

**BASES DE UN CÓDIGO MODELO  
PARA LA TECNOLOGÍA DE LAS  
OBRAS DE HORMIGÓN**

# **Bases de un Código Modelo para la Tecnología de las obras de Hormigón**

Alberto Giovambattista,

Raúl L. Zerbino, Graciela M. Giaccio, Carlos A. P. Fava,

Carlos A. Milanesi, Luis P. Traversa, Darío Falcone,

Angel A. Di Maio, Claudio J. Zega, Edgardo F. Irassar, Fabián H. Iloro.

La Plata, noviembre de 2019

**BASES DE UN CÓDIGO MODELO PARA LA TECNOLOGÍA DE LAS OBRAS DE HORMIGÓN.** Alberto Giovambattista, Raúl L. Zerbino, Graciela M. Giaccio, Carlos A. P. Fava, Carlos A. Milanesi, Luis P. Traversa, Darío Falcone, Angel A. Di Maio, Claudio J. Zega, Edgardo F. Irassar, Fabián H. Iloro. - 1a ed. - La Plata: Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica - LEMIT, 2020.

245 p.; 32 x 21 cm.

ISBN 978-987-3838-13-2

1. Hormigón Armado. 2. Hormigón. 3. Ingeniería Civil.  
I. Giovambattista, Alberto.

CDD 693.5

**Título:**

**BASES DE UN CÓDIGO MODELO PARA LA TECNOLOGÍA DE LAS OBRAS DE HORMIGÓN.**

**Editor:** Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica

**Diseño y diagramación:** Sebastián O. Marquez

**Cantidad de ejemplares:** 50

Esta publicación es patrocinada por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires a través de un Subsidio para Publicaciones Científicas y Tecnológicas (PCT09).



Todos los derechos reservados.

Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida por algún método gráfico, electrónico o mecánico, incluyendo los sistemas de fotocopias, registro magnetofónico o de alimentación de datos, sin expreso consentimiento del editor.

All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced by any method graphic, electronic or mechanical, including photocopying systems, magnetic recording or record data feed, without written permission from the publisher

Participaron en la elaboración del presente documento:

**Alberto Giovambattista:** Ing. Civil UNLP. Ex Profesor Titular y Decano de la Facultad de Ingeniería, UNLP. Director de carreras de postgrado en Tecnología y Construcciones de Hormigón en UNLP y UNCPBA. Miembro Titular de la Academia Nacional de Ingeniería y de la Academia de la Ingeniería de la PBA. Asesor del CIRSOC-INTI para los Reglamentos de Estructuras de Hormigón 201M-1995 y 201-2005. Fundador y ex Presidente AATH. Fellow del ACI. Premio KONEX 2013 en Ciencia y Tecnología, Diploma al Mérito en Ing. Civil, Mecánica y de Materiales (2013). Autor de 90 artículos en revistas, un libro y capítulos de libros. Consultor para el proyecto, construcción y/o mantenimiento de obras de hormigón (1973-2019).

Gestor y Coordinador general del proyecto. Participó en la elaboración de todo el documento.

**Raúl Luis Zerbino:** Ing. Civil y Doctor en Ingeniería (UNLP). Profesor Asociado Ordinario de la Facultad de Ingeniería UNLP e Investigador Principal del CONICET. Profesor en más de 40 cursos de postgrado universitarios. Especialista en Tecnología del hormigón, sus principales intereses se relacionan con los procesos de fractura y propiedades mecánicas del hormigón, el desarrollo de hormigones con fibras, de alta resistencia y autocompactables. Ex Presidente de la AATH (2017-2019). Autor de más de 350 publicaciones, más de 100 en revistas con referato, a las que se suman publicaciones en congresos y capítulos de libros. Cuenta con numerosos trabajos de transferencia y servicios a la industria.

Estuvo a cargo de la coordinación y elaboración de todo el documento con contribuciones específicas sobre hormigones reforzados con fibras y hormigones de retracción compensada.

**Graciela Marta Giaccio:** Ing. en Construcciones (UNLP). Profesora Adjunta Ordinaria de la Facultad de Ingeniería UNLP e Investigadora Independiente de la CIC. Profesora en postgrados universitarios. Especialista en Tecnología del hormigón, sus principales intereses se relacionan con hormigón fresco, mecanismos de deformación y rotura del hormigón, hormigón dañado y hormigones de alta performance. Autora de más de 250 publicaciones, más de 80 en revistas con referato y publicaciones especiales, a las que se suman artículos en congresos y capítulos de libros. Cuenta también con actividades de divulgación, transferencia y servicios a la industria.

Estuvo a cargo de la revisión, edición y elaboración del documento con contribuciones específicas sobre hormigones con características particulares.

**Carlos Alberto Pablo Fava:** Ing. Hidráulico, Ing. Civil y Especialista en Tecnología Avanzada del Hormigón (UNLP). Magister en Tecnología y Construcciones de Hormigón (UNCPBA). Profesor Titular cátedra Tecnología del Hormigón (UBA) y Profesor Adjunto cátedra Materiales III (Tecnología del Hormigón) (UNLP). Más de 50 trabajos publicados en revistas periódicas y actas de congresos. Coautor de un libro de la especialidad. Trabajó como consultor en más de 150 obras de hormigón, en el país y en el exterior.

Su principal contribución se relacionó con los requerimientos para materiales componentes, criterios de aceptación y control del hormigón elaborado, gestión de calidad, hormigón proyectado, hormigón autocompactable, control de fisuras y tratamiento de juntas, agresividad por ácido de origen biogénico.

**Carlos Alberto Milanesi:** Ing. Civil (UNC). Magister en Tecnología y Construcciones de Hormigón (UNCPBA). Doctor en Ingeniería (UNS). Trabajó en investigación en el área de durabilidad del hormigón (LEMIT-CIC) y fue Presidente de la AATH (2017-2019). Es miembro activo del IRAM y miembro Participante del Comité de Hormigón y Agregados de ASTM International. Ha publicado más de 70 trabajos en revistas técnicas y congresos de la especialidad, a nivel nacional e internacional, siendo distinguido por algunos de ellos. Actualmente, se desempeña como Gerente de Promoción y Asistencia Técnica de Cementos Avellaneda S. A.

Su principal contribución se relacionó con los requerimientos para los materiales componentes, la problemática de la reacción álcali sílice, y los criterios de aceptación y control del hormigón elaborado.

**Luis Pascual Traversa:** Ing. en Construcciones, UNLP. Investigador Emérito, Carrera del Investigador Científico y Tecnológico, CICPBA. Director del LEMIT y ex - Coordinador de la Junta de Calificaciones de la Carrera del Investigador Científico y Tecnológico, CICPBA, Miembro del Directorio y Vicepresidente de CICPBA. Profesor Invitado "Master en Tecnología y Construcción de Hormigón", UNCPBA y de la UTN Regional Concordia. Presidente de la AATH (2011-2013). Director de investigadores y becarios. Autor de más de 180 trabajos nacionales e internacionales.

Su principal contribución se relacionó con los criterios para valorar la durabilidad frente a diferentes ambientes, los procesos y criterios para la prevención de la corrosión de armaduras y el hormigón fresco.

**Darío Falcone:** Ing. Civil (UNLP), Magister en Tecnología y Construcciones de Hormigón (UNCPBA). Profesional Principal (LEMIT-CIC), Jefe del área Durabilidad, ligantes y Adiciones minerales del LEMIT, docente en la Facultad de Ingeniería de la UNLP. Vinculado al estudio de la reacción álcali sílice (RAS) desde el 2001. Dictado de cursos relacionado con la RAS a nivel nacional e internacional.

Su principal contribución se relacionó con los requerimientos para los materiales componentes, la problemática de la reacción álcali sílice, y los criterios de aceptación y control del hormigón elaborado.

**Angel Antonio Di Maio:** Investigador Independiente del CONICET. Profesor Asociado Cátedra “Tecnología del Hormigón”, U.T.N. Facultad Regional La Plata. Subdirector del LEMIT. Ex -Vicepresidente de la AATH. Director de becarios, tesis de Maestría y Doctorados del sistema científico. Profesor en Cursos y Carreras de Post-grado. Sus investigaciones tratan sobre la evaluación de estructuras de hormigón armado con distintas patologías mediante ensayos destructivos y no destructivos como así también estudios sobre diferentes características de hormigones reciclados. Autor de más de 180 trabajos sobre la especialidad publicados en revistas y congresos nacionales e internacionales.

Su principal contribución se relacionó con los requisitos para materiales componentes, el hormigón en tiempo caluroso y tiempo frío, y el hormigón reciclado.

**Claudio Javier Zega:** Doctor en Ingeniería, UNLP. Magister en Tecnología y Construcciones de Hormigón, UNCPBA. Ing. Civil. Investigador Adjunto del CONICET. Responsable del Área Tecnología del Hormigón del LEMIT. Docente Fac. de Ingeniería, UNLP, en cursos de especialización y de postgrado UTN-FRLP, UTN-FRCU y UTN-FRCon. Ha dirigido becarios de postgrado, postdoctorales y tesis doctorales. Integrante de comisiones de organismos técnicos en AATH, IRAM, ICPA. Sus investigaciones se enmarcan en el estudio de propiedades mecánicas y durables de hormigones reciclados. Autor de más de 80 trabajos publicados en revistas científicas y en congresos nacionales e internacionales y coautor de capítulos de libros de la especialidad.

Su principal contribución se relacionó con los requisitos para materiales componentes, el hormigón en tiempo caluroso y tiempo frío, y el hormigón reciclado.

**Edgardo Fabián Irassar:** Profesor Titular de Área de Materiales y Construcciones, Facultad de Ingeniería de la UNCPBA. Ing. en Construcciones (UNCPBA), Especialista en Tecnología del Hormigón (UNLP). Autor de más de 100 publicaciones en revistas, 150 presentaciones a congresos nacionales e internacionales y editor de dos libros. Es miembro de la AATH, ACI y RILEM. Sus principales intereses se relacionan con los la durabilidad y vida útil del hormigón frente a ambientes con sulfatos, las propiedades físicas y químicas de cementos y adiciones, aditivos y agregados, arcillas calcinadas y sostenibilidad de los materiales de construcción.

Su principal contribución se relacionó con los requerimientos para asegurar la durabilidad del hormigón frente a ambientes agresivos, en particular ataque por sulfatos, considerando materiales componentes y criterios de aceptación del hormigón.

**Fabián Horacio Iloro:** Ing. en Seguridad Ambiental, UdeMM. Especialista en Restauración y Conservación del Patrimonio (UNC, Olavarría, IAPH, España y CICPBA). Profesional Principal, Carrera de Personal de Apoyo a la Investigación CICPBA. Responsable del Area Restauración y Conservación del Patrimonio, LEMIT. Doctorando UNS, Bahía Blanca, “Carbonatación natural y acelerada del hormigón”. Profesor Invitado en la Universidad Torcuato Di Tella y UTN Regional Concordia, Entre Ríos. Autor de trabajos nacionales e internacionales sobre carbonatación del hormigón y patologías de construcciones patrimoniales.

Su principal contribución se relacionó con los criterios para valorar los procesos de carbonatación, los criterios para la prevención de la corrosión de armaduras y las propiedades y requisitos para uso del hormigón fresco.

## PRÓLOGO

Este libro, al cual hemos llamado Código Modelo, resultó de la inquietud de un grupo de ingenieros relacionados con la tecnología del hormigón. Sus autores provienen de la consultoría de proyectos y obras, la industria del hormigón y sus materiales componentes, la docencia universitaria y la investigación científica.

Se trata de una contribución académica que ponemos a disposición del medio productivo, en la creencia de que puede ser de utilidad para una futura actualización de regulaciones vigentes y la elaboración de otras inexistentes en nuestro medio. También puede ser útil para la redacción de especificaciones técnicas de proyectos específicos. Quizás con una falta de modestia lo hemos llamado Código Modelo, parafraseando otros documentos del mismo tipo, porque en definitiva pretende ser un texto de referencia para elaborar otros documentos.

Debemos enfatizar que esto no es un Reglamento. Se trata de un libro al que hemos dado formato de código para facilitar su eventual adopción, total o parcial. Queremos dejar en claro que se trata de una publicación académica, sin pretensiones de incursionar en ámbitos dedicados a la regulación y normalización de las obras de hormigón.

Algunos de los autores hemos participado en la elaboración del Reglamento CIRSOC 201-2005 (C201-05) y en versiones precedentes. Otros hemos investigado sus tecnologías y todos tenemos experiencia en su aplicación. De ello resultó una visión de la situación actual que catalizó este Código Modelo.

Las especificaciones y recomendaciones sobre Tecnología del Hormigón en Argentina continúan una secuencia que comenzó con el PRAEH-1964 y se mantuvo hasta la actualidad en el C201-05; tomando como base los desarrollos, recomendaciones y códigos del American Concrete Institute (ACI).

En el año 1996 se editó el Reglamento CIRSOC 201-M (C201M-96) para su aplicación en el ámbito de la entonces Municipalidad de la Ciudad de Buenos Aires. Esta versión incorporó la tipificación de los ambientes a que estarán expuestas las estructuras. Dicha tipificación, que entonces no estaba en el ACI, se basó en las normas de la Comunidad Europea, y posteriormente, se incorporó actualizada en el C201-05.

El C201-05 incorporó los conocimientos disponibles al momento de su elaboración. Como consecuencia de ello aportó importantes innovaciones y progresos tecnológicos a las obras. Pero hoy resulta necesario avanzar. Como indicador de ello cabe destacar que la tipificación de los ambientes se basó en la versión preliminar de 1990 de la que luego sería la norma EN 206.

El primer borrador del C201-05 estaba terminado a fines del año 2000 y lo aprobó el Comité Ejecutivo del CIRSOC a principios de 2001. Pero, por la crisis de ese año se postergó la discusión pública hasta el 2003. En el año siguiente se discutieron las observaciones, se consensuaron las objeciones y finalmente el Comité Ejecutivo lo aprobó en 2005. Es obvio que el reglamento vigente tiene tecnología del siglo pasado, aunque algunos de sus requerimientos se adecuaron a principios del presente.

En lo que va del siglo XXI, en el ámbito internacional se tuvieron avances importantes en durabilidad y en la tecnología de hormigones no convencionales. Algunos de esos temas se están aplicando en nuestras obras, al margen del C201-05.

En la práctica profesional también suelen presentarse dificultades para la aplicación del C201-05. Hay artículos cuya redacción no resultó del todo clara y sus comentarios tampoco son demasiado abundantes, lo cual genera dudas de interpretación en algunos usuarios.

Por otra parte, el C201-05 establece que es para estructuras de edificios. Sin embargo, como en Argentina es el único reglamento que existe para estructuras de hormigón, se lo suele aplicar a todo tipo de construcciones. Esto ya había ocurrido con los reglamentos anteriores. Que puede aceptarse si se lo complementa con otros documentos que incluyan regulaciones específicas; lo que no siempre ocurre y entonces surgen problemas en las obras.

Son ejemplos notorios la aplicación del C201-05 al proyecto de presas, a estructuras semi-masivas o al revestimiento de túneles. Esas estructuras tienen aspectos específicos que superan las prescripciones del C201-05 y deben ser considerados.

Hicimos el C201-05 basándonos en el ACI-318, que es para edificios. Pero nos olvidamos que el mismo ACI tiene recomendaciones para los otros tipos de estructuras y que en USA existen también otros códigos elaborados por los entes estatales que se ocupan de las obras específicas como presas y puentes. Es evidente que las mencionadas recomendaciones y códigos nos están faltando, con excepción del Reglamento CIRSOC para puentes (CIRSOC 801-CIRSOC 802 y CIRSOC 804) que se encuentra en su etapa de elaboración final.

Este Código Modelo es abarcativo de la mayor parte de las estructuras de hormigón de peso normal, con excepción de las presas. Aunque también aplica a elementos de hormigón armado masivo que integran dichas presas y sus casas de máquinas.

Los comentarios anteriores no deben interpretarse como una crítica al C201-05. Por el contrario, su puesta en vigencia significó en su momento un avance tecnológico muy importante. Pero luego no acompañamos la evolución tecnológica ni el progreso de las técnicas constructivas. Para remediar en parte esas falencias, en los temas de Tecnología del Hormigón hemos elaborado el presente Código Modelo tomando como base el C201-05. Las modificaciones más significativas se describen en los párrafos que siguen.

Se actualizaron los ambientes de exposición y se agregaron los que se producen en obras de tratamiento y conducción de aguas y efluentes cloacales.

Se actualizaron los requerimientos por durabilidad. A ese efecto se modificaron los requisitos para evitar los daños por sulfatos, se incorporó la nueva tecnología para detección y prevención de la reacción álcali-agregado y se incorporó un modelo para estimar la penetración de la carbonatación de los recubrimientos de armadura.

Se actualizaron los requerimientos sobre materiales componentes.

Se actualizó y simplificó la redacción de las especificaciones sobre hormigón fresco. En este capítulo es importante la corrección de los requisitos sobre curado acelerado con vapor, que habían sido superados por las aplicaciones en obras de infraestructura.

Se ampliaron los criterios de conformidad por resistencia. Se agregaron criterios para obras con producciones de hormigón extremas: donde se controlan todas las mezclas y donde se pueden aplicar herramientas estadísticas.

Se incorporó un capítulo nuevo que contiene el control de fisuración y ubicación de juntas y los recubrimientos de armadura que se actualizaron siguiendo los criterios del ACI 318-19 y el fib Model Code 2010.

Se incorporó un capítulo nuevo que contiene requisitos sobre: Hormigón Autocompactable, Hormigón Reforzado con Fibras, Hormigón Proyectado, Hormigón Masivo Estructural, Hormigón de Retracción Compensada, Hormigón con Agregados Reciclados.

Esperamos que este Código Modelo sea de utilidad a nuestros colegas y ayude a nuestros alumnos. Y, sobre todo, esperamos encontrar un ámbito de discusión que nos permita seguir actualizando los conceptos aquí incluidos y poder desarrollar los faltantes. Si así fuera, también habremos cumplido con nuestros maestros.

La Plata, 19 de noviembre de 2019.

Ing. Alberto Giovambattista

# Índice

Página

## **CAPÍTULO 1. CAMPO DE VALIDEZ, DOCUMENTACIÓN TÉCNICA Y DEFINICIONES**

1.1. CAMPO DE VALIDEZ	1
1.1.1. Introducción	1
1.1.2. Alcance	1
1.1.3. Materiales, elementos y sistemas constructivos no contemplados en este Código	2
1.1.4. Figuras legales mencionadas en este Código	2
1.2. NORMAS DE APLICACIÓN	3
1.3. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA	7
1.3.1. Antecedentes	7
1.3.2. Materiales	7
1.3.3. Hipótesis del Proyecto Estructural	8
1.3.4. Autenticidad de la Documentación Inicial de Obra	8
1.3.5. Registros	8
1.4. DEFINICIONES	8
1.5. UNIDADES	8
ANEXO A1: Campo de validez, documentación técnica y definiciones	A1-1 - A1-3

## **CAPÍTULO 2. ESPECIFICACIONES POR RESISTENCIA Y DURABILIDAD**

2.0. SIMBOLOGÍA	11
2.1. REQUISITOS GENERALES	11
2.2. REQUISITOS POR DURABILIDAD	12
2.2.1. Requisitos generales	12
2.2.2. Requisitos del Proyecto Estructural	13
2.2.3. Requisitos de ejecución	14
2.2.4. Clasificación del medio ambiente	15
2.2.5. Sustancias agresivas al hormigón contenidas en aguas y suelos en contacto con las estructuras	19
2.2.7. Contenido máximo de sulfatos en los agregados componentes del hormigón	20
2.2.8. Contenidos máximos de cloruros en el hormigón	20
2.2.9. Agresividad por sulfatos	21
2.2.10. Agresividad por ácido de origen biogénico (ataque ácido bacteriológico)	23
2.2.11. Medidas especiales de protección en ambientes con agresividad química	24
2.2.12. Hormigón expuesto a congelación y deshielo	25
2.2.13. Resistencia a la corrosión por carbonatación del hormigón del recubrimiento de la armadura	25
2.2.14. Resistencia a la corrosión de la armadura en ambiente con cloruros	27
2.2.15. Penetración de agua	27
2.2.16. Reacción álcali –agregado (RAA)	27
2.2.17. Requerimientos prestacionales. Disposiciones complementarias.	31
2.3. RESISTENCIA DE LOS HORMIGONES	32
2.3.1. Resistencia especificada	32
2.3.2. Clases de hormigón	32
2.3.3. Edad de diseño	32
ANEXO A2-1: Determinación del coeficiente de carbonatación acelerada	A2-1-1 - A2-1-3
ANEXO A2-2: Determinación de las medidas prescriptivas para evitar daños por RAS	A2-2-1 - A2-2-7

**CAPÍTULO 3. MATERIALES**

3.0. SIMBOLOGÍA	35
3.1. CEMENTOS	35
3.1.1. Requisitos generales	35
3.1.2. Requisitos especiales	36
3.1.3. Provisión y almacenamiento del cemento	36
3.2. AGREGADOS	37
3.2.1. Campo de validez	37
3.2.2. Requisitos generales	37
3.2.3. Agregado fino	38
3.2.4. Agregado grueso	41
3.2.5. Acopio y manipuleo de agregados	45
3.3. AGUA PARA MORTEROS Y HORMIGONES	45
3.3.1. Requisitos	45
3.4. ADITIVOS PARA HORMIGONES	46
3.4.1. Requisitos generales	46
3.4.2. Acopio, identificación y manipuleo	46
3.5. ADICIONES MINERALES PULVERULENTAS	46
3.5.1. Requisitos generales	46
3.5.2. Provisión y almacenamiento de las adiciones minerales	47
3.6. ACEROS	47
3.6.1. Barras y alambres de acero para armaduras	47
3.6.2. Mallas de alambres de acero soldadas para armaduras	50
3.6.3. Cordones, alambres y barras para estructuras de hormigón pretensado	50
3.6.4. Acopio, identificación y manipuleo	51
3.7. FIBRAS	52
3.7.1 Características y tipos de fibras	52

**CAPÍTULO 4. HORMIGÓN FRESCO - PROPIEDADES, DOSIFICACIÓN Y PUESTA EN OBRA**

4.1. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO	59
4.1.1. Consistencia del hormigón	59
4.1.2. Aire intencionalmente incorporado	60
4.1.3. Contenido de material pulverulento que pasa el tamiz IRAM 300 $\mu\text{m}$	61
4.1.4. Exudación del hormigón	62
4.1.5. Contenido unitario de cemento	62
4.1.6. Homogeneidad de una mezcla de hormigón	63
4.2. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN	63
4.2.1. Requisitos generales	63
4.2.2. Estimación de la resistencia de diseño de la mezcla	64
4.2.3. Desviación estándar	65
4.2.4. Elección de la razón agua/cemento	66
4.2.5. Determinación de la composición del hormigón	67

	Página
4.3. PRODUCCIÓN	67
4.3.1. Datos básicos de producción a disponer	67
4.3.2. Medición de los materiales componentes del hormigón	67
4.3.3. Mezclado del hormigón	69
4.4. TRANSPORTE DEL HORMIGÓN HACIA Y EN LA OBRA	70
4.4.1. Aspectos generales	70
4.4.2. Transporte en camiones sin dispositivos mezcladores ni de agitación	71
4.4.3. Transporte del hormigón mediante motohormigoneras o equipos agitadores	71
4.5. MANIPULEO DEL HORMIGÓN EN OBRA	72
4.5.1. Generalidades	72
4.5.2. Transporte del hormigón mediante canaletas	72
4.5.3. Transporte del hormigón mediante cintas	73
4.5.4. Transporte del hormigón por bombeo	73
4.5.5. Transporte del hormigón mediante tuberías verticales	74
4.6. COLOCACIÓN	74
4.6.1. Aspectos generales	74
4.6.2. Estructuras hormigonadas en contacto con el suelo	74
4.6.3. Estructuras hormigonadas en contacto o bajo agua	75
4.6.4. Estructuras hormigonadas en contacto con encofrados	75
4.6.5. Disposiciones sobre colocación del hormigón	76
4.6.6. Hormigonado de elementos típicos	77
4.7. COMPACTACIÓN	78
4.7.1. Requisitos generales	78
4.7.2. Compactación mediante vibradores de inmersión	78
4.7.3. Compactación manual por varillado	79
4.7.4. Compactación mediante vibradores de encofrados	80
4.8. SUPERFICIES Y JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN	80
4.8.1. Definición	80
4.8.2. Tipos de juntas	80
4.8.3. Ejecución y tratamiento de las juntas de construcción	81
4.8.5. Diseño de las juntas de construcción	81
4.9. JUNTAS DE CONTRACCIÓN Y DE DILATACIÓN	82
4.9.1. Ubicación	82
4.9.2. Metodología de ejecución	82
4.10. PROTECCIÓN Y CURADO DEL HORMIGÓN	82
4.10.1. Acciones que originan la necesidad de protección	82
4.10.2. Curado del hormigón	83
4.10.3. Curado con agua	84
4.10.4. Curado mediante compuestos líquidos capaces de formar membranas	85
4.10.5. Curado mediante membranas preformadas	85
4.10.6. Curado a vapor	86
ANEXO 4: Hormigón fresco	A4-1 - A4-3

**CAPÍTULO 5. HORMIGONADO EN TIEMPO FRÍO Y CALIDO**

5.1. REQUISITOS PARA EL HORMIGONADO EN TIEMPO FRÍO	91
5.1.1. Definición	91
5.1.2. Temperaturas de colocación del hormigón fresco	91
5.1.3. Temperaturas máximas de calentamiento de los materiales	91
5.1.4. Elaboración del hormigón	92
5.1.5. Colocación del hormigón	93
5.1.6. Protección y curado del hormigón	94
5.2. REQUISITOS PARA EL HORMIGONADO EN TIEMPO CALUROSO	96
5.2.1. Definición	96
5.2.2. Temperatura de colocación del hormigón fresco	96
5.2.3. Reducción de la temperatura del hormigón	97
5.2.4. Elaboración del hormigón	97
5.2.5. Colocación del hormigón	99
5.2.6. Protección y curado del hormigón	99
ANEXO A5: Hormigonado en tiempo frío y caluroso	A5-1 - A5-3

