



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS  
CANALES Y PUERTOS

Grado en Ingeniería de Obras Públicas



# Pórtico de carretera en Ronda (Málaga)

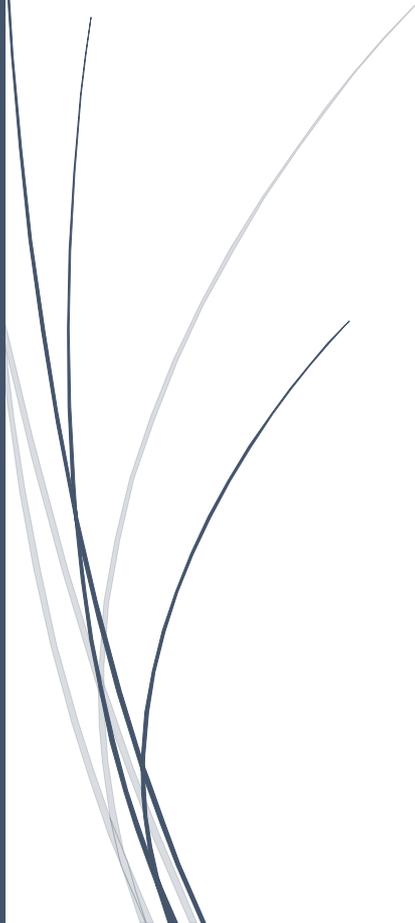
**Documento Nº 1: Memoria**

Curso Académico: 2013-2014

Fecha de presentación: Julio de 2014

Autor: Miguel Uzqueda Pellejero

Tutor: Carlos Miguel Gisbert Doménech





## ÍNDICE DEL TRABAJO

- Documento Nº 1: Memoria
- Documento Nº2: Anejo de cálculo
- Planos:
  - Plano 1: Situación y emplazamiento
  - Plano 2: Alzado, planta y perfil
  - Plano 3: Replanteo
  - Plano 4: Definición aletas
  - Plano 5: Armado aletas
  - Plano 6: Armado longitudinal marco
  - Plano 7: Armado transversal marco
  - Plano 8.1: Despiece de armado
  - Plano 8.2: Despiece de armado
  - Plano 8.3: Despiece de armado



## ÍNDICE DE LA MEMORIA

ÍNDICE.....	2
1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	3
2. OBJETO Y ALCANCE DEL TRABAJO.....	4
3. DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	6
4. CONDICIONANTES E INFORMACIÓN DISPONIBLE.....	9
5. MODELIZACIÓN.....	11
5.1. Sap2000.....	11
5.2. Modelización con el CYPE.....	15
5.3. Modelización de las aletas.....	15
5.4. Conclusiones obtenidas de los modelos.....	16
6. RESULTADOS.....	17
6.1. E.L.U. MARCO.....	17
6.2. E.L.S MARCO.....	18
6.3. E.L.U. ALETAS.....	19
6.4. E.L.S. ALETAS.....	19
7. CRITERIOS DE DISEÑO Y ARMADO.....	20
7.1. Marco.....	20
7.2. Aletas.....	23
8. CONCLUSIONES.....	24



## 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El presente Trabajo de Fin de Grado, cuyo fin es la descripción y modelización de un paso inferior en el término municipal de Ronda (Málaga), fue aprobado por la comisión académica del título el 24 de Febrero de 2014.

La decisión de escoger este trabajo en concreto, se produjo mediante concierto directo, el pasado mes de Diciembre.

El tutor encargado de guiar este trabajo ha sido Carlos Miguel Gisbert Doménech, profesor asociado del Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería Civil, en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos.

Este TFG ha sido llevado a cabo por el alumno de 4º curso, Miguel Uzqueda Pellejero, estudiante del Grado de Ingeniería de Obras Públicas.



## 2. OBJETO Y ALCANCE DEL TRABAJO

Con la realización de este trabajo se pretende definir, el diseño, mediante planos; y el cálculo, utilizando programas de elementos finitos, para la ejecución de un paso inferior situado a la altura del P.K. 0+565 en la carretera A-397, entre Sevilla y San Pedro de Alcántara, con el fin de llevar a cabo un nuevo acceso a la ciudad de Ronda, provincia de Málaga.

Su ubicación geográfica es  $36^{\circ} 44' 51''$  Norte –  $5^{\circ} 08' 43''$  Oeste y su altitud de 705 msnm. En la siguiente imagen podemos apreciar cual era la situación antes de la ejecución del paso inferior, los ramales y las glorietas.



El crecimiento urbanístico que ha tenido lugar en el Este de la ciudad de Ronda, ha generado que sea necesario un desvío para los vehículos que circulen por la A-397, de tal forma que podrán acceder de una forma directa a esta zona de nueva construcción, y al centro de la ciudad.

El desvío lo pueden efectuar los vehículos que transiten en ambos sentidos, ya que cuenta con dos glorietas para facilitar la circulación.

Además, la actuación objeto de este proyecto debe permitir que todo tipo de vehículos, puedan cruzar la carretera A-397. Aunque el Reglamento General de Vehículos sitúa en 4 m la altura máxima de los mismos, consideramos conveniente aumentar hasta los 5,4 m el gálibo de la estructura a efectos de facilitar el paso de los transportes especiales que pudieran circular.

La estética del paso inferior con respecto al paisaje tiene poca importancia por tratarse de un espacio situado fuera del área urbanizada de Ronda, con poca afluencia de gente. Únicamente se tendrán en cuenta los acabados durante el proceso constructivo



En primer lugar se plantea la construcción de un pórtico bajo la carretera A-397, pero tras realizar el estudio geotécnico, se comprueba que el valor de la tensión admisible es muy bajo y no resultaría viable llevarlo a cabo; por lo que se decide plantear varias alternativas para la resolución del proceso constructivo de un marco. Tal y como define la guía de cimentaciones para obras de carretera, un marco es una estructura cerrada de paramentos sensiblemente rectos.

