

Teoría y Cálculo de Estructuras Mineras y Energéticas

Tema 8. Instrucción de hormigón estructural



José Ramón Berasategui Moreno
Noemí Barral Ramón
Jokin Rico Arenal

Departamento de Transportes y Tecnología
de Proyectos y Procesos

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



Esta Instrucción es de aplicación a todas las estructuras y elementos de hormigón estructural, de edificación o de ingeniería civil, con las excepciones siguientes:

Artículo 2.º Ámbito de aplicación

- los elementos estructurales mixtos de hormigón y acero estructural y, en general, las estructuras mixtas de hormigón estructural y otro material de distinta naturaleza con función resistente;
- las estructuras en las que la acción del pretensado se introduce mediante armaduras activas fuera del canto del elemento;
- las estructuras realizadas con hormigones especiales no considerados explícitamente en esta Instrucción, tales como los pesados, los refractarios y los compuestos con serrines u otras sustancias análogas;
- las estructuras que hayan de estar expuestas normalmente a temperaturas superiores a 70 °C;
- las tuberías de hormigón empleadas para la distribución de cualquier tipo de fluido, y
- las presas.

Los elementos de hormigón estructural pueden ser construidos con hormigón en masa, armado o pretensado.

Cuando, en función de las características de la estructura, exista reglamentación específica de acciones, esta Instrucción se aplicará complementariamente a la misma.

Artículo 3.º Consideraciones generales

Todos los agentes que participan en el proyecto, construcción, control y mantenimiento de las estructuras de hormigón en el ámbito de esta Instrucción, están obligados a conocer y aplicar la misma.

Para asegurar que una estructura de hormigón satisface los requisitos establecidos en el Artículo 5º de esta Instrucción, los agentes que intervengan deben comprobar el cumplimiento de las exigencias que se establecen en la misma para el proyecto, la ejecución, el control y el mantenimiento de la estructura.

Para justificar que la estructura cumple las exigencias que establece esta Instrucción, el **Autor del Proyecto y la Dirección Facultativa** podrán:

- a) adoptar soluciones técnicas que sean conformes con los procedimientos que contempla esta Instrucción, cuya aplicación es suficiente para acreditar el cumplimiento de las exigencias establecidas en la misma, o
- b) adoptar soluciones alternativas que se aparten parcial o totalmente de los procedimientos contemplados en esta Instrucción. Para ello, el Autor del Proyecto y la Dirección Facultativa pueden, en uso de sus atribuciones, **bajo su personal responsabilidad y previa conformidad de la Propiedad, adoptar soluciones alternativas** (mediante sistemas de cálculo, disposiciones constructivas, procedimientos de control, etc., diferentes), siempre que se justifique documentalmente que la estructura cumple las exigencias de esta Instrucción porque sus prestaciones son, al menos, equivalentes a las que se obtendrían por la aplicación de los procedimientos de ésta.

Artículo 5.º Requisitos

De conformidad con la normativa vigente, y con el fin de garantizar la seguridad de las personas, los animales y los bienes, el bienestar de la sociedad y la protección del medio ambiente, las estructuras de hormigón deberán ser idóneas para su uso, durante la totalidad del período de vida útil para la que se construye. Para ello, deberán satisfacer los requisitos siguientes:

- a) seguridad y funcionalidad estructural, consistente en reducir a límites aceptables el riesgo de que la estructura tenga un comportamiento mecánico inadecuado frente a las acciones e influencias previsibles a las que pueda estar sometido durante su construcción y uso previsto, considerando la totalidad de su vida útil,

42

- b) seguridad en caso de incendio, consistente en reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios de la estructura sufran daños derivados de un incendio de origen accidental, e
- c) higiene, salud y protección del medio ambiente, en su caso, consistente en reducir a límites aceptables el riesgo de que se provoquen impactos inadecuados sobre el medio ambiente como consecuencia de la ejecución de las obras.

Se entiende por vida útil de la estructura el período de tiempo, a partir de la fecha en la que finaliza su ejecución, durante el que debe mantenerse el cumplimiento de las exigencias. Durante ese período requerirá una conservación normal, que no implique operaciones de rehabilitación. En esta Instrucción se emplea el término «vida útil» de forma equivalente a como lo hace el Código

COMENTARIOS

Tabla 5

Vida útil nominal de los diferentes tipos de estructura⁽¹⁾

| Tipo de estructura | Vida útil nominal |
|---|--------------------|
| Estructuras de carácter temporal ⁽²⁾ | Entre 3 y 10 años |
| Elementos reemplazables que no forman parte de la estructura principal (por ejemplo, barandillas, apoyos de tuberías) | Entre 10 y 25 años |
| Edificios (o instalaciones) agrícolas o industriales y obras marítimas | Entre 15 y 50 años |
| Edificios de viviendas u oficinas y estructuras de ingeniería civil (excepto obras marítimas) de repercusión económica baja o media | 50 años |
| Edificios de carácter monumental o de importancia especial | 100 años |
| Puentes y otras estructuras de ingeniería civil de repercusión económica alta | 100 años |

⁽¹⁾ Cuando una estructura esté constituida por diferentes partes, podrá adoptarse para tales partes diferentes valores de vida útil, siempre en función del tipo y características de la construcción de las mismas.

⁽²⁾ En función del propósito de la estructura (exposición temporal, etc.). En ningún caso se considerarán como estructuras de carácter temporal aquellas estructuras de vida útil nominal superior a 10 años.

5.1.1

Exigencias relativas al requisito de seguridad estructural

Para satisfacer este requisito, las estructuras deberán proyectarse, construirse, controlarse y mantenerse de forma que se cumplan unos niveles mínimos de fiabilidad para cada una de las exigencias que se establecen en los apartados siguientes, de acuerdo con el sistema de seguridad recogido en el grupo de normas europeas EN 1990 a EN 1999 «Eurocódigos Estructurales».

Se entiende que el cumplimiento de esta Instrucción, complementada por las correspondientes reglamentaciones específicas relativas a acciones, es suficiente para garantizar la satisfacción de este requisito de seguridad estructural.

5.1.1.1

Exigencia de resistencia y estabilidad

La resistencia y la estabilidad de la estructura serán las adecuadas para que no se generen riesgos inadmisibles como consecuencia de las acciones e influencias previsibles, tanto durante su fase de ejecución como durante su uso, manteniéndose durante su vida útil prevista. Además, cualquier evento extraordinario no deberá producir consecuencias desproporcionadas respecto a la causa original.

El nivel de fiabilidad que debe asegurarse en las estructuras de hormigón vendrá definido por su índice de fiabilidad, β_{50} , para un período de referencia de 50 años, que en el caso general, no deberá ser inferior a 3,8. En el caso de estructuras singulares o de estructuras de poca importancia, la Propiedad podrá adoptar un índice diferente.

Los procedimientos incluidos en esta Instrucción mediante la comprobación de los Estados Límite Últimos, junto con el resto de criterios relativos a ejecución y control, permiten satisfacer esta exigencia.

COMENTARIOS

A modo de ejemplo una interesante frase, atribuible a un antiguo presidente de la prestigiosa asociación escocesa de Ingenieros Estructurales: “La ingeniería estructural es el arte de modelizar materiales que no comprendemos del todo, en formas que no podemos analizar de un modo preciso, para soportar esfuerzos que no podemos evaluar adecuadamente, de manera que el público en general no tenga razón alguna para sospechar de la amplitud de nuestra ignorancia.”

La fiabilidad se puede definir como la capacidad de la estructura para cumplir, con una probabilidad predefinida, una función en condiciones determinadas. En cierto modo corresponde a la probabilidad de ausencia de fallo y se puede cuantificar mediante el índice de fiabilidad, β .

El índice de fiabilidad β está relacionado con la probabilidad global de fallo, P_f , según la siguiente expresión:

$$\Phi(\beta) = 1 - P_f$$

siendo $\Phi(\beta)$ la función de distribución normal $N(0,1)$.

Se recuerda que para una vida útil t , la probabilidad de fallo P_{ft} viene dado por la siguiente expresión:

$$P_{ft} = 1 - (1 - P_{f1})^t$$

lo que implica que, para una vida útil de 50 años, el índice de fiabilidad mínimo de una estructura normal será de 3,8.

