

CRITERIOS DE CONTROL DE LA DURABILIDAD EN LAS ESTRUCTURAS EN AMBIENTES MARÍTIMOS SEGÚN CIRSOC 201/05 Y COMPARACIONES CON EL CIRSOC 201/82

Por Ing. Ricardo H. del Valle¹, Ing. Hugo J. Donini²

1. RESUMEN

El presente trabajo consiste en el análisis de los nuevos criterios de durabilidad bajo las condiciones del CIRSOC 201/05. Se efectúan comparaciones con el CIRSOC 201/82, ACI 318/05, CIRSOC 201 M y otros códigos de aplicación actual en el mundo. Se orienta el trabajo a las implicaciones que estas normativas tienen sobre el ámbito y estructuras portuarias, destacando las mayores exigencias del CIRSOC 201/05 bajo condiciones de servicio. Se efectúan comparaciones de las verificaciones a fisuración de las estructuras y de las versiones de los coeficientes de seguridad. Como conclusión, se marcan diferencias y semejanzas y se indica la profunda necesidad de actualización en base a los modernos Reglamentos de Seguridad para Obras Civiles en la Argentina y la generación de un digesto que sea guía en la elaboración de proyectos portuarios y de buenas prácticas constructivas en las obras que se ejecutan en el ámbito marino.

2. INTRODUCCIÓN

Una estructura es durable si a lo largo de su vida útil prevista, cumple con su función en lo que respecta a servicio, resistencia y estabilidad sin una pérdida considerable de utilidad y sin un mantenimiento excesivo no previsto (Eurocódigo 2- Diseño de estructuras de concreto). Una forma de evaluar la importancia del proyecto de estructuras durables, es mencionar la Ley de Sitter, que clasifica el proceso de degradación de una obra en cuatro etapas:

Etapla I: es la etapa inicial, con un buen comportamiento que será tanto más extensa, cuanto más acertado haya sido el proyecto y la construcción de la estructura.

Etapla II: es la etapa previa a la corrosión de las armaduras. El proceso de carbonatación degrada la capacidad de protección del hormigón hacia el acero embebido en él. De detectarse el problema en esta etapa, es posible actuar con carácter preventivo, por ejemplo, actuando sobre los recubrimientos de la armadura. Este mantenimiento preventivo debería realizarse antes de los primeros 5 años en estructuras en ambientes normales y antes de los primeros 3 años en ambientes marinos.

Etapla III: se producen fenómenos de corrosión local activos, aparecen fisuras asociadas, manchas de óxido, etc. Se vuelve necesario efectuar trabajos de reparación y mantenimiento (Figura 1).

Etapla IV: es la etapa de corrosión generalizada, siendo imprescindible realizar reparaciones con un volumen importante de éstas. Se genera de esta forma la Ley de los cinco, es decir, por cada U\$S 1 que se gaste en la etapa I, se gastarán U\$S 5 en la etapa II, U\$S 25 en la etapa III, o U\$S 125 en la etapa IV. Si bien estas son relaciones relativas, es evidente la importancia de un proyecto correcto y estudiado, un buen control de durabilidad, una cuidadosa y supervisada ejecución de obra. Una dirección de obra competente y eficiente es vital para lograr los objetivos citados.



Figura 1: Corrosión de armaduras en una estructura portuaria

¹ Ing. Civil, Profesor Titular de la Cátedra de Puertos y Vías Navegables de la UNPSJB, Argentina. E-mail: ricardohdelvalle@infovia.com.ar - ricardodelv@gmail.com

² Ing. Civil e Hidráulico, docente de la Facultad de Ingeniería de la UNPSJB, Argentina. E-mail: hugo.donini@gmail.com. Miembro Plenario de la AIE. Coautor del libro "Introducción al Cálculo de Hormigón Estructural" – Ed. Nobuko – ISBN 978-987-584-245-8.

3. ANTECEDENTES AL CIRSOC 201/05

Haciendo un recorrido histórico de los códigos de nuestro país referidos a durabilidad, el PRAEH-64 establecía "los requisitos generales mínimos referentes al proyecto, cálculo y ejecución de las estructuras de hormigón armado (...)". "La dosificación del hormigón deberá permitir resistir debidamente la acción destructora del medio ambiente al que la estructura estará expuesta". Se daban máximas relaciones a/c a emplear con dos criterios, sin distinción de clima, y en otra tabla, para distintos climas y estructuras. Existían dos tipos de climas (riguroso y templado) y una subdivisión para estructuras que se encuentran al aire y en contacto con agua dulce. El vigente CIRSOC 201-82, no establece la cantidad de años mínima de la vida útil que permite alcanzar la aplicación responsable del reglamento. Especifica las razones agua/cemento máximas por durabilidad (Tabla 1), quedando relacionadas con la "condición de exposición" y el tipo de elemento estructural. Algunos tipos de exposición destacables son: congelación y deshielo, clima lluvioso o semiárido, en contacto con aguas y/o suelos de diferente agresividad, ambientes muy húmedos y ataque químico.

Hormigones de densidad normal Condición de exposición	Máxima razón agua/cemento, en masa
Frecuente o continuamente humedecido y expuesto a los efectos de la congelación y deshielo - Secciones de espesor menor de 500 mm o con recubrimientos libres de las armaduras menores de 25 mm, y todo hormigón expuesto a la acción de sales descongelantes - Todo otro tipo de estructura	0,45 (1) 0,50 (2)
Estructuras expuestas al aire, a la intemperie. Clima lluvioso o semi-árido. Sólo por excepción temperatura debajo de 0°C.	0,53
Cisternas y depósitos para agua, conductos, tuberías y toda estructura que deba resultar impermeable y estar destinadas a contener agua o soluciones acuosas no agresivas: - espesores de 100 a 400 mm - espesores mayores	0,48 0,53
Fundaciones de hormigón armado o pretensado y otras estructuras enterradas en contacto con: - aguas o suelos húmedos, no agresivos - agua de mar	0,50 0,45 (3)
Estructuras en ambientes cerrados con frecuentes contactos con aire muy húmedo y fuertes condensaciones a temperatura ambiente (cocinas industriales, baños públicos, lavaderos, ambientes húmedos de natatorios y establos)	0,53
En contacto con sulfatos solubles en agua: - Ataque débil o moderado. Concentraciones de sulfatos (como $\text{SO}_4^{=}$), en muestras de suelos, comprendidas entre 0,10 a 0,20% en masa (1000 y 2000 mg/kg), o entre 200 y 1500 p.p.m. (mg/l) en muestras de agua - Ataque fuerte, ídem, en muestras de suelo comprendidos entre 0,2 y 2,0% en masa (2000 y 20000 mg/kg), o entre 1500 y 10000 p.p.m. (mg/l) en muestras de agua - Ataque muy fuerte. Ídem, en muestras de suelo mayores de 2,00% (20000 mg/kg) o de 10000 p.p.m. (mg/l) en muestras de agua	0,30 (3) 0,45 (4) 0,45 (5)
En contacto con otras sustancias o líquidos químicamente agresivos (agresión ácida, etc.)	0,40 (6)
Hormigón colocado bajo agua mediante el método de tolva y tubería vertical	0,45

Tabla 1: Razones agua/cemento por durabilidad (CIRSOC 201/82)

El Reglamento CIRSOC 201 M presenta un número menor de tipos de exposición (Bs. As.).