Alternativa 1: Paso inferior hormigonado *in situ*.

Alternativa 2: Marco de hormigón prefabricado.

Alternativa 3: Paso inferior con vigas de hormigón pretensado y losa de reparto de cargas ejecutada *in situ*.

Valoración de alternativas			
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Afección tráfico	2	3	2
Coste	1	3	2
Idoneidad Técnica	2	3	2
TOTAL	5	9	6

Mejor puntuación: 3; Peor puntuación: 1.

A pesar de ser la alternativa con peor puntuación, se escoge la número 1 por el contenido del trabajo que se pretende realizar.

La afección al tráfico se resuelve de la siguiente manera:

Al no existir restricciones en los métodos constructivos, ya que no hay ningún problema de accesibilidad a la obra y las dimensiones del paso inferior son reducidas, mientras se está ejecutando el paso inferior mediante el uso de una cimbra convencional, el tráfico se desviaría por los cuatro ramales que llevan a las glorietas, y de esta forma poder salvar la obra rodeándola.



### 3. DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA

La justificación de los materiales se basa por una parte en el informe geotécnico de la zona de estudio, en condicionantes meteorológicos y geográficos y en normativas específicas como la EHE-08.

Siguiendo esta normativa, definimos el tipo de exposición relativa a la corrosión de las armaduras. Ronda está a unos 33Km de la costa, por lo tanto la clase será Normal y no Marina. Las precipitaciones son abundantes con valores superiores a los 1000 mm/año, muy superior a los 600 mm/año que limita la norma. Siguiendo estos valores podremos definir el ambiente como Ia.

Si estudiamos los valores obtenidos de los ensayos en los que el medio agresivo es el agua, se puede observar que hay un valor que sí debemos tener en cuenta, el CO<sub>2</sub>. Este tipo de contacto con contenidos de sustancias químicas, alteran con velocidad media el hormigón

Siguiendo los valores que nos proporciona el informe geotécnico podremos definir la exposición específica como Qb.

En cuanto a resistencia, por requisitos de durabilidad del hormigón, seguimos el artículo 37.3 de la EHE, concretamente la tabla 37.3.2 b que indica la resistencias mínimas que debe tener el material, en nuestro caso al ser un ambiente Ia+Qb el valor mínimo para el hormigón armado es 30 Mpa. Por lo tanto escogemos esta resistencia.

El tamaño máximo del árido está regido por 3 puntos. Los dos primeros no podemos asegurar cumplirlos ya que están relacionados con la disposición de las armaduras, y todavía no las hemos calculado. Por ello nos basamos en el punto que dice lo siguiente:

-0,25 veces la dimensión mínima de la pieza. Para tener el mismo tamaño de árido en todos los elementos de la obra se escoge la pieza con menor espesor, las aletas.

0,25 x 300mm= 75mm.

Se elige un tamaño máximo de árido de 20 mm para tener una holgura, y así cumplir las 2 restricciones relacionadas con las armaduras.

Resumiendo, la definición de los materiales es la siguiente:

hormigón **HA-30/P/20/ Ia+Qb**

armaduras pasivas **B500S**.

Todos los elementos que componen el marco se ejecutarán *in situ*.

La estructura consta de un gálibo vertical de 5,4 m y una longitud libre de 11 metros, lo que permite el paso de vehículos en dos direcciones a través del marco.



Cuenta con carriles de 3,5 metros, arcenes de 1,5 metros y 0,5 metros de separación entre la parte externa de los arcenes y los hastiales del marco, los cuales tienen un espesor de 0,6 m.

La losa superior dispone de un canto de 0,8 m y la solera, paralela a esta, cuenta con el mismo espesor.

A pesar de que el predimensionamiento geométrico del dintel suele seguir la expresión  $0,1 \cdot L$  para el canto, se ha busca reducir este espesor ya que el cálculo de la estructura se ha realizado con precisión. Para asegurarnos que este valor es correcto, se decide calcular la flecha de la pieza y comprobar que cumple la normativa vigente.

El interior del marco se completa con un relleno de tierras con un espesor de 0,5 metros y sobre este una capa de pavimento de 0,08 metros, completando así una altura total del marco de 6,78 metros entre los ejes de la solera y del tablero.

Como dicta la siguiente tabla 6.11 de la Guía de Cimentaciones para obras de carretera, podemos clasificar nuestra obra de paso como puente.

TIPO DE OBRA DE PASO	TAJEA	ALCANTARILLA	PONTÓN	PUENTE
Luz del vano mayor ( $L$ , en m)	$L \leq 1$	$1 < L \leq 3$	$3 < L \leq 10$	$L > 10$

Sección Transversal:

- Número de calzadas 1 m.
- Número de carriles x ancho de carril 2x3,5 m.
- Arcenes 1,5 m.
- Barreras New Jersey a una cara 0,5 m.

