



Anejo 7

Cálculo de estructuras

Autores: Caballero Manzanares, David
Ruiz Tur, Jose Luis



ÍNDICE

1. OBJETO

2. NORMATIVA

3. ACCIONES A CONSIDERAR

3.1. COMBINACIÓN DE ACCIONES

3.2. VALORES DE CÁLCULO DE LAS ACCIONES

3.3 ACCIONES PERMANENTES

3.3.1 PESO PROPIO

3.3.2 CARGAS MUERTAS

3.3.3 ACCIONES DEL TERRENO

3.4 ACCIONES VARIABLES

3.4.1 SOBRECARGA DE USO

3.4.2 ACCIONES SOBRE BARANDILLAS Y ELEMENTOS DIVISORIOS

3.5 VIENTO

3.6 ACCIONES TÉRMICAS

3.7 NIEVE

3.8 ACCIONES ACCIDENTALES

3.8.1 SISMO

3.8.2 INCENDIO

3.8.3 IMPACTO

3.9 PRUEBA DE CARGA

4. MATERIALES

5. DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL

5.1 MUROS PERIMETRALES

5.2 CIMENTACIÓN POR LOSA

5.3 SOPORTES

5.4 RAMPAS

5.5 FORJADOS

6. MODELIZACIÓN

7. RESULTADOS

1. Objeto

El objeto de anejo es la descripción de las estructuras que conforman el aparcamiento subterráneo objeto de este proyecto básico.

En el proyecto se ha hecho el cálculo de los muros pantalla y de la estructura (cimentación, forjados y pilares) con el programa CYPE de cálculo.

2. Normativa

La normativa a utilizar en el cálculo de la estructura es:

- “Instrucción Española Estructural. EHE – 08” (Real Decreto 1247/2008 de 18 de Julio)
- Código Técnico de la Edificación.
Documentos básicos de seguridad estructural: DB – SE, DB – SE - AE “Acciones en la edificación”, DB – SE – C “Cimientos”.
Documento básico DB – SI “Seguridad en caso de incendio”.
- Norma de Construcción Sismo resistente: Parte General y Edificación (NCSE02). (Real Decreto 997/2002, B.O.E. 244 de 11/10/02).
- “Ordenanza Municipal de Protección contra Incendios”. OMPI del Ayuntamiento de Valencia.
- UNE-EN 1537 “Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Anclajes”.
- Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera.

3. Acciones a considerar

Se verificará el cumplimiento de los requisitos de seguridad estructural y aptitud al servicio, determinando las acciones sobre los edificios de acuerdo a los establecido en el DB –SE.

3.1. Combinación de acciones

Para cada una de las situaciones estudiadas se establecerán las posibles combinaciones de acciones.

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

- Situaciones permanentes o transitorias:

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

- Situaciones accidentales:

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

dónde:

| | |
|-------------------------------------|---|
| 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. |
| ψ _{0,i} Q _{k,i} : | Valor representativo de combinación de las acciones variables concomitantes. |
| ψ _{1,1} Q _{k,1} : | Valor representativo frecuente de la acción variable determinante. |
| ψ _{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. |

3.2. Valores de cálculo de las acciones

Se define como valor de cálculo de una acción el obtenido como producto de un coeficiente parcial de seguridad por el valor representativo F_d:

$$F_d = \gamma_f \psi_i F_k$$

dónde:

- Fd: Valor de cálculo de la acción
- Fyf: Coeficiente parcial de seguridad de la acción considerada.
- Fk: Valor característico de la acción.

| Tipo de verificación ⁽¹⁾ | Tipo de acción | Situación persistente o transitoria | |
|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|----------------|
| | | desfavorable | favorable |
| Resistencia | Permanente | | |
| | Peso propio, peso del terreno | 1,35 | 0,80 |
| | Empuje del terreno | 1,35 | 0,70 |
| | Presión del agua | 1,20 | 0,90 |
| | Variable | 1,50 | 0 |
| Estabilidad | | desestabilizadora | estabilizadora |
| | Permanente | | |
| | Peso propio, peso del terreno | 1,10 | 0,90 |
| | Empuje del terreno | 1,35 | 0,80 |
| | Presión del agua | 1,05 | 0,95 |
| | Variable | 1,50 | 0 |