**CAPÍTULO 6. CRITERIOS Y CONTROL DE CONFORMIDAD DEL HORMIGÓN**

6.0. SIMBOLOGÍA	101
6.1. REQUISITOS GENERALES	101
6.2. CONFORMIDAD CON LA RESISTENCIA ESPECIFICADA	105
6.2.1. Requisitos generales	105
6.2.2. Dimensión de lotes y extracción de muestras	105
6.2.3. Criterios de conformidad para el Modo 1 de Control	107
6.2.4. Criterios de conformidad para el Modo 2 de Control	110
6.2.5. Criterios de conformidad para el hormigón de elementos estructurales sometidos a curado acelerado	110
6.2.6. Determinación del volumen de hormigón no conforme	111
6.3. JUZGAMIENTO DE LA RESISTENCIA PARA VALORAR EL GRADO DE ENDURECIMIENTO DEL HORMIGON	111
6.3.1 Campo de validez	111
6.3.2. Ensayo de probetas moldeadas	112
6.3.3. Aplicación de la madurez del hormigón	112
6.4. VERIFICACIONES A REALIZAR CUANDO UN LOTE NO POSEE LA RESISTENCIA POTENCIAL ESPECIFICADA	114
6.5. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA POTENCIAL DE UNA ESTRUCTURA EN SERVICIO	115
6.6. CONFORMIDAD DE LOS REQUISITOS DE DURABILIDAD	116
6.6.1. Requisitos generales	116
6.6.2. Criterios de conformidad para la razón agua/cemento.	116
6.7. CONFORMIDAD DE LAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO	117
6.7.1. Extracción de muestras de hormigón fresco	117
6.7.2. Metodología de control	118
6.7.3. Criterios de conformidad para la consistencia del hormigón	118
6.7.4. Criterios de conformidad para el contenido de aire en el hormigón	119

6.7.5. Criterios de conformidad para la temperatura del hormigón fresco	119
6.7.6. Criterios de conformidad para la masa de la unidad de volumen del hormigón fresco	119
6.7.7. Criterios de conformidad para el contenido de material pulverulento que pasa el tamiz IRAM 300 µm	120
6.7.8. Criterio de conformidad para el requisito de exudación del hormigón	120
6.7.9. Criterios de conformidad para otras propiedades del hormigón exigidas en los Documentos del Proyecto	121

## **CAPÍTULO 7. SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD PARA UNA PLANTA ELABORADORA DE HORMIGÓN**

PRIMERA PARTE. INTRODUCCIÓN, TÉRMINOS, DEFINICIONES Y CONCEPTOS GENERALES	123
7.1. OBJETO Y CAMPO DE VALIDEZ	123
7.2. SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD (SGC)	123
7.2.1. Conceptos generales	123
7.2.2. El sistema de gestión de la calidad	124
7.2.3. Información documentada	124
SEGUNDA PARTE. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD (SGC)	124
7.3. DIRECCIÓN	124
7.4. RECURSOS HUMANOS, ECONÓMICOS, INSTALACIONES Y EQUIPOS AFECTADOS A LAS ACTIVIDADES DE LA CALIDAD	125
7.4.1. Capacitación	126
7.4.2. Instalaciones y equipos afectados a las actividades de la calidad	126
7.4.3. Laboratorio de ensayos	126
7.5. DOCUMENTACIÓN	127
7.5.1. Documentación del sistema de calidad	127
7.5.2. Identificación de cada documento del sistema de calidad	127
7.5.3. Contenido mínimo de cada documento	127
7.5.4. Aprobación	128
7.5.5. Distribución	128
7.5.6. Implementación	128
7.5.7. Revisión y actualización	128
7.5.8. Conservación y archivo	128
7.5.9. Versiones	129
7.5.10. Documentos generados por la aplicación del Sistema de Gestión de la Calidad	129
7.6. PROCESOS, PRODUCTOS Y SERVICIOS SUMINISTRADOS EXTERNAMENTE	129
7.6.1. Responsables	129
7.6.2. Evaluación y selección de los proveedores que cuentan con un sistema de la calidad acreditado	130
7.6.3. Evaluación y selección de los proveedores que no cuentan con un sistema de la calidad acreditado	130
7.6.4. Órdenes de Compra	131
7.6.5. Recepción de los insumos	131
7.6.6. Insumos o bienes de propiedad del cliente entregados en Planta	131

	Página
7.7. RECEPCIÓN, ACOPIO Y MANEJO DE ACOPIOS DE MATERIALES PARA ELABORAR HORMIGÓN	131
7.7.1. Recepción de materiales componentes del hormigón	132
7.7.2. Acopio de materiales componentes del hormigón	132
7.7.3. Manipulación de materiales componentes del hormigón	132
7.8. DISEÑO	133
7.9. PRODUCCIÓN Y PROVISIÓN DEL SERVICIO	133
7.10. EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO	134
7.10.1 Condiciones generales	134
7.10.2. Laboratorio de ensayos	135
7.10.3. Materiales	135
7.10.4. Acopios de materiales	135
7.10.5. Equipos de almacenamiento, producción, transporte, entrega y control	136
7.10.6. Control del hormigón	136
7.10.7. Tratamiento de las no conformidades	136
7.11. REGISTROS	137
7.11.1. Registros mínimos con que debe contar cada Planta Elaboradora	137
7.11.2. Archivo y conservación	139
7.12. AUDITORÍAS INTERNAS Y EXTERNAS	139
7.12.1. Auditorías internas	139
7.12.2. Auditorías externas	140
7.13. CERTIFICACIÓN DEL SISTEMA DE LA CALIDAD	140
7.13.1. Entidad certificante	140
7.13.2. Alcance de la certificación del sistema de la calidad	140
7.13.3. Vigencia y auditorías externas	141
ANEXO A7: Sistema de gestión de la calidad para una planta elaboradora de hormigón	A7-1 – A7-11
 <b>CAPÍTULO 8. CONTROL DE FISURACION Y RECUBRIMIENTO DE ARMADURAS</b>	
8.1. GENERAL	145
8.2. CONTROL DE FISURACION	145
8.3. RECUBRIMIENTOS DE ARMADURA	152
 <b>CAPÍTULO 9. HORMIGONES CON CARACTERISTICAS PARTICULARES</b>	
9.1. CONDICIONES GENERALES	155
9.2. HORMIGON AUTOCOMPACTABLE (HAC)	155
9.2.1. Alcance	155
9.2.2. Definiciones	155
9.2.3. Requisitos	156
9.2.4. Requisitos para los materiales componentes	157
9.2.5. Determinación de las proporciones de la mezcla	157
9.2.6. Parámetros generales de diseño	158
9.2.7. Elaboración	158
9.2.8. Mezclado	158

	Página
9.2.9. Transporte	159
9.2.10. Control de calidad	159
9.2.11. Ajuste de la mezcla en obra	160
9.2.12. Personal para el control y supervisión	160
9.2.13. Encofrados	160
9.2.14. Colocación	160
9.2.15. Compactación	161
9.2.16. Protección y Curado	161
9.2.17. Elemento estructural de prueba	161
9.3. HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS	162
9.3.1. Alcance	162
9.3.2. Definiciones	162
9.3.3. Verificación de la prestación del HRF	163
9.3.4. Estado fresco	164
9.3.5 Control de HRF	165
9.3.6. Criterios para conformidad	165
9.4. HORMIGÓN PROYECTADO	166
9.4.1. Alcance	166
9.4.2. Definiciones	166
9.4.3 Requisitos para los materiales componentes	166
9.4.4. Requisitos en estado fresco y de resistencia y durabilidad	167
9.4.5. Determinación de las proporciones de la mezcla	168
9.4.6 Ejecución	169
9.4.7. Control de calidad	170
9.5. HORMIGÓN MASIVO ESTRUCTURAL	171
9.5.1. Definición, alcance y requisitos	171
9.5.2. Materiales componentes	172
9.5.3. Propiedades del hormigón fresco	173
9.5.4. Resistencia potencial del hormigón masivo	174
9.5.5. Colocación y compactación del hormigón	175
9.5.6. Curado y protección del hormigón	176
9.5.7. Armaduras y juntas para el control de fisuración	179
9.6. HORMIGÓN DE RETRACCION COMPENSADA (HRC)	177
9.6.1. Definición	177
9.6.2. Elaboración	177
9.6.3. Evaluación y requisitos del HRC	177
9.6.4. Curado del HRC	178
9.6.5. Control en obra	178
9.7. HORMIGÓN CON AGREGADOS RECICLADOS (HR)	178
9.7.1. Definición	178
9.7.2. Alcance y requisitos	178
9.7.3. Agregados Finos y Gruesos Reciclados	179
9.7.4. Acopio y manipuleo de los agregados reciclados	180
9.7.5. Propiedades en estado fresco, dosificación y puesta en obra de hormigones reciclados.	180
9.7.6. Requisitos por resistencia y durabilidad	180
9.8. REQUISITOS ADICIONALES PARA HORMIGONES CON EXIGENCIAS PARTICULARES	181

## **CAPÍTULO 1. CAMPO DE VALIDEZ, DOCUMENTACIÓN TÉCNICA Y DEFINICIONES**

### **1.1. CAMPO DE VALIDEZ**

#### **1.1.1. Introducción**

Este Código Modelo establece los requerimientos mínimos para la Tecnología del Hormigón a utilizar en el diseño y construcción de las estructuras de hormigón sin armar, armado y pretensado, las que deben ser capaces de resistir las acciones previstas durante los períodos de construcción y de servicio, ofreciendo la seguridad adecuada al uso al que se destinen durante su período de vida útil.

Ha sido elaborado por un grupo de profesionales vinculados a la especialidad, con amplia experiencia en el proyecto y construcción de estructuras de hormigón, la industria de materiales para hormigón y/o destacada actuación en la docencia universitaria de grado y postgrado y la investigación científica en ámbitos del CONICET y la CIC PBA.

El objetivo de los autores ha sido volcar sus conocimientos en un documento que sea útil a la comunidad y pueda ser tomado como referencia por las instituciones públicas y la actividad privada.

El Código tomó como referencia los Capítulos 2 a 7, relativos a materiales, hormigones y requisitos constructivos, del Reglamento CIRSOC 201-2005 y lo actualizó a la fecha. También incorporó los conocimientos y requerimientos necesarios para ampliar su alcance según se define en 1.1.2. Entre otros avances se plantearon conceptos de diseño por vida útil atendiendo a la necesidad de extender la vida en servicio en estructuras relevantes, y se agregó un capítulo específico sobre control de fisuración y recubrimientos. A la vez se incorpora otro capítulo sobre sistemas de gestión de la calidad. Finalmente se profundizó en los requerimientos y particularidades que implica el uso de hormigones con características especiales tales como hormigón proyectado, hormigón autocompactable, hormigón reforzado con fibras, hormigón masivo estructural, hormigón reciclado y hormigón de retracción compensada.

Considerando que este Código Modelo podrá ser adoptado total o parcialmente por reglamentos y especificaciones de obra, se optó por mantener el formato de un reglamento, en este caso el del CIRSOC 201.

#### **1.1.2. Alcance**

1.1.2.1. Este Código Modelo está destinado a las estructuras de hormigón en general, con aplicación específica a estructuras de edificios destinadas a viviendas, cocheras, locales públicos, depósitos e industrias. También es de aplicación a puentes, chimeneas, muros de contención, silos, pilas de vertedero, casas de máquinas, revestimientos de túneles, conductos de líquidos cloacales y otras estructuras similares a las mencionadas.

1.1.2.2. Es de aplicación a los materiales y construcción de pilotes de hormigón, pilares excavados y cajones de fundación que queden enterrados en el suelo.

C.1.1.2.3. Estas estructuras requieren la aplicación de tecnologías específicas. Las mismas serán incluidas en una futura revisión de este Código.

1.1.2.3. No es de aplicación a las estructuras masivas de diques, como vertederos y muros de gravedad.

C.1.1.2.4. Cuando se proyecten y construyan pavimentos con Tecnología de Alto Rendimiento (TAR) los cementos deberán cumplir los requisitos establecidos en la Norma IRAM 50002.

1.1.2.4. No es de aplicación específica al diseño de pavimentos. Pero los requerimientos sobre materiales, elaboración y puesta en obra del hormigón son de aplicación al hormigón de los pavimentos en todo lo que no se oponga a lo específicamente establecido en el proyecto.

1.1.2.5. Sin perjuicio de lo establecido en los artículos precedentes, este Código es de aplicación a las estructuras de hormigón sin armar, armado y pretensado, cuya masa por unidad de volumen del material seco a masa constante esté comprendida entre 2000 y 2800 kg/m<sup>3</sup>.

1.1.2.6. En el caso particular de las estructuras de hormigón prefabricado, este Código es de aplicación en todo lo que no se oponga a las especificaciones particulares de su procedimiento de prefabricación, contenidas en otros Códigos específicos.

1.1.2.7. Este Código mantiene el criterio del CIRSOC 201-2005 y no contempla la utilización de barras, alambres y mallas soldadas de acero para armaduras revestidas con epoxi, las que serán objeto en una futura revisión.

1.1.2.8. Este Código no es de aplicación para las siguientes estructuras:

- Estructuras que se construyan con hormigones livianos, pesados o refractarios.
- Estructuras que en condiciones normales de servicio se encuentren sometidas a temperaturas mayores de 70°C.

### **1.1.3. Materiales, elementos y sistemas constructivos no contemplados en este Código**

La utilización de materiales para la elaboración del hormigón simple, armado y pretensado, así como de elementos o sistemas constructivos no especificados en este Código, deberán requerir la autorización expresa de la autoridad competente.

### **1.1.4. Figuras legales mencionadas en este Código**

1.1.4.1. A los fines de este Código se definen las siguientes figuras legales:

**Autoridad Fiscalizadora:** Organismo que en la jurisdicción nacional, provincial o municipal en que se encuentra la obra, ejerce el poder de fiscalizar la seguridad de la construcción.

**Comitente:** Persona física o jurídica que encomienda las tareas profesionales.

**Contratista Principal o Empresa Contratista:** Persona física o jurídica adjudicataria de los trabajos, que ha tomado a su cargo la ejecución de la obra y que asume la responsabilidad ante el Comitente, las autoridades públicas y ante terceros, por la ejecución de la obra en los términos que establece la Ley.

**Director de Obra:** Profesional que ejerce personalmente o como jefe de un equipo la Dirección de la Obra. Es la autoridad máxima de la misma y el responsable de la aplicación de este Código.

**Inspector de Obra:** Profesional auxiliar de la Dirección de Obra que representa en obra al Director, por lo que la responsabilidad ante el Comitente es asumida exclusivamente por el Director de Obra.

**Proyectista o Diseñador Estructural:** Profesional que asume personalmente la totalidad de las especialidades involucradas en el proyecto o diseño de la estructura.

1.1.4.2. Para la aplicación de este Código, los poderes públicos de cada jurisdicción deben establecer, para sus respectivas obras públicas, quiénes son los funcionarios que asumirán las funciones asignadas por este Código al *Proyectista o Diseñador Estructural* y al *Director de Obra*.

## 1.2. NORMAS DE APLICACIÓN

**C.1.2.** En algunos casos la norma IRAM o IRAM-IAS va acompañada de la fecha de su publicación debido a que su contenido ha sido adoptado de base para el desarrollo de alguna prescripción reglamentaria específica. La modificación de la norma puede ocasionar una alteración de los criterios de seguridad que sustentaron la redacción de este Código Modelo.

Cuando las normas IRAM e IRAM-IAS identificadas con su fecha de publicación se actualicen, la autoridad competente deberá analizar si las modificaciones introducidas afectan el contenido de este Código Modelo.

En todo lo que no se oponga a lo expresamente establecido en este Código, son de *aplicación directa* las normas IRAM e IRAM – IAS que se detallan a continuación, en la versión correspondiente a la fecha de revisión que también se indica en el listado.

**IRAM 1501-2 NM-ISO 565:** Tamices de ensayo. Tela de tejido metálico, chapa metálica perforada y lámina electroformada. Tamaños nominales de abertura. *Vig. 2002*

**IRAM 1504:** Cemento portland. Análisis químico. *Vig. 1986*

**IRAM 1512:** Agregado fino para hormigón de cemento. Requisitos. *Vig. 2013*

**IRAM 1519:** Rocas basálticas. Método de determinación de la estabilidad. Ensayo de inmersión en etanodiol (etilén glicol). *Vig. 1982*

**IRAM 1520:** Agregados finos. Métodos de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua. *Vig. 2002*

**IRAM 1524:** Hormigón de cemento. Preparación y curado en obra de probetas para ensayos de compresión y de tracción por compresión diametral. *Vig. 2015*

**IRAM 1525:** Agregados. Método de ensayo de durabilidad por ataque con sulfato de sodio. *Vig. 1985*

**IRAM 1531:** Agregado grueso para hormigón de cemento. Requisitos y métodos de ensayo. *Vig. 2016*

**IRAM 1532:** Agregados. Determinación de la resistencia a la fragmentación por el método “Los Ángeles”. *Vig. 2009*

**IRAM 1533:** Agregados gruesos. Método de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua. *Vig. 2002*

**IRAM 1534:** Hormigón. Preparación y curado de probetas en laboratorio para ensayos de compresión y de tracción por compresión diametral. *Vig. 2018*

**IRAM 1536:** Hormigón fresco de cemento portland. Método de ensayo de la consistencia utilizando el tronco de cono. *Vig. 1978*

**IRAM 1540:** Agregados. Método de ensayo del material fino que pasa por el tamiz IRAM 75 µm, por lavado. *Vig. 2004*

**IRAM 1546:** Hormigón de cemento. Método de ensayo de compresión. *Vig. 2013*

**IRAM 1547:** Hormigón de cemento portland. Ensayo de tracción por flexión. *Vig. 1992*

**IRAM 1551:** Hormigón de cemento portland. Extracción, preparación y ensayo de testigos de hormigón endurecido. *Vig. 2000*

**IRAM 1554:** Hormigón de cemento portland. Método de determinación de la penetración de agua a presión en el hormigón endurecido. *Vig. 1983*

**IRAM 1557:** Escoria de alto horno granulada molida. *Vig. 1991*

**IRAM 1562:** Hormigón fresco de cemento. Método para la determinación de la densidad (masa de la unidad de volumen) y el

cálculo del rendimiento y del contenido del aire (gravimétrico). **Vig. 2012**

**IRAM 1593:** Material calcáreo para cemento portland con "filler" calcáreo. **Vig. 1994**

**IRAM 1601: 1986:** Agua para morteros y hormigones de cemento. **Vig. 2012**

**IRAM 1602-1:** Hormigón de cemento portland. Método por presión para la determinación del contenido de aire en mezclas frescas de hormigones y morteros. Método A. **Vig. 1988**

**IRAM 1602-2:** Hormigón de cemento portland. Método por presión para la determinación del contenido de aire en mezclas frescas de hormigones y morteros. Método B. **Vig. 1988**

**IRAM 1604:** Hormigón. Método de ensayo para determinar la exudación. **Vig. 2004**

**IRAM 1635:** Método de ensayo para la determinación del cambio de largo en barras de mortero de cemento, expuestas a una solución de sulfato de sodio. **Vig. 2009**

**IRAM 1647:** Agregados para hormigón de cemento portland. Métodos de ensayo. **Vig. 1994**

**IRAM 1648:** Reacción álcali-agregado. Método de ensayo de inhibidores minerales. **Vig. 2010**

**IRAM 1649:** Examen petrográfico de agregados para hormigón. **Vig. 2008**

**IRAM 1658:** Hormigón. Determinación de la resistencia a la tracción simple por compresión diametral. **Vig. 1995**

**IRAM 1661:** Hormigones. Método de ensayo de la resistencia a la congelación en aire y deshielo en agua. **Vig. 1970**

**IRAM 1662:** Hormigones y morteros. Determinación del tiempo de fraguado. Método de resistencia a la penetración. **Vig. 1995**

**IRAM 1663:** Hormigón de cemento. Aditivos químicos. **Vig. 2002**

**IRAM 1666-1:** Hormigón de cemento portland. Hormigón elaborado. Requisitos, inspección y recepción y métodos de ensayo. **1986**

**IRAM 1666-2:** Hormigón de cemento portland. Hormigón elaborado. Elaboración y transporte. **1986**

**IRAM 1666-3:** Hormigón de cemento portland. Hormigón elaborado. Uniformidad del hormigón del pastón. **1986**

**IRAM 1667:1990:** Escoria granulada de alto horno. Requisitos y condiciones de recepción. **Vig. 2016**

**IRAM 1668:1968:** Puzolanas y cenizas volantes silíceas. Características y muestreo. **Vig. 2015**

**IRAM 1674:** Agregados. Determinación de la reactividad alcalina potencial. Método acelerado de la barra de mortero. **Vig. 1997**

**IRAM 1675:1975:** Compuestos líquidos para la formación de membranas para el curado del hormigón. Características. **Vig. 1975**

**IRAM 1687-1:** Agregados. Método de determinación del índice de lajocidad. **Vig. 1996**

**IRAM 1687-2:** Agregados. Determinación del índice de elongación. **Vig. 1997**

**IRAM 1690:** Hormigón de cemento portland. Método de ensayo de la consistencia utilizando la mesa de Graf. **Vig. 1986**

- IRAM 1697:** Hormigón fresco de cemento portland. Método de separación de agregados grandes por tamizado. *Vig. 1978*
- IRAM 1700:** Agregados. Métodos para la determinación del cambio de largo en prismas de hormigón, debido a la reacción álcali-agregado. *Vig. 2013*
- IRAM 1705:** Compactado de hormigón por vibración. Equipos y operación. Requisitos y métodos de ensayo. *Vig. 1985*
- IRAM 1707-1:1998:** Hormigón de cemento. Parte 1. Determinación del índice de acidez del suelo por el método de Baumann-Gully. *Vig. 2010*
- IRAM 1708-1:** Hormigón de cemento portland. Agresividad del agua en contacto con estructuras. Determinación del grado de agresividad al carbonato de calcio por el método de Heyer modificado. *Vig. 1998*
- IRAM 1767:** Hormigón. Método de ensayo de la consistencia utilizando el dispositivo Vebe. *Vig. 2004*
- IRAM 1857:** Hormigón de cemento portland. Determinación del contenido de ion cloruro en el hormigón. *Vig. 2000*
- IRAM 1871:** Hormigón. Método de ensayo para determinar la capacidad y la velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido. *Vig. 2004*
- IRAM 1872:** Hormigón. Agresividad del agua en contacto con estructuras. Métodos de ensayo para determinar pH, sulfatos solubles, magnesio y amonio. *Vig. 2004*
- IRAM 1873:2004:** Hormigón. Agresividad de suelos en contacto con estructuras de hormigón. Métodos de ensayo para determinar sulfatos solubles en agua y en ácido. *Vig. 2010*
- IRAM 1874-1:** Agregados para hormigones. Evaluación de estructuras en servicio. Resistencia a congelación y deshielo. *Vig. 2004*
- IRAM 1874-2:** Agregados para hormigones. Evaluación de estructuras en servicio. Reacción álcali-sílice. *Vig. 2004*
- IRAM 1874-3:** Agregados para hormigones. Evaluación de estructuras en servicio. Estabilidad de rocas basálticas. *Vig. 2004*
- IRAM 1876:** Hormigón. Métodos de ensayo para determinar la homogeneidad de una mezcla de hormigón. *Vig. 2004*
- IRAM 1879:** Hormigón de cemento. Análisis de hormigón fresco. Determinación de los contenidos del material cementicio, de agregados y de agua. *Vig. 2009*
- IRAM 5170:** Cordones de 7 alambres, no adherentes, (engrasados y envainados) para estructuras de hormigón pretensado. *Vig. 2004*
- IRAM 5000:2000:** Cemento. Cemento para uso general. Composición y requisitos. *Vig. 2017*
- IRAM 5001:2000:** Cemento. Cementos con propiedades especiales. Requisitos. *Vig. 2017*
- IRAM-IAS U 500-03:** Cordones de siete alambres de acero para estructuras de hormigón pretensado. *Vig. 2019. Reemplaza a IRAM-IAS U 500-03: 2004*
- IRAM-IAS U 500-06:** Mallas de alambres de acero soldados para armadura en estructuras de hormigón. *Vig. 2016*
- IRAM-IAS U 500-07:** Cordones de dos o tres alambres de acero para estructuras de hormigón pretensado. *Vig. 2007*
- IRAM-IAS U 500-26:** Alambres de acero para armadura en estructuras de hormigón. *Vig. 2016*

**IRAM-IAS U 500-96:** Soldadura. Calificación de soldadores.

**IRAM-IAS U 500-97:** Barras de acero para armadura en estructuras de hormigón. Soldadura. **Vig. 2004**

**IRAM-IAS U 500-127 :** Soldadura por arco. Electrodo de acero de baja aleación, revestidos (AWS A5.5). **Vig. 1987**

**IRAM-IAS U 500-138 :** Soldadura. Ente habilitante y entes de calificación y certificación de soldadores, operadores y procedimientos de soldadura. **Vig. 2016**

**IRAM-IAS U 500-166 :** Soldadura. Alambres y varillas de acero al carbono. Para procesos por arco eléctrico con protección gaseosa. **Vig. 1989**

**IRAM-IAS U 500-207 :** Barras de acero conformadas de dureza natural soldables, para armadura en estructuras de hormigón. **Vig. 2017**

**IRAM-IAS U 500-245:** Alambres de acero indentados para estructuras de hormigón pretensado. **Vig. 2017**

**IRAM-IAS U 500-502:** Barras de acero laminadas en caliente, lisas y de sección circular para armadura en estructuras de hormigón. **Vig.2004**

**IRAM-IAS U 500-517 :** Alambres de acero lisos para estructuras de hormigón pretensado. **Vig. 2004**

**IRAM-IAS U 500-528 :** Barras de acero conformadas de dureza natural, para armadura en estructuras de hormigón. **Vig. 2017**

**IRAM-IAS U 500-601 :** Soldadura por arco - Electrodo de acero al carbono, revestidos (AWS A5.1). **Vig. 1987**

**IRAM - ISO 9001:** Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos. **Vig. 2015**

**C.1.3.** El objetivo fundamental de la **Documentación Técnica Inicial** del **Proyecto o Diseño Estructural** es establecer en forma clara y precisa los antecedentes, memorias de cálculo, especificaciones, planos, cómputos, presupuestos y plazos, para construir una determinada estructura de hormigón.

A modo de referencia se puede consultar como modelo de orientación lo consignado en el capítulo 1 del CIRSOC 201-2005.

### **1.3. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA**

El detalle y requerimientos sobre la documentación Técnica del proyecto exceden los objetivos y alcance de este Código Modelo.

En caso de incorporarse a un Reglamento específico o a la documentación de un proyecto, será pertinente evaluar la necesidad de precisar requerimientos sobre la Documentación Técnica Inicial del Proyecto o Diseño Estructural. Dicha documentación podrá incluir antecedentes sobre materiales, hipótesis de cálculo, Especificaciones Técnicas, Documentación Técnica de la obra como libros, registros, acciones a realizar, entre otros.

Sin perjuicio de ello, a los efectos de la aplicación de este Código se requiere la documentación que se menciona en 1.3.1 a 1.3.5.