La plataforma de ancho  $W$  se divide en  $n$  carriles virtuales, de anchura  $W_i$  cada uno, según la tabla 4.1-a de la IAP-11. La plataforma será toda la zona por donde puedan circular vehículos, comprendida entre las caras interiores de las barreras de seguridad de los extremos. En este caso, nuestras barreras tienen un ancho de 50 cm, por ello la plataforma tendrá una anchura de  $11,00\text{m} - 2 \cdot 0,5\text{m} = 10,00\text{m}$

**TABLA 4.1-a DEFINICIÓN DE LOS CARRILES VIRTUALES**

ANCHURA DE LA PLATAFORMA ( $w$ )	NÚMERO DE CARRILES VIRTUALES ( $n_i$ )	ANCHURA DEL CARRIL VIRTUAL ( $w_i$ )	ANCHURA DEL ÁREA REMANENTE
$w < 5,4 \text{ m}$	$n_i = 1$	3 m	$w - 3 \text{ m}$
$5,4 \text{ m} \leq w < 6 \text{ m}$	$n_i = 2$	$\frac{w}{2}$	0
$w \geq 6 \text{ m}$	$n_i = \text{ent} \left( \frac{w}{3} \right)$	3 m	$w - 3n_i$



En este caso contamos con 3 carriles de 3 metros de anchura, y un área remanente con una anchura de 1 metro. Con estos valores, podremos describir posteriormente las sobrecargas de uso actuantes sobre la estructura.

Según la IAP-11 no se puede adoptar un pavimento bituminoso con un espesor superior a 10 cm, por lo tanto, debido al desconocimiento de datos de la carga de tráfico de la carretera A-397, se toma como valor un espesor de 8 cm.

De los dos extremos del marco nacen 4 aletas en quiebro con un ángulo de 30° respecto a la directriz de la carretera, con las que retienen las tierras de los terraplenes.

La altura de estas es variable, ya que en la unión con el muro tienen una altura de 6,8 metros y en el extremo existe una altura de 2 metros. Estas dimensiones se miden desde la cota de la carretera que circula por el interior del marco. Las 4 aletas tienen un espesor de 0,6 metros.

Sus respectivas zapatas tienen un canto de 0,8 metros, unos vuelos de 2,5 metros tanto en la puntera como en el talón y una anchura total del cimiento de 5,6

El área de influencia del proyecto será la del término municipal de Ronda. Por este motivo se tendrán en cuenta los factores técnicos y geográficos correspondientes a esta zona.

Se considera un periodo de vida útil de 100 años a partir del momento en el que se ejecuta la estructura.



## 4. CONDICIONANTES E INFORMACIÓN DISPONIBLE

Para la redacción del presente trabajo, se facilitó un informe geotécnico, que se realizó en la zona de estudio en Mayo del año 2011 por la empresa CONANMA, dedicada al control y al análisis del suelo.

Poder disponer de este documento ha facilitado el conocimiento de muchos datos de la zona tratada. A continuación se resumen los aspectos más importantes del informe.

La zona de estudio se encuentra a unos 60 metros del arroyo de La Toma, en el margen derecho de este. Los ensayos realizados en la zona donde se emplaza la estructura nos muestran los siguientes resultados:

- Un primer nivel compuesto por un relleno antrópico, perteneciente al terraplén de la carretera que se encontraba anteriormente, con un espesor de 3 metros, seguido de una capa vegetal de 0,6 metros de espesor. Este nivel deberá ser eliminado en la excavación del terreno.
- Un segundo nivel formado por depósitos aluviales con consistencia blanda, ya que se trata de niveles compuestos fundamentalmente por limos y arcillas; que alcanza los 15,5 metros de profundidad.
- Un tercer nivel entre los 15,5 y los 18 metros de profundidad donde aparecen gravas redondeadas.
- Por último, un cuarto nivel a partir de los 18 metros, formado por unas arcillas con cierto grado de consolidación.

El estudio geotécnico recomienda que, debido a las características de la zona donde se va a instalar la estructura, la cimentación quede empotrada sobre el segundo nivel, a una profundidad final de 7 metros, por debajo de la cota actual del terreno.

El nivel freático se encuentra a 8 metros de profundidad, por lo que no afecta directamente a la cimentación.



PARAMETROS GEOTÉCNICOS	SEGUNDO NIVEL
Consistencia	Blanda-Floja
Densidad aparente	20 T/m <sup>3</sup>
Cohesión	1 – 2 T/m <sup>2</sup>
Ángulo de rozamiento	20°
Coefficiente de balasto	6000 T/m <sup>3</sup>
Clasificación ASTM	CL

También se dispone de 4 planos del pórtico, que se había planteado inicialmente como la solución a ejecutar, antes de tener constancia de las características del terreno.

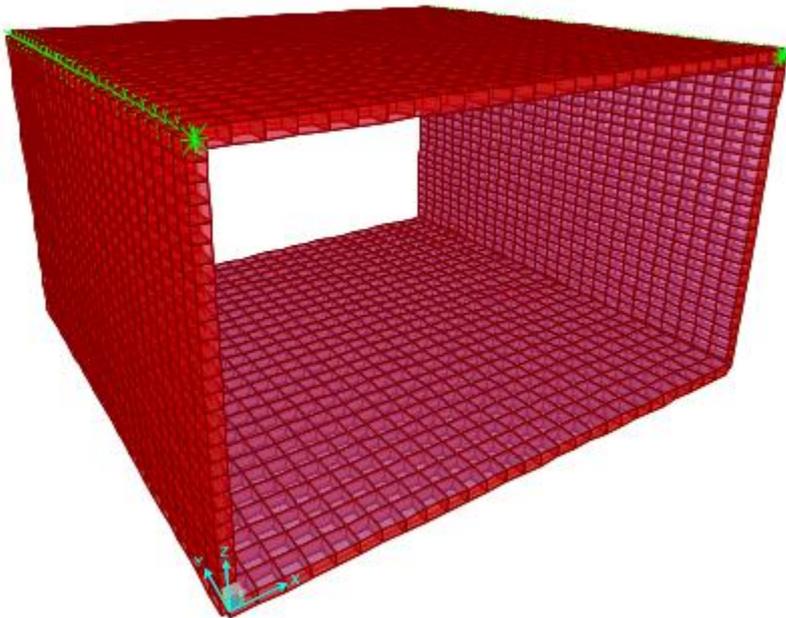
En estos planos( alzado de la estructura, planta, perfiles transversales y longitudinales de la carretera A -397) se detallaban las dimensiones básicas que debía disponer la estructura, como la luz, galibo y anchura de la carretera que circula sobre esta.



