

## 1.- INTRODUCCIÓN

El presente anejo tiene como objeto la justificación y descripción de los cálculos realizados para la construcción de la estructura de referencia. Se trata de un conjunto de tres edificios disjuntos estructuralmente.

La solución estructural considerada es a base de estructura de hormigón armado. El edificio se construye a base de forjados reticulares de intereje 80, nervio 12 cm, con bovedillas de poliestireno expandido tipo FOREL 25+5+(3) en todas sus plantas a excepción del techo de sótano segundo en que las bovedillas son recuperables, y la entreplanta y cubierta que son en base a losa de 20 cm de espesor. Adicionalmente existen losas en diversos elementos de forjado, escaleras y otros elementos misceláneos.

La cimentación es como en base a zapatas y su diseño se basa en el informe geotécnico que permite asumir al menos 3 kgf/cm<sup>2</sup> con asientos totales inferiores a 1.5 cm y diferenciales prácticamente despreciables.

## 2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES Y COEFICIENTES DE SEGURIDAD

Los materiales a utilizar así como las características definitorias de los mismos, niveles de control previstos, así como los coeficientes de seguridad, se indican en el siguiente cuadro:

### 2.1.- HORMIGÓN ARMADO SEGÚN INSTRUCCIÓN EHE

#### 2.1.1.- Hormigones

	Elementos de Hormigón Armado				
	Toda la obra	Cimentación Muros-soleras	Soportes (Comprimidos )	Forjados y Losas (Excepto Losa de Cubierta) (Flectados)	Pérgolas
Tipificación		HA-250/B/40/Ila	HA-25/B/25/I	HA-25/F/18/I	HA-30/F/18/Ila/H
Resistencia Característica a los 28 días: $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )		25	25	25	30
Tipo de Cemento (RC-97)		I-42,5	I-42,5	I-42,5	I-42,5
Agua	Cumplirá el artículo 27				
Cantidad mínima de cemento (kp/m <sup>3</sup> )	300	300	300	300	300
Relación máxima agua/cemento		0.5	0.5	0.5	0.5
Tamaño máximo del árido (mm)		40	25	18	18
Tipo de ambiente (agresividad)		Ila	I	I	Ila/H
Consistencia del hormigón		Blanda	Blanda	Fluida	Fluida
Asiento Cono de Abrams (cm)		6 a 9	6 a 9	10 a 15	10 a 15
Sistema de compactación	Vibrado				
Nivel de Control Previsto	Normal				
Coeficiente de Minoración		1.5	1.5	1.5	1.5
Resistencia de cálculo del hormigón: $f_{cd}$ (N/mm <sup>2</sup> )		16.66	16.66	16.66	20

### 2.1.2.- Acero en barras

	Toda la obra	Cimentación	Comprimidos	Flectados	Otros
Designación	B-500-SD				
Límite Elástico (N/mm <sup>2</sup> )	500				
Nivel de Control Previsto	Normal				
Coefficiente de Minoración	1.15				
Resistencia de cálculo del acero (barras): $f_{yd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	434.78				

### 2.1.3.- Acero en Mallazos

	Toda la obra	Cimentación	Comprimidos	Flectados	Otros
Designación	B-500-S				
Límite Elástico (N/mm <sup>2</sup> )	500				

### 2.1.4.- Ejecución

	Toda la obra	Cimentación Muros-soleras	Comprimidos	Forjados y Losas)	Pérgolas y Pilares Expuestos
<b>A. Nivel de Control previsto</b>	Normal				
<b>B. Coeficiente de Mayoración de las acciones desfavorables</b> Permanentes / Variables	1.5 / 1.6				
<b>Lotes de subdivisión de la obra</b>		según EHE	según EHE	Según EHE	Según EHE
<b>Nº amasadas por lote</b>		2	2	2	4
<b>Edad de rotura</b>	7-28 días				
<b>Nota</b>	(1) La magnitud de los lotes se ajustará con el laboratorio de control, de acuerdo con la marcha de la obra, siempre que se cumplan los mínimos establecidos por EHE				

