tipus v1a

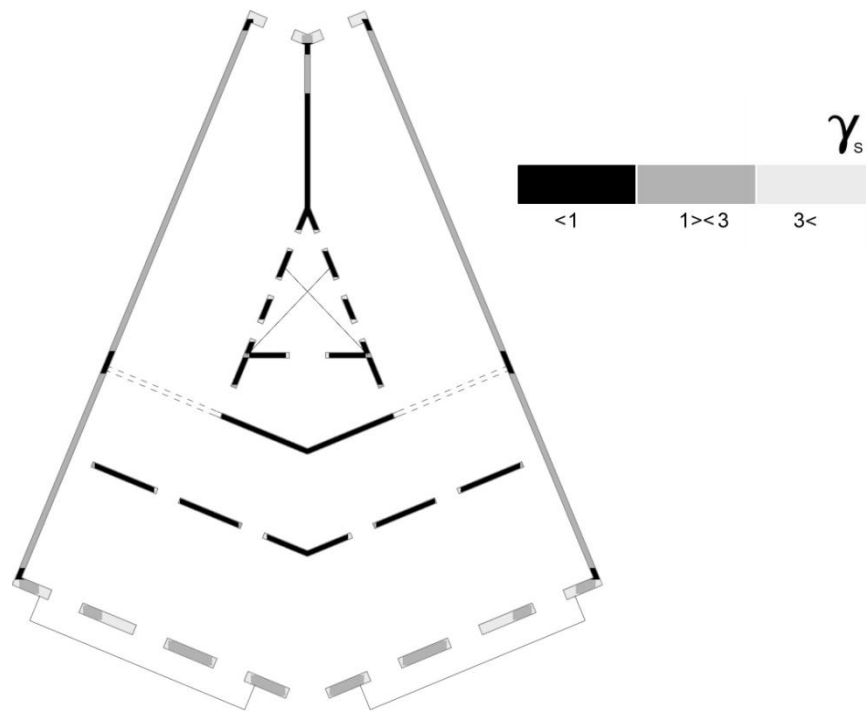


Figura 116: Coeficients de seguretat residuals en els murs per al tipus v1b

Si comparem els resultats obtinguts es pot observar el següent:

- En els tipus situats en banda es donen coeficients de seguretat residual inferiors a 1 (és a dir, per sota del límit de seguretat) de forma generalitzada en dues ubicacions: en les caixes d'escala i els murs paral·lels a façana que recullen les crugies que s'hi recolzen en aquesta.
- En els encontres entre murs perpendiculars, existint transmissió de càrrega entre ells, la zona on s'esgota la seguretat (coeficient de seguretat inferior a 1) sol comprendre una distància entre 0,6m i 1m a ambdós costats de l'encontre.
- Per extensió del punt anterior, cal esmentar que el fenomen de concentració de càrrega en les cantonades, i, en especial, a les cantonades (plecs) dels murs dels patis –elements abundantment perforats– apareixen coeficients de seguretat inferiors a 1.
- Quan hi existeixen patis mitgers es donen coeficients de seguretat inferiors a 1 localitzats en els trams de mur entre finestres, el seu valor estarà directament influït per l'amplada de l'agulla de càrrega que es forma.

- En els tipus en xamfrà els coeficients de seguretat més baixos queden concentrats en la part central de la planta comprenent la caixa d'escala i els murs paral·lels a façana en la seva totalitat.
- Coeficients de seguretat superiors a 3 i a mitja alçada de mur de planta principal únicament els trobem en algunes ubicacions de façana. Si, pel contrari, s'observen els mateixos gràfics però amb els resultats corresponents a la part inferior del mur de planta principal, considerant la càrrega centrada, els coeficients de seguretat superiors a 3 es troben, de forma general, en mitgeres en els trams llunyans a unions a altres murs, façanes i murs longitudinals de patis mitgers (Veure Annex VI).

## 7.5 Conclusions

### 7.5.1 En referència als valors i distribució de les tensions

Sobre els valors de les tensions obtingudes de l'anàlisi dels models es pot concloure el següent:

- Les tensions per als tipus promig adopten un rang molt ampli de valors.
  - Per als tipus en banda, a mitja altura del mur de planta principal, és a dir, considerant l'augment de tensió per efecte de l'esveltesa del mur, són habituals els valors de les tensions entre 3 i 5N/mm<sup>2</sup>, arribant fins als 10N/mm<sup>2</sup> en punts concrets. En canvi, per als mateixos tipus quan es comprova les tensions a base de mur, a càrrega centrada, aquestes no arriben a superar els 4N/mm<sup>2</sup> en cap dels models.
  - Els tipus en xamfrà assoleixen uns valors tensionals similars als tipus en banda, com a única excepció dels murs paral·lels a façana principal on s'arriba a tensions de 15,63N/mm<sup>2</sup> en el models a mitja altura de mur, i de 5,16N/mm<sup>2</sup> en aquesta mateixa ubicació a base de mur de planta principal.

En referència a la distribució de tensions en planta es detecten unes zones on aquestes són especialment elevades que són:

- Murs paral·lels a façanes principal i posterior. Murs sobre els quals recolzen dues crugies. Els valors obtinguts en aquesta ubicació són més elevats en els tipus en xamfrà.
- Zones on existeixen encontres entre murs perpendiculars: cantonades de murs dels patis i encontres de murs paral·lels a façana i façanes amb mur mitger. Són especialment elevats els valors de les tensions obtinguts en les cantonades dels patis centrals i mitgers quan aquests reben jàsseres que es troben estintolant murs paral·lels a façana.
- Agulles de càrrega dels patis centrals i mitgers, elements amb molta existència d'obertures.

Sobre la distribució i valor de les tensions en el contacte de la fonamentació amb el terreny:

- Els valors generals poden anar compresos majoritàriament entre els 0,3 i els 0,5 N/mm<sup>2</sup>. Tensions acceptables per un terreny com el de Barcelona si es té en compte que el terreny sota fonamentació ja ha consolidat.

- Es detecten càrregues puntuals elevades en fonamentació. Aquestes s'ubiquen en les fonamentacions aïllades dels pilars que reben els pilars de fosa de la planta baixa i que arriben als  $0,95\text{N/mm}^2$  per als tipus en banda, i més elevades, fins als  $1,82\text{N/mm}^2$  en els tipus en xamfrà. En aquest segon cas, la zona més carregada en fonamentació coincideix amb la zona més tensionada en els murs.
- Es donen distribucions de tensions no uniformes en fonamentació, especialment ocasionades per l'esquema estructural de planta baixa diferenciat de les plantes superiors. Les tensions són més elevades en fonamentació de pilastres adjacents a murs mitgers i de vestíbul i en cantonades de patis.
- S'observen tensions a fonamentació més elevades en les façanes davantera i posterior que en els murs mitgers, fent que les compressions en aquestes zones puguin contribuir al trencament dels edificis per la zona central.

### 7.5.2 En referència al comportament dels diferents tipus

En referència al comportament dels diferents tipus cal fer esment que les diferències més significatives es troben entre els tipus situats en xamfrà i els tipus situats en banda. La variabilitat dels tipus en banda no implica una variació tensional important entre ells. El mateix es pot dir dels tipus en xamfrà.

No obstant, l'estudi tipus a tipus proporciona eines d'aplicació a la prediagnosi i l'avantprojecte amb la identificació d'unes zones concretes de cada tipus que es troben generalment altament tensionades, l'estudi de les quals es fa necessari previ a una possible intervenció.

### 7.5.3 En referència a la seguretat estructural

En referència a la seguretat estructural de les estructures muràries estudiades enfront a càrregues verticals normatives, cal dir d'una forma general que:

- No es compleixen les exigències normatives actuals.
- La situació s'agreuja especialment si es té en compte l'excentricitat de càrrega per esveltesa on no hi ha coeficient de seguretat residual en els punts més carregats.

L'estudi de la seguretat estructural tipus a tipus, i dels seus coeficients de seguretat residuals, proporciona informació sobre l'esgotament tensional de cada tipus de

configuració estructural i pot ser, una eina de cara a la diagnosi ràpida i un punt de partida per l'avantprojecte. Les conclusions d'aquest tipus d'estudi:

- Proporcionen de cada un dels tipus un mapa de la seguretat residual.
- Es localitzen a cada tipus unes zones on la seguretat estructural està esgotada o pròxima a esgotar-se. Aquestes són, per als tipus en banda, les zones centrals de la planta, corresponents a la caixa d'escala i patis centrals, els murs paral·lels a façana i determinats encontres de murs perpendiculars; per als tipus en xamfrà, es concentren en la zona central de la planta i són: la caixa d'escala i patis centrals i els murs paral·lels a façana.
- Si es cerquen aquelles ubicacions que sí que assolirien la seguretat requerida pel marc normatiu actual, és a dir, amb un coeficient de seguretat superior a 3, en el cas d'avaluar el mur a mitja altura de planta principal únicament ho farien algunes ubicacions de façana. Si, s'avalua el mur a la base d'aquest tram s'assoleix la seguretat mínima requerida, d'una forma general, en mitgeres en els trams llunyans a unions a altres murs, façanes i murs longitudinals de patis mitgers.

L'efecte de considerar l'efecte de l'esveltesa a mitja altura de mur de planta principal té un efecte directe en l'augment de les càrregues, i, per tant, en la disminució de la seguretat romanent. Els coeficients de seguretat en aquesta ubicació són considerablement baixos, és per aquest motiu que aquí es llisten tres possibles factors que podrien fer augmentar la seguretat en aquest tipus d'avaluació:

- Les accions normatives, tot considerant les reduccions de càrrega per simultaneïtat, solen ser superiors a les que es donen en un estat de sol·licitació habitual, no únicament pel que fa a les accions variables sinó també pels coeficients de seguretat que s'apliquen sobre elles.
- De cara a l'avaluació de la seguretat estructural s'ha considerat la resistència de l'obra de fàbrica obtinguda com una resistència característica a partir de les dades d'assaigs proporcionades (veure Capítol 6), a la manera del CTE, per tant en el 95% dels casos la resistència a compressió de l'obra de fàbrica de maó assoliria un valor superior al que s'ha pres per al càlcul.
- Cal posar en crisi els models de càlcul per a l'esveltesa dels murs, sobretot pel què fa a les consideracions dels seus vincles amb els altres elements estructurals, els recolzaments de murs no són ni una articulació real ni un encastament perfecte, tampoc ho són ni tenen perquè ser-ho els encontres amb altres elements estructurals com els sostres unidireccionals de biguetes o altres murs. Aquesta incertesa provinent de la realitat construïda fa que sovint, els textos

normatius, assumeixin models que podrien semblar excessivament conservadors. A més, cal fer esment que, tot i l'estudi de murs d'obra de fàbrica esvelts és un àmbit sobre el que existeix una investigació activa, actualment, no existeix un model de càlcul que doni una resposta fefaent al comportament i fallada de murs esvelts enfront a càrregues verticals.