4. CRITERIOS DE DURABILIDAD DEL CIRSOC 201/05 Y COMPARACIONES CON EL CIRSOC 201/82

El CIRSOC 201/05 establece como acciones del medio ambiente, "a aquellas de naturaleza química, física y/o físico-química que pueden provocar la degradación de la estructura por efectos diferentes a los de las cargas consideradas en el cálculo estructural. Según sea la magnitud de dicha degradación y la velocidad con que se produce, la estructura puede perder, parcial o totalmente, la aptitud para cumplir la función para la cual fue construida". El nuevo CIRSOC incluye el concepto de "conjunto hormigón" en su redacción, diferenciando el tratamiento del tema materiales respecto a la versión anterior, donde sólo se consideraba el conjunto en la valoración de los cloruros totales. En tal sentido, los documentos de proyecto deben indicar (sección 2.2.2.3):

- Tipo de ambiente al que estará expuesta la estructura.
- Vida útil de diseño y estrategias de diseño y mantenimiento
- Tipo de hormigón (clase resistente y tipo de protección)

4.1. CLASE DE AMBIENTE AL QUE ESTARÁ EXPUESTA LA ESTRUCTURA

Para considerar este factor, el CIRSOC 201/05 considera la clase de exposición ambiental y define las medidas preventivas de protección, realizando una clasificación similar a la efectuada por el anterior CIRSOC 201 M y no al Código ACI 318/05. Se indican dos tipos de exposiciones, una general que afecta la durabilidad de la estructura por corrosión de las armaduras, y otra específica, donde se hace referencia a acciones físico - químicas. En este último grupo se incluye las acciones de congelamiento y deshielo y el ataque químico por sustancias contenidas en los suelos y aguas de contacto con la estructura. En la Tabla 2 se anexan las Tablas 2.1 y 2.2 del CIRSOC 201/05 que clasifican los tipos de ambiente o tipos de exposición para los cuales es posible especificar medidas preventivas de protección.

1	2	3	4	5	6
EXPOSICIÓN					
Desig.	Clase	Subclase	Tipo de proceso	Descripción del medio ambiente	Ejemplos ilustrativos de estructuras donde se pueden dar las clases de exposición
A 1	No agresiva		Ninguno	• Interiores de edificios no sometidos a condensaciones • Elementos exteriores de edificios, revestidos • Hormigón masivo interior • Estructuras en ambientes rurales y climas desérticos, con precipitación media anual < 250 mm.	• Interiores de edificios protegidos de la intemperie • Columnas y vigas exteriores revestidas con materiales cerámicos o materiales que demoran la difusión del CO₂. • Elementos estructurales de hormigón masivo que no están en contacto con el medio ambiente. Parte interior de los mismos.
A 2	Ambiente Normal	Temperatura moderada y fría, sin congelación. Humedad alta y media o con ciclos de mojado y secado	Corrosión por carbonatación	• Interiores de edificios expuestos al aire con HR ≥ 65 % o a condensaciones • Exteriores expuestos a lluvias con precipitación media anual < 1.000 mm. • Elementos enterrados en suelos húmedos o sumergidos	• Sótanos no ventilados • Fundaciones • Tableros y pilas de puentes • Elementos de hormigón en cubiertas de edificios • Exteriores de edificios. • Interiores de edificios con humedad del aire alta o media
A 3	Clima cálido y húmedo		Corrosión por carbonatación	• Exteriores expuestos a lluvias con precipitación media anual ≥ 1.000 mm • Temperatura media mensual durante más de 3 meses al año ≥ 25° C.	• Pavimentos • Losas para estacionamientos

1	2	3	4	5	6
EXPOSICIÓN					
Desig.	Clase	Subclase	Tipo de proceso	Descripción del medio ambiente	Ejemplos ilustrativos de estructuras donde se pueden dar las clases de exposición
C L	Húmedo o sumergido, con cloruros de origen diferente del medio marino		Corrosión por cloruros	• Superficies de hormigón expuestas al rociado o la fluctuación del nivel de agua con cloruros • Hormigón expuesto a aguas naturales contaminadas por desagües industriales	• Piletas de natación sin revestir. • Fundaciones en contacto con aguas subterráneas • Cisternas en plantas potabilizadoras • Elementos de puentes
	M 1	Marino	Al aire	Corrosión por cloruros	• A más de 1 km. de la línea de marea alta y contacto eventual con aire saturado de sales.
M 2	Al aire		Corrosión por cloruros	• A menos de 1 km. de la línea de marea alta y contacto permanente o frecuente con aire saturado con sales	• Construcciones próximas a la costa.
	Sumergidos		Corrosión por cloruros	• Sumergidos en agua de mar, por debajo del nivel mínimo de mareas.	• Estructuras de defensas costeras • Fundaciones y elementos sumergidos de puentes y edificios en el mar
M 3	Sumergidos		Corrosión por cloruros	• En la zona de fluctuación de mareas o expuesto a salpicaduras del mar	• Estructuras de defensas costeras, fundaciones y elementos de puentes y edificios

(*) La distancia máxima depende de la dirección de los vientos predominantes. Cuando ellos provengan del mar, como ocurre en la mayor parte del litoral de la Provincia de Buenos Aires, esta zona está entre 1 km y 10 km. En la mayor parte de la Patagonia esta zona es inexistente. El Director del Proyecto deberá acotar los límites de aplicación de esta zona de agresividad.

1	2	3	4	5	6
Desig.	Clase	Subclase	Tipo de proceso	Descripción del medio ambiente	Ejemplos ilustrativos de estructuras donde pueden darse las clases de exposición
C 1	Congelación y deshielo	Sin sales descongelantes	Ataque por congelación y deshielo	Elementos en contacto frecuente con agua, o zonas con humedad relativa ambiente media en invierno superior al 75 %, y que tengan una probabilidad mayor que el 50 % de alcanzar al menos una vez temperaturas por debajo de -5 °C	• Superficies expuestas a la lluvia o a atmósferas húmedas. • Estructuras que contienen agua o la conducen.
C 2		Con sales descongelantes	Ataque por congelación y deshielo y por sales descongelantes	Estructuras destinadas al tráfico de vehículos o peatones en zonas con más de 5 nevadas anuales o con temperatura mínima media en los meses de invierno inferior a 0°C	• Pistas de aterrizaje, caminos y tableros de puentes. • Superficies verticales expuestas a la acción directa del rociado con agua que contiene sales descongelantes. • Playas de estacionamiento y cocheras en los edificios.
Q 1	Ambientes con agresividad química	Moderado	Ataque químico	• Suelos, aguas o ambientes que contienen elementos químicos capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad lenta (Ver Tablas 2.3 y 2.4).	
Q 2		Fuerte		• Suelos, aguas o ambientes que contienen elementos químicos capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad media (Ver Tablas 2.3 y 2.4). • Exposición al agua de mar	
Q 3		Muy fuerte		• Suelos, aguas o ambientes que contienen elementos químicos capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad rápida (Ver Tablas 2.3 y 2.4).	

Tabla 2: Tabla 2.1 y Tabla 2.2 de exposición ambiental. Se destacan las exposiciones aplicables a obras portuarias (CIRSOC 201/05)

4.2. DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS

El CIRSOC 201/05 indica que la vida útil en servicio de una estructura es “el período de tiempo a partir de su construcción, durante el cual debe mantener las condiciones de seguridad, funcionalidad o aptitud en servicio y aspecto aceptables, sin gastos de mantenimiento significativos”. Por ello, describe una serie de exigencias mínimas, de tal forma que la vida útil en servicio de cualquier estructura sea de 50 años. Los aspectos más importantes del mantenimiento de una estructura son los que a continuación se detallan.

4.2.1. RESISTENCIA ESPECIFICADA

La resistencia de un hormigón permitirá establecer las condiciones para su diseño, así como la capacidad de éste a absorber esfuerzos externos y su deformabilidad ante cargas y acciones externas. El CIRSOC 201/05 especifica resistencias mínimas a compresión para cada tipo de hormigón, según la Tabla 3:

Clase de hormigón	Resistencia especificada a compresión f'_c (MPa)	A utilizar en hormigones
H – 15	15	simples (sin armar)
H – 20	20	simples y armados
H – 25	25	Simples, armados y pretensados
H – 30	30	
H – 35	35	
H – 40	40	
H – 45	45	
H – 50	50	
H – 60	60	

Tabla 3: Resistencias de hormigones y sus usos (CIRSOC 201/05)

Es necesario indicar que el cambio observado en la especificación de resistencias (f'_c) respecto de las anteriores (σ'_{bk}), se debe a que corresponden a las resistencias características de rotura a compresión, pero con un cuantil del 10% (90% de probabilidad de ser superado por los resultados de todos los ensayos). Al respecto, cabe recordar que en el Reglamento CIRSOC 201/82 se definía la resistencia con un cuantil del 5%. Por ello, la resistencia especificada según el nuevo CIRSOC es entre 3 y 5 MPa mayor que el valor de resistencia característica definida en el CIRSOC 201/82. Realizando una comparación con el citado CIRSOC (Tabla 4), se eliminan las resistencias H-4 y H-8, y se incorpora una nueva, el hormigón H-60.