## 5. MODELIZACIÓN

Para poder efectuar el cálculo de la estructura se han seguido dos procedimientos, correspondientes a dos softwares. El Sap2000 v.15.1 y el programa CYPE ingenieros.

### 5.1. Sap2000



Antes de crear la estructura, decido definir el material principal del marco, HA-30.

Tras definir en el programa la geometría comentada anteriormente, se diseña el modelo del marco. Desde el primer momento se desea diseñar las celdas del tablero con unas dimensiones de 0,4 x 0,4 para posteriormente, poder aplicar las sobrecargas de los vehículos pesados en dichas áreas.

Tanto en el tablero como en la solera, y en cada hastial hay 728 celdas por elemento .

Para tener en cuenta el terreno sobre el que se apoya el marco deberá definirse un sistema de muelles en la solera.

El informe geotécnico nos marca varios valores del coeficiente de balasto según el estrato en el que nos encontremos, por lo que se escoge el coeficiente correspondiente al estrato II, ya que varía entre profundidades de 3 y 18 metros, que son con las que vamos a trabajar.

$$K_{30} = 6000 \text{ T/m}^3$$



Para poder aplicar un coeficiente acorde a las dimensiones de la losa, se calcula según el CTE-Cimentaciones con la siguiente fórmula, correspondiente a terrenos cohesivos como en el que nos encontramos:

$$Ksb = K_{30} \times \frac{0,3}{B}$$

Cuando  $B$  es el lado de la cimentación en planta, con menos longitud.

Este valor se asigna a los muelles que trabajan en dirección vertical. Por otro lado, a los muelles diseñados en la dirección de los ejes X e Y, tendrán una resistencia correspondiente al 10% de  $Ksb$ .

A continuación se pasa a definir todos los casos de las sobrecargas verticales producidas por el tráfico de vehículos, tanto de sobrecargas uniformes como de vehículos pesados, para las que se tendrá en cuenta la norma IAP-11.

En la imagen se muestran tanto los valores de las distintas acciones, como la distribución de las mismas sobre el tablero.

TABLA 4.1-b VALOR CARACTERÍSTICO DE LA SOBRECARGA DE USO

SITUACIÓN	VEHÍCULO PESADO $2Q_{ik}$ [kN]	SOBRECARGA UNIFORME $q_{ik}$ (ó $q_{rk}$ ) [kN/m <sup>2</sup> ]
Carril virtual 1	2 · 300	9,0
Carril virtual 2	2 · 200	2,5
Carril virtual 3	2 · 100	2,5
Otros carriles virtuales	0	2,5
Área remanente ( $q_{rk}$ )	0	2,5

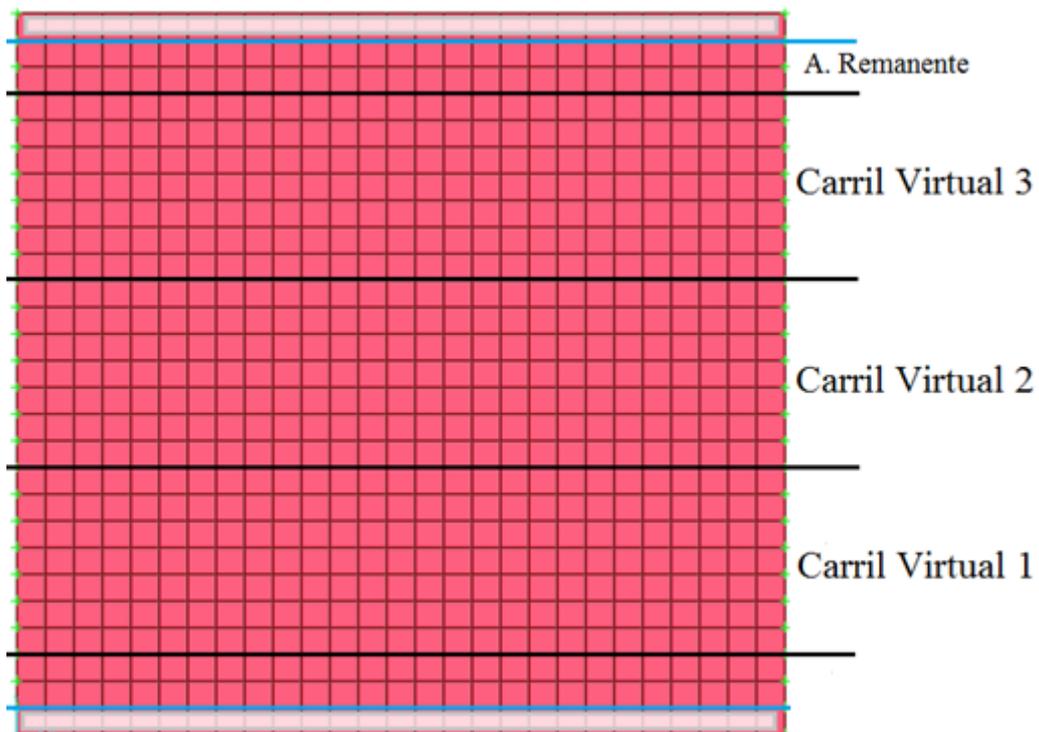
### Sobrecargas uniformes

Como hemos definidos anteriormente, en la sección transversal de la calzada contamos con 3 carriles virtuales de 3 metros de anchura cada uno, y un área remanente de un metro de ancho.

