



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



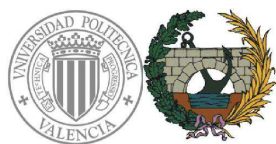
Anejo nº4 : Anejo de cálculo

Valencia, Julio de 2014



Enlace entre el peaje de la AP7 en Oropesa y la N-340:
Predimensionamiento de estructuras

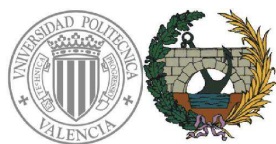
Anejo nº4: Anejo de cálculos



Enlace entre el peaje de la AP7 en Oropesa y la N-340:
Predimensionamiento de estructuras

Anejo nº4: Anejo de cálculos

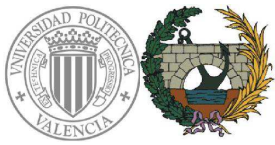
1-	OBJETO DEL PRESENTE ANEJO	5
2-	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA	5
3-	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE CÁLCULO	7
3.1-	CÁLCULO DEL TABLERO	8
3.2-	CÁLCULO DE LOS APARATOS DE APOYO	9
3.3-	CÁLCULO DE LAS PILAS.....	9
4-	BASES DE CÁLCULO	10
4.1-	MATERIALES Y CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	10
4.1.1-	Hormigón	10
4.1.2-	Armaduras pasivas	10
4.1.3-	Armaduras activas	10
4.1.4-	Resumen características de los materiales	11
4.2-	ACCIONES CONSIDERADAS	12
4.2.1-	CARGAS PERMANENTES (G).....	12
4.2.1.1-	Peso propio	12
4.2.1.2-	Cargas muertas	13
4.2.2	CARGAS PERMANENTES DE VALOR NO CONSTANTE (G*).....	13
4.3-	HIPÓTESIS DE CARGA.....	14
4.3.1-	VALORES REPRESENTATIVOS	14
4.3.1.1-	Permanentes G.....	14
4.3.1.2-	Permanentes de valor no cte (G*).....	14
4.3.1.2.1	Presolicitaciones	14
4.3.1.2.2	Acciones Reológicas	14
4.3.1.2.3	Acciones debidas al terreno	15
4.3.1.3-	Variables (Q).....	15
4.3.1.4-	Accidentales (A).....	16
4.3.2	VALORES DE CÁLCULO	17
4.3.3	COMBINACIÓN DE ACCIONES	18
4.3.3.1-	Estados límite últimos	18
4.3.3.1.1-	Situaciones persistentes o transitorias	18
4.3.3.1.2	Situaciones accidentales	19
4.3.3.1.2.1-	Situaciones accidentales sin sismo	19
4.3.3.1.2.2-	Situaciones accidentales de sismo	20
4.3.3.2-	ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO.....	20
4.3.3.2.1	Combinación característica (poco probable)	20
4.3.3.2.2	Combinación frecuente.....	20
4.3.3.2.3	Combinación cuasi-permanente	21
5-	CÁLCULO LONGITUDINAL DEL TABLERO.....	21
5.1-	MODELIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA	21
5.2-	CASOS DE CARGA	22
5.3-	ESFUERZOS OBTENIDOS	24
5.3.1-	Momentos flectores.....	24
5.3.2-	Cortantes	24
5.3.3-	Reacciones en apoyos.....	25
5.4-	DEFORMADA DE LA ESTRUCTURA	27



Enlace entre el peaje de la AP7 en Oropesa y la N-340: Predimensionamiento de estructuras

Anejo nº4: Anejo de cálculos

5.5-	PREDIMENSIONAMIENTO DEL PRETENSADO.....	27
5.6-	PREDIMENSIONAMIENTO ARMADURA DE CORTANTE	29
5.6.1-	ESFUERZO CORTANTE DE AGOTAMIENTO POR COMPRESIÓN.....	30
5.6.2-	ESFUERZO CORTANTE DE AGOTAMIENTO POR TRACCIÓN EN EL ALMA.....	31
5.7-	PREDIMENSIONAMIENTO DE ARMADURA DE RASANTE	33
5.8-	PREDIMENSIONADO DE LA ARMADURA DE LA LOSA DE HORMIGÓN.....	33
6-	DIMENSIONAMIENTO DE LOS APOYOS	34
6.1-	DESCRIPCIÓN.....	34
6.2-	PROCESO DE SELECCIÓN DE LOS APARATOS DE APOYO	35
6.2.1-	Acciones a considerar	36
6.2.1.1-	Acciones verticales procedentes del tablero.....	36
6.2.1.2-	Acciones horizontales procedentes del tablero	36
6.3-	ELECCIÓN DEL APARATO DE APOYO.....	37
7-	PREDIMENSIONAMIENTO PILAS	37
7.1-	CONCEPCIÓN Y DISEÑO DE LA PILAS.....	37
7.2-	DESCRIPCIÓN DE LA PILA	37
7.3-	ACCIONES A CONSIDERAR	38
7.3.1-	Acciones procedentes del tablero	38
7.3.1.2-	Cargas verticales	38
7.3.1.2-	Cargas horizontales.....	39
7.3.1.3-	Resumen cargas	39
7.4-	COMBINACIÓN DE ACCIONES	39
7.5-	DIMENSIONAMIENTO DE LAS PILAS	39
7.5.1	Dimensionamiento del dintel.....	40
7.5.1.1-	Dimensionamiento de la armadura principal del dintel.....	40
7.5.1.2	Dimensionamiento de la armadura de cortante	40
7.5.2-	Dimensionamiento del fuste	41
7.5.3-	Armado de la cimentación.....	41
7.5.3.1-	Modelización de la estructura.....	41
7.5.3.2-	Acciones a considerar.....	42
7.5.3.3-	Leyes de esfuerzos	42
7.5.3.4-	Armado de la zapata	43
7.5.3.4.1-	Armado longitudinal	43
7.5.3.4.1-	Armado transversal.....	43



1- OBJETO DEL PRESENTE ANEJO

El objeto del presente anejo de cálculo de estructuras es justificar y razonar las dimensiones de los distintos elementos que conforman el puente, y comprobar el cumplimiento de las condiciones de estabilidad, resistencia, rigidez, durabilidad o de cualquier otro aspecto del puente en su totalidad o de cada una de las partes en que pueda considerarse dividido, de forma que podamos considerar su correcto comportamiento a lo largo de su vida útil.

Para la determinación de acciones se ha empleado la normativa vigente; “Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera” (IAP-11). Y para las comprobaciones de resistencia estructural se he empleado la “Instrucción de hormigón estructural” (EHE – 08).

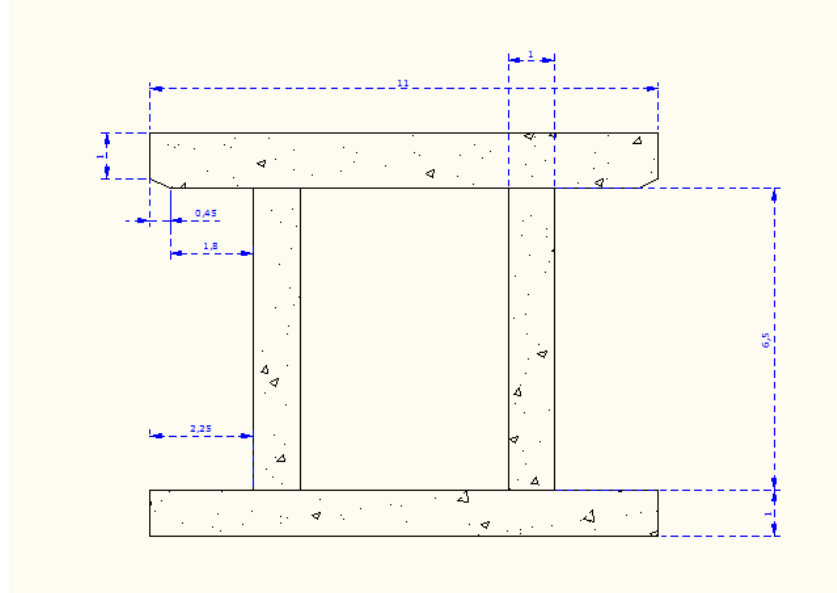
2- DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

La estructura consiste en un puente de dos vanos discontinuos de 20m de luz cada uno.