1	2	3	4	5	8
Hormigón Grupo	Hormigón de Clase de Resistencia	Resistencia Característica a la Edad de 28 días		Resistencia Media Mínima de c/Serie de 3 Ensayos Consecutivos	Aplicaciones
		MPa	Kgf/cm ²		
H-I	H-4	4	40	7	Hormigón simple únicamente
	H-8	8	80	12	
	H-13	13	130	17.5	Hormigón simple y armado
	H-17	17	170	21.5	
H-II	H-21	21	210	26	Hormigón simple, armado y pretensado
	H-30	30	300	35	
	H-38	38	380	43	
	H-47	47	470	52	

Tabla 4: Resistencias características del hormigón especificadas por grupo (CIRSOC 201/82)

A su vez, el CIRSOC 201/05 define las resistencias mínimas de los hormigones que conformarán las estructuras clasificándolas de acuerdo con su condición de exposición.

4.2.2. RAZÓN AGUA/CEMENTO

La razón agua cemento establece la trabajabilidad de una mezcla de hormigón, y su límite se basa en la relación inversamente proporcional respecto a la resistencia a compresión de una pieza de hormigón. El descenso de la resistencia con el aumento de la relación agua/cemento, se origina en el incremento de poros de la pasta, de su permeabilidad, de una mayor contracción por secado y en consecuencia, de una menor durabilidad. El CIRSOC 201/05 presenta para cada clase de exposición, las razones agua/cemento máximas permitidas para hormigones simples, armados y pretensados (Tabla 5).

Requisitos	Tipos de exposición de las estructuras, de acuerdo con la clasificación de las Tablas 2.1. y 2.2. y sus complementarias 2.3. y 2.4.									
	A 1	A 2	A 3 y M 1	C L y M 2	M 3	C 1 ⁽²⁾	C 2 ⁽²⁾	Q 1	Q 2	Q 3 ⁽³⁾
a) Razón a/c máxima ⁽¹⁾										
Hormigón simple	----	----	----	0,45	0,45	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
Hormigón armado	0,60	0,50	0,50	0,45	0,40	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
Hormigón pretensado	0,60	0,50	0,50	0,45	0,40	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
b) $f'_{c\ min}$ (MPa)										
Hormigón simple	----	----	----	30	35	30	35	30	35	40
Hormigón armado	20	25	30	35	40	30	35	30	35	40
Hormigón pretensado	25	30	35	40	45	30	35	35	40	45
Penetración de agua o succión capilar según 2.2.11.	no	si	si	si	si	si	si	si	si	si

(1) Cuando se use cemento pórtland más una o varias adiciones minerales activas incorporadas directamente en planta elaboradora, se podrá reemplazar la **razón agua/cemento (a/c)**, por la **razón agua/ material cementicio [a/(c+x)]**, que tenga en cuenta la suma del cemento pórtland (c) y la cantidad de la adición mineral (x), cuando se trate de puzolanas según norma IRAM 1668:1968 o de escorias según norma IRAM 1667:1990.

(2) Debe incorporarse intencionalmente aire, en la cantidad requerida en la Tabla 5.3..

(3) Cuando corresponda se debe proteger a la estructura según 2.2.5.2.c3 ó 2.2.10.3.

Tabla 5: Exposición de las estructuras y relaciones a/c y $f'_{c\ min}$. Se destacan las exposiciones aplicables a obras portuarias (CIRSOC 201/05)

4.2.3. CONTENIDO MÍNIMO DE AIRE INCORPORADO

La importancia de la incorporación de aire a las estructuras de hormigón, se vincula con el mejor comportamiento del hormigón frente a los procesos de congelamiento y deshielo, los que producen tracciones dentro de los vasos capilares. El aire incorporado actúa como medio de liberación de las tracciones producidas en cada ciclo de congelamiento. Sin embargo, y como bien los comenta el CIRSOC 201/05, el contenido de aire "no es un indicador indubitable de que se hubiere incorporado el aire al hormigón en la forma benéfica de microburbujas incoalescentes". El CIRSOC 201/05 especifica el contenido mínimo de aire incorporado a partir del tamaño máximo del agregado grueso y para la exposición a la que se encuentre el hormigón (sea C1 o C2, según se indica previamente en la tabla de razones a/c) (Tabla 6). El hecho de un porcentaje mayor de aire incorporado en agregados de menor tamaño máximo, generan que estos hormigones contengan mayor cantidad de poros capilares.

Tamaño máximo del agregado grueso	Total de aire natural e intencionalmente incorporado al hormigón, de acuerdo al tipo de exposición o para hormigones especiales (Capítulo 2, Tablas 2.5. y 2.9.)	
	Exposición tipo C1 y Hormigón a colocar bajo agua	Exposición tipo C2
mm	% en volumen	% en volumen
13,2	$5,5 \pm 1,5$	$7,0 \pm 1,5$
19,0	$5,0 \pm 1,5$	$6,0 \pm 1,5$
26,5	$4,5 \pm 1,5$	$6,0 \pm 1,5$
37,5	$4,5 \pm 1,5$	$5,5 \pm 1,5$
53,0	$4,0 \pm 1,5$	$5,0 \pm 1,5$

Tabla 6: Contenido de aire total o intencionalmente incorporado (CIRSOC 201/05)

4.2.4. CURADO

El curado es una tarea importante para que el hormigón mantenga condiciones adecuadas de humedad y temperatura, durante el período inicial. Un buen curado, minimiza la existencia de fisuras por retracción y, por tanto, aumenta las condiciones de durabilidad de la estructura. Las protecciones generadas con este propósito, deben permanecer hasta tanto el hormigón adquiera la resistencia suficiente para no ser afectado por las agresiones. En el hormigón fresco, se hace referencia a las condiciones de curado del elemento estructural, que en caso de encontrarse en contacto con ambientes agresivos, como es el caso de las estructuras portuarias, debe incrementarse como mínimo en tres días para todos los tipos de cemento (ver Tabla 7).

Tipo de cemento empleado en el hormigón	Período mínimo de curado
Cemento de alta resistencia inicial, cuando la edad de diseño del hormigón sea igual o menor que 7 días	3 días
Cemento pórtland normal Cemento pórtland con filler calcáreo Cemento pórtland con escoria Cemento blanco	5 días
Cemento pórtland puzolánico Cemento pórtland compuesto (*) Cemento de alto horno Cemento de bajo calor de hidratación	8 días
(*) Cuando el cemento compuesto tenga una velocidad de desarrollo de resistencia igual o mayor que la del cemento pórtland normal, el plazo mínimo de curado se reducirá a cinco (5) días.	

Tabla 7: Períodos reglamentarios mínimos de curado (CIRSOC 201/05)

4.2.5. RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS

El adecuado recubrimiento de una estructura protege a las armaduras de la acción del medio, asegurando un PH lo suficientemente alcalino como para evitar la corrosión de las mismas. Por otro lado, ofrece una seguridad ante la acción del fuego sobre el acero. Además garantiza, aunque en menor grado, el cono de adherencia de hormigón alrededor del acero. Previamente a indicar las especificaciones del CIRSOC referidas al recubrimiento, es necesario dedicar un párrafo aparte sobre las tolerancias constructivas y la correcta ubicación de las armaduras a flexión. El CIRSOC 201/05 establece tolerancias para la colocación de las armaduras (Tabla 8) refiriéndolas a la altura útil (d) (Figura 2). Al respecto, se ha invertido la nomenclatura del CIRSOC 201/82 (la altura útil pasa a ser " d " y la altura total o espesor " h ").

