

## **ANEJO 6: Cálculos estructurales**

## Índice

<b>1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Análisis del elemento estructural .....</b>	<b>4</b>
2.1	<i>Zapatas rígidas.....</i>	<i>4</i>
2.2	<i>Encepados rígidos .....</i>	<i>5</i>
<b>3</b>	<b>Obtención de las áreas mínimas de armado .....</b>	<b>8</b>
3.1	<i>Áreas mínimas de la zapata .....</i>	<i>8</i>
3.2	<i>Áreas mínimas de encepados.....</i>	<i>8</i>

## 1 Introducción

Después de haber hecho el dimensionamiento de las cimentaciones, en este anejo se procederá con el análisis de las zapatas y los encepados desde el punto de vista estructural, calculando las tensiones internas mínima para sacar las cuantías necesarias de acero que servirán como refuerzo. Una vez con estas cuantías se procederá con la disposición de estas en el elemento.

## 2 Análisis del elemento estructural

Tanto las cimentaciones superficiales como los encepados son elementos estructurales de hormigón en los que no es aplicable la teoría de la flexión por ende es necesario que el problema del armado sea resuelto con un modelo de bielas y tirantes.

El artículo 58.4.1 (Cimentaciones Rígidas) de la EHE-08 nos dice que; Para cada caso debe plantearse un modelo que permita establecer el equilibrio entre las acciones exteriores que transmite la estructura, las debidas al peso de tierra existente sobre las zapatas, encepados, etc; y las tensiones del terreno o reacciones de los pilotes.

### 2.1 Zapatas rígidas

Para zapatas rectangulares sometidas a flexocompresión recta, siempre que se pueda despreciar el efecto del peso de la zapata y de las tierras situadas sobre ésta, el modelo a utilizar es el representado en la ilustración 1.

La armadura principal se obtendrá para resistir la tracción  $T_d$  indicada en el modelo, que resulta:

$$T_d = \frac{R_{1d}}{0,85 d} (x_1 - 0,25 a) = A_s f_{yd}$$

con  $f_{yd} \leq 400 \text{ N/mm}^2$  (40.2), donde  $R_{1d}$  es la resultante de las tensiones del trapecio sombreado en el ancho de la zapata, y  $x_1$ , la distancia del centro de gravedad del trapecio a la línea de carga de  $N_{1d}$  y siendo el significado del resto de las variables el representado en la figura 58.4.1.1.a y las tensiones  $\sigma_{1d}$  y  $\sigma_{2d}$  las obtenidas teniendo en cuenta sólo las cargas transmitidas por la estructura. Esta armadura se dispondrá, sin reducción de sección, en toda la longitud de la zapata y se anclará según los criterios establecidos en el Artículo 69º. El anclaje mediante barras transversales soldadas es especialmente recomendable en este caso.

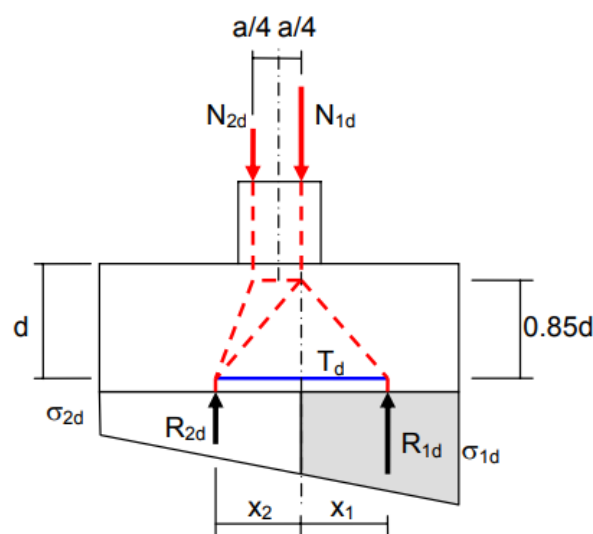


Figura 58.4.1.1.a

Ilustración 1: Modelo de bielas y tirantes para una cimentación superficial (Fuente: EHE-08)

## 2.2 Encepados rígidos

La armadura necesaria se determinará a partir de las tracciones de los tirantes del modelo adoptado para cada encepado. Para los casos más frecuentes, en los apartados siguientes, se indican distintos modelos y las expresiones que permiten determinar las armaduras.