### 2.1.5.- Puesta en obra

Recubrimiento de armaduras		40 mm	35 mm	35 mm	
Otras	En elementos interiores de edificios, protegidos de la intemperie el recubrimiento mínimo será 30 mm				

### 2.2.- ACEROS LAMINADOS

		Toda la obra	Comprimidos	Flectados	Traccionados	Placas anclaje
Acero en Perfiles	Clase y Designación	A-42b S275 JR				
	Límite Elástico (N/mm <sup>2</sup> )	275				
Acero en Chapas	Clase y Designación	A-42b S275 JR				
	Límite Elástico (N/mm <sup>2</sup> )	275				

### 2.3.- UNIONES ENTRE ELEMENTOS

		Toda la obra	Comprimidos	Flectados	Traccionados	Placas anclaje
Sistema y Designación	Soldaduras	> Fy				
	Tornillos Ordinarios	Clase 8.8				
	Tornillos Calibrados	Clase 8.8				
	Tornillo de Alta Resistencia	Clase 10.9				
	Roblones	--				
	Pernos o Tornillos de Anclaje	B-500-S				

### 2.4.- MUROS DE FÁBRICA

Ladrillo perforado "gero" con resistencia característica de 150 Kp/cm<sup>2</sup>

### 2.6.- ENSAYOS A REALIZAR

**Hormigón Armado.** De acuerdo a los niveles de control previstos, se realizarán los ensayos pertinentes de los materiales, acero y hormigón según se indica en la norma EHE Cap. XV, art. 82 y siguientes.

**Aceros estructurales.** Se harán los ensayos pertinentes de acuerdo a lo indicado en CTE SE-A.

## 2.7.- ASIENTOS ADMISIBLES Y LÍMITES DE DEFORMACIÓN

**Asientos admisibles de la cimentación.** Los establecidos en CTE.

**Límites de deformación de la estructura.** De acuerdo a CTE.

**Hormigón armado.** Para el cálculo de las flechas en los elementos flectados, vigas y forjados, se tendrán en cuenta tanto las deformaciones instantáneas como las diferidas.

Para el cálculo de las flechas se ha tenido en cuenta tanto el proceso constructivo, como las condiciones ambientales, edad de puesta en carga, de acuerdo a unas condiciones habituales de la práctica constructiva en la edificación convencional. Por tanto, a partir de estos supuestos se estiman los coeficientes de fluencia pertinentes para la determinación de la flecha activa, suma de las flechas instantáneas más las diferidas producidas con posterioridad a la construcción de las tabiquerías.

En los elementos de hormigón armado se establecen los siguientes límites:

Los del CTE y adicionalmente:

Flechas activas máximas relativas y absolutas para elementos de Hormigón Armado y Acero		
Estructura no solidaria con otros elementos	Estructura solidaria con otros elementos	
	Elementos flexibles	Elementos rígidos
Relativa: $\Delta / L < 1/250$ Absoluta: $L/500 + 1 \text{ cm}$	Relativa: $\Delta / L < 1/400$	Relativa: $\Delta / L < 1/400$ Absoluta: 1 cm

Flechas totales máximas relativas para elementos de Hormigón Armado y Acero		
Estructura no solidaria con otros elementos	Estructura solidaria con otros elementos	
	Elementos flexibles	Elementos rígidos
Relativa: $\Delta / L < 1/250$	Relativa: $\Delta / L < 1/250$	Relativa: $\Delta / L < 1/250$

A efectos del mejor comportamiento en flechas y distorsiones, los forjados se mantendrán encofrados por 28 días tras su hormigonado.

