

# Código Estructural

## Estructuras de Hormigón

El presente apartado sirve de justificación a las soluciones constructivas adoptadas para cumplir con las exigencias básicas en materia de seguridad estructural para las estructuras de hormigón, según el Real Decreto 470/2021, de 29 de junio, por el que se aprueba el Código Estructural.

Se establecen estos requisitos con el fin de conseguir resistencia y estabilidad ante las acciones previstas y una adecuada aptitud conforme al uso previsto.

		Procede	No procede
Verificación de la seguridad estructural en elementos y estructuras de hormigón	Elementos estructurales de hormigón armado	X	
	Estructuras de hormigón armado	X	

### Descripción general del edificio y de los forjados y elementos estructurales de hormigón:

Edificio agroindustrial de planta rectangular, de 1200 m<sup>2</sup> de superficie, con unas dimensiones de 20 m de ancho y 60 m de fondo situado en la localidad de Navalcarnero (Madrid). La agroindustria presenta una zona administrativa (recepción, oficinas, laboratorio y aseos), en dos plantas, con una superficie total de 10 x 60 m<sup>2</sup> en cada piso.

La estructura de la parte de oficinas es de dos plantas con forjados unidireccionales de hormigón prefabricado sobre vigas y pilares de hormigón armado. Los pilares se apoyan sobre zapatas aisladas de hormigón armado.

**Código estructural**

**Estructuras de Hormigón**

**Datos generales de proyecto**

**Hipótesis de trabajo**

Declaración de conformidad para la aplicación del Anejo 19 del Código Estructural:

Se cumplen las siguientes condiciones para dar validez a los cálculos definidos en el Anejo 19 del Código Estructural:

- La elección del sistema estructural y el procedimiento de cálculo de la estructura se ha realizado por personal debidamente cualificado y con experiencia.
- La ejecución se llevará a cabo por personal con las capacidades y experiencia adecuadas;
- Se asegura una supervisión y un control de calidad adecuados durante el proyecto y la ejecución de la obra, es decir, en las oficinas de proyecto, en la fábrica, en las plantas y en la obra
- Los materiales y productos de construcción se utilizan según se especifica en el Código Estructural
- La estructura se mantendrá de forma adecuada
- La estructura se utilizará de acuerdo con las hipótesis de proyecto.

**Gestión de la fiabilidad** (Código Estructural Anejo 18, Apartado.2)

Clase de consecuencia	Descripción	Ejemplos de obras
<input type="checkbox"/> CC3	Consecuencias graves de pérdida de vidas humanas, o consecuencias económicas, sociales o medioambientales muy importantes	Graderíos, edificios públicos en los que las consecuencias del fallo son graves (ejemplo, una sala de conciertos)
<input type="checkbox"/> CC2	Consecuencias medias de pérdida de vidas humanas, o consecuencias económicas, sociales o medioambientales considerables	Edificios residenciales y administrativos, edificios públicos en los que las consecuencias de fallo son medias (ejemplo, oficinas)
<input checked="" type="checkbox"/> CC1	<i>Consecuencias bajas de pérdida de vidas humanas, o consecuencias económicas, sociales o medioambientales despreciables</i>	<i>Edificios agrícolas en los que normalmente no entre gente (ejemplo, almacenes) o invernaderos</i>
Clase de fiabilidad	Valor mínimo $\beta$ (Período referencia: 1 año)	Valor mínimo $\beta$ (Período referencia: 50 años)
<input type="checkbox"/> RC3	5,2	4,3
<input type="checkbox"/> RC2	4,7	3,8
<input checked="" type="checkbox"/> RC1	4,2	3,3
Clase de fiabilidad	Factor multiplicador en el cálculo de acciones $K_{IF}$	
<input type="checkbox"/> RC3	1,1 (Aplicable solo a las acciones desfavorables. El resto tendría un valor 1,0)	
<input type="checkbox"/> RC2	1,0	
<input checked="" type="checkbox"/> RC1	0,9	

