

**UNIVERSITAT  
JAUME I**

# “Estudio comparativo de forjados de hormigón armado”

---

Trabajo Fin de Grado

*Grado en Arquitectura Técnica*

**Alumno:**

Ismael López Escriche

**Tutor:**

Emmanuela Moliner Cabedo

*Castellón, noviembre 2016*

## ÍNDICE

<b>1. Objetivo</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Fundamentación teórica</b> .....	<b>4</b>
2.1. Definición.....	4
2.2. Funciones.....	4
2.3. Cargas a soportar .....	4
2.4. Clasificación de los forjados.....	5
2.5. Forjados unidireccionales .....	10
2.6. Forjados bidireccionales .....	16
<b>3. Estudio paramétrico</b> .....	<b>30</b>
3.1. Introducción.....	30
3.2. Tipologías de forjados estudiados .....	33
3.3. Estimación de cargas .....	39
3.4. Parámetros a evaluar .....	40
3.5. Resultados del estudio paramétrico .....	42
3.5.1. Comparación de resistencia y rigidez estructural .....	42
3.5.2. Comparación de canto y peso.....	49
3.5.3. Comparación referente a coste .....	53
3.5.4. Comparación de los tiempos de ejecución.....	63
3.5.5. Comparación de las propiedades térmicas y acústicas .....	66
3.6. Conclusión del estudio paramétrico.....	68
<b>4. Aplicación en un caso real</b> .....	<b>69</b>
4.1. Introducción.....	69
4.2. Cargas aplicadas.....	71
4.3. Aplicación y verificación de resultados del estudio paramétrico.....	72
4.3.1. Aplicación y verificación de resultados de rigidez y resistencia estructural.....	72
4.3.2. Aplicación y verificación de resultados referente a coste .....	76
4.4. Sostenibilidad y análisis del ciclo de vida.....	81
4.4.1. Sostenibilidad y construcción sostenible .....	81
4.4.2. Análisis del ciclo de vida del edificio .....	84
4.4.3. Indicadores de impacto ambiental contemplados.....	85

4.4.4. Resultados y evaluación del análisis del ciclo de vida .....	85
4.5. Análisis de la generación de residuos.....	91
4.5.1. Identificación y cuantificación de los residuos generados.....	91
<b>5. Conclusiones .....</b>	<b>98</b>
<b>6. Bibliografía .....</b>	<b>100</b>
<b>7. Anexos.....</b>	<b>101</b>
Anexo 1. Planos	
1. Edificio modelado con forjado uni.de viguetas pretensadas	
2. Edificio modelado con forjado uni.de semiviguetas armadas	
3. Edificio modelado con forjado uni."in situ"	
4. Edificio modelado con forjado reticular con casetón de EPS	
5. Edificio modelado con forjado reticular con casetón de hormigón	
6. Detalles constructivos genéricos de cimentación	
Anexo 2. Presupuesto del edificio calculado con forjado unidireccional de viguetas pretensadas	
Anexo 3. Hojas de resultados del estudio paramétrico	

## **1. OBJETIVO**

El objetivo principal de este trabajo de fin de grado, es llevar a cabo un estudio comparativo entre varios de los diferentes tipos de forjados de hormigón armado más utilizados en la edificación residencial.

Existe un gran abanico de tipologías de forjados en el mercado, pero es de gran importancia una buena elección entre ellos, al ser un elemento de importante peso durante el proceso edificatorio.

Para ello se deben de tener en cuenta a groso modo aspectos como la rigidez y resistencia, debido a la función resistente que cumple el propio forjado, el peso del mismo, el peso de las cargas que recaen sobre él, el coste y su rentabilidad, la rapidez y dificultad de ejecución, así como los medios necesarios, tanto humanos como materiales intervinientes durante el proceso.

Así pues, con este estudio trataremos de identificar, analizar y evaluar los aspectos mencionados de cada uno de los forjados para poder llegar a una conclusión y determinar cuál puede ser el forjado óptimo a utilizar dependiendo de las luces con las que nos encontremos, el uso al que va a ser destinado, las cargas que va a soportar, o simplemente el presupuesto con el que contamos entre otros factores.

En primer lugar, formularemos una breve síntesis sobre el concepto general de forjado, sus principales funciones, características y tipologías existentes, entre ellas, aquellas que serán objeto posteriormente de nuestro estudio.

En él, una primera parte consiste en un análisis previo, partiendo de una estructura simple de dos crujeas, con la que realizaremos un "barrido" de luces entre ellas entre 3 y 10 metros como máximo con rangos de 0,5m, para evaluar inicialmente aspectos nombrados anteriormente.

A continuación, una vez extraídos esos primeros resultados, modelaremos la estructura de un edificio residencial real y compararemos los resultados, observando si los resultados del análisis previo se extrapolan a un caso real.

Además, estudiaremos y profundizaremos otras particularidades como el impacto medioambiental que supone la ejecución de los forjados objeto de estudio, o los residuos generados por éstos.

Para ello, contaremos con la ayuda del programa informático *CYPE Ingenieros*, con el que efectuaremos el modelado, comprobaciones y operaciones pertinentes para la extracción de los datos que nos interesan.

## 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1. Definición

Se entiende como forjado, al elemento estructural, generalmente horizontal, que recibe directamente las cargas y sobrecargas, y las transmite a los restantes elementos de la estructura, que finalmente serán los encargados de reconducirlas al terreno.

### 2.2. Funciones

- Recibir las cargas y transmitirlas a las vigas y/o soportes y por éstos a la cimentación y al terreno.
- Dar rigidez transversal a las vigas.
- Cuando se asocia monolíticamente a las vigas, incrementar la capacidad resistente a flexión y torsión de éstas.
- Solidarizar horizontalmente los entramados a nivel de cada planta.
- Los forjados pueden funcionar como grandes vigas frente a acciones horizontales de viento, sismo, etc...haciendo que todos los entramados y pantallas colaboren en resistir este tipo de acciones.
- Estabilizar y rigidizar los elementos estructurales verticales frente a las deformaciones por pandeo.
- Servir de apoyo al pavimento, alojar las conducciones horizontales y definir el techo o soportar el cielorraso.
- Aislar térmica, acústica, higrotérmicamente y frente al fuego las plantas de la estructura.
- Servir de separación entre plantas consecutivas.

### 2.3. Cargas a soportar

Las cargas que recaen sobre el forjado y a su vez transmite a otros elementos como jácenas, pilares, ...etc., se dividen en dos grupos:

#### A) Cargas muertas:

- Peso propio de los elementos que conforman en forjado.
- Capas anexas al forjado (pavimento, enlucidos...)
- Tabiquería

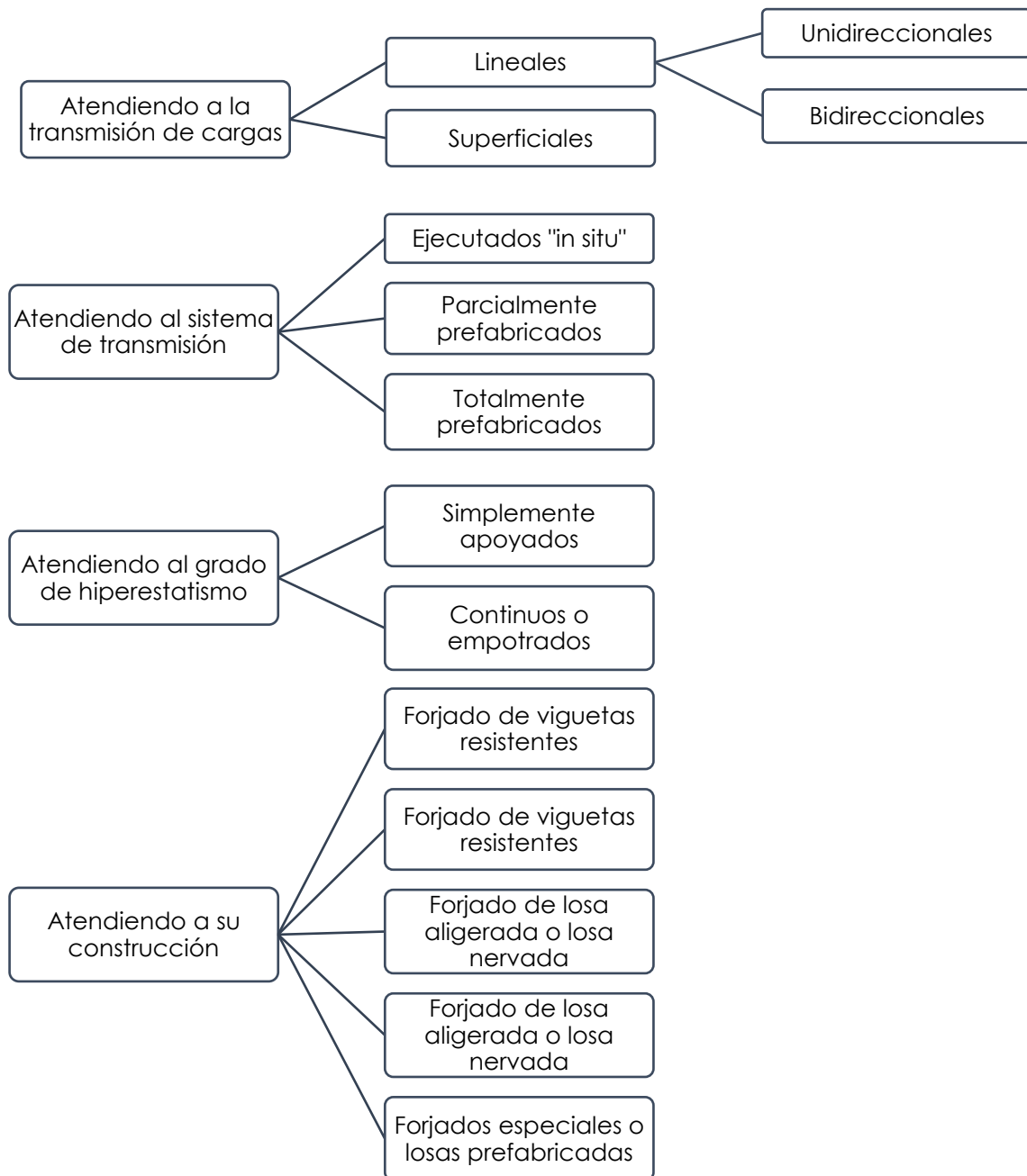
- Cerramientos

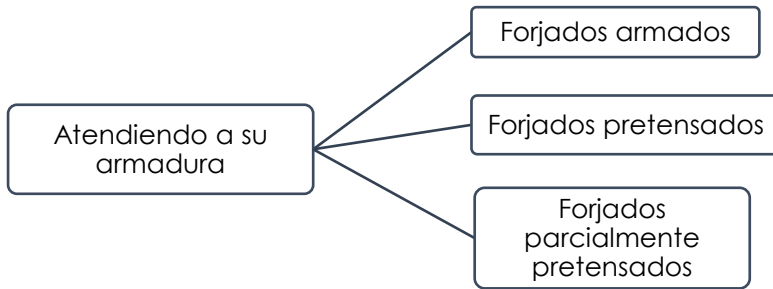
B) Sobrecargas de uso o de servicio:

Dependiendo del uso al que vaya a ser destinado.

## 2.4. Clasificación de los forjados

De manera esquemática, podemos establecer una clasificación de los diferentes forjados de la siguiente manera:





### A) Atendiendo a la transmisión de cargas:

#### \* Lineales:

- **Unidireccionales:** flectan/deforman básicamente en una única dirección, transmitiendo las cargas a las respectivas vigas, y éstas a los soportes para posteriormente descansar en el terreno.

Habría que precisar, que cuando nos encontramos, como suele ocurrir con forjados ejecutados con vigas planas, dicha deformación no es única ni en un solo sentido, ya que al disminuir considerablemente el espesor de la viga para igualar el canto de la viga con el forjado, dichas vigas son susceptibles de potenciar apreciablemente deformaciones en su plano vertical, y por consiguiente arrastrar a las viguetas en su enlace, actuando tales deformaciones perpendiculares a sus direcciones.

Una variante al forjado unidireccional desde sus inicios es el de losas macizas apoyadas en muros, según el sistema de “encofrados túnel” o alguno de sus derivados.

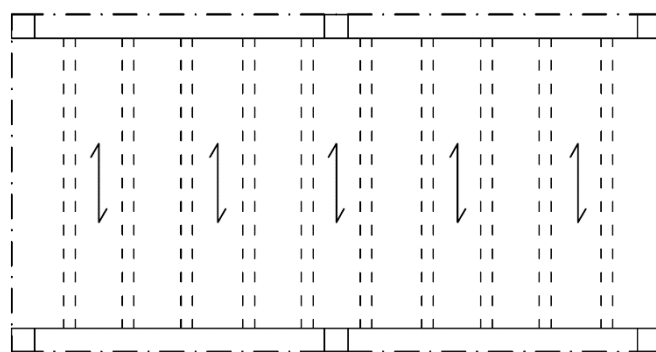


Ilustración 2.1: Esquema del forjado unidireccional

- **Bidireccionales:** flectan/deforman en dos direcciones, transmitiendo las cargas bien a las vigas en las dos direcciones, perpendiculares entre si (el caso de placas sobre vigas dispuestas en dos direcciones) o bien directamente sobre los soportes mediante ábacos aislados y macizados en la parte superior de los soportes.

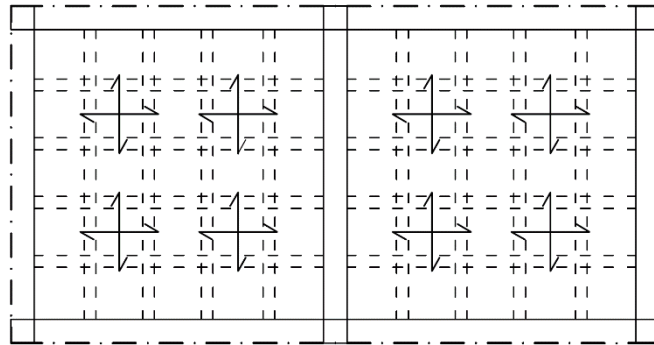


Ilustración 2.2: Esquema del forjado bidireccional

\* **Superficiales:** este tipo de forjados se caracterizan por dar continuidad al hormigón en todo su espesor, por lo que carecen de piezas aligeradas, ya bien sean bovedillas, casetones.... Su resistencia se confía además al hormigón, a la cuantía y distribución de su armado.

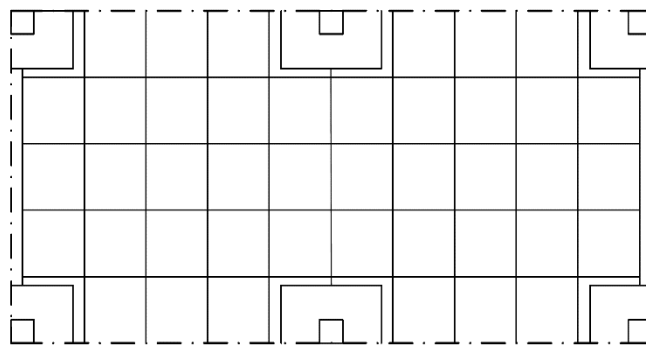


Ilustración 2.3: Esquema del forjado superficial



## **B) Atendiendo al sistema de ejecución:**

### **- Construidos "in situ":**

Forjados hormigonados totalmente "in situ", es decir, sin elementos resistentes prefabricados, con todos sus elementos colocados y ejecutados en obra.

### **- Parcialmente prefabricados:**

Aquellos en los que se utilizan elementos y piezas fabricadas (viguetas, bovedillas, prelosas, piezas prefabricadas...etc.) en una central externa a la obra, aunque se realicen operaciones o laboren en la propia obra, tales como la preparación y colocación del acero, vertido del hormigón...

### **- Totalmente prefabricados:**

Aquellos que en la obra necesitan únicamente labores de montaje o pequeñas operaciones como el relleno de juntas entre las diferentes piezas traídas de taller.

## **C) Atendiendo al grado de hiperestatismo:**

- **Forjados simplemente apoyados.** Tal y como su propio nombre indica, el encuentro de sus elementos se resuelve apoyado. Su empleo queda reducido casi exclusivamente a cubiertas, forjados aislantes...etc, donde las operaciones de apuntalamiento dificulten la construcción de otro tipo de forjado.

- **Forjados continuos o empotrados.** Aquel en el que los extremos de sus elementos son empotrados. Su empleo es más generalizado, ya que cumplen realmente las funciones nombradas anteriormente.

## **D) Atendiendo a su constitución:**

- Forjados de viguetas resistentes
- Forjados de semiviguetas resistentes
- Forjados de losa aligerada o losa nervada
- Forjados de losa maciza
- Forjados especiales o losas prefabricadas

### **E) Atendiendo a su armadura:**

- Forjados armados, ejecutados únicamente con armaduras pasivas, es decir, aquellas que no están sometidas a ninguna tensión hasta que la vigueta comienza a recibir cargas durante su construcción.

- Forjados pretensados. Casi en su totalidad se realizan con armaduras pretensadas en fábrica.

En el caso de los forjados de semiviguetas pretensadas, los momentos negativos son absorbidos con armaduras pasivas, por lo que estamos ante un caso de sección compuesta, con armaduras activas pretensas para resistir los momentos positivos y armaduras activas y pasivas para resistir los momentos negativos.

- Forjados con pretensado parcial. Es decir, aquellos en los que la armadura está constituida simultáneamente por armaduras activas y pasivas.

Cabe destacar, que en los tres casos es necesario colocar la correspondiente armadura en aquellos puntos en los que existan momentos negativos, debidamente colocada y anclada.

### **F) Tendencias en el uso de los distintos tipos de forjados**

En rasgos generales, puede señalarse que los tipos de forjados de viguetas resistentes o de semiviguetas son los adecuados a zonas poco o medianamente desarrolladas. En estas zonas, la relación de precios de mano de obra a precios de materiales es baja y las soluciones de este tipo, por su ahorro de material, aunque sea a costa de un elevado coste de mano de obra, resultan interesantes.

En zonas medianamente desarrolladas, la solución de prelosas, o de las piezas prefabricadas, con el mallazo y la capa de hormigón efectuado "in situ", si no es necesaria una cara inferior plana, son las adecuadas.

En zonas fuertemente desarrolladas, las soluciones interesantes son las de losa maciza (especialmente si se utilizan mallas electrosoldadas, hormigón bombeado y encofrados modulares) y las losas totalmente prefabricadas (donde sólo se requieren de labores de relleno de juntas de acabado). Debe señalarse que el crecimiento mundial de las losas prefabricadas es debido, básicamente, a los grandes desarrollos ocurridos en la maquinaria de fabricación.

Hemos de puntualizar, que las anteriores directrices son meramente orientativas, pues bien es cierto que cada obra es un caso, y depende de la situación de la misma, del tiempo necesario para su ejecución, el presupuesto, las condiciones del solar...etc.

## **2.5. Forjados unidireccionales**

### **A) Elementos que lo componen:**

Como norma general, un forjado unidireccional está constituido por los siguientes elementos:

- Viguetas de construcción "in situ" o prefabricadas de hormigón, armadas o pretensadas mediante armaduras ancladas por adherencia.
- Piezas de entrevigado o bovedillas, con función de aligeramiento y, en ciertos casos, además con función resistente.
- Armadura colocada en obra, longitudinal, transversal y de reparto.
- Hormigón vertido "in situ".
- Vigas.

### **B) Definición de sus elementos.**

#### **- Viguetas.**

Se entiende por vigueta, al elemento lineal, con función resistente fabricada con hormigón y armaduras colocadas en obra. Dicha denominación no presupone la forma, pudiendo ser las viguetas en forma de simpe o doble "T", o en forma de losas aligeradas o en "TT"

Las viguetas armadas pueden prefabricarse a pie de obra, mientras que las pretensadas deben serlo en instalación industrial fija y trasladadas posteriormente a taller.

En ocasiones puede disponerse más de una vigueta por nervio. El empleo de varias viguetas en un mismo nervio depende de la luz, de las cargas a soportar, o bien para obtener cantos reducidos.

Pueden realizarse forjados que no necesiten piezas de entrevigado para conseguir una cara inferior plana.

Las armaduras de las viguetas cumplirán las condiciones especificadas en la Normativa que las regule, así como con lo indicado en la ficha de características técnicas de cada elemento.

El control del recubrimiento mínimo con el que debe contar la armadura es particularmente importante cuando el hormigón no queda visible.

\* *Tipologías de viguetas más comunes:*

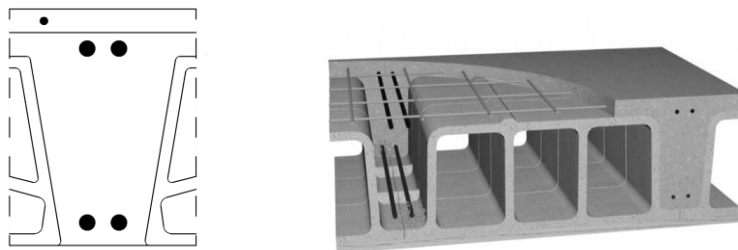
Vigueta armada semiresistente



Vigueta pretensada



Vigueta ejecutada "in situ"



**- Piezas de entrevigado o bovedillas.**

Las piezas de entrevigado pueden ser simplemente aligerantes o desempeñar además un papel resistente, pudiendo ser fabricadas de cerámica, hormigón, arcillas expandidas, escayola y armadura de fibra, espumas poliméricas u otro material suficientemente rígido que no produzca daños al hormigón o especialmente al acero de las armaduras.

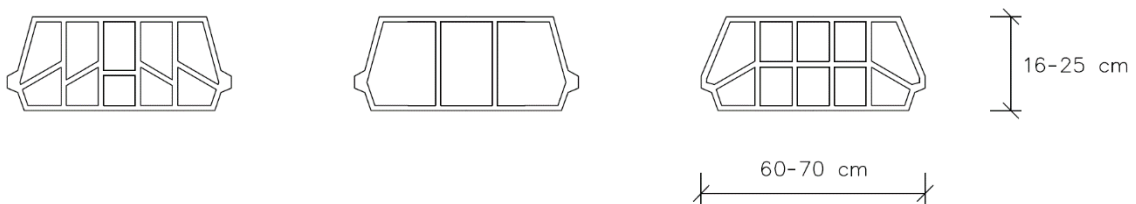
Toda pieza que vaya a colaborar con la resistencia de la sección, deberá poseer al menos una resistencia a compresión igual a la del hormigón utilizado en el resto de la estructura.

Generalmente la misión de las piezas de entrevigado es salvar la luz transversal que existe entre las viguetas, produciendo un acodamiento transversal de éstas con objeto de evitar que trabajen y se deformen independientemente entre ellas. Para ello, es conveniente la utilización de viguetas prefabricadas, especialmente diseñadas para su apoyo en las alas inferiores de las viguetas y con el abovedado superior que define los senos, que una vez rellenos de hormigón son los que producen el efecto de acodamiento transversal.

Los dos tipos de bovedillas más utilizadas son las fabricadas con mortero de cemento y las realizada de cerámica. Aunque también se fabrican de poliestireno y otros materiales, su uso es menos frecuente.

Las bovedillas más comerciales cubren luces entre ejes de entrevigado de 60 a 70 cm, con una altura variable entre 16 y 25 cm, y cuya longitud oscila alrededor de los 20 cm para las bovedillas de hormigón o cerámicas y hasta 1 o 1,5 m para bovedillas de poliestireno.

*\* Tipologías de entrevigado más comunes:*

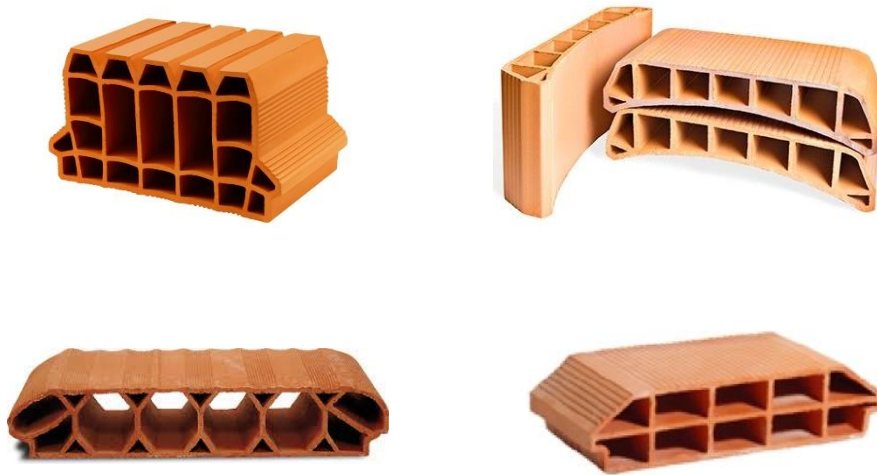


Bovedillas de hormigón





Bovedillas cerámicas



Bovedillas de poliestireno



### - Armadura.

La armadura mínima tanto longitudinal como transversal a utilizar en forjados de hormigón armado, bien sean prefabricados como completamente contruidos "in situ" deberá cumplir lo especificado en la *Instrucción Española del Hormigón Estructural (EHE 08)*.

En caso de utilizar viguetas prefabricadas, éstas ya llevan incorporadas en sí mismas la armadura longitudinal correspondiente, excepto los refuerzos de momentos negativos en empotramientos y partes en voladizo, que serán incorporados en cada punto durante la ejecución.

En la parte superior del forjado será necesaria la colocación de armadura de reparto o "mallazo", sujeta entre sí con acero en ambas direcciones, a intervalos de manera aproximada no superiores a 30 cm en la dirección perpendicular a los nervios, ni a 50 cm en la dirección paralela a éstos.

Este mallazo, bien puede estar prefabricado en taller o colocar las barras de acero "in situ" formando la cuadrícula deseada en cada caso.

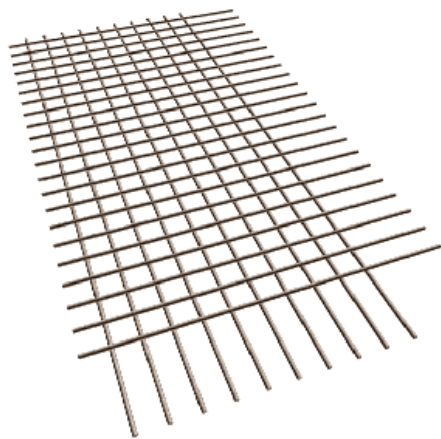


Ilustración 2.4: Armadura de reparto o mallazo



Ilustración 2.5: Armadura de reparto durante su colocación

La armadura de reparto tiene como funciones:

- Distribución transversal de las cargas locales, evitando fisuraciones del revestimiento de la cara inferior del forjado, controlando dichas fisuraciones por flechas diferenciales.
- Repartir las fisuras generadas por retracción propia del hormigón durante su curado y las producidas por los cambios de temperatura.
- Evitar perforaciones por impactos y fuertes golpes.

- Asegurar la conexión entre el forjado y el resto de los elementos de la estructura frente a acciones imprevistas.
- Aumentar la sección de la armadura para absorber momentos negativos.

**- Hormigón.**

El hormigón a utilizar en forjados debe ser el indicado en proyecto, que de igual manera que las armaduras, deberá cumplir con lo especificado en la *Instrucción Española del Hormigón Estructural (EHE 08)*, con las características y consideraciones adecuadas, debiendo hacerse una correcta puesta en obra, con su vibrado y curado correspondiente, evitando así posibles problemas derivados de una mala colocación, curado o cualquier otro tratamiento del hormigón durante su puesta en obra.

Durante el hormigonado "in situ", las viguetas deben soportar por sí solas el peso propio del forjado y la sobrecarga de ejecución, si bien es cierto que dependiendo de la tipología del forjado, es necesaria la utilización de encofrados u otras metodologías para sostener la estructura durante su ejecución.

<b>CUADRO DE CARACTERÍSTICAS SEGÚN LA INSTRUCCIÓN DEL HORMIGÓN EHE</b>					
<b>HORMIGÓN</b>					
<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL</b>	<b>Tipo de hormigón</b>	<b>Nivel de control</b>	<b>Coefficiente parcial de seguridad (<math>\gamma_c</math>)</b>	<b>Resistencia de cálculo (<math>N/mm^2</math>)</b>	<b>Recubrimiento mínimo (mm)</b>
Cimentación	HA-25/P/40/IIa	ESTADÍSTICO	1,50	16,6	45
Estructura	HA-25/P/40/IIa	ESTADÍSTICO	1,50	16,6	45
<b>ACERO</b>					
<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL</b>	<b>Tipo de acero</b>	<b>Nivel de control</b>	<b>Coefficiente parcial de seguridad (<math>\gamma_s</math>)</b>	<b>Resistencia de cálculo (<math>N/mm^2</math>)</b>	El acero a utilizar en las armaduras debe estar garantizado por la marca AENOR
Cimentación	B 500 S	NORMAL	1,15	348	
Muros	B 500 S	NORMAL	1,15	348	
Pilares	B 500 S	NORMAL	1,15	348	
Vigas y forjados	B 500 S	NORMAL	1,15	348	
<b>EJECUCIÓN</b>					
<b>TIPO DE ACCIÓN</b>	<b>Nivel de control</b>	<b>Coefficientes parciales de seguridad (para E.L.U)</b>			
		<b>Efecto favorable</b>		<b>Efecto desfavorable</b>	
Permanente	NORMAL	$\gamma_c=1,00$		$\gamma_c=1,50$	
Permanente de valor constante	NORMAL	$\gamma_c=1,00$		$\gamma_c=1,60$	
Variable	NORMAL	$\gamma_c=0,00$		$\gamma_c=1,60$	

Tabla 2.1: Cuadro de características del hormigón según la EHE



## 2.6. Forjados bidireccionales

Las placas macizas son estructuras superficiales sometidas a flexión en ambas direcciones perpendiculares.

También se incluyen en este apartado las placas nervadas, aligeradas y alveolares siempre que su comportamiento, en cuanto a rigidez se refiere, sea equiparable al de una placa maciza.

De igual manera, se consideran placas macizas aquellas que sus apoyos son continuos o aislados.

Para que un elemento bidireccional sea considerado como una placa, debe cumplirse que la luz mínima sea mayor que 4 veces el espesor mínimo de la placa.

Para que una placa trabaje como tal es necesario que no exista gran diferencia entre las luces de cada dirección, ya que, en caso de no ser así, la mayor rigidez de la luz menor hace que sea ella la que absorba la casi totalidad del conjunto.

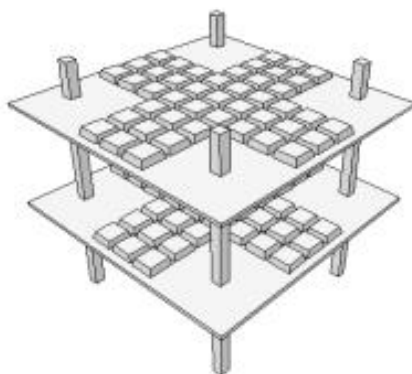


Ilustración 2.6: Estructura con forjado bidireccional

### A) Descripción básica del forjado reticular.

Las placas reticuladas o nervadas se consiguen mediante la utilización de encofrados bien recuperables o perdidos de tipo casetón, que permiten la obtención de nervios de hormigón armado en las dos direcciones, perpendiculares entre sí.

El forjado reticular pertenece a la familia de losas de hormigón armado, no homogéneas, aligeradas y armadas en dos direcciones ortogonales.

La estructura que así forma, admite que sus flexiones puedan ser descompuestas y analizadas según las direcciones de armado, y forma con los soportes un

conjunto estructural espacial, capaz de soportar las acciones verticales de buena manera y las horizontales razonablemente bien.

Los forjados reticulares no suelen presentar vigas acusadas en su configuración, por consiguiente, pertenecen al grupo de los llamados forjados planos.

Los parámetros básicos que configuran las características de un forjado reticular son:

- Separación entre ejes de nervios ( $e$ ).
- Espesor de la base de los nervios ( $b$ ).
- Canto total de la placa ( $H$ ).
- Altura del bloque aligerante ( $h$ ).
- Espesor de la capa de compresión ( $c$ ).

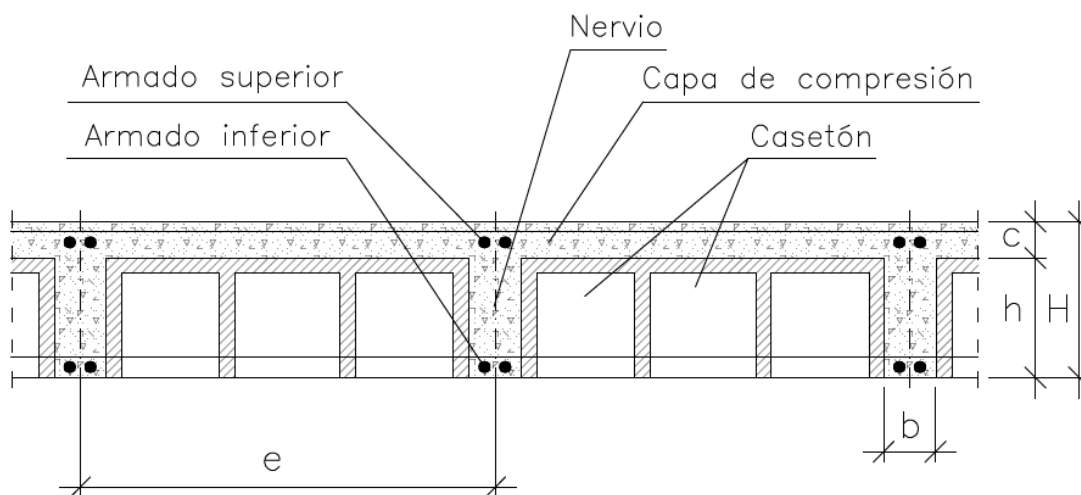


Ilustración 2.7: Sección del forjado reticular

Alrededor de los pilares de los forjados reticulares, se prescinde de los bloques aligerantes y la placa pasa a ser maciza. Esta zona maciza a través de la cual la placa apoya sobre los soportes, recibe el nombre de ábaco.

El ábaco suele estar embebido generalmente en el espesor de la placa y, tan sólo para luces elevadas o cargas anormalmente grandes, se diseña acusado inferiormente bajo la misma forma recta o biselado a  $45^\circ$ .

Para reducir el riesgo al punzonamiento, en ocasiones, suele ensancharse la cabeza del pilar en su unión con el ábaco. Ese ensanche viene a llamarse capitel.

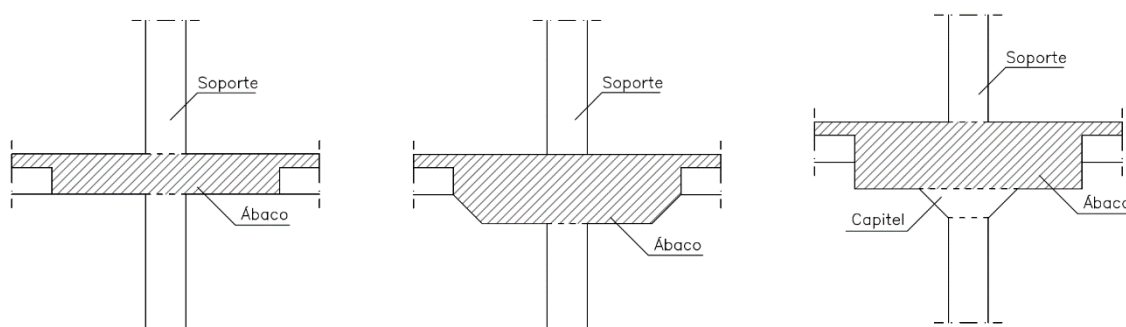


Ilustración 2.8: Tipologías de ábacos en soportes

El capitel carece de sentido cuando el ábaco se encuentra acusado por debajo de la placa, reduciendo su uso a casos especiales debido a las dificultades que presenta su ejecución.

En el forjado reticular son elementos de vital importancia los zunchos perimetrales y los zunchos de borde de los huecos.

Los zunchos de borde suelen ir embebidos en el espesor de la placa, con una base de entre 25 y 30 cm, y sólo sobrepasan dicho espesor por debajo de la misma cuando sea preciso salvar localmente vanos de gran luz cuyas deformaciones puedan dañar la tabiquería.

Los zunchos de borde son los únicos elementos dentro del forjado reticular que van estribados con cercos. El resto de la armadura, ya está dispuesta en ábacos o en nervios, que va embebida sin estribos dentro del hormigón. En casos de grandes luces y sobrecargas elevadas, se acude a los cercos y barras inclinadas a 45° para resistir el punzonamiento sobre los pilares y la cortadura en los nervios.

Cuando la planta del forjado presente geometría irregular, puede recurrirse a colocar zunchos de transición, que sirven de enlace entre el reticular de ambos lados. Con ello conseguimos que el replanteo de nervios pueda efectuarse paralelo a las caras del solar, evitando zonas irregulares y casetones incompletos.

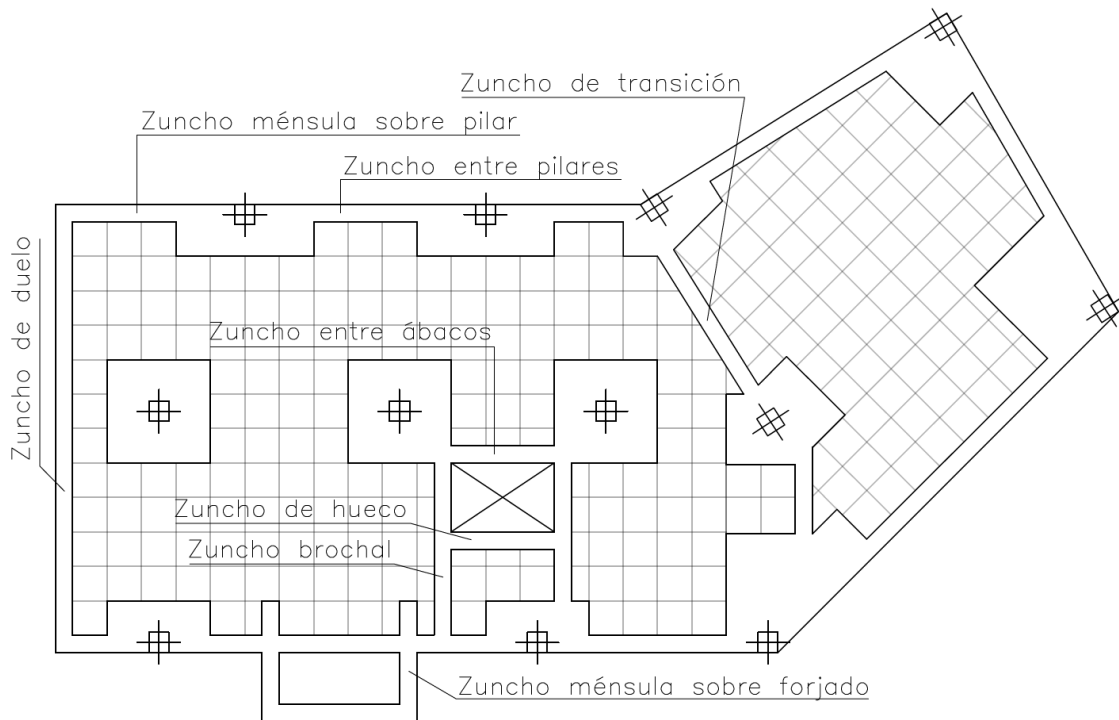


Ilustración 2.9: Croquis explicativo de los zunchos posibles en un forjado reticular

## B) Tipos de forjados reticulares:

Principalmente, se pueden distinguir dos tipos de forjados reticulares en cuanto a la tipología del casetón a colocado:

- Forjado reticular de casetón perdido
- Forjado reticular de casetón recuperable

La principal diferencia que existe entre las diversas patentes de los forjados reticulares, se reduce al tipo de pieza aligerante a utilizar.

El forjado reticular más utilizado es aquel que cuenta con un intereje entre los nervios de 80 cm, y un espesor de éstos de 10 cm, lo cual exige una cuadrícula de aligeramiento de 70x70 cm formada por diversos bloques.

Indudablemente, por necesidades resistentes siempre es posible mantener el aligeramiento básico de 70x70 cm y ampliar los ejes configurando los nervios del ancho estructural deseado.

### - Forjado reticular de casetón perdido:

En los inicios de la utilización de los forjados reticulares en España, la inercia existente en la construcción tradicional de los forjados unidireccionales con bovedillas cerámicas, propició que también se empezaran a construir los forjados reticulares con bloques aligerantes del mismo tipo; si bien, las dificultades que lleva consigo su fabricación y coste, unido a su fragilidad y propensión a la rotura, han sido razones suficientes para impedir que se estableciesen los casetones perdidos en el mercado.

De esta manera, la cuadrícula de aligeramiento se suele construir con bloques perdidos de hormigón en número de 3,4 o 6 piezas. Aunque la elección de configuración no resulta nada fácil, de hecho, es una decisión que los proyectistas delegan en la empresa constructora que decide su elección en función exclusivamente del coste de las piezas.



Ilustración 2.10: Forjado reticular con casetón de hormigón

Sin embargo, la realidad no es tan simple, puesto que cuanto mayor número de piezas configuren el casetón de aligeramiento, mejor podremos adaptarnos a modulaciones geométricas complejas, y por tanto, menor consumo de hormigón no previsto se tendrá en la placa.

Dichos casetones pueden ser fabricados además de con hormigón normal con hormigón aligerado, aunque su fabricación con áridos ligeros no ha tenido gran aceptación en el mercado por su mayor precio, aun teniendo cualidades técnicas añadidas interesantes:

- Menor peso, y por tanto menos carga permanente.
- Mayor aislamiento térmico.
- Mayor facilidad en su manejo, y por consiguiente, mayores rendimientos constructivos.

Una buena elección de los casetones es imprescindible, pues una elección inadecuada del tipo de piezas, que conduzca a unos replanteos rígidos, y por consiguiente, a un mayor número de macizados no previstos, puede suponer

para el constructor una pérdida importante del beneficio esperado, debido a un consumo adicional de hormigón.

Tras analizar y comprobar los replanteos en obras reales, se recomienda como conclusión el empleo del casetón aligerado de cuatro piezas, recomendando también disponer suplementariamente de un pequeño stock de casetones de cuatro piezas, para poder resolver con ellos los bordes y ajustes problemáticos que presente la paca, minimizándose así las zonas macizadas no previstas en el proyecto.

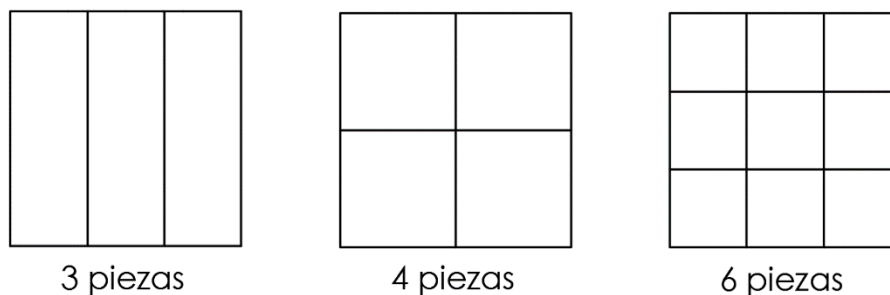


Ilustración 2.11: Configuración del casetón según las piezas

**- Forjado reticular de casetón recuperable:**

Esta tipología constituye el otro gran bloque de los forjados reticulares, siendo el más conocido y empleado internacionalmente y de uso indiscutible con luces que superan los 7 u 8 metros entre apoyos.

Esta clase de forjados reticulares se configura básicamente con un eje de 80 cm, empleándose como encofrado de la losa y a la vez como aligeramiento de la misma, un molde de plástico tronco-piramidal de aristas redondeadas, también llamados bañeras que, una vez el hormigón alcanza el grado de madurez previsto, se recupera para su uso posterior.



Ilustración 2.12: Forjado con casetón recuperable



Ilustración 2.13: Casetón recuperable

El diseño de la modulación de casetones recuperables en las plantas exige, todavía más que en los casetones perdidos, un cuidado adicional debido a la rigidez geométrica tan fuerte que imponen las piezas aligerantes. Si el diseño del emparrillado no se realiza adecuadamente, sucederá sin lugar a dudas, que los macizados destinados a los ábacos y vigas de borde se incrementen en superficie, aumentando de forma anormal los consumos de hormigón y los pesos del forjado de manera imprevista.

Para tratar de evitarlo, esta tipología aporta una especie de semi-casetón o semi-molde que permite ajustar algo mejor las modulaciones.

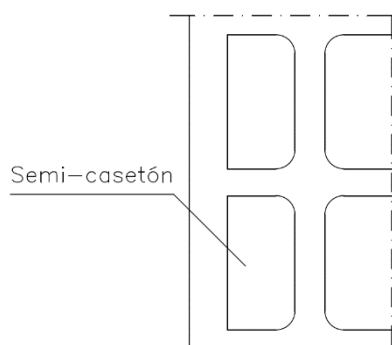


Ilustración 2.14: Croquis semi-casetón



Ilustración 2.15: Ej. de colocación de semi-casetón

### **- Forjados reticulares con casetón de aligeramiento especiales**

\* *Casetones de aligeramiento de poliestireno expandido:*

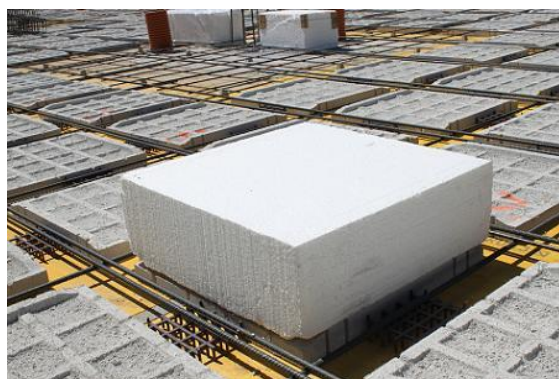
Buscando aligerar al máximo el peso de la placa, al mismo tiempo que se persigue dotarla de un mejor aislamiento térmico, y buscando simultáneamente una manipulación más ligera y cómoda de las piezas de los aligeramientos, la industria de la construcción oferta unos casetones perdidos aligerantes fabricados con poliestireno expandido.

La geometría básica de estas piezas trata de ajustarse en general al canon estándar establecido para los reticulares de intereje de 80 cm, con alturas variables entre los 20 y 30 cm, y posibilidades de alcanzar alturas mayores.

Las cualidades que presenta el sistema, si no fuera porque también tiene sus inconvenientes, son, sin lugar a dudas, importantes:

- Facilidad y ligereza en la manipulación y el montaje de las piezas.
- Configuración del replanteo de nervios de forma automática con el propio sistema.
- Geometrías muy exactas, especialmente los nervios.

- El ajuste de piezas a las zonas macizas se resuelve seccionando las piezas de poliestireno cómodamente con una simple cuchilla, obteniéndose una precisión notable.
- La indeformabilidad del sistema una vez montado es buena, asegurándose todavía más a medida que se vierte el hormigón, puesto que pesa y carga sobre los casetones imposibilitando su flotabilidad.
- Los casetones llevan incorporados los calzos que suspenden las armaduras de flexión positiva, asegurando así su recubrimiento mínimo.
- Facilita la retirada de los encofrados y los protege durante el hormigonado.
- Permite efectuar rozas en los techos muy cómodamente para alojar instalaciones eléctricas.
- El aislamiento al ruido por impacto es ligeramente mejor que en los forjados tradicionales.



*Ilustración 2.16: Casetón de poliestireno expandido*

Dichas las ventajas, también resulta obligado exponer los inconvenientes con el objeto de situar correctamente al producto frente a sus competidores más directos, es decir, frente a los casetones de aligeramiento de hormigón.

- Pese a que se ha mejorado el diseño de las piezas con entrantes y salientes, la adherencia frente a los yesos de acabado en techos puede resultar problemática si no se cuida convenientemente la calidad y puesta en obra de los mismos.
- La reología tan diferente que poseen el poliestireno, el hormigón y los yesos, puede dar origen a finas fisuraciones en los enlucidos de los techos.
- Se ha podido demostrar mediante ensayos de rotura, que las placas construidas con casetones aligerantes de poliestireno rompían a cortante con una carga del orden de un 20 o 25% inferior sobre la resistida por la placa construidas con casetones aligerantes de hormigón.



De igual manera, la rigidez frente a deformaciones verticales y horizontales, es menor con esta tipología constructiva.

- El comportamiento al fuego que presentan estos forjados frente a los reticulares convencionales es inferior y, aunque el material de aligeramiento sea ignífugo, puede llegar a producir humos negro y gases.
- La capa de compresión mínima recomendable es mayor para estos forjados.
- El coste de los aligeramientos de poliestireno frente a los casetones de hormigón resulta más caro. El empleo de casetones de poliestireno puede suponer un aumento de entre un 4 y 5% del precio total.

*\* Casetones de aligeramiento de fibras:*

Existe la posibilidad de fabricar casetones de aligeramiento para los forjados reticulares con todo tipo de fibras, aportando a la placa estructural las cualidades físicas añadidas que posean las mismas.

El casetón de aligeramiento de lana de vidrio aporta unas cualidades de aislamiento y de resistencia al fuego espléndidas, al mismo tiempo que configura los elementos resistentes de la placa sin peso añadido digno de consideración. La lana de vidrio extendida de forma continua por todo el techo confiere a la placa una resistencia al fuego en torno a las 4 horas, con unos índices de emisión de humos mínimos, al mismo tiempo que proporciona unos aislamientos térmicos considerables y acústicos suficientes.

Frente a las cualidades añadidas, el sistema posee algunos inconvenientes que deben ser tenidos en cuenta:

- El intereje de los casetones disminuye frente al habitualmente construido.
- El sistema requiere la ejecución de falsos techos en viviendas y locales comerciales, pudiéndose dejar vistos los casetones en garajes y almacenas industriales, pese a que su aspecto estético no sea precisamente brillante.
- El coste del casetón viene a ser tres veces superior al casetón convencional.
- Mecánicamente los nervios deben considerarse desnudos, al igual que los casetones de poliestireno, sin contar con las aportaciones resistentes adicionales que poseen los reticulares de casetón de hormigón.



Ilustración 2.17: Casetón de aligeramiento de fibras

\* *Casetones metálicos:*

Existen algunos sistemas de apariencia reticular, y de hecho, casi lo es al disponerse unas armaduras transversales inferiores entre las piezas que atraviesan las viguetas metálicas por sus perforaciones; sin embargo, en realidad, se le hace trabajar básicamente de forma unidireccional siguiendo las viguetas como elementos longitudinales resistentes; por consiguiente, sólo su apariencia en los techos lo hace parecer un forjado reticular.

Lo que les proporciona el sistema, sin duda alguna, son unos techos acabados sumamente vistosos que, para oficinas y lugares públicos singulares, pueden llamar la atención de algunos proyectistas.

El sistema permite ahorrar encofrados, cantos, litros de hormigón y peso en general. Disponiendo armaduras suplementarias pueden conseguirse con este forjado resistencias al fuego notables, siempre y cuando se encuentre biempotrado.

### **C) Definición de sus elementos.**

**- Nervios:**

La modulación ortogonal de los nervios viene impuesta por la geometría que presente la planta del edificio, y debe hacerse de forma que resulte un trazado lo más constructivo y estructural posible. Frecuentemente, cuando existen cambios de dirección del forjado, es necesario disponer un zuncho de transición y cambiar así la dirección de los nervios para obtener una modulación armónica y sencilla de replantear en obra, reduciéndose al mínimo los excesos de hormigón que se originan en los bordes cuando no existe paralelismo entre éstos y los nervios.

Cuando los forjados deben soportar cargas muy elevadas, los problemas de cortadura obligan a ensanchar los nervios en las zonas próximas a los ábacos. La solución más cómoda para ello, es retirar algunos bloques de los casetones,

con lo que los nervios pasarán a tener mayor anchura sin necesidad de alterar la modulación general del resto de los nervios.

#### **- Capiteles:**

Salvo en ocasiones de fuertes sobrecargas y casos especiales, los capiteles están en desuso.

Un tamaño muy utilizado de capiteles puede obtenerse al darles en cada dirección un décimo o un noveno de la luz menor de los recuadros adyacentes al pilar.

#### **- Ábacos:**

La zona maciza alrededor de los soportes recibe el nombre de ábaco y tiene por misión fundamental canalizar el soporte de las cargas que recibe de los nervios y resistir la cortadura de punzonamiento.

Cuando las luces y cargas existentes sean elevadas, puede resaltarse el ábaco de la placa por el inferior, y biselar sus bordes a 45°, para que la transmisión de esfuerzos de los nervios no sea tan brusca.

#### **- Zunchos de bordes y huecos:**

Formando parte de las placas nervadas, existen unos elementos de fundamental importancia en el esquema resistente de las mismas, como son los zunchos de borde y huecos.

Las funciones que éstos realizan son:

- Enlazar y atar la placa perimetralmente a los pilares.
- Reforzar los ábacos empotrando la placa en los pilares.
- Soportar de forma directa los cerramientos de fachada.
- Ayudar con su estribado a resistir y evitar los punzonamientos de la placa en los pilares de borde, que por otra parte son los más delicados y desfavorables.
- Redistribuir esfuerzos anormales.
- En zona sísmica, su importancia es básica manteniendo cosida toda la estructura.

**- Armado de nervios:**

Destinado a la absorción de los momentos flectores, colocadas en dos direcciones ortogonales, según las direcciones de la retícula formada por los nervios.

Las armaduras de los nervios van colocadas en la parte inferior, con los correspondientes separadores, en toda la longitud de los nervios, para absorber los momentos positivos. Asimismo, podrán llevar armadura de refuerzo de momentos positivos. Para absorber los momentos negativos, se colocarán barras en la parte superior del nervio.

En el forjado reticular, y en general en las losas donde se dispongan unas armaduras cruzadas, un plano de ellas poseerá un recubrimiento superior al normal, derivado de la propia geometría del cruce. Por ello, hay que procurar que las armaduras de los nervios de mayor luz sean los que tengan el recubrimiento adecuado, es decir, el recubrimiento mínimo.

La colocación en planta de la ferralla de un forjado reticular es muy sencilla, pero requiere mucho cuidado en su diseño, claridad en planos de detalle y que tenga el menor número de empalmes en barras.

En caso de tener que empalmarse barras, se realizará en las zonas de menores momentos, y solapando las barras adecuadamente, de acuerdo con las siguientes recomendaciones:

Si la estructura presenta una modulación cuadrícula, con los pilares alineados, las armaduras del momento positivo se pueden cortar en las alineaciones de los pilares, solapando las mismas al menos una longitud igual al canto del forjado.

Cuando la modulación de los pilares no es ideal, con pilares no alineados, debe tenerse la precaución de cortar en aquellas líneas de mínimos momentos flectores positivos, que normalmente coinciden con las líneas que unen los pilares, debiendo solaparlas una longitud equivalente a la longitud de anclaje.

En general, un forjado reticular llevará armadura de momentos negativos colocada en la parte superior de los nervios en los siguientes puntos:

- En todo el perímetro del forjado reticular, en cada nervio, anclada a las vigas o zunchos perimetrales.
- Encima del eje teórico que une los ejes de los pilares contiguos, por la parte superior de cada nervio, y cuando sea posible, perpendicular a dicho eje.
- En los voladizos dichas armaduras tendrán la necesaria longitud de anclaje hacia el interior.
- En el contorno de los huecos.

En los extremos del forjado, la armadura de momentos negativos deberá acabar en patilla y anclada al zuncho de borde en su parte superior.

Además, cuando los forjados reticulares tienen luces y cargas muy importantes, puede ser necesario colocarle armadura de cortante en la unión de los nervios con los ábacos.

**- Armadura de ábacos:**

La armadura de montaje de los ábacos tiene como misión:

- Abrazar y coser la placa al pilar.
- Soportar la punta de flexión máxima sobre el pilar del forjado.

Siempre que sea posible en las estructuras hay que diseñar la ferralla de la forma más sencilla posible para evitar errores y complicaciones innecesarias.

La armadura de montaje de los ábacos es la armadura adicional a la de los nervios y puede ser tenida en cuenta en el cálculo, aunque se recomienda que las barras finas no se consideren en general, dado que suele quedarse muy baja si no se apoya adecuadamente sobre los casetones.

**- Armado de refuerzo de ábaco de esquina y medianería:**

En ábaco de esquina, se dispondrá una armadura doblada, colocada a nivel del emparrillado superior del ábaco, uniéndose éste con el pilar.

En ábacos de medianería, se colocarán dos barras dobladas sobre el pilar y distribuidas en abanico.

**- Armado de conexión ábaco-nervios:**

Cruzando el ábaco, colocadas en la parte superior de los nervios, se dispondrán armaduras más gruesas que las de momento negativo de los nervios. Realmente son las armaduras de momento negativo de los nervios, en el empotramiento con el ábaco, que podrían haberse estudiado en el apartado de armaduras de nervios, pero buscando una mayor claridad se han separado. Suele colocarse 2 barras por cada nervio, prolongándose por la parte exterior del ábaco. Deben sobrepasar a ambos lados del eje de los pilares.

### - Armado de zunchos de borde y huecos:

Dependiendo de la ubicación del zuncho dentro de la placa de un forjado reticular, podemos distinguir cuatro tipos básicos que coincidan un sistema específico de armado para cada uno de ellos.

*Zuncho entre pilares:* Corresponde a los zunchos de borde colocados entre pilares y por consiguiente sometidos a esfuerzos de flexión, torsión y cortadura.

Todos los cercos de los zunchos serán cerrados debido al esfuerzo de torsión, con un solape suficiente sujeto con alambre de farralla en escuadra.

*Zuncho entre ábacos interiores:* Es frecuente en los forjados reticulares donde no existe una alineación de pilares ortogonales, que los zunchos no vayan a morir de forma precisa a los mismos, siendo preciso anclarlos dentro de los ábacos.

Los esfuerzos principales son de flexión, ya que normalmente están colocados en zonas interiores de la placa.

*Zunchos brochales:* Frecuentemente es necesario disponer en los forjados reticulares zunchos principales para poder apoyar-embrochalar en ellos otros zunchos, que no podrían trabajar de forma correcta de otra manera. Para que la unión funcione adecuadamente conviene que la armadura de los zunchos-brochales sea delgada en la zona superior y de mayor calibre que la inferior.

*Zunchos-ménsulas:* Vienen dispuestos ortogonalmente al contorno y trabajan básicamente con predominio claro de flexión negativa.

Conviene darle gran longitud de anclaje a las barras, dado que son elementos de gran responsabilidad y con escasa posibilidad de redistribuir esfuerzos en caso de fallos localizados en los mismos.

Existe otra alternativa para el armado de un zuncho ménsula, que es la de correr el zuncho que viene del vano hasta el extremo del vuelo, reforzando la armadura negativa si fuese necesario.

Los zunchos ménsulas sobre el forjado requieren un anclaje más cuidadoso en la capa de compresión, introduciendo las patillas de la armadura superior al menos en el primer nervio adyacente y paralelo al borde.

*Zunchos de transición:* Van colocados en las plantas con más de una dirección de los bloques, uniendo los nervios de ambos lados. Su armado es el típico de una jácena.

(Ver Ilustración 2.9 – Página 19)

### 3. ESTUDIO PARAMÉTRICO

#### 3.1. Introducción

Tal y como se ha comentado anteriormente, llevaremos a cabo en primer lugar un análisis en el que examinaremos parámetros como la rigidez, el precio, el tiempo de ejecución, así como la resistencia tanto acústica como térmica de cada uno de los tipos de forjado elegidos.

Para ello, hemos definido un paño de forjado simple, formado por dos crujiás, con 3 pilares en cada uno de los pórticos, y con una luz entre pilares inicial de 3 metros. (ver il. 3.1)

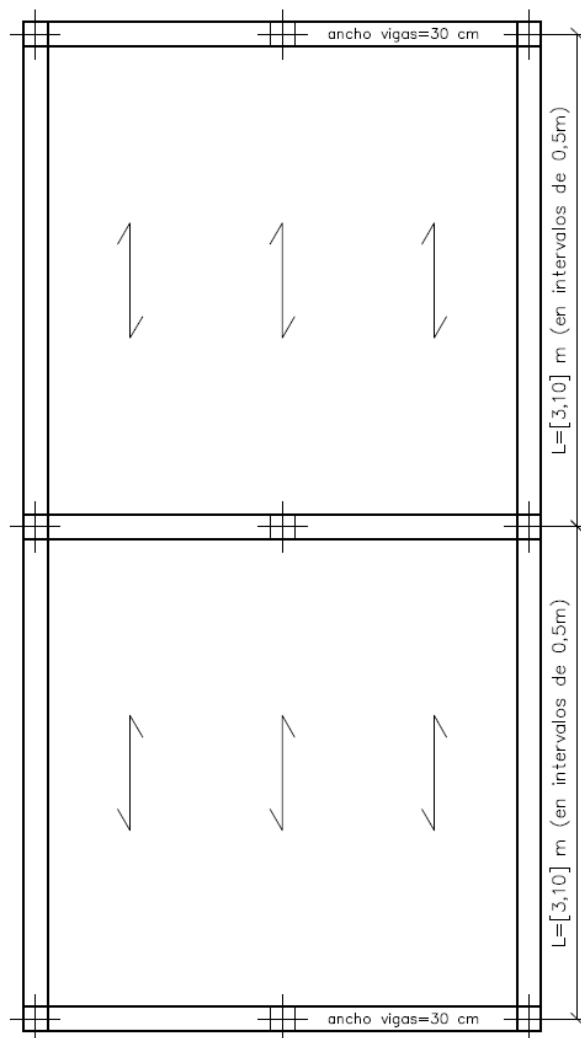


Ilustración 3.1: Paño objeto del estudio paramétrico

Tal y como se indica en la figura anterior, la luz "L" entre pilares se irá ampliando sucesivamente en incrementos de 0.5 m, llegando a una luz máxima de hasta

10 m dependiendo del tipo de forjado. Sobre el paño mostrado en la figura se colocarán todos los forjados a analizar, y se irán analizando los parámetros mencionados en el punto 3.4 de éste documento.

Además de lo anterior, en forjados reticulares, el aumento de luz se produce tanto en el eje X como en el eje Y (ver il. 3.2) en intervalos de 1m de manera simultánea, configurando así paños de forjado cuadriláteros regulares.

De ésta manera, observamos el comportamiento en cuestión de resistencia y rigidez estructural de los forjados reticulares desde otra perspectiva.

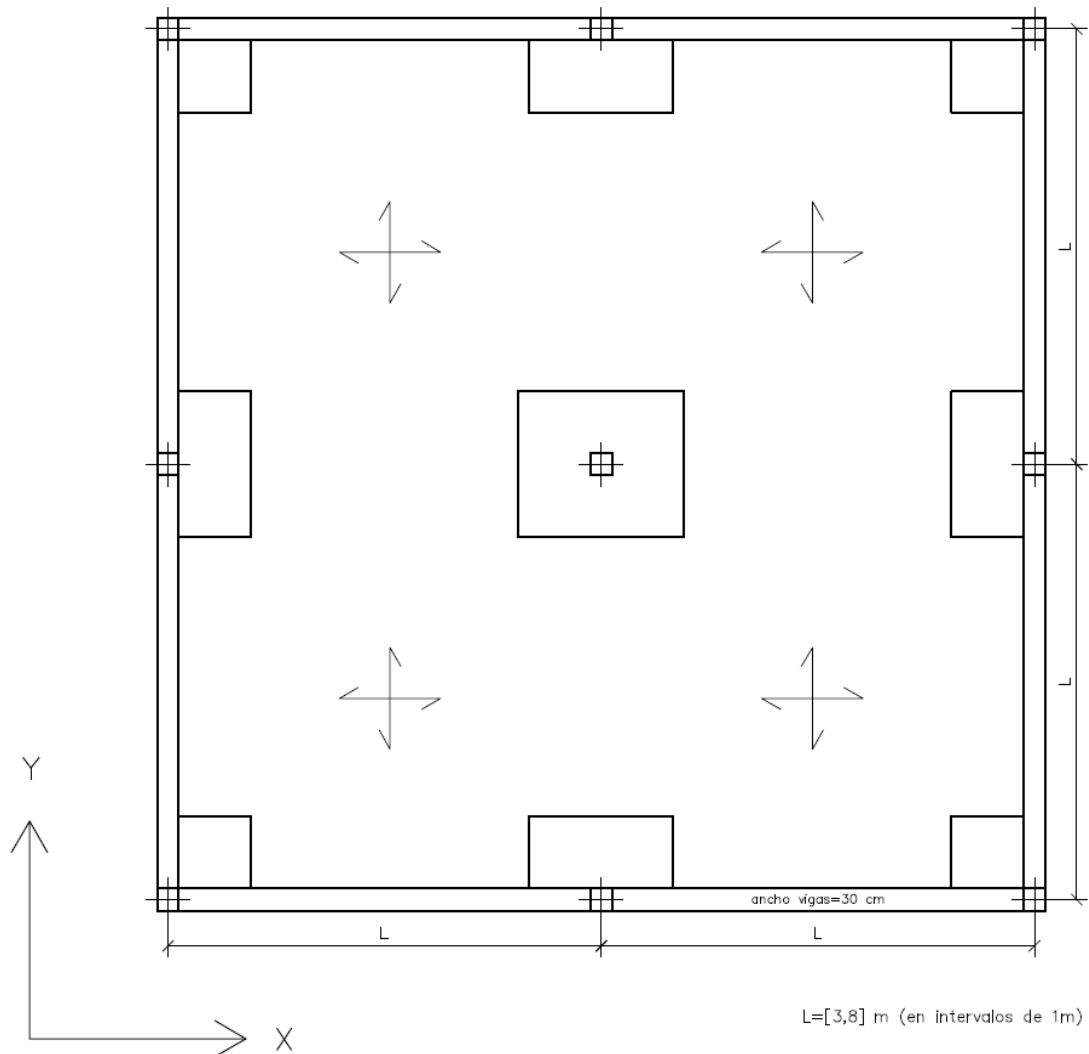


Ilustración 3.2: Paño objeto del estudio paramétrico en forjados reticulares



Asimismo, y dado que en un edificio residencial habitual pueden encontrarse varios usos diferentes, se considerarán sobre los forjados tres sobrecargas de uso distintas; cubierta (1kN/m<sup>2</sup>), residencial (2kN/m<sup>2</sup>) y comercial (5kN/m<sup>2</sup>). Incluyendo todas las variaciones de luces y sobrecargas mencionadas anteriormente, el número de casos analizados ha sido de 173.

Para escoger los cantos de forjado a utilizar en el análisis se ha realizado un predimensionado manual del mismo ( $h_{min}$ ). En el caso de los forjados unidireccionales, atendiendo al Artículo 52.2.2.1 de la EHE, con el fin de estimar el canto de forjado imprescindible para no tener que hacer comprobaciones de flecha.

Ésta estimación depende de la carga existente, la luz en cada caso y el coeficiente C, cuyo valor depende de la tipología de forjado, tipo de carga y tipo de tramo:

$$h_{min} = \delta_1 * \delta_2 * \frac{L}{C}$$

dónde,

$\delta_1 = q/7$ , siendo q la carga total en kN/m<sup>2</sup>

$\delta_2 = (L/6)^{1/4}$ , siendo L la luz existente en metros

C= coeficiente cuyo valor se toma de la tabla 50.2.2.1.b del citado artículo.

Para la elección inicial de las dimensiones fundamentales del forjado bidireccional reticular (como es el espesor de los nervios), tendremos en cuenta la resistencia al fuego que debe tener.

Teniendo en cuenta la Tabla 1.2 del DB SI, para techos en edificios de uso residencia vivienda o público la resistencia al fuego mínima exigida es EI 90, teniendo en cuenta una altura de evacuación  $15 < h < 28$  m para plantas sobre rasante.

