

NOTA IMPORTANTE:

La entidad sólo puede hacer uso de esta norma para si misma, por lo que este documento NO puede ser reproducido, ni almacenado, ni transmitido, en forma electrónica, fotocopia, grabación o cualquier otra tecnología, fuera de su propio marco.

ININ/ Oficina Nacional de Normalización

NORMA CUBANA

NC

250: 2005

**REQUISITOS DE DURABILIDAD PARA EL DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES Y OBRAS CIVILES
DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL**

**Requirements of Durability for the Design and Construction
of Buildings and Civil Works of Structural Concrete**

ICS: 91.080.40

1. Edición Junio 2005
REPRODUCCIÓN PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La Habana.
Cuba. Teléfono: 830-0835 Fax: (537) 836-8048 Correo electrónico: nc@ncnorma.cu



Cuban National Bureau of Standards

NC 250: 2005

Prefacio

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba que representa al país ante las Organizaciones Internacionales y Regionales de Normalización.

La elaboración de las Normas Cubanas y otros documentos se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. Su aprobación es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en las evidencias del consenso.

Esta Norma Cubana:

- Ha sido elaborada por el Comité Técnico de Normalización NC/CTN 38 Cálculo de estructuras de hormigón, en el cual están representadas las siguientes instituciones:
 - Ministerio de la Construcción
 - Ministerio de Educación Superior
 - Poder Popular Ciudad Habana
 - Ministerio de la Industria Básica
 - Ministerio de las Fuerzas Armadas
 - Oficina Nacional de Normalización.
- Sustituye los siguientes apartados de la NC 207:2003 Requisitos Generales para el Diseño y Construcción de Estructuras de Hormigón
 - 3.1.36 Recubrimiento
 - 13.2.1 Condiciones de ambiente
 - 13.2.2 Sensibilidad de las armaduras a la corrosión
 - 13.2.3 Selección de los estados límites de utilización a verificar
 - Tabla 13.2.3 Selección de los estados límites de fisuración
 - 18.3.1 Recubrimiento mínimo
 - Tabla 18.3.1 Recubrimiento mínimo en elementos de hormigón.

Los textos que aparecen a manera de comentarios, constituyen explicaciones adicionales para aclarar y/o detallar elementos de la norma que así lo requieren.

Las Tablas que aparecen en esta norma, excluyendo las que forman parte de los Anexos, coinciden con Tablas de igual nombre reflejadas en la NC 120:2004 Hormigón Hidráulico-Especificaciones, pero dada su importancia y para facilitar su uso se ha considerado oportuno reproducirlas íntegramente.

© NC, 2005

Todos los derechos reservados. A menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada en alguna forma o por medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias, fotografías y microfilmes, sin el permiso escrito previo de:

Oficina Nacional de Normalización (NC)

Calle E No. 261, Vedado, Ciudad de La Habana, Habana 4, Cuba.

Impreso en Cuba

0 Introducción

0.1 Contiene los requisitos de durabilidad a cumplimentar en el diseño y construcción de edificaciones y obras de hormigón estructural, para los agentes corrosivos más frecuentes en el país. Estos requisitos han tenido como referencia fundamental, el mapa de agresividad corrosiva de la atmósfera de Cuba, elaborado por el Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CENIC) y los siguientes Documentos Normativos:

- ISO 9223.1992 Corrosion of Metal and Alloys. Corrosivity of atmospheres classification
- ACI 318-02. Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary
- ACI 201.2R-01. Guide to Durable Concrete
- ACI 222R-01. Protection of Metal in Concrete Against Corrosion
- EHE 00. Instrucción de Hormigón Estructural
- NC 120:2004 Hormigón Hidráulico — Especificaciones.

REQUISITOS DE DURABILIDAD PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES Y OBRAS CIVILES DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL

1 Objeto

Esta Norma Cubana establece los requisitos de durabilidad para las edificaciones y obras civiles de hormigón estructural (armado, pretensado o simple), que se diseñen para un tiempo de vida útil igual o mayor a 50 años, y que además estén sometidas a los ambientes corrosivos más frecuentes del país: atmósfera (presencia de iones cloruro, efectos de la carbonatación y altas humedades), suelos comunes y agua (salada, salobre, dulce o freática).

Esta norma no es aplicable a otros tipos específicos de exposición como:

- ataque de ácidos, álcalis y sales;
- reacciones químicas de los agregados del hormigón (álcali-sílice, álcali-carbonato, etc)
- erosión por abrasión;
- erosión por cavitación;
- procesos biológicos en el hormigón;
- altas temperaturas;
- otros.

Para estos casos consultar la NC 120.

2 Referencias Normativas

Los documentos que se mencionan seguidamente son indispensables para la aplicación de esta Norma Cubana. Para las referencias fechadas, sólo se toma en consideración la edición citada (incluyendo todas las enmiendas).

NC 52-02:1978 Curado del Hormigón — Especificaciones

NC 120:2004 Hormigón Hidráulico — Especificaciones

NC 207:2004 Requisitos Generales para el Diseño y Construcción de Estructuras de Hormigón

NC 228-1:2005 Aditivos para hormigones hidráulicos — Requisitos.

3 Términos y Definiciones

A los fines de este documento se aplican los términos y las definiciones siguientes:

3.1 Adición

Material mineral finamente molido utilizado en el hormigón con el objetivo de mejorar ciertas propiedades o de conferirle propiedades especiales.

3.2 Aditivos

Los aditivos son productos añadidos al hormigón durante el proceso de mezclado, en pequeñas cantidades en relación con la masa de cemento, destinados a mejorar algunas propiedades del hormigón, bien sea en estado fresco o en estado endurecido.

3.3 Carbonatación

Proceso lento de reducción de la alcalinidad del hormigón, de pH aproximadamente 12,5 a valores inferiores a 9, debido en la mayoría de los casos a la reacción del CO₂ presente en la atmósfera con los componentes alcalinos de la fase acuosa del hormigón, creando un “frente carbonatado” que al llegar a la armadura la despasiva ocasionando la corrosión generalizada de dicha armadura.