**Vida útil de la estructura:**

Categoría de vida útil	Vida útil nominal (años)	Ejemplos de estructuras
1 (10 años)		Estructuras temporales
2 (10 a 25 años)		Partes reemplazables de la estructura, por ejemplo: vigas carril, aparatos de apoyo, etc.
3 (15 a 30 años)	25 años	Estructuras agrícolas y similares
4 (50 años)		Estructuras de edificación y otras estructuras comunes
5 (100 años)		Estructuras de edificios monumentales, puentes y otras estructuras de ingeniería civil

**Situaciones de proyecto**

<input checked="" type="checkbox"/>	Persistentes, que se refieren a las condiciones de uso normal
<input type="checkbox"/>	Transitorias, que se refieren a condiciones temporales aplicables a la estructura, por ejemplo, durante su ejecución o reparación
<input type="checkbox"/>	Accidentales, que se refieren a condiciones excepcionales aplicables a la estructura o a su exposición, por ejemplo, al fuego, impacto o las consecuencias de un fallo localizado
<input type="checkbox"/>	Sísmicas, que se refieren a las condiciones aplicables a la estructura cuando esté sometida a efectos sísmicos

**Acciones. Valores característicos considerados (según documento SE-AE)**

	<b>Forjado 1</b>	<b>Forjado 2 (cubierta)</b>
Peso propio elemento:	25 kN/m <sup>3</sup> en pilares y vigas	25 kN/m <sup>3</sup> en pilares y vigas
Peso propio de los forjados:	2.7 kN/m <sup>2</sup>	3 kN/m <sup>2</sup>
Resto cargas permanentes (tabiquería, solados y falsos techos):	2 kN/m <sup>2</sup>	0,8 kN/m <sup>2</sup>
Fuerzas de pretensado:	No procede	No procede
Sobrecarga de uso:	2 kN/m <sup>2</sup> + 2 kN (puntual)	0.4 kN/m <sup>2</sup> + 1 kN (puntual)
Sobrecarga de nieve:	No procede	0.6 kN/m <sup>2</sup>
Sobrecarga de viento (máxima):	0.473 kN/m <sup>2</sup> (presión interior)	0,169(presión)+0.338 (succión interior)
Acciones térmicas:	No procede	No procede
Acciones accidentales:	No procede	No procede
Acciones sísmicas:	No procede	No procede
Asientos/movimientos diferenciales:	No procede	No procede

**Características de los materiales**
**Características de los materiales. Hormigón**

Tipo de hormigón empleado	Pilares y vigas	Forjados	Cimentaciones
<input checked="" type="checkbox"/> Convencional	Sí	Sí	Sí
<input type="checkbox"/> Autocompactante	-	-	-
<input type="checkbox"/> Alta resistencia	-	-	-
<input type="checkbox"/> Con fibras	-	-	-
<input type="checkbox"/> Con áridos ligeros o proyectados	-	-	-

Característica	Pilares y vigas	Forjados	Cimentaciones
Designación del hormigón	HA-25 / F / 15 / XC1		
Resistencia característica del hormigón (f <sub>ck</sub> )	25 MPa		
Consistencia	Fluida		
Tamaño máximo de árido	15mm		
Ambiente	XC1		
Recubrimiento mínimo	20 mm		
Recubrimiento nominal	30 mm		
Tipo de cemento	CEM II		
Máxima relación agua/cemento	0.60		
Mínimo contenido de cemento	275 kg/m <sup>3</sup>		

**Características de los materiales. Acero para armar**

Característica	Pilares y vigas	Forjados	Cimentaciones
Designación del acero	B 500 S		
Resistencia característica del acero (f <sub>yk</sub> )	500 MPa		
Tipo de ductilidad	Normal		

**Coefficientes parciales de seguridad para los materiales**

Control de Ejecución	Hormigón (γ <sub>c</sub> )	Acero (γ <sub>s</sub> )
<input checked="" type="checkbox"/> Normal	1,5 (Situación permanente o transitoria) 1,3 (Situación accidental)	1,15 (Situación permanente o transitoria) 1,0 (Situación accidental)
<input type="checkbox"/> Intenso	1,4 (Elementos convencionales) 1,35 (Elementos prefabricados) Se requiere que el hormigón esté en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido (D.O.R.).	1,10 Se requiere que el acero esté en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido (D.O.R.).