La sección transversal consta de 5 vigas prefabricadas tipo VP 100.60 de PREVALESA, solidarizadas transversalmente mediante una losa de hormigón armado de 25 cm. La sección tiene un ancho de 11 m y el canto de 1.25 m .

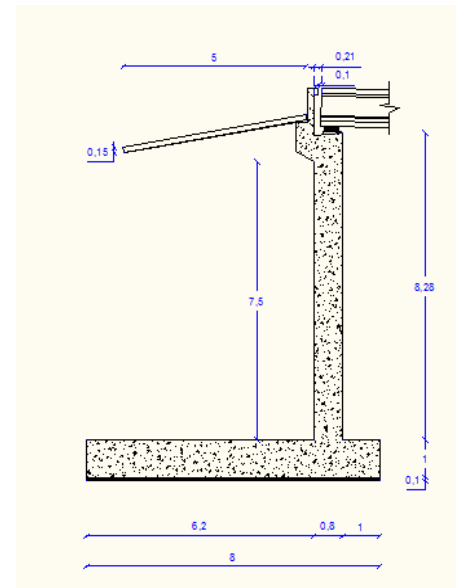
La ejecución del tablero se realizará colocando las vigas prefabricadas y posteriormente se hormigonará in situ la losa superior de hormigón armado.

El tablero se sustenta sobre una pila y dos estribos con 5 apoyos de neopreno en cada una de las subestructuras. Los apoyos están separados 2.60 m.



Las pilas son tipo pórtico con un fuste cuadrado de 1m de lado y presentan una altura hasta la parte superior del encepado entorno a los 7.7 m . Las cimentaciones de las pilas consisten en zapatas flexibles rectangulares de 4*11 m y 1 m de canto.

Los estribos consisten en muros de hormigón de 1.2m de espesor por 11.6 m de ancho. La coronación de los muros consiste en una plataforma de 70 cm, que recibe los apoyos del tablero mediante mesetas de mortero autonivelante de alta resistencia. Las cimentaciones de los estribos consisten en zapatas superficiales de dimensiones 8*11.6 m y 1m de canto.





3- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE CÁLCULO

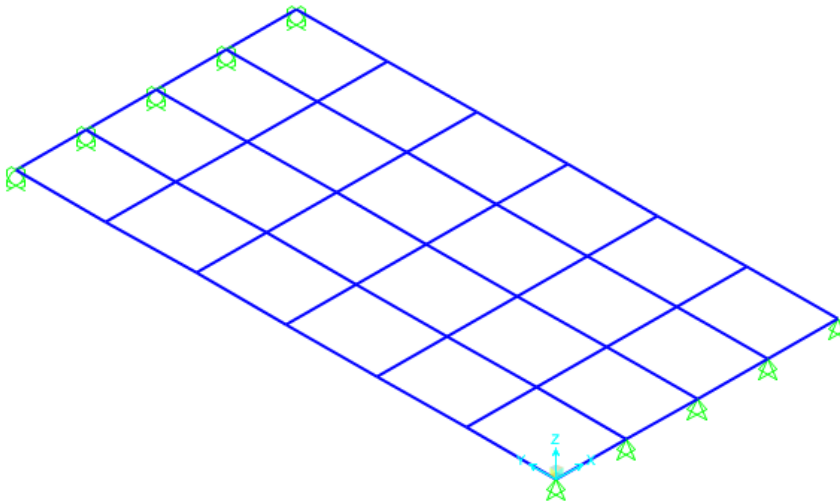
En este proyecto sólo se ha efectuado el predimensionamiento de la estructura, armado de vigas, armado de losa, armado de pilas y dintel y armado de zapata combinada de la pila.

- 1) Predimensionado de la sección transversal
 - Geometría de las vigas prefabricadas y losa de hormigón
 - Predimensionamiento del pretensado y armado de las vigas prefabricadas
- 2) Predimensionado de la pila
 - Geometría de la pila y tipología
 - Predimensionamiento del armado de la pila
 - Armado del dintel
 - Armado de la cimentación.
- 3) Definición geométrica de unos estribos cerrados "tipo"
- 4) Definición de los elementos de apoyo

3.1- CÁLCULO DEL TABLERO

Para el análisis estructural del tablero del puente se empleará el modelo del emparrillado simple.

Se calculará el tablero como un emparrillado formado por 5 vigas longitudinales (las cinco vigas prefabricadas que se dispondrán realmente) sustentadas por siete vigas transversales ficticias, todo esto por vano.



En primer lugar se han calculado las cargas que actúan sobre el puente y las posibles combinaciones. Una vez calculados los casos de carga, se han introducido en programa SAP 2000 para obtener los esfuerzos que tenemos en el emparrillado.

Una vez hemos calculado los esfuerzos, calculamos el pretensado necesario, la armadura de cortante y la armadura de rasante necesarias para la viga pretensada, siguiendo los conocimientos adquiridos en las asignaturas hormigón armado y hormigón pretensado.



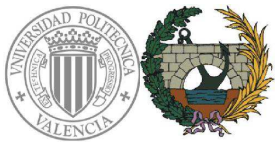
3.2- CÁLCULO DE LOS APARATOS DE APOYO

Para el cálculo de los aparatos de apoyo hemos designado unos casos de carga que generen la máxima reacción vertical en apoyos.

Con estos esfuerzos se procede a dimensionar los apoyos que serán elastoméricos de neopreno zunchado.

3.3- CÁLCULO DE LAS PILAS

Con las mismas acciones consideradas en el dimensionamiento de los apoyos se dimensionan las armaduras necesarias para las pilas en alzado, según la EHE-08.



4- BASES DE CÁLCULO

4.1- MATERIALES Y CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

4.1.1- Hormigón

Por tratarse de una obra exterior, en ausencia de cloruros, sometida a la acción de la lluvia, en una zona con precipitación media anual inferior a 600 mm se ha elegido un tipo de ambiente IIb.

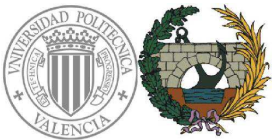
4.1.2- Armaduras pasivas

Para las armaduras pasivas se han utilizado redondos corrugados de acero B- 500 S

El recubrimiento nominal que deben respetar las armaduras pasivas será de 0,020 m, deducido a través de la clase de exposición IIb.

4.1.3- Armaduras activas

La armadura activa la constituyen 21 alambres de 13mm de diámetro de acero Y-1860 S7 pretensados.



Enlace entre el peaje de la AP7 en Oropesa y la N-340:
Predimensionamiento de estructuras

Anejo nº4: Anejo de cálculos

4.1.4- Resumen características de los materiales

	HORMIGÓN							ACERO PASIVO			ACERO ACTIVO		
	TIPO	N/mm ²	CONSISTENCIA	T.MAX	CLASE AMBIENTE	γ_c	CONTROL	TIPO	γ_s	CONTROL	TIPO	γ_s	CONTROL
VIGAS PREFAB.	HP	50	B	20	lib	1,5	N	B-500 S	1,15	E	Y-1860 S7	1,15	N
LOSA	HA	25											
PILAS	HA	30											



4.2- ACCIONES CONSIDERADAS

Para el análisis del tablero, aparatos de apoyo, pilas, estribos y elementos de cimentación se consideran las acciones características prescritas en la IAP; *“Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera”*, editada por el Ministerio de Fomento en 2011.

