



**EPS**

Escola Politècnica

**UdG**

Superior

## Projecte/Treball Fi de Carrera

**Estudi:** Enginyeria Industrial. Pla 1994

**Títol:**

ESTUDI DE NUSOS RÍGIDS PREFABRICATS DE FORMIGÓ

**Document:** RESUM

**Alumne:** Cristina Lloret i Serra

**Director/Tutor:** Lluís Torres

**Departament:** Eng. Mecànica i de la Construcció Industrial

**Àrea:** Enginyeria de la Construcció

**Convocatòria** (mes/any): setembre 2008

## 1 INTRODUCCIÓ

### 1.1 ANTECEDENTS

Una de les principals limitacions de les edificacions industrialitzades resoltes amb prefabricat de formigó, és que els nusos que defineixen les interseccions dels seus elements són articulacions, provocant diferències importants del model estructural d'una obra resolta "in situ" on els nusos poden ser considerats encastaments elàstics. Aquest projecte proposa fer un pas més en aquesta limitació exposada i plantejar sistemes de nusos rígids, resolts amb el propi prefabricat que permetin variar el model de nusos articulats a rígids. Això augmentarà el grau d'hiperestaticitat de l'estructura, redistribuint els esforços en els seus elements, disminuint les deformacions i les longituds de vinclament dels pilars.

La diferència entre un nus rígid i un nus encastat rau en que en el primer cas, els girs que pateixen les barres que conflueixen en el nus són iguals; en el segon cas, les barres que conflueixen en un nus encastat tenen gir nul.

En un nus rígid s'han de mantenir les condicions d'equilibri i per tant en el nus, s'ha de complir que  $\Sigma F=0$  i  $\Sigma M=0$ .

### 1.2 OBJECTE

L'objecte del treball és definir la millora que aporta la utilització de nusos rígids en el càlcul estructural, basada en una disminució de sol·licitacions al llarg del pilar, possibilitat de reducció de secció de pilars, reducció de l'armadura necessària en pilars i jàsseres, i finalment, un estalvi econòmic.

Partirem d'un edifici d'habitatges d'ús residencial PB+3 de planta rectangular de 24·11 m i de 13,5 m d'altura.

Aquesta tipologia d'edifici serà el punt de partida per al plantejament, sobre d'aquesta base, de 3 models estructurals diferents, amb la intenció de satisfer de forma raonada i minuciosa 3 plantejaments estàticament diferents.

- El **MODEL 1** planteja una estructura isostàtica, on els nusos pilar-jàssera són en tots els cassos articulacions. El pilar segueix el model encastat en la base i desplaçable en extrem. Les jàsseres que s'hi recolzen són bi-articulades. Aquest model planteja l'inconvenient que, *d'acord amb l'article 43. Estado límite de Inestabilidad de la Instrucción de Hormigón Estructural EHE*, el factor  $\alpha$  (factor de longitud de vinclament) per al cas de suport en mènula és de  $\alpha=2$  ( $l_0=2\cdot l$ ). Aquest valor d' $\alpha$  resulta extremadament penalitzador, fins al punt que cap dels prefabricadors actuals adopta aquest valor com a bo en els seus càlculs, donat que impossibilitaria la construcció de les habituals estructures prefabricades d'edificis industrialitzats de formigó. Els pilars prefabricats estudiats, tenen diferents punts d'aplicació de càrregues puntuals en la seva altura, de manera que no tota la seva càrrega està aplicada en la coberta, cas del que en resultaria  $\alpha=2$ . És per això que serà útil l'aplicació de la normativa de *ESTRUCTURAS DE ACERO EN EDIFICACIÓN EA-95* que ho contempla, *EN EL PUNT 3.2.4.6 Piezas de sección constante sometidas a cargas puntuales*, permet realitzar el càlcul del factor de vinclament en funció del punt d'aplicació de la càrrega. Vegi's subapartat *3.2.5 JUSTIFICACIÓ I CàLCUL DE FACTOR DE VINCLAMENT  $\alpha$  DEL MODEL 1* on es determina que el factor de vinclament resultant és d'1,35.

La translacionalitat de la present estructura serà qüestionada d'acord amb *l'Eurocodi 2 parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación 4.3.5.3.3. Estructuras intranslacionales*.

La formulació alternativa que planteja la instrucció EHE per al càlcul del factor  $\alpha$ , en el seu article 4.3 dedicat a l'estat límit d'inestabilitat, diferencia si el pilar forma part d'un pòrtic intranslacional o translacional, però en ambdós casos la formulació només és aplicable si els elements que conflueixen al nus ho fan de forma rígida, és a dir, si el nus és rígid.