## 3.- CARGAS CONSIDERADAS

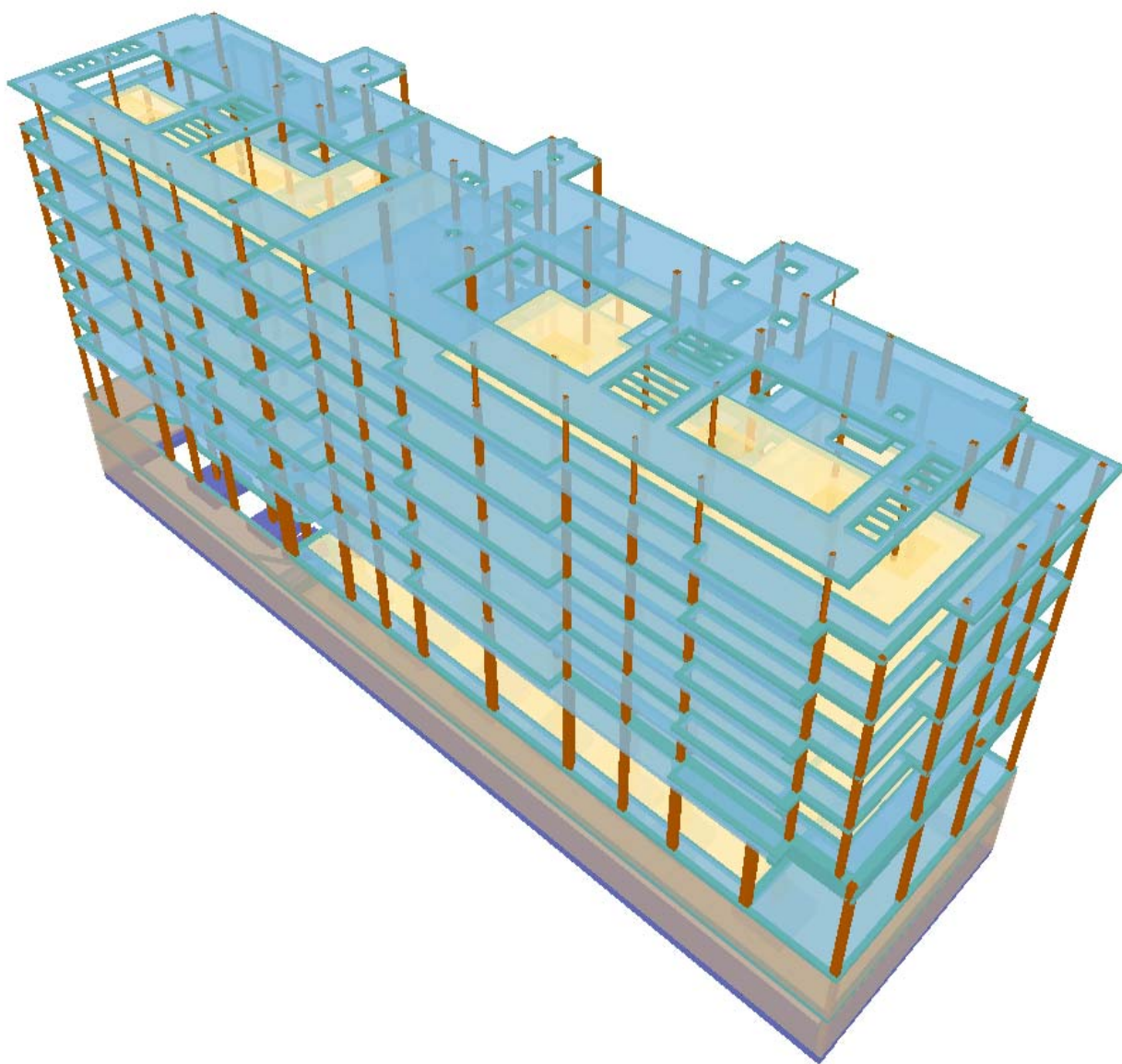
Se reflejan en el Anejo correspondiente

## 4.- NORMATIVA UTILIZADA

Código Técnico CTE  
Norma de Construcción Sismorresistente NCSR-02  
Instrucción de Hormigón Estructural EHE