3.4 Corrosión del acero

Proceso de destrucción del acero (pérdida de sección) por reacción química, electroquímica o electrolítica con el medio que lo rodea.

3.5 Hormigón de alta resistencia

Hormigón de resistencia característica a la compresión, mayor o igual a 40 MPa. Este tipo de hormigón también se conoce como hormigón de alta prestación y hormigón de alto desempeño, por tener otras características favorables para su uso (véase Comentario del capítulo 5).

3.6 Hormigón simple

Hormigón sin reforzar o que contiene menos refuerzo que el mínimo especificado para el hormigón armado.

3.7 Inhibidor de corrosión

Sustancia usualmente usada en pequeñas proporciones, que tienen la propiedad de bloquear eficazmente, la actividad corrosiva del medio agresivo sobre el acero de refuerzo, disminuyendo por tanto dicha actividad corrosiva.

3.8 Protección catódica

Método de protección que consiste en polarizar el material a proteger (acero de refuerzo), mediante un flujo de corriente exterior, a fin de colocar el potencial del metal en un rango de valores más negativos, para el cual la velocidad de corrosión es nula o muy baja. Este método requiere un personal calificado y un mantenimiento continuo.

3.9 Protección primaria

Protección que brinda el recubrimiento de hormigón al acero de refuerzo y que está en función de un buen diseño y una buena práctica de construcción (Véase 5-a).

4 Generalidades

4.1 La durabilidad de una estructura de hormigón se define como su capacidad para soportar durante la vida útil para la que ha sido diseñada, las condiciones físicas y químicas a las que va a estar expuesta.

Comentario

Se entiende por vida útil de una estructura al intervalo de tiempo durante el cual la misma mantiene su forma original, sus propiedades resistentes, sus condiciones de servicio y sus características estéticas, sin necesidad de efectuar reparaciones capitales, pero con mantenimientos ligeros sistemáticos.

4.2 Las obras y edificaciones, así como sus elementos componentes además de satisfacer los requisitos de capacidad resistente, deformación y fisuración, serán diseñadas y construidas de modo que satisfagan también los requisitos de durabilidad, con el objetivo de garantizar su adecuada funcionalidad durante el tiempo de vida útil estipulado.

Comentario

Cobra una gran importancia tener en cuenta los factores inherentes a la durabilidad en la fase de diseño, antes de seleccionar la resistencia característica a compresión del hormigón y el recubrimiento del acero de refuerzo, ya que estos dos parámetros inciden directamente en las dimensiones de la sección, así como tener en cuenta la adecuada accesibilidad que permita las labores de inspección periódica y mantenimiento sistemático. Estas dos últimas actividades, incluyendo el mantenimiento preventivo, deberán ser realizadas mediante procedimientos establecidos.

5 Medidas para proteger el acero de refuerzo contra la corrosión

Las medidas para proteger al acero embebido en el hormigón, se agrupan en tres categorías:

- a) Diseño y prácticas de construcción que incrementan la protección proporcionada por el recubrimiento de hormigón al acero de refuerzo, denominada protección primaria.
- b) Tratamientos que penetran o son aplicados sobre la superficie de los elementos de hormigón armado, creando una barrera que impide o dificulta la penetración del agente agresivo al acero de refuerzo, denominada protección secundaria.
- c) Técnicas que previenen la corrosión del acero de refuerzo, directamente, como:
 - Uso de acero de refuerzo resistente a la corrosión.
 - Protección catódica, empleo de inhibidores de corrosión, etc. que contrarrestan los efectos de los agentes agresivos sobre el acero de refuerzo.

El alcance de esta norma se limita a la categoría del inciso a (protección primaria).

Comentario

La protección primaria es prioritariamente la más empleada en el ámbito mundial, pues es la que conduce a resultados técnico - económicos más favorables en cuanto a durabilidad, aunque en casos especiales (Véase 7.1.3, nota 1), dicha protección primaria se recomienda que sea complementada con otro tipo de protección.

La utilización de los hormigones de alta resistencia, cada vez más extendida internacionalmente, también queda enmarcada en la categoría 5-a, protección primaria. Se denomina así a los hormigones de resistencia característica a compresión del hormigón mayor o igual a 40 MPa. Estos hormigones son también conocidos como hormigones de altas prestaciones y hormigones de alto desempeño, por tener otras características favorables para su uso como:

- facilidad de colocación (laborabilidad)
- compactación sin segregación
- mayor densidad, compacidad e impermeabilidad debido a su baja porosidad
- larga vida útil en ambientes agresivos,

Los hormigones de alta resistencia emplean, usualmente, aditivos superplastificantes y adiciones muy activas como por ejemplo la microsílice. Estos hormigones se están utilizando mundialmente, con resultados favorables de la relación calidad / precio, en edificios de gran altura (especialmente en las columnas de las primeras plantas), en puentes de grandes luces, plataformas fuera de la costa, traviesas de ferrocarril, dovelas para túneles, etc. En la NC 120; 2004 también se da información sobre estos hormigones. Para el uso de los mismos, debe consultarse la literatura técnica especializada.

Los acabados arquitectónicos como enchapes, morteros de terminación, pinturas y otros, especialmente en ambiente marino, es recomendable que cumplan no sólo con su función estética, sino que sean además, una barrera adicional de protección secundaria, seleccionándose los más adecuados para este ambiente y cumpliendo las especificaciones técnicas del suministrador en cuanto a aplicación y mantenimiento.