La probabilidad de fallo P_f no corresponde a la frecuencia real de fallos estructurales, sino que constituye un valor nominal de seguridad que sirve de base para el desarrollo de procedimientos coherentes y rigurosos para el dimensionamiento de estructuras.

La aptitud al servicio será conforme con el uso previsto para la estructura, de forma que no se produzcan deformaciones inadmisibles, se limite a un nivel aceptable, en su caso, la probabilidad de un comportamiento dinámico inadmisibles para la confortabilidad de los usuarios y, además, no se produzcan degradaciones o fisuras inaceptables.

Se entenderá que la estructura tiene deformaciones admisibles cuando cumpla las limitaciones de flecha establecidas por las reglamentaciones específicas que sean de aplicación. En el caso de las estructuras de edificación, se utilizarán las limitaciones indicadas en el apartado 4.3.3 del Documento Básico «Seguridad Estructural» del Código Técnico de la Edificación.

Además, en ausencia de requisitos adicionales específicos (estanqueidad, etc.), las aberturas características de fisura no serán superiores a las máximas aberturas de fisura ($w_{m\acute{a}x}$) que figuran en la tabla 5.1.1.2.

5.1.1.2

Exigencia de aptitud al servicio

Tabla 5.1.1.2

| Clase de exposición, según artículo 8º | $w_{m\acute{a}x}$ [mm] | |
|---|---|---|
| | Hormigón armado (para la combinación cuasipermanente de acciones) | Hormigón pretensado (para la combinación frecuente de acciones) |
| I | 0,4 | 0,2 |
| IIa, IIb, H | 0,3 | 0,2 ⁽¹⁾ |
| IIIa, IIIb, IV, F, Qa ⁽²⁾ | 0,2 | Descompresión |
| IIIc, Qb ⁽²⁾ , Qc ⁽²⁾ | 0,1 | |

Tema 8. Instrucción de hormigón estructural

Se entenderá que un elemento estructural tiene vibraciones admisibles cuando cumpla las limitaciones establecidas por las reglamentaciones específicas que sean de aplicación. En el caso de las estructuras de edificación, se utilizarán las limitaciones indicadas en el apartado 4.3.4 del Documento Básico «Seguridad Estructural» del Código Técnico de la Edificación.

Los procedimientos incluidos en esta Instrucción mediante la comprobación de los Estados Límite de Servicio, junto con el resto de criterios relativos a ejecución y control, permiten satisfacer esta exigencia.

El nivel de fiabilidad que debe asegurarse en las estructuras de hormigón para su aptitud al servicio, vendrá definido por su índice de fiabilidad, β_{50} , para un período de 50 años, que en el caso general no deberá ser inferior a 1,5.

Para satisfacer este requisito, en su caso, las obras deberán proyectarse, construirse, controlarse y mantenerse de forma que se cumplan una serie de exigencias, entre las que se encuentra la de resistencia de la estructura frente al fuego.

El cumplimiento de esta Instrucción no es, por lo tanto, suficiente para el cumplimiento de este requisito, siendo necesario cumplir además las disposiciones del resto de la reglamentación vigente que sea de aplicación.

5.1.2

Exigencias relativas al requisito de seguridad en caso de incendio

La estructura deberá mantener su resistencia frente al fuego durante el tiempo establecido en las correspondientes reglamentaciones específicas que sean aplicables de manera que se limite la propagación del fuego y se facilite

5.1.2.1

Exigencia de resistencia de la estructura frente al fuego

Título 1.º



Bases de proyecto

Capítulo 2

Criterios de seguridad y bases de cálculo

Las exigencias del requisito de seguridad y estabilidad, así como las correspondientes al requisito de aptitud al servicio pueden ser expresadas en términos de la probabilidad global de fallo, que está ligada al índice de fiabilidad, tal como se indica en 5.1.

En la presente Instrucción se asegura la fiabilidad requerida adoptando el método de los Estados Límite, tal y como establece el Artículo 8°. Este método permite tener en cuenta de manera sencilla el carácter aleatorio de las variables de sollicitación, de resistencia y dimensionales que intervienen en el cálculo. El valor de cálculo de una variable se obtiene a partir de su principal valor representativo, ponderándolo mediante su correspondiente coeficiente parcial de seguridad.

Los coeficientes parciales de seguridad no tienen en cuenta la influencia de posibles errores humanos groseros. Estos fallos deben ser evitados mediante mecanismos adecuados de control de calidad que deberán abarcar todas las actividades relacionadas con el proyecto, la ejecución, el uso y el mantenimiento de una estructura.

Artículo 6.º

Criterios de seguridad

6.1

PRINCIPIOS

Las situaciones de proyecto a considerar son las que se indican a continuación:

Artículo 7.º Situaciones de proyecto

- Situaciones persistentes, que corresponden a las condiciones de uso normal de la estructura.

EHE/08 • Instrucción de Hormigón Estructural

- Situaciones transitorias, como son las que se producen durante la construcción o reparación de la estructura.
- Situaciones accidentales, que corresponden a condiciones excepcionales aplicables a la estructura.

Artículo 8.º

Bases de cálculo

8.1

EL MÉTODO DE LOS ESTADOS LÍMITE

8.1.1

Estados Límite

Se definen como Estados Límite aquellas situaciones para las que, de ser superadas, puede considerarse que la estructura no cumple alguna de las funciones para las que ha sido proyectada.

A los efectos de esta Instrucción, los Estados Límite se clasifican en:

- Estados Límite Últimos
- Estados Límite de Servicio
- Estado Límite de Durabilidad

Debe comprobarse que una estructura no supere ninguno de los Estados Límite anteriormente definidos en cualquiera de las situaciones de proyecto indicadas en el Artículo 7º, considerando los valores de cálculo de las acciones, de las características de los materiales y de los datos geométricos.

El procedimiento de comprobación, para un cierto Estado Límite, consiste en deducir, por una parte, el efecto de las acciones aplicadas a la estructura o a parte de ella y, por otra, la respuesta de la estructura para la situación límite en estudio. El Estado Límite quedará garantizado si se verifica, con un índice de fiabilidad suficiente, que la respuesta estructural no es inferior que el efecto de las acciones aplicadas.

Tema 8. Instrucción de hormigón estructural

Para la determinación del efecto de las acciones deben considerarse las acciones de cálculo combinadas según los criterios expuestos en el Capítulo III y los datos geométricos según se definen en el Artículo 16° y debe realizarse un análisis estructural de acuerdo con los criterios expuestos en el Capítulo V.

Para la determinación de la respuesta estructural deben considerarse los distintos criterios definidos en el Título 5°, teniendo en cuenta los valores de cálculo de los materiales y de los datos geométricos, de acuerdo con lo expuesto en el Capítulo IV.

En el caso del Estado Límite de Durabilidad, se deberá clasificar la agresividad ambiental conforme al Artículo 8° de esta Instrucción y desarrollar una estrategia eficaz según el Título 4° de esta Instrucción.

COMENTARIOS

Será necesario realizar las comprobaciones de los diferentes Estados Límite, en cada fase, considerando, como mínimo, las siguientes:

1. Fase de construcción
 - a) Diversas fases de construcción.
 - b) En el caso de hormigón pretensado, serán de especial interés la fase o fases de aplicación de la fuerza de pretensado.
2. Fases de servicio

En situación de servicio de la estructura puede resultar necesario analizar distintas fases si, por ejemplo, su puesta en servicio se realiza antes de que ciertas acciones dependientes del tiempo hayan alcanzado su valor final.

La denominación de Estados Límite Últimos engloba todos aquellos que producen el fallo de la estructura, por pérdida de equilibrio, colapso o rotura de la misma o de una parte de ella.

8.1.2

Estados Límite Últimos

Como Estados Límite Últimos deben considerarse los debidos a:

- fallo por deformaciones plásticas excesivas, rotura o pérdida de la estabilidad de la estructura o parte de ella;
- pérdida del equilibrio de la estructura o parte de ella, considerada como un sólido rígido;
- fallo por acumulación de deformaciones o fisuración progresiva bajo cargas repetidas. **FATIGA**

En la comprobación de los Estados Límite Últimos que consideran la rotura de una sección o elemento, se debe satisfacer la condición:

$$R_d \geq S_d$$

donde:

R_d Valor de cálculo de la respuesta estructural.

