



ANEJO Nº5. BASES DE CÁLCULO





ÍNDICE.

1. OBJETO.

2. DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA.

2.1. Marco.

2.2. Aletas.

2.3. Losa de transición.

3. NORMATIVA ESPECÍFICA Y HERRAMIENTAS DE SOFTWARE.

3.1. Normativa de aplicación.

4. BASES DE CÁLCULO.

4.1 Acciones.

4.1.1 Acciones Permanentes (G).

4.1.2 Acciones permanentes de valor no constante (G*).

4.1.3 Acciones Variables (Q).

4.1.4 Acciones Accidentales (A)

4.2 Valores de las acciones.

4.2.1 Estados Límite.

4.3. Combinación de acciones.

4.4 Características de los materiales.

4.4.1 Hormigón para armar.

4.4.2. Acero para armaduras pasivas.





1. OBJETO.

El objetivo de este anejo es ilustrar desde una perspectiva estructural el diseño de los componentes de hormigón armado que conforman el paso inferior del presente proyecto.

Por ello se describirá el marco teórico en el cual se ha basado el estudio, los materiales, los programas informáticos que se han empleado, las acciones que solicitan a cada parte de la estructura, los criterios de dimensionamiento geométrico adoptados para cada subestructura así como la determinación de sus respectivos armados, siguiendo en todo momento la normativa vigente.

Cabe destacar que los todos cálculos realizados en este anejo se refieren a la armadura transversal de la sección del marco, ya que tal y como se indica en la norma EHE, la armadura longitudinal se calculará a partir de la transversal mediante cuantías geométricas mínimas.

2. DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA.

A continuación se describirán las partes que forman la estructura objeto de este proyecto por parte de este anejo, como son:

- Un marco cerrado de hormigón armado, realizado in situ, formando el cuerpo principal del paso inferior.
- Cuatro aletas para contener el terraplén de la autovía, dispuestas en cada esquina de la estructura anterior. Las aletas o muros se ejecutarán con altura decreciente.
- Losas de transición colocadas bajo los carriles de la autovía.

2.1. Marco.

La longitud en planta de la directriz de la calzada será de 30.00 m, impuesta por el ancho de la calzada de la autovía A-7. Las dimensiones interiores constan de 6.00 m de altura libre, que se mantiene constante, de los cuales 5.50 m corresponden al gálibo sobre la rasante de la carretera y los restantes 0.50 m corresponden a la altura requerida para disponer una pequeña explanada y su respectivo paquete de firmes. Dicha estructura representará la ejecución de un camino de nueva construcción, por lo tanto se dispondrán 8.00 m de anchura para permitir el paso de los vehículos.

La sección tipo, perpendicular a la carretera, comprende los hastiales verticales de 0.60 m de espesor, una losa superior horizontal de 0.80 m de canto y una solera de 1.00 m de canto también horizontal. Así pues, las dimensiones transversales máximas del marco serán de 7.20 m de ancho por 11.80 m de alto.

La montera de tierras, formada por la suma del terraplén y del firme de la autovía, que tendrá que soportar el techo de esta estructura será constante y de valor 4.80 m.



2.2. Aletas.

Las cuatro aletas que se disponen formarán un ángulo de 45° con respecto al eje del camino a su entrada al marco. Éstas se dividirán en una combinación de dos secciones tipo según la altura de terraplén que deban soportar en el trasdós.

Cada una de las cuatro aletas mencionadas tendrán una longitud en planta de 9.00 m. Las alturas de los alzados son respectivamente 7.00 m y 4.00 m.

La sección más grande que conforma la aleta cuenta con 0.70 m de espesor, un canto de zapata de 0.80 m, una puntera de valor 1.00 m y un talón de 2.50 m de longitud.

De la misma forma, la sección más pequeña que conforma la aleta cuenta con un espesor de 0.40 m, un canto de zapata de 0.50 m, una puntera de valor 0.50 m y un talón de 2.00 m de longitud.

2.3. Losa de transición.

Dicha losa está diseñada de acuerdo con las indicaciones del documento *Nota de servicio sobre losas de transición en obras de paso*, medirá 5 m de longitud desde su arranque en la ménsula adosada al hastial. Se dispone esta losa ya que la carretera que discurre por encima se trata de una autovía y además la altura del terraplén es considerable.

Se ejecutarán a los dos lados del marco de hormigón y sobre cada carril, y cada una de ellas tendrá una anchura, tal que abarque la plataforma más cercana, es decir arcén y calzada hasta la mediana.