No obstant la incertesa general d'aquest tipus d'estructures fa aconsellable prendre valors conservadors de cara a una avaluació de la seguretat estructural.

## 7.6 Referències

Bernat Maso, E. (2013). *Analysis of unreinforced and TRM-strengthened brick masonry walls subjected to eccentric axial load*. UPC.





## 8 Comparació entre els resultats teòrics i el comportament observat. Anàlisi de danys

---

### 8.1 Anàlisi dels danys més freqüents

Durant la primera campanya de visites destinada a la realització dels aixecaments per a la confecció de la mostra d'estudi, va ser possible, d'una forma general i donades les condicions **d'accés**, la inspecció visual de l'estat patològic dels edificis visitats fet que va permetre tenir un coneixement general sobre l'estat de conservació del conjunt de la mostra (veure annex II taula condicions d'accés). En aquesta primera fase va ser també possible detectar aquells edificis on els danys estructurals eren més palesos per poder-los estudiar en profunditat més endavant.

Seguidament, es va programar una segona campanya de visites orientada específicament a la descripció dels danys estructurals més freqüents. Es van visitar els edificis amb danys estructurals evidents ja observats en la campanya anterior, descartant aquelles petites fissuracions de caràcter aïllat en tancaments no estructurals. Paral·lelament, es va contactar les persones que havien facilitat l'accés durant els aixecaments perquè informessin de l'existència d'esquerdes en els murs de les finques dels seus habitatges. Aquesta informació a ser verificada in situ, visitant els immobles en qüestió. En total, dins de la mostra estudiada, es disposa d'informació de 10 edificis amb danys.

Val a dir, que el nombre d'edificis amb danys estructurals ha estat menys nombrós de l'esperat. Aquest fet s'explica, per les condicions d'accés per a la primera inspecció que, si bé es consideraven suficients per a la determinació de l'esquema estructural, aquestes presentaven limitacions en l'accés, tant a l'absoluta totalitat de l'edifici com en l'interior dels habitatges. Per tant, es pot dir que el fet de tractar-se d'immobles habitats que han rebut un manteniment continu, si més no cosmètic, amb freqüents obstacles com l'empaperat de parets o el mobiliari, pot sesgar la mostra pel que fa al nombre d'edificis amb danys. No obstant, durant la primera campanya de visites sí que va ser possible observar els danys existents en caixes d'escala, patis i celoberts, elements que, habitualment es troben més afectats per esquerdes, ja que el seu manteniment és menor que els dels habitatges. No obstant això amb la mostra d'edificis amb danys que es disposa ja és possible observar situacions patològiques i esquemes fissuratius que es reiteren de forma generalitzada. La documentació complerta sobre els aixecaments de danys i la seva diagnosi es troba en l'annex VII.

Els principals danys en murs es poden resumir en tres grups i subgrups als quals es dediquen els apartats següents:

- Danys causats per efectes locals de concentració de càrrega.
  - Esquerdes localitzades en els recolzaments de les biguetes ocasionades per concentració de càrrega.
  - Trencament de les llindes de l'entrada principal de façana situades sota agulles de càrrega.
  - Esquerdes sota les agulles de càrrega en els murs dels patis per efecte de la redistribució de les càrregues dels brancals.
  - Trencament de les llindes de les obertures dels murs localitzades sobretot en els patis.
- Danys amb un origen en el terreny o fonamentació i els quadres fissuratius que se'n deriven.
  - Esquerdes concentrades en la zona central de la planta, corresponent amb la menor secció resistent, atribuïbles a assentaments diferencials globals dels edificis.

- Esquerdes que es corresponen amb assentaments diferencials locals d'elements de l'estructura vertical amb un possible efecte combinat de concentració de càrrega.
- Danys causats per moviments i/o rigideses diferencials entre parts de l'estructura o entre l'estructura i els tancaments.
  - Danys generalitzats en tancaments per la independització de moviments amb l'estructura vertical i per flexió de l'estructura horitzontal.
  - Esquerdes inclinades en ampits de finestra dels murs curts dels patis mitgers.

### 8.1.1 Danys causats per efectes locals de concentració de càrrega

Són freqüents les esquerdes que apareixen en els murs com a conseqüència d'una concentració de càrrega local. La seva aparició, tot i ser comuna a altres tipus d'edificacions construïdes a base de murs de càrrega i sostres unidireccionals sense cercols, també respon a certs dissenys que es donen en els esquemes estructurals tipus en els edificis de l'Eixample. Es poden resumir en les tres situacions següents:

- Esquerdes que apareixen com a conseqüència de la concentració de càrrega per l'efecte puntual del recolzament de les biguetes.
- Trencament de les llindes de l'entrada principal de façana sota agulles de càrrega.
- Esquerdes sota les agulles de càrrega en els murs dels patis amb major presència en la zona dels ampits.
- Trencament de les llindes de les obertures dels murs, localitzades majoritàriament en els patis.

No s'han observat en cap cas danys generalitzats en murs produïts per esforços de compressió per esgotament de la seva capacitat portant. Aquests sempre s'han observat manifestant-se de manera local.

#### 8.1.1.1 Esquerdes localitzades en els recolzament de les biguetes ocasionades per concentració de càrrega

L'aparició d'esquerdes per concentració de càrrega en els recolzaments de les biguetes ve influïda per dos factors, el primer és la càrrega que suporta la bigueta, que dependrà directament de la llum, amb tendència a aparèixer més freqüentment en els murs de façana davantera o posterior i en els murs oposats a aquestes, murs on recolzen les biguetes amb llums més elevades; el segon factor és la resolució de l'entrega de la bigueta sobre el mur, influïnt la regularitat de la fàbrica que queda sota la bigueta i la possible presència d'obertures inferiors que, ja sigui amb llinda o amb un arc de descàrrega (Figura 118), la qual cosa ocasiona descompressions locals de la fàbrica que fan disminuir la resistència a compressió d'aquesta afavorint-ne el trencament puntual. En l'aparició d'aquest tipus

d'esquerdes també hi contribueixen altres causes que col·laboren en l'estat tensional del mur, essent més probables en murs ja carregats, on l'efecte de la càrrega puntual provoca que se superi localment la resistència màxima a compressió de la fàbrica.

Les esquerdes resultants solen tenir una inclinació a  $45^\circ$  sota els extrems de la bigueta vericalitzant-se a mesura que descendeixen o bé seguir una línia vertical just centrada en l'eix de la bigueta, sempre seguint l'esquema de línies isostàtiques de compressió (Figura 117).

Aquest tipus d'esquerdes també es manifesten freqüentment ens els edificis en cantonada per una concentració puntual dels recolzaments de les biguetes en ventall que salven l'obliquïtat del xamfrà (Figura 118).

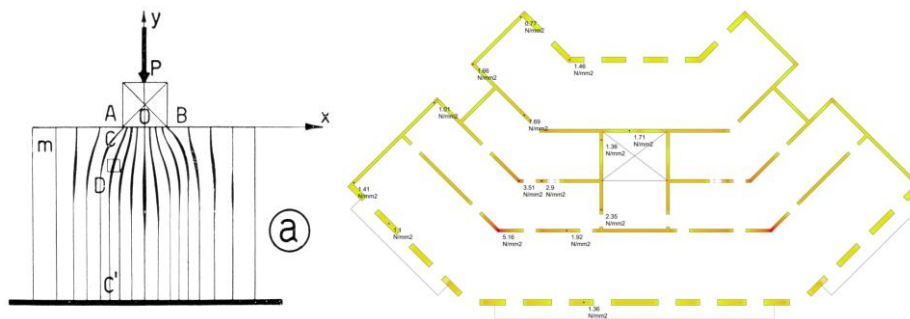


Figura 117: Esquema de línies isostàtiques de compressió sota recolzament de biga (esquerra), distribució de tensions en planta en un esquema estructural en xamfrà (dreta).



Figura 118: Exemples d'esquerdes sota recolzament de biguetes (1, 2 i 3 Castillejos 168, 4 Pau Claris, 76)

#### 8.1.1.2 Trencament de les llindes de l'entrada principal de façana sota agulles de càrrega

La presència de llindes trencades a l'entrada principal de l'edifici és conseqüència directa de la composició de façana del tipus edificatori de l'Eixample. El disseny generalment simètric de la planta baixa segueix un esquema independent de la composició de les plantes superiors; així, les obertures verticalitzades de les plantes tipus, en arribar a planta baixa, no tenen continuïtat. Aquest fenomen es dona quan existeix una agulla de càrrega centrada just a sobre de l'entrada principal en façanes amb un nombre parell d'obertures (Figura 36). L'agulla central de façana transmet una càrrega concentrada directament sobre la llinda d'entrada que pot trencar per flexió si és d'obra de fàbrica. En canvi, no és habitual l'aparició d'esquerdes sobre les entrades dels locals ja que aquestes es solen resoldre amb llindes metàl·liques ja que abasten una llum més gran.

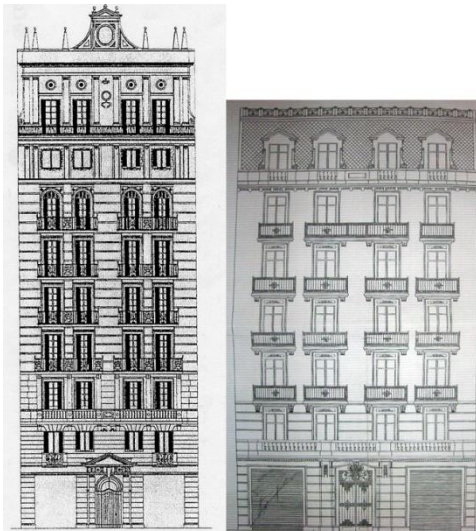


Figura 119: Façanes de l'Eixample (Gran Via 472 i Provença 365)



Figura 120: Exemples de llindes trencades en els accessos principals.

### 8.1.1.3 Esquerdes sota les agulles de càrrega en els murs dels patis per efecte de la redistribució de les càrregues dels brancals

L'aparició d'esquerdes sota les agulles de càrrega en els murs dels patis i que es manifesten sobretot en la zona dels ampits s'observa com a un fenomen relativament comú al edificis de l'Eixample. Aquestes apareixen en murs de patis interiors i celoberts on les obertures són finestres, és a dir, existeix una alternança de buit massís en altura en la vertical de les finestres, i els murs tenen un gruix menor, 15cm. Les esquerdes apareixen coincidint amb les agulles de càrrega entre les finestres, però no en aquestes sinó just a sota, en la zona d'ampits (Figura 121), sobretot en plantes inferiors i intermitges.