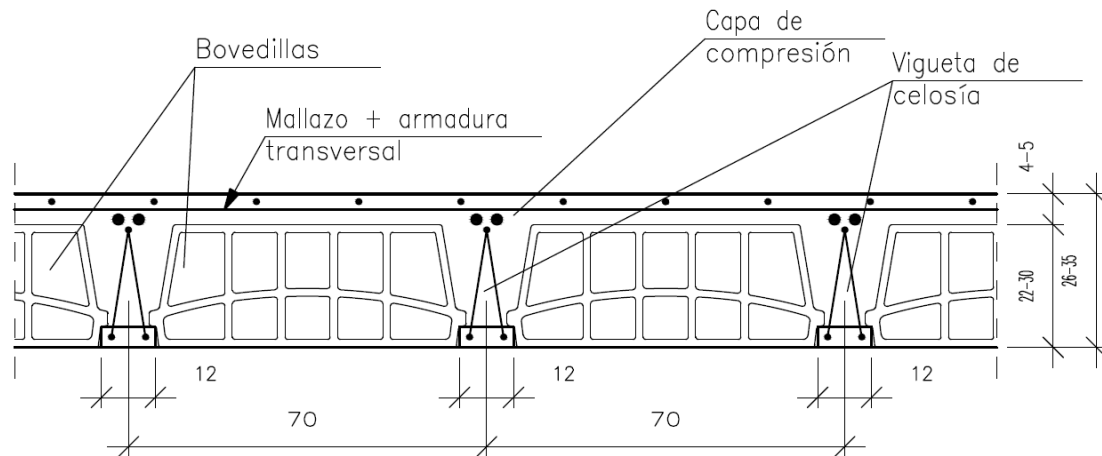
Así pues, para una resistencia al fuego mínima EI 90, en referencia a la tabla A.6.5.7 del apartado "5.7 Forjados bidireccionales" de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE 08), el ancho mínimo de nervio exigido son 120 mm.

### 3.2. Tipologías de forjado estudiados

A continuación, se procede a describir las diferentes tipologías de forjados objeto del posterior estudio, todos ellos de hormigón armado con cantos de entre 26 y 35 cm.:

#### Forjado unidireccional de semiviguetas armadas

Forjado unidireccional horizontal de hormigón armado HA-25 (N/mm<sup>2</sup>) con acero UNE-EN 10080 B 500 S, con cantos entre 26 y 35 cm, intereje de 70 cm; ancho de nervio 12 cm, sistema de encofrado continuo con puntales, sopandas metálicas y superficie encofrante de madera; semivigueta armada con zapatilla de hormigón; bovedilla de hormigón; capas de compresión de 4 o 5 cm de espesor, con armadura de reparto formada por malla electrosoldada ME 20x20 Ø 5-5 B 500 T 6x2,20 UNE-EN 10080 y vigas planas.



Cotas en cm.

Ilustración 3.3: Sección forjado uni. de semiviguetas armadas objeto de estudio

\* Características principales:

h (cm)	Peso propio	Hormigón	Acero
22+4	0.316 t/m <sup>2</sup>	HA-25	B 500 S
22+5	0.342 t/m <sup>2</sup>	HA-25	B 500 S
25+5	0.382 t/m <sup>2</sup>	HA-25	B 500 S
30+4	0.398 t/m <sup>2</sup>	HA-25	B 500 S
30+5	0.418 t/m <sup>2</sup>	HA-25	B 500 S

Tabla 3.1: Características principales forjado de semiviguetas armadas

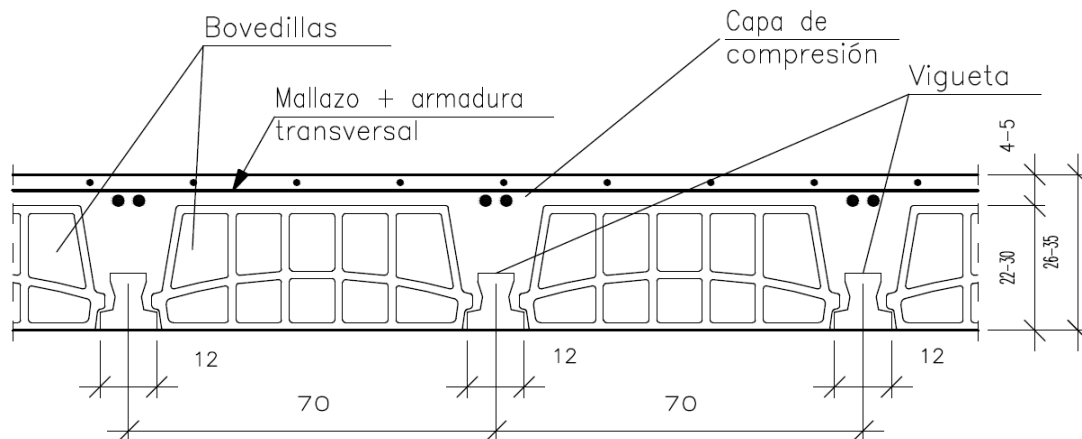
\* Resumen análisis:

	SCU=1 kN/m <sup>2</sup>	SCU=2 kN/m <sup>2</sup>	SCU=5 kN/m <sup>2</sup>
<b>Luz máx.alcanzada</b>	7 m	7 m	6 m
<b>Canto mínimo</b>	22+4 cm	22+4 cm	22+4 cm
<b>Canto máximo</b>	30+5 cm	30+5 cm	30+4 cm
<b>Casos estudiados</b>	9	9	7
<b>Total</b>	25		

Tabla 3.2: Resumen del análisis con forjado de semiviguetas armadas

### Forjado unidireccional de viguetas pretensadas

Forjado unidireccional horizontal de hormigón armado HA-25 (N/mm<sup>2</sup>) con acero UNE-EN 10080 B 500 S, con cantos entre 26 y 35 cm, intereje de 70 cm; ancho de nervio 12 cm, sistema de encofrado continuo con puntales, sopandas metálicas y superficie encofrante de madera tratada reforzada con varillas y perfiles; semivigueta pretensada de hormigón, bovedilla de hormigón; capa de compresión de 4 o 5 cm de espesor, con armadura de reparto formada por malla electrosoldada ME 20x20 Ø 5-5 B 500 T 6x2,20 UNE-EN 10080 y vigas planas.



Cotas en cm.

Ilustración 3.4: Sección forjado uni. de viguetas pretensadas objeto de estudio

\* Características principales:

h (cm)	Peso propio	Hormigón	H.viguetas	Acero
22+4	0.316 t/m <sup>2</sup>	HA-25	HA-40	B 500 S
22+5	0.342 t/m <sup>2</sup>	HA-25	HA-40	B 500 S
25+5	0.382 t/m <sup>2</sup>	HA-25	HA-40	B 500 S
30+4	0.398 t/m <sup>2</sup>	HA-25	HA-40	B 500 S
30+5	0.418 t/m <sup>2</sup>	HA-25	HA-40	B 500 S

Tabla 3.3: Características principales forjado de viguetas pretensadas

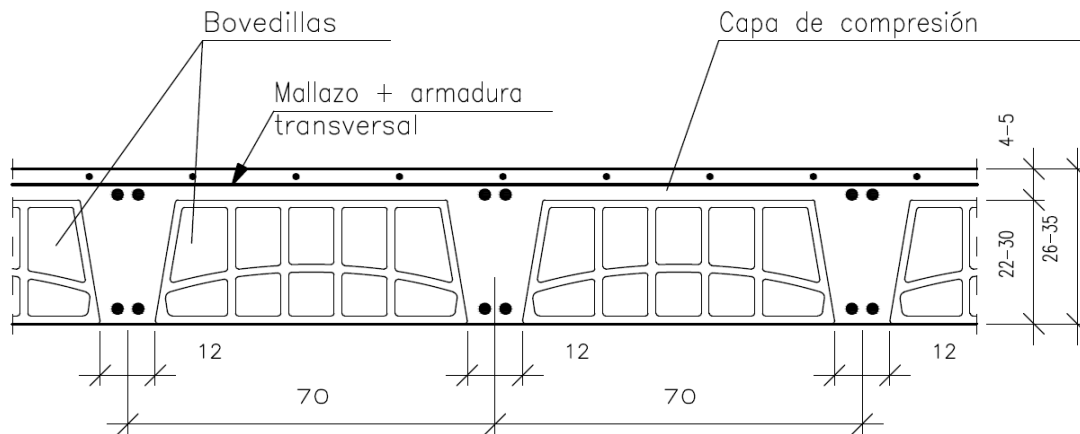
\* Resumen análisis:

	SCU=1 kN/m <sup>2</sup>	SCU=2 kN/m <sup>2</sup>	SCU=5 kN/m <sup>2</sup>
<b>Luz máx.alcanzada</b>	7 m	7 m	5 m
<b>Canto mínimo</b>	22+4 cm	22+4 cm	22+4 cm
<b>Canto máximo</b>	30+4 cm	30+4 cm	30+4 cm
<b>Casos estudiados</b>	9	9	5
<b>Total</b>	23		

Tabla 3.4: Resumen del análisis con forjado de viguetas pretensadas

### Forjado unidireccional de viguetas "in situ"

Forjado unidireccional horizontal de hormigón armado HA-25 (N/mm<sup>2</sup>) con acero UNE-EN 10080 B 500 S, con cantos entre 26 y 35 cm, intereje de 70 cm; ancho de nervio 12 cm; sistema de encofrado continuo con puntales, sopandas metálicas y superficie encofrante de madera tratada reforzada con varillas y perfiles; nervios ejecutados "in situ"; bovedilla de hormigón para nervios "in situ"; capas de compresión de 4 o 5 cm de espesor, con armadura de reparto formada por malla electrosoldada ME 20x20 Ø 5-5 B 500 T 6x2,20 UNE-EN 10080 y vigas planas.



Cotas en cm.

Ilustración 3.5: Sección forjado uni. de viguetas pretensadas objeto de estudio

\* Características principales:

h (cm)	Peso propio	Hormigón	Acero
22+4	0.350 t/m <sup>2</sup>	HA-25	B 500 S
22+5	0.375 t/m <sup>2</sup>	HA-25	B 500 S
30+4	0.393 t/m <sup>2</sup>	HA-25	B 500 S
30+5	0.418 t/m <sup>2</sup>	HA-25	B 500 S

Tabla 3.5: Características principales forjado "in situ"

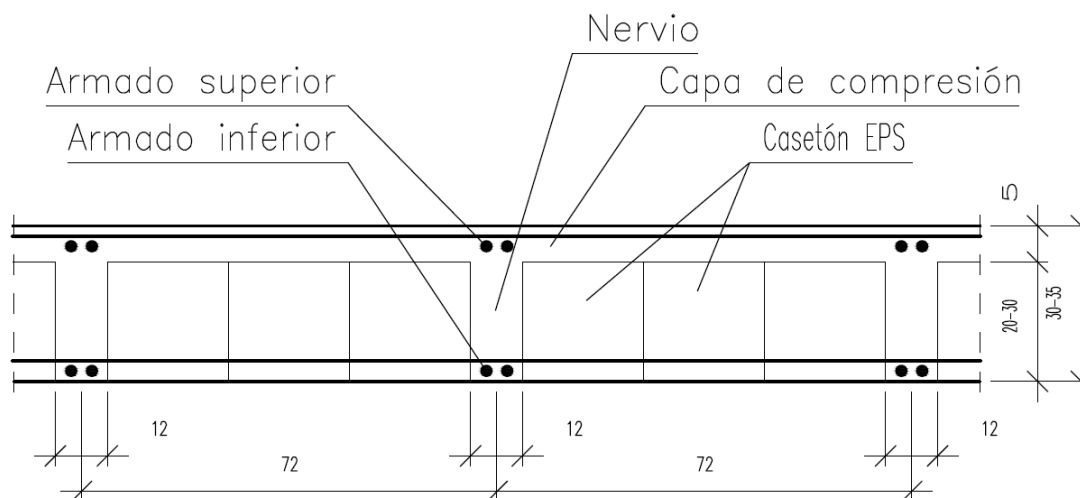
\* Resumen análisis:

	SCU=1 kN/m <sup>2</sup>	SCU=2 kN/m <sup>2</sup>	SCU=5 kN/m <sup>2</sup>
<b>Luz máx.alcanzada</b>	6,5 m	6,5 m	6 m
<b>Canto mínimo</b>	22+4 cm	22+4 cm	22+4 cm
<b>Canto máximo</b>	30+5 cm	30+5 cm	30+5 cm
<b>Casos estudiados</b>	8	8	7
<b>Total</b>	23		

Tabla 3.6: Resumen del análisis con forjado "in situ"

### Forjado reticular con casetón perdido de EPS

Forjado reticular horizontal de hormigón armado, con cantos entre 25 y 35 cm, realizado con hormigón HA-25 y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 8,4 kg/m<sup>2</sup>; montaje y desmontaje del sistema de encofrado continuo con puntales, sopandas metálicas y superficie encofrante de madera tratada reforzada con varillas y perfiles; nervios de hormigón "in situ" de 12 cm de espesor, intereje 72 cm; casetón de poliestireno expandido; capa de compresión de 5 cm de espesor, con armadura de reparto formada por malla electrosoldada ME 20x20 Ø 5-5 B 500 T 6x2,20 UNE-EN 10080.



Cotas en cm.

Ilustración 3.6: Sección forjado reticular con casetón de EPS objeto de estudio

\* Características principales:

h (cm)	Peso propio	Hormigón	Vol.hormigón	Acero
25	0.340 t/m <sup>2</sup>	HA-25	0,135 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	B 500 S
30	0.371 t/m <sup>2</sup>	HA-25	0,148 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	B 500 S
35	0.418 t/m <sup>2</sup>	HA-25	0,166 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	B 500 S

Tabla 3.7: Características principales forjado reticular EPS

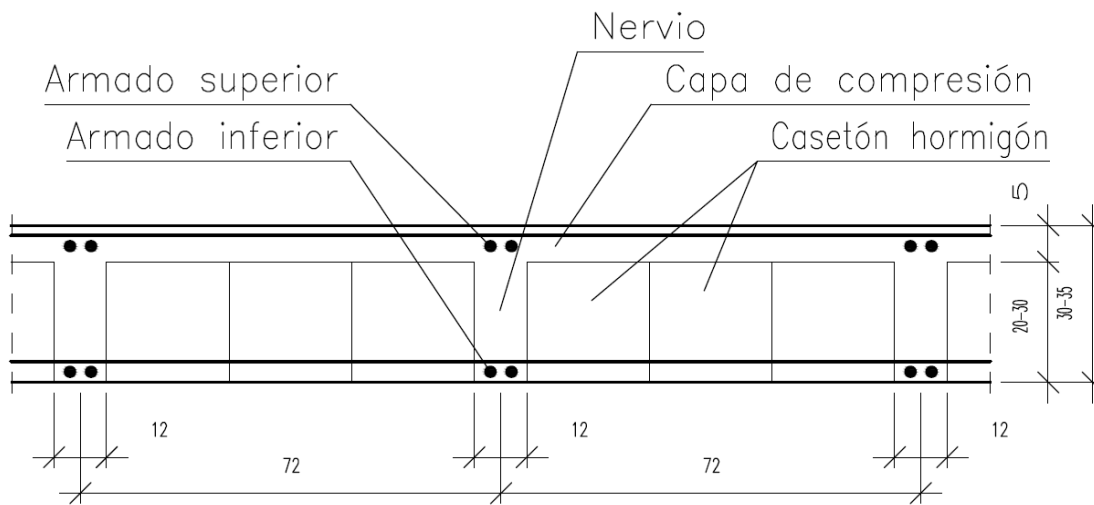
\* Resumen análisis:

		SCU=1 kN/m <sup>2</sup>	SCU=2 kN/m <sup>2</sup>	SCU=5 kN/m <sup>2</sup>
Luz máx. alcanzada	Sentido X	10 m	10 m	9 m
	Sentido X e Y	8 m	8 m	7 m
Canto mínimo		25 cm	25 cm	25 cm
Canto máximo		35 cm	35 cm	35 cm
Casos estudiados		20	20	17
Total		57		

Tabla 3.8: Resumen del análisis con forjado reticular EPS

### Forjado reticular con casetón perdido de hormigón

Forjado reticular horizontal de hormigón armado, con cantos entre 25 y 35 cm, realizado con hormigón HA-25 y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 8,4 kg/m<sup>2</sup>; montaje y desmontaje del sistema de encofrado continuo con puntales, sopandas metálicas y superficie encofrante de madera tratada reforzada con varillas y perfiles; nervios de hormigón "in situ" de 12 cm de espesor, intereje 72 cm; bloque de hormigón, capa de compresión de 5 cm de espesor, con armadura de reparto formada por malla electrosoldada ME 20x20 Ø 5-5 B 500 T 6x2,20 UNE-EN 10080.



Cotas en cm.

Ilustración 3.7: Sección forjado reticular con casetón de hormigón objeto de estudio

\* Características principales:

h (cm)	Peso propio	Hormigón	Vol.hormigón	Acero
25	0.391 t/m <sup>2</sup>	HA-25	0,111 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	B 500 S
30	0.457 t/m <sup>2</sup>	HA-25	0,126 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	B 500 S
35	0.523 t/m <sup>2</sup>	HA-25	0,141 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	B 500 S

Tabla 3.9: Características principales forjado reticular de hormigón

\* Resumen análisis:

		SCU=1 kN/m <sup>2</sup>	SCU=2 kN/m <sup>2</sup>	SCU=5 kN/m <sup>2</sup>
<b>Luz máx. alcanzada</b>	<b>Sentido X</b>	10 m	9,5 m	9 m
	<b>Sentido X e Y</b>	8 m	7 m	7 m
<b>Canto mínimo</b>		25 cm	25 cm	25 cm
<b>Canto máximo</b>		35 cm	35 cm	35 cm
<b>Casos estudiados</b>		20	18	17
<b>Total</b>		45		

Tabla 3.10: Resumen del análisis con forjado reticular de hormigón

<b>TOTAL CASOS ESTUDIADOS</b>	
<b>Forjado uni. semiviguetas armadas</b>	25
<b>Forjado uni. viguetas pretensadas</b>	23
<b>Forjado uni. "in situ"</b>	23
<b>Forjado reticular casetón EPS</b>	57
<b>Forjado reticular casetón hormigón</b>	45
<b>TOTAL</b>	<b>173</b>

Tabla 3.11: Resumen total de casos analizados

### 3.3. Estimación de cargas

#### ▪ Cargas permanentes:

Teniendo en cuenta el "Anejo C. Prontuario de pesos y coeficientes de rozamiento interno" del DB.SE-AE, llevamos a cabo una estimación de las cargas que serán añadidas sobre los forjados durante el análisis, exceptuando las cargas propias del elemento estructural, es decir, todos aquellos elementos que conservan una posición fija en la construcción gravitando constantemente sobre la estructura.

#### **Planta de viviendas y comercial:**

Pavimento de madera, cerámico o hidráulico sobre plastón; grueso total < 0,08 m	1,00 kN /m <sup>2</sup>
Guarnecido y enlucido de yeso	0,15 kN /m <sup>2</sup>
Tabiquería	1,00 kN /m <sup>2</sup>
Total	2,15 kN /m <sup>2</sup>

#### **Planta cubierta:**

Cubierta plana, recrecido, con impermeabilización vista protegida	1,50 kN /m <sup>2</sup>
Cubierta plana, a la catalana o invertida con acabado de grava	2,50 kN /m <sup>2</sup>

Así pues, una vez evaluadas las cargas que recaen en cada una de las tipologías de plantas, para el cálculo de la estructura determinamos una carga media de 2,25 kN /m<sup>2</sup>.

#### ▪ Acciones variables; sobrecarga de uso:

Únicamente tendremos en consideración de acciones variables la sobrecarga de uso, es decir, el peso de todo aquello que puede gravitar sobre el edificio distribuida uniformemente sobre los forjados por razón simple de su uso.

En ella se incluyen tanto los efectos derivados del uso normal, personas, mobiliario, enseres, mercancías habituales, contenido de los conductos, maquinaria y en su caso vehículos, así como las derivadas de la utilización poco habitual, como acumulación de personas, o de mobiliario con ocasión de un traslado.

Dependiendo de la categoría de uso distinguimos las siguientes sobrecargas:

Categoría de uso		Subcategoría de uso		Carga
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas	2 kN /m <sup>2</sup>
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5 kN /m <sup>2</sup>
F	Cubiertas transitables privadas			1 kN /m <sup>2</sup>



### 3.4. Parámetros a evaluar

#### \* Rigidez

En éste trabajo definimos la rigidez de un forjado como la diferencia entre la flecha exigida para el mismo según la normativa de aplicación y la flecha máxima que se genera en cualquier punto de éste.

$$\text{Rigidez} = f_{\text{exigida}} - f_{\text{máxima}}$$

Atendiendo al “Artículo 50.1 Consideraciones generales” de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE 08), establecemos como flecha exigida ( $f_{\text{exigida}}$ ), en términos relativos a la longitud  $L$  del elemento que se comprueba, el menor de los valores  $L/250$  y  $L/500+1$  cm.

La flecha máxima ( $f_{\text{máxima}}$ ), es la flecha total a plazo infinito, debida al conjunto de las cargas actuantes. Está formada por la flecha instantánea producida por todas las cargas más la flecha diferida debida a las cargas permanentes y cuasipermanentes a partir de su actuación.

Para su cuantificación, se ha utilizado el programa CYPE Ingenieros 2017.b. En el caso de los forjados unidireccionales, sí que es posible obtenerla automáticamente, pero en el caso de los forjados reticulares no.

Para ello, es necesario hacerlo desde la pestaña *Isovalores* del programa, en la que se visualizan los isovalores de desplazamientos en Z debido a la combinación gravitatoria ( $PP+C_m+Q_a$ ), tal y como vemos en la siguiente imagen.

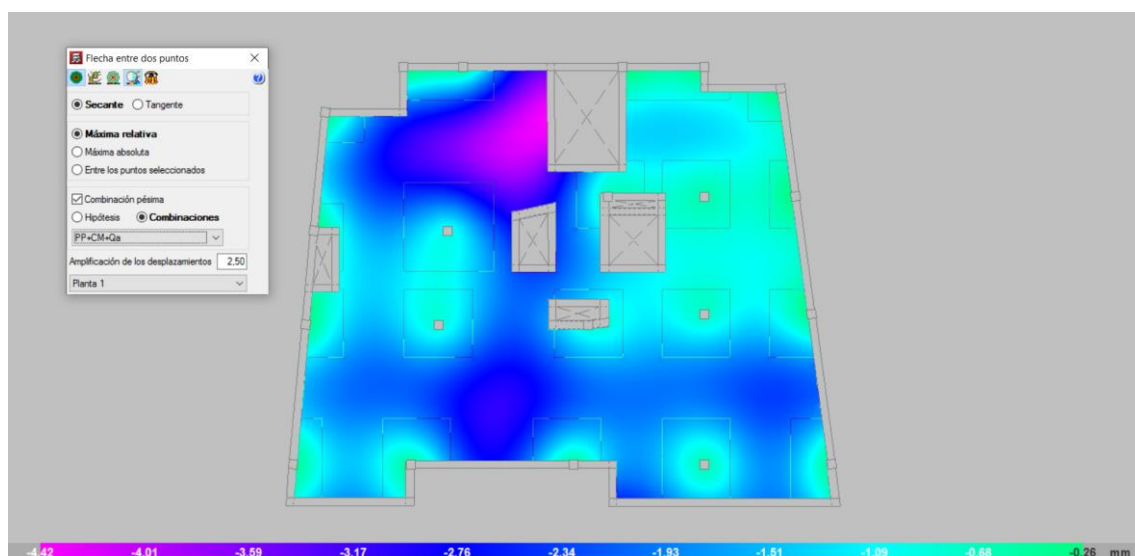


Ilustración 3.8: Captura de pantalla del programa informático CYPE

Como se puede apreciar en la imagen, la flecha corresponde a la flecha instantánea máxima relativa (diferencia entre la flecha máxima propia del forjado y la flecha en apoyos). Para obtener la flecha a plazo infinito multiplicamos la anterior por un coeficiente (en este caso 2,50).

Dicho coeficiente depende del proceso constructivo. Si se trata de un proceso constructivo cuidado, en el que se preste especial detalle a los recubrimientos de las armaduras y se sopanda correctamente la placa en tiempo y forma se puede aplicar 2,5. Si estos aspectos no son tenidos muy en cuenta es mejor aplicar 3.

#### **\* Peso y canto**

Tomaremos aquel con el que cuenta la propia base de datos de CYPE Ingenieros para cada uno de los forjados.

#### **\* Coste y tiempo de ejecución**

El precio como el tiempo de ejecución será extraído a través del módulo Arquímedes del propio CYPE, teniendo en cuenta la base de datos del *Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Valencia* y las siguientes características de edificación:

- Accesibilidad buena
- Topografía con desniveles mínimos
- Mercado en crecimiento sostenido
- Edificio plurifamiliar aislado

Sólo se tendrá en cuenta el forjado en sí, excluyendo la parte correspondiente a los pilares de la estructura, incluyendo en el precio tanto recursos humanos, como materiales, medios auxiliares y costes indirectos que repercuten en el mismo.

#### **\* Aislamiento térmico y acústico**

Para la comparación de las propiedades térmicas y acústicas de los forjados en cuestión tendremos en cuenta el "*Catálogo de Elementos Constructivos*" redactado por el Instituto Eduardo Torroja y proporcionado por el Ministerio de Vivienda, versión de Marzo de 2010.

De igual manera, haremos referencia al "*Documento Básico HE Ahorro de Energía*" del CTE con el fin de extraer diferente información y variables.

### 3.5. Resultados del estudio paramétrico

A continuación, se muestran los resultados del análisis previo de manera gráfica, donde se pueden evaluar y comparar cada uno de los parámetros nombrados en el apartado 3.4 del presente documento.

#### 3.5.1. Comparación de resistencia y rigidez estructural

Para comenzar con el cotejo de los resultados, hemos decidido adentrarnos en lo que a resistencia y rigidez se refiere de cada uno de los forjados estudiados, pues consideramos que es uno de los aspectos de mayor importancia a la hora de elegir un forjado para su posterior construcción.

A continuación, mostramos las gráficas donde se ve representada la flecha máxima que se genera para cada luz en cada uno de los forjados, haciendo distinción de las diferentes sobrecargas de uso analizadas.

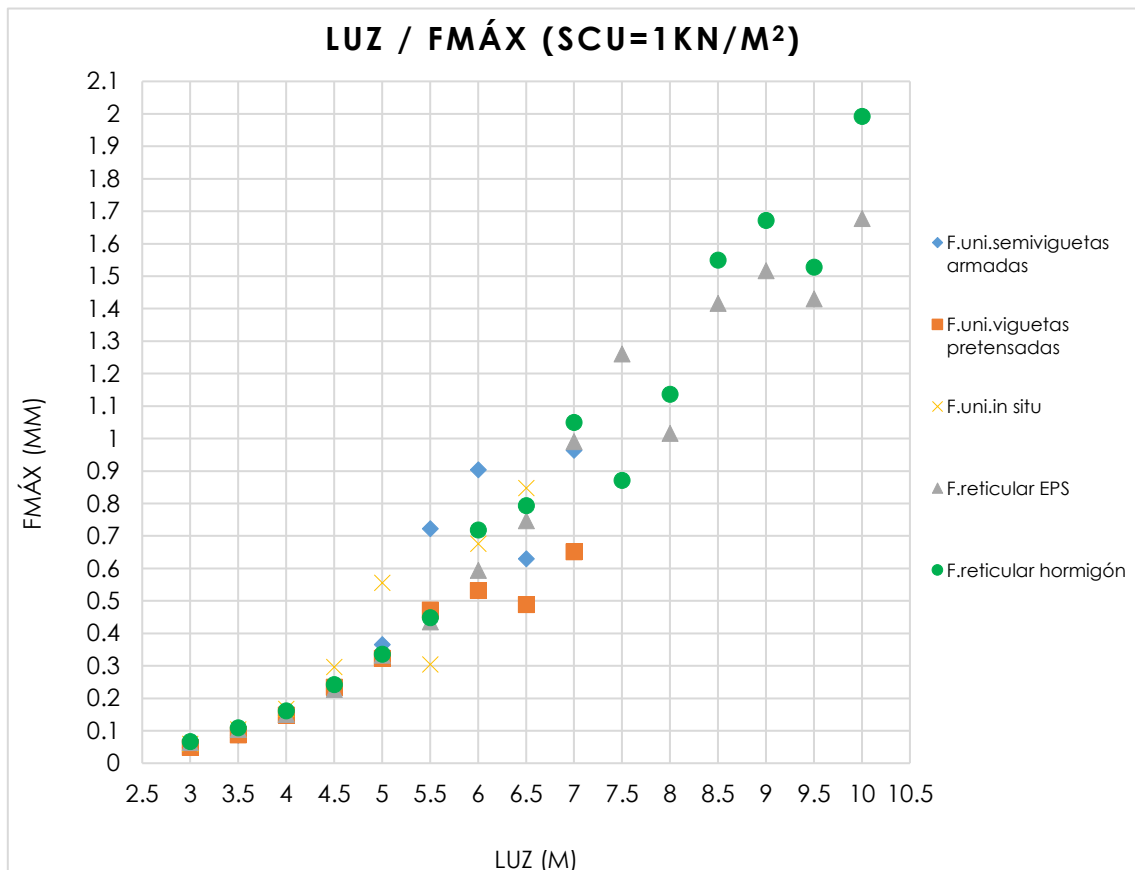


Gráfico 3.1: Flecha frente a luz para sobrecarga de uso 1 kN/m<sup>2</sup>

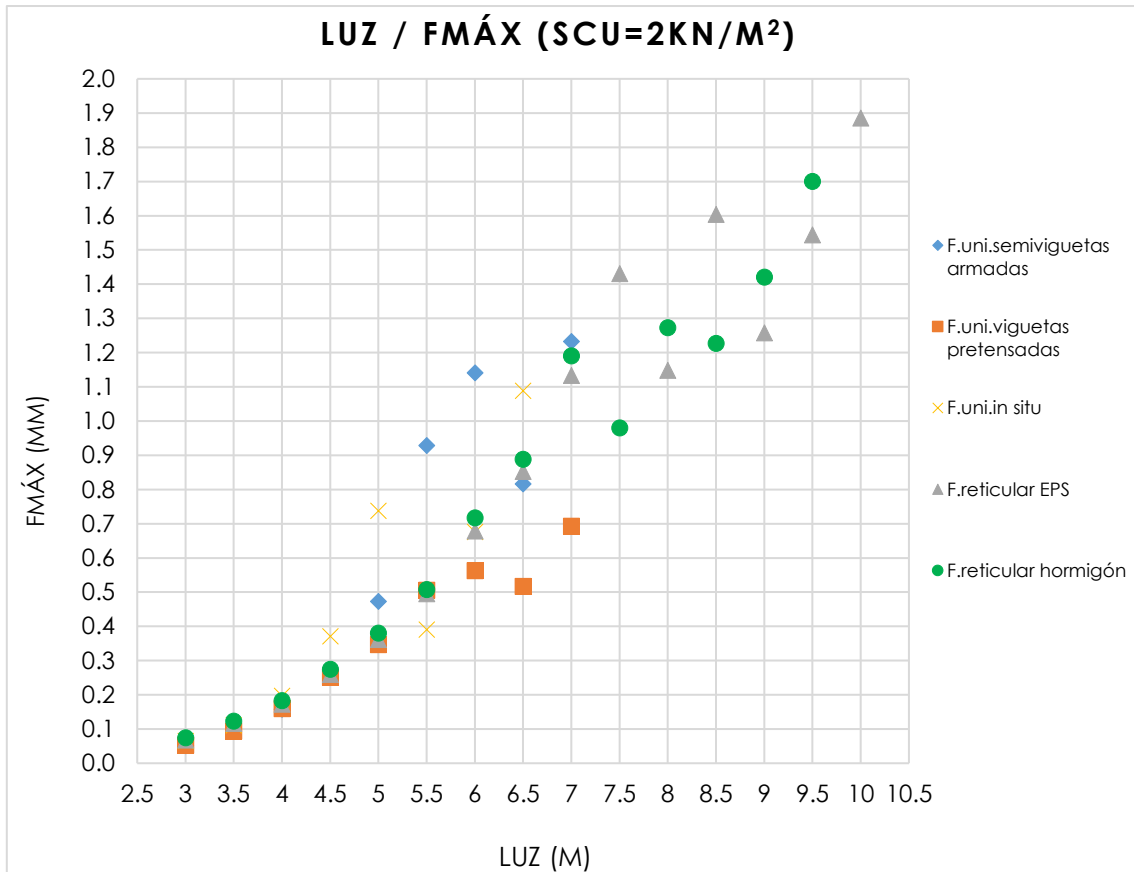


Gráfico 3.2: Flecha frente a luz para sobrecarga de uso 2 kN/m<sup>2</sup>

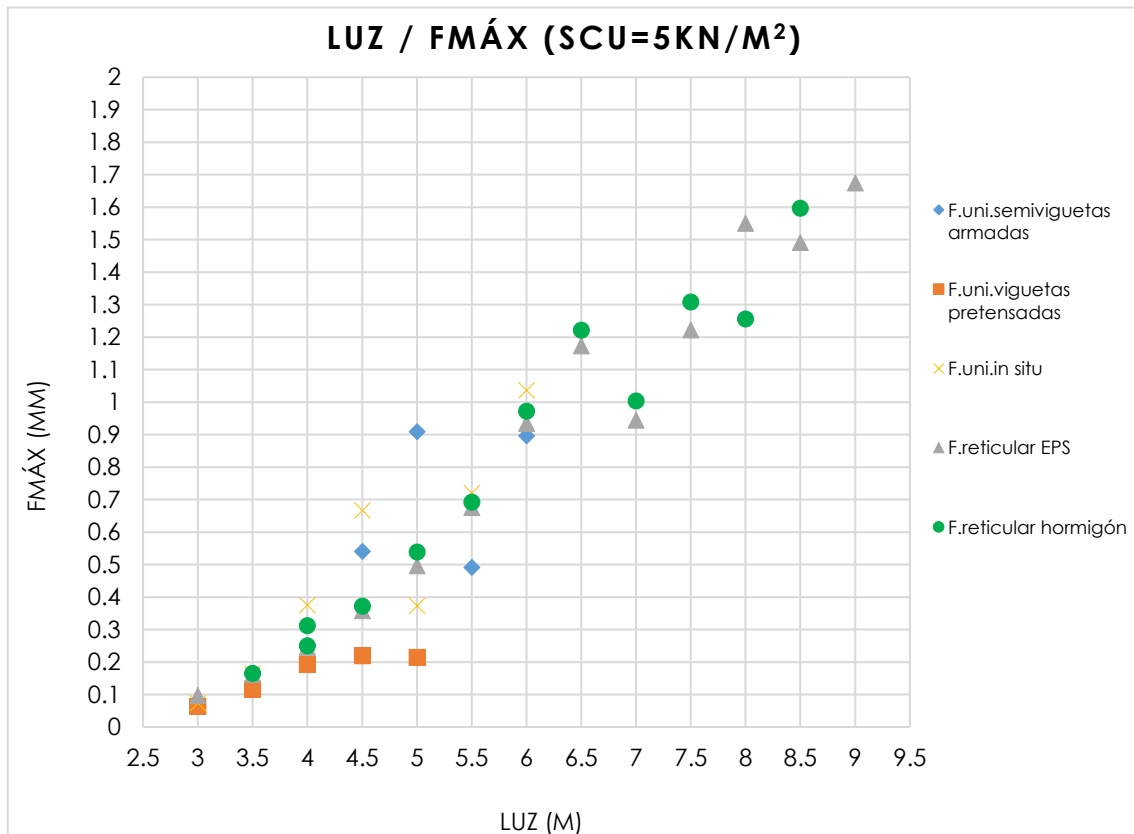


Gráfico 3.3: Flecha frente a luz para sobrecarga de uso 5 kN/m<sup>2</sup>

Como comentario a las gráficas vistas anteriormente, podemos decir que hasta 5 metros no es posible observar una diferencia clara entre los diferentes forjados, si no que todos ellos cuentan con una flecha máxima similar:

	<b>L=3m</b>	<b>L=4m</b>	<b>L=5m</b>
<b><i>f</i><sub>máx</sub></b>	0.07 mm	0.16 mm	0.36 mm

Tabla 3.12: Flecha aproximada según luces con sobrecarga 1 y 2 kN/m<sup>2</sup>

A partir de los 5 metros ya existe mayor dispersión entre los puntos, lo que sí que nos proporciona una información de la diferencia de flechas existente, siendo el forjado de viguetas pretensadas el que cuenta con menor flecha hasta alcanzar los 7 metros de luz.

Al contrario que en sobrecargas de uso de 1 y 2 Kn/m<sup>2</sup>, en el caso con sobrecarga de uso de 5 kN/m<sup>2</sup> sí que podemos ver una clara diferenciación del forjado de viguetas pretensadas hasta 5 metros (ya que es la máxima luz posible para este tipo de forjado), el cual nos ofrece la menor flecha posible:

	<b>L=3m</b>	<b>L=4m</b>	<b>L=5m</b>
<b><i>f</i><sub>máx</sub></b>	0,08 mm	0.2 mm	0.2 mm

Tabla 3.13: Flecha aproximada según luces con sobrecarga 5 kN/m<sup>2</sup>

Una vez alcanzado ese punto, hasta 6 metros sería el forjado de viguetas armadas el que menos flecha tendría, y pasaría a ser el forjado reticular de casetón de EPS a partir de los 6,5m hasta los 9 m de luz.

Vistas y comentadas las primeras gráficas de flecha frente a luz, vamos representar gráficas en función de la rigidez con la que cuenta cada uno de los forjados igualmente dependiendo de la luz.

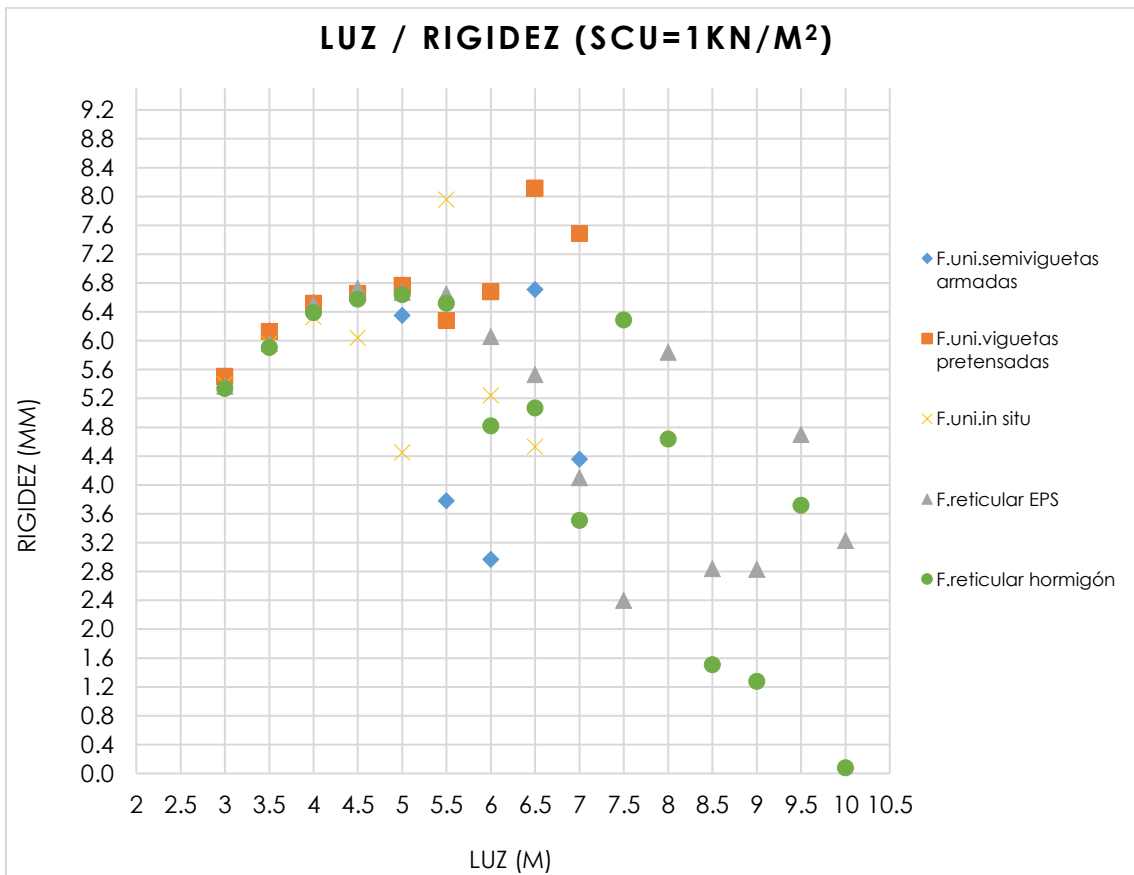


Gráfico 3.4: Rigidez frente a luz para sobrecarga de uso 1 kN/m<sup>2</sup>

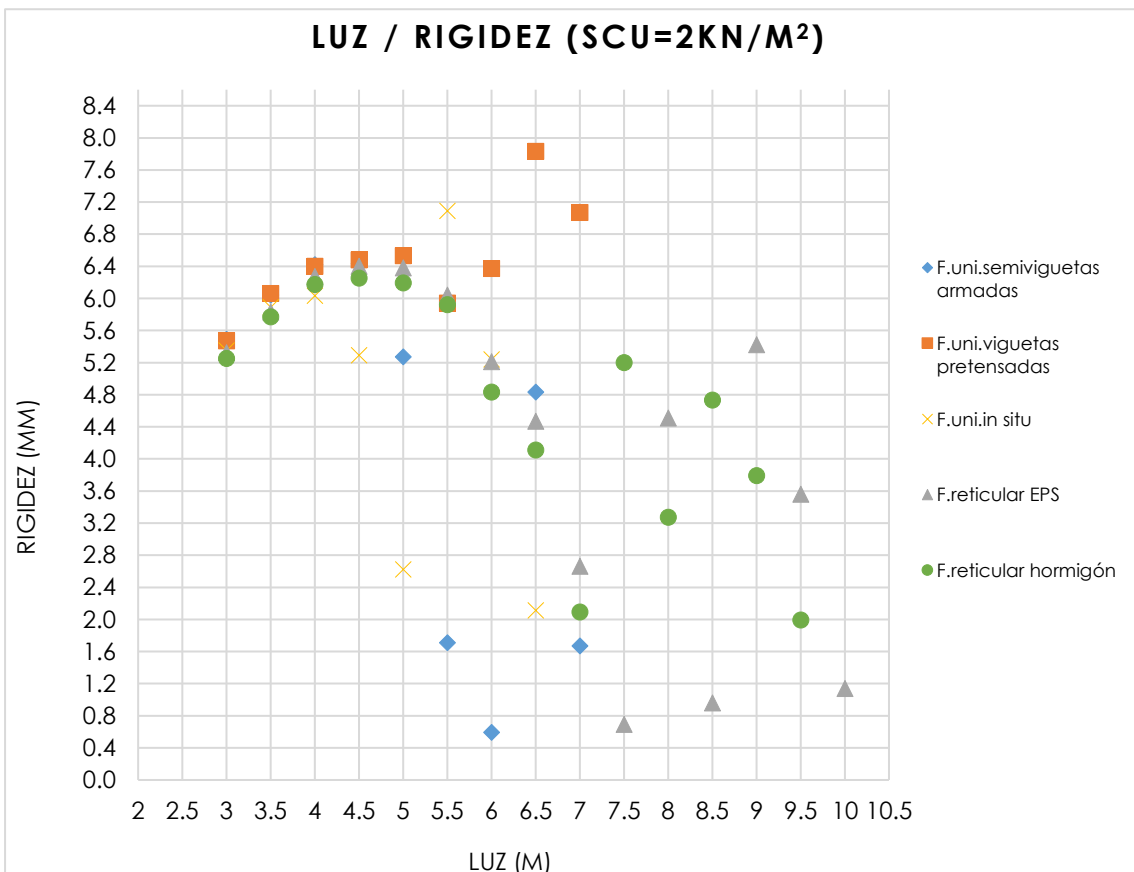


Gráfico 3.5: Rigidez frente a luz para sobrecarga de uso 2 kN/m<sup>2</sup>

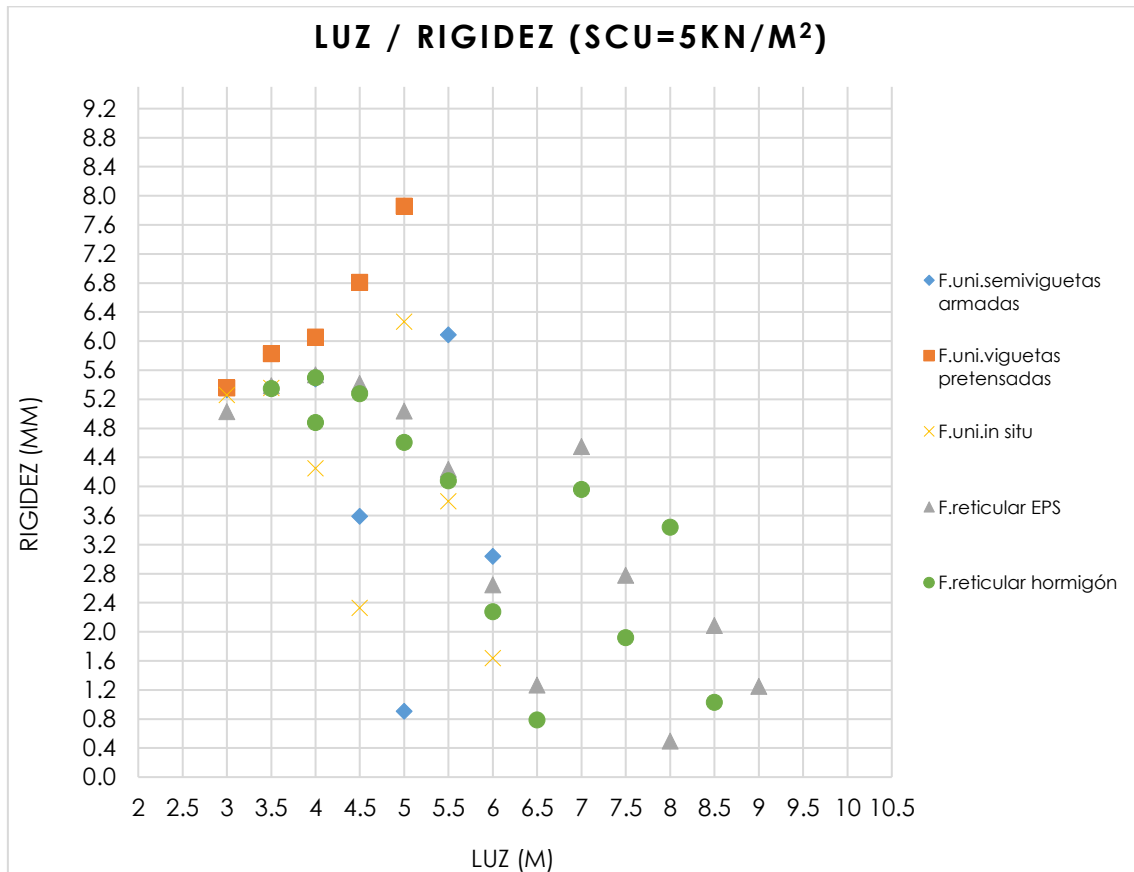


Gráfico 3.6: Rigidez frente a luz para sobrecarga de uso 5 kN/m<sup>2</sup>

De igual manera que ocurre en las gráficas de flecha/luz, con sobrecarga de uso igual a 1 kN/m<sup>2</sup>, podemos destacar la similitud en cuestión de rigidez que existe en todos los forjados hasta 5 m de luz.

Con sobrecargas de uso igual a 2 kN/m<sup>2</sup> observamos que la relación entre los forjados se distancia mientras que para sobrecarga de uso igual a 5 kN/m<sup>2</sup> la diferencia es notable, siendo el forjado de viguetas pretensadas el más destacado, creando una clara tendencia alcista.

Esto se debe simplemente que, a partir de los 4,5 metros de luz, se produce un aumento de canto, y por tanto la rigidez aumenta notablemente.

Además, podríamos determinar que el forjado de viguetas pretensadas es el que mayor rigidez posee frente a los demás, pudiendo asegurar luces de hasta 7 metros con sobrecargas de 1 y 2 kN/m<sup>2</sup>, y hasta 5 m con sobrecargas de 5 kN/m<sup>2</sup>.

Cabe destacar que para algunas luces (5,5 m en SCU=1 y 2 kN/m<sup>2</sup>) no es el forjado de viguetas pretensadas el que mayor rigidez ofrece -sino el ejecutado "in situ"-, aunque se debe a un aumento de canto de éste último, ya que con el mismo canto que el de viguetas pretensadas no genera la mínima flecha exigida.

Es decir, en una misma luz (5,5 metros), para que el forjado de viguetas "in situ" cumpla con la flecha exigida por la normativa, y por tanto con la rigidez, hay que utilizar un canto superior al empleado en el forjado de vigueta pretensada.

Para luces superiores a 5 metros es difícil distinguir un forjado predominante, si bien es cierto que para luces mayores de 7 metros en  $SCU=1$  y  $2 \text{ kN/m}^2$ , y mayores a 6,5 metros en  $SCU=5 \text{ kN/m}^2$ , son únicamente los forjados reticulares los capaces de tener la flecha exigida, pues a partir de éstas flechas no es posible colocar un forjado unidireccional de canto razonable y realista que cumpla con los requisitos de resistencia y rigidez exigidos por la normativa vigente.

Entre ellos, podríamos determinar que el forjado compuesto con casetón de poliestireno posee mayor rigidez, aunque en ciertas luces sea el forjado de casetón de hormigón, es debido a que en esos puntos éste forjado necesita de más canto en comparación con el forjado de poliestireno para ofrecer la rigidez exigida, con lo que, al aumentar el canto, supera al forjado de poliestireno en rigidez, éste último con un canto menor.

De esta manera, en rasgos generales podríamos decretar el forjado con mayor rigidez estructural, en función de la luz y la sobrecarga de uso con que se cuenta:

luz	$SCU=1 \text{ y } 2 \text{ Kn/m}^2$	$SCU=5 \text{ Kn/m}^2$
<b>0-5 m</b>	F. uni. viguetas pretensadas	
<b>5-7 m</b>	F. uni. viguetas pretensadas	F.reticular EPS
<b>7-10 m</b>	F.reticular EPS	

Tabla 3.14: Elección del forjado con mayor rigidez en función de la luz y la SCU

Tal y como se explica en el apartado "3.1. Introducción", en el caso de los forjados reticulares, se han tomado datos de casos con un "barrido" de luces tanto en sentido X como en sentido Y (ver il.3.2 – página 31).

Después de analizar los resultados y de elaborar diferentes gráficas de flecha y rigidez estructural, no hemos podido sacar una conclusión clara en lo que a los parámetros anteriores dichos se refiere.

Únicamente, podemos corroborar nuevamente, que al igual que ocurría en los casos estudiados en los que solamente se aumentaba la luz en sentido Y, el forjado reticular fabricado con casetón de poliestireno expandido es el que cuenta con menos flecha, y por tanto con mayor rigidez en todo caso.



Sí que es cierto, que al contrario que ocurría en el otro tipo de casos, la diferencia de rigidez entre los dos forjados reticulares estudiados es menos acusada.

Como aspecto a destacar, hemos observado que la superficie a alcanzar con ésta última configuración es mayor que siendo rectangulares los paños, hablando siempre de hasta un máximo de 35 cm de canto.

De esta manera, podríamos asegurar que debido a que dichos forjados trabajan en ambos sentidos, es más idónea su colocación en casos con paños lo más cuadrado posible, aprovechando así al máximo sus

En la siguiente tabla, se muestran los datos de las luces máximas alcanzadas en cada uno de los forjados, donde podemos comparar así la información.

SCU=1 Kn/m <sup>2</sup>						
	Luz (m)	Sup (m <sup>2</sup> )	Canto (cm)	Fmáx (cm)	Fexig (cm)	rigidez
<b>FORJADO RETICULAR CASETÓN DE EPS</b>						
<b>Aumento en eje X</b>	10	120	35	1.667	2	3.2
<b>Aum. en ejes X e Y</b>	8	256	35	1.317	1.6	2.83
<b>FORJADO RETICULAR CASETÓN DE HORMIGÓN</b>						
<b>Aumento en eje X</b>	10	120	35	1.992	2	0.1
<b>Aum. en ejes X e Y</b>	8	256	35	1.471	1.6	1.29

Tabla 3.15: Comparación de los paños con geometría distinta en SCU 1 kN/m<sup>2</sup>

SCU=2 Kn/m <sup>2</sup>						
	Luz (m)	Sup (m <sup>2</sup> )	Canto (cm)	Fmáx (cm)	Fexig (cm)	rigidez
<b>FORJADO RETICULAR CASETÓN DE EPS</b>						
<b>Aumento en eje X</b>	10	120	35	1.886	2	1.1
<b>Aum. en ejes X e Y</b>	8	256	35	1.486	1.6	1.14
<b>FORJADO RETICULAR CASETÓN DE HORMIGÓN</b>						
<b>Aumento en eje X</b>	9,5	114	35	1.701	1.9	2
<b>Aum. en ejes X e Y</b>	7	196	30	1.362	1.4	0.38

Tabla 3.16: Comparación de los paños con geometría distinta en SCU 2 kN/m<sup>2</sup>

SCU=5 Kn/m <sup>2</sup>						
	Luz (m)	Sup (m <sup>2</sup> )	Canto (cm)	F <sub>máx</sub> (cm)	F <sub>exig</sub> (cm)	rigidez
<b>FORJADO RETICULAR CASETÓN DE EPS</b>						
<b>Aumento en eje X</b>	9	108	35	1.675	1.8	1.3
<b>Aum. en ejes X e Y</b>	7	196	35	1.157	1.4	2.43
<b>FORJADO RETICULAR CASETÓN DE HORMIGÓN</b>						
<b>Aumento en eje X</b>	8,5	102	35	1.597	1.7	1.0
<b>Aum. en ejes X e Y</b>	7	196	35	1.250	1.4	1.5

Tabla 3.17: Comparación de los paños con geometría distinta en SCU 5 kN/m<sup>2</sup>

Como observamos en las gráficas, la superficie a cubrir es notablemente mayor en los casos en los que el “barrido” se ha llevado a cabo en ambos sentidos, ortogonales entre sí.

### 3.5.2. Comparación de canto y peso

A continuación, comenzamos mostrando gráficas que nos reflejan el canto necesario para cada luz y tipo de forjado estudiados.

En ellas podemos ver representados los cantos para cada sobrecarga de uso, con el fin de visualizar de manera rápida en que luces existe diferencia de canto -es decir, por ejemplo, si para una misma luz y tipo de forjado, el canto con sobrecarga de uso=1 kN/m<sup>2</sup> es diferente que el aplicado con sobrecarga de uso=2 kN/m<sup>2</sup>-. De ésta manera, podemos entender también rápidamente los cambios de tendencia, “picos” u oscilaciones que observamos en otras gráficas.

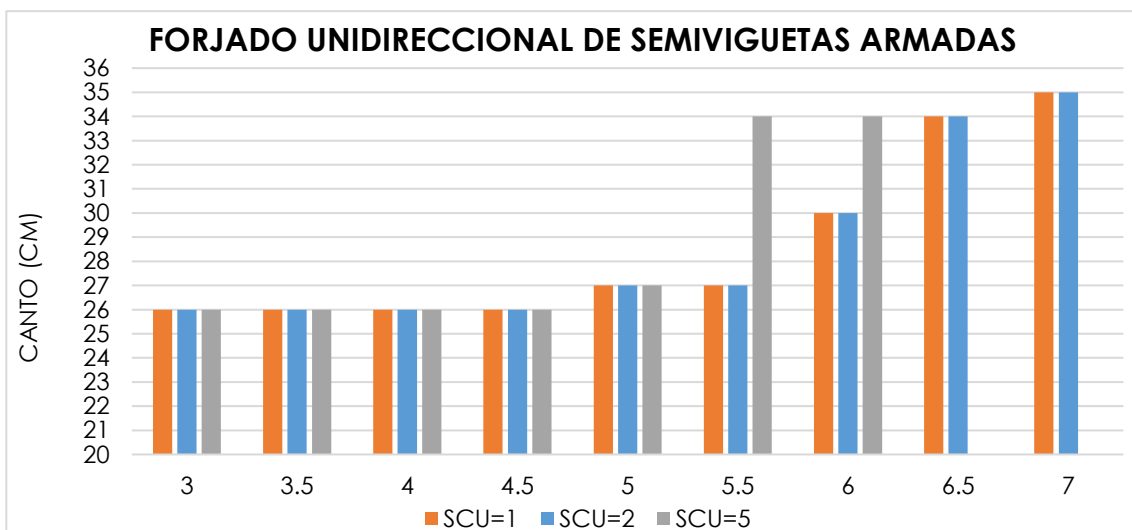


Gráfico 3.7: Canto mínimo en forjados uni. de semiviguetas armadas

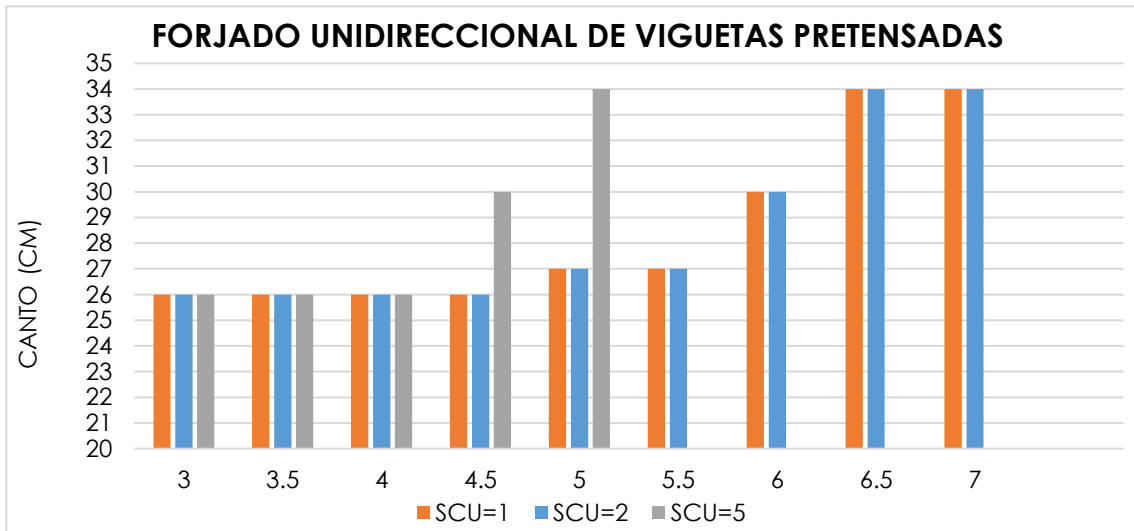


Gráfico 3.8: Canto mínimo en forjados uni. de viguetas pretensadas

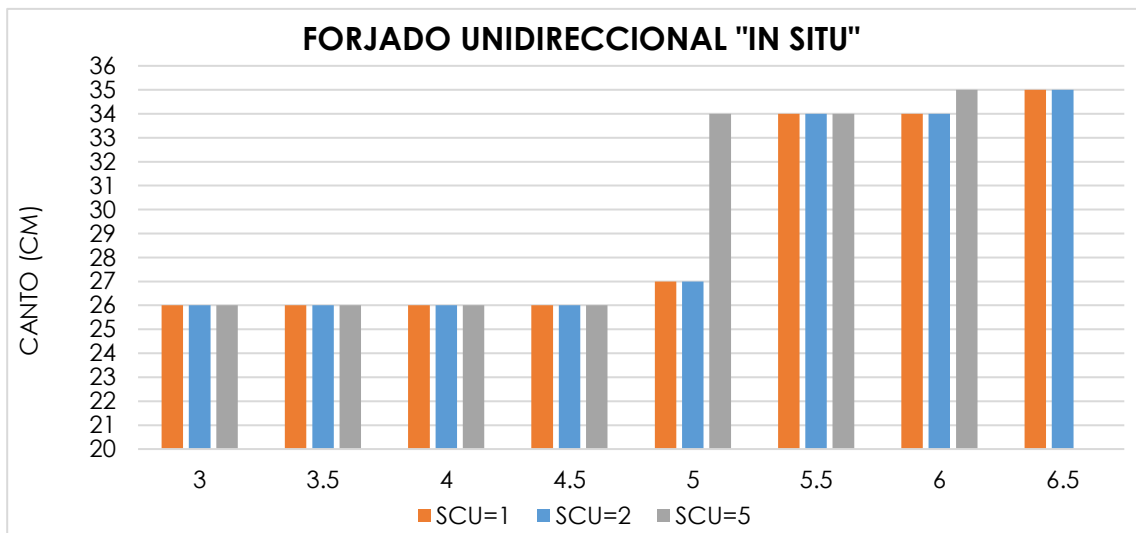


Gráfico 3.9: Canto mínimo en forjados uni. "in situ"

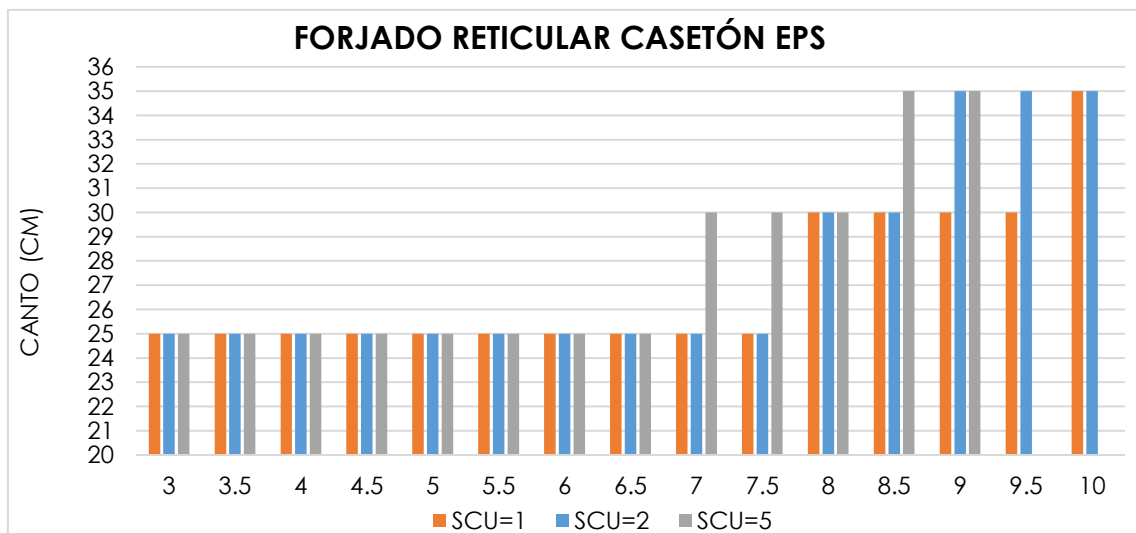


Gráfico 3.10: Canto mínimo en forjados reticulares con casetón de EPS

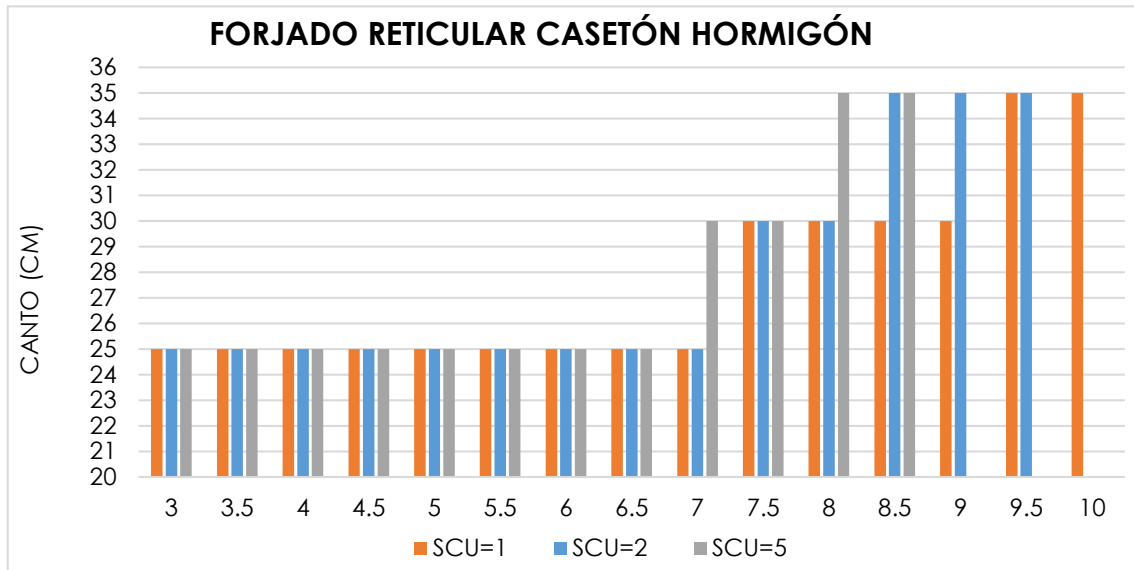


Gráfico 3.11: Canto mínimo en forjados reticulares con casetón de hormigón

En cuestión del canto de los forjados, podemos determinar que en forjados unidireccionales los cantos son idénticos hasta 5 metros de luz, exceptuando el forjado viguetas pretensadas en el que si que podemos ver una diferencia en los 4,5 y 5 m de luz y sobrecarga de uso 5 kN/m<sup>2</sup>.

Ésta diferencia de canto se debe a que la vigueta en sí no cumple, lo que se podría solucionar con un cambio de vigueta o la colocación de vigueta doble en vez de aumentar directamente el canto de todo el forjado.

Con una configuración doble de las viguetas, el problema estaría resuelto en el paño de 4,5 m de luz, y se podría ejecutar con un canto de 26 cm, aunque se ha decidido mantener la configuración de vigueta simple, pues esa ha sido la idea en todo momento y no se ha considerado oportuno cambiar en éste punto.

En forjados reticulares no es hasta los 7 metros donde se experimenta ese aumento de canto entre sobrecargas.

Además de lo nombrado anteriormente, en ellas también podemos percibir las luces máximas alcanzadas, ya que en las luces que no aparece la barra que expresa una determinada sobrecarga supone que, aunque se haya alcanzado el canto máximo se supera la flecha máxima permitida.

Concluida la comparación de los cantos, pasamos a visualizar la equiparación de peso entre los diferentes forjados estudiados:

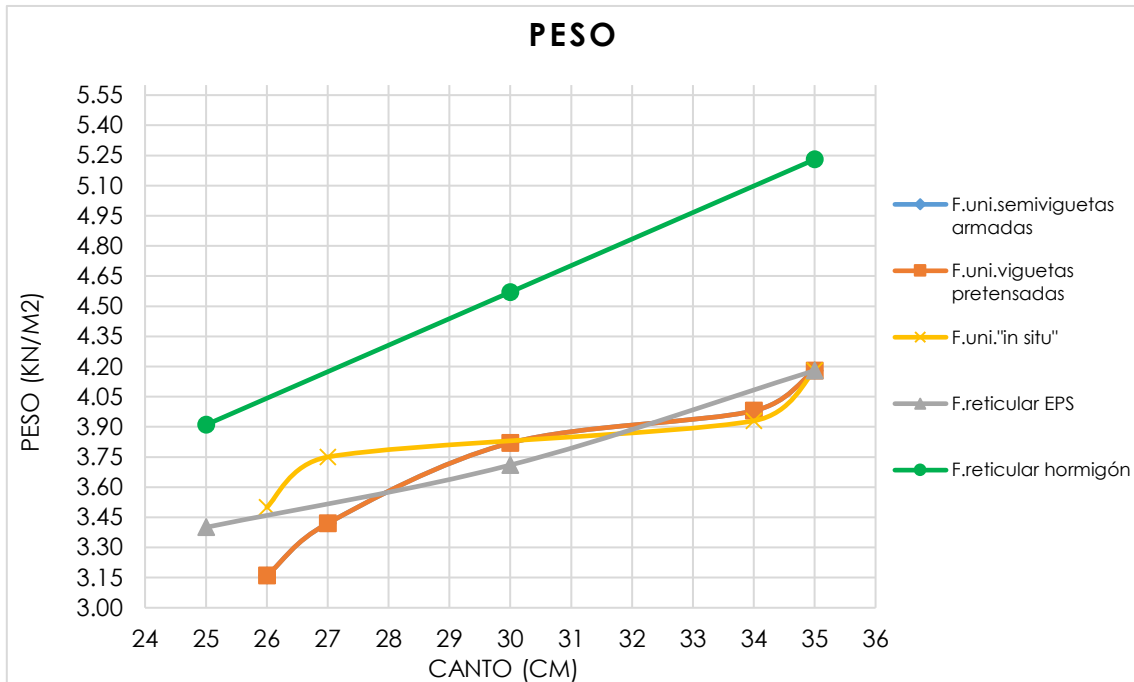


Gráfico 3.12: Peso frente a canto de las diferentes tipologías de forjado estudiadas

Antes de nada, puntualizar que el forjado de semiviguetas armadas guarda el mismo peso que el forjado de viguetas pretensadas, es por ello que no se visualice correctamente en el gráfico.

A partir de aquí, podemos decir que éstos últimos dos forjados son los que cuentan con menor peso para cantos de 26 y 27 cm.

