



## **ANEJO Nº3.-CÁLCULOS**

P.I. BAJO FERROCARRIL EN EL TRAMO DE ALTA VELOCIDAD TALAYUELA-CÁCERES. T M DE PLASENCIA (CÁCERES).



ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE DIFERENTES FACTORES EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS ENTERRADAS PARA PASOS INFERIORES. PASO INFERIOR BAJO FERROCARRIL EN EL TRAMO DE ALTA VELOCIDAD TALAYUELA-CÁCERES. T M DE PLASENCIA (CÁCERES).





## ÍNDICE

1.	OBJETO .....	5
2.	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA. ....	5
3.	BASES DE CÁLCULO. ....	7
3.1.	NORMATIVA APLICADA .....	7
3.2.	CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES. ....	7
3.3.	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS .....	8
3.4.	DURABILIDAD .....	9
3.5.	ACCIONES .....	9
3.5.1.	Acciones permanentes de valor constante ( $G_k$ ). ....	9
3.5.2.	Acciones permanentes de valor no constante ( $G_k^*$ ) .....	10
3.5.3.	Acciones variables ( $Q_k$ ) .....	11
3.6.	COMBINACIÓN DE ACCIONES. ....	13
3.6.1.	Procedimiento de análisis y dimensionamiento. ....	13
3.6.2.	Hipótesis de carga. ....	15
4.	MODELO DE CÁLCULO .....	16
4.1.	Dimensionamiento del marco .....	16
4.1.1.	Introducción de cargas. ....	17
4.1.2.	Verificación del estado límite último .....	24
4.1.3.	Dimensionamiento de la estructura.....	37



4.1.4.	Verificación del estado límite de servicio.....	53
4.2.	CÁLCULO ALETAS.....	62
4.2.1.	Descripción.....	62
4.2.2.	Acciones .....	63
4.2.3.	Comprobaciones .....	64
4.2.4.	ELU de agotamiento frente a solicitaciones normales.....	69
4.2.5.	E.L.S. Fisuración.....	78

## 1. OBJETO

El presente documento tiene como objeto el dimensionamiento, a nivel estructural, del Paso Inferior perteneciente al Proyecto “Construcción de plataforma de la línea de alta velocidad Madrid-Extremadura. Talayuela-Cáceres. Tramos: Estación de Plasencia. Plataforma”. Se ha realizado para ello los cálculos necesarios, obteniendo las dimensiones y armados y comprobando los coeficientes de seguridad frente a los distintos estados límite que, de manera justificada, se expone en los puntos siguientes.

En este anejo desarrollaremos los siguientes puntos:

- Se definen todos los materiales que se utilizan para la construcción de las estructuras y también sus características mecánicas.
- Se describen las bases del diseño utilizadas para definir la estructura.
- Se numeran las distintas instrucciones y normativas de obligado cumplimiento en la construcción de este tipo de obras.
- Se determinan los esfuerzos más desfavorables y sus concomitantes, según las distintas situaciones frente a E.L.U y frente a E.L.S.
- Por último, el dimensionamiento de la sección de la estructura, así como su armado, tal que sea capaz de soportar los esfuerzos más desfavorables anteriormente mencionados. Dicho dimensionamiento se realizará frente a E.L.U y frente a E.L.S.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA.

La estructura a calcular es un marco de hormigón de ejecución “in situ” y de dimensiones interiores 8,00m x 5,5m, con un espesor de hastial de 0,9 m y con un espesor de losa, tanto superior como inferior, de 1,0 metros. La función de cimentación la realizará la losa inferior, que asentará sobre el terreno. Las dimensiones exteriores del marco son de 9,80 m de largo y 7,5 m de alto.

La losa inferior tiene un saliente a cada extremo de 25 cm respecto al muro para facilitar el apoyo del encofrado respecto a los hastiales. La esquina superior interior del marco se realizara en chaflán para evitar problemas a la hora de desencofrar.

En la figura siguiente se detalla la sección transversal correspondiente a la sección tipo descrita anteriormente.

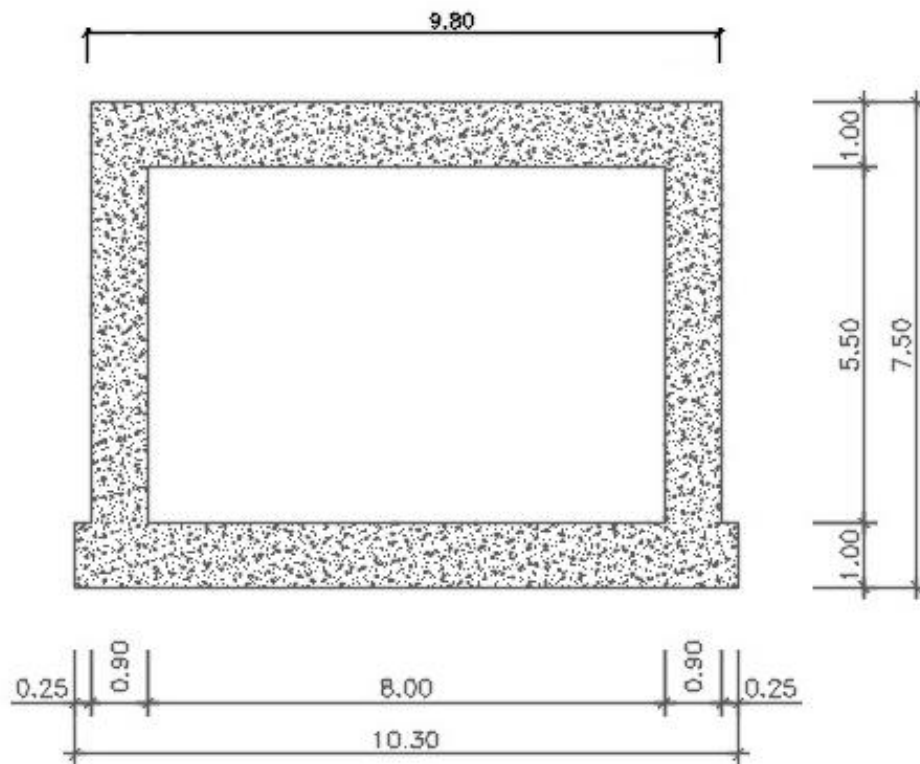
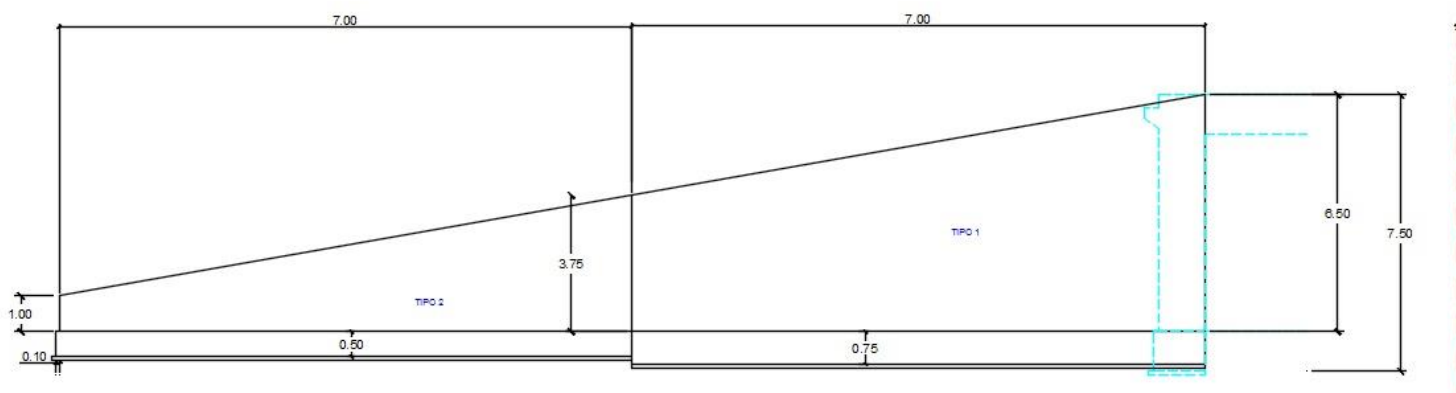


Ilustración 1 Sección transversal.

Sobre la losa superior existe un paquete de tierras con un espesor máximo aproximadamente de 1,088m.

Para la contención del terreno a la entrada y salida del marco, se han provisto unas aletas formando un ángulo de  $45^\circ$  con el eje del camino. Las aletas tienen una altura variable desde 7,25 m, en el arranque junto al marco, hacia 1m. Todas las aletas están divididas en dos tramos, uno con altura entre 1 m y 4,25 m y otro con altura entre 4,25 m y 7,25 m. Las cuatro aletas se cimentarán mediante zapata con dimensiones diferentes según sea el tramo bajo o alto de la aleta. El tramo de aleta con menor altura tiene un espesor de muro de 0,4 m y una zapata 0,5m de canto con una puntera de 0,5 m y un talón de 1,5 m. Por otro lado el tramo de aleta alto tiene un espesor el muro de 0,65 m y una zapata con un canto de 0,75m, una puntera de 0,6 m y 2,6 m de talón. El paramento del intradós es continuo en ambos tramos de aleta y con el paramento interior del marco.

En la imagen inferior de detalla las dimensiones de las aletas, diferencian entre tipo 1 y tipo 2.



*Ilustración 2. Sección Aletas*

### 3. BASES DE CÁLCULO.

### 3.1.NORMATIVA APLICADA

Las instrucciones y las normativas aplicadas para la realización de los cálculos para el Paso Inferior son las siguientes:

**ACCIONES:**

- IAPF. Instrucción de acciones a considerar en puentes de ferrocarril.
- Guía de cimentaciones en Obras de Carretera.

**MATERIALES-CONSTRUCCIÓN:**

- EHE-08. Instrucción de hormigón estructural EHE.
- EC-2. Euro-código2, “Proyecto de Estructuras de Hormigón”.

### 3.2.CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.

## HORMIGÓN ARMADO

Tipo: HA-30

Nivel de control: Estadístico

Resistencia característica  $f_{ck}$ : 30MPa

Resistencia media  $f_{cm}$ : 38MPa

#### SITUACIONES PERSISTENTES O TRANSITORIAS

Coefficiente de minoración de la resistencia del hormigón  $\gamma_c$ : 1,5

Resistencia de cálculo  $f_{ck}/\gamma_c$ : 20N/mm<sup>2</sup>

#### SITUACIONES ACCIDENTALES

Coefficiente de minoración de la resistencia del hormigón  $\gamma_c$ : 1,3

Resistencia de cálculo  $f_{ck}/\gamma_c$ : 23N/mm<sup>2</sup>

#### MÓDULO DE ELASTICIDAD

Módulo de Elasticidad inicial  $E_{co}$ : 34000N/mm<sup>2</sup>

Módulo de Elasticidad secante  $E_c$ : 29000N/mm<sup>2</sup>

Módulo de Poisson  $\nu_c$ : 0,20

#### **ARMADURAS PASIVAS**

Tipo: B-500 S

Nivel de control: Normal

Resistencia característica  $f_{yk}$ : 500MPa

Coefficiente de minoración de resistencia del acero  $\gamma_s$ (situación Persistente o transitoria): 1.15

Resistencia de cálculo  $f_{yd}$ : 435 MPa

Módulo de Elasticidad  $E_s$ : 200000MPa

#### **TERRENO EN TRASDÓS**

Tipo: Granular

Ángulo de rozamiento interno  $\phi$ : 30°

Coefficiente de empuje activo  $K_a$ : 0,33

Coefficiente de empuje al reposo  $K_o$ : 0,50

Peso específico: 20KN/m<sup>3</sup>

### 3.3.CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

Las características geotécnicas del terreno que han sido consideradas en la realización de los cálculos son las siguientes:

Se ha considerado para el dimensionamiento de la cimentación del marco un coeficiente de balasto de 1600 KN/m<sup>3</sup>. Se ha considerado para el dimensionamiento de las zapatas de las aletas una tensión admisible media de 0.20 MPa.



### 3.4.DURABILIDAD

La clase de exposición de todos los elementos constituyentes del marco (losa superior, inferior, hastiales y alzado de aletas), es Ila+H. Como consecuencia del tipo de ambiente definido, el hormigón armado debe cumplir las siguientes limitaciones:

#### AMBIENTE Ila+H

- Relación máxima agua/cemento: 0,60
- Contenido mínimo en cemento de 300 kg/m<sup>3</sup>
- Considerando una vida útil de 100 años, un cemento tipo CEM I y un control normal de la ejecución, se ha considerado un recubrimiento nominal 40 mm.
- Máxima abertura de fisura de 0,30mm.
- Resistencia mínima compatible del hormigón de 30MPa.

### 3.5.ACCIONES

Las acciones que se van a considerar en este anejo de comprobación estructural son las siguientes:

#### 3.5.1. Acciones permanentes de valor constante ( $G_k$ ).

Son las cargas permanentes de valor constante, que actúan de forma permanente y sin variación de posición y magnitud sobre la estructura.

##### ❖ *Peso propio.*

Esta acción, correspondiente al peso de los elementos estructurales, es considerada por el software de cálculo empleado. No será necesario introducir la carga de peso propio como acción exterior. Su actuación se tiene en cuenta en el estado de carga para cargas permanentes, que posteriormente se emplea en combinaciones mayorado.

Su valor se obtiene a partir de las dimensiones especificadas en los planos y del peso específico del material constitutivo.

-Peso propio del hormigón: 25,00KN/m<sup>3</sup>

##### ❖ *Cargas muertas.*

Son las debidas a todos los elementos no estructurales que gravitan sobre la estructura. Se considera como tal el peso de las tierras sobre el marco. Así mismo habría que considerar el peso de la superestructura del ferrocarril que pasa sobre el marco, pero esto lo implementamos aumentando la altura de tierras un poco y así nos quedamos del lado de la seguridad. Esta solicitación no interviene en el cálculo de las aletas.

La rebanada de marco que se va a calcular corresponde a la que más altura de tierras tenga, en este caso 1,088m de tierras, desde el techo de la losa superior hasta la coronación.

Con estos datos se puede conocer que fuerza actúa sobre el techo del marco. Ésta será una carga distribuida uniforme con un valor de 21,76KN/m.

$$Y * H = 21,76KN/m$$

### 3.5.2. Acciones permanentes de valor no constante ( $G_k^*$ )

Estas cargas pueden variar en posición y magnitud durante la vida útil de la estructura. En este grupo incluimos los empujes del terreno sobre la estructura.

#### ❖ *Empuje del terreno al reposo.*

El empuje al reposo será el mayor a los dos que se van a considerar, se produce cuando no existe movimiento de la estructura hacia el terreno ni viceversa.

Dicho empuje, es el incremento que sufre el empuje activo hasta alcanzar el empuje al reposo.

Rankine determinó dos expresiones para la determinación del coeficiente empuje al reposo según si terreno estuviera normalmente consolidado o sobreconsolidado. Analizando e interpretando el estudio geotécnico del proyecto se determina que el terreno es normalmente consolidado, por lo que la expresión que proporciona el coeficiente de empuje al reposo es:

$$K_o = 1 - \sin \Phi'$$

Donde:

$\Phi$ : ángulo de rozamiento interno del terreno.

La expresión que proporciona el empuje horizontal de tierras será:

$$E_o = K_o * \gamma_{aparente} * Z$$

Donde:

$E_o$ : Empuje de tierras en reposo.

$K_o$ : Coeficiente de empuje en reposo.

$\gamma_{aparente}$ : Peso específico aparente.

$Z$ : Profundidad, con origen en la superficie del terreno y signo positivo descendente.

Los valores máximos y mínimos obtenidos también corresponderán con los nodos extremos de los hastiales.

❖ *Empuje activo del terreno.*

Este empuje debido a que el coeficiente de empuje activo es menor que en el caso anterior, dará como resultado una menor resultante. El empuje activo se da en la situación en la que el terreno se mueve hacia la estructura, esto se puede dar en ocasiones en las que la estructura deforme y permita que el terreno se mueva en su dirección.

El empuje activo fue estudiado por Coulomb y propuso la siguiente expresión para obtener el coeficiente de empuje activo.

$$K_a = \frac{1 - \sin \Phi'}{1 + \sin \Phi'}$$

La expresión que nos proporciona el empuje horizontal de tierras será:

$$E_a = K_a * Y_{aparente} * Z$$

Donde:

$E_a$ : Empuje activo.

$K_a$ : Coeficiente de empuje activo.

$Y_{aparente}$ : Peso específico aparente.

$Z$ : Profundidad, con origen en la superficie del terreno y signo positivo descendente.

### 3.5.3. Acciones variables ( $Q_k$ )

Al no disponer de normativa específica sobre las acciones a considerar en este tipo de estructuras, se emplean las que presenta la *Instrucción de acciones a considerar en puentes de ferrocarril (IAPF)*.

Las acciones variables están constituidas por un conjunto de acciones verticales, longitudinales y transversales al puente, con sus efectos dinámicos correspondientes. Se aplicarán individualmente o combinadas entre sí, en las posiciones y condiciones que resulten más desfavorables para el elemento y efecto en estudio. Podrán actuar tan sólo en una parte limitada de la estructura o incluso no actuar.

Las acciones variables que hay que considerar en este proyecto son las de sobrecarga de uso, producidas por el uso del tren de cargas ferroviarias que circula sobre el paso inferior.

### 3.5.3.1. Cargas verticales. Tren de cargas.

En el apartado 2.3.1 de la IAPF estipula que la carga estática producida por el peso de los vehículos ferroviarios sobre una vía, aplicada en el eje de la vía y a nivel de su plano de rodadura; se define por las acciones siguientes actuando simultáneamente.

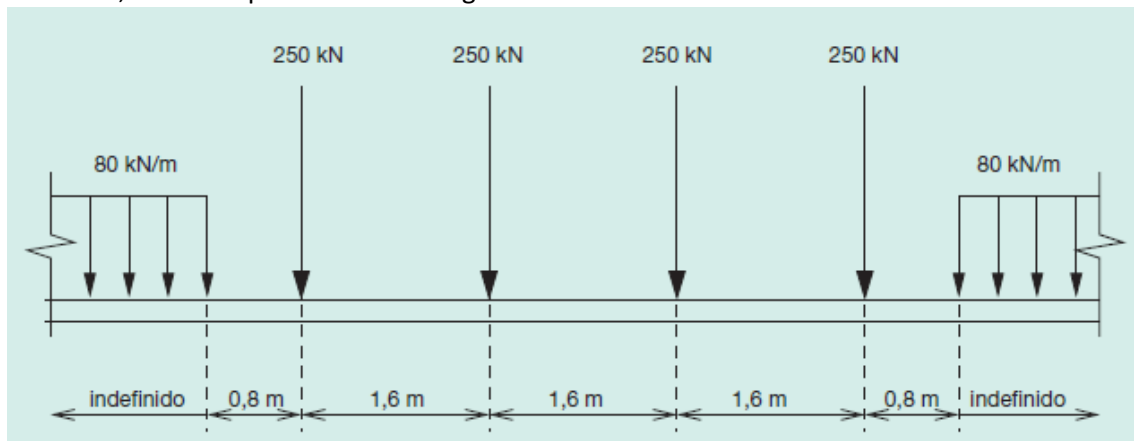


Ilustración 3. Tren de cargas verticales UIC71.

#### ❖ Sobre carga de uso puntual.

La IAPF establece una serie de fuerzas puntuales que deben tenerse en cuenta a la hora de proyectar la estructura. Se consideran cuatro fuerzas de 250KN cada uno, separadas longitudinalmente entre sí 1,6m, en la posición más desfavorable para el elemento y efecto de estudio.

La carga sobre cada traviesa se podrá distribuir con una pendiente 4V:1H a través del espesor del balasto.

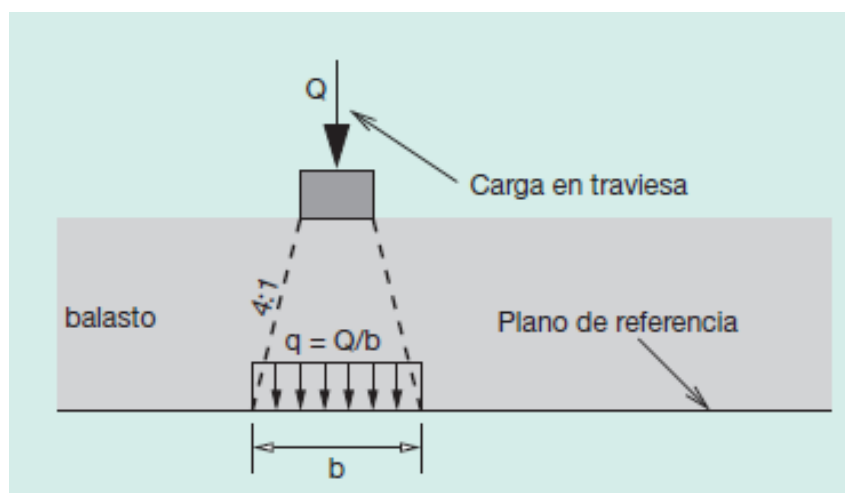


Ilustración 4. Reparto longitudinal de una carga puntual sobre la traviesa a través del balasto.

❖ *Sobrecarga de uso distribuida.*

Se estipula dos cargas de 80KN/m, no se dispondrá en una longitud igual a 6,4m centrada con los cuatro ejes definidos anteriormente.

Las acciones anteriores se multiplican por un coeficiente de clasificación,  $\alpha$ , cuyo valor es:

$\alpha=1,21$  para vías de ancho ibérico o UIC.

3.5.3.2. *Sobrecarga en terraplenes.*

Consiste en un empuje que actúa uniformemente sobre los laterales del marco

Esta sobrecarga sólo se tendrá en cuenta cuando la distancia horizontal entre el eje de la vía y la estructura sea menor o igual que la mitad de su altura. Siendo este el caso que se da en la estructura calculada, se consideran una sobrecarga uniforme de 30KN/m<sup>2</sup> que va multiplicada por un coeficiente.

Esta sollicitación también intervendrá en el cálculo de las aletas.

### 3.6.COMBINACIÓN DE ACCIONES.

Las acciones consideradas en el cálculo del marco se han dividido en distintos grupos, en función de su carácter, para poder combinar correctamente los esfuerzos que engendran, siguiendo las directrices expuestas en el capítulo 3 de la Norma EHE y en los capítulos 4 y 5 de la IAPF. El valor de las acciones se ha determinado en función de las características y uso de la estructura y las normativas especificadas en los apartados anteriores siguiendo en todo momento la *Instrucción de acciones a considerar en puentes de ferrocarril*.

