



ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL



Índice:

- 1.- INTRODUCCIÓN
 - 1.1.- DESCRIPCIÓN DE LOS PROGRAMAS INFORMÁTICOS UTILIZADOS
 - 1.2.- INSTRUCCIÓN Y NORMAS APLICADAS
- 2.- DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA
- 3.- DEFINICIÓN DE LAS ACCIONES
 - 3.1.- PESO PROPIO
 - 3.2.- CARGAS MUERTAS
 - 3.3.- ACCIONES PERMANENTES DE VALOR NO CONSTANTE
 - 3.3.1.- EMPUJE DE TIERRAS
 - 3.3.2.- EMPUJE ACTIVO
 - 3.3.3.- EMPUJE AL REPOSO
 - 3.4.- SOBRECARGA DE USO
 - 3.4.1.- SOBRECARGA EN TERRAPLENES
 - 3.4.2.- ROZAMIENTO NEGATIVO
- 4.- COEFICIENTES DE SEGURIDAD E HIPOTESIS DE CARGA
 - 4.1.- VALORES REPRESENTATIVOS
 - 4.1.1.- PERMANENTES (G)
 - 4.1.2.- ACCIONES REOLOGICAS
 - 4.1.3.- ACCIONES DEBIDAS AL TERRENO
 - 4.1.4.- VARIABLES (Q)
 - 4.1.5.- ACCIDENTALES (A)
 - 4.2.- VALORES DE CÁLCULO
 - 4.3.- HIPOTESIS DE CARGA
- 5.- CALCULO DEL MARCO
 - 5.1.- INTRODUCCION DE ACCIONES
 - 5.2.- VERIFICACIÓN E.L.U.
 - 5.2.1- ELU AGOTAMIENTO FRENTE A SOLICITACIONES NORMALES
 - 5.2.1.1.- ARMADO DE LA LOSA SUPERIOR
 - 5.2.1.2.- ARMADO DE LA LOSA INFERIOR
 - 5.2.1.3.- ARMADO DE LOS HASTIALES
 - 5.2.2.- ELU DE AGOTAMIENTO FRENTE A CORTANTE
 - 5.2.3.- ARMADURA DE CORTANTE LOSA SUPERIOR
 - 5.2.4.- ARMADURA DE CORTANTE LOSA INFERIOR
 - 5.2.5.- ARMADURA DE CORTANTE HASTIALES
 - 5.3.- VERIFICACIÓN E.L.S.
 - 5.3.1.- E.L.S. FISURACIÓN
 - 5.3.1.1.- ESFUERZOS
- 6.- CÁLCULO DE LAS ALETAS
 - 6.1.- NORMA Y MATERIALES
 - 6.2.- ACCIONES
 - 6.3.- DATOS GENERALES
 - 6.4.- DESCRIPCIÓN DEL TERRENO



ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL



- 6.5.- GEOMETRÍA
- 6.6.- ESQUEMA DE LAS FASES
- 6.7.- CARGAS
- 6.8.- RESULTADOS DE LAS FASES
- 6.9.- COMBINACIONES
- 6.10.- DESCRIPCIÓN DEL ARMADO
- 6.11.- COMPROBACIONES GEOMÉTRICAS Y DE RESISTENCIA



1.- INTRODUCCIÓN

El presente anejo tiene por objeto el cálculo de la estructura necesaria para llevar a cabo la construcción de la estructura correspondiente al Proyecto de la obra de drenaje en el aeródromo "El Castaño", Luciana, en la provincia de Ciudad Real. La estructura a calcular es un marco de hormigón armado.

En este anejo desarrollaremos los siguientes puntos:

- 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.

1.1.- DESCRIPCIÓN DE LOS PROGRAMAS INFORMÁTICOS UTILIZADOS

A continuación describimos los programas informáticos que se han empleado para el cálculo de la estructura objeto de este proyecto.

SAP2000

Se trata de un programa de cálculo elástico lineal por el Método de los Elementos Finitos, que contempla acciones de cálculo elástico y dinámico.

Se estructura como un paquete modular, integrado por diversos programas ejecutables, que realizan tres misiones fundamentales: pre proceso, cálculo y post proceso.

Dicho programa calculará los esfuerzos más desfavorables para las distintas situaciones de proyecto.

Para la estructura a diseñar, se realizará el cálculo de la estructura plana formada por barras rectas, del que obtendremos los esfuerzos para cada situación específica de carga considerada. Las envolventes se han obtenido mediante la hoja de cálculo Excel.

PRONTUARIO INFORMÁTICO DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL

Este prontuario fue desarrollado en la Cátedra de Hormigón de la Escuela de Ingenieros de Caminos de la Universidad de Madrid.

Permite la realización de cálculos de hormigón armado y está adaptado a la EHE. Una vez conocidas las envolventes, este programa permite dimensionar, armar y comprobar los diferentes elementos de la estructura para el E.L.U y E.L.S.



1.2.- INSTRUCCIONES Y NORMAS APLICADAS.

NORMATIVAS ACCIONES:

- IAP-11. Instrucción relativa a las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Carretera.
- NCSP-07. Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes.
- EC-1. Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Cargas de tráfico en puentes, de 2 de Octubre de 2004.
- Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera.

NORMATIVAS MATERIALES – CONSTRUCCIÓN:

- EHE-08. Instrucción de hormigón estructural EHE.
- EC-2. Eurocódigo 2, "Proyecto de Estructuras de Hormigón".

2.- DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA

La estructura proyectada se corresponde con una obra de drenaje transversal con sección transversal rectangular en cajón ejecutada "in situ" con las siguientes características:

- Losa superior: espesor de 0.30 m.
- Losa inferior: espesor de 0.30 m.
- Hastiales: espesor de 0.30 m.
- Talón de la losa inferior: longitud de 0.20 m

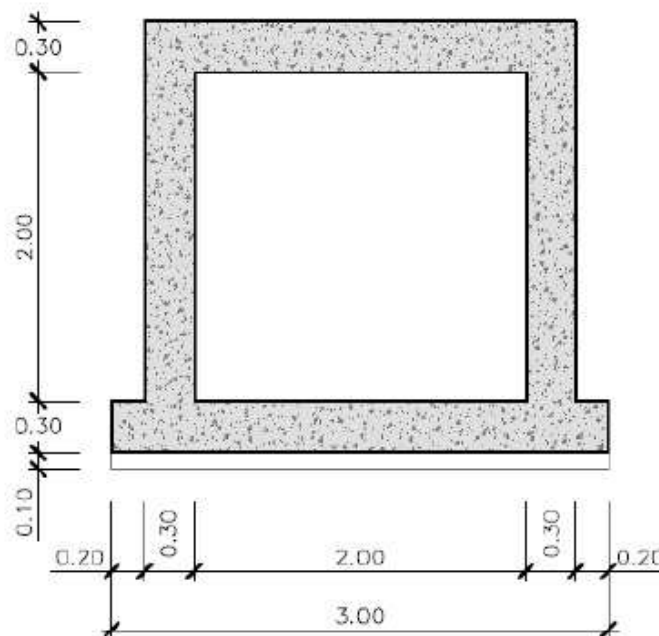


Figura 1: Sección transversal tipo del marco.

Estas dimensiones dejan una sección interior libre para el marco de 2,00 m de altura y 2,00 m de anchura.

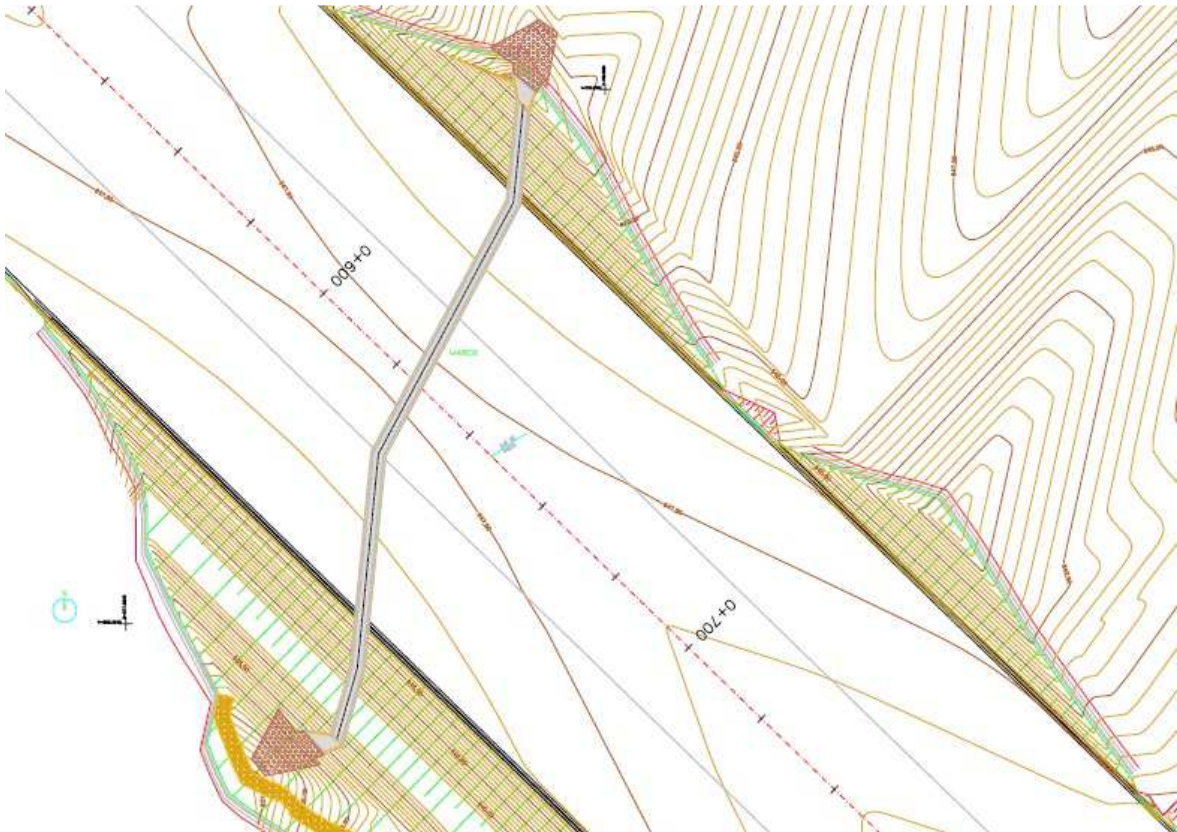


Figura 2: Planta del marco.

Sobre la losa superior existe un paquete de tierras con un espesor máximo de aproximadamente 9.5 m, formado por rellenos de naturaleza coluvial excavados para la ejecución de la traza.

Para la contención de las tierras de la traza de la carretera se han dispuesto, a la entrada y la salida del marco, aletas de canto variable y espesor del alzado constante.

El marco se calculará por elementos finitos mediante el programa informático anteriormente mencionado SAP2000.

Para dicho cálculo tendremos que dividir el marco en varios elementos ya que el método de cálculo se basa en coger una estructura complicada y dividirla en elementos, los cuales conocemos en dos puntos determinados su ley de esfuerzos. Para ello, se divide el marco y se numeran los vértices; así quedaría dividido del 1 al 10 en el hastial izquierdo, del 11 al 20 en la losa superior, del 21 al 30 en el hastial derecho y del 31 al 40 en la losa inferior.

El apoyo de la losa inferior sobre el terreno, se modeliza mediante una serie de muelles verticales unidos a los distintos nudos entre barras que forman la losa inferior.

Dichos muelles tienen una rigidez que se estimará, en función del módulo de balasto del terreno de apoyo.

Supongamos un coeficiente de balasto de 50.000 KN/m³. Como el eje de la solera tiene un ancho de 2,30 metros y está dividido en 10 barras y



dimensionamos para un metro lineal de profundidad la rigidez de cada muelle será:

$$\text{Rigidez} = 50.000 \times \left(\frac{2.30}{10}\right) \times 1 = 11500$$

3.-DEFINICIÓN DE LAS ACCIONES

Se resume a continuación las acciones consideradas:

3.1.- PESO PROPIO.

Es la acción debida al peso de los elementos estructurales. Su valor se obtiene a partir de las dimensiones especificadas en los planos y del peso específico del material constitutivo.

- Peso propio hormigón: 25.00 kN/m^3

3.2.-CARGAS MUERTAS.

Es la acción debida a los elementos no estructurales. En este caso se tiene la carga debida al peso de los materiales que gravitan sobre la losa superior, como son parte del terraplén y los paquetes de firme. Esta sollicitación no interviene en el cálculo de las aletas.

Se ha considerado actuando sobre la losa superior una capa de relleno de tierras aproximadamente 9.5 m de espesor.

Dada la importante montera sobre el dintel, se incluye en el peso de tierras la plataforma y aglomerado de la pista.

3.3.-ACCIONES PERMANENTES DE VALOR NO CONSTANTE.

Son aquellas que actúan en todo momento pero cuya magnitud no es constante.

3.3.1.- EMPUJE DE TIERRAS

Por cuanto respecta al marco, y teniendo en cuenta la multiplicidad de estados de carga que sufrirá, deberemos contemplar la posibilidad de distintas deformaciones del trasdós de sus paramentos verticales y sus consecuentes diferentes modos de empuje.

Una forma de simplificar tal problema es poner al empuje una cota inferior y otra superior. Así, consideraremos que esta magnitud oscila entre su valor activo, es decir el mínimo valor de empuje horizontal al que están sometidos los hastiales, y su valor al reposo, es decir el máximo.

En las aletas sólo se tendrá en cuenta la posibilidad de empuje activo, como resulta obvio al tratarse de muros.

3.3.2.- EMPUJE ACTIVO

“Es el mínimo valor de empuje al que están sometidos los hastiales”

El coeficiente del empuje activo (K_a) por la teoría de Coulomb es:

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \frac{1 - \sin(30)}{1 + \sin(30)} = 0.33$$



ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL



Donde ϕ es el ángulo de rozamiento del terreno.