#### **1.3.1. Antecedentes**

- análisis químicos de los suelos, aguas y otros materiales de contacto, con la correspondiente interpretación de resultados, para demostrar la ausencia de agresividad o en caso contrario la naturaleza y grado de la acción agresiva.
- materiales disponibles en la zona para la construcción de las estructuras de hormigón.
- análisis de la variación de la napa freática, si corresponde.
- análisis de las condiciones de exposición de la estructura a la acción de medio ambiente circundante y a los efectos climáticos.

#### **1.3.2. Materiales**

- clases de hormigones para construir la estructura o sectores de ella.
- características y propiedades de los aceros.
- control de aptitud de los materiales cuando ello no esté explícitamente establecido en este Código modelo o en la norma de aplicación.

### 1.3.3. Hipótesis del Proyecto Estructural

- Códigos utilizados.
- calidad de los materiales a emplear.
- vida útil de diseño y estrategia de diseño y mantenimiento para asegurar dicha vida útil.
- exigencias adicionales a las establecidas en este Código cuando se proyecte para una vida útil mayor que 50 años.

### 1.3.4. Autenticidad de la Documentación Inicial de Obra

La firma del *Director de Obra* y la *Conformidad del Comitente* confiere autenticidad a cualquier legajo de la *Documentación Técnica Inicial*.

### 1.3.5. Registros

Durante la realización de la obra, el *Director de Obra* debe registrar, o hacer registrar, en forma continua, toda información o dato importante relacionado con su ejecución. Todos los registros deben ser conservados por el *Director de Obra*.

Como mínimo se deben llevar registros en donde conste la siguiente información:

- datos diarios de las condiciones climáticas. Temperatura y humedad ambiente y en casos especiales velocidad del viento.
- temperatura del hormigón fresco cada vez que se determine su asentamiento o se moldeen probetas de control. Cuando la temperatura del aire esté por debajo de 5 °C o por encima de 30 °C, se debe registrar la temperatura del hormigón fresco en el momento de su colocación.
- precauciones adoptadas en obra cuando se coloque hormigón con el aire a una temperatura igual o menor de 10 °C o igual o mayor de 25 °C.
- cuando el hormigón se elabore en obra, composición del o los hormigones utilizados, con la indicación de la modalidad adoptada para medir los materiales componentes, los resultados de los ensayos de control de producción, y la ubicación o sector donde se colocó el hormigón.
- si se opta por hormigón elaborado, se deben archivar los remitos de entrega, registrando el nombre del proveedor, los números de las boletas de remito, la ubicación o sector donde se colocó el hormigón y los resultados de los ensayos de control de recepción.
- si se opta por hormigón elaborado y se aplican los criterios de conformidad del Modo 1, artículo 6.2.3, se debe archivar el certificado de conformidad del sistema de calidad emitido por un organismo de certificación acreditado ante el Organismo Argentino de Acreditación (OAA), según el Decreto 1474/94.
- detalles de la obtención de muestras, con indicación del elemento o elementos estructurales hormigonados al cual representan.
- resultados de todas las propiedades medidas del hormigón fresco, fechas y edades de ensayos de las probetas moldeadas durante el hormigonado y los correspondientes resultados de resistencias.

- tipos de aceros de armaduras para hormigón armado y para hormigón pretensado, con la ubicación en la estructura de acuerdo con la Documentación de Obra.
- resultados de los ensayos de control de calidad de los aceros de armaduras para hormigón armado y para hormigón pretensado, en caso de haberse realizado.
- certificados de conformidad con norma, emitidos por un organismo de certificación acreditado ante el Organismo Argentino de Acreditación (OAA), que certifique que los aceros cumplen con las normas IRAM o IRAM-IAS respectivas.
- certificados de conformidad con norma, emitidos por un organismo de certificación acreditado ante el Organismo Argentino de Acreditación (OAA), que certifique que los cementos cumplen con las normas IRAM correspondientes al tipo y clase de cemento indicado en los Documentos del Proyecto.
- en caso de emplearse hormigón pretensado, memoria en donde conste las operaciones de tesado e inyección de vainas. Resultados obtenidos para el control de calidad de la pasta de inyección.

#### **1.4. DEFINICIONES**

En el *Anexo al Capítulo 1* se presentan las **Definiciones** de uso general en este Código.

#### **1.5. UNIDADES**

Las unidades utilizadas en este Código corresponden al Sistema Métrico Legal Argentino (SIMELA) según Ley 19511/72.

## ANEXO A1

### CAMPO DE VALIDEZ, DOCUMENTACIÓN TÉCNICA Y DEFINICIONES

#### DEFINICIONES

A continuación, se definen los términos más utilizados en este Código Modelo, y que son comunes a todos sus Capítulos. Las definiciones especializadas aparecen en los Capítulos correspondientes al Código Modelo.

#### A

**Acero de pretensado:** Elemento de acero de alta resistencia, como alambre, barra, o cordón, o un conjunto de los mismos, utilizado para introducir fuerzas de pretensado en el hormigón.

**Adiciones Minerales Activas (AMA):** sustancias naturales o industriales silíceas o silicoaluminosas que, finamente molidas y en presencia de agua, son capaces de reaccionar con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos estables, principalmente silicatos de calcio hidratados. Entre ellas se incluyen puzolanas y cenizas volantes silíceas (IRAM 1668), escoria granulada de alto horno (IRAM 1668) y humos de sílice (ASTM C 1240).

**Armadura:** Conjunto de barras, alambres, mallas soldadas o cables de acero, que se incorporan a la masa del hormigón con el objeto de resistir en forma conjunta con este, los esfuerzos internos calculados. Debe cumplir con los requisitos establecidos en el artículo 3.6.

**Armadura conformada:** Barras, alambres o mallas soldadas de acero, cuya superficie presenta salientes con el fin de mejorar su adherencia con el hormigón, que deben cumplir los requisitos especificados en los artículos 3.6.1 y 3.6.2.

**Armadura lisa:** Barras, alambres o mallas soldadas de acero cuya superficie no presenta salientes y que deben cumplir con los requisitos especificados en los artículos 3.6.1 y 3.6.2.

#### C

**Cámara de curado húmedo:** Una cámara para almacenar y curar probetas de hormigón o de mortero de cemento, en la cual la atmósfera se mantiene a una temperatura de  $23,0\text{ °C} \pm 2,0\text{ °C}$  y a una humedad relativa igual o mayor del 95 %. La forma de almacenamiento debe ser tal que permita mantener continuamente humedecida toda la superficie exterior de las probetas. También se la conoce como cámara húmeda.

**Cable:** Es el conjunto de uno o más elementos de alambres, barras o cordones, que constituyen una unidad funcional, dispuesta de modo de introducir esfuerzos de pretensado en el hormigón.

**Clase de hormigón:** Es la designación abreviada de un hormigón. Se indica con la letra H seguida de un número. La parte numérica indica la **resistencia característica a la compresión del hormigón a la edad de diseño**, expresada en MPa. Ejemplo: H-20, H-30, etc.

**Control de conformidad:** Es el control que practica el Director de Obra o el Usuario con el objeto de verificar la conformidad con una especificación y valorar la aptitud de los materiales y las estructuras.

**Control de calidad:** Acciones que toma un productor o un constructor para asegurar un control sobre lo que se está ejecutando y lo que se está suministrando, para garantizar que se están cumpliendo con las especificaciones y normas de aplicación y con las prácticas correctas de ejecución

**Curado del hormigón:** El mantenimiento del contenido de humedad y de la temperatura en el hormigón, necesarios para el desarrollo de los procesos de hidratación del cemento y de las consecuentes propiedades deseadas en el hormigón endurecido. El curado es particularmente importante durante las primeras edades.

**Curado normal:** El que se realiza almacenando las probetas de ensayo en una cámara de curado húmedo o en una pileta con agua saturada de cal y temperatura similar a la de la cámara de curado húmedo.

#### D

**Diseño:** A los fines de este Código Modelo se ha utilizado la palabra “diseño” como sinónimo de “proyecto”. El diseño incluye el planteo estructural, el dimensionamiento y los detalles de armado de las secciones y de los elementos estructurales.

**Durabilidad:** La capacidad del hormigón de la estructura para resistir acciones del medio ambiente, de acuerdo con lo establecido por este Código Modelo.

#### E

**Especialista:** Son los profesionales encargados del estudio de cada especialidad y que son responsables directos de la tarea encomendada.

**Estribo de columna o cerrado:** Barra, alambre o malla soldada que abraza la armadura longitudinal de un elemento comprimido. Incluye a las barras o alambres continuos doblados en forma de círculo, rectángulo u otra forma poligonal sin esquinas entrantes.

**Estribo, estribo de viga ó estribo para corte:** Armadura empleada para resistir esfuerzos de corte y de torsión en un elemento estructural. Por lo general se trata de barras, alambres o mallas de acero soldadas de alambres lisos o conformados, rectos o doblados en forma de L, de U o rectangular, ubicados perpendicularmente o en ángulo, con respecto a la armadura longitudinal. (El término **estrigo** se aplica normalmente a la armadura transversal de elementos solicitados a flexión y el término **estrigo de columna o cerrado**, a los que están en elementos solicitados preponderantemente a compresión).

## H

**Hormigón:** Es una mezcla homogénea compuesta por una pasta de cemento y agua, con agregados gruesos y finos, que en estado fresco tiene cohesión y trabajabilidad y que luego, por el fraguado y el endurecimiento de la pasta cementicia, adquiere resistencia. Además de estos componentes básicos, también puede contener aditivos químicos y/o adiciones minerales pulverulentas.

**Hormigón armado (\*):** Hormigón estructural con armadura de acero sin tensión previa, o con aceros de pretensado en mayor cantidad que la mínima especificada por este Código Modelo

**Hormigón estructural (\*):** Todo hormigón utilizado con propósitos estructurales, incluyendo al hormigón simple y al hormigón armado (Se debe notar que de acuerdo con la definición anterior el hormigón armado incluye al hormigón pretensado).

**Hormigón prefabricado o premoldeado:** Hormigón estructural colado en un lugar diferente al de su ubicación final en la estructura.

**Hormigón pretensado(\*):** Hormigón estructural al que se le aplican esfuerzos internos a fin de reducir las potenciales tensiones de tracción en el hormigón, causadas por las cargas.

**Hormigón simple:** Hormigón estructural sin armadura o con menos armadura que la mínima especificada para el hormigón armado.

(\*) A los fines de este Código se considera que el hormigón armado incluye al hormigón pretensado, pero por razones de practicidad se ha decidido que en el texto del Código Modelo, en los Comentarios y en los Ejemplos de Aplicación se continúe haciendo mención a cada uno de ellos por separado.

## J

**Junta de dilatación:** Separación entre partes adyacentes de una estructura de hormigón, usualmente en un plano vertical y en una ubicación determinada de la estructura, de modo tal de interferir lo menos posible con el comportamiento de la estructura y al mismo tiempo permitir movimientos relativos en tres direcciones y evitar la formación de fisuras en otro lugar del hormigón. A través de este tipo de junta se puede interrumpir toda o parte de la armadura.

**Junta de contracción:** Muesca moldeada, aserrada o cincelada en una estructura de hormigón, para crear un plano de debilidad y regular la ubicación de la fisuración resultante de los cambios dimensionales de diferentes partes de la estructura.

## L

**Longitud de anclaje:** Longitud de la armadura embebida en el hormigón, incluyendo los cordones de pretensado, que se requiere para poder desarrollar la resistencia de diseño de dicha armadura en una sección crítica.

## M

**Módulo de elasticidad:** Relación entre la tensión normal y la deformación específica correspondiente, para esfuerzos de tracción o compresión, por debajo del límite de proporcionalidad del material.

**Módulo de finura del agregado fino:** Es el coeficiente que se obtiene al dividir por 100, la suma de los porcentajes retenidos acumulados sobre cada uno de los tamices de la serie IRAM: 150 µm, 300 µm, 600 µm, 1,18 mm, 2,36 mm, 4,75 mm, 9,5 mm, 19,0 mm, 37,5 mm, 75 mm.

## R

**Resistencia a la tracción por compresión diametral del hormigón ( $f_{ct}$ ):** Tensión que se obtiene al ensayar una probeta cilíndrica por compresión en un plano diametral, aplicando una carga hasta la rotura sobre toda la longitud de una generatriz. Se obtiene al ensayar una probeta de acuerdo con la Norma IRAM 1658.

**Resistencia característica:** Para una clase de hormigón, es el valor estadístico de la resistencia que corresponde a la probabilidad que el noventa por ciento (90 %) de todos los resultados de ensayos de la población supere dicho valor.

**Resistencia de diseño:** Resistencia nominal multiplicada por un factor de reducción de resistencia.

**Resistencia efectiva:** Es la resistencia del hormigón que se obtiene al ensayar probetas cilíndricas moldeadas y curadas en el campo o extraídas directamente de la estructura luego del endurecimiento del hormigón. Permite medir la resistencia desarrollada por el hormigón en la estructura. Sirve también para poder tomar decisiones sobre: cuando se pueden remover los encofrados y apuntalamientos, cuando se pueden aplicar cargas adicionales constructivas a la estructura o cuando se puede poner en servicio la estructura. Ver también **Probetas curadas en el campo** en el Glosario que se publica al final de los Comentarios a este Código Modelo.

**Resistencia especificada a la compresión del hormigón ( $f'_c$ ):** Resistencia a la compresión del hormigón utilizada en el cálculo y evaluada de acuerdo con las consideraciones del Capítulo 6, (en MPa para todas las expresiones de este Código Modelo). Cuando la cantidad  $f'_c$  se encuentra bajo un signo radical, se quiere indicar sólo la raíz cuadrada del valor numérico, por lo que el resultado debe expresarse en MPa.

**Resistencia nominal:** Resistencia de un elemento o de una sección transversal calculada con las disposiciones e hipótesis del método de diseño establecido en este Código Modelo, antes de aplicar cualquier factor de reducción de resistencia.

**Resistencia potencial:** Es la resistencia que alcanza el hormigón en las condiciones ideales de compactación y curado. Se mide en probetas moldeadas, curadas y ensayadas en las condiciones establecidas en las normas IRAM 1524 y 1534.

## T

**Tensión:** Es el cociente entre la carga alcanzada en un momento determinado y el área de la sección transversal inicial de la probeta. Fuerza por unidad de área.

**Tensión de fluencia:** Tensión correspondiente al límite de fluencia del acero de la armadura. La tensión de fluencia se debe determinar mediante un ensayo a tracción, de acuerdo con las especificaciones aplicables del Artículo 3.6.

## V

**Vaina para postesado:** Conducto liso o corrugado que contiene al acero de pretensado en una construcción postesada.

## Z

**Zuncho en espiral:** A los fines de este Código Modelo se lo define como la armadura transversal continua en forma de hélice cilíndrica.



## CAPÍTULO 2. ESPECIFICACIONES POR RESISTENCIA Y DURABILIDAD

### 2.0. SIMBOLOGÍA

$a/c$	razón agua/cemento, en masa.
$a/(c+x)$	razón agua/material cementicio, que tiene en cuenta la suma de las cantidades de cemento (c) y adición mineral activa (x), en masa.
$f'_c$	resistencia especificada a compresión del hormigón, en MPa.
$f'_{cmin}$	resistencia mínima especificada por durabilidad, en MPa.
$k$	coeficiente de permeabilidad del suelo, en m/s.
$K_{ac}$	coeficiente de carbonatación acelerada.
$R_{ef}$	espesor de recubrimiento efectivo.
$R_{nom}$	recubrimiento nominal.
$\Delta r$	tolerancia de recubrimiento en función del nivel de ejecución.

### 2.1. REQUISITOS GENERALES

**C.2.1.1.** Este Código Modelo representa una actualización del **CIRSOC 201-2005 “Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón”** en lo relacionado con la Tecnología del Hormigón.

Este Código Modelo **no incluye a las estructuras** que estarán **sometidas a condiciones muy severas de exposición** como ácidos o muy altas temperaturas, pero si incluye el ataque ácido de origen biogénico que se produce en las instalaciones para líquidos cloacales. Tampoco tiene especificaciones para estructuras donde los aspectos estéticos (por ejemplo, textura) sean prioritarios. Estas situaciones y otras similares deben ser objeto de especificaciones particulares a incluir en los Documentos del Proyecto.

**C.2.1.2.** En coincidencia con otros códigos de referencia del ámbito internacional los aspectos vinculados con la vida en servicio deben ser considerados como acciones que actúan sobre la estructura. En consecuencia, deben ser tenidos en cuenta desde el inicio del diseño de la estructura.

**C.2.1.3.** Al hablar de cemento se entiende cualquiera de los previstos en las normas IRAM 50000/50002.

**2.1.1.** Este Código Modelo es válido para hormigones

- cuya masa por unidad de volumen se encuentre entre 2000 kg/m<sup>3</sup> y 2800 kg/m<sup>3</sup>.
- constituidos por una mezcla homogénea de una pasta de material cementicio y agua, con agregados gruesos y finos, que en estado fresco tiene cohesión y trabajabilidad y que luego, por el fraguado y el endurecimiento de la pasta cementicia, adquiere resistencia. Además de estos componentes básicos, también puede contener aditivos químicos, fibras y/o adiciones minerales.

**2.1.2.** Los hormigones a utilizar en el Proyecto Estructural deben cumplir:

- los **requisitos de durabilidad** establecidos en el artículo 2.2.
- los **requisitos de resistencia** establecidos en el artículo 2.3.
- los **requisitos especiales** establecidos en el artículo 9.8.

**2.1.3.** Este Código Modelo exige que se adopten las resistencias y las razones agua/cemento ( $a/c$ ) y/o agua/material cementicio ( $a/(c+x)$ ) que resulten **más restrictivas** entre las establecidas por **durabilidad** (Tabla 2.5), por **resistencia** (Tabla 2.8) y por **requisitos especiales** (Tabla 9.2).

**2.1.4.** Cuando se agrega una adición mineral en obra, la razón  $a/(c+x)$  se calculará solamente considerando las adiciones minerales activas (IRAM 1667; IRAM 1668 y ASTM C 1240).

## 2.2. REQUISITOS POR DURABILIDAD

### 2.2.1. Requisitos generales

2.2.1.1. El **ambiente en contacto con la estructura** puede ocasionar acciones de naturaleza química, física y/o fisico-química que **degraden la estructura por efectos diferentes a los de las cargas consideradas en el Proyecto o Diseño Estructural**. Según sea la magnitud de dicha degradación y la velocidad con que se produzca, la estructura puede perder, parcial o totalmente, la aptitud para cumplir la función para la cual fue construida.

C.2.2.1.2. Se entiende por vida útil en servicio de una estructura al período de tiempo a partir de su construcción, durante el cual debe mantener las condiciones aceptables de seguridad, funcionalidad o aptitud en servicio y aspecto estético, sin gastos de mantenimiento no previstos.

La vida útil en servicio es una magnitud que debe ser fijada por el propietario de la obra, antes del inicio del proyecto.

C.2.2.1.3. En el CIRSOC 201-2005 se asumía una vida útil en servicio de 50 años; sin embargo, este valor depende en realidad de las condiciones en servicio.

La posibilidad de proyectar para vida útil en servicio menor a 50 años ha sido prevista en este Código Modelo exclusivamente para obras temporarias o para explotaciones mineras que, por su naturaleza, tengan un período de actividad reducido.

2.2.1.2. El diseño de las estructuras y la especificación del hormigón de la estructura y sus materiales componentes deben tener en cuenta las **acciones del ambiente, los procesos de degradación de los materiales a utilizar en la estructura y la vida útil en servicio requerida por el comitente**.

2.2.1.3. Para cada ambiente de exposición, este Código Modelo establece **requisitos básicos, de cumplimiento obligatorio con independencia de la vida útil del Proyecto, y requisitos complementarios que dependen de la vida útil del Proyecto**.

Los requisitos básicos se indican en los artículos 2.2.2 a 2.2.9, 2.2.10.1/4, 2.2.11, 2.2.12, 2.2.13.1/4, y 2.2.14.1, 2.2.15, 2.2.16 y en la Tabla 2.5.

Los requisitos complementarios dependen de la vida útil del Proyecto y se indican en los artículos 2.2.10.5/8, 2.2.13.5/9 y 2.2.14.2/4.

Los requisitos básicos son válidos para estructuras de hormigón expuesto y no pueden modificarse cuando se agregue un **revestimiento sobre la superficie del elemento estructural**. Esto es válido aún en el caso de que el revestimiento superficial corresponda a un requisito complementario.

2.2.1.4. Los Documentos del Proyecto deberán especificar la vida útil y los requerimientos básicos y complementarios necesarios para lograrla.

2.2.1.5. Cuando ello sea necesario para cumplimentar un requisito complementario, se deberán utilizar **modelos de predicción debidamente justificados** para determinar la vida útil de la estructura sometida a las condiciones de exposición previstas en el Proyecto.

2.2.1.6. Cuando se requiera una vida útil mayor que 50 años, durante el período de ejecución de la obra, al menos una vez cada seis meses se deberán verificar las características de los materiales que inciden en la vida útil para las condiciones de agresividad del medio ambiente y los materiales empleados. Los ensayos se realizarán sobre muestras extraídas en planta hormigonera y bajo la supervisión del Director de Obra. Como mínimo se realizarán las siguientes determinaciones:

- Verificar que el material cementicio cumple con lo especificado en 2.2.9 cuando deba prevenirse la agresión por sulfatos
- Verificar que la combinación de los materiales propuestos para la obra (cemento, adiciones minerales activas, cuando corresponda, y los agregados) cumple lo indicado en 2.2.16, cuando deba prevenirse la reacción álcali-sílice (RAS).

## 2.2.2. Requisitos del Proyecto Estructural

C.2.2.2.1. Este Código requiere que los documentos del Proyecto incluyan un **Manual de mantenimiento de la estructura**. En él se debe establecer, según corresponda, la secuencia y modalidad de las inspecciones y las operaciones a realizar para evitar la degradación de la estructura o asegurar que la misma se produzca con una velocidad que no afecte la resistencia ni aptitud en servicio durante su vida útil.

2.2.2.1. El Proyecto debe establecer una **estrategia de diseño** que garantice, al finalizar su vida útil en servicio, que la estructura posea la seguridad, la aptitud en servicio y las condiciones estéticas exigidas por este Código Modelo y por el Comitente. Dicha estrategia puede incluir trabajos de observación y auscultación y operaciones de mantenimiento periódicos. El proyecto debe prever las facilidades para realizar dichas tareas, que además deben estar claramente explicitadas en los Documentos del Proyecto.

2.2.2.2. Antes de comenzar el Proyecto de la Estructura se debe **identificar el tipo de medio ambiente** que define la agresividad a la que va a estar sometido cada conjunto de elementos estructurales.

2.2.2.3. Los Documentos del Proyecto Estructural deben indicar:

- el **tipo de ambiente** al que estará expuesto cada conjunto de elementos que componen la estructura, de acuerdo con lo indicado en el artículo 2.2.4.
- la **vida útil de diseño**
- la **estrategia de diseño y mantenimiento** para dar cumplimiento a lo indicado en los artículos 2.2.2.1 y 2.2.1.2.
- el **tipo de hormigón** a utilizar en los distintos elementos estructurales, con la siguiente información: Clase de resistencia del hormigón y Clase de exposición (por ejemplo, H-25 / A2). La clase de hormigón especificada debe respetar los mínimos establecidos para el tipo de exposición correspondiente al elemento, de acuerdo con la Tabla 2.5.

2.2.2.4. A los fines establecidos en el artículo 2.2.2.1 se deben cumplir los siguientes requisitos:

- **máxima razón agua/material cementicio** de acuerdo con lo establecido en la Tabla 2.5.
- **mínima resistencia especificada** de acuerdo con lo establecido en la Tabla 2.5.
- **contenido mínimo de material cementicio** de acuerdo con lo establecido en el artículo 4.1.5.
- **contenido mínimo de aire intencionalmente incorporado**, cuando corresponda, de acuerdo con lo especificado en la Tabla 2.5. y en el artículo 4.1.2.
- **resistencia frente al ataque por sulfatos y otras acciones químicas**, cuando corresponda, de acuerdo con lo especificado en los artículos 2.2.4 a 2.2.6. y 2.2.10 y en las Tablas 2.3. y 2.4.
- **resistencia al ataque ácido de origen biogénico**, de acuerdo a lo especificado en 2.2.10.
- **protección contra la corrosión de armaduras** de acuerdo con lo especificado en los artículos 2.2.4 a 2.2.6, 2.2.8, 2.2.13 y 2.2.14. inclusive y en la Tabla 2.5.
- **control de la reacción álcali - agregados**, cuando corresponda, de acuerdo con lo especificado en el artículo 2.2.16.
- **resistencia a la carbonatación**, de acuerdo con el artículo 2.2.13. cuando corresponda.
- **penetración máxima de agua y/o succión capilar máxima**, de acuerdo con el artículo 2.2.15, cuando corresponda.

C.2.2.2.4. El control de la fisuración tiene distintos tratamientos en los Código Modelos de referencia. El CIRSOC 201-2005 y el ACI 318 requieren el control de deformaciones como un medio para limitar el ancho de fisuras debido a la incidencia de estas últimas en la corrosión de las armaduras de acero; pero no establecen anchos máximos de fisuras admisibles. Por el contrario, en los códigos europeos se limitan explícitamente las fisuras. Por otra parte, indican claramente que la fisuración del hormigón reduce la vida útil por corrosión del acero. El fenómeno es especialmente importante en el caso de exposición a ambiente marino, sin perjuicio de que también se deba cuidar en otras exposiciones. En nuestro medio, es habitual que en obras de infraestructura se requiera control de fisuración. En el presente documento, se ha optado por limitar la fisuración según se indica en el Capítulo 8.

C.2.2.3. Las disposiciones adoptadas en el diseño de la estructura (formas geométricas, recubrimientos, especificación de materiales y tipo de hormigón) no son suficientes para asegurar la vida útil en servicio de la estructura. Ellas deben ser complementadas con una realización correcta de la elección de los materiales, la elaboración y puesta en obra del hormigón y el curado de la estructura construida. Esta última operación es de muy especial importancia, teniendo en cuenta que la porosidad y la permeabilidad del hormigón del recubrimiento dependen de la eficiencia del curado, y que aquellas propiedades tienen influencia prioritaria en los procesos de corrosión de las armaduras y otros mecanismos de degradación del hormigón.

C. 2.2.4.1. Se ha optado por reunir en dos tablas a los ambientes naturales en los que puede estar emplazado un proyecto. Este criterio es el adoptado en códigos de referencia y ha sido utilizado en el Reglamento CIRSOC 201-2005. Asimismo, es coherente con lo expresado en el comentario C.2.1.2, en el cual se considera al medio ambiente

- **protecciones superficiales**, cuando correspondan, según lo indicado en 2.2.11.