**Coefficientes parciales de seguridad para las acciones**

Acción	Coefficiente parcial de seguridad
<input type="checkbox"/> Retracción	γ <sub>sh</sub> = 1,0
<input type="checkbox"/> Pretensado	γ <sub>P,fav</sub> = 1,0 (ELU en situaciones normales. Efecto favorable) γ <sub>P,fav</sub> = 1,0 (ELU en situaciones transitoria y accidental) γ <sub>P,unfav</sub> = 1,3 (Estado límite de inestabilidad con pretensado exterior si el efecto es desfavorable) γ <sub>P,unfav</sub> = 1,2 (Efectos locales)

<input type="checkbox"/> Fatiga	$\gamma_{F, fat} = 1,0$
---------------------------------	-------------------------

## Análisis Estructural

### Estructura

Descripción del sistema estructural: *Pórticos de hormigón armado constituidos por pilares de sección cuadrada y por vigas de canto variable en zona de oficinas, según planos.*

*Sobre estos pórticos se apoyan forjados unidireccionales prefabricados de canto 25+5/70 de bovedilla aligerante de hormigón vibrado. Estarán formados por viguetas pretensadas, con intereje de 70 cm, canto de bovedilla 25 cm, canto de la losa superior 5 cm.*

*Zapatas aisladas de hormigón armado bajo los pilares unidas con vigas de atado.*

### Programa de cálculo

Nombre comercial: *CYPECAD*

Empresa: *Cype Ingenieros  
Avenida Eusebio Sempere nº5  
Alicante.*

Descripción del programa: idealización de la estructura: simplificaciones efectuadas.

*El programa realiza un cálculo espacial en tres dimensiones por métodos matriciales de rigidez, formando las barras los elementos que definen la estructura: pilares, vigas, brochales y viguetas. Se establece la compatibilidad de deformación en todos los nudos considerando seis grados de libertad y se crea la hipótesis de indeformabilidad del plano de cada planta, para simular el comportamiento del forjado, impidiendo los desplazamientos relativos entre nudos del mismo.*

*A los efectos de obtención de solicitaciones y desplazamientos, para todos los estados de carga se realiza un cálculo estático y se supone un comportamiento lineal de los materiales, por tanto, un cálculo en primer orden.*

### Elementos considerados en el análisis (Código Estructural, Anejo 19, apartado 5.3)

Tipo de elemento	Definición
<input checked="" type="checkbox"/> Vigas	Elemento cuya luz es mayor que 3 veces el canto total de la sección.
<input type="checkbox"/> Vigas de gran canto	Elemento cuya luz es menor que 3 veces el canto total de la sección.
<input checked="" type="checkbox"/> Pilares	Elemento cuyo canto es inferior a 4 veces su ancho, y su altura es al menos 3 veces el canto de la sección.
<input type="checkbox"/> Muros	Elemento que no cumple las especificaciones para pilar
<input type="checkbox"/> Losas	Elemento cuya dimensión mínima del paño es mayor que 5 veces el espesor total de la losa
<input type="checkbox"/> Losas unidireccionales	Una losa sometida principalmente a cargas uniformemente distribuidas puede considerarse como unidireccional si cumple alguna de las siguientes condiciones: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Posee 2 bordes libres (sin sustentación) y prácticamente paralelos, o</li> <li>• Se trata de la parte central de una losa prácticamente rectangular apoyada en cuatro bordes, cuya relación entre la mayor y la menor luz debe ser mayor que 2</li> </ul>
<input checked="" type="checkbox"/> Zapatas aisladas	Se calculan como vigas sometidas a flexión.

### Secciones

Descripción: *Pilares y vigas según planos.*

Dimensiones y armado: *Pilares 1 a 12 según planos de 2,58 metros de altura y sección de 0,3 x 0,3 m. Armados con 4 redondos  $\Phi = 12$  mm en las esquinas y estribos de  $\Phi = 6$  mm, separados entre sí 15 cm*

*Vigas 1 a 10 según planos de 4,3 m de luz y sección de 0,25 x 0,4 m. Armadas según planos con redondos de 10 y 12 mm de diámetro en la cara superior e inferior. Estribos de 8 mm de diámetro, separados entre sí 15 cm*