## 5.- METODOS Y PROGRAMAS DE CÁLCULO UTILIZADOS

Se efectúa un modelo completo 3D en CYPECAD, versión 2008.1a. Adicionalmente y a efectos de simplificar los armados, completar otros cálculos necesarios, suplir dificultades e imperfecciones de modelado de inconveniente o imposible eliminación, y obtener un control suplementario, se efectúan otros modelos y análisis en RISA 3D, versión 7.0, (de RISA Technologies) y se efectúan chequeos puntuales con hojas de MATHCAD (de la casa Mathsoft) con diversas implementaciones de procedimientos de diseño técnicos para elementos estructurales, entre ellas el dimensionado de elementos de acuerdo a las normas españolas vigentes.



## **5.1.- CALCULO DE ESFUERZOS**

El cálculo de las solicitaciones en las barras se ha realizado mediante métodos matriciales, suponiendo una relación lineal entre esfuerzos y deformaciones en las barras y considerando los seis grados de libertad posibles de cada nudo.

La no linealidad geométrica se contempla por los métodos simplificados implementados en el programa, en tanto que la no linealidad material es contemplada por el conjunto de medidas adoptadas para el cálculo de elementos en EHE-98 asimismo implementadas en el programa.

La estructura se define a través del interfaz gráfico de los programas de análisis estructural, que a su vez revierte en una malla tridimensional de elementos apropiados a su análisis matricial por el método de los elementos finitos.

## **5.2.- CALCULO DEL ARMADO**

### **5.2.1.- Criterios de armado**

Los criterios considerados en el armado siguen las especificaciones de la Norma EHE, ajustándose los valores de cálculo de los materiales, los coeficientes de mayoración de cargas, las disposiciones de armaduras y las cuantías geométricas y mecánicas mínimas y máximas a dichas especificaciones. El método de cálculo es el denominado por la Norma como de los *Estados Límites*.

### **5.2.2.- Consideraciones sobre el armado de secciones**

Se ha considerado un diagrama rectangular de respuesta de las secciones, asimilable al diagrama parábola-rectángulo pero limitando la profundidad de la línea neutra. Diversas comprobaciones se efectúan, explícitamente, por el método del momento tope, tradicional en la práctica española.

## **5.3.- CALCULO DE LOSAS MACIZAS.**

La modelización de las losas depende del programa empleado. En CYPECAD las losas de forjado se modelan como un conjunto de barras de sección constante en dos direcciones ortogonales entre sí (emparrillado), en tanto que RISA 3D utiliza una formulación de placa gruesa de 4 o 3 vértices capaz de contemplar el cortante, siendo igualmente posible su consideración como elementos finitos de tipo ladrillos sólidos 3D de 8 vértices extruidos de la planta de placas componentes.

Se realiza la comprobación a punzonamiento según el artículo 46 de la Norma EHE.

## **5.4.- CALCULO DE LA CIMENTACION**

La cimentación es un conjunto de zapatas dimensionadas por CYPECAD y estudios complementarios efectuados por métodos clásicos de general aceptación.

Las presiones a nivel de servicio respetan los 3 kgf/cm<sup>2</sup> máximos de la presión admisible, que garantiza como se ha citado un correcto comportamiento frente a los asientos.

## **5.5.- CALCULO DE MUROS DE SOTANO**

Se estiman los empujes del terreno de acuerdo al sistema constructivo y la tipología del terreno.

## JUSTIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DEL DB SE (SEGURIDAD ESTRUCTURAL)

La estructura se ha comprobado siguiendo los DB's siguientes:

DB-SE	Bases de cálculo
DB-SE-AE	Acciones en la edificación
DB-SE-C	Cimientos
DB-SE-F	Fábrica
DB-SI	Seguridad en caso de incendio

Y se han tenido en cuenta, además, las especificaciones de la normativa siguiente:

NCSE Norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación

EHE Instrucción de hormigón estructural

EFHE Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados

### CUMPLIMIENTO DEL DB-SE. BASES DE CÁLCULO.

La estructura se ha analizado y dimensionado frente a los estados límite, que son aquellas situaciones para las que, de ser superadas, puede considerarse que el edificio no cumple alguno de los requisitos estructurales para los que ha sido concebido.