⁽¹⁾ Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

Tabla 1. Coeficientes parciales de seguridad. CTE – DB - SE

| | Ψ ₀ | Ψ ₁ | Ψ ₂ |
|--|----------------|----------------|----------------|
| Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE) | | | |
| • Zonas residenciales (Categoría A) | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| • Zonas administrativas(Categoría B) | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| • Zonas destinadas al público (Categoría C) | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| • Zonas comerciales (Categoría D) | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| • Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría F) | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| • Cubiertas transitables (Categoría G) | | (1) | |
| • Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría H) | 0 | 0 | 0 |
| Nieve | | | |
| • para altitudes > 1000 m | 0,7 | 0,5 | 0,2 |
| • para altitudes ≤ 1000 m | 0,5 | 0,2 | 0 |
| Viento | 0,6 | 0,5 | 0 |
| Temperatura | 0,6 | 0,5 | 0 |
| Acciones variables del terreno | 0,7 | 0,7 | 0,7 |

Tabla 2. Coeficientes de simultaneidad. CTE – DB - SE

3.3 Acciones permanentes

3.3.1 Peso propio

El peso propio a tener en cuenta es el de los elementos estructurales, los cerramientos y elementos separadores, la tabiquería y revestimientos. Para el peso propio de la estructura se adoptará una densidad de 25 KN/m3.

Las acciones reológicas no se considerarán, pues se dimensionan los elementos de hormigón armado con las cuantías geométricas mínimas prescritas en la Instrucción EHE-08.

3.3.2 Cargas muertas

Además del peso propio de la estructura, habrá unas cargas producidas por la tabiquería con un peso específico de 15 KN/m3 a las que hay que añadir las correspondientes cargas producidas por los revestimientos interior y exterior con peso específico de 0,35 KN/m2.

También se considerarán unas cargas producidas por el revestimiento del suelo cuyo peso específico es de 0,26 KN/m2.

La zona urbanizada contará sobre la cubierta con un relleno como en jardineras, incluyendo el material de drenaje, cuyo peso específico es de 20 KN/m3.

En función de la altura, anchura o profundidad en algún caso, se transformaran estos elementos es cargas muertas mediante el peso específico.

3.3.3 Acciones del terreno

En la definición de las acciones deben considerarse las sobrecargas debidas a la presencia de edificaciones próximas, posibles acopios de materiales, vehículos, etc.

Las acciones principales a considerar son:

- Peso propio del elemento de contención, de acuerdo con el material previsto para su ejecución.
- Empuje y peso del terreno circundante, teniendo en cuenta la posición del nivel freático.
- Empujes debidos al agua. Subpresión y control de sifonamiento.
- Sobrecargas sobre la estructura de contención o sobre el terreno de trasdós. Viales de tráfico pesado con sobrecarga de 25 kN/m².
- Efectos sísmicos, cuando sea necesaria su previsión por la zona de emplazamiento de la estructura.
- Elementos de sujeción provisional, como son las fuerzas de los codales y anclajes sobre el terreno.

3.4 Acciones variables

3.4.1 Sobrecarga de uso

La sobrecarga de uso es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de uso.

Se considerarán los valores característicos de las sobrecargas de uso según su categoría de uso, en este caso se trata de categoría E – Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros, con una carga uniforme de 2 kN/m².

En las zonas de acceso y evacuación se incrementará el valor correspondiente a la zona servida en 1 kN/m².

Asimismo, para comprobaciones locales de capacidad portante, debe considerarse una carga concentrada actuando en cualquier punto de la zona de 20 kN, actuando simultáneamente con la carga uniforme.

Dicha carga concentrada se considerará aplicada sobre el pavimento acabado en una superficie cuadrada de 200mm.

También tendrá que considerarse una sobrecarga de 100 kN sobre 20 cm, resistencia que deberá tener frente al punzonamiento del suelo.

En cubierta transitable de uso público, el valor es el correspondiente al uso de la zona desde la cual se accede, es decir, desde la anteriormente dicha, considerando la acción de una posible sobrecarga de 20 kN/m²

producida por un vehículo destinado a la protección contra incendios, dispuestos en una superficie de 3 m de ancho por 8 m de largo en cualquier zona de la cubierta.

3.4.2 Acciones sobre barandillas y elementos divisorios

La estructura propia de las barandillas, petos, escaleras o elementos divisorios deben resistir una fuerza horizontal, uniformemente distribuida, y cuyo valor característico es 1,6 kN/m de acuerdo con la categoría E de uso.

En zonas de tráfico y aparcamiento, los elementos que delimiten áreas accesibles para los vehículos deben resistir una fuerza horizontal uniformemente distribuida sobre una longitud de 1m, aplicada a una altura de 1,2m sobre el nivel del suelo, cuyo valor se definirá en proyecto, no siendo inferior a 50 kN.