#### 3.6.1. Procedimiento de análisis y dimensionamiento.

Para el análisis de la estructura el proceso general de cálculo seguido es el establecido en la Norma EHE-08, y conocido con el nombre de los estados límites.

Los estados límites a comprobar son:

❖ *ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (E.L.U.)*

- ✓ *Agotamiento frente a sollicitaciones normales.* Se utilizan los dominios de deformación siguiendo el artículo 42 de EHE-08 para determinar las armaduras necesarias que resistan los esfuerzos de flexión longitudinalmente y transversalmente. Las secciones de hormigón armado se dimensionan en estado límite último, empleando el diagrama parábola rectángulo, con los diagramas de tensión-deformación del hormigón. En el caso del acero, se utiliza su diagrama tensión-deformación. Generalmente se comprueban los límites exigidos como puedan ser: las cuantías mínimas geométricas y mecánicas, así como las disposiciones indicadas (separaciones mínimas y máximas, diámetros mínimos, etc.).
- ✓ *A cortante.* Con el fin de hallar el armado adecuado en los estribos que puedan soportar los esfuerzos cortantes. Como para el caso anterior las exigencias tanto de diámetros como separaciones entre estribos se realiza acatando la normativa.

Los valores de los coeficientes parciales de seguridad  $\gamma_F$  para los estados límite últimos están recogidos en el Cuadro 4.1 de la IAPF.

Cuadro 1. Valores de los coeficientes parciales de seguridad para los estados límite últimos.

TIPO DE ACCIÓN		SITUACIÓN PERSISTENTE O TRANSITORIA		SITUACIÓN ACCIDENTAL	
		EFFECTO FAVORABLE	EFFECTO DESFAVORABLE	EFFECTO FAVORABLE	EFFECTO DESFAVORABLE
Permanente de valor constante <sup>(1) (2)</sup>		$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,35$	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Permanente de valor no constante	Pretensado $P_1$ <sup>(3)</sup>	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,00$
	Pretensado $P_2$ <sup>(4)</sup>	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,35$	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,00$
	Otra presolicitación <sup>(3)</sup>	$\gamma_G^* = 0,95$	$\gamma_G^* = 1,05$	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,00$
	Reológica	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,35$	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,00$
	Acción o asiento del terreno	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,50$	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,00$
Variable		$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,50$	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$
Accidental		—	—	$\gamma_A = 1,00$	$\gamma_A = 1,00$

#### ❖ ESTADO LÍMITE DE SERVICIO (E.L.S.)

- ✓ *Fisuración.* En este apartado se procede a comprobar si la sección fisura y en su caso que la abertura de fisura sea inferior a la estipulada por la norma para cumplir las exigencias de durabilidad, funcionalidad, estanqueidad y apariencia.
- ✓ *Deformación.* Se verifica que las deformaciones (flecha máxima) que se puedan producir en el marco no condicionen, la puesta en servicio de la construcción por motivos estéticos, funcionales, etc.

Los valores de los coeficientes parciales de seguridad  $\gamma_F$  están recogidos en el Cuadro 4.2 de la IAPF.

Cuadro2. Valores de los coeficientes parciales de seguridad para los estados límite de servicio.

TIPO DE ACCIÓN		SITUACIÓN PERSISTENTE O TRANSITORIA	
		EFFECTO FAVORABLE	EFFECTO DESFAVORABLE
Permanente de valor constante		$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Permanente de valor no constante	Pretensado $P_1$ Armaduras postesas	$\gamma_{G^*} = 0,90$	$\gamma_{G^*} = 1,10$
	Pretensado $P_1$ Armaduras pretesas	$\gamma_{G^*} = 0,95$	$\gamma_{G^*} = 1,05$
	Pretensado $P_2$	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
	Otra presolicitación	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
	Reológica	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
	Acción o asiento del terreno	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
Variable		$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$

### 3.6.2. Hipótesis de carga.

Las hipótesis de carga a considerar se obtienen combinando los valores de cálculo con las acciones.

Para los estados límite último (E.L.U.) las situaciones consideradas son:

Para la comprobación de los Estados Límites Últimos se considerarán las situaciones persistentes y transitorias, y las accidentales con o sin sismo.

- **Situaciones persistentes o transitorias**

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} \cdot G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} \cdot G_{k,j}^* + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

- **Situaciones accidentales. Sin sismo:**

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} \cdot G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} \cdot G_{k,j}^* + \gamma_A \cdot A_k + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

- **Situaciones accidentales. Con sismo:**

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} \cdot G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} \cdot G_{k,j}^* + \gamma_A \cdot A_{E,k} + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{2,1} \cdot Q_{k,1}$$

Para los estados límite de servicio (E.L.S.) las situaciones consideradas son:

Para las comprobaciones relativas a los Estados Límites de servicio se considerarán únicamente las situaciones persistentes y transitorias, excluyéndose las accidentales.

Las combinaciones de las distintas acciones consideradas en estas situaciones, se realizarán de acuerdo con el siguiente criterio:

- **Combinación característica (poco probable o rara)**

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} \cdot G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} \cdot G_{k,j}^* + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

- **Combinación frecuente**

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} \cdot G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} \cdot G_{k,j}^* + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

- **Combinación cuasi-permanente**

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} \cdot G_{k,i} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} \cdot G_{k,j}^* + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Los valores de los coeficientes  $\Psi$  son los siguientes:

ACCIONES	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Cargas de tráfico	0,8	(1)	0
Resto de acciones variables	0,6	0,5	0,2

*Cuadro 3. Valores de los coeficientes de simultaneidad.*

## 4. MODELO DE CÁLCULO

Se determinarán dos modelos independientes entre sí; uno para las aletas y otro para el marco, y se analizarán por separado.

### 4.1. Dimensionamiento del marco

El marco de hormigón se modelizará con el programa de cálculo y obteniendo como resultado los esfuerzos sobre la estructura. El SAP2000 es un programa de elementos finitos tipo viga, si introdujéramos un solo elemento para cada losa y un solo elemento para cada hastial las leyes de esfuerzos obtenidas con el programa diferirían mucho de las reales. Por eso se opta por dividir cada uno de los elementos en 10 elementos tipo barra, de esta forma el modelo se ajusta más al real y se tiene una casuística de estados de carga mucho más amplia que con la forma más simplificada. Por tanto las losas superior e inferior y los dos hastiales se dividirán cada uno en 10 módulos de igual longitud.

Para el análisis de todo el marco tan solo se modelizará una rebanada de 1 m de ancho; esta rebanada soportará las mayores cargas de todo el marco y se extenderán del lado de la seguridad los datos obtenidos para esta rebanada a todo el marco. Pero esto requeriría un estudio que escapa a la dimensión de este proyecto. Con el modelo de cálculo empleado los resultados que obtenidos serán más restrictivos y por tanto del lado de la seguridad.

En cuanto a la relación entre estructura y terreno esta será modelizada mediante el método del coeficiente de balasto. Este método consiste en simular la deformabilidad del terreno como un número finito de muelles con cierta rigidez. Esta rigidez es el denominado coeficiente de balasto, característico de cada terreno y de sus características mecánicas. El coeficiente de balasto es igual a 1.600KN/m<sup>3</sup>. Estos muelles se distribuirán a lo largo de la losa inferior; colocaremos un total de 10 muelles haciéndolos coincidir con el final de cada módulo.



Así, la constante vendrá determinada mediante la siguiente fórmula:

$$Rigidez(KN/m) = Coeficiente\ de\ balasto \times Área\ de\ influencia$$

Tenemos:

- ✓ Coeficiente de balasto de 1.600KN/m<sup>3</sup>
- ✓ El eje de la solera mide 8,90 m y contiene 10 barras, la dimensión de cada barra es de 0,89m. De este modo, la rigidez del muelle será:

$$Rigidez(KN/m) = 1600 \times \left\{ \frac{8,90}{10} \times 1 \right\} = 1424\ KN/m$$

A cada una de las barras se les ha asignado una sección: de 1,0 m de canto para la losa superior e inferior y 0,9 m de canto para los hastiales.

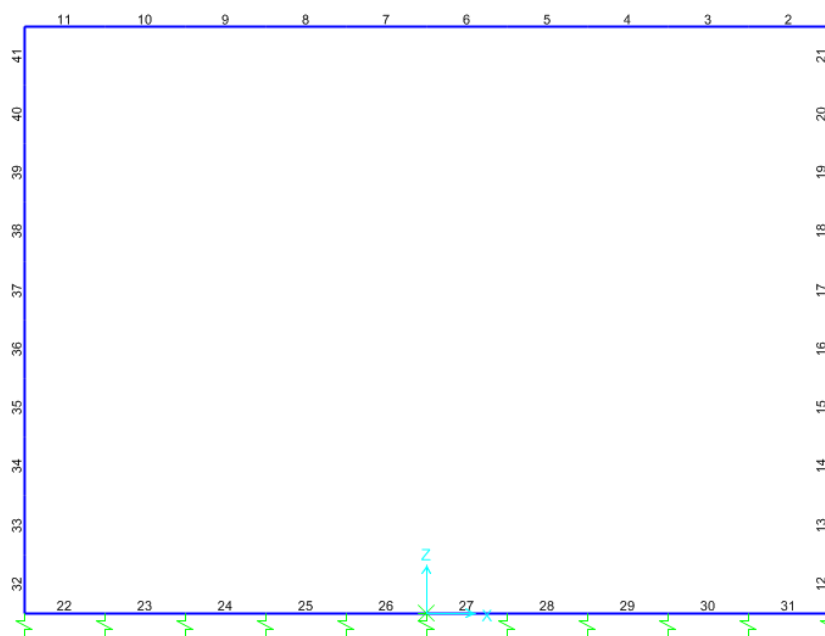


Ilustración 5. Modelo definido.

#### 4.1.1. Introducción decargas.

Se expone como han sido explicitadas al software de cálculo las solicitaciones actuantes en el marco. La forma de sintetizar las cargas corresponde tanto a la necesidad para que el programa lo asimile como para el cálculo de envolventes de esfuerzo posterior.

Las acciones que se describen a continuación se introducen en el modelo sobre la geometría descrita con las siguientes consideraciones:

Las cargas de peso propio, cargas muertas, empujes del terreno y sobrecargas distribuidas se introducen como cargas distribuidas superficiales.

Las cargas correspondientes al tren de cargas se reparten transversalmente a través del terreno, con lo que también se introducen en el modelo como cargas por unidad de superficie.

El modelo contempla diferentes posiciones del tren de cargas sobre la losa superior, dimensionando posteriormente para la envolvente de todas las posiciones del carro.

❖ *Peso propio.*

Su valor se obtiene a partir de las dimensiones especificadas en los planos y del peso específico del material constitutivo.

-Peso propio del hormigón:  $25,00\text{KN/m}^3$

❖ *Cargas muertas.*

La rebanada de marco que se va a calcular corresponde a la que más altura de tierras tenga, en nuestro caso  $1,088\text{m}$  de tierras, desde el techo de la losa superior hasta la coronación.

Con estos datos se puede conocer la fuerza actuante sobre el techo del marco. Ésta será una carga distribuida uniforme con un valor de  $21,76\text{KN/m}^2$ .

$$\gamma * H = 21,76\text{KN/m}^2$$

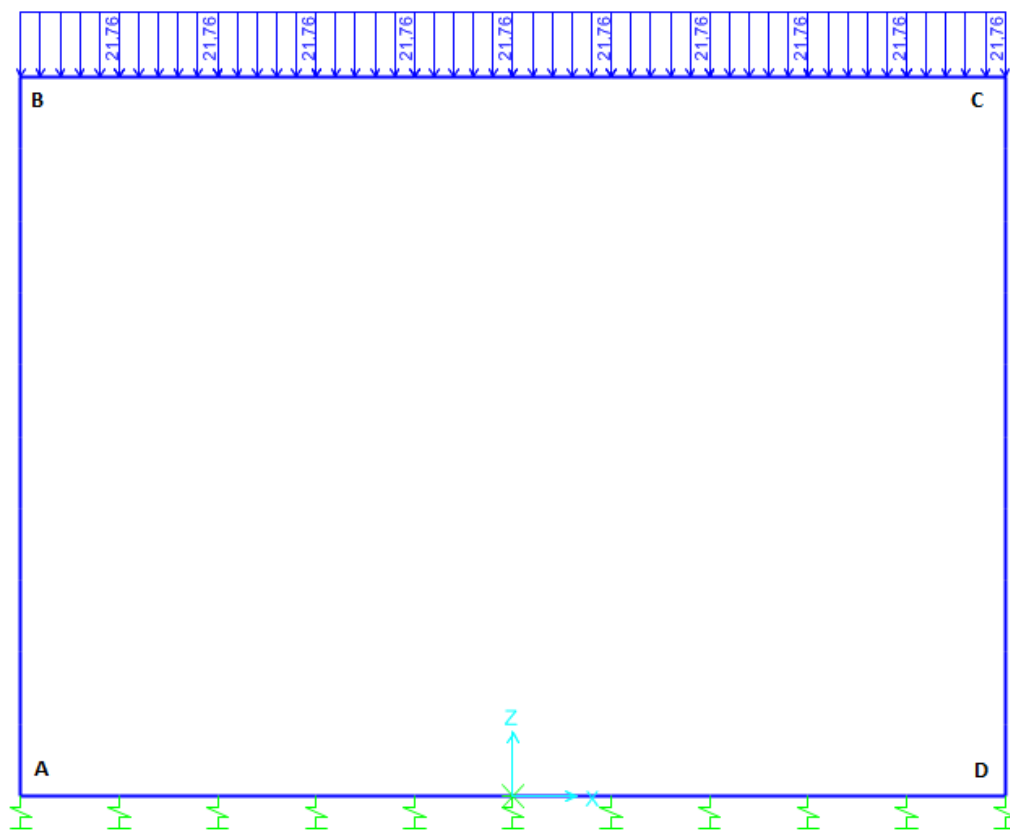


Ilustración 6. Cargas muertas

❖ *Empuje activo del terreno.*

La expresión que proporciona el empuje horizontal de tierras será:

$$E_a = K_a * \gamma_{aparente} * Z$$

$$K_a = \frac{1 - \sin \Phi'}{1 + \sin \Phi'} = \frac{1 - \sin 30}{1 + \sin 30} = 0,3333$$

-Para el hastial izquierdo:

$$\text{Nudo A: } E_a = 7,588 \times 20 \times 0,333 = 10,481 \text{ KN/m}$$

$$\text{Nudo B: } E_a = 1,588 \times 20 \times 0,333 = 50,081 \text{ KN/m}$$

- Para el hastial derecho:

$$\text{Nudo C: } E_a = -1,588 \times 20 \times 0,333 = -10,481 \text{ KN/m}$$

$$\text{Nudo D: } E_a = -7,588 \times 20 \times 0,333 = -50,081 \text{ KN/m}$$

Este empuje dará lugar a una distribución trapezoidal similar al representado en la figura siguiente para los empujes activos. Los valores máximos y mínimos obtenidos también corresponderán con los nodos extremos de los hastiales.

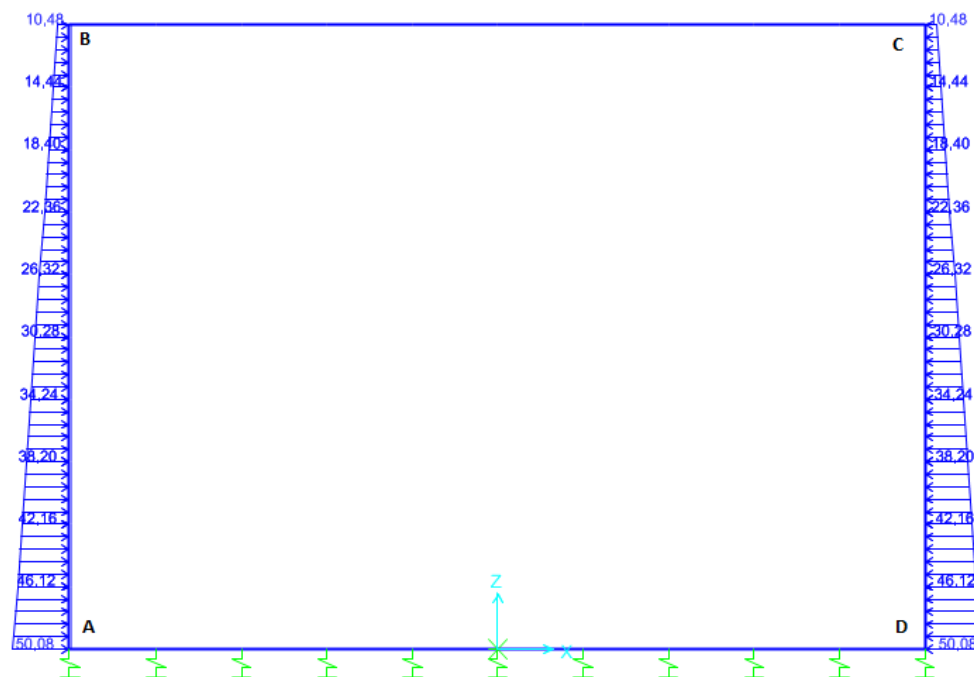


Ilustración 7. Empuje activo.

❖ *Empuje del terreno al reposo.*

La expresión que proporciona el empuje horizontal de tierras será:

$$E_o = K_o * \gamma_{aparente} * Z$$

$$K_o = 1 - \sin \Phi' = 1 - \sin 30 = 0,5$$

-Para el hastial izquierdo:

Nudo A:  $E_o = 7,588 \times 20 \times 0,5 = 75,88 \text{ KN/m}$

Nudo B:  $E_o = 1,588 \times 20 \times 0,5 = 15,88 \text{ KN/m}$

- Para el hastial derecho:

Nudo C:  $E_o = -1,588 \times 20 \times 0,5 = -15,88 \text{ KN/m}$

Nudo D:  $E_o = -7,588 \times 20 \times 0,5 = -75,88 \text{ KN/m}$

Este empuje dará lugar a una distribución trapezoidal similar al representado en la figura siguiente para los empujes al reposo. Los valores máximos y mínimos obtenidos también corresponderán con los nodos extremos de los hastiales.

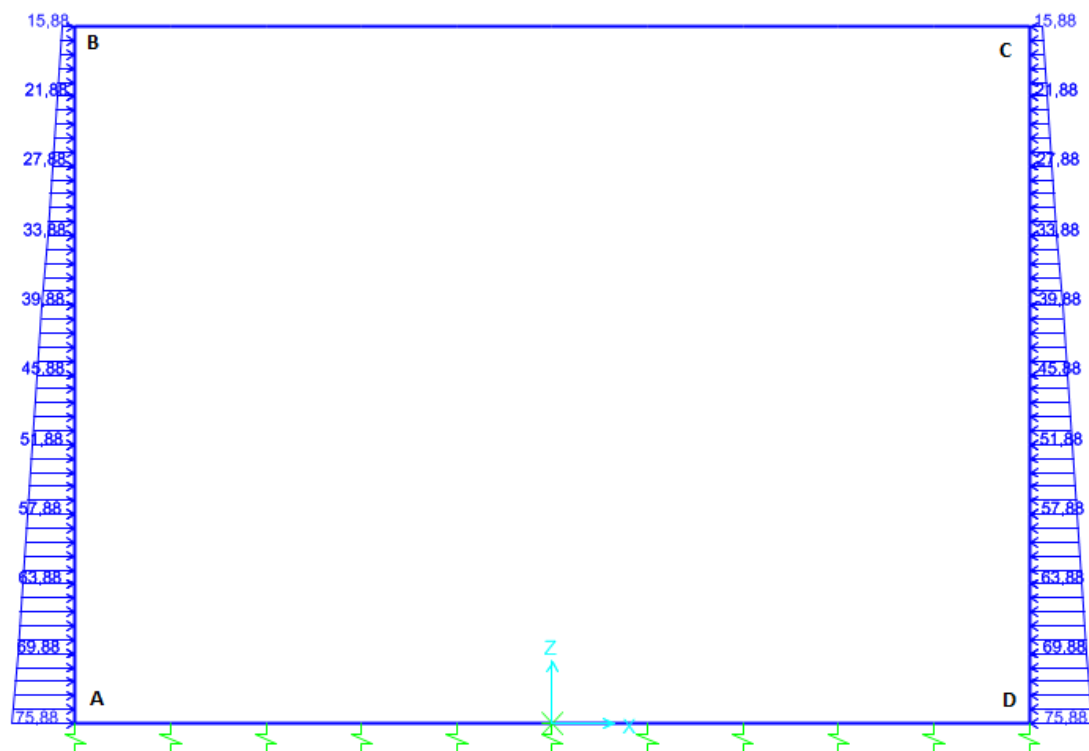


Ilustración 8. Empuje al reposo.

❖ *Sobrecarga de uso.*

En el apartado 3.5.3.1 se ha explicado que el efecto de estas cargas depende de la profundidad a la que se encuentra la estructura, ya que siendo enterrada éstas se distribuyen en un área mayor. Las cargas se reparten de forma piramidal con un ángulo de las caras laterales de 60° respecto a la horizontal.

Para el caso de las cargas puntuales se calcula el área de actuación en las dos direcciones (transversal y longitudinal).

$$B = b + \frac{2 * H}{\tan 60} = 2,6 + \frac{2 * 1,088}{\tan 60} = 3,86m$$

Donde:

b, ancho de la traviesa.

H, altura de tierras.

De ahí:

$$q = \frac{P_t}{\text{Área de afección}} = \frac{4 * 250}{6,4 * 3,86} = 40,52 \text{ KN/m}^2$$

Donde:

P<sub>t</sub>, es la carga total.

Para el caso de las cargas distribuidas el área de afección es la B, calculada anteriormente por un metro de longitud. Entonces:

$$q = \frac{q_r}{\text{Área de afección}} = \frac{80}{3,86 * 1} = 20,72 \text{ KN/m}^2$$

Las cargas anteriores han de multiplicarse por un coeficiente α, teniendo así la carga estática.

α=1,21 para vías de ancho ibérico o UIC.