#### SE 1. RESISTENCIA Y ESTABILIDAD.

La estructura se ha calculado frente a los **estados límite últimos**, que son los que, de ser superados, constituyen un riesgo para las personas, ya sea porque producen una puesta fuera de servicio del edificio o el colapso total o parcial del mismo. En general se han considerado los siguientes:

a) pérdida del equilibrio del edificio, o de una parte estructuralmente independiente, considerado como un cuerpo rígido;

b) fallo por deformación excesiva, transformación de la estructura o de parte de ella en un mecanismo, rotura de sus elementos estructurales (incluidos los apoyos y la cimentación) o de sus uniones, o inestabilidad de elementos estructurales incluyendo los originados por efectos dependientes del tiempo (corrosión, fatiga).

Las verificaciones de los estados límite últimos que aseguran la capacidad portante de la estructura, establecidas en el DB-SE 4.2, son las siguientes:



Se ha comprobado que hay suficiente resistencia de la estructura portante, de todos los elementos estructurales, secciones, puntos y uniones entre elementos, porque para todas las situaciones de dimensionado pertinentes, se cumple la siguiente condición:

$$E_d \leq R_d$$

siendo

$E_d$  valor de cálculo del efecto de las acciones

$R_d$  valor de cálculo de la resistencia correspondiente

Se ha comprobado que hay suficiente estabilidad del conjunto del edificio y de todas las partes independientes del mismo, porque para todas las situaciones de dimensionado pertinentes, se cumple la siguiente condición:

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stb}$$

siendo

$E_{d,dst}$  valor de cálculo del efecto de las acciones desestabilizadoras

$E_{d,stb}$  valor de cálculo del efecto de las acciones estabilizadoras

## SE 2. APTITUD AL SERVICIO.

La estructura se ha calculado frente a los estados límite de servicio, que son los que, de ser superados, afectan al confort y al bienestar de los usuarios o de terceras personas, al correcto funcionamiento del edificio o a la apariencia de la construcción.

Los estados límite de servicio pueden ser reversibles e irreversibles. La reversibilidad se refiere a las consecuencias que excedan los límites especificados como admisibles, una vez desaparecidas las acciones que las han producido. En general se han considerado los siguientes:

- a) las deformaciones (flechas, asientos o desplomes) que afecten a la apariencia de la obra, al confort de los usuarios, o al funcionamiento de equipos e instalaciones;
- b) las vibraciones que causen una falta de confort de las personas, o que afecten a la funcionalidad de la obra;
- c) los daños o el deterioro que pueden afectar desfavorablemente a la apariencia, a la durabilidad o a la funcionalidad de la obra.

Las verificaciones de los estados límite de servicio, que aseguran la aptitud al servicio de la estructura, han comprobado su comportamiento adecuado en relación con las deformaciones, las vibraciones y el deterioro, porque se cumple, para las situaciones de dimensionado pertinentes, que el efecto de las acciones no alcanza el valor límite admisible establecido para dicho efecto en el DB-SE 4.3.

## CUMPLIMIENTO DEL DB-SE-AE. ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN.

Las acciones sobre la estructura para verificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad estructural, capacidad portante (resistencia y estabilidad) y aptitud al servicio, establecidos en el DB-SE se han determinado con los valores dados en el DB-SE-AE.

## CUMPLIMIENTO DEL DB-SE-C. CIMIENTOS.

El comportamiento de la cimentación en relación a la capacidad portante (resistencia y estabilidad) se ha comprobado frente a los **estados límite últimos** asociados con el colapso total o parcial del terreno o con el fallo estructural de la cimentación. En general se han considerado los siguientes:

- a) pérdida de la capacidad portante del terreno de apoyo de la cimentación por hundimiento, deslizamiento o vuelco;
- b) pérdida de la estabilidad global del terreno en el entorno próximo a la cimentación;
- c) pérdida de la capacidad resistente de la cimentación por fallo estructural; y
- d) fallos originados por efectos que dependen del tiempo (durabilidad del material de la cimentación, fatiga del terreno sometido a cargas variables repetidas).