3. NORMATIVA ESPECÍFICA Y HERRAMIENTAS DE SOFTWARE.

3.1. Normativa de aplicación.

-*Instrucción de Hormigón Estructural* (EHE-08), ratificada por Real Decreto 1429/2008 de 21 de agosto.

-*Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes* (NCSP-07), sancionada por Real Decreto 637/2007 de 18 de mayo.

-*Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carreteras* (IAP-98), aprobada por Orden Ministerial de 12 de febrero de 1998.

-*Guía de Cimentaciones en obras de carretera*. 2002. Dirección General de Carreteras. Ministerio de Fomento.

4. BASES DE CÁLCULO.

4.1 Acciones.

A continuación se nombran las solicitaciones propuestas por la IAP-11. El cálculo de su magnitud se especificará en apartados posteriores. Puesto que se supone un correcto drenaje en el trasdós de las estructuras, no se incluye en el cálculo la posible presión intersticial que pueda causar el agua.

4.1.1 Acciones Permanentes (G).

Son aquellas que actúan en todo momento y son constantes en magnitud y posición. A continuación se detallan las más importantes.

Peso Propio: Acción debida al peso de los elementos estructurales. Su valor se obtiene a partir de las dimensiones que se especifican en los planos y del peso específico del material que constituye el elemento.

Cargas muertas: Acción debida al peso de los elementos no estructurales. En este caso se tiene en cuenta la carga debida al peso de los materiales que gravitan sobre la losa superior, es decir la parte correspondiente de terraplén y los paquetes de firme. Como las aletas se consideran una estructura independiente al marco, esta solicitud no intervendrá en dicho cálculo.

4.1.2 Acciones permanentes de valor no constante (G*).

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

Empuje de tierras: Con referencia al marco, se deberá contemplar la posibilidad de distintas deformaciones del trasdós de los hastiales y sus consecuentes diferentes modos de empuje, puesto que se pueden establecer múltiples estados de carga sobre la estructura.

Una forma de simplificar tal problema es poner al empuje una cota inferior y otra superior. Así, Se puede considerar 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. La posibilidad de que actúe el empuje pasivo se descartará, quedando así del lado de la seguridad.

En el caso de las aletas, únicamente se tendrá en cuenta el empuje activo al tratarse de un muro.

4.1.3 Acciones Variables (Q).

Son aquellas que pueden actuar o no sobre la estructura.

Tren de cargas: Actuará únicamente sobre el marco y se descompondrá en dos solicitaciones.



La primera solicitud se trata de una sobrecarga uniformemente repartida sobre toda la plataforma de la autovía. Puede que sea más desfavorable para el estudio que no actúe sobre toda la plataforma, sino en parte de ella, tomándose por lo tanto el valor de esta solicitud.

La segunda solicitud intentará reproducir la sobrecarga que introduce un vehículo pesado que se irá desplazando a lo largo del tramo de autovía bajo el cual se ha ejecutado el paso inferior en cuestión.

Sobrecarga en terraplenes adyacentes: La tercera solicitud que se tendrá en cuenta será una sobrecarga uniformemente repartida actuando sobre la parte superior del terraplén contiguo al marco, es decir, por la zona donde el tráfico pueda discurrir. Esta solicitud tiene en cuenta a efectos de cálculo el empuje de tierras sobre algún elemento del marco en contacto con ellas.

Contrariamente a lo expuesto antes, esta solicitud intervendrá, además de para el cálculo del marco en sí, en el cálculo de las aletas.

4.1.4 Acciones Accidentales (A).

Sismo: La *Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes* (NCSP-07) tiene por objeto establecer los criterios específicos que han de tenerse en cuenta dentro del territorio español para la consideración de la acción sísmica en los puentes de carretera y ferrocarril.

En esta norma se puede consultar el mapa de peligrosidad sísmica, de donde se puede obtener la *aceleración sísmica básica* a_0 . En particular, este proyecto se ubica en el Término Municipal de Cocentaina, provincia de Alicante, por lo que según el apartado 3.4 de dicha norma, la aceleración sísmica básica se encuentra entre $0.04 \cdot g$ m/s^2 y $0.08 \cdot g$ m/s^2 , donde g es la aceleración de la gravedad. Esto indica que el marco se ubicará en una zona sísmica, aunque de baja grado de sismicidad.