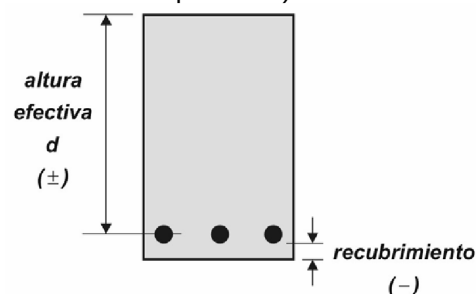


Figura 2: Convención para tolerancias en la colocación de armaduras (CIRSOC 201/05)

Altura efectiva d	Tolerancia en d (*)	Tolerancia en el recubrimiento mínimo del hormigón (**)
≤ 200 mm	± 10 mm	- 10 mm
> 200 mm	± 15 mm	- 15 mm
Excepto que: (*) La tolerancia para la distancia libre al fondo de los encofrados debe ser - 5 mm. (**) La tolerancia para el recubrimiento no debe exceder, en menos, de 1/3 del recubrimiento mínimo de hormigón exigido en los planos o en las especificaciones de la obra.		

Tabla 8: Tolerancias en las dimensiones para la colocación de la armadura (CIRSOC 201/05)

Los límites mínimos de separación de armaduras se definieron, originalmente, con la finalidad de facilitar la colocación del hormigón dentro de los espacios comprendidos entre las barras entre sí y entre éstas y el encofrado, sin crear nudos ni oquedades, y evitar la concentración de barras en un mismo plano, lo que podría originar fisuras por esfuerzos de corte o por contracción. La separación de las armaduras en elementos solicitados a flexión, se expresa en la Figura 3:

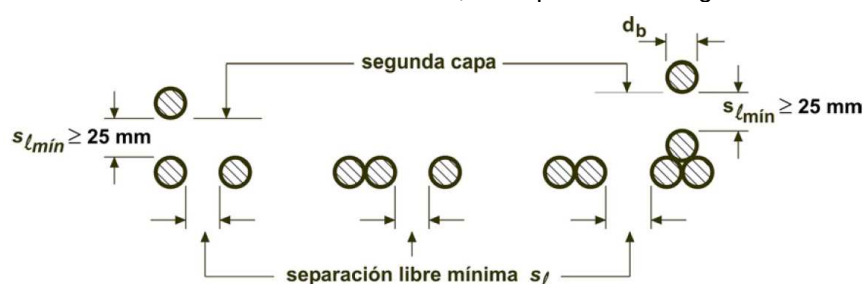


Figura 3: Separación límite mínima de la armadura (CIRSOC 201/05)

Al respecto, el CIRSOC 201/82 establecía separaciones mínimas entre barras de armadura 20 mm, en lugar de 25 mm como su sucesor (Tabla 9).

	Recubrimiento del hormigón	Medidas mínimas según	
c_L	de las barras longitudinales	$\geq d_s + 5 \text{ mm}$	Tabla 15
c_{est}	de los estribos		Tabla 15, col 2 y 4
c_1	en general		Tabla 15, col 3 y 5
c_2	en elementos portantes tipo losa		Tabla 15, col 6
c_3	en elementos premoldeados	artículo 13.2.1, párrafo 3	
c_4	en premoldeados con hormigón posterior in-situ; en el premoldeado y en el hormigón de obra	artículo 13.2.1, párrafo 3	
a_L	separación libre entre barras longitudinales	$\geq d_s$ pero como mínimo 20 mm	

Tabla 9: Separaciones de barras (CIRSOC 201/82)

La especificación de los recubrimientos en el CIRSOC 201/05, se realiza en función del tipo de hormigón (si es colocado en obra, prefabricado o pretensado), del tipo de elemento estructural y del grado de exposición (en contacto con el suelo, expuesto al aire, etc.). Asimismo, es necesario tener en cuenta:

- 1) Para la armadura principal, el recubrimiento debe ser mayor o igual que el diámetro de la barra o alambre adoptado.
- 2) Cuando la disposición de la armadura con respecto al encofrado dificulte el llenado de los moldes, se debe adoptar una separación igual o mayor a 1,33 veces el tamaño máximo del agregado grueso.
- 3) Si el control de ejecución no es intenso, se recomienda especificar un recubrimiento nominal mayor que el mínimo establecido.
- 4) Además de controlar el espesor de recubrimiento, es necesario, por razones de durabilidad, disponer de un hormigón compacto de baja permeabilidad.

El CIRSOC 201/05 indica valores mínimos de recubrimientos (Tabla 10), los cuales deben ser incrementados en 10 mm por cada 30 minutos adicionales de exposición al fuego para tabiques, columnas y vigas, y en 5 mm para losas.

	Condición	Recubrimiento mínimo en mm
(a)	☐ Hormigón colocado en la base de las fundaciones, en contacto con la capa de hormigón de limpieza (El recubrimiento indicado NO incluye el espesor de la capa de limpieza, indicado en el artículo 5.6.2.1.)	50
(b)	Hormigón en contacto vertical con el suelo o expuesto al aire libre ☐ para barras con $d_b > 16 \text{ mm}$ ☐ para barras y alambres con $d_b \leq 16 \text{ mm}$	35 30
(c)	Hormigón no expuesto al aire libre ni en contacto con el suelo: Losas, tabiques, nervaduras: ☐ para barras con $d_b > 32 \text{ mm}$ ☐ para barras y alambres con $d_b \leq 32 \text{ mm}$	30 20 pero $\geq d_b$
	Vigas, columnas: ☐ para armadura principal ☐ para estribos abiertos y estribos cerrados ☐ para zunchos en espiral	d_b pero ≥ 20 y ≤ 40 20 40
	Cáscaras y placas plegadas: ☐ para barras con $d_b > 16 \text{ mm}$ ☐ para barras y alambres con $d_b \leq 16 \text{ mm}$	20 15
(*)	- Para las clases de exposición A3, Q1 y C1 (ver Tabla 2.1.), los valores dados en esta Tabla se deben incrementar un 30 % - Para las clases de exposición CL, M1, M2, M3, C2, Q2 y Q3 (ver Tabla 2.1.), los valores dados en esta Tabla se deben incrementar un 50 %.	

Tabla 10: Recubrimientos mínimos para ambientes clase A1 y A2 (CIRSOC 201/05)

De acuerdo con los usos de recubrimientos de nuestro país, y a las recomendaciones del CIRSOC 201/05, las vigas pueden incluir los ejes de las barras que constituyen la armadura principal a flexión a una distancia de 40 mm desde la cara superior o inferior con el fin de garantizar tanto para las barras, como para los estribos, un recubrimiento mínimo de 20 mm. Los valores de los recubrimientos mínimos corresponden a las clases de exposición ambiental A1 y A2. Para las clases de exposición A3, Q1 y C1 los valores dados se deben incrementar un 30% y para las clases CL, M1, M2, M3, C2, Q2 y Q3 en un 50%. Al respecto, es necesario resaltar, que los valores no responden a la Norma ACI 318/05, que posee mayores recubrimientos mínimos, sino a una adecuación de los utilizados en nuestro país. Se incluye la Tabla 11 del Código ACI 318/05.

	Recubrimiento Mínimo, mm
(a) Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente a él	75
(b) Concreto expuesto a suelo o a la intemperie:	
Barras No. 19 a No. 57	50
Barras No. 16, alambre MW200 ó MD200 (16 mm de diámetro) y menores	40
(c) Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo:	
Losas, muros, viguetas:	
Barras No. 43 y No. 57	40
Barras No. 36 y menores	20
Vigas, columnas:	
Armadura principal, estribos, espirales	40
Cáscaras y placas plegadas:	
Barra No. 19 y mayores	20
Barras No. 16, alambres MW200 ó MD200 (16 mm de diámetro) y menores	15

Tabla 11: Recubrimientos especificados en el Art. 7.7.1 (ACI 318S-05)

En la Tabla 12 se efectúa una comparación de los recubrimientos especificados para estructuras en ambientes portuarios según CIRSOC 201/82, CIRSOC 201/05 y ACI 318/05.