A continuación, sería el forjado unidireccional "in situ", con una diferencia de 0,3 kN/m<sup>2</sup>, aunque habríamos de destacar el forjado reticular de EPS con canto de 25 cm que se encuentra entre ellos.

Alcanzados los 30 cm se produce un gran cambio, el forjado reticular de EPS pasa a ser el más ligero, y los forjados de viguetas pretensadas y de semiviguetas armadas pasarían a ser más pesados que el ejecutado "in situ", aunque con escasa diferencia en cantos de 34 cm, e idéntica con cantos de 35, compartiendo el mismo con todos ellos el forjado reticular de poliestireno extruido.

Además, señalamos que el forjado reticular de hormigón es el más pesado en todo momento, superando al forjado reticular de EPS en un 15%, 25% y 30%, según cantos de 25, 30 y 35 cm respectivamente.

### 3.5.3. Comparación referente al coste

Para comenzar con la comparación a nivel de coste, hemos plasmado la gráfica del coste en función de la luz (Gráfico 3.13) hasta 7 metros, pues consideramos que es la gráfica de mayor importancia en este sentido, ya que hasta dicho valor no existe una diferencia clara de coste entre los forjados.

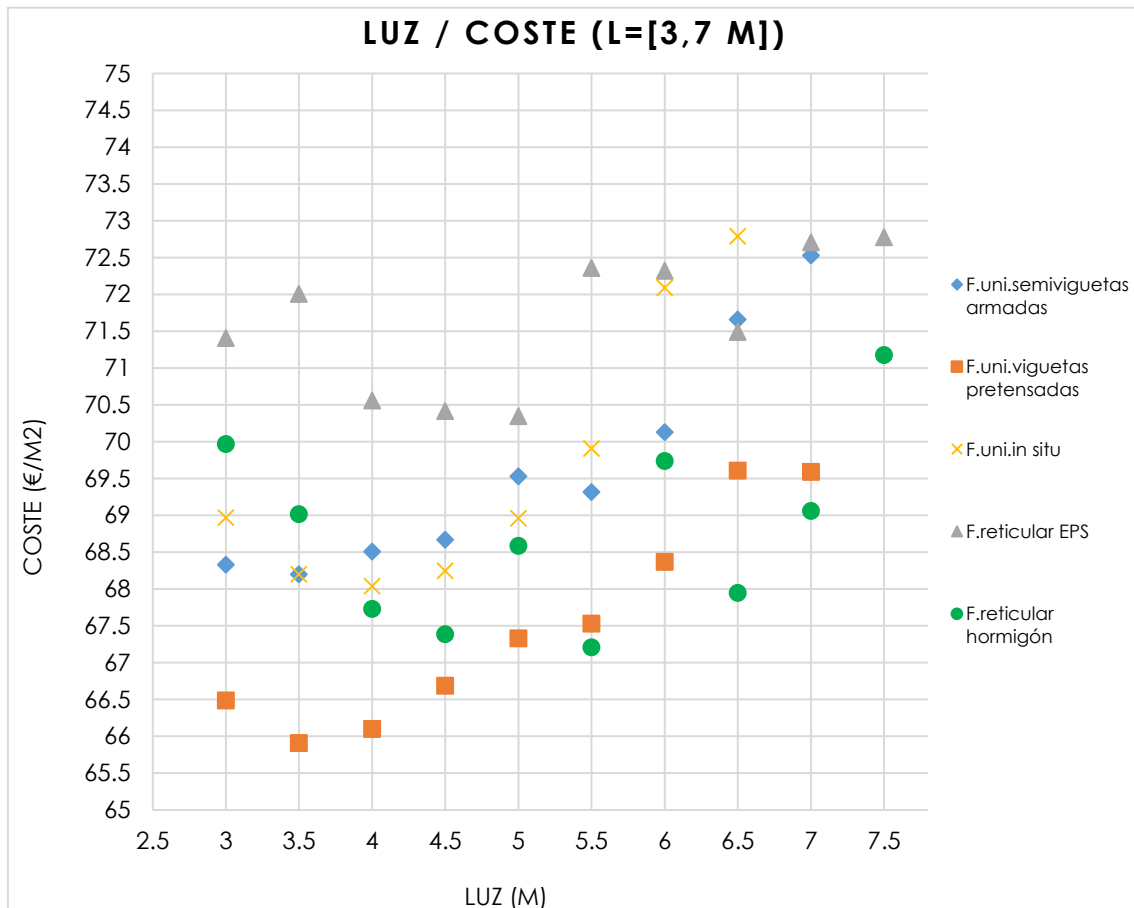


Gráfico 3.13: Coste frente a luz con luces entre 3 y 7 metros

En ésta gráfica no se hace distinción entre las distintas sobrecargas de uso estudiadas, ya que, aunque para una luz "x" el canto pueda ser diferente en alguna de ellas, el aumento de coste es inapreciable, por lo que se ha considerado improductivo llevar a cabo esa distinción.

Así pues, de la gráfica extraemos que hasta luces de 5,5 metros es claramente el forjado de viguetas pretensadas el más económico. A partir de éste sería el forjado reticular con casetón de hormigón (exceptuando luces de 3 y 3,5 m), incluso superaría al forjado de viguetas pretensadas a partir de los 5,5 metros hasta alcanzar luces máximas.

A continuación, sería el forjado ejecutado "in situ", para luces de entre 4 y 5,5 m., y el forjado se semiviguetas para luces entre 5,5 y 7 metros, no habiendo diferencia para 3,5 m. de luz.

También podemos especificar que el forjado reticular con casetón de EPS es el más costoso, exceptuando un par de momentos puntuales.

Una vez superados los 7 metros de luz, sí que se ha considerado oportuno distinguir entre las diferentes sobrecargas de uso, pues los únicos forjados capaces de soportar éstas luces son los forjados reticulares y el cambio de canto en ellos sí que es notable.

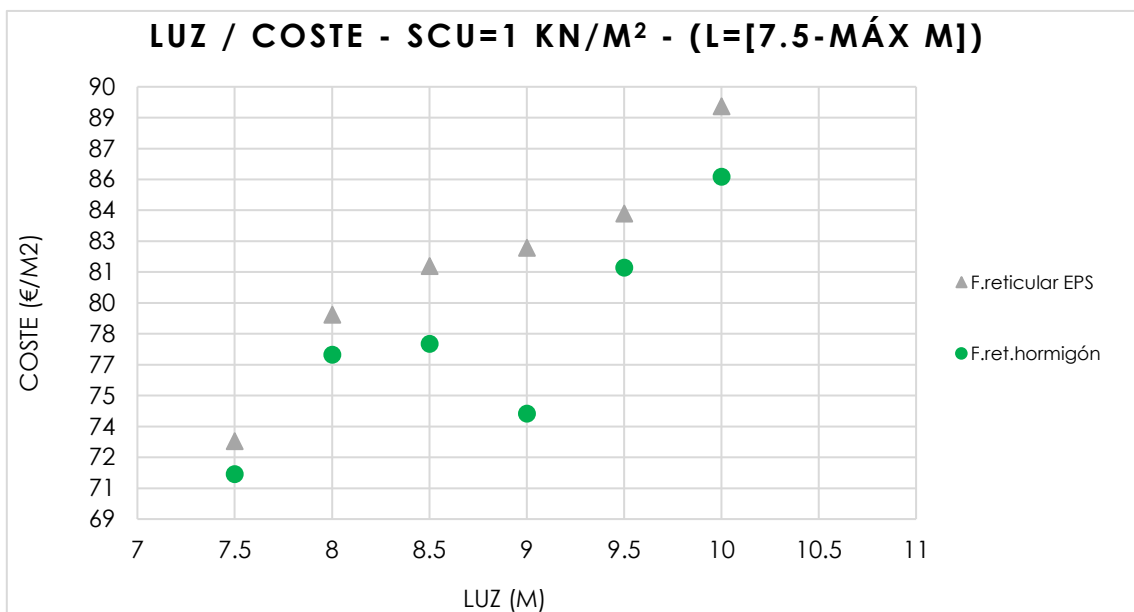


Gráfico 3.14: Coste frente a luz con luces entre 7,5 m y máxima para sobrecarga de uno 1 kN/m<sup>2</sup>

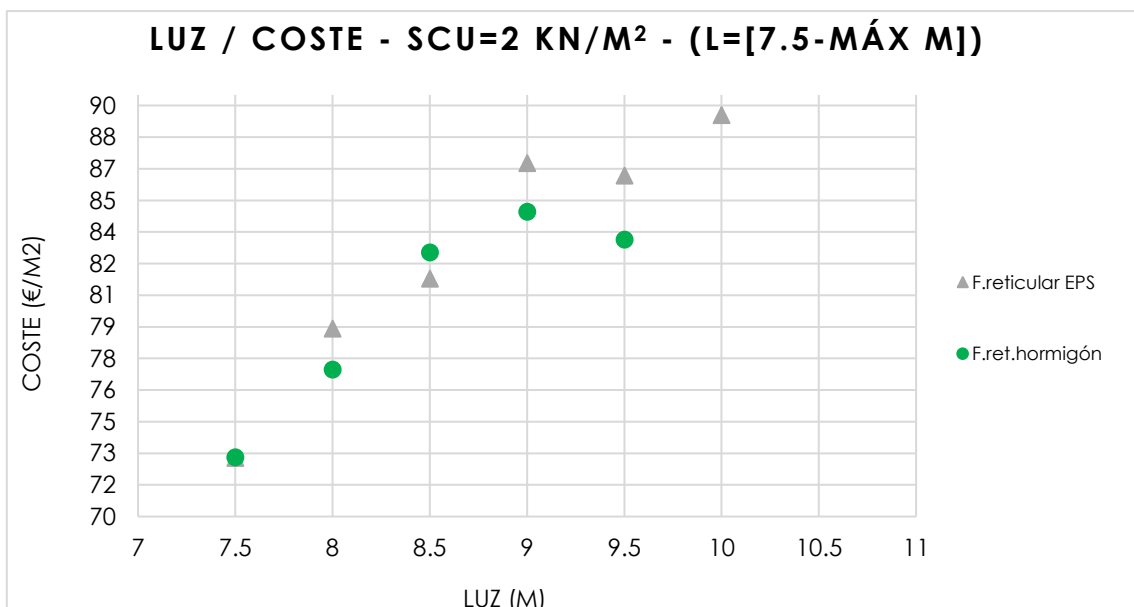


Gráfico 3.15: Coste frente a luz con luces entre 7,5 m y máxima para sobrecarga de uso 2 kN/m<sup>2</sup>

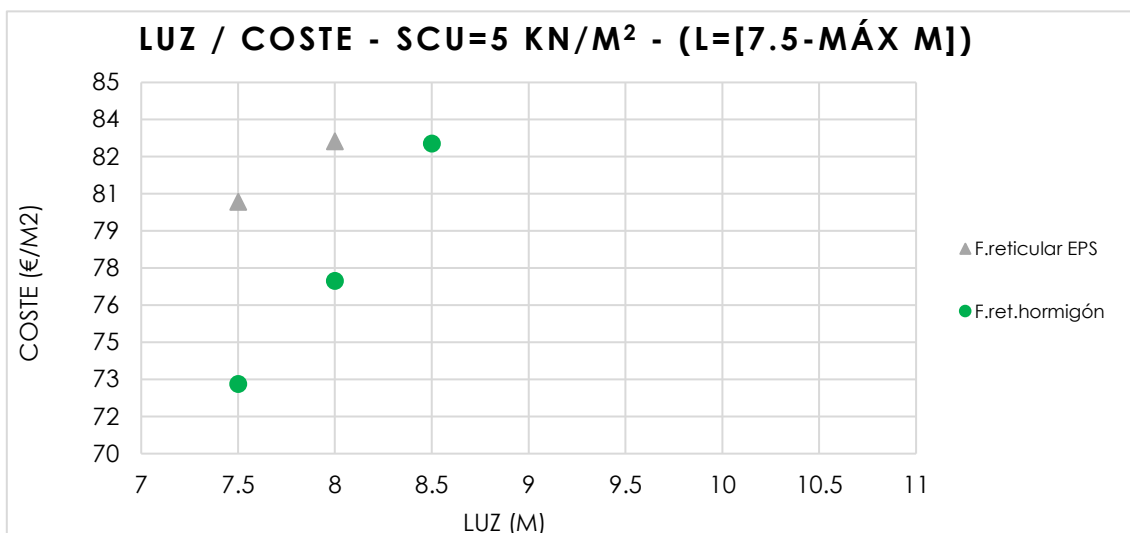


Gráfico 3.16: Coste frente a luz con luces entre 7,5 m y máxima para sobrecarga de uso 5 kN/m<sup>2</sup>

Con las gráficas plasmadas podemos pues observar y evaluar pues los resultados en los rangos dichos.

En el caso de sobrecarga de uso 1 kN/m<sup>2</sup> (Gráfico 3.14) identificamos que el forjado reticular de EPS es superior en coste, aunque con una diferencia de entre 2 y 5 €/m<sup>2</sup> aproximadamente.

Con sobrecarga de uso de 2 kN/m<sup>2</sup> (Gráfico 3.15), la diferencia está más equilibrada. Como por norma general, es el forjado reticular con casetón de EPS el menos económico (aunque es escasa la diferencia), exceptuando luces de 7,5 y 8,5 metros, debido en éste último caso al aumento de los 30 a 35 cm de canto.

Por último, en la hipótesis con sobrecarga de uso 5 kN/m<sup>2</sup> (Gráfico 3.16), observamos igualmente que el forjado de casetón de EPS supera al de hormigón con diferencia de 5 y 7 €/m<sup>2</sup>.

Además de las gráficas vistas hasta ahora en éste último apartado en las que se muestra el coste en función de la luz, hemos elaborado más gráficas suplementarias que nos pueden hacer entender otros factores.

En éste caso, nos referimos a gráficas en las que se expresa el coste de los forjados en cuestión respecto a la flecha máxima generada y la rigidez estructural.



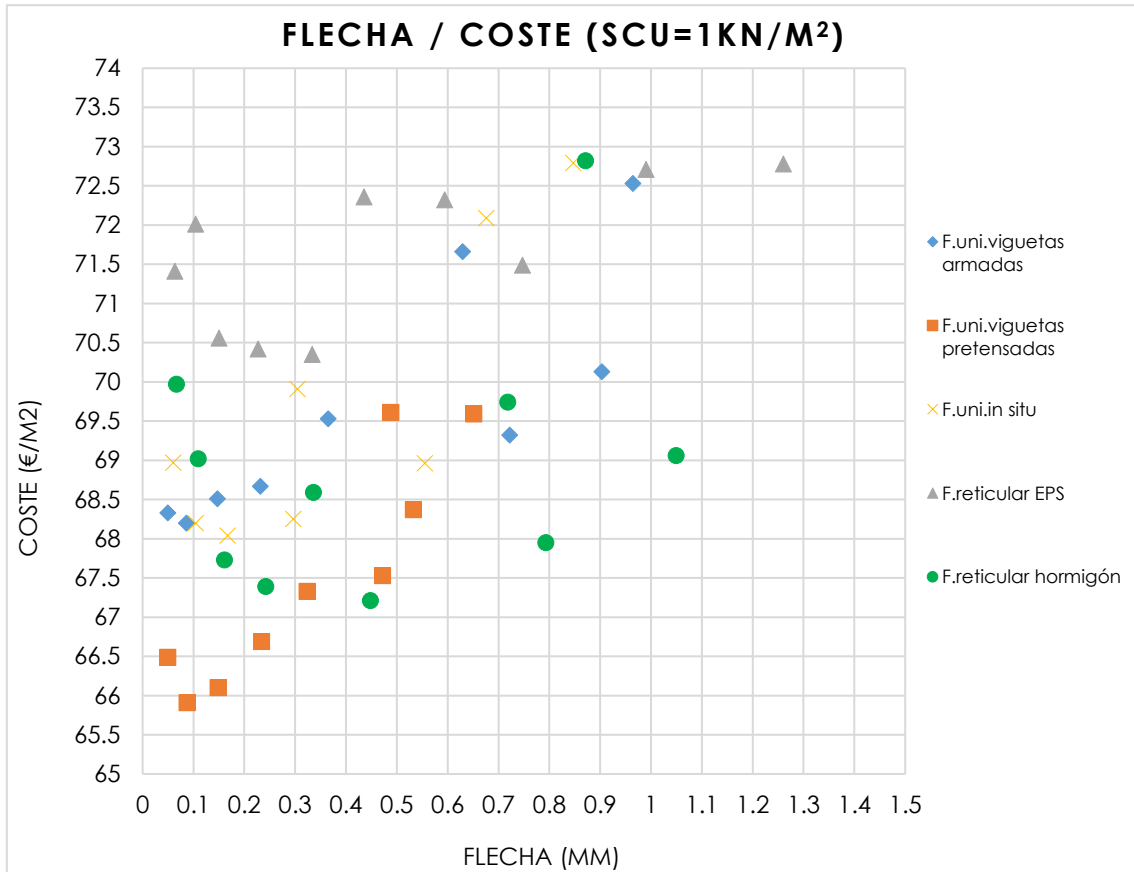


Gráfico 3.17: Flecha frente a coste con sobrecarga de uso 1 kN/m<sup>2</sup>

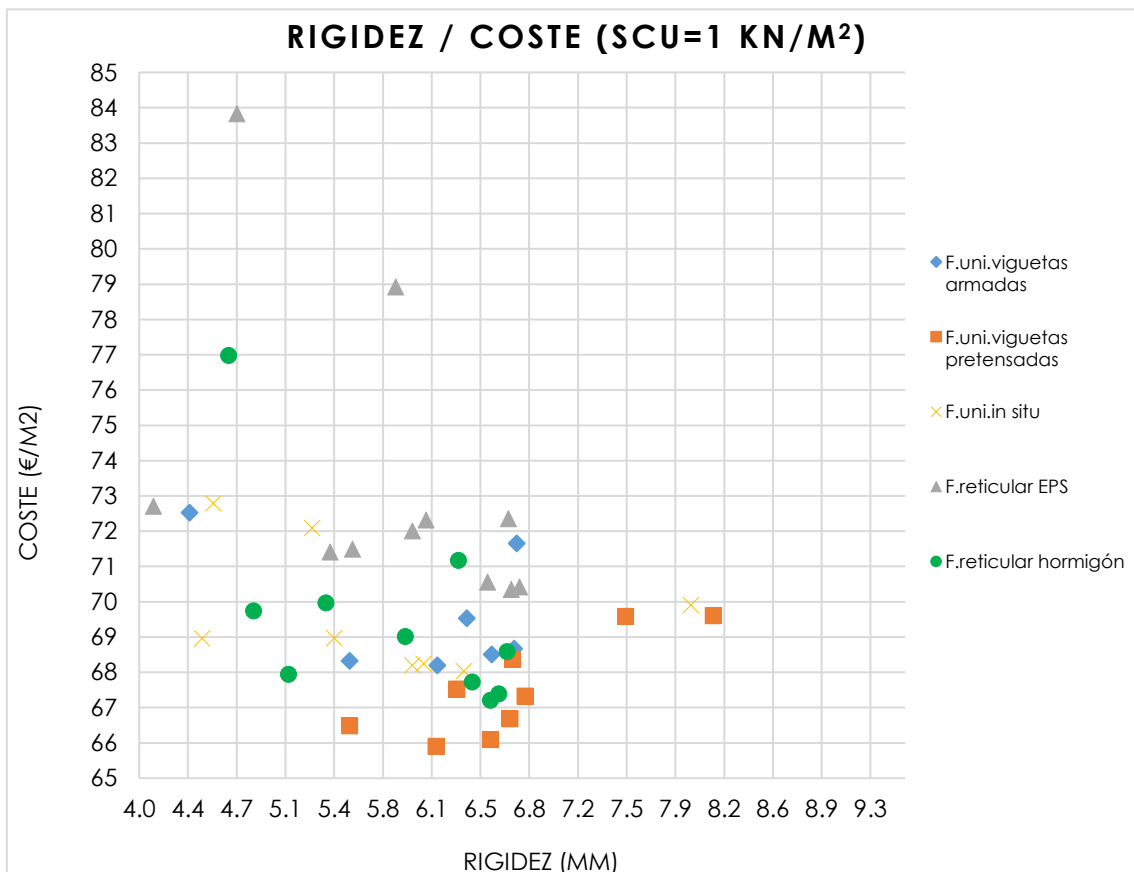


Gráfico 3.18: Rigidez frente a coste con sobrecarga de uso 1 kN/m<sup>2</sup>

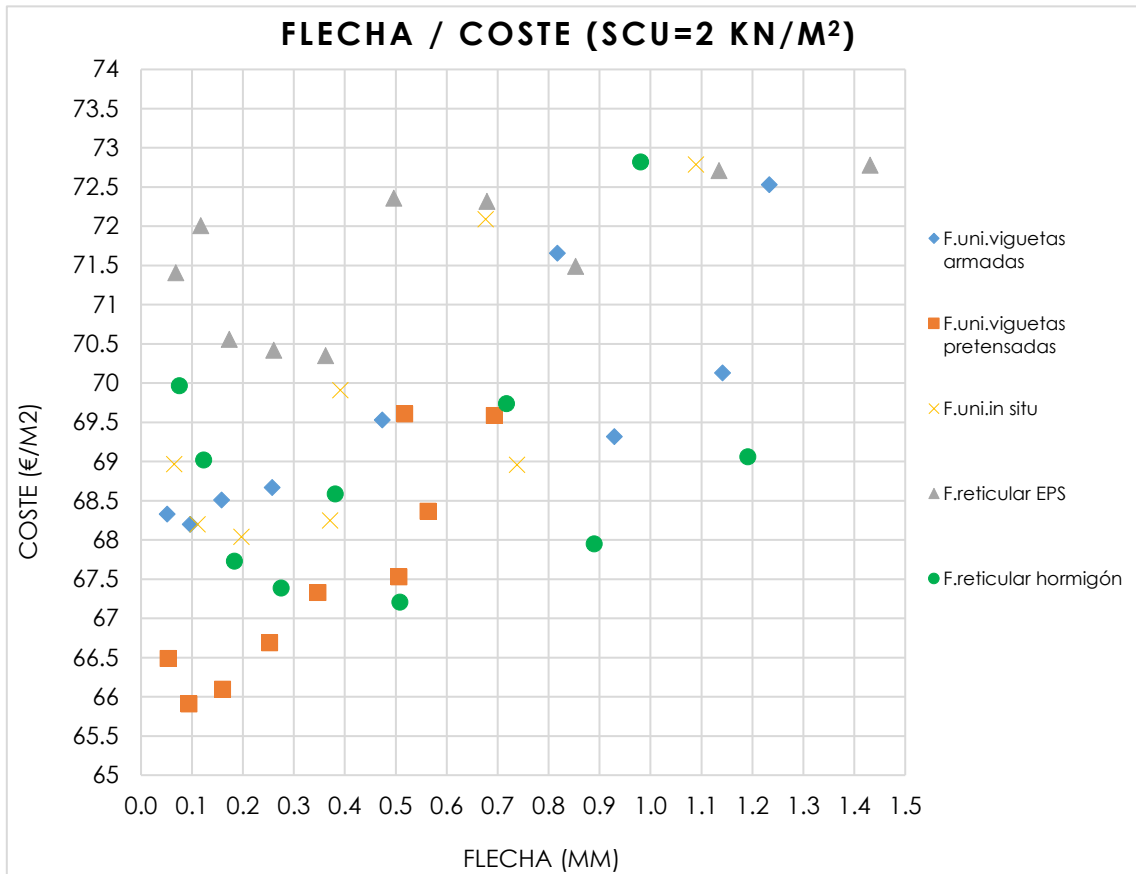


Gráfico 3.19: Flecha frente a coste con sobrecarga de uso 2 kN/m<sup>2</sup>

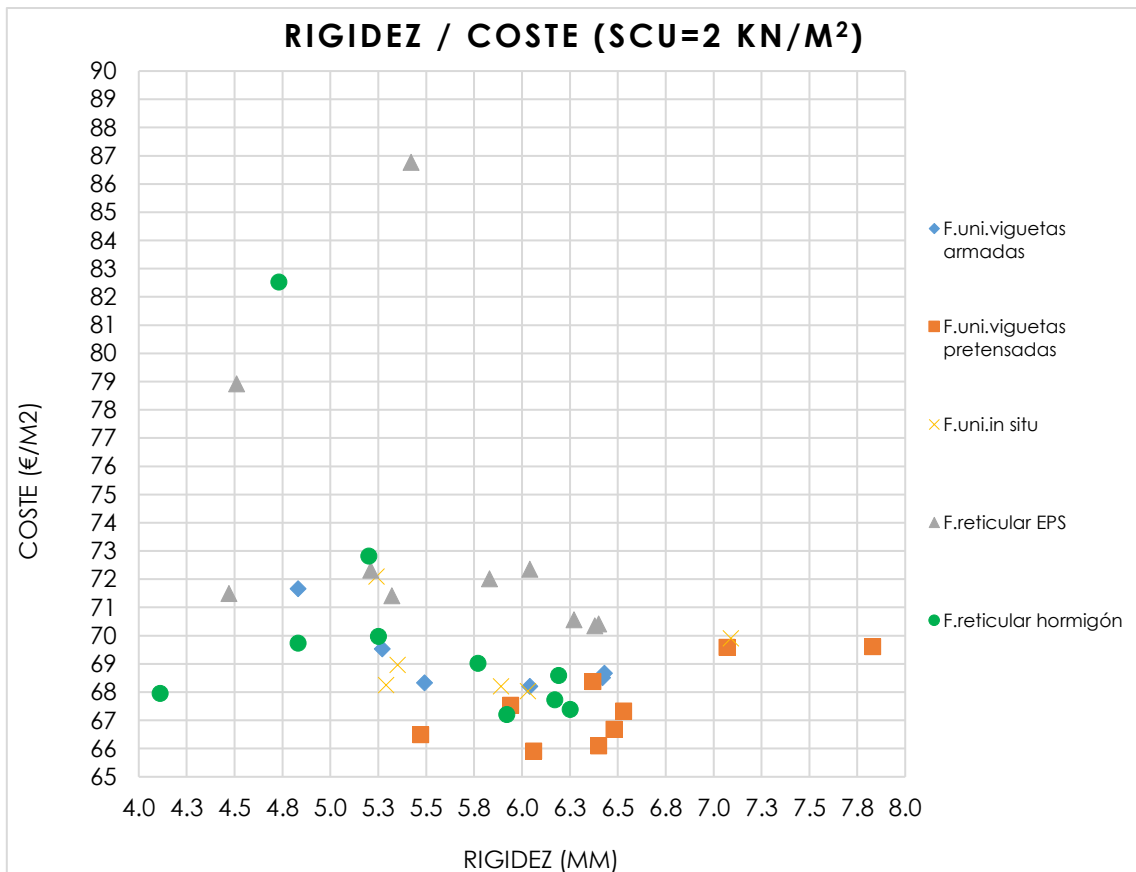


Gráfico 3.20: Rigidez frente a coste con sobrecarga de uso 2 kN/m<sup>2</sup>

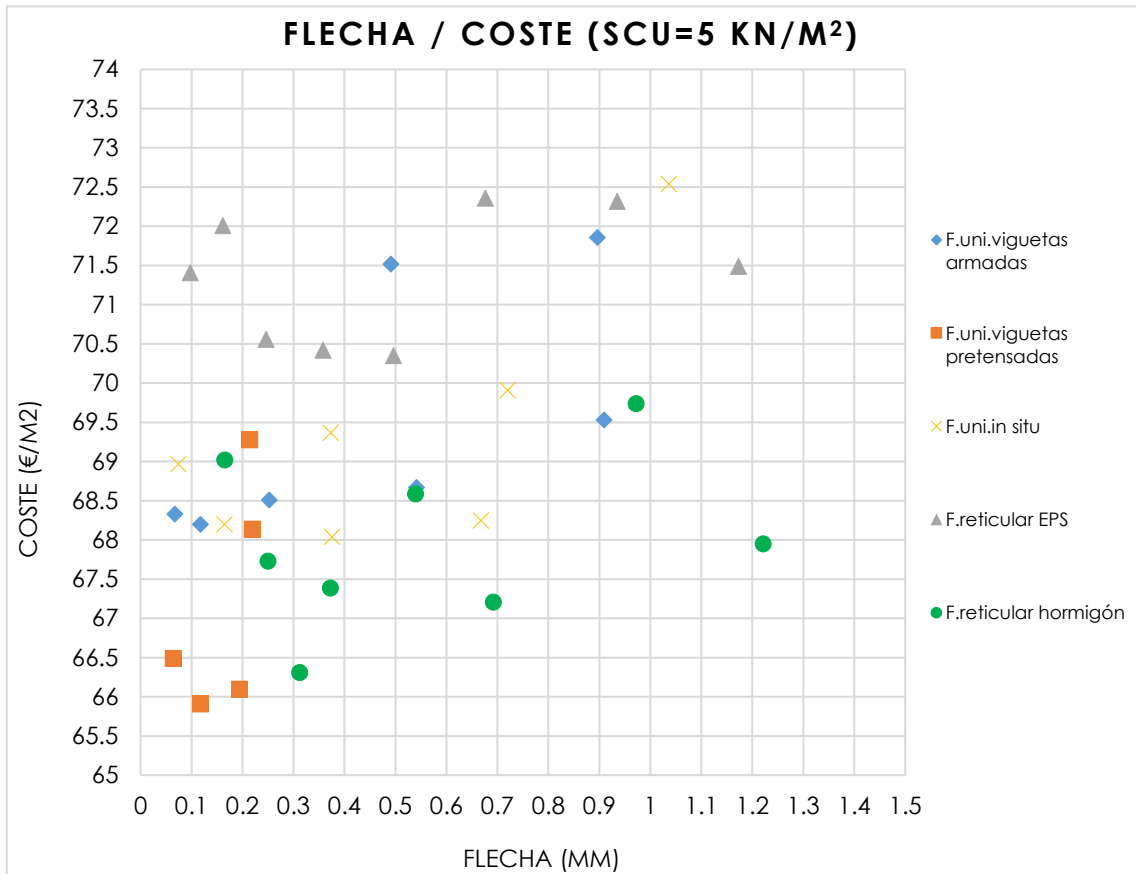


Gráfico 3.21: Flecha frente a coste con sobrecarga de uso 5 kN/m<sup>2</sup>

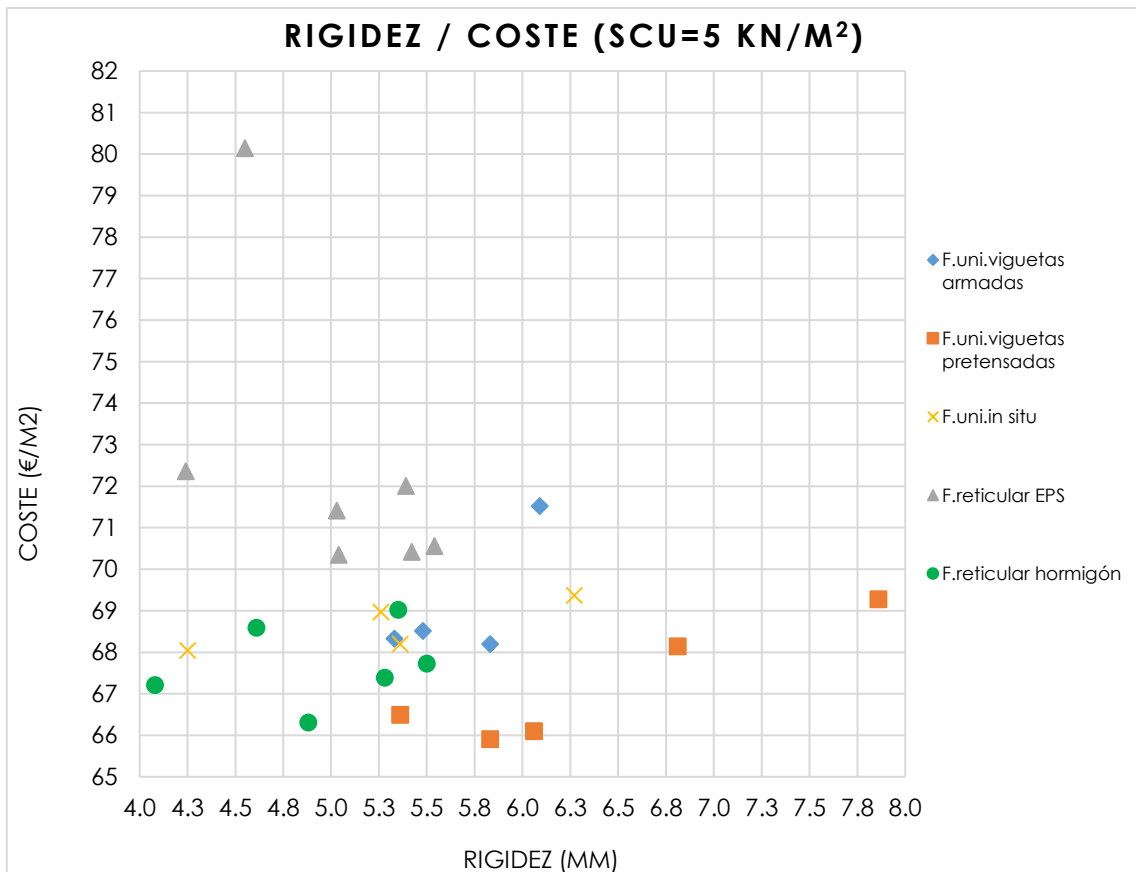


Gráfico 3.22: Rigidez frente a coste con sobrecarga de uso 5 kN/m<sup>2</sup>

Por un lado, en las primeras gráficas para cada sobrecarga de uso, es decir, en las que se plasma el coste en función de la flecha, es difícil llevar a cabo una clasificación o distinción del forjado que cuenta con mejor relación en lo que a flecha y coste se refiere.

Aunque si observamos las gráficas podríamos decir que el forjado de viguetas pretensadas se encuentra en primer lugar hasta flechas de 0,8 mm con sobrecargas de uso de 1 y 2 kN/m<sup>2</sup>, y de hasta 0,3 mm con sobrecarga de 5 kN/m<sup>2</sup>.

A partir de ahí, observamos que es el forjado reticular de hormigón el que podría suceder al forjado de viguetas pretensadas, de manera más acusada con sobrecargas de 5 kN/m<sup>2</sup>.

Por último, el forjado reticular con casetón de EPS sería el que cuenta con peor relación flecha/coste. Entre el forjado unidireccional de viguetas armadas y el ejecutado "in situ" sería complicado hacer una diferenciación.

En el caso de las gráficas en la que se representa la rigidez frente al coste, podemos concluir que el forjado de viguetas pretensadas es el que cuenta con mejor relación rigidez/coste, sobre todo en el caso de sobrecargas de uso igual a 5 kN/m<sup>2</sup>

Para sobrecargas de uso igual a 1 y 2 kN/m<sup>2</sup>, con rigidez de entre 6-6,5 mm, en algunos puntos podría tener el forjado reticular de hormigón mejor relación, aunque solamente en un par de ocasiones.

Además de todas las gráficas expuestas en las que se relaciona en todo momento el coste o bien a la luz, a la flecha o a la rigidez estructural, hemos obtenido el coste promedio de cada uno de los forjados.

Para su estimación, solamente se han tenido en cuenta aquellas luces que se pudieran alcanzar en todos los forjados, es decir, se han contabilizado las luces de hasta 6,5 metros que es la máxima ofrecida por el forjado ejecutado totalmente "in situ".

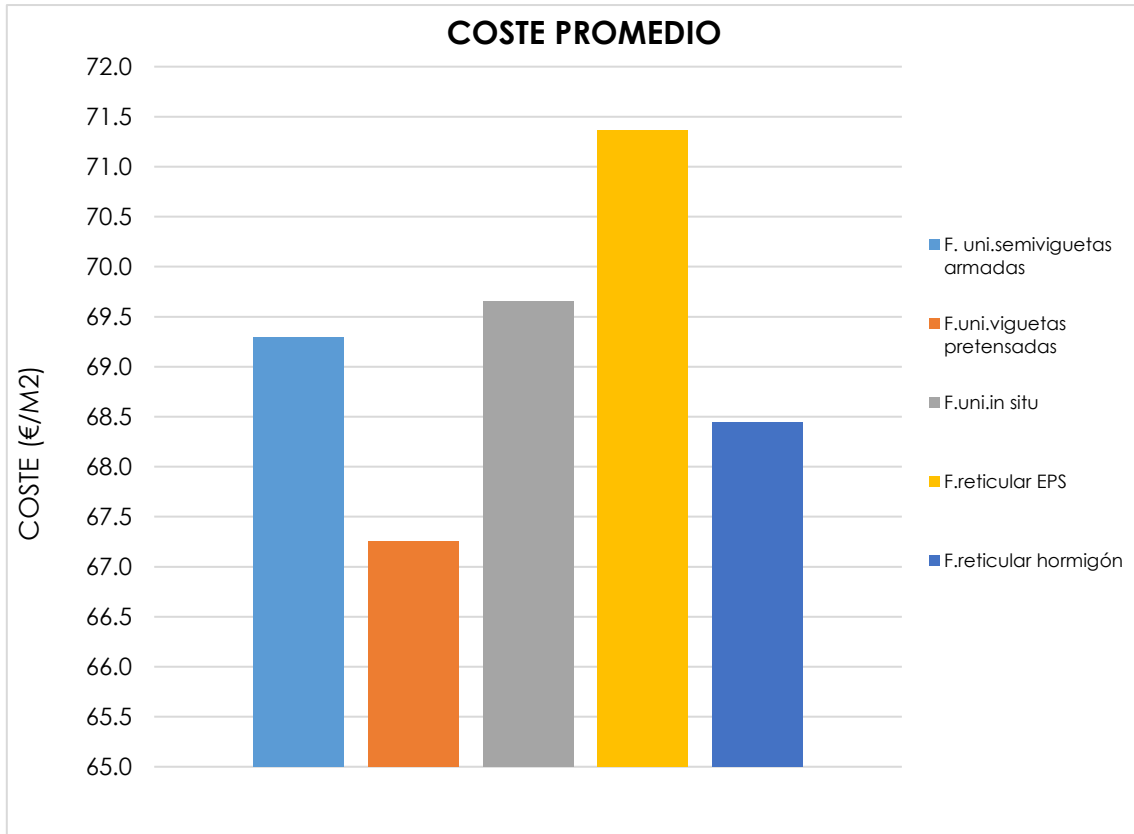


Gráfico 3.23: Coste promedio de los diferentes forjados analizados

De ésta manera, y en referencia a la tabla anterior, establecemos la siguiente clasificación de menor a mayor en cuestión de coste:

COSTE PROMEDIO	
1	For.uni.viguetas pretensadas
2	For.reticular casetón de hormigón
3	For.uni.semiviguetas armadas
4	For.uni. "in situ"
5	For.reticular casetón EPS

Podemos decir que, basándonos en el coste promedio calculado, el forjado reticular de hormigón es el más caro superando al más barato, el forjado unidireccional de viguetas pretensadas alrededor de un 6%.

De manera puntual nos ha llamado la atención que el forjado reticular ejecutado con casetón de EPS supere en coste al fabricado con casetón de hormigón, por lo que hemos considerado oportuno llevar a cabo un análisis del precio descompuesto de cada uno de ellos para una misma luz:

FORJADO RETICULAR CON CASETÓN DE EPS					
Ud	Concepto	Cant	Precio	Importe	%
ud	Puntal metálico telescópico	0.067	28.75	1.93	47%
m <sup>3</sup>	Tablón de madera	0.002	305	0.61	
m <sup>2</sup>	Estructura soporte metálica para sistema de encofrado	0.011	17.46	0.19	
m <sup>2</sup>	Tablero aglomerado hidrófugo	0.275	12.66	3.48	
kg	Clavos de acero	0.025	1.3	0.03	
ud	<b>Casetón de poliestireno expandido</b>	<b>2.000</b>	<b>2.42</b>	<b>4.84</b>	
ud	Separador homologado	1.200	0.06	0.07	
kg	<b>Ferralla elaborada en taller</b>	<b>9.498</b>	<b>0.81</b>	<b>7.69</b>	
kg	Alambre galvanizado para atar	0.095	1.1	0.10	
m <sup>2</sup>	Malla electrosoldada	1.100	1.35	1.49	
m <sup>3</sup>	<b>Hormigón HA-25 fabricado en central</b>	<b>0.167</b>	<b>76.88</b>	<b>12.84</b>	
h	Oficial 1ª encofrador	0.501	18.1	9.07	49%
h	Ayudante encofrador	0.471	16.94	7.98	
h	<b>Oficial 1ª ferrallista</b>	<b>0.112</b>	<b>18.1</b>	<b>2.03</b>	
h	<b>Ayudante ferrallista</b>	<b>0.112</b>	<b>16.94</b>	<b>1.90</b>	
h	<b>Oficial 1ª estructurista</b>	<b>0.394</b>	<b>18.1</b>	<b>7.13</b>	
h	<b>Ayudante estructurista</b>	<b>0.394</b>	<b>16.94</b>	<b>6.67</b>	
%	Costes directos complementarios	2.000	68.05	1.36	2%
%	Costes indirectos	3.000		2.08	3%
				<b>Total</b>	<b>71.50</b>

Tabla 3.18: Descomposición del precio del forjado reticular de EPS

FORJADO RETICULAR CON CASETÓN DE HORMIGÓN					
Ud	Concepto	Cant	Precio	Importe	%
ud	Puntal metálico telescópico	0.067	28.75	1.93	47%
m <sup>3</sup>	Tablón de madera	0.002	305	0.61	
m <sup>2</sup>	Estructura soporte metálica para sistema de encofrado	0.011	17.46	0.19	
m <sup>2</sup>	Tablero aglomerado hidrófugo	0.275	12.66	3.48	
kg	Clavos de acero	0.025	1.3	0.03	
ud	<b>Bloque de hormigón para forjado reticular</b>	<b>3.000</b>	<b>1.65</b>	<b>4.95</b>	

<b>ud</b>	Separador homologado	1.200	0.06	0.07	
<b>kg</b>	<b>Ferralla elaborada en taller</b>	<b>9.898</b>	<b>0.81</b>	<b>8.02</b>	
<b>kg</b>	Alambre galvanizado para atar	0.099	1.1	0.10	
<b>m<sup>2</sup></b>	Malla electrosoldada	1.100	1.35	1.49	
<b>m<sup>3</sup></b>	<b>Hormigón HA-25 fabricado en central</b>	<b>0.150</b>	<b>76.88</b>	<b>11.53</b>	
<b>h</b>	Oficial 1 <sup>a</sup> encofrador	0.501	18.1	9.07	<b>49%</b>
<b>h</b>	Ayudante encofrador	0.471	16.94	7.98	
<b>h</b>	<b>Oficial 1<sup>a</sup> ferrallista</b>	<b>0.117</b>	<b>18.1</b>	<b>2.12</b>	
<b>h</b>	<b>Ayudante ferrallista</b>	<b>0.117</b>	<b>16.94</b>	<b>1.98</b>	
<b>h</b>	<b>Oficial 1<sup>a</sup> estructurista</b>	<b>0.353</b>	<b>18.1</b>	<b>6.39</b>	
<b>h</b>	<b>Ayudante estructurista</b>	<b>0.353</b>	<b>16.94</b>	<b>5.98</b>	
<b>%</b>	Costes directos complementarios	2.000	65.92	1.32	<b>2%</b>
<b>%</b>	Costes indirectos	3.000		2.08	<b>3%</b>
			<b>Total</b>	<b>69.26</b>	

Tabla 3.19: Descomposición del precio del forjado reticular de hormigón

En las anteriores tablas de los precios descompuestos podemos percibir en **negrita** aquellos conceptos que se diferencian entre los forjados.

Como vemos, el porcentaje de los recursos materiales, recursos humanos, costes directos complementarios y costes indirectos son los mismos en ambos, y por tanto no es que exista una clara diferencia entre ellos como se podía suponer.

Pero sí que se pueden observar diferencias en los bloques que conforman el forjado: el casetón de EPS es más caro, pero se necesita de mayor cantidad, el forjado de hormigón requiere más cantidad de ferralla, y por tanto aumenta la mano de obra de los ferrallistas para su elaboración, aunque su aportación de hormigón en éste es menor, por lo que la mano de obra de los estructuristas disminuye.

Podríamos concluir, que, en resumidas cuentas, la mayor diferencia de precio vendría dada por la cantidad de hormigón que se necesita en cada uno de ellos.

### 3.5.4. Comparación de los tiempos de ejecución

Con la visualización de la siguiente gráfica, podemos cotejar el tiempo necesario para la ejecución promedio de cada uno de los forjados en rasgos generales con un simple vistazo:

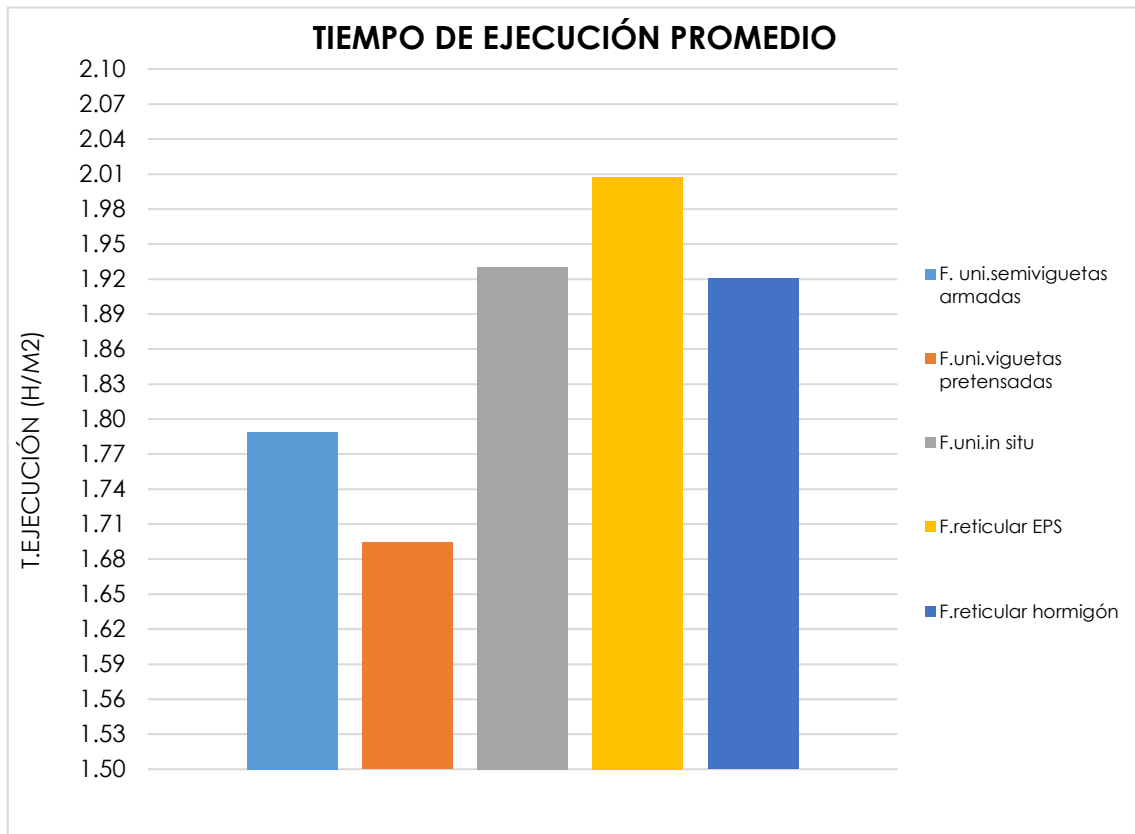


Gráfico 3.24: Tiempo de ejecución promedio para cada uno de los forjados

Al igual que ocurre con el coste promedio, para su realización solamente se han tenido en cuenta aquellas luces que se pudieran alcanzar en todos los forjados, es decir, se han contabilizado las luces de hasta 6,5 metros que es la máxima ofrecida por el forjado ejecutado totalmente "in situ".

De ésta manera, fijamos la siguiente clasificación en orden ascendente:

TIEMPO DE EJECUCIÓN PROMEDIO	
<b>1</b>	For.uni.viguetas pretensadas
<b>2</b>	For.uni.semiviguetas armadas
<b>3</b>	For.reticular casetón de hormigón
<b>4</b>	For.uni. "in situ"
<b>5</b>	For.reticular casetón EPS



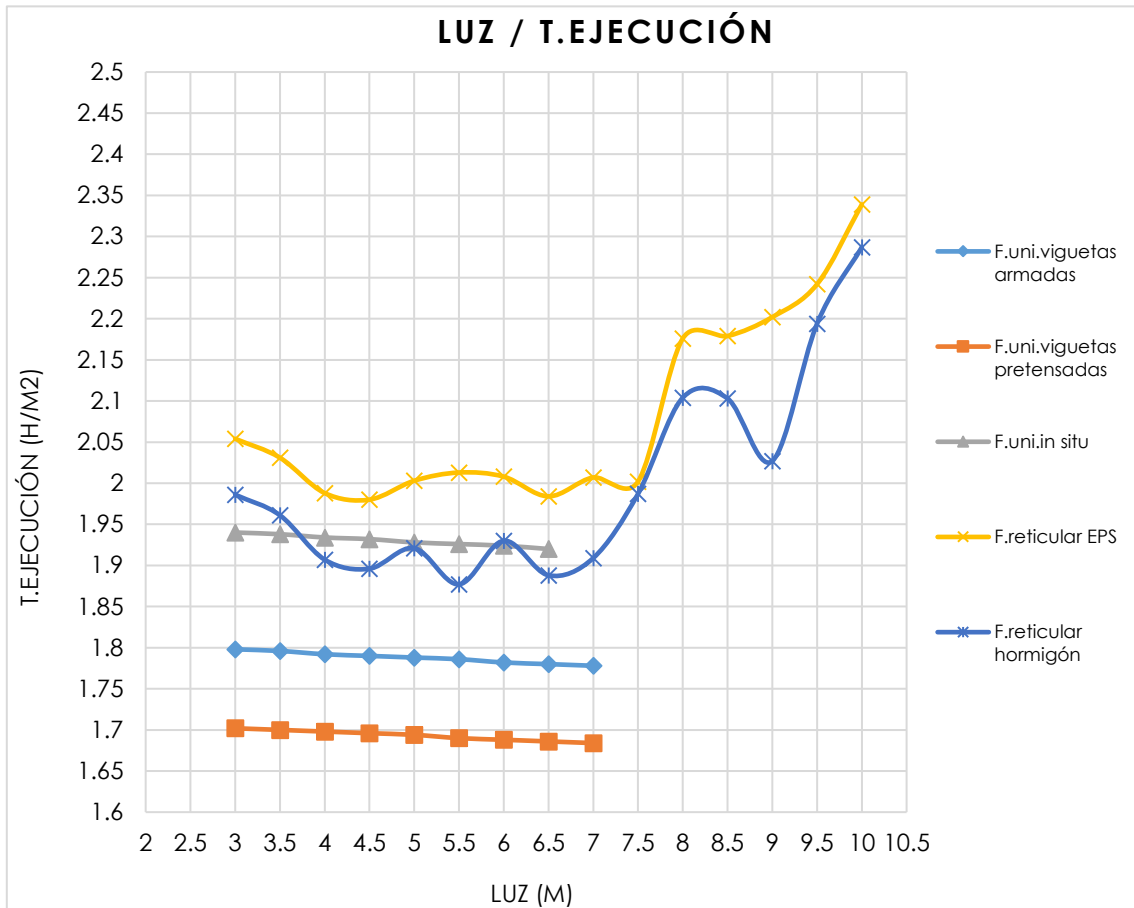


Gráfico 3.25: Tiempo de ejecución frente a luz

En referencia a la gráfica de luz frente a tiempo de ejecución (Gráfico 3.25), lo primero que nos llama la atención es la tendencia de los forjados reticulares. Al contrario de los forjados unidireccionales, en los que el tiempo de ejecución sí que sigue una trayectoria uniforme descendente, en dichos forjados podemos observar además oscilaciones.

Éstas oscilaciones son debidas a la superficie de forjado existente en cada caso. Es decir, en el caso de los forjados reticulares hemos de tener en cuenta la superficie ocupada por los ábacos, la cual no es siempre fielmente proporcional, si no que depende entre otras cosas de la configuración de los casetones.

Al contrario de lo que ocurre en los forjados unidireccionales, en éstos la superficie siempre es la misma, de ahí que el tiempo de ejecución sea parejo.

Además, cabe destacar el brusco cambio de predisposición a partir de los 7 metros de luz en los forjados reticulares. Mientras que hasta los 7 metros se observaba una tendencia "bajista", en ese punto los tiempos de ejecución se "disparan", creando una tendencia al alza de los tiempos de ejecución.

Este "despunte" comentado coincide con el aumento de los 25 cm a los 30 o 35 cm de canto.

Así pues, podemos destacar que al contrario que en los forjados unidireccionales, en los forjados reticulares sí que supone

Atendiendo a ello, podemos disponer que una vez más el forjado de viguetas pretensadas es el más ventajoso con diferencia, en este caso en lo que a tiempo de ejecución se trata, con 1,7 h/m<sup>2</sup> de media.

Después sería el forjado de viguetas armadas en celosía, y seguidamente el forjado reticular de hormigón, exceptuando luces de 3 y 3,5 metros que sería el forjado unidireccional fabricado "in situ".

Sin tener en cuenta ese inciso, es el forjado unidireccional "in situ" el que continúa el rango, siendo el forjado reticular de EPS el más laborioso de ejecutar con entre 2 y 2,3 horas por metro cuadrado.

En este punto, hacemos referencia a las tablas 3.18 y 3.19 del apartado "4.3.3. Comparación referente al coste", para hablar de la diferencia que existe entre el tiempo de ejecución de los forjados reticulares.

Nos llama la atención, al igual que ocurre con el coste, que el tiempo de ejecución del forjado reticular de poliestireno expandido sea superior al fabricado con casetón de hormigón.

Como podemos observar en dicha tabla, la diferencia se debe a la mano de obra de los ferrallistas y de los estructuristas, tanto oficiales como ayudantes.

En el caso del forjado llevado a cabo con casetón de EPS, la mano de obra de los ferrallistas disminuye un 5% respecto al forjado reticular de hormigón, mientras que en el caso de los estructuristas ocurre al contrario; en éste último aumenta un 11% respecto al forjado de EPS.

Por último, vemos que la mano de obra correspondiente a los encofradores se mantiene idéntica en ambos forjados.

### 3.5.5. Comparación de las propiedades térmicas y acústicas

La finalidad de las dos siguientes gráficas es dar a conocer el comportamiento frente al calor y frente al ruido de los cinco forjados analizados en el estudio paramétrico.

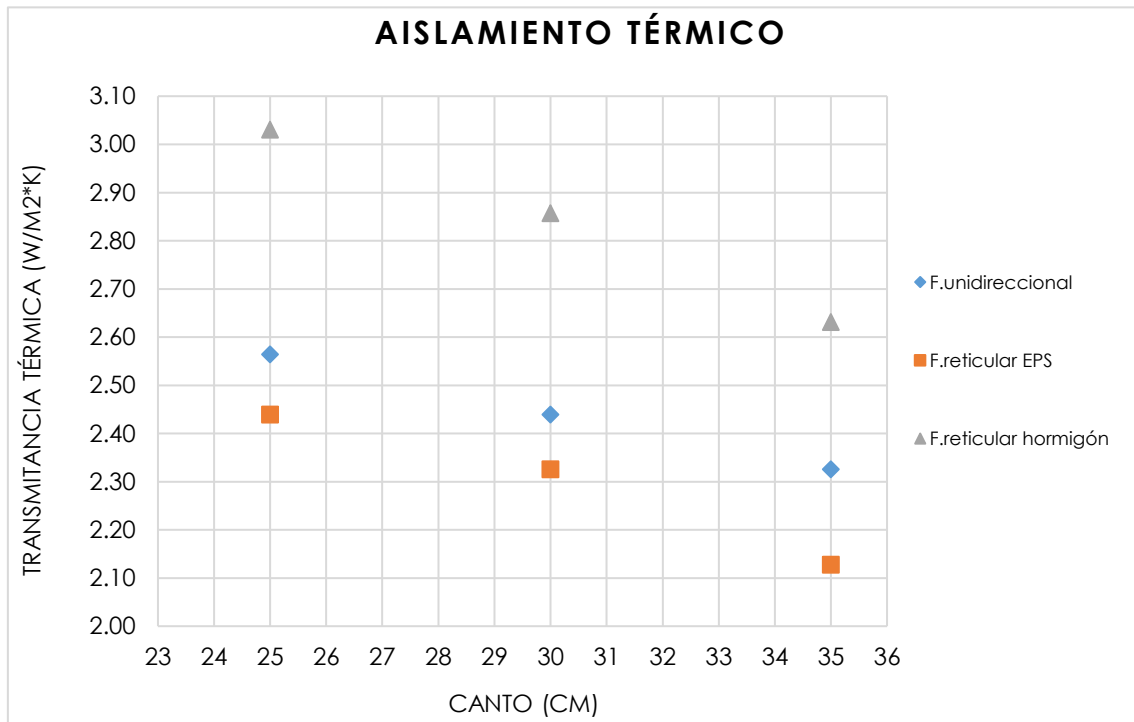


Gráfico 3.26: Transmitancia térmica de los forjados en función de su canto

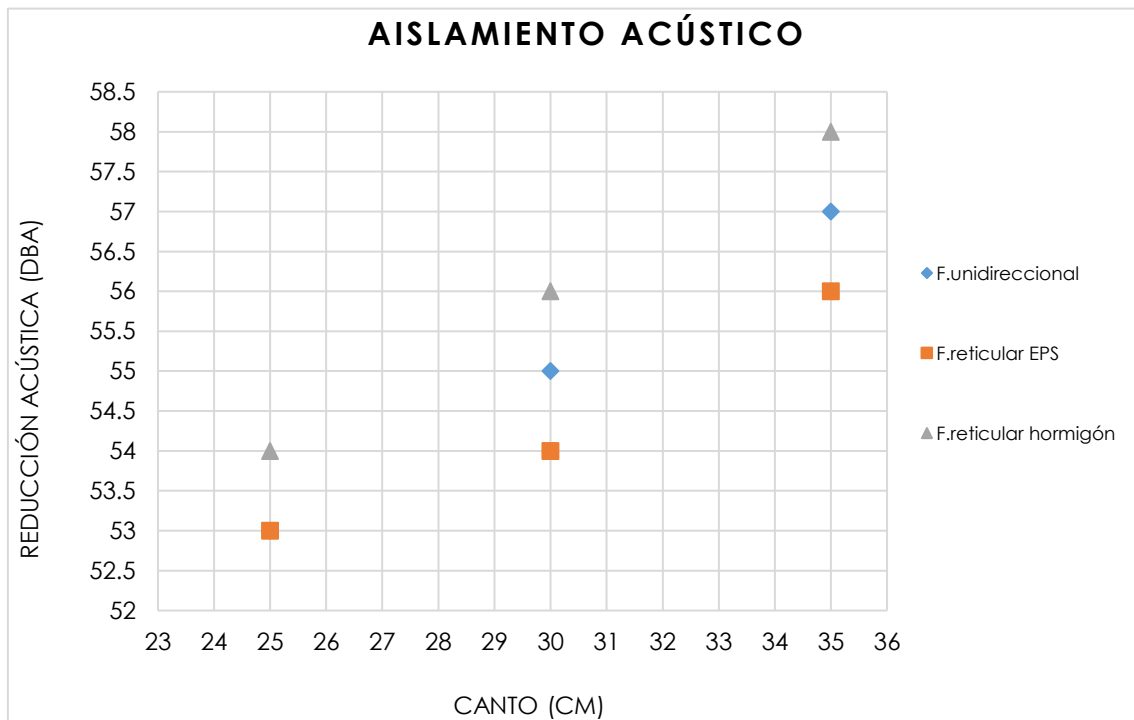


Gráfico 3.24: Transmitancia acústica de los forjados en función de su canto

Tal y como se ha comentado en el apartado 3.4 de éste documento, para su análisis ha sido utilizado el “Catálogo de Elementos Constructivos” proporcionado por el ministerio, pues ha sido complejo encontrar otra fuente más fiable y detallada, pues el documento dicho no hace distinción entre las distintas tipologías de forjados unidireccionales.

En cuanto a propiedades térmicas, podemos determinar que el forjado reticular de casetón de EPS es el que cuenta con mejores propiedades, lo que era de esperar, pues el poliestireno extruído es un excelente aislante térmico.

Después serían los forjados unidireccionales con una diferencia de  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  respecto al reticular de EPS, y para concluir el forjado reticular fabricado con casetón de hormigón, con una diferencia de  $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  frente a los forjados unidireccionales.

En relación a las características térmicas, sería nuevamente el forjado reticular el que mejor se comporta frente al ruido.

En éste caso, hemos de hacer una puntualización, pues con cantos de 25 cm, tienen la misma reducción acústica el forjado reticular con casetón de poliestireno que los forjados unidireccionales, no cumpliéndose la regla con cantos de 30 o 35 cm.

A partir de ahí, son los forjados unidireccionales los que cuentan con mayor reducción acústica, siendo el forjado reticular de hormigón el que cierra el rango.

### 3.6. Conclusión del estudio paramétrico

Para dar por concluido el estudio paramétrico, vamos a tratar de realizar un sumario de lo expresado anteriormente, tratando de identificar para cada uno de los aspectos vistos el forjado que cuenta con mejores características.

De ello dependerá también la luz con la que contemos, o la sobrecarga de uso que sea aplicable.

	Luz (m)	SCU=1 Kn/m <sup>2</sup>	SCU=2 Kn/m <sup>2</sup>	SCU=5 Kn/m <sup>2</sup>
<b>RIGIDEZ</b>	0-5	F. uni. viguetas pretensadas		
	5-7	F. uni. viguetas pretensadas	F. reticular EPS	
	7-10	F. reticular EPS		
<b>COSTE</b>	0-5	F. uni. viguetas pretensadas		
	5-10	Forjado reticular de hormigón		
<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN</b>	0-7	F. uni. viguetas pretensadas		
	7-10	Forjado reticular de hormigón		
<b>AISLAMIENTO TÉRMICO</b>	0-10	Forjado reticular EPS		
<b>AISLAMIENTO ACÚSTICO</b>	0-10	Forjado reticular EPS		

Tabla 3.20: Descomposición del precio del forjado reticular de hormigón

## 4. APLICACIÓN EN UN CASO REAL

### 4.1. Introducción

Una vez terminado el estudio paramétrico, en el que se ha estudiado el comportamiento "inicial" de cada uno de los forjados, hemos querido verificar los resultados obtenidos mediante la aplicación de éstos forjados en un edificio real.

Para ello, se ha elegido un edificio residencial de cuatro alturas; planta baja más tres destinadas a viviendas, con dos viviendas por planta, y un sótano, tal y como vemos en la siguiente imagen general del edificio.

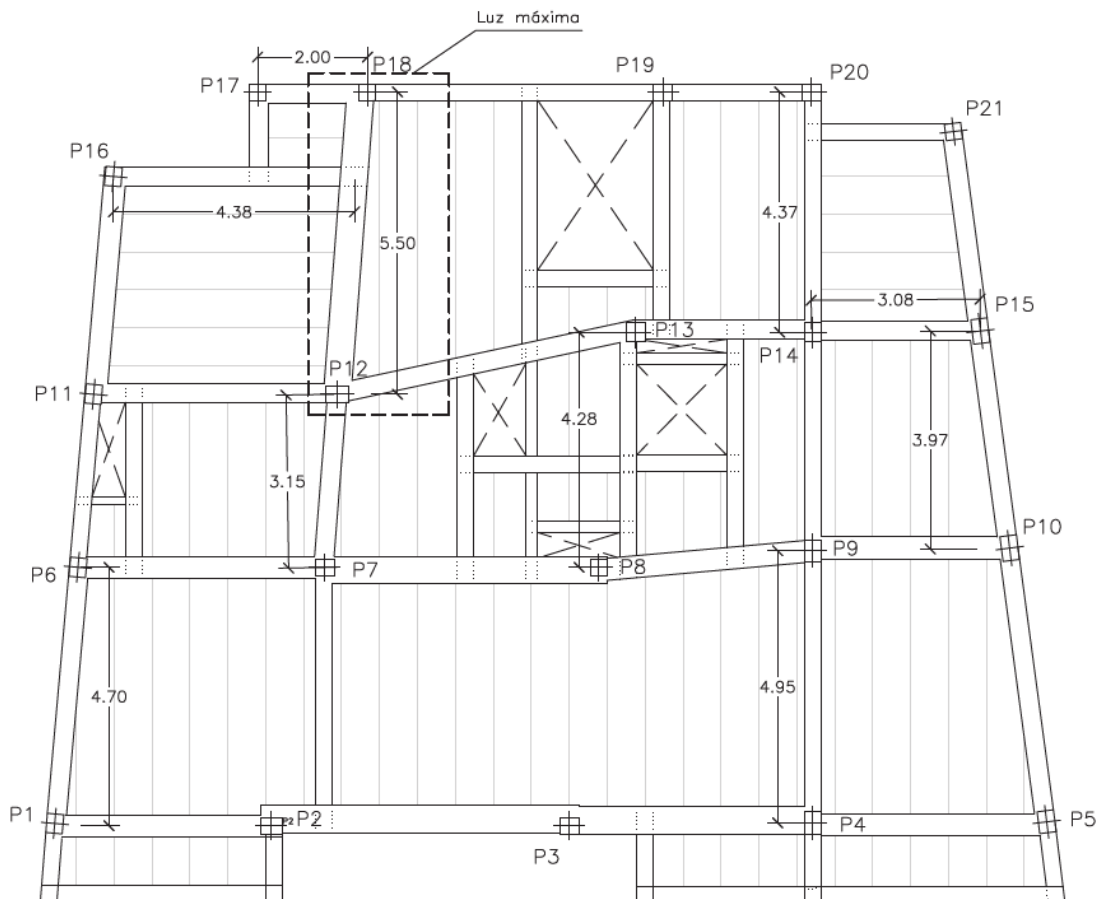


Ilustración 4.1: Estructura en tres dimensiones del edificio

<b>Cuadro de superficies</b>	
Planta baja	224,13 m <sup>2</sup>
Plantas viviendas	238,81 m <sup>2</sup>
Cubierta	238,81 m <sup>2</sup>
<b>Total</b>	<b>1179,37 m<sup>2</sup></b>

Primeramente, tras una observación y revisión del edificio en general, se procede al estudio detallado de la planta tipo.

En él, se observan las luces existentes entre pilares, para posteriormente poder determinar el canto de cada uno de los forjados a colocar con los datos que se han obtenido en el estudio paramétrico previo.



PLANTA VIVIENDAS

Cotas en metros.

Ilustración 4.2: Planta de viviendas del edificio

Como vemos, la luz máxima existente en la estructura se encuentra entre los pilares P12 y P18, en la parte superior de la imagen.

Así pues, a partir de éste momento tomamos como referencia dicha luz de 5,50 metros para posteriores cálculos.

## 4.2. Cargas aplicadas

Al igual que hacíamos en el estudio paramétrico, identificamos las cargas que recaen sobre la estructura, sin tener en cuenta las cargas propias de los elementos que la componen (vigas, forjado...), teniendo en cuenta el "Anejo C. Prontuario de pesos y coeficientes de rozamiento interno" del DB.SE-AE.

### \* Cargas muertas

- Cargas lineales:

Hoja de albañilería exterior y tabique interior; total < 0,25 m	7,00 kN /m <sup>2</sup>
Antepechos o quitamiedos de terrazas	4,00 kN /m <sup>2</sup>

- Cargas superficiales:

PLANTA BAJA COMERCIAL	
Pavimento de madera, cerámico o hidráulico sobre plastón; grueso total < 0,08 m	1,00 kN /m <sup>2</sup>
Enfoscado o revoco de cemento	0,20 kN /m <sup>2</sup>
Tabiquería	1,00 kN /m <sup>2</sup>
Total	2,20 kN /m <sup>2</sup>

PLANTAS DE VIVIENDAS	
Pavimento de madera, cerámico o hidráulico sobre plastón; grueso total < 0,08 m	1,00 kN /m <sup>2</sup>
Guernecido y enlucido de yeso	0,15 kN /m <sup>2</sup>
Tabiquería	1,00 kN /m <sup>2</sup>
Total	2,15 kN /m <sup>2</sup>

PLANTA CUBIERTA	
Cubierta plana, a la catalana o invertida con acabado de grava	2,50 kN /m <sup>2</sup>
Guernecido y enlucido de yeso	0,15 kN /m <sup>2</sup>
Total	2,65 kN /m <sup>2</sup>

### \* Sobrecargas de uso

Para el cálculo de la estructura, tal y como se ha llevado a cabo en el estudio paramétrico, se han tenido en cuenta tres sobrecargas de uso diferentes, 5kN/m<sup>2</sup> en caso de la planta comercial, 2kN/m<sup>2</sup> en plantas de viviendas, y por último 1kN/m<sup>2</sup> en planta cubierta.