6 Relación de los principales requerimientos a tenerse en cuenta, para la protección proporcionada por el recubrimiento de hormigón al acero de refuerzo (protección primaria)

6.1 En la etapa de diseño

- Categoría de agresividad de acuerdo a la ubicación y función para la que se concibe la obra
- Características y tipos de los materiales, adecuados a la agresividad prevista
- Relación máxima A/C
- Contenido mínimo de cemento
- Resistencia característica del hormigón, la cual será compatible con la relación máxima A/C fijada
- Espesores de recubrimiento
- Control de fisuración
- Uso de aditivos reductores de agua, reductores de agua de alto rango (superplastificantes) e inclusores de aire, de ser requeridos
- Tamaño máximo del árido
- Formas geométricas y detalles arquitectónicos y estructurales que garanticen un mínimo de juntas en el hormigonado y que además faciliten la evacuación rápida de las aguas y la humedad
- Juntas de hormigonado con tratamiento impermeable
- Disposiciones constructivas que faciliten la colocación y compactación del hormigón
- Especificaciones sobre curado del hormigón.

6.2 En la etapa de ejecución

- Control de la calidad de los materiales componentes del hormigón
- Riguroso Control de Autor y Control Técnico de Obra
- Dosificación bien proporcionada de la mezcla
- No empleo de aditivos que contengan sales y otras sustancias perjudiciales desde el punto de vista de la corrosión
- Medios adecuados de preparación, transporte, vertido y compactación del hormigón, que garanticen la continuidad, compacidad y homogeneidad de la estructura
- Control de calidad del hormigón. Aceptación o rechazo de éste, en función también del cumplimiento de los requisitos de durabilidad
- Curado realizado en el tiempo requerido y con la técnica adecuada.

Comentario

Cualquier incumplimiento o deficiencia en algunos de los principales requerimientos enunciados en 6.1 y 6.2, ya sea inherente al diseño o a la ejecución, afecta a la protección que el recubrimiento de hormigón proporciona al acero de refuerzo. Se requiere de un cumplimiento integral, y con una calidad adecuada, de las especificaciones de diseño y de ejecución.

7 Principales requisitos de durabilidad a tenerse en cuenta, para la protección proporcionada por el recubrimiento de hormigón al acero de refuerzo (protección primaria)**7.1 Hormigones expuestos a la atmósfera, al agua (de mar, salobre, dulce o freática) y a suelos comunes**

7.1.1 En la primera etapa del proyecto, se deberá identificar el tipo de ambiente que defina la agresividad a la que estará sometido cada elemento estructural.

7.1.2 La Tabla de 7.1.3 se utilizará cuando no existan estudios específicos de caracterización ambiental del área o zona de emplazamiento de la obra a proteger, que definan el nivel de agresividad actuante y compatibilicen este nivel con los parámetros de diseño de los hormigones, por requerimientos de durabilidad.

7.1.3 Para las estructuras o elementos de hormigón armado o pretensado expuestos a la atmósfera, al agua (de mar, salobre, dulce o freática) y a suelos comunes, se establecen 4 categorías de agresividad según Tabla 7.1.3.

Tabla 7.1.3 — Tipos generales de exposición relativos a la corrosión de las armaduras de refuerzo

Agresividad	Descripción	Ejemplos
Muy alta	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de estructura marinos por encima del nivel de la marea alta y en zonas de recorridos de mareas. • Estructuras situadas en las proximidades de la línea costera hasta 500 m. del mar en la costa norte y hasta 100 m en la sur. • Estructuras no impermeabilizadas en contacto con aguas que presenten un contenido elevado de cloruros no necesariamente relacionados con el ambiente marino. 	<ul style="list-style-type: none"> • Edificaciones y otras estructuras situadas en las proximidades indicadas de las costas y cayos. • Puentes en las proximidades indicadas de la costa y pedraplenes. • Zonas aéreas de diques y otras obras de defensa del litoral. • Instalaciones de los puertos. • Piscinas, estanques de acuarios y tanques, con aguas de mar o salobres, etc. • Edificaciones y otras estructuras situadas en las proximidades de zonas con altos contenidos de iones cloruro como salineras, plantas de tratamientos, etc.
Alta	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de estructuras marinas sumergidos permanentemente. • Estructuras situadas en la franja costera a más de 500 m y hasta 3 km del mar en la costa norte y a más de 100 m y hasta 1 km en la costa sur. • Estructuras soterradas bajo la influencia total ó parcial de agua de mar o salobre. 	<ul style="list-style-type: none"> • Edificaciones y otras estructuras situadas en las proximidades indicadas de las costas. • Puentes en las proximidades indicadas de la costa. • Zonas de diques y otras obras de defensa costera sumergidas permanentemente. • Cimentaciones y zonas sumergidas de pilas de puentes en el mar. • Cimentaciones y estructuras soterradas en general bajo las influencias agresivas indicadas.
Media	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras situadas en la franja costera a más de 3 km y hasta 20 km de la costa norte y a más de 1 km y hasta 20 km de la costa sur. • Estructuras soterradas bajo la influencia total o parcial de aguas y suelos comunes. • Depósitos de agua dulce. • Interiores de edificaciones aisladas del medio exterior y sometidas a humedades altas ó condensaciones. • Estructuras situadas en zonas de humedades relativas medias anuales mayores de 65%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Edificaciones y otras estructuras situadas en las proximidades indicadas de las costas. • Cimentaciones en general bajo los requerimientos indicados. • Piscinas, cisternas, tanques, conductoras y otros depósitos en general, que contienen agua dulce. • Sótanos no ventilados. • Locales destinados a saunas, lavanderías, fregados, etc. que posean altas humedades con altas frecuencias de ocurrencia. • Todos los casos de estructuras situadas en las franjas costeras indicadas ó a mayores distancias pero sometidas a humedades relativas superiores al 65%.
Baja	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras situadas a más de 20 km de ambas costas. • Interiores de edificaciones no sometidos a condensaciones. • Estructuras soterradas no afectadas por las aguas subterráneas o freáticas en suelos comunes. • Estructuras situadas en zonas de humedades relativas medias anuales iguales ó menores del 65%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Edificaciones y otras estructuras situadas en las franjas costeras y bajo las condiciones indicadas. • Interiores de edificios protegidos de la intemperie. • Sótanos y obras soterradas ventiladas o sometidas a humedades inferiores al 65%. • Cimentaciones en general bajo los requerimientos indicados.