Recubrimiento (mm) Elemento estructural	CIRSOC 201/05			CIRSOC 201/82	ACI 318/05
	A3 y Q1	M1, M2, M3, Q2 y Q3	A1 y A2	Hormigón H-II	
Losas	26 ⁽¹⁾	30	20	30	40 20
Fundaciones	65	75	50	35	75
Muros y tabiques	52 ⁽²⁾	60	40	30	40 ⁽⁵⁾
	26 ⁽³⁾	30	20		20 ⁽⁶⁾
Columnas	26 ⁽⁴⁾	30	20	35	40
Vigas	26	30	20	35	40

⁽¹⁾ $d_b < 32$ mm

⁽²⁾ cara expuesta al suelo y para $d_b > 16$ mm

⁽³⁾ cara no expuesta al suelo y para $d_b \leq 32$ mm

⁽⁴⁾ columnas simples, no zunchadas

⁽⁵⁾ Barras No. 43 y No. 57

⁽⁶⁾ Barras No. 36 y menores

Tabla 12: Comparación de recubrimientos mínimos según CIRSOC 201/05, CIRSOC 201/82 y ACI 318/05 para estructuras en distintos ambientes

Los recubrimientos del CIRSOC 201/82 están definidos en función del tipo de hormigón (H-I o H-II), para losas o elementos generales y las condiciones ambientales (Tabla 13). Bajo estas condiciones, las losas en ambientes no agresivos pueden tener recubrimientos de 10 mm. Los elementos estructurales expuestos a corrosión pueden tener recubrimientos de 40 mm. Los recubrimientos mínimos se incrementan en los casos que el tamaño máximo del agregado grueso es mayor de 30 mm, o cuando exista peligro de que el hormigón aún no suficientemente endurecido pueda ser afectado por acciones mecánicas (p.e., encofrados deslizantes), en el caso de protección contra el fuego, o cuando el hormigón superficial será arenado o amolado por desgaste.

Condiciones ambientales	Hormigón en obra y premoldeados				Elementos premoldeados fabricados en plantas industriales
	H - I		H - II		H - II
	General mm	Elementos portantes tipo losa *) mm	General mm	Elementos portantes tipo losa *) mm	$\sigma'_{bk} \geq 30$ MN/m ² mm
Elementos constructivos en ambientes cerrados p. ej. viviendas (inclusive cocinas, baño y lavadero), oficinas, escuelas, hospitales, negocios – mientras no se especifique otra cosa en lo que sigue. Elementos constructivos permanentemente bajo agua o que están siempre secos. Techos con un forro impermeable, del lado impermeabilizado.	20	15	15	10	10
Elementos constructivos a la intemperie y elementos que tienen permanente contacto con el aire	25	20	20	15	15
Elementos constructivos en ambientes cerrados con frecuente contacto con aire muy húmedo a temperatura ambiente, p. ej. en cocinas industriales, baños, lavaderos, en ambientes húmedos de natatorios y en establos. Elementos constructivos expuestos a humedecimiento frecuente, p. ej. humedecimiento por deshielo o en la zona de fluctuación del nivel del agua. Elementos constructivos expuestos a un ataque químico "débil" de acuerdo con el artículo 6.6.5.4 ^a)	30	25	25	20	20
Elementos constructivos expuestos a influencias notablemente corrosivas, p. ej. por la acción permanente de gases o sales agresivos o a un ataque químico "fuerte" de acuerdo con el artículo 6.6.5.4 a)	40	35	35	30	30

*) Se entienden como elementos portantes tipo losa a las losas, losas nervuradas, losas construidas con bloques de ladrillos huecos, tabiques, cáscaras, estructuras plegadas y muros.

Tabla 13: Recubrimientos mínimos (CIRSOC 201/82)

4.2.6. CONTROL DE DEFORMACIONES

El CIRSOC 201/05 plantea el método de Branson para la verificación de las deformaciones en vigas y en las losas. Este método resulta práctico y cuenta con una amplia aceptación profesional. Por razones de extensión, no se desarrollará este método en el presente trabajo. Sí se destaca la importancia de la verificación de esta condición considerando el ajuste de los coeficientes de seguridad que se desarrolla en el inciso 5).

4.2.7. CONTROL DE FISURAS

Es inevitable la existencia de fisuras en las estructuras de hormigón armado, si bien se ven originadas por una multiplicidad de causas. Una rápida clasificación según su origen puede ser:

- I) Fisuras generadas por acciones directas (cargas).
- II) Fisuras generadas por acciones indirectas, tales como: asiento de apoyos, retracción por fragüe, fluencia lenta, cambios de temperatura.
- III) Fisuras generadas por deficiencias constructivas o producto de una dosificación inadecuada.
- IV) Errores en el diseño y detallado de armaduras (zona de nudos, etc.)

Las fisuras producto de deficiencias constructivas o dosificaciones inadecuadas que se producen a edades tempranas, son las más frecuentes y resultan difíciles de controlar por medio de armaduras. Son en general superficiales y dado que se presentan en la fase plástica del hormigón, es complejo su tratamiento analítico. De no disponer una armadura suficiente en cantidad y distribución, se puede producir la plastificación de la misma, generándose pocas fisuras de gran espesor, situación que se presenta con cierta frecuencia en elementos sometidos a deformaciones impuestas, como por ejemplo en muros.

4.2.7.1. CIRSOC 201/05

Debido a la cantidad de variables que intervienen en el proceso de fisuración y a la complejidad del problema, el criterio del CIRSOC 201/05 (ACI 318/05), consiste en intentar controlar la fisuración superficial a un valor que resulte aceptable en la práctica. No pretende, por lo tanto, predecir el ancho de las fisuras en un determinado elemento. El control de fisuración está pensado básicamente para estructuras de edificios. El criterio adoptado se fundamenta en establecer una separación máxima de la armadura traccionada en mm (s), en función del recubrimiento (c_c) y la tracción del acero bajo cargas de servicio (f_s). Las nuevas disposiciones para la separación intentan controlar la fisuración superficial a un ancho que, en forma general, sea aceptable en la práctica, pero que puede variar dentro de una estructura dada. Las mismas son:

$$s \leq \begin{cases} 380 \cdot \frac{280}{f_s} - 2,5 \cdot c_c \\ 300 \cdot \frac{280}{f_s} \end{cases} \quad (I)$$

con f_s la tensión en la armadura en estado II bajo cargas de servicio, en correspondencia con la fisura (MPa), c_c el recubrimiento libre de la barra más cercana a la superficie (mm) y s la separación máxima de la armadura traccionada (mm).

Al respecto, el valor de f_s sugerido por el CIRSOC 201/05 es de $2/3 f_y = f_y / 1,5$, lo cual se deduce de la expresión:

$$f_s = \frac{f_y}{\gamma} \quad (II) \quad \gamma = \frac{1,20 \cdot D + 1,60 L}{0,90} \cong 1,50 \quad (III)$$

con $D = 0,60$ y $L = 0,40$, valores medios usuales en edificios, ya que el 60% de las cargas serían derivadas de las cargas permanentes. Para un acero ADN 420/500, $f_s = 420 \text{ MPa} / 1,5 = 280 \text{ MPa}$. Las especificaciones dadas en el artículo 10.6.4. del CIRSOC 201/05 no se consideran suficientes para aquellas estructuras que estén expuestas a medios muy agresivos, o cuando se diseñen para ser impermeables, razón por la cual se deberán adoptar medidas especiales cuando se presenten esos casos. Bajo esta situación, no sería aplicable para la mayoría de las estructuras portuarias.

4.2.7.2. ACI 224-2R-92

Para estructuras con otro grado de compromiso, es posible utilizar la expresión de Gergely-Lutz (1968) (ACI 224-2R-92), obtenida de una serie numerosa de ensayos sobre vigas.

$$w_k = \frac{1}{90000} \cdot \beta \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{d_c \cdot A} \quad (IV)$$

w_k = ancho máximo de fisura más probable en la superficie del elemento (mm).

f_s = tensión de armaduras en Estado II (MPa).

d_c = distancia desde la superficie de hormigón hasta el centro de la barra más próxima (mm).

A = área de hormigón cobaricéntrica con la armadura dividida el número de barras (mm²).