Tenemos entonces que el empuje activo (E_a) es:

$$E_a = q \times K_a$$

Dónde:

q: valor de la carga del terreno por encima de la estructura.

Por lo tanto, el valor del empuje activo que va a actuar sobre los hastiales se obtendrá de la siguiente expresión:

$$E_a = z \times \gamma_{ap} \times K_a$$

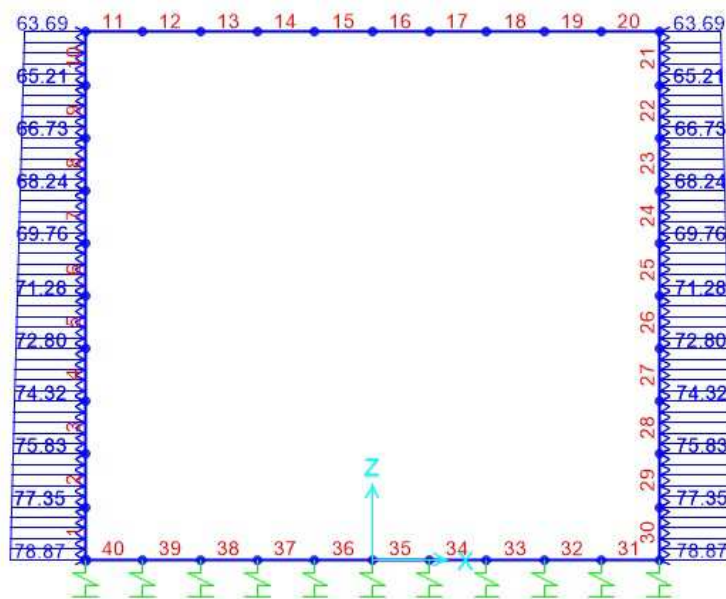
Dónde:

Z: distancia desde la superficie del terreno hasta el nudo del hastial que estamos considerando.

Considerando que l es igual a 2.3 metros, que es la longitud de los hastiales, entre 10 barras que tenemos en cada hastial, nos queda que $l = 2.3/10 = 0.23$; la cota z variará en función del nudo que estemos considerando en cada momento.

Entonces nos queda que:

- Para el hastial izquierdo:
 - Nudo 1: $E_a = 11.95 \times 20 \times 0.33 = 78.87 \text{ KN/m}$
 - Nudo 11: $E_a = 9.65 \times 20 \times 0.33 = 63.69 \text{ KN/m}$
- Para el hastial derecho:
 - Nudo 21: $E_a = -9.65 \times 20 \times 0.33 = -63.69 \text{ KN}$
 - Nudo 31: $E_a = -11.95 \times 20 \times 0.33 = -78.87 \text{ KN/m}$





3.3.3.- EMPUJE AL REPOSO.

“Es el máximo valor de empuje al que están sometidos los hastiales”

$$K_0 = 1 - \sin(\phi) = 1 - \sin(30) = 0.5$$

Procediendo de manera análoga a como hicimos para el empuje activo, la expresión que nos proporciona el empuje horizontal de tierras será:

$$E_0 = K_0 \times \gamma_{ap} \times z$$

Dónde:

E_0 : Empuje de tierras en reposo.

K_0 : Coeficiente de empuje en reposo.

γ_{ap} : Peso específico aparente.

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

Del mismo modo, este empuje dará lugar a una distribución trapezoidal similar al representado en la figura anterior para los empujes activos, pero de mayor modulo. Los valores máximos y mínimos obtenidos también corresponderán con los nodos extremos de los hastiales:

- Para el hastial izquierdo:

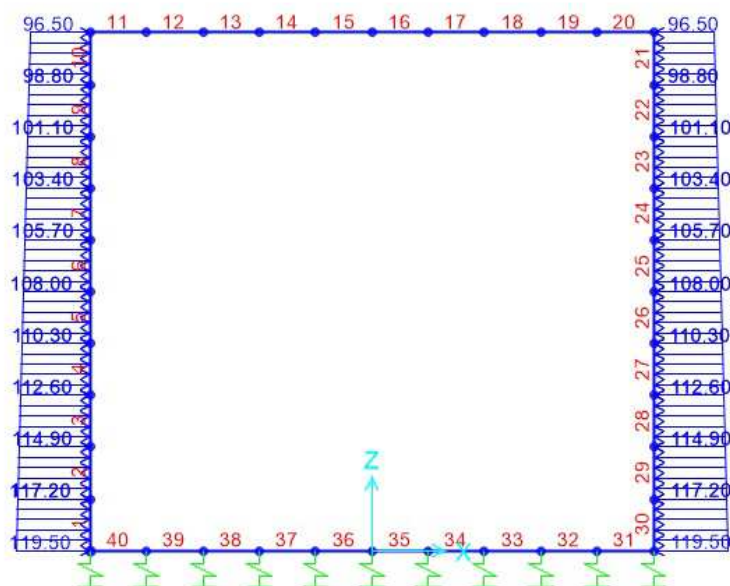
Nudo 1: $E_0 = 11.95 \times 20 \times 0.5 = 119.5 \text{ KN/m}$

Nudo 11: $E_0 = 9.65 \times 20 \times 0.5 = 96.5 \text{ KN/m}$

- Para el hastial derecho:

Nudo 21: $E_0 = -9.65 \times 20 \times 0.5 = -96.5 \text{ KN}$

Nudo 31: $E_0 = -11.95 \times 20 \times 0.5 = -119.5 \text{ KN/m}$





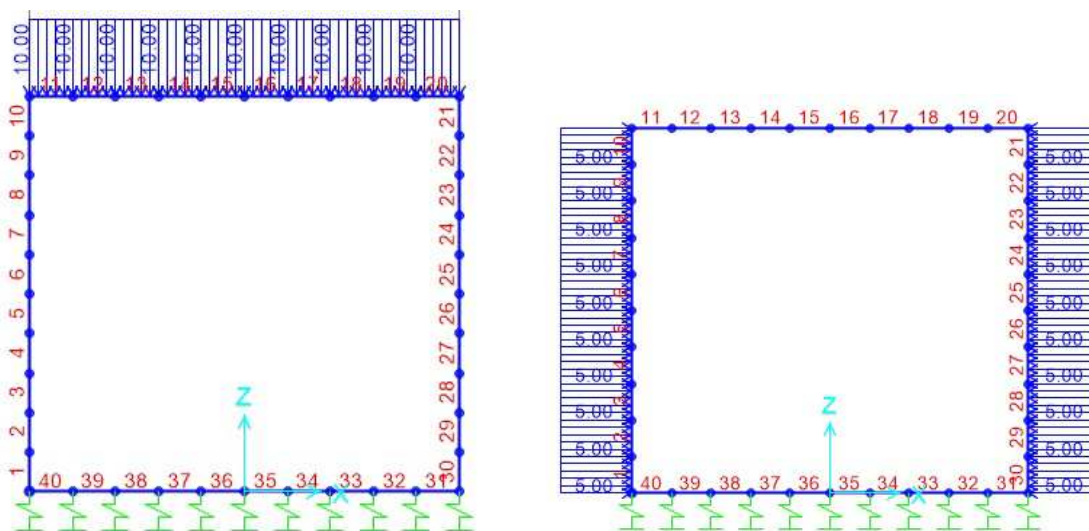
3.4.- SOBRECARGA DE USO

Según información proporcionada por el Peticionario, la carga máxima de los aviones que se espera que operen en el aeródromo en proyecto es de 13,5 t.

Esta carga puede repartirse uniformemente en profundidad dada la importante montera de tierras que cubrirán el marco, llegando al dintel del mismo como una carga superficial uniforme para la que se ha adoptado conservadoramente un valor de 10 KN/m², extendida en toda la plataforma del paso inferior.

El valor adoptado se correspondería con la sobrecarga de uso a considerar en terraplenes asociada al tráfico pesado y de compactación establecida en la normativa de referencia IAP-98.

Este valor se traduce asimismo en una componente de empuje sobre los hastiales, con su valor al reposo, de 5 kN/m².



3.4.1.- SOBRECARGA EN TERRAPLENES

A efectos del cálculo de empujes del terreno sobre elementos de la estructura en contacto con él, se ha considerado una sobrecarga uniforme de 10 KN/m² actuando en la parte superior del terraplén en la zona por donde pueda discurrir el tráfico.

La sobrecarga genera unos empujes a los dos lados, por lo que generamos estas sobrecargas a los lados del marco.

La carga horizontal generada será:

Empuje activo debido a la sobrecarga: $E_a = K_a \times q_{sc} = 0.33 \times 10 = 99 \text{ KN/m}^2$

Empuje reposo debido a la sobrecarga: $E_0 = K_0 \times q_{sc} = 0.5 \times 10 = 150 \text{ KN/m}^2$



LOSA SUPERIOR

El efecto del rozamiento negativo se traduce en un incremento de presión sobre la misma (r), que se amplifica a medida que se incrementa la altura de tierras sobre la losa superior, alcanzando un valor máximo que depende de la profundidad del plano del techo desde la superficie y de la anchura del marco.

$$r = \gamma_{ap} \left(D + \frac{H}{2} \right) \frac{1}{f} \leq 0.3 \gamma_{ap} \frac{D^2}{B}$$

Donde:

- γ_{ap} : densidad del terreno, de valor 20 kN/m³,
- H: es la altura total del marco, de valor 2.60 m,
- D: es la altura de tierras sobre el marco, de valor 9.50 m.
- B: es la anchura de la losa inferior, de valor 3.00 m.
- $f=1+D/H \cdot E_t/E_r = 4.85$, en nuestro caso.
 E_t : módulo de deformación del relleno sobre el techo.
 E_r : módulo de deformación del relleno de trasdós.

En nuestro caso, se obtiene:

$$r=20 \cdot (9.5+2.6/2) \cdot 1/4.85=44.5 \text{ kN/m}^2$$

Valor inferior al límite de:

$$r_{\text{máx}}=(20 \cdot 9.50) \cdot 0.3 \cdot 9.5/3.0=190 \cdot 0.95=180.5 \text{ kN/m}^2$$

De este modo, se ha introducido una compresión adicional sobre la losa superior del marco de valor 46 kN/m², lo que supone un incremento de presión con respecto a la geoestática de aproximadamente el 24 %.

HASTIALES

Adicionalmente, se ha considerado rozamiento negativo en los hastiales, dado por la siguiente fórmula recogida en la Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera.

$$\Delta\sigma = \frac{2T}{B} = 0,6 \left[\gamma_{ap} \left(D + \frac{H}{2} \right) + p^* + q^* \right] \frac{H}{B}$$

LOSA INFERIOR.

La presión total bajo la losa inferior se obtiene sumando la totalidad de componentes:

$$\sigma = \frac{W_1 + W_2}{B} + p^* + q^* + r + \Delta\sigma$$



Donde:

σ = Presión media sobre el terreno de cimentación.

W_1 = Peso de tierras sobre el plano del techo, contenidos en el rectángulo $B \cdot D$.

W_2 = Peso de la estructura y de las tierras contenidas en el rectángulo $B \cdot H$.

B = Ancho de la cimentación.

H = Altura de la obra de fábrica.

p^* = Presión media sobre el techo debida a la presión p , ejercida sobre la superficie del terreno.

q^* = Presión media sobre el techo de la estructura debida a la carga puntual Q , ejercida sobre la superficie del terreno.

r = Presión media sobre el techo producida por el rozamiento negativo del relleno del rectángulo $B \cdot D$.

$\Delta\sigma$ = Presión inducida por el rozamiento negativo en los hastiales del relleno del trasdós de la obra de fábrica.

4.- COEFICIENTES DE SEGURIDAD E HIPOTESIS DE CARGA

4.1.- VALORES REPRESENTATIVOS

De acuerdo con la Instrucción IAP-11, los valores representativos de las acciones utilizados para la verificación de los estados límites serán:

4.1.1.- PERMANENTES (G)

Para las acciones permanentes se considerará un único valor representativo, coincidente con el valor característico G_k , excepto en el caso de la acción correspondiente al peso del pavimento y, en su caso, las acciones producidas por los servicios situados sobre la estructura, para la que se considerarán dos valores representativos $G_{k,sup}$ y $G_{k,inf}$.

4.1.2.- ACCIONES REOLOGICAS

Para las acciones de origen reológico, fluencia y retracción, se considerará un único valor representativo, coincidente con el valor característico $R_{k,t}$ correspondiente al instante t en el que se realiza la comprobación.

4.1.3.- ACCIONES DEBIDAS AL TERRENO

Para las acciones correspondientes al peso del terreno se considerará un único valor representativo, coincidente con el valor característico $G_{wt,k}^*$.

Para las acciones correspondientes al empuje del terreno y movimientos del terreno bajo las cimentaciones se considerará el valor representativo de acuerdo con lo expuesto anteriormente.



4.1.4.- VARIABLES (Q)

Cada una de las acciones variables podrá considerarse con los siguientes valores representativos:

- Valor característico Q_k

Será el valor de la acción cuando actúe aisladamente, como ha sido definido anteriormente.

- Valor de combinación $\Psi_0 Q_k$

Será el valor de la acción cuando actúe con alguna otra acción variable, para tener en cuenta la pequeña probabilidad de que actúen simultáneamente los valores más desfavorables de varias acciones independientes.

- Valor frecuente $\Psi_1 Q_k$

Será el valor de la acción que sea sobrepasado durante un período de corta duración respecto a la vida útil del puente (5% del tiempo). Corresponde a un período de retorno de una semana.

- Valor casi-permanente $\Psi_2 Q_k$

Será el valor de la acción que sea sobrepasado durante una gran parte de la vida útil del puente (el 50% o más del tiempo) o bien el valor medio.

Los valores de los coeficientes ψ se recogen en la siguiente tabla:

	VALORES DE ψ		
Acción	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Cargas de tráfico	0.60	0.50	0.20
Resto de acciones variables	0.60	0.50	0.20

4.1.5.- ACCIDENTALES (A)

Para las acciones accidentales se considerará un único valor representativo coincidente con el valor característico A_k .