Tabla 7.1.3 — Tipos generales de exposición relativos a la corrosión de las armaduras de refuerzo (continuación)

NOTA 1: En el caso de cimentaciones y otros elementos estructurales en contacto con el suelo, se tomará la condición más desfavorable entre las dadas por la NC-120 y la presente tabla, por lo que en las Tareas Técnicas para investigaciones de suelos se solicitará el nivel de agresividad del suelo y del manto freático (si procede) y además las recomendaciones de protección. Adicionalmente a la protección primaria que le corresponda según Tabla 7.1.3, estos elementos estructurales en contacto con el suelo y expuestos a humedades es recomendable que en algunos casos tengan otras medidas adicionales de protección como protección secundaria, para lo cual se consultará la documentación técnico-normativa vigente.

NOTA 2: En caso de elementos o estructuras sometidas a diferentes tipos de agresividad, prevalecerá en el diseño, el criterio más exigente que le corresponda.

NOTA 3: Las categorías de agresividad que se dan en la tabla 7.1.3 corresponden a estructuras y elementos directamente expuestos al medio agresivo como por ejemplo las partes exteriores de una edificación. Para las estructuras y elementos menos expuestos al medio agresivo, como por ejemplo las partes interiores de una edificación, podrá tomarse una categoría de agresividad inmediata inferior a la de las partes exteriores.

Comentario

La Tabla 7.1.3 ha sido elaborada teniendo en cuenta la incidencia de los iones cloruros, en el mapa de la agresividad de la atmósfera de Cuba.

Las categorías anteriores tienen en cuenta la combinación desfavorable de iones cloruro, humedad ambiental y dióxido de carbono. Por las características del país (isla alargada y estrecha), los iones cloruros provenientes del aerosol marino tienen una gran influencia en el establecimiento de las categorías de agresividad. Los iones cloruros contribuyen fuertemente a una corrosión electroquímica muy peligrosa sobre el acero de refuerzo, conocida por corrosión localizada o por picadura que puede avanzar rápidamente provocando la pérdida de sección del acero, de forma puntual.

7.1.4 Para los elementos directamente expuestos a los procesos de humectación y secado por agua de mar (zona de cambio de mareas y de salpicaduras) se recomienda, en la fase de proyección de los elementos principales, tomar medidas adicionales de protección a las que se especifican a través de esta norma, que pueden incluir un incremento de los valores de recubrimiento, un incremento de la resistencia especificada a la compresión (esto último, para garantizar la máxima relación A/C especificada), u otra medida adicional de protección (véase Capítulo 5).

7.1.5 Los requerimientos de diseño por durabilidad para la mezcla de hormigón según las categorías de agresividad de la Tabla 7.1.3, se indican en la Tabla 7.1.5.

Tabla 7.1.5 — Máxima relación A/C, contenido mínimo de cemento y valores mínimos de resistencia característica a compresión del hormigón R'bk

Parámetro	Tipo de Hormigón	Nivel de Agresividad			
		Muy alta	Alta	Media	Baja
Máxima relación A/C	Simple sin refuerzo	0,50	0,55	0,65	0,65
	armado	0,4	0,45	0,5	0,55
	pretensado	0,4	0,4	0,45	0,50
Contenido mínimo de cemento (kg/m ³)	Simple sin refuerzo	200	200	200	200
	armado	350	325	300	275
	pretensado	350	325	325	300
R'bk (mínima) (MPa)	Simple sin refuerzo	20	15	15	15
	armado	30	30	25	20
	pretensado	35	35	30	30

NOTA: Los elementos de hormigón simple con refuerzo serán tratados, a los efectos de la Tabla 7.1.5, como elementos de hormigón armado.

Comentario

Uno de los parámetros decisivos para el logro de un hormigón duradero es el empleo de baja relación A/C, para disminuir la red de vasos capilares que se forman por la evaporación del agua no necesaria en el proceso de hidratación del cemento. La especificación de una R'bk razonablemente compatible con la relación máxima A/C fijada coadyuvará a cumplimentar en gran medida, que efectivamente en obra se cumpla con la especificación dada en el proyecto de máxima relación A/C cuyo control exacto in situ no es sencillo de ejecutar.

No obstante lo anterior, deberá tenerse presente que una relación baja de A/C por si misma no asegura la baja permeabilidad del hormigón ya que hormigones con bajo contenido de finos, pueden tener una baja relación A/C y sin embargo ser altamente permeables.

Los valores mínimos de contenido de cemento son para garantizar que haya suficiente pasta y finos que envuelva los áridos, rellene los vacíos entre éstos y disminuya la exudación.

Los valores de R'bk de la tabla 7.1.5 corresponden a hormigones sin aditivos inclusores de aire. Los valores de R'bk en el caso de hormigones con inclusores de aire (véase comentario de 7.6.3), para relaciones de A/C similares, disminuyen en valores que pueden alcanzar hasta los 5 MPa y superiores.

La carbonatación es el proceso lento de reducción de la alcalinidad del hormigón de pH aproximadamente igual a 12,5 a valores inferiores a 9, debido en la mayoría de los casos al CO₂ presente en la atmósfera.

Son muchas las variables de las que depende la velocidad del avance del frente de carbonatación debido a la acción del CO₂, como son el tipo y contenido de cemento, relación A/C, técnicas de construcción, permeabilidad del hormigón, humedad ambiental, temperatura, etc. Un hormigón bien dosificado, empleando los materiales adecuados, compactado y curado adecuadamente, y que cumpla con las especificaciones de esta NC, estará sometido a un avance lento de la carbonatación, no acortando este proceso el tiempo de vida útil estipulado.