*Las armaduras longitudinales y transversales cumplen en todos los casos con las cuantías mínimas y máximas indicadas en el Anejo 19 del Código Estructural.*

Condiciones de ejecución:

*El recubrimiento de las armaduras longitudinales será el establecido en el Artículo 44.2.1 del Código Estructural, según clase de exposición, tipo de cemento, resistencia característica del hormigón y vida útil de la estructura.*

*Los anclajes y empalmes de las barras se han calculado de acuerdo al artículo 49.5 del Código Estructural y quedan reflejados en los planos correspondientes*

### Imperfecciones geométricas

Tipo de elemento	Observaciones
<input checked="" type="checkbox"/> Elementos aislados	<input checked="" type="checkbox"/> Imperfección considerada como una excentricidad (Código estructural Anejo 19, Apartado 5.2 (7.a)) <input type="checkbox"/> Imperfección considerada como una fuerza transversal en la posición del momento máximo (Apartado 5.2 (7.b))
<input type="checkbox"/> Estructuras	El efecto de la inclinación se puede representar por medio de las fuerzas transversales, que deberán incluirse en el análisis junto con el resto de acciones (Apartado 5.2 (8)) sobre: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de arriostramiento</li> <li>• Diafragma de planta</li> <li>• Diafragma de cubierta</li> </ul>

### Diagrama tensión-deformación del hormigón

Diagrama	Descripción
<input type="checkbox"/> Análisis no lineal	Diagrama tensión - deformación para el análisis no lineal según las prescripciones recogidas en el apartado 3.1.5 del Anejo 19.
<input checked="" type="checkbox"/> Parábola - Rectángulo	<i>Diagrama tensión-deformación para el cálculo de secciones transversales, siguiéndose las prescripciones recogidas en el punto (1) del apartado 3.1.5 del Anejo 19.</i>
<input type="checkbox"/> Bilineal	Diagrama tensión - deformación para el cálculo de secciones transversales, siguiéndose las prescripciones recogidas en el punto (2) del apartado 3.1.5 del Anejo 19.
<input type="checkbox"/> Distribución rectangular	Se puede emplear una distribución rectangular de secciones para el cálculo de secciones transversales, siguiéndose las prescripciones recogidas en el punto (3) del apartado 3.1.5 del Anejo 19.
<input type="checkbox"/> Otro diagrama simplificado	Se puede emplear otro diagrama simplificado que garantice el mismo nivel de seguridad. Especificar detalles en caso de su utilización.

### Diagrama tensión- deformación del acero para armar

Tipo de armadura	Cláusulas
<input checked="" type="checkbox"/> Pasivas	<i>Se debe garantizar el cumplimiento de las prescripciones recogidas en el apartado 3.2 del Anejo 19 del Código Estructural.</i>
<input type="checkbox"/> Activas	Se deberá garantizar el cumplimiento de las prescripciones recogidas en el apartado 3.3 del Anejo 19
Diagrama	Descripción
<input checked="" type="checkbox"/> Bilineal con rama horizontal	<i>Diagrama tensión-deformación del acero para armar según las prescripciones recogidas en el apartado 3.2.7 del Anejo 19, con una rama horizontal superior. Sin necesidad de comprobar el límite de deformación.</i>
<input type="checkbox"/> Bilineal con rama inclinada	Diagrama tensión - deformación del acero para armar según las prescripciones recogidas en el apartado 3.2.7 del Anejo 19, con una rama superior inclinada. El límite de deformación y la tensión máxima deben comprobarse, y situarse dentro de los valores máximos establecidos en el punto (2) a. del mencionado apartado.

