



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

TRABAJO FINAL DE GRADO

**ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA  
REHABILITACIÓN DE LOS FORJADO DEL EDIFICIO  
DE LA ANTIGUA PRISIÓN PROVINCIAL DE MURCIA.**

---

**ANEJO V: Cálculo**

---

## ÍNDICE

<b>1. OBJETO.....</b>	<b>3</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL. ....</b>	<b>3</b>
2.1 Estructura.....	3
2.2 Viguetas.....	4
<b>3. NORMATIVA APLICADA. ....</b>	<b>4</b>
<b>4. CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA. ....</b>	<b>6</b>
4.1 Normativa de obligado cumplimiento .....	6
4.2. Característica de los materiales. ....	6
4.3. Acciones a considerar.....	7
4.4. Bases de cálculo.....	9
4.5. Hipótesis de cálculo.....	9
4.6. Cálculo cypecad.....	11
<b>5. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>13</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura. 1 Croquis acotado de la sección del forjado. (Fuente: elaboración propia) .....	4
Figura. 2. Valores característicos de las sobrecargas de uso. (Fuente: Código Técnico de la Edificación).....	7
Figura. 3. Croquis de la sección del forjado estudiado, cota en centímetros. (Fuente: elaboración propia) .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura. 4. Autorización de uso de viguetas tipo GALLIZO T-21 25+5 H x 70. (Fuente: base de datos CYPECAD).....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Características de los materiales. (Fuente: Código técnico de la Edificación)...	7
Tabla 2. Acciones a considerar. (Fuente: elaboración propia) .....	7
Tabla 3. Sobrecargas a considerar. (Fuente: Elaboración propia) .....	8
Tabla 4. Tabla de pilares. (Fuente: datos obtenidos de CYPECAD) .....	11
Tabla 5. Cuadro de vigas. (Fuente: datos obtenidos de CYPECAD) .....	11
Tabla 6. Características del forjado. (Fuente: datos obtenidos de CYPECAD) .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 7. Armadura de negativos necesario. (Fuente: datos obtenidos de CYPECAD)..	12

## **1. Objeto**

La finalidad del presente anejo es la de conocer la normativa aplicada, así como de los cálculos realizados para poder obtener el dimensionamiento del forjado a rehabilitar, así de como la armadura necesaria para colocar en los negativos que se pudieran dar en el forjado.

## **2. Descripción del Sistema Estructural.**

### **2.1. Estructura.**

Se quiere realizar la rehabilitación del edificio, por ello, se intenta mantener las viguetas existentes en dicho edificio, por lo tanto, se han de preservar tanto las viguetas metálicas, correspondientes a un perfil laminado en caliente tipo IPN 140 y a las bovedillas formadas por bloques de cerámica macizos.

Puesto que la estructura inicial va a cambiar sustancialmente, ya que en la actualidad está comprendida por muros de carga que soportan los esfuerzos, se van a dimensionar vigas metálicas, y pilares del mismo tipo de material.

El forjado va a variar y ha de diseñarse para poder soportar mayores cargas, se procede a realizar el cálculo con la capa de compresión nueva a proyectar, es decir de 7cm de espesor sobre las bovedillas y viguetas metálicas ya existentes. Por ello las acciones a considerar variarán ya que se va a realizar un nuevo uso del edificio, correspondiente a un edificio según el CTE tipo C3 es decir, zonas sin obstáculos que impiden el libre movimiento de las personas en edificios públicos.

Tal y como se ha comentado con anterioridad, la estructura vertical del edificio se va a renovar completamente, por lo tanto, los cálculos efectuados se realizarán con la nueva distribución.

Los pilares de primera planta se han dimensionado para el cumplimiento de la estructura según el DB-SE-AE y DB-SE-A Acero, al igual que sucede con la estructura horizontal, formada por vigas metálicas.

Por otro lado, la capa de compresión del hormigón se ha diseñado para el cumplimiento de la Norma Estructural del Hormigón (EHE).