### *Encepados sobre varios pilotes*

#### - Armadura principal

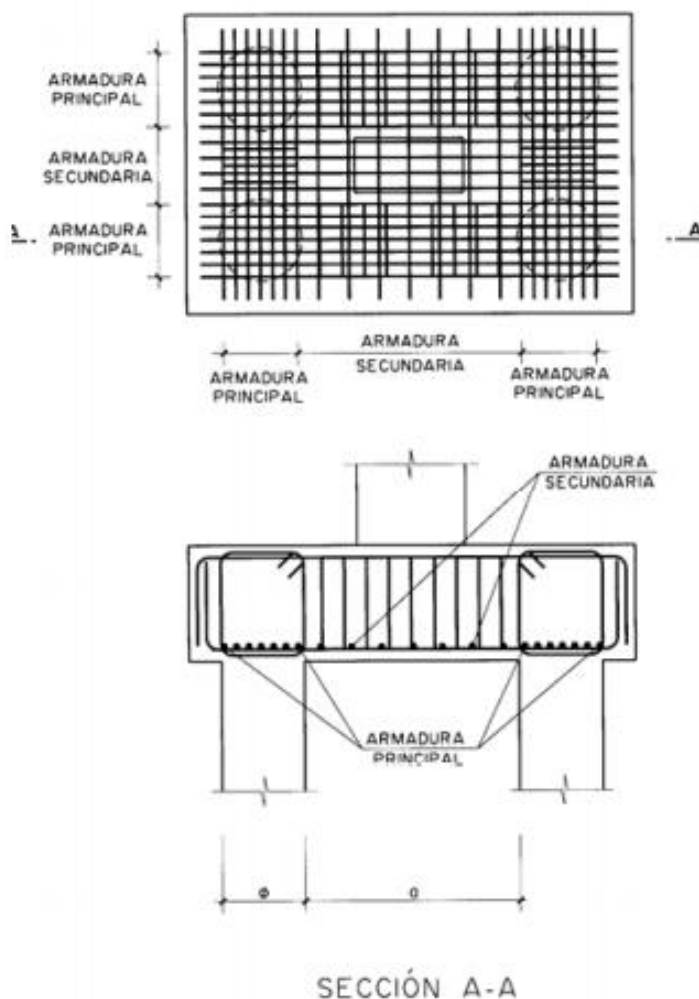
Se sitúa en bandas sobre los pilotes (Ilustración 2). Se define como banda o faja una zona cuyo eje es la línea que une los centros de los pilotes, y cuyo ancho es igual al diámetro del pilote más dos veces la distancia entre la cara superior del pilote y el centro de gravedad de la armadura del tirante (Ilustración 3).

#### - Armadura secundaria:

Se sitúa entre las bandas (Ilustración 2)

#### - Armadura secundaria vertical:

Se sitúa a modo de cercos, atando la armadura principal de bandas (Ilustración 3).



*Ilustración 2: Disposición de las armaduras principales y secundarias del encepado (Fuente: EHE-08)*

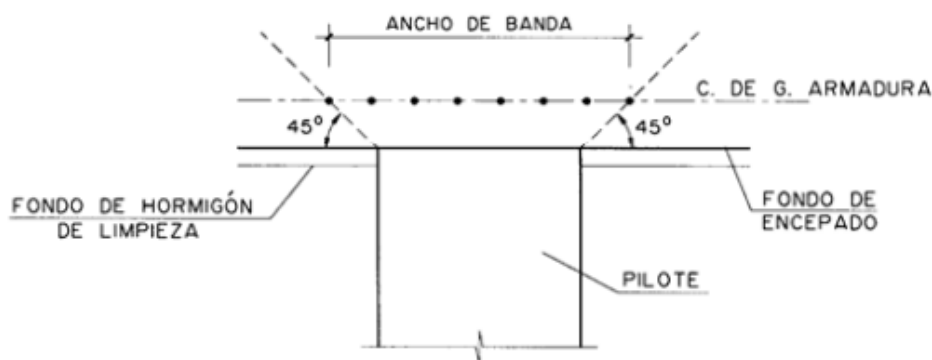


Ilustración 3: Definición del ancho de banda de las armaduras principales. (Fuente: EHE-08)

#### Armadura principal y secundaria horizontal

La armadura principal inferior se colocará en bandas o fajas sobre los pilotes. Esta armadura se dispondrá de tal forma que se consiga un anclaje de la misma a partir de un plano vertical que pase por el eje de cada pilote.

Se dispondrá, además, una armadura secundaria en retícula cuya capacidad mecánica en cada sentido no será inferior a 1/4 de la capacidad mecánica de las bandas o fajas

$$T_{1d} = \frac{N_d}{0,85 d} (0,50 l_1 - 0,25 a_1) = A_s f_{yd}$$

$$T_{2d} = \frac{N_d}{0,85 d} (0,50 l_2 - 0,25 a_2) = A_s f_{yd}$$

con  $f_{yd} \leq 400 \text{ N/mm}^2$  y donde:

$N_d$ : Axil de cálculo del pilote más cargado (Ilustración 4).

$d$ : Canto útil del encepado (Ilustración 4).

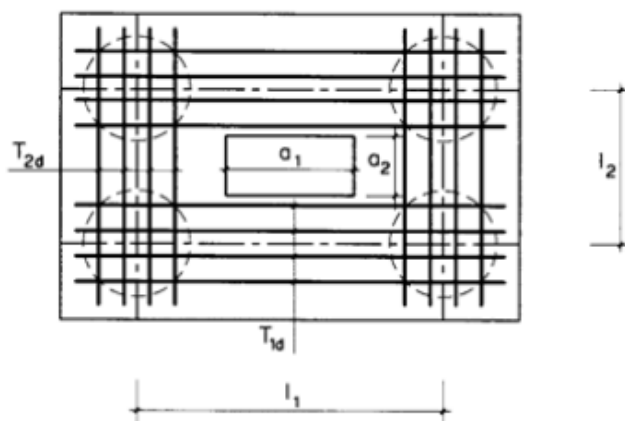


Ilustración 4: Distancias geométricas para la obtención de la tracción máxima  $T_d$ . (Fuente: EHE-08)

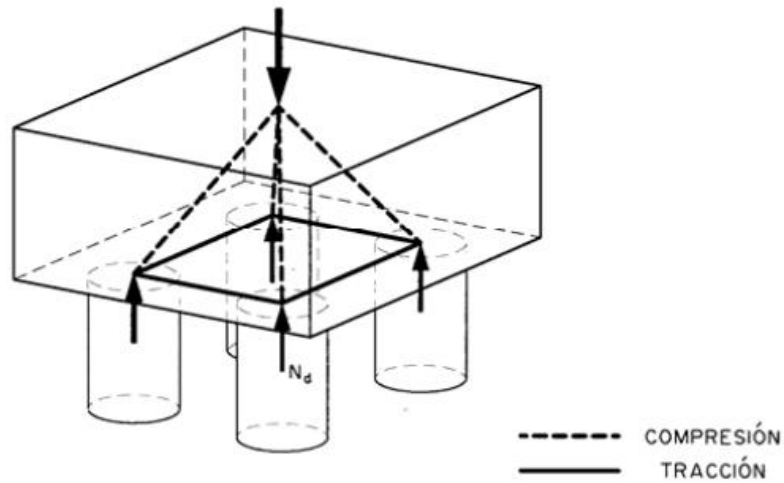


Ilustración 5: Esquema del modelo de bielas y tirantes en un encepado de 4 pilotes. (Fuente: EHE-08)