Las acciones que se tendrán en cuenta se describen a continuación.

4.2.1- CARGAS PERMANENTES (G)

4.2.1.1- *Peso propio*

Esta acción corresponde al peso de los elementos estructurales.

La IAP nos proporciona valores de los pesos específicos relativos al del agua (9,8 KN/m³), de los materiales de construcción más usuales. De este modo, para el cálculo del peso propio de los elementos de hormigón armado y pretensado se considera que el material tiene un peso específico relativo de 2,50.

-Peso propio de la viga

$$25 \text{ KN/m}^3 \times 0.2748 \text{ m}^2 = 6.87 \text{ KN/m}$$

-Peso propio de la losa de hormigón

$$\text{Viga exterior} \rightarrow 25 \text{ KN/m}^3 \times 0.2962 \text{ m}^2 = 7.405 \text{ KN/m}$$

$$\text{Viga interior} \rightarrow 25 \text{ KN/m}^3 \times 0.5925 \text{ m}^2 = 14.8125 \text{ KN/m}$$



4.2.1.2- Cargas muertas

Son las debidas a elementos no estructurales que gravitan sobre los estructurales. Se consideran las siguientes cargas por unidad de longitud. Se considera un peso específico relativo del pavimento de mezcla bituminosa de 23 KN/m³. El peso de la mezcla bituminosa los soportan las barras transversales del emparrillado.

Además se considera el peso de las barreras del puente. Estas cargas las soportan los nudos exteriores de las vigas longitudinales del emparrillado.

-Peso asfalto

Viga exterior -> 4.088 KN/m

Viga interior -> 8.1765 KN/m

-Peso barreras

Nudo extremos -> 11.85 KN

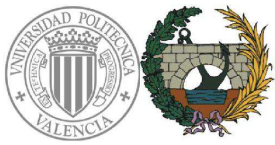
Nudos interiores -> 23.7 KN

4.2.2 CARGAS PERMANENTES DE VALOR NO CONSTANTE (G*)

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

Se incluyen aquellas acciones cuya variación sea función del tiempo transcurrido y se produzca en un solo sentido, tendiendo hacia un determinado valor límite (acciones reológicas, pretensado, asientos del terreno bajo las cimentaciones), y aquellas otras acciones originadas por el terreno cuya magnitud varía en función de la interacción terreno-estructura.

En el predimensionamiento del puente no aplicaremos acciones térmicas, reológicas, viento, frenado ni sismo pues no afectan al cálculo del tablero, sólo afectan a estribos y pilas. Estas acciones se analizan independientemente del tablero para esta tipología de puentes.



4.3- HIPÓTESIS DE CARGA.

4.3.1- VALORES REPRESENTATIVOS

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

4.3.1.1- *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 el tablero, para la que se considerarán dos valores representativos $G_{k,sup}$ y $G_{k,inf}$.

4.3.1.2- *Permanentes de valor no cte (G^*)*

4.3.1.2.1 Presolicitaciones

Para las acciones originadas por las presolicitaciones definidas anteriormente se considerará un único valor representativo, coincidente con el valor característico $P_{k,t}$ correspondiente al instante t en el que se realiza la comprobación del estado límite.

4.3.1.2.2 Acciones Reológicas

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.



4.3.1.2.3 Acciones debidas al terreno

Para las acciones correspondientes al peso del terreno se considerará un único valor representativo, coincidente con el valor característico $G \cdot W_T, k$.

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.

4.3.1.3- 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 (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 (el 50% o más del tiempo) o bien el valor medio.

Los valores de los coeficientes y se recogen en la siguiente tabla.



Enlace entre el peaje de la AP7 en Oropesa y la N-340:
Predimensionamiento de estructuras

Anejo nº4: Anejo de cálculos

VALORES DE LOS COEFICIENTES Ψ			
Ψ	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
VIENTO	0,6	0,5	0,2
TEMPERATURA	0,6	0,5	0,2
CARGAS DE TRÁFICO	0,8	0,5	0

Tabla 4-12 Valores de los coeficientes de combinación

4.3.1.4- Accidentales (A)

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

4.3.2 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 la siguiente tabla:

TIPO DE ACCIÓN	Situación persistente o transitoria		Situación accidental	
	Efecto favorable	Efecto desfavorable	Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente	$\gamma_0 = 1,00$	$\gamma_0 = 1,35$	$\gamma_0 = 1,00$	$\gamma_0 = 1,00$
Pretensado	$\gamma_p = 1,00$	$\gamma_p = 1,00$	$\gamma_p = 1,00$	$\gamma_p = 1,00$
Permanente de valor no constante	$\gamma_{0r} = 1,00$	$\gamma_{0r} = 1,50$	$\gamma_{0r} = 1,00$	$\gamma_{0r} = 1,00$
Variable	$\gamma_0 = 0,00$	$\gamma_0 = 1,50$	$\gamma_0 = 0,00$	$\gamma_0 = 1,00$
Accidental	-	-	$\gamma_a = 1,00$	$\gamma_a = 1,00$

Tabla 4-13 Valores de los coeficientes de seguridad para los E.L.U.

TIPO DE ACCIÓN		Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente		$\gamma_0 = 1,00$	$\gamma_0 = 1,00$
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		$\gamma_{0r} = 1,00$	$\gamma_{0r} = 1,00$
Variable		$\gamma_0 = 0,00$	$\gamma_0 = 1,00$

Tabla 4-14 Valores de los coeficientes de seguridad para los E.L.S.



4.3.3 COMBINACIÓN DE ACCIONES

Según la Instrucción IAP, 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:

4.3.3.1- Estados límite últimos

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

4.3.3.1.1- 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:

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

donde:

- $G_{k,j}$ = Valor representativo de cada acción permanente.
- $G^*_{k,j}$ = Valor representativo de cada acción permanente de valor no constante.
- $Q_{k,1}$ = Valor representativo (valor característico) de la acción variable dominante.
- $\Psi_{p,i} \cdot Q_{k,i}$ = 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.



- Si la acción del viento es considerada como dominante, se tomará esta acción con su valor representativo y no se considerará la actuación simultánea de la acción de la sobrecarga de uso.

-

4.3.3.1.2 Situaciones accidentales

Se distinguirán dos tipos de situaciones accidentales:

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

Las provocadas por la acción sísmica.

4.3.3.1.2.1- Situaciones accidentales sin sismo

Las combinaciones de las distintas acciones consideradas en estas situaciones se

realizarán de acuerdo con el siguiente criterio:

Para estas combinaciones serán de aplicación las observaciones indicadas en el planteamiento de las combinaciones a.1).

$$\sum_{j=1}^n \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \sum_{i=1}^n \gamma_{G^*,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} + \gamma_A \cdot A_k$$

donde:

- $G_{k,j}$ = 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.

4.3.3.1.2.2- Situaciones accidentales de sismo

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

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

donde:

- $G_{k,j}$ = 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.

4.3.3.2- 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.

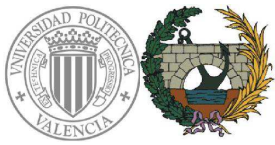
Las combinaciones de las distintas acciones consideradas en estas situaciones, se realizarán de acuerdo con el siguiente criterio:

4.3.3.2.1 Combinación característica (poco probable)

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

4.3.3.2.2 Combinación frecuente

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



4.3.3.2.3 Combinación cuasi-permanente

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

Para las tres combinaciones serán de aplicación las observaciones indicadas en el planteamiento de las combinaciones a.1).

5- CÁLCULO LONGITUDINAL DEL TABLERO

5.1- MODELIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA

Cada una de las partes de un puente, como ocurre con cualquiera de las partes de otra estructura, deben de ser simplificadas desde la estructura real para transformarlas en un ideal de cálculo. Esta simplificación debe de ajustarse a la realidad, permitiendo su cálculo de una manera más sencilla.