Por otra parte, siguiendo la IAPF, los esfuerzos dinámicos máximos producidos por los trenes reales, se obtendrán multiplicando los esfuerzos estáticos por un coeficiente de impacto envolvente (Φ). Se calcula de la siguiente manera:

Seleccionamos el coeficiente de impacto Φ<sub>2</sub>, ya que tenemos una vía con un grado de mantenimiento bueno al tratarse de un tren de alta velocidad V>200Km/h.

$$\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,82 = 1,334$$

Dónde:

$L_\Phi$ : longitud determinante para vigas principales. Definido en cuadro B.4, caso 5.3 por lo que su valor es de 9,013m ( $K=1,3$  y  $n=3$ )

CASO	ELEMENTO ESTRUCTURAL	LONGITUD DETERMINANTE ( $L_\phi$ )										
5.1	Vigas y losas simplemente apoyadas (incluyendo vigas metálicas embebidas en el hormigón)	Luz del vano en la dirección principal de la viga										
5.2	Vigas y losas continuas de n vanos, con $L_m = \frac{1}{n}(L_1 + L_2 + \dots + L_n)$	$L_\phi = kL_m$ , pero no menor que $\max L_i$ ( $i = 1 \dots n$ ) <table><tr><td><math>n=</math></td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td><math>\geq 5</math></td></tr><tr><td><math>k=</math></td><td>1,2</td><td>1,3</td><td>1,4</td><td>1,5</td></tr></table>	$n=$	2	3	4	$\geq 5$	$k=$	1,2	1,3	1,4	1,5
$n=$	2	3	4	$\geq 5$								
$k=$	1,2	1,3	1,4	1,5								
5.3	Estructuras porticadas —vano único	Se considera como una viga continua de tres vanos (se utiliza 5.2, con las longitudes del dintel y las de los pilares)										
	—múltiples vanos	Se considera como una viga continua de múltiples vanos (se utiliza 5.2, con las longitudes de los dinteles y de los pilares extremos)										

Cuadro 4. Longitudes determinantes  $L_\Phi$  para vigas principales (longitudes).

Establecidos los coeficientes  $\alpha$  y  $\Phi_2$  los valores de las cargas son:

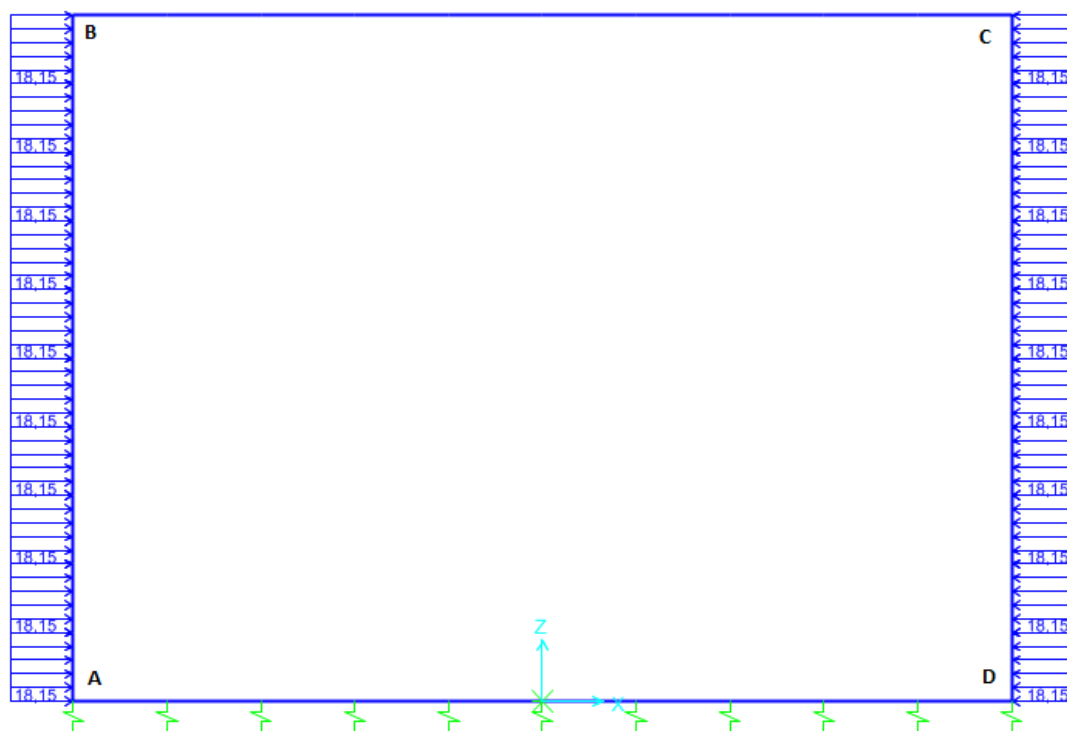
Carga puntual,  $q(250)=65,40\text{KN/m}^2$

Carga distribuida,  $q(80)=33,45\text{KN/m}^2$

❖ *Sobrecarga de terraplenes.*

Para realizar el cálculo se ha tomado como máximo valor del empuje sobre los hastiales el propiciado por el empuje al reposo. Se han seguido los mismos pasos que en el apartado Acciones permanentes de valor no constante ( $G^*$ ) por tratarse del mismo terreno, si bien se ha sustituido la expresión del empuje por la siguiente al no variar su magnitud con la profundidad:

$$E_{SC} = 30 * \alpha * K_0 = 30 * 1,21 * 0,5 = 18,15 \text{ KN/m}^2$$



*Ilustración 9. Sobrecarga de terraplenes.*

#### 4.1.2. Verificación del estado límite último

Calculadas todas las cargas, que se le aplicarán a la estructura de elementos finitos modelizada en el apartado 4.1 de este mismo anejo.

Según lo indicado en el apartado 3.6.2 de este anejo se combinan las cargas ya partir de estas, se obtienen las envolventes correspondientes a cada una de ellas.

De estas envolventes obtenemos los valores máximos y mínimos de los axiles, cortantes y flectores así como sus concomitantes.

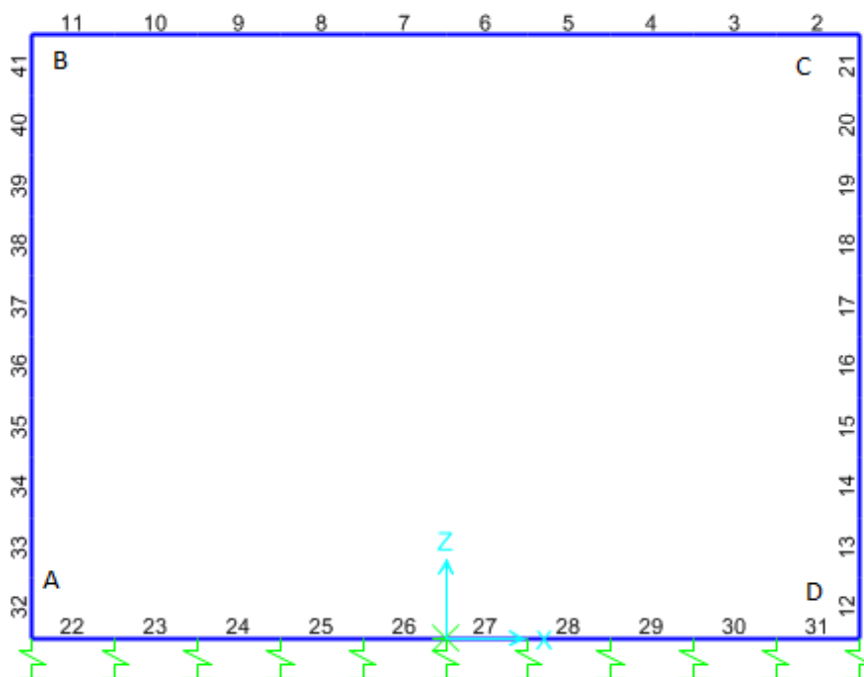


Ilustración 10. Sección definida SAP2000

A continuación se adjuntan las tablas de las envolventes de esfuerzos proporcionadas por el software.

Table: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Frame	Station m	OutputCase	CaseType	StepType	P KN	V3 KN	T KN-m
2	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
2	0,00100	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
2	0,00100	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
2	0,44500	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
2	0,88900	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
2	0,88900	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
2	0,89000	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
2	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
2	0,00100	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
2	0,00100	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
2	0,44500	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
2	0,88900	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
2	0,88900	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
2	0,89000	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000



Table: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Frame	Station m	OutputCase	CaseType	StepType	P KN	V3 KN	T KN-m
3	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
3	0,00100	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
3	0,00100	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
3	0,44500	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
3	0,88900	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
3	0,88900	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
3	0,89000	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
3	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
3	0,00100	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
3	0,00100	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
3	0,44500	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
3	0,88900	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
3	0,88900	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
3	0,89000	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
4	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
4	0,00100	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
4	0,00100	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
4	0,44500	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
4	0,88900	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
4	0,88900	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
4	0,89000	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
4	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
4	0,00100	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
4	0,00100	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
4	0,44500	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
4	0,88900	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
4	0,88900	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
4	0,89000	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
5	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
5	0,00100	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
5	0,00100	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
5	0,44500	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
5	0,88900	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
5	0,88900	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
5	0,89000	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
5	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
5	0,00100	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
5	0,00100	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
5	0,44500	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
5	0,88900	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
5	0,88900	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
5	0,89000	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
6	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
6	0,00100	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
6	0,00100	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
6	0,44500	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
6	0,88900	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
6	0,88900	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
6	0,89000	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
6	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
6	0,00100	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
6	0,00100	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
6	0,44500	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
6	0,88900	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
6	0,88900	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000

Table: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Frame	Station m	OutputCase	CaseType	StepType	P KN	V3 KN	T KN-m
6	0,89000	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
7	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
7	0,00100	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
7	0,00100	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
7	0,44500	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
7	0,88900	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
7	0,88900	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
7	0,89000	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
7	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
7	0,00100	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
7	0,00100	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
7	0,44500	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
7	0,88900	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
7	0,88900	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
7	0,89000	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
8	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
8	0,00100	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
8	0,00100	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
8	0,44500	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
8	0,88900	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
8	0,88900	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
8	0,89000	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
8	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
8	0,00100	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
8	0,00100	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
8	0,44500	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
8	0,88900	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
8	0,88900	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
8	0,89000	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
9	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
9	0,00100	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
9	0,00100	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
9	0,44500	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
9	0,88900	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
9	0,88900	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
9	0,89000	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
9	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
9	0,00100	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
9	0,00100	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
9	0,44500	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
9	0,88900	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
9	0,88900	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
9	0,89000	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
10	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
10	0,00100	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
10	0,00100	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
10	0,44500	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
10	0,88900	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
10	0,88900	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
10	0,89000	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
10	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
10	0,00100	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
10	0,00100	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
10	0,44500	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
10	0,88900	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000

Table: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Frame	Station m	OutputCase	CaseType	StepType	P KN	V3 KN	T KN-m
10	0,88900	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
10	0,89000	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
11	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
11	0,00100	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
11	0,00100	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
11	0,44500	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
11	0,88900	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
11	0,88900	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
11	0,89000	ELU persistente	Combination	Max	-685,977	0,000	0,0000
11	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
11	0,00100	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
11	0,00100	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
11	0,44500	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
11	0,88900	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
11	0,88900	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
11	0,89000	ELU persistente	Combination	Min	-714,073	0,000	0,0000
12	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-643,035	0,000	0,0000
12	0,32500	ELU persistente	Combination	Max	-633,163	0,000	0,0000
12	0,65000	ELU persistente	Combination	Max	-623,291	0,000	0,0000
12	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-1064,375	0,000	0,0000
12	0,32500	ELU persistente	Combination	Min	-1054,504	0,000	0,0000
12	0,65000	ELU persistente	Combination	Min	-1044,632	0,000	0,0000
13	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-623,291	0,000	0,0000
13	0,32500	ELU persistente	Combination	Max	-613,420	0,000	0,0000
13	0,65000	ELU persistente	Combination	Max	-603,548	0,000	0,0000
13	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-1044,632	0,000	0,0000
13	0,32500	ELU persistente	Combination	Min	-1034,760	0,000	0,0000
13	0,65000	ELU persistente	Combination	Min	-1024,888	0,000	0,0000
14	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-603,548	0,000	0,0000
14	0,32500	ELU persistente	Combination	Max	-593,676	0,000	0,0000
14	0,65000	ELU persistente	Combination	Max	-583,804	0,000	0,0000
14	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-1024,888	0,000	0,0000
14	0,32500	ELU persistente	Combination	Min	-1015,016	0,000	0,0000
14	0,65000	ELU persistente	Combination	Min	-1005,144	0,000	0,0000
15	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-583,804	0,000	0,0000
15	0,32500	ELU persistente	Combination	Max	-573,932	0,000	0,0000
15	0,65000	ELU persistente	Combination	Max	-564,060	0,000	0,0000
15	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-1005,144	0,000	0,0000
15	0,32500	ELU persistente	Combination	Min	-995,272	0,000	0,0000
15	0,65000	ELU persistente	Combination	Min	-985,400	0,000	0,0000
16	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-564,060	0,000	0,0000
16	0,32500	ELU persistente	Combination	Max	-554,188	0,000	0,0000
16	0,65000	ELU persistente	Combination	Max	-544,316	0,000	0,0000
16	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-985,400	0,000	0,0000
16	0,32500	ELU persistente	Combination	Min	-975,529	0,000	0,0000
16	0,65000	ELU persistente	Combination	Min	-965,657	0,000	0,0000
17	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-544,316	0,000	0,0000
17	0,32500	ELU persistente	Combination	Max	-534,445	0,000	0,0000
17	0,65000	ELU persistente	Combination	Max	-524,573	0,000	0,0000
17	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-965,657	0,000	0,0000
17	0,32500	ELU persistente	Combination	Min	-955,785	0,000	0,0000
17	0,65000	ELU persistente	Combination	Min	-945,913	0,000	0,0000
18	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-524,573	0,000	0,0000
18	0,32500	ELU persistente	Combination	Max	-514,701	0,000	0,0000
18	0,65000	ELU persistente	Combination	Max	-504,829	0,000	0,0000

Table: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Frame	Station m	OutputCase	CaseType	StepType	P KN	V3 KN	T KN-m
18	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-945,913	0,000	0,0000
18	0,32500	ELU persistente	Combination	Min	-936,041	0,000	0,0000
18	0,65000	ELU persistente	Combination	Min	-926,169	0,000	0,0000
19	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-504,829	0,000	0,0000
19	0,32500	ELU persistente	Combination	Max	-494,957	0,000	0,0000
19	0,65000	ELU persistente	Combination	Max	-485,085	0,000	0,0000
19	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-926,169	0,000	0,0000
19	0,32500	ELU persistente	Combination	Min	-916,297	0,000	0,0000
19	0,65000	ELU persistente	Combination	Min	-906,425	0,000	0,0000
20	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-485,085	0,000	0,0000
20	0,32500	ELU persistente	Combination	Max	-475,213	0,000	0,0000
20	0,65000	ELU persistente	Combination	Max	-465,341	0,000	0,0000
20	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-906,425	0,000	0,0000
20	0,32500	ELU persistente	Combination	Min	-896,554	0,000	0,0000
20	0,65000	ELU persistente	Combination	Min	-886,682	0,000	0,0000
21	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-465,341	0,000	0,0000
21	0,32500	ELU persistente	Combination	Max	-455,470	0,000	0,0000
21	0,65000	ELU persistente	Combination	Max	-445,598	0,000	0,0000
21	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-886,682	0,000	0,0000
21	0,32500	ELU persistente	Combination	Min	-876,810	0,000	0,0000
21	0,65000	ELU persistente	Combination	Min	-866,938	0,000	0,0000
22	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-1026,578	0,000	0,0000
22	0,44500	ELU persistente	Combination	Max	-1026,578	0,000	0,0000
22	0,89000	ELU persistente	Combination	Max	-1026,578	0,000	0,0000
22	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-1054,674	0,000	0,0000
22	0,44500	ELU persistente	Combination	Min	-1054,674	0,000	0,0000
22	0,89000	ELU persistente	Combination	Min	-1054,674	0,000	0,0000
23	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-1026,578	0,000	0,0000
23	0,44500	ELU persistente	Combination	Max	-1026,578	0,000	0,0000
23	0,89000	ELU persistente	Combination	Max	-1026,578	0,000	0,0000
23	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-1054,674	0,000	0,0000
23	0,44500	ELU persistente	Combination	Min	-1054,674	0,000	0,0000
23	0,89000	ELU persistente	Combination	Min	-1054,674	0,000	0,0000
24	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-1026,578	0,000	0,0000
24	0,44500	ELU persistente	Combination	Max	-1026,578	0,000	0,0000
24	0,89000	ELU persistente	Combination	Max	-1026,578	0,000	0,0000
24	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-1054,674	0,000	0,0000
24	0,44500	ELU persistente	Combination	Min	-1054,674	0,000	0,0000
24	0,89000	ELU persistente	Combination	Min	-1054,674	0,000	0,0000
25	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-1026,578	0,000	0,0000
25	0,44500	ELU persistente	Combination	Max	-1026,578	0,000	0,0000
25	0,89000	ELU persistente	Combination	Max	-1026,578	0,000	0,0000
25	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-1054,674	0,000	0,0000
25	0,44500	ELU persistente	Combination	Min	-1054,674	0,000	0,0000
25	0,89000	ELU persistente	Combination	Min	-1054,674	0,000	0,0000
26	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-1026,578	0,000	0,0000
26	0,44500	ELU persistente	Combination	Max	-1026,578	0,000	0,0000
26	0,89000	ELU persistente	Combination	Max	-1026,578	0,000	0,0000
26	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-1054,674	0,000	0,0000
26	0,44500	ELU persistente	Combination	Min	-1054,674	0,000	0,0000
26	0,89000	ELU persistente	Combination	Min	-1054,674	0,000	0,0000
27	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-1026,570	0,000	0,0000
27	0,44500	ELU persistente	Combination	Max	-1026,570	0,000	0,0000
27	0,89000	ELU persistente	Combination	Max	-1026,570	0,000	0,0000
27	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-1054,666	0,000	0,0000

Table: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Frame	Station m	OutputCase	CaseType	StepType	P KN	V3 KN	T KN-m
27	0,44500	ELU persistente	Combination	Min	-1054,666	0,000	0,0000
27	0,89000	ELU persistente	Combination	Min	-1054,666	0,000	0,0000
28	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-1026,570	0,000	0,0000
28	0,44500	ELU persistente	Combination	Max	-1026,570	0,000	0,0000
28	0,89000	ELU persistente	Combination	Max	-1026,570	0,000	0,0000
28	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-1054,666	0,000	0,0000
28	0,44500	ELU persistente	Combination	Min	-1054,666	0,000	0,0000
28	0,89000	ELU persistente	Combination	Min	-1054,666	0,000	0,0000
29	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-1026,570	0,000	0,0000
29	0,44500	ELU persistente	Combination	Max	-1026,570	0,000	0,0000
29	0,89000	ELU persistente	Combination	Max	-1026,570	0,000	0,0000
29	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-1054,666	0,000	0,0000
29	0,44500	ELU persistente	Combination	Min	-1054,666	0,000	0,0000
29	0,89000	ELU persistente	Combination	Min	-1054,666	0,000	0,0000
30	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-1026,570	0,000	0,0000
30	0,44500	ELU persistente	Combination	Max	-1026,570	0,000	0,0000
30	0,89000	ELU persistente	Combination	Max	-1026,570	0,000	0,0000
30	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-1054,666	0,000	0,0000
30	0,44500	ELU persistente	Combination	Min	-1054,666	0,000	0,0000
30	0,89000	ELU persistente	Combination	Min	-1054,666	0,000	0,0000
31	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-1026,570	0,000	0,0000
31	0,44500	ELU persistente	Combination	Max	-1026,570	0,000	0,0000
31	0,89000	ELU persistente	Combination	Max	-1026,570	0,000	0,0000
31	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-1054,666	0,000	0,0000
31	0,44500	ELU persistente	Combination	Min	-1054,666	0,000	0,0000
31	0,89000	ELU persistente	Combination	Min	-1054,666	0,000	0,0000
32	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-643,034	0,000	0,0000
32	0,32500	ELU persistente	Combination	Max	-633,162	0,000	0,0000
32	0,65000	ELU persistente	Combination	Max	-623,290	0,000	0,0000
32	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-1064,374	0,000	0,0000
32	0,32500	ELU persistente	Combination	Min	-1054,502	0,000	0,0000
32	0,65000	ELU persistente	Combination	Min	-1044,631	0,000	0,0000
33	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-623,290	0,000	0,0000
33	0,32500	ELU persistente	Combination	Max	-613,418	0,000	0,0000
33	0,65000	ELU persistente	Combination	Max	-603,546	0,000	0,0000
33	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-1044,631	0,000	0,0000
33	0,32500	ELU persistente	Combination	Min	-1034,759	0,000	0,0000
33	0,65000	ELU persistente	Combination	Min	-1024,887	0,000	0,0000
34	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-603,546	0,000	0,0000
34	0,32500	ELU persistente	Combination	Max	-593,674	0,000	0,0000
34	0,65000	ELU persistente	Combination	Max	-583,803	0,000	0,0000
34	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-1024,887	0,000	0,0000
34	0,32500	ELU persistente	Combination	Min	-1015,015	0,000	0,0000
34	0,65000	ELU persistente	Combination	Min	-1005,143	0,000	0,0000
35	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-583,803	0,000	0,0000
35	0,32500	ELU persistente	Combination	Max	-573,931	0,000	0,0000
35	0,65000	ELU persistente	Combination	Max	-564,059	0,000	0,0000
35	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-1005,143	0,000	0,0000
35	0,32500	ELU persistente	Combination	Min	-995,271	0,000	0,0000
35	0,65000	ELU persistente	Combination	Min	-985,399	0,000	0,0000
36	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-564,059	0,000	0,0000
36	0,32500	ELU persistente	Combination	Max	-554,187	0,000	0,0000
36	0,65000	ELU persistente	Combination	Max	-544,315	0,000	0,0000
36	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-985,399	0,000	0,0000
36	0,32500	ELU persistente	Combination	Min	-975,527	0,000	0,0000