#### Armadura secundaria vertical

Para resistir las tracciones debidas a la dispersión del campo de compresiones se dispondrá una armadura secundaria vertical, figura 58.4.1.2.2.2, que tendrá una capacidad mecánica total no inferior al valor  $N_d / 1,5n$ , con  $n \geq 3$ , siendo:

$N_d$  Axil de cálculo del soporte

$n$  Número de pilotes

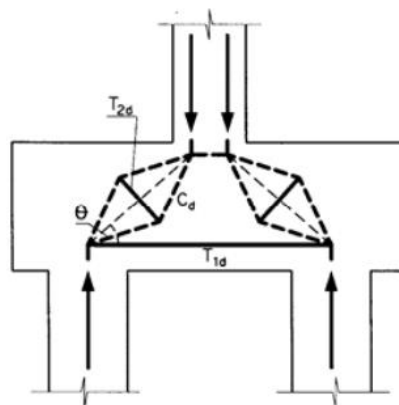


Ilustración 6: Esquema de tracciones debidas a la dispersión de compresiones. (Fuente: EHE-08)

### 3 Obtención de las áreas mínimas de armado

En este apartado se mostrarán los resultados de la obtención de las áreas mínimas de armadura para las cimentaciones, en el desarrollo de este documento solo se realizó el armado de las cimentaciones con las situaciones mas desfavorables, tanto en la zapata como en el encepado.

#### 3.1 Áreas mínimas de la zapata

Los cálculos se realizaron siguiendo la metodología expuesta en el apartado 2 de este anejo, en el caso de las zapatas la tensión que nos dice la armadura principal de tracción nos da un valor de 7317 Kn. Esta tensión nos da un área mínima de 0.019m<sup>2</sup> que se pueden cubrir con 40 redondos del 25.

Las armaduras adicionales se cubren con los requerimientos mínimos por geometría de la EHE-08.

Dimensiones zapata	
H (m)	1,2
L(m)	6,5
B(m)	5,5
a	6,5
a'	3,8
d	0,8
Nd	183430
Td	7317
As (m <sup>2</sup> )	0,0182
Disposición	40 fi 25
Area dispuesta	0,01963495

Tabla 1: Resultados de las áreas mínimas de armado en la zapata. (Fuente: Elaboración propia)

#### 3.2 Áreas mínimas de encepados

##### *Armadura principal*

En el caso de las armaduras principales se tuvo que calcular la armadura de tracción en las dos direcciones, todo esto debido a la asimetría del pilar que se apoya en el encepado. Dicha asimetría hace que los vuelos del encepado sean significativamente diferentes generando así una diferencia importante en la armadura necesaria en cada banda.

En la siguiente imagen se puede apreciar la hoja Excel con los resultados de dicha cuantía, así como la disposición elegida por el alumno. En ambos casos la cuantía de armadura daba disposiciones que no entraban en la sección del ancho de banda, una solución común a este problema es disponer la armadura mediante capas.



armadura principal		Dimensiones del encepado	
Nd (Kn)	10026,68465	H (m)	1,9
d	1,8	L (m)	8
l1	4,8	B (m)	8
l2	4,8	Ø(m)	1,6
a1	3,8	Ancho banda	2,1
a2	1,95		
Fyd (Kpa)	400000	banda 2	40 fi 32 en 2 capas de 20
Td1 (Kn)	9502,413552	N max de barras (32)	27,8 barras
Td2 (Kn)	12533,35581		
As1 (m2)	0,023756034	banda 1	30 fi 32 en 3 capas de 15
As2 (m2)	0,03133339	N max de barras (32)	27,8 barras

Tabla 2: Resultados de las áreas mínimas de armado en encepado. (Fuente: Elaboración propia)

Diametros disponibles							
Ø (mm)	Area m2	15	25	35	40	50	60
10	7,85398E-05	0,0011781	0,001963495	0,002748894	0,00314159	0,003926991	0,00471239
16	0,000201062	0,00301593	0,005026548	0,007037168	0,00804248	0,010053096	0,01206372
20	0,000314159	0,00471239	0,007853982	0,010995574	0,01256637	0,015707963	0,01884956
25	0,000490874	0,00736311	0,012271846	0,017180585	0,01963495		0,02945243
32	0,000804248	0,01206372	0,020106193	0,02814867	0,03216991	0,040212386	0,04825486
40	0,001256637	0,01884956	0,031415927	0,043982297	0,05026548	0,062831853	0,07539822

Tabla 3: Áreas de armadura en relación con las disposiciones. (Fuente: Elaboración propia)

#### Armadura principal superior

La cuantía de armadura superior de las bandas esta directamente relacionada con la cuantía inferior, en este caso se tomó el criterio de aplicar el 30% del área de la armadura principal (en cada orientación) para cubrir el armado superior.