Además de las exigencias anteriores, **para lograr la vida en servicio** establecida en este Código Modelo se deben cumplir las siguientes condiciones:

- respetar los **recubrimientos mínimos de armaduras** que se establecen en los artículos 2.2.13, 2.2.14 y 8.3.
- diseñar **armaduras que controlen la fisuración** de acuerdo a lo establecido en el Capítulo 8.
- **utilizar diseños geométricos** que minimicen la turbulencia de los fluidos en movimiento, cuando corresponda
- **utilizar diseños geométricos** que permitan la rápida evacuación del agua de lluvia y el uso de goterones que minimicen la escorrentía de aguas por las superficies del hormigón
- **evitar los diseños geométricos con aristas vivas** en los elementos estructurales que estarán sometidos a acciones de congelamiento y deshielo, agresividad química fuerte o muy fuerte y corrosión de armaduras.
- explicitar, para el período de servicio, un **plan de inspecciones sistemáticas** destinadas al reconocimiento temprano de daños o indicios de daños y su oportuna reparación.

### 2.2.3. Requisitos de ejecución

Complementando las indicaciones establecidas en el artículo 2.2.2, durante la construcción de la estructura se debe cumplir con las siguientes condiciones **para asegurar la vida en servicio de la estructura**:

- **seleccionar los materiales** según lo establecido en el Capítulo 3.
- **determinar las proporciones de las mezclas** según lo establecido en el artículo 4.2.
- **producir y colocar en obra el hormigón en forma adecuada**, según lo establecido en los artículos 4.3. a 4.7. inclusive.
- **proteger y curar al hormigón en forma adecuada**, según lo establecido en el artículo 4.10.

### 2.2.4. Clasificación del medio ambiente

2.2.4.1. En las Tablas 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4, se especifican los **tipos de ambientes** o las **clases de exposición** para los cuales es posible especificar medidas preventivas de protección.

La clasificación está referida a las condiciones establecidas en el artículo 2.2.1.3 (estructuras de hormigón expuesto), salvo que expresamente se indique lo contrario.

como una acción sobre la estructura que debe ser identificada para luego establecer los criterios de protección correspondientes.

En la Tabla 2.1 se indican las clases generales de exposición que producen degradación de las estructuras por corrosión de armaduras. La Tabla comienza por la exposición A1 correspondiente a un medio no agresivo y luego se presentan distintas variantes de medios agresivos.

La Tabla 2.2 comprende los ambientes con clases específicas de exposición, que producen la degradación de la estructura por fenómenos distintos de la corrosión de armaduras. Incluye acciones de congelación y deshielo, y el ataque químico por sustancias contenidas en los suelos y aguas de contacto con la estructura.

La división de los ambientes en las dos tablas no indica ningún tipo de prelación. Una estructura, o conjunto de elementos estructurales, podrá estar sometida a una clase general de exposición que produce corrosión de armaduras (Tabla 2.1) y a ninguna o a una clase específica de exposición que pueden producir degradación del hormigón (Tabla 2.2).

Tabla 2.1. Clases de exposición generales que producen corrosión de armaduras.

Desig.	Clase	Subclase	Tipo de proceso	Descripción del medio ambiente	Ejemplos típicos de estructuras con estas clases de exposición
A1	No agresiva		Ninguno	Ambientes rurales y climas desérticos, exteriores de edificios revestidos, interiores de edificios expuestos al aire con HR < 65 %, elementos enterrados en suelos húmedos o sumergidos, hormigón masivo interior.	Tabiques, columnas y vigas exteriores revestidas con materiales cerámicos o materiales que impidan la difusión del CO <sub>2</sub> . Elementos estructurales de hormigón masivo que no están en contacto con el medio ambiente.
A2	Ambiente Normal	Temperatura arriba del punto de 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	Sótanos no ventilados Tableros y pilas de puentes Exteriores de edificios y estructuras industriales Interiores de edificios con humedad del aire alta o media Pavimentos armados Elementos armados de estructuras para estacionamientos Túneles y pasos bajo nivel
CL1	Húmedo o sumergido, con cloruros de origen diferente del medio marino		Corrosión por cloruros	Superficies expuestas al rociado o la fluctuación del nivel de agua con cloruros Hormigón expuesto a aguas naturales contaminadas por desagües industriales	Fundaciones en contacto con aguas subterráneas Elementos de puentes
CL2	Expuesto a emanaciones de gas Cl <sub>2</sub>			Superficies expuestas a emanaciones de gas cloro	Techo de piletas de natación. Techo de cisternas no ventiladas y cámaras de cloración en plantas de tratamiento de aguas.
M1	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.	Construcciones alejadas de la costa, pero en la zona de influencia de los vientos cargados de sales marinas (*).
M2		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.
M3		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
		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 provienen del mar, como ocurre en la mayor parte del litoral de la Provincia de Buenos Aires, varía 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.					

Tabla 2.2. Clases específicas de exposición que pueden producir degradación en el hormigón distinta de la corrosión de armaduras.

Desig	Clase	Subclase	Tipo de proceso	Descripción del medio ambiente	Ejemplos típicos de estructuras con estas clases de exposición
C1	Congelación y deshielo	Sin sales descongelantes	Ataque por congelación y deshielo	Elementos en contacto frecuente con agua, o zonas con humedad relativa ambiente media superior al 75%, y con una probabilidad mayor que el 50% de alcanzar temperaturas por debajo de -5°C al menos una vez	Superficies expuestas a la lluvia o a atmósferas húmedas. Estructuras que contienen agua o la conducen.
C2		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. Playas de estacionamiento y cocheras en los edificios Superficies verticales expuestas a la acción directa del rociado con agua que contiene sales descongelantes.
Q1	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 (Tablas 2.3 y 2.4). Exposición al agua de mar	
Q2		Fuerte		Suelos, aguas o ambientes que contienen elementos químicos capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad media (Tablas 2.3 y 2.4).	
Q3		Muy fuerte		Suelos, aguas o ambientes que contienen elementos químicos capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad rápida (Tablas 2.3 y 2.4).	
Q4		Muy fuerte		Estructuras destinadas a la conducción y/o tratamiento de líquidos cloacales que trabajan a pelo libre.	Conductos cloacales y cámaras en plantas de tratamiento

**Tabla 2.3.** Valores límites de sustancias agresivas en aguas de contacto.

Grado de ataque	Sulfatos solubles (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Magnesio (Mg <sup>2+</sup> )	pH	Disolución de cal por ataque con ácido carbónico (CO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> )	Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	mg/litro	mg/litro	-----	mg/litro	mg/litro
Moderado	150 a 1500	300 a 1000	6,5 a 5,5	15 a 40	15 a 30
Fuerte	1500 a 10000	1000 a 3000	5,5 a 4,5	40 a 100	30 a 60
Muy fuerte	Mayor de 10000	Mayor de 3000	Menor de 4,5	Mayor de 100	Mayor de 60

(1); (2); (3) y (5) Se determinarán con el método especificado en la norma IRAM 1872:2004.  
 (4) Se determinarán con el método especificado en la norma IRAM 1708:1998.

**Tabla 2.4.** Valores límites de sustancias agresivas en suelos de contacto.

Grado de ataque	Sulfatos solubles (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Grado de acidez Baumann – Gully modificado
	(1)	(2)
	% en masa	Nº
Moderado	0,10 a 0,20	Mayor de 20
Fuerte	0,20 a 2,00	-----
Muy fuerte	Mayor de 2,00	-----

(1) Se determinará con el método especificado en la norma IRAM 1873:2004. Rev.2010  
 (2) Se determinará con el método especificado en la norma IRAM 1707-1:1998. Rev.2010

C. 2.2.4.2. Esto es de aplicación para los casos no incluidos en las Tablas 2.1 y 2.2 y sus complementarias, Tablas 2.3 y 2.4, y para aquellos que, si bien están incluidos, su complejidad no permite establecer en este Código Modelo las correspondientes medidas preventivas de protección.

2.2.4.2. Se deben realizar estudios especiales para evaluar la agresividad y las medidas protectoras a incluir en el Proyecto o Diseño Estructural cuando las acciones del medio ambiente excedan el marco de las indicadas en las Tablas mencionadas en el artículo anterior.

2.2.4.3. Cuando **una estructura posea elementos estructurales sometidos a diferentes ambientes**, el Proyectista o Diseñador Estructural deberá agrupar los elementos estructurales que presenten condiciones similares de exposición y adoptar las medidas de protección que correspondan a cada grupo de elementos estructurales.

2.2.4.4. En el caso que una estructura o grupo de elementos estructurales esté expuesto a más de una de las exposiciones tipificadas en las Tablas 2.1 a 2.4, en los Documentos del Proyecto se indicarán todas esas exposiciones separadas por un signo “+”.

C. 2.2.5. Si las condiciones difieren de las indicadas en la Tabla 2.3 el caso deberá ser analizado por el proyectista.

### 2.2.5. Sustancias agresivas al hormigón contenidas en aguas y suelos en contacto con las estructuras

En las Tablas 2.3 y 2.4 se clasifica el *grado de ataque para el caso de aguas y suelos* que contengan diferentes sustancias químicas agresivas que se pueden encontrar en contacto con las estructuras de hormigón. Dichas Tablas se deben aplicar con los siguientes criterios:

a) El *grado de ataque debido a aguas agresivas* se debe determinar de acuerdo con la Tabla 2.3, con las siguientes aclaraciones:

- La Tabla 2.3 es válida para *ambientes de exposición* (en contacto con la estructura), con temperaturas moderadas (medias anuales iguales o menores que 25 °C) y aguas estacionarias o que se mueven lentamente (velocidad igual o menor que 0,8 m/s).
- Si el agua contiene una *única sustancia agresiva*, ella determina el grado de ataque.
- Si el agua contiene *dos (2) o más sustancias agresivas*, el grado de ataque será determinado para la concentración más severa de los agentes agresivos presentes. Si todas las concentraciones corresponden a un mismo grado de ataque, con valores que están dentro del cuarto superior del intervalo y en el caso del pH en el cuarto inferior del intervalo, se debe aumentar el grado de agresión al inmediato superior. Este incremento *no se debe aplicar al agua de mar*.
- La agresión química del agua de mar en contacto con la estructura se debe equiparar al grado de ataque moderado de la Tabla 2.3.

b) El *grado de ataque del suelo de contacto* se debe determinar de acuerdo con la Tabla 2.4, con las siguientes aclaraciones:

- La Tabla 2.4 es válida para estructuras en contacto con suelos saturados de agua en forma frecuente o permanente.
- En suelos de baja permeabilidad, con  $k$  menor de  $10^{-5}$  m/s, el grado de ataque se puede reducir al grado inmediato anterior.

c) El *grado de ataque* a tener en cuenta en el Proyecto Estructural, es el máximo nivel que resulte de los puntos precedentes a) y b).

2.2.6. Cuando el *medio ambiente sea agresivo* según el artículo 2.2.5, el hormigón debe cumplir con los requisitos de la Tabla 2.5 y con lo establecido en los artículos 2.2.7 a 2.2.17 y Capítulo 8 que correspondan.

**Tabla 2.5.** Requisitos de durabilidad para el hormigón de la estructura en función del tipo de exposición.

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.									
	A1	A2	M1	CL1 M2	CL2 <sup>3</sup> M3	C1 <sup>2</sup>	C2 <sup>2</sup>	Q1	Q2	Q3 <sup>3</sup> Q4 <sup>3</sup>
a) Razón a/c máxima <sup>1</sup>										
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) $f'_{cmín}$ (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
c) Penetración de agua o succión capilar según 2.2.15.										
	no	si	si	si	si	si	si	si	si	si
<sup>1</sup> Cuando se use cemento portland 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 (c) y la cantidad de la adición mineral activa (x) cuando se trate de puzolanas (IRAM 1668:1968. Rev.2015); de escorias (IRAM 1667:1990. Rev.2016); o humo de sílice (ASTM C1240). <sup>2</sup> Debe incorporarse intencionalmente aire, en la cantidad requerida en la Tabla 4.3. <sup>3</sup> Cuando corresponda se debe proteger a la estructura con un revestimiento de eficacia comprobada. Ver también 2.2.9.1.c3) ó 2.2.10.6.b), 2.2.11.										

### 2.2.7. Contenido máximo de sulfatos en los agregados componentes del hormigón

Los *contenidos máximos de sulfatos solubles en agua*, admitidos en los agregados componentes del hormigón deben cumplir con lo establecido en la Tablas 3.4 y 3.6.

### 2.2.8. Contenidos máximos de cloruros en el hormigón

Los *contenidos máximos de cloruros solubles en agua en el hormigón endurecido*, aportados por todos los materiales componentes, incluyendo los aditivos y eventualmente adiciones minerales, deben ser iguales o menores que los límites fijados en la Tabla 2.6. Asimismo, el hormigón debe cumplir los requisitos que se establecen en la Tabla 2.5.

El *contenido de cloruros en el hormigón endurecido* se debe determinar a una edad comprendida entre **28 y 45 días**, utilizando el método de la norma IRAM 1857. Para esta determinación, se utilizan probetas cilíndricas, preparadas y curadas de acuerdo con la IRAM 1524 o IRAM 1534, según corresponda. Estas probetas deben ser almacenadas en cámara húmeda, dentro de bolsas plásticas herméticamente cerradas hasta la edad de ensayo.

En estudios preliminares se puede estimar el contenido total de cloruros que tendrá el hormigón endurecido, como sumatoria del aporte de sus materiales componentes. Si el valor estimado es menor que los límites indicados en la Tabla 2.6, el contenido de cloruros del hormigón endurecido será admisible.

**C.2.2.8.** La estimación preliminar no sustituye la determinación según norma IRAM 1857 y será diferente al contenido de cloruros obtenido con la mencionada norma IRAM 1857, ya que dicha estimación no tiene en cuenta los cloruros que se fijan en el proceso de hidratación del cemento. Dicha diferencia depende del contenido y tipo de cemento utilizado, por lo que no se puede indicar una equivalencia generalizada.

**Tabla 2.6.** Contenido máximo de ion cloruro (Cl<sup>-</sup>) en el hormigón endurecido.

Hormigón	Condición de exposición en servicio	Contenidos máximos de ion cloruro (Cl <sup>-</sup> ) en el hormigón endurecido (IRAM 1857)
		% en masa del cemento
Sin armar	Cualquier condición	1,20
Armado, con curado normal	Medio ambiente con cloruros	0,15
	Medio ambiente sin cloruros	0,30
Armado, con curado a vapor	Cualquier condición	0,10
Pretensado	Cualquier condición	0,06

**C.2.2.9.** Este Código Modelo exige que los materiales cementicios resistentes a los sulfatos deben tener una expansión máxima al ser ensayados de acuerdo con las especificaciones de la norma IRAM 1635:2009. Esta exigencia se basa en los antecedentes de las Norma ASTM C1012-2004, las exigencias del Código ACI 318-05 y las recomendaciones del documento ACI 201.2R-16 "Guide to Durable Concrete".

Este requisito surgió durante la discusión pública del CIRSOC 201-2005, como una necesidad de los consumidores y de algunos laboratorios representantes de los intereses generales de la sociedad, de poder verificar las características sulfato-resistente del cemento.

Sin perjuicio de la anterior, se hace notar que el ensayo propuesto en la norma IRAM 1635:2009 demanda un año para su ejecución, por lo que este Código Modelo recomienda que su aplicación sea planteada dentro del sistema de calidad de las plantas productoras de cemento. A su vez, los consumidores disponen de una herramienta para plantear condiciones de auditoría en sus contratos de provisión del suministro.

Asimismo, este Código Modelo exige el cumplimiento de la norma IRAM 1635:2009 a los cementos CPN que tengan menos de 5 % de adiciones minerales. En estos casos, el ensayo físico de expansión según la mencionada norma IRAM fue reemplazado por exigencias de contenidos máximos de aluminato tricálcico, aluminoferrito tetracálcico, y/o aluminoferrito tetracálcico + ferrito dicálcico, según corresponda, basadas en la composición potencial según Bogue. A este respecto se deben plantear algunas aclaraciones.

**2.2.9. Agresividad por sulfatos**

Cuando la agresividad del ambiente se origine por el *contenido de sulfatos* además de cumplir con lo establecido en los artículos 2.2.6, 2.2.7 y Capítulo 8, el hormigón debe ser elaborado con el *tipo de cemento* que se establece a continuación:

2.2.9.1. Grado de ataque moderado

**a.1 Cemento moderadamente resistente a los sulfatos** (IRAM 50001-Tabla 4)

En el caso de CPF y CPC, estos materiales además deberán tener una *expansión* menor o igual que **0,10 %** a los **6 meses**, ensayados según la norma IRAM 1635:2009.

**a.2 Cemento portland normal (CPN) más una adición mineral activa incorporada en obra.**

Estos materiales, ensayados según la norma IRAM 1635:2009, deben tener una *expansión* menor o igual que **0,10 %** a los **6 meses**.

**a.3 Cemento de uso general** (IRAM 50000-Tabla 1).

Estos cementos, ensayados según la norma IRAM 1635:2009, deben tener una *expansión* menor o igual que **0,10 %** a los **6 meses**, excepto cuando se utilice un cemento CPN (IRAM 50000:2014) cuyo contenido de aluminato tricálcico (C<sub>3</sub>A) sea igual o menor que el 8 %.

El C<sub>3</sub>A será calculado como:  $C_3A = 2,65 A - 1,69 F$  donde A es el porcentaje en masa de óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) del clínker y F es el porcentaje en masa de óxido de hierro (III) (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) del clínker determinado de acuerdo con la Norma IRAM 1591-1

2.2.9.2. Grado de ataque fuerte:

**b.1 Cemento altamente resistente a los sulfatos** (IRAM 50001-Tabla 3).

**b.2 Cemento portland normal (CPN) más una adición mineral activa incorporada en obra.**

Los materiales cementicios de la solución **b.2**, ensayados según la norma IRAM 1635:2009, deben tener una *expansión* menor o igual a **0,05 % a los 6 meses**; en caso de fallar este límite, la expansión deberá ser menor o igual a **0,10 % a 1 año**.

Este requisito *no será de aplicación* cuando se utilice como material cementicio una combinación de cemento CPN según alguna de las siguientes alternativas:

En un planteo riguroso, la presencia de adiciones minerales invalida la aplicación de las fórmulas de Bogue. No obstante, el error que se comete con su aplicación cuando se utiliza cemento CPN con menos de 5 % de adición no es significativo para la durabilidad de la estructura siempre que se cumplan todos los demás requisitos establecidos en este Código Modelo.

Las adiciones minerales activas que reducen el ataque de sulfatos y prolongan la vida útil de las estructuras en ambientes agresivos pueden hacerlo básicamente por dos mecanismos. En el caso de las puzolanas consumen el  $\text{Ca}(\text{HO})_2$  liberado durante la hidratación del cemento portland para generar C-S-H, producen el refinamiento del tamaño de poros, y mitigan la formación de ettringita y yeso en la pasta de cemento. Por esta razón se exige que cumpla la condición de puzolanicidad o ensayo de Frattini a 8 días para una proporción del 25% como establece la norma IRAM 50000. Para el caso de la escoria granulada de alto horno que contiene calcio en su estructura, la protección es debida fundamentalmente a la reducción de la porosidad de la estructura, y es necesario un porcentaje mayor de adición, o en caso contrario la limitación del contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en la escoria.

El filler calcáreo no es una adición activa y por esta razón se limita en este tipo de ambientes. Los cementos CPF (Filler calcáreo  $5 < F < 25\%$ ) o los CPC ( $6 < F+E$  o  $F+P < 35$ ) debido al potencial contenido de filler calcáreo utilizado no son aconsejables en ambientes químicos de media o baja agresividad. Su deterioro en el tiempo se debe a que un elevado contenido de filler ( $>10\%$ ) produce un aumento de la penetración de iones agresivos ya que la nula o baja proporción de adición activa no alcanza a consumir el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y refinar los poros.

Lo expresado anteriormente puede no ser válido en los ambientes M2, donde se requiera cemento MRS. En estos casos, la presencia de escoria puede no ser significativa para afectar la capacidad sulfato resistente, pero si reducir el ligamiento de los iones cloruro y consecuentemente aumentar la velocidad de corrosión de las armaduras. En estos casos se requiere especial atención del Director del Proyecto.

Además de lo indicado en este Código Modelo, se recomienda prestar atención a lo siguiente:

- CPN (IRAM 50000) con más de 50% de escoria granulada de alto horno (IRAM 1667) en masa, calculado el porcentaje como la masa total del material cementicio.
- CPN-MRS (IRAM 50001) con más 25% de puzolana o cenizas volantes silíceas (IRAM 1668) en masa. El cemento debe cumplir a los 8 días con el ensayo de puzolanicidad de la Norma IRAM 1651
- CPN-MRS (IRAM 50001) con más de 8% de humo de sílice (ASTM 1240) en masa, calculado el porcentaje como la masa total del material cementicio.

2.2.9.3. Grado de ataque muy fuerte:

**c.1 Cemento CPP o CAH altamente resistente a los sulfatos** (IRAM 50001-Tabla 3). El *contenido de cemento del hormigón* será igual o mayor que **380 kg/m<sup>3</sup>**.

**c.2 CPN altamente resistente a los sulfatos** (CPN-ARS-IRAM 50001-Tabla 3) utilizado conjuntamente con una adición mineral activa agregada en obra. La proporción de puzolana o ceniza volante silícica (IRAM 1668) debe ser mayor a 25% en masa de material cementicio, mientras que la proporción de escoria granulada de alto horno (IRAM 1667) debe ser mayor a 50% en masa de material cementicio. El contenido de material cementicio del hormigón será igual o mayor que **380 kg/m<sup>3</sup>**.

**c.3 Cemento portland altamente resistente a los sulfatos** (CPN ARS-IRAM 50001-Tabla 3) y una protección exterior capaz de resistir la agresión. El contenido de cemento del hormigón será igual o mayor que **350 kg/m<sup>3</sup>**.

Los materiales cementicios de las soluciones **c.2**, ensayados según la norma IRAM 1635:2009, deben tener una *expansión* menor o igual a **0,05 % a los 6 meses**; en caso de fallar este límite, la expansión deberá ser menor o igual a **0,10 % a 1 año**. Esta condición debe ser verificada al comienzo de la obra y cada vez que se modifique la composición del material cementicio y/o se cambie de proveedor. En controles de calidad posteriores será suficiente con verificar la constancia y el cumplimiento del límite a seis meses.

2.2.9.4. Ataque de sulfatos en presencia de cloruros (agua de mar y equivalentes) - grado de ataque moderado:

Cuando el hormigón esté sometido a la acción del agua de mar (ambiente marino), o a la acción de aguas con contenidos de sulfatos y cloruros equivalentes a las del agua de mar, pero provenientes de ambiente no marino, se deberán utilizar materiales cementicios que cumplan con las especificaciones del artículo 2.2.9.1.

- Cuando el medio en contacto con las estructuras tenga, simultáneamente, un elevado contenido de sulfatos y de cloruros, puede no ser conveniente utilizar cemento con muy bajo contenido de aluminato tricálcico. En estos casos se aconseja realizar estudios especiales.
- Cuando el medio en contacto con las estructuras tenga simultáneamente el contenido de sulfatos y de magnesio correspondiente a agresividad fuerte o muy fuerte, puede no ser conveniente utilizar cemento con elevado contenido de adiciones minerales activas. En este caso se aconseja realizar estudios especiales.
- Se aconseja proteger las superficies expuestas a ciclos de mojado con soluciones concentradas de sulfatos y posterior secado, en aire o en suelos muy permeables que faciliten la evaporación del agua, utilizando una membrana exterior.
- En climas fríos, con temperaturas inferiores a 5 °C y en contacto con sulfatos, no se recomienda el uso de cemento con filler calcáreo o agregados calcáreos.

#### 2.2.10. Agresividad por ácido de origen biogenético (ataque ácido bacteriológico)

2.2.10.1. Este apartado se refiere a casos donde la agresividad se origine por ataque de ácido sulfúrico en estructuras destinadas a la conducción y/o tratamiento de líquidos cloacales no ventiladas que trabajan a pelo libre.

2.2.10.2. El contenido de material cementicio del hormigón será igual o mayor que 380 kg/m<sup>3</sup>.

2.2.10.3. Se deberá cumplir con lo establecido en la Tabla 2.5 para clase de exposición Q4.

C.2.2.10.4. En caso de no aplicar modelos de predicción se deberán adoptar medidas complementarias según indicado en 2.2.10.6

2.2.10.4. A los efectos de cumplimentar lo establecido en el artículo 2.2.1 se deberá demostrar que con los **requisitos básicos** establecidos en la Tabla 2.5 y con los recubrimientos establecidos en el Capítulo 8 se satisface la vida útil del proyecto. A tal efecto se deberán utilizar modelos de predicción debidamente justificados.

2.2.10.5. Si los modelos de predicción demuestran que con los requerimientos básicos para el hormigón y con los recubrimientos establecidos en el Capítulo 8 no se alcanza la vida útil del proyecto, se deberán adoptar requisitos complementarios.

C.2.2.10.6.

2.2.10.6. Para este tipo de agresión al hormigón, se entiende por requisitos complementarios a las siguientes medidas:

a) Se puede aplicar el modelo de Pomeroy y Parkhurst para la predicción de generación de sulfuro de hidrógeno y de la velocidad de deterioro del hormigón por ataque de ácido sulfúrico de origen biogenético. (Pomeroy, R.D., Parkhurst, J.D. The forecasting of sulphide buildup rates in sewers.

a) Aplicación de un espesor de sacrificio. Se debe calcular mediante un modelo de predicción debidamente justificado. El espesor de sacrificio puede resultar superior o inferior al recubrimiento establecido en el Capítulo 8, siendo de aplicación el de mayor valor. En ningún caso el espesor del recubrimiento de armaduras una vez alcanzada de la vida útil del proyecto, deberá ser inferior a 10 mm.

Progress in Water Technology V9 (1977), aplicado por ACI 365.1R-17.