Table: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Frame	Station m	OutputCase	CaseType	StepType	P KN	V3 KN	T KN-m
36	0,65000	ELU persistente	Combination	Min	-965,656	0,000	0,0000
37	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-544,315	0,000	0,0000
37	0,32500	ELU persistente	Combination	Max	-534,443	0,000	0,0000
37	0,65000	ELU persistente	Combination	Max	-524,571	0,000	0,0000
37	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-965,656	0,000	0,0000
37	0,32500	ELU persistente	Combination	Min	-955,784	0,000	0,0000
37	0,65000	ELU persistente	Combination	Min	-945,912	0,000	0,0000
38	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-524,571	0,000	0,0000
38	0,32500	ELU persistente	Combination	Max	-514,699	0,000	0,0000
38	0,65000	ELU persistente	Combination	Max	-504,828	0,000	0,0000
38	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-945,912	0,000	0,0000
38	0,32500	ELU persistente	Combination	Min	-936,040	0,000	0,0000
38	0,65000	ELU persistente	Combination	Min	-926,168	0,000	0,0000
39	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-504,828	0,000	0,0000
39	0,32500	ELU persistente	Combination	Max	-494,956	0,000	0,0000
39	0,65000	ELU persistente	Combination	Max	-485,084	0,000	0,0000
39	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-926,168	0,000	0,0000
39	0,32500	ELU persistente	Combination	Min	-916,296	0,000	0,0000
39	0,65000	ELU persistente	Combination	Min	-906,424	0,000	0,0000
40	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-485,084	0,000	0,0000
40	0,32500	ELU persistente	Combination	Max	-475,212	0,000	0,0000
40	0,65000	ELU persistente	Combination	Max	-465,340	0,000	0,0000
40	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-906,424	0,000	0,0000
40	0,32500	ELU persistente	Combination	Min	-896,552	0,000	0,0000
40	0,65000	ELU persistente	Combination	Min	-886,681	0,000	0,0000
41	0,00000	ELU persistente	Combination	Max	-465,340	0,000	0,0000
41	0,32500	ELU persistente	Combination	Max	-455,468	0,000	0,0000
41	0,65000	ELU persistente	Combination	Max	-445,596	0,000	0,0000
41	0,00000	ELU persistente	Combination	Min	-886,681	0,000	0,0000
41	0,32500	ELU persistente	Combination	Min	-876,809	0,000	0,0000
41	0,65000	ELU persistente	Combination	Min	-866,937	0,000	0,0000

Table: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Frame	Station m	OutputCase	StepType	M2 KN-m	M3 KN-m	FrameElem	ElemStation m
2	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	-758,6647	2-1	0,00000
2	0,00100	ELU persistente	Max	0,0000	-758,2117	2-1	0,00100
2	0,00100	ELU persistente	Max	0,0000	-758,2117	2-1	0,00100
2	0,44500	ELU persistente	Max	0,0000	-529,5749	2-1	0,44500
2	0,88900	ELU persistente	Max	0,0000	-320,6793	2-1	0,88900
2	0,88900	ELU persistente	Max	0,0000	-320,6793	2-1	0,88900
2	0,89000	ELU persistente	Max	0,0000	-320,1538	2-1	0,89000
2	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-1082,6752	2-1	0,00000
2	0,00100	ELU persistente	Min	0,0000	-1081,8487	2-1	0,00100
2	0,00100	ELU persistente	Min	0,0000	-1081,8487	2-1	0,00100
2	0,44500	ELU persistente	Min	0,0000	-766,7451	2-1	0,44500
2	0,88900	ELU persistente	Min	0,0000	-471,3827	2-1	0,88900
2	0,88900	ELU persistente	Min	0,0000	-471,3827	2-1	0,88900
2	0,89000	ELU persistente	Min	0,0000	-470,8469	2-1	0,89000
3	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	-320,1538	3-1	0,00000
3	0,00100	ELU persistente	Max	0,0000	-319,6281	3-1	0,00100
3	0,00100	ELU persistente	Max	0,0000	-319,6281	3-1	0,00100
3	0,44500	ELU persistente	Max	0,0000	-71,1182	3-1	0,44500

Table: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Frame	Station m	OutputCase	StepType	M2 KN-m	M3 KN-m	FrameElem	ElemStation m
3	0,88900	ELU persistente	Max	0,0000	157,6505	3-1	0,88900
3	0,88900	ELU persistente	Max	0,0000	157,6505	3-1	0,88900
3	0,89000	ELU persistente	Max	0,0000	158,1616	3-1	0,89000
3	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-470,8469	3-1	0,00000
3	0,00100	ELU persistente	Min	0,0000	-470,3114	3-1	0,00100
3	0,00100	ELU persistente	Min	0,0000	-470,3114	3-1	0,00100
3	0,44500	ELU persistente	Min	0,0000	-288,7366	3-1	0,44500
3	0,88900	ELU persistente	Min	0,0000	-126,9030	3-1	0,88900
3	0,88900	ELU persistente	Min	0,0000	-126,9030	3-1	0,88900
3	0,89000	ELU persistente	Min	0,0000	-126,6356	3-1	0,89000
4	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	158,1616	4-1	0,00000
4	0,00100	ELU persistente	Max	0,0000	158,6792	4-1	0,00100
4	0,00100	ELU persistente	Max	0,0000	158,6792	4-1	0,00100
4	0,44500	ELU persistente	Max	0,0000	358,8872	4-1	0,44500
4	0,88900	ELU persistente	Max	0,0000	539,3539	4-1	0,88900
4	0,88900	ELU persistente	Max	0,0000	539,3539	4-1	0,88900
4	0,89000	ELU persistente	Max	0,0000	539,6941	4-1	0,89000
4	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-126,6356	4-1	0,00000
4	0,00100	ELU persistente	Min	0,0000	-126,3683	4-1	0,00100
4	0,00100	ELU persistente	Min	0,0000	-126,3683	4-1	0,00100
4	0,44500	ELU persistente	Min	0,0000	-17,5691	4-1	0,44500
4	0,88900	ELU persistente	Min	0,0000	71,4889	4-1	0,88900
4	0,88900	ELU persistente	Min	0,0000	71,4889	4-1	0,88900
4	0,89000	ELU persistente	Min	0,0000	71,6672	4-1	0,89000
5	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	539,6941	5-1	0,00000
5	0,00100	ELU persistente	Max	0,0000	540,0401	5-1	0,00100
5	0,00100	ELU persistente	Max	0,0000	540,0401	5-1	0,00100
5	0,44500	ELU persistente	Max	0,0000	664,1650	5-1	0,44500
5	0,88900	ELU persistente	Max	0,0000	768,5488	5-1	0,88900
5	0,88900	ELU persistente	Max	0,0000	768,5488	5-1	0,88900
5	0,89000	ELU persistente	Max	0,0000	768,7177	5-1	0,89000
5	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	71,6672	5-1	0,00000
5	0,00100	ELU persistente	Min	0,0000	71,8454	5-1	0,00100
5	0,00100	ELU persistente	Min	0,0000	71,8454	5-1	0,00100
5	0,44500	ELU persistente	Min	0,0000	141,0733	5-1	0,44500
5	0,88900	ELU persistente	Min	0,0000	190,5599	5-1	0,88900
5	0,88900	ELU persistente	Min	0,0000	190,5599	5-1	0,88900
5	0,89000	ELU persistente	Min	0,0000	190,6491	5-1	0,89000
6	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	768,7177	6-1	0,00000
6	0,00100	ELU persistente	Max	0,0000	768,8922	6-1	0,00100
6	0,00100	ELU persistente	Max	0,0000	768,8922	6-1	0,00100
6	0,44500	ELU persistente	Max	0,0000	816,8881	6-1	0,44500
6	0,88900	ELU persistente	Max	0,0000	845,1428	6-1	0,88900
6	0,88900	ELU persistente	Max	0,0000	845,1428	6-1	0,88900
6	0,89000	ELU persistente	Max	0,0000	845,1401	6-1	0,89000
6	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	190,6491	6-1	0,00000
6	0,00100	ELU persistente	Min	0,0000	190,7382	6-1	0,00100
6	0,00100	ELU persistente	Min	0,0000	190,7382	6-1	0,00100
6	0,44500	ELU persistente	Min	0,0000	220,3947	6-1	0,44500
6	0,88900	ELU persistente	Min	0,0000	230,3101	6-1	0,88900
6	0,88900	ELU persistente	Min	0,0000	230,3101	6-1	0,88900
6	0,89000	ELU persistente	Min	0,0000	230,3101	6-1	0,89000
7	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	845,1401	7-1	0,00000
7	0,00100	ELU persistente	Max	0,0000	845,1428	7-1	0,00100
7	0,00100	ELU persistente	Max	0,0000	845,1428	7-1	0,00100

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE DIFERENTES FACTORES EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS ENTERRADAS PARA PASOS INFERIORES. PASO INFERIOR BAJO FERROCARRIL EN EL TRAMO DE ALTA VELOCIDAD TALAYUELA-CÁCERES. T M DE PLASENCIA (CÁCERES).

Table: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Frame	Station m	OutputCase	StepType	M2 KN-m	M3 KN-m	FrameElem	ElemStation m
7	0,44500	ELU persistente	Max	0,0000	816,8887	7-1	0,44500
7	0,88900	ELU persistente	Max	0,0000	768,8934	7-1	0,88900
7	0,88900	ELU persistente	Max	0,0000	768,8934	7-1	0,88900
7	0,89000	ELU persistente	Max	0,0000	768,7190	7-1	0,89000
7	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	230,3101	7-1	0,00000
7	0,00100	ELU persistente	Min	0,0000	230,3101	7-1	0,00100
7	0,00100	ELU persistente	Min	0,0000	230,3101	7-1	0,00100
7	0,44500	ELU persistente	Min	0,0000	220,3953	7-1	0,44500
7	0,88900	ELU persistente	Min	0,0000	190,7394	7-1	0,88900
7	0,88900	ELU persistente	Min	0,0000	190,7394	7-1	0,88900
7	0,89000	ELU persistente	Min	0,0000	190,6503	7-1	0,89000
8	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	768,7190	8-1	0,00000
8	0,00100	ELU persistente	Max	0,0000	768,5500	8-1	0,00100
8	0,00100	ELU persistente	Max	0,0000	768,5500	8-1	0,00100
8	0,44500	ELU persistente	Max	0,0000	664,1664	8-1	0,44500
8	0,88900	ELU persistente	Max	0,0000	540,0416	8-1	0,88900
8	0,88900	ELU persistente	Max	0,0000	540,0416	8-1	0,88900
8	0,89000	ELU persistente	Max	0,0000	539,6956	8-1	0,89000
8	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	190,6503	8-1	0,00000
8	0,00100	ELU persistente	Min	0,0000	190,5611	8-1	0,00100
8	0,00100	ELU persistente	Min	0,0000	190,5611	8-1	0,00100
8	0,44500	ELU persistente	Min	0,0000	141,0750	8-1	0,44500
8	0,88900	ELU persistente	Min	0,0000	71,8477	8-1	0,88900
8	0,88900	ELU persistente	Min	0,0000	71,8477	8-1	0,88900
8	0,89000	ELU persistente	Min	0,0000	71,6695	8-1	0,89000
9	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	539,6956	9-1	0,00000
9	0,00100	ELU persistente	Max	0,0000	539,3554	9-1	0,00100
9	0,00100	ELU persistente	Max	0,0000	539,3554	9-1	0,00100
9	0,44500	ELU persistente	Max	0,0000	358,8889	9-1	0,44500
9	0,88900	ELU persistente	Max	0,0000	158,6811	9-1	0,88900
9	0,88900	ELU persistente	Max	0,0000	158,6811	9-1	0,88900
9	0,89000	ELU persistente	Max	0,0000	158,1635	9-1	0,89000
9	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	71,6695	9-1	0,00000
9	0,00100	ELU persistente	Min	0,0000	71,4912	9-1	0,00100
9	0,00100	ELU persistente	Min	0,0000	71,4912	9-1	0,00100
9	0,44500	ELU persistente	Min	0,0000	-17,5662	9-1	0,44500
9	0,88900	ELU persistente	Min	0,0000	-126,3648	9-1	0,88900
9	0,88900	ELU persistente	Min	0,0000	-126,3648	9-1	0,88900
9	0,89000	ELU persistente	Min	0,0000	-126,6321	9-1	0,89000
10	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	158,1635	10-1	0,00000
10	0,00100	ELU persistente	Max	0,0000	157,6524	10-1	0,00100
10	0,00100	ELU persistente	Max	0,0000	157,6524	10-1	0,00100
10	0,44500	ELU persistente	Max	0,0000	-71,1149	10-1	0,44500
10	0,88900	ELU persistente	Max	0,0000	-319,6234	10-1	0,88900
10	0,88900	ELU persistente	Max	0,0000	-319,6234	10-1	0,88900
10	0,89000	ELU persistente	Max	0,0000	-320,1491	10-1	0,89000
10	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-126,6321	10-1	0,00000
10	0,00100	ELU persistente	Min	0,0000	-126,8996	10-1	0,00100
10	0,00100	ELU persistente	Min	0,0000	-126,8996	10-1	0,00100
10	0,44500	ELU persistente	Min	0,0000	-288,7334	10-1	0,44500
10	0,88900	ELU persistente	Min	0,0000	-470,3084	10-1	0,88900
10	0,88900	ELU persistente	Min	0,0000	-470,3084	10-1	0,88900
10	0,89000	ELU persistente	Min	0,0000	-470,8439	10-1	0,89000
11	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	-320,1491	11-1	0,00000
11	0,00100	ELU persistente	Max	0,0000	-320,6747	11-1	0,00100



Table: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Frame	Station m	OutputCase	StepType	M2 KN-m	M3 KN-m	FrameElem	ElemStation m
11	0,00100	ELU persistente	Max	0,0000	-320,6747	11-1	0,00100
11	0,44500	ELU persistente	Max	0,0000	-529,5697	11-1	0,44500
11	0,88900	ELU persistente	Max	0,0000	-758,2059	11-1	0,88900
11	0,88900	ELU persistente	Max	0,0000	-758,2059	11-1	0,88900
11	0,89000	ELU persistente	Max	0,0000	-758,6589	11-1	0,89000
11	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-470,8439	11-1	0,00000
11	0,00100	ELU persistente	Min	0,0000	-471,3798	11-1	0,00100
11	0,00100	ELU persistente	Min	0,0000	-471,3798	11-1	0,00100
11	0,44500	ELU persistente	Min	0,0000	-766,7415	11-1	0,44500
11	0,88900	ELU persistente	Min	0,0000	-1081,8445	11-1	0,88900
11	0,88900	ELU persistente	Min	0,0000	-1081,8445	11-1	0,88900
11	0,89000	ELU persistente	Min	0,0000	-1082,6710	11-1	0,89000
12	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	-925,9820	12-1	0,00000
12	0,32500	ELU persistente	Max	0,0000	-607,0378	12-1	0,32500
12	0,65000	ELU persistente	Max	0,0000	-329,6402	12-1	0,65000
12	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-1160,1119	12-1	0,00000
12	0,32500	ELU persistente	Min	0,0000	-844,9554	12-1	0,32500
12	0,65000	ELU persistente	Min	0,0000	-571,3455	12-1	0,65000
13	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	-329,6402	13-1	0,00000
13	0,32500	ELU persistente	Max	0,0000	-92,3157	13-1	0,32500
13	0,65000	ELU persistente	Max	0,0000	106,4092	13-1	0,65000
13	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-571,3455	13-1	0,00000
13	0,32500	ELU persistente	Min	0,0000	-337,8085	13-1	0,32500
13	0,65000	ELU persistente	Min	0,0000	-142,8712	13-1	0,65000
14	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	106,4092	14-1	0,00000
14	0,32500	ELU persistente	Max	0,0000	268,0079	14-1	0,32500
14	0,65000	ELU persistente	Max	0,0000	393,9539	14-1	0,65000
14	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-142,8712	14-1	0,00000
14	0,32500	ELU persistente	Min	0,0000	14,9398	14-1	0,32500
14	0,65000	ELU persistente	Min	0,0000	137,0981	14-1	0,65000
15	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	393,9539	15-1	0,00000
15	0,32500	ELU persistente	Max	0,0000	485,7206	15-1	0,32500
15	0,65000	ELU persistente	Max	0,0000	544,7815	15-1	0,65000
15	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	137,0981	15-1	0,00000
15	0,32500	ELU persistente	Min	0,0000	224,8334	15-1	0,32500
15	0,65000	ELU persistente	Min	0,0000	279,8628	15-1	0,65000
16	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	544,7815	16-1	0,00000
16	0,32500	ELU persistente	Max	0,0000	572,6100	16-1	0,32500
16	0,65000	ELU persistente	Max	0,0000	570,6796	16-1	0,65000
16	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	279,8628	16-1	0,00000
16	0,32500	ELU persistente	Min	0,0000	303,3117	16-1	0,32500
16	0,65000	ELU persistente	Min	0,0000	297,0016	16-1	0,65000
17	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	570,6796	17-1	0,00000
17	0,32500	ELU persistente	Max	0,0000	540,4637	17-1	0,32500
17	0,65000	ELU persistente	Max	0,0000	483,4359	17-1	0,65000
17	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	297,0016	17-1	0,00000
17	0,32500	ELU persistente	Min	0,0000	262,2500	17-1	0,32500
17	0,65000	ELU persistente	Min	0,0000	200,6864	17-1	0,65000
18	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	483,4359	18-1	0,00000
18	0,32500	ELU persistente	Max	0,0000	401,0695	18-1	0,32500
18	0,65000	ELU persistente	Max	0,0000	294,8381	18-1	0,65000
18	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	200,6864	18-1	0,00000
18	0,32500	ELU persistente	Min	0,0000	113,7044	18-1	0,32500
18	0,65000	ELU persistente	Min	0,0000	2,8573	18-1	0,65000
19	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	294,8381	19-1	0,00000

Table: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Frame	Station m	OutputCase	StepType	M2 KN-m	M3 KN-m	FrameElem	ElemStation m
19	0,32500	ELU persistente	Max	0,0000	166,2450	19-1	0,32500
19	0,65000	ELU persistente	Max	0,0000	16,7337	19-1	0,65000
19	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	2,8573	19-1	0,00000
19	0,32500	ELU persistente	Min	0,0000	-130,4448	19-1	0,32500
19	0,65000	ELU persistente	Min	0,0000	-284,6650	19-1	0,65000
20	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	16,7337	20-1	0,00000
20	0,32500	ELU persistente	Max	0,0000	-151,8339	20-1	0,32500
20	0,65000	ELU persistente	Max	0,0000	-338,3729	20-1	0,65000
20	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-284,6650	20-1	0,00000
20	0,32500	ELU persistente	Min	0,0000	-458,5542	20-1	0,32500
20	0,65000	ELU persistente	Min	0,0000	-650,4147	20-1	0,65000
21	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	-338,3729	21-1	0,00000
21	0,32500	ELU persistente	Max	0,0000	-541,0066	21-1	0,32500
21	0,65000	ELU persistente	Max	0,0000	-758,6647	21-1	0,65000
21	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-650,4147	21-1	0,00000
21	0,32500	ELU persistente	Min	0,0000	-859,0328	21-1	0,32500
21	0,65000	ELU persistente	Min	0,0000	-1082,6752	21-1	0,65000
22	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	1160,1251	22-1	0,00000
22	0,44500	ELU persistente	Max	0,0000	831,6246	22-1	0,44500
22	0,89000	ELU persistente	Max	0,0000	496,4407	22-1	0,89000
22	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	925,9938	22-1	0,00000
22	0,44500	ELU persistente	Min	0,0000	668,1355	22-1	0,44500
22	0,89000	ELU persistente	Min	0,0000	403,5938	22-1	0,89000
23	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	496,4407	23-1	0,00000
23	0,44500	ELU persistente	Max	0,0000	312,1638	23-1	0,44500
23	0,89000	ELU persistente	Max	0,0000	121,2036	23-1	0,89000
23	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	403,5938	23-1	0,00000
23	0,44500	ELU persistente	Min	0,0000	132,5972	23-1	0,44500
23	0,89000	ELU persistente	Min	0,0000	-145,0827	23-1	0,89000
24	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	121,2036	24-1	0,00000
24	0,44500	ELU persistente	Max	0,0000	-0,7998	24-1	0,44500
24	0,89000	ELU persistente	Max	0,0000	-129,4865	24-1	0,89000
24	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-145,0827	24-1	0,00000
24	0,44500	ELU persistente	Min	0,0000	-335,0131	24-1	0,44500
24	0,89000	ELU persistente	Min	0,0000	-531,6268	24-1	0,89000
25	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	-129,4865	25-1	0,00000
25	0,44500	ELU persistente	Max	0,0000	-200,3992	25-1	0,44500
25	0,89000	ELU persistente	Max	0,0000	-277,9953	25-1	0,89000
25	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-531,6268	25-1	0,00000
25	0,44500	ELU persistente	Min	0,0000	-639,5068	25-1	0,44500
25	0,89000	ELU persistente	Min	0,0000	-754,0701	25-1	0,89000
26	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	-277,9953	26-1	0,00000
26	0,44500	ELU persistente	Max	0,0000	-299,3222	26-1	0,44500
26	0,89000	ELU persistente	Max	0,0000	-327,3325	26-1	0,89000
26	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-754,0701	26-1	0,00000
26	0,44500	ELU persistente	Min	0,0000	-784,4137	26-1	0,44500
26	0,89000	ELU persistente	Min	0,0000	-821,4405	26-1	0,89000
27	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	-327,3325	27-1	0,00000
27	0,44500	ELU persistente	Max	0,0000	-299,3240	27-1	0,44500
27	0,89000	ELU persistente	Max	0,0000	-277,9989	27-1	0,89000
27	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-821,4405	27-1	0,00000
27	0,44500	ELU persistente	Min	0,0000	-784,4155	27-1	0,44500
27	0,89000	ELU persistente	Min	0,0000	-754,0738	27-1	0,89000
28	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	-277,9989	28-1	0,00000
28	0,44500	ELU persistente	Max	0,0000	-200,4044	28-1	0,44500

Table: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Frame	Station m	OutputCase	StepType	M2 KN-m	M3 KN-m	FrameElem	ElemStation m
28	0,89000	ELU persistente	Max	0,0000	-129,4933	28-1	0,89000
28	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-754,0738	28-1	0,00000
28	0,44500	ELU persistente	Min	0,0000	-639,5123	28-1	0,44500
28	0,89000	ELU persistente	Min	0,0000	-531,6341	28-1	0,89000
29	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	-129,4933	29-1	0,00000
29	0,44500	ELU persistente	Max	0,0000	-0,8080	29-1	0,44500
29	0,89000	ELU persistente	Max	0,0000	121,1940	29-1	0,89000
29	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-531,6341	29-1	0,00000
29	0,44500	ELU persistente	Min	0,0000	-335,0217	29-1	0,44500
29	0,89000	ELU persistente	Min	0,0000	-145,0926	29-1	0,89000
30	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	121,1940	30-1	0,00000
30	0,44500	ELU persistente	Max	0,0000	312,1534	30-1	0,44500
30	0,89000	ELU persistente	Max	0,0000	496,4294	30-1	0,89000
30	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-145,0926	30-1	0,00000
30	0,44500	ELU persistente	Min	0,0000	132,5861	30-1	0,44500
30	0,89000	ELU persistente	Min	0,0000	403,5815	30-1	0,89000
31	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	496,4294	31-1	0,00000
31	0,44500	ELU persistente	Max	0,0000	831,6123	31-1	0,44500
31	0,89000	ELU persistente	Max	0,0000	1160,1119	31-1	0,89000
31	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	403,5815	31-1	0,00000
31	0,44500	ELU persistente	Min	0,0000	668,1234	31-1	0,44500
31	0,89000	ELU persistente	Min	0,0000	925,9820	31-1	0,89000
32	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	1160,1251	32-1	0,00000
32	0,32500	ELU persistente	Max	0,0000	844,9659	32-1	0,32500
32	0,65000	ELU persistente	Max	0,0000	571,3536	32-1	0,65000
32	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	925,9938	32-1	0,00000
32	0,32500	ELU persistente	Min	0,0000	607,0471	32-1	0,32500
32	0,65000	ELU persistente	Min	0,0000	329,6472	32-1	0,65000
33	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	571,3536	33-1	0,00000
33	0,32500	ELU persistente	Max	0,0000	337,8146	33-1	0,32500
33	0,65000	ELU persistente	Max	0,0000	142,8755	33-1	0,65000
33	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	329,6472	33-1	0,00000
33	0,32500	ELU persistente	Min	0,0000	92,3207	33-1	0,32500
33	0,65000	ELU persistente	Min	0,0000	-106,4060	33-1	0,65000
34	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	142,8755	34-1	0,00000
34	0,32500	ELU persistente	Max	0,0000	-14,9370	34-1	0,32500
34	0,65000	ELU persistente	Max	0,0000	-137,0967	34-1	0,65000
34	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-106,4060	34-1	0,00000
34	0,32500	ELU persistente	Min	0,0000	-268,0063	34-1	0,32500
34	0,65000	ELU persistente	Min	0,0000	-393,9537	34-1	0,65000
35	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	-137,0967	35-1	0,00000
35	0,32500	ELU persistente	Max	0,0000	-224,8331	35-1	0,32500
35	0,65000	ELU persistente	Max	0,0000	-279,8636	35-1	0,65000
35	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-393,9537	35-1	0,00000
35	0,32500	ELU persistente	Min	0,0000	-485,7216	35-1	0,32500
35	0,65000	ELU persistente	Min	0,0000	-544,7835	35-1	0,65000
36	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	-279,8636	36-1	0,00000
36	0,32500	ELU persistente	Max	0,0000	-303,3133	36-1	0,32500
36	0,65000	ELU persistente	Max	0,0000	-297,0040	36-1	0,65000
36	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-544,7835	36-1	0,00000
36	0,32500	ELU persistente	Min	0,0000	-572,6129	36-1	0,32500
36	0,65000	ELU persistente	Min	0,0000	-570,6832	36-1	0,65000
37	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	-297,0040	37-1	0,00000
37	0,32500	ELU persistente	Max	0,0000	-262,2530	37-1	0,32500
37	0,65000	ELU persistente	Max	0,0000	-200,6899	37-1	0,65000

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE DIFERENTES FACTORES EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS ENTERRADAS PARA PASOS INFERIORES. PASO INFERIOR BAJO FERROCARRIL EN EL TRAMO DE ALTA VELOCIDAD TALAYUELA-CÁCERES. T M DE PLASENCIA (CÁCERES).