## 2.2. Forjado tipo para el cálculo inicial

El forjado de primera planta se ha definido de la siguiente manera para la realización de los cálculos estructurales. Quedando así su sección transversal:

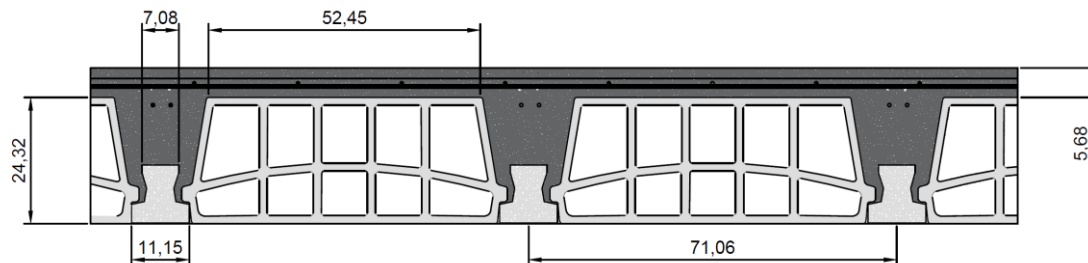


Figura. 1. Croquis acotado de la sección del forjado. (Fuente: elaboración propia)

Se definen el tipo de bovedilla a utilizar, el espesor de la capa de compresión y el interjeje de nervios, en el que se indica la utilización de una vigueta prefabricada tipo GALLIZO T-21 25+5 H x 70

En los tramos de forjado, se han considerado la continuidad de paños, para poder resolver así el comportamiento conjunto de todos los elementos del forjado.

## 3. Normativa aplicada.

Las soluciones adoptadas para la rehabilitación del forjado, se ajustan a las exigencias del DB-SE SEGURIDAD ESTRUCTURAL.

SE 1: Resistencia y estabilidad

La resistencia y la estabilidad serán las adecuadas para que no se generen riesgos indebidos, de forma que se mantenga la resistencia y la estabilidad frente a las acciones e influencias previsibles durante las fases de construcción y usos previstos de los edificios, y que un evento extraordinario no produzca consecuencias desproporcionadas respecto a la causa original y se facilite el mantenimiento previsto.

Para realizar el cálculo de la estructura del forjado, se han tenido en cuenta los **siguientes Documentos básicos y la normativa.**

**Documentos básicos.**

DB-SE-AE Acciones en la edificación

DB-SE-A Acero

**Normativa.**

EHE Instrucción de hormigón estructural

Análisis estructural y dimensionado

**Estados límite****Estados límite últimos**

Los estados límite últimos son los que, de ser superados, constituyen un riesgo para las personas, ya sea porque producen una puesta fuera de servicio del edificio o el colapso total o parcial del mismo.

Se han considerado los siguientes:

- a) pérdida del equilibrio del edificio, o de una parte estructuralmente independiente, considerado como un cuerpo rígido.
- b) fallo por deformación excesiva, transformación de la estructura o de parte de ella en un mecanismo, rotura de sus elementos estructurales (incluidos los apoyos y la cimentación) o de sus uniones, o inestabilidad de elementos estructurales incluyendo los originados por efectos dependientes del tiempo (corrosión, fatiga).

**Estados límite de servicio**

Los estados límite de servicio son los que, de ser superados, afectan al confort y al bienestar de los usuarios o de terceras personas, al correcto funcionamiento de del edificio o a la apariencia de la construcción.

Se han considerado los siguientes:

- a) las deformaciones (flechas, asientos o desplomes) que afecten a la apariencia de la obra, al confort de los usuarios, o al funcionamiento de equipos e instalaciones.
- b) los daños o el deterioro que pueden afectar desfavorablemente a la apariencia, a la durabilidad o a la funcionalidad de la obra.

## **4. Cálculo de la estructura.**

El dimensionamiento de los perfiles es en flexión simple, con momentos y cortantes, y debido al diafragma rígido, los axiles y esfuerzos en el plano del forjado no existen. Las viguetas se dimensionan con los mismos criterios aplicados a vigas metálicas. No se considera el pandeo lateral.