S_d Valor de cálculo del efecto de las acciones.

ELU de Agotamiento se estudian a nivel sección :

- Por solicitaciones normales
- Por cortante
- Por torsión
- Por punzonamiento
- Por rasante

Para la evaluación del Estado Límite de Equilibrio (Artículo 41º) se debe satisfacer la condición:

$$E_{d,estab} \geq E_{d,desestab}$$

donde:

$E_{d,estab}$ Valor de cálculo de los efectos de las acciones estabilizadoras.

$E_{d,desestab}$ Valor de cálculo de los efectos de las acciones desestabiliza-

ELU de Equilibrio se estudia a nivel global o a nivel de elemento estructural. considerada la estructura como sólido rígido.

Por ejemplo:

- Vuelco
- Deslizamiento
- ****Pandeo

El Estado Límite de Fatiga (Artículo 48º) está relacionado con los daños que puede sufrir una estructura como consecuencia de sollicitaciones variables repetidas.

En la comprobación del Estado Límite de Fatiga se debe satisfacer la condición:

$$R_F \geq S_F$$

donde:

R_F Valor de cálculo de la resistencia a fatiga.

S_F Valor de cálculo del efecto de las acciones de fatiga.

E.L.FATIGA se estudia a nivel de sección ya que es el único ELU que se usa con acciones de servicio (no se mejoran las acciones)

La denominación de Estados Límite de Servicio engloba todos aquéllos para los que no se cumplen los requisitos de funcionalidad, de comodidad o de aspecto requeridos.

En la comprobación de los Estados Límite de Servicio se debe satisfacer la condición:

8.1.3

Estados Límite de Servicio



$$C_d \geq E_d$$

EHE/08 • Instrucción de Hormigón Estructural

donde:

C_d Valor límite admisible para el Estado Límite a comprobar (deformaciones, vibraciones, abertura de fisura, etc.).

E_d Valor de cálculo del efecto de las acciones (tensiones, nivel de vibración, abertura de fisura, etc.).

8.1.4

Estado Límite de Durabilidad

Se entiende por Estado Límite de Durabilidad el producido por las acciones físicas y químicas, diferentes a las cargas y acciones del análisis estructural, que pueden degradar las características del hormigón o de las armaduras hasta límites inaceptables.

La comprobación del Estado Límite de Durabilidad consiste en verificar que se satisface la condición:

$$t_L \geq t_d$$

donde:

t_L Tiempo necesario para que el agente agresivo produzca un ataque o degradación significativa.

t_d Valor de cálculo de la vida útil.

Tema 8. Instrucción de hormigón estructural

8.2

BASES DE CÁLCULO ADICIONALES ORIENTADAS A LA DURABILIDAD

Antes de comenzar el proyecto, se deberá identificar el **tipo de ambiente** que **defina la agresividad** a la que va a estar sometido cada elemento estructural.

Para conseguir una **durabilidad adecuada**, se deberá establecer en el proyecto, y en función del tipo de ambiente, una estrategia acorde con los criterios expuestos en el Capítulo VII.

8.2.1

Definición del tipo de ambiente

El tipo de ambiente al que está sometido un elemento estructural viene definido por el conjunto de condiciones físicas y químicas a las que está expuesto, y que puede llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a los de las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural.

El tipo de ambiente viene definido por la combinación de:

- una de las clases generales de exposición, frente a la corrosión de las armaduras, de acuerdo con 8.2.2.
- las clases específicas de exposición relativas a los otros procesos de degradación que procedan para cada caso, de entre las definidas en 8.2.3.

En el caso de que un elemento estructural esté sometido a alguna clase específica de exposición, en la designación del tipo de ambiente se deberán reflejar todas las clases, unidas mediante el signo de adición «+».

Cuando una estructura contenga elementos con diferentes tipos de ambiente, el Autor del Proyecto deberá definir algunos grupos con los elementos estructurales que presenten características similares de exposición ambiental. Para ello, siempre que sea posible, se agruparán elementos del mismo tipo (por ejemplo, pilares, vigas de cubierta, cimentación, etc.), cuidando además que los criterios seguidos sean congruentes con los aspectos propios de la fase de ejecución.

Para cada grupo, se identificará la clase o, en su caso, la combinación de clases, que definen la agresividad del ambiente al que se encuentran sometidos sus elementos.

Tema 8. Instrucción de hormigón estructural

Tabla 8.2.2

Clases generales de exposición relativas a la corrosión de las armaduras

| CLASE GENERAL DE EXPOSICIÓN | | | | DESCRIPCIÓN | EJEMPLOS |
|---|---|-------------|---|--|--|
| Clase | Subclase | Designación | Tipo de proceso | | |
| No agresiva | | I | Ninguno | <ul style="list-style-type: none"> – Interiores de edificios, no sometidos a condensaciones. – Elementos de hormigón en masa. | <ul style="list-style-type: none"> – Elementos estructurales de edificios, incluido los forjados, que estén protegidos de la intemperie. |
| Normal | Humedad alta | Ila | Corrosión de origen diferente de los cloruros | <ul style="list-style-type: none"> – Interiores sometidos a humedades relativas medias altas (> 65%) o a condensaciones. – Exteriores en ausencia de cloruros, y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm. – Elementos enterrados o sumergidos. | <ul style="list-style-type: none"> – Elementos estructurales en sótanos no ventilados. – Cimentaciones. – Estribos, pilas y tableros de puentes en zonas, sin impermeabilizar con precipitación media anual superior a 600 mm. – Tableros de puentes impermeabilizados, en zonas con sales de deshielo y precipitación media anual superior a 600 mm. – Elementos de hormigón, que se encuentren a la intemperie o en las cubiertas de edificios en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm. – Forjados en cámara sanitaria, o en interiores en cocinas y baños, o en cubierta no protegida. |
| | Humedad media | IIb | Corrosión de origen diferente de los cloruros | <ul style="list-style-type: none"> – Exteriores en ausencia de cloruros, sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual inferior a 600 mm. | <ul style="list-style-type: none"> – Elementos estructurales en construcciones exteriores protegidas de la lluvia. – Tableros y pilas de puentes, en zonas de precipitación media anual inferior a 600 mm. |
| Marina | Aérea | IIIa | Corrosión por cloruros | <ul style="list-style-type: none"> – Elementos de estructuras marinas, por encima del nivel de pleamar. – Elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5 km). | <ul style="list-style-type: none"> – Elementos estructurales de edificaciones en las proximidades de la costa. – Puentes en las proximidades de la costa. – Zonas aéreas de diques, pantalanos y otras obras de defensa litoral. – Instalaciones portuarias. |
| | Sumergida | IIIb | Corrosión por cloruros | <ul style="list-style-type: none"> – Elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente, por debajo del nivel mínimo de bajar. | <ul style="list-style-type: none"> – Zonas sumergidas de diques, pantalanos y otras obras de defensa litoral. – Cimentaciones y zonas sumergidas de pilas de puentes en el mar. |
| | En zona de carrera de mareas y en zonas de salpicaduras | IIIc | Corrosión por cloruros | <ul style="list-style-type: none"> – Elementos de estructuras marinas situadas en la zona de salpicaduras o en zona de carrera de mareas. | <ul style="list-style-type: none"> – Zonas situadas en el recorrido de marea de diques, pantalanos y otras obras de defensa litoral. – Zonas de pilas de puentes sobre el mar, situadas en el recorrido de marea. |
| Con cloruros de origen diferente del medio marino | | IV | Corrosión por cloruros | <ul style="list-style-type: none"> – Instalaciones no impermeabilizadas en contacto con agua que presente un contenido elevado de cloruros, no relacionados con el ambiente marino. – Superficies expuestas a sales de deshielo no impermeabilizadas. | <ul style="list-style-type: none"> – Piscinas e interiores de los edificios que las albergan. – Pilas de pasos superiores o pasarelas en zonas de nieve. – Estaciones de tratamiento de agua. |