En el apartado 2.8 de la NCSP-07 se indica cuando *será necesaria la consideración de las acciones sísmicas*, determinando que *no será necesaria cuando la a_0 del emplazamiento definida en el apartado 3.4 cumpla $a_0 < 0.04 \cdot g$* . En este caso, al no cumplirse dicha condición, se tendrán en cuenta los efectos de la sismicidad del terreno en materia de cálculo de acciones.

A continuación se muestra, en la *Figura 3.1*, el mapa de peligrosidad sísmica.



Figura 3.1 Mapa de peligrosidad sísmica (según NCSE-02)

4.2 Valores de las acciones.

4.2.1 Estados Límite.

Valores Representativos

El valor que se utiliza para la verificación de cualquier estado límite es el valor representativo de una acción. Normalmente se basa en su valor característico y después se modifica a través de un coeficiente parcial de seguridad para obtener los valores de cálculo.

Tal y como se indica en la IAP-11, los valores representativos de las acciones permanentes (G) y de las acciones permanentes de valor no constante (G*) corresponden con sus valores característicos, con una probabilidad de no ser superados de 0.95.

Las cargas variables obtendrán valores representativos diferentes, clasificándose en el *característico*, el *de combinación*, el *frecuente* y el *casi-permanente*. Estos tres últimos se obtienen multiplicando sus valores característicos por los siguientes coeficientes de combinación respectivamente:

ψ_0	0.6
ψ_1	0.5
ψ_2	0.2

Valores de cálculo en Estado Límite Último (ELU)

Los valores de cálculo de las resistencias de los materiales se obtienen dividiendo sus valores característicos entre los coeficientes parciales de seguridad de los materiales. Los valores de cálculo de las acciones se obtienen multiplicando sus valores representativos por los coeficientes parciales de seguridad de las acciones.

En el apartado 15.3 de la EHE-08 se especifican los coeficientes parciales de seguridad de los materiales para Estados Límite Últimos en la situación persistente o transitoria. Sus valores serán los siguientes:

- Coeficiente parcial de seguridad del hormigón: 1.5.
- Coeficiente parcial de seguridad del acero: 1.15.

Valores de cálculo en Estado Límite de Servicio (ELS)

Los valores de cálculo de las resistencias de los materiales se obtienen dividiendo sus valores característicos entre sus coeficientes parciales de seguridad. Los valores de cálculo de las acciones se obtienen dividiendo sus valores representativos entre sus coeficientes parciales de seguridad.

En el artículo 15.3 de la EHE-08 se especifican los coeficientes parciales de seguridad de los materiales para ELS. Todos ellos tienen por valor la unidad.

Cabe destacar que los valores de cálculo de las solicitaciones actuantes en las estructuras de este proyecto frente a los Estados Límite de Servicio coinciden con sus valores representativos, por lo tanto estos valores no estarán modificados por ningún coeficiente de seguridad.

En el caso de las acciones variables, no se considerarán cuando actúen de forma favorable, teniendo que multiplicar su valor por cero.

A continuación se muestra la tabla 12.1.a con los coeficientes parciales de seguridad para la evaluación de los Estados Límite Últimos:

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	-	-	$\gamma_A = 1,00$	$\gamma_A = 1,00$

Es importante destacar que lo anteriormente descrito es de conformidad con lo dispuesto en la *Guía de cimentaciones en obras de carretera*, por lo tanto, los valores de cálculo de las acciones contempladas en los ELU controlados por el terreno coinciden con sus valores representativos, ya que no se multiplicarán por ningún coeficiente parcial de seguridad. Tal y como se ha descrito antes, las solicitaciones variables se despreciarán cuando actúen de forma favorable multiplicándolas por cero.

4.3. Combinación de acciones.

Una combinación de acciones consiste en un conjunto de acciones compatibles que se consideraran simultáneamente para una comprobación determinada. Cada combinación, en general, estará formada por las acciones permanentes, una acción variable determinante y una o varias acciones variables concomitantes. Cualquiera de las acciones variables puede ser determinante.

En este proyecto, será necesario definir dos combinaciones de acciones para los ELU estructurales y uno para los ELU controlados por el terreno.

Estados Límite Últimos estructurales.

Se adopta la combinación de ELU para la situación persistente o transitoria, además de la situación sísmica ya que como se ha comentado antes, el marco se ubica en una zona sísmica. Los coeficientes parciales de seguridad son los establecidos anteriormente.