El modelo mencionado solo tiene en cuenta algunas variables que intervienen en el proceso de deterioro del hormigón tales como temperatura, contenido de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) del líquido cloacal, pH, velocidad de escurrimiento, entre otras. No considera otras circunstancias tales como la presencia de turbulencia o instalación de elementos para ventilación, parámetros que influyen en el desprendimiento de sulfuro de hidrógeno desde el líquido cloacal en forma significativa y, por lo tanto, en la generación de ácido sulfúrico.

b) Los recubrimientos se subdividen en:  
b.1) Películas protectoras sobre la base de los siguientes productos: resinas poliméricas a base de estireno-butadieno, caucho clorado, polietileno clorosulfonado (hypalon), vinilos, pinturas bituminosas, poliéster, resina epoxi, neopreno. Estos productos se pueden aplicar mediante pincel, rodillo o airless, siendo este último el más recomendado.  
b.2) Camisa o "liner" resistente al ataque ácido en el interior de conductos de hormigón. Los materiales más utilizados en la construcción de estas camisas o "liners" son: Policloruro de vinilo (PVC), polietileno de alta densidad (HDPE) o laminados de resina poliéster con fibras de vidrio (PRFV)

b) Aplicación de un recubrimiento exterior capaz de resistir la agresión por ataque ácido, de efectividad comprobada

c) Adecuar el diseño hidráulico y las características superficiales del conducto para evitar turbulencias que aumenten la liberación de gases.

d) Incorporar dispositivos electromecánicos u otros que fueren la eliminación de los gases.

2.2.10.7. Para el caso que la **vida útil del proyecto supere los 50 años**, será obligatorio la aplicación de **un recubrimiento exterior** según 2.2.10.6 b), en forma independiente a los resultados que surjan de la aplicación del modelo de predicción indicado en 2.2.10.4.

C.2.2.10.8. La estrategia de mantenimiento debe garantizar que, al finalizar su vida útil, la estructura posea la seguridad, la aptitud en servicio y las condiciones estéticas exigidas por este Código Modelo y por el Comitente. Dicha estrategia puede incluir observación, auscultación y trabajos de mantenimiento periódicos. Ellas deben estar claramente explicitadas en los Documentos del Proyecto. Asimismo, el proyecto debe establecer los accesos y las condiciones que posibiliten las tareas de mantenimiento

2.2.10.8. Dado que el recubrimiento exterior según 2.2.10.6 b) puede tener una vida útil inferior a la vida útil de diseño, el **Proyecto** debe incluir una **estrategia de mantenimiento**

### 2.2.11. Medidas especiales de protección en ambientes con agresividad química

2.2.11.1. En los casos de **fuerte agresividad**, cuando las medidas de protección que se adopten en el propio hormigón deban ser complementadas con **protecciones superficiales adicionales**, éstas pueden

tener *menor vida útil* que la establecida para la estructura. En estos casos, los Documentos del Proyecto deben establecer la planificación del mantenimiento de la protección superficial.

2.2.11.2. Cuando la *agresividad* sea por bajo pH o por amonio, con grado de ataque muy fuerte (Tabla 2.3) o por emanación de gas cloro, se debe aplicar una *protección superficial de probada eficacia*.

### 2.2.12. Hormigón expuesto a congelación y deshielo

El hormigón de las estructuras que estarán sometidas a las *exposiciones identificadas* como *C1* o *C2* de la Tabla 2.2, debe contener el volumen de aire intencionalmente incorporado en su masa especificado en el artículo 4.1.2.

### 2.2.13. Resistencia a la corrosión por carbonatación del hormigón del recubrimiento de la armadura

2.2.13.1. Para evitar la corrosión de las armaduras por carbonatación del hormigón, se deben aplicar los recubrimientos de armaduras indicados en el Capítulo 8 y los requisitos que correspondan de la Tabla 2.5. Los recubrimientos mencionados dependen de la vida útil de la estructura.

2.2.13.2. Se define como recubrimiento nominal ( $R_{nom}$ ) al valor a indicar en los planos. Es igual a:

$$R_{nom} = R_{ef} + \Delta r$$

donde:

$R_{ef}$  es el recubrimiento mínimo necesario para evitar la corrosión de las armaduras durante la vida útil de la estructura. Se calcula según 2.2.13.4 y debe asegurarse en cualquier punto de cada elemento estructural.

$\Delta r$ : es un recubrimiento adicional igual a:

- 0 mm para elementos prefabricados con control de ejecución
- 5 mm para elementos ejecutados in situ con control de ejecución
- 10 mm para el resto de los casos

2.2.13.3. Como alternativa a la aplicación de los recubrimientos del Capítulo 8 se puede calcular el recubrimiento necesario para evitar la corrosión de las armaduras ( $R_{ef}$ ), siguiendo las indicaciones de los artículos 2.2.13.4 a 2.2.13.7.

2.2.13.4. El  $R_{ef}$  se calculará mediante la expresión:

$$R_{ef} = \Phi \cdot K_{ac} \cdot t^{0.5}$$

siendo:

$R_{ef}$ : espesor de recubrimiento efectivo

$K_{ac}$ : coeficiente de carbonatación acelerada expresado en  $\text{mm/año}^{0.5}$  y determinado según Anexo A2-1.

t: vida útil de diseño, en años.

$\Phi$ : factor que considera las condiciones de exposición (ver Tabla 2.7)

**C.2.2.13.** Los requisitos aquí establecidos son necesarios para evitar la carbonatación del hormigón de recubrimiento y la consecuente corrosión de las armaduras de acero.

C.2.2.13.1. Las exigencias contenidas en este artículo constituyen la variante prescriptiva. Su metodología sigue la empleada por el CIRSOC 201-2005, el ACI 318 y el EU2.

También tiene en cuenta la experiencia de las obras construidas en la Provincia de Buenos Aires.

C.2.2.13.2. Este Código Modelo ha introducido la variable  $\Delta r$  que tiene en cuenta el sistema constructivo y la calidad de ejecución y control de la obra.

C.2.2.13.3. Este artículo y los siguientes constituyen una solución prestacional para evitar la carbonatación.

C.2.2.13.4. Para evaluaciones preliminares a nivel de anteproyecto y en ausencia del valor correspondiente al hormigón de la obra, se podrá adoptar  $K_{ac} = 5 \text{ mm/año}^{0.5}$  para vida útil menor o igual a 50 años y  $K_{ac} = 4 \text{ mm/año}^{0.5}$  para vida útil comprendida entre 50 y 100 años. Esta verificación preliminar no reemplaza a la indicada en 2.2.13.4.

El Anexo A2-1 detalla el procedimiento para la determinación experimental del coeficiente de carbonatación acelerada para el conjunto de materiales a emplear

en obra y la dosificación adoptada. Se lo determina para un tiempo de exposición de 7 días, a T 21 °C ± 2°C; HR 60% ± 3 %, y concentración de CO<sub>2</sub> del 4% ± 0,1 % en volumen.

En la Tabla 2.7 se indican los factores Φ que corrigen el coeficiente de carbonatación experimental (K<sub>ac</sub>) según las condiciones de exposición.

Cuando el coeficiente de K<sub>ac</sub> obtenido experimentalmente supere 5 mm/año<sup>0.5</sup> se deberá modificar la dosificación del hormigón, a fin de poder reducir el espesor de recubrimiento, o adoptar las medidas tecnológicas que permitan realizar el recubrimiento que resulte del cálculo sin efectos contraproducentes.

2.2.13.5. En caso que el R<sub>ef</sub> sea inferior al diámetro de la armadura principal deberá utilizarse un espesor de recubrimiento igual al diámetro de dicha barra principal.

C.2.2.13.6. En ocasiones el proyecto puede especificar que el curado acelerado va seguido de otra etapa de curado húmedo tradicional a temperatura ambiente.

2.2.13.6. La edad para realizar los ensayos de carbonatación acelerada, en probetas normalizadas, es de 28 días. Cuando la edad de diseño del hormigón sea mayor de 28 días, los ensayos se realizarán a dicha edad.

Cuando se aplique curado acelerado, el ensayo de carbonatación acelerada se realizará al finalizar el curado total especificado.

2.2.13.7. Cuando se prevea la pérdida del espesor de recubrimiento por ataque químico severo al hormigón durante la vida útil en servicio, el Proyectista deberá analizar la necesidad de medidas adicionales a las que resulten de aplicar los artículos 2.2.13.1 o 2.2.13.3. Ellas podrán consistir en aumentar los espesores del recubrimiento, aplicar protecciones superficiales u otras de eficacia debidamente probada.

C.2.2.13.8. Como ejemplos de estructuras sensibles o sometidas a condiciones especiales de carbonatación del hormigón pueden citarse playas de estacionamiento cerradas y túneles carreteros, por las emanaciones de gases de combustión.

2.2.13.8. La solución prestacional indicada en 2.2.13.3 y siguientes debe aplicarse cuando el Propietario o el Proyectista consideren que la estructura es sensible o estará sometida a condiciones especiales de carbonatación del hormigón.

**Tabla 2.7.** Factores de corrección del coeficiente de carbonatación.

Condición de exposición		Clase de hormigón		
		< H-25	H-25 y H-30	> H-30
Exterior	Protegido de la lluvia	1,50	1,00	0,80
	No protegido de la lluvia	0,75	0,50	0,40
Sumergido		0,45	0,40	0,30
Enterrado		0,50	0,45	0,35

**Nota:** Los factores de corrección fueron extrapolados a partir de datos obtenidos de la publicación “Carbon dioxide uptake during concrete life cycle - State of the art” B. Lagerblad. Swedish Cement and Concrete Research Institute. 2005.

**2.2.14. Resistencia a la corrosión de la armadura en ambiente con cloruros**

2.2.14.1. Los requisitos establecidos en la Tabla 2.5 y los recubrimientos de armadura indicados en el Capítulo 8 son de aplicación obligatoria, con prescindencia de las protecciones superficiales y las medidas prestacionales adicionales.

C.2.2.14.2. Se podrán utilizar los modelos mencionados en el *fib* Model Code for Service Life Design, en la recomendación del Comité 365 del ACI y otros equivalentes.

2.2.14.2. Para asegurar la vida en servicio requerida, el Proyectista o Diseñador Estructural debe verificar que las disposiciones mencionadas en el artículo en 2.2.14.1 permiten alcanzar la vida útil establecida por el comitente. En caso contrario debe proyectar protecciones adicionales y/o establecer estrategias de mantenimiento. Para todo ello debe utilizar modelos de predicción debidamente justificados.

Los resultados obtenidos con el modelo de predicción adoptado no podrán ser menores a los indicados en el Capítulo 8.3.

C.2.2.14.3. Esta indicación vale para todas las clases de hormigones armados y pretensados. Cuando la concentración de cloruros en el agua de contacto es igual o menor que 4000 mg/l, a tiempo infinito el agua de poros del hormigón tendrá una concentración menor que la necesarios para iniciar la corrosión por cloruros.

2.2.14.3. Cuando los elementos estructurales estén en contacto con agua freática de origen no marino, que tenga un contenido de ion cloruro igual o menor que 4000 mg/l, se considerará que la misma no es agresiva por acción de los cloruros y no resulta necesario aplicar los requisitos establecidos en la Tabla 2.5 para la condición CL1. Esta consideración es válida siempre que la razón a/mc sea igual o menor a 0,50 y el contenido de material cementicio supere los 300 kg/m<sup>3</sup> de hormigón.

2.2.14.4. En las estructuras con exposición CL2, las superficies expuestas a las emanaciones de ión Cl<sup>-</sup> deberán protegerse con un revestimiento resistente a dicho gas.

### 2.2.15. Penetración de agua

2.2.15.1. Los *hormigones* de las estructuras que estarán sometidas a las clases de exposiciones **A2, CL1, CL2, M1, M2, M3, C1, C2, Q1, Q2, Q3** y **Q4** (Tablas 2.1 y 2.2) deben tener *una velocidad de succión capilar* igual o menor que **4,0 g/m<sup>2</sup> s<sup>1/2</sup>**, medida de acuerdo con el ensayo de la norma IRAM 1871:2004 con probetas cilíndricas de 100 mm de diámetro.

Este requisito no será de aplicación para hormigones de clase mayor o igual a H-35.

2.2.15.2. Los *hormigones* de las estructuras destinadas a contener o conducir agua, y que requieran una elevada impermeabilidad, deberán tener una *penetración de agua máxima* igual o menor que **50 mm** y una *penetración de agua media* igual o menor que **30 mm** en el ensayo según la norma IRAM 1554:1983. Esta exigencia **no releva** del cumplimiento del artículo 2.2.15.1.

### 2.2.16. Reacción álcali – agregado (RAA)

2.2.16.1. Las estructuras de hormigón objeto de este Código Modelo deben ser construidas con un conjunto de materiales componentes (cemento, agregados, aditivos, adiciones minerales y agua) para los cuales esté comprobado que no se producen expansiones perjudiciales y/o deterioros como consecuencia de la reacción entre los álcalis y los agregados, en adelante *reacción álcali – agregado* (RAA).

Existen dos tipos de reacción álcali–agregado según la tipología del agregado que la produzca. Ellas se definen como reacción álcali–sílice (RAS) y reacción álcali–carbonato (RAC). La RAS se produce cuando interviene un agregado silíceo, constituido por ciertas variedades de cuarzo, calcedonia, tridimita, cristotobalita, ópalo, y vidrio volcánico. En la RAC interviene un agregado constituido por dolomita con un tamaño de

grano promedio menor que 50 µm y un contenido de residuo insoluble arcilloso mayor al 5 % determinado según IRAM 165007-2.

2.2.16.2. Se considera que se cumple la condición del artículo 2.2.16.1. cuando se dispone de evaluaciones de **obras en servicio** que no tengan evidencias de **expansiones y/u otros daños asociados** a la RAA y se verifiquen todas las condiciones que se detallan a continuación:

- estén construidas con un conjunto de materiales (agregados, cemento, adiciones minerales y aditivos) **similares** a los que se intenta utilizar en el Proyecto en estudio,
- sean de **igual tipología** estructural,
- las condiciones de exposición **sean similares** o más rigurosas que las de la estructura a construir y
- hayan estado en **servicio más de 15 años**,

Sus conclusiones son válidas con prescindencia de los resultados que se obtengan en los ensayos de laboratorio indicados en 2.2.16.4.

2.2.16.3. A los fines del artículo 2.2.16.2, la evaluación de las estructuras en servicio se debe realizar de acuerdo con la norma IRAM 1874-2:2004.

2.2.16.4. Cuando se utilicen **agregados finos y/o gruesos** de los cuales se carezca de antecedentes que aseguren el cumplimiento del artículo 2.2.16.1, o se tengan dudas sobre su **reactividad potencial con los álcalis**, dichos agregados deben ser evaluados con los siguientes métodos, en la forma que se describe en los artículos 2.2.16.5 a 2.2.16.7:

- Ensayo con el método acelerado de la barra de mortero según norma IRAM 1674.
- Ensayo acelerado del prisma de hormigón según norma IRAM 1700 (60°C)
- Ensayo tradicional del prisma de hormigón según norma IRAM 1700 (38°C)

Debido a que algunos ensayos que evalúan la reactividad alcalina de los agregados requieren tiempos de ensayo que superan los requeridos para el proyecto de las obras, este Código Modelo recomienda que su aplicación sea planteada dentro del sistema de calidad de las plantas productoras de agregados. A su vez, los consumidores disponen de una herramienta para plantear condiciones de auditoría en sus contratos de provisión del suministro

2.2.16.5. Cuando se tenga certeza sobre el yacimiento o la cantera de procedencia de un agregado y se disponga de información, con una antigüedad menor a 2 años, de ensayos de laboratorio (ver 2.2.16.4), de empresas, instituciones u organismos de reconocido prestigio en el estudio de la RAA, la misma podrá ser utilizada por el Director de Obra para calificar su reactividad alcalina potencial. Ello incluye la determinación del grado de reactividad a que se refiere la Tabla A2-2.1 del Anexo A2-2.

2.2.16.6. Se debe considerar que el agregado grueso o fino es potencialmente reactivo cuando en el ensayo con el método acelerado de la barra de mortero, según norma IRAM 1674:1997, la expansión a los 16 días sea igual o mayor que 0,10 % (Anexo A2-2, Tabla A2-2.1).

Los agregados fino y grueso deben ser ensayados por separado. Cuando, por razones granulométricas, el agregado grueso o fino esté constituido por una mezcla de dos o más fracciones, de distintas características petrográficas, cada una de ellas deberá evaluarse por separado.

C.2.2.16.7. Los agregados grueso o fino que contengan minerales de elevada

2.2.16.7. El agregado grueso podrá ser evaluado con el **método acelerado de la barra de mortero**, siempre que no se trate de:

reactividad (principalmente ópalo), pueden dar lugar a un efecto pessimum. Cuando en Obra puedan variar las proporciones de dichos minerales en el conjunto de agregados, ellas deben ser ensayadas con el método acelerado de la barra de mortero. Si alguna de las combinaciones evaluadas posee una expansión mayor que 0,10 % a 16 días, el grado de reactividad del agregado grueso o fino debe ser verificado según se indica en 2.2.16.13.

- cantos rodados silíceos procedentes del Río Uruguay o de yacimientos aportados por dicho río,
- piedra partida constituidas por granitos, granodioritas, gneises y/o areniscas, con cuarzo tensionado y/o microcristalino (Anexo A2-2, Tabla A2-2.10). Para verificar esta condición, el agregado debe ser previamente identificado con el examen petrográfico de la norma IRAM 1649.

2.2.16.8. Cuando el agregado fino provenga de la trituración de rocas constituidas por dolomías, calizas dolomíticas, rocas que contengan cuarzo fuertemente tensionado, microfracturado y/o microcristalino, o canto rodado silíceo o material proveniente de yacimientos aportados por el río Uruguay, su reactividad alcalina deberá ser evaluada como agregado grueso mediante el método de la IRAM 1700, conforme lo indicado en 2.2.16.9. Esta restricción no se aplica al agregado fino de origen natural.

C.2.2.16.9. Por ejemplo, en una arena silícea, se debe aplicar el límite de 0,04% y si se combina con un agregado granítico, dicho conjunto debe cumplir el límite de 0,04%. Para evitar una inadecuada calificación de algunos de los dos agregados o de ambos, se sugiere evaluar cada agregado por separado o esperar los resultados a 1 año con el método tradicional a 38°C de dicha combinación.

2.2.16.9. Cuando el agregado resulte potencialmente reactivo según 2.2.16.6, su reactividad alcalina podrá ser verificada con el método IRAM 1700, en cualquiera de sus dos versiones (38 °C o 60 °C). Se debe considerar que los agregados finos, grueso o su combinación son potencialmente reactivos, cuando (Anexo A2-2, Tabla A2-2.1):

- En el ensayo IRAM 1700 acelerado (curado a 60 °C) la expansión del hormigón a la edad de 13 semanas resulta igual o mayor que 0,04 % para los agregados que contienen ópalo, calcedonia, vidrio volcánico, tridimita y cristobalita y 0,08 % para los agregados que contienen cuarzo tensionado y/o microcristalino. Los agregados deben ser evaluados previamente con el examen petrográfico según Norma IRAM 1649 para establecer el límite de conformidad a aplicar. Los resultados obtenidos con este método de ensayo tienen prelación sobre los obtenidos con el método acelerado de la barra de mortero según la IRAM 1674.
- La combinación de agregados evaluada con el método acelerado del prisma de hormigón (curado a 60 °C) esté constituida por agregados de distinta composición petrográfica, y a los mismos se le deben aplicar distintos límites para ser caracterizados (0,04% o 0,08% según corresponda), *se debe considerar el más restrictivo*.
- En el ensayo IRAM 1700 tradicional (curado a 38 °C) la expansión del hormigón, a la edad de 52 semanas, resulta igual o mayor a 0,04%. Los resultados obtenidos con este método de ensayo tienen prelación sobre los obtenidos con cualquier otro método de ensayo.

2.2.16.10. Los agregados finos, grueso o su combinación, que resulten **potencialmente reactivos frente a la RAS**, pueden ser utilizados sólo si se emplea alguna medida preventiva, prescriptiva o prestacional, que inhiba los efectos deletéreos de la reacción. Dichas medidas se indican en 2.2.16.12 y 2.2.16.15.

C.2.2.16.11. Hasta el momento no se conocen métodos que resulten efectivos para el control de los efectos deletéreos generados por esta reacción

2.2.16.11. Los agregados finos, grueso o su combinación, que sean **potencialmente reactivos frente a la RAC**, deben ser reemplazados por otros de características inocuas.

2.2.16.12. Medidas prestacionales para inhibir la RAS

Se podrá utilizar alguna de las medidas prestacionales que se indican en los apartados a), b) o c).

- a) Utilizar un cemento para uso general, que cumpla con la IRAM 50000 o IRAM 50002. Esta medida debe verificarse según 2.2.16.13 o 2.2.16.14.
- b) Utilizar un material cementicio obtenido por mezcla, en planta de hormigón, de un cemento de uso general, que cumpla con la IRAM 50000 o 50002, más una AMA que cumpla con la norma IRAM que le corresponda. Esta medida debe verificarse según 2.2.16.13 o 2.2.16.14.
- c) Utilizar un inhibidor químico a base de litio incorporado al hormigón en proporciones suficientes para evitar que se produzcan expansiones y otros daños por RAS. Esta medida debe verificarse según 2.2.16.13.

#### **2.2.16.13. Verificación de las medidas prestacionales con el método IRAM 1700 (38°C)**

C.2.2.16.13 b). El incremento de  $\text{Na}_2\text{O}$  indicado sigue los criterios de la Guía ASTM C1778.

- a) La efectividad de las medidas de prevención indicadas en 2.2.16.12, se debe verificar mediante el método tradicional del prisma de hormigón IRAM 1700 (temperatura de almacenamiento: 38 °C), con las modificaciones indicadas de b) hasta e).
- b) El ensayo se realizará con el agregado fino, grueso o su combinación, el cemento propuesto para la obra y, cuando corresponda, las adiciones minerales en la proporción de obra. El contenido de material cementicio (cemento + AMA) del hormigón debe ser igual a 420 kg/m<sup>3</sup> y la razón agua/material cementicio debe estar comprendida entre 0,42 y 0,45. El contenido total de álcalis del cemento debe ser incrementado a 1,25% de  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ , mediante la incorporación de hidróxido de sodio (NaOH) al agua de mezclado, en la cantidad necesaria. Si el contenido de álcalis del cemento es mayor que 1,00 %  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ , se lo debe incrementar en 0,25 % de  $\text{Na}_2\text{O}$ .
- c) Cuando se emplee cemento tipo CPN o CPF, se debe considerar el contenido total de álcalis del cemento, determinado según la ASTM C 114. En caso de cementos con ceniza volante, puzolana o escoria de alto horno, utilizadas como constituyente principal (CPC, CPE, CPP, CAH), el contenido de álcalis a considerar será el que corresponda a la fracción "clínker + filler + yeso", información que deberá ser brindada por el fabricante de cemento. No se deberá considerar el contenido de álcalis de las adiciones minerales activas.
- d) Cuando se emplee como método preventivo de la RAS un aditivo químico líquido a base de litio, el contenido de agua del aditivo se debe tener en cuenta para la determinación de la razón agua/material cementicio indicada en b).
- e) Se considera que las medidas de prevención prestacionales 2.2.16.12 son efectivas para inhibir los efectos deletéreos de la RAS cuando la expansión del hormigón, a la edad de 104 semanas (dos años), es igual o menor que 0,040%.

#### **2.2.16.14. Verificación de las medidas prestacionales con el método acelerado de la barra de mortero IRAM 1674.**

Como alternativa a lo dispuesto en 2.2.16.13, la efectividad inhibidora de las soluciones indicadas en 2.2.16.12 a) y b), pueden evaluarse mediante la aplicación de la metodología de ensayo de la norma IRAM 1674, con las indicaciones siguientes:

- a) La mezcla de mortero se realiza con los agregados fino o grueso bajo estudio de manera individual, según lo indicado en 2.2.16.6, el cemento propuesto para la obra y la AMA en la proporción de obra, cuando corresponda. Se debe incorporar un aditivo fluidificante de alto rango cuando sea necesario adecuar el grado de trabajabilidad del mortero a fin de permitir una apropiada compactación.

Se considera que las medidas de prevención 2.2.16.12 a) y b) son efectivas para inhibir los efectos deletéreos de la RAS cuando la expansión del mortero, a los 16 días de edad, es igual o menor que 0,10%.

b) La evaluación de la efectividad inhibidora de las soluciones indicadas en 2.2.16.12 a) y b), según 2.2.16.14, no es válida en aquellos casos en los que el contenido total de álcalis de la escoria granulada de alto horno o de la ceniza volante sean mayores que 1% y 4,5%, respectivamente. En estos casos, la evaluación de la efectividad inhibidora debe realizarse según lo indicado en 2.2.16.13

c) Para evaluar la efectividad inhibidora, cada agregado a emplear debe responder de manera adecuada a este ensayo, para lo cual debe cumplir con lo indicado en el Anexo A2-2 punto 6.5 y figura A2-2.1.

#### 2.2.16.15. Medidas prescriptivas

Aplicar alguna de las siguientes medidas preventivas según sea el nivel de reactividad del agregado, el tipo y condiciones de exposición de la estructura y el nivel de daño tolerable.

a) Utilizar un cemento RRAA (resistente a la reacción álcali-agregado), que cumpla con la IRAM 50001.

b) Limitar el contenido de álcalis en el hormigón de acuerdo a lo establecido en las Tablas A2-2.6 y A2-2.8 del Anexo A2-2.

c) Utilizar escoria granulada de alto horno, ceniza volante o humo de sílice que cumpla con la norma IRAM o ASTM, según corresponda. Dicha AMA puede formar parte de la mezcla de hormigón de obra y/o ser adición principal del cemento. Las cantidades totales de AMA aportadas en la mezcla deben cumplir con lo establecidos en la Tabla A2-2.7 Anexo A2-2.

d) Para las condiciones más exigentes de prevención utilizar, en forma combinada, un hormigón de bajo contenido de álcalis y una AMA incorporada de acuerdo al párrafo anterior, con las condiciones de las Tablas A2-2.8 y A2-2.9.

#### 2.2.17. Requerimientos prestacionales. Disposiciones complementarias.

2.2.17.1. El Proyectista podrá incorporar en los Documentos del Proyecto métodos para verificar las prestaciones requeridas al hormigón en la estructura o en los elementos estructurales construidos. Dichas verificaciones deberán estar referidas a métodos establecidos en normas IRAM, disposiciones CIRSOC o métodos de ensayo debidamente acreditados e incorporados a los Documentos del Proyecto.

2.2.17.2. Cuando los requerimientos prestacionales no estén contemplados en los Documentos del Proyecto, el Director de Obra, con la conformidad del Proyectista o Diseñador Estructural podrá acordar con el Contratista la realización de verificaciones prestacionales en las condiciones establecidas en el artículo 2.2.13.1.