### Análisis Estructural

Tipo de análisis	Descripción
<input checked="" type="checkbox"/> Elástico lineal	Son de aplicación las prescripciones del apartado 5.4 del anejo 19. Se puede realizar un cálculo basado en la teoría de la elasticidad para el cálculo de elementos en ELU y ELS. La determinación de los efectos de las acciones se puede realizar suponiendo: <ol style="list-style-type: none"> <li>i. Secciones fisuradas</li> <li>ii. Diagrama de tensión – deformación lineal y</li> <li>iii. Valor medio del módulo de elasticidad</li> </ol>

	Si existieran acciones térmicas, asientos diferenciales o retracción, consultar el punto (3) del apartado 5.4.	
<input type="checkbox"/> Elástico lineal con redistribuciones limitadas	Son de aplicación las prescripciones del apartado 5.5 del anejo 19. Se podrá aplicar en el análisis de los elementos estructurales para el cálculo de ELU. El momento calculado en ELU utilizando el análisis elástico lineal, puede redistribuirse siempre que la distribución resultante de momentos permanezca en equilibrio con las cargas aplicadas. Consideraciones específicas para algunos elementos: <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Vigas continuas y losas. Seguir las observaciones del punto (4) del apartado 5.5.</li> <li>ii. Pilares. Se emplearán los momentos elásticos de la acción de la estructura sin redistribución alguna.</li> </ul>	
<input type="checkbox"/> Plástico	Son de aplicación las prescripciones del apartado 5.6 del anejo 19, incluyendo modelos de bielas y tirantes. Estos métodos se emplearán exclusivamente para comprobaciones ELU, y garantizando que la ductilidad de las secciones críticas sea suficiente para que se forme el mecanismo previsto. El análisis plástico puede basarse en uno de los siguientes métodos: <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Límite inferior (estático)</li> <li>ii. Límite superior (cinemático)</li> </ul> Se deberán cumplir las condiciones indicadas para el análisis plástico de vigas, estructuras y losas (apartado 5.6.2), la capacidad de giro (apartado 5.6.3) y los modelos de bielas y tirantes (apartado 5.6.4).	
<input type="checkbox"/> No lineal	Son de aplicación las prescripciones del apartado 5.7 del anejo 19. Estos métodos se podrán emplear tanto para comprobaciones ELU como ELS, siempre que se cumpla el equilibrio y la compatibilidad, además de suponer un comportamiento no lineal adecuado de los materiales. El análisis puede ser de 1º orden o 2º orden.	
<b>Tipo de efectos</b>	<b>Descripción</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> Efectos de 1º orden	<i>Se han ignorado los efectos de segundo orden en el cálculo de pilares, dado que se trata de elementos de edificación y se ha comprobado que no se exceden los valores límites indicados en el apartado 5.8.6(2):</i>	
	<input checked="" type="checkbox"/> Elementos aislados	<i>La esbeltez del elemento (<math>\lambda</math>) es inferior a la esbeltez límite (<math>\lambda_{lim}</math>) calculada, conforme a los apartados 5.8.3.1 y 5.8.3.2.</i>
	<input type="checkbox"/> Elementos no aislados	La carga vertical total ( $F_{v,Ed}$ ), en elementos arriostrados y en elementos de arriostramiento, es inferior al valor límite indicado en la ecuación 5.18 (apartado 5.8.3.3).
<input type="checkbox"/> Efectos de 2º orden	Se han tenido en cuenta porque se puede afectar de forma significativa a la estabilidad global de la estructura, así como el cumplimiento del ELU en secciones críticas, y se superan los límites indicados en el apartado 5.8.6(2). Indicar el procedimiento empleado en su consideración.	
	<input type="checkbox"/> Método general	Son de aplicación las prescripciones del apartado 5.8.6 del anejo 19. Se basa en el análisis no lineal, incluyendo la no linealidad de la geometría, y se aplicarán las reglas generales definidas en 5.7. Puede emplearse también en el cálculo de flexión esviada (apartado 5.8.9 del anejo 19).
	<input type="checkbox"/> Método simplificado basado en la rigidez nominal	Son de aplicación las prescripciones del apartado 5.8.7 del anejo 19. Puede utilizarse para elementos aislados y estructuras completas, si los valores de la rigidez nominal se estiman de forma apropiada.
	<input type="checkbox"/> Método simplificado basado en la curvatura nominal	Son de aplicación las prescripciones del apartado 5.8.8 del anejo 19. Es más adecuado para elementos aislados. Se puede emplear también en estructuras completas si se utilizan hipótesis realistas de la distribución de la curvatura.

## Estados Límite Último (ELU) y Estados Límite de Servicio (ELS)

Las verificaciones de elementos de hormigón se llevan a cabo siguiendo el método de los estados límite, y atendiendo a las prescripciones recogidas a tal efecto en el apartado 6 del Anejo 18 del Código Estructural.