Las verificaciones de los estados límite últimos, que aseguran la capacidad portante de la cimentación, son las siguientes:

En la comprobación de estabilidad, el equilibrio de la cimentación (estabilidad al vuelco o estabilidad frente a la subpresión) se ha verificado, para las situaciones de dimensionado pertinentes, cumpliendo la condición:

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stb}$$

siendo

$E_{d,dst}$  el valor de cálculo del efecto de las acciones desestabilizadoras;

$E_{d,stb}$  el valor de cálculo del efecto de las acciones estabilizadoras.

En la comprobación de resistencia, la resistencia local y global del terreno se ha verificado, para las situaciones de dimensionado pertinentes, cumpliendo la condición:

$$E_d \leq R_d$$

siendo

$E_d$  el valor de cálculo del efecto de las acciones;

$R_d$  el valor de cálculo de la resistencia del terreno.

La comprobación de la resistencia de la cimentación como elemento estructural se ha verificado cumpliendo que el valor de cálculo del efecto de las acciones del edificio y del terreno sobre la cimentación no supera el valor de cálculo de la resistencia de la cimentación como elemento estructural.

El comportamiento de la cimentación en relación a la aptitud al servicio se ha comprobado frente a los estados límite de servicio asociados con determinados requisitos impuestos a las deformaciones del terreno por razones estéticas y de servicio. En general se han considerado los siguientes:

- a) los movimientos excesivos de la cimentación que puedan inducir esfuerzos y deformaciones anormales en el resto de la estructura que se apoya en ellos, y que aunque no lleguen a romperla afecten a la apariencia de la obra, al confort de los usuarios, o al funcionamiento de equipos e instalaciones;
- b) las vibraciones que al transmitirse a la estructura pueden producir falta de confort en las personas o reducir su eficacia funcional;
- c) los daños o el deterioro que pueden afectar negativamente a la apariencia, a la durabilidad o a la funcionalidad de la obra.

La verificación de los diferentes estados límite de servicio que aseguran la aptitud al servicio de la cimentación, es la siguiente:

El comportamiento adecuado de la cimentación se ha verificado, para las situaciones de dimensionado pertinentes, cumpliendo la condición:

$$E_{ser} \leq C_{lim} \quad \text{siendo,}$$

$E_{ser}$  el efecto de las acciones;

$C_{lim}$  el valor límite para el mismo efecto.

Los diferentes tipos de cimentación requieren, además, las siguientes comprobaciones y criterios de verificación, relacionados más específicamente con los materiales y procedimientos de construcción empleados:

### CIMENTACIONES DIRECTAS.

En el comportamiento de las cimentaciones directas se ha comprobado que el coeficiente de seguridad disponible con relación a las cargas que producirían el agotamiento de la resistencia del terreno para cualquier mecanismo posible de rotura, es adecuado. Se han considerado los estados límite últimos siguientes: a) hundimiento; b) deslizamiento; c) vuelco; d) estabilidad global; y e) capacidad estructural del cimient; verificando las comprobaciones generales expuestas.

En el comportamiento de las cimentaciones directas se ha comprobado que las tensiones transmitidas por las cimentaciones dan lugar a deformaciones del terreno que se traducen en asientos, desplazamientos horizontales y giros de la estructura que no resultan excesivos y que no podrán originar una pérdida de la funcionalidad, producir fisuraciones, agrietamientos, u otros daños. Se han considerado los estados límite de servicio siguientes: a) los movimientos del terreno son admisibles para el edificio a construir; y b) los movimientos inducidos en el entorno no afectan a los edificios colindantes; verificando las comprobaciones generales expuestas y las comprobaciones adicionales del DB-SE-C 4.2.2.3.