As1 (m2)	0,023756034	
As2 (m2)	0,03133339	
Armadura superior (30% Ppal)		
As1 (m2)	0,00712681	15 fi 25
As2 (m2)	0,009400017	25 fi 25

Tabla 4: Resultado de áreas de disposiciones en la armadura principal superior. (Fuente: Elaboración propia)

### Armadura vertical

En el caso de la armadura vertical debida a la dispersión de compresiones, se tiene que según la normativa esta armadura también esta relacionada con la armadura principal y el número de pilotes. En el caso de este encepado la cuantía y disposición es la siguiente:

Tracción por difusión de compresiones	
Nd (Kn)	10026,68465
n	4
T2d	1671,114108
Ad (m2)	0,004177785
Ad (cm2)	41,78
Long difusiones	1,6
Ad cm2/ m	26,1125
Disposición	fi16 / 15
Área dispuesta	26,8 cm2/m

Tabla 5: Cuantías de armadura vertical. (Fuente: Elaboración propia)

Dicha armadura es necesaria especialmente en la zona de longitud de difusiones, en el resto de la banda de armado la cuantía que se pone es la mínima según las disposiciones geométricas de la EHE.

Armadura mínima por disposiciones geométricas ehe (42.3.5)	
Sección virtual	
a	1,8
b	1,8
Area m2	3,24
As Min (2*1000) m2	0,01
Disposición estribos	fi 16/30

Tabla 6: Cuantías de armadura vertical mínima. (Fuente: Elaboración propia)

Aunque la disposición elegida no se acerca en gran medida a el área necesaria, se elige esta disposición para la simplificación de planos y procedimiento constructivo.

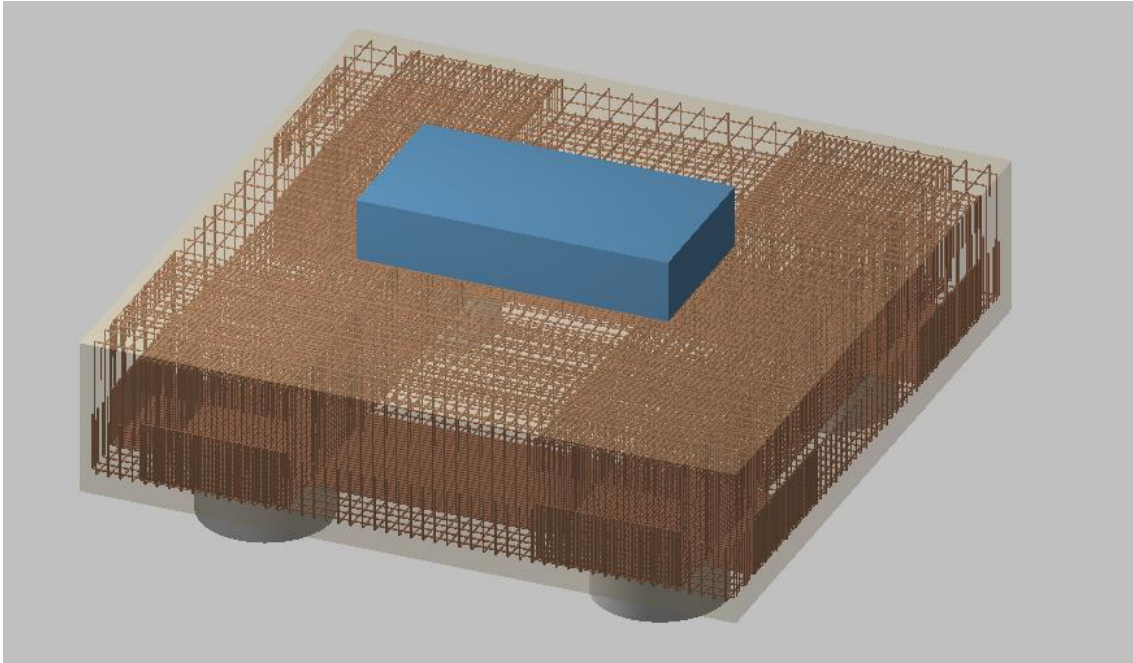
### Armadura secundaria horizontal

La EHE nos indica que además de las bandas de tracción se debe disponer de una armadura secundaria con una capacidad mecánica no menor a  $\frac{1}{4}$  de la capacidad de las bandas, esto se puede solucionar disponiendo los redondos a una separación mayor.

En principio este valor depende el armado en las bandas y por ello se deben tener cuantías diferentes en cada dirección, sin embargo en este caso se optará por tomar el valor mayor y ponerlo en ambas direcciones.

Armadura secundaria	
A1 (1/4)	0,00593901
A2 (1/4)	0,00783335
15 fi 25 (2,1) = fi25/15	