4.2.- VALORES DE CÁLCULO

Los valores de cálculo de las diferentes acciones serán los obtenidos aplicando el correspondiente coeficiente parcial de seguridad γ_F a los valores representativos de las acciones definidas anteriormente.



Los coeficientes parciales de seguridad se indican en las siguientes tablas:

Tabla 12.1.a

Coeficientes parciales de seguridad para las acciones, aplicables para la evaluación de los Estados Límite Últimos

Tipo de acción	Situación persistente o transitoria		Situación accidental	
	Efecto favorable	Efecto desfavorable	Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,35$	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Pretensado	$\gamma_P = 1,00$	$\gamma_P = 1,00$	$\gamma_P = 1,00$	$\gamma_P = 1,00$
Permanente de valor no constante	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,50$	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
Variable	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,50$	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$
Accidental	—	—	$\gamma_A = 1,00$	$\gamma_A = 1,00$

Tabla 12.2

Coeficientes parciales de seguridad para las acciones, aplicables para la evaluación de los Estados Límite de Servicio

Tipo de acción		Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente		$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Pretensado	Armatura pretesa	$\gamma_P = 0,95$	$\gamma_P = 1,05$
	Armatura postesa	$\gamma_P = 0,90$	$\gamma_P = 1,10$
Permanente de valor no constante		$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
Variable		$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$

4.3.- HIPOTESIS DE CARGA

Según la Instrucción IAP-11, las hipótesis de carga a considerar se formarán combinando los valores de cálculo de las acciones cuya actuación pueda ser simultánea, según los criterios generales que se indican a continuación:

A) ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

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

A1) Situaciones persistentes o transitorias

Las combinaciones de las distintas acciones consideradas en estas situaciones, excepto en el ELU de fatiga, se realizan de acuerdo con el siguiente criterio:



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

Dónde:

- $G_{k,j}$ = Valor representativo de cada acción permanente.
- $G_{k,i}^*$ = Valor representativo de cada acción permanente de valor no constante.
- $Q_{k,1}$ = Valor representativo (valor característico) de la acción variable dominante.
- $\Psi_{0,i} Q_{k,i}$ = Valores representativos (valores de combinación) de las acciones variables concomitantes con la acción variable dominante.

En general, deberán realizarse tantas hipótesis o combinaciones como sea necesario, considerando, en cada una de ellas, una de las acciones variables como dominante y el resto como concomitantes.

Además, se deberán tener en cuenta las siguientes observaciones:

Si la acción de la sobrecarga de uso es considerada como dominante, se tomará ésta con su valor representativo y la acción del viento con su valor reducido, aplicándose además los coeficientes Ψ indicados anteriormente.

A2) Situaciones accidentales.

Se distinguirán dos tipos de situaciones accidentales:

Las provocadas por choques de vehículos, locomotoras, barcos, etc., sobre los distintos elementos del puente.

Las provocadas por la acción sísmica.

A2a) Situaciones accidentales sin sismo.

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

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

Dónde:

- $G_{k,j}$ = Valor representativo de cada acción permanente.
- $G_{k,i}^*$ = Valor representativo de cada acción permanente de valor no constante.
- $\Psi_{1,1} Q_{k,1}$ = Valor representativo frecuente de la acción variable dominante.
- $\Psi_{2,i} Q_{k,i}$ =Valores representativos casi-permanentes de las acciones variables concomitantes con la acción variable dominante y la acción accidental.
- A_k = Valor representativo característico de la acción accidental.

Para estas combinaciones serán de aplicación las observaciones indicadas en el planteamiento de las combinaciones A1).



A2b) Situaciones accidentales de sismo.

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

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

Dónde:

- $G_{k,j}$ = Valor representativo de cada acción permanente.
- $G^*_{k,i}$ = Valor representativo de cada acción permanente de valor no constante.
- $\Psi_{2,i} Q_{k,i}$ = Valor representativo casi-permanentes de la acción relativa a la sobrecarga de uso. En puentes de baja o media intensidad de tráfico, no será necesario considerar esta acción.
- $A_{E,k}$ = Valor representativo característico de la acción sísmica.

B) ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO.

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:

B1) Combinación Característica (poco probable o rara)

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

B2) Combinación Frecuente

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

B3) Combinación Casi-permanente

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

Para las tres combinaciones serán de aplicación las observaciones indicadas en el planteamiento de las combinaciones A1).



5.- CALCULO DEL MARCO

5.1.- INTRODUCCIÓN DE ACCIONES

Las acciones descritas en el apartado 3 se introducen en el modelo sobre la geometría descrita con las siguientes consideraciones:

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

Las cargas correspondientes al vehículo pesado 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.

5.2.- VERIFICACIÓN DE E.L.U.

El modelo de elementos finitos utilizado emplea el método de rigidez para la obtención de desplazamientos en los nodos, a partir de los cuales se obtienen los esfuerzos en cada uno de ellos y las reacciones en el terreno para la losa inferior.

Los resultados se obtienen para cada hipótesis simple de carga y combinación, obtenidas estas según la normativa correspondiente en cada caso.

El programa implementado proporciona las envolventes de esfuerzos, reacciones y desplazamientos, que sirven de base para la comprobación de los elementos estructurales.

Dicho programa proporciona los armados para las envolventes del estado límite último de flexión según la EHE

Una vez introducidas todas las cargas, es decir, para una situación persistente o transitoria, el programa genera una serie de combinaciones con dichas cargas, adoptando la posición más desfavorable de estas para el cálculo de las envolventes.



ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL



ENVOLVENTE DE AXILES, CORTANTES Y FLECTORES

TABLE: Element Forces - Frames					
Frame	Station	OutputCase	P	V2	M3
Text	m	Text	KN	KN	KN-m
1	0	LOSA ELU1	-356.56875	82.88722328	83.40738248
1	0.115	LOSA ELU1	-355.404375	73.86081578	74.39520672
1	0.23	LOSA ELU1	-354.24	64.92169328	66.41604893
1	0	LOSA ELU2	-375.31875	82.6153662	86.94762119
1	0.115	LOSA ELU2	-374.154375	73.5889587	77.96670899
1	0.23	LOSA ELU2	-372.99	64.6498362	70.01881477
1	0	HASTIALES ELU	-264.125	191.689353	85.19547019
1	0.115	HASTIALES ELU	-263.2625	171.1747905	64.33268303
1	0.23	HASTIALES ELU	-262.4	150.858603	45.817664
2	0	LOSA ELU1	-354.24	64.92169328	66.41604893
2	0.115	LOSA ELU1	-353.075625	56.06985578	59.45987134
2	0.23	LOSA ELU1	-351.91125	47.30530328	53.51663617
2	0	LOSA ELU2	-372.99	64.6498362	70.01881477
2	0.115	LOSA ELU2	-371.825625	55.7979987	63.09390074
2	0.23	LOSA ELU2	-370.66125	47.0334462	57.18192914
2	0	HASTIALES ELU	-262.4	150.858603	45.817664
2	0.115	HASTIALES ELU	-261.5375	130.7407905	29.62759997
2	0.23	HASTIALES ELU	-260.675	110.821353	15.73967782
3	0	LOSA ELU1	-351.91125	47.30530328	53.51663617
3	0.115	LOSA ELU1	-350.746875	38.62803578	48.57630566
3	0.23	LOSA ELU1	-349.5825	30.03805328	44.62884202
3	0	LOSA ELU2	-370.66125	47.0334462	57.18192914

3	0.115	LOSA ELU2	-369.496875	38.3561787	52.27286219
3	0.23	LOSA ELU2	-368.3325	29.7661962	48.35666211
3	0	HASTIALES ELU	-260.675	110.821353	15.73967782
3	0.115	HASTIALES ELU	-259.8125	91.10029048	4.131084412
3	0.23	HASTIALES ELU	-258.95	71.57760298	-5.220993368
4	0	LOSA ELU1	-349.5825	30.03805328	44.62884202
4	0.115	LOSA ELU1	-348.418125	21.53535578	41.66420748
4	0.23	LOSA ELU1	-347.25375	13.11994328	39.67236426
4	0	LOSA ELU2	-368.3325	29.7661962	48.35666211
4	0.115	LOSA ELU2	-367.168125	21.2634987	45.42329114
4	0.23	LOSA ELU2	-366.00375	12.8480862	43.46271149
4	0	HASTIALES ELU	-258.95	71.57760298	-5.220993368
4	0.115	HASTIALES ELU	-258.0875	52.25329048	-12.33936865
4	0.23	HASTIALES ELU	-257.225	33.12735298	-17.24685455
5	0	LOSA ELU1	-347.25375	13.11994328	39.67236426
5	0.115	LOSA ELU1	-346.089375	4.791815781	38.6432746
5	0.23	LOSA ELU1	-344.925	-3.449026719	38.56690071
5	0	LOSA ELU2	-366.00375	12.8480862	43.46271149
5	0.115	LOSA ELU2	-364.839375	4.5199587	42.46488539
5	0.23	LOSA ELU2	-363.675	-3.7208838	42.41977506
5	0	HASTIALES ELU	-257.225	33.12735298	-17.24685455
5	0.115	HASTIALES ELU	-256.3625	14.19979048	-19.96626421
5	0.23	HASTIALES ELU	-255.5	-4.529397022	-20.52041074
6	0	LOSA ELU1	-344.925	-3.449026719	38.56690071
6	0.115	LOSA ELU1	-343.760625	-11.60258422	39.43320482



ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL



6	0.23	LOSA ELU1	-342.59625	-19.66885672	41.23214916
6	0	LOSA ELU2	-363.675	-3.7208838	42.41977506
6	0.115	LOSA ELU2	-362.510625	-11.8744413	43.31734274
6	0.23	LOSA ELU2	-361.34625	-19.9407138	45.14755064
6	0	HASTIALES ELU	-255.5	-4.529397022	-20.52041074
6	0.115	HASTIALES ELU	-254.6375	-23.06020952	-18.93210727
6	0.23	HASTIALES ELU	-253.775	-41.39264702	-15.22416692
7	0	LOSA ELU1	-342.59625	-19.66885672	41.23214916
7	0.115	LOSA ELU1	-341.431875	-27.64784422	43.95369594
7	0.23	LOSA ELU1	-340.2675	-35.53954672	47.5878074
7	0	LOSA ELU2	-361.34625	-19.9407138	45.14755064
7	0.115	LOSA ELU2	-360.181875	-27.9197013	47.90036098
7	0.23	LOSA ELU2	-359.0175	-35.8114038	51.56573601
7	0	HASTIALES ELU	-253.775	-41.39264702	-15.22416692
7	0.115	HASTIALES ELU	-252.9125	-59.52670952	-9.419402828
7	0.23	HASTIALES ELU	-252.05	-77.46239702	-1.540628108
8	0	LOSA ELU1	-340.2675	-35.53954672	47.5878074
8	0.115	LOSA ELU1	-339.103125	-43.34396422	52.12444576
8	0.23	LOSA ELU1	-337.93875	-51.06109672	57.55357325
8	0	LOSA ELU2	-359.0175	-35.8114038	51.56573601
8	0.115	LOSA ELU2	-357.853125	-43.6158213	56.13363793
8	0.23	LOSA ELU2	-356.68875	-51.3329538	61.59402898
8	0	HASTIALES ELU	-252.05	-77.46239702	-1.540628108
8	0.115	HASTIALES ELU	-251.1875	-95.19970952	8.389344112
8	0.23	HASTIALES ELU	-250.325	-112.738647	20.34770071
9	0	LOSA ELU1	-337.93875	-51.06109672	57.55357325
9	0.115	LOSA ELU1	-336.774375	-58.69094422	63.86515208

9	0.23	LOSA ELU1	-335.61	-66.23350672	71.04914449
9	0	LOSA ELU2	-356.68875	-51.3329538	61.59402898
9	0.115	LOSA ELU2	-355.524375	-58.9628013	67.93687138
9	0.23	LOSA ELU2	-354.36	-66.5053638	75.15212736
9	0	HASTIALES ELU	-250.325	-112.738647	20.34770071
9	0.115	HASTIALES ELU	-249.4625	-130.0792095	34.31162855
9	0.23	HASTIALES ELU	-248.6	-147.221397	50.25831452
10	0	LOSA ELU1	-335.61	-66.23350672	71.04914449
10	0.115	LOSA ELU1	-334.445625	-73.68878422	79.0955127
10	0.23	LOSA ELU1	-333.28125	-81.05677672	87.99421894
10	0	LOSA ELU2	-354.36	-66.5053638	75.15212736
10	0.115	LOSA ELU2	-353.195625	-73.9606413	83.22975913
10	0.23	LOSA ELU2	-352.03125	-81.3286338	92.15972893
10	0	HASTIALES ELU	-248.6	-147.221397	50.25831452
10	0.115	HASTIALES ELU	-247.7375	-164.1652095	68.16494549
10	0.23	HASTIALES ELU	-246.875	-180.910647	88.00870834
11	0	LOSA ELU1	-81.05677672	-333.28125	-87.99421894
11	0.25	LOSA ELU1	-81.05677672	-266.625	-13.00593769
11	0	LOSA ELU2	-81.3286338	-352.03125	-92.15972893
11	0.25	LOSA ELU2	-81.3286338	-281.625	-12.95269768
11	0	HASTIALES ELU	-180.910647	-246.875	-88.00870834
11	0.25	HASTIALES ELU	-180.910647	-197.5	-32.46183334
12	0	LOSA ELU1	-81.05677672	-266.625	-13.00593769
12	0.25	LOSA ELU1	-81.05677672	-199.96875	45.31828106
12	0	LOSA ELU2	-81.3286338	-281.625	-12.95269768
12	0.25	LOSA ELU2	-81.3286338	-211.21875	48.65277107
12	0	HASTIALES ELU	-180.910647	-197.5	-32.46183334



ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL



12	0.25	HASTIALES ELU	-180.910647	-148.125	10.74129166
13	0	LOSA ELU1	-81.05677672	-199.96875	45.31828106
13	0.25	LOSA ELU1	-81.05677672	-133.3125	86.97843731
13	0	LOSA ELU2	-81.3286338	-211.21875	48.65277107
13	0.25	LOSA ELU2	-81.3286338	-140.8125	92.65667732
13	0	HASTIALES ELU	-180.910647	-148.125	10.74129166
13	0.25	HASTIALES ELU	-180.910647	-98.75	41.60066666
14	0	LOSA ELU1	-81.05677672	-133.3125	86.97843731
14	0.25	LOSA ELU1	-81.05677672	-66.65625	111.9745311
14	0	LOSA ELU2	-81.3286338	-140.8125	92.65667732
14	0.25	LOSA ELU2	-81.3286338	-70.40625	119.0590211
14	0	HASTIALES ELU	-180.910647	-98.75	41.60066666
14	0.25	HASTIALES ELU	-180.910647	-49.375	60.11629166
15	0	LOSA ELU1	-81.05677672	-66.65625	111.9745311
15	0.25	LOSA ELU1	-81.05677672	-8.43E-11	120.3065623
15	0	LOSA ELU2	-81.3286338	-70.40625	119.0590211
15	0.25	LOSA ELU2	-81.3286338	-9.25E-11	127.8598023
15	0	HASTIALES ELU	-180.910647	-49.375	60.11629166
15	0.25	HASTIALES ELU	-180.910647	-5.46E-11	66.28816666
16	0	LOSA ELU1	-81.05677672	-7.45E-11	120.3065623
16	0.25	LOSA ELU1	-81.05677672	66.65625	111.9745311
16	0	LOSA ELU2	-81.3286338	-7.72E-11	127.8598023
16	0.25	LOSA ELU2	-81.3286338	70.40625	119.0590211
16	0	HASTIALES ELU	-180.910647	-4.87E-11	66.28816666
16	0.25	HASTIALES ELU	-180.910647	49.375	60.11629166
17	0	LOSA ELU1	-81.05677672	66.65625	111.9745311
17	0.25	LOSA ELU1	-81.05677672	133.3125	86.97843731

17	0	LOSA ELU2	-81.3286338	70.40625	119.0590211
17	0.25	LOSA ELU2	-81.3286338	140.8125	92.65667732
17	0	HASTIALES ELU	-180.910647	49.375	60.11629166
17	0.25	HASTIALES ELU	-180.910647	98.75	41.60066666
18	0	LOSA ELU1	-81.05677672	133.3125	86.97843731
18	0.25	LOSA ELU1	-81.05677672	199.96875	45.31828106
18	0	LOSA ELU2	-81.3286338	140.8125	92.65667732
18	0.25	LOSA ELU2	-81.3286338	211.21875	48.65277107
18	0	HASTIALES ELU	-180.910647	98.75	41.60066666
18	0.25	HASTIALES ELU	-180.910647	148.125	10.74129166
19	0	LOSA ELU1	-81.05677672	199.96875	45.31828106
19	0.25	LOSA ELU1	-81.05677672	266.625	-13.00593769
19	0	LOSA ELU2	-81.3286338	211.21875	48.65277107
19	0.25	LOSA ELU2	-81.3286338	281.625	-12.95269768
19	0	HASTIALES ELU	-180.910647	148.125	10.74129166
19	0.25	HASTIALES ELU	-180.910647	197.5	-32.46183334
20	0	LOSA ELU1	-81.05677672	266.625	-13.00593769
20	0.25	LOSA ELU1	-81.05677672	333.28125	-87.99421894
20	0	LOSA ELU2	-81.3286338	281.625	-12.95269768
20	0.25	LOSA ELU2	-81.3286338	352.03125	-92.15972893
20	0	HASTIALES ELU	-180.910647	197.5	-32.46183334
20	0.25	HASTIALES ELU	-180.910647	246.875	-88.00870834
21	0	LOSA ELU1	-335.61	66.23350672	-71.04914449
21	0.115	LOSA ELU1	-334.445625	73.68878422	-79.0955127
21	0.23	LOSA ELU1	-333.28125	81.05677672	-87.99421894
21	0	LOSA ELU2	-354.36	66.5053638	-75.15212736
21	0.115	LOSA ELU2	-353.195625	73.9606413	-83.22975913



ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL



21	0.23	LOSA ELU2	-352.03125	81.3286338	-92.15972893
21	0	HASTIALES ELU	-248.6	147.221397	-50.25831452
21	0.115	HASTIALES ELU	-247.7375	164.1652095	-68.16494549
21	0.23	HASTIALES ELU	-246.875	180.910647	-88.00870834
22	0	LOSA ELU1	-337.93875	51.06109672	-57.55357325
22	0.115	LOSA ELU1	-336.774375	58.69094422	-63.86515208
22	0.23	LOSA ELU1	-335.61	66.23350672	-71.04914449
22	0	LOSA ELU2	-356.68875	51.3329538	-61.59402898
22	0.115	LOSA ELU2	-355.524375	58.9628013	-67.93687138
22	0.23	LOSA ELU2	-354.36	66.5053638	-75.15212736
22	0	HASTIALES ELU	-250.325	112.738647	-20.34770071
22	0.115	HASTIALES ELU	-249.4625	130.0792095	-34.31162855
22	0.23	HASTIALES ELU	-248.6	147.221397	-50.25831452
23	0	LOSA ELU1	-340.2675	35.53954672	-47.5878074
23	0.115	LOSA ELU1	-339.103125	43.34396422	-52.12444576
23	0.23	LOSA ELU1	-337.93875	51.06109672	-57.55357325
23	0	LOSA ELU2	-359.0175	35.8114038	-51.56573601
23	0.115	LOSA ELU2	-357.853125	43.6158213	-56.13363793
23	0.23	LOSA ELU2	-356.68875	51.3329538	-61.59402898
23	0	HASTIALES ELU	-252.05	77.46239702	1.540628108
23	0.115	HASTIALES ELU	-251.1875	95.19970952	-8.389344112
23	0.23	HASTIALES ELU	-250.325	112.738647	-20.34770071
24	0	LOSA ELU1	-342.59625	19.66885672	-41.23214916
24	0.115	LOSA ELU1	-341.431875	27.64784422	-43.95369594
24	0.23	LOSA ELU1	-340.2675	35.53954672	-47.5878074
24	0	LOSA ELU2	-361.34625	19.9407138	-45.14755064
24	0.115	LOSA ELU2	-360.181875	27.9197013	-47.90036098

24	0.23	LOSA ELU2	-359.0175	35.8114038	-51.56573601
24	0	HASTIALES ELU	-253.775	41.39264702	15.22416692
24	0.115	HASTIALES ELU	-252.9125	59.52670952	9.419402828
24	0.23	HASTIALES ELU	-252.05	77.46239702	1.540628108
25	0	LOSA ELU1	-344.925	3.449026719	-38.56690071
25	0.115	LOSA ELU1	-343.760625	11.60258422	-39.43320482
25	0.23	LOSA ELU1	-342.59625	19.66885672	-41.23214916
25	0	LOSA ELU2	-363.675	3.7208838	-42.41977506
25	0.115	LOSA ELU2	-362.510625	11.8744413	-43.31734274
25	0.23	LOSA ELU2	-361.34625	19.9407138	-45.14755064
25	0	HASTIALES ELU	-255.5	4.529397022	20.52041074
25	0.115	HASTIALES ELU	-254.6375	23.06020952	18.93210727
25	0.23	HASTIALES ELU	-253.775	41.39264702	15.22416692
26	0	LOSA ELU1	-347.25375	-13.11994328	-39.67236426
26	0.115	LOSA ELU1	-346.089375	-4.791815781	-38.6432746
26	0.23	LOSA ELU1	-344.925	3.449026719	-38.56690071
26	0	LOSA ELU2	-366.00375	-12.8480862	-43.46271149
26	0.115	LOSA ELU2	-364.839375	-4.5199587	-42.46488539
26	0.23	LOSA ELU2	-363.675	3.7208838	-42.41977506
26	0	HASTIALES ELU	-257.225	-33.12735298	17.24685455
26	0.115	HASTIALES ELU	-256.3625	-14.19979048	19.96626421
26	0.23	HASTIALES ELU	-255.5	4.529397022	20.52041074
27	0	LOSA ELU1	-349.5825	-30.03805328	-44.62884202
27	0.115	LOSA ELU1	-348.418125	-21.53535578	-41.66420748
27	0.23	LOSA ELU1	-347.25375	-13.11994328	-39.67236426
27	0	LOSA ELU2	-368.3325	-29.7661962	-48.35666211
27	0.115	LOSA ELU2	-367.168125	-21.2634987	-45.42329114



ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL



27	0.23	LOSA ELU2	-366.00375	-12.8480862	-43.46271149
27	0	HASTIALES ELU	-258.95	-71.57760298	5.220993368
27	0.115	HASTIALES ELU	-258.0875	-52.25329048	12.33936865
27	0.23	HASTIALES ELU	-257.225	-33.12735298	17.24685455
28	0	LOSA ELU1	-351.91125	-47.30530328	-53.51663617
28	0.115	LOSA ELU1	-350.746875	-38.62803578	-48.57630566
28	0.23	LOSA ELU1	-349.5825	-30.03805328	-44.62884202
28	0	LOSA ELU2	-370.66125	-47.0334462	-57.18192914
28	0.115	LOSA ELU2	-369.496875	-38.3561787	-52.27286219
28	0.23	LOSA ELU2	-368.3325	-29.7661962	-48.35666211
28	0	HASTIALES ELU	-260.675	-110.821353	-15.73967782
28	0.115	HASTIALES ELU	-259.8125	-91.10029048	-4.131084412
28	0.23	HASTIALES ELU	-258.95	-71.57760298	5.220993368
29	0	LOSA ELU1	-354.24	-64.92169328	-66.41604893
29	0.115	LOSA ELU1	-353.075625	-56.06985578	-59.45987134
29	0.23	LOSA ELU1	-351.91125	-47.30530328	-53.51663617
29	0	LOSA ELU2	-372.99	-64.6498362	-70.01881477
29	0.115	LOSA ELU2	-371.825625	-55.7979987	-63.09390074
29	0.23	LOSA ELU2	-370.66125	-47.0334462	-57.18192914
29	0	HASTIALES ELU	-262.4	-150.858603	-45.817664
29	0.115	HASTIALES ELU	-261.5375	-130.7407905	-29.62759997
29	0.23	HASTIALES ELU	-260.675	-110.821353	-15.73967782
30	0	LOSA ELU1	-356.56875	-82.88722328	-83.40738248
30	0.115	LOSA ELU1	-355.404375	-73.86081578	-74.39520672
30	0.23	LOSA ELU1	-354.24	-64.92169328	-66.41604893
30	0	LOSA ELU2	-375.31875	-82.6153662	-86.94762119
30	0.115	LOSA ELU2	-374.154375	-73.5889587	-77.96670899

30	0.23	LOSA ELU2	-372.99	-64.6498362	-70.01881477
30	0	HASTIALES ELU	-264.125	-191.689353	-85.19547019
30	0.115	HASTIALES ELU	-263.2625	-171.1747905	-64.33268303
30	0.23	HASTIALES ELU	-262.4	-150.858603	-45.817664
31	0	LOSA ELU1	-82.88722328	-290.95713	10.98450623
31	0.25	LOSA ELU1	-82.88722328	-288.42588	83.40738248
31	0	LOSA ELU2	-82.6153662	-306.23409	10.70550495
31	0.25	LOSA ELU2	-82.6153662	-303.70284	86.94762119
31	0	HASTIALES ELU	-191.689353	-215.8108382	31.47713564
31	0.25	HASTIALES ELU	-191.689353	-213.9358382	85.19547019
32	0	LOSA ELU1	-82.88722328	-225.8410185	-45.15934216
32	0.25	LOSA ELU1	-82.88722328	-223.3097685	10.98450623
32	0	LOSA ELU2	-82.6153662	-237.6774533	-48.39745213
32	0.25	LOSA ELU2	-82.6153662	-235.1462033	10.70550495
32	0	HASTIALES ELU	-191.689353	-167.6912384	-10.21129896
32	0.25	HASTIALES ELU	-191.689353	-165.8162384	31.47713564
33	0	LOSA ELU1	-82.88722328	-161.2338487	-85.15139809
33	0.25	LOSA ELU1	-82.88722328	-158.7025987	-45.15934216
33	0	LOSA ELU2	-82.6153662	-169.6615574	-90.49643522
33	0.25	LOSA ELU2	-82.6153662	-167.1303074	-48.39745213
33	0	HASTIALES ELU	-191.689353	-119.8147517	-39.93061188
33	0.25	HASTIALES ELU	-191.689353	-117.9397517	-10.21129896
34	0	LOSA ELU1	-82.88722328	-97.05626088	-109.0990571
34	0.25	LOSA ELU1	-82.88722328	-94.52501088	-85.15139809
34	0	LOSA ELU2	-82.6153662	-102.1014364	-115.7053881
34	0.25	LOSA ELU2	-82.6153662	-99.57018645	-90.49643522
34	0	HASTIALES ELU	-191.689353	-72.16101764	-57.73649129



ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL

34	0.25	HASTIALES ELU	-191.689353	-70.28601764	-39.93061188
35	0	LOSA ELU1	-82.88722328	-33.1628028	-117.0733515
35	0.25	LOSA ELU1	-82.88722328	-30.6315528	-109.0990571
35	0	LOSA ELU2	-82.6153662	-34.84255033	-124.0996194
35	0.25	LOSA ELU2	-82.6153662	-32.31130033	-115.7053881
35	0	HASTIALES ELU	-191.689353	-24.66055344	-63.66725465
35	0.25	HASTIALES ELU	-191.689353	-22.78555344	-57.73649129
36	0	LOSA ELU1	-82.88722328	30.6315528	-109.0990571
36	0.25	LOSA ELU1	-82.88722328	33.1628028	-117.0733515
36	0	LOSA ELU2	-82.6153662	32.31130033	-115.7053881
36	0.25	LOSA ELU2	-82.6153662	34.84255033	-124.0996194
36	0	HASTIALES ELU	-191.689353	22.78555344	-57.73649129
36	0.25	HASTIALES ELU	-191.689353	24.66055344	-63.66725465
37	0	LOSA ELU1	-82.88722328	94.52501088	-85.15139809
37	0.25	LOSA ELU1	-82.88722328	97.05626088	-109.0990571
37	0	LOSA ELU2	-82.6153662	99.57018645	-90.49643522
37	0.25	LOSA ELU2	-82.6153662	102.1014364	-115.7053881
37	0	HASTIALES ELU	-191.689353	70.28601764	-39.93061188
37	0.25	HASTIALES ELU	-191.689353	72.16101764	-57.73649129
38	0	LOSA ELU1	-82.88722328	158.7025987	-45.15934216
38	0.25	LOSA ELU1	-82.88722328	161.2338487	-85.15139809
38	0	LOSA ELU2	-82.6153662	167.1303074	-48.39745213
38	0.25	LOSA ELU2	-82.6153662	169.6615574	-90.49643522
38	0	HASTIALES ELU	-191.689353	117.9397517	-10.21129896
38	0.25	HASTIALES ELU	-191.689353	119.8147517	-39.93061188
39	0	LOSA ELU1	-82.88722328	223.3097685	10.98450623
39	0.25	LOSA ELU1	-82.88722328	225.8410185	-45.15934216



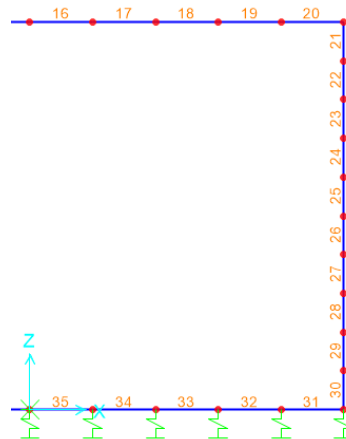
39	0	LOSA ELU2	-82.6153662	235.1462033	10.70550495
39	0.25	LOSA ELU2	-82.6153662	237.6774533	-48.39745213
39	0	HASTIALES ELU	-191.689353	165.8162384	31.47713564
39	0.25	HASTIALES ELU	-191.689353	167.6912384	-10.21129896
40	0	LOSA ELU1	-82.88722328	288.42588	83.40738248
40	0.25	LOSA ELU1	-82.88722328	290.95713	10.98450623
40	0	LOSA ELU2	-82.6153662	303.70284	86.94762119
40	0.25	LOSA ELU2	-82.6153662	306.23409	10.70550495
40	0	HASTIALES ELU	-191.689353	213.9358382	85.19547019
40	0.25	HASTIALES ELU	-191.689353	215.8108382	31.47713564



5.2.1.- ELU 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 obtenemos 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. Los nudos que se han tomado son los siguientes:



Se considera solamente la mitad del modelo por ser simétricas las envolventes de esfuerzo debido a la simetría en la estructura.

Programando una tabla en Excel y con la ayuda del prontuario informático del hormigón EHE-08 obtendremos la cantidad de armadura necesaria para resistir estos esfuerzos. Observamos lo que ocurre para:

- Losa superior
- Losa inferior
- Hastiales (serán idénticos, ya que la estructura es simétrica).

5.2.1.1.- ARMADO DE LA LOSA SUPERIOR

Teniendo en cuenta el diagrama de momentos, la estrategia de armado consistirá en calcular el área de varias armaduras:

Armadura básica de positivos. Se dispondrá en la cara inferior a lo largo de toda la luz. Su momento de dimensionamiento será el correspondiente al tramo 15 puesto que este tramo corresponde a una zona de mayor momento.

Armadura de refuerzo de positivos. Acompañará a la anterior en la zona central de la luz, lugar de mayores momentos positivos, por lo que se calculara como un exceso sobre la anterior. Se utilizara para su dimensionamiento el máximo momento positivo obtenido, correspondiente al centro-luz.



Armadura básica de negativos. Se instalara en la cara superior de la pieza, cerca de ambos extremos a lo largo de toda la luz.

Las características a tener en cuenta han sido:

- Hormigón: HA-25
- Ambiente: II_b
- Acero: B500S
- Canto: 0.3m
- Ancho: 1.00 m
- Recubrimiento mecánico: 0.04m

Flectores y Axiles

$$N_d \text{ [kN]} = 81.33$$

$$M_d \text{ [kN}\cdot\text{m]} = 127.86$$

$$N_u \text{ [kN]} = 82.28$$

$$M_u \text{ [kN}\cdot\text{m]} = 129.35$$

El armado a disponer en la losa superior será el siguiente:

Armado superior. Estará formado por una armadura base $\emptyset 12/20$ que se coloca a lo largo de la losa hasta el encuentro con los hastiales..

Armado inferior. Estará formado por una armadura base $\emptyset 12/10$.

Armadura de reparto (según tabla 42.3.5 de EHE-08): Se calcula a partir de unos mínimos mecánicos y unos geométricos. La armadura de reparto superior debe cumplir los mínimos geométricos a un 1.8‰ de la sección del hormigón repartido en las dos caras que en este caso será:

- Tanto el armado de reparto superior como el inferior estará formado por 12/20.

5.2.1.2.- ARMADO DE LA LOSA INFERIOR

Se procede de igual modo que con la losa superior, si bien el sentido de los momentos se invierte. Así, en el centro de la solera se tendrán ahora momentos negativos y en sus extremos, positivos.

Las características a tener en cuenta han sido:

- Hormigón: HA-25
- Ambiente: II_a
- Acero: B500S
- Canto: 0.3m
- Ancho: 1.00 m
- Recubrimiento mecánico: 0.04m

Flectores y Axiles



$$N_d \text{ [kN]} = 82.89$$

$$M_d \text{ [kN}\cdot\text{m]} = 117.07$$

$$N_u \text{ [kN]} = 92.41$$

$$M_u \text{ [kN}\cdot\text{m]} = 119.89$$

El armado a disponer en la losa inferior será el siguiente:

Armado superior: Estará formado por una armadura base $\emptyset 12/20$ al que se le añadirá un refuerzo de $\emptyset 12/20$ a lo largo de toda la longitud de la losa para resistir los picos de flexión negativa.

Armado inferior: Estará formado por una armadura base $\emptyset 12/20$ que se coloca a lo largo de la losa hasta el encuentro con los.

Armadura de reparto (según tabla 42.3.5 de EHE-08): Se calcula a partir de unos mínimos mecánicos y unos geométricos. La armadura de reparto inferior debe cumplir los mínimos geométricos a un 1.8‰ de la sección del hormigón repartido en las dos caras que en este caso será:

- Tanto el armado de reparto superior como el inferior estará formado por 12/20.

5.2.1.3.- ARMADO DE LOS HASTIALES

El armado de los hastiales se realiza considerando que estos elementos están sometidos a flexión compuesta, por tanto se van a tener en cuenta la envolvente de momento con su respectivo axil concomitante.

Por último, debe decir que los resultados de esfuerzos axiles dados por el programa consideran positiva la tracción.

Las características a tener en cuenta han sido:

- Hormigón: HA-25
- Ambiente: II_b
- Acero: B500S
- Canto: 0.3m
- Ancho: 1.00 m
- Recubrimiento mecánico: 0.04m

Armado vertical en el trasdós: Estará formado por una armadura base de $\emptyset 12/20$.

Armado vertical en el intradós: Estará formado por una armadura base de $\emptyset 12/20$.

Armado de reparto: Se calcula a partir de unos mínimos mecánicos y unos geométricos. Se colocarán tanto en el trasdós como en el intradós $\emptyset 12/20$.



5.2.2.- ELU DE AGOTAMIENTO FRENTE A CORTANTE

La determinación de la armadura necesaria a colocar en cada una de las partes del marco para que este resista los esfuerzos de cortante a los que se va a ver sometido durante su vida útil se realizará en función de las envolventes de esfuerzos obtenidas mediante la consideración de Estados Límite Último de cortante.

Estos esfuerzos se tomarán de las envolventes obtenidas los valores máximos de los cortantes y sus axiles concomitantes sobre los nudos que forman el modelo de cálculo, previamente ya indicados.

Comprobaciones a realizar

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 (Artículo 44.2.3 EHE).

$$V_{rd} \leq V_{u1}$$

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

Dónde:

V_{u1} : es el esfuerzo cortante de agotamiento por compresión oblicua en el alma.

V_{u2} : es el esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma.

Obtención de V_{u1}

$$V_{u1} = k * f_{1cd} * b_0 * d * \frac{\cot g \theta + \cot g \alpha}{1 + \cot g^2 \theta}$$

Dónde:

K: coeficiente de reducción por esfuerzo axil. En el caso de las losas se desprecia el esfuerzo axil, con lo que quedaría un $k=1$, en cambio, en el caso de los hastiales, se ha de tener en cuenta y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$k = \frac{5}{3} * \left(1 + \frac{\sigma'_{cd}}{f_{cd}}\right)$$

f_{cd} : Resistencia a compresión del hormigón ($f_{1cd}=0.60 \cdot f_{cd}$).

b_0 : Anchura neta mínima del elemento.

d : Canto útil del elemento.



ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL



θ : Ángulo entre las bielas de compresión del hormigón y el eje de la pieza.

Se adopta $\cotg\theta = \cotg\theta_e$, donde $\cotg\theta_e = \sqrt{\frac{\sigma_{cd}}{f_{ct,m}}}$ y siendo $f_{ct,m}$ la resistencia media a tracción del hormigón. Así en las losas tenemos un $\cotg\theta = 1$ y en el hastial habrá que calcularlo.

α : Ángulo formado por las armaduras con el eje de la pieza.

Una vez realizada la primera comprobación se realiza la segunda:

$$V_{u2} = \left[\frac{0.15}{1.5} * \xi * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{\frac{1}{3}} - 0.15 * \sigma'_{cd} \right] * b_0 * d$$

Dónde:

ξ : Coeficiente definido mediante la expresión $\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}}$

ρ_1 : Cuantía geométrica de la armadura longitudinal traccionada.

σ_{cd} : Tensión axil efectiva en el hormigón. En el caso de las losas como no se considera el axil, este valor es 0 y en el caso de los hastiales tiene un valor definido mediante la expresión:

$$\sigma_{cd} = \frac{N_d}{A_c} \quad \text{Dónde } N_d: \text{Esfuerzo axil de cálculo (tracción positiva)}$$

A_c : Área total de la sección de hormigón.

En caso de que ambas comprobaciones no se cumplan, significará que el elemento en cuestión que se está analizando precisa de armadura de cortante que se dimensionará siguiendo el siguiente procedimiento:

$$V_{su} = V_{rd} - V_{cu}$$

Dónde:

$$V_{cu} = \left[\frac{0.15}{1.5} * \xi * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{\frac{1}{3}} - 0.15 * \sigma'_{cd} \right] * b_0 * d$$

Una vez obtenemos V_{su} , se calculará el área por unidad de longitud de cada grupo de armaduras que forman un ángulo con la directriz de la pieza, que se definirá mediante la siguiente expresión:

$$A_\alpha = \frac{V_{su}}{f_{y\alpha,d} * 0.9 * d}$$

5.2.3.-ARMADURA DE CORTANTE LOSA SUPERIOR:

El cortante máximo de cálculo V_{rd} se produce a un canto útil de los extremos de losa con un valor de 352.03 KN.



Realizamos la primera comprobación:

$$V_{u1} = 1 \times \left(0.6 \times \frac{25}{1.5} \times 10^3\right) \times 1 \times 0.265 \times \frac{1+0}{1+1} = 1325KN$$

Realizamos la segunda comprobación:

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

Cálculo de V_{cu} : contribución del hormigón

$$V_{cu} = \left(\frac{0.15}{1.5}\right) \times 1.86 \times (100 \times 2.13 \times 10^{-4} \times 25)^{\frac{1}{3}} \times 1 \times 0.265 \times 10^3 \times 1 = 39.95KN$$

Dónde:

$$\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = \sqrt{\frac{200}{265}} = 1.8687$$

$$\sigma_{cd} = \frac{N_d}{A_c} = 0$$

$$\rho_1 = \frac{A_s}{b_0 \times d} = \frac{5.65}{100 \times 265} = 2.13 \times 10^{-4}$$

Contribución de la armadura transversal:

$$V_{su} = V_{rd} - V_{cu} = 0.9 \times d \times A_{90} \times f_{y90d}$$

Entonces:

$$A_{90} = \frac{312.08}{0.9 \times 0.265 \times 400 \times 10^3} = 32.71 \text{ cm}^2 \approx 33 \text{ cm}^2$$

La cuantía mínima de armadura a disponer es:

$$A_{90,min} = \frac{\sin \alpha \times f_{ct,m} \times b_0}{7.5 \times f_{y90d}} = \frac{1 \times 2.564 \times 10^3 \times 1}{7.5 \times 400 \times 10^3} = 8.55 \text{ cm}^2$$

Como $A_{\alpha,min} < A_{90}$, la armadura de cortante a disponer será 33 cm^2

La armadura de cortante estará dispuesta por cercos de $\emptyset 10/20/40$ a 1m de distancia.

5.2.4-ARMADURA DE CORTANTE LOSA INFERIOR

El cortante máximo de cálculo V_{rd} se produce a un canto útil de los extremos de losa con un valor de 306.23 KN.