Figura 121: Esquerdes en celobert (1, Provença 363; 2 i 3, Rocafort 217)

La causa d'aquest tipus d'esquerda són les traccions que es generen com a causa de la redistribució de les càrregues del brancal quan arriben a la zona dels ampits. Per explicar el fenomen s'ha simulat mitjançant càlcul per elements finits una paret que suporta una crugia d'un mur de pati com el que apareix a la Figura 121, d'una altura habitual (principal+6plantes+remunta) i amb l'estat de càrregues segons CTE. En la Figura 122 i Figura 123 es poden observar els resultats de les tensions a la part baixa del mur de pati simulat (planta principal), per tant, on aquestes s'esperen més altes. S'ha optat per mostrar els valors de les tensions en 6 punts centrals, ja que en aquests s'observa com s'alternen els esforços de compressió i tracció en el sentit horitzontal.

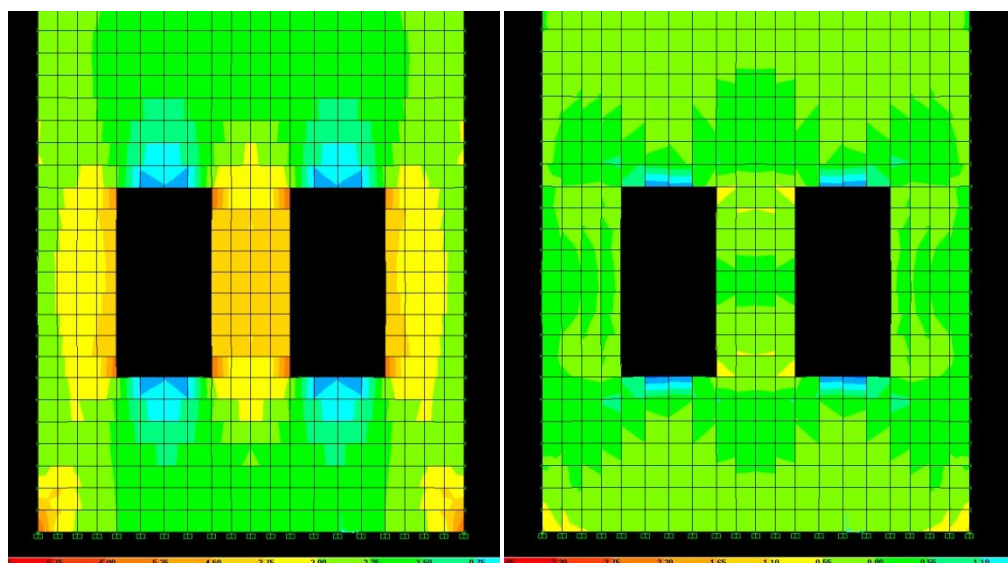


Figura 122: Resultats de les tensions a la part baixa del mur, esquerra tensions en sentit vertical, dreta tensions en sentit horitzontal.

A la zona dels brancals i en sentit vertical (Figura 122 i Figura 123 esquerra) és on donen els valors de compressió més alts ( $3,86\text{N/mm}^2$ ), És en aquest punt on la resistència a compressió de l'obra de fàbrica és determinant de cara a la possible aparició d'esquerdes. Al distribuir-se els esforços, el valor de les compressions disminueix en la zona de l'ampit.

Al observar les tensions en el sentit horitzontal (Figura 122 i Figura 123 dreta) es constata que en la zona del brancal apareixen compressions en la part alta i baixa d'aquest ( $0,1\text{N/mm}^2$ ) que provenen de la generació dels arcs de descàrrega per sobre i per sota de les obertures; a mitja altura del brancal existeixen traccions d'un valor gairebé despreciable ( $0,01\text{N/mm}^2$ ). En canvi, en la zona dels ampits és important remarcar que tot i que el valor de les compressions en sentit vertical és inferior que en el cas dels brancals, és en aquesta zona que es generen traccions en el sentit horitzontal provinents de la redistribució de les càrregues que es trobaven en el brancal i que poden arribar a ser prou elevades per trencar l'obra de fàbrica a tracció, aquestes es comentaran a continuació.

De cara a l'estudi d'aquest mur de pati, en tota la seva alçada, s'ha optat per donar els valors de les ubicacions d'aquells elements finits on s'han observat traccions en la planta principal tal i com es mostra a la Figura 123.

En aquesta mateixa Figura 123 (esquerra) s'aprecia que el valor de les compressions en el sentit vertical va sempre en augment a mesura que disminueix l'altura de la planta, essent sempre més elevada als brancals, amb uns valors màxims en aquesta ubicació de  $3,6\text{N/mm}^2$ .



Així mateix, també es poden observar els valors que prenen els esforços de tracció en el sentit horitzontal en l'eix del pati (Figura 123 dreta). S'observa que aquests valors, tot i no ser elevats – valors màxims de  $0,36\text{N/mm}^2$  – són suficients per poder superar la resistència a tracció de la fàbrica (de l'ordre del 10% de la de compressió) i ocasionar, per tant, esquerdes. Aquests, cal dir, que no experimenten un augment molt significatiu en disminuir l'altura de la planta, tot i tenir una relació directa amb l'augment del valor dels esforços de compressió en l'altre sentit. Aquest fenomen fa que en plantes intermitges, i no només inferiors, es donin valors d'esforços de tracció suficientment alts per poder trencar l'obra de fàbrica (veure a la Figura 123 planta 3a  $0,23\text{N/mm}^2$ ).

Per tant, de l'anàlisi de les parets dels patis es pot concloure que quan es tracta de murs de càrrega, on s'alternen les parts perforades amb les massisses, els valors obtinguts per al cas d'una paret habitual de pati, sense buscar casos extrems dins la mostra, porten a concloure que per a les accions normatives, les tensions que es generen estan al límit tant de resistència a compressió en els brancals (en el sentit vertical) com de resistència a tracció en la zona dels ampits (en el sentit horitzontal). Apareixen esquerdes quan s'ha superat una de les dues resistències –la de compressió en els brancals o bé la de tracció en els ampits- les més habituals, tal i com s'ha pogut comprovar, són les produïdes al superar-se la resistència a tracció de l'obra de fàbrica. Aquest punt, tal i com s'exposa al capítol 6, és d'una gran indeterminació ja que els valors de les principals característiques mecàniques de l'obra de fàbrica de maó presenten una gran dispersió influïda per l'heterogeneïtat existent de maons i morters. Unes possibles majors dosificacions (Paricio Casademunt, 1998) en els brancals podria explicar el fet de que s'observin menys esquerdes en aquestes ubicacions.

Cal esmentar que, en les configuracions irregulars d'obertures de patis, que han arribat a avui dia, com a conseqüència de les successives modificacions d'aquestes al llarg del temps s'observarien esquemes aparentment anàrquics de fissuració que poden tenir com a causa les traccions que s'hagin generat per la redistribució de les compressions.

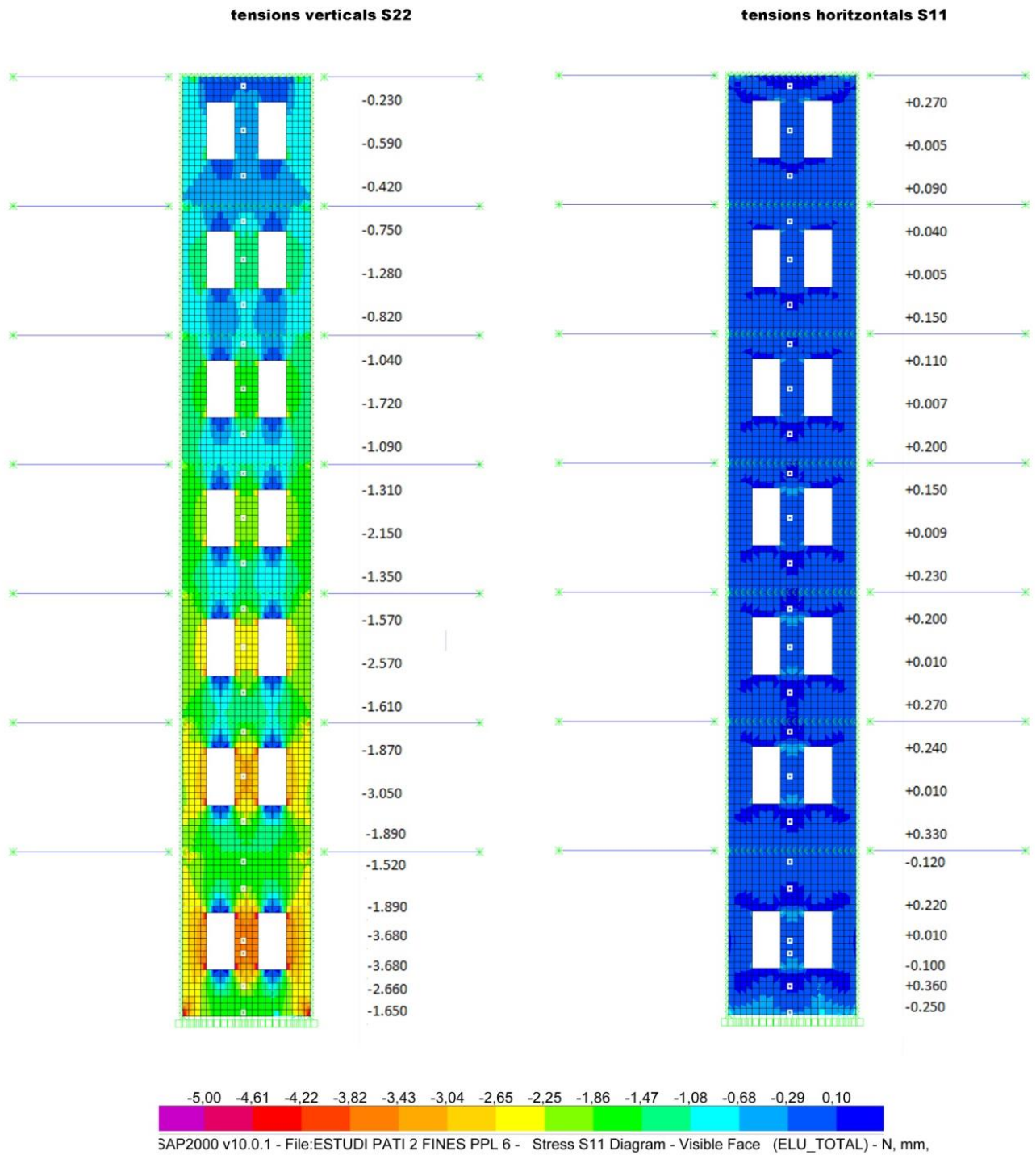


Figura 123: Valors de les tensions (N/mm<sup>2</sup>) en diversos punts de l'eix del pati.