3.5 Viento

Al tratarse de una estructura enterrada no está expuesta a las acciones del viento, por lo que no se considerarán en el cálculo.

3.6 Acciones térmicas

Como en el caso del viento, al ser una estructura enterrada consideramos que las acciones térmicas tienen un efecto despreciable en el cálculo. No se dispondrán de juntas de dilatación/contracción, además de que no son necesarias podrían ser un problema para la impermeabilización.

3.7 Nieve

La distribución y la intensidad de la carga de nieve sobre la cubierta, dependerá de la carga de nieve sobre un terreno horizontal, datos tomados sobre las capitales de provincia, y que en el caso de Valencia sería de 0,4 kN/m².



Al tratarse de un espacio en el que el viento está limitado al nivel del suelo, se desestima considerar un coeficiente de forma, hecho que podría originar depósitos irregulares de nieve sobre la cubierta.

3.8 Acciones accidentales

3.8.1 Sismo

Las acciones debidas a la actividad sísmica vendrán determinadas por la Norma de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación (NCSE-02), en la cual obtendremos los datos y cálculos necesarios para saber si es necesaria su consideración.

A los efectos de esta Norma, de acuerdo con el uso a que se destinan, con los daños que puede ocasionar su destrucción e independientemente del tipo de obra de que se trate, la construcción se clasifica de importancia normal, es decir, aquellas cuya destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad, o producir importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastróficos.

La aplicación de esta Norma es obligatoria en las construcciones de proyecto, construcción y conservación de edificaciones de nueva planta, excepto:

- En las edificaciones de importancia normal o especial cuando la aceleración sísmica básica *ab* sea inferior a 0,04*g*, siendo *g* la aceleración de la gravedad.
- En las construcciones de importancia normal con pórticos bien arriostrados entre sí en todas las direcciones cuando la aceleración sísmica básica *ab* sea inferior a 0,08*g*.

De acuerdo con la Norma, la ciudad de Valencia presenta una aceleración sísmica básica (*ab*) de 0,06*g*, y podemos considerar, al tratarse de una estructura enterrada apoyada sobre muros pantalla, que es un sistema estructural aporticado rigidizado frente a los esfuerzos horizontales por los muros. Al funcionar este sistema estructural como pórticos bien arriostrados entre sí en todas las direcciones, y cumpliendo con la Norma, no habría que considerar las acciones sísmicas en el cálculo estructural.

3.8.2 Incendio

Las acciones debidas a la agresión térmica del incendio deben ser consideradas como las mismas acciones permanentes y variables que en el cálculo en situación persistente, si es probable que actúen en caso de incendio.

Si se emplean los métodos indicados del DB – SI, puede tomarse como efecto de la acción de incendio únicamente el derivado del efecto de la temperatura en la resistencia del elemento estructural.

En las zonas de tránsito de vehículos destinados a los servicios de protección contra incendios, se considerará una acción de 20 kN/m2 dispuestos en una superficie de 3 m de ancho por 8 m de largo, en cualquiera de las posiciones de una banda de 5 m de ancho, y las zonas de maniobra, por donde se prevea y se señalice el paso de este tipo de vehículos.

Para la comprobación local de las zonas citadas, se supondrá, de forma independiente y no simultánea con la anterior, la actuación de una carga de 100 kN, actuando sobre una superficie circular de 20 cm de diámetro sobre el pavimento terminado, en uno cualquiera de sus puntos.

Por otra parte, las estructuras de hormigón deberán de cumplir las condiciones recogidas en el Anejo 6 de la EHE de protección contra el fuego de elementos estructurales, como son evitar un colapso prematuro de la estructura y limitar la propagación del fuego fuera de áreas concretas.

Para ello deben cumplirse los valores mínimos de dimensiones y distancias equivalentes al eje (recubrimientos) para obtener la resistencia al fuego de elementos de hormigón armado.