Si comenzamos por el tablero de la estructura, se trata de un tablero formado por cinco vigas prefabricadas pretensadas y una losa de hormigón armado in situ sobre ellas. Estos elementos se pueden modelizar pues como un emparrillado plano. En puentes pseudo-losa, en cuya respuesta frente a cargas transversales domina la flexión (y con moderada importancia la deformación por cortante), el modelo emparrillado puede aplicarse con éxito.

Por ello, para la obtención de esfuerzos se ha empleado un modelo de tablero formado por una sucesión de 5 barras longitudinales, 7 transversales y 35 nudos o nodos.

Las barras longitudinales se han modelizado con las características mecánicas de la sección real de la viga prefabricada más el ancho efectivo de la losa de hormigón que hay sobre las mismas.

Las vigas transversales se han modelizado con las características mecánicas de la porción de losa que les pertenece.



Enlace entre el peaje de la AP7 en Oropesa y la N-340:
Predimensionamiento de estructuras

Anejo nº4: Anejo de cálculos

BARRA LONGITUDINAL			
Vigas exteriores		Vigas interiores	
<u>Caracterist. Mec</u>		<u>Caracterist. Mec</u>	
A viga	0,2748	A viga	0,2748
A losa	0	A losa	0
b'	1,32	b'	2,1554
I	0,1037	I	0,1192
J	0,004521	J	0,0067

BARRA TRANSVERSAL			
Vigas exteriores		Vigas interiores	
<u>Caracterist. Mec</u>		<u>Caracterist. Mec</u>	
A viga	0	A viga	0
A losa	0,2962	A losa	0,5925
b'	1,1849	b'	2,37
I	$1,54 \cdot 10^{-3}$	I	$6,17 \cdot 10^{-2}$
J	$3,08 \cdot 10^{-3}$	J	$3,08 \cdot 10^{-3}$

5.2- CASOS DE CARGA

Para la obtención de los esfuerzos en la estructura se han definido una serie de casos de carga en función de los esfuerzos más desfavorables que se quieren obtener:

- ELU

- PERSIS1: Combinación para obtener el máximo momento flector en la viga central
- PERSIS2: Combinación para obtener el máximo momento flector en las vigas laterales.
- PERSIS3: Combinación para obtener el máximo cortante en la viga central
- PERSIS4: Combinación para obtener el máximo cortante en las vigas laterales.

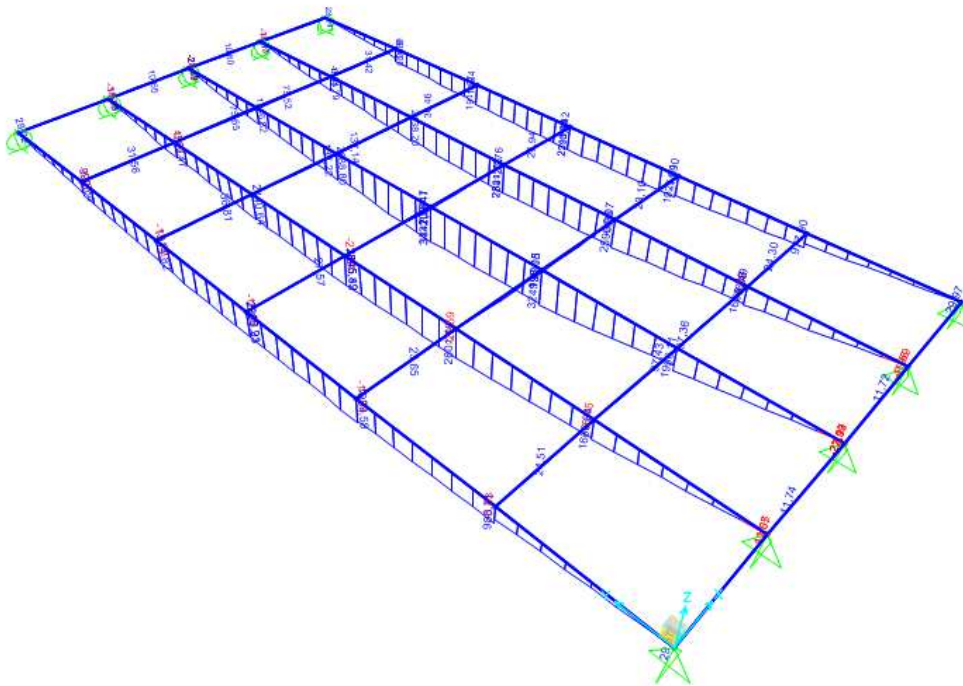
- ELS

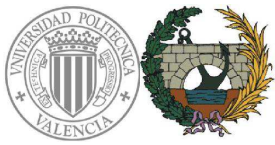
a) Máxima flecha del tablero provocada por las acciones gravitatorias y las distintas combinaciones de carros:

- FLECHA1: Combinación para la obtención de la máxima flecha.
- FLECHA2: Combinación para la obtención de la máxima flecha.

b) Máxima y mínima reacción vertical para el dimensionamiento de neoprenos.

- REACMIN
- REACMAX1
- REACMAX2





Enlace entre el peaje de la AP7 en Oropesa y la N-340:
Predimensionamiento de estructuras

Anejo nº4: Anejo de cálculos

5.3- ESFUERZOS OBTENIDOS

5.3.1- Momentos flectores

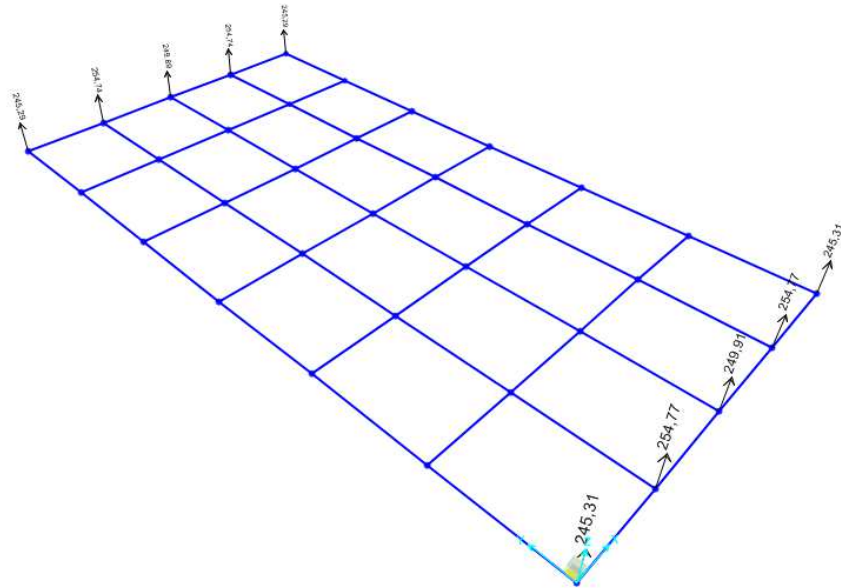
		MOMENTOS FLECTORES			
		PER1 (Maximo M en viga central)		PER 2 (Maximo M en viga lateral)	
SECCION	X m	Viga central (KNm)	Viga central (KNm)	Viga central (KNm)	Viga central (KNm)
1	0	0	0	0	0
2	3,33	1746,82	988,2807	1474,24	1149,2896
3	6,66	2688,88	1911,07	2341,32	2050,8996
4	9,99	3431,5597	2293,1956	2920	2396,9