7.2 Contenido de cloruros en el hormigón

Para garantizar la protección contra la corrosión en el acero de refuerzo, se hace necesario limitar el contenido de cloruros en la masa de hormigón, según Tabla 7.2

Tabla 7.2— Contenido máximo de cloruros en el hormigón

Utilización del Hormigón	Contenido máximo de Cl ⁻ por peso de cemento ⁽¹⁾
Sin acero de refuerzo u otro tipo de metal embebido	1,0%
Con acero de refuerzo u otro tipo de metal embebido	0,20%
Con acero de refuerzo pretensado	0,10%
⁽¹⁾ Donde se utilicen adiciones puzolánicas o hidráulicamente latentes, que sean tenidas en cuenta para la determinación del contenido total de cemento, el contenido de cloruros se expresará como el porcentaje de ión cloruro en masa de cemento más la masa total de adición. El contenido máximo de cloruros se determina por el método de ensayo que determina los cloruros solubles en ácido.	

7.3 Recubrimiento de hormigón

7.3.1 Para proveer a la estructura de la durabilidad requerida, en los planos se indicarán los recubrimientos especificados en el Anexo A siendo estos valores los mínimos absolutos que no podrán ser disminuidos en ningún punto del elemento y que servirán para seleccionar los separadores.

Comentario

El recubrimiento constituye un parámetro de gran importancia para proveer al acero de refuerzo de la protección requerida durante el período de vida útil considerado de la estructura, siendo decisivo para esta protección, la baja permeabilidad y el espesor del mismo. El recubrimiento tiene dos funciones, una química y otra física. La química es mantener la alcalinidad suficiente (pH por encima de 9) que mantenga el acero pasivado. La física es limitar la entrada de los agentes agresivos desde el exterior. Este espesor deberá estar acorde con el buen diseño estructural, la severidad de las condiciones ambientales y el costo total que conlleva, incluyendo los costos por mantenimiento.

El período durante el cual el recubrimiento de hormigón protege al acero de refuerzo es función del cuadrado del espesor de dicho recubrimiento. Esto conlleva que una disminución del recubrimiento a la mitad de su valor de proyecto se traduzca en un período de protección de la armadura reducido a la cuarta parte.

7.3.2 El recubrimiento de hormigón se garantizará mediante la colocación de separadores los que cumplirán las disposiciones indicadas en el Anexo A.

7.4 Control de fisuración

7.4.1 Las fisuras inherentes al hormigón armado y/o pretensado, constituyen un camino rápido de penetración de los agentes agresivos hasta el acero de refuerzo, de aquí la importancia de tener en cuenta en el diseño, la máxima abertura permisible de fisura, desde el punto de vista de la durabilidad.

7.4.2 La abertura máxima permisible de fisura, en función del nivel de agresividad se especifica en el Anexo B.

7.5 Consistencia del hormigón

7.5.1 La consistencia del hormigón será seleccionada por el diseñador de la mezcla en coordinación con la entidad constructora en función de las dimensiones del elemento, cuantía del refuerzo, tipo de elemento estructural, recubrimientos, tecnología de puesta en obra, uso de aditivos, tipo de compactación, etc., a fin de garantizar un hormigón homogéneo, que permita que la mezcla rodee completamente el refuerzo, rellene totalmente los encofrados y no se produzcan oquedades ni coqueas.

7.5.2 Las especificaciones de rango de asentamiento y tipo de compactación recomendada en función de éste, aparecen en la Tabla 7.5.2

Tabla 7.5.2 — Tipos de Asentamiento por el Cono de Abrams

Tipo	Valoración cualitativa	Asentamiento en mm
A1	Seca	10 a 40
A2	Plástica	50 a 90
A3	Blanda	100 a 150
A4	Fluida	160 a 210
A5	Muy fluida	≥ 220

7.5.3 En caso de congestión de refuerzo u otras situaciones especiales, el proyectista podrá especificar el tipo de consistencia requerida.

7.6 Aditivos

7.6.1 Los aditivos deben pasar satisfactoriamente las pruebas de laboratorio y de campo en la producción del hormigón.

Comentario

Para que los aditivos sean eficaces y no perjudiciales hay que emplearlos en determinadas dosis. Sus dosificaciones deben ser hechas por técnicos experimentados y ensayados previamente en el laboratorio para verificar sus propiedades y conocer sus posibles efectos secundarios.

7.6.2 Los aditivos químicos cuya composición esté basada en cloruro de calcio u otro tipo de cloruros, no podrán ser utilizados en hormigón armado y/o pretensado, en hormigón que contenga aluminio embebido o en el hormigonado contra encofrados fijos de metal galvanizado.

7.6.3 Los aditivos más usuales para la elaboración de hormigones de baja relación A/C, que a su vez tengan una laborabilidad requerida, son los reductores de agua y los reductores de agua de alto rango.

Comentario

Los aditivos reductores de agua y los reductores de agua de alto rango son adsorbidos por las partículas del cemento hidratado causando una repulsión entre ellas (acción dispersante), que da como resultado un aumento del poder ligante del cemento y a la vez una acción lubricante en la masa de hormigón (incremento de la laborabilidad).

Como es sabido la relación A/C controla el valor de R'_{bk} . La reducción de la relación A/C causa un incremento del valor de R'_{bk} . Con el uso de aditivos reductores de agua y los reductores de agua de alto rango se produce un incremento adicional de resistencia, debido a la modificación de la microestructura y la dispersión de los granos, causada por estos aditivos, hidratándose mejor el cemento.

Las principales características de los aditivos reductores de agua son:

- Reducción de la cantidad de agua de la mezcla en un (5 - 12) % para igual plasticidad, e incremento del valor de R'_{bk} para el mismo contenido de cemento.
- Aumento del asentamiento de la mezcla hasta 2 veces, sin variar la cantidad de agua.
- Obtención de la resistencia característica del hormigón R'_{bk} , para valores más bajos de contenido de cemento.

Las principales características de los reductores de agua de alto rango (súperplastificantes) son:

- Reducción de la cantidad de agua de la mezcla hasta un 30 % o más, e incremento del valor de R'_{bk} para el mismo contenido de cemento.
- Aumento del asentamiento de la mezcla hasta 3 veces, sin variar la cantidad de agua.
- Obtención de la resistencia característica del hormigón R'_{bk} , para valores más bajos de contenido de cemento.