#### 8.1.1.4 Trencament de les llindes de les obertures dels murs localitzades sobretot en els patis

En les visites als edificis s'ha pogut comprovar, gràcies a petites pèrdues de material o pel tipus de trencament, que és molt habitual que les obertures de patis no disposin de llinda, si bé es pot intuir que l'obra de fàbrica pot tenir un aparell específic en aquests punts (Figura 124). Conseqüentment, a la part superior de les finestres es forma de manera espontània un arc de descàrrega que transmet les compressions a la zona dels brancals i que deixa la zona immediatament superior a l'obertura treballant a flexió. En la zona central apareixen traccions tant en el sentit horitzontal com vertical que produeixen el trencament de l'obra de fàbrica (Figura 122). Els tipus d'esquerdes resultants es poden observar a la Figura 125.



Figura 124: Obertures sense llinda



Figura 125: Llindes inexistentes trencades. Vilamarí, 27 (a dalt), Paral·lel 124 (a baix)

### 8.1.2 Danys amb un origen en el terreny o en la fonamentació i quadres fissurats que se'n deriven

Són freqüents els edificis amb esquerdes als murs de càrrega on l'origen d'aquesta patologia és atribuïble a causes localitzades en el terreny o en la fonamentació. Set dels deu edificis estudiats en presenten.

Les esquerdes poden tenir el seu origen en:

- Els assentaments diferencials associats a diferències en els fermes de fonamentació, en l'existència d'estrats diferenciats o en els períodes de consolidació del terreny, variacions marcades per una manca d'informació més precisa.
- L'alteració del terreny per pèrdues en les instal·lacions d'aigua, de desguàs o de sanejament.

- Una possible descompressió del terreny a causa d'obres veïnes.
- Un comportament diferencial de la fonamentació degut a diferències en les càrregues que aquesta transmet al terreny en un disseny de fonamentació que no està fet específicament per assumir assentaments diferencials.

Per a l'elaboració de la tesi ha estat impossible realitzar cales en fonamentació o assajos al terreny per poder tenir més certesa en la diagnosi dels casos exposats en l'annex VII, això genera incerteses en el tipus d'estrat on es recolza un mateix edifici. No obstant, amb el coneixement que es té dels sols de Barcelona, es pot afirmar que l'Eixample, en la zona delimitada per la tesi, es fonamenta sobre un terreny quaternari antic format per argiles vermelles, llims marrons groguencs i crostes calcàries (tortorà - roca calcària d'exudació). Aquests tres tipus de sols s'ordenen en fondària formant una successió dels tres que es repeteix tres vegades i que s'anomena col·loquialment "tricycle" (Ventayol i Lázaro, 1978) i que arriba a una profunditat variable d'entre 18 i 25m. Pel que fa a les fonamentacions, aquestes eren majoritàriament corregudes just a sota dels murs amb una amplada de 60cm en coronació i de 100cm en el contacte amb el terreny (Paricio Casademunt, 1998) - amplada que s'ha pres per les simulacions. Els pilars de fosa comptaven amb fonamentacions puntuals sovint de pedra. La profunditat de la fonamentació era variable i es determinava de forma empírica per part de l'arquitecte o mestre d'obres, es solia adoptar la solució de fonamentacions corregudes fins a una fondària de 2,5m i de pilars més arcs a mode de pous de fonamentació que estalviaven material si calia anar fins als 8-10m de profunditat (Paricio Casademunt, 1998)(Benavent, 1934).

Els principals danys en murs i que tenen com a origen o bé el terreny o bé la fonamentació és concreten en:

- Esquerdes concentrades en la zona central de la planta, corresponent amb la menor secció resistent, atribuïbles a assentaments diferencials globals dels edificis.
- Esquerdes que es corresponen a assentaments diferencials locals d'elements de l'estructura vertical amb un possible efecte combinat de concentració de càrrega.

#### **8.1.2.1 Esquerdes concentrades en la zona central de la planta, corresponent amb la menor secció resistent, atribuïbles a assentaments diferencials globals dels edificis.**

Les fissures atribuïbles a assentaments diferencials globals dels edificis de l'Eixample es manifesten de forma general en la zona central de la planta on apareixen esquerdes en patis, caixes d'escala, mitgeres i, en alguns casos, presenten continuïtat per sostres i paviments (Figura 126). Aquestes esquerdes solen tenir una component vertical fortament marcada, tot i que presenten lleugeres inclinacions que indiquen el sentit de moviment.



Figura 126: Continuitat de l'esquerda de mur per paviment (Castillejos, 168)

Part de les esquerdes amb un origen al terreny es manifesten en les plantes inferiors dels edificis (Calabria 75, Figura 127), indicant clarament el seu origen, amb un descens de part de l'edifici. En tractar-se d'edificis amb un esquema estructural rígid fa que aquests tinguin tendència a trencar-se per aquells punts de l'estructura que suposen una menor secció resistent i, per tant, comporten menys oposició al trencament en aquests punts. Aquesta tendència al trencament augmenta en la zona central de la planta, al no aparèixer parets de traves que puguin ajudar a rigiditzar el comportament d'aquesta zona.

Altres esquerdes amb causes atribuïbles al terreny i que afecten a l'edifici de manera generalitzada, es manifesten en plantes superiors, indicant una descompressió d'aquest i un basculament de les dues meitats resultants cada una desplomant-se en sentits oposats (Vilamarí 27, Figura 127). En aquest cas, igual que en l'anterior, l'edifici té tendència a trencar-se per aquella zona que suposa la menor secció resistent de l'edifici i que correspon a la zona més prima de la planta que presenta més obertures i un canvi de sentit del bigam.

Cal fer esment, també, que en el cas d'esquemes estructurals rígids, els assentaments diferencials i les esquerdes associades poden manifestar-se d'una manera diferent respecte els esquemes tradicionals. El descens d'una zona de la planta sovint genera torsions en la globalitat de l'estructura, que provoquen, a la vegada, compressions induïdes en altres murs (veure Paral·lel 124 i Provença 363 a Annex VII). Tampoc es descarta en alguns dels casos una contribució en el trencament global per una possible component horitzontal en el moviment de les fonamentacions. La verticalitat de les esquerdes en mitgeres atribuïbles a aquesta causa tenen la seva explicació en la rigidesa de l'esquema estructural podent-se combinar amb altres causes, com per exemple la influència de les edificacions veïnes (com en el cas dels patis de Provença 360) o possibles

conseqüències de les vibracions dels bombardejos patits durant la Guerra Civil (Badenas i Rico, 1993).

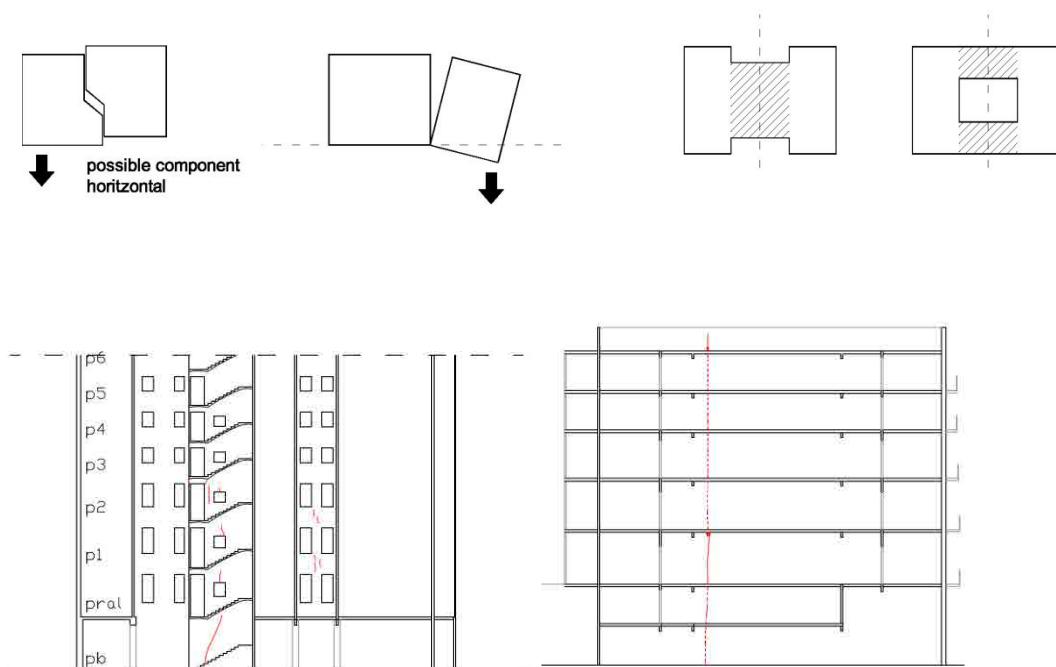


Figura 127: Formes de trencament per assentament global general i seccions d'edificis que presenten dita patologia: Calabria, 75 (esquerra) i Vilamarí, 27 (dreta)

#### 8.1.2.2 Esquerdes que es corresponen a assentaments diferencials locals d'elements de l'estructura vertical

En alguns casos els assentaments diferencials en l'estructura de l'edifici es donen de manera localitzada, ocasionant quadres fissuratius característics de descensos de zones concretes. No obstant, en cap dels edificis analitzats, aquestes es presenten de forma aïllada, sinó que ho fan associades a altres casuístiques de danys per assentament diferencial.

La principal ubicació on s'han observat aquest tipus d'esquerdes és a les plantes baixes, en zones apilastrades, on les pilastres transmeten una càrrega puntual al terreny, manifestant-se les esquerdes en els murs on que contenen les pilastres (Figura 128). Aquestes esquerdes són inclinades a 45° a cada un dels costats de les pilastres amb un gruix que disminueix amb l'altura, tot indicant un descens d'aquestes; s'han observat predominantment a les pilastres dels vestíbuls d'accés on recolzen les jàsseres que estintolen els murs de les plantes superiors que són paral·lels a façana. Cal dir que aquestes jàsseres també es solen recolzar en pilastres de mitgera però en aquests casos la càrrega transmesa a la pilastra és inferior, així com també l'aparició de danys en mitgera per aquesta causa. El fet de disposar de resultats on es mostren les reaccions al terreny

(veure capítol 7) facilita el coneixement d'aquells punts més susceptibles a l'aparició d'esquerdes d'aquest tipus. La presència d'assentaments diferencials serà més provable en:

- Punts del contacte fonamentació-terreny on, tot i ser propers entre ells, les diferències de càrrega que transmeten al terreny són apreciablement diferents. Gràficament es poden observar les reaccions del terreny i com en els punts de més variació d'aquestes, com en la zona de les pilastres del vestíbul, són zones on s'han observat esquerdes per assentament (Figura 129).
- Punts del contacte fonamentació-terreny on, tot i trobar-se aïllats, presenten una diferència considerable pel que fa a reaccions del terreny. En aquests casos, el descens diferencial de la fonamentació suposaria distorsions angulars que afectarien als elements constructius de la planta baixa i, probablement, murs superiors.