### 4.3. Aplicación y verificación de resultados del estudio paramétrico

#### 4.3.1. Aplicación y verificación de resultados de rigidez y resistencia estructural

Tal y como se ha nombrado anteriormente, se ha aplicado cada forjado en el edificio descrito, diseñando y calculando éste dependiendo del canto de forjado necesario en cada planta conforme a los resultados del estudio paramétrico.

En la siguiente tabla, se refleja ese canto mínimo necesario, y su cumplimiento o no conforme a la normativa vigente. Además, con la ayuda de la deformada, se ha identificado el lugar donde se produce la flecha máxima y se ha medido ésta para la justificación del cumplimiento de los forjados.

TIPOLOGÍA FORJADO	SCU=1Kn/m <sup>2</sup> (P.cubierta)		SCU=2Kn/m <sup>2</sup> (P.vivienda)		SCU=5Kn/m <sup>2</sup> (P.comercial)	
	<i>h<sub>estudio</sub></i>	<i>cumple</i>	<i>h<sub>estudio</sub></i>	<i>cumple</i>	<i>h<sub>estudio</sub></i>	<i>cumple</i>
<b>FOR.UNI.SEMIVIGUETAS ARMADAS</b>	27 cm	SI	27 cm	SI	34 cm	SI
<i>f<sub>máx</sub></i>	0,936 cm (L/557)		0,974 cm (L/521)		0,152 cm (L/3435)	
<b>FOR.UNI.VIGUETAS PRETENSADAS</b>	27 cm	SI	27 cm	SI	34 cm	SI
<i>f<sub>máx</sub></i>	0,613 cm (L/795)		0,657 cm (L/749)		0,165 cm (L/3188)	
<b>FOR.UNI.IN SITU</b>	34 cm	SI	34 cm	SI	34 cm	SI
<i>f<sub>máx</sub></i>	0,73 cm (L/668)		0,834 cm (L/592)		0,182 cm (L/3353)	
<b>FOR.RETICULAR EPS</b>	25 cm	SI	25 cm	SI	25 cm	SI
<i>f<sub>máx</sub></i>	0,149 cm (L/2099)		0,140 cm (L/2111)		0,123 cm (L/3440)	
<b>FOR.RETICULAR HORMIGÓN</b>	25 cm	SI	25 cm	SI	25 cm	SI
<i>f<sub>máx</sub></i>	0,155 cm (L/1962)		0,142 cm (L/2058)		0,128 cm (L/3341)	

Tabla 4.1: Comprobación de flecha en función del forjado y la SCU

Como observamos en la tabla, todos los forjados, con el canto estimado en el estudio paramétrico cumplen en cuanto a lo que rigidez estructural se refiere. Además, podemos contemplar, que ninguna de las flechas en el punto de máximo esfuerzo supera la flecha máxima según establece la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE 08).

Cabe destacar, que, en el caso del forjado de viguetas pretensadas, en el estudio paramétrico previo, la luz máxima alcanzada para sobrecarga de uso  $5\text{Kn/m}^2$  fueron 5 metros, con un canto máximo de 34 cm. Sin embargo, en el edificio se ha colocado en la planta comercial, supliendo este defecto en el paño en el que contábamos con la luz máxima (5,5 m) con la colocación de viguetas dobles, y cumpliendo así con las exigencias de la normativa.

De igual manera, en momentos puntuales se han tenido que colocar viguetas dobles, aunque es importante decir que no ha sido debido a la flecha a plazo infinito existente si no simplemente a otros esfuerzos.

A continuación, mostramos la deformada de la estructura en la que se puede reconocer la zona donde se produce la mayor flecha.

#### Forjado de semiviguetas armadas

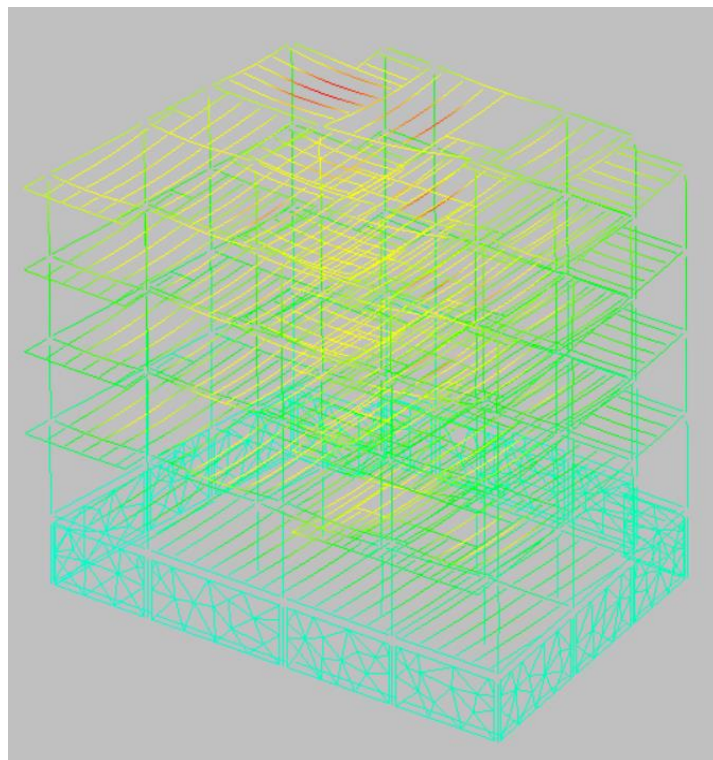


Ilustración 4.3: Deformada del edificio con forjado uni. de semiviguetas armadas

Forjado de viguetas pretensadas

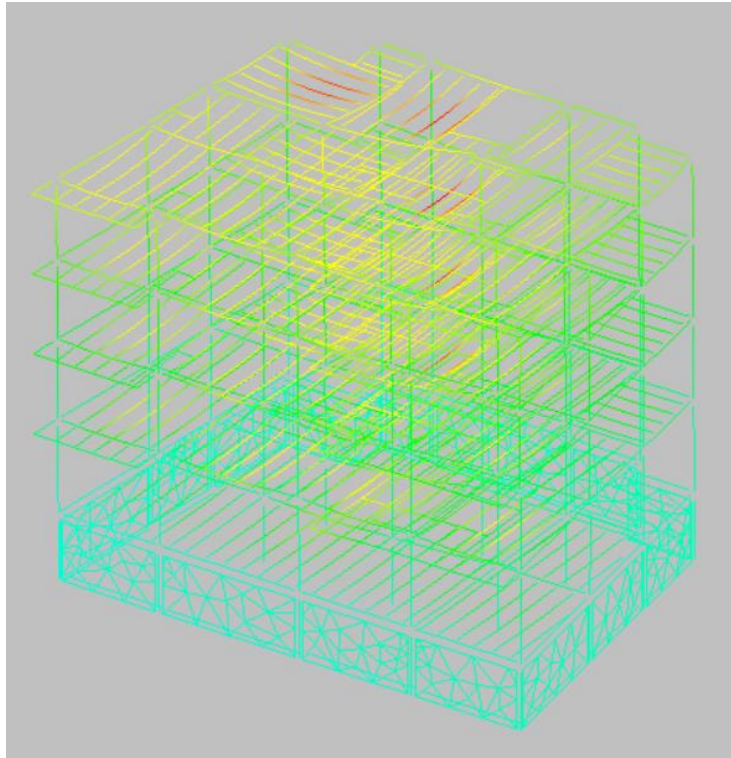


Ilustración 4.4: Deformada del edificio con forjado uni. de viguetas pretensadas

Forjado ejecutado "in situ"

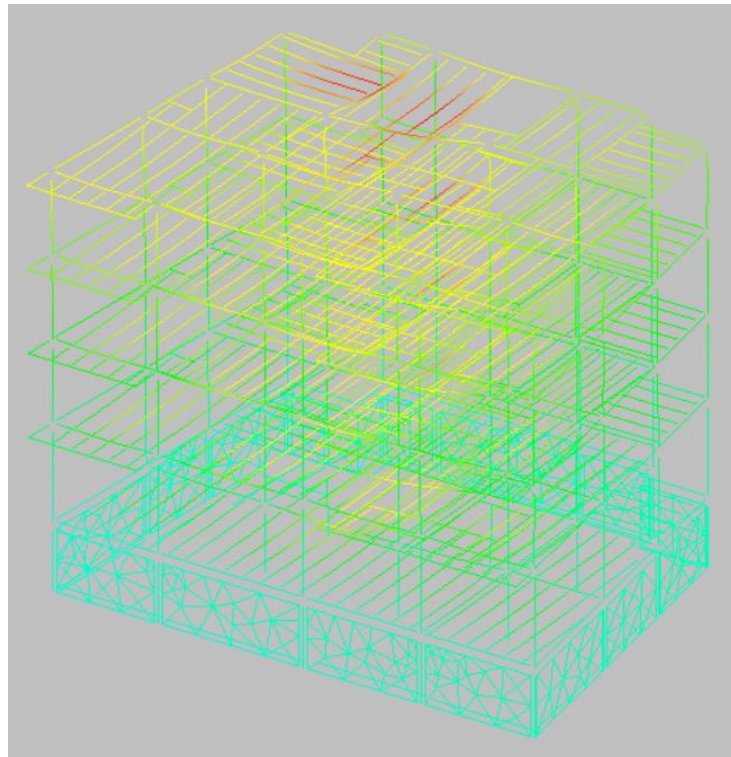
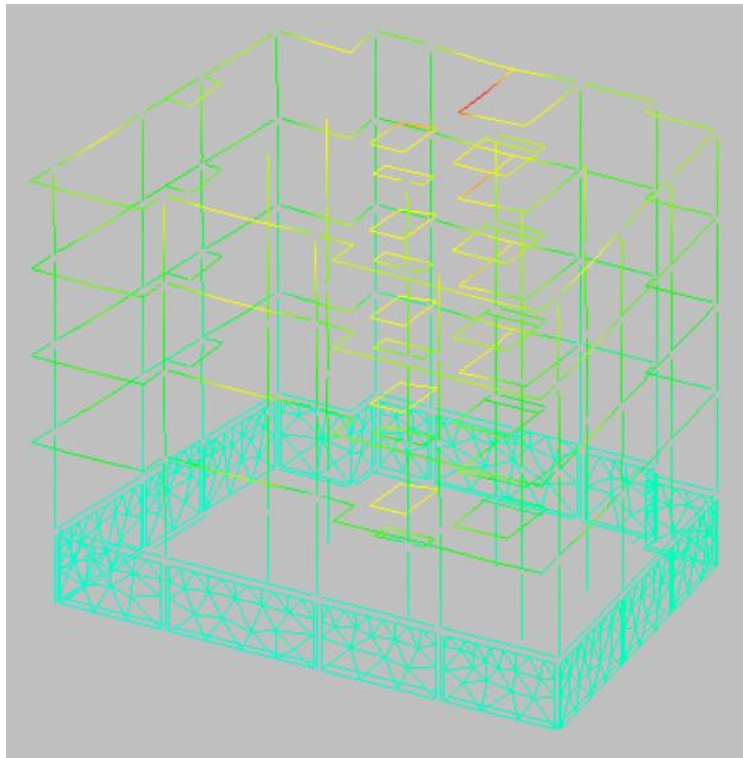


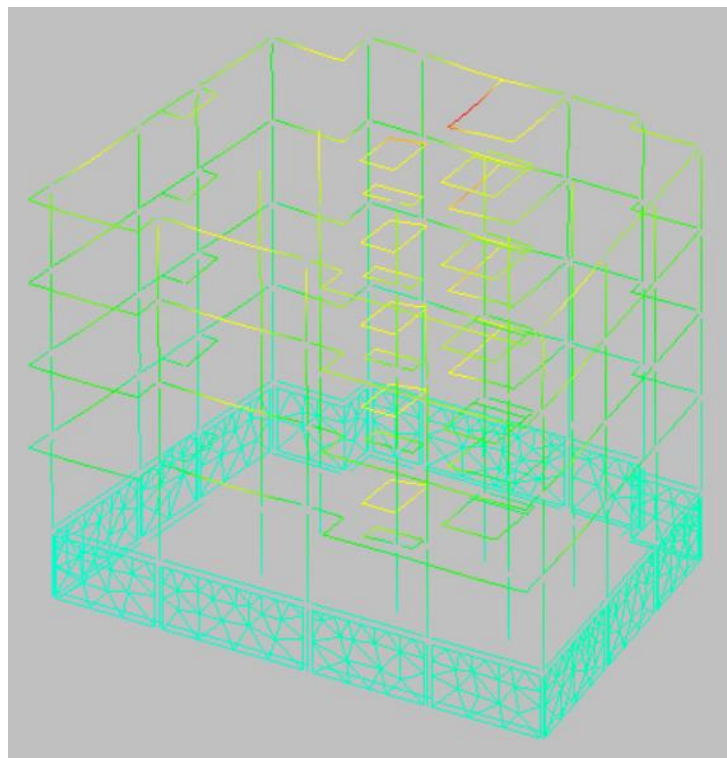
Ilustración 4.5: Deformada del edificio con forjado ejecutado "in situ"

Forjado reticular con casetón de EPS



*Ilustración 4.6:* Deformada del edificio con forjado reticular de EPS

Forjado reticular con casetón de hormigón



*Ilustración 4.7:* Deformada del edificio con forjado reticular de hormigón

#### 4.3.2. Aplicación y verificación de resultados referente a coste

En ésta sección, vamos a examinar el presupuesto del edificio de estudio con cada uno de los forjados aplicados, y vamos a tratar de comprobar si nuevamente se cumple lo mencionado en el estudio paramétrico llevado a cabo con anterioridad.

Así pues, mostramos el presupuesto simplificado del edificio modelado, acompañado de un gráfico detallado de la distribución de los diferentes recursos y costes aplicables solamente a la propia estructura.

F.UNI.SEM.ARMADAS				
	Ud.	Cant.	Coste	Importe
<b>Cimentación</b>				<b>20.419.85 €</b>
<b>Estructura</b>				<b>83.143.99 €</b>
<i>Pilares y vigas</i>				9.262.95 €
<i>Planta baja</i>	m <sup>2</sup>	199.67	68.39 €	13.655.43 €
<i>Plantas viviendas</i>	m <sup>2</sup>	669.18	68.51 €	45.845.52 €
<i>Planta cubierta</i>	m <sup>2</sup>	215.82	66.63 €	14.380.09 €
	Total:	1084.67	68.11 €	<b>103.563.84 €</b>

Tabla 4.2: Presupuesto por capítulos del edificio con forjado de semiviguetas armadas

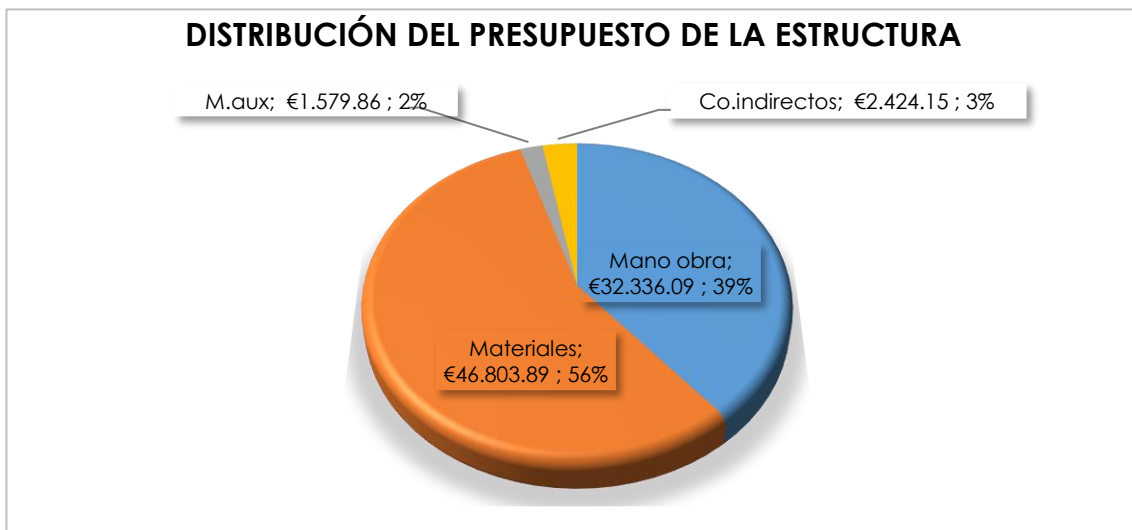


Gráfico 4.1: Reparto de presupuesto de estructura con forjado de semiviguetas armadas

<b>F.UNI.VIGUETA PRETENSADA</b>				
	<b>Ud.</b>	<b>Cant.</b>	<b>Coste</b>	<b>Importe</b>
<b>Cimentación</b>			1	<b>20.188.06 €</b>
<b>Estructura</b>				<b>81.727.16 €</b>
<b>Pilares y vigas</b>				9.360.05 €
<b>Planta baja</b>	m <sup>2</sup>	199.67	67.28 €	13.433.80 €
<b>Plantas viviendas</b>	m <sup>2</sup>	669.18	67.14 €	44.928.75 €
<b>Planta cubierta</b>	m <sup>2</sup>	215.82	64.89 €	14.004.56 €
		1084.67	66.72 €	<b>101.911.63 €</b>

Tabla 4.3: Presupuesto por capítulos del edificio con forjado de viguetas pretensadas

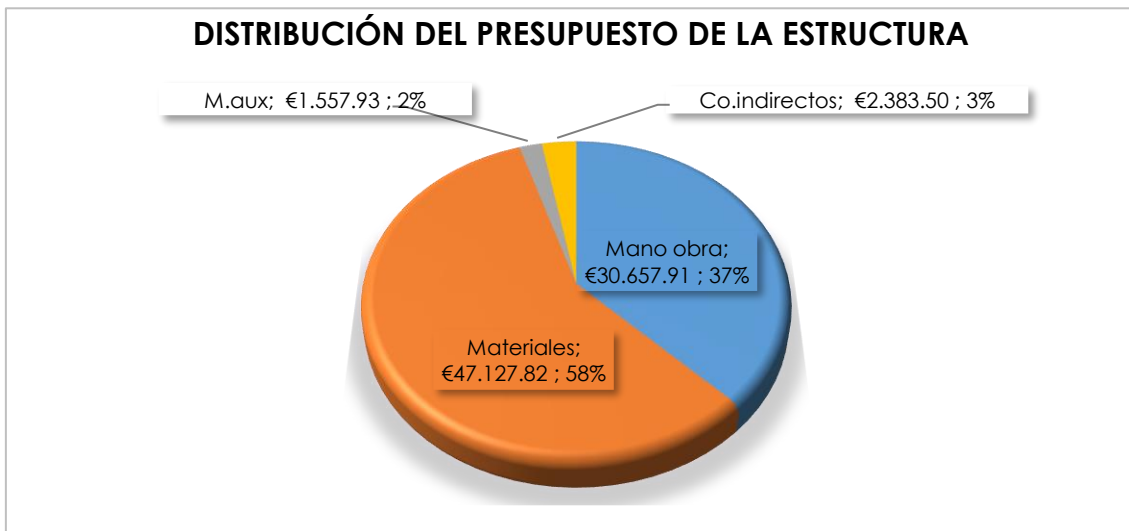


Gráfico 4.2: Reparto de presupuesto de estructura con forjado de viguetas pretensadas

<b>F.UNI."IN SITU"</b>				
	<b>Ud.</b>	<b>Cant.</b>	<b>Coste</b>	<b>Importe</b>
<b>Cimentación</b>			1	<b>23.869.36 €</b>
<b>Estructura</b>				<b>85.033.19 €</b>
<b>Pilares y vigas</b>				8.077.37 €
<b>Planta baja</b>	m <sup>2</sup>	199.67	69.34 €	13.845.12 €
<b>Plantas viviendas</b>	m <sup>2</sup>	672.39	70.98 €	47.726.24 €
<b>Planta cubierta</b>	m <sup>2</sup>	221.87	69.34 €	15.384.47 €
		1093.93	70.35 €	<b>108.902.55 €</b>

Tabla 4.4: Presupuesto por capítulos del edificio con forjado "in situ"

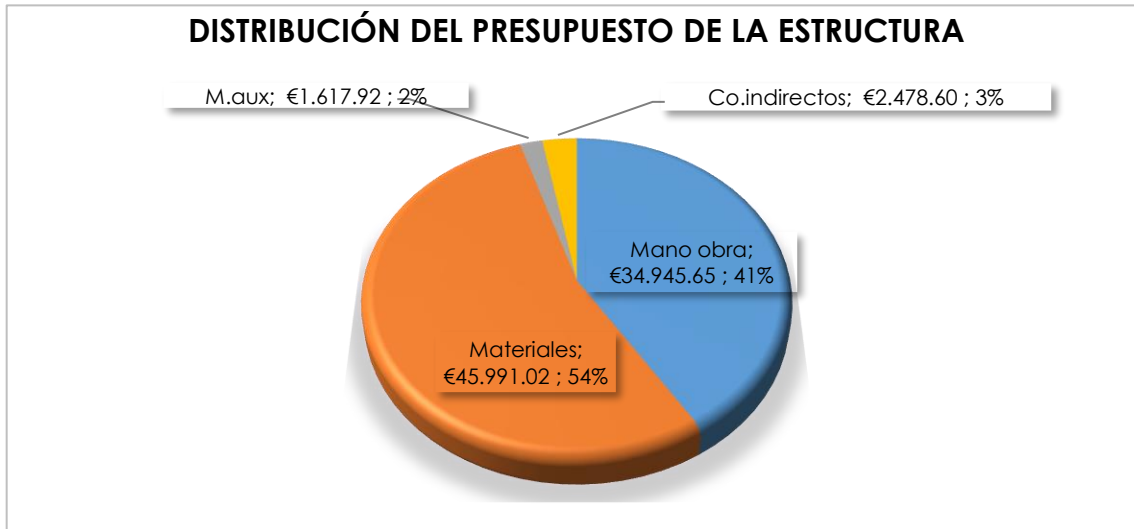


Gráfico 4.3: Reparto de presupuesto de estructura con forjado "in situ"

F.RETICULAR EPS				
	Ud.	Cant.	Coste	Importe
<b>Cimentación</b>			1	<b>20.543.66 €</b>
<b>Estructura</b>				<b>82.485.20 €</b>
<i>Pilares y vigas</i>				5.588.90 €
<i>Planta baja</i>	m <sup>2</sup>	199.09	67.70 €	13.478.39 €
<i>Plantas viviendas</i>	m <sup>2</sup>	687.78	69.64 €	47.897.00 €
<i>Planta cubierta</i>	m <sup>2</sup>	229.26	67.70 €	15.520.90 €
		1116.13	68.90 €	<b>103.028.86 €</b>

Tabla 4.5: Presupuesto por capítulos del edificio con forjado reticular de EPS

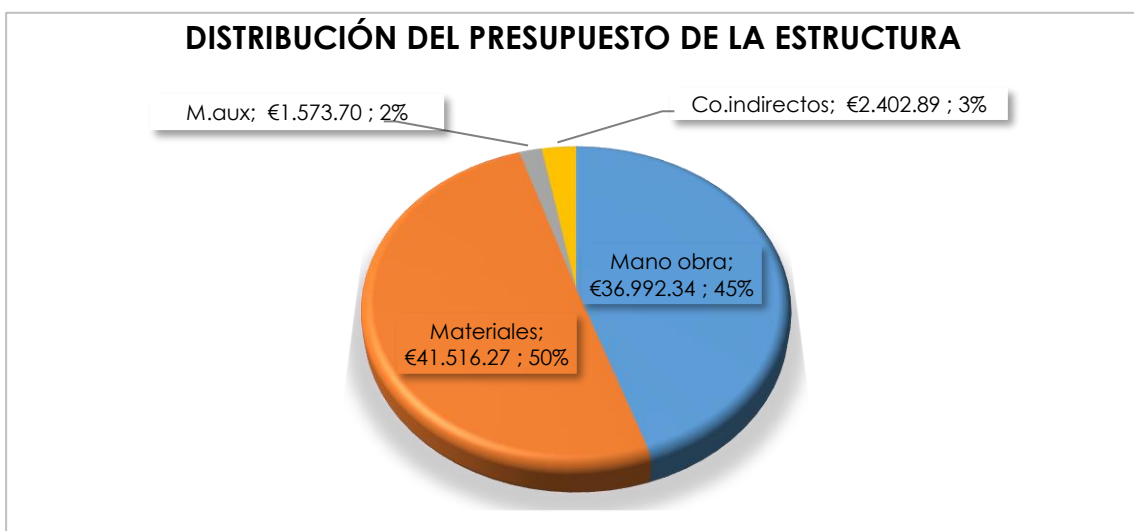


Gráfico 4.4: Reparto de presupuesto de estructura con forjado reticular de EPS

<b>F.RETICULAR HORMIGÓN</b>				
	<b>Ud.</b>	<b>Cant.</b>	<b>Coste</b>	<b>Importe</b>
<b>Cimentación</b>			1	<b>20.932.98 €</b>
<b>Estructura</b>				<b>80.852.95 €</b>
<b>Pilares y vigas</b>				1.732.05 €
<b>Planta baja</b>	m <sup>2</sup>	199.09	66.22 €	13.183.74 €
<b>Plantas viviendas</b>	m <sup>2</sup>	687.78	68.18 €	46.892.84 €
<b>Planta cubierta</b>	m <sup>2</sup>	229.26	66.22 €	15.181.60 €
		1116.13	67.43 €	<b>101.785.93 €</b>

Tabla 4.6: Presupuesto por capítulos del edificio con forjado reticular de hormigón

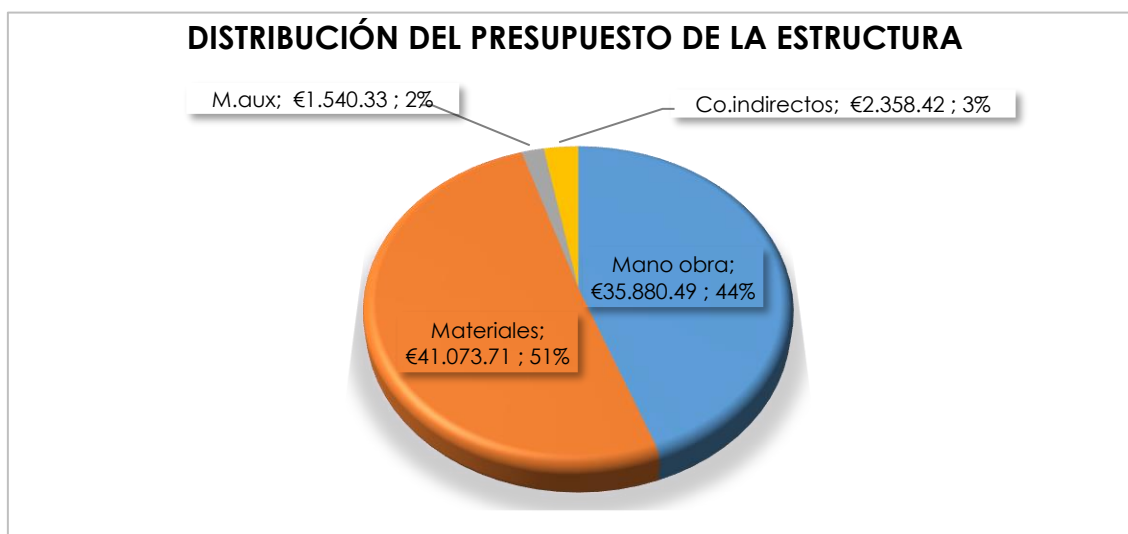


Gráfico 4.5: Reparto de presupuesto de estructura con forjado reticular de hormigón

A la vista de los anteriores datos y gráficos mostrados, observamos que el porcentaje correspondiente a medios auxiliares se mantiene en torno a un 2%, al igual que los costes indirectos lógicamente (3%).

Respecto a los recursos humanos y materiales, podemos decir que en los forjados unidireccionales se mantienen constantes en torno a un 55-57 % y un 40% respectivamente, mientras que en los forjados reticulares cambian, aumentando la mano de obra y disminuyendo los recursos materiales alrededor de un 5 %.



Además, en la siguiente gráfica, plasmamos el coste unitario de cada uno de los forjados.

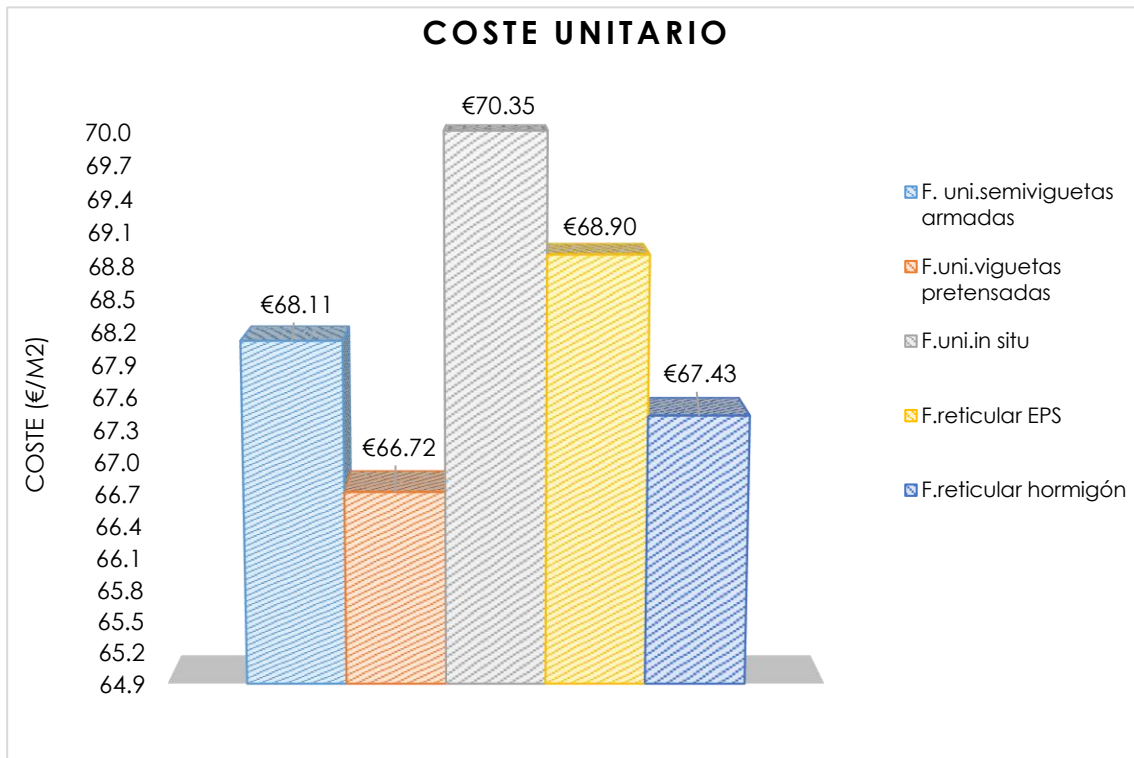


Gráfico 4.6: Coste unitario de cada uno de los forjados aplicados en el edificio estudiado

Tal y como podemos ver en el gráfico, el forjado unidireccional de viguetas pretensadas es el más factible económicamente, al igual que ocurría en el estudio paramétrico.

La diferencia con el resto de los forjados es mínima, alrededor de un 1%,2% y 3% con el forjado reticular de hormigón, el de semiviguetas armadas y el reticular de EPS respectivamente.

Por último, finaliza el "ranking" el forjado unidireccional ejecutado "in situ" con un precio un 5,5% superior al forjado más rentable de viguetas pretensadas.

A diferencia con los resultados obtenidos en el estudio paramétrico, en éste caso es el forjado unidireccional fabricado "in situ" en vez del reticular de EPS. Esto es debido a que en el edificio modelado con éste tipo de forjado se ha colocado un canto de 34 cm en todas las plantas, al contrario que en el resto de unidireccionales en los que solo se ha utilizado el canto de 34 cm en la planta comercial, o en el caso de los forjados reticulares en los que ha sido necesaria la colocación de un canto de 25 cm.

#### **4.4. Sostenibilidad y análisis del ciclo de vida**

En éste trabajo de fin de grado también hemos querido introducir y estudiar la sostenibilidad de la estructura, ese concepto que en los tiempos que corren está tan en auge, y que tanta importancia tiene, aunque a veces no seamos conscientes de ello.

Por tanto, vamos a examinar el impacto ambiental que producen cada uno de los forjados estudiados aplicados al edificio que nos ocupa.

##### **4.4.1. Sostenibilidad y construcción sostenible**

De manera simplificada, entendemos que se trata de satisfacer las necesidades del presente sin poner en riesgo los recursos del futuro.

El objetivo primordial de un desarrollo sostenible es la elaboración de proyectos viables, que concilien y armonicen los aspectos económicos, sociales y ambientales, pues son considerados los tres pilares básicos de la actividad humana.

El desarrollo sostenible requiere unas condiciones medioambientales económicas viables y soportables por una sociedad a largo plazo, dentro de un marco socioeconómico equitativo, entendiendo:

- Ambiental: entorno que afecta a los seres vivos y condiciona el modo de vida de las personas y su organización social.
- Económico: organización de la producción, distribución y consumo en beneficio de una sociedad.
- Social: proceso de evolución y mejora en los niveles de bienestar de una sociedad, mediante una distribución equitativa y justa de la riqueza.

En el campo de la sostenibilidad, se aceptan tres principios básicos:

- El análisis del ciclo de vida como herramienta de estudio y evaluación del impacto ambiental.
- La promoción y desarrollo del uso de materias primas y energías renovables, entendidas como aquellas que se obtienen de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales.
- La reducción de las cantidades de materiales y energía utilizados en la extracción de recursos naturales, su explotación y la destrucción o el reciclaje de los residuos.

### \* Construcción sostenible

La construcción sostenible es una concepción del diseño de la construcción de modo sostenible, buscando el aprovechamiento de los recursos naturales con el fin de minimizar su impacto sobre el medio ambiente y sus habitantes.

La construcción sostenible se basa en el correcto uso, gestión y reutilización de los recursos naturales y de la energía disponible, durante el proceso de construcción y el posterior uso del edificio, aplicando para ello el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) como herramienta medioambiental.

La importancia de apostar por una construcción sostenible la avalan recientes estudios, que han constatado que el sector de la construcción es responsable del empleo del orden del 36% del total de la energía consumida y, en particular, del 65% del gasto de energía eléctrica, sin olvidar el impacto que produce sobre el medio ambiente, el consumo de materias primas, las emisiones de gases de efecto invernadero, la generación de residuos y el consumo de agua potable.

#### *Principios de la construcción sostenible:*

La construcción sostenible se fundamenta en principios aceptados por la mayoría de los agentes que intervienen en el proceso constructivo, resumidos en los puntos siguientes:

- La consideración desde las fases iniciales del proyecto de las condiciones del entorno para obtener el

máximo rendimiento con el menor impacto medioambiental, destacando las:

- Climáticas
- Hidrográficas
- Topográficas
- Geológicas
- Ecosistemas del entorno

- La eficacia y moderación en el uso de materiales de construcción, primando los de bajo contenido

energético.

- La reducción del consumo de energía para calefacción, climatización, iluminación, transporte y otros equipamientos, cubriendo el resto de la demanda con fuentes de energía renovables.

- La minimización del balance energético global de la edificación, abarcando todas las fases del proceso constructivo y las etapas de vida del edificio:
  - Diseño
  - Construcción
  - Uso, reparación y mantenimiento
  - Final de su vida útil: Deconstrucción y Reciclado
- La consideración de los requisitos básicos y cumplimiento de normativa en relación a:
  - Seguridad
  - Habitabilidad
  - Confort higrotérmico
  - Salubridad
  - Iluminación

*Beneficios que aporta a los edificios:*

Una construcción sostenible aporta beneficios en el ámbito económico, social y medioambiental, entre los que cabe destacar:

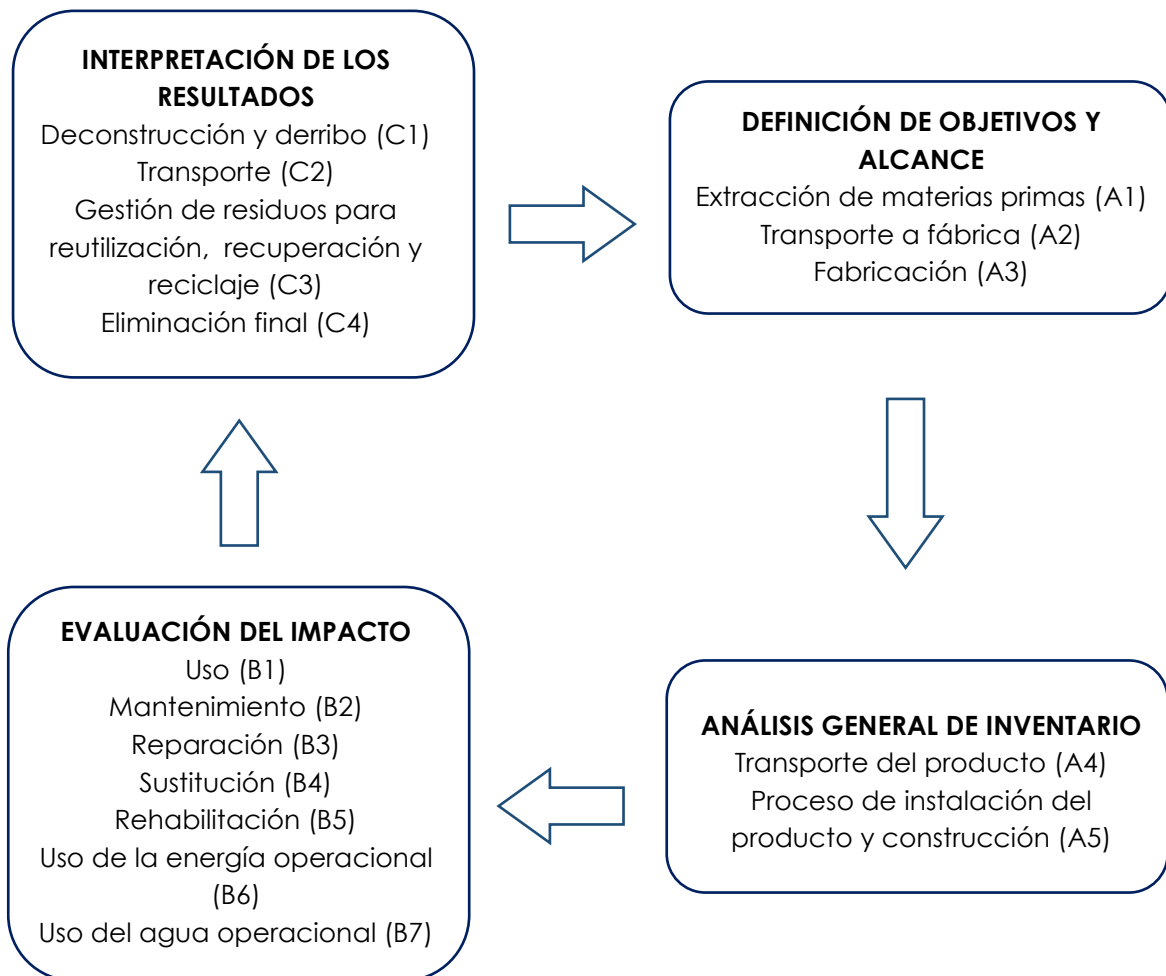
- Beneficios Económicos
  - Reducción de los costes de uso y mantenimiento
  - Incremento del valor de la construcción
  - Incremento de la eficiencia energética del edificio
- Beneficios Sociales
  - Mayor calidad acústica, térmica e higrotérmica de los edificios
  - Incremento del bienestar de los usuarios
- Beneficios Medioambientales
  - Mejora de la calidad del aire y del agua
  - Reducción de los residuos sólidos
  - Preservación y conservación de los recursos naturales

#### 4.4.2. Análisis del ciclo de vida del edificio

Así pues, una vez contextualizado el concepto de sostenibilidad y la construcción sostenible, vamos a adentrarnos en el propio análisis de ciclo de vida.

El análisis de ciclo de vida, es una herramienta que estudia y evalúa el impacto ambiental de un producto o servicio durante todas las etapas de su existencia, estableciendo un balance ambiental con objeto de conseguir un desarrollo sostenible.

De acuerdo con la clasificación y la nomenclatura incluida en las normas UNE-EN ISO 14040 y UNE-EN ISO 14044, se establecen cuatro etapas en el ciclo de vida de una construcción:



En el edificio estudiado, solamente se pueden considerar las etapas correspondientes a la fabricación del producto, a su transporte y al proceso de instalación del producto y su construcción.

#### 4.4.3. Indicadores de impacto ambiental contemplados

Para la posterior evaluación de la sostenibilidad del edificio, se han contemplado los siguientes indicadores de impacto ambiental:

- La energía incorporada: que estima la cantidad de energía consumida en las fases del Ciclo de Vida correspondientes al proceso de fabricación de los productos y a su instalación o puesta en obra. Este proceso incluye la extracción de materias primas (A1), el transporte a fábrica (A2), la elaboración o fabricación (A3), el transporte del producto hasta la obra (A4) y el proceso de instalación del producto y de construcción (A5).

- Las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente: es una unidad de medición usada para indicar el potencial de calentamiento global de cada uno de los gases de efecto invernadero que intervienen en el proceso de fabricación de los productos, de su transporte y de su instalación o puesta en obra, en comparación con el dióxido de carbono.

#### 4.4.4. Resultados y evaluación del análisis del ciclo de vida

Así pues, procedemos a mostrar y evaluar los resultados obtenidos del análisis de ciclo de vida del edificio, comparando entre los diferentes forjados estudiados, y los indicadores vistos en el apartado anterior, energía incorporada y emisiones de CO<sub>2</sub>.

ENERGÍA INCORPORADA (MJ)					
	Capítulo	A1-A2-A3 (Producto)	A4 (Transporte)	A5 (Construcción)	TOTAL
F.UNI.SEMIVIGUETAS ARMADAS	<i>Cimentación</i>	452028.21	6346.88	6.65	458381.74
	<i>Estructuras</i>	1047258.39	18264.82	18.85	1065542.06
	<i>Total</i>	1499286.60	24611.70	25.50	1523923.80
F.UNI.VIGUETAS PRETENSADAS	<i>Cimentación</i>	457895.22	6346.96	6.75	464248.93
	<i>Estructuras</i>	1035199.34	17997.64	19.07	1053216.05
	<i>Total</i>	1493094.56	24432.60	25.82	1517552.98
F.UNI.IN SITU	<i>Cimentación</i>	555420.75	7844.87	8.31	563273.93
	<i>Estructuras</i>	1154067.16	18937.89	20.65	1173025.70
	<i>Total</i>	1709487.91	26782.76	28.96	1736299.63
F.RETICULAR EPS	<i>Cimentación</i>	463212.55	6481.75	6.74	469701.04
	<i>Estructuras</i>	1203334.47	14837.04	18.71	1218190.22
	<i>Total</i>	1666547.02	21318.79	25.45	1687891.26
F.RETICULAR HORMIGÓN	<i>Cimentación</i>	474063.17	6635.09	6.90	480705.16
	<i>Estructuras</i>	1249468.30	17424.93	19.83	1266913.06
	<i>Total</i>	1723531.47	24060.02	26.73	1747618.22

Tabla 4.7: Energía incorporada de cada forjado por capítulo y etapa de ciclo de vida

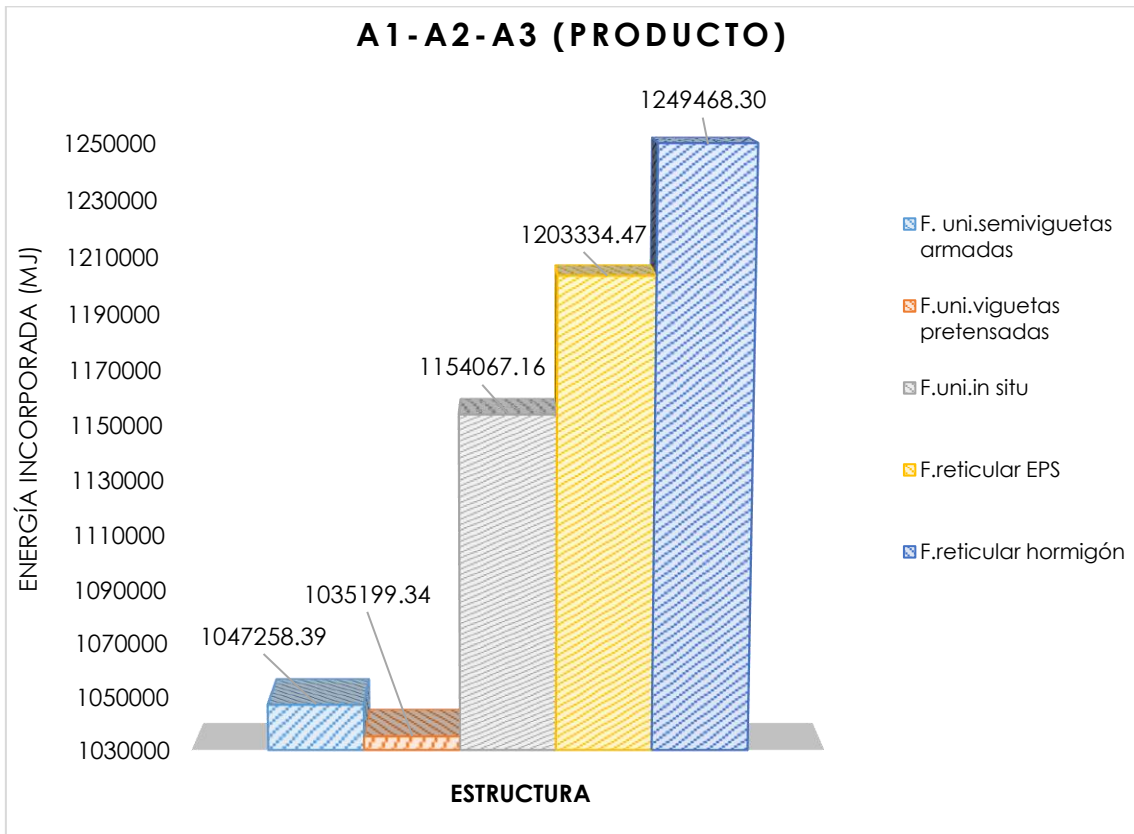


Gráfico 4.7: Energía incorporada de cada forjado en las etapas A1, A2 y A3 (Producto)

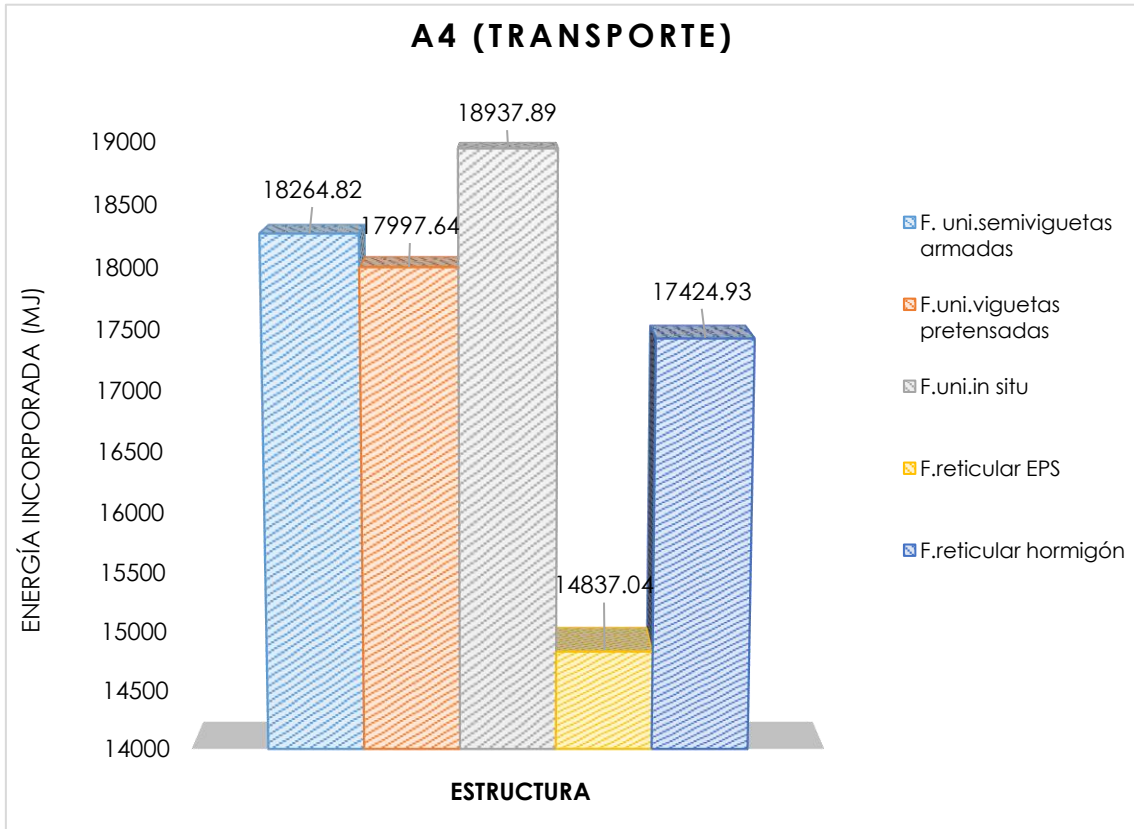


Gráfico 4.8: Energía incorporada de cada forjado en la etapa A4 (Transporte)

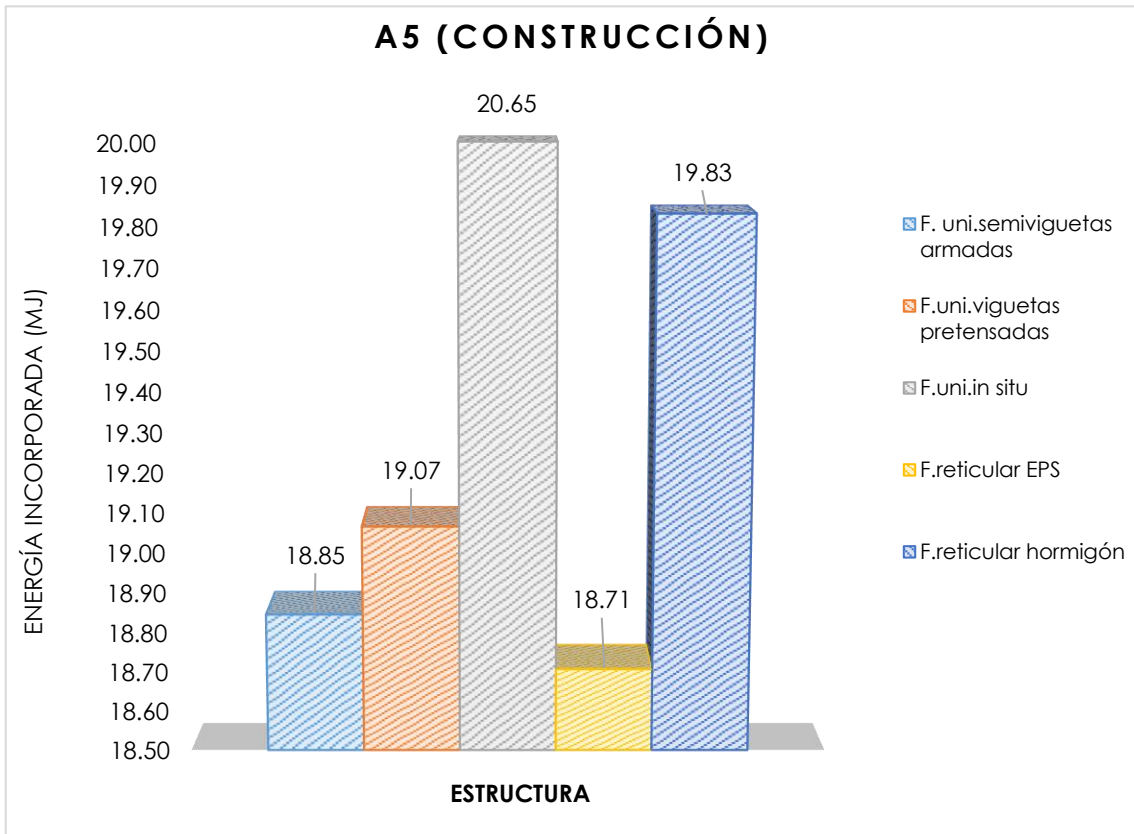


Gráfico 4.9: Energía incorporada de cada forjado en la etapa A5 (Construcción)

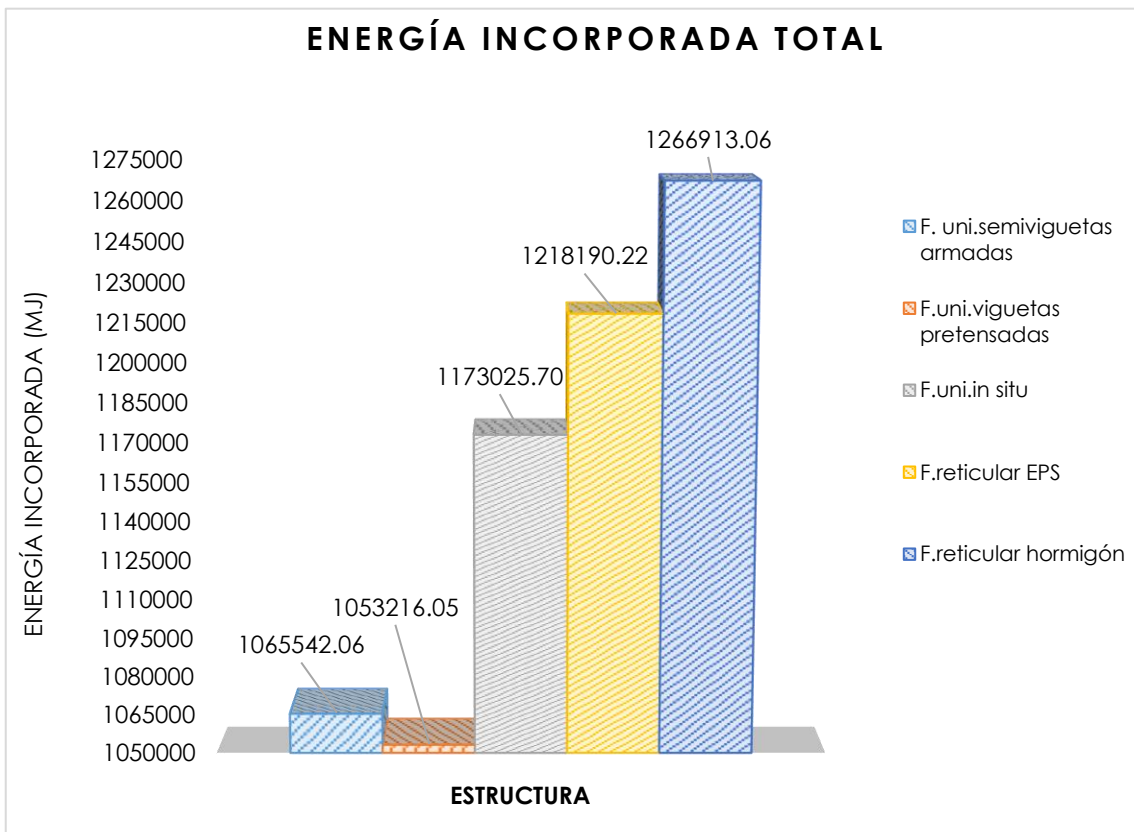


Gráfico 4.10: Energía incorporada total de cada forjado



De esta manera, si observamos las gráficas anteriores en las que se muestra la energía incorporada de la estructura solamente, dependiendo de la etapa del proyecto, podemos determinar que forjado necesita de mayor energía para su ejecución de manera rápida y simplificada.

Si nos detenemos en la última gráfica, donde se plasma la energía total consumida, determinamos que el forjado de viguetas pretensadas es el más ventajoso, a la par con el forjado de semiviguetas armadas.

Posteriormente, sería el forjado unidireccional ejecutado "in situ", aunque superando a éstos casi en un 14%, y por último los forjados reticulares de casetón de poliestireno y hormigón, con un 16 y 21 % de aumento respectivamente sobre el forjado de viguetas pretensadas.

De igual manera que con la energía incorporada, analizamos el potencial de calentamiento global (PCG) de cada uno de los forjados, es decir, la capacidad que tienen los diferentes gases de efecto invernadero que se emiten en la retención del calor en la atmósfera, en comparación con el dióxido de carbono como referencia.

<b>POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL (CO2 eq.)</b>					
	<b>Capítulos</b>	<b>A1-A2-A3 (Producto)</b>	<b>A4 (Transporte)</b>	<b>A5 (Construcción)</b>	<b>TOTAL</b>
<b>F.UNI.SEMIVIGUETAS ARMADAS</b>	<i>Cimentación</i>	39.90	0.47	0.00	40.37
	<i>Estructuras</i>	91.65	1.35	0.00	93.00
	<b>Total</b>	131.55	1.82	0.00	133.37
<b>F.UNI.VIGUETAS PRETENSADAS</b>	<i>Cimentación</i>	40.43	0.48	0.00	40.91
	<i>Estructuras</i>	90.32	1.33	0.00	91.65
	<b>Total</b>	130.75	1.81	0.00	132.56
<b>F.UNI.IN SITU</b>	<i>Cimentación</i>	49.11	0.58	0.00	49.69
	<i>Estructuras</i>	99.32	1.40	0.00	100.72
	<b>Total</b>	148.43	1.98	0.00	150.41
<b>F.RETICULAR EPS</b>	<i>Cimentación</i>	40.84	0.48	0.00	41.32
	<i>Estructuras</i>	101.44	1.10	0.00	102.54
	<b>Total</b>	142.28	1.58	0.00	143.86
<b>F.RETICULAR HORMIGÓN</b>	<i>Cimentación</i>	41.80	0.49	0.00	42.29
	<i>Estructuras</i>	105.64	1.29	0.00	106.93
	<b>Total</b>	147.44	1.78	0.00	149.22

Tabla 4.8: Emisiones de CO<sub>2</sub> de cada forjado por capítulo y etapa de ciclo de vida

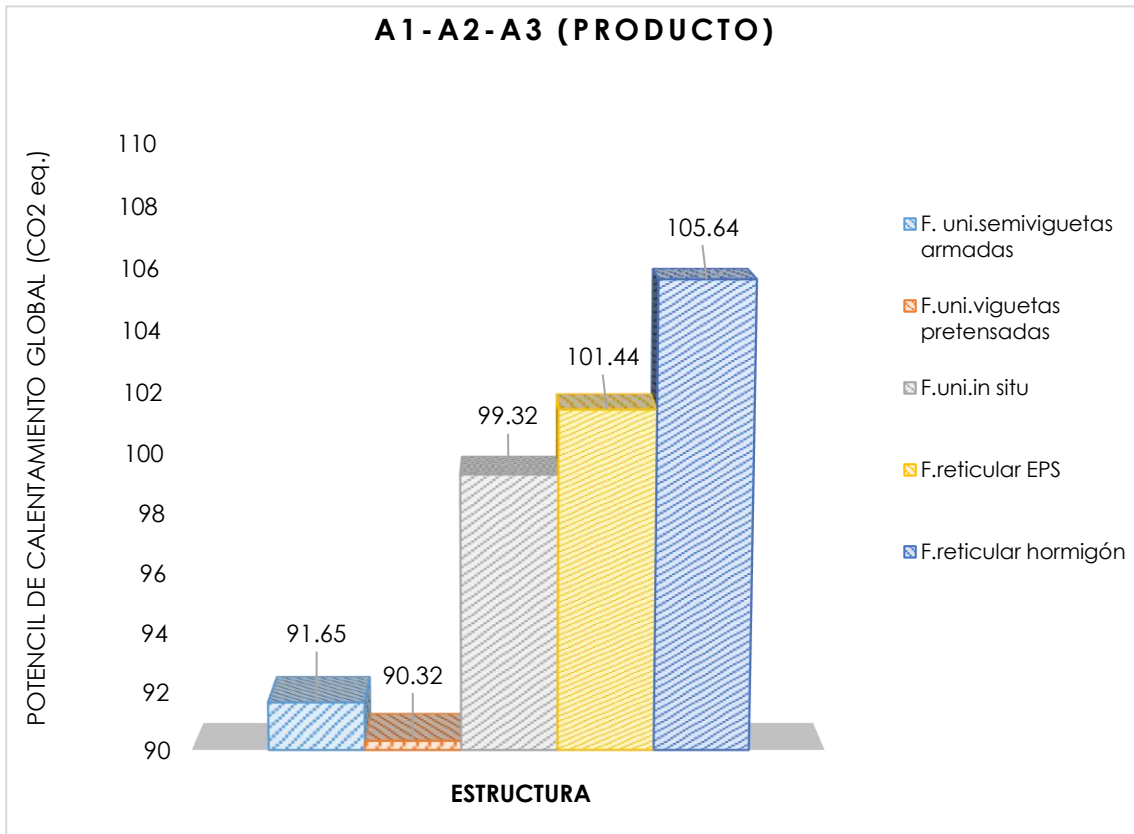


Gráfico 4.11: Emisiones de CO<sub>2</sub> de cada forjado en las etapas A1, A2 y A3 (Producto)

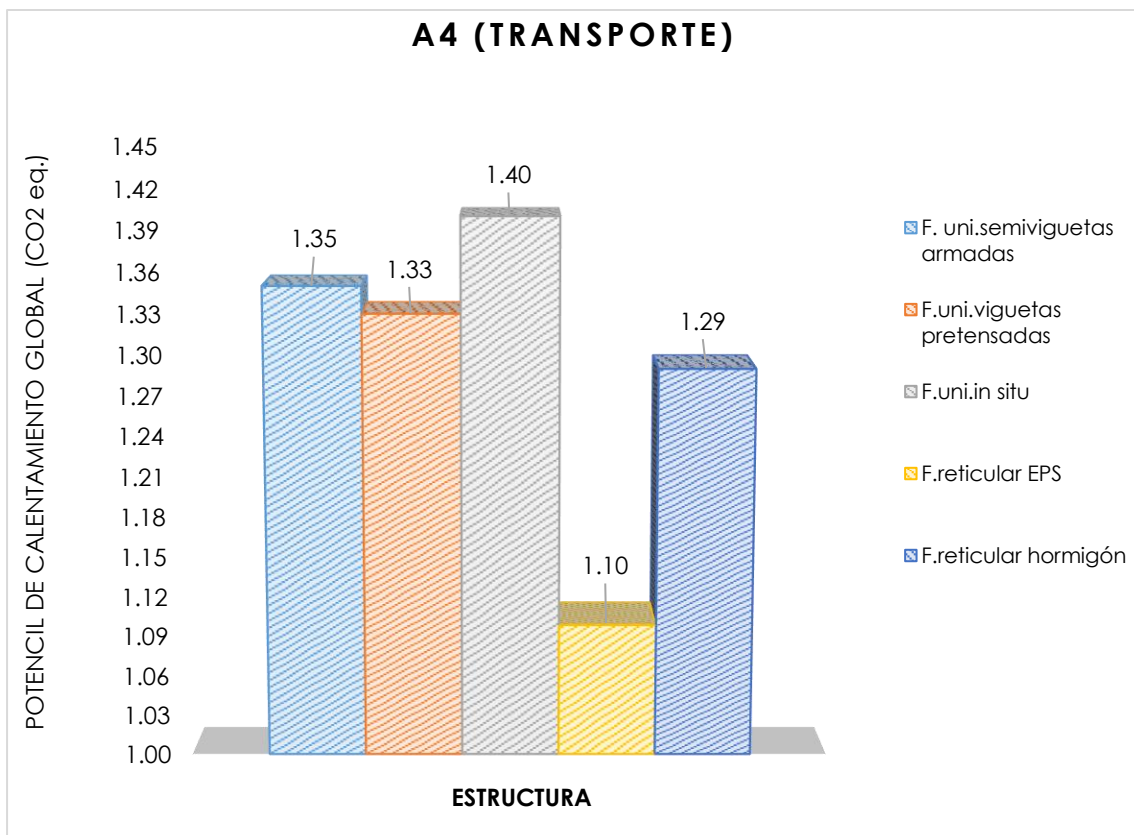


Gráfico 4.12: Emisiones de CO<sub>2</sub> de cada forjado en las etapas A4 (Transporte)

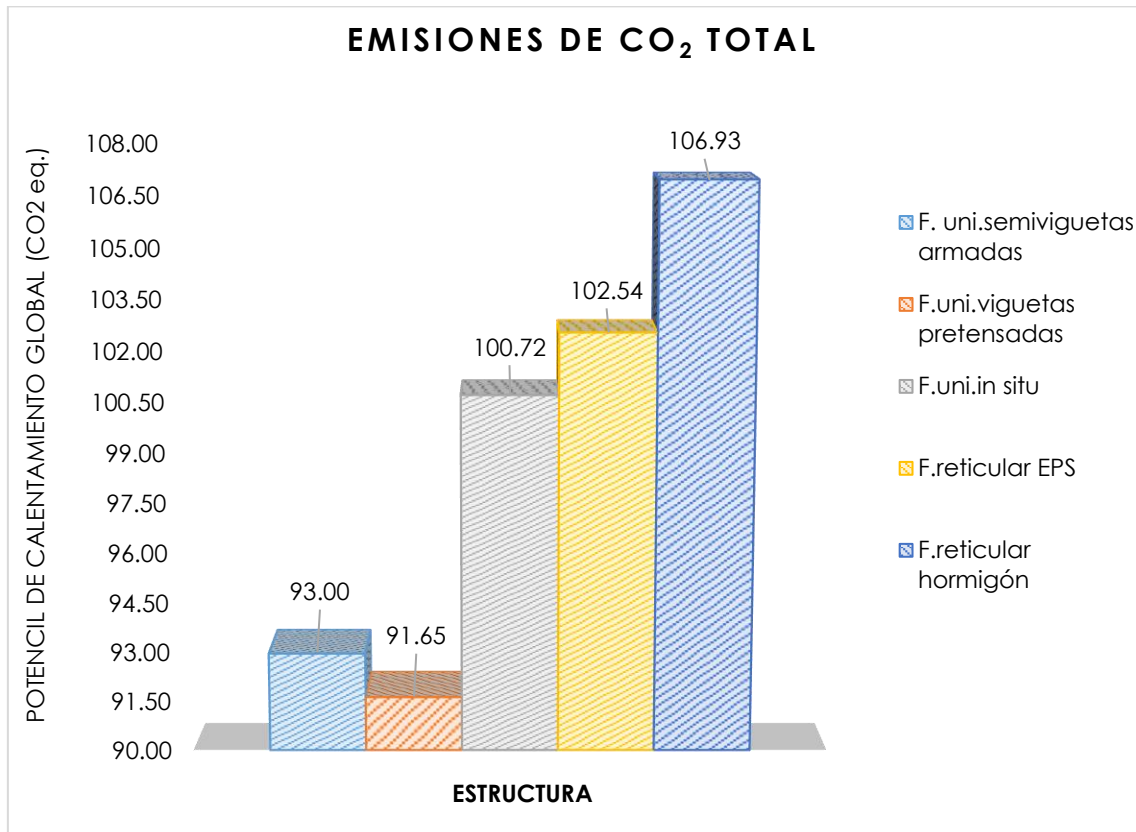


Gráfico 4.13: Total de emisiones de CO<sub>2</sub> de cada forjado analizado

En lo que a emisión de gases de efecto invernadero y contribución con el medio ambiente se refiere, es nuevamente el forjado de viguetas pretensadas el más interesante.

Tal y como observamos en la última gráfica, donde se representa el potencial total de la estructura, es el forjado de viguetas pretensadas el que menos emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente produce, a escasa diferencia con el forjado unidireccional de semiviguetas armadas.

A continuación, sería el forjado ejecutado totalmente "in situ", con un 10% más de emisiones, y para terminar los forjados reticulares de EPS y hormigón, con un 12% y 17% más de emisiones respectivamente en comparación con el forjado de vigueta pretensada.

Así pues, para concluir este apartado de sostenibilidad y ciclo de vida útil del edificio estudiado, podemos determinar de manera reiterada que el forjado de viguetas pretensadas es el más satisfactorio como hemos podido apreciar.

#### 4.5. Análisis de la generación de residuos

Otro aspecto que hemos querido estudiar en nuestro trabajo, es la generación de residuos durante el proceso de ejecución del edificio de cada uno de las tipologías de forjado estudiadas.