Los aditivos reductores de agua de alto rango (súperplastificantes) actúan de forma similar a los reductores de agua pero con un efecto mucho más enérgico. Su uso está principalmente dirigido a:

- Hormigones de altas resistencias ($R'_{bk} \geq 40$ MPa).
- Plantas de prefabricado, pretensado y premezclado.
- Obtención de hormigones fluidos (asentamientos ≥ 200 mm).
- Zonas de acero de refuerzo congestionadas, formas especiales donde la parte embebida obstruye la colocación del hormigón, llenado de cofres donde el hormigón fluido debe alcanzar un íntimo contacto con el acero de refuerzo, elementos delgados, etc.

Los aditivos inclusores de aire también pueden coadyuvar a la obtención de hormigones de baja permeabilidad y duraderos incorporando al hormigón pequeñas burbujas de menos de 0.05 mm, formando un sistema de pequeños espacios no comunicados entre sí. Este tipo de aditivo tiene un comportamiento muy favorable en aquellas estructuras sometidas a cambios bruscos de temperatura como cámaras frías, etc., coadyuvando a la obtención de hormigones de baja permeabilidad y durables bajo estas condiciones, así como para disminuir el deslavado y ayudar a la cohesión en hormigones colocados bajo el agua. Aunque reducen la resistencia a compresión del hormigón en valores del orden de 5 MPa en dependencia del porcentaje de aire incorporado, estos aditivos mejoran la laborabilidad de la mezcla, incrementando la lubricación entre los áridos y pudiendo reducir el contenido de agua de amasado, reduciendo la relación agua / cemento y con ello pueden llegar a contrarrestar el efecto de la reducción de las resistencias mecánicas. Las burbujas de aire incorporado interceptan los poros capilares del hormigón y le hacen perder continuidad, por lo que contribuyen a lograr hormigones más impermeables al agua.

Véase la NC228-1

7.6.4 En elementos pretensados mediante armaduras, ancladas exclusivamente por adherencia no podrán emplearse aditivos aireantes.

7.7 Tamaño máximo del árido

7.7.1 El tamaño máximo del árido será seleccionado de manera que el hormigón pueda ser colocado y compactado de forma satisfactoria alrededor del acero de refuerzo sin que se produzca segregación.

7.7.2 Con el fin de obtener un menor consumo de cemento y disminuir los efectos de retracción, se emplearán en los hormigones, los áridos de mayor tamaño posible, siempre que cumplan con lo establecido en 7.7.1 y 7.7.3.

NOTA: Se exceptúan del cumplimiento de estos requisitos los hormigones de altas prestaciones.

7.7.3 El tamaño máximo del árido será el menor de los siguientes valores, ajustando este valor al tamaño normado de los áridos nacionales:

- 0,25 de la dimensión menor de la pieza prismática
- 0,33 del espesor de la losa
- 0,75 del espaciamiento mínimo libre entre las barras o alambres de refuerzo, mazos de barras, cables o conductos de postensado
- 0,90 de la separación entre barras de camadas contiguas.

Comentario

Cuando el hormigón deba pasar por entre varias camadas de refuerzo, deberá disminuirse el tamaño máximo del árido de 0,75 a 0,6 del espaciamiento mínimo entre barras.

7.8 Compactación

7.8.1 La durabilidad de un elemento de hormigón está íntimamente ligada a una técnica adecuada de compactación, por lo que la misma se llevará a cabo mediante la tecnología adecuada a la consistencia del hormigón necesaria, de tal manera que se obtenga la mayor densidad y homogeneidad de la mezcla, sin que llegue a producirse segregación.

7.8.2 Se deberá enfatizar en la documentación de proyecto la necesidad de realizar una compactación controlada y eficiente.

7.9 Curado

7.9.1 En la documentación de proyecto se especificará el tiempo mínimo de curado continuo, el cual no será inferior a 7 días cuando se empleen en la confección del hormigón, cementos Pórtland puros o con hasta un 5% de adición.

Comentario

El proceso de curado es una de las etapas más importantes para el logro de hormigones de baja permeabilidad y duraderos con incidencia aún mayor en aquellos elementos de baja relación A/C ó de grandes áreas expuestas a los rayos solares en las horas y épocas de intenso calor, como losas, muros, pretilas, etc.

Para elementos hormigonados en ambientes secos y calurosos, así como para elementos cuyas superficies han de estar en contacto con aguas salinas o sulfatadas, es recomendable aumentar en 3 días, los tiempos mínimos que se establecen en este epígrafe para cada caso.

Especificaciones adicionales sobre "Curado del hormigón" aparecen en la NC 52-02 y la NC 120.

7.9.2 Cuando se emplean cementos de alta resistencia inicial o se utilicen técnicas especiales de producción, se podrá disminuir el tiempo de curado a 3 días, siempre y cuando se haya alcanzado como mínimo un 75% de la resistencia característica a compresión especificada para el hormigón.

NOTA: En el caso concreto de la producción de losas huecas pretensadas prefabricadas, cuando se emplea cemento de alta resistencia inicial es posible reducir el tiempo de curado a 2 días.

7.9.3 Cuando se empleen cementos Pórtland con adiciones puzolánicas (> 5 %) u hormigones en cuya elaboración se empleen adiciones puzolánicas (> 5 %) el curado deberá extenderse a 15 días.

7.10 Juntas

7.10.1 Las juntas de hormigonado previstas en el proyecto contarán con alguna solución de sellaje para impedir el paso del agua o cualquier otro agente agresivo. Las soluciones de sellaje que se adopten, deberán prever los movimientos de las partes de las estructuras en los casos que estos se produzcan, manteniendo su impermeabilidad.

Comentario

Para el logro del propósito de proveer a una estructura de la durabilidad requerida, no basta solo con obtener un hormigón lo suficientemente compacto homogéneo y de baja permeabilidad, con la calidad adecuada, si este propósito no está también garantizado en las zonas de las juntas previstas en el diseño.

Una estructura deja de ser impermeable si a través de sus juntas permite el paso de los agentes contaminantes actuantes.