5.3.2- Cortantes

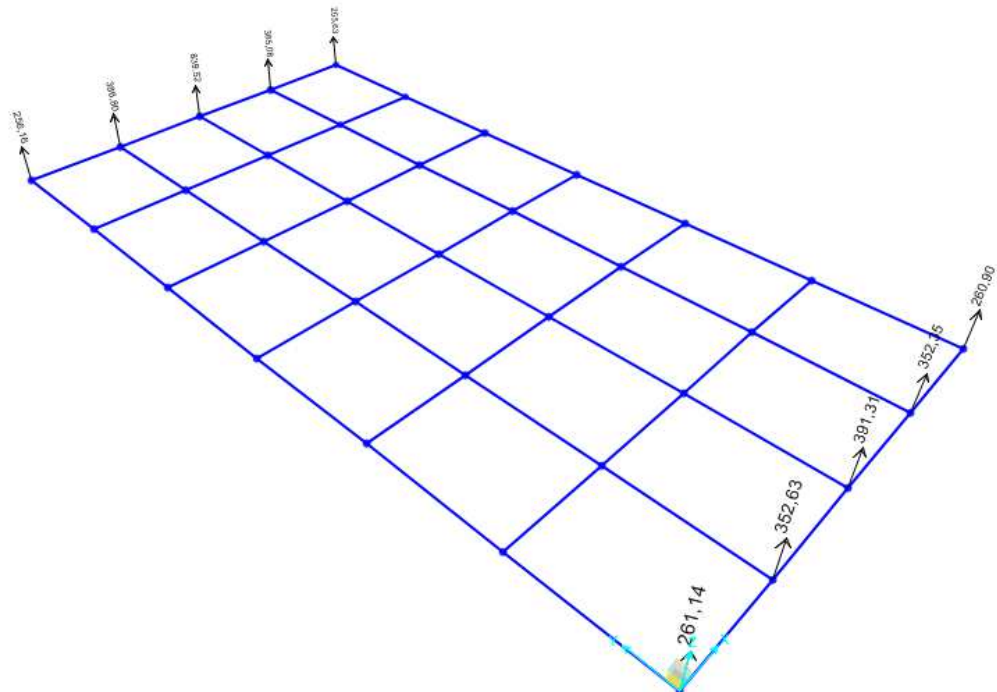
		CORTANTES			
		PER 3 (Maximo V en viga central)		PER 4 (Maximo V en viga lateral)	
SECCION	X m	Viga central (KN)	Viga lateral (KN)	Viga central (KN)	Viga lateral (KN)
1	0	641,651	293,941	452,149	347,764
2	3,33	460,26	70,379	254,237	92,937
3	6,66	80,05	83,09	83,4	105,031
4	9,99	8,628	47,759	21,8	57,05

5.3.3- Reacciones en apoyos

REACMIN:



REACMAX1:

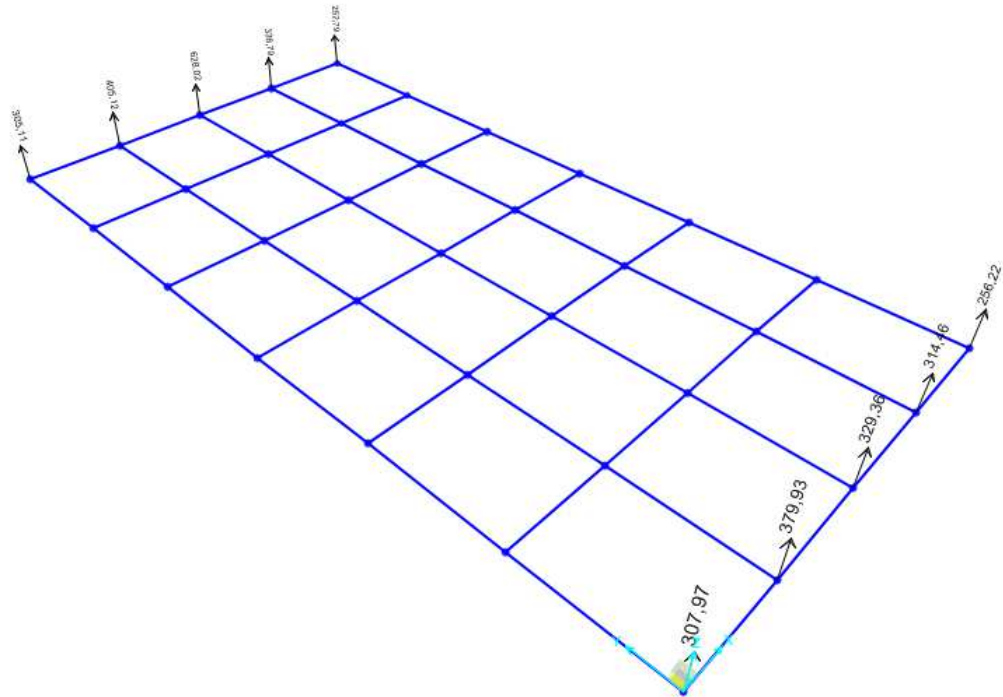




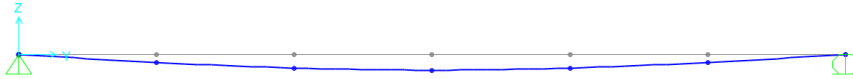
Enlace entre el peaje de la AP7 en Oropesa y la N-340:
Predimensionamiento de estructuras

Anejo nº4: Anejo de cálculos

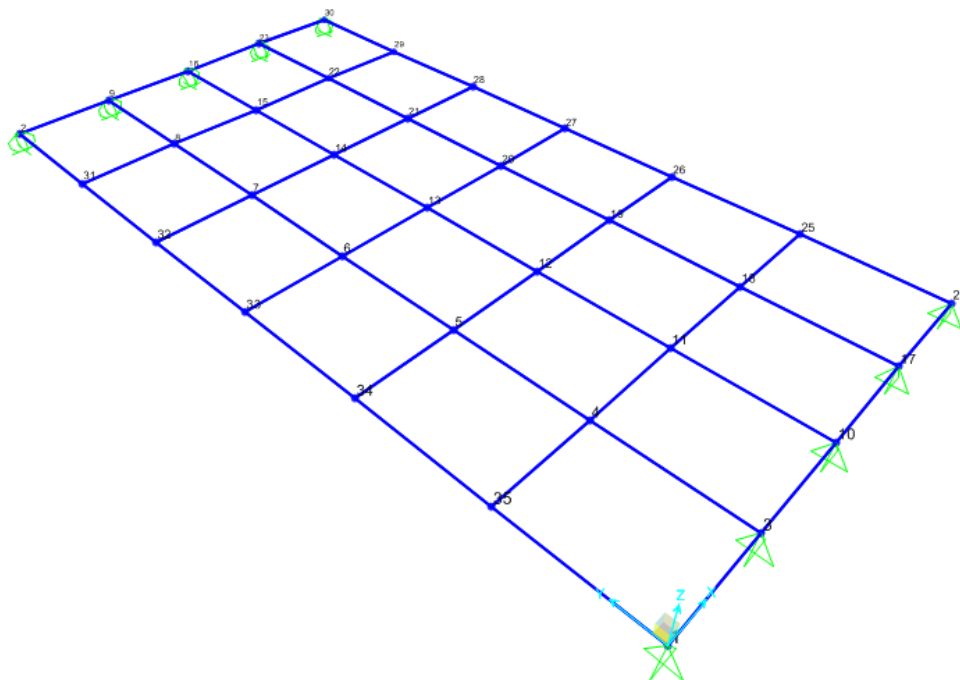
REACMAX2:



5.4- DEFORMADA DE LA ESTRUCTURA



La máxima flecha en la estructura es de 5mm entre los nudos 12 y 13.



5.5- PREDIMENSIONAMIENTO DEL PRETENSADO

Para el pretensado se ha elegido un cable Y1860 S7.