Tema 8. Instrucción de hormigón estructural

Tabla 8.2.3.a

Clases específicas de exposición relativas a otros procesos de deterioro distintos de la corrosión

| CLASE ESPECÍFICA DE EXPOSICIÓN | | | | DESCRIPCIÓN | EJEMPLOS |
|--------------------------------|---------------------|-------------|----------------------------|---|--|
| Clase | Subclase | Designación | Tipo de proceso | | |
| Química Agresiva | Débil | Qa | Ataque químico | <ul style="list-style-type: none"> Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad lenta (ver tabla 8.2.3.b). | <ul style="list-style-type: none"> Instalaciones industriales, con sustancias débilmente agresivas según tabla 8.2.3.b. Construcciones en proximidades de áreas industriales, con agresividad débil según tabla 8.2.3.b. |
| | Media | Qb | Ataque químico | <ul style="list-style-type: none"> Elementos en contacto con agua de mar. Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad media (ver tabla 8.2.3.b). | <ul style="list-style-type: none"> Dolos, bloques y otros elementos para diques. Estructuras marinas, en general. Instalaciones industriales con sustancias de agresividad media según tabla 8.2.3.b. Construcciones en proximidades de áreas industriales, con agresividad media según tabla 8.2.3.b. Instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales con sustancias de agresividad media según tabla 8.2.3.b. |
| | Fuerte | Qc | Ataque químico | <ul style="list-style-type: none"> Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad rápida (ver tabla 8.2.3.b). | <ul style="list-style-type: none"> Instalaciones industriales, con sustancias de agresividad alta de acuerdo con tabla 8.2.3.b. Instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales, con sustancias de agresividad alta de acuerdo con tabla 8.2.3.b. Construcciones en proximidades de áreas industriales, con agresividad fuerte según tabla 8.2.3.b. |
| Con heladas | Sin sales fundentes | H | Ataque hielo-deshielo | <ul style="list-style-type: none"> Elementos situados en contacto frecuente con agua, o zonas con humedad relativa media ambiental en invierno superior al 75%, y que tengan una probabilidad anual superior al 50% de alcanzar al menos una vez temperaturas por debajo de -5°C. | <ul style="list-style-type: none"> Construcciones en zonas de alta montaña. Estaciones invernales. |
| | Con sales fundentes | F | Ataque por sales fundentes | <ul style="list-style-type: none"> elementos destinados al tráfico de vehículos o peatones en zonas con más de 5 nevadas anuales o con valor medio de la temperatura mínima en los meses de invierno inferior a 0°C. | <ul style="list-style-type: none"> Tableros de puentes o pasarelas en zonas de alta montaña, en las que se utilizan sales fundentes. |
| Erosión | | E | Abrasión cavitación | <ul style="list-style-type: none"> Elementos sometidos a desgaste superficial. Elementos de estructuras hidráulicas en los que la cota piezométrica pueda descender por debajo de la presión de vapor del agua. | <ul style="list-style-type: none"> Pilas de puente en cauces muy torrenciales. Elementos de diques, pantalanos y otras obras de defensa litoral que se encuentren sometidos a fuertes oleajes. Pavimentos de hormigón. Tuberías de alta presión. |

ACCIONES POR SU NATURALEZA

Directas: Se aplican directamente sobre la estructura. peso propio, resto cargas permanentes, sobrecargas de uso

Indirectas: deformaciones o aceleraciones impuestas capaces de dar lugar a fuerzas. Se aplican a través de propiedades de la estructura y dependen de la forma de esta. Variaciones térmicas, asentos de la cimentación, acciones reológicas, sísmicas

VARIACIÓN CON EL TIEMPO:

PERMANENTES: actúan en todo y ctes en magnitud y posición. Peso propio, accesorios, embebidos

P. VALOR NO CONSTANTE: PRETENSADO

VARIABLES: Pueden actuar o no sobre toda la estructura. Sobre cargas de uso, proceso constructivo

ACCIDENTALES: Aquellas cuya probabilidad baja y gran importancia. Impactos, explosiones (*sísmicos)

Capítulo 3

Acciones

Las acciones a considerar en el proyecto de una estructura o elemento estructural serán las establecidas por la reglamentación específica vigente o en su defecto las indicadas en esta Instrucción.

Las acciones se pueden clasificar según su naturaleza en acciones directas (cargas) e indirectas (deformaciones impuestas).

Las acciones se pueden clasificar por su variación en el tiempo en Acciones Permanentes (G), Acciones Permanentes de Valor no Constante (G*), Acciones Variables (Q) y Acciones Accidentales (A).

Artículo 9.º Clasificación de las acciones

Artículo 10.º

Valores característicos de las acciones

El valor característico de una acción puede venir determinado por un valor medio, un valor nominal o, en los casos en que se fije mediante criterios estadísticos, por un valor correspondiente a una determinada probabilidad de no ser superado durante un período de referencia, que tiene en cuenta la vida útil de la estructura y la duración de la acción. Los valores característicos de las acciones son los definidos en la reglamentación específica aplicable.

10.1

GENERALIDADES



Para las acciones permanentes en las cuales se prevean dispersiones importantes, o en aquellas que puedan tener una cierta variación durante el período de servicio de la estructura, se tomarán los valores característicos superior e inferior. En caso contrario es suficiente adoptar un único valor.

En general, para el peso propio de la estructura se adoptará como acción característica un único valor deducido de las dimensiones nominales y de los pesos específicos medios. Para los elementos de hormigón se tomarán las siguientes densidades:

| | | |
|-------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Hormigón en masa: | 2.300 kg/m ³ | si $f_{ck} \leq 50$ N/mm ² |
| | 2.400 kg/m ³ | si $f_{ck} > 50$ N/mm ² |
| Hormigón armado y pretensado: | 2.500 kg/m ³ | |

10.2

VALORES CARACTERÍSTICOS DE LAS ACCIONES PERMANENTES

Aunque el hormigón de alta resistencia sin armaduras es más denso que el hormigón convencional, las cuantías habituales de armaduras no justifican un aumento de la densidad del hormigón armado y pretensado por encima de los 2.500 kg/m³. No obstante cuando las cuantías volumétricas de armadura sean

COMENTARIOS

10.3

VALORES

CARACTERÍSTICOS DE LAS ACCIONES PERMANENTES DE VALOR NO CONSTANTE

Para la determinación de las acciones reológicas, se considerarán como valores característicos los correspondientes a las deformaciones de retracción y fluencia establecidos en el Artículo 39°.

VALORES CARACTERÍSTICOS DE LA ACCIÓN DEL PRETENSADO

10.4.1

Consideraciones generales

En general las acciones debidas al pretensado en un elemento estructural se deducen de las fuerzas de pretensado de los tendones que constituyen su armadura activa. Estas acciones varían a lo largo de su trazado y en el transcurso del tiempo.

En cada tendón, por medio del gato o elemento de tesado utilizado, se aplica una fuerza, denominada fuerza de tesado, que a la salida del anclaje, del lado del hormigón, toma el valor de P_0 , que vendrá limitado por los valores indicados en 20.2.1.

En cada sección se calculan las pérdidas instantáneas de fuerza ΔP_i y las pérdidas diferidas de fuerza ΔP_{dif} , según 20.2.2 y 20.2.3. A partir de los valores P_0 , ΔP_i y ΔP_{dif} , se calcula el valor característico de la fuerza de pretensado P_k en cada sección y fase temporal según 10.4.2.

COMENTARIOS

La fuerza proporcionada por el gato o elemento utilizado para la puesta en tensión del tendón es la única que puede conocerse con precisión en obra o en fábrica, si se lleva un control adecuado de las operaciones de tesado. Las pérdidas de fuerza que se localizan tanto en los elementos de tesado como en los anclajes, constituyen una característica del sistema de pretensado utilizado.

La fuerza de tesado P_0 es, por consiguiente, la carga proporcionada por el gato deducidas las pérdidas de fuerza propias del sistema, entre las que no se incluyen las de penetración de cuñas si existen.

10.4.2

Valor característico de la fuerza de pretensado

El valor característico de la fuerza de pretensado en una sección y fase cualquiera es:

$$P_k = P_0 - \Delta P_i - \Delta P_{dif}$$

El valor representativo de una acción es el valor de la misma utilizado para la comprobación de los Estados Límite.