### **4.1. Normativa de obligado cumplimiento.**

En el proyecto de la estructura se ha tenido en cuenta la siguiente normativa:

- Código Técnico DB-SE SEGURIDAD ESTRUCTURAL
- Código Técnico DB-SE-AE ACCIONES EN LA EDIFICACION
- Código Técnico DB-SE-A ACERO
- Norma de Construcción Sismorresistente. Parte General y Edificación. NCSE-94.
- Instrucción de Hormigón Estructural, EHE.

### **4.2. Característica de los materiales.**

Materiales empleados según la EHE

- Acero tipo B 500 S, de límite elástico  $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ . Armaduras pasivas.
- Acero tipo B 500 T, de límite elástico  $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ . Mallas electrosoldadas.
- Hormigón tipo HP-45 para las viguetas de hormigón prefabricadas que componen el forjado
- Capa de compresión: HA-25/B/12/IIa

### 4.3. Acciones a considerar

#### 4.3.1. Peso propio de los materiales según CTE.

PESO PROPIO DE LOS MATERIALES		
Hormigón normal	24.00	kN/m <sup>2</sup>
Hormigón fresco	25.00	kN/m <sup>2</sup>
Hormigón aligerado	16.00	kN/m <sup>2</sup>
Mortero de cemento	20.00	kN/m <sup>2</sup>
Argamasa de cal	16.00	kN/m <sup>2</sup>
Pasta de yeso	18.00	kN/m <sup>2</sup>
Fábica de ladrillo hueco	12.00	kN/m <sup>2</sup>
Ladrillo perforado	15.00	kN/m <sup>2</sup>
Fábrica de ladrillo macizo	18.00	kN/m <sup>2</sup>

Tabla 1. Características de los materiales. (Fuente: Código técnico de la Edificación)

#### 4.3.2. Acciones directas.

CARGAS Y SOBRECARGAS PRIMERA PLANTA		
CARGAS		
Peso propio	4.00	kN/m <sup>2</sup>
Pavimentos	0.80	kN/m <sup>2</sup>
Tabiquería	0.15	kN/m <sup>2</sup>
Enlucidos de techos	0.15	kN/m <sup>2</sup>
Total cargas	5.10	kN/m <sup>2</sup>

Tabla 2. Acciones a considerar. (Fuente: elaboración propia)

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso					
Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m <sup>2</sup> ]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospi- tales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excep- ción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 <sup>(1)</sup>
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente <sup>(2)</sup>			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para con- servación <sup>(3)</sup>	G1 <sup>(7)</sup>	Cubiertas con inclinación inferior a 20º	1 <sup>(4)(6)</sup>	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) <sup>(5)</sup>	0,4 <sup>(4)</sup>	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40º	0	2

Figura. 2. Valores característicos de las sobrecargas de uso. (Fuente: Código Técnico de la Edificación)

SOBRECARGAS		
Uso	5.00	kN/m <sup>2</sup>
Total sobrecargas	5.00	kN/m <sup>2</sup>
Carga Concentrada	4.00	kN/m

Tabla 3. Sobrecargas a considerar. (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.3.3. Acciones indirectas.

##### Acciones térmicas y reológicas.

No se consideran.

##### Acciones sísmicas:

Consideradas en el dimensionamiento de la cimentación

##### Acción del viento:

No se considera en la estructura interior.

## 4.4. Bases del cálculo.

Se ha empleado para la introducción de la seguridad el método de los estados límites.

Los coeficientes de seguridad empleados para los estados límites últimos, son los siguientes:

Hormigón y acero (CT) control estadístico:

- Coeficiente de minoración de la resistencia del acero (B-400-SD)  $\gamma_s = 1,15$
- Coeficiente de minoración de la resistencia del hormigón  $\gamma_c = 1,5$
- Coeficiente de minoración de la resistencia del acero  $\gamma_s = 1,0$
- Coeficiente de ponderación de acciones permanentes  $\gamma_G = 1,5$
- Coeficiente de ponderación de acciones variables  $\gamma_G = 1,6$
- Coeficiente de ponderación de acciones variables  $\gamma_A = 1,0$
- Coeficiente de minoración de cargas favorables permanentes  $\gamma_{fg} = 1,0$