β = coeficiente que tiene en cuenta el aumento de la abertura de la fisura entre el nivel de la armadura y la superficie de hormigón. Su valor se puede aproximar a 1,2 para vigas y 1,35 para losas de fundación.

$$\beta = \frac{h_2}{h_1} \quad (V)$$

h_1 = distancia del eje neutro al baricentro de la armadura

h_2 = distancia del eje neutro a la cara traccionada de la pieza

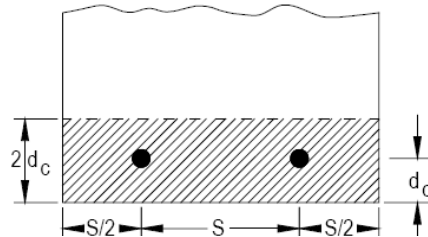


Figura 4: Parámetros geométricos para el cálculo del ancho de las fisuras (ACI 224-2R-92)

El ACI 224R-01 publica la siguiente guía de anchos de fisura razonables (Tabla 14). Estos son lineamientos generales para el diseño, que se deben utilizar con un sólido juicio profesional.

Condición de exposición	Ancho tolerable de la fisura (mm)
Aire seco o membrana protectora	0,41
Humedad, aire húmedo, suelo	0,30
Químicos para deshielo	0,18
Agua de mar y rocío de agua de mar: humedecimiento y secado	0,15
Estructuras de contención de agua, se excluyen ductos sin presión	0,10

Tabla 14: Espesores tolerables de fisura (ACI 224-2R-92)

4.2.7.3. AASHTO LRFD 2007

La edición del año 2007 del AASHTO LRFD prescinde del cálculo del ancho de fisura y calcula la separación límite en mm que debe tener la armadura traccionada en cercanía a la cara traccionada de la pieza de hormigón bajo análisis, de la forma:

$$s \leq \frac{123000\gamma_e}{\beta_s \cdot f_{ss}} - 2 \cdot d_c \quad (VI)$$

Expresión que bajo la nomenclatura del código mencionado, significa:

γ_e = factor de exposición igual a 1,00 para una exposición clase 1 (considerada como el límite superior para verificar las condiciones de apariencia y corrosión de la pieza) o igual a 0,75 para una exposición de clase 2 (caso de estructuras expuestas al contacto con el agua).

$$\beta_s = 1 + \frac{d_c}{0,7 \cdot (h - d_c)} \quad (VII)$$

d_c = espesor del hormigón medido desde la fibra más traccionada sometida a flexión al baricentro de la armadura cercana a ella (mm).

f_{ss} = tensión de tracción del acero en estado de servicio (MPa)

h = espesor total o altura de la pieza (mm)

La condición de exposición 1 es equivalente a un ancho de fisura de 0,43 mm. Al ser la separación directamente proporcional al factor γ_e , se puede redefinir al mismo para otras condiciones de exposición, siendo el valor de 0,5 equivalente a una fisura de aproximadamente 0,22 mm.

4.2.7.4. CRITERIO DE FROSCHE

Este autor se basó en la teoría clásica de fisuración, en expresiones realizadas por Broms para calcular la separación de las fisuras y en resultados de ensayos para generar una ecuación que predice el ancho de éstas. El ancho de fisuras a nivel de la armadura, se estima con la expresión:

$$w = a \cdot \varepsilon_s \quad (\text{VIII})$$

con "a" la distancia entre fisuras. Si deseamos obtener el valor del ancho de la fisura a nivel del fondo de la viga, multiplicamos el valor anterior por el coeficiente:

$$\beta = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{h - c}{d - c} \quad (\text{IX})$$

donde:

c = distancia del borde superior de la viga al eje neutro.

d = altura útil de la viga.

h = altura total.

ε_1 = deformación específica en coincidencia con el eje de la armadura

ε_2 = deformación específica del hormigón en el borde inferior de la viga.

Por lo tanto, para estimar el ancho de las fisuras resulta necesario determinar la separación entre las mismas (a). Según Broms, dicho valor depende del recubrimiento del hormigón, d_c o d_s y de la separación entre barras de armadura (s), pudiéndose calcular como:

$$a = \psi_s \cdot d^* \quad (\text{X})$$

donde:

ψ_s = factor que varía entre 1 y 2, según se estime la separación mínima o máxima de las fisuras.

d^* = distancia definida a partir de la Figura 5.

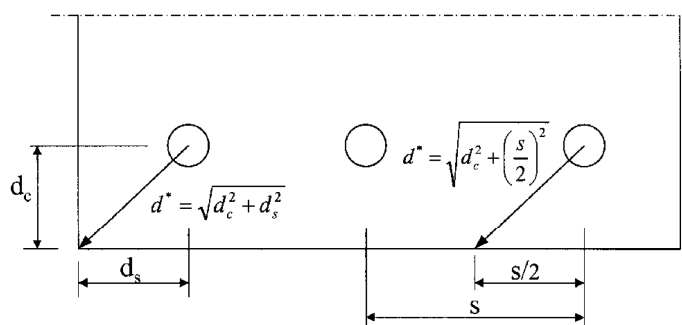


Figura 5: Separaciones d^* para el cálculo de separaciones entre fisuras según Frosch

Si reemplazamos (X) en la ecuación (VIII), expresando a $\varepsilon_s = f_s/E_s$ y reemplazando a d^* por la expresión de la distancia, es posible evaluar el ancho máximo de fisura en la cara inferior de la pieza como:

$$w = 2 \cdot \frac{f_s}{E_s} \cdot \beta \cdot \sqrt{d_c^2 + \left(\frac{s}{2}\right)^2} \quad (\text{XI})$$

donde:

w = abertura máxima de fisuras en la superficie de la viga (mm)

f_s = tensión de armaduras en Estado II (MPa)

d_c = distancia desde la superficie de hormigón hasta el centro de la barra más próxima (mm)

s = separación de las armaduras (mm)

β = coeficiente que tiene en cuenta el aumento de la abertura de la fisura entre el nivel de la armadura y la superficie de hormigón, que para Frosch es igual a $1 + 0,00315 \cdot d_c$.

Es posible despejar el valor de la separación límite de armaduras para un ancho de fisura máximo, obteniéndose:

$$s = 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{w_{\max} \cdot E_s}{2 \cdot f_s \cdot \beta}\right)^2 - d_c^2} \quad (\text{XII})$$

4.2.7.5. COMPARACIÓN DE CRITERIOS

Si comparamos los criterios de verificación a fisuración para vigas, representando la separación de las barras de armadura en función de los recubrimientos, observamos una dispersión de los resultados (Figura 6). Los valores elegidos para obtener las curvas de variación fueron: $f'_c = 25$ MPa, $f_y = 420$ MPa, $f_s = 280$ MPa, $w_k = 0,20$ mm, $b_w = 25$ cm, $d_b = 20$ mm, $d_{be} = 10$ mm, $\gamma_e = 0,5$ y $\beta = 1,2$.