### 2.3. RESISTENCIA DE LOS HORMIGONES

#### 2.3.1. Resistencia especificada

C. 2.3.1.1. La resistencia especificada también se conoce como resistencia característica de rotura a la compresión. En este Código Modelo corresponde al cuantil del 10 % en la distribución de resistencia a compresión del hormigón colocado en una obra (valor estadístico

2.3.1.1. La *resistencia especificada o resistencia característica de rotura a compresión  $f'_c$*  es el valor de la resistencia a compresión que se adopta en el proyecto y se utiliza como base para los cálculos.

de la resistencia, que corresponde a la probabilidad de que el 90 % de todos los resultados de ensayos de la población superen dicho valor).

La resistencia característica de rotura a compresión es una medida estadística de la resistencia potencial del hormigón colocado en la estructura, que puede ser alcanzada a la edad de diseño bajo condiciones de curado normalizadas.

**C.2.3.2.** Para vida útil mayor a 100 años, a excepción de hormigón masivo interior, se recomienda el empleo de H25 o clase superior.

**C.2.3.3.1.** Algunos tipos de cemento poseen un crecimiento de resistencia importante después de los 28 días. Este Código Modelo permite que el proyectista aproveche esta ganancia de resistencia cuando la tipología del elemento estructural facilita el curado del hormigón y aquella se produce antes de la puesta en carga del elemento. Tal es el caso, por ejemplo, de estructuras que estarán sumergidas y el de las estructuras masivas en general.

2.3.1.2. La resistencia especificada se debe indicar en los planos y Documentos del Proyecto.

**2.3.2. Clases de hormigón**

Para el proyecto y construcción de las estructuras se deben utilizar una, o más clases de hormigones de los indicados en la Tabla 2.8. También se deben respetar las restricciones establecidas en el Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes INPRES-CIRSOC 103 Parte II-2005 para las distintas zonas sísmicas.

**2.3.3. Edad de diseño**

2.3.3.1. Los Documentos del Proyecto deben establecer la edad de diseño a la cual se debe verificar la resistencia especificada. Dicha edad de diseño tendrá en consideración el tipo de estructura, el momento de su puesta en servicio y el cemento a utilizar en la construcción.

Cuando los Documentos del Proyecto no establezcan una edad de diseño diferente, ella se debe adoptar igual a 28 días.

2.3.3.2. Cuando el hormigón se elabore con aditivos y/o adiciones minerales activas que modifiquen el desarrollo de la resistencia del cemento utilizado, los Documentos del Proyecto también deben indicar la edad de diseño. Cuando ella no se especifique se la debe adoptar igual a 28 días.

2.3.3.3. En las estructuras masivas, cuando se utilicen cementos que tengan un desarrollo de resistencia importante posterior a 28 días, se podrá considerar una edad de diseño superior a 28 días. En este caso, la edad de diseño adoptada debe constar en los planos y en los documentos del Proyecto.

**Tabla 2.8.** Resistencias de los hormigones.

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	
H - 70	70	
H - 80	80	



## ANEXO A2-1

### DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CARBONATACIÓN ACELERADA

#### 1. INTRODUCCIÓN

Este Anexo tiene como objetivo describir el método para determinar el coeficiente de carbonatación mediante la exposición durante 7 días al ensayo acelerado de carbonatación.

El contenido de agua en los poros del hormigón afecta a la velocidad de transporte de líquidos y gases, por ello es necesario acondicionar las probetas para que posean un contenido de humedad constante que permita hacer comparable los resultados.

#### 2. REQUISITOS GENERALES

##### 2.1. Muestras

Las muestras para el ensayo deben poseer una altura de 50 mm de geometría regular, cilíndricas con las caras planas perpendiculares al eje. Las muestras cilíndricas deberán ser de un diámetro de  $75 \pm 2$  mm como mínimo y  $10 \pm 2$  mm como máximo.

Las muestras se obtendrán, mediante cortes paralelos entre si y en el sentido perpendicular al eje longitudinal de tres probetas, se debe asegurar que estén libres de carbonatación, contaminación o defectos. Se evaluarán 3 muestras por serie de hormigón.

##### 2.2. Cámara climática controlada o recipiente sellado

La cámara climática debe mantener una temperatura de  $20 \pm 2$  °C y el recipiente sellado debe estar situado en un ambiente a  $20 \pm 2$  °C.

La cámara climática o el recipiente sellado deben mantener una humedad relativa de  $60 \pm 3\%$ , la humedad relativa del recipiente sellado se consigue con una solución saturada de cloruro de sodio (NaCl).

##### 2.3. Calibre Vernier

Las lecturas de las profundidades se realizarán con un calibre Vernier informando al 0,1 mm.

##### 2.4. Solución de fenolftaleína

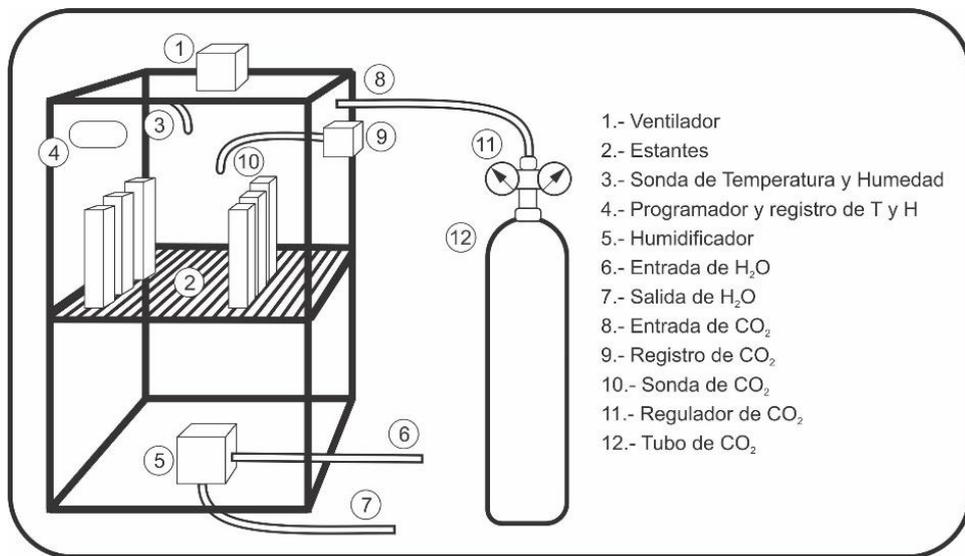
La solución de fenolftaleína se obtendrá con la siguiente proporción en peso de fenolftaleína 1y alcohol etílico de 100.

##### 2.5. Estufa de tiro forzado o natural con acceso de aire, que pueda regularse a $50 \pm 2$ °C.

##### 2.6. Cámara de carbonatación acelerada

La cámara de carbonatación acelerada con una temperatura de  $20 \pm 2$  °C, una humedad relativa de  $60 \pm 3\%$  y una concentración de CO<sub>2</sub> de  $4,0 \pm 0,1\%$  volumen. El contenido de CO<sub>2</sub> debe corresponder a una presión de 1013 mbar y una temperatura de 25 °C. Se pueden tolerar fluctuaciones cortas de menos de 4 horas.

Debe poseer una fuente para un suministro continuo de CO<sub>2</sub>, (por ejemplo, cilindro de gas) y contar con un dispositivo para registrar continuamente la temperatura y la humedad relativa en la cámara climática y en la cámara de carbonatación acelerada. En la cámara de carbonatación acelerada, el contenido de CO<sub>2</sub> debe controlarse y registrarse continuamente, el intervalo de medición no debe exceder de 10 min.



**Figura A2-1.1.** Esquema de una cámara de carbonatación acelerada

### 3. ACONDICIONAMIENTO DE MUESTRAS

El método de acondicionamiento consiste en alcanzar un equilibrio higrométrico entre la humedad interior de la muestra de hormigón y la humedad a  $60 \pm 3\%$  de la cámara climática o recipiente sellado.

#### 3.1. Secado de las muestras

Por cada serie de hormigón a evaluar se secarán 3 muestras, en estufa, a una temperatura de  $50 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , durante 4 días, luego del curado normalizado.

#### 3.2. Redistribución de la humedad

Luego de la etapa de secado, se retiran de la estufa las muestras de hormigón y se sellan envolviéndolas con una película de polietileno impermeable al vapor de agua que quede adherida a la superficie. Se realizan por lo menos dos vueltas completas de la película de polietileno.

Luego del sellado de las muestras se colocan nuevamente en la estufa a la temperatura de  $50 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante otros 3 días. El sellado y el mantenimiento a  $50 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  tienen como objetivo la redistribución de la humedad para su homogenización en el interior del hormigón.

Al finalizar los 3 días se retiran las probetas selladas de la estufa y se introducen en la cámara climática o recipiente sellado (Véase punto 2.2) a una temperatura de  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa de  $60 \pm 3\%$  durante 21 días.

### 4. CARBONATACION ACELERADA

**4.1.** Finalizado el acondicionamiento de las muestras, se retira la película de polietileno y se colocan en la cámara de carbonatación acelerada.

Las muestras se deben colocar en la cámara de carbonatación acelerada de modo que permitan que el aire circule libremente alrededor de las caras expuestas (espacio entre las diferentes muestras y entre cada muestra y las paredes del recinto  $> 10\text{ mm}$ ).

Se mantienen los parámetros de temperatura de  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa de  $60 \pm 3\%$  y una concentración de CO<sub>2</sub> gaseoso de  $4 \pm 0,1\%$  en volumen durante 7 días.

#### 4.2. Profundidad de carbonatación

Finalizado el tiempo de exposición se retiran las muestras y se fraccionan en forma perpendicular a la base mediante compresión diametral. Puede emplearse un aserrado en seco, pero deberá retirarse el polvo residual en las mitades obtenidas mediante sopleteo con aire presurizado antes de aplicar la solución de fenolftaleína.

Se procede luego en forma inmediata al atomizado con la solución de fenolftaleína según punto 2.4. Se deja secar 5 minutos y se procede a tomar la profundidad de carbonatación definida como la frontera entre la zona no coloreada (zona carbonatada) y la de tonalidad fucsia (zona no carbonatada). Se tomarán lecturas perpendiculares a los laterales y a la cara superior de las muestras, en cada una de las mitades, cada 5 mm.

La profundidad de carbonatación ( $X_{ac}$ ) en mm para una serie de hormigón estudiada surgirá del valor promedio de todas las lecturas según la expresión:

$$X_{ac} (mm) = \frac{n1 + n2 \dots \dots + nx}{n}$$

## 5. COEFICIENTE DE CARBONATACION ACELERADA ( $K_{ac}$ )

La profundidad de carbonatación acelerada obtenida a 7 días se correlaciona con un ajuste adecuado con la obtenida a 1 año en ambiente natural exterior protegido del agua de lluvia, por lo cual:

$$K_{ac} = abc X_{ac} t^{0.5}$$

$K_{ac}$  Coeficiente de carbonatación acelerada (mm/año<sup>0.5</sup>)

$X_{ac}$  Profundidad de carbonatación acelerada (mm)

**a:** Relación año/día  $\sqrt{\frac{365}{1}} = 19.1$

**b:** Factor transformación CO<sub>2</sub> atmosfera natural/ CO<sub>2</sub> acelerado=0.1

**c:** Coeficiente correlación carbonatación natural-acelerada= 1.3

## 6. NORMAS DE CONSULTA

IRAM 21305. Solución de fenolftaleína

EHE - 08. Instrucción del Hormigón Estructural. España. 2008

UNE 83966 Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Acondicionamiento de probetas de hormigón para los ensayos de permeabilidad a gases y capilaridad.

ASTM E 104-85. Standard Practice for Maintaining Constant Relative Humidity by Means of Aqueous Solutions. Modificada 1991.

NS 505 262/1-2013. Betonbau — Ergänzende Festlegungen Costruzioni di calcestruzzo — Indicazioni complementari Concrete Structures — Supplementary specifications. Remplace la norme SIA 262/1, édition 2003



## ANEXO A2-2

### DETERMINACIÓN DE LAS MEDIDAS PRESCRIPTIVAS PARA EVITAR DAÑOS POR RAS

#### 1. GENERALIDADES

A efectos de definir y aplicar las medidas prescriptivas se deberá determinar previamente el nivel de reactividad del agregado, el riesgo de que se produzca la RAS y el nivel de prevención que requiere la estructura.

#### 2. NIVEL DE REACTIVIDAD DEL AGREGADO

**2.1.** Se determinará teniendo en cuenta los resultados de los ensayos mencionados en 2.2.16.4 y lo establecido en la Tabla A2-2.1.

**2.2.** Cuando se utilice el método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674) para determinar el grado de reactividad de los agregados se deben ensayar individualmente y tomar el valor de expansión a 16 días que corresponda al del agregado que produzca la mayor expansión.

**2.3.** Para determinar el grado de reactividad de la combinación de agregados se debe tomar la expansión según IRAM 1700 (a 38 °C o 60 °C). Si el resultado de esta combinación no está disponible, se debe tomar la máxima expansión obtenida al ensayar cada uno de los agregados en forma individual.

**Tabla A2-2.1.** Determinación del nivel de reactividad del agregado en función de la expansión (E)

Clase de reactividad del agregado	Nivel de reactividad del agregado	Método de ensayo		
		Acelerado		Tradicional
		IRAM 1674 <sup>1</sup> Expansión del mortero a 16 días (%)	IRAM 1700, 60°C Expansión del hormigón a 13 semanas (%)	IRAM 1700, 38°C Expansión del hormigón a 52 semanas (%)
R0	No-reactivo	$E < 0,10$	$E < 0,04 / 0,08^2$	$E < 0,04$
R1	Moderado	$0,10 \leq E < 0,30$	$0,04 / 0,08^2 \leq E < 0,12$	$0,04 \leq E < 0,12$
R2	Altamente reactivo	$0,30 \leq E < 0,45$	$0,12 \leq E < 0,24$	$0,12 \leq E < 0,24$
R3	Extremadamente reactivo	$E \geq 0,45$	$E \geq 0,24$	$E \geq 0,24$

<sup>1</sup> Existen referencias bibliográficas que indican que ciertos agregados, a pesar de mostrar un comportamiento deletéreo en servicio o de expandir más de 0,04% en un año, al ser ensayado según la IRAM 1700, no pueden ser detectados mediante el ensayo de la IRAM 1674, debido a la reducida expansión obtenida con este método. Dentro de este grupo de agregados se encuentran algunos cantos rodados silíceos del río Uruguay y también agregados ígneos, metamórficos o sedimentarios (granitos, granodioritas, gneises, areniscas) que contienen cierta variedad de cuarzo reactivo (cuarzo fuertemente tensionado y/o microfracturado y/o cuarzo microcristalino). Por este motivo, estos tipos de agregados deben ser evaluados mediante el ensayo tradicional de la IRAM 1700 (temperatura de almacenamiento 38 °C) o el método acelerado del prisma de hormigón de la IRAM 1700 (temperatura de almacenamiento 60 °C).

<sup>2</sup> Para agregados cuya reactividad alcalina potencial puede ser atribuida exclusivamente a alguna variedad de cuarzo, se debe aplicar el límite de 0,08%. Para agregados que contengan calcedonia, tridimita, cristobalita, ópalo y/o vidrio volcánico o cualquier combinación de estos minerales con cuarzo, se debe aplicar el límite de 0,04%.

**2.4.** En caso de discrepancia entre los resultados obtenidos por los métodos de ensayo IRAM 1674 e IRAM 1700, este último tiene prelación sobre el primero.

**2.5.** Cuando se utilicen dos o más agregados de distinto nivel de reactividad, se adoptará el mayor de ellos.

**2.6.** Cuando no se disponga de resultados de ensayo y el agregado pertenezca a alguno de los tipos mencionados en la Tabla A2-2.2, se considerará que el agregado posee el nivel de reactividad que le corresponde en dicha Tabla A2-2.2.

**2.7** Si se carece de resultados de ensayos y el agregado no se encuadra en los tipos de la Tabla A2-2.2, se lo deberá considerar extremadamente reactivo (R3).

**Tabla A2-2.2.** Nivel de reactividad a asumir por defecto de ensayos

<b>Provincia</b>	<b>Zona / Región</b>	<b>Agregado</b>	<b>Reactividad debida a</b>	<b>Máximo grado de reactividad alcalina esperado</b>
Buenos Aires	Olavarría, Tandil, Azul, Mar del Plata, Pigué	Piedra partida y arenas de trituración (granitos, migmatitas, ortocuarcitas, cuarcitas)	Cuarzo tensionado y/o microcristalino	R2
	Olavarría	Piedra partida (dolomías)	-	R1
	Bahía Blanca, Médanos, etc	Arenas y rodados	Vidrio volcánico	R3
Entre Ríos, Corrientes, Misiones	Mesopotamia	Piedra partida (basalto)	Vidrio volcánico, cristobalita, tridimita	R2
	Río Uruguay	Canto rodado	Calcedonia, ópalo y cuarzo microcristalino	R3
Chaco	Chaco	Piedra partida (arenisca)	Ópalo y calcedonia	R3
Mendoza	Río Mendoza (Potrerillo, Cacheuta, Anchoris)	Canto rodado	Vidrio volcánico	R1
	Río Diamante (San Rafael)	Canto rodado	Vidrio volcánico	R2
Tucumán	Río Salí	Canto rodado	Vidrio volcánico, cuarzo tensionado	R2
Córdoba	Berotarán, Los Cóndores	Piedra partida (basalto)	-	R1
	Alta Gracia	Piedra partida (dolomías)	-	R1
San Luis	Justo Daract	Piedra partida (basalto)	-	R1
Patagonia	Patagonia	Arenas y rodados	Principalmente vidrio volcánico, algunas rocas incluyen tridimita, cristobalita y cuarzo tensionado	R2

### 3. DETERMINACIÓN DEL RIESGO DE RAS EN LA ESTRUCTURA

Se determinará teniendo en cuenta el tamaño y las condiciones de exposición de la estructura y el nivel de reactividad de la estructura resultante de la Tabla A2-2.1. El riesgo de RAS se indica en la Tabla A2-2.3

**Tabla A2-2.3.** Riesgo de RAS.

Tamaño y condiciones de exposición del elemento estructural	Reactividad del agregado			
	R0	R1	R2	R3
No masivo y seco <sup>1,2</sup>	1	1	2	3
Masivo y seco <sup>1,2</sup>	1	2	3	4
Hormigón expuesto al aire húmedo, enterrado o sumergido <sup>3</sup>	1	3	4	5

<sup>1</sup> Se considera elemento masivo cuando posee una dimensión mínima superior a 1,0 m.  
<sup>2</sup> Se considera ambiente seco cuando la humedad relativa ambiente promedio es menor a 60 %.  
<sup>3</sup> un elemento de hormigón, inmerso continuamente en agua de mar no presenta un riesgo de RAS mayor que el de un elemento similar expuesto al aire húmedo, enterrado en el suelo o sumergido en aguas no salobres.  
 No deberían emplearse agregados potencialmente reactivos en hormigones expuestos a acetatos, formatos o hidróxidos alcalinos a menos que se demuestre que existen métodos efectivos para el control de la RAS

### 4. DETERMINACIÓN DE LA CLASE DE ESTRUCTURA EN FUNCIÓN DE SU TIPOLOGÍA Y TOLERANCIA AL DAÑO POR RAS

Con la Tabla A2-2.4 se determinará la clase de estructura teniendo en cuenta: i) las consecuencias de la RAS sobre la seguridad, la economía o el ambiente y ii) la tolerancia al daño por RAS

**Tabla A2-2.4.** Clase de estructura.

Clase de estructura	Consecuencias de la RAS sobre la seguridad, economía o el ambiente	Grado de aceptación del deterioro provocado por la RAS	Ejemplos
S1	Despreciables	Algún deterioro puede ser tolerado	Elementos no estructurales de edificios Elementos no expuestos a humedad Estructuras temporarias (vida útil < 5 años)
S2	Moderadas (si el daño es importante)	Un riesgo moderado de RAS es aceptable	Veredas cordones y cunetas Estructuras con vida útil en servicio < 40 años
S3	Considerables (si los daños son pequeños)	Un riesgo mínimo de RAS es aceptable	Pavimentos Elementos de fundación, muros de contención Alcantarillas, barreras de seguridad (New Jersey) Caminos rurales, de bajo tránsito Elementos premoldeados cuyos costos de reemplazo son excesivos Estructuras con vida útil en servicio entre 40 y 75 años
S4	Graves (si los daños son pequeños)	La posibilidad de RAS no es tolerada	Puentes principales Plantas de generación eléctrica Presas Instalaciones nucleares Túneles Elementos críticos cuya inspección o reparación resulta muy difícil Estructuras con vida útil en servicio > 75 años

### 5. DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE PREVENCIÓN REQUERIDO

En función del nivel de riesgo de RAS (**Tabla A2-2.3**) y la Clase de estructura a construir (**Tabla A2-2.4**), se debe definir el nivel de prevención requerido utilizando la Tabla A2-2.5.

**Tabla A2-2.5.** Niveles de prevención requeridos.

Riesgo de RAS	Clasificación de la estructura			
	S1	S2	S3	S4
1	V	V	V	V
2	V	V	W	X
3	V	W	X	Y
4	W	X	Y	Z
5	X	Y	Z	ZZ

## 6. MEDIDAS PRESCRIPTIVAS A UTILIZAR PARA PREVENIR LA RAS

Para el nivel de prevención resultante del ítem 5 / Tabla A2-2.5, se debe adoptar alguna de las medidas preventivas indicadas en las Tablas A2-2.6 a A2-2.9.6.1. La Tabla A2-2.6 indica el contenido máximo de álcalis admisible en el hormigón cuando esta es la única medida preventiva a aplicar según 2.2.16.15.c.

**Tabla A2-2.6.** Contenido máximo de álcalis en el hormigón.

Nivel de prevención	Contenido máximo de álcalis en el hormigón (kg de $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}/\text{m}^3$ )
V	No se requiere ningún límite
W	3,0
X	2,4
Y	1,8
Z	Ver Tablas A2-2.7 y A2-2.8
ZZ	

**6.2.** La Tabla A2-2.7 indica el contenido mínimo de AMA en el hormigón cuando esta es la única medida preventiva a aplicar según 2.2.16.15.d y el contenido de álcalis equivalente del cemento está comprendido entre 0,7 y 1,0 Na<sub>2</sub>O<sub>eq</sub>. Los valores de la Tabla A2-2.7 deben ajustarse según la Tabla A2-2.9, teniendo en cuenta el contenido de álcalis del cemento.

**Tabla A2-2.7.** Contenido mínimo de AMA en el material cementicio.

Tipo de AMA	Contenido de álcalis de la AMA (% Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> )	Contenido mínimo de AMA en el ligante (% en masa) para diferentes niveles de prevención				
		W	X	Y	Z	ZZ
Ceniza volante (CaO ≤ 18 %)	< 3,0	15	20	25	35	Ver Tabla A2-2.8
	3,0 - 4,5	20	25	30	40	
Escoria granulada de alto horno	< 1,0	25	35	50	65	
Humos de sílice (Si <sub>2</sub> O ≥ 85 %) <sup>(1)</sup>	< 1,0	2,0 x AH	2,5 x AH	3,0 x AH	4,0 x AH	

<sup>(1)</sup>AH: Contenido de álcalis del hormigón (kg de Na<sub>2</sub>O<sub>eq</sub>/m<sup>3</sup>). El contenido de humo de sílice debe ser ≥ 7 %

**6.3.** La Tabla A2-2.8 da una alternativa de prevención para los niveles Z y ZZ, consistente en limitar el contenido de álcalis en el hormigón e incorporar una AMA.

**Tabla A2-2.8.** Alternativa de prevención de RAS para los niveles Z y ZZ.

Nivel de prevención	Acción preventiva requerida frente a la RAS		
	Uso de AMA como único método preventivo	Limitar el contenido de álcalis en el hormigón e incorporar una AMA en cantidad suficiente	
	Nivel mínimo de reemplazo	Contenido máximo de álcalis en el hormigón (kg de Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> /m <sup>3</sup> )	Nivel mínimo de reemplazo de la AMA
Z	Corresponde al nivel Z (Tabla A2-2.7)	1,8	Corresponde al nivel Y (Tabla A2-2.7)
ZZ	No está permitido	1,8	Corresponde al nivel Z (Tabla A2-2.7)

**6.4** En la aplicación de las Tablas A2-2.6 hasta A2-2.9, cuando el cemento a emplear sea de tipo CPN o CPF, se debe considerar el contenido total de álcalis del cemento, determinado según la ASTM C 114. A los efectos indicados en 6.1 y 6.3, cuando se utilice cementos con ceniza volante o escoria de alto horno, utilizadas como adición principal, el contenido de álcalis a considerar será el que corresponda a la fracción "clínker + filler + yeso", información que deberá ser brindada por el fabricante de cemento. No se deberá considerar el contenido de álcalis de las adiciones minerales activas. En estos casos, el Director de Obra deberá verificar, mensualmente, el cumplimiento de esta condición durante el transcurso de la obra. A ese efecto, el Contratista deberá presentar los correspondientes protocolos de fábrica. Si no se disponen los datos solicitados a fábrica, se debe hacer la determinación de álcalis sobre una muestra de cemento representativa a utilizar.