Para ello, se han estimado todos los posibles residuos de construcción y demolición, codificados atendiendo a la legislación vigente en materia de gestión de residuos, la "Orden MAM 304/2002. Operaciones de valorización y eliminación de residuos y Lista europea de residuos".

En ella, se establece la siguiente clasificación de grandes grupos de residuos:

- \* RCD de Nivel I: Tierras y materiales pétreos, no contaminados, procedentes de obras de excavación
- \* RCD de Nivel II: Residuos generados principalmente en las actividades propias del sector de la construcción, de la demolición, de la reparación domiciliaria y de la implantación de servicios.
  - RCD de naturaleza no pétreo
  - RCD de naturaleza pétreo
  - RCD potencialmente peligrosos

En consecuencia, se han cuantificado los residuos producidos en la obra a partir de las mediciones realizadas, en función del peso de los materiales que conforman las diferentes unidades de obra, determinando también el peso de los restos de materiales sobrantes como mermas, despuntes, roturas...etc., y el embalaje de todos los productos suministrados en obra.

A partir de ahí, en función del peso del residuo, se estima su volumen a través de la densidad aparente definida por el coeficiente entre el peso del residuo y el volumen que ocupa una vez vertido al contenedor.

##### 4.5.1. Identificación y cuantificación de los residuos generados

Así pues, a continuación, se mostrará la identificación y cuantificación de los recursos generados durante el proceso de ejecución de la estructura del edificio estudiado, diferenciando entre los forjados considerados.

FORJADO UNIDIRECCIONAL DE SEMIVIGUETAS ARMADAS				
Material según Orden MAM	Código LER	Densidad aparente (t/m <sup>3</sup> )	Peso (t)	Volumen (m <sup>3</sup> )
<b>RCD de Nivel II</b>				
<b>RCD de naturaleza no pétreo</b>				5.449
<b>1. Madera</b>				
Madera	17 02 01	1.10	5.231	4.755
<b>2. Metales (incluidas sus aleaciones)</b>				
Envases metálicos	15 01 04	0.60	0.001	0.002
Hierro y acero	17 04 05	2.10	1.085	0.517
<b>3. Plástico</b>				
Plástico	17 02 03	0.60	0.105	0.175
<b>4. Basura</b>				
Residuos mezclados de construcción y demolición distintos de los especificados en los códigos 17 09 01, 17 09 02 y 17 09 03.	17 09 04	1.50	0.000	0.000
<b>RCD de naturaleza pétreo</b>				10.885
<b>1. Hormigón</b>				
Hormigón (hormigones, morteros y prefabricados)	17 01 01	1.50	16.33	10.885
<b>TOTAL</b>				<b>16,334</b>

Tabla 4.9: Desglose de los residuos generados por el forjado unidireccional de semiviguetas armadas

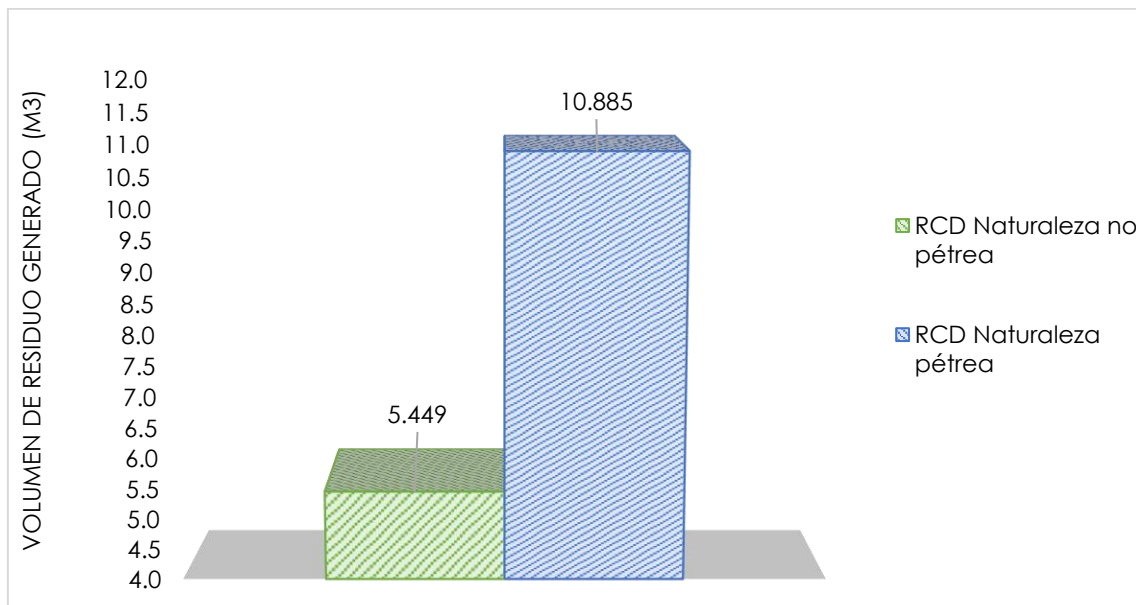


Gráfico 4.14: Comparación de RCD generados de naturaleza pétreo y no pétreo del forjado de semiviguetas armadas

FORJADO UNIDIRECCIONAL DE VIGUETAS PRETENSADAS				
Material según Orden MAM	Código LER	Densidad aparente (t/m <sup>3</sup> )	Peso (t)	Volumen (m <sup>3</sup> )
<b>RCD de Nivel II</b>				
<b>RCD de naturaleza no pétreo</b>				5.595
<b>1. Madera</b>				
Madera	17 02 01	1.10	5.388	4.898
<b>2. Metales (incluidas sus aleaciones)</b>				
Envases metálicos	15 01 04	0.60	0.001	0.002
Hierro y acero	17 04 05	2.10	1.088	0.518
<b>3. Plástico</b>				
Plástico	17 02 03	0.60	0.106	0.177
<b>4. Basura</b>				
Residuos mezclados de construcción y demolición distintos de los especificados en los códigos 17 09 01, 17 09 02 y 17 09 03.	17 09 04	1.50	0.000	0.000
<b>RCD de naturaleza pétreo</b>				11.284
<b>1. Hormigón</b>				
Hormigón (hormigones, morteros y prefabricados)	17 01 01	1.50	16.93	11.284
<b>TOTAL</b>				<b>16.879</b>

Tabla 4.10: Desglose de los residuos generados por el forjado uni. de viguetas pretensadas

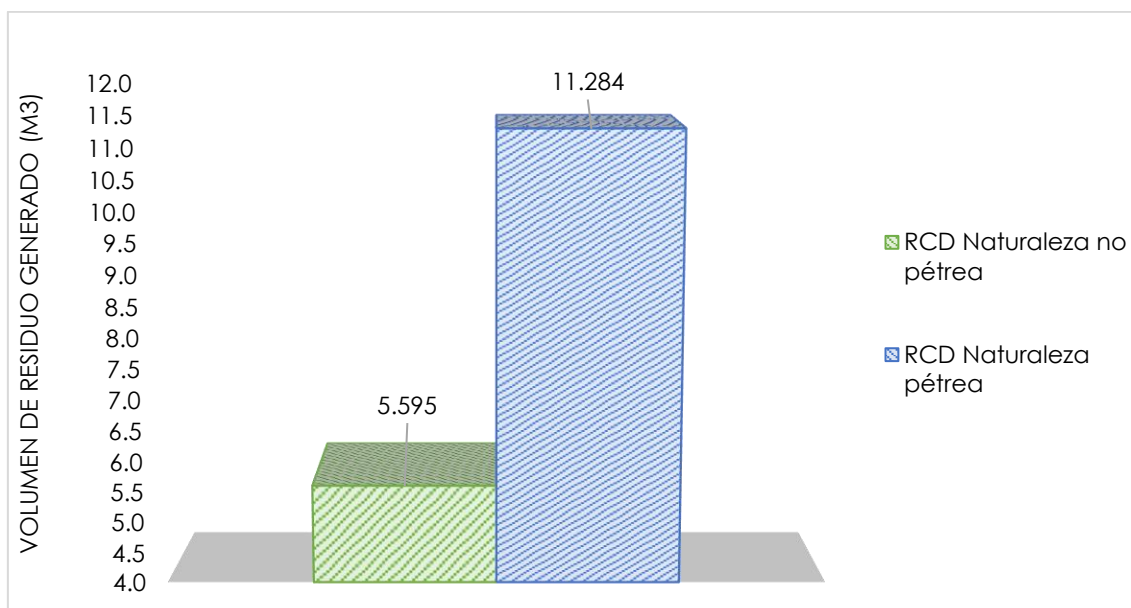


Gráfico 4.15: Comparación de RCD generados de naturaleza pétreo y no pétreo del forjado de viguetas pretensadas

FORJADO UNIDIRECCIONAL "IN SITU"				
Material según Orden MAM	Código LER	Densidad aparente (t/m <sup>3</sup> )	Peso (t)	Volumen (m <sup>3</sup> )
<b>RCD de Nivel II</b>				
<b>RCD de naturaleza no pétreo</b>				5.691
<b>1. Madera</b>				
Madera	17 02 01	1.10	5.585	5.077
<b>2. Metales (incluidas sus aleaciones)</b>				
Envases metálicos	15 01 04	0.60	0.001	0.002
Hierro y acero	17 04 05	2.10	1.208	0.575
<b>3. Plástico</b>				
Plástico	17 02 03	0.60	0.022	0.037
<b>4. Basura</b>				
Residuos mezclados de construcción y demolición distintos de los especificados en los códigos 17 09 01, 17 09 02 y 17 09 03.	17 09 04	1.50	0.000	0.000
<b>RCD de naturaleza pétreo</b>				9.822
<b>1. Hormigón</b>				
Hormigón (hormigones, morteros y prefabricados)	17 01 01	1.50	14.733	9.822
<b>TOTAL</b>				<b>15.513</b>

Tabla 4.11: Desglose de los residuos generados por el forjado uni. ejecutado "in situ"

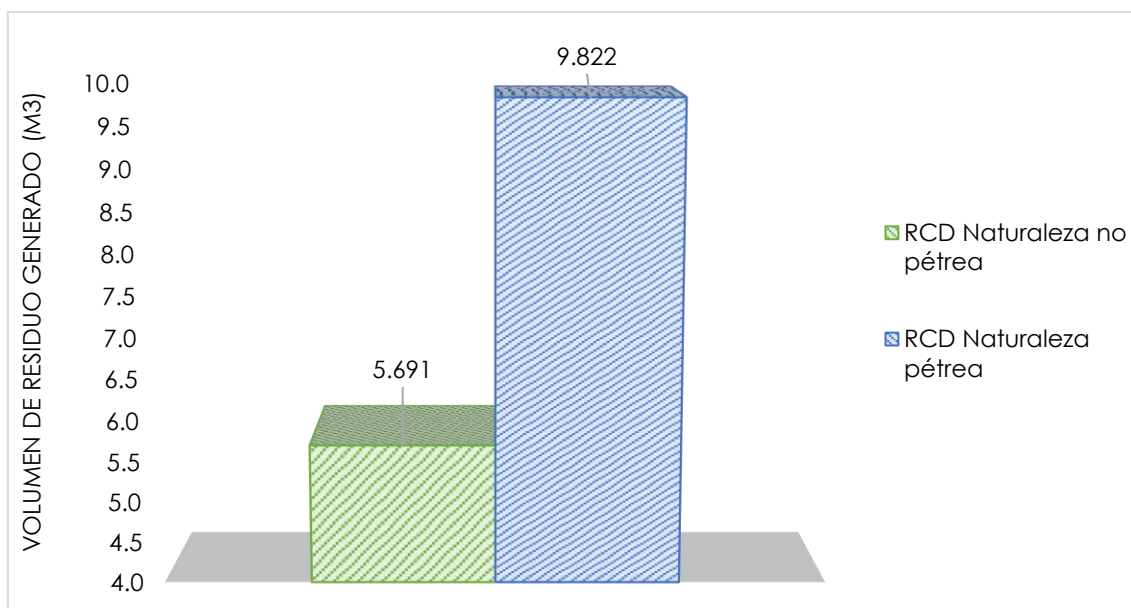


Gráfico 4.16: Comparación de RCD generados de naturaleza pétreo y no pétreo del forjado "in situ"

FORJADO RETICULAR CON CASETÓN DE EPS				
Material según Orden MAM	Código LER	Densidad aparente (t/m <sup>3</sup> )	Peso (t)	Volumen (m <sup>3</sup> )
<b>RCD de Nivel II</b>				
<b>RCD de naturaleza no pétreo</b>				8.804
<b>1. Madera</b>				
Madera	17 02 01	1.10	8.458	7.689
<b>2. Metales (incluidas sus aleaciones)</b>				
Envases metálicos	15 01 04	0.60	0.001	0.002
Hierro y acero	17 04 05	2.10	2.337	1.113
<b>3. Plástico</b>				
Plástico	17 02 03	0.6	0.000	0.000
<b>4. Basura</b>				
Residuos mezclados de construcción y demolición distintos de los especificados en los códigos 17 09 01, 17 09 02 y 17 09 03.	17 09 04	1.50	0.000	0.000
<b>RCD de naturaleza pétreo</b>				1.717
<b>1. Hormigón</b>				
Hormigón (hormigones, morteros y prefabricados)	17 01 01	1.50	2.576	1.717
<b>TOTAL</b>				<b>15.513</b>

Tabla 4.12: Desglose de los residuos generados por el forjado reticular con casetón de EPS

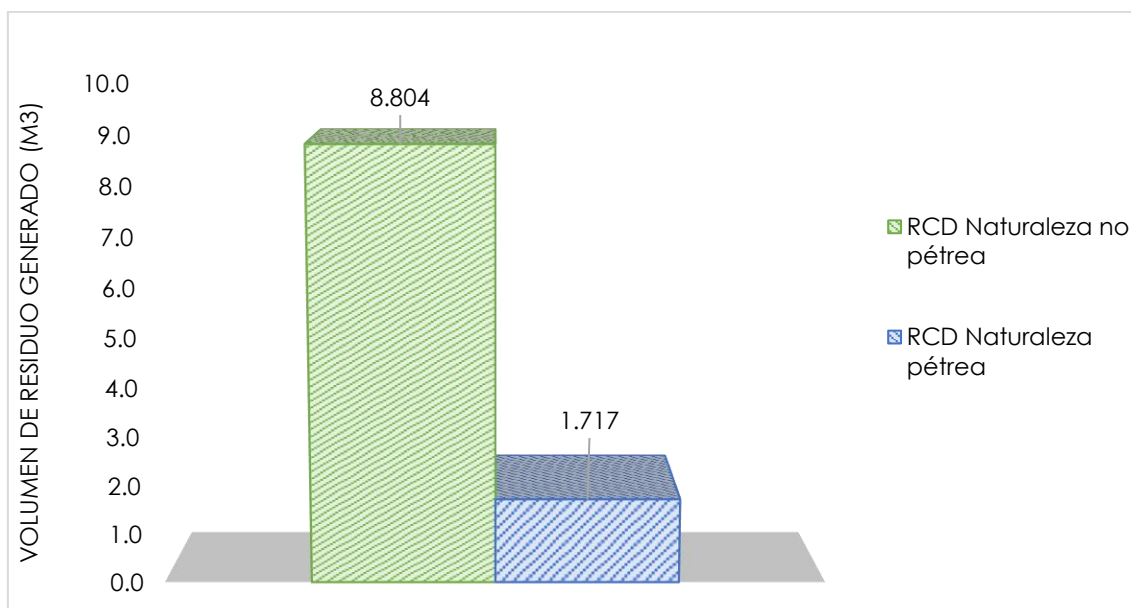


Gráfico 4.17: Comparación de RCD generados de naturaleza pétreo y no pétreo del forjado reticular de EPS



FORJADO RETICULAR CON CASETÓN DE HORMIGÓN				
Material según Orden MAM	Código LER	Densidad aparente (t/m <sup>3</sup> )	Peso (t)	Volumen (m <sup>3</sup> )
<b>RCD de Nivel II</b>				
<b>RCD de naturaleza no pétreo</b>				9.049
<b>1. Madera</b>				
Madera	17 02 01	1.10	8.693	7.903
<b>2. Metales (incluidas sus aleaciones)</b>				
Envases metálicos	15 01 04	0.60	0.001	0.002
Hierro y acero	17 04 05	2.10	2.351	1.120
<b>3. Plástico</b>				
Plástico	17 02 03	0.6	0.015	0.025
<b>4. Basura</b>				
Residuos mezclados de construcción y demolición distintos de los especificados en los códigos 17 09 01, 17 09 02 y 17 09 03.	17 09 04	1.50	0.000	0.000
<b>RCD de naturaleza pétreo</b>				3.297
<b>1. Hormigón</b>				
Hormigón (hormigones, morteros y prefabricados)	17 01 01	1.50	4.946	3.297
<b>TOTAL</b>				<b>15.513</b>

Tabla 4.13: Desglose de los residuos generados por el forjado reticular con casetón de hormigón

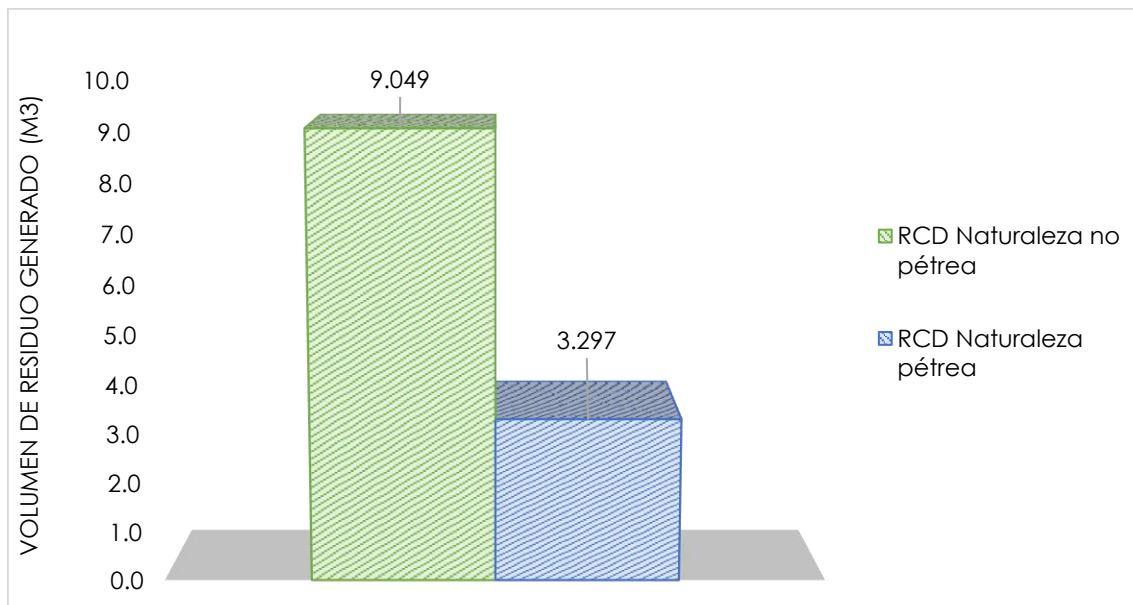


Gráfico 4.18: Comparación de RCD generados de naturaleza pétreo y no pétreo del forjado reticular de hormigón

En cuanto a la información mostrada hasta el momento en éste apartado de residuos, podemos observar, que, en los tres forjados unidireccionales estudiados, se produce una equitativa diferencia entre los residuos generados de naturaleza no pétreo frente a los de naturaleza pétreo, siendo éstos un 75% superior.

En cambio, en los forjados reticulares ocurre al revés, son los residuos de naturaleza no pétreo, cuadruplicando en cantidad a los de naturaleza pétreo.

Además, hemos querido representar igualmente de manera gráfica el total de residuo generado por cada forjado, incluyendo tanto los RCD de naturaleza no pétreo como los RCD de naturaleza pétreo.

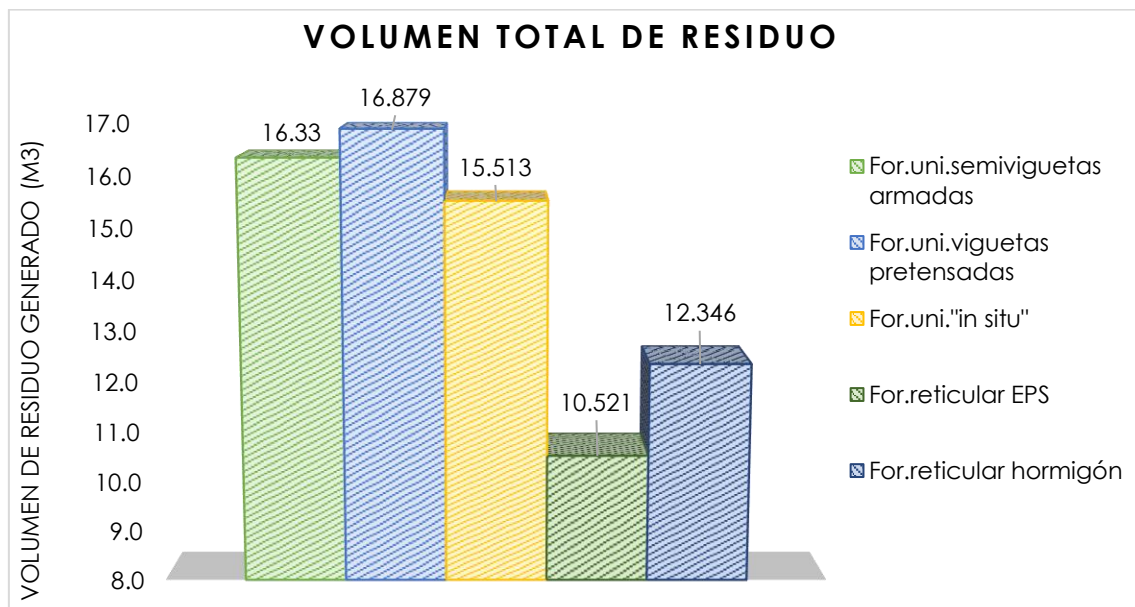


Gráfico 4.19: Comparación del total de RCD generados por cada uno de los forjados objeto de análisis

Al contrario que ocurre en todas las comparaciones hechas en éste trabajo, en esta ocasión es el forjado unidireccional de viguetas pretensadas el más desfavorable.

Como vemos, el forjado reticular con casetón de EPS es el que menos residuo produce, seguido del ejecutado con casetón de hormigón y los forjados unidireccionales, éstos últimos alrededor de un 45% por encima de los reticulares.

## **5. CONCLUSIONES**

Como trazo final a este trabajo fin de grado sobre los forjados de hormigón armado, podemos anunciar que los resultados y los frutos han sido realmente satisfactorios.

Han sido cinco los forjados estudiados, tres de ellos unidireccionales (forjado de semiviguetas armadas, forjado de viguetas pretensadas y forjado ejecutado "in situ"), y dos forjados reticulares, uno de ellos con casetón de poliestireno (EPS), y otro con casetón de hormigón. Todos ellos han sido valorados en tres sobrecargas de uso distintas; uso comercial, uso vivienda y uso cubierta.

En primer lugar, referente al estudio paramétrico previo, se estudiaron parámetros o características de ellos que pudieran estar ligados o relacionados con la luz existente, como el canto, y por tanto el peso, el coste, el tiempo de ejecución o también las cualidades térmicas y acústicas.

Pero sin duda, el parámetro más importante estudiado en el estudio paramétrico ha sido la rigidez estructural. Al fin y al cabo, es de vital importancia que una determinada tipología cumpla con la flecha máxima exigida por la normativa.

En éste sentido, podemos resolver que se trata del forjado de viguetas pretensadas el que cuenta con mayor rigidez hasta luces de 7 metros, y el forjado reticular de EPS en rangos de 7 a 10 metros de luz.

Igualmente, en cuanto a coste es el forjado de viguetas pretensadas el más económico, alrededor de un 6% menos que el forjado más costoso, el reticular con casetón de EPS.

En lo que a tiempo de ejecución se refiere, es también el forjado de vigueta pretensada el más rápido de ejecutar, en torno a un 17 % menos de tiempo que el forjado reticular de EPS, que es el más tarde en elaborar.

En cambio, en cuestión de peso es difícil hacer una distinción clara, si no es solamente para determinar que el forjado con casetón de hormigón es el más pesado.

En cuestión de propiedades térmicas y acústicas, es claramente el forjado reticular de EPS el que goza de mayor virtud.

En referencia a la segunda parte del trabajo, es decir, la confirmación de éstos resultados del estudio paramétrico adaptado a un edificio residencial real, hemos de decir que ha sido grato el resultado.

Primeramente, hemos de predominar, que colocando cada uno de los forjados con el canto según lo emitido en el estudio paramétrico, todos ellos cumplían

en lo que a flecha y rigidez se refiere, es decir, con aquello que consideramos más importante a la hora de la elección de un forjado.

De ésta manera, cumpliéndose las predicciones en cuanto a flecha y rigidez, y por tanto el haber colocado los cantos idóneos, se cumplía de nuevo que el edificio conformado con forjado unidireccional de viguetas pretensadas es el más admisible económicamente.

Además, en este capítulo se han incluido otras singularidades de las tipologías de estudio como son la sostenibilidad, el impacto con el medio ambiente y la generación de residuos.

En referencia a la sostenibilidad y el impacto medioambiental, podemos afirmar que es el forjado de viguetas pretensadas el más generoso, pues necesita un 20% menos de energía para su ejecución que el que más necesita, el forjado reticular de hormigón. Lo mismo ocurre con las emisiones de CO<sub>2</sub>, pues el forjado de viguetas pretensadas emite cerca de un 17% menos de emisiones.

En cambio, en lo que a generación de residuos se refiere, ocurre al contrario, el forjado de viguetas pretensadas es el mayor generador de residuos, próximo a un 62% más que el forjado que menos genera, el forjado reticular de EPS.

Así pues, como desenlace final de este trabajo final de grado, definimos que es el forjado unidireccional ejecutado con viguetas pretensadas y entrevigado de hormigón el que cuenta con mejores cualidades en lo que se puede buscar en un forjado para su colocación; resistencia estructural, el menor coste posible, facilidad y rapidez de ejecución, y ese concepto del que tanto se habla hoy en día y que cada día se le da más importancia, la sostenibilidad y el impacto medioambiental.

Al margen de todo lo anterior, hemos de comentar que se acompañan adjuntos en el capítulo de anexos, planos de manera justificativa y explicativa al cálculo de cada una de las estructuras dichas en la aplicación en un caso real.

De igual manera se adjunta el presupuesto desglosado del edificio ejecutado con forjado de viguetas pretensadas, pues como ya hemos comentado consideramos es el más completo en los aspectos estudiados. Hemos estimado inoportuno y excesivo el acompañar los presupuestos de todas las estructuras siendo que se ha visto de manera simplificada en el apartado 4.3.2 del presente documento.

Por último, se agregan las hojas de los resultados obtenidos del estudio paramétrico.

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

Construcción de estructuras de hormigón armado.

Pascual Urbán Brotóns / José A. García Aznar. 1999

Forjados unidireccionales de hormigón armado y pretensado.

Ángel Vallejo Hernández / Ángels Mas Tomás. 2000

Los forjados reticulares: diseño, análisis, construcción y patología.

Florentino Regalado Tesoro. 2003

Estudio comparativo de tipologías de forjados analizando su coste económico, social y ambiental

Laura Miquel López. 2008

Estudio comparativo de estructura con forjado en base a losa maciza de hormigón frente a forjado unidireccional para vivienda unifamiliar

Manuel Vázquez Clemente

Código Técnico de la Edificación CTE

Ministerio de Vivienda. 2006

Instrucción de Hormigón Estructural (EHE)

Ministerio de Fomento. 2008

Catálogo de elementos constructivos

Instituto Eduardo Torroja. 2010

# Anexo 1. Planos

## 1. EDIFICIO CON FORJADO UNI.DE VIGUETAS PRETENSADAS

- 1.1. CIMENTACIÓN
- 1.2. ESTRUCTURA / Forjado Pl. baja
- 1.3. ESTRUCTURA / Forjado Pl. viviendas
- 1.4. ESTRUCTURA / Forjado Pl. cubierta
- 1.5. DETALLES CONSTRUCTIVOS

## 2. EDIFICIO CON FORJADO UNI.DE SEMIVIGUETAS ARMADAS

- 2.1. CIMENTACIÓN
- 2.2. ESTRUCTURA / Forjado Pl. baja
- 2.3. ESTRUCTURA / Forjado Pl. viviendas
- 2.4. ESTRUCTURA / Forjado Pl. cubierta
- 2.5. DETALLES CONSTRUCTIVOS

## 3. EDIFICIO CON FORJADO UNI."IN SITU"

- 3.1. CIMENTACIÓN
- 3.2. ESTRUCTURA / Forjado Pl. baja
- 3.3. ESTRUCTURA / Forjado Pl. viviendas
- 3.4. ESTRUCTURA / Forjado Pl. cubierta
- 3.5. DETALLES CONSTRUCTIVOS

## 4. EDIFICIO CON FORJADO RETICULAR CON CASETÓN DE EPS

- 4.1. CIMENTACIÓN
- 4.2. ESTRUCTURA / Forjado Pl. baja

- 4.3. ESTRUCTURA / Forjado Pl. viviendas
- 4.4. ESTRUCTURA / Forjado Pl. cubierta
- 4.5. ARMADO LONGITUDINAL INFERIOR / Pl. baja
  
- 4.6. ARMADO LONGITUDINAL INFERIOR / Pl. viviendas
- 4.7. ARMADO LONGITUDINAL INFERIOR / Pl. cubierta
- 4.8. ARMADO LONGITUDINAL SUPERIOR / Pl. baja
- 4.9. ARMADO LONGITUDINAL SUPERIOR / Pl. viviendas
- 4.10. ARMADO LONGITUDINAL SUPERIOR / Pl. cubierta
- 4.11. DETALLES CONSTRUCTIVOS

## 5. EDIFICIO CON FORJADO RET. CON CASETÓN DE HORMIGÓN

- 5.1. CIMENTACIÓN
- 5.2. ESTRUCTURA / Forjado Pl. baja
- 5.3. ESTRUCTURA / Forjado Pl. viviendas
- 5.4. ESTRUCTURA / Forjado Pl. cubierta
- 5.5. ARMADO LONGITUDINAL INFERIOR / Pl. baja
- 5.6. ARMADO LONGITUDINAL INFERIOR / Pl. viviendas
- 5.7. ARMADO LONGITUDINAL INFERIOR / Pl. cubierta
- 5.8. ARMADO LONGITUDINAL SUPERIOR / Pl. baja
- 5.9. ARMADO LONGITUDINAL SUPERIOR / Pl. viviendas
- 5.10. ARMADO LONGITUDINAL SUPERIOR / Pl. cubierta
- 5.11. DETALLES CONSTRUCTIVOS

## 6. DETALLES CONSTRUCTIVOS GENÉRICOS EN CIMENTACIÓN

- 6.1. DETALLES CONSTRUCTIVOS CIMENTACIÓN / 1
- 6.2. DETALLES CONSTRUCTIVOS CIMENTACIÓN / 2

# **1. EDIFICIO MODELADO CON FORJADO UNIDIRECCIONAL DE VIGUETAS PRETENSADAS**



Hormigón: HA-25,  $Y_c=1.5$   
 Acero B 500 S,  $Y_s=1.15$

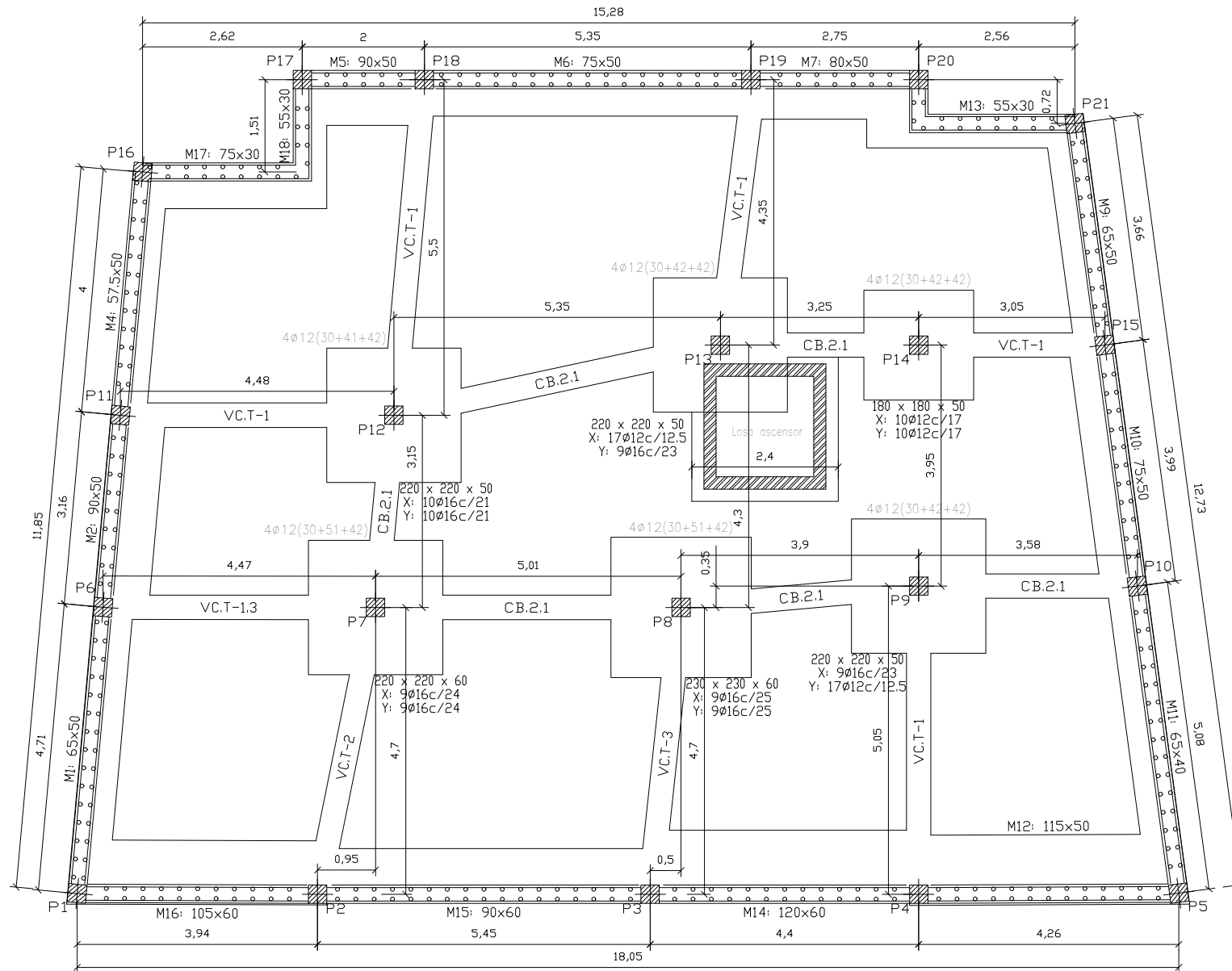


Tabla de vigas centradoras			
40	VC.T-1	40	VC.T-3
↕	Arm. sup.: 4Ø16	↕	Arm. sup.: 5Ø25
↔	Arm. inf.: 3Ø12	↔	Arm. inf.: 3Ø12
	Arm. piel: 1x2Ø12		Arm. piel: 1x2Ø12
	Estribos: 1xØ8c/30		Estribos: 1xØ8c/30
40	VC.T-1.3	40	VC.T-2
↕	Arm. sup.: 4Ø16	↕	Arm. sup.: 4Ø20
↔	Arm. inf.: 3Ø16	↔	Arm. inf.: 3Ø12
	Arm. piel: 1x2Ø12		Arm. piel: 1x2Ø12
	Estribos: 1xØ8c/20		Estribos: 1xØ8c/30

Tabla de vigas de atado	
40	CB.2.1
↕	Arm. sup.: 2Ø12
↔	Arm. inf.: 4Ø12
	Estribos: 1xØ8c/25

CUADRO DE ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN				
Referencias	Dimensiones (cm)	Canto (cm)	Armado inf. X	Armado inf. Y
P7	220x220	60	9Ø16c/24	9Ø16c/24
P8	230x230	60	9Ø16c/25	9Ø16c/25
P9	220x220	50	9Ø16c/23	17Ø12c/12.5
P12	220x220	50	10Ø16c/21	10Ø16c/21
P13	220x220	50	17Ø12c/12.5	9Ø16c/23
P14	180x180	50	10Ø12c/17	10Ø12c/17

ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

Ismael López Escriche  
 Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

CIMENTACIÓN

ESCALA 1:100

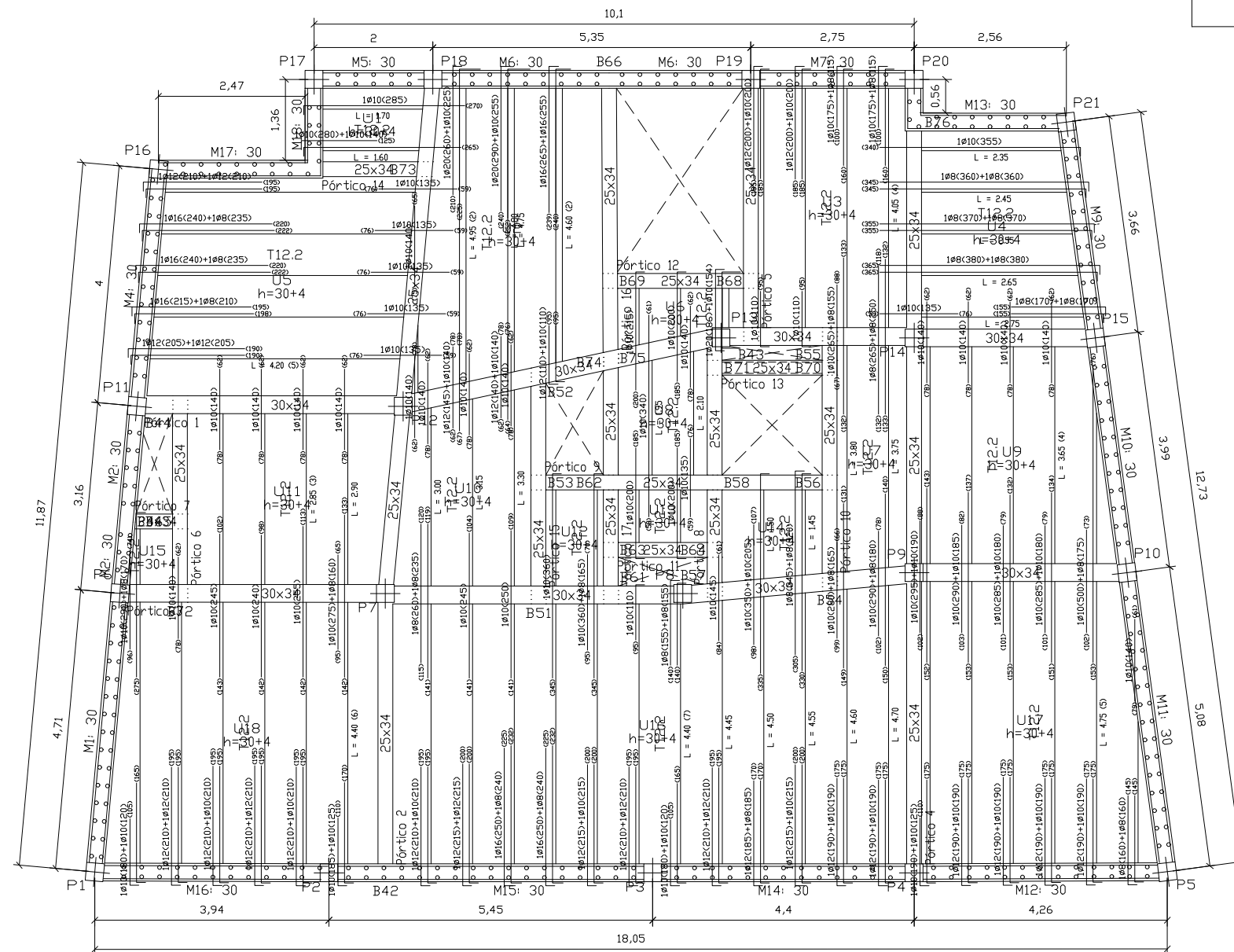
Castellón, noviembre 2016

Firma:

PLANO N°:

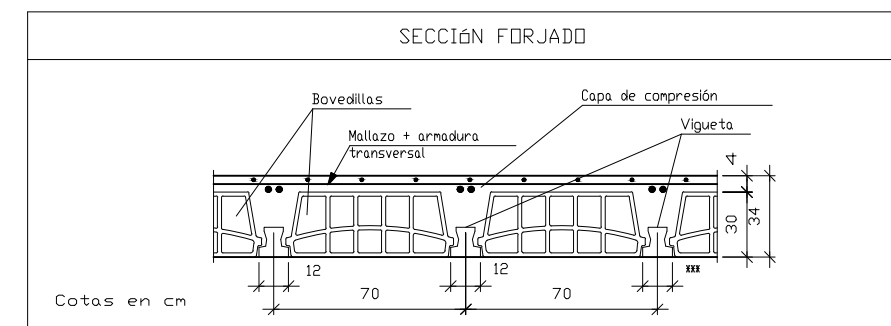
1.1

Hormigón: HA-25, Yc=1.5  
Acero B 500 S, Ys=1.15



Resumen Acero Planta baja Replanteo	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
B 500 S, Ys=1.15	Ø8	76.1	33
	Ø10	173.7	118
	Ø12	61.2	60
	Ø16	17.2	30
	Ø20	7.4	20
			261

Tabla de características de forjados de viguetas (Grupo I)  
FORJADO DE VIGUETAS PRETENSADAS  
Fabricante: PREVALESA DITECO T12  
Tipo de bovedilla: De hormigón  
Canto del forjado: 34 = 30 + 4 (cm)  
Intereje: 70 cm (simple) y 81 cm (doble)  
Hormigón obra: HA-25, Yc=1.5  
Hormigones viguetas: HA-40, Yc=1.5  
Acero pretensar: Y 1860 C  
Aceros negativos: B 500 S, Ys=1.15  
Peso propio: 3.98 kN/m<sup>2</sup> (simple) y 4.50 kN/m<sup>2</sup> (doble)



ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

PLANO N°:

Ismael López Escriche  
Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

ESTRUCTURA / Forjado PI. baja

Firma:

ESCALA 1:100

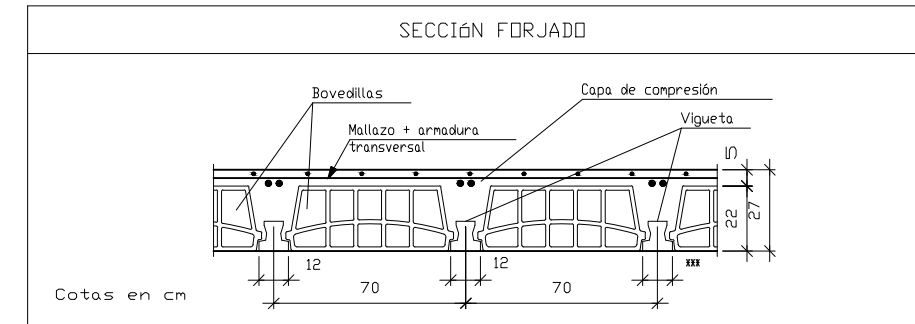
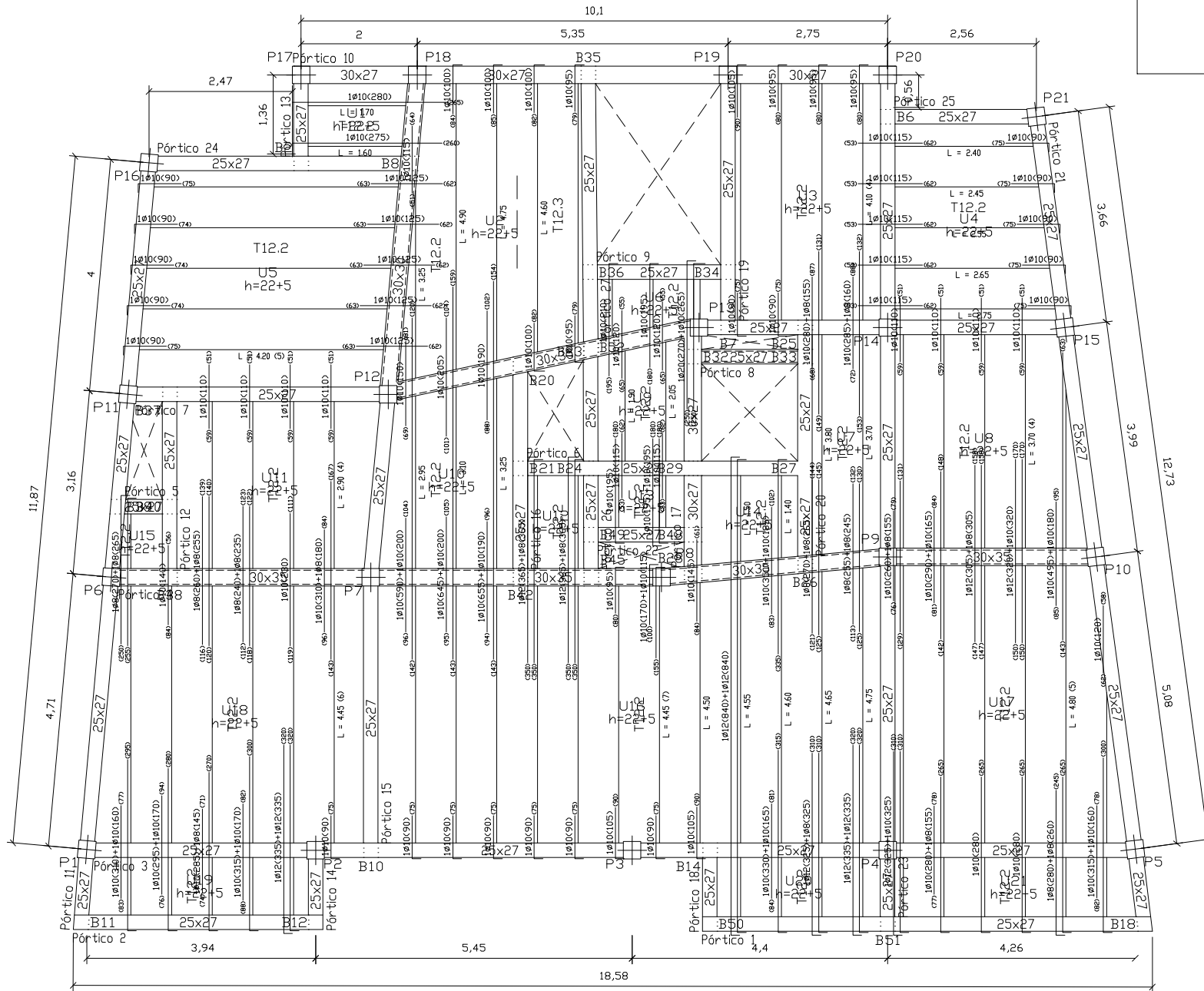
Castellón, noviembre 2016

1.2

Hormigón: HA-25, Yc=1.5  
Acero B 500 S, Ys=1.15

Resumen Acero Forjados 2 a 4 Replanteo	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
B 500 S, Ys=1.15 Ø8	54.1	23	204
Ø10	183.8	125	
Ø12	50.3	49	
Ø20	2.7	7	

Tabla de características de forjados de viguetas (Grupo 2)  
FORJADO DE VIGUETAS PRETENSADAS  
Fabricante: PREVALESA DITECO T12  
Tipo de bovedilla: De hormigón  
Canto del forjado: 27 = 22 + 5 (cm)  
Intereje: 70 cm (simple) y 81 cm (doble)  
Hormigón obra: HA-25, Yc=1.5  
Hormigones viguetas: HA-40, Yc=1.5  
Acero pretensar: Y 1860 C  
Aceros negativos: B 500 S, Ys=1.15  
Peso propio: 3.42 kN/m2 (simple) y 3.80 kN/m2 (doble)



ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

PLANO N°:

Ismael López Escriche  
Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

**ESTRUCTURA / Forjado Pl.viviendas**

Firma:

ESCALA 1:100

**1.3**

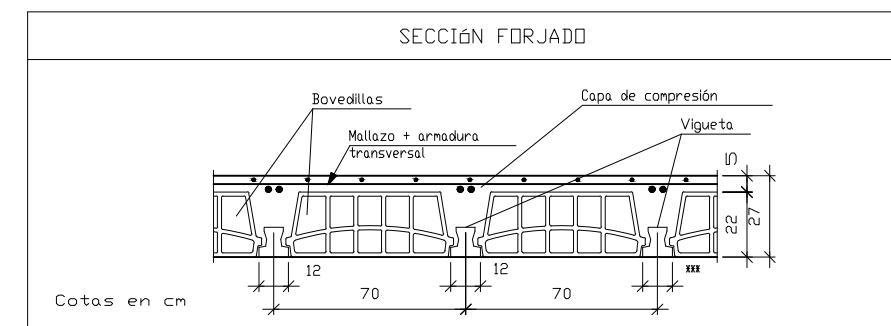
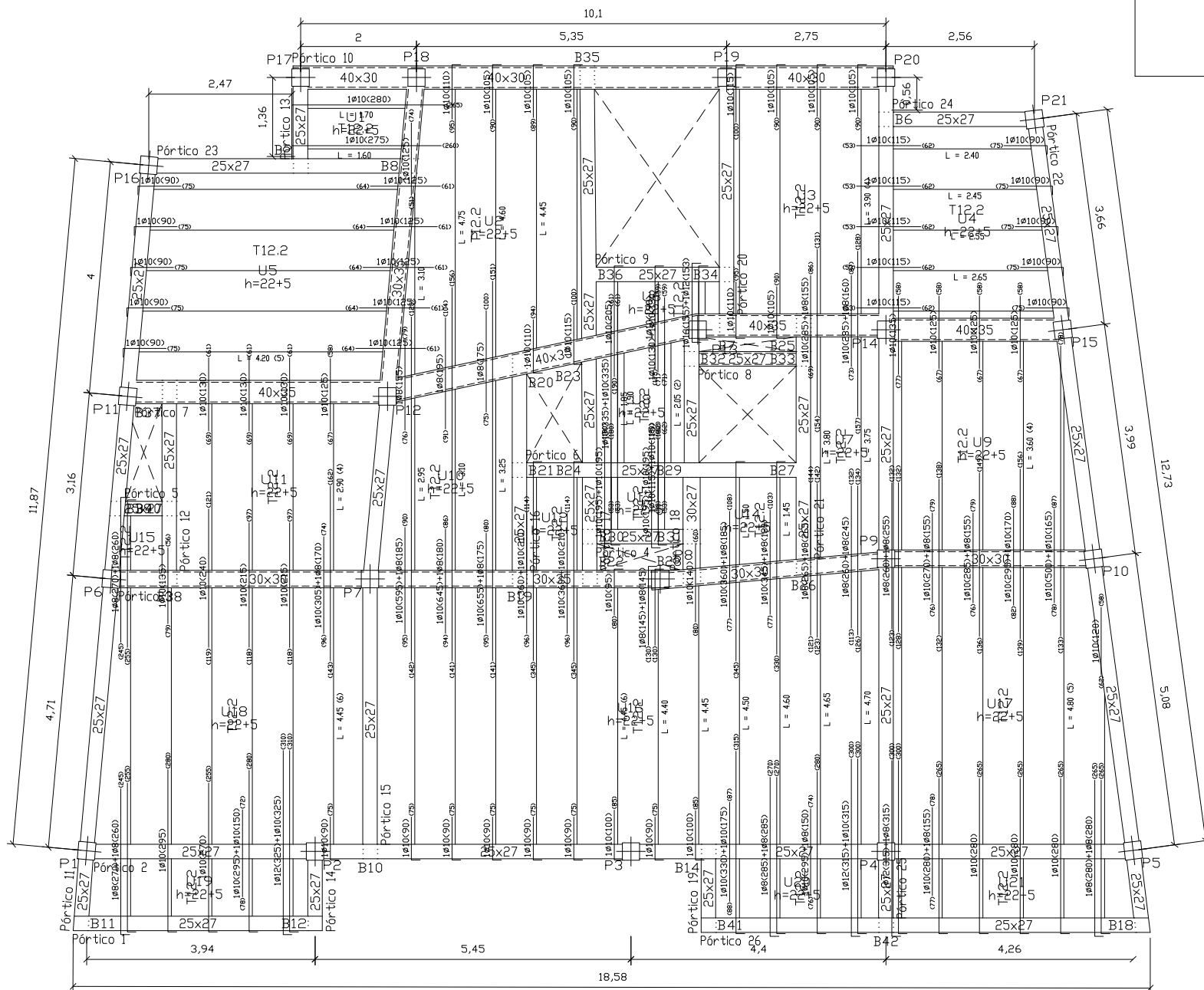
Castellón, noviembre 2016

Hormigón: HA-25, Yc=1.5  
Acero B 500 S, Ys=1.15

Resumen Acero Cubierta Replanteo	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
B 500 S, Ys=1.15	Ø8	68.8	30
	Ø10	193.0	131
	Ø12	11.1	11
	Ø16	1.6	3
			175

Tabla de características de forjados de viguetas (Grupo 3)

FORJADO DE VIGUETAS PRETENSADAS  
Fabricante: PREVALESA DITECO T12  
Tipo de bovedilla: De hormigón  
Canto del forjado: 27 = 22 + 5 (cm)  
Intereje: 70 cm (simple) y 81 cm (doble)  
Hormigón obra: HA-25, Yc=1.5  
Hormigones viguetas: HA-40, Yc=1.5  
Acero pretensar: Y 1860 C  
Aceros negativos: B 500 S, Ys=1.15  
Peso propio: 3.42 kN/m<sup>2</sup> (simple) y 3.80 kN/m<sup>2</sup> (doble)



ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

PLANO N°:

Ismael López Escriche  
Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

ESTRUCTURA / Forjado Pl.cubierta

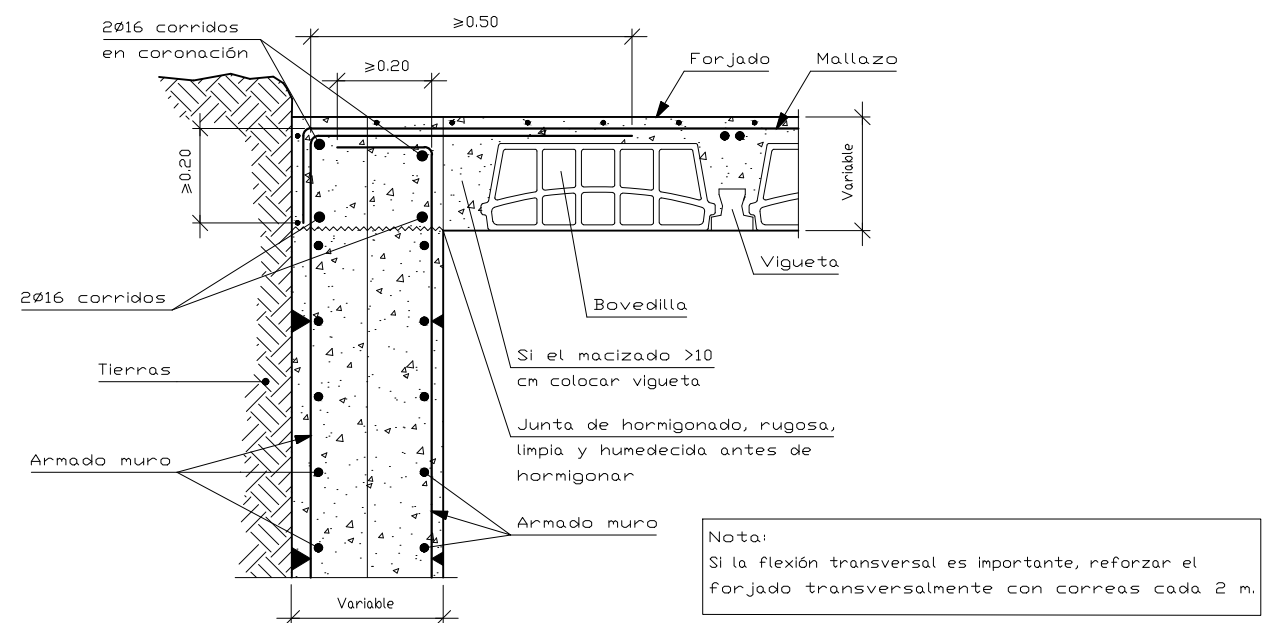
Firma:

ESCALA 1:100

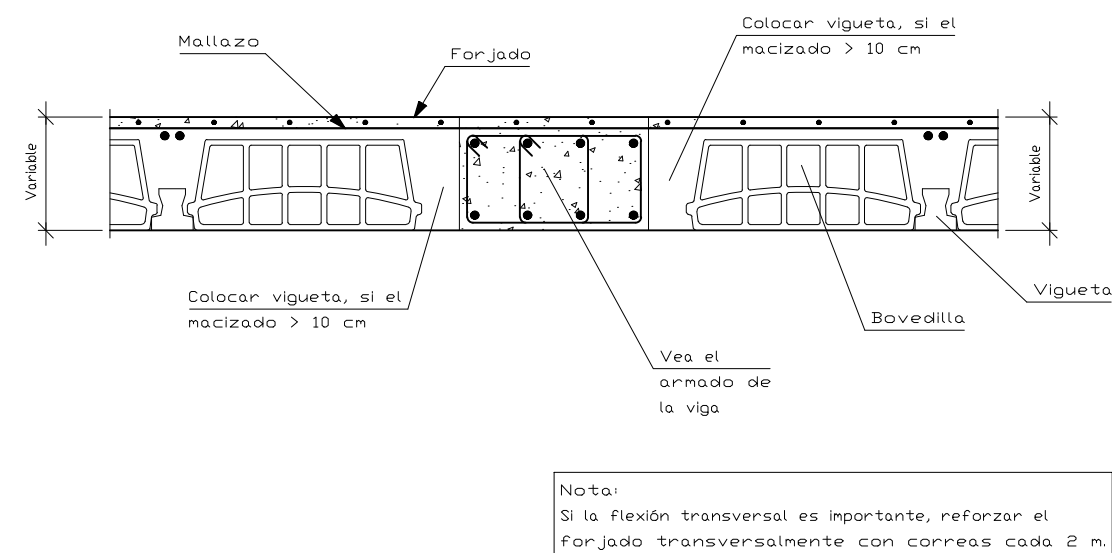
Castellón, noviembre 2016

1.4

## DETALLE 1. ENLACE DE CORONACIÓN DE MURO CON FORJADO



## DETALLE 2. VIGA PLANA ENTRE VANOS



ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

Ismael López Escriche  
Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

DETALLES CONSTRUCTIVOS

ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

Firma:

PLANO N°:

1.5

## **2. EDIFICIO MODELADO CON FORJADO UNIDIRECCIONAL DE SEMIVIGUETAS ARMADAS**

Hormigón: HA-25,  $\gamma_c=1.5$   
 Acero B 500 S,  $\gamma_s=1.15$

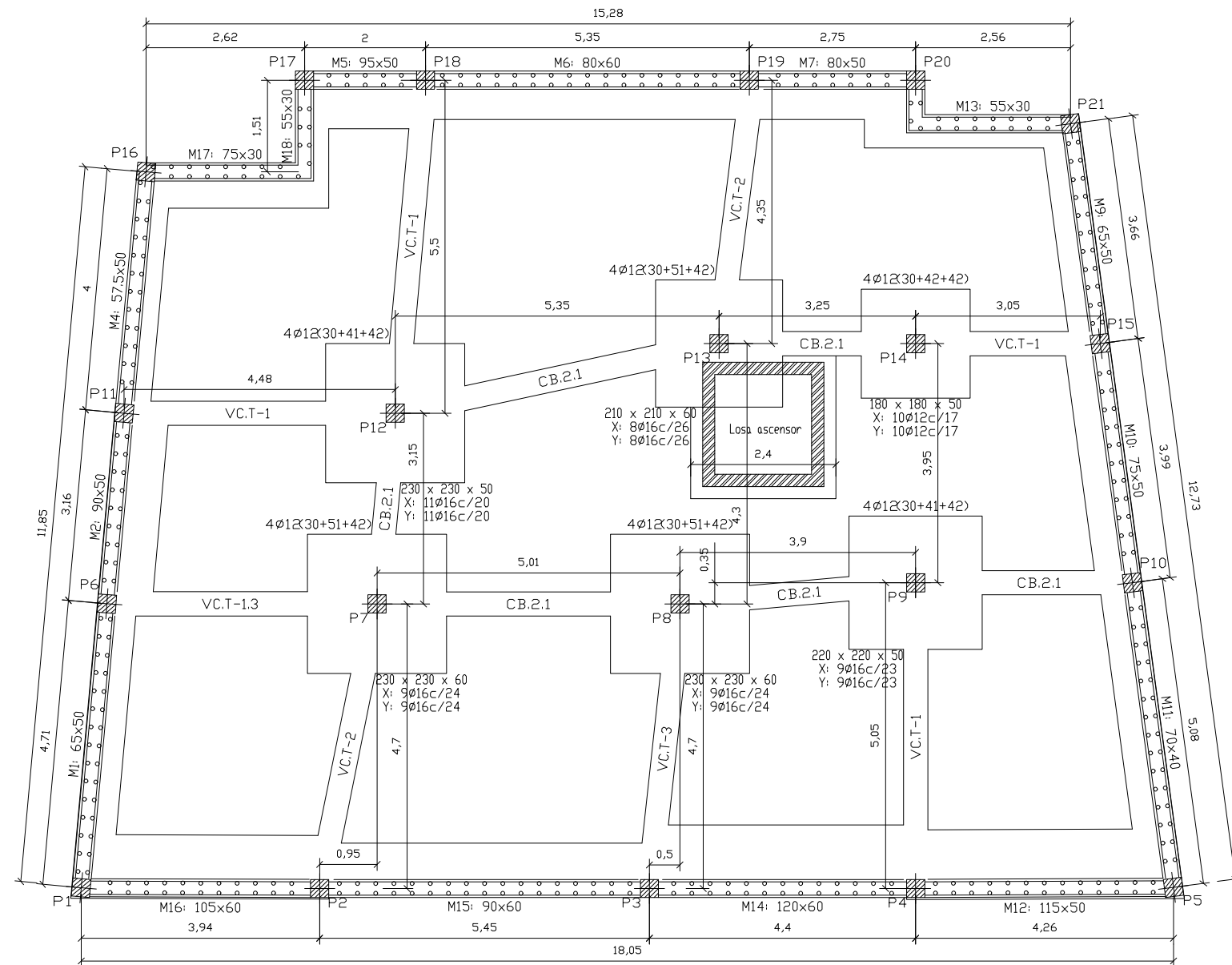
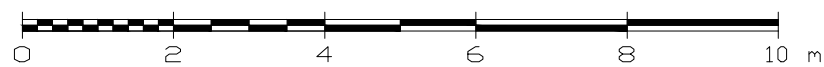


Tabla de vigas centradoras			
40	VC.T-1	40	VC.T-3
50	Arm. sup.: 4 $\phi$ 16	60	Arm. sup.: 5 $\phi$ 25
	Arm. inf.: 3 $\phi$ 12		Arm. inf.: 3 $\phi$ 12
	Arm. piel: 1x2 $\phi$ 12		Arm. piel: 1x2 $\phi$ 12
	Estribos: 1x $\phi$ 8c/30		Estribos: 1x $\phi$ 8c/30
40	VC.T-1.3	40	VC.T-2
50	Arm. sup.: 4 $\phi$ 16	60	Arm. sup.: 4 $\phi$ 20
	Arm. inf.: 3 $\phi$ 16		Arm. inf.: 3 $\phi$ 12
	Arm. piel: 1x2 $\phi$ 12		Arm. piel: 1x2 $\phi$ 12
	Estribos: 1x $\phi$ 8c/20		Estribos: 1x $\phi$ 8c/30

Tabla de vigas de atado	
40	CB.2.1
40	Arm. sup.: 2 $\phi$ 12
	Arm. inf.: 4 $\phi$ 12
	Estribos: 1x $\phi$ 8c/25

CUADRO DE ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN				
Referencias	Dimensiones (cm)	Canto (cm)	Armado inf. X	Armado inf. Y
P7 y P8	230x230	60	9 $\phi$ 16c/24	9 $\phi$ 16c/24
P9	220x220	50	9 $\phi$ 16c/23	9 $\phi$ 16c/23
P12	230x230	50	11 $\phi$ 16c/20	11 $\phi$ 16c/20
P13	210x210	60	8 $\phi$ 16c/26	8 $\phi$ 16c/26
P14	180x180	50	10 $\phi$ 12c/17	10 $\phi$ 12c/17

ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

PLANO N°:

Ismael López Escriche  
 Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

**CIMENTACIÓN**

Firma:

ESCALA 1:100

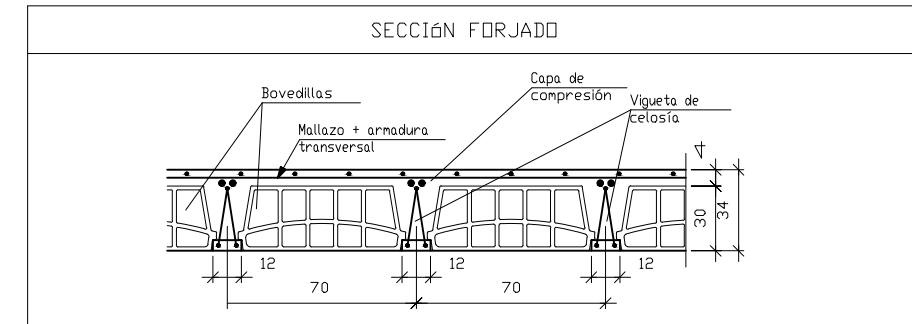
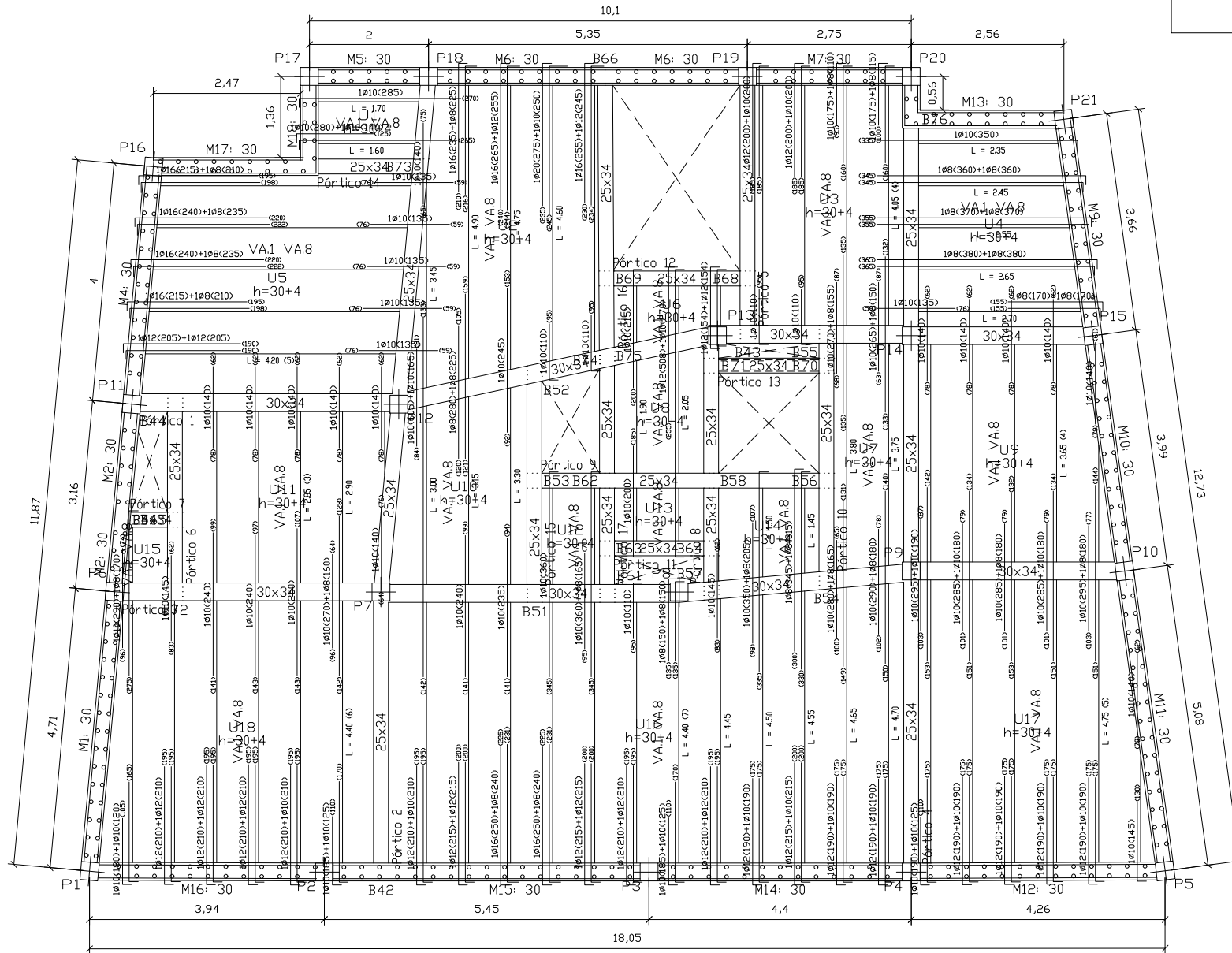
Castellón, noviembre 2016