Se diseñan varios casos de carga en los que cada carril tiene una sobrecarga uniforme distinta.



- Caso 1
  - Carril Virtual 1 →  $9 \text{ KN/m}^2$
  - Carril Virtual 2 →  $2,5 \text{ KN/m}^2$
  - Carril Virtual 3 →  $2,5 \text{ KN/m}^2$
- Caso 2
  - Carril Virtual 1 →  $2,5 \text{ KN/m}^2$
  - Carril Virtual 2 →  $9 \text{ KN/m}^2$
  - Carril Virtual 3 →  $2,5 \text{ KN/m}^2$





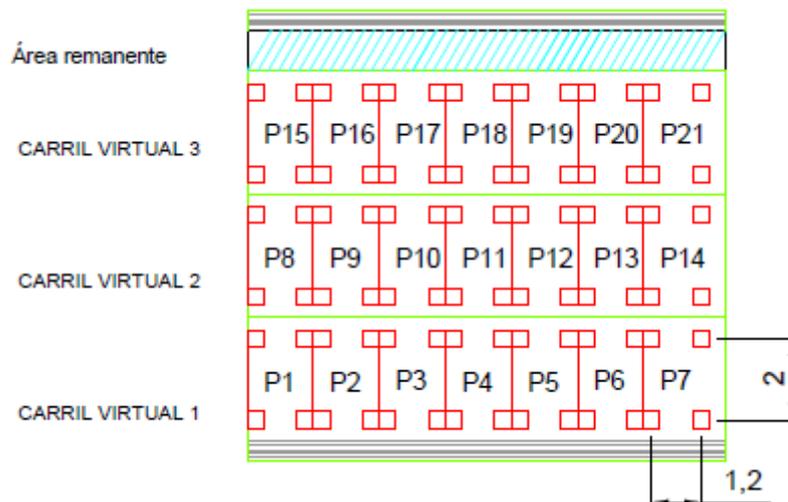
### Sobrecargas Puntuales

Es la acción variable que mayores esfuerzos ejerce sobre la estructura, por lo que en la combinación de acciones, se asigna como carga determinante en la mayoría de casos.

Se han diseñado 7 posiciones del vehículo pesado en cada carril virtual, definiendo varias hipótesis con diferentes cargas. La mayor sobrecarga, de 600 KN, se reparte en 4 huellas de 0,4 x 0,4 metros, es decir 150 KN sobre cada una. Otra sobrecarga de 100 KN en cada huella y una última de menor carga de 50 KN en cada huella.

Para introducir estos valores en el programa se debían dividir por el área de cada huella.

$$\text{Área de cada huella} = 0,4 \times 0,4 = 0,16m^2$$





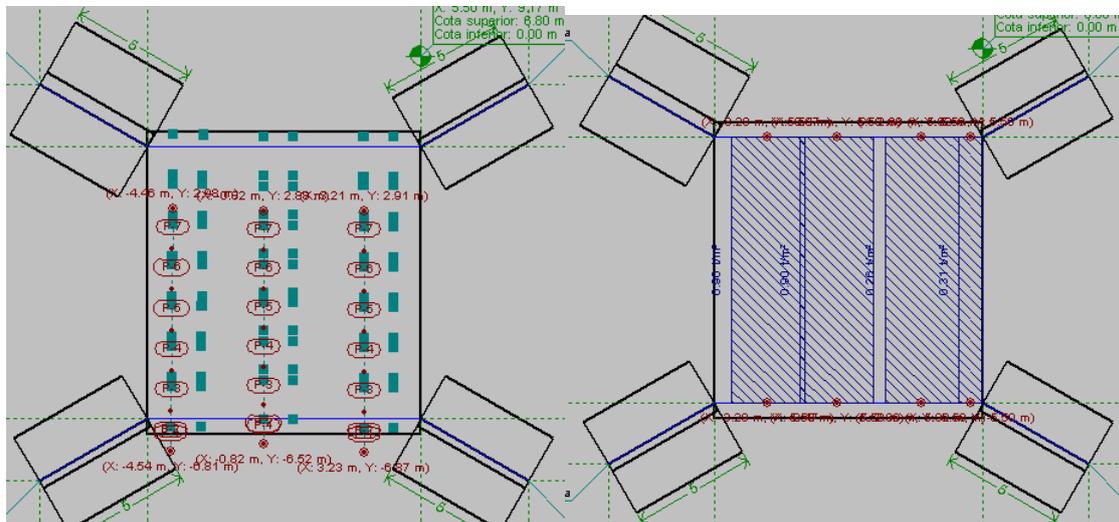
## 5.2. Modelización con el CYPE.

Resulta más sencillo crear la estructura con el CYPE ya que contamos con una versión de cálculo de marcos para ingeniería civil que nos facilita la labor. Además podemos seleccionar la opción de “marcos rectos” y así reducir el número de parámetros que se deben asignar.

Introducimos en primer lugar la geometría básica, las características del terreno y del material.

También se deben definir tanto las bandas de carga en los carriles como la disposición de los vehículos pesados.

Una vez hemos finalizado con la introducción de datos, se verifica que las dimensiones del marco y de las aletas cumplen los mínimos establecidos por la normativa



## 5.3. Modelización de las aletas

El predimensionamiento geométrico de las aletas se ha realizado en función de la altura de estas, y queda explicado en el anejo de cálculo. Estos valores se introducen en el CYPE y se comprueba que cumplen todos los estados límites. Los vuelos de talón y puntera cuentan con las mismas dimensiones ya que debido a la baja tensión admisible del terreno cabía la posibilidad de producir vuelco o deslizamiento si se reducía la puntera.