## ELEMENTOS DE CONTENCIÓN.

En el comportamiento de los elementos de contención se han considerado los estados límite últimos siguientes: a) estabilidad; b) capacidad estructural; y c) fallo combinado del terreno y del elemento estructural; verificando las comprobaciones generales expuestas.

En el comportamiento de los elementos de contención se han considerado los estados límite de servicio siguientes: a) movimientos o deformaciones de la estructura de contención o de sus elementos de sujeción que puedan causar el colapso o afectar a la apariencia o al uso eficiente de la estructura, de las estructuras cercanas o de los servicios próximos; b) infiltración de agua no admisible a través o por debajo del elemento de contención; y c) afección a la situación del agua freática en el entorno con repercusión sobre edificios o bienes próximos o sobre la propia obra; verificando las comprobaciones generales expuestas.

Las diferentes tipologías, además, requieren las siguientes comprobaciones y criterios de verificación:

En los cálculos de estabilidad de las pantallas, en cada fase constructiva, se han considerado los estados límite siguientes: a) estabilidad global; b) estabilidad del fondo de la excavación; c) estabilidad propia de la pantalla; d) estabilidad de los elementos de sujeción; e) estabilidad en las edificaciones próximas; f) estabilidad de las zanjas, en el caso de pantallas de hormigón armado; y g) capacidad estructural de la pantalla; verificando las comprobaciones generales expuestas.

En la comprobación de la estabilidad de un muro, en la situación pésima para todas y cada una de las fases de su construcción, se han considerado los estados límite siguientes: a) estabilidad global; b) hundimiento; c) deslizamiento; d) vuelco; y e) capacidad estructural del muro; verificando las comprobaciones generales expuestas.

## ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO.

En las excavaciones se han tenido en cuenta las consideraciones del DB-SE-C 7.2 y en los estados límite últimos de los taludes se han considerado las configuraciones de inestabilidad que pueden resultar relevantes; en relación a los estados límite de servicio se ha comprobado que no se alcanzan en las estructuras, viales y servicios del entorno de la excavación.

En el diseño de los rellenos, en relación a la selección del material y a los procedimientos de colocación y compactación, se han tenido en cuenta las consideraciones del DB-SE-C 7.3, que se deberán seguir también durante la ejecución.

En la gestión del agua, en relación al control del agua freática (agotamientos y rebajamientos) y al análisis de las posibles inestabilidades de las estructuras enterradas en el terreno por roturas hidráulicas (subpresión, sifonamiento, erosión interna o tubificación) se han tenido en cuenta las consideraciones del DB-SE-C 7.4, que se deberán seguir también durante la ejecución.

## CUMPLIMIENTO DEL DB-SE-F. FÁBRICA.

En relación a los estados límite se han verificado los definidos con carácter general en el DB SE 3.2, siguiendo las consideraciones del apartado 3 del DB-SE-F:

- a) capacidad portante (estados límite últimos).
- b) aptitud al servicio (estados límite de servicio).

Se han dispuesto juntas de movimiento para permitir dilataciones térmicas y por humedad, fluencia y retracción, las deformaciones por flexión y los efectos de las tensiones internas producidas por cargas verticales o laterales, sin que la fábrica sufra daños, teniendo en cuenta, para las fábricas sustentadas, las distancias de la tabla 2.1.

En la comprobación frente a los estados límites últimos de los muros sometidos predominantemente a carga vertical, se ha verificado la resistencia a compresión vertical; y en el comportamiento de la estructura frente a acciones horizontales se ha verificado su resistencia a esfuerzo cortante; y también se ha considerado la combinación del esfuerzo normal y del esfuerzo cortante más desfavorable.

El comportamiento de los muros con acciones laterales locales en relación a la resistencia se ha comprobado frente al estado límite último de flexión.

Zaragoza, Enero del 2.008

Los Arquitectos



Joaquín Lahuerta Casanova

José M<sup>a</sup> Lahuerta Casanova

José M<sup>a</sup> Ruiz de Temiño Bueno