## 4.5. Hipótesis de cálculo

Se han tenido en cuenta las hipótesis indicadas en los Art.13.2 y 13.3 de EHE

Las combinaciones de acciones consideradas en la comprobación de los estados límites últimos son las preceptivas según Art. 13.1 de EHE-08, simplificadas para estructuras de edificación:

Situaciones permanentes o transitorias:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{K,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G^*_{K,j} + \gamma_P P_K + \gamma_{Q,1} Q_{K,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{K,i}$$

Situaciones accidentales:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{K,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G^*_{K,j} + \gamma_P P_K + \gamma_A A_K + \gamma_{Q,1} \psi_{1,1} Q_{K,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{K,i}$$

Una vez se ha definido la geometría del forjado y su sección transversal, se procede a describir el razonamiento adoptado para el cálculo realizado en la comprobación de resistencia del forjado. Para ello se ha seguido el siguiente razonamiento para poder obtener los esfuerzos en el forjado, aunque para ello y para poder entender el funcionamiento del edificio, se ha procedido a dimensionar tanto los pilares como las vigas para poder transferir los esfuerzos de forjado.

Procedimiento de cálculo.

Inicialmente, para poder realizar el procedimiento de cálculo se ha procedido a realizar el análisis de la planta, una vez obtenida la planta del edificio se ha procedido a realizar el dimensionamiento de los pilares, y posteriormente de las vigas, para poder realizar el cálculo del forjado.

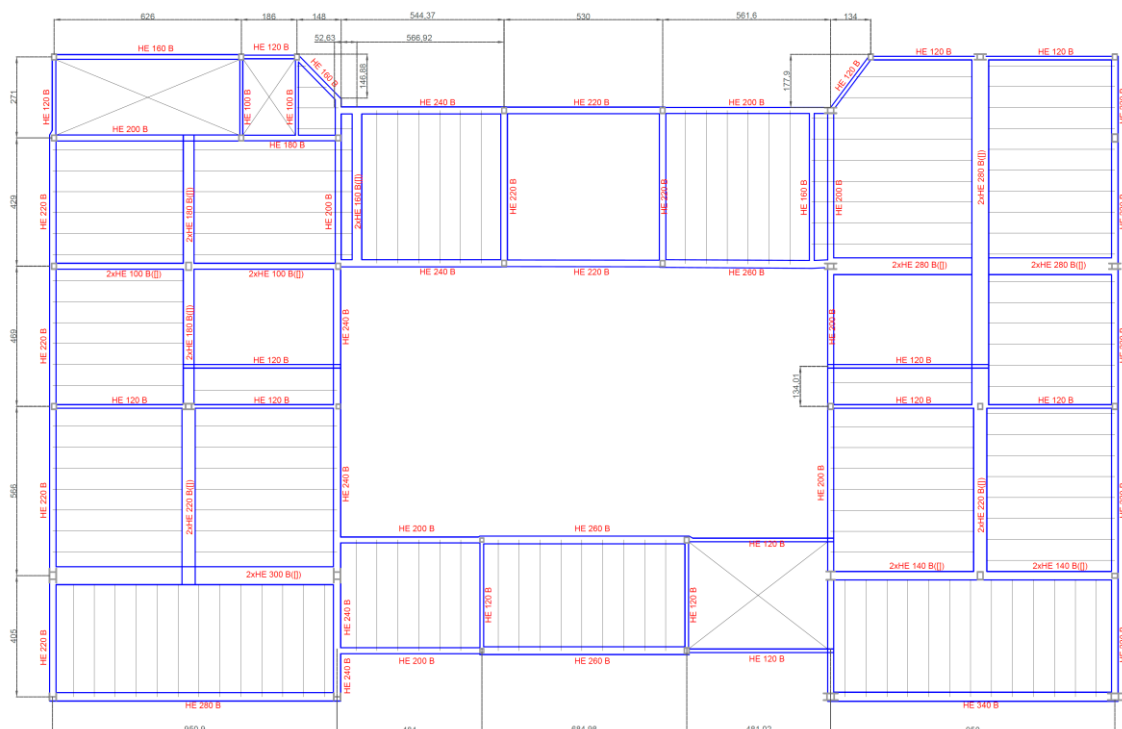


Figura. 3. Disposición en planta del forjado objeto de estudio. (Fuente: elaboración propia)