7.10.2 Las juntas correspondientes a las uniones entre elementos de hormigón prefabricado serán diseñadas de tal forma que el acero de refuerzo y/o insertos correspondientes a estas juntas tengan el mismo nivel de protección anticorrosiva que los elementos unidos. La protección secundaria para insertos metálicos no recubiertos por hormigón cumplirá con las mismas especificaciones inherentes a las Estructuras Metálicas en cuanto a preparación de superficie, tipo de pintura, espesor total del sistema de pintura (primario y acabado), período de reposición y otros.

7.10.3 Las juntas de hormigonado imprevistas provocadas por averías o fallas en el proceso de hormigonado deberán ser acondicionadas in situ para recibir soluciones de sellaje que impidan el paso del agua o cualquier otro agente agresivo.

7.10.4 Las juntas de estanques o depósitos de líquidos deberán diseñarse teniendo en cuenta las ventajas del empleo de los retenedores de agua (waterstop) que emplean bandas de PVC o caucho, teniendo el cuidado de cumplimentar las disposiciones constructivas para su ubicación, colocación y fijación adecuadas.

Anexo A
(normativo)

A.1 Recubrimientos

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

Comentario

Se modifica el concepto de recubrimiento, el cual anteriormente se planteaba a cara del refuerzo de la armadura longitudinal más externa. Ello es para enfatizar la importancia de la protección anticorrosiva de todo tipo de refuerzo, incluyendo cercos y estribos.

Los valores mínimos de recubrimiento según las categorías de agresividad establecidas en la tabla 7.1.3 se dan en la tabla A.1

Tabla A.1 — Valores mínimos de recubrimiento por elementos estructurales (mm)

Elemento estructural	Categoría de Agresividad (Véase 7.1.3)			
	Muy Alta	Alta	Media	Baja
Pilotes hormigonados in situ contra el suelo	75	75	75	75
Pilotes prefabricados	50	50	50	50
Cimientos sin sello	70	70	70	70
Cimientos con sello	50	50	50	50
Muros (paredes) hormigonados contra terreno (**)	70	70	70	70
Muros (paredes) hormigonados contra cofre (**)	50	40	40	40
Muros (paredes) prefabricados (**)	40	35	35	35
Zapatas hormigonadas contra terreno (*)	50	50	40	40
Zapatas hormigonadas contra cofre (*)	45	45	35	35
Zapatas prefabricadas (*)	40	40	30	30
Columnas y vigas, hormigonadas in situ	50	40	40	30
Columnas y vigas, prefabricadas	40	35	35	25
Típanos y muros, hormigonados in situ	50	40	30	25
Típanos y muros, prefabricados	40	35	25	20
Losas, elementos laminares, nervios y viguetas, hormigonados in situ	40	35	30	25
Losas, elementos laminares, nervios y viguetas, prefabricados	35	30	25	20
(*) Cimientos que soportan elementos de cierre				
(**) Caras de muros contra el terreno				
NOTA 1: En ningún caso el recubrimiento podrá ser inferior al diámetro mayor de la barra longitudinal ni a 1,25 veces el tamaño máximo del árido.				
NOTA 2: En las estructuras expuestas a peligro de incendio, el recubrimiento vendrá fijado por la norma específica de protección de incendios, pero nunca menor que el señalado en la tabla A.1				
NOTA 3: La distancia libre de los paramentos a las barras longitudinales dobladas no será inferior a 2ϕ , medida en dirección perpendicular al plano de la curva.				

NOTA 4: La indicación de elementos prefabricados se refieren a elementos prefabricados en plantas especializadas únicamente.

NOTA 5: Se estudiará y analizará, sobre la base de la literatura especializada y/o experiencias reconocidas, la protección y/o recubrimiento necesario de los cimientos en los siguientes casos:

- Cimientos para proyectos especiales.
- Cimientos en aguas y/o suelos agresivos con contaminantes químicos de índole diferente a los contemplados en 7.1.3.
- Otros casos no contemplados en esta norma.

NOTA 6: En elementos (como viguetas o losas), prefabricados en instalación industrial fija, para entrepisos unidireccionales de hormigón armado o pretensado, el proyectista podrá contar, además del recubrimiento de hormigón real del elemento, con el espesor del revestimiento del entrepiso, siempre que dicho revestimiento sea compacto e impermeable y tenga carácter definitivo y permanente, y que se garantice con dicho revestimiento, una protección similar a la del recubrimiento de hormigón sustituido, todo ello correspondientemente documentado, al objeto de cumplir con los recubrimientos mínimos de la tabla A-1. Sin embargo, en estos casos, el recubrimiento real de hormigón no podrá ser inferior a 15 mm.

Comentario

Los valores de recubrimiento de la Tabla A.1 así como todos las especificaciones de recubrimiento que se indican en este anexo A son valores mínimos a indicar en los diseños. Los controles de ejecución deberán ser tales que garanticen que estos recubrimientos se cumplan realmente en obra.

La nota 6 tiene en cuenta que la tecnología actual de producción de algunos elementos prefabricados en instalación industrial fija, no permite aumentar los recubrimientos de hormigón para cumplimentar las especificaciones de la tabla A-1. El proyectista, para la utilización o no utilización de dichos elementos prefabricados, en un proyecto específico, debe tener en cuenta el grado de agresividad ambiental, así como que el revestimiento empleado sea compacto, impermeable, definitivo y permanente, y que garantice una protección similar a la del recubrimiento de hormigón sustituido, todo ello correspondientemente documentado, ya que los morteros ordinarios de revestimiento son mucho más porosos que los recubrimientos de hormigón especificados.