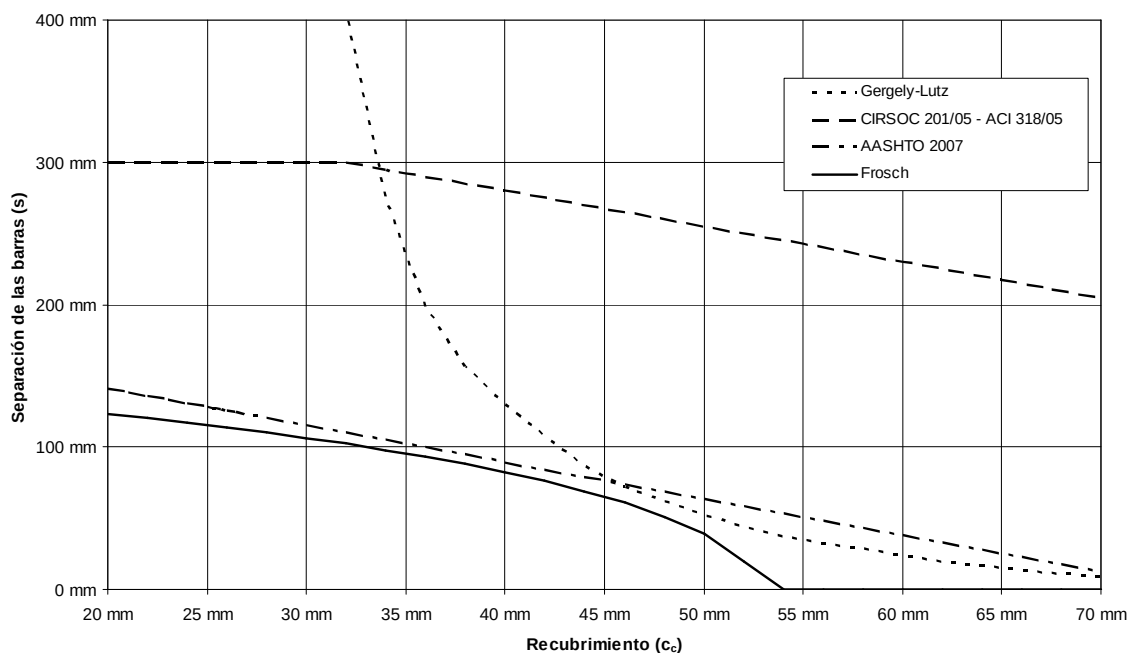


Figura 6: Comparación de las verificaciones a fisuración desarrolladas

4.2.7.6. CONTROL DE FISURAS POR FLEXIÓN EN LOSAS Y PLACAS ARMADAS EN DOS DIRECCIONES

La mayoría de las ecuaciones anteriores tienen como base investigaciones aplicadas a vigas y losas armadas en una dirección. Según el ACI 224R-01 “las ecuaciones para el control de la fisuración en vigas subestiman los anchos de fisura que se desarrollan en las losas y placas armadas en dos direcciones (Nawy y Blair, 1971) y no le indican al diseñador cómo separar las armaduras”. A partir de las investigaciones de Nawy y Blair en 1971, el ACI 224R-01 propone:

$$w_{m\acute{a}x} = 0,145 \cdot k \cdot \beta \cdot f_s \cdot \sqrt{G_I} \quad (\text{XIII})$$

con:

$w_{m\acute{a}x}$ = el máximo ancho de fisura probable (mm).

k = se puede recurrir a la Tabla 15.

Tipo de carga	Forma	Condición de borde	Relación I_{menor}/I_{mayor}	k ($\cdot 10^{-5}$)
Concentrada	Cuadrada	4 bordes empotrados	1,0	2,1
Concentrada	Cuadrada	4 bordes simplemente apoyados	1,0	2,1
Uniformemente distribuida	Rectangular	4 bordes empotrados	0,5	1,6
Uniformemente distribuida	Rectangular	4 bordes empotrados	0,7	2,2
Uniformemente distribuida	Rectangular	3 bordes empotrados y 1 articulado	0,7	2,3
Uniformemente distribuida	Rectangular	2 bordes empotrados y 2 articulados	0,7	2,7
Uniformemente distribuida	Cuadrada	4 bordes empotrados	1,0	2,8
Uniformemente distribuida	Cuadrada	3 bordes empotrados y 1 articulado	1,0	2,9
Uniformemente distribuida	Cuadrada	2 bordes empotrados y 2 articulados	1,0	4,2

Tabla 15: Coeficientes de fractura k (traducción del Concrete Construction Engineering Handbook)

$\beta = 1,25$ (valor seleccionado para simplificar los cálculos; varía entre 1,20 y 1,35).

f_s = nivel de tensión real promedio bajo cargas de servicio ó 40% de la resistencia a la fluencia especificada f_y , (MPa).

$$G_I = \frac{d_{b1} \cdot s_2}{\rho_{t1}} = \frac{s_1 \cdot s_2 \cdot d_c}{d_{b1}} \cdot \frac{8}{\pi} = \text{índice de empujamiento.} \quad (\text{XIV})$$

d_{b1} = diámetro de las armaduras en la Dirección 1 más próxima a las fibras exteriores del hormigón, (mm).

s_1 = separación de las armaduras en la Dirección 1, (mm).

s_2 = separación de las armaduras en la Dirección 2, perpendicular a la Dirección 1, (mm).

ρ_{t1} = cuantía de armadura efectiva, es decir, sección de acero A_s por metro de ancho / $12[d_{b1} + 2.c_1]$, donde c_1 es el recubrimiento libre de hormigón medido desde la cara traccionada del hormigón hasta el borde más cercano de la barra de armadura en la Dirección 1.

d_c = recubrimiento del hormigón medido al centro de la primera capa de armadura.

Para losas simplemente apoyadas el valor de k se debería multiplicar por 1,5. Para restricción parcial de los bordes se aplican valores de k interpolados. Para zonas de placas planas donde no se utilizan armaduras o cuando su separación s_2 es mayor que 305 mm usar $s_2 = 305$ mm en la ecuación.

4.2.7.7. COMPARACIÓN DE CRITERIOS

El criterio de Nawy-Blair permite calcular las separaciones límite que deben tener las armaduras según las condiciones de exposición. Es posible efectuar una comparación a los efectos de conocer la variación de las separaciones en las armaduras. Para contrastar los criterios, se consideró una losa con las siguientes características:

h (CIRSOC 201/05) = d (CIRSOC 201/82) = 12 cm

$c_c = 2$ cm

$f_s = 0,40 \cdot 420 \text{ MPa} = 168 \text{ MPa}$ (Nawy-Blair)

$f_s = 2/3 \cdot 420 \text{ MPa} = 280 \text{ MPa}$ (CIRSOC 201/05 - ACI 318/05)

$\beta = 1,25$

$w_{\max} = 0,2$ mm

Los diámetros de armaduras se variaron de 6 mm hasta 12 mm, iguales en ambas direcciones, y se adoptaron distintas relaciones de longitud y condiciones de apoyo de las losas a los efectos de incorporar distintos valores del coeficiente de fractura k . Se ha incluido la separación límite especificada por el CIRSOC 201/82, la separación del Art. 7.6.5 y el criterio de fisuración del CIRSOC 201/05.

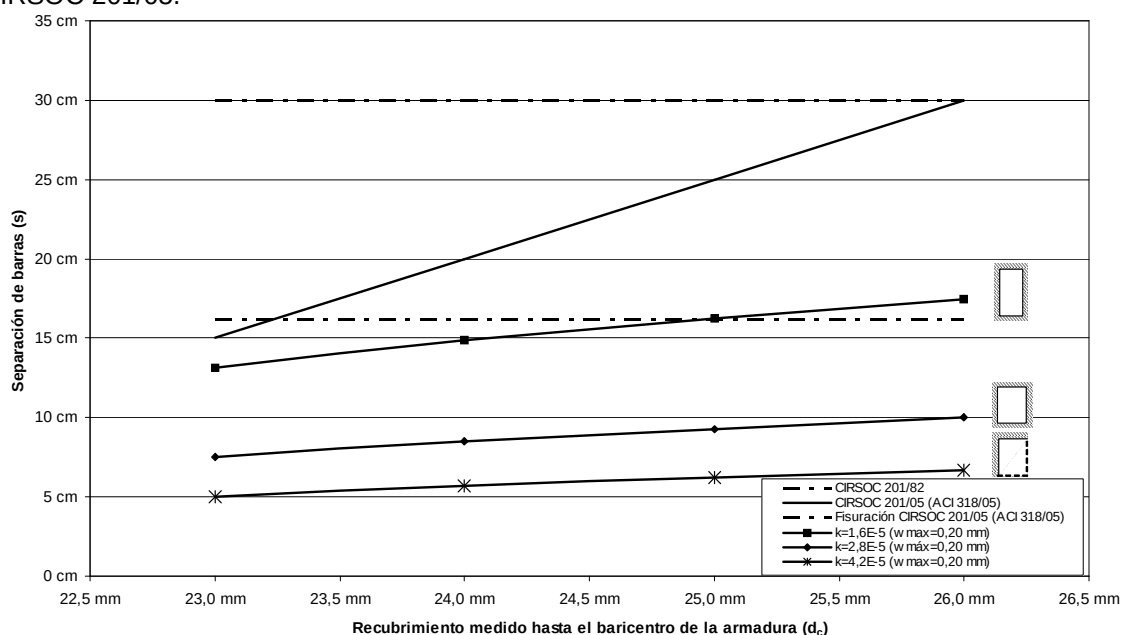


Figura 7: Variación de la separación límite de armaduras en losas armadas en dos direcciones

Como puede verse en la Figura 7, para placas o losas en ambientes adversos debería verificarse la separación de las barras por esta u otra expresión que considere las aberturas de fisuras.