El dimensionamiento de los alzados y de las zapatas se ha calculado sin utilizar programas. El cálculo de los alzados se ha realizado tratándose con altura constante y simulando que se trata de un muro ménsula ya que la parte superior no se encuentra coartada.

Por otra parte, las zapatas se han dimensionado simulando que se trataba de una zapata corrida, lo cual se asemeja a la realidad.



#### 5.4. Conclusiones obtenidas de los modelos

Como se puede observar en los resultados obtenidos en el anexo de cálculo, los valores del Sap2000 y del CYPE reflejan una pequeña diferencia. Esto es debido a que el modelo simplificado de la estructura del Sap2000 se rige con una longitud de tablero de 11,6 metros, que sería la correcta ya que es la distancia entre ejes de apoyos de la losa. En cambio el CYPE tiene en cuenta los cálculos tomando los extremos del tablero como nudos rígidos, creando una longitud de 11m. En los siguientes cálculos se muestra la diferencia entre ambos softwares.

$$\frac{11,6}{11} = 1,05.$$

Como las leyes de momentos flectores tienen forma parabólica se eleva el valor al cuadrado.

$$1,05^2 = 1,112.$$

La diferencia entre ambos debe ser de un 11,2% aproximadamente.

También se puede reflejar alguna anomalía en los resultados, debidos al posicionamiento de las cargas sobre el tablero. Al tratarse de sobrecargas de vehículos pesados, con valores muy elevados, una pequeña variación en la disposición de las mismas podrá producir una diferencia entre los esfuerzos de ambos programas mayor al 11,2 % .

Para completar la comparación entre varios sistemas de cálculo de la estructura, se realizó un modelo plano del marco, y se pudo observar en los resultados que los esfuerzos obtenidos de las sobrecargas de los vehículos pesados, eran valores muy por encima de los proporcionados por los modelos en 3 Dimensiones, ya que la distribución de las cargas de las huellas no se realiza correctamente en un modelo plano.

Por este motivo se decidió desestimar esos resultados y seguir analizando la estructura, únicamente con los modelos en 3D.



## 6. RESULTADOS

En el anexo de cálculo se puede observar en diferentes imágenes obtenidas de los modelos Sap y CYPE, el efecto que ejerce cada una de las acciones actuantes sobre la estructura, incluida la actuación de cada posición del vehículo pesado sobre el dintel del marco.

Debido a que se trata de la carga variable que efectúa una mayor influencia sobre la estructura, se han observado detenidamente las distintas posiciones de los carros.

Como conclusión podemos afirmar que los esfuerzos más desfavorables en la estructura se deben a los siguientes casos de sobrecarga de los vehículos pesados:

La posición de los carros que ejercen mayores momentos flectores en la estructura son:

-P4 → 600KN

-P11 → 400KN

-P18 → 200KN

La posición de los carros que ejercen mayores cortantes en la estructura son:

-P7 → 600KN

-P14 → 400KN

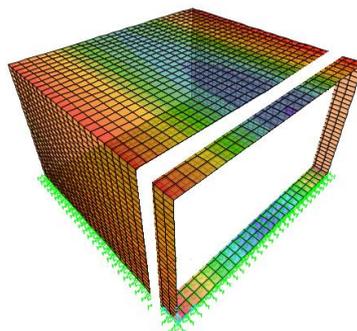
-P21 → 200KN

### 6.1. E.L.U. MARCO

Hemos tomado una porción de 1 metro de ancho, en la que se sitúan los esfuerzos más desfavorables. Esta rebanada se sitúa en el extremo del marco, ya que es un punto que cuenta con una mayor inestabilidad.

Al haber realizado el modelo en 3Dimensiones se observa cómo trabaja este tipo de estructuras en la realidad, ya que las deformaciones en cada elemento de la estructura son más complejas que en un modelo plano.

En el modelo en 2 Dimensiones únicamente podríamos observar los momentos obtenidos por flexión longitudinal





A continuación se muestran, de forma resumida, los resultados obtenidos tras realizar las combinaciones de acciones. Estos son los valores que se van a emplear para el dimensionamiento del armado de la estructura, y que hemos obtenido del modelo hecho con el programa Sap2000.

	Momento máximo	Momento Mínimo
Flector Solera	655 KNm	-800 KNm
Flector Dintel	778 KNm	-447 KNm
Flector Hastiales	-108 KNm	-655 KNm

	V <sub>máx</sub>
Cortante Solera	580 KN
Cortante Dintel	400 KN
Cortante Hastial	339 KN

## 6.2. E.L.S MARCO

El cálculo de la estructura en servicio se ha realizado para tener constancia del estado de fisuración de las fibras traccionadas, que puede alcanzar la estructura.

Únicamente se evalúa la situación en el dintel y en la solera, ya que la fisuración no suele causar problemas en este tipo de hastiales.

El cálculo de la abertura de fisura se realiza tanto en el centro como en los extremos de la pieza, es decir, donde existen los mayores flectores, positivos y negativos.

	Momento Máximo	Momento Mínimo
Flector Dintel	585 KNm	-321 KNm
Flector Solera	441 KNm	-602 KNm

En el anexo de cálculo se puede apreciar, que la abertura de fisura cumple los requisitos dictados por la norma.

Lo mismo ocurre en el cálculo de la flecha, en este caso, obtenemos valores que cumplen los mínimos, y de esta forma se demuestra que el valor escogido para el espesor del dintel es válido.