A.2 Separadores

- a) Los recubrimientos de hormigón se garantizarán mediante la disposición de elementos separadores colocados en obra.
- b) Los separadores (calzos) deberán estar fabricados con materiales resistentes a la alcalinidad del hormigón, y que no induzcan corrosión de las armaduras. Deben ser al menos tan impermeables al agua como el hormigón y ser resistentes a los ataques químicos a que pueda estar sometido éste.
- c) Los separadores, provisionales o definitivos, serán de hormigón, mortero, plástico rígido o material similar y deberán haber sido específicamente diseñados para ese fin.
- d) Los separadores de hormigón, en cuanto a resistencia, permeabilidad, higroscopicidad, dilatación térmica, etc., serán de una calidad igual o superior a la del hormigón utilizado en la construcción de la pieza. Análogamente, si son de mortero, su calidad será igual o superior a la del mortero contenido en el hormigón de la pieza.
- e) Cuando se utilicen separadores fabricados con material que no contenga cemento, se asegurará una buena adherencia con el hormigón.
- f) Se prohíbe el empleo de madera, así como de cualquier material residual de construcción ya sea ladrillo u hormigón. Se prohíbe también el empleo de separadores metálicos.

g) Los separadores deberán quedar bien fijos al acero de refuerzo, de forma que no puedan ser removidos bajo la acción de la vibración de la masa del hormigón durante el proceso de compactación.

Comentario

Las disposiciones de este epígrafe A.2 exigen la utilización de elementos específicamente diseñados para garantizar el recubrimiento de hormigón y que a su vez no constituyan zonas donde pueda penetrar más fácilmente el agente agresivo.

Para los separadores de A.2e, es recomendable que éstos presenten orificios o entalladuras cuya sección total sea mayor o igual que el 25 % de la superficie total del separador.

Los separadores podrán ser elementos individuales o disponerse en forma de sistemas específicos de separadores, que faciliten su puesta en obra.

En la tabla A.2 se dan recomendaciones para la disposición de los separadores.

Tabla A.2 — Disposición de los separadores

Elemento		Ø máximo (el menor de)
Elementos superficiales horizontales (losas, balsas, cimientos, etc.)	Emparrillado inferior	50 Ø ó 100 cm
	Emparrillado superior	50 Ø ó 50 cm
Muros	Cada emparrillado	50 Ø ó 50 cm
	Separación entre emparrillados	100 cm
Vigas (1)	-	100 cm
Columnas (1)	-	100 Ø ó 200 cm

(1) Se dispondrán al menos, tres planos de separadores por luz, en el caso de las vigas, y por cada puntal en el caso de las columnas, acoplados a los estribos o cercos.
 Ø- Diámetro de la barra a la que se acopla el separador.

Anexo B
(normativo)

B.1 Fisuración

La abertura máxima permisible de fisura deberá satisfacer los requisitos de durabilidad indicados en la tabla B.1

Tabla B.1 — Máxima abertura de fisura por requerimientos de durabilidad

Agresividad	Valor máximo de abertura de fisura (mm)	
	Hormigón armado	Hormigón pretensado
Muy alta	Tipo 1 – 0,15 (**) Tipo 2 – 0,2 (**)	Descompresión 0,15 (*)
Alta	0,25	
Media	0,30	
Baja	0,35	
<p>NOTA 1: (*) Se deberá comprobar que el acero activo se encuentre en la zona comprimida de la sección bajo la combinación de acciones casi permanentes.</p> <p>NOTA 2: (**) El tipo 2, en agresividad muy alta corresponde a: - Edificaciones ubicadas en una franja hasta 500 m del mar en la Costa Norte y hasta 100 m en la Sur - Edificaciones ubicadas en cayos. Para el resto de las “Descripciones” de agresividad muy alta (ver tabla 7.3), le corresponde el tipo 1</p> <p>NOTA 3: Los valores de abertura de fisura de la tabla B.1 son medidos a cara del elemento (fibra más traccionada) y corresponden a combinación de acciones casi permanentes.</p>		

Comentario

La tabla B.1 refleja los resultados de investigaciones internacionales de los últimos años. Según estas investigaciones, anchos de fisuras en el rango de los indicados en la tabla B.1 tiende a autocicatrizarse con el tiempo, no teniendo una incidencia de consideración en cuanto a la corrosión.

Bibliografía

ISO 9223: 1992 Corrosion of Metal and Alloys. Corrosivity of atmospheres classification

ACI 318-02 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary

ACI 201.2R-01 Guide to Durable Concrete

ACI 211.1: 1991 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete

ACI 212.3R: 1991 Chemical Admixtures for Concrete

ACI 212.4R: 1993 Guide for the use of high range water-reducing admixtures (superplasticizers) in Concrete

ACI 222R: 2001 Protection of Metal in Concrete Against Corrosion

ACI 357R:1984 Guide for the Design and Construction of Fixed Offshores Concrete Structures

EHE 00 Instrucción de Hormigón Estructural (norma española)

The influence of airborne salinity on the Atmospheric Corrosion of Steel Corvo, N. Betancourt and A Mendoza. Revista Corrosion. Revista Corrosion Science, Vol 37, No. 12, pp 1889 – 1901, Año 1995

Hormigón Armado. P. Jiménez Montoya, A. García Messeguer y F. Morán Cabré. Año 2001 Manual de Inspección de Obras Dañadas por Corrosión de Armaduras. Instituto E. Torroja.

NC 207:2003 Requisitos Generales para el Diseño y Construcción de Estructuras de Hormigón

NC 53-99:1983 Resistencia Característica y Consistencia para las Estructuras de Hormigón

NC 54-310:1985 Agua. Determinación de su agresividad sobre el hormigón

Anteproyecto de NC Protección anticorrosiva del Hormigón y del Hormigón Armado Mapa de Agresividad de la República de Cuba. Publicación del Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC)

RC 2008:1985 Hormigón Hidrotécnico. Determinación de la agresividad del medio

RC 9001:2001 Obras de Hormigón Estructural. Requisitos de Durabilidad

Instrucción Técnica "Hormigones Hidrotécnicos Marinos" Ing. Jesús Zuaznábar, CTDMC, 1990

Estudio sobre los hormigones fabricados con el cemento de las diferentes fábricas del país. Prof. Ing. Jorge Acevedo Catá, ISPJAE, 1973

Durabilidad de las Estructuras de Hormigón. Guía de Diseño del CEB