Por exigencias de durabilidad, estos son los valores extraídos de la EHE que deben cumplir los diferentes elementos estructurales con una resistencia al fuego R120, tanto en recubrimientos como en espesor.

| Elemento | Dimensión mínima bmin / Distancia mínima equivalente al eje amin (mm) |
|-----------------|--|
| Soportes | 250/40 |
| Muros portantes | 180/35 |

Tabla 3. EHE

| Elemento | Espesor mínimo (mm) |
|--------------------|---------------------|
| Muros no portantes | 120 |
| Losa maciza | 120 |

Tabla 4. EHE

| Elemento | Anchura de nervio mínimo bmin / Distancia mínima equivalente al eje amin (mm) | | | Espesor mínimo (mm) |
|-----------------------------|--|----------|----------|------------------------|
| | Opción 1 | Opción 2 | Opción 3 | |
| Forjados bidireccionales | 160/50 | 250/40 | 300/25 | 120 |

Tabla 5. EHE

3.8.3 Impacto

Las acciones sobre un edificio causadas por un impacto dependen de la masa, de la geometría y de la velocidad del cuerpo impactante, así como de la capacidad de deformación y de amortiguamiento tanto del cuerpo como del elemento contra el que impacta.

Salvo que se adopten medidas de protección, cuya eficacia debe verificarse, con el fin de disminuir la probabilidad de ocurrencia de un impacto o de atenuar sus consecuencias en caso de producirse, los elementos resistentes afectados por un impacto deben dimensionarse teniendo en cuenta las acciones debidas al mismo, con el fin de alcanzar una seguridad estructural.

En este Documento Básico sólo se consideran las acciones debidas a impactos accidentales.

Los valores de cálculo de las fuerzas estáticas debidas al impacto de vehículos de hasta 30 KN de peso total, son de 50 KN en la dirección paralela la vía y de 25 KN en la dirección perpendicular, no actuando simultáneamente.

La fuerza equivalente de impacto se considerará actuando en un plano horizontal y se aplicará sobre una superficie rectangular de 0,25 m de altura y una anchura de 1,5 m, o la anchura del elemento si es menor, y a una altura de 0,6 m por encima del nivel de rodadura, en el caso de elementos verticales, o la altura del elemento, si es menor que 1,8 m en los horizontales.

3.9 Prueba de carga

Al finalizar la estructura, será necesario por práctica habitual del Ayuntamiento de Valencia, la realización de una prueba de carga.

4. Materiales

Los materiales que se van a considerar para el cálculo y construcción de la estructura son los siguientes:

- Hormigón: HA-30/B/20/Ila, $Y_c=1,5$
- Acero: B500S, $Y_s=1,15$
- Tabiquería:
 - Ladrillo perforado (24x12x7)
 - Mortero de cemento
 - Mortero de cal
- Revestimiento del suelo: pavimento de gres antideslizante (33x33) de 14mm de espesor
- Relleno: tierra vegetal y grava

5. Descripción estructural

Dadas las características del emplazamiento propuesto, se propone una solución con estructura ejecutada in situ. Se describe a continuación las características de cada uno de los elementos previstos para la estructura.

5.1 Muros perimetrales

Los muros pantalla serán de 0,45 m de ancho ejecutados mediante paneles de 2,50 m de ancho y de 15m de altura. Los extremos que tengan unas dimensiones entre 2,5 y 5 m se realizarán en un solo panel con dichas medidas.

Siguiendo con el plan de trabajos redactado en el Anejo 9, se procederá a la excavación por fases, en la que se realizará la instalación de los anclajes en una primera fase de excavación. Una vez los anclajes dejen de ser necesarios, se procederá al sellado de los mismos con morteros epoxídicos en toda la longitud de perforación hasta el bulbo, y se sellará la perforación de la pantalla con morteros especiales de impermeabilización.

El anclaje de los muros se efectuará mediante unas líneas de anclaje, a una profundidad de 2,7 m con respecto a la superficie del terreno. Los anclajes se harán con tendones de 5 torones de 0,6" colocados en perforación, con inyección de lechada en el bulbo extremo y posterior relleno, también con lechada. Se aplicará una fuerza de tesado de 600 KN.

Se estima que se dispondrá un anclaje cada 2.5 m., coincidiendo con el panel del muro pantalla y evitando las juntas. El ángulo de inclinación del anclaje será de aproximadamente 30º con respecto a la horizontal, y se estima que la longitud de los anclajes sea del orden de 10,5 m, previendo su empotramiento en la frontera entre la capa de arcillas y limos con las arenas y gravas.

5.2 Cimentación por losa

La cimentación se realizará por losa maciza de hormigón armado con un espesor de 65 cm con una capa de 10 cm de hormigón de limpieza, dejando las armaduras de espera de los soportes.

5.3 Soportes

Los pilares serán apantallados de 40x60 cm. Se disponen con crujías variables entre 7 – 9m entre soportes. Entre soportes y los muros pantalla, que tendrán la función de servir de apoyo los forjados, las crujías serán del orden de 4 – 5m. Se dispondrán de manera que se modula en el diseño del aparcamiento y de las calles de circulación.