- Situaciones permanentes o transitorias:

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

- Situaciones sísmicas:

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

Donde:

$G_{k,j}$	Valor característico de las acciones permanentes.
$G_{k,j}^*$	Valor característico de las acciones permanentes de valor no constante.
P_k	Valor característico de la acción del pretensado.
$Q_{k,1}$	Valor característico de la acción variable determinante.
$\psi_{0,i} Q_{k,i}$	Valor representativo de combinación de las acciones variables concomitantes.
$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	Valor representativo frecuente de la acción variable determinante.
$\psi_{2,i} Q_{k,i}$	Valores representativos cuasipermanentes de las acciones variables con la acción determinante o con la acción accidental.
A_k	Valor característico de la acción accidental.
$A_{E,k}$	Valor característico de la acción sísmica.

Estados Límite de Servicio estructurales

En los cálculos referentes a la fisuración se adoptará la combinación casi-permanente considerando los coeficientes parciales de seguridad mencionados antes.

Combinación cuasipermanente

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

Donde:

$G_{k,j}$	Valor característico de las acciones permanentes.
$\dot{G}_{k,j}$	Valor característico de las acciones permanentes de valor no constante.
P_k	Valor característico de la acción del pretensado.
$Q_{k,1}$	Valor característico de la acción variable determinante.
$\psi_{0,i} Q_{k,i}$	Valor representativo de combinación de las acciones variables concomitantes.
$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	Valor representativo frecuente de la acción variable determinante.
$\psi_{2,i} Q_{k,i}$	Valores representativos cuasipermanentes de las acciones variables con la acción determinante o con la acción accidental.
A_k	Valor característico de la acción accidental.
$A_{E,k}$	Valor característico de la acción sísmica.

Estados Límite Últimos controlados por el terreno

Para dimensionar las aletas frente a hundimiento, deslizamiento y vuelco se adoptará la combinación característica definida en la guía de cimentaciones. Los coeficientes de seguridad tienen un valor de unidad, a diferencia de las sollicitaciones variables que su valor es cero.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{\dot{G},j} \dot{G}_{k,j} + \gamma_P P_k$$

Donde:

$G_{k,j}$	Valor característico de las acciones permanentes.
$\dot{G}_{k,j}$	Valor característico de las acciones permanentes de valor no constante.
P_k	Valor característico de la acción del pretensado.
$Q_{k,1}$	Valor característico de la acción variable determinante.
$\psi_{0,i} Q_{k,i}$	Valor representativo de combinación de las acciones variables concomitantes.
$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	Valor representativo frecuente de la acción variable determinante.
$\psi_{2,i} Q_{k,i}$	Valores representativos cuasipermanentes de las acciones variables con la acción determinante o con la acción accidental.
A_k	Valor característico de la acción accidental.
$A_{E,k}$	Valor característico de la acción sísmica.

4.4 Características de los materiales.

4.4.1 Hormigón para armar.

Puesto que para la ejecución del marco, las aletas y las losas de transición se emplearán diferentes tipos de hormigón, se diferenciará:

-HM-20: Para limpieza y nivelación del marco, aletas y las diferentes losas de transición que se ejecuten

-HA-25/B/20/Ila: como material estructural en el marco, aletas y losas de transición.

La tipificación del HA, así como las características principales son las siguientes:

-Resistencia característica de proyecto (f_{ck}): 25 MPa

-Resistencia de cálculo a compresión (f_{cd}): 16.67 Mpa

-Coeficiente de seguridad frente a ELU en situación persistente: 1.5

-Consistencia: Blanda

-Tamaño máximo del árido: 20 mm.

-Clase general de exposición: Ila

-Recubrimiento mínimo: 25 mm

-Margen de recubrimiento con control intenso: 5 mm

-Recubrimiento nominal: 30 mm

4.4.2. Acero para armaduras pasivas.

Para todas las estructuras se empleará acero soldable en forma de barra corrugada tipo B500S.

La tipificación y sus principales características son:

-Límite elástico característico de proyecto (f_{yk}): 500 Mpa

-Módulo de deformación longitudinal (E_s): 200 GPa

-Carga unitaria de rotura (f_s): 550 Mpa

-Coeficiente de seguridad frente a ELU en situación persistente: 1.15

-Límite elástico de cálculo (f_{yd}): 434.78 Mpa

-Alargamiento en rotura (ϵ_{us}): 12%