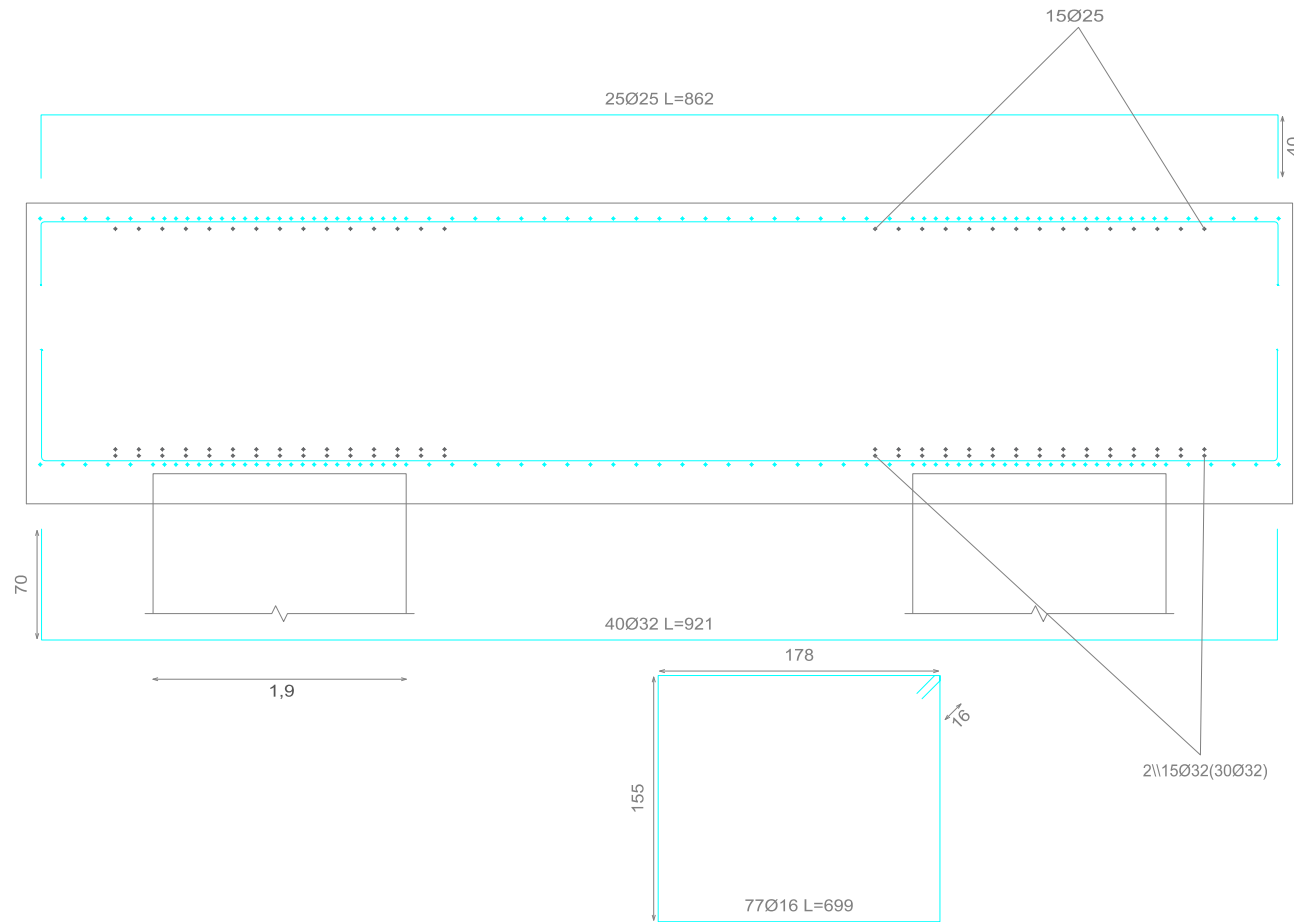
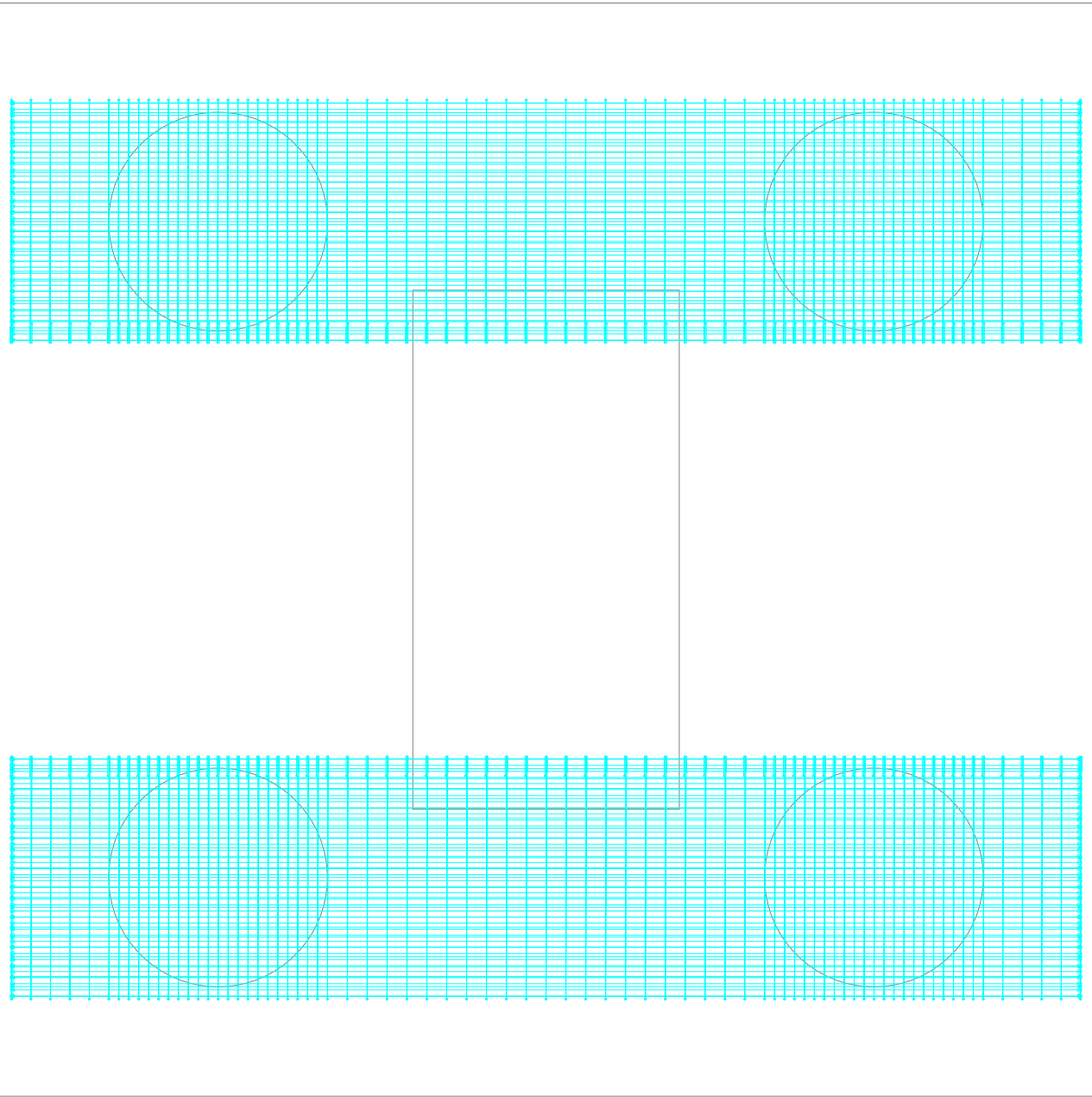
Tabla 7: Cuantías de armadura secundaria. (Fuente: Elaboración propia)