Table: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Frame	Station m	OutputCase	StepType	M2 KN-m	M3 KN-m	FrameElem	ElemStation m
37	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-570,6832	37-1	0,00000
37	0,32500	ELU persistente	Min	0,0000	-540,4680	37-1	0,32500
37	0,65000	ELU persistente	Min	0,0000	-483,4406	37-1	0,65000
38	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	-200,6899	38-1	0,00000
38	0,32500	ELU persistente	Max	0,0000	-113,7082	38-1	0,32500
38	0,65000	ELU persistente	Max	0,0000	-2,8614	38-1	0,65000
38	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-483,4406	38-1	0,00000
38	0,32500	ELU persistente	Min	0,0000	-401,0746	38-1	0,32500
38	0,65000	ELU persistente	Min	0,0000	-294,8434	38-1	0,65000
39	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	-2,8614	39-1	0,00000
39	0,32500	ELU persistente	Max	0,0000	130,4405	39-1	0,32500
39	0,65000	ELU persistente	Max	0,0000	284,6606	39-1	0,65000
39	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-294,8434	39-1	0,00000
39	0,32500	ELU persistente	Min	0,0000	-166,2505	39-1	0,32500
39	0,65000	ELU persistente	Min	0,0000	-16,7394	39-1	0,65000
40	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	284,6606	40-1	0,00000
40	0,32500	ELU persistente	Max	0,0000	458,5499	40-1	0,32500
40	0,65000	ELU persistente	Max	0,0000	650,4104	40-1	0,65000
40	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	-16,7394	40-1	0,00000
40	0,32500	ELU persistente	Min	0,0000	151,8282	40-1	0,32500
40	0,65000	ELU persistente	Min	0,0000	338,3671	40-1	0,65000
41	0,00000	ELU persistente	Max	0,0000	650,4104	41-1	0,00000
41	0,32500	ELU persistente	Max	0,0000	859,0285	41-1	0,32500
41	0,65000	ELU persistente	Max	0,0000	1082,6710	41-1	0,65000
41	0,00000	ELU persistente	Min	0,0000	338,3671	41-1	0,00000
41	0,32500	ELU persistente	Min	0,0000	541,0008	41-1	0,32500
41	0,65000	ELU persistente	Min	0,0000	758,6589	41-1	0,65000

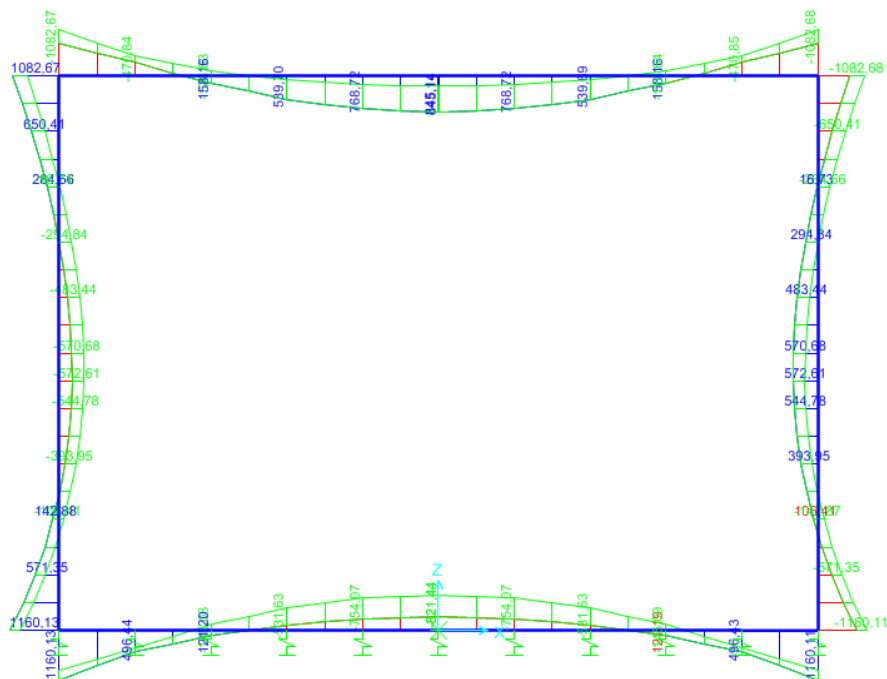


Ilustración 11. Combinación E.L.U. Persistente

### 4.1.3. Dimensionamiento de la estructura.

#### ❖ *Agotamiento frente a solicitaciones normales.*

El marco ha de resistir los esfuerzos de flexocompresión que se consideran a partir de las envolventes de E.L.U. de axiles y flectores. Observando estos esfuerzos, estaremos en disposición de determinar la armadura necesaria para la resistencia a estos importantes esfuerzos. De estas envolventes se obtienen los valores máximos y mínimos de momentos flectores y sus axiles concomitantes.

Estos valores se han tomado en unos determinados nudos de la sección que se ha utilizado para realizar los cálculos.

A partir de las especificaciones de la EHE-08 se ha obtenido la cantidad de armadura necesaria para resistir estos esfuerzos.

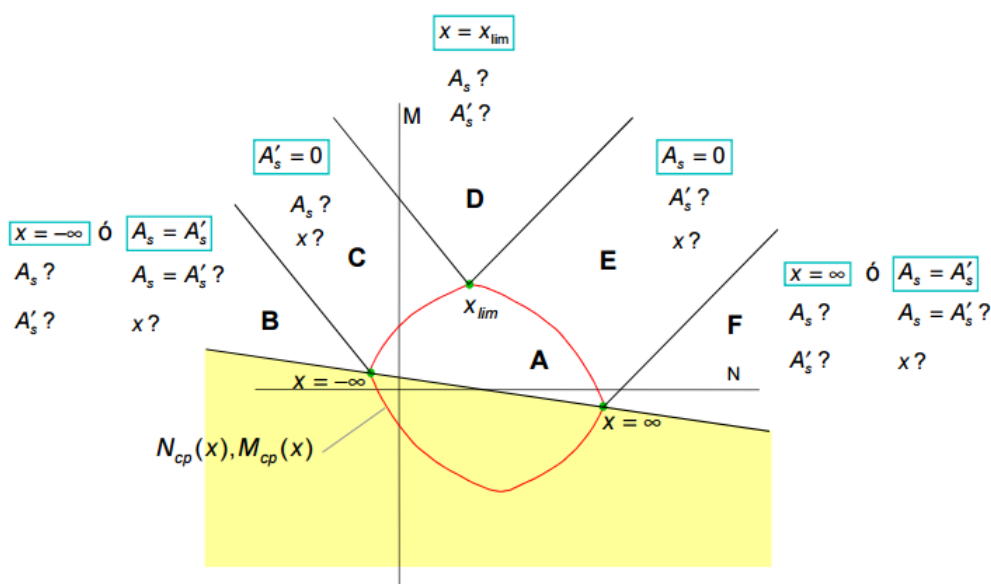


Ilustración 12. Diagrama interacción Momento-Axil.

#### ✓ **LOSA SUPERIOR:**

Se considera un axil nulo teniendo así una flexión simple. Teniendo los momentos más desfavorable en la parte central de la losa (valor positivo) y en los extremos (valor negativo).

Se opta por un armado base en todo el tramo de la parte superior e inferior y unos refuerzos en los puntos críticos.

Las características a tener en cuenta han sido:

- Hormigón: HA-30
- Ambiente: IIa+H
- Acero: B500S
- Canto: 1,00m

- Ancho: 1,00 m

- Recubrimiento mecánico: 0,04m

El proceso de cálculo empleado es el siguiente:

Lo primero para dimensionar es saber en qué zona del diagrama interacción Momento-Axil se encuentra la estructura objeto del cálculo. Para ello se ha de obtener el valor de  $X_{límite}$ , una vez conocido el valor se procede a calcular el momento en  $X_{límite}$  para situar la zona de dimensionamiento.

$$X_{lim} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} * d = \frac{d}{1 + \frac{f_{yd}}{E_s * \varepsilon_{cu}}}$$

$X_{límite} = 0,59m$

$$M_{límite} = 0,8 * X_{lim} * f_{cd} * b * (d - 0,4 * X_{lim}) = 6851,6KN * m$$

Armado inferior base:

*Flectores y Axiles*

$N_d = 0KN$

$M_d = 768,72KN \cdot m$

$M_{1c} (-\infty) = 0 < M_{1d} < M_{1c} (X_{lim}) \rightarrow$  Zona C En la imagen superior se indica que armaduras son necesarias y cuáles no.

Entonces:

Se procede a hallar la profundidad de la fibra neutra,  $x = 0,051m$  de ahí obtenemos la armadura traccionada necesaria, ya que la zona de cálculo es la C y la armadura a compresión no sería necesaria, no obstante se ha de cumplir los mínimo exigidos por la normativa, que se calcularan posteriormente.

$$A_s = \frac{0,8 * X * f_{cd} * b}{f_{yd}} = \frac{0,8 * 0,051 * 20 * 1}{434,8} * 10^4 = 18,83 \text{ cm}^2/m$$

Optamos por resolver con 4 $\Phi$ 25 en todo el tramo y a continuación reforzaremos.

### Armado inferior de refuerzo:

Flectores y Axiles

Nd= 0KN

Md= 845,14 kN·m

$M_{1c} (-\infty)=0 < M_{1d} < M_{1c} (X_{lim}) \rightarrow$  Zona C En la imagen superior se indica que armaduras son necesarias y cuáles no.

Entonces:

Fibra neutra (FN)=x=0,056m

$$A_s = \frac{0,8 * X * f_{cd} * b}{f_{yd}} = \frac{0,8 * 0,056 * 20 * 1}{434,8} * 10^4 = 20,73 \text{ cm}^2/m$$

Teniendo en cuenta el armado base, se reforzará la estructura con una armadura de 4Φ16 a un nudo a cada lado por la parte central.

### Armado superior base:

Al no tener momentos negativos en todo el tramo menos en los extremos y para cumplir las exigencias mínimas de la norma, optamos por disponer de un armado base de 4Φ25, se comprobará el cumplimiento de los mínimos mecánicos y geométricos posteriormente.

### Armado superior de refuerzo:

Flectores y Axiles

Nd= 0KN

Md= 1082,67 kN·m

$M_{1c} (-\infty)=0 < M_{1d} < M_{1c} (X_{lim}) \rightarrow$  Zona C En la imagen superior se indica que armaduras son necesarias y cuáles no.

Entonces:

Fibra neutra (FN)=x=0,073m

$$A_s = \frac{0,8 * X * f_{cd} * b}{f_{yd}} = \frac{0,8 * 0,073 * 20 * 1}{434,8} * 10^4 = 26,76 \text{ cm}^2/m$$

Teniendo ya un armado base se le suma un refuerzo de 4 Φ20 en los extremos, cumpliendo así con la armadura necesaria para soportar las solicitaciones normales a las que está supuesta la losa superior.

### ✓ **HASTIALES:**

Las características a tener en cuenta han sido:

- Hormigón: HA-30
- Ambiente: IIa+H
- Acero: B500S
- Canto: 0,90m



- Ancho: 1,00 m

- Recubrimiento mecánico: 0,04m

$$X_{lim} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} * d = \frac{d}{1 + \frac{f_{yd}}{E_s * \varepsilon_{cu}}}$$

$X_{límite} = 0,53m$

$$M_{límite} = 0,8 * X_{lim} * f_{cd} * b * (d - 0,4 * X_{lim}) = 5498,5KN * m$$

El armado de los hastiales se realiza considerando que estos elementos están sometidos a flexocompresión, por tanto se van a tener en cuenta tanto la envolvente de axiles con sus respectivos momentos concomitantes. Además la armadura a disponer en los hastiales tanto izquierdo como derecho, será la misma ya que la estructura es simétrica.

Se evaluará la resistencia de estas secciones bajo cuatro situaciones distintas como son:

- Axil máximo y momento concomitante.
- Axil mínimo y momento concomitante.
- Momento máximo y axil concomitante.
- Momento mínimo y axil concomitante.

Se ha podido comprobar que los valores más desfavorables van con los axiles mínimos. El armado a disponer en los hastiales:

#### Armado interior del hastial:

Al no tener solicitaciones importantes, se resuelve con un armado mínimo de 4Ø25 que resiste al mismo tiempo estas mismas solicitaciones.

#### Armado exterior del hastial:

#### Flectores y Axiles

$N_d = 445 \text{ kN}$

$M_d = 1082,67 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{1c} (-\infty) = 0 < M_{1d} < M_{1c} (X_{lim}) \rightarrow$  Zona C En la imagen superior se indica que armaduras son necesarias y cuáles no.

Entonces:

Fibra neutra (FN)=0,07m

$$A_s = \frac{0,8 * X * f_{cd} * b - N_d}{f_{yd}} = \frac{0,8 * X * 20 * 1 - N_d}{434,8} * 10^4 = 24,87 \text{ cm}^2/m$$



Con la armadura mínima de  $4\Phi 25$  a disponer en la losa superior, se arma la parte exterior del hastial. Más unos refuerzos en las zonas A y B reflejadas en la ilustración 13, que serán  $4\Phi 20$  aprovechando el refuerzo de los extremos de la losa superior.

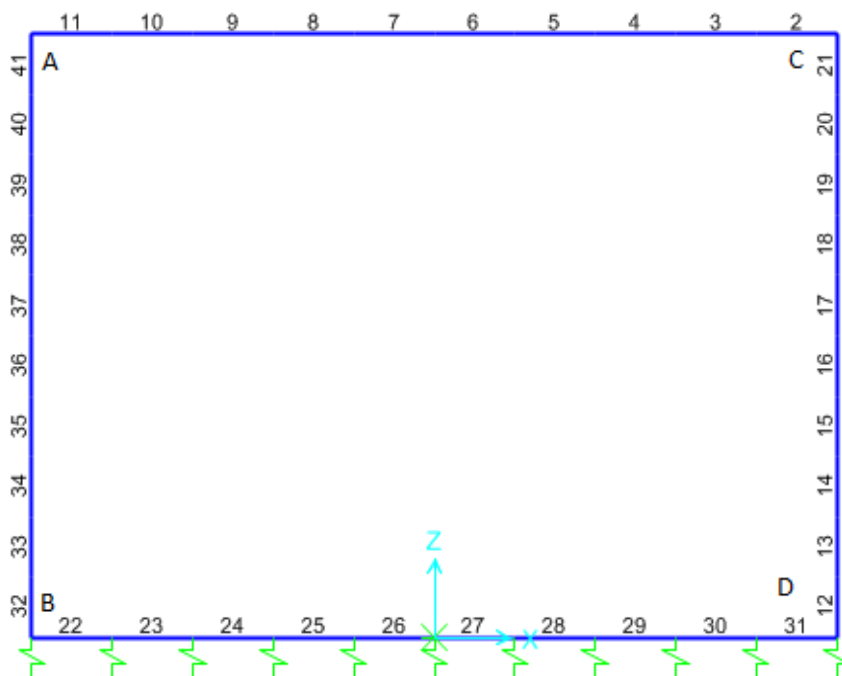


Ilustración 13

#### ✓ LOSA INFERIOR:

Las características a tener en cuenta han sido:

- Hormigón: HA-30
- Ambiente: IIa+H
- Acero: B500S
- Canto: 1,00m
- Ancho: 1,00 m
- Recubrimiento mecánico: 0,04m

El valor de  $X_{\text{limite}}$  es el mismo que el de la losa superior, para dimensionar la armadura se aplicará el mismo proceso.

#### Armado inferior base:

Al no tener momentos negativos en todo el tramo menos en los extremos y para cumplir las exigencias mínimas de la norma, se opta por disponer de un armado base de  $4\Phi 25$ , se comprobará el cumplimiento de los mínimos mecánicos y geométricos posteriormente.

Armado inferior de refuerzo:

*Flectores y Axiles*

Nd= 0KN

Md= 1160 KN·m

$M_{1c} (-\infty)=0 < M_{1d} < M_{1c} (X_{lim}) \rightarrow$  Zona C En la imagen superior se indica que armaduras son necesarias y cuáles no.

Entonces:

Fibra neutra (FN)=0,078 m

$$A_s = \frac{0,8 * X * f_{cd} * b}{f_{yd}} = \frac{0,8 * X * 20 * 1}{434,8} * 10^4 = 28,73 \text{ cm}^2/m$$

Teniendo ya un armado base se le suma un refuerzo de 4Φ20 en los extremos, cumpliendo así con la armadura necesaria para soportar las solicitaciones normales a las que está supuesta la losa superior.

Armado superior base:

*Flectores y Axiles*

Nd= 0KN

Md= 755 kN·m

$M_{1c} (-\infty)=0 < M_{1d} < M_{1c} (X_{lim}) \rightarrow$  Zona C En la imagen superior se indica que armaduras son necesarias y cuáles no.

Entonces:

Se procede a hallar la profundidad de la fibra neutra,  $X=0,05$  de ahí se obtiene la armadura traccionada necesaria, ya que se está en la zona C, la armadura a compresión no sería necesaria, no obstante se ha de cumplir los mínimo exigidos por la normativa, que se calcularan posteriormente.

$$A_s = \frac{0,8 * X * f_{cd} * b}{f_{yd}} = \frac{0,8 * X * 20 * 1}{434,8} * 10^4 = 18,48 \text{ cm}^2/m$$

Se resuelve con 4Φ25 en todo el tramo y a continuación se refuerza.

Armado superior de refuerzo:

*Flectores y Axiles*

Nd= 0KN

Md= 821,44 KN·m

$M_{1c} (-\infty)=0 < M_{1d} < M_{1c} (X_{lim}) \rightarrow$  Zona C En la imagen superior se indica que armaduras son necesarias y cuáles no.

Entonces:

Fibra neutra (FN)=0,055 m

$$A_s = \frac{0,8 * X * f_{cd} * b}{f_{yd}} = \frac{0,8 * X * 20 * 1}{434,8} * 10^4 = 20,15 \text{ cm}^2/m$$

Teniendo en cuenta el armado base, se reforzará la estructura con una armadura de 4Φ16 a un nudo a cada lado por la parte central.

- ARMADO MÍNIMO.