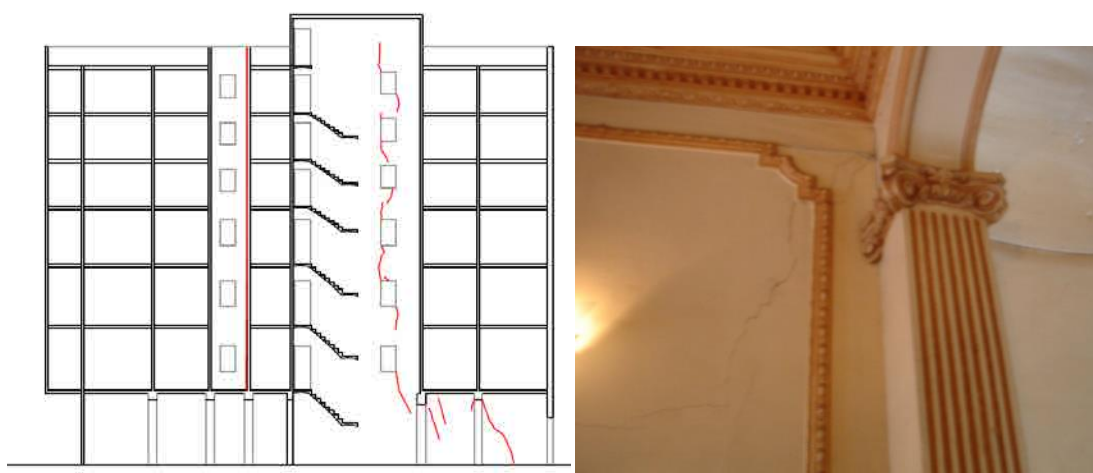


Figura 128: Esquerdes per assentament diferencial de pilastra respecte el mur de vestíbul, Provença, 363.

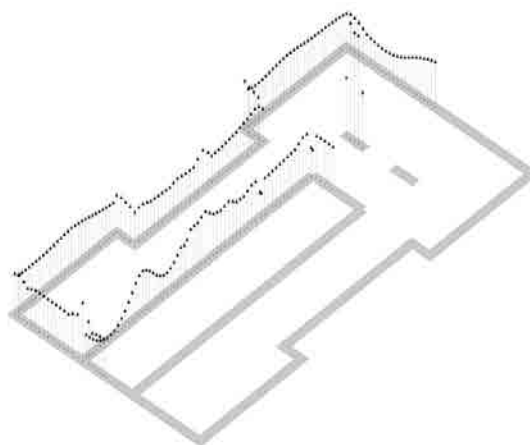


Figura 129: Reaccions a terreny per al tipus 1B



Atès que en els patis es concentren el major nombre d'instal·lacions de subministrament i desguàs que poden tenir eventuais pèrdues d'aigua que afectarien al terreny, cal esmentar que poden produir-se assentaments diferencials localitzats en les seves cantonades per aquesta causa (veure apartat 8.1.3.2).

Sovint, s'ha de sumar a les tensions generades per un assentament diferencial, els esforços de compressió de determinades localitzacions. Aquest és el cas dels trencaments per les cantonades dels patis, que a més de trobar-se ne la secció més feble de la planta, es corresponen als punts més carregats de la planta (hotspot 1, veure capítol 07) on existeix una transmissió d'esforços de compressió recíproca entre els dos murs que formen l'angle. Els valors promitjos de les tensions obtingudes del càlcul en aquesta zona i per a la globalitat dels tipus ronden els  $3\text{N/mm}^2$  efectuant un càlcul a càrrega centrada i els  $9\text{N/mm}^2$  si es considera l'efecte descentrador de la càrrega provocat per l'esveltesa<sup>109</sup>.

El trencament es manifesta a la pròpia cantonada (veure Provença 363 a Annex VII) o per la línia vertical de finestres més propera (Figura 130)

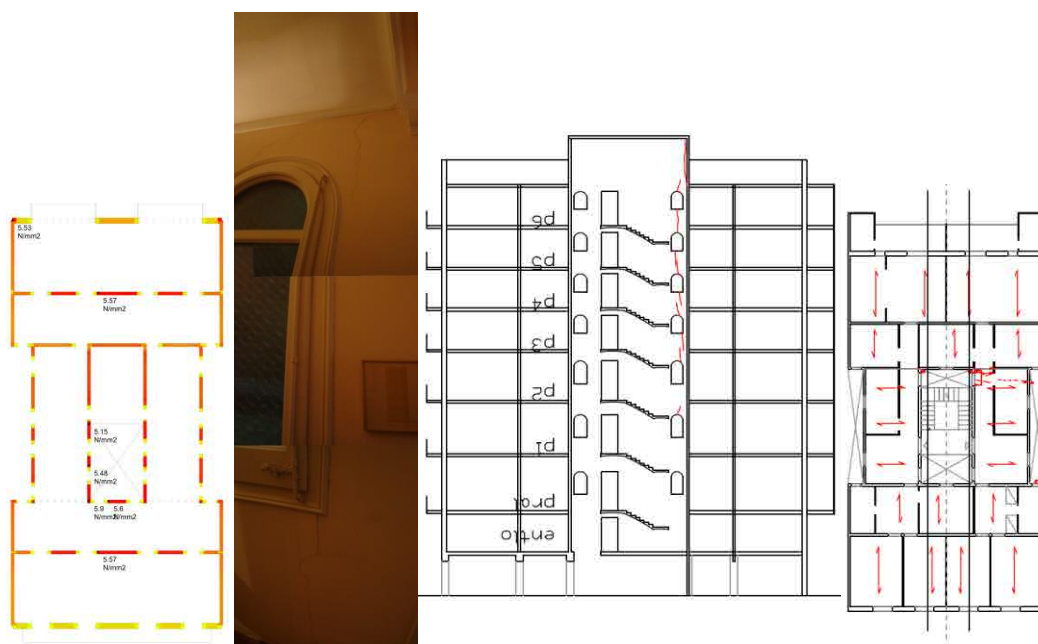


Figura 130: D'esquerra a dreta, degradat tensional amb les tensions de compressió per al tipus 1B i esquerdes en cantonada de pati sota línia de finestres amb continuïtat per sostres i paviments en un edifici del tipus 1B, Casanova, 178.

<sup>109</sup> Veure rang que adopten les tensions en aquests punts Capítol 7.

### 8.1.3 Danys causats per moviments i/o rigideses diferencials entre parts de l'estructura o entre l'estructura i els tancaments

En aquest apartat es descriuen aquells danys ocasionats per causa dels moviments diferencials entre parts de l'estructura horitzontal i vertical que poden generar danys tant en altres parts de l'estructura com en els tancaments. Els danys es concreten en els següents punts:

- Danys generalitzats en tancaments per independització de moviments amb l'estructura vertical i per flexió de l'estructura horitzontal
- Esquerdes inclinades sota els ampits de finestra dels murs curts dels patis mitgers

Cal esmentar que tots aquells danys causats per moviments que impliquen deformacions de l'estructura horitzontal sobre altres elements tant estructurals com no estructurals, tenen la seva incidència en major o menor mesura depenent del grau de deformabilitat de l'estructura horitzontal, que estarà relacionat directament amb el material emprat per les bigues. Si bé pel que fa a l'estructura vertical aquesta té esquemes estructurals i materials que es reiteren al llarg del període de construcció d'aquest tipus d'edificis, pel que fa a l'estructura horitzontal cal distingir dos materials emprats: la fusta i l'acer. Tal i com s'ha esmentat en capítols anteriors (Paricio Casademunt, 1998), una primera època de bigues i biguetes de fusta (fins 1900-1910) va deixar pas a una segona època on s'utilitzen els perfils laminats d'acer. Aquest fet, si bé no implica diferència important de cara al comportament de l'estructura vertical, sí que té implicacions a nivell de deformacions: els sostres de fusta presenten fletxes més importants.

#### 8.1.3.1 Danys generalitzats en tancaments per independització de moviments amb l'estructura vertical i per flexió de l'estructura horitzontal

Aquests danys es manifesten en envans i paviments i són causats per:

- La flexió dels sostres, generalment es produeix quan aquests són de biguetes de fusta, i que en ser envans i paviments elements més rígids, es fracturen quan el suport es mou independentment (Figura 15 i Figura 16)
- Un comportament diferencial pel que fa a sol·licitacions i rigideses entre elements estructurals i tancaments (Figura 15 esquerra).

Aquest tipus de dany no és específic de l'edifici de l'Eixample, sinó que es tracten d'esquerdes habituals i comunes a tots els edificis construïts a base d'estructures muràries, sostres unidireccionals de fusta i envans ceràmics rígids.



**Figura 131: Esquerdas entre envà i mur de càrrega (esquerra) i esquerda per flexió de biguetes (dreta), Rosselló 210.**



Figura 132: Fissures en envans per flexió de sostre

### 8.1.3.2 Esquerdes inclinades en ampits de finestra dels murs curts dels patis mitgers

Dels deu edificis inspeccionats amb danys estructurals, s'han observat esquerdes inclinades a 45 graus en els ampits de finestra dels murs curts dels patis mitgers en tots aquells que en disposen. Són edificis afectats per altres casuístiques globals d'assentament però el fet que aquestes esquerdes es manifestin en la totalitat de patis mitgers inspeccionats mereix un tractament específic. Els murs curts dels patis mitgers solen ser murs de càrrega d'una llargada reduïda, no més de 2m amb espai únicament per situar una única línia vertical de finestres. Generalment, els patis, i per tant aquests murs, en arribar a planta baixa, poden trobar-se estintolats amb un jou entre dues bigues perpendiculars a mitgera que es recolzen en pilastres de mitgera i de vestíbul, estintolats amb presència de pilars o bé arribar directament fins a nivell de fonamentació. Dels edificis inspeccionats tots presenten la solució de l'estintolament en planta baixa amb dues bigues perpendiculars a mitgera i el corresponent jou que estintola el mur llarg del pati.