Com es demostrarà en el present PFC la decisió del factor de vinculament  $\alpha$  a adoptar en el càlcul té una influència clau en els esforços finals que sol·liciten al pilar per al seu dimensionament i per tant, en el càlcul seccional i d'armadura d'aquest.

El present model ha estat calculat amb  $\alpha=1,35$  (veure 3.2.5). D'aquest model se'n presenten les sol·licitacions obtingudes en Estats Límits Últims (E.L.U.) en 3.2.3, càlcul de secció i armat resultant en les condicions descrites prèviament en 3.2.6. S'han escollit 4 tipologies de pilars tipus (lateral, de cantonada, frontal i central).

Per al càlcul de les jàsseres es planteja una única tipologia. La més desfavorable dels forjats de planta pis. Serà una jàssera biarticulada de 5,30 m de longitud total.

Aquest model resultarà ser el més penalitzador per al càlcul de pilars i jàsseres. En el cas dels pilars, degut a l'esmentat factor de vinculament, que serà determinant per al seu dimensionament. En el cas de jàsseres, el fet de plantejar-les birecolzades, aportarà un model isostàtic del que en resultarà un moment positiu isostàtic màxim.

Veure detalls de nusos específics d'aquest model, nus 1 F (nus intermig de pilar-jàsseres forjat) i 1 C (nus de cap de pilar-jàsseres coberta) en el document PLÀNOLS, Plànol M1

- El **MODEL 2** planteja una estructura parcialment hiperestàtica, on els nusos pilar-jàssera són en tots els casos de baixa rigidesa. El pilar segueix el model encastat en la base i desplaçable en extrem. Les jàsseres que s'hi recolzen són semi-encastades.

La translacionalitat de la present estructura serà qüestionada d'acord amb *l'Eurocodi 2 parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación 4.3.5.3.3. Estructuras intranslacionales*.

El present model ha estat calculat amb  $\alpha=1,35$ , donat que els criteris de càlcul pel que fa al factor de vinculament, no difereixen de l'exposat en l'anterior MODEL 1

D'aquest model se'n presenten en els subapartats 3.3.3 i 3.3.6, les sol·licitacions obtingudes en Estats Límits Últims (E.L.U.) i taula resum càlcul de secció i armadura resultant en les condicions descrites prèviament. S'han escollit 4 tipologies de pilars tipus: lateral, de cantonada, frontal i central.

Per al càlcul de les jàsseres, es planteja una única tipologia. La més desfavorable dels forjats de planta pis. Serà una jàssera semi-encastada en els extrems, de 5,30 m de longitud total.

Aquest model de nusos de baixa rigidesa, aportarà certa disminució de sol·licitacions en pilars i jàsseres, però poc significativa. De manera que les seccions de pilars i jàsseres es mantindran i únicament es donarà una petita disminució de la quantia d'acer.

Veure detalls de nusos específics d'aquest model nus 2 FII (nus intermig de pilar-jàsseres forjat) i 2 CII (nus de cap de pilar-jàsseres coberta) en el document PLÀNOLS, Plànol M2 i M2D.

- El **MODEL 3** planteja una estructura totalment hiperestàtica, on els nusos pilar-jàssera són en tots els casos de rigidesa elevada. El pilar segueix el model encastat en la base i desplaçable en extrem. Les jàsseres que s'hi recolzen són altament rígides.

La translacionalitat de la present estructura serà qüestionada d'acord amb *l'Eurocodi 2 parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación 4.3.5.3.3. Estructuras intraslacionales*.

El present model ha estat calculat inicialment amb  $\alpha=1,35$ , seguint els mateixos criteris del MODEL 1 i 2. Però les millores del present model que resol nusos elevadament rígids, prenen valor quan es qüestiona el criteri de càlcul del factor de vinculament. De manera que la solució optimitzada del model 3 passa per introduir una rigidesa elevada en els nusos, modelitzar els pilars prefabricats per trams i calcular el factor  $\alpha$  amb la formulació  $\alpha = \sqrt{[(7,5+4 \cdot (\Psi_A + \Psi_B) + 1,6 \cdot \Psi_A \cdot \Psi_B) / (7,5 + (\Psi_A + \Psi_B))]}$ , que es presenta en *l'article 43. Estado Límite de Inestabilidad de l'EHE, per a pòrtics translacionals de nusos rígids*.

D'aquest model se'n presenten en els subapartats 3.4.3 i 3.4.6 les sol·licitacions obtingudes en Estats Límits Últims (E.L.U.) i taula resum del càlcul de secció i armadura resultant en les condicions descrites prèviament. S'han escollit 4 tipologies de pilars tipus: lateral, de cantonada, frontal i central.

Per al càlcul de les jàsseres, es planteja una única tipologia. La més desfavorable dels forjats de planta pis. Serà una jàssera amb un elevat nivell d'encastament en els extrems, de 5,30 m de longitud total.