**2.1**

Hormigón: HA-25, Yc=1.5  
Acero B 500 S, Ys=1.15

Resumen Acero Planta baja Replanteo	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
B 500 S, Ys=1.15	75.6	33	259
Ø8	165.1	112	
Ø10	70.5	69	
Ø12	21.7	38	
Ø20	2.8	7	

Tabla de características de forjados de viguetas (Grupo I)
FORJADO DE VIGUETAS ARMADAS
Fabricante: PREVALESA
Tipo de bovedilla: De hormigón
Canto del forjado: 34 = 30 + 4 (cm)
Intereje: 71 cm (simple) y 83 cm (doble)
Hormigón vigueta: HA-25, Yc=1.5
Hormigón obra: HA-25, Yc=1.5
Acero celosía: B 500 T/S, Ys=1.15
Acero montaje: B 500 T/S, Ys=1.15
Aceros positivos: B 500 S, Ys=1.15
Aceros negativos: B 500 S, Ys=1.15
Peso propio: 3.98 kN/m <sup>2</sup> (simple) y 4.50 kN/m <sup>2</sup> (doble)



ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

PLANO N°:

Ismael López Escriche  
Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

ESTRUCTURA / Forjado Pl.baja

Firma:

ESCALA 1:100

2.2

Castellón, noviembre 2016

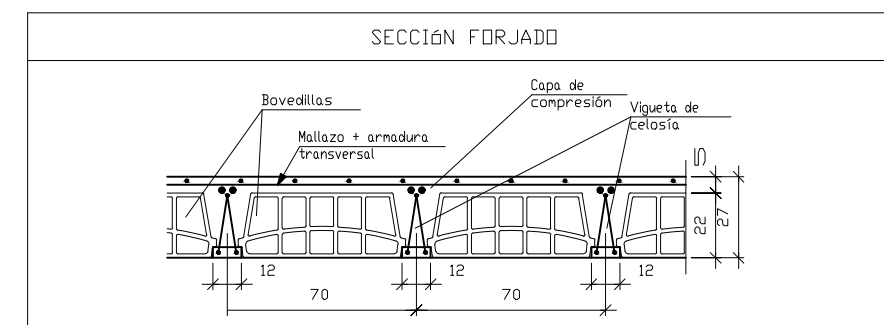
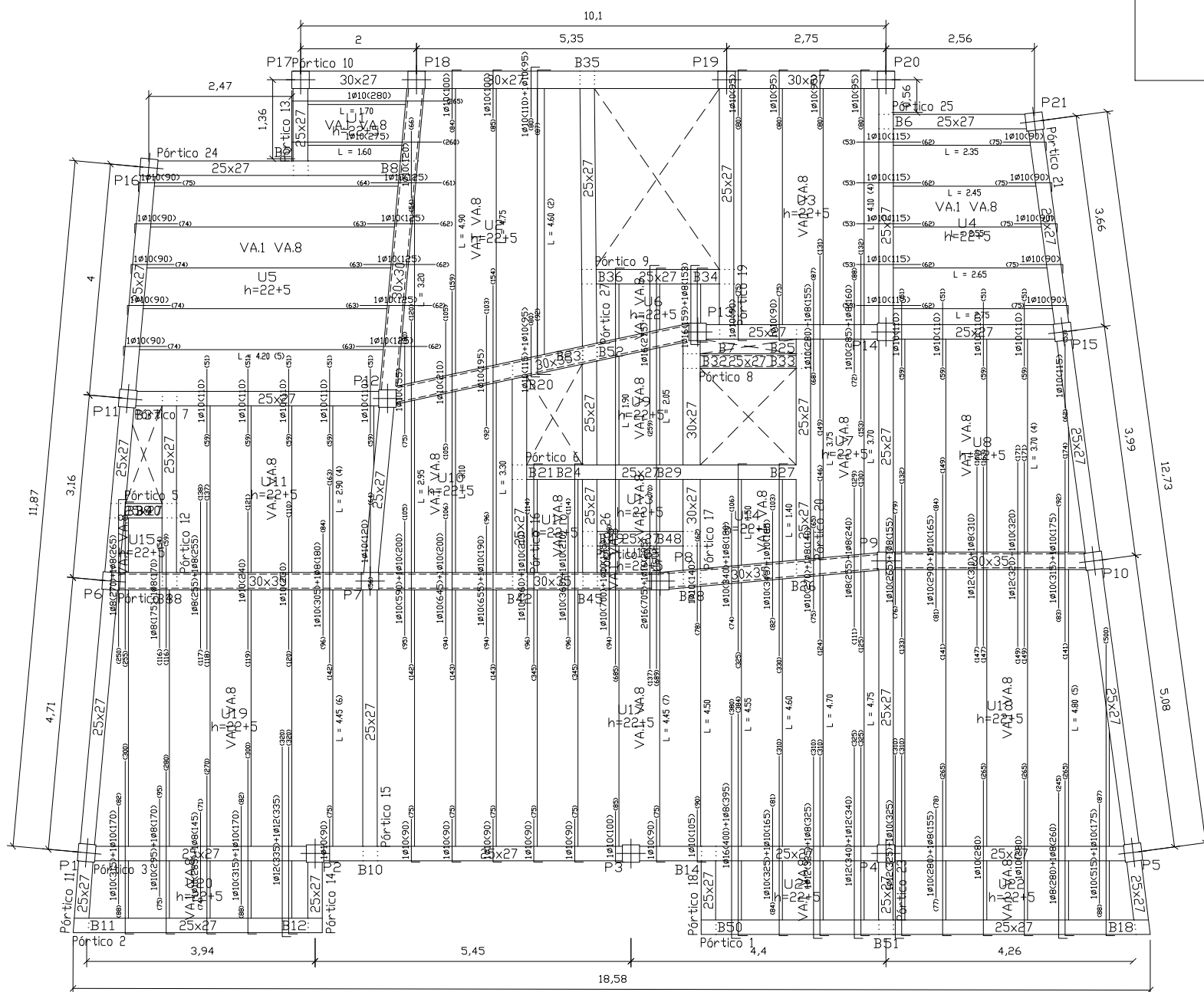


Hormigón: HA-25, Yc=1.5  
Acero B 500 S, Ys=1.15

Resumen Acero Forjados 2 a 4 Replanteo	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
B 500 S, Ys=1.15 Ø8	50.5	22	222
Ø10	191.1	130	
Ø12	26.3	26	
Ø16	25.4	44	

Tabla de características de forjados de viguetas (Grupo 2)

FORJADO DE VIGUETAS ARMADAS  
Fabricante: PREVALESA  
Tipo de bovedilla: De hormigón  
Canto del forjado: 27 = 22 + 5 (cm)  
Intereje: 71 cm (simple) y 83 cm (doble)  
Hormigón vigueta: HA-25, Yc=1.5  
Hormigón obra: HA-25, Yc=1.5  
Acero celosía: B 500 T/S, Ys=1.15  
Acero montaje: B 500 T/S, Ys=1.15  
Aceros positivos: B 500 S, Ys=1.15  
Aceros negativos: B 500 S, Ys=1.15  
Peso propio: 3.42 kN/m<sup>2</sup> (simple) y 3.80 kN/m<sup>2</sup> (doble)



ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

PLANO N°:

Ismael López Esriche  
Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

ESTRUCTURA / Forjado Pl.viviendas

Firma:

ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

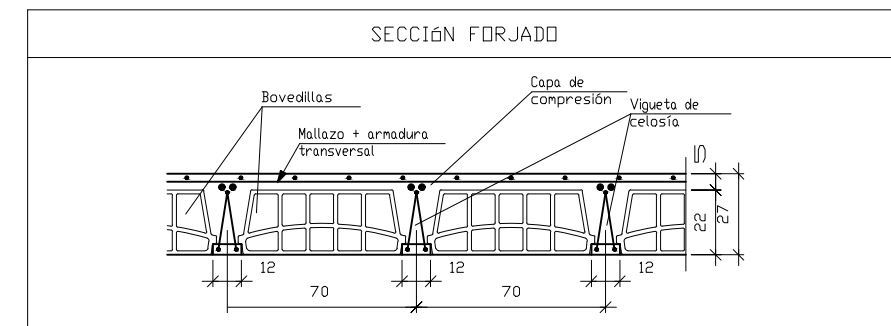
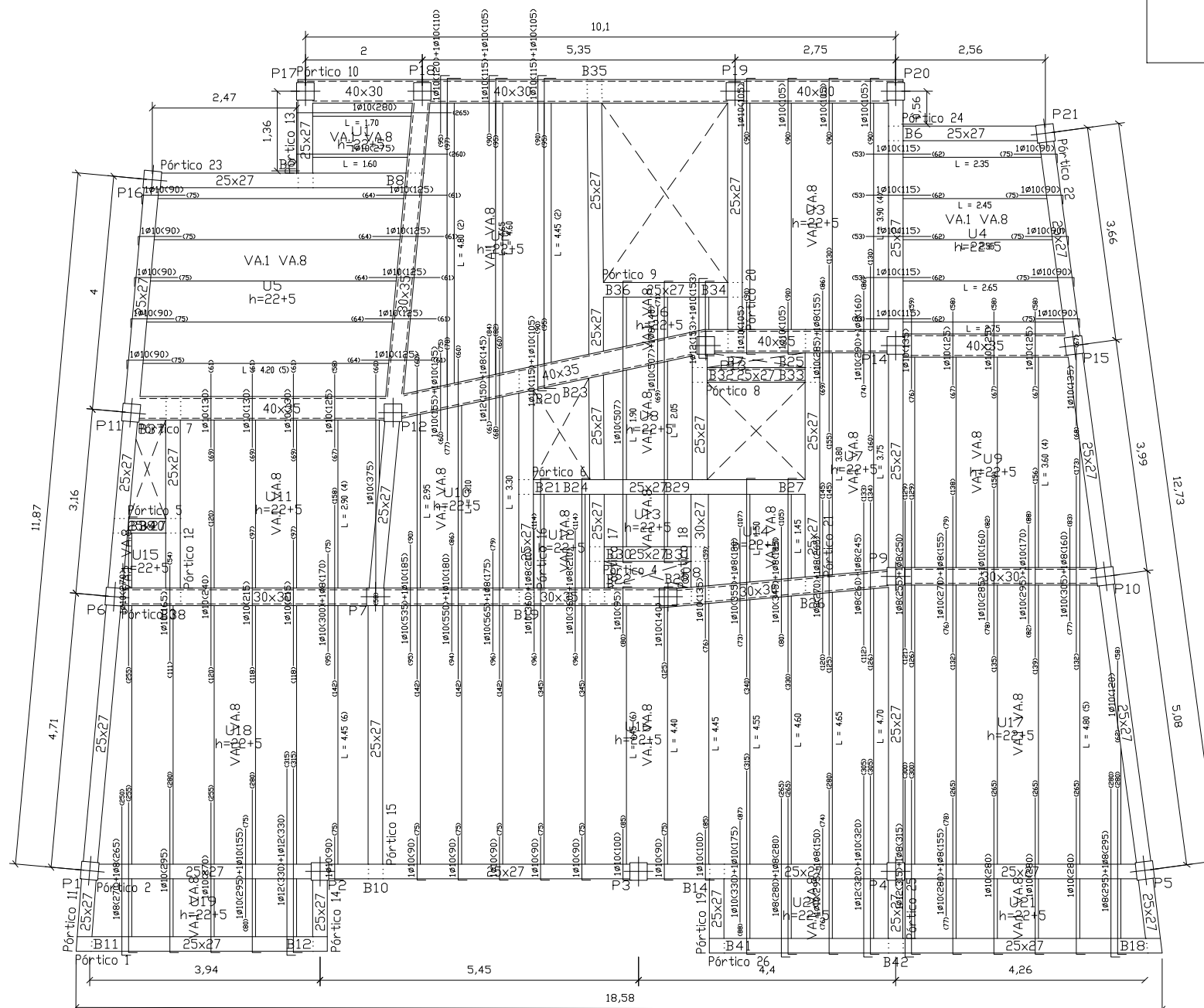
2.3

Hormigón: HA-25, Yc=1.5  
Acero B 500 S, Ys=1.15

Resumen Acero Cubierta Replanteo	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
B 500 S, Ys=1.15 Ø8	59.0	26	168
Ø10	186.4	126	
Ø12	16.0	16	

Tabla de características de forjados de viguetas (Grupo 3)

FORJADO DE VIGUETAS ARMADAS  
Fabricante: PREVALESA  
Tipo de bovedilla: De hormigón  
Canto del forjado: 27 = 22 + 5 (cm)  
Intereje: 71 cm (simple) y 83 cm (doble)  
Hormigón vigueta: HA-25, Yc=1.5  
Hormigón obra: HA-25, Yc=1.5  
Acero celosía: B 500 T/S, Ys=1.15  
Acero montaje: B 500 T/S, Ys=1.15  
Aceros positivos: B 500 S, Ys=1.15  
Aceros negativos: B 500 S, Ys=1.15  
Peso propio: 3.42 kN/m<sup>2</sup> (simple) y 3.80 kN/m<sup>2</sup> (doble)



ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

Ismael López Escriche  
Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

ESTRUCTURA / Forjado Pl.cubierta

ESCALA 1:100

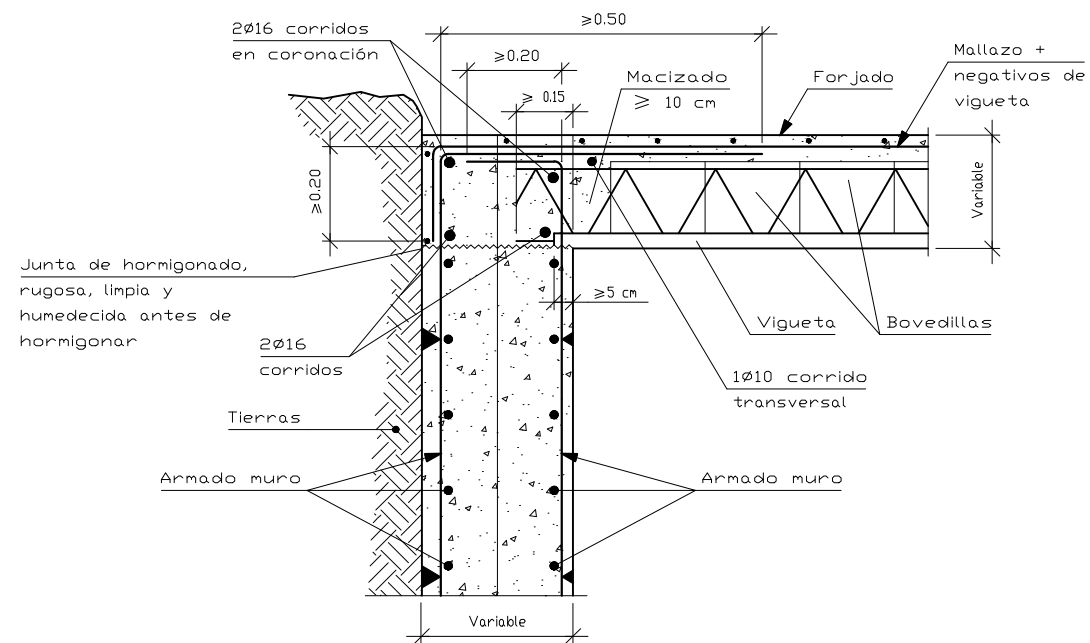
Castellón, noviembre 2016

Firma:

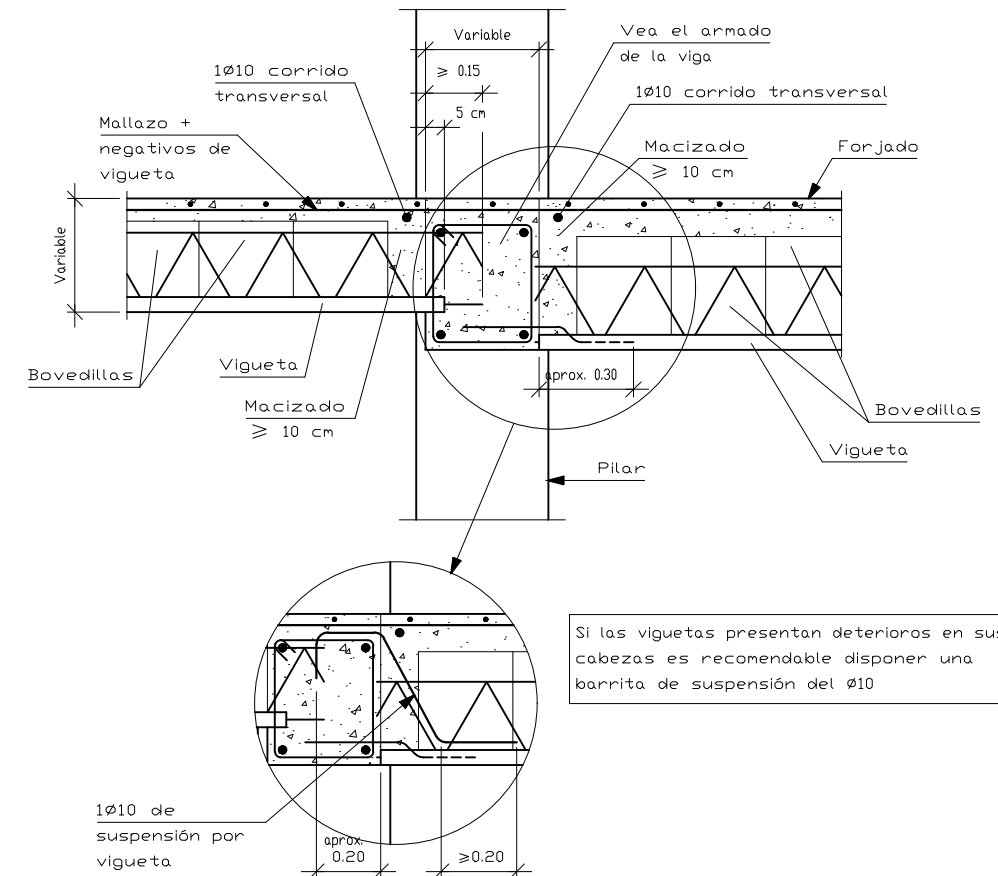
PLANO N°:

2.4

DETALLE 3. ENLACE DE CORONACIÓN DE MURO CON FORJADO



DETALLE 4. CAMBIO DE CANTO EN LINEA DE PILARES



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

PLANO N°:

Ismael López Escriche  
Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

DETALLES CONSTRUCTIVOS

Firma:

ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

2.5

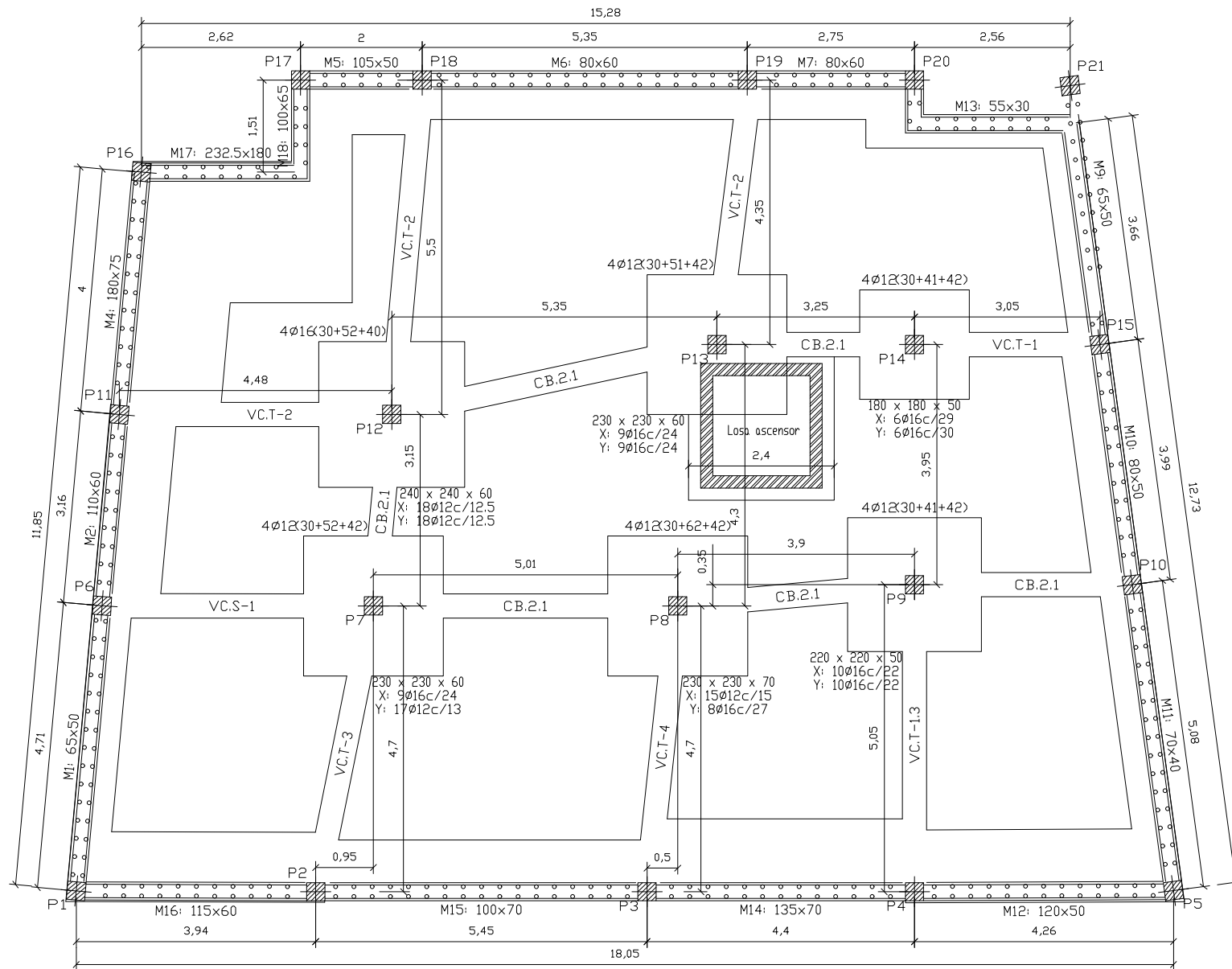
### **3. EDIFICIO MODELADO CON FORJADO UNIDIRECCIONAL “IN SITU”**

Hormigón: HA-25,  $Y_c=1.5$   
Acero B 500 S,  $Y_s=1.15$

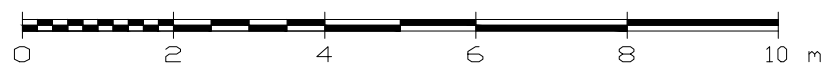
Tabla de vigas de atado	
40 ↔ 40	CB.2.1 Arm. sup.: 2 $\phi$ 12 Arm. inf.: 4 $\phi$ 12 Estribos: 1x $\phi$ 8c/25

Tabla de vigas centradoras			
40 ↔ 50	VC.S-1 Arm. sup.: 4 $\phi$ 16 Arm. inf.: 4 $\phi$ 16 Arm. piel: 1x2 $\phi$ 12 Estribos: 1x $\phi$ 8c/30	40 ↔ 60	VC.T-3 Arm. sup.: 5 $\phi$ 25 Arm. inf.: 3 $\phi$ 12 Arm. piel: 1x2 $\phi$ 12 Estribos: 1x $\phi$ 8c/30
40 ↔ 50	VC.T-1.3 Arm. sup.: 4 $\phi$ 16 Arm. inf.: 3 $\phi$ 16 Arm. piel: 1x2 $\phi$ 12 Estribos: 1x $\phi$ 8c/20	40 ↔ 50	VC.T-1 Arm. sup.: 4 $\phi$ 16 Arm. inf.: 3 $\phi$ 12 Arm. piel: 1x2 $\phi$ 12 Estribos: 1x $\phi$ 8c/30
40 ↔ 60	VC.T-2 Arm. sup.: 4 $\phi$ 20 Arm. inf.: 3 $\phi$ 12 Arm. piel: 1x2 $\phi$ 12 Estribos: 1x $\phi$ 8c/30	40 ↔ 70	VC.T-4 Arm. sup.: 6 $\phi$ 25 Arm. inf.: 3 $\phi$ 12 Arm. piel: 1x2 $\phi$ 12 Estribos: 1x $\phi$ 8c/30

CUADRO DE ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN				
Referencias	Dimensiones (cm)	Canto (cm)	Armado inf. X	Armado inf. Y
P7	230x230	60	9 $\phi$ 16c/24	17 $\phi$ 12c/13
P8	230x230	70	15 $\phi$ 12c/15	8 $\phi$ 16c/27
P9	220x220	50	10 $\phi$ 16c/22	10 $\phi$ 16c/22
P12	240x240	60	18 $\phi$ 12c/12.5	18 $\phi$ 12c/12.5
P13	230x230	60	9 $\phi$ 16c/24	9 $\phi$ 16c/24
P14	180x180	50	6 $\phi$ 16c/29	6 $\phi$ 16c/30



ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

PLANO N°:

Ismael López Escriche  
Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

**CIMENTACIÓN**

ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

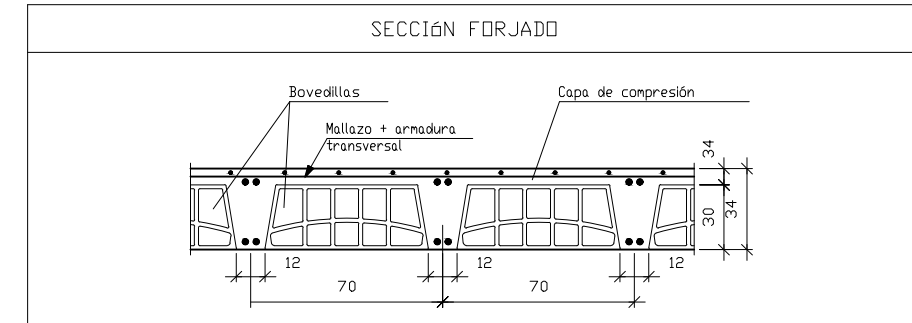
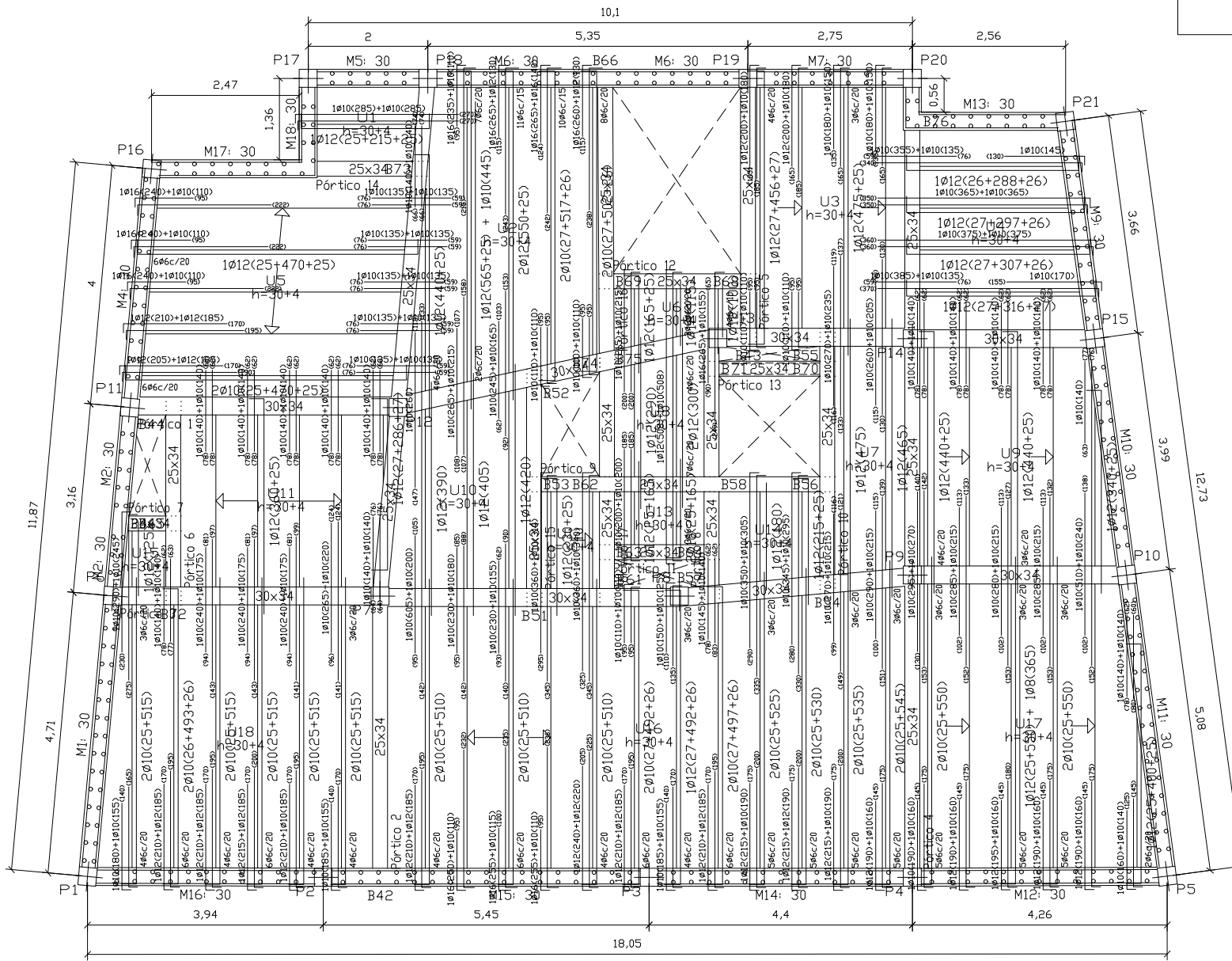
Firma:

**3.1**

Hormigón: HA-25, Yc=1.5  
Acero B 500 S, Ys=1.15

Resumen Acero Planta baja Replanteo	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
B 500 S, Ys=1.15	135.8	33	713
Ø6	3.7	2	
Ø8	561.5	381	
Ø10	251.5	246	
Ø16	29.1	51	

Tabla de características de forjados de viguetas (Grupo I)
FORJADO DE VIGUETAS IN SITU
Canto de bovedilla: 30 cm
Espesor capa compresión: 4 cm
Intereje: 70 cm
Ancho del nervio: 10 cm
Ancho de la base: 14 cm
Bovedilla: 30
Peso propio: 3.854 kN/m <sup>2</sup>



ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

PLANO N°:

Ismael López Escriche  
Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

ESTRUCTURA / Pl.baja

Firma:

ESCALA 1:100

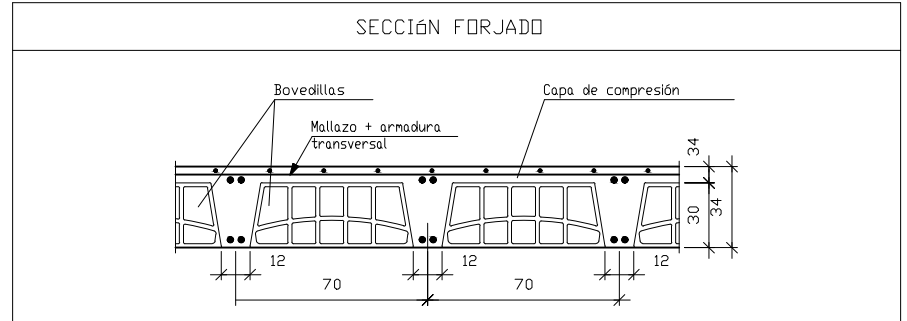
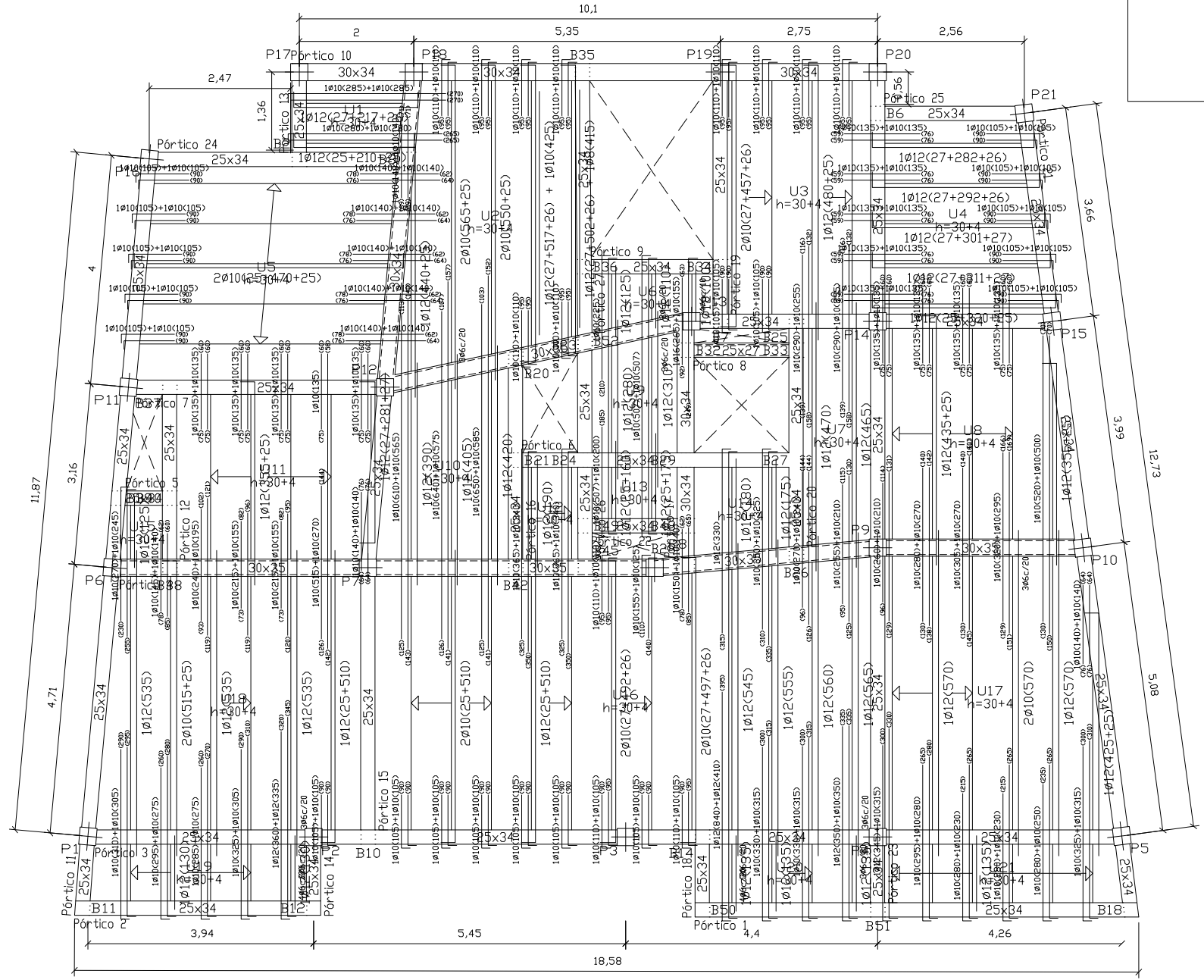
Castellón, noviembre 2016

3.2

Hormigón: HA-25, Yc=1.5  
Acero B 500 S, Ys=1.15

Resumen Acero Forjados 2 a 4 Replanteo	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total	
B 500 S, Ys=1.15	Ø6	18.7	5	655
	Ø8	4.2	2	
	Ø10	560.9	380	
	Ø12	269.7	263	
	Ø16	2.7	5	

Tabla de características de forjados de viguetas (Grupo 2)  
FORJADO DE VIGUETAS IN SITU  
Canto de bovedilla: 30 cm  
Espesor capa compresión: 4 cm  
Intereje: 70 cm  
Ancho del nervio: 10 cm  
Ancho de la base: 14 cm  
Bovedilla: 30  
Peso propio: 3.93 kN/m<sup>2</sup>



ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

PLANO N°:

Ismael López Escriche  
Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

**ESTRUCTURA / Forjado Pl.viviendas**

Firma:

**3.3**

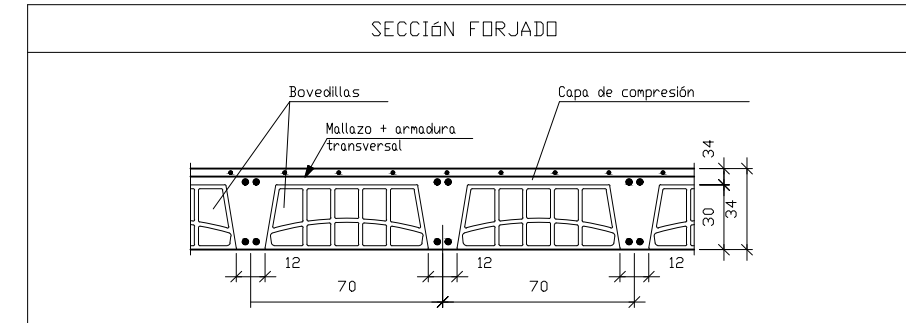
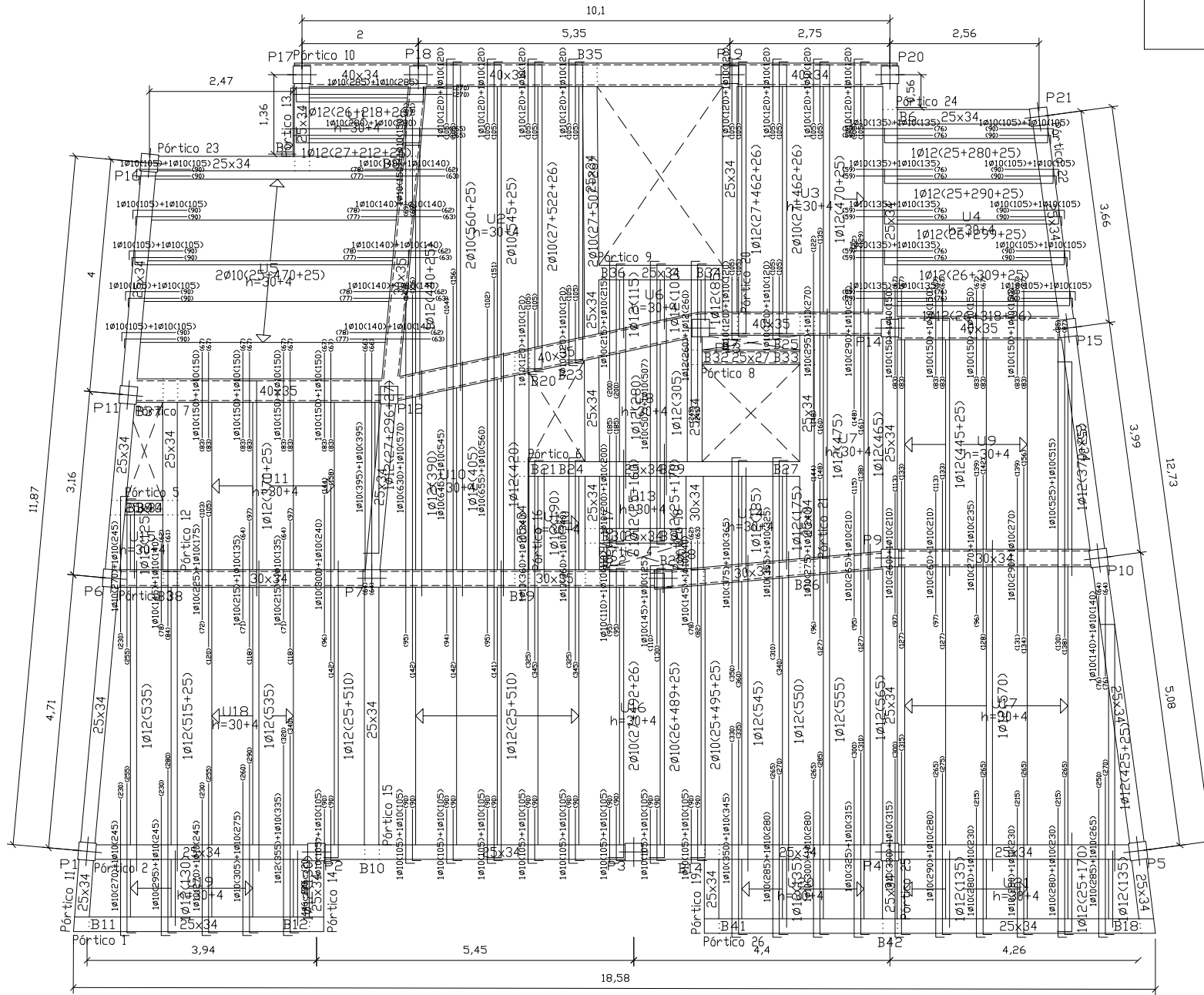
ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

Hormigón: HA-25, Yc=15  
Acero B 500 S, Ys=1.15

Resumen Acero	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Cubierta			
Replanteo			
B 500 S, Ys=1.15 Ø6	3.1	1	
Ø10	534.9	363	
Ø12	270.9	265	629

Tabla de características de forjados de viguetas (Grupo 3)  
FORJADO DE VIGUETAS IN SITU  
Canto de bovedilla: 30 cm  
Espesor capa compresión: 4 cm  
Intereje: 70 cm  
Ancho del nervio: 10 cm  
Ancho de la base: 14 cm  
Bovedilla: 30  
Peso propio: 3.93 kN/m<sup>2</sup>



ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

PLANO N°:

Ismael López Escriche  
Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

**ESTRUCTURA / Forjado Pl.cubierta**

Firma:

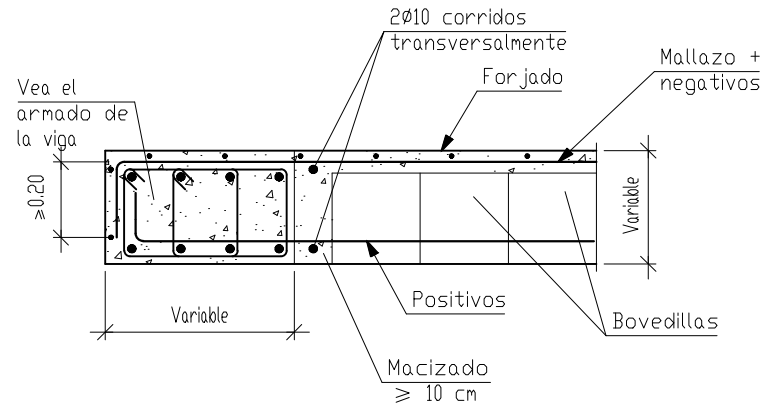
ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

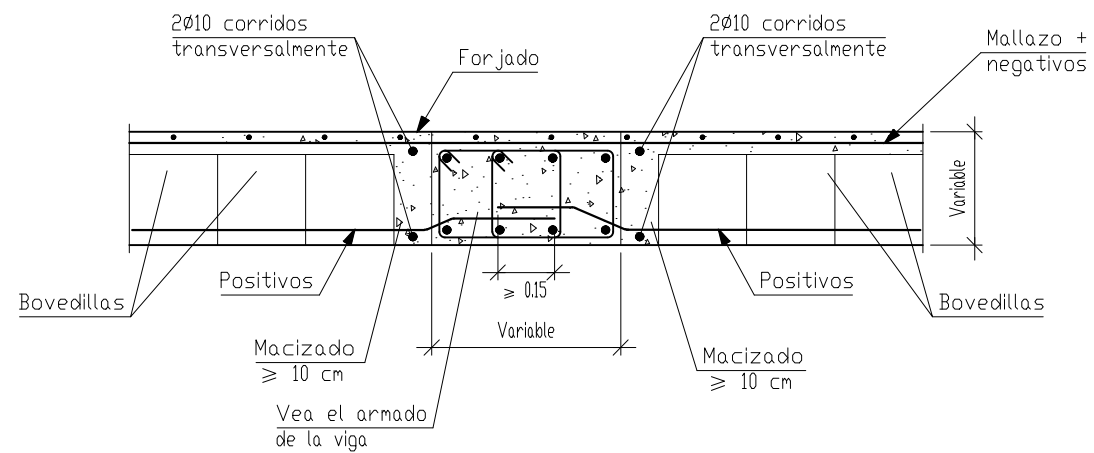
**3.4**



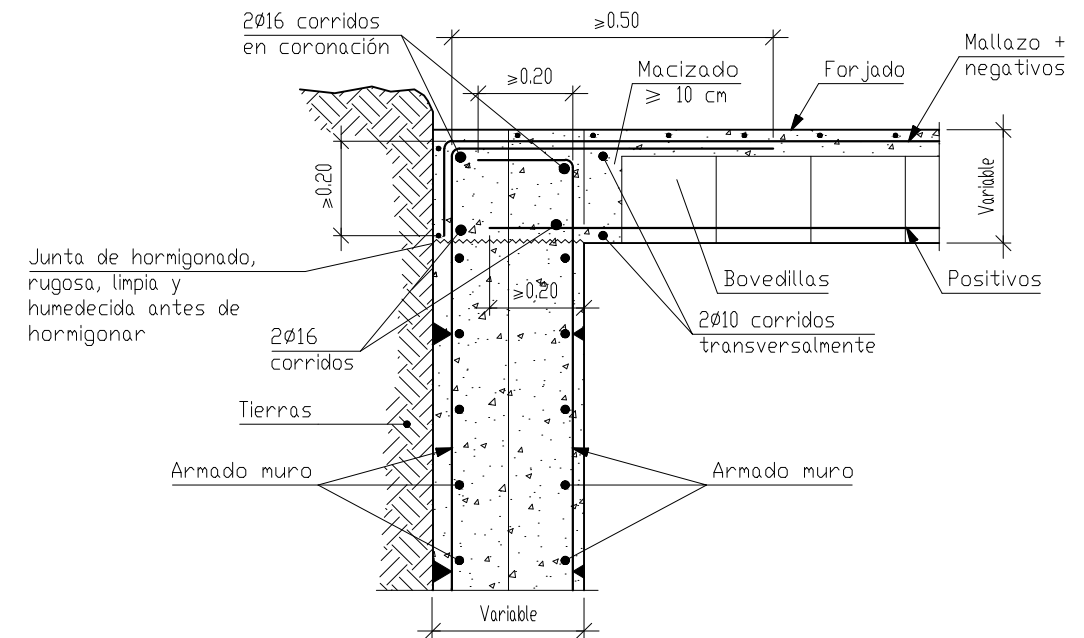
### DETALLE 1. VIGA PLANA EN EXTREMO DE VANO



### DETALLE 2. VIGA PLANA ENTRE VANOS



### DETALLE 3. ENLACE DE CORONACIÓN DE MURO CON FORJADO



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

Ismael López Escriche  
 Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

DETALLES CONSTRUCTIVOS

ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

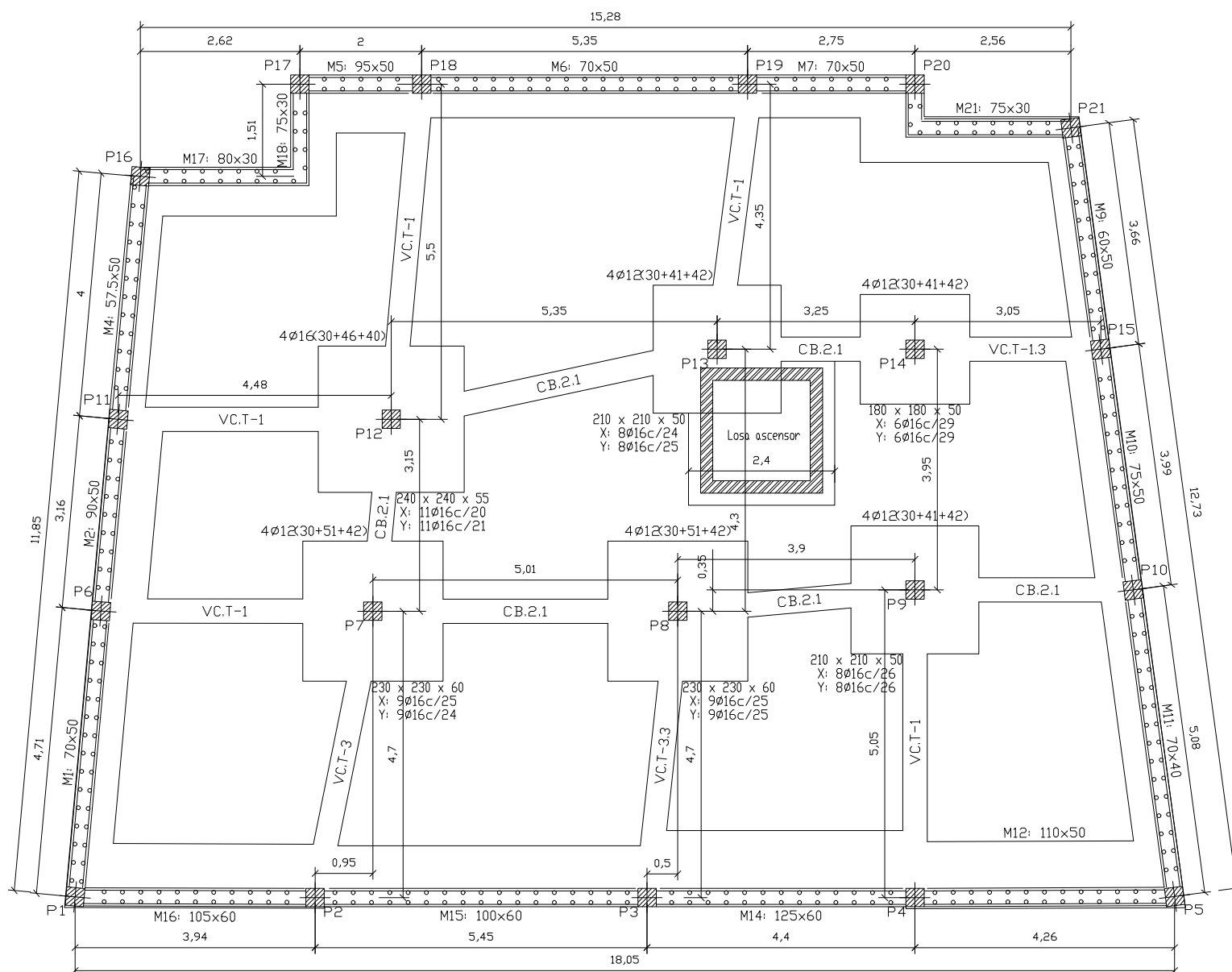
Firma:

PLANO N°:

**3.5**

## **4. EDIFICIO MODELADO CON FORJADO RETICULAR CON CASETÓN DE EPS**

Hormigón: HA-25,  $Y_c=1.5$   
 Acero B 500 S,  $Y_s=1.15$



 VC.T-3.3 Arm. sup.: 5Ø25 Arm. inf.: 3Ø16 Arm. piel: 1x2Ø12 Estribos: 1xØ8c/20	 VC.T-1.3 Arm. sup.: 4Ø16 Arm. inf.: 3Ø16 Arm. piel: 1x2Ø12 Estribos: 1xØ8c/20
 VC.T-1 Arm. sup.: 4Ø16 Arm. inf.: 3Ø12 Arm. piel: 1x2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30	 VC.T-3 Arm. sup.: 5Ø25 Arm. inf.: 3Ø12 Arm. piel: 1x2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30

 CB.2.1 Arm. sup.: 2Ø12 Arm. inf.: 4Ø12 Estribos: 1xØ8c/25
--

Referencias	Dimensiones (cm)	Canto (cm)	Armado inf. X	Armado inf. Y
P7	230x230	60	9Ø16c/25	9Ø16c/24
P8	230x230	60	9Ø16c/25	9Ø16c/25
P9	210x210	50	8Ø16c/26	8Ø16c/26
P12	240x240	55	11Ø16c/20	11Ø16c/21
P13	210x210	50	8Ø16c/24	8Ø16c/25
P14	180x180	50	6Ø16c/29	6Ø16c/29

ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

PLANO N°:

Ismael López Escriche  
 Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

**CIMENTACIÓN**

Firma:

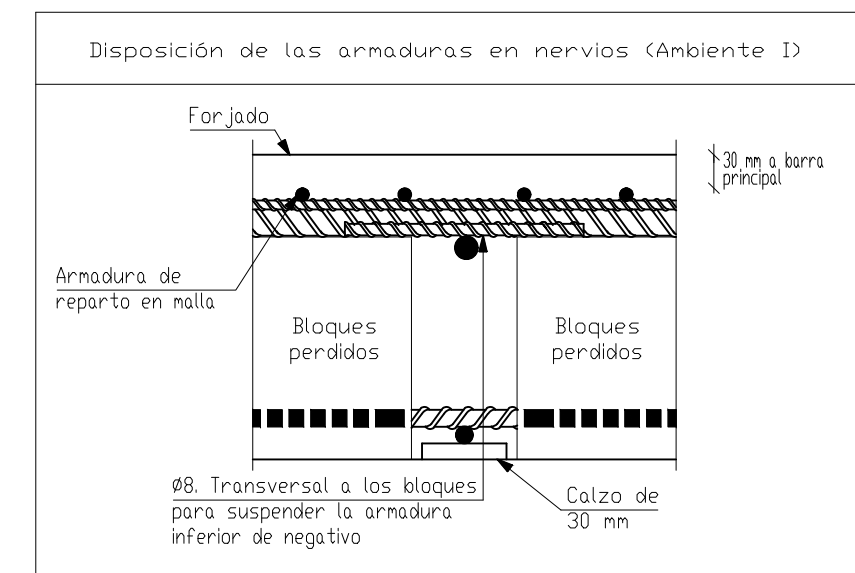
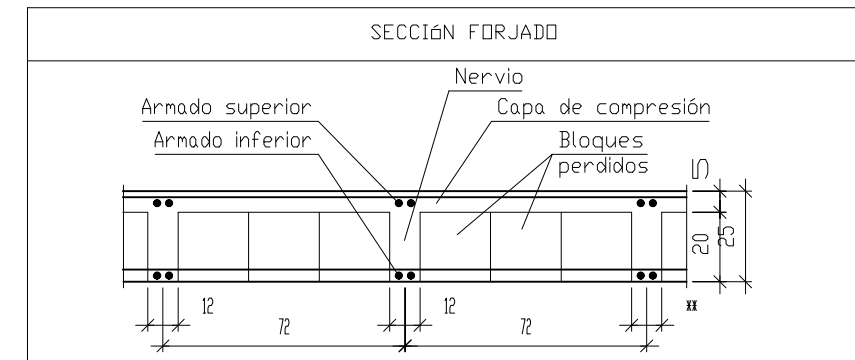
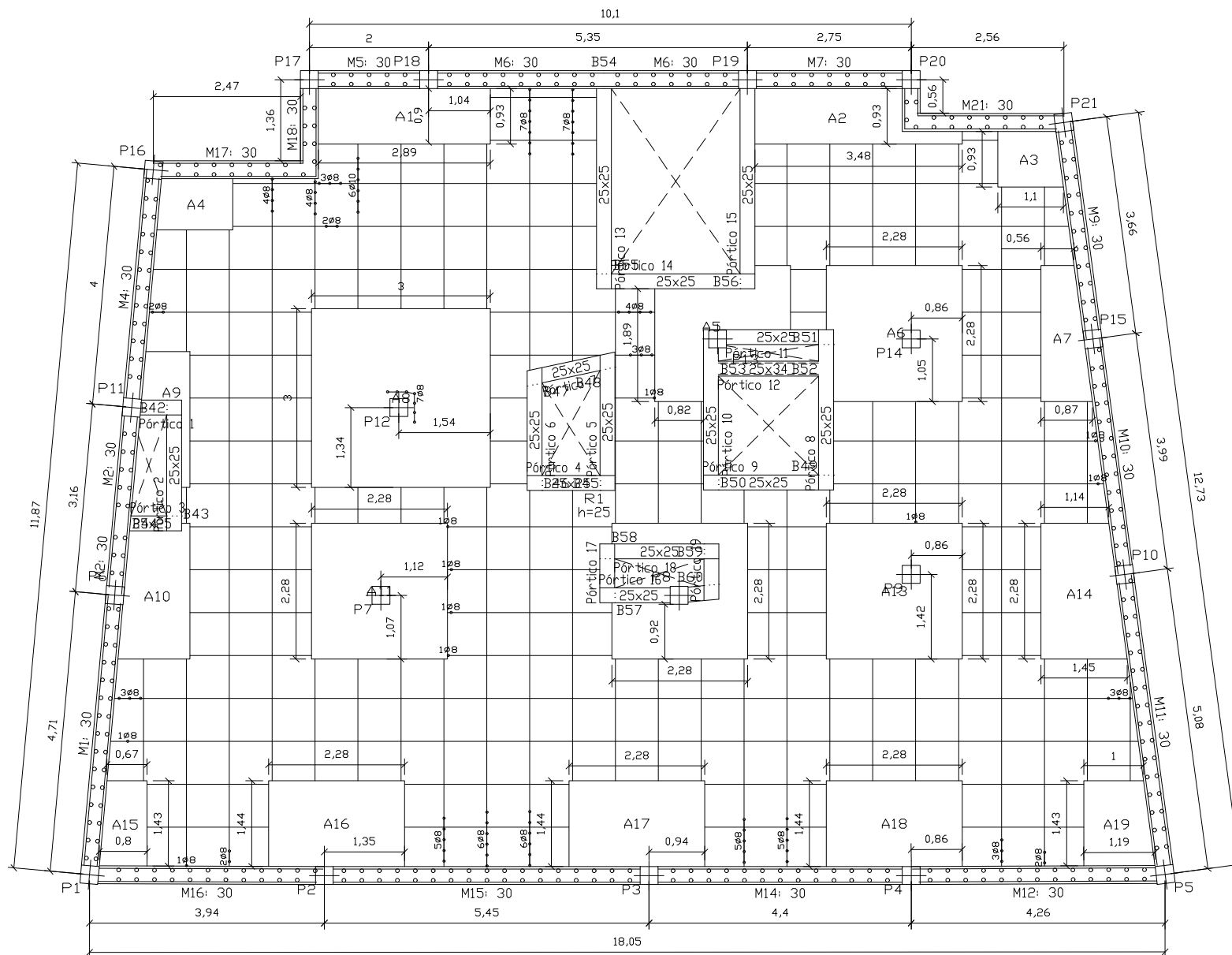
ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

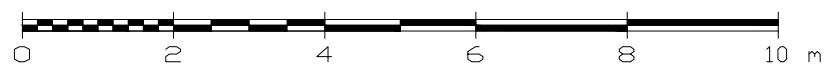
**4.1**

Hormigón: HA-25,  $Y_c=1.5$   
 Acero B 500 S,  $Y_s=1.15$   
 Armadura base en ábacos  
 (por cuadrícula):  
 Superior:  $2\phi 10$   
 Inferior:  $2\phi 8$

Resumen Acero Planta baja Replanteo	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
B 500 S, $Y_s=1.15$	$\phi 8$ 36.9	16	18
	$\phi 10$ 2.3	2	



ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

Ismael López Escriche  
 Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

ESTRUCTURA / Forjado Pl.baja

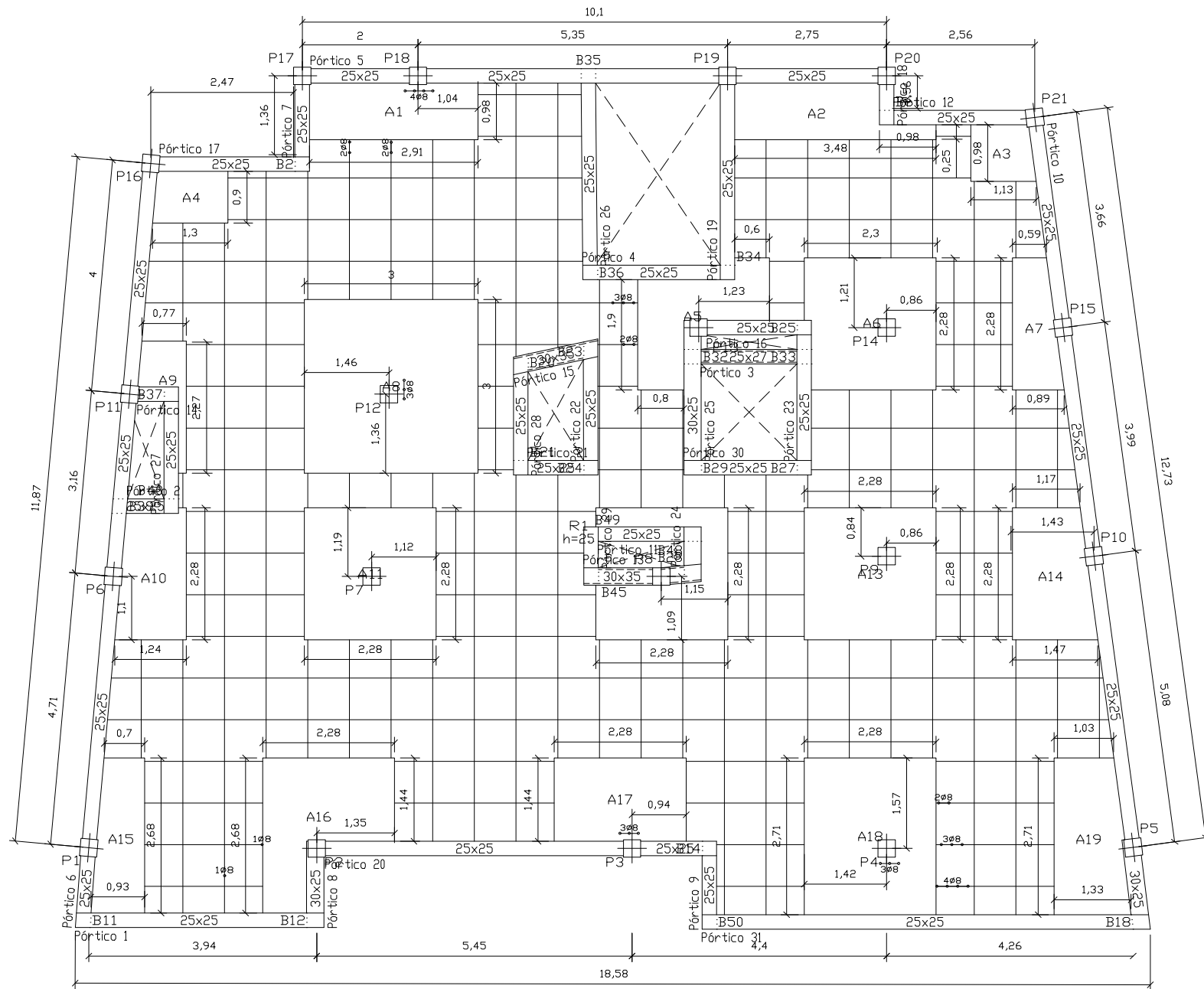
ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

Firma:

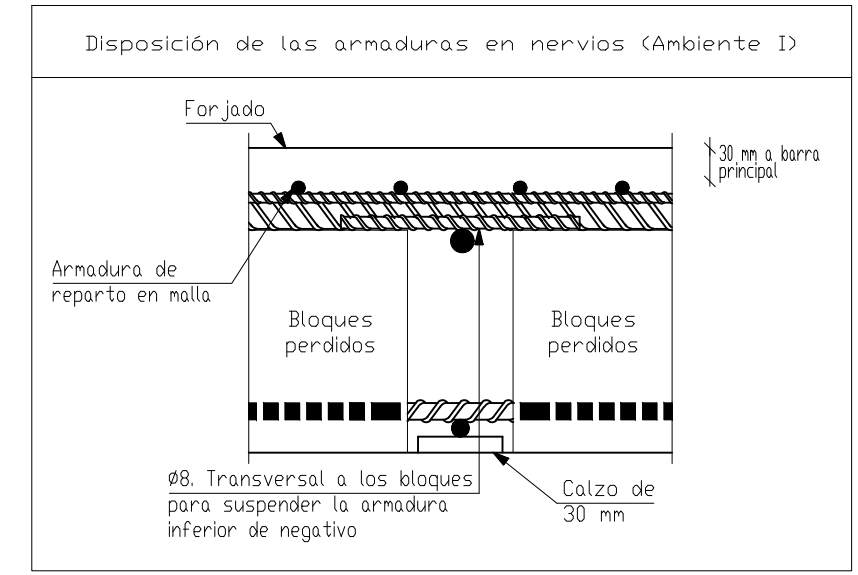
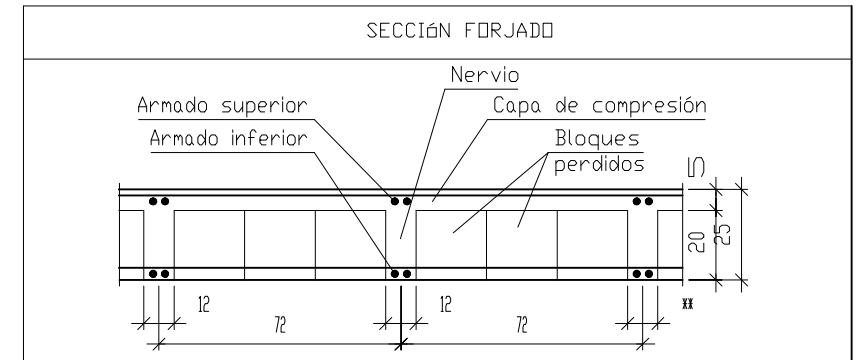
PLANO N°:

4.2



Hormigón: HA-25,  $\gamma_c=1.5$   
 Acero B 500 S,  $\gamma_s=1.15$   
 Armadura base en ábacos  
 (por cuadrícula):  
 Superior: 2Ø10  
 Inferior: 2Ø8

Resumen Acero Forjados 2 a 4 Replanteo	Long. total (m)	Peso+10% (kg)
B 500 S, $\gamma_s=1.15$ Ø8	13.3	6



ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

Ismael López Escriche  
 Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

**ESTRUCTURA / Forjado Pl.viviendas**

ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

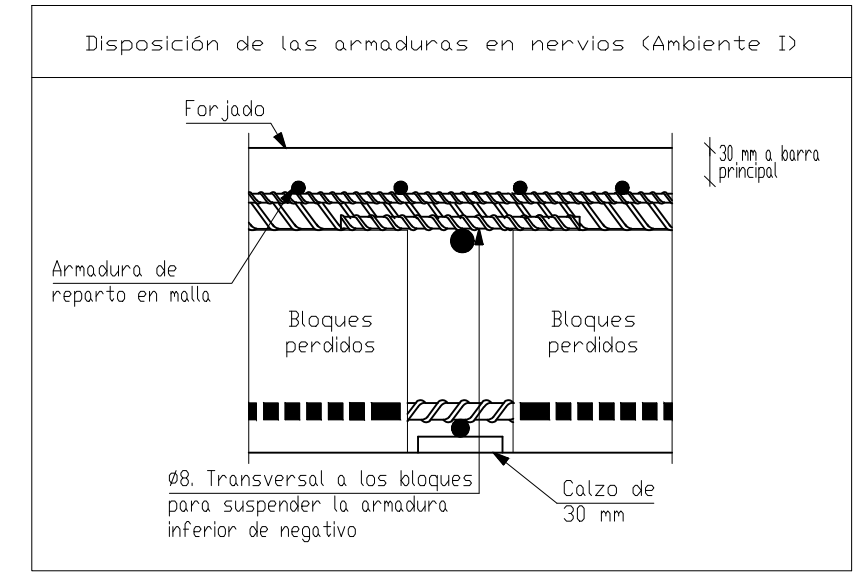
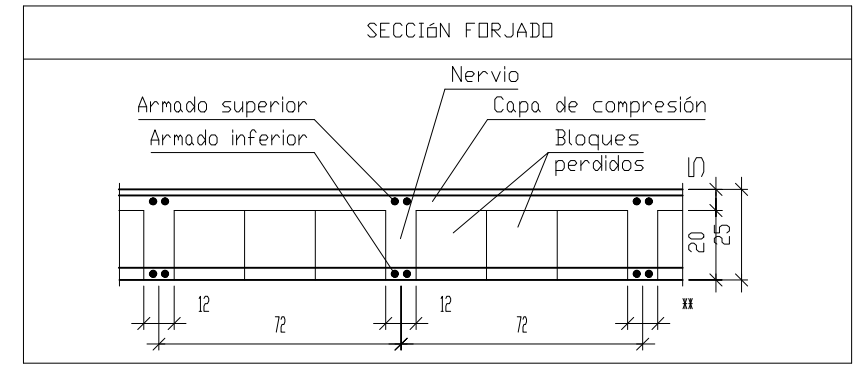
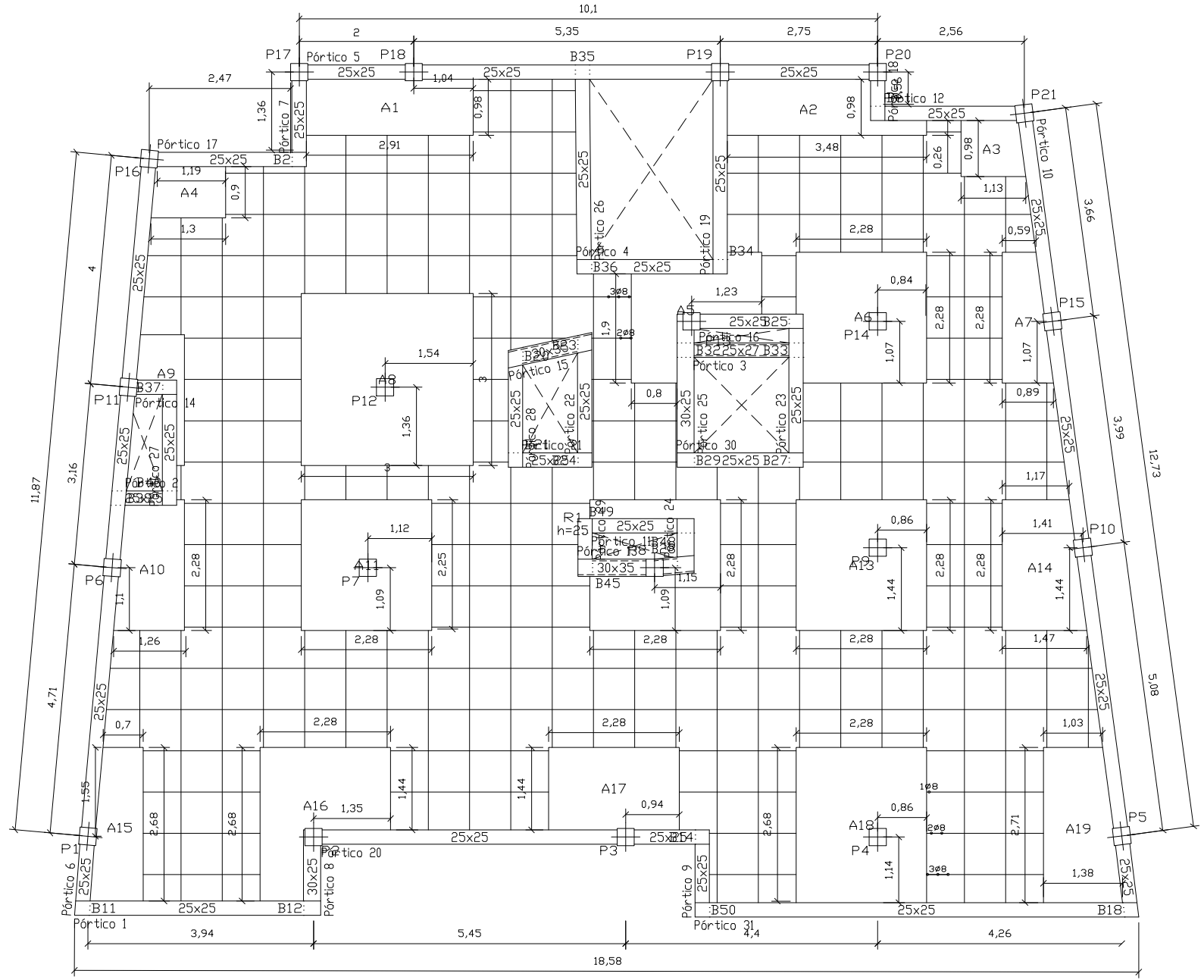
Firma:

PLANO N°:

**4.3**

Hormigón: HA-25,  $\gamma_c=1.5$   
 Acero B 500 S,  $\gamma_s=1.15$   
 Armadura base en ábacos  
 (por cuadrícula):  
 Superior: 2Ø10  
 Inferior: 2Ø8

Resumen Acero Cubierta Replanteo	Long. total (m)	Peso+10% (kg)
B 500 S, $\gamma_s=1.15$ Ø8	4.6	2



ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

Ismael López Escriche  
 Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

**ESTRUCTURA / Forjado Pl.cubierta**

ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

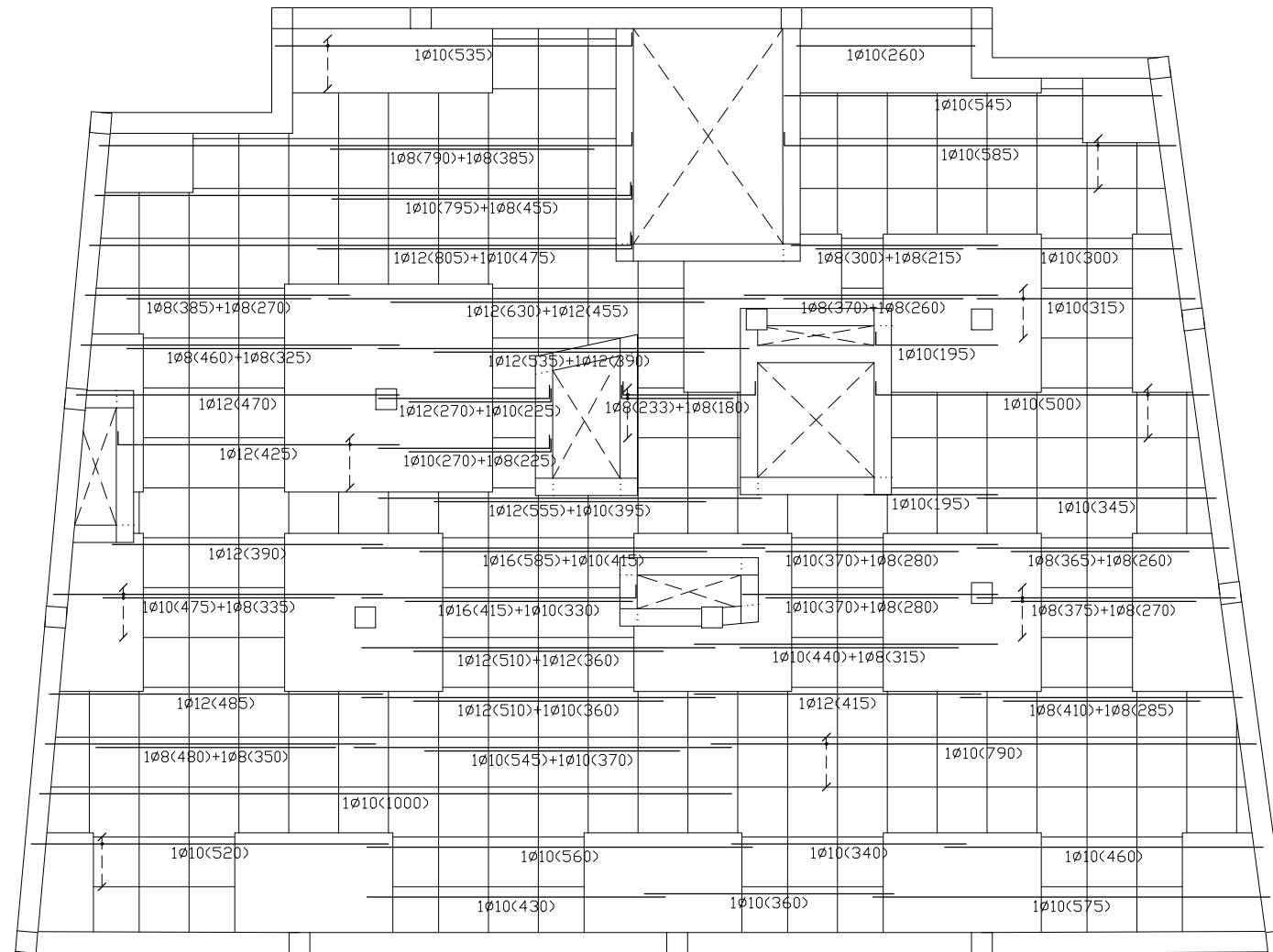
Firma:

PLANO N°:

**4.4**

Planta baja  
 Armadura longitudinal inferior  
 Hormigón: HA-25, Yc=1.5  
 B 500 S, Ys=1.15

Armadura base en ábacos (por cuadrícula)  
 Long. Inferior: 2Ø8



Resumen Acero Planta baja Armadura longitudinal inferior		Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
B 500 S, Ys=1.15	Ø8	102.5	44	
	Ø10	183.7	125	
	Ø12	76.3	75	
	Ø16	10.0	17	261

ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

Ismael López Escriche  
 Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

**ARMADO LONG.INFERIOR / Pl.baja**

ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

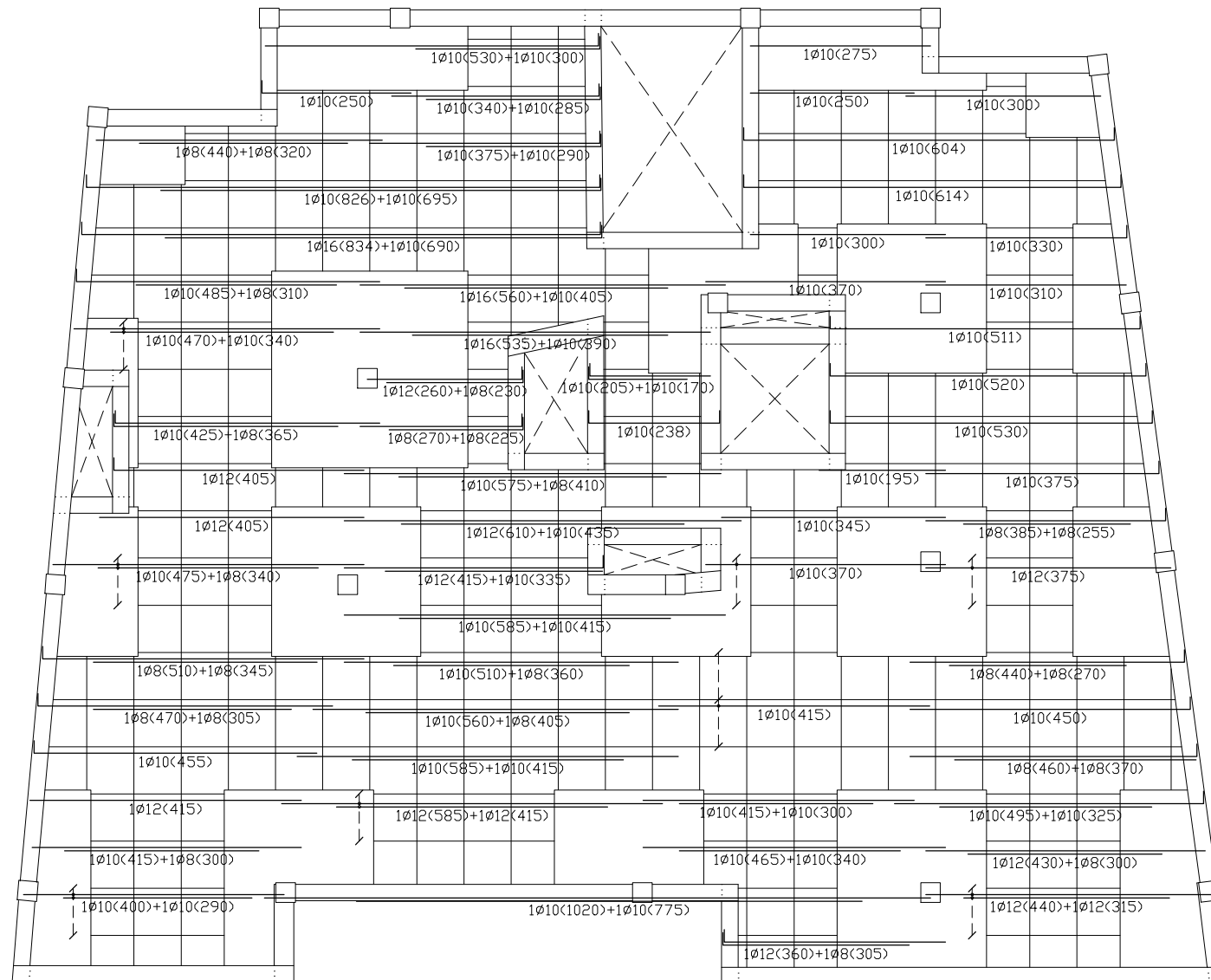
Firma:

PLANO N°:

**4.5**

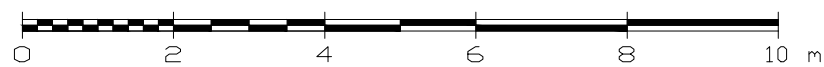
Forjados 2 a 4  
 Armadura longitudinal inferior  
 Hormigón: HA-25, Yc=1.5  
 B 500 S, Ys=1.15

Armadura base en ábacos (por cuadrícula)  
 Long. Inferior: 2Ø8



Resumen Acero Forjados 2 a 4 Armadura longitudinal inferior	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
B 500 S, Ys=1.15	Ø8	87.3	38
	Ø10	285.3	194
	Ø12	75.6	74
	Ø16	19.3	33
			339

ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

PLANO N°:

Ismael López Escriche  
 Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

**ARM. LONG.INFERIOR / PI.viviendas**

Firma:

ESCALA 1:100

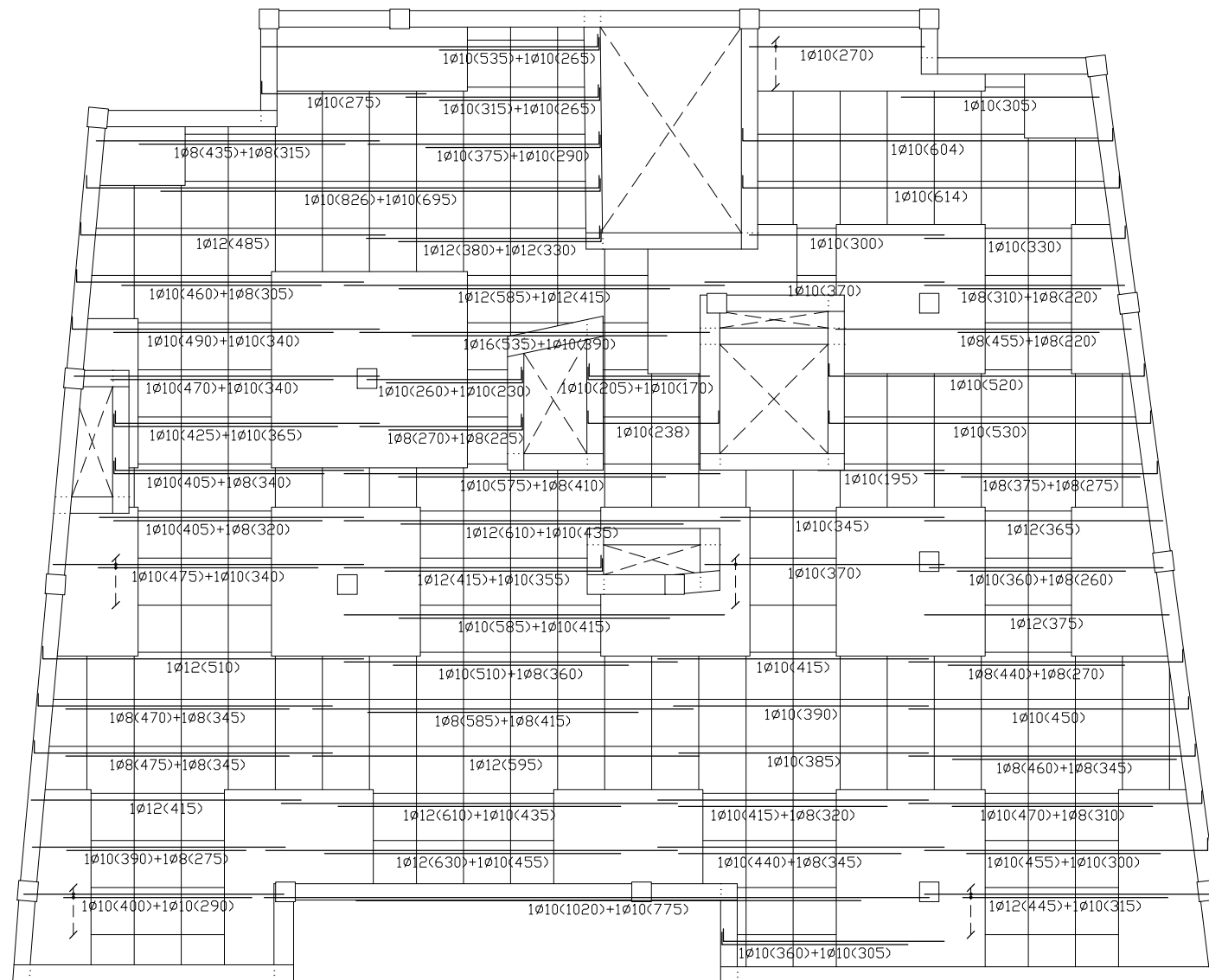
Castellón, noviembre 2016

**4.6**



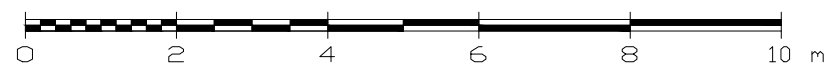
Cubierta  
 Armadura longitudinal inferior  
 Hormigón: HA-25, Yc=1.5  
 B 500 S, Ys=1.15

Armadura base en ábacos (por cuadrícula)  
 Long. Inferior: 2Ø8



Resumen Acero Cubierta	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Armadura longitudinal inferior			
B 500 S, Ys=1.15	Ø8	105.0	46
	Ø10	287.6	195
	Ø12	76.1	74
	Ø16	5.4	9
			324

ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

PLANO N°:

Ismael López Escriche  
 Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

**ARMADO LONG.INFERIOR/PI.cubierta**

Firma:

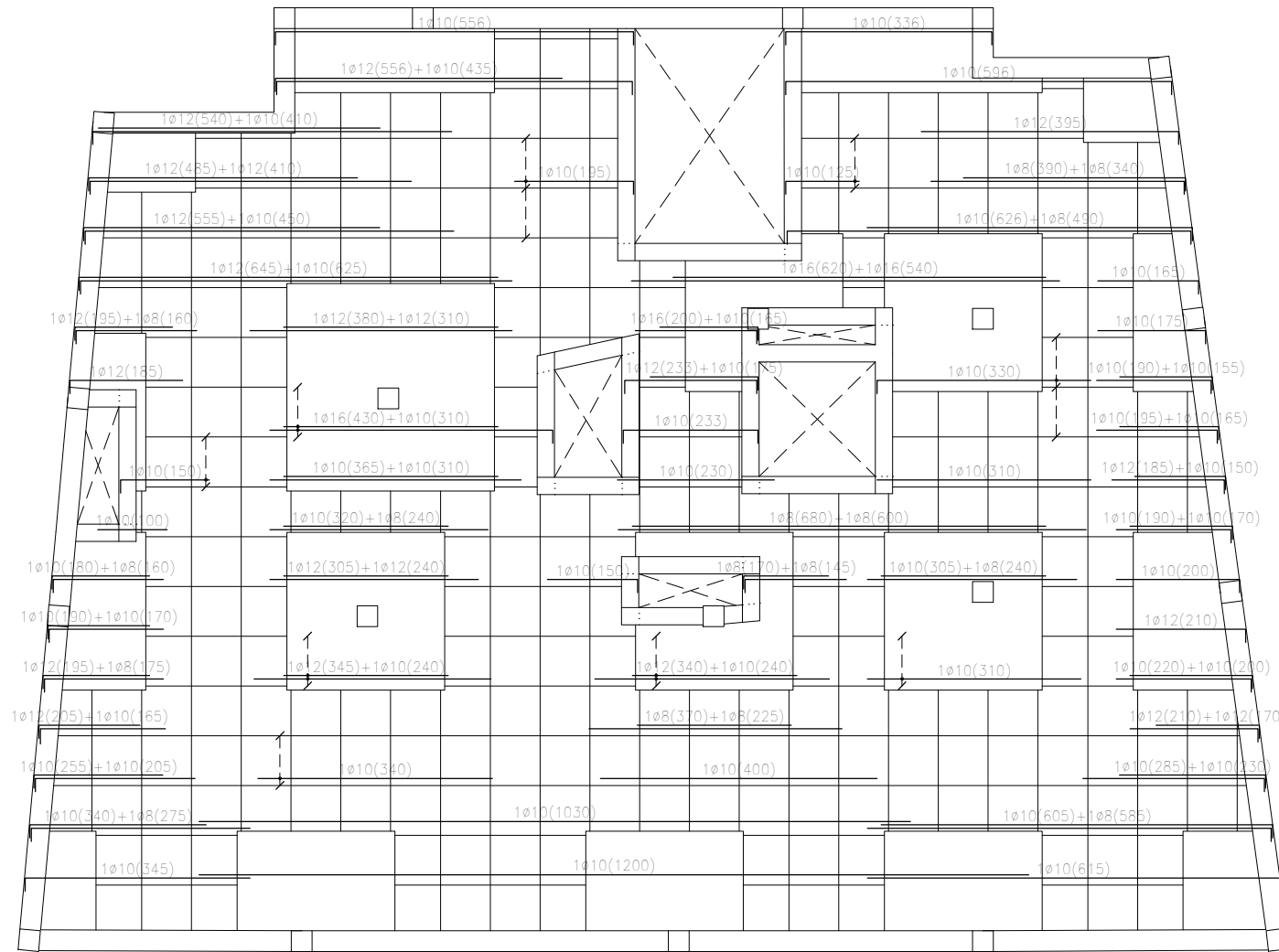
ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

**4.7**

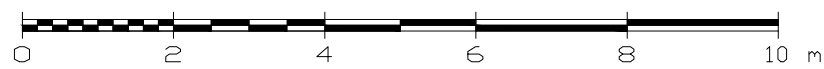
Planta baja  
 Armadura longitudinal superior  
 Hormigón: HA-25, Yc=1.5  
 B 500 S, Ys=1.15

Armadura base en ábacos (por cuadrícula)  
 Long. Inferior: 2ø8



Resumen Acero Planta baja Armadura longitudinal superior B 500 S, Ys=1.15	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
ø8	52.5	23	
ø10	200.9	136	
ø12	79.8	78	
ø16	22.2	39	276

ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

Ismael López Escriche  
 Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

ARM. LONG.SUPERIOR / Pl.baja

ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

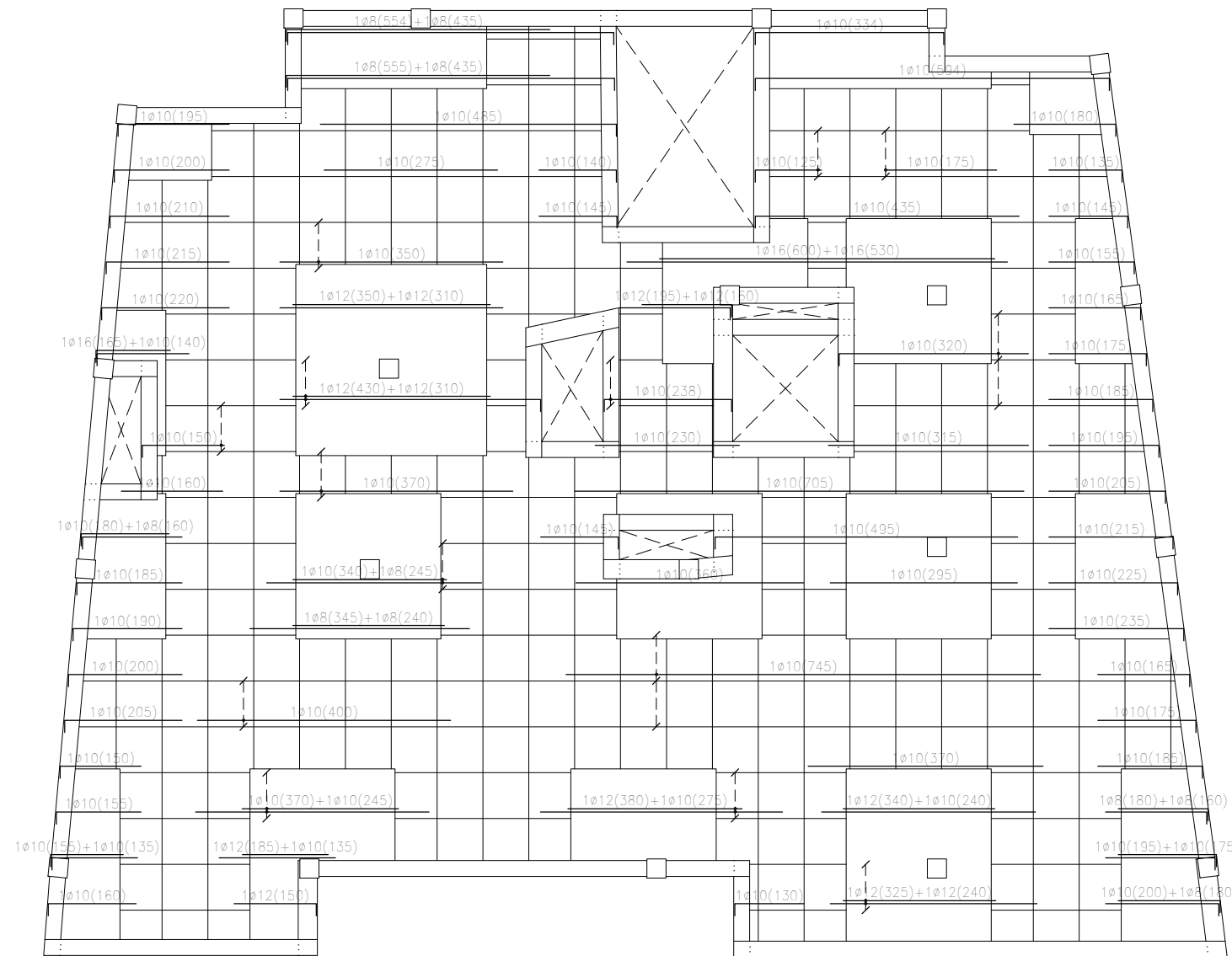
Firma:

PLANO N°:

4.8

Forjados 2 a 4  
 Armadura longitudinal superior  
 Hormigón: HA-25, Yc=1.5  
 B 500 S, Ys=1.15

Armadura base en ábacos (por cuadrícula)  
 Long. Superior: 2Ø10



Resumen Acero Forjados 2 a 4 Armadura longitudinal superior	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total	
B 500 S, Ys=1.15	Ø8	37.3	16	233
	Ø10	214.6	146	
	Ø12	50.6	49	
	Ø16	13.0	22	

ESCALA GRÁFICA



**T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"**

Ismael López Escriche  
 Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

**ARM. LONG.SUPERIOR/PI.viviendas**

ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

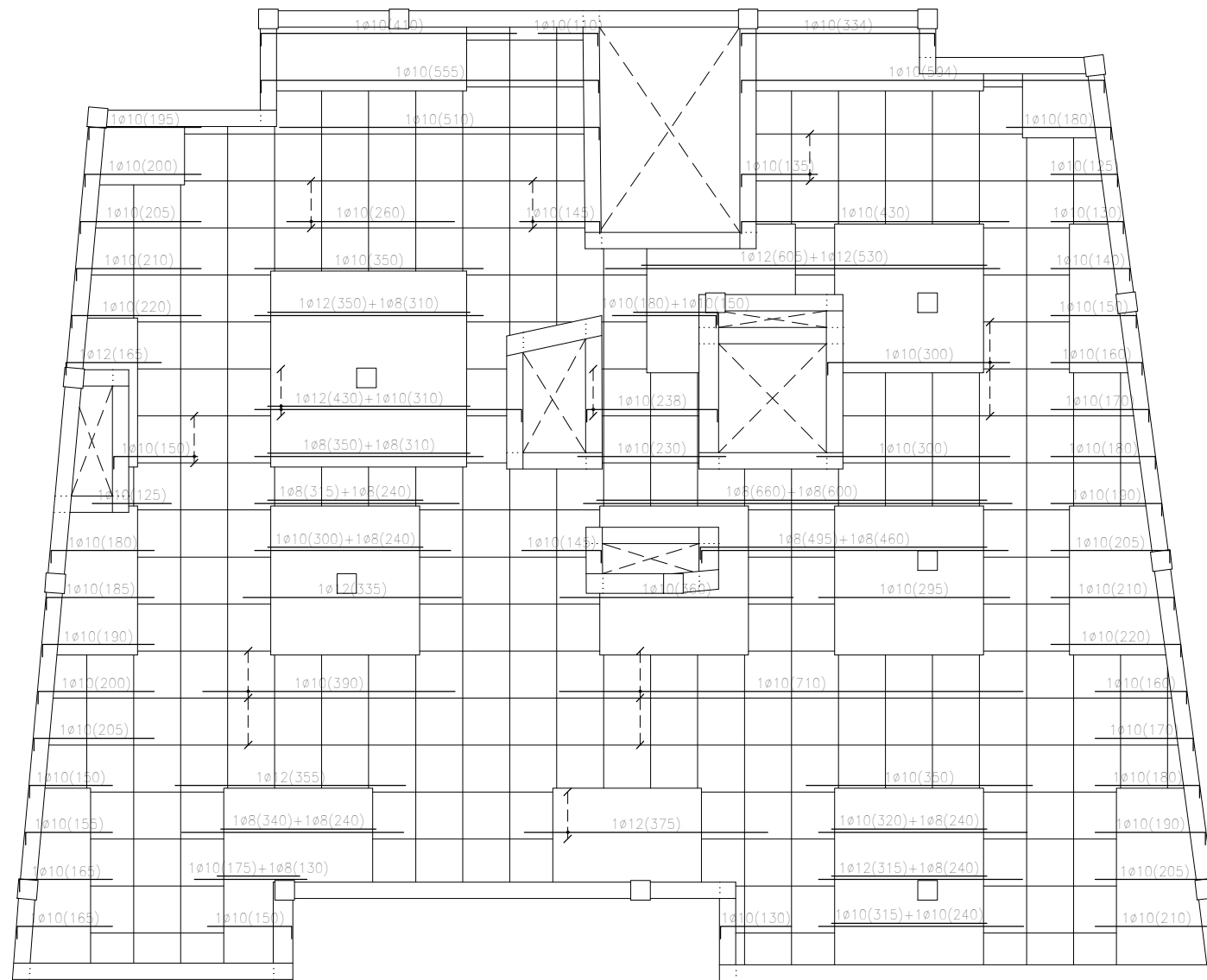
Firma:

PLANO N°:

**4.9**

Cubierta  
 Armadura longitudinal superior  
 Hormigón: HA-25, Yc=1.5  
 B 500 S, Ys=1.15

Armadura base en ábacos (por cuadrícula)  
 Long. Superior: 2Ø10



Resumen Acero Cubierta Armadura longitudinal superior	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
B 500 S, Ys=1.15	Ø8	51.7	22
	Ø10	195.3	132
	Ø12	42.7	42
			196

ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

Ismael López Escriche  
 Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

**ARMADO LONG.SUPERIOR/PI.cubierta**

ESCALA 1:100

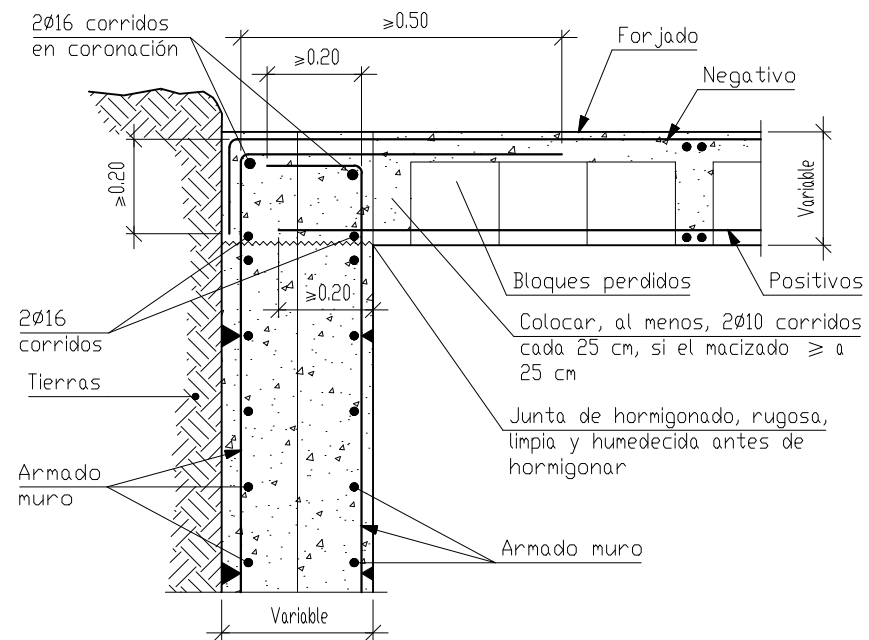
Castellón, noviembre 2016

Firma:

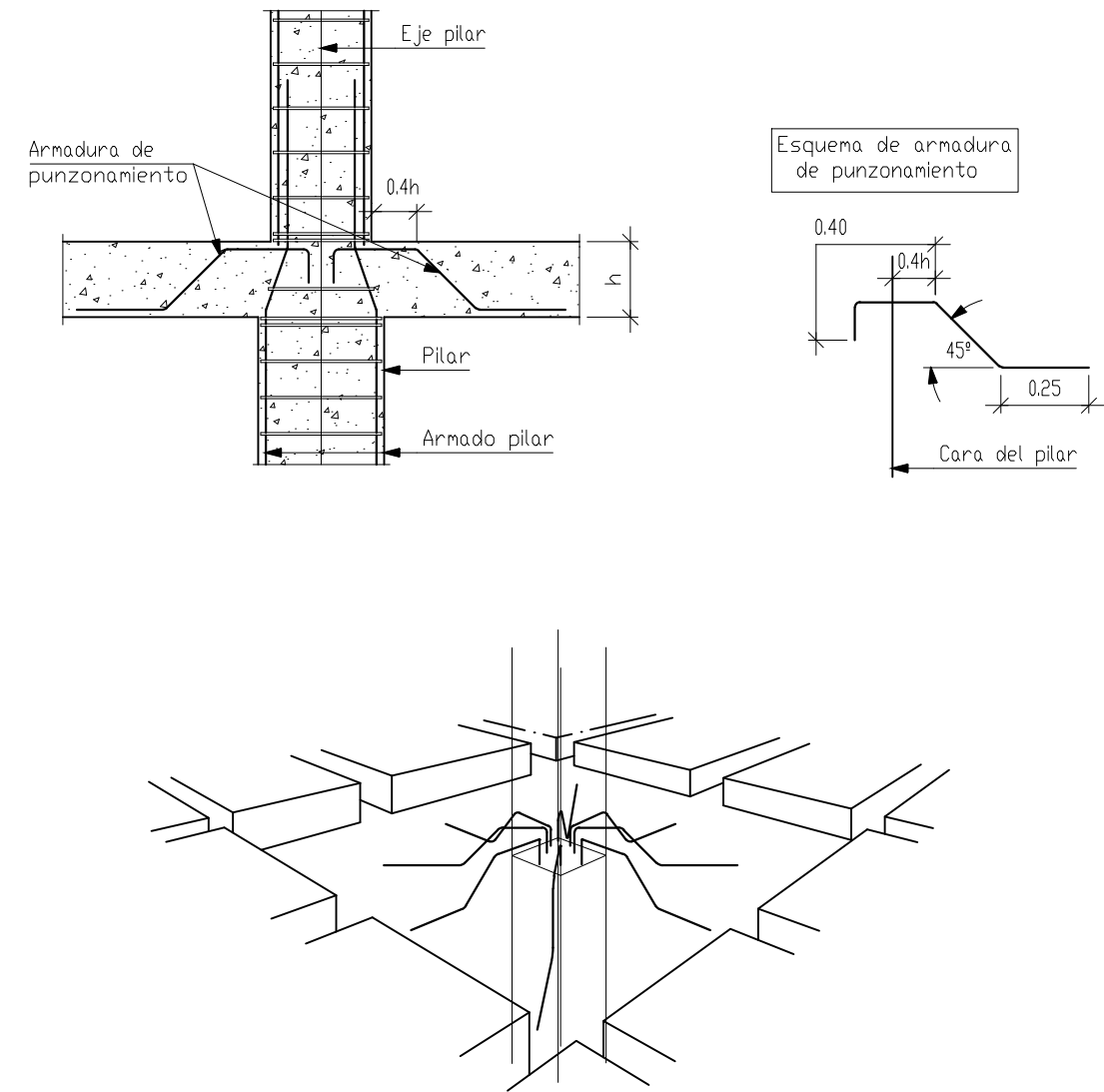
PLANO N°:

**4.10**

DETALLE 1. ENLACE DE CORONACIÓN DE MURO CON FORJADO



DETALLE 3. REFUERZO DE SOPORTE A PUNZONAMIENTO



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

PLANO N°:

Ismael López Escriche  
Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

DETALLES CONSTRUCTIVOS

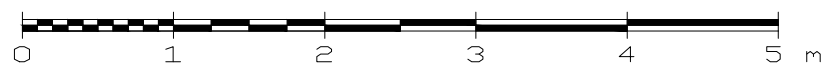
Firma:

ESCALA 1:50

Castellón, noviembre 2016

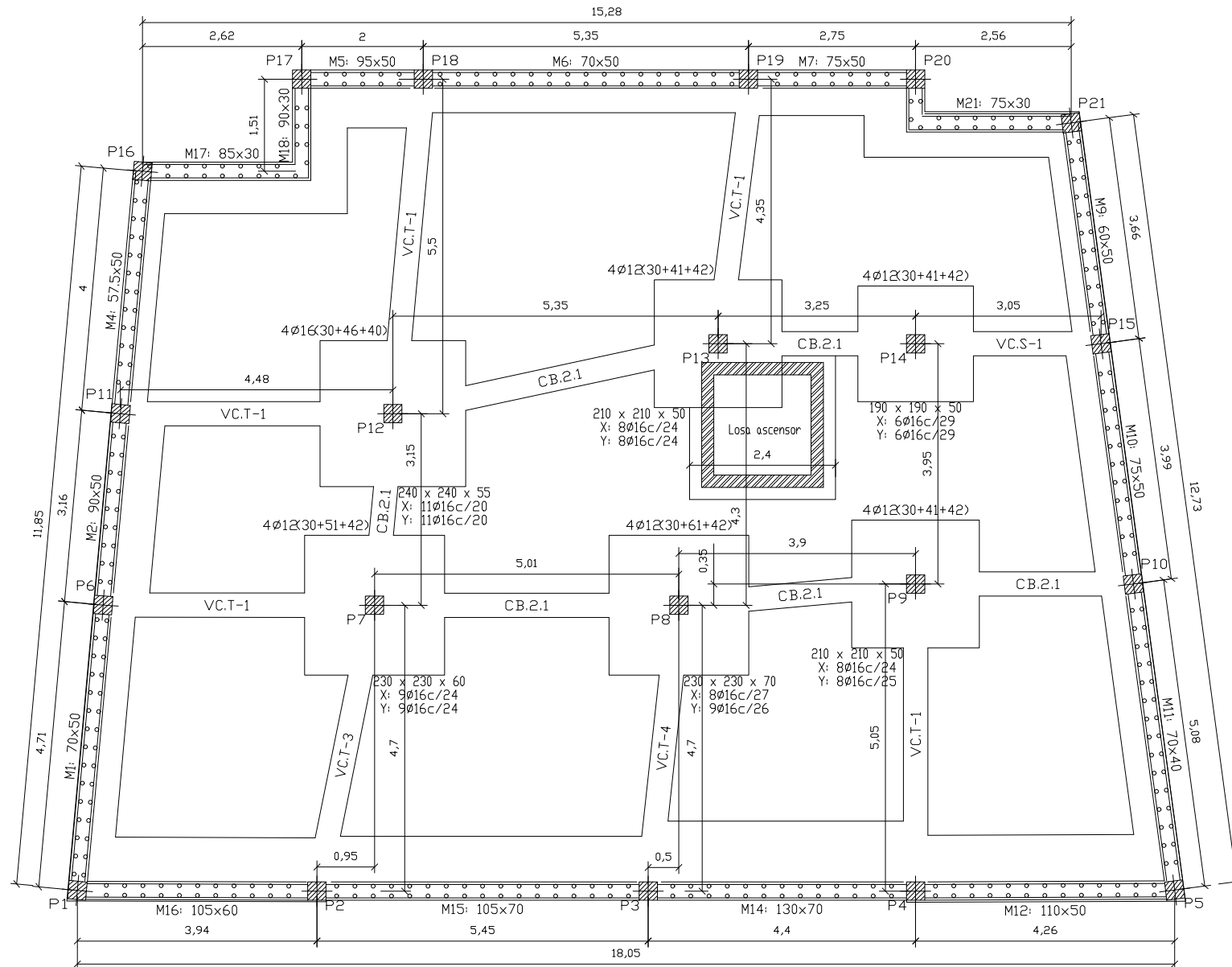
**4.11**

ESCALA GRÁFICA



## **5. EDIFICIO MODELADO CON FORJADO RETICULAR CON CASETÓN DE HORMIGÓN**

Hormigón: HA-25,  $\gamma_c=1.5$   
 Acero B 500 S,  $\gamma_s=1.15$

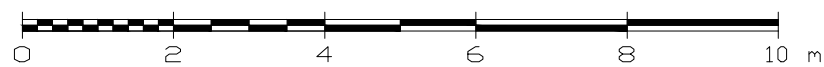


 VC.T-3.3 Arm. sup.: 5Ø25 Arm. inf.: 3Ø16 Arm. piel: 1x2Ø12 Estribos: 1xØ8c/20	 VC.T-1.3 Arm. sup.: 4Ø16 Arm. inf.: 3Ø16 Arm. piel: 1x2Ø12 Estribos: 1xØ8c/20
 VC.T-1 Arm. sup.: 4Ø16 Arm. inf.: 3Ø12 Arm. piel: 1x2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30	 VC.T-3 Arm. sup.: 5Ø25 Arm. inf.: 3Ø12 Arm. piel: 1x2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30

 CB.2.1 Arm. sup.: 2Ø12 Arm. inf.: 4Ø12 Estribos: 1xØ8c/25
--

Referencias	Dimensiones (cm)	Canto (cm)	Armado inf. X	Armado inf. Y
P7	230x230	60	9Ø16c/25	9Ø16c/24
P8	230x230	60	9Ø16c/25	9Ø16c/25
P9	210x210	50	8Ø16c/26	8Ø16c/26
P12	240x240	55	11Ø16c/20	11Ø16c/21
P13	210x210	50	8Ø16c/24	8Ø16c/25
P14	180x180	50	6Ø16c/29	6Ø16c/29

ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

PLANO N°:

Ismael López Escriche  
 Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

**CIMENTACIÓN**

Firma:

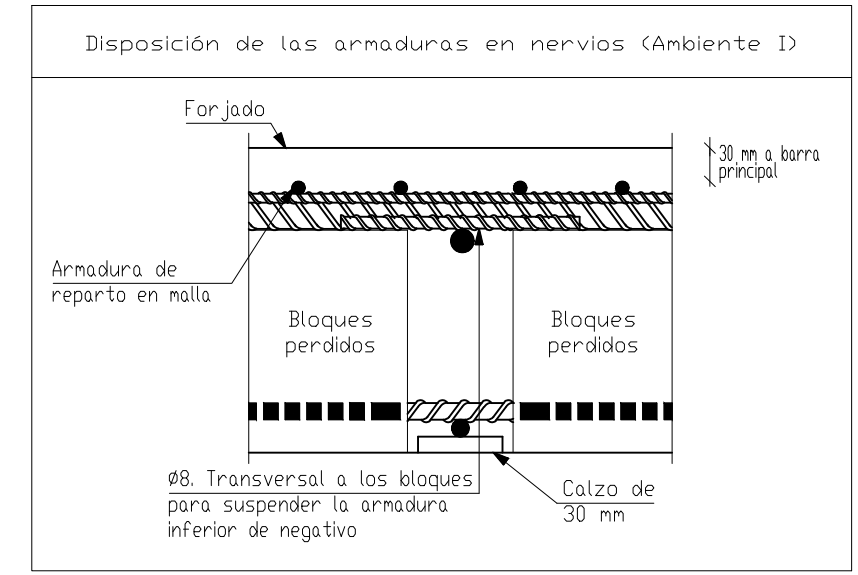
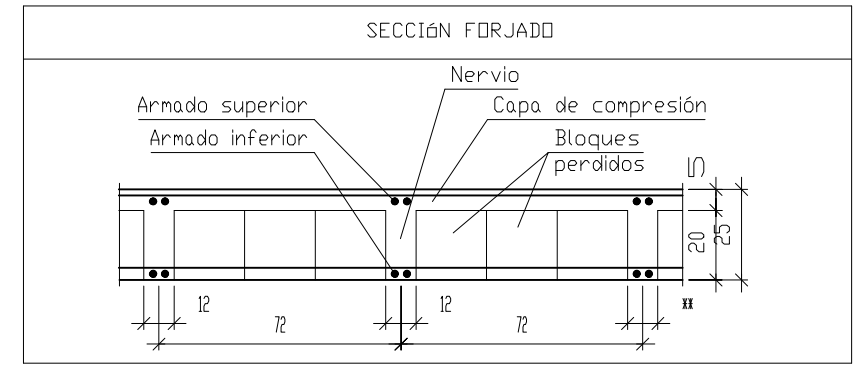
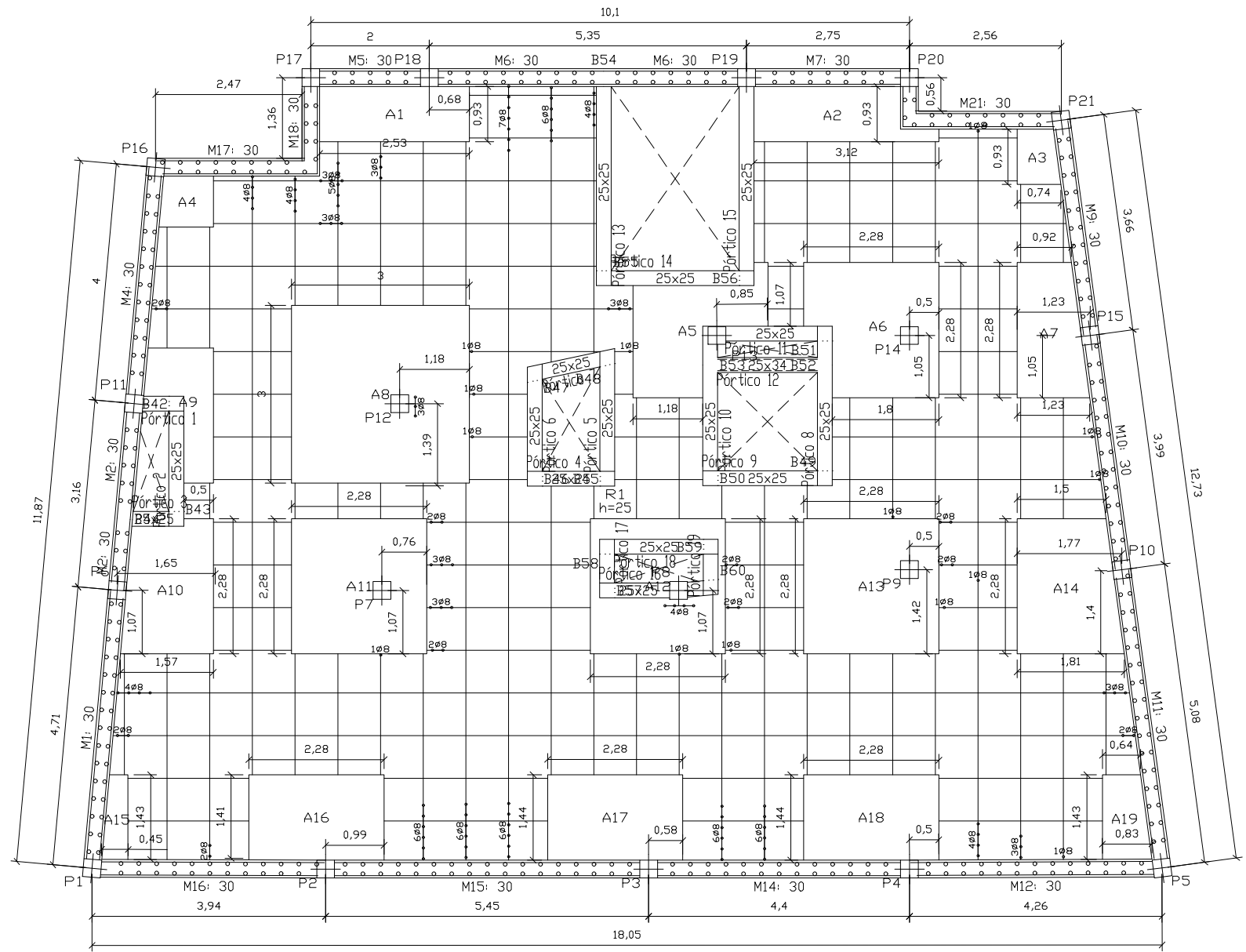
ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

**5.1**

Hormigón: HA-25,  $\gamma_c=1.5$   
 Acero B 500 S,  $\gamma_s=1.15$   
 Armadura base en ábacos  
 (por cuadrícula):  
 Superior: 2Ø10  
 Inferior: 2Ø8

Resumen Acero Planta baja Replanteo	Long. total (m)	Peso+10% (kg)
B 500 S, $\gamma_s=1.15$ Ø8	53.4	23



ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

Ismael López Escriche  
 Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

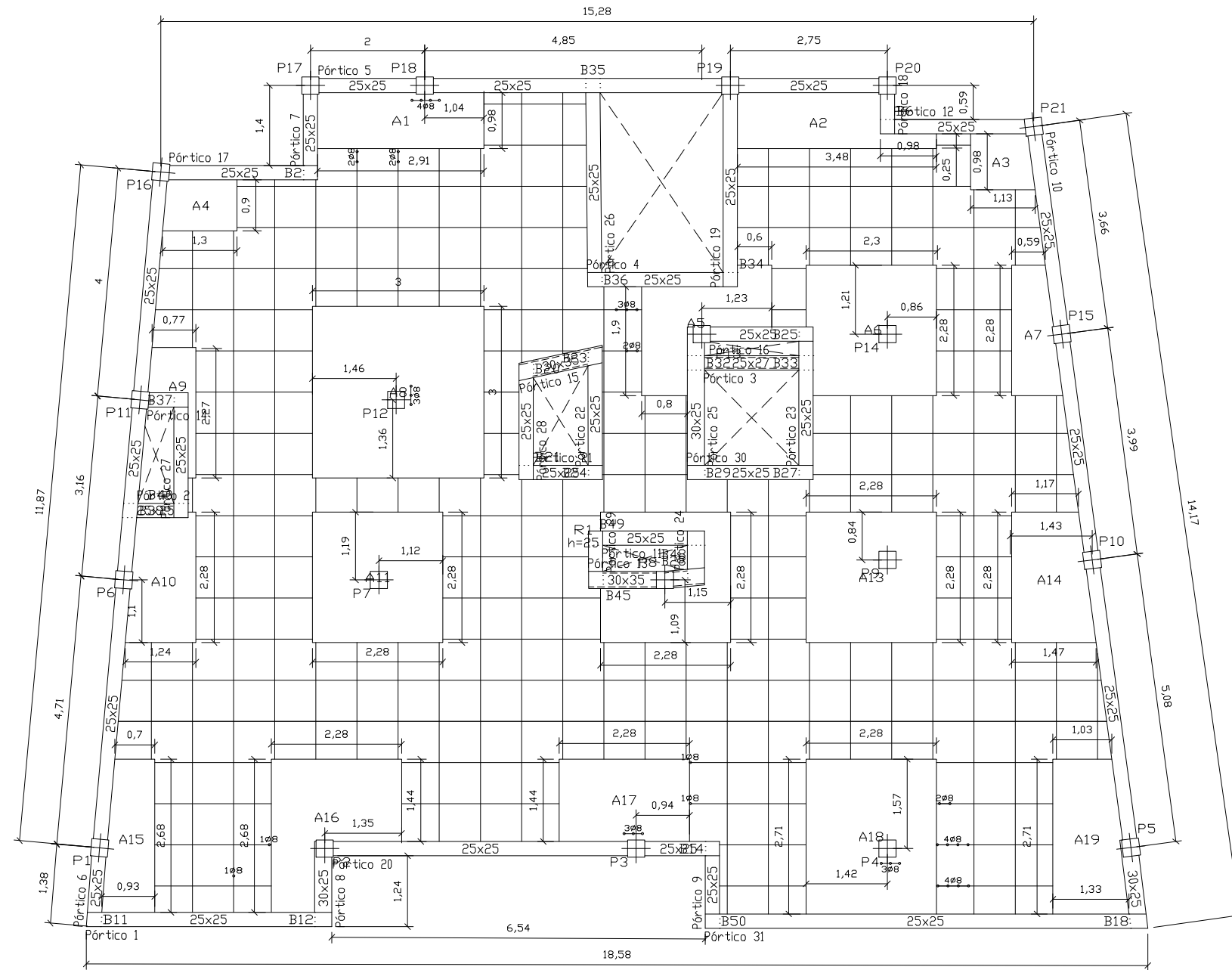
**ESTRUCTURA / Forjado Pl.baja**  
 ESCALA 1:100  
 Castellón, noviembre 2016

Firma:

PLANO N°:

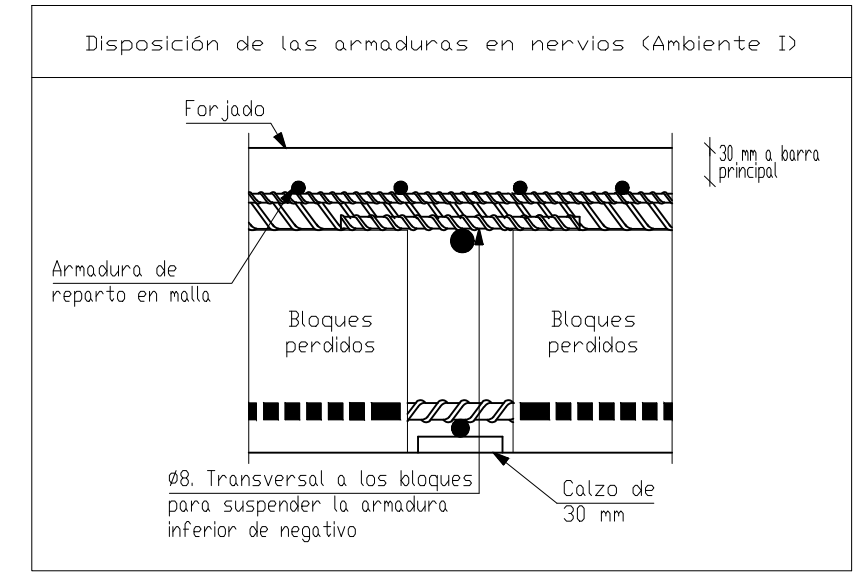
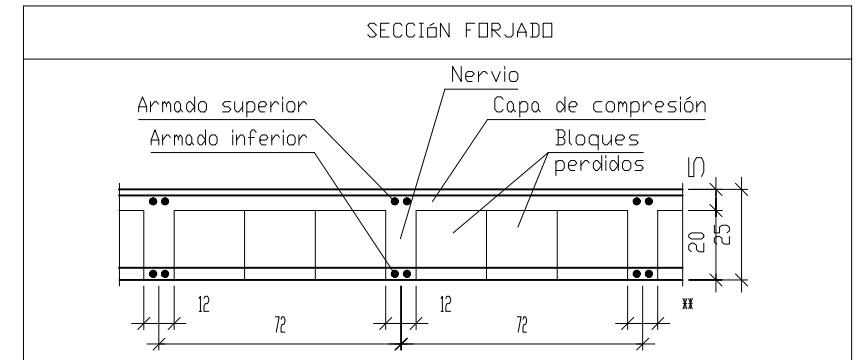
**5.2**





Hormigón: HA-25,  $\gamma_c=1.5$   
 Acero B 500 S,  $\gamma_s=1.15$   
 Armadura base en ábacos  
 (por cuadrícula):  
 Superior: 2Ø10  
 Inferior: 2Ø8

Resumen Acero Forjados 2 a 4 Replanteo	Long. total (m)	Peso+10% (kg)
B 500 S, $\gamma_s=1.15$ Ø8	14.6	6



ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

Ismael López Escriche  
 Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

ESTRUCTURA / Forjado Pl.viviendas

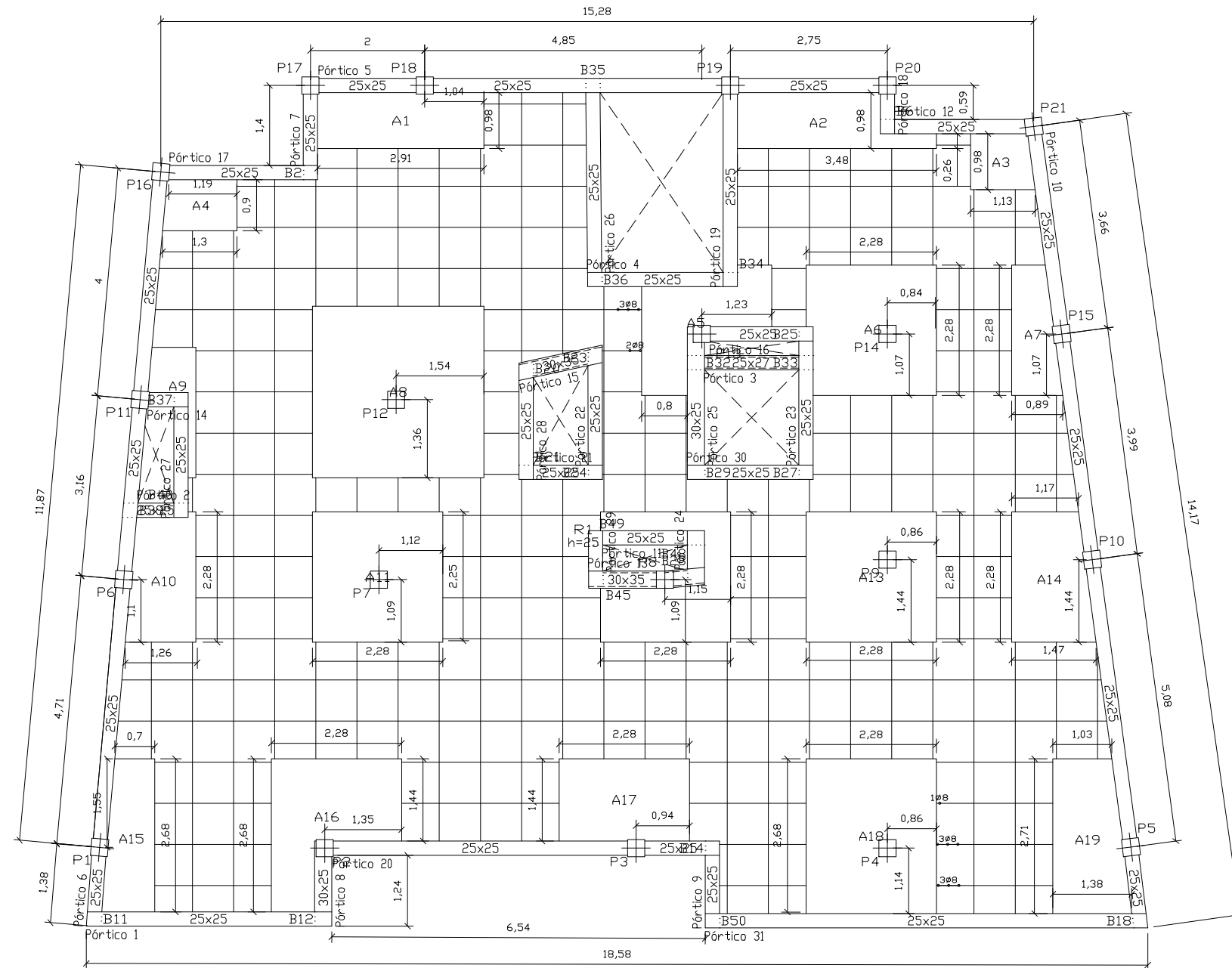
ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

Firma:

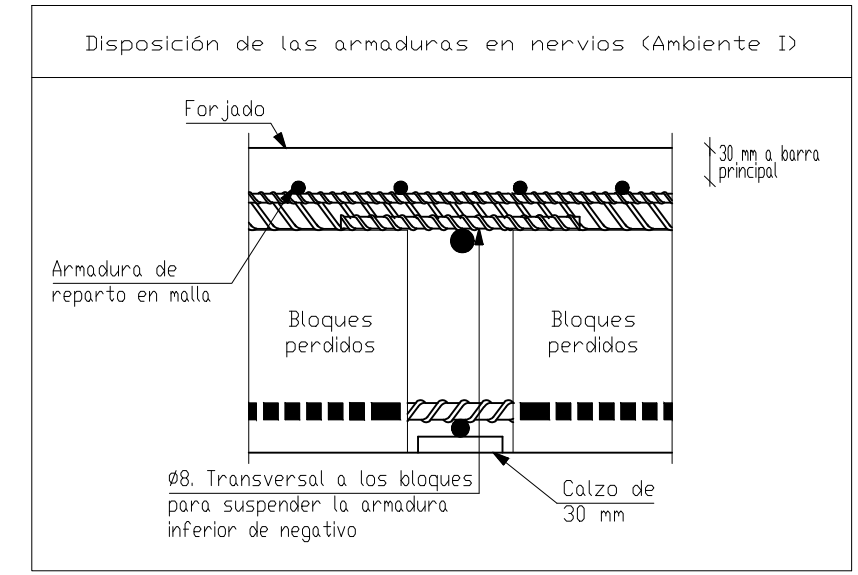
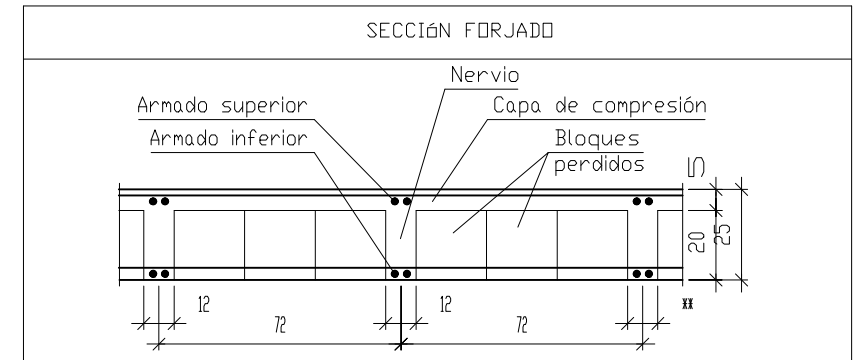
PLANO N°:

**5.3**



Hormigón: HA-25,  $\gamma_c=1.5$   
 Acero B 500 S,  $\gamma_s=1.15$   
 Armadura base en ábacos  
 (por cuadrícula):  
 Superior: 2Ø10  
 Inferior: 2Ø8

Resumen Acero Cubierta Replanteo	Long. total (m)	Peso+10% (kg)
B 500 S, $\gamma_s=1.15$ Ø8	4.9	2



ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

Ismael López Escriche  
 Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

**ESTRUCTURA / Forjado Pl.cubierta**

ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

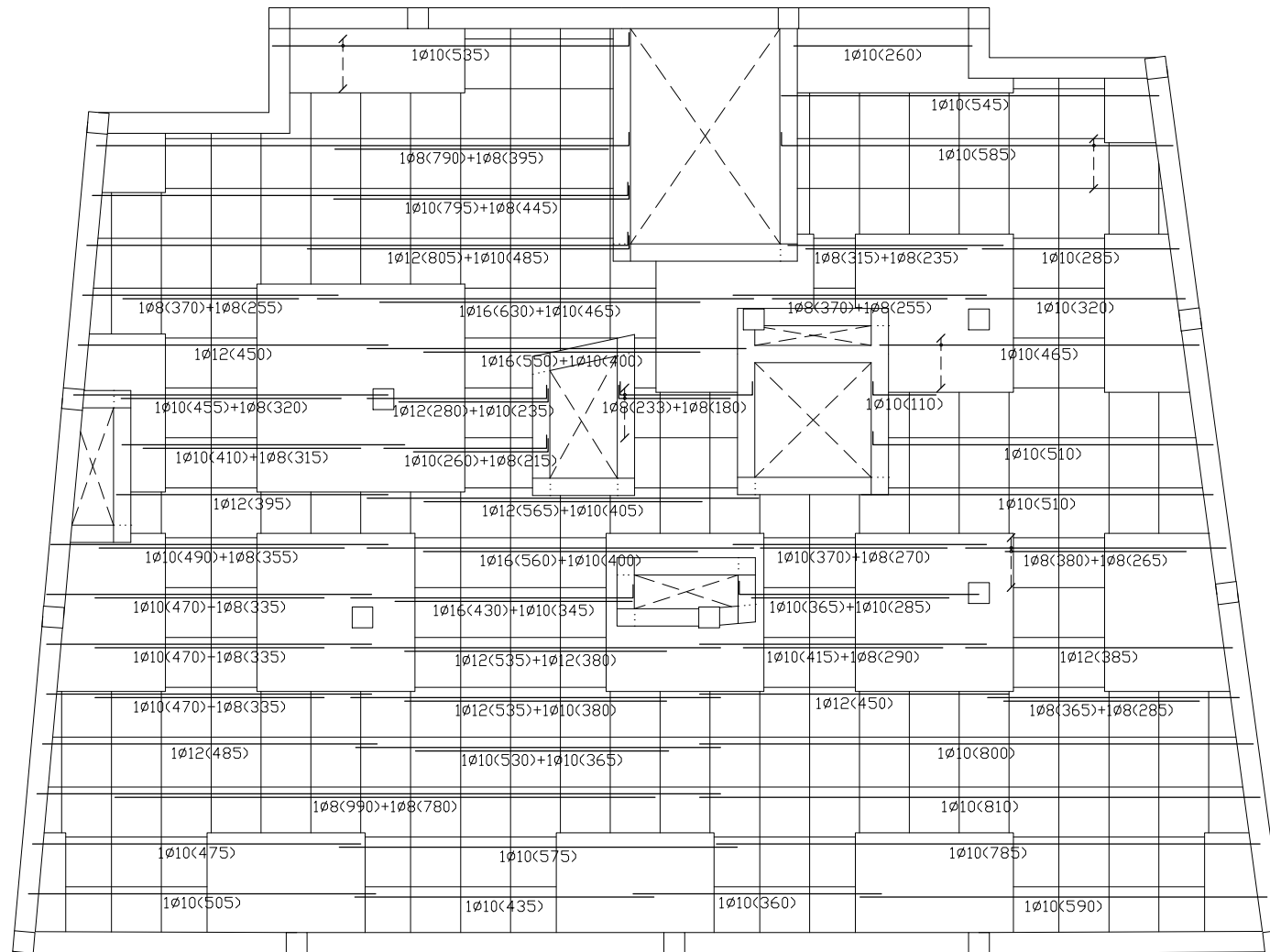
Firma:

PLANO N°:

**5.4**

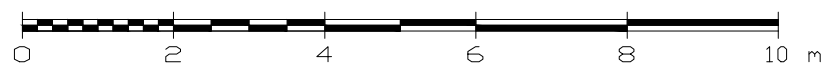
Planta baja  
 Armadura longitudinal inferior  
 Hormigón: HA-25, Yc=1.5  
 B 500 S, Ys=1.15

Armadura base en ábacos (por cuadrícula)  
 Long. Inferior: 2Ø8



Resumen Acero Planta baja Armadura longitudinal inferior	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
B 500 S, Ys=1.15	Ø8	107.4	47
	Ø10	203.1	138
	Ø12	52.7	51
	Ø16	21.7	38
			274

ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

PLANO N°:

Ismael López Escriche  
 Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

ARMADO LONG.INFERIOR / Pl.baja

Firma:

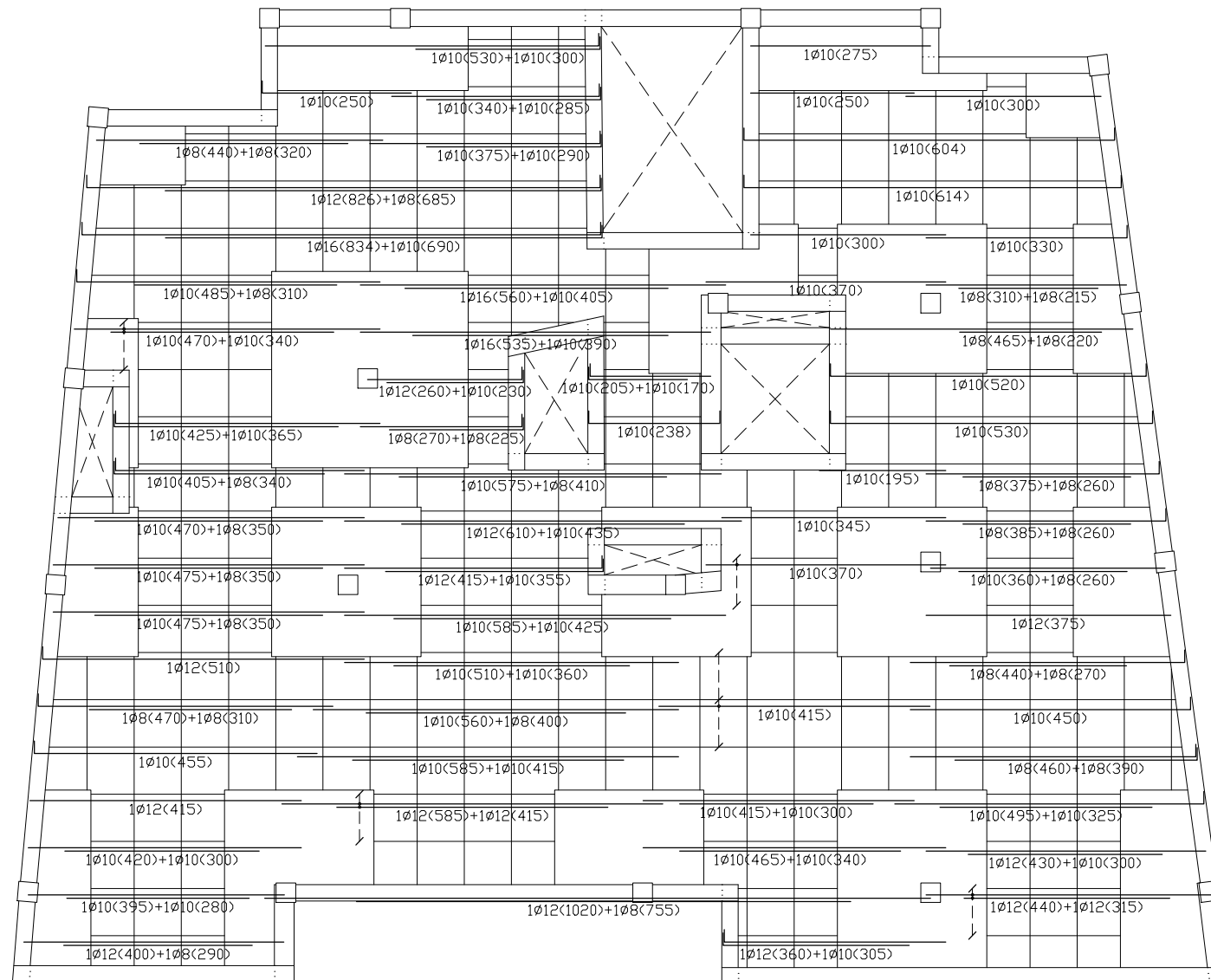
ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

5.5

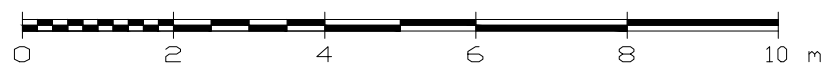
Forjados 2 a 4  
 Armadura longitudinal inferior  
 Hormigón: HA-25, Yc=1.5  
 B 500 S, Ys=1.15

Armadura base en ábacos (por cuadrícula)  
 Long. Inferior: 2Ø8



Resumen Acero Forjados 2 a 4 Armadura longitudinal inferior	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
B 500 S, Ys=1.15	Ø8	105.9	46
	Ø10	264.5	179
	Ø12	91.3	89
	Ø16	19.3	33
			347

ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

PLANO N°:

Ismael López Escriche  
 Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

**ARM. LONG.INFERIOR / PI.viviendas**

Firma:

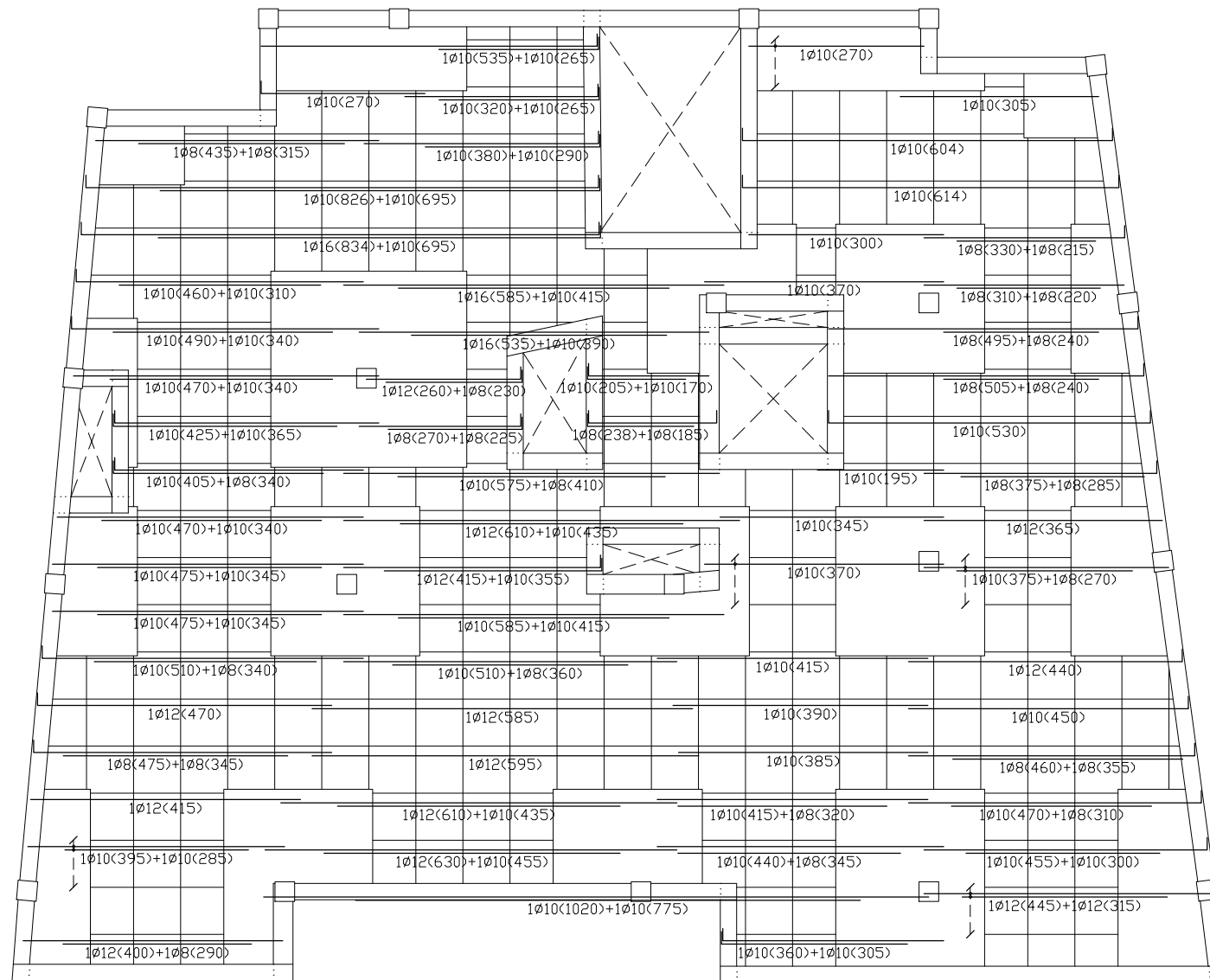
ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

**5.6**

Cubierta  
 Armadura longitudinal inferior  
 Hormigón: HA-25, Yc=1.5  
 B 500 S, Ys=1.15

Armadura base en ábacos (por cuadrícula)  
 Long. Inferior: 2Ø8



Resumen Acero Cubierta	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Armadura longitudinal inferior			
B 500 S, Ys=1.15	Ø8	100.0	43
	Ø10	288.8	196
	Ø12	73.2	71
	Ø16	19.5	34
			344

ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

PLANO N°:

Ismael López Escriche  
 Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

ARM. LONG.INFERIOR / Pl.cubierta

Firma:

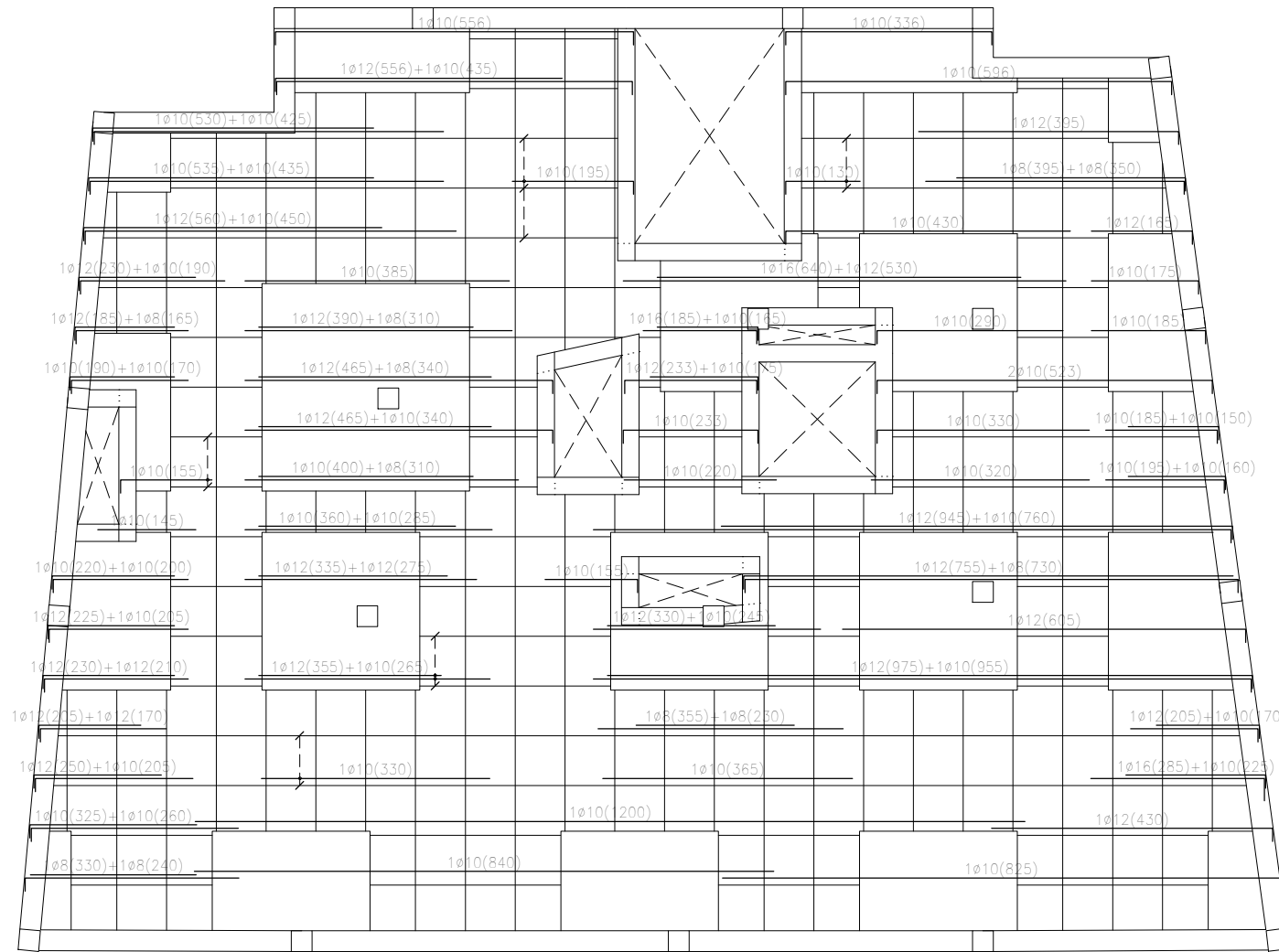
ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

5.7

Planta baja  
 Armadura longitudinal superior  
 Hormigón: HA-25, Yc=1.5  
 B 500 S, Ys=1.15

Armadura base en ábacos (por cuadrícula)  
 Long. Inferior: 2Ø8



Resumen Acero Planta baja Armadura longitudinal superior B 500 S, Ys=1.15	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Ø8	37.6	16	
Ø10	205.2	139	
Ø12	110.3	108	
Ø16	11.1	19	282

ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

Ismael López Escriche  
 Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

ARM. LONG.SUPERIOR / Pl.baja  
 ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

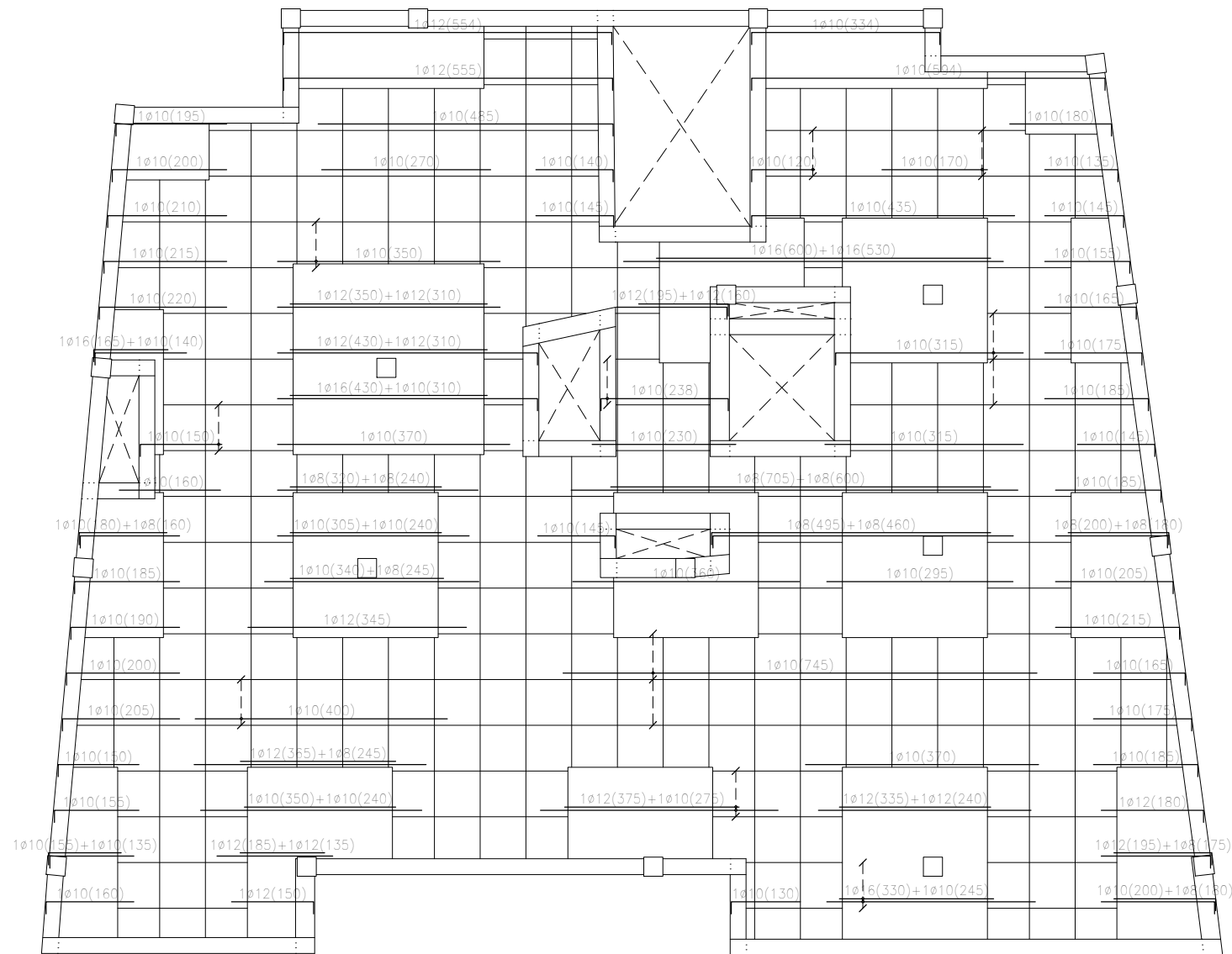
Firma:

PLANO N°:

5.8

Forjados 2 a 4  
 Armadura longitudinal superior  
 Hormigón: HA-25, Yc=1.5  
 B 500 S, Ys=1.15

Armadura base en ábacos (por cuadrícula)  
 Long. Superior: 2Ø10



Resumen Acero Forjados 2 a 4 Armadura longitudinal superior	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total	
B 500 S, Ys=1.15	Ø8	42.1	18	
	Ø10	191.5	130	
	Ø12	57.4	56	
	Ø16	23.9	41	
				245

ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

Ismael López Escriche  
 Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

ARM. LONG.SUPERIOR / Pl.viviendas

ESCALA 1:100

Castellón, noviembre 2016

Firma:

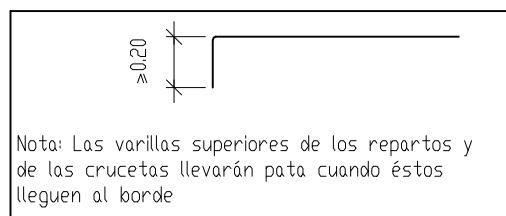
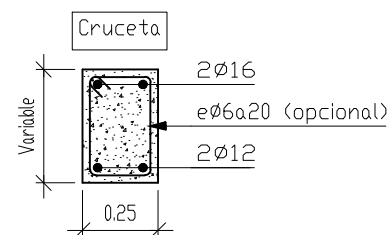
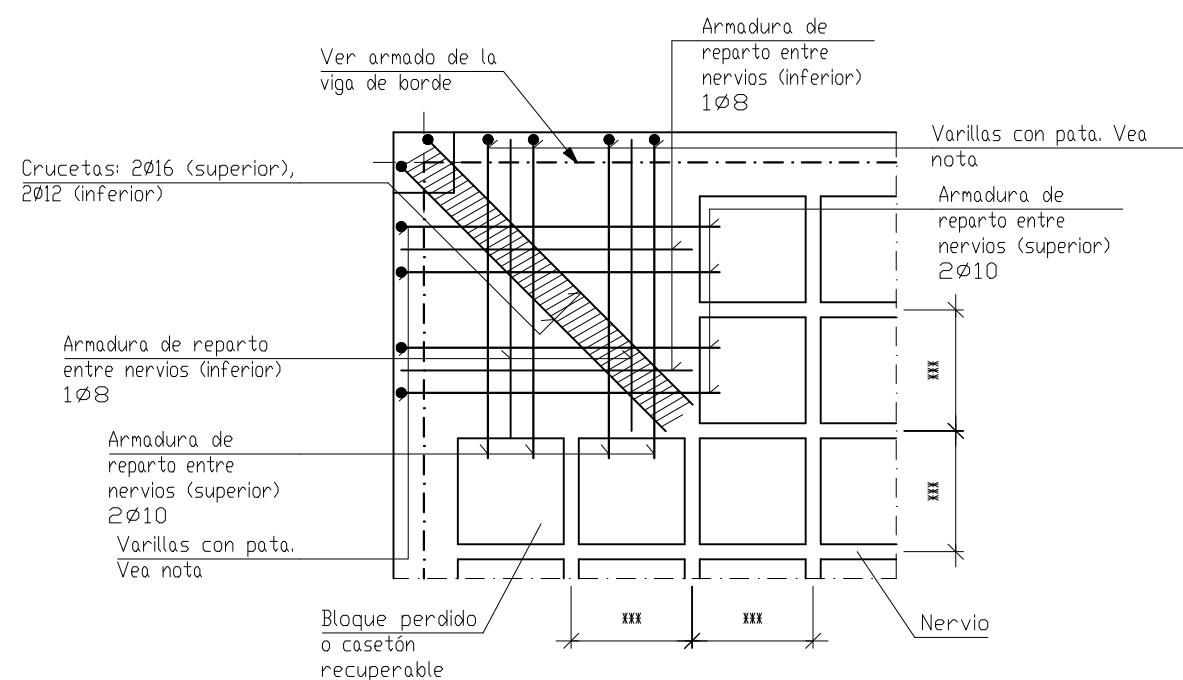
PLANO N°:

5.9

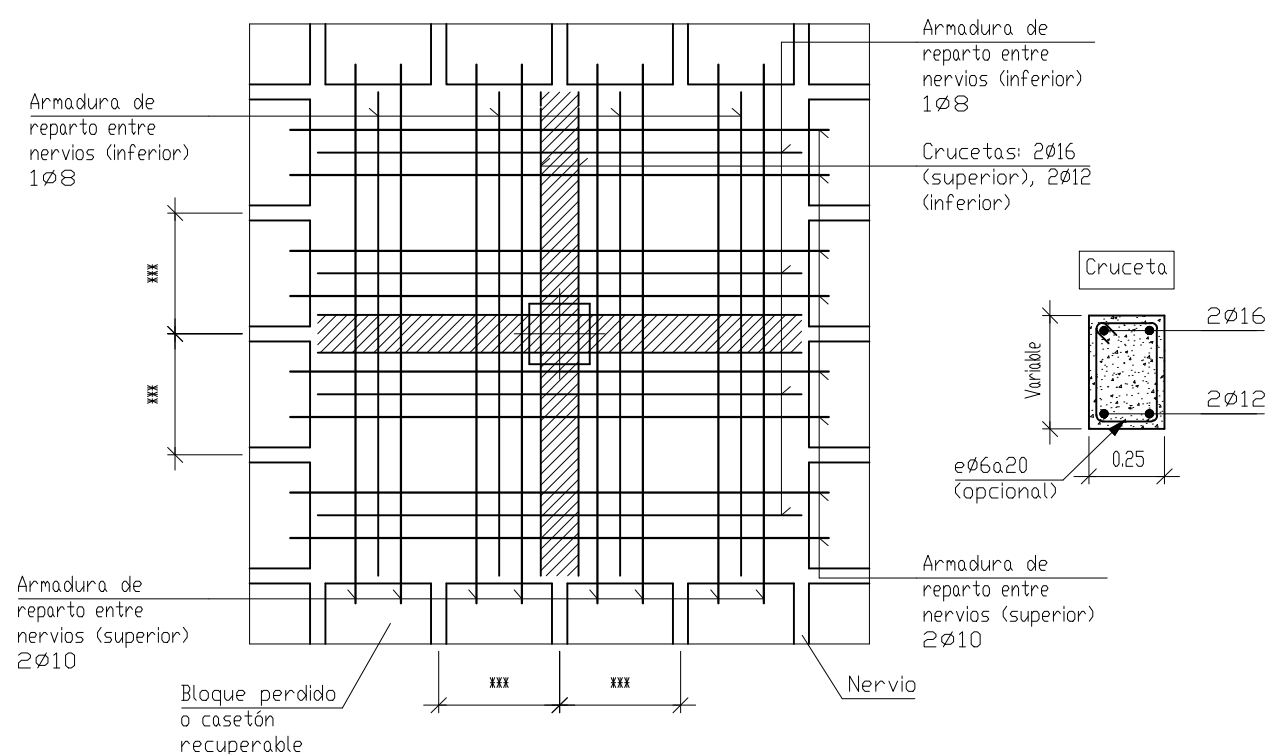




## DETALLE 1. ARMADURA DE MONTAJE EN ÁBACO EN ESQUINA



## DETALLE 2. ARMADURA DE MONTAJE EN ÁBACO CENTRAL



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

PLANO N°:

ESCALA GRÁFICA



Ismael López Escriche  
Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

DETALLES CONSTRUCTIVOS

ESCALA 1:50

Castellón, noviembre 2016

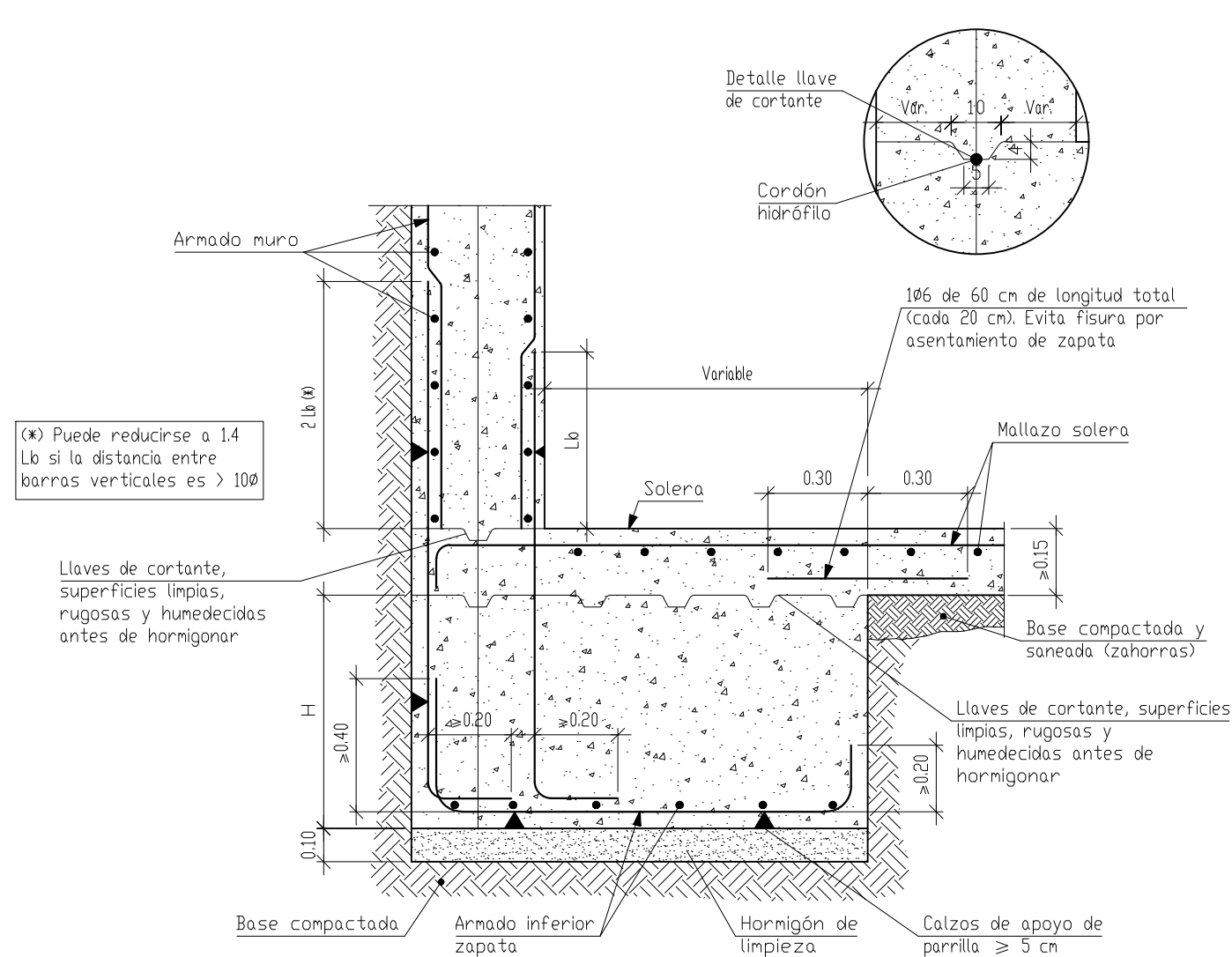
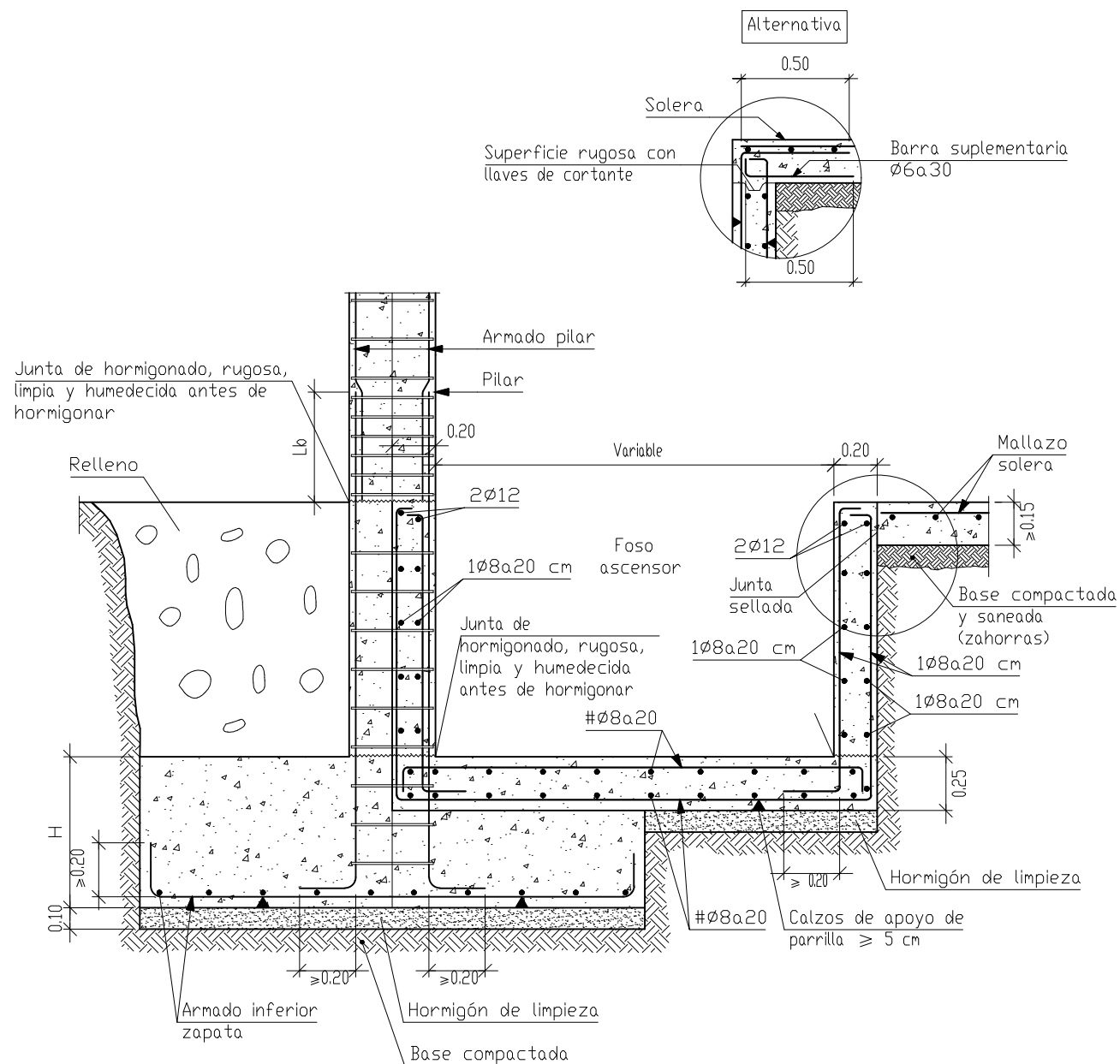
Firma:

**5.11**

## **6. DETALLES CONSTRUCTIVOS GENÉRICOS EN CIMENTACIÓN**

# DETALLE 1. ARRANQUE DE PILAR EN FOSO DE ASCENSOR

# DETALLE 2. ARRANQUE DE MURO EN ZAPAZA CORRIDA CON SOLERA



ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

PLANO N°:

Ismael López Escriche  
Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

DETALLES CONST. CIMENTACIÓN / 1

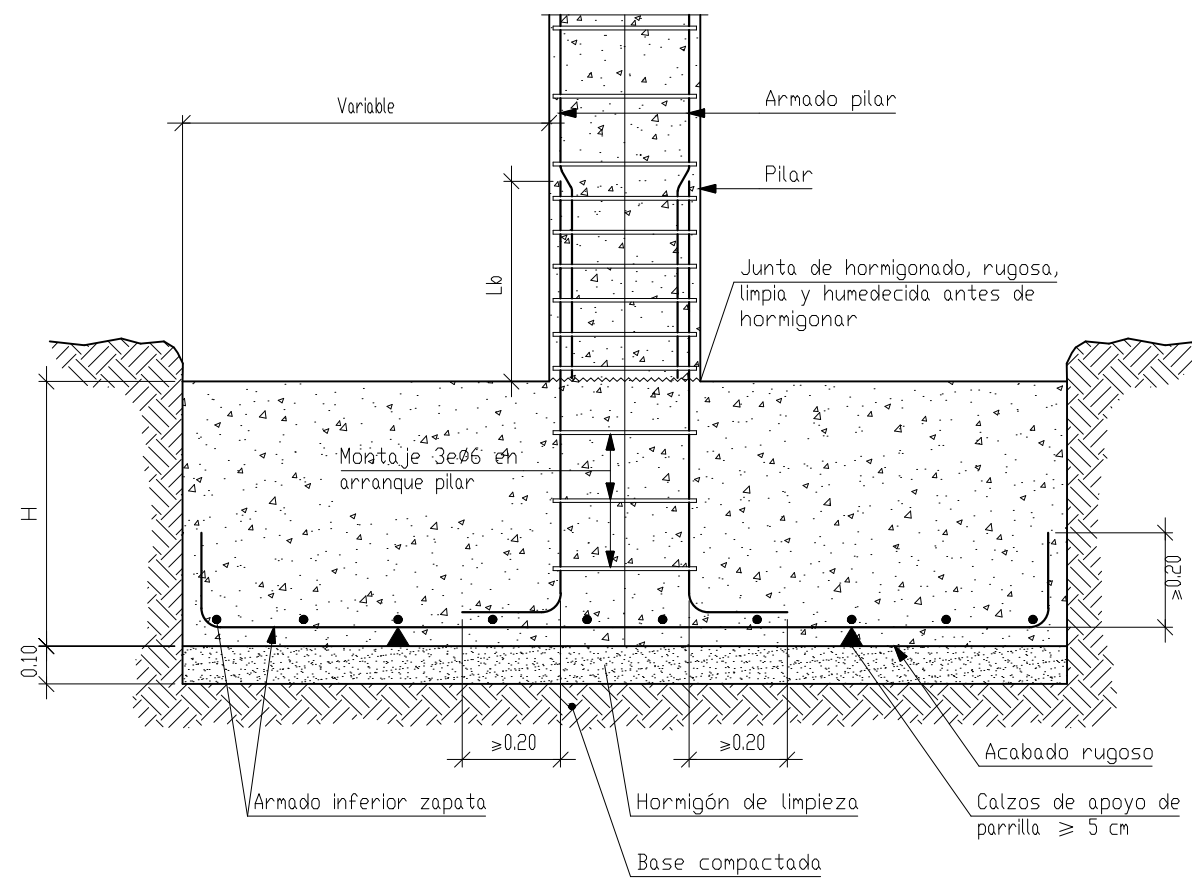
Firma:

ESCALA 1:50

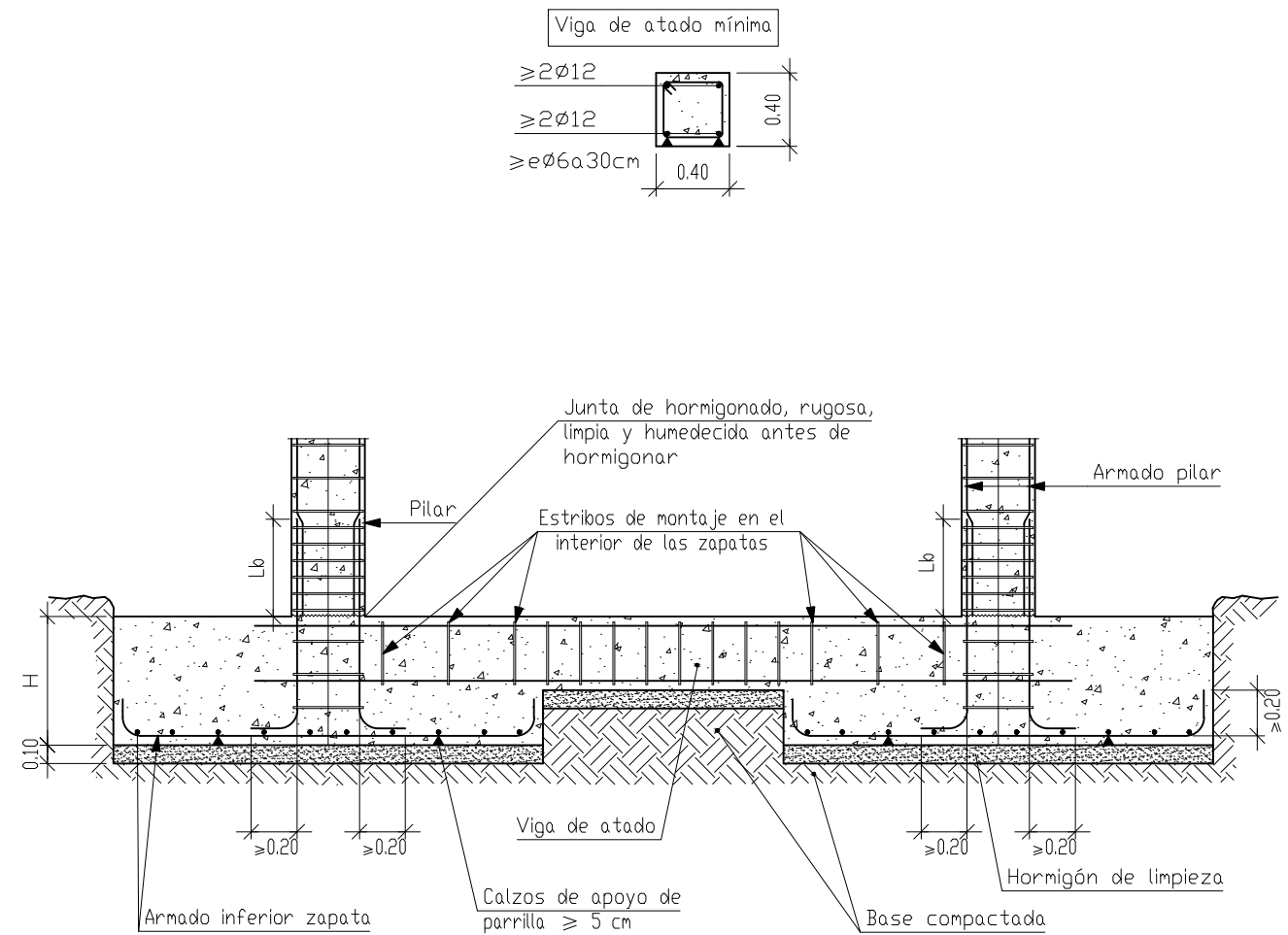
Castellón, noviembre 2016

6.1

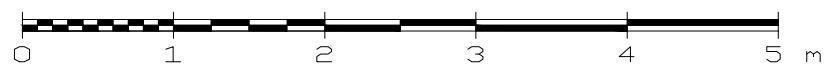
### DETALLE 3. ZAPATA AISLADA



### DETALLE 4. VIGA DE ATADO ENTRE ZAPATAS



ESCALA GRÁFICA



T.F.G. "Estudio comparativo de forjados de hormigón armado"

Ismael López Escriche  
Universidad Jaume I - Grado en Arquitectura-

DETALLES CONST. CIMENTACIÓN / 2

ESCALA 1:50

Castellón, noviembre 2016

Firma:

PLANO N°:

6.2

**Anexo 2.** Presupuesto del edificio  
calculado con forjado unidireccional  
de viguetas pretensadas

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
<b>1.1 Regularización</b>						
1.1.1	CRL030	m <sup>2</sup>	Capa de hormigón de limpieza HL-150/B/20, fabricado en central y vertido desde camión, de 10 cm de espesor.	92,040	7,71	709,63
<b>1.2 Contenciones</b>						
1.2.1	CCS020	m <sup>2</sup>	Montaje y desmontaje de sistema de encofrado a una cara con acabado tipo industrial para revestir, realizado con paneles metálicos modulares, amortizables en 150 usos, para formación de muro de hormigón armado de hasta 3 m de altura y superficie plana, para contención de tierras.	163,350	21,69	3.543,06
1.2.2	CCS030	m <sup>3</sup>	Muro de sótano de hormigón armado, realizado con hormigón HA-25/B/20/Ila fabricado en central y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 53,7 kg/m <sup>3</sup> , sin incluir encofrado.	49,030	160,70	7.879,12
<b>1.3 Superficiales</b>						
1.3.1	CSZ020	m <sup>2</sup>	Montaje y desmontaje de sistema de encofrado recuperable, realizado con tabloncillos de madera, amortizables en 10 usos, para zapata de cimentación.	42,880	17,37	744,83
1.3.2	CSZ030	m <sup>3</sup>	Zapata de cimentación de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/Ila fabricado en central y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 30,1 kg/m <sup>3</sup> .	14,958	127,53	1.907,59
1.3.3	CSZ030b	m <sup>3</sup>	Zapata de cimentación de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/Ila fabricado en central y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 40,7 kg/m <sup>3</sup> .	25,890	137,35	3.555,99
<b>1.4 Arriostramientos</b>						
1.4.1	CAV020	m <sup>2</sup>	Montaje y desmontaje de sistema de encofrado recuperable, realizado con tabloncillos de madera, amortizables en 10 usos para viga de atado.	4,680	22,23	104,04
1.4.2	CAV020b	m <sup>2</sup>	Montaje y desmontaje de sistema de encofrado recuperable, realizado con tabloncillos de madera, amortizables en 10 usos para viga centradora.	11,480	22,23	255,20
1.4.3	CAV030	m <sup>3</sup>	Viga de atado de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/Ila fabricado en central y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 99,7 kg/m <sup>3</sup> .	1,870	193,06	361,02
1.4.4	CAV030b	m <sup>3</sup>	Viga centradora de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/Ila fabricado en central y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 153,1 kg/m <sup>3</sup> .	4,590	245,66	1.127,58
<b>Total presupuesto parcial nº 1 Cimentaciones :</b>						<b>20.188,06</b>

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
<b>2.1 Hormigón armado</b>						
2.1.1	EHS020	m³	Pilar de sección rectangular o cuadrada de hormigón armado, realizado con hormigón HA-25/B/20/Ila fabricado en central y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 84,7 kg/m³; montaje y desmontaje del sistema de encofrado de chapas metálicas reutilizables, hasta 3 m de altura libre.	19,382	197,67	3.831,24
2.1.2	EHS020b	m³	Pilar de sección rectangular o cuadrada de hormigón armado, realizado con hormigón HA-25/B/20/Ila fabricado en central y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 81,9 kg/m³; montaje y desmontaje del sistema de encofrado de chapas metálicas reutilizables, entre 3 y 4 m de altura libre.	6,052	194,83	1.179,11
2.1.3	EHV030	m³	Viga de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/Ila fabricado en central y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 89,6 kg/m³; montaje y desmontaje del sistema de encofrado de madera, en planta de hasta 3 m de altura libre.	5,800	285,51	1.655,96
2.1.4	EHV030b	m³	Viga de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/Ila fabricado en central y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 115,7 kg/m³; montaje y desmontaje del sistema de encofrado de madera, en planta de entre 3 y 4 m de altura libre.	8,730	308,15	2.690,15
2.1.5	EHU030	m²	Estructura de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/Ila fabricado en central y vertido con cubilote, volumen total de hormigón 0,092 m³/m², y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 4,4 kg/m², sobre sistema de encofrado continuo constituida por: forjado unidireccional, horizontal, de canto 27 cm, intereje de 70 cm; semivigueta pretensada PREVALESA DITECO T12, 22+5, De hormigón; bovedilla de hormigón; malla electrosoldada ME 20x20 Ø 5-5 B 500 T 6x2,20 UNE-EN 10080, en capa de compresión; vigas planas; altura libre de planta de hasta 3 m. Sin incluir repercusión de pilares.	215,820	64,89	14.004,56
2.1.6	EHU030b	m²	Estructura de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/Ila fabricado en central y vertido con cubilote, volumen total de hormigón 0,099 m³/m², y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 5,3 kg/m², sobre sistema de encofrado continuo constituida por: forjado unidireccional, horizontal, de canto 34 cm, intereje de 70 cm; semivigueta pretensada PREVALESA DITECO T12, 30+4, De hormigón; bovedilla de hormigón; malla electrosoldada ME 20x20 Ø 5-5 B 500 T 6x2,20 UNE-EN 10080, en capa de compresión; vigas planas; altura libre de planta de hasta 3 m. Sin incluir repercusión de pilares.	199,670	67,28	13.433,80

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
2.1.7	EHU030c	m <sup>2</sup>	Estructura de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central y vertido con cubilote, volumen total de hormigón 0,096 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> , y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 5,6 kg/m <sup>2</sup> , sobre sistema de encofrado continuo constituida por: forjado unidireccional, horizontal, de canto 27 cm, intereje de 70 cm; semivigueta pretensada PREVALESA DITECO T12, 22+5, De hormigón; bovedilla de hormigón; malla electrosoldada ME 20x20 Ø 5-5 B 500 T 6x2,20 UNE-EN 10080, en capa de compresión; vigas planas; altura libre de planta de entre 3 y 4 m. Sin incluir repercusión de pilares.	669,180	67,14	44.928,75
<b>Total presupuesto parcial nº 2 Estructuras :</b>						<b>81.723,57</b>



	<u>Importe (€)</u>
1 Cimentaciones .....	20.188,06
2 Estructuras .....	81.723,57
Total .....	<u>101.911,63</u>

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de CIENTO UN MIL NOVECIENTOS ONCE EUROS CON SESENTA Y TRES CÉNTIMOS.

## **ANEXO 3.** Hojas de resultados del estudio paramétrico

1. FORJADO UNIDIRECCIONAL DE SEMIVIGUETAS ARMADAS
2. FORJADO UNIDIRECCIONAL DE VIGUETAS PRETENSADAS
3. FORJADO UNIDIRECCIONAL EJECUTADO "IN SITU"
4. FORJADO RETICULAR CON CASETÓN DE EPS
5. FORJADO RETICULAR CON CASETÓN DE HORMIGÓN

<b>1. FORJADO UNIDIRECCIONAL DE SEMIVIGUETAS ARMADAS</b>								
<b>1.1. Sobrecarga de uso = 1 kN/m<sup>2</sup></b>								
<b>Luz (m)</b>	<b><math>h_{min}</math> (cm)</b>	<b><math>h_{CYPE}</math> (cm)</b>	<b>Peso (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>f_{m\acute{a}x}</math> (cm)</b>	<b><math>f_{exigida}</math> (cm)</b>	<b>Rigidez (<math>f_{exig}-f_{m\acute{a}x}</math>)</b>	<b>Coste (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>T.ejec. (h/m<sup>2</sup>)</b>
3	12.44	22+4	3.16	0.049	0.6	5.5	68.33	1.798
3.5	15.09	22+4	3.16	0.086	0.7	6.1	68.20	1.796
4	17.83	22+4	3.16	0.147	0.8	6.5	68.51	1.792
4.5	20.65	22+4	3.16	0.231	0.9	6.7	68.67	1.790
5	23.56	22+5	3.42	0.365	1.0	6.4	69.53	1.788
5.5	26.54	22+5	3.82	0.722	1.1	3.8	69.32	1.786
6	29.59	25+5	3.82	0.903	1.2	3.0	70.13	1.782
6.5	32.71	30+4	3.98	0.629	1.3	6.7	71.66	1.780
7	35.88	30+5	4.18	0.964	1.4	4.4	72.53	1.778
<b>1.2. Sobrecarga de uso = 2 kN/m<sup>2</sup></b>								
<b>Luz (m)</b>	<b><math>h_{min}</math> (cm)</b>	<b><math>h_{CYPE}</math> (cm)</b>	<b>Peso (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>f_{m\acute{a}x}</math> (cm)</b>	<b><math>f_{exigida}</math> (cm)</b>	<b>Rigidez (<math>f_{exig}-f_{m\acute{a}x}</math>)</b>	<b>Coste (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>T.ejec. (h/m<sup>2</sup>)</b>
3	14.16	22+4	3.16	0.051	0.6	5.49	68.33	1.798
3.5	17.17	22+4	3.16	0.096	0.7	6.04	68.2	1.796
4	20.28	22+4	3.16	0.158	0.8	6.42	68.51	1.792
4.5	23.50	22+4	3.16	0.257	0.9	6.43	68.67	1.790
5	26.81	22+5	3.42	0.473	1.0	5.27	69.53	1.788
5.5	30.20	22+5	3.42	0.929	1.1	1.71	69.32	1.786
6	33.67	25+5	3.82	1.141	1.2	0.59	70.13	1.782
6.5	37.22	30+4	3.98	0.817	1.3	4.83	71.66	1.780
7	40.83	30+5	4.18	1.233	1.4	1.67	72.53	1.778
<b>1.3. Sobrecarga de uso = 5 kN/m<sup>2</sup></b>								
<b>Luz (m)</b>	<b><math>h_{min}</math> (cm)</b>	<b><math>h_{CYPE}</math> (cm)</b>	<b>Peso (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>f_{m\acute{a}x}</math> (cm)</b>	<b><math>f_{exigida}</math> (cm)</b>	<b>Rigidez (<math>f_{exig}-f_{m\acute{a}x}</math>)</b>	<b>Coste (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>T.ejec. (h/m<sup>2</sup>)</b>
3	19.31	22+4	3.16	0.067	0.6	5.33	68.33	1.798
3.5	23.41	22+4	3.16	0.117	0.7	5.83	68.2	1.796
4	27.66	22+4	3.16	0.252	0.8	5.48	68.51	1.792
4.5	32.05	22+4	3.16	0.541	0.9	3.59	68.67	1.790
5	36.56	22+5	3.42	0.909	1.0	0.91	69.53	1.788
5.5	41.19	30+4	3.98	0.491	1.1	6.09	71.52	1.786
6	45.92	30+4	3.98	0.896	1.2	3.04	71.86	1.782

## 2. FORJADO UNIDIRECCIONAL DE VIGUETAS PRETENSADAS

### 2.1. Sobrecarga de uso = 1 kN/m<sup>2</sup>

Luz (m)	$h_{min}$ (cm)	hCYPE (cm)	Peso (kN/m <sup>2</sup> )	$f_{m\acute{a}x}$ (cm)	fexigida (cm)	Rigidez (fexig- $f_{m\acute{a}x}$ )	Coste (€/m <sup>2</sup> )	T.ejec. (h/m <sup>2</sup> )
3	12.44	22+4	3.16	0.049	0.6	5.51	66.49	1.702
3.5	15.09	22+4	3.16	0.087	0.7	6.13	65.91	1.700
4	17.83	22+4	3.16	0.148	0.8	6.52	66.10	1.698
4.5	20.65	22+4	3.16	0.234	0.9	6.66	66.69	1.696
5	23.56	22+5	3.42	0.323	1.00	6.77	67.33	1.694
5.5	26.54	22+5	3.42	0.472	1.1	6.28	67.53	1.690
6	29.59	25+5	3.82	0.532	1.2	6.68	68.37	1.688
6.5	32.71	30+4	3.98	0.488	1.3	8.12	69.61	1.686
7	35.88	30+4	3.98	0.651	1.4	7.49	69.59	1.684

### 2.2. Sobrecarga de uso = 2 kN/m<sup>2</sup>

Luz (m)	$h_{min}$ (cm)	hCYPE (cm)	Peso (kN/m <sup>2</sup> )	$f_{m\acute{a}x}$ (cm)	fexigida (cm)	Rigidez (fexig- $f_{m\acute{a}x}$ )	Coste (€/m <sup>2</sup> )	T.ejec. (h/m <sup>2</sup> )
3	14.16	22+4	3.16	0.053	0.6	5.47	66.49	1.702
3.5	17.17	22+4	3.16	0.094	0.7	6.06	65.91	1.700
4	20.28	22+4	3.16	0.16	0.8	6.4	66.10	1.698
4.5	23.50	22+4	3.16	0.252	0.9	6.48	66.69	1.696
5	26.81	22+5	3.42	0.347	1.0	6.53	67.33	1.694
5.5	30.20	22+5	3.42	0.506	1.1	5.94	67.53	1.690
6	33.67	25+5	3.98	0.563	1.2	6.37	68.37	1.688
6.5	37.22	30+4	3.98	0.517	1.3	7.83	69.61	1.686
7	40.83	30+4	3.98	0.693	1.4	7.07	69.59	1.684

### 2.3. Sobrecarga de uso = 5 kN/m<sup>2</sup>

Luz (m)	$h_{min}$ (cm)	hCYPE (cm)	Peso (kN/m <sup>2</sup> )	$f_{m\acute{a}x}$ (cm)	fexigida (cm)	Rigidez (fexig- $f_{m\acute{a}x}$ )	Coste (€/m <sup>2</sup> )	T.ejec. (h/m <sup>2</sup> )
3	19.31	22+4	3.16	0.064	0.6	5.36	66.49	1.702
3.5	23.41	22+4	3.42	0.117	0.7	5.83	65.91	1.700
4	27.66	22+4	3.42	0.194	0.8	6.06	66.10	1.698
4.5	32.05	25+5	3.82	0.219	0.9	6.81	68.14	1.696
5	36.560	30+4	3.98	0.214	1.00	7.86	69.28	1.694

### 3. FORJADO UNIDIRECCIONAL EJECUTADO "IN SITU"

#### 3.1. Sobrecarga de uso = 1 kN/m<sup>2</sup>

Luz (m)	$h_{min}$ (cm)	hCYPE (cm)	Peso (kN/m <sup>2</sup> )	$f_{m\acute{a}x}$ (cm)	fexigida (cm)	Rigidez (fexig- $f_{m\acute{a}x}$ )	Coste (€/m <sup>2</sup> )	T.ejec. (h/m <sup>2</sup> )
3	12.44	22+4	3.50	0.06	0.6	5.4	68.97	1.94
3.5	15.09	22+4	3.50	0.104	0.7	5.96	68.2	1.938
4	17.83	22+4	3.50	0.167	0.8	6.33	68.04	1.934
4.5	20.65	22+4	3.50	0.296	0.9	6.04	68.25	1.932
5	23.56	22+5	3.75	0.555	1.0	4.45	68.96	1.928
5.5	26.54	30+4	3.93	0.304	1.1	7.96	69.91	1.926
6	29.59	30+4	3.93	0.676	1.2	5.24	72.09	1.924
6.5	32.71	30+5	4.18	0.847	1.3	4.53	72.79	1.92

#### 3.2. Sobrecarga de uso = 2 kN/m<sup>2</sup>

Luz (m)	$h_{min}$ (cm)	hCYPE (cm)	Peso (kN/m <sup>2</sup> )	$f_{m\acute{a}x}$ (cm)	fexigida (cm)	Rigidez (fexig- $f_{m\acute{a}x}$ )	Coste (€/m <sup>2</sup> )	T.ejec. (h/m <sup>2</sup> )
3	14.16	22+4	3.50	0.065	0.6	5.35	68.97	1.94
3.5	17.17	22+4	3.50	0.111	0.7	5.89	68.2	1.938
4	20.28	22+4	3.50	0.197	0.8	6.03	68.04	1.934
4.5	23.50	22+4	3.50	0.371	0.9	5.29	68.25	1.932
5	26.81	22+5	3.75	0.738	1.0	2.62	68.96	1.928
5.5	30.20	30+4	3.93	0.391	1.1	7.09	69.91	1.926
6	33.67	30+4	3.93	0.676	1.2	5.24	72.09	1.924
6.5	37.22	30+5	4.18	1.089	1.3	2.11	72.79	1.92

#### 3.3. Sobrecarga de uso = 5 kN/m<sup>2</sup>

Luz (m)	$h_{min}$ (cm)	hCYPE (cm)	Peso (kN/m <sup>2</sup> )	$f_{m\acute{a}x}$ (cm)	fexigida (cm)	Rigidez (fexig- $f_{m\acute{a}x}$ )	Coste (€/m <sup>2</sup> )	T.ejec. (h/m <sup>2</sup> )
3	19.31	22+4	3.16	0.064	0.6	5.36	66.49	1.702
3.5	23.41	22+4	3.42	0.117	0.7	5.83	65.91	1.7
4	27.66	22+4	3.42	0.194	0.8	6.06	66.1	1.698
4.5	32.05	25+5	3.82	0.219	0.9	6.81	68.14	1.696
5	36.56	30+4	3.93	0.214	1	7.86	69.28	1.694

#### 4. FORJADO RETICULAR CON CASETÓN DE EPS

##### 4.1. Sobrecarga de uso = 1 kN/m<sup>2</sup>

Luz (m)	$h_{min}$ (cm)	hCYPE (cm)	Peso (kN/m <sup>2</sup> )	$f_{máx}$ (cm)	$f_{exigida}$ (cm)	Rigidez ( $f_{exig}-f_{máx}$ )	Coste (€/m <sup>2</sup> )	T.ejec. (h/m <sup>2</sup> )
<b>Aumento en eje Y</b>								
3	36	25	3.40	0.063	0.60	5.37	71.41	2.054
3.5	42	25	3.40	0.104	0.70	5.96	72.01	2.031
4	48	25	3.40	0.150	0.80	6.50	70.56	1.988
4.5	54	25	3.40	0.227	0.90	6.73	70.42	1.98
5	60	25	3.40	0.333	1.00	6.67	70.35	2.003
5.5	66	25	3.40	0.435	1.10	6.65	72.36	2.013
6	72	25	3.40	0.594	1.20	6.06	72.32	2.008
6.5	78	25	3.40	0.747	1.30	5.53	71.49	1.984
7	84	25	3.40	0.990	1.40	4.10	72.71	2.007
7.5	90	25	3.40	1.260	1.50	2.40	72.78	2.002
8	96	30	3.71	1.016	1.60	5.84	78.92	2.176
8.5	102	30	3.71	1.416	1.70	2.84	81.29	2.179
9	108	30	3.71	1.517	1.80	2.83	82.17	2.202
9.5	114	30	3.71	1.430	1.90	4.70	83.83	2.242
10	120	35	4.18	1.677	2.00	3.23	89.05	2.339

##### Aumento en eje X e Y (Paños cuadrados)

4	64	25	3.40	0.188	0.80	6.12	69.37	1.553
5	100	25	3.40	0.468	1.00	5.32	70.26	1.949
6	144	25	3.40	0.939	1.20	2.61	72.01	1.957
7	196	30	3.71	1.095	1.40	3.05	79.19	2.087
8	256	35	4.18	1.317	1.60	2.83	81.73	2.105

##### 4.2. Sobrecarga de uso = 2 kN/m<sup>2</sup>

Luz (m)	$h_{min}$ (cm)	hCYPE (cm)	Peso (kN/m <sup>2</sup> )	$f_{máx}$ (cm)	$f_{exigida}$ (cm)	Rigidez ( $f_{exig}-f_{máx}$ )	Coste (€/m <sup>2</sup> )	T.ejec. (h/m <sup>2</sup> )
<b>Aumento en eje Y</b>								
3	36	25	3.40	0.068	0.60	5.32	71.41	2.054
3.5	42	25	3.40	0.117	0.70	5.83	72.01	2.031
4	48	25	3.40	0.173	0.80	6.27	70.56	1.988
4.5	54	25	3.40	0.26	0.90	6.4	70.42	1.980
5	60	25	3.40	0.362	1.00	6.38	70.35	2.003
5.5	66	25	3.40	0.496	1.10	6.04	72.36	2.013
6	72	25	3.40	0.679	1.20	5.21	72.32	2.008
6.5	78	25	3.40	0.853	1.30	4.47	71.49	1.984
7	84	25	3.40	1.134	1.40	2.66	72.71	2.007
7.5	90	25	3.40	1.431	1.50	0.69	72.78	2.002

8	96	30	3.71	1.149	1.60	4.51	78.92	2.176
8.5	102	30	3.71	1.604	1.70	0.96	81.29	2.179
9	108	35	4.18	1.258	1.80	5.42	86.77	2.299
9.5	114	35	4.18	1.544	1.90	3.56	86.18	2.278
10	120	35	4.18	1.886	2.00	1.14	89.05	2.339
<b>Aumento en eje X e Y (Paños cuadrados)</b>								
4	64	25	3.40	0.216	0.80	5.84	69.37	1.553
5	100	25	3.40	0.536	1.00	4.64	70.26	1.949
6	144	25	3.40	1.076	1.20	1.24	72.01	1.957
7	196	30	3.71	1.247	1.40	1.53	79.19	2.087
8	256	35	4.18	1.486	1.60	1.14	81.73	2.105
<b>4.3. Sobrecarga de uso = 5 kN/m<sup>2</sup></b>								
<b>Luz (m)</b>	<b>h<sub>min</sub> (cm)</b>	<b>hCYPE (cm)</b>	<b>Peso (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>f<sub>máx</sub> (cm)</b>	<b>fexigida (cm)</b>	<b>Rigidez (fexig-fmáx)</b>	<b>Coste (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>T.ejec. (h/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Aumento en eje Y</b>								
3	36	25	3.40	0.097	0.6	5.03	71.41	2.054
3.5	42	25	3.40	0.161	0.7	5.39	72.01	2.031
4	48	25	3.40	0.246	0.8	5.54	70.56	1.988
4.5	54	25	3.40	0.358	0.9	5.42	70.42	1.980
5	60	25	3.40	0.496	1.0	5.04	70.35	2.003
5.5	66	25	3.40	0.676	1.1	4.24	72.36	2.013
6	72	25	3.40	0.935	1.2	2.65	72.32	2.008
6.5	78	25	3.40	1.173	1.3	1.27	71.49	1.984
7	84	30	3.71	0.945	1.4	4.55	80.14	2.157
7.5	90	30	3.71	1.222	1.5	2.78	80.18	2.150
8	96	30	3.71	1.550	1.6	0.50	82.63	2.246
8.5	102	35	4.18	1.491	1.7	2.09	90.65	2.373
9	108	35	4.18	1.675	1.8	1.25	90.75	2.371
<b>Aumento en eje X e Y (Paños cuadrados)</b>								
4	64	25	3.40	0.299	0.8	5.01	69.37	1.553
5	100	25	3.40	0.739	1.0	2.61	70.26	1.949
6	144	30	3.71	0.929	1.2	2.71	80.48	2.121
7	196	35	4.18	1.157	1.4	2.43	88.88	2.277

<b>5. FORJADO RETICULAR CON CASETÓN DE HORMIGÓN</b>								
<b>5.1. Sobrecarga de uso = 1 kN/m<sup>2</sup></b>								
<b>Luz (m)</b>	<b><math>h_{min}</math> (cm)</b>	<b><math>h_{CYPE}</math> (cm)</b>	<b>Peso (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>f_{máx}</math> (cm)</b>	<b><math>f_{exigida}</math> (cm)</b>	<b>Rigidez (<math>f_{exig}-f_{máx}</math>)</b>	<b>Coste (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>T.ejec. (h/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Aumento en eje Y</b>								
3	36	25	3.91	0.066	0.60	5.34	69.97	1.986
3.5	42	25	3.91	0.109	0.70	5.91	69.02	1.961
4	48	25	3.91	0.161	0.80	6.39	67.73	1.907
4.5	54	25	3.91	0.242	0.90	6.58	67.39	1.896
5	60	25	3.91	0.336	1.00	6.64	68.59	1.921
5.5	66	25	3.91	0.448	1.10	6.52	67.21	1.877
6	72	25	3.91	0.718	1.20	4.82	69.74	1.93
6.5	78	25	3.91	0.793	1.30	5.07	67.95	1.888
7	84	25	3.91	1.049	1.40	3.51	69.06	1.909
7.5	90	25	3.91	0.871	1.50	6.29	71.18	1.987
8	96	30	4.57	1.136	1.60	4.64	76.98	2.104
8.5	102	30	4.57	1.549	1.70	1.51	77.5	2.103
9	108	30	4.57	1.672	1.80	1.28	74.12	2.027
9.5	114	35	5.23	1.528	1.90	3.72	81.21	2.194
10	120	35	5.23	1.992	2.00	0.08	85.63	2.287
<b>Aumento en eje X e Y (Paños cuadrados)</b>								
4	64	25	3.91	0.201	0.8	5.99	66.31	1.866
5	100	25	3.91	0.498	1.00	5.02	66.88	1.855
6	144	25	3.91	1.002	1.20	1.98	68.80	1.851
7	196	30	4.57	1.210	1.40	1.9	74.88	1.997
8	256	35	5.23	1.471	1.60	1.29	81.4	2.125
<b>5.2. Sobrecarga de uso = 2 kN/m<sup>2</sup></b>								
<b>Luz (m)</b>	<b><math>h_{min}</math> (cm)</b>	<b><math>h_{CYPE}</math> (cm)</b>	<b>Peso (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>f_{máx}</math> (cm)</b>	<b><math>f_{exigida}</math> (cm)</b>	<b>Rigidez (<math>f_{exig}-f_{máx}</math>)</b>	<b>Coste (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>T.ejec. (h/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Aumento en eje Y</b>								
3	36	25	3.91	0.075	0.6	5.25	69.97	1.986
3.5	42	25	3.91	0.123	0.7	5.77	69.02	1.961
4	48	25	3.91	0.183	0.8	6.17	67.73	1.907
4.5	54	25	3.91	0.275	0.9	6.25	67.39	1.896
5	60	25	3.91	0.381	1	6.19	68.59	1.921
5.5	66	25	3.91	0.508	1.1	5.92	67.21	1.877
6	72	25	3.91	0.717	1.2	4.83	69.74	1.93
6.5	78	25	3.91	0.889	1.3	4.11	67.95	1.888
7	84	25	3.91	1.191	1.4	2.09	69.06	1.909
7.5	90	30	4.57	0.98	1.5	5.2	72.82	2.004



8	96	30	4.57	1.273	1.6	3.27	76.98	2.104
8.5	102	35	5.23	1.227	1.7	4.73	82.53	2.233
9	108	35	5.23	1.421	1.8	3.79	84.46	2.277
9.5	114	35	5.23	1.701	1.9	1.99	83.14	2.228
<b>Aumento en eje X e Y (Paños cuadrados)</b>								
4	64	25	3.91	0.229	0.8	5.71	66.31	1.866
5	100	25	3.91	0.566	1	4.34	66.88	1.855
6	144	25	3.91	1.13	1.2	0.7	68.8	1.851
7	196	30	4.57	1.362	1.4	0.38	74.88	1.997
<b>5.3. Sobrecarga de uso = 5 kN/m<sup>2</sup></b>								
<b>Luz (m)</b>	<b>h<sub>min</sub> (cm)</b>	<b>hCYPE (cm)</b>	<b>Peso (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>f<sub>máx</sub> (cm)</b>	<b>f<sub>exigida</sub> (cm)</b>	<b>Rigidez (f<sub>exig</sub>-f<sub>máx</sub>)</b>	<b>Coste (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>T.ejec. (h/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Aumento en eje Y</b>								
3	36	25	3.91	0.101	0.6	4.99	69.97	1.986
3.5	42	25	3.91	0.165	0.7	5.35	69.02	1.961
4	48	25	3.91	0.250	0.8	5.5	67.73	1.907
4.5	54	25	3.91	0.372	0.9000	5.28	67.39	1.896
5	60	25	3.91	0.539	1.0000	4.61	68.59	1.921
5.5	66	25	3.91	0.692	1.1	4.08	67.21	1.877
6	72	25	3.91	0.972	1.2	2.28	69.74	1.930
6.5	78	25	3.91	1.221	1.3	0.79	67.95	1.888
7	84	30	4.57	1.004	1.4	3.96	76.92	2.089
7.5	90	30	4.57	1.308	1.5	1.92	77.15	2.082
8	96	35	5.23	1.256	1.6	3.44	86.99	2.328
8.5	102	35	5.23	1.597	1.7	1.03	86.58	2.307
<b>Aumento en eje X e Y (Paños cuadrados)</b>								
4	64	25	3.91	0.312	0.8	4.88	66.31	1.866
5	100	25	3.91	0.770	1.0	2.30	66.88	1.855
6	144	30	4.57	0.993	1.2	2.07	78.46	2053
7	196	35	5.23	1.250	1.4	1.50	81.64	2.099