Les esquerdes a 45° sota els ampits es poden donar per qualsevol de les dues causes següents o bé per la combinació de les dues:

- Una flexió de la biga que estintola el mur curt del pati agreujada per la càrrega puntual que li transmet el jou que estintola el mur perpendicular llarg del pati mitger. En flexionar la biga el mur rep un esforç tallant que fa que s'esquerdi a 45°.
- Un descens del recolzament de la biga que estintola el mur per assentament de la pilastra de vestíbul (oposada a la de mitgera). Aquest punt està especialment carregat, ja que sobre ell arriben les càrregues de la cantonada del pati central concentrades sobre la pilastra que o bé assenta, o bé es comprimeix, ocasionant un descens de la biga en aquest punt. Aquest descens genera un esforç tallant que trenca a 45° els ampits del mur curt de pati.

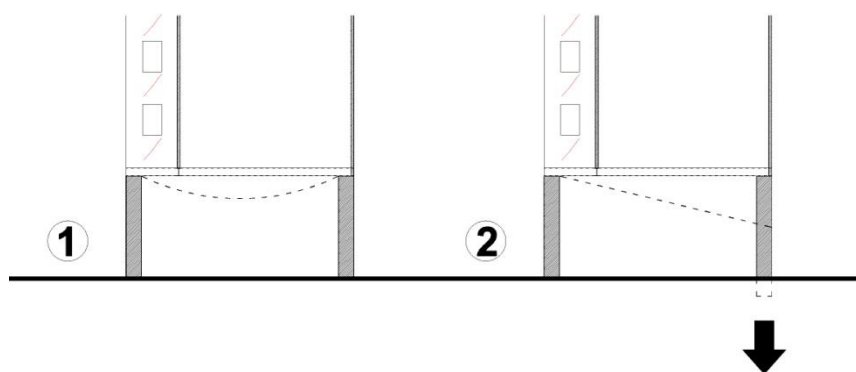


Figura 133: Dues possibles causes de les esquerdes inclinades sota els ampits de finestra del pati lateral

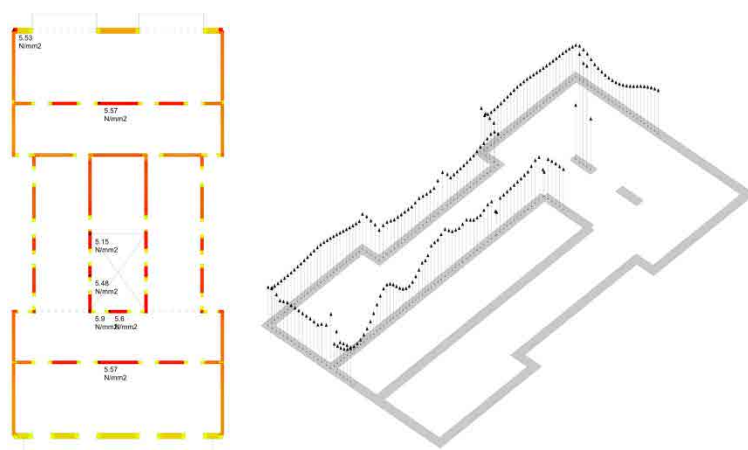


Figura 134: Esquemes de descensos de càrregues i reaccions a terreny que mostren la pilastra de vestíbul sota cantonada de pati com a zona especialment carregada

Cal recalcar, tal i com s'ha esmentat amb anterioritat, que els patis mitgers acumulen gran nombre d'instal·lacions de subministrament i de desguàs de tal manera que en el cas que els patis arribessin a fonamentació l'efecte de l'humitat i de possibles fugues també podria ser causa d'esquerdes d'aquest caire.



Figura 135: Esquerdes inclinades en patis mitgers, d'esquerra a dreta: Casanova 178, Paral·lel 124, Pau Claris 76, Provença 363

## 8.2 Conclusions

### 8.2.1 Conclusions relatives a les causes i la freqüència dels danys

Tal com s'ha mencionat a l'inici del capítol, els danys que s'han pogut observar en els murs dels edificis estudiats es poden agrupar en:

- Danys causats per efectes locals de concentració de càrrega.
- Danys amb un origen en el terreny o en la fonamentació.
- Danys causats per moviments i/o rigideses diferencials entre parts de l'estructura o entre l'estructura i els tancaments.

De les tres causes principals que originen els danys, la més freqüent és l'aparició d'esquerdes en murs que tenen com a causa una descompressió del terreny o de la fonamentació i que generen assentaments en l'estructura ja sigui de forma global o parcial. Les alteracions en el terreny es poden associar a diferències en les característiques deformacionals dels fermes de fonamentació, a diferències en els períodes de consolidació d'aquests o bé a l'alteració del terreny deguda a la presència d'aigües freàtiques o a pèrdues en les instal·lacions així com també a la seva afectació per causa de possibles obres veïnes. A aquest fet cal sumar-li un possible comportament diferencial de la fonamentació ocasionat per les diferències en les càrregues que arriben sobre una fonamentació no específicament dissenyada per assumir càrregues diferencials.

Es constata la pràctica inexistència de danys en els murs per excés de compressió sobre la fàbrica, a no ser que sigui un fenomen específicament local, com als recolzaments de biguetes o en els patis en la zona dels ampits. No s'han observat estats patològics generals causats per sobrecompressió en les zones més sol·licitades de la planta (veure hotspots Capítol 7). En canvi, sí que s'ha pogut comprovar que quan es generen casuístiques de dany associades a assentaments globals, les primeres zones on apareixen fissuracions són aquelles que es troben més carregades, bé perquè es poden generar compressions induïdes associades als assentaments, bé perquè en assentar els murs es descomprimeixen disminuint, així, la seva resistència a compressió.

Destaca la poca freqüència en l'aparició de danys en els murs estructurals sobre la totalitat de la mostra dels edificis que s'han considerat per l'elaboració de l'anàlisi tipològica. Ateses les ja esmentades condicions d'accés, no seria pertinent extreure conclusions quantitatives sobre la incidència dels danys estructurals en els murs d'aquest tipus d'edificis. No obstant, sí que es poden extreure conclusions a nivell qualitatiu pel que fa a les causes i als tipus de danys. En tot cas, la presència de danys en els edificis de la mostra cal tenir-la en compte com una base de mínima partença de la presència de danys en els murs estructurals.

### 8.2.2 Conclusions relatives als danys específics que es corresponen a aquest tipus estructural i constructiu

En referència als danys on el tipus i disseny estructural té una incidència directa tant pel que fa a les causes com pel que fa a la natura del dany, cal destacar:

- Danys causats per tensions excessives (compressió o tracció) on el tipus estructural i constructiu té una influència directa. Aquests es concreten en el trencament de les llindes de l'entrada principal i les llindes dels patis, en les esquerdes per concentració de càrrega en els recolzaments de les biguetes i en les esquerdes presents en els patis que es concentren en la zona dels ampits.
- Danys que tenen un origen en el terreny i on el tipus estructural incideix directament en la manera de manifestar-se el trencament, apareixent esquerdes generalment a tota alçada trencant l'edifici per la zona dels patis.

Els trencaments de les llindes principals són habituals quan aquestes són arcs de maó o carreus i les obertures de plantes superiors corresponen a un esquema parell on es genera una agulla de càrrega just a sobre de l'entrada principal, ocasionant la flexió de l'arc o llinda. En canvi, en el cas del trencament de les llindes de les obertures de patis no és conseqüència directa del disseny, com en el cas anterior, sinó que ho és de la solució constructiva adoptada per l'absència de llinda que pugui absorbir les traccions.

En el cas de les esquerdes ubicades en els patis i a partir de l'anàlisi dels seus murs, es pot concloure que aquestes apareixen quan en els murs de càrrega s'alternen les parts perforades amb les massisses. Els valors obtinguts en el present capítol porten a concloure que, per a les accions normatives, les tensions que es generen al pati estan al límit, tant de resistència a compressió en els brancals (en el sentit vertical) com de resistència a tracció en la zona dels ampits (en el sentit horitzontal). La qualitat de l'obra de fàbrica és la que determinarà, en aquest cas, l'aparició d'esquerdes. El tipus d'esquerdes ocasionades per haver-se superat la resistència a tracció de l'obra de fàbrica, solen elevar-se cap a plantes superiors, ja que els valors de les traccions a les que està sotmès el mur en la zona dels ampits no experimenten una disminució significativa en augmentar l'altura de la planta. El fet que els brancals puguin disposar de majors dosificacions en el morter podria explicar que s'observin menys esquerdes en aquestes ubicacions.

Es constata que en una casuística d'assentament diferencial amb conseqüent aparició d'esquerdes, aquestes tenen tendència a manifestar-se en la part central de la planta de l'edifici que es correspon amb la secció més feble de l'esquema estructural murari. La rigidesa de l'esquema estructural fa que aquestes tinguin una component vertical marcada. Els assentaments diferencials que es produeixen rarament són paral·lels a l'esquema ortogonal dels murs. Tenen una component obliqua, ja que en incidir sobre l'esquema estructural rígid generen torsions generals. En aquest cas, els trencaments



principals es manifesten igualment en la zona central de la planta, que presenta menys inèrcia. Aquestes torsions donen lloc a esquemes fissuratius de difícil interpretació només explicables a partir de torsions globals i possibles compressions induïdes entre els murs.

Una ubicació habitual d'aparició d'esquerdes dins d'aquesta secció menys resistent de l'edifici solen ser les cantonades dels patis prop de les finestres. La causa sol tenir un origen en el terreny, però també hi contribueixen les concentracions de càrrega que s'hi generen com a conseqüència del disseny del tipus estructural. Aquesta ubicació es pot observar com és un dels punts més tensionats de la planta (hotspot 1 – veure Capítol 7).

Una altra ubicació on sovint apareixen esquerdes que són conseqüència del tipus estructural i on es dona un efecte combinat de dues possibles causes és als ampits de les finestres dels murs curts dels patis mitgers. Es tracta d'esquerdes a 45 graus que poden tenir el seu origen bé en el descens d'un dels extrems de la biga que estintola el mur per assentament de la pilastra del vestíbul que és a la vegada un punt especialment carregat de la planta, bé en la deformació per flexió de la jàssera que ocasionaria un esforç tallant en el mur curt del pati.

Cal fer esment que els esquemes reals de trencament d'aquest tipus d'edificis difereixen dels referents clàssics de línia de fractura per:

- Els efectes torsionals globals generats per assentaments d'un àmbit de la planta.
- Una possible component horitzontal en el moviment de les fonamentacions.
- Les diferències de rigideses existents entre les diferents parts de l'edifici.
- Una tendència a aparèixer les fissures en la mínima secció resistent de l'edifici, és a dir, la part més estreta de l'edifici i amb més obertures.
- L'heterogeneïtat de la fàbrica i les solucions constructives adoptades.