Aquest model de nusos rígids resultarà ser l'òptim per a la tipologia de pilars i jàsseres prefabricades de formigó. L'elevat grau d'encastament dels extrems de les jàsseres en el nus del pilar, permetrà modelitzar la longitud total del pilar per trams, i calcular el factor  $\alpha$  seguint els nous criteris exposats. D'aquesta aplicació en resulten  $\alpha=1,05-1,21$  en la direcció del pòrtic i de 2 en la direcció perpendicular al pòrtic, referits però a la longitud de pilar que es dona entre forjats i no pas a la longitud total del pilar. Tot això fa que aquest nou model estructural representi una clara optimització de seccions de pilars i quantia d'armadura de pilars i jàsseres.

Veure detalls de nusos específics d'aquest model, nus 3 FI (nus intermig de pilar-jàsseres forjat) i 3 CI (nus de cap de pilar-jàsseres coberta) en el document PLÀNOLS, Plànol M3 i M3D.

### 1.3 ESPECIFICACIONS I ABAST

El present projecte centra la seva aplicació en el món dels edificis industrialitzats de formigó.

Partirem d'un edifici d'habitatges d'ús residencial PB+3 de planta rectangular de 24·11 m i de 13,5 m d'altura. D'aquest model en resulten pilars de 13 m d'altura, jàsseres de 5,10 m de longitud de càlcul i plaques alveolars

de 5 i 7 metres de longitud. Vegi's l'estructura que es presenta en la Figura 1. Els pilars i les jàsseres són de formigó armat HA-45. Les plaques alveolars són de formigó pretensat HP-45.

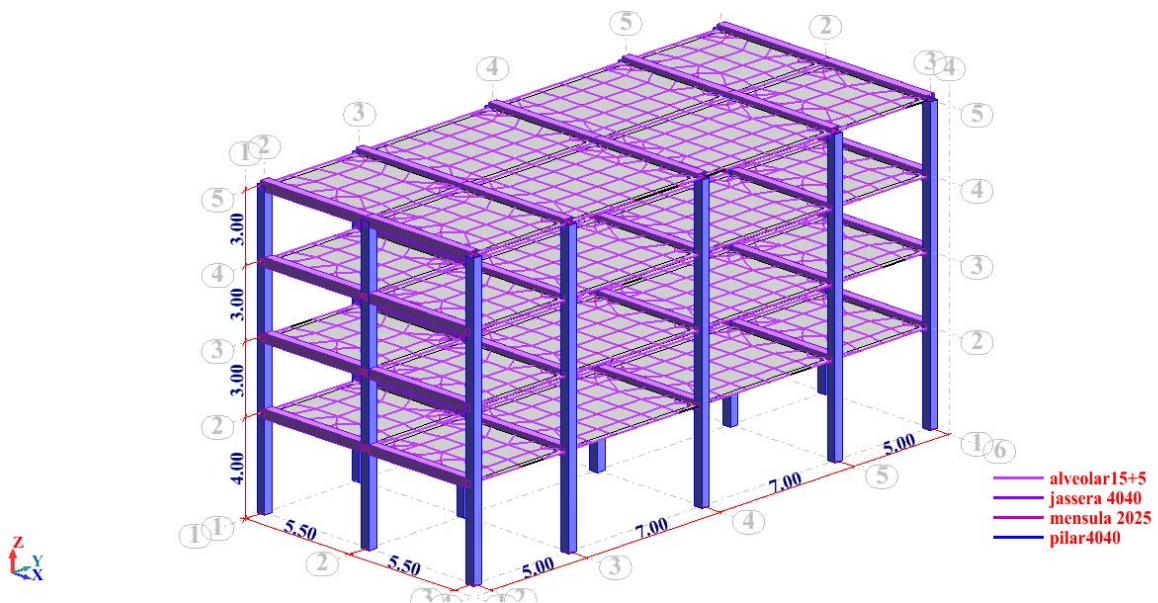


Figura 1- Modelització estructural de la que parteix el present projecte

S'adopta un model d'edifici d'habitatges, perquè les longituds de jàsseres i plaques de forjats i accions a considerar són molt adequades per al plantejament estructural que es proposa en el present PFC. El desglossat d'accions considerades segons el *Código Técnico de la Edificación CTE*, que es presenten en els apartats 2.1 DESCRIPCIÓ GENERAL D'ACCIONS A CONSIDERAR i 2.2 ACCIONS ESPECÍFIQUES CONSIDERADES EN L'EDIFICI D'HABITATGES..