4.2.7.8. COMENTARIO RESPECTO DE LA VERIFICACIÓN A FISURACIÓN SEGÚN CIRSOC 201/82

La verificación a fisuración bajo Estado II del CIRSOC 201/82 se efectúa a través de tres condiciones, satisfaciéndose cuando una de las tres se verifica. Al respecto, podemos establecer que los dos primeros criterios resultan inadecuados para el caso de las estructuras portuarias. Ello se debe a que, como se expuso anteriormente, la sola verificación de la cuantía o del diámetros de

barra colocado no alcanza para limitar el fenómeno de la fisuración. En este sentido, es más aceptable el tercer criterio basado en el cálculo de la tensión de trabajo del acero.

5. REFLEXIONES SOBRE EL COEFICIENTE DE SEGURIDAD EN ESTRUCTURAS SOMETIDAS A FLEXIÓN

Tan sólo a modo de ejemplo, cotejaremos los coeficientes de seguridad del Reglamento CIRSOC 201/82 y CIRSOC 201/05. Para ello, referiremos la nueva norma a un coeficiente γ :

$$\gamma = \frac{\gamma_D \cdot D + \gamma_L \cdot L}{\phi} \quad (\text{XV})$$

donde D es la carga por peso propio de la estructura, L la sobrecarga, $\gamma_D = 1,20$, $\gamma_L = 1,60$ y distintos coeficientes de reducción ϕ . Variaremos la relación L/D y graficaremos los resultados según la ecuación anterior respecto del CIRSOC 201/82 (Figura 8).

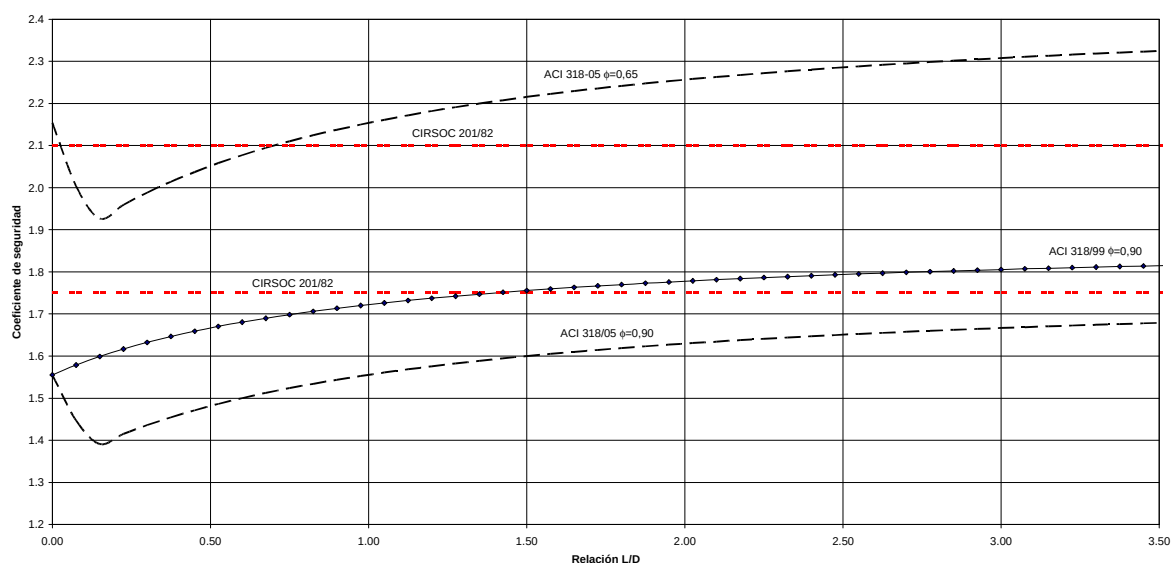


Figura 8: Variación del coeficiente de seguridad para distintas relaciones L/D en diversos códigos

Para estructuras con distintas relaciones L/D, el valor del coeficiente de seguridad se encuentra por debajo de $\gamma = 1,75$ para rotura dúctil del Reglamento CIRSOC 201/82. La conclusión anterior no implica nada preocupante en sí mismo, pero, debe remarcarse que sí conlleva a la exigencia de un detallado y ajustado análisis y evaluación de las cargas presentes, y además, una especial atención sobre ciertos aspectos no siempre debidamente estudiados, tales como:

- Control de las deformaciones.
- Control de la fisuración.
- Mayor control de ejecución de las obras.

El fundamento del mayor cuidado en los estados límites de servicio de las estructuras bajo CIRSOC 201/05 obedece a que las tensiones de trabajo de las armaduras van a registrar valores superiores a las de su antecesor, el CIRSOC 201/82.

$$\sigma_s = \frac{\beta_s}{1,75} = 240 \text{ MPa} \quad (\text{CIRSOC 201/82}) \quad (\text{XVI})$$

$$f_s = \frac{2}{3} \cdot f_y = 280 \text{ MPa} \quad (\text{CIRSOC 201/05}) \quad (\text{XVII})$$

6. CONCLUSIÓN

Es evidente que las modificaciones respecto de las condiciones de durabilidad de las estructuras de hormigón armado han desarrollado cambios normativos importantes y más exigentes en algunos casos, los cuales se asocian a una optimización en el uso de materiales para este tipo de estructuras. Dicha optimización se materializa a través de una reducción en los coeficientes de seguridad respecto del CIRSOC 201/82. La base de esta reducción se motiva en el avance del estado de conocimiento de los materiales y de los modelos de cálculo para los esfuerzos a los que se somete a una estructura de hormigón armado. No obstante, nos hace prestar especial atención

en el comportamiento en estado de servicio de las estructuras, considerando que las tensiones de los materiales bajo dicha condición van a ser superiores a los valores a los que estábamos habituados bajo la normativa anterior. Por otra parte, existe una fuerte impronta de las características constructivas de nuestro país en las recomendaciones aludidas, ya que muchas de ellas se apartan del ACI 318/05, su modelo base, y adoptan “nuestra forma de trabajar” el hormigón armado.

Por último, es importante destacar la profunda necesidad de actualización de los Reglamentos de Seguridad para Obras Civiles en la Argentina, así como lograr generar un digesto que sea guía en la elaboración de proyectos portuarios y de buenas prácticas constructivas en las obras que se ejecutan en el ámbito marino.

7. REFERENCIAS

- 1) Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario (ACI 318SR-05)
- 2) CIRSOC 201/82, Proyecto, Cálculo y Ejecución de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado – Tomos 1 y 2 – Julio 1982 – INTI.
- 3) CIRSOC 201/05 – INTI.
- 4) Concrete Construction Engineering Handbook – Segunda Edición – Editorial CRC Press – E. G. Nawy – Año 2008.
- 5) Orler, Rodolfo – Donini, Hugo Juan – Introducción al Cálculo de Hormigón Estructural. Editorial Nobuko. ISBN 978-987-584-245-8 (año 2009).
- 6) ACI 224-2R-92 Traducción CIRSOC. Fisuración de Miembros de Hormigón en Tracción Directa – Informe Comité ACI 224.
- 7) ACI 350-01 - Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures – Manual Concrete Practice 2005.
- 8) ACI 350-06 - Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures.
- 9) Comité ACI 224R-01. Traducción CIRSOC. Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón.
- 10) Eurocódigo 2- Diseño de estructuras de concreto – Año 2004.
- 11) CIRSOC 201 M Proyecto, Cálculo y Ejecución de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado para Obras Privadas Municipales – Año 1996 – INTI.