Una misma acción puede tener uno o varios valores representativos.

El valor representativo de una acción se obtiene afectando su valor característico, F_k , por un factor Ψ_i .



$$\Psi_i F_k$$

Como valores representativos de las acciones se tomarán los indicados en la reglamentación específica aplicable.

En general, para las acciones permanentes, el valor representativo es el valor característico.

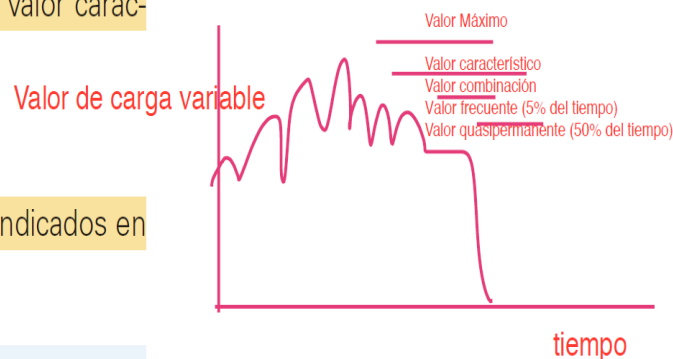
Para las acciones variables, dependiendo del tipo de estructura y de las cargas consideradas, pueden existir los siguientes valores representativos:

- Valor de combinación $\Psi_0 Q_k$. Es el valor de la acción cuando actúa con alguna otra acción variable.
- Valor frecuente $\Psi_1 Q_k$. Es el valor de la acción que es sobrepasado en sólo periodos de corta duración respecto de la vida útil de la estructura.
- Valor cuasipermanente $\Psi_2 Q_k$. Es el valor de la acción que es sobrepasado durante una gran parte de la vida útil de la estructura.

En general, para las acciones accidentales, el valor representativo es el valor característico.

Artículo 11.º

Valores representativos de las acciones



COMENTARIOS

Descripción estadística de una carga variable

Se define como valor de cálculo de una acción el obtenido como producto de un coeficiente parcial de seguridad por el valor representativo al que se refiere el Artículo 11°.

Artículo 12°

Valores de cálculo de las acciones

$$F_d = \gamma_f \Psi_i F_k$$

donde:

F_d Valor de cálculo de la acción F.

γ_f Coeficiente parcial de seguridad de la acción considerada.

Como coeficientes parciales de seguridad de las acciones para las comprobaciones de los Estados Límite Últimos se adoptan los valores de la tabla 12.1.a, siempre que la correspondiente reglamentación específica aplicable de acciones no establezca otros criterios.

En general, para las acciones permanentes, la obtención de su efecto favorable o desfavorable se determina ponderando todas las acciones del mismo origen con el mismo coeficiente, indicado en la tabla 12.1.a.

Cuando los resultados de una comprobación sean muy sensibles a las variaciones de la magnitud de la acción permanente, de una parte a otra de la estructura, las partes favorable y desfavorable de dicha acción se considerarán como acciones individuales. En particular, esto se aplica en la comprobación del Estado Límite de Equilibrio en el que para la parte favorable se adoptará un coeficiente $\gamma_G = 0,9$ y para la parte desfavorable se adoptará un coeficiente $\gamma_G = 1,1$, para situaciones de persistentes, ó $\gamma_G = 0,95$ para la parte favorable y $\gamma_G = 1,05$ para la parte desfavorable, para situaciones transitorias en fase de construcción.

Para la evaluación de los efectos locales del pretensado (zonas de anclaje, etc.) se aplicará a los tendones un esfuerzo equivalente a la fuerza caracterís-

12.1

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 | — | — | $\gamma_A = 1,00$ | $\gamma_A = 1,00$ |

COMENTARIOS

El efecto estructural producido por deformaciones impuestas depende de la rigidez de la estructura y ésta, de su grado de deterioro bajo carga. En general, para estructuras con suficiente ductilidad, para estados avanzados de carga, como los correspondientes a los Estados Límite Últimos, la rigidez es muy inferior a la de las secciones brutas, normalmente utilizada para el cálculo de los esfuerzos γ , consecuentemente, estos esfuerzos generalmente se amortiguan de forma considerable. En estos casos, si no se tiene en cuenta la degradación de la rigidez debida a la aplicación de las acciones exteriores actuantes, sus efectos podrán mayorarse con un coeficiente parcial de seguridad reducido γ_G .

En el caso de estructuras construidas con piezas prefabricadas, conviene separar las situaciones persistentes de las situaciones transitorias que afectan a la pieza prefabricada durante su fabricación, manipulación, acopio, transporte y montaje, tal como se establece en el apartado 59.1.

12.2

ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO

Como coeficientes parciales de seguridad de las acciones para las comprobaciones de los Estados Límite de Servicio se adoptan los valores de la tabla 12.2, siempre que la correspondiente reglamentación específica aplicable de acciones no establezca otros criterios.

Tabla 12.2

Coeficientes parciales de seguridad para las acciones, aplicables para la evaluación de los Estados Límite de Servicio

| Tipo de acción | | Efecto favorable | Efecto desfavorable |
|----------------------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| Permanente | | $\gamma_G = 1,00$ | $\gamma_G = 1,00$ |
| Pretensado | Armadura pretesa | $\gamma_P = 0,95$ | $\gamma_P = 1,05$ |
| | Armadura postesa | $\gamma_P = 0,90$ | $\gamma_P = 1,10$ |
| Permanente de valor no constante | | $\gamma_{G^*} = 1,00$ | $\gamma_{G^*} = 1,00$ |
| Variable | | $\gamma_Q = 0,00$ | $\gamma_Q = 1,00$ |

Para situaciones transitorias en estructuras con control intenso pretensadas con armadura pretesa se podrá adoptar como coeficiente parcial de seguridad de la acción del pretensado $\gamma_P = 1,00$ tanto si la acción es favorable como desfavorable. Para situaciones transitorias en estructuras con control

Artículo 13.º Combinación de acciones

Para cada una de las situaciones estudiadas se establecerán las posibles combinaciones de acciones. Una combinación de acciones consiste en un conjunto de acciones compatibles que se considerarán actuando 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 conco-

13.1 PRINCIPIOS GENERALES

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

13.2 ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

— 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:

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

— Situaciones sísmicas:

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

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.

En las situaciones permanentes o transitorias, cuando la acción determinante $Q_{k,1}$ no sea obvia, se valorarán distintas posibilidades considerando diferentes acciones variables como determinantes.

13.3

ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO

Para estos Estados Límite se consideran únicamente las situaciones de proyecto persistentes y transitorias. En estos casos, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

- Combinación poco probable o característica:

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

- Combinación frecuente:

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

- Combinación cuasipermanente:

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

Capítulo 4

Materiales y geometría

Tanto la determinación de la respuesta estructural como la evaluación del efecto de las acciones, deben realizarse utilizando valores de cálculo para las características de los materiales y para los datos geométricos de la estructura.

Artículo 14.º Principios generales

Artículo 15.º Materiales

A efectos de esta Instrucción, los valores característicos de la resistencia de los materiales (resistencia a compresión del hormigón y resistencia a compresión y tracción de los aceros) son los cuantiles correspondientes a una probabilidad 0,05.

En relación con la resistencia a tracción del hormigón, se utilizan dos valores característicos, uno superior y otro inferior, siendo el primero el cuantil asociado a una probabilidad de 0,95 y el segundo cuantil asociado a una probabilidad de 0,05. Estos valores característicos deben adoptarse alternativamente dependiendo de su influencia en el problema tratado.

Para la consideración de algunas propiedades utilizadas en el cálculo, se emplean como valores característicos los valores medios o nominales.

15.1 VALORES CARACTERÍSTICOS

Los valores de cálculo de las propiedades de los materiales se obtienen a partir de los valores característicos divididos por un coeficiente parcial de seguridad.

15.2 VALORES DE CÁLCULO

Los valores de los coeficientes parciales de seguridad de los materiales para el estudio de los Estados Límite Últimos son los que se indican en la tabla 15.3.