Realizamos la primera comprobación:

$$V_{u1} = 1 \times \left(0.6 \times \frac{25}{1.5} \times 10^3\right) \times 1 \times 0.265 \times \frac{1+0}{1+1} = 1325KN$$



Realizamos la segunda comprobación:

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

Cálculo de V_{cu} : contribución del hormigón

$$V_{cu} = \left(\frac{0.15}{1.5} \times 1.86 \times (100 \times 2.13 \times 10^{-3} \times 25)^{\frac{1}{3}} \right) \times 1 \times 0.265 \times 10^3 \times 1$$

$$= 39.95 \text{ KN}$$

Siendo:

$$\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{265}} = 1.8687$$

$$\sigma_{cd} = \frac{N_d}{A_c} = 0$$

$$\rho_1 = \frac{A_s}{b_0 \times d} = \frac{5.65}{100 \times 265} = 2.13 \times 10^{-4}$$

Contribución de la armadura transversal:

$$V_{su} = V_{rd} - V_{cu} = 0.9 \times d \times A_{90} \times f_{y90d}$$

Entonces:

$$A_{90} = \frac{312.08}{0.9 \times 0.265 \times 400 \times 10^3} = 32.71 \text{ cm}^2 \approx 33 \text{ cm}^2$$

La cuantía mínima de armadura a disponer es:

$$A_{90,min} = \frac{\sin \alpha \times f_{ct,m} \times b_0}{7.5 \times f_{y90d}} = \frac{1 \times 2.564 \times 10^3 \times 1}{7.5 \times 400 \times 10^3} = 8.55 \text{ cm}^2$$

Como $A_{\alpha,min} < A_{90}$, la armadura de cortante a disponer será 33 cm^2

La armadura de cortante estará dispuesta por cercos de $\emptyset 10/20/20$ a 1m de distancia.

5.2.5-ARMADURA DE CORTANTE HASTIALES

Debido a que la estructura es simétrica nos bastará con calcular un solo hastial.

El cortante máximo de cálculo V_{rd} se produce a un canto útil de los extremos del hastial con un valor de 191.69 KN.

Realizamos la primera comprobación:

$$V_{u1} = 1 \times \left(0.6 \times \frac{25}{1.5} \times 10^3 \right) \times 1 \times 0.265 \times \frac{1+0}{1+1} = 1325 \text{ KN}$$

Realizamos la segunda comprobación:

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



Cálculo de V_{cu} : contribución del hormigón

$$V_{cu} = \left(\frac{0.15}{1.5}\right) \times 1.86 \times (100 \times 2.13 \times 10^{-3} \times 25)^{\frac{1}{3}} \times 1 \times 0.265 \times 10^3 \times 1 \\ = 39.95 \text{ KN}$$

Siendo:

$$\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{265}} = 1.8687$$

$$\sigma_{cd} = \frac{N_d}{A_c} = 0$$

$$\rho_1 = \frac{A_s}{b_0 \times d} = \frac{5.65}{100 \times 265} = 2.13 \times 10^{-4}$$

Contribución de la armadura transversal:

$$V_{su} = V_{rd} - V_{cu} = 0.9 \times d \times A_{90} \times f_{y90d}$$

Entonces:

$$A_{90} = \frac{312.08}{0.9 \times 0.265 \times 400 \times 10^3} = 32.71 \text{ cm}^2 \approx 33 \text{ cm}^2$$

La cuantía mínima de armadura a disponer es:

$$A_{90,min} = \frac{\sin \alpha \times f_{ct,m} \times b_0}{7.5 \times f_{y90d}} = \frac{1 \times 2.564 \times 10^3 \times 1}{7.5 \times 400 \times 10^3} = 8.55 \text{ cm}^2$$

Como $A_{\alpha,min} < A_{90}$, la armadura de cortante a disponer será 33 cm^2

La armadura de cortante estará dispuesta por cercos de $\emptyset 10/20/40$ a 1m de distancia.

5.3.- VERIFICACIÓN E.L.S.

5.3.1.- 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.

Al igual que se hizo en los estados límites últimos, se considera la porción unitaria de marco en los cálculos, sobre la cual estudiaremos únicamente el ELS de fisuración debido a la tracción de las fibras longitudinales. Así, no analizamos esta comprobación desde la perspectiva de la compresión o de la descompresión porque entendemos que no son fenómenos con el protagonismo suficiente como para ello.

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 II_a en las zapatas de las aletas y losa inferior del marco y II_b en el resto de elementos del



ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL



marco (losa superior, hastiales y alzado de aletas), por lo que la abertura máxima considerada $W_{max} = 0.3mm$. 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.

$$W_k \leq W_{max} = 0.3mm \text{ (Artículo 49.2.3 EHE-08)}$$

La comprobación de estas aberturas de fisuras se realizará en la losa superior del marco:

Las zonas expuestas a la aparición de fisuras corresponden a la parte central, donde las fisuras se producen en la parte exterior, correspondientes a las zonas de mayores tracciones. Al igual que en todos los casos anteriores, los cálculos se han realizado sobre los nudos que forman el modelo de cálculo. Por tanto, la comprobación de abertura de fisura por tracción tendrá lugar en los nudos que soportan las peores situaciones de estas zonas, es decir, en aquellos cuyo momento sea máximo en modulo.

Cabe decir que si el momento flector actuante en estos nudos no supera el momento de fisuración, no será necesario calcular la abertura de fisura característica. Este momento de fisuración se define como:

$$M_{\text{fisuración}} = \frac{f_{ct,m} \times I_b}{y_1}$$

$M_{\text{fisuración}}$: Momento en el que la fibra más traccionada del hormigón alcanza el valor $f_{ct,m}$.

$f_{ct,m}$: Resistencia media del hormigón a compresión definido como.

$$f_{ct,m} = \max\left[\left(1.6 - \frac{h}{1000}\right) f_{ctm}, f_{ctm}\right]$$

$$f_{ct,m} = 0.3 \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

- I_b : Momento de inercia de la sección bruta.
- y_1 : Distancia de centro de gravedad de la sección bruta a la fibra extrema en tracción.

La abertura característica de fisura W_k se define como:

$$W_k = \beta \times s_m \times \varepsilon_{sm}$$

Dónde:

- β : Coeficiente que relaciona la abertura media de fisura con el valor característico que adopta un valor de 1.3 cuando solo actúan acciones indirectas y 1.7 para un caso de proyecto normal. En este caso se tendrá $\beta = 1.7$.
- s_m : Separación media de fisuras, expresada en mm.
- ε_{sm} : Alargamiento medio de las armaduras.

Con:

$$s_m = 2c + 0.2s + 0.4K_1 \phi \frac{A_{c,eficaz}}{A_s}$$



ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL



- c : Recubrimiento de las armaduras traccionadas.
- S : Distancia entre las barras longitudinales. Si $s > 15\phi$ se tomará $s = 15\phi$. En el caso de vigas armadas con n barras, se tomará $s = b/n$ siendo b el ancho de la viga.
- K_1 : Coeficiente que representa la influencia del diagrama de tracciones en la sección, de valor:

$$K_1 = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{\varepsilon_1}$$

Dónde:

- ε_1 y ε_2 son las deformaciones máxima y mínima calculadas en sección fisurada, en los límites de la zona de tracción. Para los casos de flexión simple, se puede adoptar un valor $K_1 = 0.125$.
- ϕ : Diámetro de la barra traccionada más gruesa o diámetro equivalente en el caso de grupo de barras.
- $A_{c,eficaz}$: Área de hormigón en la zona de recubrimiento, en donde las barras a tracción incluyen de forma efectiva en la abertura de fisuras
- A_s : Sección total de las armaduras situadas en el área $A_{c,eficaz}$

- Alargamiento medio de las armaduras teniendo en cuenta la colaboración del hormigón entre fisuras:

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma}{E_s} \left[1 - K_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] \geq 0.4 \frac{\sigma_{sr}}{E_s}$$

Dónde:

- σ_s : Tensión de servicio de la armadura pasiva en la hipótesis de sección fisurada
- E_s : Modulo de deformación longitudinal del acero.
- K_2 : Coeficiente de valor 1.0 para los casos de carga instantánea no repetida y 0.5 para las restantes.
- σ_{sr} : Tensión de la armadura en la sección fisurada en el instante en que se fisura el hormigón, lo cual se supone que ocurre cuando la tensión de tracción en la fibra más traccionada de hormigón alcanza el valor $f_{ctm,fl}$.

5.3.1.1.- ESFUERZOS

La envolvente de esfuerzos para la combinación cuasi permanente será la siguiente:

TABLE: Element Force					
Frame	Station	OutputCase	P	V2	M3
Text	m	Text	KN	KN	KN-m
1	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-266.625	83.41101107	66.21734677
1	0.115	LOSA ELS CUASIPERM.	-265.7625	74.38460357	57.14493541
1	0.23	LOSA ELS CUASIPERM.	-264.9	65.44548107	49.10554203
2	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-264.9	65.44548107	49.10554203
2	0.115	LOSA ELS CUASIPERM.	-264.0375	56.59364357	42.08912884
2	0.23	LOSA ELS CUASIPERM.	-263.175	47.82909107	36.08565808
3	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-263.175	47.82909107	36.08565808



ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL



3	0.115	LOSA ELS CUASIPERM.	-262.3125	39.15182357	31.08509197
3	0.23	LOSA ELS CUASIPERM.	-261.45	30.56184107	27.07739274
4	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-261.45	30.56184107	27.07739274
4	0.115	LOSA ELS CUASIPERM.	-260.5875	22.05914357	24.0525226
4	0.23	LOSA ELS CUASIPERM.	-259.725	13.64373107	22.00044379
5	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-259.725	13.64373107	22.00044379
5	0.115	LOSA ELS CUASIPERM.	-258.8625	5.315603566	20.91111853
5	0.23	LOSA ELS CUASIPERM.	-258	-2.925238934	20.77450905
6	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-258	-2.925238934	20.77450905
6	0.115	LOSA ELS CUASIPERM.	-257.1375	-11.07879643	21.58057756
6	0.23	LOSA ELS CUASIPERM.	-256.275	-19.14506893	23.3192863
7	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-256.275	-19.14506893	23.3192863
7	0.115	LOSA ELS CUASIPERM.	-255.4125	-27.12405643	25.98059749
7	0.23	LOSA ELS CUASIPERM.	-254.55	-35.01575893	29.55447336
8	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-254.55	-35.01575893	29.55447336
8	0.115	LOSA ELS CUASIPERM.	-253.6875	-42.82017643	34.03087612
8	0.23	LOSA ELS CUASIPERM.	-252.825	-50.53730893	39.39976801
9	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-252.825	-50.53730893	39.39976801
9	0.115	LOSA ELS CUASIPERM.	-251.9625	-58.16715643	45.65111125
9	0.23	LOSA ELS CUASIPERM.	-251.1	-65.70971893	52.77486807
10	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-251.1	-65.70971893	52.77486807
10	0.115	LOSA ELS CUASIPERM.	-250.2375	-73.16499643	60.76100068
10	0.23	LOSA ELS CUASIPERM.	-249.375	-80.53298893	69.59947132
11	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-80.53298893	-249.375	-69.59947132
11	0.25	LOSA ELS CUASIPERM.	-80.53298893	-199.5	-13.49009632
12	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-80.53298893	-199.5	-13.49009632
12	0.25	LOSA ELS CUASIPERM.	-80.53298893	-149.625	30.15052868
13	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-80.53298893	-149.625	30.15052868
13	0.25	LOSA ELS CUASIPERM.	-80.53298893	-99.75	61.32240368
14	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-80.53298893	-99.75	61.32240368
14	0.25	LOSA ELS CUASIPERM.	-80.53298893	-49.875	80.02552868
15	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-80.53298893	-49.875	80.02552868
15	0.25	LOSA ELS CUASIPERM.	-80.53298893	-6.25E-11	86.25990368
16	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-80.53298893	-5.45E-11	86.25990368
16	0.25	LOSA ELS CUASIPERM.	-80.53298893	49.875	80.02552868
17	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-80.53298893	49.875	80.02552868
17	0.25	LOSA ELS CUASIPERM.	-80.53298893	99.75	61.32240368
18	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-80.53298893	99.75	61.32240368
18	0.25	LOSA ELS CUASIPERM.	-80.53298893	149.625	30.15052868
19	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-80.53298893	149.625	30.15052868
19	0.25	LOSA ELS CUASIPERM.	-80.53298893	199.5	-13.49009632
20	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-80.53298893	199.5	-13.49009632
20	0.25	LOSA ELS CUASIPERM.	-80.53298893	249.375	-69.59947132
21	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-251.1	65.70971893	-52.77486806



ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL



21	0.115	LOSA ELS CUASIPERM.	-250.2375	73.16499643	-60.76100068
21	0.23	LOSA ELS CUASIPERM.	-249.375	80.53298893	-69.59947132
22	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-252.825	50.53730893	-39.39976801
22	0.115	LOSA ELS CUASIPERM.	-251.9625	58.16715643	-45.65111125
22	0.23	LOSA ELS CUASIPERM.	-251.1	65.70971893	-52.77486806
23	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-254.55	35.01575893	-29.55447336
23	0.115	LOSA ELS CUASIPERM.	-253.6875	42.82017643	-34.03087612
23	0.23	LOSA ELS CUASIPERM.	-252.825	50.53730893	-39.39976801
24	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-256.275	19.14506893	-23.3192863
24	0.115	LOSA ELS CUASIPERM.	-255.4125	27.12405643	-25.98059749
24	0.23	LOSA ELS CUASIPERM.	-254.55	35.01575893	-29.55447336
25	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-258	2.925238934	-20.77450905
25	0.115	LOSA ELS CUASIPERM.	-257.1375	11.07879643	-21.58057756
25	0.23	LOSA ELS CUASIPERM.	-256.275	19.14506893	-23.3192863
26	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-259.725	-13.64373107	-22.00044379
26	0.115	LOSA ELS CUASIPERM.	-258.8625	-5.315603566	-20.91111853
26	0.23	LOSA ELS CUASIPERM.	-258	2.925238934	-20.77450905
27	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-261.45	-30.56184107	-27.07739274
27	0.115	LOSA ELS CUASIPERM.	-260.5875	-22.05914357	-24.0525226
27	0.23	LOSA ELS CUASIPERM.	-259.725	-13.64373107	-22.00044379
28	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-263.175	-47.82909107	-36.08565808
28	0.115	LOSA ELS CUASIPERM.	-262.3125	-39.15182357	-31.08509197
28	0.23	LOSA ELS CUASIPERM.	-261.45	-30.56184107	-27.07739274
29	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-264.9	-65.44548107	-49.10554203
29	0.115	LOSA ELS CUASIPERM.	-264.0375	-56.59364357	-42.08912884
29	0.23	LOSA ELS CUASIPERM.	-263.175	-47.82909107	-36.08565808
30	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-266.625	-83.41101107	-66.21734677
30	0.115	LOSA ELS CUASIPERM.	-265.7625	-74.38460357	-57.14493541
30	0.23	LOSA ELS CUASIPERM.	-264.9	-65.44548107	-49.10554203
31	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-83.41101107	-217.6093037	12.04939585
31	0.25	LOSA ELS CUASIPERM.	-83.41101107	-215.7343037	66.21734677
32	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-83.41101107	-168.9357969	-29.95017838
32	0.25	LOSA ELS CUASIPERM.	-83.41101107	-167.0607969	12.04939585
33	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-83.41101107	-120.6208671	-59.87102014
33	0.25	LOSA ELS CUASIPERM.	-83.41101107	-118.7458671	-29.95017838
34	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-83.41101107	-72.61148437	-77.78951624
34	0.25	LOSA ELS CUASIPERM.	-83.41101107	-70.73648437	-59.87102014
35	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-83.41101107	-24.80516941	-83.75643359
35	0.25	LOSA ELS CUASIPERM.	-83.41101107	-22.93016941	-77.78951624
36	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-83.41101107	22.93016941	-77.78951624
36	0.25	LOSA ELS CUASIPERM.	-83.41101107	24.80516941	-83.75643359
37	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-83.41101107	70.73648437	-59.87102014
37	0.25	LOSA ELS CUASIPERM.	-83.41101107	72.61148437	-77.78951624
38	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-83.41101107	118.7458671	-29.95017838



ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL



38	0.25	LOSA ELS CUASIPERM.	-83.41101107	120.6208671	-59.87102014
39	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-83.41101107	167.0607969	12.04939585
39	0.25	LOSA ELS CUASIPERM.	-83.41101107	168.9357969	-29.95017838
40	0	LOSA ELS CUASIPERM.	-83.41101107	215.7343037	66.21734677
40	0.25	LOSA ELS CUASIPERM.	-83.41101107	217.6093037	12.04939585

Comprobación fisuración en la losa superior:

Los cálculos para la determinación de la abertura de fisura se han realizado de forma manual. El momento de fisuración que se obtiene para esta sección del marco es:

$$M_{\text{fisuración}} = \frac{f_{ct,m} \times I_b}{y_1} = \frac{3.3310^3 \times 0.023}{0.15} = 51.06 \text{ KN}$$

El momento en dicho nodo es $M_k = 86.259 \text{ kNm}$ Este momento característico es mayor que el momento de fisuración, por lo que sí se producirá fisuración en el centro de la losa superior. Será por tanto necesario estudiar la abertura característica de fisura, con tal de comprobar la condición de estado límite de servicio para este tipo de ambiente de exposición en el hormigón.

$$c = r_{\min} - \frac{\emptyset}{2} = 0.035 - 0.006 = 0.029$$

$$A_{c,\text{eficaz}} = (7.5 \times \emptyset + r_{\min}) \times 1 = (7.5 \times 0.02 + 0.035) \times 1 = 0.125 \text{ m}^2$$

$$A_s = 16.92 \text{ cm}^2$$

$$K_1 = 0.125 \quad s=0.23 \quad K_2 = 0.5 \quad E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$

Separación media de fisuras:

$$s_m = 2 \times 0.029 + 0.2 \times 0.23 + 0.4 \times 0.125 \times 0.012 \frac{0.125}{16.92 \times 10^{-2}} = 104.44 \text{ mm}$$

Para el cálculo de las tensiones de la armadura traccionada, en elementos de hormigón armado se utilizan las siguientes expresiones:

$$\sigma_s = \frac{M_k}{0.8 \times d \times A_s} = \frac{86.259}{0.8 \times 0.32 \times 16.9210^{-4}} = 199.14 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{fis}}{0.8 \times d \times A_s} = \frac{51.06}{0.8 \times 0.32 \times 16.9210^{-4}} = 182.64 \text{ MPa}$$

Obteniendo por tanto:

$$\varepsilon_{sm} = \frac{199.14}{2 \times 10^5} \left[1 - 0.5 \left(\frac{182.64}{199.14} \right)^2 \right] = 5.77 \times 10^{-4} \geq 0.4 \frac{199.14}{2 \times 10^5}$$

Finalmente, la abertura de fisura que se produce es:

$$W_k = 1.7 \times 104.44 \times 8.67 \times 10^{-4} = 0.15 \text{ mm}$$

Como la abertura de fisura es menor que 0.3 mm, no es necesario disponer armadura de fisuración.



Comprobación fisuración en la losa inferior

Los cálculos para la determinación de la abertura de fisura se han realizado de forma manual. El momento de fisuración que se obtiene para esta sección del marco es:

$$M_{\text{fisuración}} = \frac{f_{ct,m} \times I_b}{y_1} = \frac{3.3310^3 \times 0.023}{0.15} = 51.06 \text{ KN}$$

El momento en dicho nodo es $M_k = 83.76 \text{ kN/m}$. Este momento característico es mayor que el momento de fisuración, por lo que sí se producirá fisuración en el centro de la losa superior. Será por tanto necesario estudiar la abertura característica de fisura, con tal de comprobar la condición de estado límite de servicio para este tipo de ambiente de exposición en el hormigón.

$$c = r_{\min} - \phi/2 = 0.035 - 0.006 = 0.029$$

$$A_{c,\text{eficaz}} = (7.5 \times \phi + r_{\min}) \times 1 = (7.5 \times 0.012 + 0.035) \times 1 = 0.125 \text{ m}^2$$

$$A_s = 16.92 \text{ cm}^2$$

$$K_1 = 0.125 \quad s = 0.23 \quad K_2 = 0.5 \quad E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$

Separación media de fisuras:

$$s_m = 2 \times 0.029 + 0.2 \times 0.23 + 0.4 \times 0.125 \times 0.012 \times \frac{0.125}{16.92 \times 10^{-2}} = 104.44 \text{ mm}$$

Para el cálculo de las tensiones de la armadura traccionada, en elementos de hormigón armado se utilizan las siguientes expresiones:

$$\sigma_s = \frac{M_k}{0.8 \times d \times A_s} = \frac{83.76}{0.8 \times 0.32 \times 11.31110^{-4}} = 289.29 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{fis}}{0.8 \times d \times A_s} = \frac{51.06}{0.8 \times 0.32 \times 11.31110^{-4}} = 176.35 \text{ MPa}$$

Obteniendo por tanto:

$$\varepsilon_{sm} = \frac{289.29}{2 \times 10^5} \left[1 - 0.5 \left(\frac{176.35}{289.29} \right)^2 \right] = 1.17 \times 10^{-3} \geq 0.4 \frac{289.29}{2 \times 10^5}$$

Finalmente, la abertura de fisura que se produce es:

$$W_k = 1.7 \times 104.44 \times 1.17 \times 10^{-3} = 0.21 \text{ mm}$$

Como la abertura de fisura es menor que 0.3 mm, no es necesario disponer armadura de fisuración.

Comprobación fisuración en los hastiales

En los hastiales no es necesario evaluar la fisuración ya que no suele resultar problemática debido al efecto del axil al cual está sometido. Aun así si comprobamos el momento de cálculo con el de fisuración podemos observar que es menor, y por tanto, no se produce fisuración.



LAS ALETAS

• **Programa de cálculo**

Para el cálculo de las aletas se ha empleado el módulo de "Muros en ménsula de hormigón armado" del paquete informático "CYPE. Arquitectura, Ingeniería y Construcción" de CYPE

Ingenieros.

El programa calcula las envolventes de esfuerzos en los elementos que componen la estructura a partir de las que se realiza el dimensionamiento del armado de dichos elementos siguiendo los criterios establecidos en la EHE.

Se realizan las comprobaciones relativas a los siguientes Estados Límites de cuyo cumplimiento derivan los armados definidos:

- ELU de Agotamiento frente a solicitaciones Normales
- ELU de Agotamiento frente a Cortante
- ELS de Fisuración
- ELU de Hundimiento del terreno.
- ELU de Equilibrio de la cimentación.

Una vez realizada la estructura principal del presente proyecto, se ejecutan las aletas, cuya misión es la de contener las tierras del terraplén.

Las aletas se ejecutarán "in situ" adosadas a los hastiales del cajón y separados de estos mediante una junta en frío.

6.- CÁLCULO DE LAS ALETAS

6.1- NORMA Y MATERIALES

Norma: EHE-08 (España)

Hormigón: HA-25, $Y_c=1.5$

Acero de barras: B 500 SD, $Y_s=1.15$

Tipo de ambiente: Clase IIb

Recubrimiento en el intradós del muro: 3.5 cm

Recubrimiento en el trasdós del muro: 3.5 cm

Recubrimiento superior de la cimentación: 3.5 cm

Recubrimiento inferior de la cimentación: 3.5 cm

Recubrimiento lateral de la cimentación: 7.0 cm

Tamaño máximo del árido: 20 mm

6.2- ACCIONES

Empuje en el intradós: Sin empuje

Empuje en el trasdós: Activo



6.3-DATOS GENERALES

Cota de la rasante: 0.00 m

Altura del muro sobre la rasante: 0.00 m

Enrase: Trasdós

Longitud del muro en planta: 5.00 m

Separación de las juntas: 5.00 m

Tipo de cimentación: Zapata corrida

6.4- DESCRIPCIÓN DEL TERRENO

Ángulo talud: 23 grados

Porcentaje del rozamiento interno entre el terreno y el intradós del muro: 0 %

Porcentaje del rozamiento interno entre el terreno y el trasdós del muro: 0 %

Evacuación por drenaje: 100 %

Tensión admisible: 0.150 MPa

Coeficiente de rozamiento terreno-cimiento: 0.60

ESTRATOS

Referencias	Cota superior	Descripción	Coeficientes de empuje
1. Arena Densa	0.00 m	Densidad aparente: 20.00 kN/m ³ Densidad sumergida: 12.00 kN/m ³ Ángulo rozamiento interno: 30.00 grados Cohesión: 0.00 KN/m ²	Activo trasdós: 0.33

6.5-GEOMETRÍA

MURO

Altura: 2.30 m

Espesor superior: 25.0 cm

Espesor inferior: 25.0 cm

ZAPATA CORRIDA

Con puntera y talón

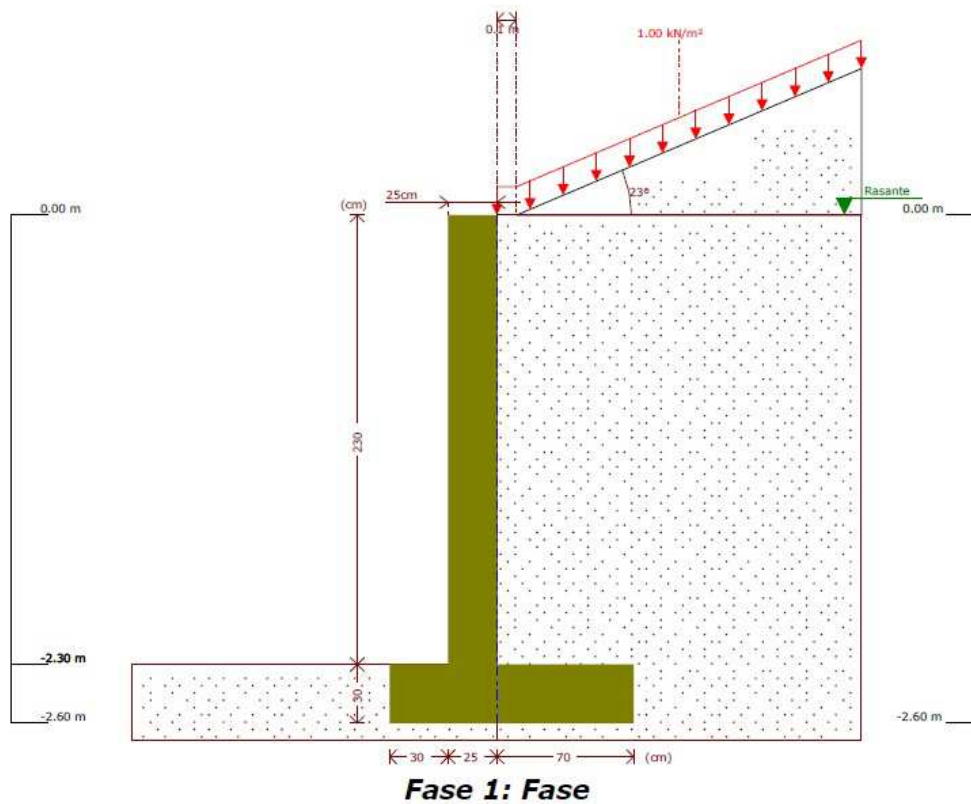
Canto: 30 cm

Vuelos intradós / trasdós: 30.0 / 70.0 cm

Hormigón de limpieza: 10 cm



6.6- ESQUEMA DE LAS FASES



6.7- CARGAS

CARGAS EN EL TRASDÓS

Tipo	Cota	Datos	Fase inicial	Fase final
Uniforme	En superficie	Valor: 1KN /m ²	Fase	Fase

6.8- RESULTADOS DE LAS FASES

Esfuerzos sin mayorar.