### 6.3. E.L.U. ALETAS

En la siguiente tabla se aprecian los esfuerzos obtenidos, sin mayorar, debido a las cargas actuantes sobre la estructura.

	Fuerza H	Fuerza V	Brazo	Mom. Vol	Mom. Est
ACCIONES	KN	KN	m	KNm	KNm
Peso propio		214	2,8		599,2
Peso relleno talón		340	4,35		1479
Peso relleno punt.		25	1,25		31,25
Sobrecarga		25	4,35		108,75
Empuje sobrec.	25,333		3,8	96,2654	
Empuje relleno	192,5		2,53	487,025	
TOTAL	217,833	604		583,2904	2218,2

Para efectuar el posterior dimensionamiento del alzado, se han tomado los momentos flectores, ya mayorados, en 2 puntos, y así poder reducir costes de armado.

En este caso sí tenemos en cuenta los axiles procedentes del peso propio del alzado, aunque a penas causen efecto en el dimensionamiento

	Flector	Axil
Unión Muro-Zapata	540,8 KNm	138 KN
Cota de alzado -4,8 m	165 KNm	97,2 kN

En el anexo de cálculo se puede apreciar que el momento actuante en el centro de la zapata tiene un valor muy pequeño, esto se debe a que los empujes del terreno y el peso de las tierras están equilibrados. Por este motivo, las tensiones existentes en la base de la zapata son similares en la puntera y en el talón, y los momentos que se han obtenido en la sección de referencia de la puntera y el talón de la zapata, son muy similares.

Con los siguientes flectores dimensionaremos posteriormente las armaduras de la zapata

Flector en el talón	401,5 KN
Flector en la puntera	447 KN

### 6.4. E.L.S. ALETAS

El cálculo de la fisuración se realiza en la unión de la zapata con el alzado, ya que se trata de un punto crítico de la estructura.

En el anexo de cálculo se comprueba que la abertura de fisura está por debajo del límite máximo.

Flector Unión Muro-Zapata	401 KNm
---------------------------	---------



## 7. CRITERIOS DE DISEÑO Y ARMADO

### 7.1. Marco

El armado a flexión longitudinal se ha dispuesto en varias capas.

Un armado base que discurre en la cara inferior a lo largo de todo el dintel. Un armado de refuerzo situado en la cara inferior, en el centro del dintel y tiene una longitud de 5,6 metros.

A lo largo del dintel, en la cara superior, se encuentra el armado de compresión; y en los dos extremos de la losa, existe un refuerzo, cuya longitud equivale al tramo en el que las tracciones se encuentran en la cara superior (1,2 metros en cada extremo)

ARMADURA LONGITUDINAL EN EL DINTEL	
Armado base de tracción en la cara inferior	φ16c/12,5 cm
Armado de refuerzo en la cara inferior	φ 16c/12,5 cm
Armado de tracción para momentos negativos	φ 16c/25 cm
Armado de compresión en la cara superior	φ 12c/12,5 cm

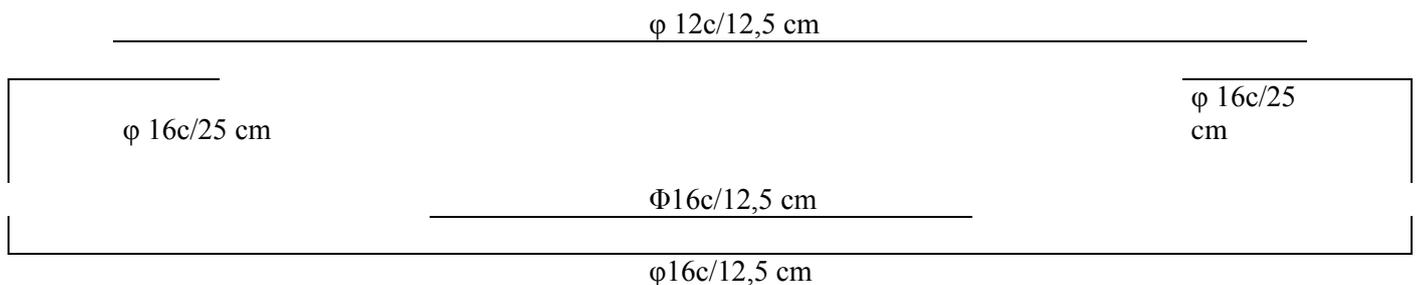
ARMADURA TRANSVERSAL EN EL DINTEL	
Armado en la cara inferior	φ 16c/25 cm
Armado en la cara superior	φ 16c/25 cm

Se ha seleccionado la siguiente separación transversal entre ramas, para poder “retener” en el interior de los cercos, las armaduras longitudinales.

ARMADURA DE CORTANTE EN EL DINTEL	
Diámetro de armadura/separación longitudinal	φ 10c/20 cm
Separación transversal entre ramas	20/30 cm

El armado de cortante en el dintel deja de ser necesario a una distancia de 2,5 metros respecto a los extremos del dintel, pero siguiendo la normativa, se deberá prolongar una longitud igual a medio canto útil. Sumando ambos extremos aumentará un total de 150 cm.

A continuación se muestra una disposición aproximada del armado longitudinal que hemos obtenido en el dintel.





El criterio de diseño del armado en la solera, es el mismo que en el dintel, pero invirtiendo la sección. Es decir, las tracciones en centro luz se encuentran en la cara superior, y en los extremos se encuentran en la cara inferior.