Cabe destacar que para realizar el análisis para la rehabilitación del forjado, se ha tenido en cuenta la estructura metálica recogida en el proyecto inicial, pero una vez introducidas en el programa CYPE el resultado no ha sido el esperado, por ello se ha procedido a realizar variaciones en los perfiles escogidos para realizar la estructura conformada por vigas y pilares. Por otro lado, en cuanto a la cimentación, no se ha procedido a realizarla en el cálculo, ya que se asume que en proyecto están realizadas correctamente.

Para proceder a realizar el cálculo se ha utilizado tanto para los pilares como para las vigas el programa CYPE, en el cual se obtienen los siguientes datos de esfuerzos y comprobación en las vigas y pilares.

#### 4.6. Cálculo cypecad

El listado de pilares y vigas obtenidos tras la realización de los cálculos son los siguientes:

PILARES	PERFILES
P1, P2	HE 240 B
P3, P4	2xHE 240 B
P5, P6	2xUPE 140
P7, P10, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P17, P18, P19, P20, P22, P27, P28, P29, P30, P33, P34, P35, P37, P38, P39	2xUPE 200
P8,P31,P32	2xHE 200 B
P9	2xUPE 180

<b>P11, P26, P36</b>	2xUPE 270
<b>P23, P24</b>	2xHEB 240 B
<b>P25</b>	HE 300 B

Tabla 4. Tabla de pilares. (Fuente: datos obtenidos de CYPECAD)

Una vez obtenidos los pilares para que la estructura funcione correctamente, se procede a nombrar el despiece de vigas para poder obtener así el sistema de transmisión de esfuerzos del edificio.

<b>VIGAS</b>	<b>PERFILES</b>
<b>V1</b>	HE 280 B
<b>V2</b>	HE 340 B
<b>V3, V9, V27, V33, V34, V55, V56, V57, V64, V65, V66, V67, V68</b>	HE 200 B
<b>V4, V10, V23, V24</b>	HE 260 B
<b>V5, V11, V12, V13, V14, V15, V16, V17, V35, V36, V38, V43, V59, V62</b>	HE 120 B
<b>V6</b>	2x HE 300 B
<b>V7, V8</b>	2xHE 140 B
<b>V18, V19</b>	2xHE 100 B
<b>V20, V21, V30, V31, V50, V50, V51, V52, V53, V54</b>	HE 240 B
<b>V22, V32, V39, V40, V41, V42, V60, V61, V72, V73, V74, V75, V76</b>	HE 220 B
<b>V25, V26, V71</b>	2xHE 280 B
<b>V28, V29</b>	HE 180 B
<b>V37, V38, V62</b>	HE 160 B
<b>V44, V70</b>	2xHE 220 B
<b>V45, V46</b>	2xHE 180 B
<b>V47, V48</b>	HE 240 B
<b>V 58</b>	2xHE 160 B
<b>V 69</b>	IPE 160

Tabla 5. Cuadro de vigas. (Fuente: datos obtenidos de CYPECAD)

Una vez obtenidos estos valores, se puede pasar a la definición del forjado para la comprobación del cálculo de los mismos, para ello en el programa CYPE se han introducido los siguientes datos para poder calcular los forjados. Para realizar este cálculo se procede a la introducción del de un forjado tipo, se ha escogido un forjado de viguetas de hormigón pretensadas, compuestas por viguetas de hormigón tipo GALLIZO GALLIZO T-21 25+5 H x 70 un espesor de la capa de compresión de 5 cm, que cuenta con unas bovedillas de altura 24,32 cm y de un intereje compuesto por 70 cm.