5.4 Rampas

Las rampas se prevén mediante losas de hormigón armado de 40 cm de espesor apoyadas sobre los muros pantalla perimetrales y los muros estructurales de hormigón armado, empotradas a los forjados que

comunican. Las rampas sirven adicionalmente de arriostramiento horizontal de los muros pantalla transmitiendo los empujes a los forjados y losa de cimentación.

5.5 Forjados

El forjado intermedio se ejecutará mediante forjado reticular de canto 35 cm y la losa de cubierta mediante una losa maciza de hormigón armado de canto 60cm. Se realizarán pruebas de carga y estanquidad de la losa superior.

6. Modelización

Para el cálculo de la estructura hemos utilizado el programa CYPE, el cual calcula por elementos finitos, y donde calculamos los muros pantalla y la estructura por separado, ya que consideramos que con los métodos empleados se ajusta bastante al funcionamiento en conjunto de toda la estructura.

El cálculo de las pantallas se ha realizado en 6 fases, introduciendo a la altura correspondiente las cargas que transmitirá el forjado, por metro lineal, a las pantallas. Además, se han calculado con anclajes de 60 Tn a la altura del forjado intermedio, para mitigar el desplazamiento en cabecera de las pantallas, que es lo más desfavorable. Cuando nos encontramos en la fase de excavación hasta la cota de cimentación, el desplazamiento en cabecera es de 11cm, que estaría al límite de lo exigido.

Para el cálculo del esqueleto de la estructura, hemos introducido una armadura base y una de refuerzo para cada forjado y para los pilares, la cual, si fuese un proyecto de construcción, se podría afinar, para minimizar costes y adecuarla correctamente a las necesidades de la estructura.

En la losa de cimentación hemos aplicado una armadura base de $\varnothing 20$ cada 25cm, tanto para la armadura superior como la inferior, para la transversal y para longitudinal. Como refuerzo hemos aplicado, en la posición cada pilar, redondos de $\varnothing 20/25$ intercalados con $\varnothing 16/25$. Con este armado, habría de sobra en algunas líneas de pilares, pues no todos soportarán la misma carga.

El forjado intermedio, lo hemos dimensionado con un forjado reticular daliforme de 35cm de espesor de dimensión 70x70, con armadura base de $1\varnothing 25$ para la armadura inferior transversal y longitudinal, y $1\varnothing 20$ para la

armadura transversal y longitudinal superior, con refuerzo de 10 redondos de $\varnothing 16/70$ alrededor de los ábacos. Los ábacos están calculados con 2 $\varnothing 10$ tanto para la armadura inferior y superior, para la transversal y la longitudinal, reforzados con 10 redondos de $\varnothing 10$ alrededor de los pilares.

La losa de cubierta, será las que más esfuerzos deberán soportar, puesto que tendrá una capa de 50cm de relleno de tierras, una capa de adoquinado y en zonas concretas, las cargas que transmitirán los columpios del parque y también pérgolas y las edificaciones para las salidas de las escaleras. Esta losa está calculada con redondos de $\varnothing 20/15\text{cm}$ en las dos direcciones de armado, tanto para la armadura superior como para la inferior, aplicando unos refuerzos de 60 $\varnothing 12$, 15 redondos equidistantes alrededor de cada lado de los pilares en la zona de entronque de la losa con los pilares.

Los forjados inclinados de las rampas están calculados con un espesor de 40 cm, en tres tramos, armados en las dos direcciones de armado, tanto para la superior como par la inferior, con redondos de $\varnothing 20/15\text{cm}$. Estos estarán apoyados en muros estructurales de hormigón armado situados junto a las rampas.

Para el dimensionado de los pilares hemos aplicado una armadura vertical 10 $\varnothing 12$ equidistantes alrededor de las caras del pilar. La armadura longitudinal calculada de base es de cercos en dos capas de $\varnothing 6/15$, con refuerzos del mismo tipo de cercos pero con una separación de 6cm entre ellos, para contrarrestar el punzonamiento, puesto que ha sido lo más condicionante para el dimensionamiento.

7. Resultados

Una vez introducida la estructura en el programa de cálculo CYPE y comprobando que los resultados obtenidos son coherentes, determinamos que el predimensionamiento se ajusta razonablemente a nuestras suposiciones iniciales, por lo que consideramos su viabilidad para llevarla a cabo.