### Estados Límite Últimos (ELU)

ELU	Apartado Anejo 19	Elementos
<input checked="" type="checkbox"/> Flexión simple o compuesta (solicitaciones normales)	6.1	<input checked="" type="checkbox"/> Vigas <input checked="" type="checkbox"/> Pilares <input checked="" type="checkbox"/> Zapatas <input type="checkbox"/> Losas <input type="checkbox"/> Otros:
<input checked="" type="checkbox"/> Esfuerzo cortante	6.2.1 a 6.2.3	<input checked="" type="checkbox"/> Vigas <input checked="" type="checkbox"/> Pilares

		<input checked="" type="checkbox"/> Zapatas <input type="checkbox"/> Losas <input type="checkbox"/> Otros:
<input type="checkbox"/> Esfuerzo rasante	6.2.4 y 6.2.5	<input type="checkbox"/> Entre el alma y alas en los elementos: <input type="checkbox"/> Entre hormigones de diferentes edades en los elementos:
<input type="checkbox"/> Torsión	6.3	
<input checked="" type="checkbox"/> Punzonamiento	6.4	<input checked="" type="checkbox"/> Zapatas aisladas <input type="checkbox"/> Vigas de cimentación <input type="checkbox"/> Losas de cimentación <input type="checkbox"/> Losas macizas <input type="checkbox"/> Losas reticulares con áreas macizas en los pilares
<input type="checkbox"/> Bielas y tirantes	6.5	<p>Se pueden utilizar en las zonas donde exista una distribución no lineal de deformaciones (apoyos, junto a zonas de concentración de cargas o tensiones planas). Indicar los elementos donde se han comprobado:</p> <input type="checkbox"/> Elementos:
<input type="checkbox"/> Fatiga	6.8	<p>Se realiza únicamente en casos especiales, cuando haya estructuras y elementos estructurales que vayan a estar sometidos a ciclos de carga de forma regular como:</p> <input type="checkbox"/> Vigas carril para grúas <input type="checkbox"/> Puentes expuestos a elevadas cargas de tráfico <input type="checkbox"/> Otros:

### Estados Límite de Servicio (ELS)

ELS	Apartado Anejo 19	Descripción e información		
<input checked="" type="checkbox"/> Limitación de tensiones	7.2	<p><i>Se limita la tensión de compresión en el hormigón para evitar la fisuración longitudinal, la microfisuración o altos niveles de fluencia.</i></p> <p><i>Se limitan las tensiones de tracción en la armadura para evitar deformaciones anelásticas, así como niveles de fisuración y deformación inadmisibles.</i></p>		
<input checked="" type="checkbox"/> Control de la fisuración	7.3	Clase de exposición	Abertura máxima de la fisura permitida, $w_{max}$ (mm)	
			Hormigón armado	Hormigón pretensado
		XC1	0,4	No aplica
		Elemento	Control de la fisuración	
			Sí (Área mínima según 7.3.2)	No (Limitación separaciones y diámetros según 7.3.3)
		Vigas	Cumple	No aplica
Pilares	Cumple	No aplica		
Zapatas				
<input checked="" type="checkbox"/> Control de deformaciones	7.4	<p><i>Este apartado determina pautas generales relativas a la comprobación y aporta los siguientes valores límite a modo orientativo, y en ningún caso prescriptivo:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• (Longitud del vano / 250) para el caso de flechas en vigas, losas o voladizos bajo una combinación cuasi-permanente de cargas.</li> <li>• (Longitud del vano / 500) para el caso de deformaciones diferidas bajo una combinación cuasi-permanente de cargas.</li> </ul>		
		Método de control de la deformación		
		Limitación de la relación luz - canto	Comparación con una deformación calculada	
		<input checked="" type="checkbox"/> Se comprueba que la relación luz - canto del elemento sea inferior al valor máximo obtenido según 7.4.2	<input type="checkbox"/> Se calcula la deformación máxima sufrida por el elemento, según el apartado 7.4.3, y se comprueba con el valor máximo fijado. <input type="checkbox"/> Límites de flecha considerados:	