Per tant, a la causa general dels danys cal afegir la singularitat de les situacions locals per tal d'explicar d'una forma exhaustiva els processos patològics en els edificis.

### 8.3 Referències

- Badenas i Rico, M. (1993). El Paral·lel: nacimiento, esplendor y declive de la popular y bullanguera avenida barcelonesa. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=210607>
- Benavent, P. (1934). *Com he de construir*. Barcelona :: Obradors Gràfics Favència. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1033702~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1033702~S1*cat)
- Paricio Casademunt, A. (1998). Anàlisi del sistema constructiu a base de murs de càrrega, utilitzats en la formació de l'Eixample de Barcelona. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1155142~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1155142~S1*cat)
- Ventayol i Lázaro, A. (1978). *Mapa geotecnico de Barcelona, Badalona, Esplugues, L'Hospitalet, Sant Adrià, Sta. Coloma*. Barcelona :: los autores. Retrieved from [http://cataleg.upc.edu/record=b1049719~S1\\*cat](http://cataleg.upc.edu/record=b1049719~S1*cat)

## 9 Conclusions de la tesi

---

En resposta als objectius plantejats a la present tesi doctoral, les principals aportacions i conclusions que se'n deriven, es poden agrupar en les següents línies:

- En referència al a la metodologia de mostratge i la definició tipològica d'un parc edificat.
- En referència al coneixement del model estructural de l'edifici de l'Eixample.
- En referència al comportament estructural de l'edifici de l'Eixample.
- En referència a la seguretat normativa de l'edifici de l'Eixample.
- En referència a l'estat patològic de l'edifici de l'Eixample.

## 9.1 Conclusions i aportacions sobre el mostratge i la definició tipològica

*S'aporta una metodologia de mostratge aplicable a l'estudi i la classificació de parcs edificats que presentin regularitats en aspectes morfològics i/o constructius.*

La metodologia de mostratge emprada garanteix una representativitat suficient dels models obtinguts sobre el conjunt del parc edificat estudiat i és extrapolable a altres casos d'estudi on existeixi una regularitat global.

Com a visió diacrònica del període abastat, cal dir que s'observa una major variabilitat en els tipus en dates anteriors a 1891. Les primeres ordenances fixaven un percentatge màxim d'ocupació de parcel·la, fet que ocasionava una major variació de les proporcions de l'edificació. En canvi a partir de 1891 les successives ordenances defineixen una profunditat edificable màxima, fent que el tipus arquitectònic s'anés fixant i regularitzant progressivament.

Es constata que una tipologia necessita d'uns principis generadors, prèviament definits i adequats tant a la realitat de la població com, especialment, a les qüestions que es vulguin respondre. L'èxit i utilitat de d'una tipologia dependrà de la bondat dels principis generadors que es defineixin.

## 9.2 Conclusions i aportacions sobre el coneixement del model estructural

*Es defineixen i parametritzen uns tipus estructurals representatius del conjunt.*

S'aporten 7 models parametritzats que corresponen al tipus estructural de l'edifici de l'eixample que són significatius del conjunt i que poden servir de base per a properes investigacions.

Es pot afirmar que a l'Eixample gairebé en la totalitat dels casos, les façanes a carrer i posterior (90,4% i 84,6% de la mostra, respectivament) són elements portants, i que, també d'una manera majoritària, apareix un segon mur paral·lel a façana a carrer i façana posterior (70,7% i 68,7% dels casos). Es constata que les crugies que donen a les façanes són més llargues que les contigües a aquestes. S'observa que aquests murs abunden les agulles de càrrega adjacents a mitgera que són molt estretes o inexistent, fet que pot provocar un efecte de càrrega puntual en la paret mitgera.

En els edificis en banda són majoritàries configuracions simples en l'estructura de murs de la zona central de la planta (62,5%), el que en la tesi s'ha anomenat cossos centrals de tipus 1. En aquests, les crugies de la zona central de la planta recolzen en la caixa d'escala i en la paret mitgera o mur del pati mitger. En aquest àmbit no existeixen murs perpendiculars a mitgera que facin funció de trava.

Si es tenen en compte les condicions de contorn i unió del cos central amb la resta de la planta s'observa que en els cossos centrals de tipus 1 (1a i 1b), que són els més abundants, és més freqüent la substitució dels murs M3 i M4 per jàsseres situades sobre envans, contribuint a destravar el conjunt.

En referència a les caixes d'escala, es confirma la funció portant d'aquestes que reben l'embigat a les seves parets longitudinals, així com també (en un 56% dels casos) perpendicularment a aquest sobre les parets més curtes de la caixa d'escala. Son més comunes les caixes d'escala que disposen d'un mur intermedi que serveix com a recolzament de l'escala i aporta rigidesa global al conjunt de la caixa d'escala.

Pel que fa als edificis en xamfrà cap tipus destaca en abundància per sobre dels altres, només lleugerament el subtipus V1A, com a successió de murs paral·lels a façana sense trava entre ells.

No existeix en cap edifici de la mostra, ni en xamfrà ni en banda, un mur d'obra de fàbrica de 15 cm o més de gruix que no tingui cap funció de tancament o suport càrrega de les biguetes, és a dir, que tingui una funció estrictament de trava i rigidització del conjunt murari. Aquest fet, sumat a la tendència a substituir sovint certs murs per jàsseres i a l'abundància dels tipus en xamfrà on no es connecten els murs paral·lels a façana,

relativitza la idea que es pot tenir de l'edifici de l'Eixample com una estructura de murs que formen caixes ben travades.

L'existència de pilastres en els murs de planta baixa és àmpliament majoritària a les mitgeres (en un 91% dels casos) i s'observen a la totalitat dels casos estudiats en les caixes d'escala. Quan les parets mitgeres són llises, sense pilastres, és perquè no s'hi ha de recolzar cap jàssera. Aquest fet porta a la reflexió de que probablement, l'aparició de pilastres respon més a una solució constructiva per al recolzament de les jàsseres, que no pas a una solució adoptada per a contrarestar la gran esveltesa d'aquests murs, atesa l'altura de les plantes baixes.

L'aparició de pilars metàl·lics amb fonamentacions aïllades sustentant murs considerablement carregats, sobretot en la zona posterior dels locals de planta baixa, amb fonamentacions aïllades podria donar lloc a situacions d'excés de càrrega sobre el terreny.

### 9.3 Conclusions i aportacions sobre el comportament estructural

*Es localitzen unes zones crítiques de necessària comprovació per a cada un dels tipus i s'estudien en profunditat*

En referència al comportament dels diferents tipus cal fer esment que les diferències més significatives es troben entre els tipus situats en xamfrà i els tipus situats en banda. La variabilitat morfològica dels tipus en banda no implica una variació tensional important entre ells. El mateix es pot dir dels tipus en xamfrà.

No obstant això, l'estudi tipus a tipus proporciona eines d'aplicació a la prediagnosi i l'avantprojecte amb la identificació d'unes zones concretes de cada tipus que es troben generalment altament tensionades, l'estudi de les quals es fa necessari previ a una possible intervenció.

Sobre els valors de les tensions obtingudes de l'anàlisi dels models es pot concloure el següent:

- Per als tipus en banda, a mitja altura del mur de planta principal, és a dir, considerant l'augment de tensió per efecte de l'esveltesa del mur, són habituals els valors de les tensions entre 3 i 5N/mm<sup>2</sup>, arribant fins als 10N/mm<sup>2</sup> en punts concrets. En canvi, per als mateixos tipus quan es comproven les tensions a base de mur, a càrrega centrada, aquestes no arriben a superar els 4N/mm<sup>2</sup> en cap dels models.
- Els tipus en xamfrà assoleixen uns valors tensionals similars als tipus en banda, com a única excepció dels murs paral·lels a façana principal on s'arriba a tensions de 15,6N/mm<sup>2</sup> en el models a mitja altura de mur, i de 5,16N/mm<sup>2</sup> en aquesta mateixa ubicació a base de mur de planta principal.

En referència a la distribució de tensions en planta, les següents zones presenten tensions especialment elevades:

- Murs paral·lels a façanes principal i posterior, i murs sobre els quals recolzen dues crugies. Els valors obtinguts en aquesta ubicació són més elevats en els tipus en xamfrà.
- Zones on existeixen encontres entre murs perpendiculars: cantonades de murs dels patis i encontres de murs paral·lels a façana i façanes amb mur mitger. Són especialment elevats els valors de les tensions obtinguts en les cantonades dels patis centrals i mitgers quan aquests reben jàsseres que es troben estintolant murs paral·lels a façana.

- Agulles de càrrega dels patis centrals i mitgers, elements amb molta existència d'obertures.

Sobre la distribució i valor de les tensions en el contacte de la fonamentació amb el terreny s'observa que:

- Els valors generals poden anar compresos majoritàriament entre els 0,3 i els 0,5 N/mm<sup>2</sup>.
- Es detecten càrregues puntuals elevades en fonamentació. Aquestes s'ubiquen en les fonamentacions aïllades dels pilars que reben els pilars de fosa de la planta baixa, essent més elevades en els tipus en xamfrà. En aquest segon cas, la zona més carregada en fonamentació coincideix amb la zona més tensionada en els murs.
- Es donen distribucions de tensions no uniformes en fonamentació, especialment ocasionades per l'esquema estructural de planta baixa diferenciat de les plantes superiors. Les tensions són més elevades en fonamentació de pilastres adjacents a murs mitgers i de vestíbul i en cantonades de patis.



## 9.4 Conclusions referents als límits de seguretat

*Es relaciona la seguretat estructural dels diferents tipus amb les exigències de la normativa vigent*

En referència a la seguretat estructural de les estructures muràries estudiades enfront a càrregues verticals normatives, cal dir d'una forma general que no es compleixen les exigències normatives actuals i que la situació s'agreuja especialment si es té en compte l'excentricitat de càrrega per esveltesa on no hi ha coeficient de seguretat residual en els punts més carregats.