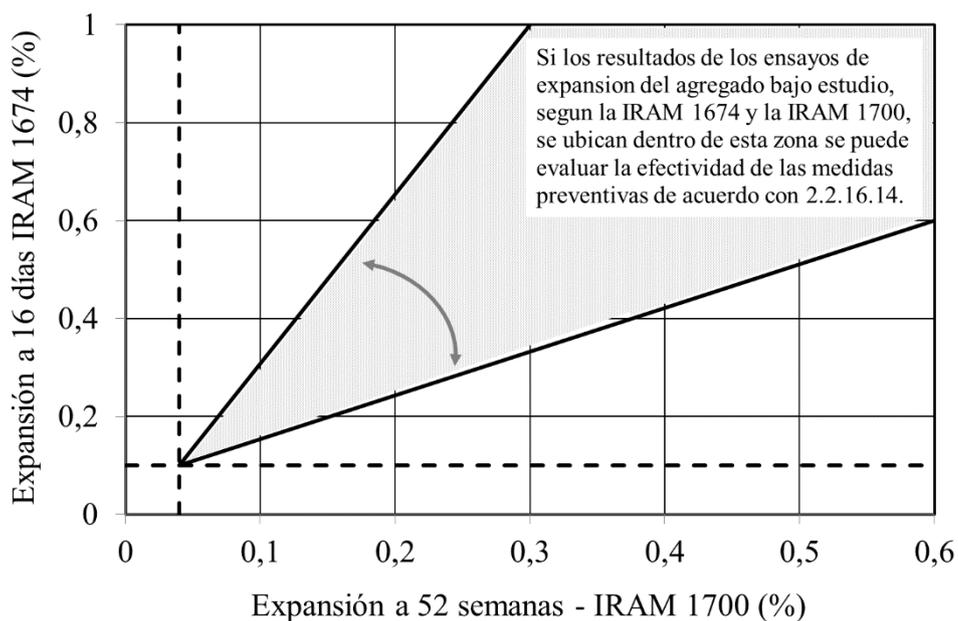
**Tabla A2-2.9.** Correcciones a los contenidos mínimos de AMA indicados en la Tabla A2-2.7

<b>Contenido de álcalis del cemento (% de <math>\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}</math>)</b>	<b>El contenido mínimo de AMA:</b>
< 0,70	Podrá corresponder al nivel de prevención inmediato inferior al recomendado en la Tabla A2-2.7
0,70 a 1,00	Corresponde al nivel de prevención recomendado en la Tabla A2-2.7
1,00 a 1,25	Corresponde al nivel de prevención inmediato superior al recomendado en la Tabla A2-2.7
> 1,25	No se dan recomendaciones

**Tabla A2-2.10.** Determinación petrográfica según IRAM 1649

<b>Reacción</b>	<b>Minerales potencialmente reactivos</b>
<b>Reacción álcali-sílice (RAS)</b>	Cuarzo fuertemente tensionado y/o microfracturado y/o cuarzo microcristalino con tamaño de grano promedio menor que 62 $\mu\text{m}$
	Calcedonia
	Tridimita
	Cristobalita
	Ópalo
	Vidrio volcánico
<b>Reacción álcali-carbonato (RAC)</b>	Dolomita (tamaño de grano promedio menor que 50 $\mu\text{m}$ )

**6.5.** Para poder evaluar una medida prestacional con el método acelerado de la barra de mortero, mencionada en 2.2.16.14, se debe verificar primero que el método es sensible para determinar la reactividad de ese agregado. Para caracterizar la respuesta de los agregados se debe evaluar cada uno por separado, utilizando el método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674) y el método del prisma de hormigón tradicional a 38 °C, 1 año de duración (IRAM 1700). En ambos casos se emplea un cemento CPN con un contenido de álcalis equivalente de  $0,9 \pm 0,1\%$ . Cuando se evalúa un agregado grueso con el método del prisma de hormigón, el agregado fino debe ser no reactivo y viceversa cuando se evalúa un agregado fino. El contenido de álcalis en el hormigón debe ser de  $5,25 \text{ Kg/m}^3$ . Si las expansiones registradas con ambos métodos caen dentro de la zona indicada en la Figura A2-2.1, se considera que el método acelerado de la barra de mortero es adecuado para evaluar la medida preventiva.



**Figura A2-2.1.** Zona en la cual deben estar comprendidos los agregados en estudio para poder evaluar la efectividad de las medidas preventivas.



### CAPÍTULO 3. MATERIALES

#### 3.0. SIMBOLOGÍA

$A_t$  alargamiento de rotura bajo carga, para cordones de 2, 3 y 7 alambres para estructuras de hormigón pretensado, en %.

$A_{10}$  alargamiento porcentual de rotura, medido sobre una longitud igual a 10 veces el diámetro de la barra o alambre de acero, en %.

$f_{pu}$  resistencia a la tracción especificada del acero de pretensado (corresponde a la resistencia a tracción, norma IRAM-IAS), en MPa.

$f_{py}$  tensión de fluencia especificada del acero de pretensado (corresponde al límite de fluencia al 1% de alargamiento total, norma IRAM-IAS), en MPa.

$f_y$  tensión de fluencia especificada de la armadura longitudinal no tesa (corresponde al límite de fluencia, norma IRAM-IAS), en MPa.

$f_{yt}$  tensión de fluencia especificada de la armadura transversal no tesa (corresponde al límite de fluencia, norma IRAM-IAS), en MPa.

$L_0$  longitud de referencia para medir el alargamiento de rotura de los alambres, en mm.

$Q_t$  carga de rotura en cordones de 2, 3 y 7 alambres para estructuras de hormigón pretensado, en kN.

$Q_1$  carga al 1 % de alargamiento total, en cordones de 2, 3 y 7 alambres para estructuras de hormigón pretensado, en kN.

$S_{m\acute{a}x}$  área de la sección nominal transversal del alambre de mayor diámetro de la unión de una malla soldada, en mm<sup>2</sup>.

#### 3.1. CEMENTOS

##### 3.1.1. Requisitos generales

3.1.1.1. Para la ejecución de estructuras de hormigón simple, armado o pretensado, se deben utilizar cementos de marca y procedencia aprobada por los organismos nacionales habilitados. El cemento debe cumplir con los requisitos especificados, para su tipo, en la norma IRAM 50000: 2017. Dichos cementos se detallan en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1.** Tipos de cemento. Requisitos generales

Tipo de Cemento	Nomenclatura	A usar en Hormigón
Cemento portland normal	CPN	Simple, Armado o Pretensado
Cemento portland con filler calcáreo	CPF	
Cemento portland puzolánico	CPP	
Cemento portland con escoria	CPE	
Cemento portland compuesto	CPC	
Cemento de alto horno	CAH	Simple o Armado

3.1.1.2. Los hormigones de **clase H-30 o superior**, se deben elaborar con cementos de categoría **40** o **50**.

También se podrán obtener hormigones de **clase H-30 o superior** con cementos de categoría **30**, siempre que se verifiquen las dos condiciones que se describen a continuación:

a) El hormigón debe ser producido en Plantas Elaboradoras que operen en las condiciones establecidas para el **Modo 1 de Control de Conformidad**, de acuerdo con el artículo 6.2.3.

b) Se hayan realizado **estudios previos para determinar las proporciones de la mezcla y verificado el cumplimiento de todos los requerimientos** establecidos en este Código y en los documentos del Proyecto que sean de aplicación. Asimismo, se debe verificar que la mezcla alcance el 70 % de  $f'_c$  luego de 8 días de curado en las condiciones establecidas en el artículo 6.1.6 de este Código Modelo.

### 3.1.2. Requisitos especiales

3.1.2.1. Cuando las condiciones particulares debidas a la tipología estructural, el método constructivo, las características de los agregados y/o las condiciones de exposición de la estructura requieran el uso de **cementos con propiedades especiales**, se deben emplear cementos que cumplan con lo establecido en el Capítulo 2 y en el artículo 3.1.2.2 de este Código Modelo.

3.1.2.2. Cuando se requieran cementos con propiedades especiales, los mismos deben cumplir la norma IRAM 50001: 2017. Dichos cementos se detallan en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2.** Tipos de cemento. Requisitos especiales

Tipo de Cemento	Nomenclatura
Cemento moderadamente resistente a los sulfatos	MRS
Cemento altamente resistente a los sulfatos	ARS
Cemento de bajo calor de hidratación	BCH
Cemento resistente a la reacción álcali-agregado	RRAA
Cemento de alta resistencia inicial	ARI
Cemento blanco	B

3.1.2.3. En una misma pieza o elemento estructural **no se permite el empleo de cementos de distintos tipos o marcas**.

### 3.1.3. Provisión y almacenamiento del cemento

3.1.3.1. El **cemento** se debe proteger de la humedad durante el transporte y el almacenamiento en obra.

El cemento entregado a granel se debe almacenar en silos adecuados, limpios, secos y bien ventilados, capaces de protegerlo contra la acción de la intemperie. Al inicio de la obra y a intervalos no mayores de 1 año se debe verificar que los silos no permitan el pasaje de agua.

El cemento envasado se debe conservar en su envase original hasta el momento de su empleo, y se debe acopiar bajo techo, separando las bolsas del suelo y de las paredes, como mínimo a una distancia de 15 cm. La altura del acopio será igual o menor que 10 bolsas.

Los cementos de distinto tipo, marca o partida, se deben almacenar en forma separada y por orden cronológico de llegada, y su empleo se debe realizar en el mismo orden.

3.1.3.2. Al ingresar a la hormigonera el cemento, no debe presentar grumos

y su temperatura debe ser menor de 70 °C.

3.1.3.3. Si el cemento estuvo almacenado en obra durante períodos mayores de 30 días en bolsas originales o de 180 días en bolsones de plástico doble, de capacidad igual o mayor a 1000 kg, o 1 año en silos metálicos con cierre hermético, o en el momento de ser usado muestra signos inequívocos de prehidratación, antes de su empleo deberá ser ensayado nuevamente para verificar si se cumplen los requisitos de calidad especificados en el artículo 3.1.1.

3.1.3.4. La procedencia (tipo y fábrica) del cemento que se utilice en la obra, debe ser la misma del cemento empleado para determinar las proporciones y características del hormigón según se establece en el Capítulo 4.

## 3.2. AGREGADOS

### 3.2.1. Campo de validez

**C.3.2.1.** Los requisitos para agregados naturales pueden aplicarse para los hormigones pesados.

En general, la densidad de los agregados se encuentra comprendida entre 2,50 y 3,00.

Estas especificaciones se refieren *con exclusividad a agregados* que posean una densidad relativa aparente, en estado saturado superficie seca, comprendida entre 2,00 y 3,30; procedentes de la desintegración natural o de la trituración de rocas. En el Capítulo 9 se tratan los agregados reciclados obtenidos de la trituración y clasificación de residuos de hormigón.

*No incluye* a los agregados artificiales obtenidos como subproductos industriales o por fabricación, ni a los empleados en la elaboración de hormigones livianos o pesados.

### 3.2.2. Requisitos generales

3.2.2.1. Los agregados para emplear en la ejecución de hormigones, no deben contener *sustancias que afecten la resistencia y/o durabilidad del hormigón* o que ataquen al acero.

3.2.2.2. Cuando los agregados contengan minerales capaces de reaccionar con los álcalis, será de aplicación lo establecido en el artículo 2.2.16.

C.3.2.2.3. Hasta el momento no se conocen antecedentes de obras en las que se hayan empleado agregados finos, provenientes de la trituración de rocas basálticas, y que hayan resultado afectadas debido a la presencia de arcillas expansivas.

3.2.2.3. Cuando los agregados provengan de canteras de *rocas basálticas* deben ser sometidos a evaluaciones para determinar su *potencial alterabilidad por presencia de arcillas expansivas*, según la norma IRAM 1519:1982.

a) Las rocas basálticas en la granulometría especificada en la norma IRAM 1519:1982, que después de **30 días** de inmersión en etilenglicol tengan una *pérdida menor del 10 %*, se consideran aptos para emplear en la preparación de morteros u hormigones.

b) Las rocas basálticas en la granulometría especificada en la norma IRAM 1519:1982, que después de **30 días** de inmersión tenga una *pérdida mayor del 10 %* y menor del **30 %**, podrán ser utilizadas siempre que, habiendo sido empleado en estructuras similares, expuestas durante más de **25 años** a condiciones de clima y humedad similares o más rigurosas a los de la obra a construir, haya dado prueba de comportamiento satisfactorio en la evaluación según norma IRAM 1874-3:2004.

c) Las rocas basálticas en la granulometría especificada en la norma IRAM 1519:1982, que después de 30 días de inmersión tenga una *pérdida mayor del 30 % no podrán ser utilizadas*.

3.2.2.4. Cuando los materiales disponibles *no cumplan* con las condiciones establecidas en este Código Modelo, el *Director de Obra*

**podrá autorizar su utilización** siempre que estudios completos de laboratorio, confirmados con el análisis del comportamiento de obras en servicio durante periodos de tiempo **similares a los de la vida en servicio prevista para la obra en ejecución**, demuestren que pueden obtenerse hormigones de calidad adecuada para satisfacer los requisitos en el estado fresco y de resistencia, estabilidad volumétrica y durabilidad del hormigón y de las armaduras.

### 3.2.3. Agregado fino

#### 3.2.3.1. Requisitos generales

- a) **El agregado fino** debe estar constituido por arenas naturales (partículas redondeadas) o por una mezcla de arenas naturales y arenas de trituración (partículas angulosas), estas últimas en porcentajes no mayores al **30 %**.
- b) Se permite el empleo de **arena de trituración** en porcentajes mayores al indicado en a), si se demuestra previamente que se pueden elaborar hormigones que reúnan las características y propiedades especificadas para la obra en ejecución.
- c) Cuando se utilice más del **30 %** de **arena de trituración** para la construcción de **elementos estructurales** que superen los **2 m** de altura o que estarán sometidos a abrasión, erosión o cavitación, la **exudación de agua del hormigón** debe cumplir con el artículo 4.1.4.
- d) El agregado fino a utilizar en la elaboración de hormigones de **resistencia H-20 o superior** debe tener un contenido igual o menor que el **30 %** en masa de partículas constituidas por conchillas o fragmentos de las mismas, determinadas en el análisis petrográfico según la norma IRAM 1649.

## 3.2.3.2. Granulometría del agregado fino

a) La granulometría del agregado fino se debe determinar clasificando sus partículas mediante los tamices de abertura cuadrada: 9,5 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 600  $\mu\text{m}$ ; 300  $\mu\text{m}$  y 150  $\mu\text{m}$ .

b) Al ingresar a la hormigonera, el agregado fino debe tener una granulometría continua, dentro de los límites que determinan las granulometrías A y B de la Tabla 3.3, con las excepciones indicadas en f); y el módulo de finura debe ser igual o mayor que 2,3 e igual o menor que 3,1. El agregado fino de la granulometría especificada se puede obtener mezclando dos o más arenas de distinta granulometría.

c) Los porcentajes de la granulometría A indicados para los tamices de 300  $\mu\text{m}$  y 150  $\mu\text{m}$  de abertura se pueden reducir a 5 % y 0 %, respectivamente, si el agregado fino está destinado a hormigones:

- Con un contenido unitario de cemento igual o mayor de 280  $\text{kg}/\text{m}^3$  y con un contenido de aire intencionalmente incorporado en su masa igual o mayor de 3,0 %.
- Con un contenido unitario de cemento igual o mayor de 300  $\text{kg}/\text{m}^3$  y sin aire incorporado en su masa.
- En los que se emplee una adición mineral adecuada para corregir la granulometría de la arena.

d) Si la granulometría excede hasta diez (10) unidades porcentuales a los límites de la curva B en el conjunto de tamices IRAM 1,18 mm, 600  $\mu\text{m}$ ; 300  $\mu\text{m}$ , se considera que el agregado cumple los requisitos granulométricos especificados.

Las diez (10) unidades porcentuales mencionadas pueden comprender a un (1) solo tamiz o formarse por suma de las unidades porcentuales que exceden los límites de más de uno de los tres (3) tamices indicados.

e) La fracción retenida entre dos tamices consecutivos cualesquiera de los indicados en la Tabla 3.3, debe ser igual o menor que el 45 %, referido a la muestra total.

C. 3.2.3.2. e): Este requisito tiene como propósito evitar el empleo de un agregado fino monogranular.

Cuando no se cumpla con este requisito se podrá emplear el agregado fino si se demuestra previamente que se pueden elaborar hormigones que reúnan las características y propiedades especificadas para la obra en ejecución.

f) En los hormigones de resistencia igual o menor que H-20 se pueden emplear arenas naturales cuyas granulometrías se encuentren entre los límites determinados por las curvas A y C, siempre que existan estudios de laboratorio que demuestren que el hormigón puede cumplir los requisitos del proyecto o bien, antecedentes de obras similares con comportamiento en servicio satisfactorio.

g) Si el módulo de finura del agregado fino varía más de 0,20 en más o en menos con respecto al del material empleado para determinar las proporciones del hormigón (dosificación), la partida de agregado fino debe ser rechazada, salvo que se realicen ajustes en las proporciones de la mezcla con el objeto de compensar el efecto de la mencionada variación de granulometría.

**Tabla 3.3.** Granulometrías del agregado fino.

<i>Tamices de mallas cuadradas IRAM 1501-2/ NM-ISO 565</i>	Porcentaje máximo que pasa, en masa		
	<i>Granulometría</i>		
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
9,5 mm	100	100	100
4,75 mm	95	100	100
2,36 mm	80	100	100
1,18 mm	50	85	100
600 µm	25	60	95
300 µm	10	30	50
150 µm	2	10	10

3.2.3.3. Sustancias nocivas

a) La presencia de sustancias que perjudican algunas de las propiedades del hormigón, expresadas en porcentaje de la masa de la muestra, no deben exceder los límites que se indican en la Tabla 3.4.

b) Con respecto a “otras sustancias perjudiciales”, rige lo expresado en el artículo 3.2.4.3d.

**Tabla 3.4.** Sustancias nocivas en el agregado fino

Sustancias nocivas	Unidad	Máximo Admisible	Método de Ensayo
Terrones de arcilla y partículas friables	g/100g	3,0	IRAM 1647
Finos que pasan el Tamiz IRAM 75 µm <sup>1)</sup>		3,0	IRAM 1540
Hormigón expuesto a desgaste superficial			
Otros hormigones		5,0	
Materias carbonosas		0,5	IRAM 1647
Cuando es importante el aspecto superficial			
Otros casos		1,0	
Sulfatos, expresados como SO <sub>3</sub>		0,1	IRAM 1647
Otras sales		1,5	IRAM 1647
Cloruros	----	Ver 2.2.8	IRAM 1882
Otras sustancias perjudiciales <sup>2)</sup>	g/100g	2,0	IRAM 1649

1) Cuando se trate de arena de trituración los % de finos que pasan el tamiz 75 µm se podrán incrementar en 2 puntos porcentuales.

2) El concepto “otras sustancias perjudiciales” incluye pizarras y micas, las que se deben determinar mediante el análisis petrográfico según la norma IRAM 1649.

#### 3.2.3.4. Materia orgánica

a) El índice colorimétrico en el ensayo según norma IRAM 1647, debe ser menor de 500 mg/kg (500 ppm).

b) Si el agregado fino no cumple la condición anterior debe ser rechazado, excepto si, al ser sometido a un ensayo comparativo de resistencia de morteros arroja una resistencia a compresión, a la edad de 7 días, no inferior al 95 % de la que desarrolle el mortero patrón, según lo indicado en la norma IRAM 1512.

C. 3.2.3.5. Se indican algunos ejemplos de estructuras en las que se debe cumplir el requisito establecido en 3.2.3.5: estructuras expuestas al medio ambiente exterior (tabiques de fundación sobre el suelo, muros de contención, estribos, pilares y vigas), estructuras expuestas a mojado frecuente (pavimentos, cordones, tableros de puentes, pisos de garajes, pisos exteriores y estructuras ribereñas) y el hormigón arquitectónico expuesto.

En el caso de elementos estructurales tales como fundaciones, columnas y vigas no expuestas al medio ambiente exterior, losas de pisos cubiertos y pisos interiores sin cubrir, no se debería exigir el requisito de 3.2.3.5 dado que no estarán expuestos a los factores que promueven la degradación por ciclos de congelación y deshielo.

#### 3.2.3.5. Estabilidad frente a una solución de sulfato de sodio

Cuando se trate de estructuras que estarán expuestas a ciclos de congelación y deshielo (C1, C2, Tabla 2.5), el agregado fino debe ser ensayado según IRAM 1525 y cumplir:

a) La pérdida en masa del agregado fino debe ser menor del 10 %

b) Si no se cumple lo requerido en a), el agregado podrá ser utilizado siempre que habiendo sido empleado en estructuras similares, expuestas durante más de 25 años a condiciones de clima y humedad similares o más rigurosas a los de la obra a construir, haya dado prueba de comportamiento satisfactorio en la evaluación según la norma IRAM 1874-1:2004.

c) Si no se cumple lo requerido en a) y no se dispone de la información para evaluar el comportamiento en servicio según se indica en b), se deberán realizar ensayos de congelación y deshielo, de acuerdo con la norma IRAM 1661, sobre hormigones de características similares a los que se emplearán en obra, elaborados con el agregado en estudio. El comportamiento del agregado fino será satisfactorio si el factor de durabilidad es igual o mayor que 80 %.

### 3.2.4. Agregado grueso

#### 3.2.4.1. Requisitos generales

a) El agregado grueso (retenido por el tamiz IRAM 4,75 mm - IRAM 1569) podrá ser de origen natural (canto rodado natural o partido, roca partida o mezcla de dichos materiales) o mixto (mezcla de agregado grueso natural y agregado grueso reciclado). Deben estar constituidos por partículas resistentes y durables, de forma y tamaño estables, y no deben contener sustancias nocivas en proporciones mayores que las permitidas en la Tabla 3.6.

b) El contenido en masa de partículas constituidas por conchillas o fragmentos de las mismas, determinadas en el análisis petrográfico según la norma IRAM 1649, debe ser igual o menor que 15 %, 5 % y 2 % en masa, para los agregados con tamaño nominal 13,2 mm, 26,5 mm y 37,5 mm respectivamente.

#### 3.2.4.2. Granulometría del agregado grueso

a) Al ingresar a la hormigonera, el agregado grueso tendrá una granulometría comprendida dentro de los límites que para cada tamaño nominal se indican en la Tabla 3.5.

b) Los límites aplicables al caso de hormigones masivos se indican en el Capítulo 9.

C 3.2.4.2. c) Este requisito tiene el propósito de facilitar el cumplimiento de la granulometría del conjunto a lo largo de la obra, poder corregirla mediante variaciones de las proporciones relativas con que entra cada uno de los

c) Cuando el tamaño máximo nominal del agregado grueso sea igual o mayor a 37,5 mm, éste debe estar constituido por una mezcla de dos (2) o más fracciones, que cumplan con todo lo indicado en este Código Modelo, incluyendo los límites granulométricos dados en la Tabla 3.5.

componentes y ayudar a evitar la segregación de partículas en el acopio. Para ello, las fracciones componentes deben tener graduaciones adecuadas al mencionado objetivo.

d) Como alternativa a lo indicado en c), cada una de las fracciones que componen el agregado grueso podrá adecuarse a límites granulométricos distintos de los establecidos en la Tabla 3.5, siempre que ellos estén avalados por el Director del Proyecto o por el Director de Obra. Pero en todos los casos, el agregado mezcla resultante debe cumplir con los límites de la Tabla 3.5.

- e) El tamaño máximo nominal del agregado grueso debe ser menor a:
- 1/3 del espesor en una losa ó 1/5 de la menor dimensión lineal en cualquier otro elemento estructural.
  - 3/4 de la mínima separación libre horizontal o vertical entre dos barras contiguas de armaduras, o entre grupos de barras paralelas en contacto directo que actúen como una unidad.
  - 3/4 del espesor de recubrimiento de las armaduras.

**Tabla 3.5.** Granulometrías del agregado grueso

Tamaño Nominal	Porcentajes en masa que pasan por los tamices IRAM de mallas cuadradas								
	63,0 mm	53,0 mm	37,5 mm	26,5 mm	19,0 mm	13,2 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm
53,0 a 4,75	100	95 a 100	---	35 a 70	---	15 a 30	---	0 a 5	---
37,5 a 4,75	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---
26,5 a 4,75	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5
19,0 a 4,75	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5
13,2 a 4,75	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5
53,0 a 26,5	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---
37,5 a 19,0	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	---	0 a 5	---	---

Las partículas de agregados densos y sanos pueden tener recubrimientos superficiales, constituidos por incrustaciones de limo y arcilla, y/o precipitaciones de carbonato de calcio, sílice, yeso y óxidos metálicos. Ellos pueden clasificarse en los siguientes grupos:

- i. Sustancias solubles, deletéreas o inocuas, que se disuelven durante el mezclado.
- ii. Sustancias insolubles, inocuas o tolerables, que se desprenden durante el mezclado. Pueden alterar la granulometría o incrementar la demanda de agua.
- iii. Sustancias químicamente inocuas pero cuya adherencia a la partícula de agregado es menor que a la pasta. Provocan una disminución de la resistencia del hormigón.
- iv. Sustancias inocuas y fuertemente adheridas al agregado. No afectan a las

### 3.2.4.3. Sustancias nocivas

a) La presencia de sustancias que perjudican a algunas de las propiedades del hormigón, expresadas en porcentaje de la masa de la muestra, no debe exceder los límites que se indican en la Tabla 3.6.

b) El límite máximo de finos que pasan el tamiz IRAM 75 µm, indicado en la Tabla 3.6, se puede reemplazar por alguno de los valores que se indican a continuación:

- si el contenido de finos en la arena es menor que el máximo admitido en la Tabla 3.4, el máximo admisible de la Tabla 3.6 se puede reemplazar por el valor resultante de la siguiente expresión:

$$L_{FAG} = 1 + [P_{FAF} (L_{FAF} - C_{FAF}) / (100 - P_{FAF})]$$

siendo:

$L_{FAG}$  límite máximo admisible de finos que pasan el tamiz IRAM 75 µm, que reemplaza al especificado para el agregado grueso en la Tabla 3.6.

$P_{FAF}$  porcentaje de agregado fino respecto del total de agregados.

$L_{FAF}$  límite máximo admisible de finos que pasan el tamiz IRAM 75 µm, especificado para el agregado fino en la Tabla 3.4.

$C_{FAF}$  contenido de finos que pasan el tamiz IRAM 75 µm determinado

propiedades del hormigón ni en estado fresco ni en estado endurecido.

Algunos recubrimientos del Grupo i) pueden ser reactivos con los productos de hidratación del cemento y disminuyen la durabilidad. Es el caso de sulfatos, fosfatos y sílice (RAS). Son de aplicación las especificaciones contenidas en este código para evaluar su agresividad.

Otros recubrimientos del Grupo i) pueden producir eflorescencias y manchas que afectan el aspecto superficial del hormigón. El Director del Proyecto, en acuerdo con el Comitente, debe determinar si estos efectos son admisibles.

Los recubrimientos blandos o friables, no reactivos con el cemento, pueden afectar la adherencia pasta-agregado (Grupo iii). Si son removidos durante el mezclado, pueden modificar la granulometría y/o aumentar el requerimiento del agua de mezclado y la inestabilidad volumétrica (Grupo ii). Si no producen ninguno de estos efectos deben considerarse inocuos, como es el caso del polvo removido durante el mezclado. Cuando produzcan efectos perjudiciales se puede evaluar su magnitud mediante ensayos comparativos de morteros u hormigones, según corresponda.

C. 3.2.4.4. Las estructuras expuestas al medio ambiente exterior (tabiques de fundación sobre el suelo, muros de contención, estribos, pilares y vigas), las estructuras expuestas a mojado frecuente (pavimentos, cordones, tableros de puentes, pisos de garages, pisos exteriores y estructuras ribereñas) y el hormigón arquitectónico expuesto deben cumplir con el requisito establecido en 3.2.4.4.

En el caso de elementos estructurales tales como fundaciones, columnas y vigas no expuestas al medio ambiente exterior, losas de pisos cubiertos y pisos interiores sin cubrir, no se deben exigir el requisito de 3.2.4.4 dado que no estarán expuestos a los factores que promueven la degradación por ciclos de congelación y deshielo.

mediante ensayos.

d) En los casos en que los agregados presenten películas adheridas (IRAM 1649), la identificación petrográfica debe incluir la determinación de la naturaleza de las mismas. En función de su naturaleza el Director del Proyecto o el Director de Obra deben realizar los estudios necesarios para establecer si las mismas son perjudiciales.