Según los esfuerzos calculados anteriormente, el momento flector más desfavorable y para el cual dimensionaremos es:

- $M=3431.56 \text{ kNm}$
- $M_d = M * \gamma_p = 3431.56 * 1.5$; $M_d=5147.34 \text{ kNm}$



Enlace entre el peaje de la AP7 en Oropesa y la N-340:
Predimensionamiento de estructuras

Anejo nº4: Anejo de cálculos

La fuerza de tesado será la resultante de dividir el Md entre el brazo mecánico d:

- $F = M_d / d = 5147.34 / 1.015$; $F = 5071.3 \text{ kN}$

Dividiendo la fuerza de tesado entre el límite elástico obtenemos el área de pretensado necesaria. Como cada cable de pretensado tiene un área de 132.73 mm^2 podemos saber el número de cables necesario.

- $A_p = 27.26 \text{ cm}^2$
- $N^{\circ} \text{cables} = 21$

En total se deberán disponer 21 cables de 13mm de diámetro. Hay que comprobar si caben en una fila, en este caso no es así, es decir que se tendrán que disponer en dos filas, una inferior de 14 cables y una superior con 7 cables.

Numero de cables	21
Fuerza de tesado	5071 kN
Área de cada cable	132,73 mm ²
Pérdidas instantáneas	10%
Límite elástico (valor caract.)	1700 Mpa
Tensión de rotura (valor caract.)	1860 Mpa
Coef. Seguridad	1,15
Límite elástico (valor calculo)	1478 Mpa
Modulo de deformación del acero	200000 Mpa

5.6- PREDIMENSIONAMIENTO ARMADURA DE CORTANTE

Las comprobaciones relativas al Estado Límite de Agotamiento por esfuerzo cortante se llevarán a cabo a partir del esfuerzo cortante reducido V_{rd} dado por la siguiente expresión:

$$V_{rd} = V_d + V_{pd} + V_{cd}$$

Donde:

- V_d Valor de cálculo del esfuerzo cortante producido por las acciones exteriores.
- V_{cd} Valor de cálculo de la componente paralela a la sección de la resultante de las fibras longitudinales de hormigón en piezas de sección variable.
- V_{pd} Valor de cálculo de la componente de la fuerza de pretensado paralela a la sección en estudio:

$$V_{pd} = P \cdot \sin(\alpha_p)$$

Donde:

- P : valor de la compresión que la fuerza de pretensado introduce en el hormigón de la sección de estudio ($P \geq 0$).
- α_p : ángulo que la fuerza de pretensado forma con la directriz.

Para predimensionar a cortante dividiremos la viga en tres zonas, los dos extremos con un cortante mayor (ZONAS A) y la zona central con un cortante menor (ZONA B):

- $V_{dA} = 642 \text{ kN}$
- $V_{dB} = 460 \text{ kN}$

El Estado Límite Último 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:

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

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

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.



5.6.1- ESFUERZO CORTANTE DE AGOTAMIENTO POR COMPRESIÓN

El esfuerzo cortante de agotamiento por compresión oblicua en el alma se deduce de la siguiente expresión:

$$V_{sl} = K \cdot f_{tcd} \cdot b_0 \cdot d \cdot \frac{\cot g \theta + \cot g \alpha}{1 + \cot g^2 \theta}$$

Donde:

- f_{tcd} Resistencia a compresión del hormigón: $f_{tcd} = 0,60 f_{cd}$
- b_0 Anchura neta mínima del tablero.
- K Coeficiente dependiente del esfuerzo axial.

$$K = 1 + \frac{\sigma'_{cd}}{f_{cd}}$$

Donde:

- σ'_{cd} Tensión axial efectiva en la sección de hormigón. Tiene en cuenta el esfuerzo axial de cálculo incluyendo el pretensado.
- f_{cd} Resistencia a compresión de cálculo del hormigón.
- d Distancia desde la fibra más comprimida de hormigón hasta el centro de gravedad de la armadura traccionada.
- θ Ángulo entre las bielas de compresión de hormigón y el eje de la pieza. Se adoptará un valor que cumpla:

$$0,5 \leq \cot g \theta_c \leq 2,0$$

En este caso usaremos un ángulo de inclinación de las bielas de referencia, calculado mediante el siguiente método simplificado.

$$\cot g \theta_c = \sqrt{1 + \frac{\sigma_{xdl}}{f_{ct,m}}}$$

Donde:

- σ_{xdl} Tensión axial efectiva en la sección de hormigón.
- $f_{ct,m}$ Resistencia media a tracción del hormigón.
- α Ángulo entre las armaduras con el eje de la pieza.

En el caso de las vigas esta comprobación se cumple a lo largo de toda su longitud.

5.6.2- ESFUERZO CORTANTE DE AGOTAMIENTO POR TRACCIÓN EN EL ALMA

El esfuerzo cortante de agotamiento por tracción del alma para piezas con armadura de cortante vale:

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

Donde:

- V_{cu} Contribución del hormigón a la resistencia a esfuerzo cortante.
- V_{su} Contribución de la armadura transversal a la resistencia a esfuerzo cortante.

En primer lugar calcularemos la contribución del hormigón, V_{cu} , y dispondremos la cuantía necesaria de armadura transversal en las zonas donde V_{cu} no baste para satisfacer el cortante efectivo de cálculo.

La contribución del hormigón se calcula de la siguiente manera:

$$V_{cu} = \left[\frac{0,15}{\gamma_c} \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{cd})^{1/3} + 0,15 \cdot \sigma'_{ed} \right] \cdot \beta \cdot b_0 \cdot d$$

Donde:

- γ_c Coeficiente de seguridad del hormigón.
- σ'_{ed} Tensión axial efectiva en la sección de hormigón. Tiene en cuenta el esfuerzo axial de cálculo incluyendo el pretensado.
- β Coeficiente que depende del ángulo de inclinación de las bielas. En nuestro caso :

$$\beta = \frac{\cot g \theta - 2}{\cot g \theta_s - 2} = 1$$

- b_0 Anchura neta mínima del tablero.
- d Distancia desde la fibra más comprimida de hormigón hasta el centro de gravedad de la armadura traccionada.
- ξ $\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}}$ con d en mm
- ρ_l Cuantía geométrica de la armadura longitudinal traccionada, pasiva y activa adherente.



Enlace entre el peaje de la AP7 en Oropesa y la N-340:
Predimensionamiento de estructuras

Anejo nº4: Anejo de cálculos

$$\rho_l = \frac{A_s + A_p \cdot \frac{f_{pd}}{f_{yd}}}{b_0 \cdot d}$$

Donde:

- A_s Área de la armadura longitudinal pasiva traccionada.
- A_p Área de la armadura longitudinal activa,
- f_{pd} Resistencia de cálculo de la armadura activa.
- f_{yd} Resistencia de cálculo de la armadura pasiva.

La contribución de la armadura transversal de alma a la resistencia a esfuerzo cortante, V_{su} , se calcula de la siguiente forma:

$$V_{su} = z \cdot \sin \alpha \cdot (\cot g \alpha + \cot g \theta) \cdot \sum A_{\alpha} \cdot f_{y\alpha,d}$$

Donde:

- A_{α} Área por unidad de longitud de cada familia de armaduras que forman un ángulo α con la directriz de la pieza
- $f_{y\alpha,d}$ Resistencia de cálculo de la familia de armaduras correspondientes.
- α Ángulo que forma una familia de armaduras con la directriz de la pieza. Nosotros sólo usaremos una familia, con $\alpha = 90^\circ$.
- z Brazo mecánico. Aproximaremos $z = 0,9 \cdot d$, siendo d la distancia desde la fibra más comprimida de hormigón hasta el centro de gravedad de la armadura traccionada.
- θ Ángulo que forman las bielas de compresión del hormigón con la directriz de la pieza.

En este caso la contribución del hormigón es inferior al cortante de cálculo. La diferencia entre estos valores será la que se tenga que aportar con armadura transversal de diseño.