## 2 CONCLUSIONS

El present Projecte recull els estudis previs realitzats de diferents tipus de nusos prefabricats, del que en resulta un rang de rigideses en funció de la solució de nus adoptada, i que conclourà en un futur, en uns assajos en el laboratori, que validaran els resultats obtinguts teòricament. I servirà de punt de partida per a prendre la decisió sobre on encaminar els projectes d'edificis industrialitzats perquè la seva estructura sigui l'òptima i per tant en resultin edificis segurs, econòmics i sostenibles.

Els presents estudis preliminars queden oberts als assajos posteriors que es realitzaran, perquè s'han realitzat una sèrie d'hipòtesis en el plantejament per elements finits, en el que s'ha buscat certa simplicitat, situant-nos en la simplificació en el costat de la seguretat.

Per tant el següent pas, seria realitzar uns assajos experimentals per a comprovar si aquestes hipòtesis preliminars es compleixen a la pràctica. Seria senzill instrumentar l'assaig de manera que es busqués quina és la força  $F$  que genera l'armadura passant del nus per a validar fins a quin punt coincideix o és similar amb la

força  $F$  obtinguda en l'anàlisi teòric per elements finits. Lectura de la fletxa de la jàssera de l'assaig, comparable amb l'estudiada teòricament.

D'acord amb el que s'exposa detalladament en la Introducció de la present memòria, el projecte parteix d'una mateixa estructura prefabricada de formigó armat de planta rectangular composta per PB+3. L'anàlisi estructural es realitzarà de forma paral·lela i comparativa amb 3 models, la diferència dels quals rau en la rigidesa dels seus nusos. El model 1 planteja una estructura totalment isostàtica; el model 2 una estructura de baixa rigidesa, rigidesa aconseguida amb 2 pernys de connexió entre la base de la jàssera i la mènsula del pilar. El model 3 resol una estructura d'elevada rigidesa, que connecta l'extrem superior de la jàssera amb 4 barres que passen a través de la secció del pilar i que donen continuïtat a la jàssera.

L'eina essencial que ha fet possible estudiar localment els nusos, ha estat l'anàlisi per elements finits. En el subapartat 3.3.2 ANÀLISI DE RIGIDESA DEL MODEL 2 es mostren els principis i la metodologia emprada, referida al model 2. Anàlogament el subapartat 3.4.2 ANÀLISI DE RIGIDESA DEL MODEL 3, ho aplica al model 3. L'anàlisi ha estat realitzat amb el mòdul d'elements finits del programa Robot Millennium, versió 21.0.

El present Projecte cerca demostrar amb els seus resultats, que els edificis prefabricats de formigó, per a poder construir-se de forma optimitzada, han de plantejar solucions de nusos rígids. En el subapartat 3.4.6 ANÀLISI DE RESULTATS DEL DIMENSIONAMENT DE PILARS I JÀSSERES DEL MODEL 3, resumeix el dimensionament de pilars i jàsseres adjunt en l'ANNEX C. CÀLCUL ESTRUCTURAL MODEL 3; i s'hi mostren resultats rellevants. El present model 3 representa uns estalvis referits al model 1, de l'ordre del 30% pel que fa a  $m^3$  de formigó i del 75% pel que fa a quantia d'acer, en referència als pilars. Pel que fa a les jàsseres la seva reducció de quantia d'acer és del 25%. El present MODEL 3 presenta de forma paral·lela, una clara millora pel que fa al comportament de l'edifici enfront al sisme, aspecte no considerat en aquest projecte amb la finalitat de centrar els resultats de la comparativa realitzada.

Les millores del MODEL 2 respecte de l'1, són francament discretes. Veure subapartat 3.3.6 ANÀLISI DE RESULTATS DEL DIMENSIONAMENT DE PILARS I JÀSSERES DEL MODEL 2.

La buscada reducció en el consum de matèries primeres, va més enllà d'un mer estalvi econòmic. És essencial per a fer viable la construcció prefabricada en un futur no massa llunyà. L'escassetat de ciment, acer i altres matèries primeres, es fa ara més palesa que mai. L'import del barril de petroli i la seva escasset també n'és un factor determinant.

L'apartat 5 del present document presenta un RESUM DE L'ANÀLISI DE VIABILITAT ECONÒMICA comparatiu dels 3 models estructurals estudiats. Els % indicats són percentatges d'estalvi respecte de la mateixa suma parcial del model 1 isostàtic. Destacar el valor obtingut del 42% d'estalvi econòmic, de l'import material de pilars+jàsseres del model 3 respecte del model 1. Vegi's documentació addicional en ANNEX F. ANÀLISI DE VIABILITAT ECONÒMICA

El DOCUMENT PLÀNOLS grafia la solució dels nusos estudiats en cada model, aïllats de l'entorn i integrats en l'estructura per a facilitar-ne la seva comprensió, com a solució local i global.