L'estudi de la seguretat estructural tipus a tipus, i dels seus coeficients de seguretat residuals, proporciona informació sobre l'esgotament tensional de cada tipus de configuració estructural i pot ser, una eina de cara a la diagnosi ràpida i un punt de partida per l'avantprojecte arquitectònic. Les conclusions en aquest àmbit de l'estudi són les següents:

- Es proporciona un mapa de la seguretat residual per cada un dels tipus edificatoris.
- Es localitzen a cada tipus les zones on la seguretat estructural està esgotada o pròxima a esgotar-se. Aquestes són, per als tipus en banda, les zones centrals de la planta, corresponents a la caixa d'escala i patis centrals, els murs paral·lels a façana i determinats encontres de murs perpendiculars. Per als tipus en xamfrà, es concentren en la zona central de la planta i són: la caixa d'escala i patis centrals i els murs paral·lels a façana.
- Si es cerquen aquelles ubicacions que sí que assolirien la seguretat requerida pel marc normatiu actual, és a dir, amb un coeficient de seguretat superior a 3, en el cas d'avaluar el mur a mitja altura de planta principal, únicament ho aconseguirien algunes ubicacions de façana. Si, s'avalua el mur a la base d'aquest tram, s'assoleix la seguretat mínima requerida, d'una forma general, en mitgeres en els trams llunyans a unions a altres murs, façanes i murs longitudinals de patis mitgers.

Considerar l'esveltesa a mitja altura de mur de planta principal té un efecte directe en l'augment de les càrregues, i, per tant, en la disminució de la seguretat romanent. Els coeficients de seguretat en aquesta ubicació són considerablement baixos. És per aquest motiu que aquí es llisten tres possibles factors que podrien fer augmentar la seguretat en aquest tipus d'avaluació:

- Les accions normatives, tot considerant les reduccions de càrrega per simultaneïtat, solen ser superiors a les que es donen en un estat de sol·licitació

habitual, no únicament pel que fa a les accions variables sinó també pels coeficients de seguretat que s'apliquen sobre elles.

- De cara a l'avaluació de la seguretat estructural s'ha considerat la resistència de l'obra de fàbrica obtinguda com una resistència característica a partir de dades d'assaigs, per tant en el 95% dels casos la resistència a compressió de l'obra de fàbrica de maó assoliria un valor superior al que s'ha pres per al càlcul.
- Cal posar en qüestió els models de càlcul per a l'esveltesa dels murs, sobretot pel que fa a les consideracions dels seus vincles amb els altres elements estructurals, els recolzaments de murs no són ni una articulació real ni un encastament perfecte, tampoc ho són ni tenen perquè ser-ho els encontres amb altres elements estructurals com els sostres unidireccionals de biguetes o altres murs. Aquesta incertesa provinent de la realitat construïda fa que sovint, els textos normatius, assumeixin models que podrien semblar excessivament conservadors. A més, cal fer esment que, tot i l'estudi de murs d'obra de fàbrica esvelts és un àmbit sobre el que existeix una investigació activa, actualment, no existeix un model de càlcul que doni una resposta fefaent al comportament i fallada de murs esvelts enfront a càrregues verticals.

No obstant tot això, la incertesa general d'aquest tipus d'estructures fa aconsellable prendre valors conservadors de cara a una avaluació de la seguretat estructural.

## 9.5 Conclusions referents a l'estat patològic

*Es defineixen els danys més habituals en relació amb el comportament estructural i es determinen les possibles causes.*

Els danys observats en els murs dels edificis estudiats es poden agrupar en:

- Danys causats per efectes locals de concentració de càrrega.
- Danys amb un origen en el terreny o en la fonamentació.
- Danys causats per moviments i/o rigideses diferencials entre parts de l'estructura o entre l'estructura i els tancaments.

De les tres causes principals que originen els danys, la més freqüent és l'aparició d'esquerdes en murs que tenen com a causa les tensions generades per assentaments diferencials. Aquests moviments es poden associar a diferències en els períodes de consolidació d'aquest, a l'adequació de la fonamentació a les capacitats mecàniques dels estrats del terreny, o bé a alteracions degudes a pèrdues en les instal·lacions o l'afectació per causa de possibles obres veïnes. A aquest fet cal sumar-li un possible moviment diferencial de la fonamentació ocasionat per les diferències en les càrregues que arriben sobre una fonamentació no específicament dissenyada per assumir càrregues diferencials.

Es constata la no aparició de danys en els murs per excés de compressió sobre la fàbrica, a no ser que sigui un fenomen específicament local, com als recolzaments de biguetes o en els patis en la zona dels ampits. No s'han observat estats patològics generals causats per sobrecompressió. En canvi, sí que s'ha pogut comprovar que quan es generen casuístiques de dany associades a assentaments diferencials, les primeres zones on apareixen fissuracions són aquelles que es troben més carregades, bé perquè es poden generar compressions induïdes associades als assentaments, bé perquè en assentar els murs es descomprimeixen disminuint, així, la seva resistència a compressió.

Destaca la poca freqüència en l'aparició de danys en els murs estructurals sobre la totalitat de la mostra dels edificis que s'han considerat per l'elaboració de l'anàlisi tipològica. Ateses les ja esmentades condicions d'accés, no seria pertinent extreure conclusions quantitatives sobre la incidència dels danys estructurals en els murs d'aquest tipus d'edificis. No obstant, sí que es poden extreure conclusions a nivell qualitatiu pel que fa a les causes i als tipus de danys. En tot cas, la presència de danys en els edificis de la mostra cal tenir-la en compte com una base de mínima partença de la presència de danys en els murs estructurals.

En referència als danys on el tipus i disseny estructural té una incidència directa tant pel que fa a les causes com pel que fa a la natura del dany, cal destacar:

- Danys causats per tensions excessives (compressió o tracció) on el tipus estructural i constructiu té una influència directa. Aquests es concreten en el trencament de les llindes de l'entrada principal i les llindes dels patis, en les esquerdes per concentració de càrrega en els recolzaments de les biguetes i en les esquerdes presents en els patis que es concentren en la zona dels ampits.

Danys que tenen un origen en el terreny i on tipus estructural incideix directament en la manera de manifestar-se el trencament. Es constata que en una casuística d'assentament diferencial amb conseqüent aparició d'esquerdes, aquestes tenen tendència a manifestar-se en la part central de la planta de l'edifici que es correspon amb la secció més feble de l'esquema estructural murari. La rigidesa de l'esquema estructural fa que aquestes tinguin una component vertical marcada. En aquest cas, els trencaments principals es manifesten igualment en la zona central de la planta, que presenta menys inèrcia. Aquestes torsions donen lloc a esquemes fissurats de difícil interpretació només explicables a partir de torsions globals i possibles compressions induïdes entre els murs. Una ubicació habitual per l'aparició d'aquest tipus d'esquerdes sol ser a les cantonades dels patis centrals, prop de les finestres on les possibles tensions generades per un assentament diferencial es poden combinar amb les generades per la casuística de concentració de càrrega fruit del tipus estructural. Una altra ubicació habitual d'aquest tipus d'esquerdes són els ampits de les finestres dels murs curts dels patis mitgers, que poden tenir el seu origen en el descens d'un dels extrems de la biga que estintola el mur per assentament diferencial de la pilastra de planta baixa – punt, també, especialment carregat – combinat amb la deformació per flexió de la jàssera de planta baixa que generaria un esforç tallant en el mur curt del pati.

Cal fer esment que els esquemes reals de trencament d'aquest tipus d'edificis difereixen dels referents clàssics de línia de fractura per:

- Els efectes torsionals globals generats per assentaments d'un àmbit de la planta.
- Una possible component horitzontal en el moviment de les fonamentacions.
- Les diferències de rigideses existents entre les diferents parts de l'edifici.
- Una tendència a aparèixer les fissures en la mínima secció resistent de l'edifici, és a dir, la part més estreta de l'edifici i amb més obertures.
- L'heterogeneïtat de la fàbrica i les solucions constructives adoptades.

A la causa general dels danys cal afegir la singularitat de les situacions locals per tal d'explicar d'una forma exhaustiva els processos patològics en els edificis.

## 9.6 Conclusions Finals

Els edificis històrics de l'Eixample admeten ser agrupats en un ventall de tipus el coneixement dels quals els caracteritza en la seva pràctica totalitat pel que fa al seu comportament estructural.

De l'anàlisi enfront a càrregues verticals normatives aplicades als tipus resultants extrets de l'anàlisi estadística de la realitat construïda i considerant una edificabilitat ja colmatada, es desprèn que l'edificació històrica de l'Eixample no arriba a assolir els nivells mínims de seguretat estructural exigits actualment. En conseqüència, prenent com a referència aquestes premisses inicials, no resulta justificable tècnicament assumir augments de sol·licitació sobre aquests edificis, sense adoptar mesures addicionals seguretat estructural.

Per contra, el comportament real observat, deduïble de la visualització dels danys que presenten els edificis, no s'adiu amb el comportament previsible a partir dels resultats de l'aplicació de models de càlcul basats en les premisses i criteris dels textos normatius. L'observació de l'estat actual dels edificis amb casuístiques de càrrega diverses, diferents de les establertes per la present normativa, podria fer confiar en l'existència d'un relatiu però indeterminat marge de seguretat.

En tot cas, el present estudi fa palesa la conveniència d'una profunda revisió de la normativa aplicable a l'edificació existent, amb una possible reducció dels estàndards fonamentada en el coneixement aprofundit de les condicions específiques de cadascun del diversos tipus d'edificis i de les peculiaritats constructives que els caracteritzen. Per tant, únicament en base a un coneixement exhaustiu de la realitat construïda i del seu comportament real fonamentat en dades experimentals, es podria assumir una reducció dels coeficients de seguretat i una adequació dels models de càlcul habituals en aquest tipus d'edificacions.

## 9.7 Aplicació del coneixement i futures línies de recerca

La tesi proporciona un coneixement més ampli i profund de la tipologia estructural, dels seus tipus, de la seva representativitat, del seu comportament tensional i patològic. Aquest coneixement:

- És d'aplicació directa en el camp de la modelització. Es proposa continuar la simulació dels models incorporant no únicament esforços verticals sino també horitzontals com el vent. Els models aportats podrien complementar i donar més representativitat a les simulacions ja realitzades amb anterioritat sobre el comportament sísmic de l'Eixample. Es proposa, també, incorporar simulacions amb càlculs de segon ordre per poder afinar resultats. Es proposa ampliar l'estudi als elements horitzontals de l'estructura: sostres, elements horitzontals de plantes baixes, etc. així com l'estudi de les fonamentacions.
- Permet aprofitar l'extensa mostra disponible d'edificis històrics de l'Eixample per l'estudi de l'adequació del tipus constructiu a altres aspectes relacionats amb la rehabilitació funcional i energètica.
- Pot facilitar l'elaboració d'eines per a la diagnosi ràpida, el precàlcul i l'avantprojecte. És el punt de partida per poder plantejar una "Guia per a la inspecció tècnica d'edificis de l'Eixample".
- Pot ser extrapolat, donada la seva representativitat, en l'estudi del parc edificat a gran escala, vinculant-lo a sistemes SIG i de BigData.