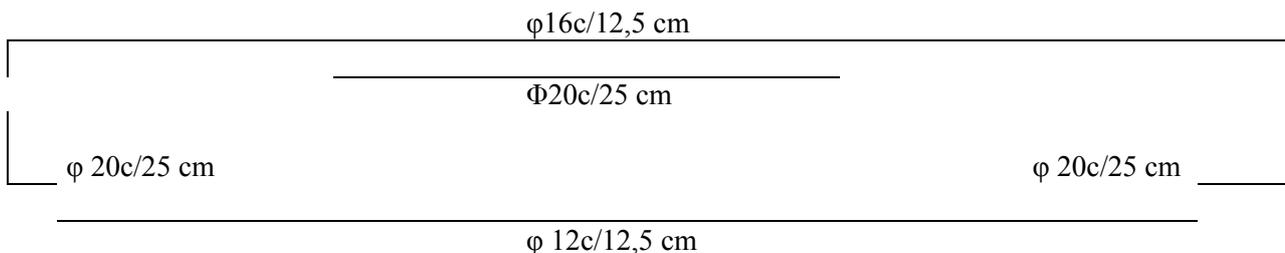
ARMADURA LONGITUDINAL EN LA SOLERA	
Armado base de tracción en la cara superior	φ 16c/12,5 cm
Armado de refuerzo en la cara superior	φ 20c/25 cm
Armado de tracción en los extremos	φ 20c/25 cm
Armado de compresión en la cara inferior	φ 12c/12,5 cm

ARMADURA TRANSVERSAL EN LA SOLERA	
Armado en la cara inferior	φ 16c/25 cm
Armado en la cara superior	φ 16c/25 cm

ARMADURA DE CORTANTE EN LA SOLERA	
Diámetro de armadura/separación longitudinal	φ 10c/15 cm
Separación transversal entre ramas	20/30 cm

El armado de cortante deja de ser necesario a una distancia de 3 metros respecto a los extremos del dintel, pero siguiendo la normativa, se deberá prolongar una longitud igual a medio canto útil en cada punto en el que deje de ser necesario. Sumando ambos extremos, la longitud de armado a cortante aumentará un total de 150 cm.

A continuación se muestra un despiece aproximado del armado longitudinal que hemos obtenido en la solera







## 7.2. Aletas

Para ahorrar cierta cuantía de armado en el alzado, se han dispuesto dos clases de armado. Una en la unión Muro-Zapata, donde se encuentra el mayor flector y por lo tanto requiere una mayor cuantía de armadura.

Conforme ascendemos en el muro, se observa que el momento en este disminuye de forma exponencial, por lo tanto se decide cambiar la armadura, a una distancia de dos metros por encima de la unión.

ARMADURA DISPUESTA EN EL ALZADO DE LA ALETA	
Armado en trasdós en la unión Muro-Zapata	φ25c/20 cm
Armado en trasdós en el alzado	φ16c/20 cm
Armado en el intradós en el alzado	φ16c/25 cm
Armado horizontal en cada cara	φ16c/20 cm

ARMADURA DISPUESTA EN LA ZAPATA DE LA ALETA	
Armado en la cara inferior de la zapata	φ16c/12,5 cm
Armado en la cara superior de la zapata	φ16c/12,5 cm
Armado transversal en cada cara	φ16c/12,5 cm



## 8. CONCLUSIONES

La primera conclusión que se toma es el tipo de estructura que se piensa ejecutar, ya que según las condiciones del terreno en el que nos encontramos (con un valor reducido de la tensión admisible), urge un modelo lo más estable posible frente a estas características geotécnicas.

Para evitar cambiar todo el espesor del terreno por otro más competente decidimos realizar una estructura tipo marco, y no un pórtico como se había planteado en un principio.

Ante la existencia de un ambiente con un nivel medio de agresividad química  $Q_b$ , definimos un hormigón que cumpla las especificaciones de la EHE, y para los casos (como el recubrimiento) que no concrete un valor fijo para asignarlo, se toma la medida de seleccionar un valor un poco mayor dictado por el ambiente general, IIa, y añadir capas que reduzcan el contacto entre terreno y estructura, como el hormigón de limpieza y las capas filtrantes e impermeabilizantes.

Una vez hemos obtenido los esfuerzos con ambos modelos, podemos apreciar que la carga variable que mayor peso ejerce sobre la estructura es la acción producida por los veh

Tras haber efectuado el diseño del marco, se asegura el cumplimiento de la estructura frente a las acciones dictadas por la IAP-11, normativa principal en la que nos hemos basado junto a la EHE. En el caso de estudiar las sollicitaciones en servicio, a pesar de que aparecen fisuras en la estructura, estas siempre tienen un valor inferior a la abertura máxima de fisura.

Tras haber elegido un canto de pequeño espesor en el dintel y en la solera, vemos necesario comprobar la flecha existente. El resultado es que también cumple con los valores mínimos exigidos por la EHE, como se puede apreciar en el Anejo de Cálculo.

El cálculo del armado se lleva a cabo tras efectuar las respectivas combinaciones de acciones en Estado Límite Último, en los puntos donde los esfuerzos resultan más desfavorables.

Para reducir la cuantía de armadura se han dispuesto armados base según mínimos geométricos y mecánicos, y en las zonas críticas donde este no sea suficiente se dispone de un armado de refuerzo.

Por último comentar que el armado dispuesto por el programa CYPE es diferente al que se ha obtenido con los esfuerzos del Sap2000 por las razones que se comentan en el apartado de modelización, y porque las combinaciones de acciones tienen coeficientes de mayoración diferentes. El CYPE usa la IAP-98 en la que la sobrecarga de uso se multiplica por 1,5, sin embargo, las combinaciones que se han definido con el Sap tienen el valor actualizado de 1,35 que dicta la IAP-11.