### Cuantía geométrica.

Tabla 42.3.5. Cuantías geométricas mínimas, en tanto por 1000, referidas a la sección total de hormigón <sup>(6)</sup>

Tipo de elemento estructural		Tipo de acero	
		Aceros con $f_y = 400\text{N/mm}^2$	Aceros con $f_y = 500\text{N/mm}^2$
Pilares		4,0	4,0
Losas <sup>(1)</sup>		2,0	1,8
Forjados unidireccionales	Nervios <sup>(2)</sup>	4,0	3,0
	Armadura de reparto perpendicular a los nervios <sup>(3)</sup>	1,4	1,1
	Armadura de reparto paralela a los nervios <sup>(3)</sup>	0,7	0,6
Vigas <sup>(4)</sup>		3,3	2,8
Muros <sup>(5)</sup>	Armadura horizontal	4,0	3,2
	Armadura vertical	1,2	0,9

- (1) Cuantía mínima de cada una de las armaduras, longitudinal y transversal repartida en las dos caras. Para losas de cimentación y zapatas armadas, se adoptará la mitad de estos valores en cada dirección dispuestos en la cara inferior.
- (2) Cuantía mínima referida a una sección rectangular de ancho  $b_w$  y canto  $h$  del forjado de acuerdo con la Figura 42.3.5. Esta cuantía se aplica estrictamente en los nervios y no en las zonas macizadas. Todas las viguetas deben tener en la cabeza inferior, al menos, dos armaduras activas o pasivas longitudinales simétricas respecto al plano medio vertical.
- (3) Cuantía mínima referida al espesor de la capa de compresión hormigonada in situ.
- (4) Cuantía mínima correspondiente a la cara de tracción. Se recomienda disponer en la cara opuesta una armadura mínima igual al 30% de la consignada.
- (5) La cuantía mínima vertical es la correspondiente a la cara de tracción. Se recomienda disponer en la cara opuesta una armadura mínima igual al 30% de la consignada.  
A partir de los 2,5 m de altura del fuste del muro y siempre que esta distancia no sea menor que la mitad de la altura del muro podrá reducirse la cuantía horizontal a un 2%. En el caso en que se dispongan juntas verticales de contracción a distancias no superiores a 7,5 m, con la armadura horizontal interrumpida, las cuantías geométricas horizontales mínimas pueden reducirse al 2%. La armadura mínima horizontal deberá repartirse en ambas caras. Para muros vistos por ambas caras debe disponerse el 50% en cada cara. En el caso de muros con espesores superiores a 50 cm, se considerará un área efectiva de espesor máximo 50 cm distribuidos en 25 cm a cada cara, ignorando la zona central que queda entre estas capas superficiales.
- (6) En el caso de elementos pretensados, la armadura activa podrá tenerse en cuenta en relación con el cumplimiento de las cuantías geométricas mínimas sólo en el caso de las armaduras pretesas que actúen antes de que se desarrolle cualquier tipo de deformación térmica o reológica.

Ilustración 14. Cuantía geométrica mínimas.

**LOSA SUPERIOR E INFERIOR:**

Para:

b=1m

h=1m

Según el Artículo 42.3.5 (EHE) se dispondrá de una cuantía mínima de 1,8‰ repartida en las dos caras.

De ahí:

$$A_s = A'_s = \frac{0,9}{1000} * 100 * 100 = 9 \text{ cm}^2/m$$

**HASTIALES:**

Para:

b=1m

h=0,9m

$$A_s = A'_s = \frac{0,9}{1000} * 90 * 100 = 8,1 \text{ cm}^2/m$$

***Cuantía mecánica:***

**LOSA SUPERIOR E INFERIOR:**

Para:

b=1m

h=1m

Según la EHE-08 la cuantía mecánica mínima requerida es:

$$A_s = 0,04 * A_c * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 18,33 \text{ cm}^2/m$$

**HASTIALES:**

Para:

b=1m

h=0,9m

$$A_s = 0,04 * A_c * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 16,56 \text{ cm}^2/m$$

❖ *Agotamiento frente a cortante*

El Estado Límite de Agotamiento por esfuerzo cortante se puede alcanzar, ya sea por agotarse la resistencia a compresión del alma, o por agotarse su resistencia a tracción. En consecuencia, es necesario comprobar que se cumple simultáneamente:

$$\begin{aligned} V_{rd} &\leq V_{u1} \\ V_{rd} &\leq V_{u2} \end{aligned}$$

Donde:

- $V_{rd}$  Esfuerzo cortante efectivo de cálculo.

- $V_{u1}$  Esfuerzo cortante de agotamiento por compresión oblicua en el alma.

- $V_{u2}$  Esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma.

-La comprobación del agotamiento por compresión oblicua en el alma  $V_{rd} \leq V_{u1}$  se realizará en el borde del apoyo y no en su eje.

-En piezas sin armadura de cortante no resulta necesaria la comprobación de agotamiento por compresión oblicua en el alma.

-La comprobación correspondiente al agotamiento por tracción en el alma  $V_{rd} \leq V_{u2}$  se efectúa para una sección situada a una distancia de un canto útil del borde del apoyo.

#### LOSA SUPERIOR:

Cálculo de  $V_{u1}$ :

$$V_{u1} = K * f_{1cd} * b_o * d * \frac{\cot \theta + \cot \alpha}{1 + \cot^2 \theta}$$

Al no considerar el esfuerzo Axil, se simplifica a:

$$V_{u1} = 0,3 * f_{cd} * b_o * d = 5760 \text{ kN} \geq V_{rd} = 866,94 \text{ kN}$$

Cálculo de  $V_{u2}$ :

$$V_{u2} = V_{cu} + V_{su}$$

Cálculo de  $V_{cu}$ :

$$V_{cu} = \left( \frac{0,15}{\gamma_c} * \varepsilon * (100 * \rho_1 * f_{cv})^{1/3} + 0,15 \sigma'_{cd} \right) * b_o * d * \beta$$

- $\varepsilon = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{960}} = 1,456 < 2$
- $\rho_1 = \frac{A_s + A_p}{b_o * d} = \frac{32,2 * 10^{-4}}{1 * 0,96} = 3,35 * 10^{-3} < 0,02$
- $f_{cv} = f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
- $\beta = 1$

$$V_{cu} = 301,64 \text{ kN}$$

Y como:

$$V_{rd} \leq V_{u2}$$

De ahí:  $V_{su,nec} = (V_{rd} - V_{su}) > 0$  a un canto útil

$$V_{su,nec} = 690,612 - 301,64 = 388,972 \text{ kN}$$

Por otra parte:

$$V_{su} = z * \sin \alpha * (\cot \theta * \cot \alpha) * A \alpha * f_{y\alpha,d}$$

Al ser:  $\alpha = 90^\circ$

$$\theta = 45^\circ$$

$z = 0,9 * d$

$$V_{su} = 0,9 * d * A_{90} * f_{y90,d}$$

$$388,972 = 0,9 * 0,96 * A_{90} * 400 * 10^3$$

$$A_{90} = 11,25 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Por lo que se opta por armar con  $\varnothing 10/0.25$  cada 0,25 metros

Cálculo de  $V_{u2}$  sin armadura:

$$V_{u2} = \left( \frac{0,18}{\gamma_c} * \varepsilon * (100 * \rho_1 * f_{cv})^{1/3} + 0,15 * \sigma'_{cd} \right) * b_o * d * \beta$$

$$V_{u2} = 361,968 \text{ kN}$$

Se puede deducir apoyándonos en la ley de cortante generada por el SAP2000 que a partir de 2,85 desde los extremos no hará falta armar a cortante (parte central de la losa).

### HASTIALES:

Calculo de  $V_{u1}$ :

$$V_{u1} = K * f_{1cd} * b_o * d * \frac{\cot \theta + \cot \alpha}{1 + \cot^2 \theta}$$

$$\sigma'_{cd} = \frac{Nd}{Ac} = 0,4456 \text{ MPa} \rightarrow K = 1 + \frac{\sigma'_{cd}}{f_{cd}} = 1,0223$$

$$b_o = 1\text{m}$$

$$f_{1cd} = 0,6 * f_{cd}$$

$$\theta = \theta_e = 45^\circ$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$d = 0,86\text{m}$$

$$V_{u1} = 5275,1 \text{ kN} > V_{rd} = 204,67 \text{ kN}$$

Calculo de  $V_{u2}$ :

$$V_{u2} = V_{cu} + V_{su}$$

Calculo de  $V_{cu}$ :

$$V_{cu} = \left( \frac{0,15}{\gamma_c} * \varepsilon * (100 * \rho_1 * f_{cv})^{1/3} + 0,15 * \sigma'_{cd} \right) * b_o * d * \beta$$

- $\varepsilon = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{860}} = 1,48 < 2$
- $\rho_1 = \frac{As + Ap}{b_o * d} = \frac{32,2 * 10^{-4}}{1 * 0,86} = 3,74 * 10^{-3} < 0,02$
- $f_{cv} = f_{ck} = 30\text{MPa}$
- $\beta = 1$

$$V_{cu} = 342,42\text{kN}$$

$$V_{su,nec} = (V_{rd} - V_{cu}) < 0 \text{ V}_{rd} \text{ a un canto útil}$$

$$V_{su,sin armadura} = \left( \frac{0,18}{\gamma_c} * \varepsilon * (100 * \rho_1 * f_{cv})^{1/3} + 0,15 * \sigma'_{cd} \right) * b_o * d * \beta$$

$$V_{su,sin armadura} = 399,41\text{kN}$$

LOSA INFERIOR:

$$V_{u1} = 0,3 * f_{cd} * b_o * d = 5760 \text{ kN} \geq V_{rd} = 820,455 \text{ kN}$$

Calculo de  $V_{u2}$ :

$$V_{u2} = V_{cu} + V_{su}$$

Calculo de  $V_{cu}$ :

$$V_{cu} = \left( \frac{0,15}{\gamma_c} * \varepsilon * (100 * \rho_1 * f_{cv})^{1/3} + 0,15 * \sigma'_{cd} \right) * b_o * d * \beta$$

- $\varepsilon = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{960}} = 1,456 < 2$
- $\rho_1 = \frac{A_s + A_p}{b_o * d} = \frac{32,2 * 10^{-4}}{1 * 0,96} = 3,35 * 10^{-3} < 0,02$
- $f_{cv} = f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
- $\beta = 1$

$$V_{cu} = 301,64 \text{ kN}$$

$$V_{su,nec} = (V_{rd} - V_{su}) > 0 \text{ V}_{rd} \text{ a un canto útil}$$

$$V_{su,nec} = 617,565 - 301,64 = 315,925 \text{ kN}$$

Por otra parte:

$$V_{su} = z * \sin \alpha * (\cot \theta * \cot \alpha) * A_\alpha * f_{y\alpha,d}$$

Al ser:  $\alpha = 90^\circ$

$$\theta = 45^\circ$$

$$z = 0,9 * d$$

$$V_{su} = 0,9 * d * A_{90} * f_{y90,d}$$

$$315,925 = 0,9 * 0,96 * A_{90} * 400 * 10^3$$

$$A_{90} = 9,1413 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{90} < A_{90,min} \text{ (Se comprueba posteriormente)}$$

Por lo que se opta por armar con  $\emptyset 10/0.25$  cada 0,25 metros

Cálculo de  $V_{u2}$  sin armadura:

$$V_{u2} = \left( \frac{0,18}{\gamma_c} * \varepsilon * (100 * \rho_1 * f_{cv})^{1/3} + 0,15 * \sigma'_{cd} \right) * b_o * d * \beta$$



$$V_{u2} = 361,968 \text{ kN}$$

Se puede deducir apoyándose en la ley de cortante generada por el SAP2000 que a partir de 3,15m desde los extremos no hará falta armar a cortante (parte central de la losa).

- **ARMADO MÍNIMO:**

El armado mínimo a cortante se define como:

$$A_{90,\min} = \frac{f_{ct,m}}{7,5 * f_{y90,d}} * b_o = 9,64 * 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m}$$

- ❖ *Armadura transversal.*

Aplicando la normativa de la EHE-08, en caso de producirse esfuerzos en la sección transversal, la estructura debería ir armada con un 25% de la cuantía del armado principal distribuida en las dos caras evitando así el riesgo de fallo transversalmente. Quedando del lado de la seguridad, la armadura principal es de  $32.2\text{cm}^2$ , por lo que:

$$A_{st} = 0,25 * 32,2 = 8,05\text{cm}^2$$

Se opta por armar transversalmente con  $8\Phi 12$  siendo  $A_{8\Phi 12} = 9,05\text{cm}^2$

- ❖ *Anclajes y solapes.*

Características a tener en cuenta:

$$f_{yk} = 500\text{MPa}$$

HA-30

LOSA SUPERIOR:

- **Armadura inferior:**

Con  $\Phi 25$  y  $m=1,3$

**POSICIÓN 1**

$$\begin{aligned} l_{bl} &= m * \phi^2 \geq \frac{f_{yk}}{20} * \phi \\ 812,5 &\geq 625 \\ l_{bl} &= 812,5 \text{ mm} \\ l_{bl,neta} &= \beta * l_{bl} * \frac{A_{s,nec}}{A_{s,disp}} = l_{bl} = 812,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Con:

$$\beta = 1$$

$$\frac{A_{s,nec}}{A_{s,disp}} = 1$$

Con  $\varnothing 16$  y  $m=1,3$

### POSICIÓN 1

$$l_{bl} = m * \varnothing^2 \geq \frac{f_{yk}}{20} * \varnothing$$

$$332,8 < 400$$

$$l_{bl} = 400 \text{ mm}$$

$$l_{bl,neta} = \beta * l_{bl} * \frac{A_{s,nec}}{A_{s,disp}} = l_{bl} = 400 \text{ m}$$

Con:

$$\beta = 1$$

$$\frac{A_{s,nec}}{A_{s,disp}} = 1$$

- **Armadura superior:**

Con  $\varnothing 25$  y  $m=1,3$

### POSICIÓN 2

$$l_{bl} = 1,4 * m * \varnothing^2 \geq \frac{f_{yk}}{14} * \varnothing$$

$$1137,5 \geq 892,86$$

$$l_{bl} = 1137,5 \text{ mm}$$

$$l_{bl,neta} = \beta * l_{bl} * \frac{A_{s,nec}}{A_{s,disp}} = l_{bl} = 1137,5 \text{ mm}$$

Con:

$$\beta = 1$$

$$\frac{A_{s,nec}}{A_{s,disp}} = 1$$

Con  $\varnothing 20$  y  $m=1,3$

### POSICIÓN 2

$$l_{bl} = 1,4 * m * \phi^2 \geq \frac{f_{yk}}{14} * \phi$$

$$728 \geq 714,3$$

$$l_{bl} = 728 \text{ mm}$$

$$l_{bl,neta} = \beta * l_{bl} * \frac{A_{s,nec}}{A_{s,disp}} = l_{bl} = 728 \text{ mm}$$

Con:

$$\beta = 1$$

$$\frac{A_{s,nec}}{A_{s,disp}} = 1$$

#### HASTIALES:

Misma posición tanto para las armaduras interiores como para la exteriores.

Con  $\phi 25$  y  $m=1,3$

#### **POSICIÓN 1**

$$l_{bl} = m * \phi^2 \geq \frac{f_{yk}}{20} * \phi$$

$$812,5 \geq 625$$

$$l_{bl} = 812,5 \text{ mm}$$

$$l_{bl,neta} = \beta * l_{bl} * \frac{A_{s,nec}}{A_{s,disp}} = l_{bl} = 812,5 \text{ mm}$$

Con:

$$\beta = 1$$

$$\frac{A_{s,nec}}{A_{s,disp}} = 1$$

Con  $\phi 20$  y  $m=1,3$

#### **POSICIÓN 1**

$$l_{bl} = m * \phi^2 \geq \frac{f_{yk}}{20} * \phi$$

$$520 \geq 500$$

$$l_{bl} = 520 \text{ mm}$$

$$l_{bl,neta} = \beta * l_{bl} * \frac{A_{s,nec}}{A_{s,disp}} = l_{bl} = 520 \text{ mm}$$

Con:

$$\beta = 1$$

$$\frac{A_{s,nec}}{A_{s,disp}} = 1$$

LOSA INFERIOR:

- **Armadura superior**

Con Ø25 y m=1,3

**POSICIÓN 2**

$$l_{bl} = 1,4 * m * \phi^2 \geq \frac{f_{yk}}{14} * \phi$$

$$1137,5 \geq 892,86$$

$$l_{bl} = 1137,5 \text{ mm}$$

$$l_{bl,neta} = \beta * l_{bl} * \frac{A_{s,nec}}{A_{s,disp}} = l_{bl} = 1137,5 \text{ mm}$$

Con:

$$\beta = 1$$

$$\frac{A_{s,nec}}{A_{s,disp}} = 1$$

Con Ø16 y m=1,3

**POSICIÓN 2**

$$l_{bl} = 1,4 * m * \phi^2 \geq \frac{f_{yk}}{14} * \phi$$

$$465,92 < 571,43$$

$$l_{bl} = 571,43 \text{ mm}$$

$$l_{bl,neta} = \beta * l_{bl} * \frac{A_{s,nec}}{A_{s,disp}} = l_{bl} = 571,43 \text{ mm}$$

Con:

$$\beta = 1$$

$$\frac{A_{s,nec}}{A_{s,disp}} = 1$$

- **Armadura inferior:**

Con Ø25 y m=1,3

**POSICIÓN 1**

$$l_{bl} = m * \phi^2 \geq \frac{f_{yk}}{20} * \phi$$

$$812,5 \geq 625$$

$$l_{bl} = 812,5 \text{ mm}$$

$$l_{bl,neta} = \beta * l_{bl} * \frac{A_{s,nec}}{A_{s,disp}} = l_{bl} = 812,5 \text{ mm}$$

Con:

$$\beta = 1$$

$$\frac{A_{s,nec}}{A_{s,disp}} = 1$$

Con  $\phi 20$  y  $m=1,3$

**POSICIÓN 1**

$$l_{bl} = m * \phi^2 \geq \frac{f_{yk}}{20} * \phi$$

$$520 \geq 500$$

$$l_{bl} = 520 \text{ mm}$$

$$l_{bl,neta} = \beta * l_{bl} * \frac{A_{s,nec}}{A_{s,disp}} = l_{bl} = 520 \text{ mm}$$

Con:

$$\beta = 1$$

$$\frac{A_{s,nec}}{A_{s,disp}} = 1$$

#### 4.1.4. Verificación del estado límite de servicio

##### ➤ E.L.S. Fisuración

En estructuras de hormigón suele ser inevitable la aparición de fisuras. Estas no suponen ningún problema para la durabilidad de la estructura y su uso normal, siempre y cuando se limite la abertura característica de fisura.

La abertura característica de fisura,  $w_k$ , es decir el valor de distancia entre las caras de las grietas superado solo en el 5% de los casos, será calculada para la combinación de esfuerzos del estado límite de servicio cuasi permanente.

El ambiente de exposición presente en este proyecto es el ambiente Ila para todas la estructura, por lo que la abertura máxima considerada  $w_{m\acute{a}x} = 0.3\text{mm}$ .

Por lo que se debe comprobar, en aquellos casos en los que se produzca fisuración que la abertura de fisura  $w_k$  es menor o igual que la máxima permitida.

La sección a estudiar es la del Centro-Luz de la losa superior, con un momento máximo con la combinación cuasi permanente de:

$$M_{cl} = 486,07 \text{ kN.m}$$

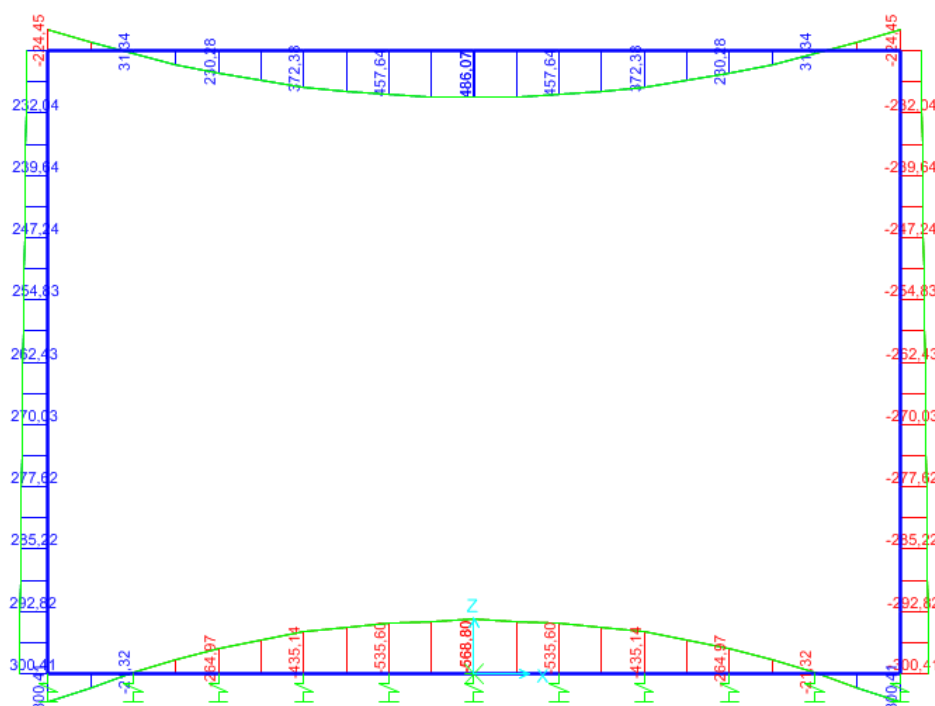


Ilustración 15. Combinación Cuasipermanente.

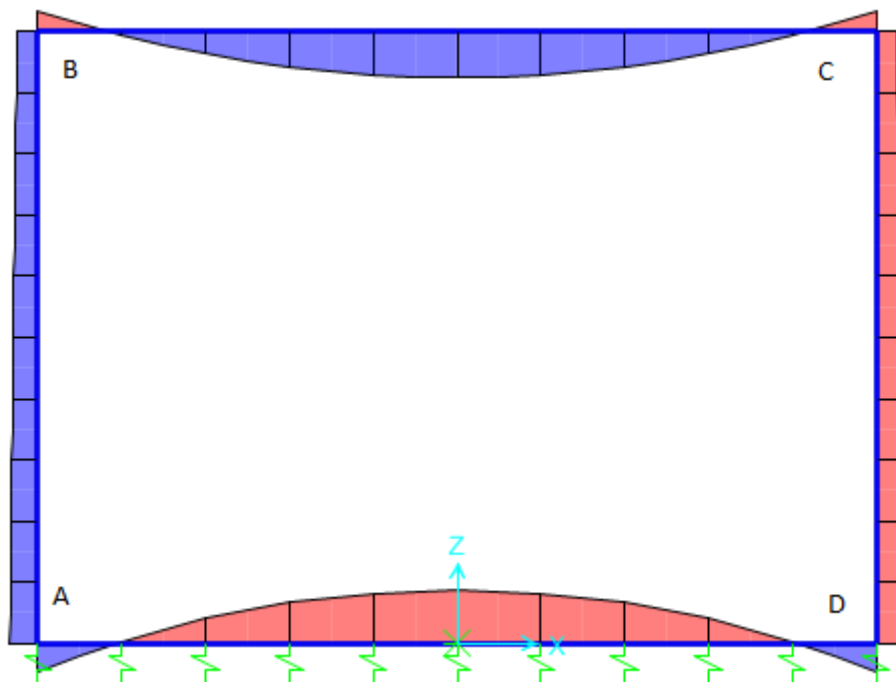


Ilustración 16. Envoltura Cuasipermanente

Cálculo del momento crítico:

$$M_{cr} = \frac{-f_{ctm,fl} * I_b}{v_2}$$

Con:

$$f_{ctm,fl} = \max\left\{\left(1,6 - \frac{h}{1000}\right) * f_{ct,m}; f_{ct,m}\right\}$$

$$f_{ct,m} = 0,3 * \sqrt[3]{fck^2} = 2,896 \text{ MPa}$$

$$v_2 = -0,5 \text{ m}$$

$$I_b = \frac{1}{12} b * h^3 = 0,0833 \text{ m}^4$$

$$M_{cr} = 482,66 \text{ kN.m} < M_{cl} = 486,07 \text{ kN.m}$$

Por lo que la sección fisura.