FASE 1: FASE

CARGA PERMANENTE Y EMPUJE DE TIERRAS CON SOBRECARGAS

Cota (m)	Ley de axiles (KN/m)	Ley de cortantes (KN/m)	Ley de momento flector (KN·m/m)	Ley de empujes (KN/m²)	Presión hidrostática (KN/m²)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00
-0.22	1.35	0.25	0.02	2.13	0.00
-0.45	2.76	0.99	0.15	4.32	0.00
-0.68	4.17	2.24	0.51	6.51	0.00



ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL



Cota (m)	Ley de axiles (KN/m)	Ley de cortantes (KN/m)	Ley de momento flector (KN·m/m)	Ley de empujes (KN/m ²)	Presión hidrostática (KN/m ²)
-0.91	5.58	3.98	1.22	8.69	0.00
-1.14	6.99	6.24	2.39	10.88	0.00
-1.37	8.40	8.99	4.13	13.06	0.00
-1.60	9.81	12.24	6.56	15.24	0.00
-1.83	11.22	16.00	9.80	17.43	0.00
-2.06	12.63	20.26	13.96	19.61	0.00
-2.29	14.04	25.02	19.16	21.79	0.00
Máximos	14.10	25.24	19.41	21.93	0.00
	Cota: -2.30 m	Cota: -2.30 m	Cota: -2.30 m	Cota: -2.30 m	Cota: 0.00 m
Mínimos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Cota: 0.00 m	Cota: 0.00 m	Cota: 0.00 m	Cota: 0.00 m	Cota: 0.00 m

CARGA PERMANENTE Y EMPUJE DE TIERRAS

Cota (m)	Ley de axiles (KN/m)	Ley de cortantes (KN/m)	Ley de momento flector (KN·m/m)	Ley de empujes (KN/m ²)	Presión hidrostática (KN/m ²)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-0.22	1.35	0.16	0.01	1.64	0.00
-0.45	2.76	0.79	0.11	3.82	0.00
-0.68	4.17	1.92	0.41	6.00	0.00
-0.91	5.58	3.55	1.03	8.18	0.00
-1.14	6.99	5.68	2.08	10.37	0.00
-1.37	8.40	8.32	3.68	12.55	0.00
-1.60	9.81	11.46	5.95	14.73	0.00
-1.83	11.22	15.10	8.99	16.91	0.00
-2.06	12.63	19.24	12.93	19.10	0.00
-2.29	14.04	23.88	17.88	21.28	0.00
Máximos	14.10	24.09	18.12	21.42	0.00
	Cota: -2.30 m	Cota: -2.30 m	Cota: -2.30 m	Cota: -2.30 m	Cota: 0.00 m
Mínimos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Cota: 0.00 m	Cota: 0.00 m	Cota: 0.00 m	Cota: 0.00 m	Cota: 0.00 m

6.9- COMBINACIONES

HIPÓTESIS

1 - Carga permanente
2 - Empuje de tierras
3 - Sobrecarga

COMBINACIONES PARA ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

Combinación	Hipótesis		
	1	2	3
1	1.00	1.00	
2	1.35	1.00	



ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL



Combinación	Hipótesis		
	1	2	3
3	1.00	1.50	
4	1.35	1.50	
5	1.00	1.00	1.50
6	1.35	1.00	1.50
7	1.00	1.50	1.50
8	1.35	1.50	1.50

COMBINACIONES PARA ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO

Combinación	Hipótesis		
	1	2	3
1	1.00	1.00	
2	1.00	1.00	0.60

6.10- DESCRIPCIÓN DEL ARMADO

CORONACIÓN				
Armadura superior: 2 Ø12				
Anclaje intradós / trasdós: 20 / 20 cm				
TRAMOS				
Núm.	Intradós		Trasdós	
	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
1	Ø12c/30 Solape: 0.25 m	Ø10c/25	Ø12c/20 Solape: 0.45 m	Ø10c/25
ZAPATA				
Armadura	Longitudinal	Transversal		
Superior	Ø12c/30	Ø12c/30 Patilla Intradós/Trasdós: 15/15 cm		
Inferior	Ø12c/30	120c/30 Patilla intradós / trasdós: 15/15 cm		
Longitud de pata en arranque: 30 cm				

6.11- COMPROBACIONES GEOMÉTRICAS Y DE RESISTENCIA

Referencia: Muro: ALETA TIPO_R01 (OBRAS DRENAJE PISTA ATERRIZAJE EN CIUDAD REAL)		
Comprobación	Valores	Estado
Comprobación a rasante en arranque muro:	Máximo: 325.8 kN/m Calculado: 37.8 kN/m	Cumple
Espesor mínimo del tramo: <i>Jiménez Salas, J.A... Geotecnia y Cimientos II, (Cap. 12)</i>	Mínimo: 20 cm Calculado: 25 cm	Cumple



ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL



Referencia: Muro: ALETA TIPO_R01 (OBRAS DRENAJE PISTA ATERRIZAJE EN CIUDAD REAL)		
Comprobación	Valores	Estado
Separación libre mínima armaduras horizontales: <i>Norma EHE-08. Artículo 69.4.1</i>	Mínimo: 2.5 cm	
- Trasdós:	Calculado: 24 cm	Cumple
- Intradós:	Calculado: 24 cm	Cumple
Separación máxima armaduras horizontales: <i>Norma EHE, artículo 42.3.1</i>	Máximo: 30 cm	
- Trasdós:	Calculado: 25 cm	Cumple
- Intradós:	Calculado: 25 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima horizontal por cara: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE</i>	Mínimo: 0.001	
- Trasdós (-2.30 m):	Calculado: 0.00125	Cumple
- Intradós (-2.30 m):	Calculado: 0.00125	Cumple
Cuantía mínima mecánica horizontal por cara: <i>Criterio J.Calavera. Muros de contención y muros de sótano. (Cuantía horizontal > 20% Cuantía vertical)</i>		
- Trasdós:	Mínimo: 0.00125 Calculado: 0.00045	Cumple
- Intradós:	Mínimo: 0.0002	Cumple
Cuantía mínima geométrica vertical cara traccionada: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE</i>	Mínimo: 0.0009	
- Trasdós (-2.3 m):	Calculado: 0.00226	Cumple
Cuantía mínima mecánica vertical cara traccionada: <i>Norma EHE, artículo 42.3.2 (Flexión simple o compuesta)</i>	Mínimo: 0.00153	
- Trasdós (-2.30 m):	Calculado: 0.00226	Cumple
Cuantía mínima geométrica vertical cara comprimida: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE</i>	Mínimo: 0.00027	
- Intradós (-2.30 m):	Calculado: 0.00104	Cumple
Cuantía mínima mecánica vertical cara comprimida: <i>Norma EHE, artículo 42.3.2</i>	Mínimo: 0	
- Intradós (-2.30 m):	Calculado: 0.00104	Cumple
Separación libre mínima armaduras verticales: <i>Norma EHE-98. Artículo 69.4.1</i>	Mínimo: 2.5 cm	
- Trasdós:	Calculado: 17.6 cm	Cumple
- Intradós:	Calculado: 28 cm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Norma EHE, artículo 42.3.1</i>	Máximo: 30 cm	
- Armadura vertical Trasdós:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armadura vertical Intradós:	Calculado: 30 cm	Cumple



ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL



Referencia: Muro: ALETA TIPO_R01 (OBRAS DRENAJE PISTA ATERRIZAJE EN CIUDAD REAL)		
Comprobación	Valores	Estado
Comprobación a flexión compuesta: <i>Comprobación realizada por unidad de longitud de muro</i>		Cumple
Comprobación a cortante: <i>Artículo 44.2.3.2.1 (EHE-08)</i>	Máximo: 146.9 kN/m Calculado: 31.3 kN/m	Cumple
Comprobación de fisuración: <i>Artículo 49.2.3 de la norma EHE</i>	Máximo: 0.3 mm Calculado: 0 mm	Cumple
Longitud de solapes: <i>Norma EHE-98. Artículo 69.6.2</i>		
- Base trasdós:	Mínimo: 0.42 m Calculado: 0.45 m	Cumple
- Base intradós:	Mínimo: 0.25 m Calculado: 0.25 m	Cumple
Comprobación del anclaje del armado base en coronación: <i>Criterio J.Calavera. Muros de contención y muros de sótano.</i>		
- Trasdós:	Calculado: 20 cm Mínimo: 15 cm	Cumple
- Intradós:	Mínimo: 0 cm	Cumple
Área mínima longitudinal cara superior viga de coronación: <i>J.Calavera (Muros de contención y muros de sótano)</i>	Mínimo: 2.2 cm ² Calculado: 2.2 cm ²	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Cota de la sección con la mínima relación 'cuantía horizontal / cuantía vertical' Trasdós: - 2.30 m - Cota de la sección con la mínima relación 'cuantía horizontal / cuantía vertical' Intradós: - 2.30 m - Sección crítica a flexión compuesta: Cota: -2.30 m, Md: 29.11 kN·m/m, Nd: 14.10 kN/m, Vd: 37.86 kN/m, Tensión máxima del acero: 254.890 MPa - Sección crítica a cortante: Cota: -2.10 m		



ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL





ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL



Referencia: Zapata corrida: ALETA TIPO_R01 (OBRAS DRENAJE PISTA ATERRIZAJE EN CIUDAD REAL)		
Comprobación	Valores	Estado
Comprobación de estabilidad: <i>Valor introducido por el usuario.</i>		
- Coeficiente de seguridad al vuelco: $\sigma_{\text{adddddd}}(\text{I})$	Mínimo: 1.8 Calculado: 1.88	Cumple
Canto mínimo: - Zapata: <i>Norma EHE. Artículo 58.8.1.</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 30 cm	Cumple
Tensiones sobre el terreno: <i>Valor introducido por el usuario.</i>		
- Tensión media:	Máximo: 0.15 MPa Calculado: 0.0551 MPa	Cumple
- Tensión máxima:	Máximo: 0.1875 MPa Calculado: 0.1276 MPa	Cumple
Flexión en zapata: <i>Comprobación basada en criterios resistentes</i>		
- Armado superior trasdós:	Calculado: 3.77 cm ² /m Mínimo: 2.34 cm ² /m	
- Armado inferior trasdós:	Mínimo: 0 cm ² /m	Cumple
- Armado superior intradós:	Mínimo: 0 cm ² /m	Cumple
- Armado inferior intradós:	Mínimo: 0.84 cm ² /m	Cumple
Esfuerzo cortante: <i>Norma EHE. Artículo 44.2.3.2.1.</i>		
- Trasdós:	Máximo: 169.2 kN/m Calculado: 41.9 kN/m	Cumple
- Intradós:	Calculado: 6.1 kN/m	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Norma EHE-98. Artículo 66.5.</i>		
- Arranque trasdós:	Mínimo: 15 cm Calculado: 24.1 cm	Cumple
- Arranque intradós:	Mínimo: 15 cm Calculado: 24.1 cm	Cumple
- Armado inferior trasdós (Patilla):	Mínimo: 0 cm Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inferior intradós (Patilla):	Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm	Cumple



ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL



Referencia: Zapata corrida: ALETA TIPO_R01 (OBRAS DRENAJE PISTA ATERRIZAJE EN CIUDAD REAL)		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado superior trasdós (Patilla):	Mínimo: 0 cm Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior intradós (Patilla):	Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm	Cumple
Recubrimiento: <i>Norma EHE. Artículo 37.2.4.</i>		
- Lateral:	Mínimo: 7 cm Calculado: 7 cm	Cumple
Diámetro mínimo: <i>Norma EHE. Artículo 59.8.2.</i>	Mínimo: Ø12	
- Armadura transversal inferior:	Calculado: Ø12	Cumple
- Armadura longitudinal inferior:	Calculado: Ø12	Cumple
- Armadura transversal superior:	Calculado: Ø12	Cumple
- Armadura longitudinal superior:	Calculado: Ø12	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Norma EHE. Artículo 42.3.1 (pag. 149).</i>	Máximo: 30 cm	
- Armadura transversal inferior:	Calculado: 30 cm	Cumple
- Armadura transversal superior:	Calculado: 30 cm	Cumple
- Armadura longitudinal inferior:	Calculado: 30 cm	Cumple
- Armadura longitudinal superior:	Calculado: 30 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>J. Calavera, 'Cálculo de Estructuras de Cimentación' 4ª edición, INTEMAC. Apartado 3.16 (pag. 129).</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armadura transversal inferior:	Calculado: 30 cm	Cumple
- Armadura transversal superior:	Calculado: 30 cm	Cumple
- Armadura longitudinal inferior:	Calculado: 30 cm	Cumple
- Armadura longitudinal superior:	Calculado: 30 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Criterio de CYPE Ingenieros.</i>	Mínimo: 0.0009	
- Armadura longitudinal inferior:	Calculado: 0.00125	Cumple
- Armadura longitudinal superior:	Calculado: 0.00125	Cumple
- Armadura transversal inferior:	Calculado: 0.00125	Cumple
- Armadura transversal superior:	Calculado: 0.00125	Cumple
Cuantía mecánica mínima:		
- Armadura longitudinal inferior: <i>Norma EHE. Artículo 55.</i>	Mínimo: 0.00031 Calculado: 0.00125	Cumple
- Armadura longitudinal superior: <i>Norma EHE. Artículo 55.</i>	Mínimo: 0.00031 Calculado: 0.00125	Cumple



ANEJO Nº4- CALCULO ESTRUCTURAL



Referencia: Zapata corrida: ALETA TIPO_R01 (OBRAS DRENAJE PISTA ATERRIZAJE EN CIUDAD REAL)		
Comprobación	Valores	Estado
- Armadura transversal inferior: <i>Norma EHE. Artículo 42.3.2.</i>	Mínimo: 0.00039 Calculado: 0.00125	Cumple
- Armadura transversal superior: <i>Norma EHE. Artículo 42.3.2.</i>	Mínimo: 0.00097 Calculado: 0.00125	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
Momento flector pésimo en la sección de referencia del trasdós: 24.69 kN·m/m		
- Momento flector pésimo en la sección de referencia del intradós: 8.99 kN·m/m		

Valencia, Junio del 2015

El autor de la memoria

Fdo : Martínez García, Rebeca