Finalmente, siguiendo el criterio de dimensionamiento de la EHE-08, y cogiendo el armado necesario a un canto útil de los apoyos, se va a dimensionar una armadura:

- **ZONA A ->** $\phi 16 / 20$
- **ZONA B ->** $\phi 16 / 35$



5.7- PREDIMENSIONAMIENTO DE ARMADURA DE RASANTE

Para el predimensionamiento de la armadura a rasante hemos procedido de la siguiente manera.

El valor de S_d se calcula dividiendo A_{fd} entre la longitud L

- $A_{fd} = n^{\circ} \text{ de cordones} \times F_{yd} \times \text{Área de cada cordón} = 1728.14 \text{ kN}$
- $L = 10\text{m}$
- $S_d = 172.8 \text{ kN/m}$

El rasante a resistir es igual a :

$$S_d = A_s \times f_{yd}$$

De esta igualdad y sabiendo los valores de S_d y f_{yd} despejamos el valor de A_s que será la cuantía de armado necesaria para resistir este rasante.

Se dispondrán por tanto:

- **Cercos de $\phi 8/20$ en el ala superior**
- **Cercos de $\phi 8/20$ en el ala inferior**

5.8- PREDIMENSIONADO DE LA ARMADURA DE LA LOSA DE HORMIGÓN

Para el armado de la losa de hormigón hemos seguido el proceso habitual de dimensionamiento.

Se ha calculado el armado por metro de losa.

Las medidas de la sección son $h = 0.25\text{m}$ y $b = 1\text{m}$, hay que descontar al canto de la sección 5 cm ya que las prelosas no son colaborantes.

El hormigón de la losa es $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$, y se ha dejado un $r = 3.5 \text{ cm}$.

Con todo esto se han obtenido las siguientes cuantías de armado:

En la dirección longitudinal:



- $A_s = 40\phi 20$ por metro
- $A_{s'} = 30\phi 20$ por metro

En la dirección transversal:

- $A_s = 14\phi 8$ por metro

6- DIMENSIONAMIENTO DE LOS APOYOS

6.1- DESCRIPCIÓN

El tablero descansa sobre veinte apoyos, diez en los estribos y diez en la pila.

Los aparatos de apoyo más empleados en la actualidad son los de neopreno zunchado, por lo que serán los utilizados en nuestra estructura. Están formados por un bloque de neopreno en el cual se encuentran intercaladas unas chapas de acero. Las chapas de acero coartan la dilatación del caucho. Son apoyos elásticos de gran deformabilidad en su plano debido al bajo valor del módulo de elasticidad transversal G del neopreno.

Si la presión media transmitida para carga vertical mínima resulta insuficiente, puede ser necesario anclar el aparato de apoyo, con el fin de evitar su reptado. Esta disposición también resulta necesaria si no se moviliza suficiente rozamiento en las caras de apoyo.

Anejo nº4: Anejo de cálculos

La denominación standard de los apoyos elastoméricos es la siguiente:

$$A * B * n * (e_i + e_s)$$

siendo:

- $A * B$ las dimensiones en planta del apoyo (en general $A \leq B$ siendo A el lado paralelo al eje del tablero).
- n el número de capas interiores de elastómero.
- e_i el espesor de cada capa interior de elastómero y e_s el espesor de las chapas de acero.

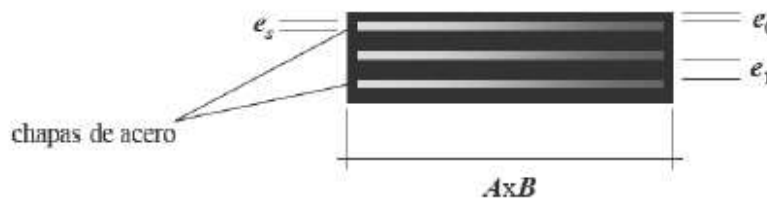


Figura 11-3 Denominación standard de elastómeros

6.2- PROCESO DE SELECCIÓN DE LOS APARATOS DE APOYO

El proceso de comprobación de los aparatos de apoyo se ha basado en las recomendaciones publicadas en “Cuaderno de ingeniería de puentes. Marco general, equipamientos y diseño de subestructuras” de Salvador Monleón Cremades.

Por otro lado, se ha utilizado el catálogo de la casa comercial MECANOGUMBA, como base para la selección de los aparatos de apoyo.

El proceso seguido ha sido el siguiente: en un primer lugar, se ha seleccionado un aparato de apoyo del catálogo comercial, a partir de los datos de carga vertical y desplazamientos admisibles por los mismos. Estos datos son obtenidos del modelo de cálculo del tablero. A continuación, se calculan el resto de acciones a las que van a estar sometidos los aparatos de apoyo. Por último, comprobaremos que los apoyos seleccionados son los adecuados para resistir las acciones, desplazamientos y giros a los que van a estar sometidos durante su vida útil.



6.2.1- Acciones a considerar

Para el dimensionamiento de los aparatos de apoyo, se necesita conocer el valor de las acciones que van a actuar sobre los mismos. Los aparatos de apoyo se dimensionarán para que cumplan un Estado Límite de Servicio, por lo que la combinación de acciones a calcular utilizará el valor característico de las mismas.

Las acciones a considerar se enumeran a continuación.

6.2.1.1- *Acciones verticales procedentes del tablero*

Adjuntamos los valores de las reacciones verticales, máximas y mínimas, que origina el tablero sobre cada uno de los aparatos de apoyo. Estos valores son los obtenidos en el modelo de cálculo del tablero.

$$R_{\max} = 840 \text{ kN}$$

$$R_{\min} = 245 \text{ kN}$$

$$\Phi_{\max} = 4.57 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

$$\Phi_{\min} = 2.56 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

6.2.1.2- *Acciones horizontales procedentes del tablero*

Las acciones horizontales a considerar para el diseño de los aparatos de apoyo son las siguientes:

En dirección longitudinal

- Frenado y arranque

- Frenado max = 144kN
- Frenado min = 28 kN

Se deberían tener en cuenta las deformaciones impuestas por el tablero (retracción, fluencia y variación de temperatura) pero para el predimensionamiento de los elementos no lo consideraremos.

6.3- ELECCIÓN DEL APARATO DE APOYO

1	2	3	4	mínima $\sigma \geq 5 \text{ N/mm}^2$			mínima $\sigma < 5 \text{ N/mm}^2$					13	Ángulos de giro			
				5	6	7	8	9	10	11	12		14	15	16	17
Formato Dimensiones en planta a · b D	Carga Admisible	Módulo E	Nº de capas	Desplaza- miento admisible Tipo 1	Altura total del apoyo de elastómero Tipo 1	Desplaza- miento admisible Tipos 2 a 5	Desplaza- miento admisible Tipos 2 a 5	Altura total del apoyo de elastómero Tipos 2 a 5	Altura total del apoyo de elastómero Tipos 2 a 5	Altura total del apoyo de elastómero Tipos 2 a 5	Altura total del apoyo de elastómero Tipos 2 a 5	Pernos para Tipos 2 y 4 ver 1.2.2	Ángulos de giro			
mm	kN	N/mm²		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		arc.	arc.	arc.	arc.
200 x 300	900	355	3	20,3	41	29	16,8	60	90	44	24	1	0,009	0,008	0,012	0,012
			4	25,9	52	37	22,4	71	101	55	32		0,012	0,010	0,016	0,016
			5	30,4	63	45	28,0	82	112	66	40		0,015	0,013	0,020	0,020
			6	33,7	74	53	31,7	93	123	77	48		0,018	0,015	0,024	0,024
			7	36,3	85	61	34,7	104	134	88	56		0,021	0,018	0,028	0,028

Finalmente se ha elegido el apoyo de 200 x 300 y 5 capas.