15.3 COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD DE LOS MATERIALES

Tabla 15.3

Coeficientes parciales de seguridad de los materiales para Estados Límite Últimos

| Situación de proyecto | Hormigón γ_c | Acero pasivo y activo γ_s |
|---------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| Persistente o transitoria | 1,5 | 1,15 |
| Accidental | 1,3 | 1,0 |

Los coeficientes de la tabla 15.3 no son aplicables a la comprobación del Estado Límite Último de Fatiga, que se comprueba de acuerdo con los criterios establecidos en el Artículo 48º ni a la comprobación frente a fuego cuando se aplica el Anejo nº 6.

Para el estudio de los Estados Límite de Servicio se adoptarán como coeficientes parciales de seguridad valores iguales a la unidad.

Artículo 16.º Geometría

Se adoptarán como valores característicos y de cálculo de los datos geométricos, los valores nominales definidos en los planos de proyecto.

16.1 VALORES CARACTERÍSTICOS Y DE CÁLCULO

$$a_k = a_d = a_{nom}$$

En algunos casos, cuando las imprecisiones relativas a la geometría tengan un efecto significativo sobre la fiabilidad de la estructura, se tomará como valor de cálculo de los datos geométricos el siguiente:

$$a_d = a_{nom} + \Delta a$$

donde Δa tiene en cuenta las posibles desviaciones desfavorables de los valores nominales, y se define de acuerdo con las tolerancias admitidas.

Capítulo 7

Durabilidad

Artículo 37.º Durabilidad del hormigón y de las armaduras

37.1 GENERALIDADES

La durabilidad de una estructura de hormigón es su capacidad para soportar, durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta, y que podrían llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural.

Una estructura durable debe conseguirse con una estrategia capaz de considerar todos los posibles factores de degradación y actuar consecuentemente sobre cada una de las fases de proyecto, ejecución y uso de la estructura. Para ello, el Autor del proyecto deberá diseñar una estrategia de durabilidad que tenga en cuenta las especificaciones de este Capítulo. Alternativamente, para los procesos de corrosión de las armaduras, podrá optar por comprobar el Estado Límite de Durabilidad según lo indicado en el apartado 1 del Anejo nº 9.

Una estrategia correcta para la durabilidad debe tener en cuenta que en una estructura puede haber diferentes elementos estructurales sometidos a distintos tipos de ambiente.

37.2 ESTRATEGIA PARA LA DURABILIDAD

37.2.1 Prescripciones generales

Para satisfacer los requisitos establecidos en el Artículo 5° será necesario seguir una estrategia que considere todos los posibles mecanismos de degradación, adoptando medidas específicas en función de la agresividad a la que se encuentre sometido cada elemento.

La estrategia de durabilidad incluirá, al menos, los siguientes aspectos:

- a) Selección de formas estructurales adecuadas, de acuerdo con lo indicado en 37.2.2.
- b) Consecución de una calidad adecuada del hormigón y, en especial de su capa exterior, de acuerdo con indicado en 37.2.3.
- c) Adopción de un espesor de recubrimiento adecuado para la protección de las armaduras, según 37.2.4 y 37.2.5.
- d) Control del valor máximo de abertura de fisura, de acuerdo con 37.2.6.
- e) Disposición de protecciones superficiales en el caso de ambientes muy agresivos, según 37.2.7.
- f) Adopción de medidas de protección de las armaduras frente a la corrosión, conforme a lo indicado en 37.4.

En el proyecto se definirán los esquemas estructurales, las formas geométricas y los detalles que sean compatibles con la consecución de una adecuada durabilidad de la estructura.

Se evitará el empleo de diseños estructurales que sean especialmente sensibles frente a la acción del agua y, en la medida de lo posible, se reducirá al mínimo el contacto directo entre ésta y el hormigón.

Además, se diseñarán los detalles de proyecto necesarios para facilitar la rápida evacuación del agua, previendo los sistemas adecuados para su conducción y drenaje (imbornales, conducciones, etc.). En especial, se procurará evitar el paso de agua sobre las zonas de juntas y sellados.

Se deberán prever los sistemas adecuados para evitar la existencia de superficies sometidas a salpicaduras o encharcamiento de agua.

Cuando la estructura presente secciones con aligeramientos u oquedades internas, se procurará disponer los sistemas necesarios para su ventilación y drenaje.

Salvo en obras de pequeña importancia, se deberá prever, en la medida de lo posible, el acceso a todos los elementos de la estructura, estudiando la conveniencia de disponer sistemas específicos que faciliten la inspección y el mantenimiento durante la fase de servicio, de acuerdo con lo indicado en el Capítulo XVIII de esta Instrucción.

372.2

Selección de la forma estructural

Un principio básico para la consecución de una estructura durable consiste en lograr, en la medida de lo posible, el máximo de aislamiento respecto al agua.

La mayoría de los ataques que sufre el hormigón están relacionados con el agua. Así, en algunos casos, provienen de sustancias disueltas que penetran a través del hormigón (por ejemplo, ataques químicos). En otras ocasiones, es el propio agua el que provoca el deterioro (por ejemplo, en mecanismos de hielo-deshielo). Finalmente, hay veces que, si bien el agua no es la causa única o suficiente, sí que es un elemento necesario para que se desarrollen los procesos de degradación (por ejemplo, en la corrosión).

COMENTARIOS

372.3

Prescripciones respecto a la calidad del hormigón

Una estrategia enfocada a la durabilidad de una estructura debe conseguir una calidad adecuada del hormigón, en especial en las zonas más superficiales donde se pueden producir los procesos de deterioro.

Se entiende por un hormigón de calidad adecuada, aquel que cumpla las siguientes condiciones:

- Selección de materias primas acorde con lo indicado en los Artículos 26° al 35°.
- Dosificación adecuada, según lo indicado en el punto 373.1, así como en el punto 373.2.
- Puesta en obra correcta, según lo indicado en el Artículo 71°.
- Curado del hormigón, según lo indicado en el apartado 71.6
- Resistencia acorde con el comportamiento estructural esperado y congruente con los requisitos de durabilidad.
- Comportamiento conforme con los requisitos del punto 373.1.

Tema 8. Instrucción de hormigón estructural

37.2.4

Recubrimientos

El recubrimiento de hormigón es la distancia entre la superficie exterior de la armadura (incluyendo cercos y estribos) y la superficie del hormigón más cercana.

A los efectos de esta Instrucción, se define como recubrimiento mínimo de una armadura pasiva aquel que debe cumplirse en cualquier punto de la misma. Para garantizar estos valores mínimos, se prescribirá en el proyecto un valor nominal del recubrimiento r_{nom} , definido como:

$$r_{nom} = r_{min} + \Delta r$$

donde:

r_{nom} Recubrimiento nominal
 r_{min} Recubrimiento mínimo
 Δr Margen de recubrimiento, en función del nivel de control de ejecución, y cuyo valor será:

- 0 mm en elementos prefabricados con control intenso de ejecución
- 5 mm en el caso de elementos ejecutados *in situ* con nivel intenso de control de ejecución, y
- 10 mm en el resto de los casos

El recubrimiento nominal es el valor que debe reflejarse en los planos, y que servirá para definir los separadores. El recubrimiento mínimo es el valor que se debe garantizar en cualquier punto del elemento y que es objeto de control, de acuerdo con lo indicado en el Artículo 95°.

En los casos particulares de atmósfera fuertemente agresiva o especiales riesgos de incendio, los recubrimientos indicados en el presente Artículo deberán ser aumentados.