*Ilustración 7: Modelo 3D del encepado una vez armado. (Fuente: Elaboración CYPECAD)*

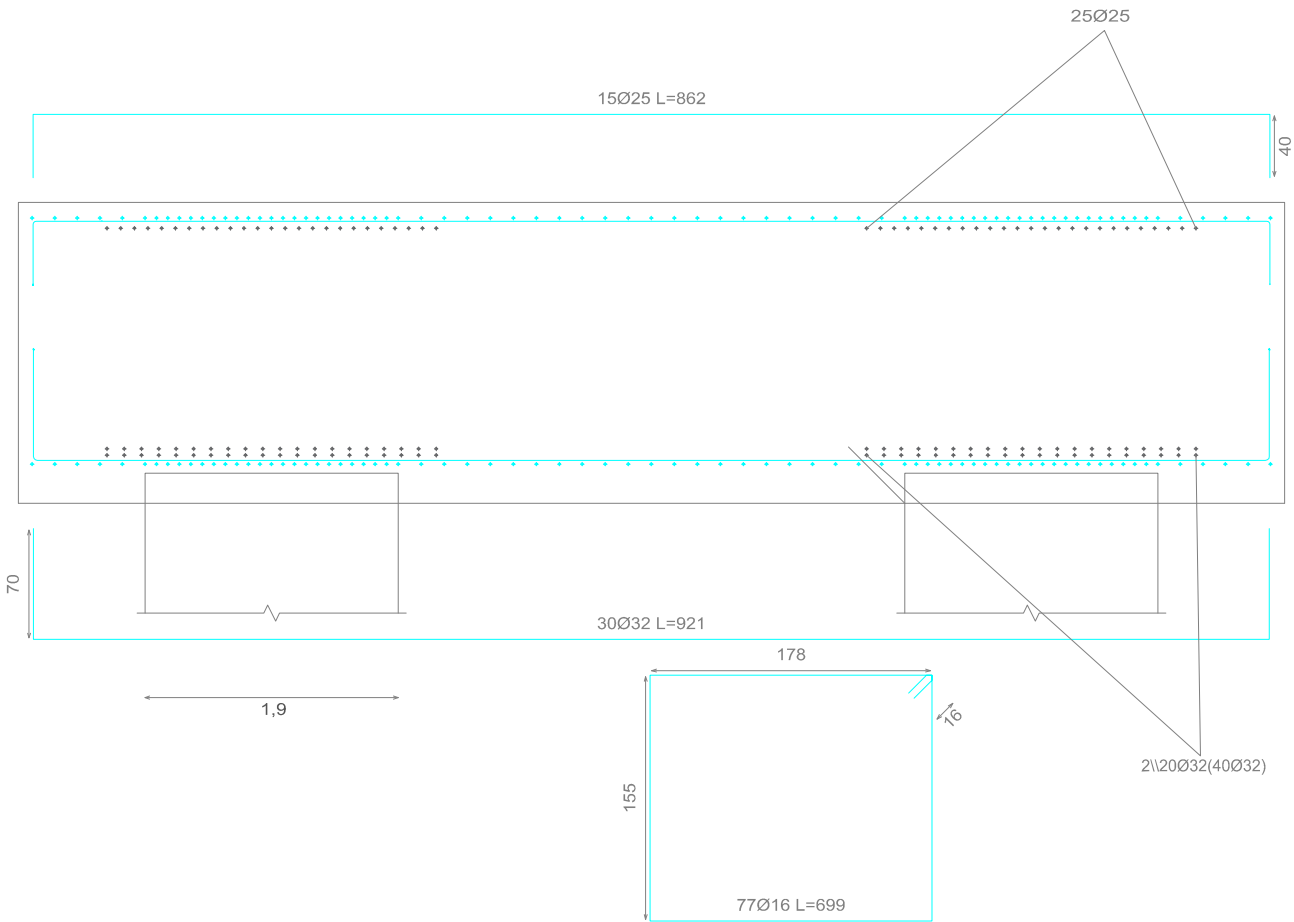
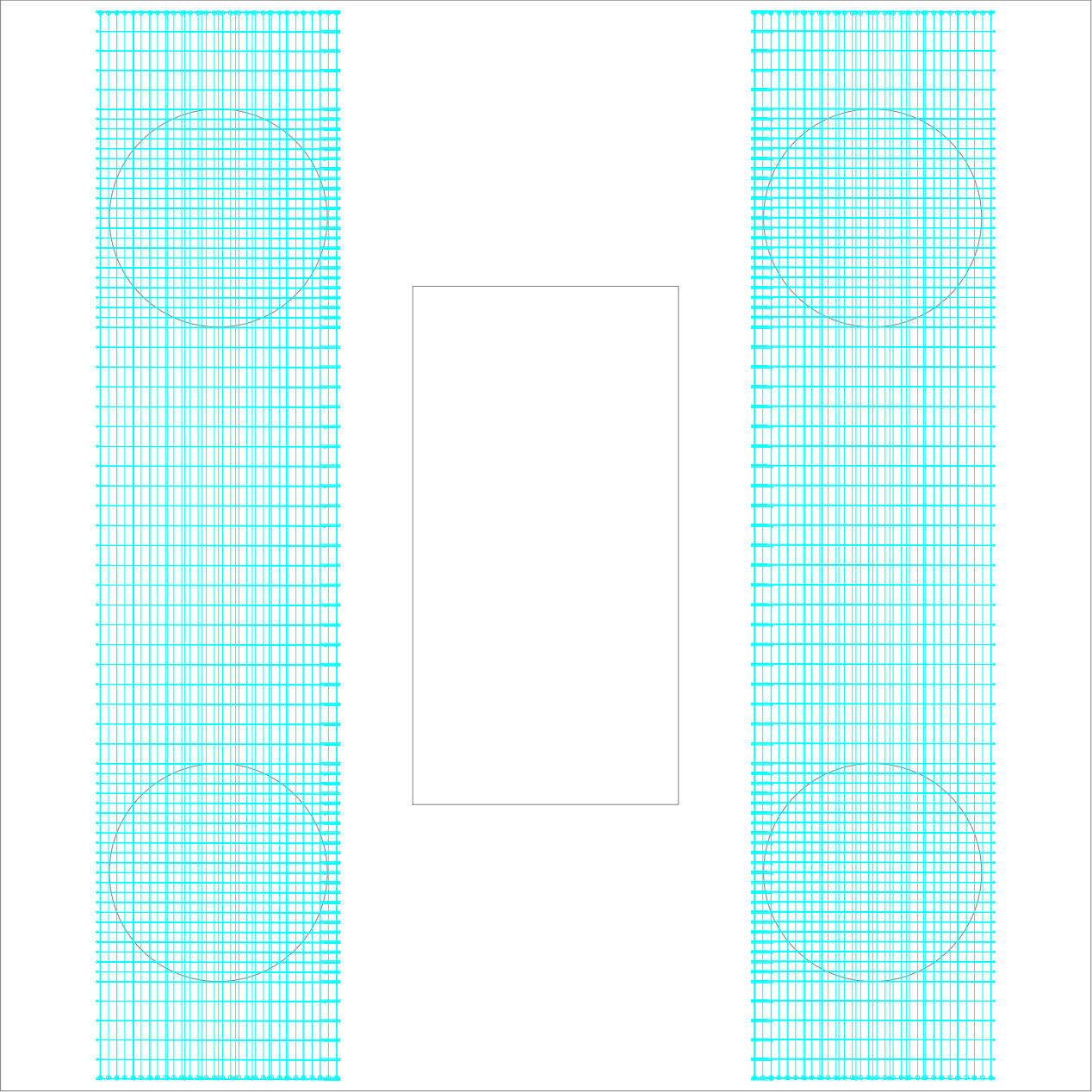
## **ANEXO:** Planos