Cálculo de la abertura de fisura:

$$wk = \beta * \epsilon_{sm} * S_m$$

- Separación media entre fisuras:

$$S_m = 2 * c + 0,2 * s + 0,4 * k_1 * \frac{\emptyset * A_{c,eficaz}}{A_s}$$

Con  $\emptyset 25$

$$A_{c,eficaz} = (7,5 * \emptyset + rec) * b = 2275 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 27,67 \text{ cm}^2$$

$$S = \frac{b - 2 * rec}{n - 1} = 0,1314 \text{ m} = 131,4 \text{ mm}$$

$$c = 27,5 \text{ mm}$$

$$\text{De ahí: } S_m = 2 * c + 0,2 * s + 0,4 * k_1 * \frac{\emptyset * A_{efic}}{A_s} = 184,05 \text{ mm}$$

- Alargamiento medio de las armaduras

Al no considerar axil en la losa:

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} [1 - k_2 * (\frac{M_{cr}}{M_{cl}})^2] > 0,4 * \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Cálculo de  $\sigma_s$ :

Obtención de la fibra neutra:

$$\frac{1}{2} * b * x^2 + n * (A_s + A'_s) * x - n * (A'_s * d' + A_s * d) = 0$$



Con:

$$b=1\text{m}$$

$$A_s=27,67 \text{ cm}^2$$

$$A's=19,63 \text{ cm}^2$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = 7$$

$$\text{De ahí } x=0,1889\text{m}$$

Cálculo de la inercia:

$$I_{eh}(x) = \frac{1}{3} * b * x^3 + n * A's * (x - d')^2 + n * A_s * (x - d)^2 = 0,01407 \text{ m}^4$$

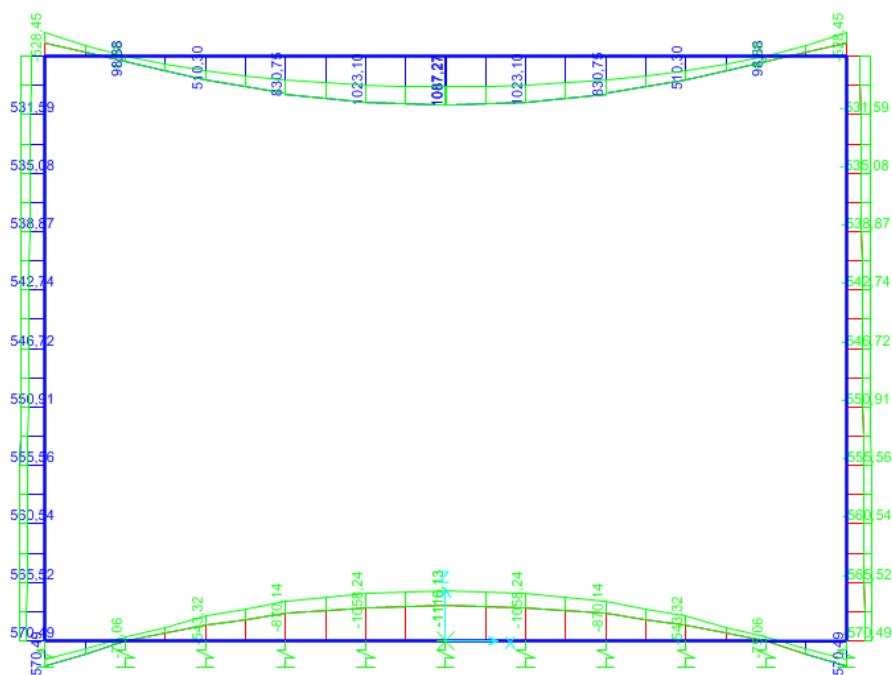
Por lo tanto:

$$\sigma_s = n * \frac{M_{cl}}{I_{eh}(x)} * z_g = 186,472 \text{ MPa}$$

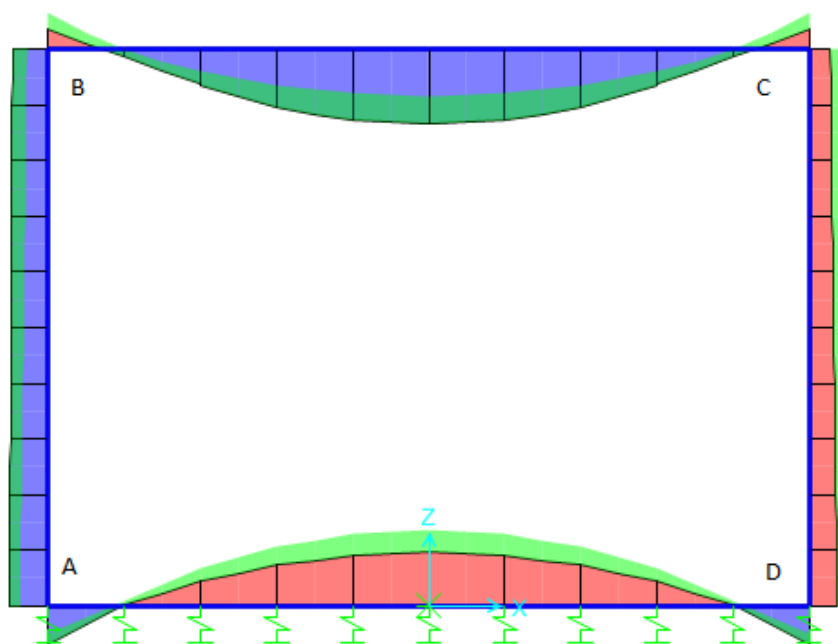
$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} [1 - k_2 * (\frac{M_{cr}}{M_{cl}})^2] = 4,7269 * 10^{-4}$$

$$w_k = \beta * \varepsilon_{sm} * S_m = 1,7 * 4,7269 * 10^{-4} * 184,05 = 0,1479 \text{ mm} < 0,3 \text{ m}$$

Para el cálculo de la flecha máxima, se tienen en cuenta los valores característicos, y es la suma de la flecha instantánea definida como la que se produce en el instante de la aplicación de la carga, y la flecha diferida que, con el paso de tiempo, se acumula a la flecha instantánea por efecto de los fenómenos diferidos del hormigón (retracción y fluencia).



*Ilustración 17. Combinación característica.*



*Ilustración 18. Envolverte combinación característica*

Cálculo de la flecha en la losa superior:

Secciones determinantes—Centro-luz y Extremos

$$\text{Momento de fisuración: } M_f = \frac{-f_{ctm,fl} * I_b}{h/2} = 482,66 \text{ kN.m}$$

$$f_{ctm,fl} = \max\left\{\left(1,6 - \frac{h}{1000}\right) * f_{ct,m}; f_{ct,m}\right\}$$

$$f_{ct,m} = 0,3 * \sqrt[3]{f_{ck}^2} = 2,896 \text{ MPa}$$

$$h/2 = -0,5$$

$$I_b = \frac{1}{12} b * h^3 = 0,0833 \text{ m}^4$$

De ahí las dos secciones FISURAN ya que  $M_{cl}=1087,27 \text{ kN.m}$  y  $M_{extremos}=528,45 \text{ kN.m}$

Sección fisurada Centro-luz

Se obtiene en un primer momento la fibra neutra

$$\frac{1}{2} * b * x^2 + n * (A_s + A'_s) * x - n * (A'_s * d' + A_s * d) = 0$$

$$x = 0,1889 \text{ m}$$

La Inercia fisurada se calcula con la siguiente expresión:

$$I_f = \frac{1}{3} * b * x^3 + n * A'_s * (x - d')^2 + n * A_s * (x - d)^2 = 0,01407 \text{ m}^4$$

Sección fisurada Extremos.

Se obtiene en un primer momento la fibra neutra.

$$\frac{1}{2} * b * x^2 + n * (A_s + A'_s) * x - n * (A'_s * d' + A_s * d) = 0$$

$$x = 0,1739 \text{ m}$$

Se calcula la Inercia fisurada

$$I_f = \frac{1}{3} * b * x^3 + n * A' s * (x - d')^2 + n * A s * (x - d)^2 = 0,06728 m^4$$

Inercia Equivalente

$$I_e = 0,5 * I_{e,cl} + 0,25 * I_{e,extremo1} + 0,25 * I_{e,extremos2}$$

$$I_{e,cl} = \left( \frac{M_f}{M_{cl}} \right)^3 * I_b + \left[ 1 - \left( \frac{M_f}{M_{cl}} \right)^3 \right] * I_f = 0,017764 m^4$$

$$I_{e,ext} = \left( \frac{M_f}{M_{ext}} \right)^3 * I_b + \left[ 1 - \left( \frac{M_f}{M_{ext}} \right)^3 \right] * I_f = 0,04368 m^4$$

$$I_e = 0,5 * I_{e,cl} + 0,25 * I_{e,extremo1} + 0,25 * I_{e,extremos2} = 0,061444 m^4$$

Flecha instantánea

$$Y_0 = \frac{M_{cl} * L^2}{16 * E_c * I_e}$$

Con

$$M_{cl} = 1087,27 kN.m$$

$$L = 8,9m$$

$$E_c = 8500 * \sqrt[3]{f_{cm}} = 28577 MPa$$

$$Y_0 = 4,31mm$$

### Flecha diferida

$$Y_{dif} = \lambda * Y_o * \frac{M_g}{M_{cl}}$$

$$\lambda = \frac{\epsilon}{1 + 50 * \rho'}$$

$$\epsilon = 1,3$$

$$\rho' = 0,5 * \frac{A_s}{b * d} + 0,5 * \frac{A'_s}{b * d} = 2,463 * 10^{-3}$$

$$\lambda = 1,1574$$

$$Y_{dif} = \lambda * Y_o * \frac{M_g}{M_{cl}} = 1,1574 * 4,31 * \frac{201,41}{1087,27} = 3,11mm$$

Por último

$$Y_t = Y_o + Y_{dif} = 7,42mm$$

Este proceso a la hora de calcular la flecha está considerando que la losa superior es bi-empotrada y se puede deducir que el valor de la flecha es infravalorado.

Por otra parte el software empleado considera que la estructura no fisura y por lo tanto nos da una deformación con inercias brutas y no fisuradas.

Podemos adoptar la flecha generada por el sap2000 y corregirla de esta manera:

$$Y_t = Y_{sap2000} * \frac{I_e}{I_b} = 25 * \frac{0,04371}{0,08333} = 13,11 mm$$

## 4.2. CÁLCULO ALETAS

### 4.2.1. Descripción

El otro elemento a modelizar son las aletas. Hay cuatro aletas con longitudes similares, con alturas idénticas y divididas en dos tramos. Para modelizar esta estructura se supondrá que se trata de una ménsula empotrada en el terreno, para el alzado del muro, y el conjunto alzado-zapata para obtener las reacciones del terreno y así calcular la cimentación de las aletas.

Se van a analizar dos secciones características de las cuatro aletas. Se estudia las secciones más altas de cada tramo de aleta ya que estas son las que mayores acciones soportan. Por tanto se estudia una sección de muro con 6,5m de alto y otra con 3,75m de alto. Estas dos secciones serán representativas de cada tramo para las cuatro aletas y por tanto los cálculos realizados para una servirán para el resto.

El objetivo de las aletas es contener las tierras del terraplén con un talud 3H: 2V. Las aletas se ejecutarán "in situ" adosadas a los hastiales del cajón y separados de estos mediante una junta en frío.

Teniendo en cuenta las necesidades geométricas que deben satisfacer las aletas al acompañar el descenso del talud se propone dividir longitudinalmente en planta las aletas formando módulos de longitud de 7m a cada uno de los cuales se asignará una única sección (Tipo 1 y Tipo 2). De esta manera se conseguirá que, al menos parcialmente, la disminución de los espesores de alzado y zapata, así como del ancho de esta última, acompañe la caída de tierras. Como se ha citado antes, se ha de tener en cuenta también que el talud que forma el terraplén será un 3H: 2V, y por tanto las aletas no tendrán las mismas dimensiones al inicio y al final. Tendrán además una altura variable que estará comprendida entre los 6.5 metros en el extremo en contacto con el marco y 1 metro en el extremo final.

A continuación se calcularán las aletas considerándose como muros en ménsula sometidos en su trasdós a acciones de tierras.

En cada sección tipo se estudiará la sección de mayor altura ya que será la más desfavorable debido al empuje del terreno.

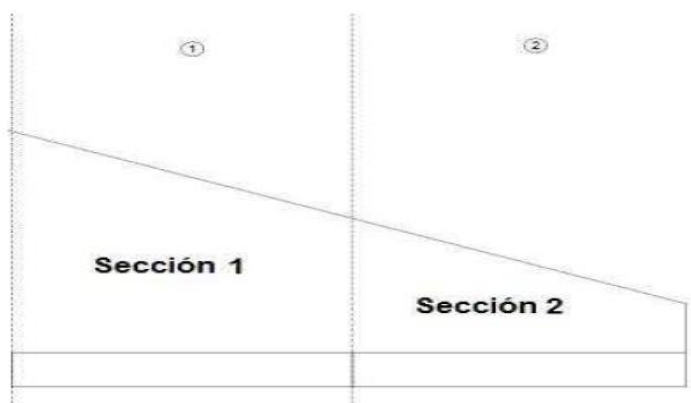


Ilustración 19. Descripción Aletas

Para definir la geometría del muro, tiene que cumplir unas exigencias de estabilidad que vienen citadas en la “Guía de Cimentaciones”, como pueden ser, la estabilidad frente a deslizamiento, vuelco y hundimiento.

Para ello algunos elementos se predimensionan siguiendo el criterio descrito a continuación:

- El **ancho del muro** será constante y tendrá un valor de **0.1\*H** o mayor, siendo

H la altura del muro.

- El **canto de la zapata** será ligeramente superior al ancho del muro y de valor constante, en este caso se toma un valor de **0.1\*H + 0.1**, es decir, se incrementa en 10 centímetros el ancho del muro.

#### 4.2.2. Acciones

##### ❖ *Peso propio.*

Esta acción, correspondiente al peso de los elementos estructurales. Su actuación se tiene en cuenta en el estado de carga para cargas permanentes, que posteriormente se emplea en combinaciones mayorado.

Su valor se obtiene a partir de las dimensiones especificadas en los planos y del peso específico del material constitutivo.

-Peso propio del hormigón: 25,00KN/m<sup>3</sup>

##### ❖ *Cargas muertas.*

De carácter permanente, son las debidas a todos los elementos no estructurales que gravitan sobre la estructura. Se considera como tal el peso de las tierras sobre el talón.

Con estos datos podemos conocer que fuerza actúa sobre el talón. Ésta será una carga distribuida.

##### ❖ *Empuje de tierras*

En el caso de las aletas, como se sabe que el alzado cederá ante el empuje de las tierras, se deduce el empuje actuante es el activo.

Sin embargo, puesto que el apartado de dimensionamiento de las secciones se realizará considerando inclinaciones distintas del terreno en el trasdós, el empuje deberá ser calculado en modo diferente según la superficie del mismo sea horizontal o bien presente pendiente.

La expresión que nos proporciona el empuje horizontal de tierras será:

$$E_a = K_a * Y_{aparente} * Z$$

$$K_a = \frac{1 - \sin \Phi'}{1 + \sin \Phi'} = \frac{1 - \sin 30}{1 + \sin 30} = 0,3333$$

De ahí la resultante del empuje activo es:

$$E_{AE} = \frac{1}{2} * \gamma_{aparente} * H^2 * K_a$$

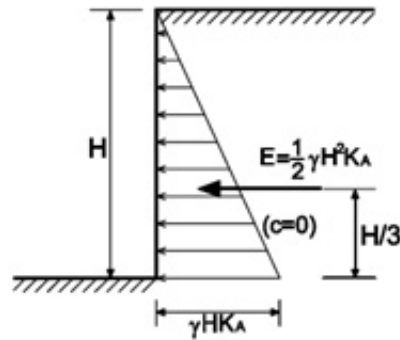


Ilustración 20. Empuje de tierras.

#### ❖ Sobrecarga en terraplenes.

Consiste en un empuje que actúa uniformemente sobre los laterales del marco.

Esta sobrecarga sólo se tendrá en cuenta cuando la distancia horizontal entre el eje de la vía y la estructura sea menor o igual que la mitad de su altura. Siendo este el caso que se da en la estructura calculada, se consideran una sobrecarga uniforme de  $30 \text{ kN/m}^2$  que va multiplicada por un coeficiente.

$$e_{SC} = 30 * K_a * \alpha \approx 12 \text{ kN/m}^2$$

De ahí la resultante de la sobrecarga en terraplenes es:

$$E_{sc} = e_{SC} * H$$

### 4.2.3. Comprobaciones

#### ➤ Sección Tipo 1.

En esta sección el muro tiene una altura  $H = 6,5 \text{ m}$ . con lo que el ancho del muro, como tiene que ser  $h \geq H/10$ , se ha tomado un valor de  $h_1 = 0,65 \text{ m}$ . El canto de la losa, será de  $h_2 = 0,75 \text{ m}$ . De ahí los valores de las cargas actuantes serían:

$$W_a = H * h_1 * 1 * 25 = 105,625 \text{ kN}$$

$$W_z = (p + t + 0,65) * 25 \text{ (kN)}$$

$$W_t = (t * 1 * 6,5) * 20 \text{ (kN)}$$



$$W_{sc} = 33,45 * t$$

$$E_{AE} = \frac{1}{2} * Y_{aparente} * H^2 * K_a = 139,425 (kN)$$

$$E_{sc} = 12 * 6,5 = 78 kN$$

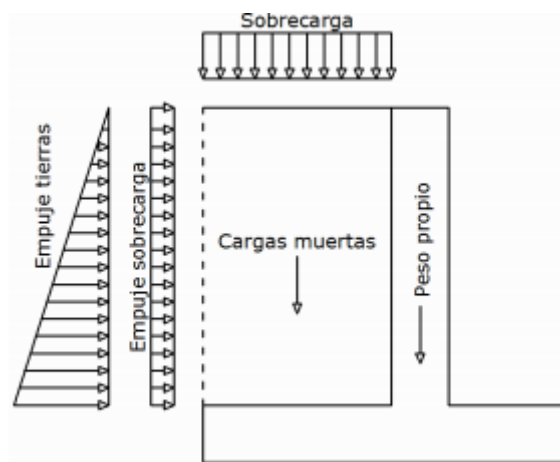


Ilustración 21.Estado de Cargas

Programando una hoja Excel para iterar los valores de la puntera y el talón se obtienen los siguientes datos.

P	0,6m
T	2,6m

Acción	Fh	Fv	Brazo	M. Est	M. Dest
P. Alzado		105,625	0,925	97,703125	
P. Zapata		96,25	1,925	185,28125	
Empuje Activo	139,425		2,17		302,55225
P. Tierras		338	2,55	861,9	
Empuje SC	78		3,25		253,5
SC uso vertical		86,97	2,55	221,7735	
Sismo					
Sum con SC	217,425	626,845		1366,65788	556,05225
Sum sin SC	139,425	539,875		1144,88438	302,55225

Se ha dimensionado la puntera y el talón para que cumpla las condiciones deslizamiento y vuelco. Según las ecuaciones de la Guía de Cimentaciones.

Deslizamiento	Con SC	1,66452322	>1,30	CUMPLE
	Sin SC	2,23558782	>1,50	CUMPLE
Vuelco	Con SC	2,45778679	>1,80	CUMPLE
	Sin SC	3,78408812	>2,00	CUMPLE

Condición de deslizamiento:

$$\frac{\sum F_v \cdot \tan(\phi)}{\sum F_h} \geq F$$

TABLA 4.8. DESLIZAMIENTO: COEFICIENTES DE SEGURIDAD MÍNIMOS PARA CIMENTACIONES SUPERFICIALES

COMBINACIÓN DE ACCIONES	COEFICIENTE DE SEGURIDAD FRENTE AL DESLIZAMIENTO
Casi permanente (*)	$F_1 \geq 1,50$
Característica	$F_2 \geq 1,30$
Accidental	$F_3 \geq 1,10$

(\*) Como valor del coeficiente de seguridad para la combinación de acciones casi permanente, en situaciones transitorias y de corto plazo, podrá adoptarse el coeficiente de seguridad  $F_2$  (véase apartado 2.10).

Condición de vuelco:

$$\frac{\sum M_{estabilizadores}}{\sum M_{desestabilizadores}} \geq F$$

TABLA 4.9. VUELCO: COEFICIENTES DE SEGURIDAD MÍNIMOS PARA CIMENTACIONES SUPERFICIALES

COMBINACIÓN DE ACCIONES	COEFICIENTE DE SEGURIDAD AL VUELCO RÍGIDO	COEFICIENTE DE SEGURIDAD AL VUELCO PLÁSTICO
Casi permanente(*)	$F_1 \geq 2,00$	$F_1 \geq 1,50$
Característica	$F_2 \geq 1,80$	$F_2 \geq 1,30$
Accidental	$F_3 \geq 1,50$	$F_3 \geq 1,10$

(\*) Como valor del coeficiente de seguridad para la combinación de acciones casi permanente, en situaciones transitorias y de corto plazo, podrá adoptarse el coeficiente de seguridad  $F_2$  (véase apartado 2.10).

### Comprobación frente a hundimiento

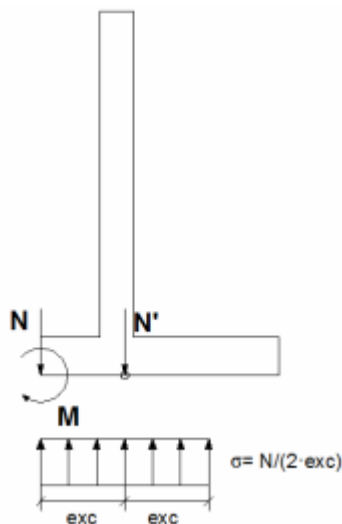


Ilustración 22

Para comprobar la estabilidad frente a hundimiento se tiene que cumplir la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{N}{2 * e} \leq \sigma_{adm}$$

Con:

$\sigma_{adm}$  La tensión admisible

N: Sumatorio de fuerzas verticales

e: Excentricidad definida como  $e = \frac{\sum M_{estab}}{\sum F_v}$

Por lo que la estructura es estable frente a hundimiento.