7- PREDIMENSIONAMIENTO PILAS

7.1- CONCEPCIÓN Y DISEÑO DE LA PILAS

El proceso de cálculo de las pilas ha sido el siguiente:

- Partimos de unas pilas con unas dimensiones determinadas por las condiciones geométricas necesarias por la estructura
- Calculamos las acciones a las que se encuentra sometidas nuestras pilas
- Dimensionamos el armado necesario para cumplir los estados límites de flexión y cortante.

7.2- DESCRIPCIÓN DE LA PILA

La estructura está sustentada por dos estribos y una pila. La pila es de tipo pórtico con dos pilares rectangulares y un dintel. Los aparatos de apoyo en las pilas y los estribos son de tipo neopreno zunchado rectangular, con unas dimensiones de 200x300 mm y 41mm de canto. Estos aparatos distan entre sí 2.6m. El dintel tiene 1m de anchura y 1.2m de altura.



La altura de la pila es de 6,7m y está enterrada 1m. En el fuste y el dintel se empleará HA-30 y acero B-500 S.

7.3- ACCIONES A CONSIDERAR

Para poder dimensionar las pilas y comprobar el cumplimiento de los Estados Límite Últimos, necesitamos conocer las acciones que solicitan a las pilas.

Las acciones actuantes sobre las pilas tienen el siguiente origen:

- Acciones procedentes del tablero
 - Cargas verticales en los apoyos
 - Cargas horizontales en los apoyos (longitudinales y transversales)

7.3.1- Acciones procedentes del tablero

A continuación, detallamos todas y cada una de las acciones que solicitan a las pilas y tienen su origen en el tablero del puente. El tablero transmitirá las acciones a las pilas a través de los aparatos de apoyo.

7.3.1.2- Cargas verticales

El modelo de cálculo del tablero nos proporciona las reacciones del mismo en los apoyos.

Estas reacciones son las obtenidas de la suposición de las combinaciones más desfavorables de carga que pueden ocurrir sobre la estructura además del peso propio de la pila y del dintel.



7.3.1.2- Cargas horizontales

Como fuerzas horizontales tenemos la fuerza de frenado y arranque provocada por los vehículos sobre el tablero.

También se tendría que considerar el viento sobre la pila y el empuje hidrostático del agua sobre el fuste de la pila, pero no se ha tenido en cuenta ya que sólo se trata del predimensionamiento de la misma.

7.3.1.3- Resumen cargas

CARGAS PREDIMENSIONAMIENTO PILA		
<i>Nd max</i>	<i>Vd max</i>	<i>Md max</i>
2460 kN	360 kN	2340 kNm

7.4- COMBINACIÓN DE ACCIONES

El proceso de cálculo seguido para el dimensionamiento de las pilas ha sido el siguiente.

En primer lugar, y a partir del valor de las acciones calculadas en el apartado anterior, se ha determinado la combinación más desfavorable de las mismas.

A partir de ellas, calculamos los esfuerzos de cálculo de la sección de hormigón armado, utilizando las combinaciones de acciones para estados límites últimos que aparecen en la IAP-11.

7.5- DIMENSIONAMIENTO DE LAS PILAS

El dimensionamiento de las pilas viene condicionado por la forma geométrica de las mismas, en este caso habrá que dimensionar el armado del dintel de la pila por un lado y el armado del fuste por otro.



7.5.1 Dimensionamiento del dintel

El cálculo del dintel se realizará mediante el denominado método de las bielas y tirantes al ser este una región D. Este método consiste sustituir la estructura, por una estructura de barras articuladas, que representa su comportamiento.

7.5.1.1- Dimensionamiento de la armadura principal del dintel

La armadura principal AS se dimensionará para una tracción de cálculo:

$$T1d = A_s \cdot f_{yd} \quad \text{con } f_{yd} \leq 400 \text{ N/mm}^2$$

Siendo:

- $\text{Ctg } \theta = 1$ (Por hormigonarse la ménsula después del pilar)
- $F_{hd} = 0$ (se desprecia en comparación a las fuerzas verticales)

$$T1d = 2 \cdot 2460 \cdot 0.80 = 3936 = A_s \cdot f_{yd}$$

$$A_s = 98.4 \text{ cm}^2$$

El armado será de **32 ϕ 20** distribuidas en dos filas de **16 ϕ 20** superpuestas para evitar el efecto tamiz en el hormigón.

7.5.1.2 Dimensionamiento de la armadura de cortante

A partir de las acciones verticales que solicitan el dintel obtenidos anteriormente, obtenemos los cortantes de cálculo. En nuestro caso:

$$V_{rd} = 2460 \text{ kN}$$

Siguiendo el procedimiento de dimensionamiento de cortante disponemos **2c ϕ 20/15**.



7.5.2- Dimensionamiento del fuste

Siguiendo el proceso de dimensionamiento normal y la EHE-08 obtenemos las siguientes cuantías de armado por fuste .

$$A_s = 15\phi 20$$

$$A_{s'} = 15\phi 20$$

$$A_{s\alpha} = \phi 6/20$$

7.5.3- Armado de la cimentación

7.5.3.1- Modelización de la estructura

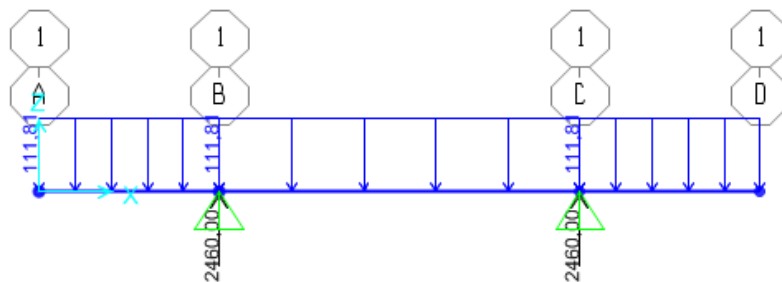
Se trata de una zapata combinada y se ha seguido el proceso de dimensionamiento aprendido en la asignatura Estructuras de cimentación y contención de 4º curso.

La estructura se puede modelizar como una viga biapoyada con dos voladizos.



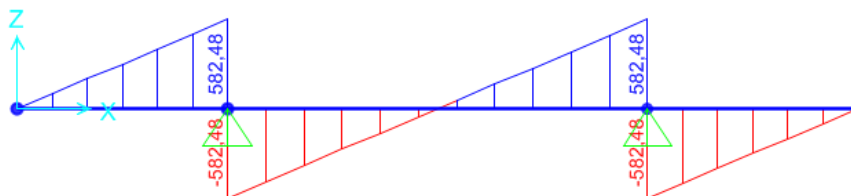
7.5.3.2- Acciones a considerar

Los esfuerzos le llegan a la estructura por los pilares o soportes y generan una tensión en el terreno como reacción a dichas cargas.

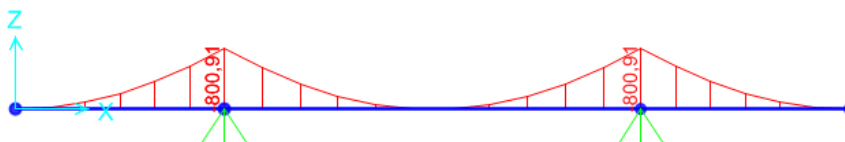


7.5.3.3- Leyes de esfuerzos

CORTANTE



MOMENTO FLECTOR





7.5.3.4- Armado de la zapata

7.5.3.4.1- Armado longitudinal

- **$A_s = 20 \phi 20$**
- **$A_{s'} = 20 \phi 20$**
- **$A_s \alpha = \phi 6 / 20$**

7.5.3.4.1- Armado transversal

En bandas 1 y 2 (ver plano armado cimentación):

- **$A_s = A_{s'} = 16 \phi 12$**

En el resto de la zapata:

- **$A_s = A_{s'} = 2 \phi 12 / m$**