Tabla 37.2.4.1.a

Recubrimientos mínimos (mm) para las clases generales de exposición I y II

| Clase de exposición | Tipo de cemento | Resistencia característica del hormigón [N/mm ²] | Vida útil de proyecto (t_p , años) | |
|---------------------|---|--|---------------------------------------|-----|
| | | | 50 | 100 |
| I | Cualquiera | $f_{ck} \geq 25$ | 15 | 25 |
| II a | CEM I | $25 \leq f_{ck} < 40$ | 15 | 25 |
| | | $f_{ck} \geq 40$ | 10 | 20 |
| | Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón | $25 \leq f_{ck} < 40$ | 20 | 30 |
| | | $f_{ck} \geq 40$ | 15 | 25 |
| II b | CEM I | $25 \leq f_{ck} < 40$ | 20 | 30 |
| | | $f_{ck} \geq 40$ | 15 | 25 |
| | Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón | $25 \leq f_{ck} < 40$ | 25 | 35 |
| | | $f_{ck} \geq 40$ | 20 | 30 |

Tabla 372.4.1.b

Recubrimiento mínimo (mm) para las clases generales de exposición III y IV

| Hormigón | Cemento | Vida útil de proyecto (t_p) (años) | Clase general de exposición | | | |
|------------|--|--|-----------------------------|------|------|----|
| | | | IIIa | IIIb | IIIc | IV |
| Armado | CEM III/A, CEM III/B, CEM IV, CEM II/B-S, B-P, B-V, A-D u hormigón con adición de microsílíce superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20% | 50 | 25 | 30 | 35 | 35 |
| | | 100 | 30 | 35 | 40 | 40 |
| | Resto de cementos utilizables | 50 | 45 | 40 | * | * |
| | | 100 | 65 | * | * | * |
| Pretensado | CEM II/A-D o bien con adición de humo de sílice superior al 6% | 50 | 30 | 35 | 40 | 40 |
| | | 100 | 35 | 40 | 45 | 45 |
| | Resto de cementos utilizables, según el Artículo 26° | 50 | 65 | 45 | * | * |
| | | 100 | * | * | * | * |

* Estas situaciones obligarían a unos recubrimientos excesivos, desaconsejables desde el punto de vista de la ejecución del elemento. En estos casos, se recomienda comprobar el Estado Límite de Durabilidad según lo indicado en el Anejo nº 9, a partir de las características del hormigón prescrito en el Pliego de prescripciones técnicas del proyecto.

En caso de mecanismos de deterioro distintos de la corrosión de las armaduras, se emplearán los valores de la tabla 372.4.1.c.

Capítulo 5

Análisis estructural

El análisis estructural consiste en la determinación de los efectos originados por las acciones sobre la totalidad o parte de la estructura, con objeto de efectuar comprobaciones en los Estados Límite Últimos y de Servicio.

Artículo 17.º Generalidades

Artículo 18.º Idealización de la estructura

Para la realización del análisis, se idealizará tanto la geometría de la estructura como las acciones y las condiciones de apoyo mediante un modelo matemático capaz de reproducir adecuadamente el comportamiento estructural dominante.

El proyecto y la disposición de armaduras deberán ser coherentes con las hipótesis del modelo de cálculo con las que se han obtenido los esfuerzos.

18.1 MODELOS ESTRUCTURALES

En ausencia de una determinación más precisa, en vigas en T se supone, para las comprobaciones a nivel de sección, que las tensiones normales se distribuyen uniformemente en un cierto ancho reducido de las alas llamado ancho eficaz.

En general, podrá considerarse un ancho eficaz para zonas con momentos que comprimen las alas y otro ancho eficaz para las zonas con momentos que traccionan las alas.

De forma aproximada puede suponerse que, en la cabeza de compresión, el ancho eficaz del ala es igual al ancho del nervio más un quinto de la distancia entre puntos de momento nulo, sin sobrepasar la anchura real del ala. Si se usa esta aproximación puede considerarse el ancho eficaz constante en toda la luz, incluyendo los segmentos cercanos a los apoyos intermedios en el caso de vigas continuas. Para vigas de borde el ancho eficaz del ala será el ancho del nervio más un décimo de la distancia entre puntos de momento nulo.

El ancho eficaz del ala, en la cabeza de tracción, puede considerarse igual al ancho del nervio más ocho veces el espesor del ala, o cuatro veces en vigas de borde, sin sobrepasar el ancho real.

Los puntos de momento nulo mencionados en el articulado pueden considerarse fijos, en la práctica, para todas las hipótesis realizadas. Pueden, asimismo, obtenerse a partir de las leyes de momentos debidas a cargas permanentes.

18.2

DATOS GEOMÉTRICOS

18.2.1

Ancho eficaz del ala en piezas lineales

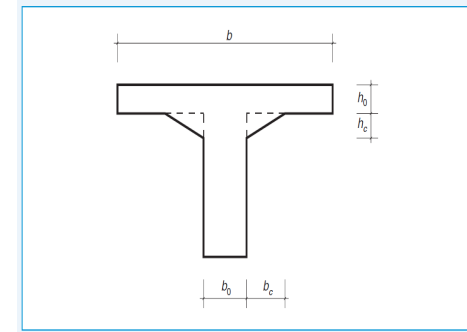
COMENTARIOS

En el caso de piezas en T provistas de cartabones de anchura b_c y altura h_c (ver figura 18.2.1), y exclusivamente a efectos del cálculo del ancho eficaz, se sustituirá la anchura real b_0 del nervio por otra ficticia b_e igual al menor de los valores siguientes:

$$b_e = b_0 + 2b_c$$

$$b_e = b_0 + 2h_c$$

Para secciones cajón o T, en puentes, pueden utilizarse los criterios de definición de ancho eficaz establecidos en las Recomendaciones para el Proyecto de Puentes Mixtos para Carreteras (RPX), de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.



18.2.2

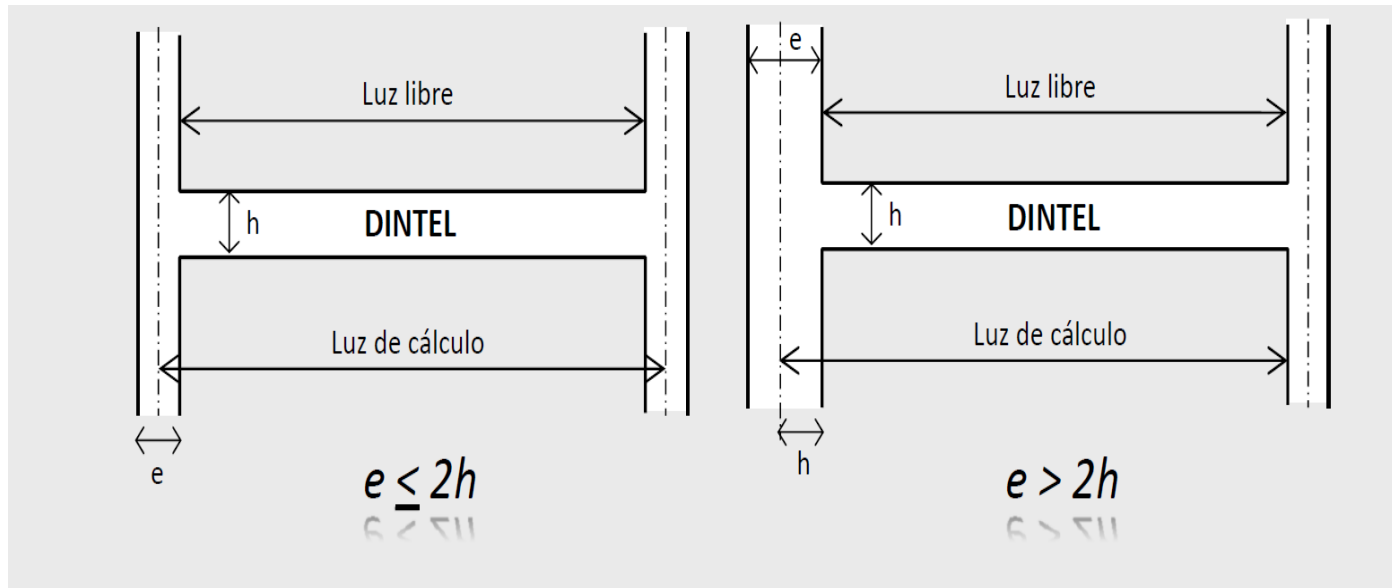
Luces de cálculo

Salvo justificación especial, se considerará como luz de cálculo de las piezas la distancia entre ejes de apoyo.

En forjados unidireccionales, cuando el forjado se apoye en vigas planas o mixtas no centradas con los soportes, se tomará como eje el que pasa por los centros de éstos.

COMENTARIOS

En aquellos casos en los que la dimensión del apoyo es grande, puede tomarse simplificada como luz de cálculo la luz libre más el canto del elemento.