➤ Sección Tipo 2.

En esta sección el muro tiene una altura  $H = 3,75$  m. con lo que el ancho del muro, comotiene que ser  $h \geq H/10$ , se ha tomado un valor de  $h_1 = 0,4$ m. El canto de la losa, será de  $h_2 = 0,5$ m.

En el caso de la sección tipo 2, lo que cambia es el coeficiente de empuje activo que viene definido mediante la Teoría de Coulomb:

$$K_A = \left[ \frac{\operatorname{cosec}(\beta) * \operatorname{sen}(\beta - \phi)}{\sqrt{\operatorname{sen}(\beta + \delta)} + \sqrt{\frac{\operatorname{sen}(\delta + \phi) * \operatorname{sen}(\phi - i)}{\operatorname{sen}(\beta - i)}}} \right]^2$$

Con

$\delta$  :El ángulo de rozamiento entre el terreno y el muro  $\delta = 0$

$\beta$  y  $i$ : Ángulos indicados en la figura a continuación  $i = 24,25^\circ \setminus \beta = 90^\circ$

$\phi$  : Ángulo de rozamiento interno  $30^\circ$

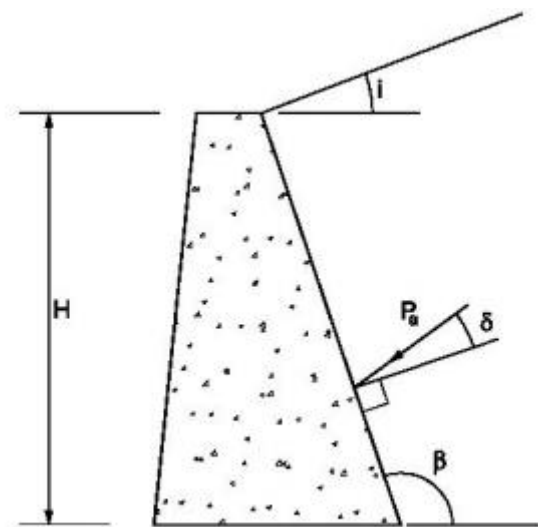


Figura 2.3. Empuje activo

$$K_A = 0,508$$

Iterando y utilizando la misma hoja Excel se sacan los valores de:

**Puntera: 0,5 m**

**Talón: 1,9 m**

#### 4.2.4. ELU de agotamiento frente a solicitaciones normales

La determinación de la armadura de las tres secciones que conforman las aletas se realizará analizando los siguientes puntos:

- La sección inferior del muro en su unión con la losa
- La sección del muro a H/4 de altura respecto a su unión con la losa.
- La sección de la losa en su intersección con el intradós del muro. En este punto se produce el flector  $M_{ab}$ . Con este flector se obtiene la armadura inferior de flexión de la losa.
- La sección de la losa en su intersección con el trasdós del muro. En este caso, en este punto se produce el flector  $M_{ar}$ , a partir del cual se obtiene la armadura superior de flexión de la losa.

Para el cálculo de la armadura a flexión debemos de tener en cuenta el momento en el empotramiento del alzado con la zapata y el momento a una distancia de H/3 de dicho empotramiento.

Se adoptan un coeficiente de seguridad  $\gamma=1.5$ , este coeficiente se multiplicará por el momento que resulte, obteniéndose así unas cargas mayoradas.

Las características a tener en cuenta han sido:

- Hormigón: HA-30
- Ambiente: IIa
- Acero: B500S
- Recubrimiento mecánico: 0.04m
- ARMADO de la sección TIPO 1
  - Armado del trasdós

El momento en la base del muro y mayorado con un coeficiente de 1,5 donde se considera que las cargas actuantes son, el empuje del terreno y el empuje de las sobrecargas de ahí:

$$M_0 = \gamma * (M_{tierras} + M_{sc})$$

$$M_0 = 1,5 * (302,1 + 253,5) = 833,4 \text{ kN.m}$$

Con un canto de 0,65 m del muro se saca la fibra neutra y posteriormente la armadura necesaria como se hizo para armar el marco.

Fibra neutra (FN)= $x=0,093\text{m}$

$$A_s = \frac{0,8 * X * f_{cd} * b}{f_{yd}} = \frac{0,8 * 0,093 * 20 * 1}{434,8} * 10^4 = 34,05 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Para el momento a  $H/4$  de la losa, se consideran las mismas cargas y se mayor de la misma manera.

$$M_{H/4} = \gamma * (M_{tierras} + M_{sc})$$

$$M_{H/4} = 1,5 * (127,44 + 142,6) = 405 \text{ kN.m}$$

Fibra neutra (FN)= $x=0,043\text{m}$

$$A_s = \frac{0,8 * X * f_{cd} * b}{f_{yd}} = \frac{0,8 * 0,043 * 20 * 1}{434,8} * 10^4 = 15,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

- Armado del intradós

La armadura vertical del intradós será dimensionada según la norma y como mínimo tiene un valor de un 30% de la armadura del trasdós.

$$0,3 * A_s = 10,215 \text{ cm}^2$$

- Armado superior de la zapata.

Para calcular el caso más desfavorable se considera que están actuando el peso de las tierras y la sobrecarga conjuntamente, igual que para el muro se aumentarán sus valores con un coeficiente de mayoración.

El momento se calcula a una distancia de  $-0,15 * h_1 = 0,1 \text{ m}$  – de la unión zapata-muro

$$M_{ar} = \gamma * (M_{tierras} + M_{sc})$$

$$M_{ar} = 1,5 * (130 + 33,45) * 2,6 * (1,3 + 0,1) = 892,5 \text{ kN.m}$$

Como para el muro el cálculo de la armadura es

$$h = 0,75 \text{ m}$$

$$b = 1,00 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{0,8 * X * f_{cd} * b}{f_{yd}} = 30,80 \text{ cm}^2/\text{m}$$

○ Armado inferior de la zapata

En la sección de la losa en su intersección con el intradós del muro se produce el flector  $M_{ab}$  a una distancia de  $-0,15 * h_1 = 0,1 \text{ m}$  –

Por lo tanto:

$$M_{ab} = \gamma * (0,7 * \sigma) * 0,35$$

$\sigma$ : la resultante de fuerzas verticales

$$\sigma = \frac{F}{2.e}$$

De ahí

$$M_{ab} = 35,05 \text{ kN.m}$$

Por lo tanto el armado correspondiente sería

$$A_s = \frac{0,8 * X * f_{cd} * b}{f_{yd}} = 1,15 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Por lo tanto se armará con la armadura mínima correspondiente.

➤ ARMADO MÍNIMO de la sección TIPO 1

Según la EHE-08 los mínimos a considerar en muros y en la zapata (que se considera como losa) son:

Tipo de elemento estructural		Tipo de acero	
		Aceros con $f_y = 400\text{N/mm}^2$	Aceros con $f_y = 500\text{N/mm}^2$
Pilares		4,0	4,0
Losas <sup>(1)</sup>		2,0	1,8
Forjados unidireccionales	Nervios <sup>(2)</sup>	4,0	3,0
	Armadura de reparto perpendicular a los nervios <sup>(3)</sup>	1,4	1,1
	Armadura de reparto paralela a los nervios <sup>(3)</sup>	0,7	0,6
Vigas <sup>(4)</sup>		3,3	2,8
Muros <sup>(5)</sup>	Armadura horizontal	4,0	3,2
	Armadura vertical	1,2	0,9

Ilustración 23. Mínimos EHE-08

De ahí:

$$\text{MUROS: } \frac{0,9}{1000} A_{\text{hormigón}} = A_s = 5,85 \text{ cm}^2$$

$$\text{ZAPATAS: } \frac{0,9}{1000} A_{\text{hormigón}} = A_s = 6,75 \text{ cm}^2$$

### ✓ **Resumen del armado :**

Después de calcular los mínimos y compararlos con las armaduras necesarias se resuelve el armado del muro.

#### **MURO**

Trasdós-punto H/4 –  $A_{s,necesaria} = 15,99 \text{ cm}^2$  – por lo que se resuelve con 6Ø20

Trasdós-punto o –  $A_{s,necesaria} = 34,05 \text{ cm}^2$  – por lo que se resuelve con 6Ø20 + 6Ø20

Intradós-

$A'_s = 0,3 * A_s = 10,215 \text{ cm}^2$  por lo que se resuelve con 6Ø16

La armadura horizontal del muro viene definida según la norma como un 3,2‰ de la sección de hormigón repartida en ambas caras. Con lo cual, la armadura horizontal en cada cara vendrá representada por un 1,6‰ y será de 6Ø16

#### **ZAPATA**

Armado superior de la losa –  $A_{s,necesaria} = 30,8 \text{ cm}^2$  – por lo que se resuelve con 7Ø25

Armado inferior de la losa –  $A_{s,necesaria} = 1,15 \text{ cm}^2 < A_{s,min} = 6,75 \text{ cm}^2$  – por lo que se resuelve con 7Ø12

Armadura de reparto en losas: La armadura de reparto de la losa viene definida según la norma como un 1.8‰ de la sección de hormigón repartida en ambas caras. Se disponen tanto inferior como superior.

Se resuelve con 7Ø12 tanto en la cara superior como la inferior



➤ ARMADO de la sección TIPO 2

○ Armado del trasdós

El momento en la base del muro y mayorado con un coeficiente de 1,5 donde se considera que las cargas actuantes son, el empuje del terreno y el empuje de las sobrecargas de ahí:

$$M_0 = \gamma * (M_{tierras} + M_{sc})$$

$$M_0 = 1,5 * (58 + 84,375) = 213,56 \text{ kN.m}$$

Con un canto de 0,4 m del muro se saca la fibra neutra y posteriormente la armadura necesaria como se hizo para armar el marco.

$$A_s = \frac{0,8 * X * f_{cd} * b}{f_{yd}} = 14,71 \text{ cm}^2/m$$

Para el momento a H/4 de la losa, se consideran las mismas cargas y se mayor de la misma manera.

$$M_{H/4} = \gamma * (M_{tierras} + M_{sc})$$

$$M_{H/4} = 1,5 * (24,47 + 47,46) = 108 \text{ kN.m}$$

Entonces:

$$A_s = \frac{0,8 * X * f_{cd} * b}{f_{yd}} = 7,26 \text{ cm}^2/m$$

○ Armado del intradós

La armadura vertical del intradós será dimensionada según la norma y como mínimo tiene un valor de un 30% de la armadura del trasdós.

$$0,3 * A_s = 4,413 \text{ cm}^2$$

- Armado superior de la zapata

Para calcular el caso más desfavorable se considera que están actuando el peso de las tierras y la sobrecarga conjuntamente, igual que para el muro se aumentarán sus valores con un coeficiente de mayoración.

El momento se calcula a una distancia de  $-0,15 * h_1 = 0,06 \text{ m}$  – de la unión zapata-muro.

$$M_{ar} = \gamma * (M_{tierras} + M_{sc})$$

$$M_{ar} = 1,5 * (130 + 33,45) * 1,5 * (0,75 + 0,06) = 298 \text{ kN.m}$$

Como para el muro el cálculo de la armadura es :

$$h = 0,5 \text{ m}$$

$$b = 1,00 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{0,8 * X * f_{cd} * b}{f_{yd}} = 15,84 \text{ cm}^2/\text{m}$$

- Armado inferior de la zapata

En la sección de la losa en su intersección con el intradós del muro se produce el flector  $M_{ab}$  a una distancia de  $-0,15 * h_1 = 0,03 \text{ m}$  –

Por lo tanto

$$M_{ab} = \gamma * (0,56 * \sigma) * \frac{0,56}{2}$$

$\sigma$ : la resultante de fuerzas verticales

$$\sigma = \frac{F}{2.e} = 92,134 \text{ kN/m}$$

De ahí

$$M_{ab} = 15 \text{ kN.m}$$

Por lo tanto el armado correspondiente sería

$$A_s = \frac{0,8 * X * f_{cd} * b}{f_{yd}} = 0,77 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Por lo tanto se armará con la armadura mínima correspondiente.

➤ ARMADO MÍNIMO de la sección TIPO 2

Según la EHE-08 los mínimos a considerar en muros y en la zapata (que se considera como losa) son:

Tipo de elemento estructural		Tipo de acero	
		Aceros con $f_y = 400\text{N/mm}^2$	Aceros con $f_y = 500\text{N/mm}^2$
Pilares		4,0	4,0
Losas <sup>(1)</sup>		2,0	1,8
Forjados unidireccionales	Nervios <sup>(2)</sup>	4,0	3,0
	Armadura de reparto perpendicular a los nervios <sup>(3)</sup>	1,4	1,1
	Armadura de reparto paralela a los nervios <sup>(3)</sup>	0,7	0,6
Vigas <sup>(4)</sup>		3,3	2,8
Muros <sup>(5)</sup>	Armadura horizontal	4,0	3,2
	Armadura vertical	1,2	0,9

Ilustración 24. Mínimos EHE-08

De ahí:

$$\text{MUROS: } \frac{0,9}{1000} A_{\text{hormigón}} = A_s = 3,6 \text{ cm}^2$$

$$\text{ZAPATAS: } \frac{0,9}{1000} A_{\text{hormigón}} = A_s = 4,5 \text{ cm}^2$$

### ✓ **Resumen del armado :**

Después de calcular los mínimos y compararlos con las armaduras necesarias se resuelve el armado del muro.

#### **MURO**

Trasdós-punto H/4 –  $A_{s,necesaria} = 7,26cm^2$  – por lo que se resuelve con 4Ø16

Trasdós-punto o –  $A_{s,necesaria} = 14,71cm^2$  – por lo que se resuelve con 4Ø16 + 4Ø16

Intradós-

$A'_s = 0,3 * A_s = 4,413cm^2$  por lo que se resuelve con 4Ø12

La armadura horizontal del muro viene definida según la norma como un 3,2‰ de la sección de hormigón repartida en ambas caras. Con lo cual, la armadura horizontal en cada cara vendrá representada por un 1,6‰ y será de 4Ø16

#### **ZAPATA**

Armado superior de la losa-  $A_{s,necesaria} = 15,84cm^2$  – por lo que se resuelve con 6Ø20

Armado inferior de la losa-  $A_{s,necesaria} = 0,77cm^2 < A_{s,min} = 4,5cm^2$  – por lo que se resuelve con 6Ø12

Armadura de reparto en losas: La armadura de reparto de la losa viene definida según la norma como un 1.8‰ de la sección de hormigón repartida en ambas caras. Se disponen tanto inferior como superior.

Se resuelve con 6Ø12 tanto en la cara superior como la inferior

#### ❖ CORTANTE.

En principio, en este apartado hay que comprobar que no se necesita armadura de cortante, para ello se estudian los puntos más solicitados a cortante y se deduce que la sección que se encuentra a una distancia igual a un canto útil de la base del muro es la más desfavorable.

- Sección TIPO 1

Comprobar que

$$V_{rd} \leq V_{u2, \sin \text{armadura}}$$

$$V_{rd} = 108,7125 kN$$

$$V_{u2, sin armadura} = \left( \frac{0,18}{\gamma_c} * \varepsilon * (100 * \rho_1 * f_{cv})^{1/3} + 0,15 \sigma'_{cd} \right) * b_o * d * \beta$$

- $\varepsilon = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{610}} = 1,573 < 2$
- $\rho_1 = \frac{A_s + A_p}{b_o * d} = \frac{37,7 * 10^{-4}}{1 * 0,95} = 6,18 * 10^{-3} < 0,02$
- $f_{cv} = f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
- $\beta = 1$
- $\sigma'_{cd} = 0$  (No se considera el axil)

$$V_{u2, sin armadura} = 304,75 kN > V_{rd}$$

Por lo que no se necesita armar a cortante.

- Sección TIPO 2

Comprobar que

$$V_{rd} \leq V_{u2, sin armadura}$$

$$V_{rd} = 65,7 kN$$

$$V_{u2, sin armadura} = \left( \frac{0,18}{\gamma_c} * \varepsilon * (100 * \rho_1 * f_{cv})^{1/3} + 0,15 \sigma'_{cd} \right) * b_o * d * \beta$$

- $\varepsilon = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{360}} = 1,573 < 2$
- $\rho_1 = \frac{A_s + A_p}{b_o * d} = \frac{16,08 * 10^{-4}}{1 * 0,95} = 6,18 * 10^{-3} < 0,02$
- $f_{cv} = f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
- $\beta = 1$
- $\sigma'_{cd} = 0$  (No se considera el axil)

$$V_{u2, sin armadura} = 179,056 kN > V_{rd}$$

Por lo que no se necesita armar a cortante.

#### 4.2.5. E.L.S.Fisuración

En estructuras de hormigón suele ser inevitable la aparición de fisuras. Estas no suponen ningún problema para la durabilidad de la estructura y su uso normal, siempre y cuando se limite la abertura característica de fisura.

La abertura característica de fisura,  $w_k$ , es decir el valor de distancia entre las caras de las grietas superado solo en el 5% de los casos, será calculada para la combinación de esfuerzos del estado límite de servicio cuasi permanente.

El ambiente de exposición presente en este proyecto es el ambiente Ila para todas la estructura, por lo que la abertura máxima considerada  $w_{m\acute{a}x} = 0.3\text{mm}$ .

Por lo que se debe comprobar, en aquellos casos en los que se produzca fisuración que la abertura de fisura  $w_k$  es menor o igual que la máxima permitida.

Se comprobará la fisuración en la sección inferior del muro en su unión con la losa ya que es el punto del muro que más solicitado esta.

Esta comprobación se hace para las dos secciones tipo, pero se verifica que solo fisura la sección TIPO1

No se considera la actuación de la sobrecarga y se calcula con la combinación cuasipermanente dando un valor de  $M_{actuante} = 330,84 \text{ kN.m}$

Cálculo del momento crítico:

$$M_{cr} = \frac{-f_{ctm,fl} * I_b}{v_2}$$

Con:

$$f_{ctm,fl} = \max\left\{\left(1,6 - \frac{h}{1000}\right) * f_{ct,m}; f_{ct,m}\right\}$$

$$f_{ct,m} = 0,3 * \sqrt[3]{fck^2} = 2,896 \text{ MPa}$$

$$V_2 = -0,325\text{m}$$

$$I_b = \frac{1}{12} b * h^3 = 0,022885 \text{ m}^4$$

$$M_{cr} = 189,36 \text{ kN.m} < M = 330,84 \text{ kN.m}$$

Por lo que la sección fisura.

Cálculo de la abertura de fisura:

$$wk = \beta * \epsilon_{sm} * S_m$$

- Separación media entre fisuras:

$$S_m = 2 * c + 0,2 * s + 0,4 * k_1 * \frac{\phi * A_{c,eficaz}}{A_s}$$

$$A_{c,eficaz} = (7,5 * \phi + rec) * b = 1900 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 37,7 \text{ cm}^2$$

$$s = \frac{b - 2 * rec}{n - 1} = 83,64 \text{ mm}$$

$$c = 30 \text{ mm}$$

$$k_1 = 0,125 \text{ Flexión simple}$$

De ahí

$$S_m = 2 * c + 0,2 * s + 0,4 * k_1 * \frac{\phi * A_{efic}}{A_s} = 127,126 \text{ mm}$$

- Alargamiento medio de las armaduras

Al no considerar axil en la losa:

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} [1 - k_2 * (\frac{M_{cr}}{M_{cl}})^2] > 0,4 * \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Cálculo de  $\sigma_s$ :

Obtención de la fibra neutra:

$$\frac{1}{2} * b * x^2 + n * (A_s + A'_s) * x - n * (A'_s * d' + A_s * d) = 0$$

Con:

$$b=1\text{m}$$

$$A_s=37,7 \text{ cm}^2$$

$$A's=6,79 \text{ cm}^2$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = 7$$

$$\text{De ahí } x=0,151\text{m}$$

Cálculo de la inercia:

$$I_{eh}(x) = \frac{1}{3} * b * x^3 + n * A's * (x - d')^2 + n * A_s * (x - d)^2 = 6,526 * 10^{-3} m^4$$

Por lo tanto:

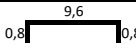
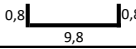

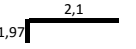

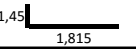
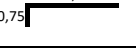
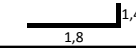


$$\sigma_s = n * \frac{M_{cl}}{I_{eh}(x)} * z_g = -148,72 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[ 1 - k_2 * \left( \frac{M_{cr}}{M_{cl}} \right)^2 \right] = 5,742 * 10^{-4}$$

$$wk = \beta * \varepsilon_{sm} * S_m = 1,7 * 4,7269 * 10^{-4} * 127,126 = 0,1241 \text{ mm} < 0,3 \text{ mm}$$



## 5. DESPIECE Y VALORACIÓN ECONÓMICA DE LAS ARMADURAS:

Id	φ (mm)	Forma	Nº Piezas/m	Longitud Unitaria	Longitud Total(m/m)	Peso	Peso Total	Peso Total obra	Precio unitario por metro lineal (Euro/m)	Precio por metro (Euro)	Precio total (Euro)
A	25		8	11,2	89,6	3,85	344,96	5643,546	3,71	332,416	5438,32576
B	25		8	11,4	91,2	3,85	351,12	5744,323	3,71	338,352	5535,43872
C	16		8	2,6	20,8	1,58	32,864	537,655	1,64	34,112	558,07232
D	20		8	4,07	32,56	2,47	80,4232	1315,724	2,44	79,4464	1299,743104
E	20		8	3,87	30,96	2,47	76,4712	1251,069	2,44	75,5424	1235,873664
F	25		8	7,1	56,8	3,85	218,68	3577,605	3,71	210,728	3447,51008
G	25		8	3,265	26,12	3,85	100,562	1645,194	3,71	96,9052	1585,369072
H	25		8	7,05	56,4	3,85	217,14	3552,410	3,71	209,244	3423,23184
I	25		8	3,25	26	3,85	100,1	1637,636	3,71	96,46	1578,0856
J	10		16	2,26	36,16	0,617	22,31072	4380,04055	0,72	26,0352	5111,230464
K	12		8	1	8	0,888	7,104	1034,370816	0,95	7,6	1106,5904
										1506,8412	30319,47102



## **ANEJO Nº2.-CÁLCULOS**

P.I. BAJO FERROCARRIL EN EL TRAMO DE ALTA VELOCIDAD TALAYUELA-CÁCERES. T M DE PLASENCIA (CÁCERES).