Viga paralela X

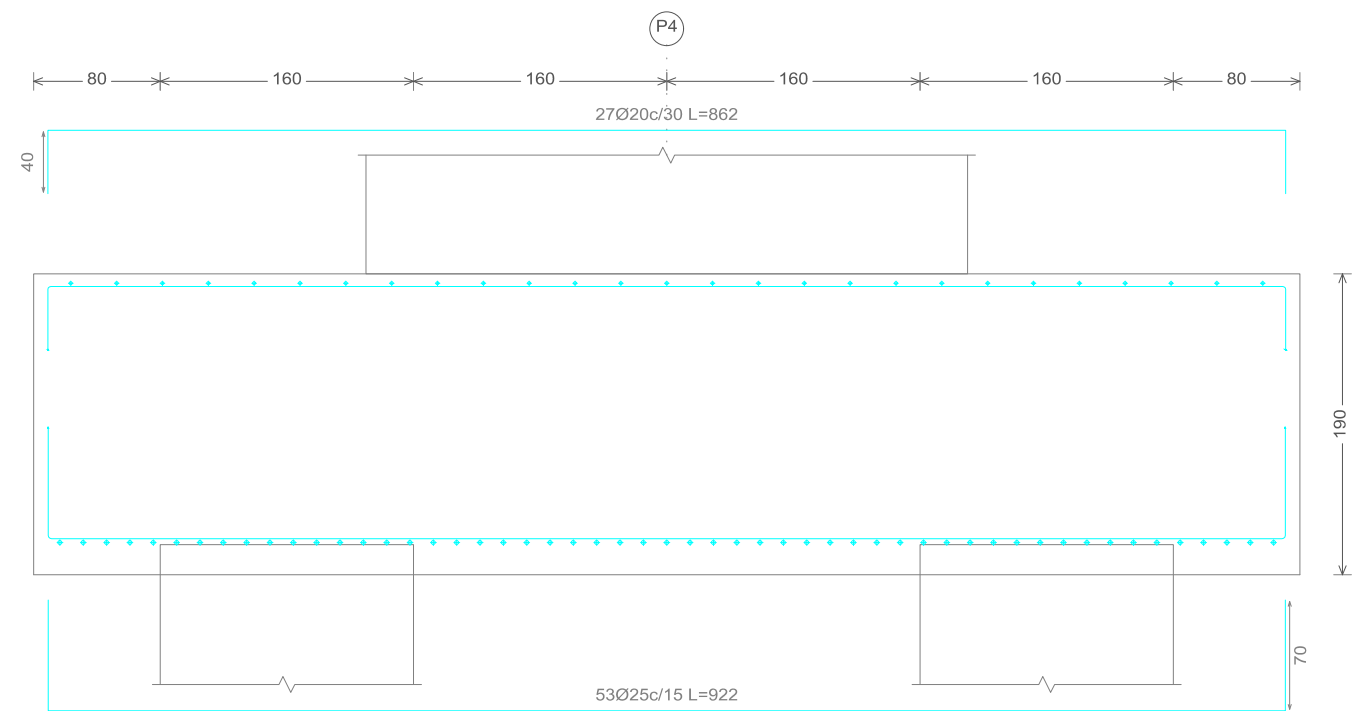
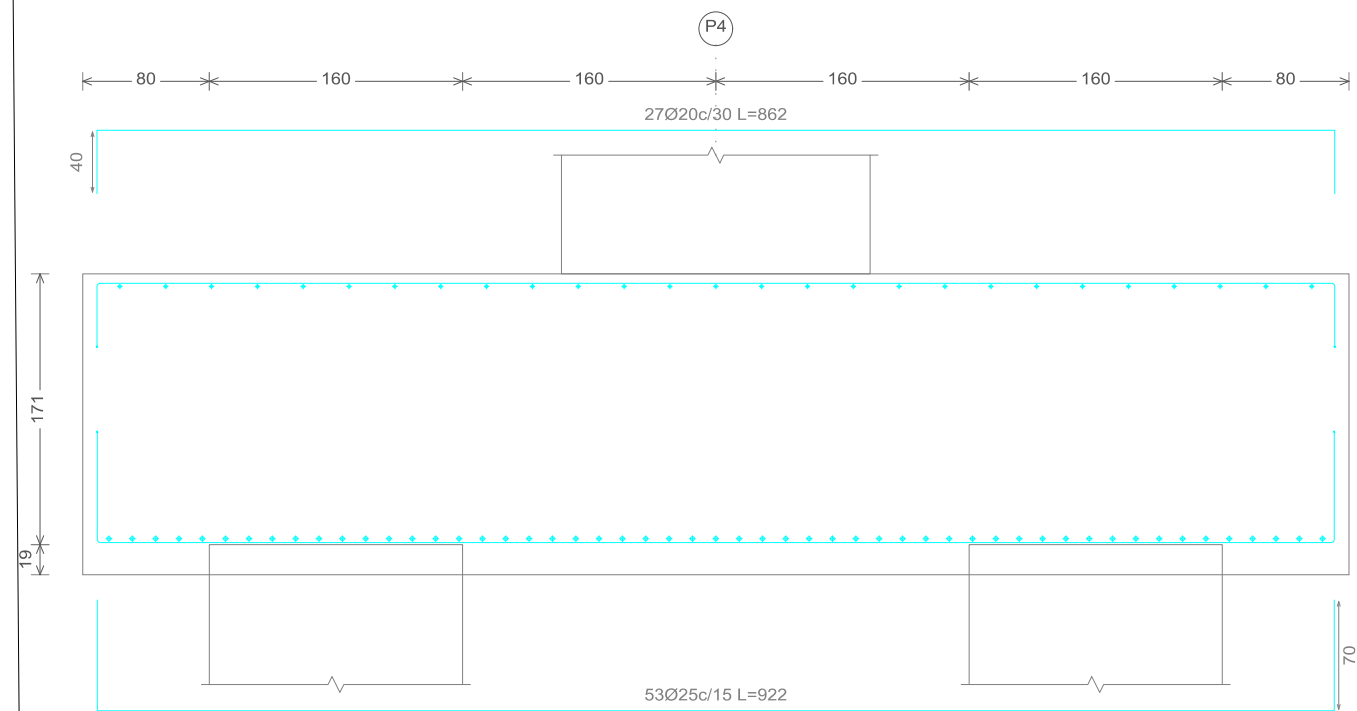


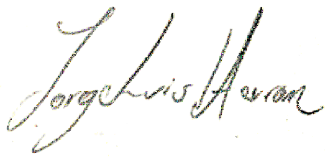
T.F.G : DISEÑO GEOTÉCNICO DE LAS CIMENTACIONES DEL RIO GUADIANA EN EL TRAMO III DE LA RONDA SUR DE BADAJOZ	Autor:	Jorge Luis Herron Gonzalez
	Fecha:	20/01/2020
	Tamaño :	A3
PLANO : ARMADO DE ENCEPADO VISTA EJE X	ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	
FIRMA : 	PLANO No :  1	

Viga paralela Y



DISEÑO GEOTÉCNICO DE LAS CIMENTACIONES DEL RIO GUADIANA EN EL TRAMO III DE LA RONDA SUR DE BADAJOZ	Autor:	Jorge Luis Herron Gonzalez
	Fecha:	20/01/2020
	Tamaño :	A3
ARMADO DE ENCEPADO VISTA EJE Y	<div>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS</div> 	
	PLANO No : <div>2</div>	



T.F.G : DISEÑO GEOTÉCNICO DE LAS CIMENTACIONES DEL RIO GUADIANA EN EL TRAMO III DE LA RONDA SUR DE BADAJOZ	Autor:	Jorge Luis Herron Gonzalez
	Fecha:	20/01/2020
	Tamaño :	A3
PLANO : ARMADURA SECUNDARIA SUPERIOR E INFERIOR (EMPARRILLADO)	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	
FIRMA : 	PLANO No :  3	