18.2.3

Secciones transversales

18.2.3.1

Consideraciones generales

El análisis global de la estructura se podrá realizar, en la mayoría de los casos, utilizando las secciones brutas de los elementos. En algunos casos, cuando se desee mayor precisión en la comprobación de los Estados Límite de Servicio, podrán utilizarse en el análisis las secciones neta u homogeneizada.

18.2.3.2

Sección bruta

Se entiende por sección bruta la que resulta de las dimensiones reales de la pieza, sin deducir los espacios correspondientes a las armaduras.

18.2.3.3

Sección neta

Se entiende por sección neta la obtenida a partir de la bruta deduciendo los huecos longitudinales practicados en el hormigón, tales como entubaciones o entalladuras para el paso de las armaduras activas o de sus anclajes y el área de las armaduras.

Capítulo 5 • Análisis estructural

Se entiende por sección homogeneizada la que se obtiene a partir de la sección neta definida en 18.2.3.3, al considerar el efecto de solidarización de las armaduras longitudinales adherentes y los distintos tipos de hormigón existentes.

18.2.3.4

Sección homogeneizada

Se entiende por sección fisurada, la formada por la zona comprimida del hormigón y las áreas de las armaduras longitudinales, tanto activas adherentes como pasivas, multiplicadas por el correspondiente coeficiente de equivalencia.

18.2.3.5

Sección fisurada

La posición de la fibra neutra en la sección fisurada, en situación de servicio, se debe calcular en el supuesto de comportamiento elástico de las armaduras y del hormigón comprimido (Anejo nº 8).

COMENTARIOS

Tema 8. Instrucción de hormigón estructural

Las regiones D existen en una estructura cuando se producen cambios bruscos de geometría (discontinuidad geométrica, figura 24.1.a), o en zonas de aplicación de cargas concentradas y reacciones (discontinuidad estática, figura 24.1.b). Igualmente, una región D puede estar constituida por una estructura en su conjunto debido a su forma o proporciones (discontinuidad generalizada). Las vigas de gran canto o ménsulas cortas (figura 24.1.c) son ejemplos de discontinuidad generalizada.

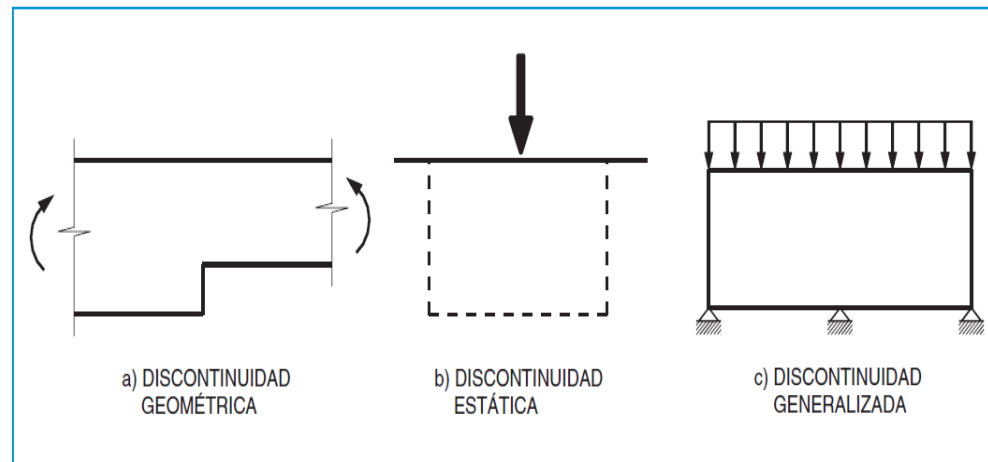
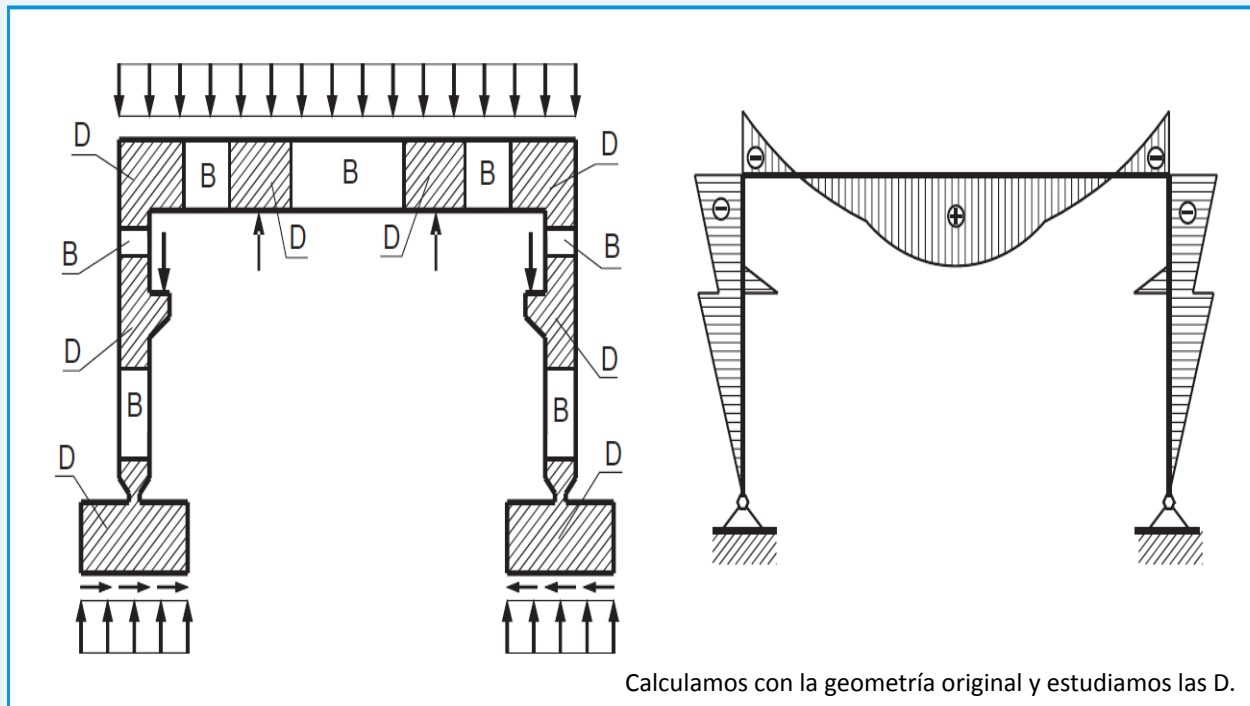


Figura 24.1.a, b y c

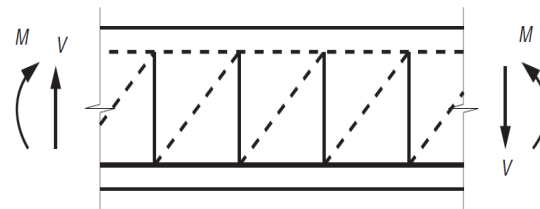
Para analizar zonas de discontinuidad se admiten los siguientes métodos de análisis:

- Análisis lineal mediante teoría de la elasticidad.
- Método de las bielas y tirantes.
- Análisis no lineal.

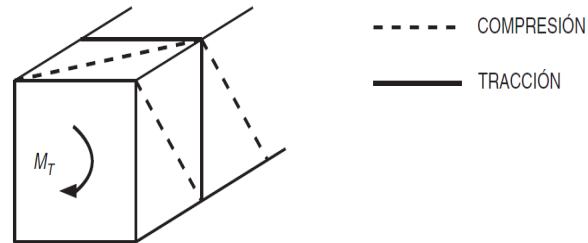
En la estructura de la figura 24.1.d se identifican distintas zonas que constituyen regiones D, debidas a discontinuidades geométricas o estáticas. Las restantes zonas de la estructura se identifican, por el contrario, como regiones B, es decir, zonas en que es válida la teoría general de flexión y las hipótesis de Bernoulli-Navier.



El método de las bielas y tirantes se utiliza en regiones B para explicar el comportamiento de elementos lineales sometidos a cortante (celosía plana, figura 24.1.2 a) o a torsión (celosía espacial, figura 24.1.2 b).



a)



b)