El forjado, descrito en el programa, corresponde a un forjado tipo realizado con viguetas de hormigón pretensado, este ha sido el forjado tipo elegido, ya que en el programa CYPE viene recogida la autorización de uso facilitada por el fabricante, además este forjado tipo

se asemeja lo suficiente al peso propio del forjado de viguetas metálicas formadas por perfiles IPN, a continuación, se procede a describir el tipo de forjado utilizado en el programa.

#### Datos del forjado

Fabricante:	GALLIZO T-21 25+5 H x 70
Tipo de bovedilla:	De hormigón
Canto del forjado:	30 = 25 + 5 (cm)
Intereje:	70 cm (simple) y 81 cm (doble)
Hormigón obra:	HA-25, $Y_c=1.5$
Hormigones viguetas:	HA-45, $Y_c=1.5$
Acero pretensar:	FYK=1580
Aceros negativos:	B 500 S, $Y_s=1.15$
Peso propio:	3.71 kN/m <sup>2</sup> (simple) y 4.19 kN/m <sup>2</sup> (doble)

Flexión positiva - Viguetas simples								
Tipo de vigueta	Momento (kN·m/m)		Rigidez (m <sup>2</sup> ·kN/m)		Momento de servicio (kN·m/m)			Cortante último (kN/m)
	Último	Fisuración	Total	Fisurada	Clase I	Clase II	Clase III	
T-21-1	18.69	22.27	19522	863	12.93	19.23	22.45	58.22
T-21-2	25.24	28.94	19649	1158	17.97	24.33	27.58	58.22
T-21-3	30.45	32.57	19728	1354	19.94	26.35	29.61	58.22
T-21-4	42.77	40.71	19983	1903	29.01	35.55	38.89	58.22
T-21-5	50.42	45.62	20189	2296	36.58	43.25	46.65	58.22
T-21-6	62.66	54.35	20415	2786	43.11	49.91	53.39	58.22
T-21-7	68.87	54.74	20542	3051	47.23	54.08	57.58	58.22
Notas: Clase I: Ambiente agresivo Clase II: Ambiente exterior Clase III: Ambiente interior Esfuerzos por metro de ancho								

Figura. 4. Autorización de uso de viguetas tipo GALLIZO T-21 25+5 H x 70. (Fuente: base de datos CYPECAD)

Con todos estos datos, se procede a asumir momento flector más desfavorable, y con ellos a observar los momentos negativos, para poder obtener así las armaduras pasivas correspondientes en la zona de los negativos.

El resultado ofrecido en el programa CYPE en cuanto al punto crítico en el cual es necesario colocar la armadura para resistir los momentos negativos en la unión entre viga y vigueta, este valor máximo corresponde con la colocación de 2Ø6 y un Ø8, por ello y tras realizar un resumen genera, generado por el programa CYPE se obtiene que serán necesarios los siguientes redondos de acero corrugado del tipo B 500 S con un  $Y_s=1.15$  para poder asegurar la resistencia a esos momentos negativos.

DIAMETRO	6	8
TOTAL METROS	265.26	344.56
TOTAL Kg +10 %	64.75	149.57

Tabla 6. Armadura de negativos necesario. (Fuente: datos obtenidos de CYPECAD).

Con todo lo calculado anteriormente, se obtiene una aproximación del comportamiento del edificio en su conjunto, y con ello se ha podido obtener las armaduras necesarias para poder soportar los momentos negativos, además de obtener la sección más desfavorable a tener en cuenta para poder realizar el cálculo de la alternativa escogida como solución.

## **5. Conclusión.**

Con todo esto se da por finalizado el cálculo de los forjados, en los cuales se obtiene que los forjados que se propondrán a continuación son de unas características similares al propuesto en el anejo actual, y por lo tanto se considerarán válidos, aunque en el desarrollo de la solución óptima se procederá a realizar un cálculo de comprobación para poder asegurar así la estabilidad del forjado escogido.

## **6. Referencias.**

- Instrucción de Hormigón Estructural (EHE).
- Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Base de datos del programa CYPECAD.
- Instrucción de Acero Estructural (EAE).
- Contratación Ayuntamiento de Murcia, 2019. Disponible en: <https://contratacion.murcia.es/> [consultado 15.06.2019].