#### 3.2.4.4. Estabilidad frente a solución de sulfato de sodio

a) Cuando se trate de estructuras expuestas a ciclos de congelación y deshielo (C1, C2, Tabla 2.5) el agregado grueso deberá tener una pérdida de masa igual o menor que 12 % de acuerdo con la norma IRAM 1525.

b) Si no se cumple lo requerido en a) el agregado podrá ser utilizado siempre que, habiendo sido usado en estructuras similares, expuestas durante más de 25 años a condiciones de clima y humedad similares o más rigurosos a los de la obra a construir, haya dado prueba de comportamiento satisfactorio en la evaluación de acuerdo con la norma IRAM 1874-1:2004.

c) Si no se cumple lo requerido en a) y no se dispone de la información para evaluar el comportamiento en servicio según se indica en b), se deberán realizar ensayos de congelación y deshielo, de acuerdo con la norma IRAM 1661, sobre hormigones de características similares a los que se emplearán en obra, elaborados con el agregado en estudio. El comportamiento del agregado será satisfactorio si el factor de durabilidad es mayor o igual que 80 %.

**Tabla 3.6.** Sustancias nocivas contenidas en el agregado grueso.

Sustancias nocivas	Unidad	Máximo Admisible	Método de Ensayo
Finos que pasan el tamiz IRAM 75 $\mu\text{m}$ <sup>1)</sup> Grava y grava partida Piedra partida	g/100 g	1,0 1,5	IRAM 1540
Terrones de arcilla y partículas friables	g/100 g	2,0	IRAM 1647
Ftanita (chert) como impureza En exposiciones C1 y C2 En climas distintos a los correspondientes a las exposiciones C1 y C2	g/100 g	1,0 2,0	IRAM 1647
Materias carbonosas: Cuando es importante el aspecto superficial Otros casos	g/100g	0,5 1,0	IRAM 1647
Sulfatos, expresados como SO <sub>3</sub>	g/100 g	0,075	IRAM 1647
Otras sales	g/100 g	1,5	IRAM 1647
Cloruros	-----	Ver 2.2.8	IRAM 1882
Sustancias perjudiciales provenientes de agregados reciclados		Ver cap. 9	
1) Los límites especificados podrán modificarse según lo indicado en 3.2.4.3 b) 2) El concepto "otras sustancias perjudiciales" incluye pizarras y micas, las que se deben determinar mediante el análisis petrográfico según la norma IRAM 1649.			

#### 3.2.4.5. Resistencia a la fragmentación, Método "Los Angeles "

a) Al ser ensayado según la norma IRAM 1532, el agregado grueso tendrá una pérdida de masa igual o menor que el 50 %.

b) En el caso de hormigones expuestos a abrasión debida al transporte vehicular intenso, resbalamiento de materiales a granel y escurrimiento rápido de agua con elementos en suspensión, el agregado grueso, debe arrojar una pérdida igual o menor al 30 %, según la norma IRAM 1532.

#### 3.2.4.6. Partículas lajosas y elongadas

La cantidad de partículas lajosas y elongadas, determinadas según la norma IRAM 1687-1 e IRAM 1687-2, debe ser igual o menor que los valores que se indican en la Tabla 3.7.

**Tabla 3.7.** Valores límites de partículas lajosas y/o elongadas.

Partículas	Contenido máximo de partículas lajosas y/o elongadas (%)	
	Hormigones de uso general	Hormigones para pavimentos y de alta performance
Lajosas	25	25
Elongadas	45	40

Cuando los materiales disponibles no cumplan con los límites establecidos en esta tabla para partículas elongadas el Director de Obra podrá autorizar su utilización siempre que estudios completos de laboratorio y obra demuestren que pueden obtenerse hormigones de calidad adecuada para satisfacer los requisitos en estado fresco y de resistencia, estabilidad volumétrica y durabilidad del hormigón y de las armaduras. Esta medida no será de aplicación a hormigones para pavimentos y hormigones de altas prestaciones.

### 3.2.5. Acopio y manipuleo de agregados

3.2.5.1. Los agregados finos y gruesos se deben almacenar y emplear en forma tal que se evite la segregación de partículas, la contaminación con sustancias extrañas y el mezclado de agregados de distintas fracciones. Para asegurar el cumplimiento de estas condiciones, los ensayos para verificar las exigencias de limpieza y granulometría se deben realizar sobre muestras extraídas en el lugar de medición de los mismos, previo a su ingreso a la mezcladora.

3.2.5.2. Se debe evitar el manipuleo y transporte de los agregados mediante métodos, procedimientos y equipos que produzcan la rotura, desmenuzamiento o segregación de las partículas que los constituyen.

3.2.5.3. Para evitar su contaminación, los agregados se deben acopiar sobre un piso de apoyo constituido por una capa del mismo material de un espesor mínimo de 30 cm, la cual no se debe emplear para la elaboración de hormigón, o en su defecto por un hormigón pobre de un espesor no menor de 10 cm, ejecutado sobre suelo compactado.

## 3.3. AGUA PARA MORTEROS Y HORMIGONES

### 3.3.1. Requisitos

El agua empleada para lavar los agregados, mezclar y curar el hormigón debe cumplir los requisitos establecidos en la norma IRAM 1601:2012. El agua de la red de agua potable se considera apta.

En caso de utilizar agregados potencialmente reactivos, no se permitirá el empleo de agua recuperada de procesos de la industria de hormigón elaborado.

### 3.4. ADITIVOS PARA HORMIGONES

#### 3.4.1. Requisitos generales

3.4.1.1. Los *aditivos* a emplear en la elaboración de hormigones y morteros pueden estar en estado líquido o pulverulento, y deben cumplir con los requisitos establecidos en la norma IRAM 1663.

3.4.1.2. Los *aditivos* se deben ingresar a la hormigonera diluídos en el agua de mezclado.

3.4.1.3. Los *aditivos superfluidificantes* también pueden ser introducidos sin diluirse en el agua de mezclado. Su incorporación se puede realizar en la planta central o en la motohormigonera inmediatamente antes de su descarga en obra.

3.4.1.4. En las *mezclas para estructuras de hormigón armado y pretensado*, y en las de hormigón simple en que queden incluidas piezas o cañerías de acero o de acero galvanizado, no se debe usar cloruro de calcio ni aditivos que contengan cloruros, fluoruros o nitratos.

C. 3.4.1.5. Cuando se utilicen Hormigones de Retracción Compensada (HRC) se incorporarán aditivos expansores que generen expansión en el estado endurecido del hormigón. Se distinguen dos tipos (K y G) según la naturaleza del expansor (en base a ettringita o en base a CaO).

3.4.1.5 Existen *aditivos expansores* que se pueden agregar a la mezcla, así como *cementos expansores* que ya los incluyen.

El alcance y restricciones en el uso de Hormigones de Retracción Compensada (HRC) se describen en el Capítulo 9.6

Para la evaluación del compuesto cemento + aditivo se utilizará la norma ASTM C806 o procedimiento CIRSOC equivalente.

#### 3.4.2. Acopio, identificación y manipuleo

3.4.2.1. En el envase de los aditivos debe constar la marca, tipo de aditivo, la dosis que el fabricante recomienda para su utilización, la fecha de elaboración y la vida útil prevista.

3.4.2.2. Los aditivos deben ser conservados en sus envases originales herméticamente cerrados. El acopio se debe realizar al reparo del sol y de las bajas temperaturas, y preferentemente bajo techo, separando e identificando cada marca, tipo y fecha de recepción.

3.4.2.3. Para su utilización se debe verificar si no han cumplido su vida útil, y proceder a agitar el contenido del envase antes de la extracción del aditivo.

### 3.5. ADICIONES MINERALES PULVERULENTAS

#### 3.5.1. Requisitos generales

3.5.1.1. Las *adiciones minerales normalizadas* deben cumplir las especificaciones incluidas en la:

Norma IRAM 1593:1994 Material calcáreo para cemento portland con “filler” calcáreo,

Norma IRAM 1667:2016. Escoria granulada de alto horno. Requisitos y condiciones de recepción.

Norma IRAM 1668:2015. Puzolanas y cenizas volantes silíceas. Características y muestreo.

ASTM International. C1240-20 Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures. West Conshohocken, PA; ASTM International, 2020

ASTM International. C979/C979M-16 Standard Specification for Pigments for Integrally Colored Concrete. West Conshohocken, PA; ASTM International, 2016

3.5.1.2. Se pueden incorporar **otras adiciones** como polvo de piedra. En todos los casos se debe demostrar mediante ensayos de laboratorio que su empleo beneficia las características del hormigón. También se debe demostrar que esa adición no produce reacciones desfavorables, no altera la protección de las armaduras y no afecta la estabilidad volumétrica del hormigón.

3.5.1.3. Los contenidos máximos de cloruros en las adiciones minerales deben cumplir con el artículo 2.2.8

### 3.5.2. Provisión y almacenamiento de las adiciones minerales

Para el transporte y almacenamiento de las adiciones minerales pulverulentas rigen las mismas disposiciones que para el cemento. Ver el artículo 3.1.3.

## 3.6. ACEROS

Tanto en este Código como en sus Comentarios, las indicaciones relativas a los diámetros de las barras, los alambres o los cordones, y sus secciones transversales, se realizan en función de las dimensiones nominales de la armadura, de acuerdo con lo establecido en las normas IRAM-IAS correspondientes.

Los aceros empleados en las estructuras a construir en zonas sísmicas, definidas en el **Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes, INPRES-CIRSOC 103-2005 - Parte II**, deben cumplir con las condiciones establecidas en el mismo.

### 3.6.1. Barras y alambres de acero para armaduras

3.6.1.1. Se deben utilizar **exclusivamente barras de acero conformadas y alambres conformados**. Las barras y alambres de acero lisos sólo se pueden utilizar para la ejecución de espirales, estribos y zunchos.

3.6.1.2. Las **barras y alambres de acero** deben cumplir con los requisitos establecidos en las siguientes normas:

<b>IRAM - IAS U 500-26</b>	Alambres de acero para armadura en estructuras de hormigón.
<b>IRAM - IAS U 500-96</b>	Soldadura. Calificación de soldadores.
<b>IRAM - IAS U 500-97</b>	Barras de acero para armadura en estructuras de hormigón. Soldadura.
<b>IRAM - IAS U 500-127</b>	Soldadura por arco. Electrodo de acero de baja aleación, revestidos (AWS A 5.5)
<b>IRAM - IAS U 500-138</b>	Ente habilitante y entes de calificación y certificación de soldadores y operadores de soldadura.
<b>IRAM - IAS U 500-166</b>	Soldadura - Alambres y varillas de acero al carbono para procesos de soldadura por arco

- eléctrico con protección gaseosa (AWS A 5.18)

**IRAM - IAS U 500-207** Barras de acero conformadas de dureza natural soldables, para armadura en estructuras de hormigón.
- IRAM - IAS U 500-502** Barras de acero laminadas en caliente, lisas y de sección circular para armadura en estructuras de hormigón.
- IRAM - IAS U 500-528** Barras de acero conformadas de dureza natural, para arma-dura en estructuras de hormigón.
- IRAM - IAS U 500-601** Soldadura por arco - Electrodo de acero al carbono, revestidos (AWS A 5.1).

3.6.1.3. En las Tablas 3.8 y 3.9 se indican las principales características físicas y mecánicas de los aceros mencionados en el artículo 3.6.1.2. Para cada tipo de acero, el valor de la tensión de fluencia especificada, o de la tensión convencional de fluencia especificada, a utilizar como referencia para los diseños, es el valor correspondiente a la tensión de fluencia característica indicada en dichas tablas.

**Tabla 3.8.** Barras de acero para armaduras en estructuras de hormigón.

		<b>Barras de acero</b>		
Designación de las barras de acero		AL 220 AL 220 S	ADN 420	ADN 420 S
Normas a las que responde		IRAM-IAS U 500-502	IRAM-IAS U 500-528	IRAM-IAS U 500-207
Conformación superficial		Lisa (L)	Nervurada (N)	Nervurada (N)
Diámetro nominal (d) (*)	mm	6 - 8 - 10 - 12 16 - 20 - 25	6- 8- 10- 12- 16 20 - 25 - 32 - 40	6 - 8 - 10- 12-16 20 - 25 - 32 - 40
Tensión de fluencia característica (**)	MPa	220	420	420
Resistencia a la tracción, característica (**)	MPa	340	500	500
Alargamiento porcentual de rotura característico (A <sub>10</sub> )	%	18	12	12
Diámetro del mandril de doblado. Angulo de doblado 180°	mm	2 d	d ≤ 25    3,5 d d = 32    5,0 d d = 40    7,0 d	d ≤ 25    3,5 d d = 32    5,0 d d = 40    7,0 d

\*Las normas IRAM-IAS designan al diámetro nominal de la barra o alambre como d mientras que en este Reglamento se designan como d<sub>b</sub>

\*\*Según se define en el artículo 3.0. Simbología

**Tabla 3.9.** Alambres y mallas soldadas de acero para armaduras en estructuras de hormigón.

		<b>Alambres de acero</b>	<b>Mallas soldadas de acero</b>
Designación de los alambres y las mallas soldadas		ATR 500 N	AM 500 N
Normas a las que responde		IRAM-IAS U 500-26	IRAM-IAS U 500-06
Conformación superficial		Nervurados (N)	Alambres Nervurados (N)
Diámetro nominal (d) (*)	mm	4 a 4,5 para armadura de distribución 5 a 12 para armadura resistente	4 a 4,5 para armadura de distribución 5 a 12 para armadura resistente
Tensión de fluencia característica (**)	MPa	500	500
Resistencia a la tracción, característica	MPa	550	550
Alargamiento porcentual de rotura característico (A <sub>10</sub> )	%	6	6
Diámetro del mandril de doblado. Ángulo de doblado 180°	mm	4 d	4 d
La resistencia al corte de las uniones soldadas en las mallas, expresada en kN, debe ser igual o mayor de 0,15 S <sub>max</sub> S <sub>max</sub> = Área de la sección nominal transversal del alambre de mayor diámetro de la unión soldada, expresada en mm <sup>2</sup> . * Las normas IRAM-IAS designan al diámetro nominal de la barra o alambre como d mientras que en este Código se designan como d <sub>b</sub> ** Según se define en el artículo 3.0. Simbología.			

3.6.1.4. Se podrán utilizar aceros conformados de dureza natural con tensión de fluencia característica o tensión convencional de fluencia característica igual a **500 MPa**, que cumplan con la norma IRAM-IAS correspondiente, que se redactará al efecto.

C. 3.6.1.5. Se puede consultar el CIRSOC 201-2005, Capítulo 7

#### 3.6.1.5 Empalmes

Empalme mecánico. Las longitudes y demás detalles de los empalmes mecánicos escapan al alcance de este código, y deberán ser definidos en el correspondiente reglamento de estructuras de hormigón armado.

Empalme soldado. La soldadura de barras de acero se debe realizar respetando lo establecido a continuación.

a) Las barras a soldar en obra deben ser fácilmente soldables, con elementos de aporte que no requieran procedimientos especiales, y cumplir con los requisitos de carbono equivalente y composición química indicados en la norma IRAM-IAS U 500-502 y U 500-207.

b) Los materiales y métodos para realizar la soldadura de barras de acero deben cumplir lo establecido en la norma IRAM-IAS U 500-97.

c) Los soldadores deben ser calificados según norma IRAM-IAS U 500-96.

d) El tipo y ubicación de los empalmes y toda otra soldadura se debe indicar en los Documentos del Proyecto.

e) Lo establecido en a), b), c) y d) es de aplicación a los empalmes soldados, a las soldaduras de posicionamiento y a toda otra soldadura indicada en los Documentos del Proyecto. No están permitidas las soldaduras puntuales de posicionamiento y/o sujeción, que no se realicen con todos los requisitos exigidos en las normas IRAM-IAS U 500-96 y U 500-97.

#### 3.6.1.6. Soldadura de barras en ampliación, reparación o modificación de estructuras existentes

a) Cuando se deban soldar barras colocadas en estructuras existentes y se desconozca el tipo de acero de las mismas, se debe determinar previamente el carbono equivalente y verificar si las barras tienen endurecimiento mecánico en frío. A tal efecto:

- se deben extraer muestras de las barras colocadas.
- se debe determinar el carbono equivalente por análisis químico, según la norma IRAM - IAS U 500-207 e IRAM-IAS U 500-502.
- se debe determinar el endurecimiento mecánico por metalografía o ensayo a tracción.

b) Si se comprueba que las barras tienen un procedimiento de endurecimiento mecánico en frío se prohíbe cualquier procedimiento de soldadura.

Si los aceros son del tipo soldables según las normas IRAM-IAS U 500-502 e IRAM-IAS U 500-207, la soldadura deberá cumplir con los requisitos establecidos en el artículo 3.6.1.5.

Si los aceros no son del tipo soldables según las normas IRAM-IAS U 500-502 e IRAM-IAS U 500-207, la soldadura se realizará utilizando métodos especiales, establecidos por convenio previo, según artículo 4.6.1.3 de la norma IRAM-IAS U 500-502 y el artículo 4.6.1.2 de la norma IRAM-IAS U 500-528, y aprobados por el Director de Obra.

c) La extracción de las muestras de las barras colocadas se debe hacer de aquellos elementos de la estructura existente, próximos al lugar a soldar, que no se vean comprometidos por dicha extracción. Preferentemente no se deben extraer muestras en columnas.

d) Los Documentos del Proyecto deben establecer las precauciones a tomar para evitar daños en el hormigón existente por la transmisión de calor de la barra a soldar.

### 3.6.2. Mallas de alambres de acero soldadas para armaduras

3.6.2.1. Las mallas de alambres de acero soldadas para estructuras, deben cumplir con los requisitos establecidos en la norma IRAM-IAS U 500-06.

3.6.2.2. En la Tabla 3.9 se indican las principales características físicas y mecánicas que deben cumplir los alambres de acero para las mallas, que se establecen en la norma IRAM-IAS U 500-26. Para cada tipo de acero, el valor de la tensión de fluencia especificada, o de la tensión convencional de fluencia especificada, a utilizar como referencia para los diseños, es el valor correspondiente a la tensión de fluencia característica indicada en dicha tabla.

### 3.6.3. Cordones, alambres y barras para estructuras de hormigón pretensado

3.6.3.1. Los cordones y alambres para pretensado deben cumplir con las siguientes normas:

**IRAM-IAS U 500-03** Cordones de siete alambres de acero para estructuras de hormigón pretensado.

**IRAM-IAS U 500-07** Cordones de dos o tres alambres de acero para estructuras de hormigón pretensado.

**IRAM-IAS U 500-245** Alambres de acero conformados para estructuras de hormigón pretensado.

**IRAM-IAS U 500-517** Alambres de acero liso para estructuras de hormigón pretensado.

Las Tablas 3.10, 3.11, 3.12.a), 3.12.b) y 3.13 indican las principales características físicas y mecánicas, establecidas en cada una de las normas mencionadas precedentemente.

3.6.3.2. Las barras de acero conformadas para armadura activa de estructuras de hormigón pretensado deben cumplir con la norma IRAM-IAS correspondiente, que se deberá redactar al efecto.

#### **3.6.4. Acopio, identificación y manipuleo**

3.6.4.1. Los *alambres* y *cordones para estructuras de hormigón pretensado* deben salir secos de fábrica, y durante su transporte deben ser protegidos de la lluvia.

3.6.4.2. Las barras, alambres, cordones y mallas de acero soldadas para armaduras se deben colocar sobre tirantes o durmientes con separadores de madera u otros materiales, con el fin de impedir que se mezclen los distintos tipos, diámetros y partidas de cada uno de ellos.

Los acopios se deben realizar separados del suelo o piso, como mínimo a una distancia de **15 cm**; debiendo adoptarse todas las medidas tendientes a evitar el crecimiento de malezas en el sector.

Según el uso al que estén destinados, se deben acopiar respetando las siguientes condiciones:

a) *Aceros para armaduras de estructuras de hormigón*: bajo techo, o a la intemperie por un período no mayor de **60 días**.

b) *Acero para uso en hormigón pretensado*: bajo techo, en locales cerrados y aireados, y estibados de tal forma que circule aire entre los rollos. Cuando en los locales de almacenamiento la humedad relativa ambiente sea igual o mayor del sesenta por ciento (**60 %**), los mismos deben ser calentados para evitar la formación de agua de condensación.

3.6.4.3. Cada partida de barras, alambres, cordones y mallas de acero soldadas se debe identificar colocando un cartel visible en el espacio en que esté ubicada, donde conste el número del remito de envío, el tipo de acero y el diámetro del material de la partida.

### 3.7. FIBRAS

C. 3.7. El Hormigón Reforzado con Fibras (HRF) es un compuesto que incorpora fibras discretas (discontinuas) distribuidas en una matriz cementícea, que puede ser hormigón o mortero.

C. 3.7.1. Las fibras, que son elementos de corta longitud y sección delgada de formas diversas, pueden ser de acero, polímeros, carbón, vidrio, de metales amorfos o materiales de origen natural. También pueden combinarse diferentes tipos y/o tamaños de fibras (hormigón reforzado con fibras híbridas).

Existen diferentes tipos de fibras de acero que se suelen caracterizar en función de su geometría y poseen conformaciones diversas (ganchos en los extremos, onduladas, etc) para favorecer la adherencia. La resistencia y conformación mecánica del filamento están optimizadas para mejorar la adherencia que las fibras fallen principalmente por un mecanismo de arrancamiento. En matrices de alta resistencia debe verificarse en qué medida se produce la rotura de las fibras. Para tales casos existen fibras de aceros de alta resistencia. También puede ser conveniente el uso de fibras cortas o combinaciones híbridas.

Existen microfibras de acero que se emplean para fabricar hormigones de ultra alta resistencia, su uso excede el alcance del presente Código Modelo.

Al emplear fibras estructurales (de acero, poliméricas o de vidrio), los efectos sobre las propiedades mecánicas residuales del HRF varían notablemente conforme el tipo y dosis de fibras. Por tal motivo la performance de un dado HRF no se puede asegurar en base al tipo y contenido de fibras, sino que se debe verificar la capacidad residual del HRF a través de ensayos de flexión.

La propuesta de dosificación en los casos estructurales se basará en la **performance requerida** al HRF (capacidad residual en flexión) y la resistencia a compresión. No obstante, es recomendable indicar como referencia el tipo y contenido de fibras utilizadas. Las particularidades sobre la obtención, caracterización y aplicación del HRF se brindan en el Capítulo 9.3

Las fibras son elementos de corta longitud y sección delgada de formas diversas y que pueden ser de diferentes materiales que, cuando se incorporan al hormigón dan lugar a un Hormigón Reforzado con Fibras (HRF). Las fibras también se pueden combinar con armaduras convencionales o pretensadas.

#### 3.7.1 Características y tipos de fibras

A los fines de este Código Modelo se diferencian dos tipos de fibras:

- Macrofibras: que confieren capacidad residual en estado endurecido
- Microfibras: que no brindan capacidad estructural.

Las macrofibras pueden ser de acero, poliméricas o de vidrio resistente a los álcalis. Al tener Función Estructural pueden reemplazar en forma total o parcial a las armaduras convencionales.

Las microfibras son mucho más cortas y de diámetros menores a 0,30 mm; suelen aplicarse para mejorar la resistencia al fuego o para el control de fisuras en estado plástico. Existen microfibras poliméricas y de vidrio.

Las fibras de acero y poliméricas deben cumplir lo establecido en las normas EN 14889-1 y EN 14889-2 respectivamente o procedimientos CIRSOC equivalentes.

Las fibras se suelen caracterizar a partir de su largo (l), diámetro equivalente (d), y la relación de esbeltez o aspecto geométrico (l/d). El largo de la fibra debe ser mayor a 2 veces el tamaño máximo del agregado cuando se emplea HRF con fines estructurales. El largo no debe superar los 2/3 del diámetro de la tubería cuando se emplea HRF bombeado.

Ante ambientes agresivos se debe distinguir conforme el material que compone las fibras. En ambientes con altos contenidos de ion cloruro (ver Tabla 2.1) no se admitirán fibras de acero cuando estas se empleen con función estructural y el HRF trabaje en servicio en estado fisurado. Cuando se empleen fibras poliméricas como único refuerzo estructural y el HRF trabaje en estado fisurado no se recomienda el uso de fibras poliméricas sin haber realizado una verificación previa de la fluencia del HRF. Las fibras de vidrio, en cualquiera de sus variantes, deben ser resistentes al ambiente alcalino que implica el hormigón de cemento portland.

**Tabla 3.10.** Alambres de acero liso con tratamiento termomecánico (BR - baja relajación) para estructuras de hormigón pretensado.

Designación de los alambres IRAM-IAS U 500-517 (*)	Diámetro nominal	Límite convencional de fluencia	Resistencia a la tracción	Alargamiento porcentual de rotura		Doblado alternado		Relajación máxima a 1000 h y 20 °C para una carga inicial expresada en % de la carga de rotura Qt ( Qt = 1700 MPa x área nominal de cada alambre )			
				mínimo	largo de referencia	N° de doblados	Radio del mandril		Baja relajación BR		
									R	At	Lo
----	mm	MPa	MPa	%	mm	---	mm	%	%		
APL - 1700	4,0	1500	1700	4,6	50	4	10	1	2	3	
	5,0			5,0	50	4	15				
	7,0			5,0	70	4	20				

( \* ) Designación de los alambres: Los valores corresponden, aproximadamente, a la resistencia a la tracción nominal del acero, expresada en MPa.

Tabla 3.11. Alambres de acero conformado para estructuras de hormigón pretensado.

Designación de los alambres IRAM – IAS U 500 – 245 (*)	Diámetro nominal	Carga al 1 % de alargamiento total mínimo (**)	Carga de rotura mínima	Límite de fluencia mínimo	Resistencia a la tracción mínima	Alargamiento porcentual de rotura bajo carga sobre 200 mm mínimo	Doblado alternado	
							Nº de doblados	Radio del mandril
		Q1	Qt	Re	R	At		
	mm	kN	kN	MPa	MPa	%	-----	mm
APC - 1800	2,6	7,6	9,5	1431	1789	2,5	3	7,5
APC - 1800	3,4	13,0	16,2	1432	1784		3	10,0
APC - 1800	4,2	19,4	24,3	1396	1748		3	15,0
APC - 1650	5,2	28,2	35,3	1330	1665		3	15,0

(\*) Designación de los alambres: Los valores corresponden, aproximadamente, a la resistencia a la tracción nominal del acero, expresada en MPa.  
(\*\*) La carga al 1 % de alargamiento total se considera equivalente a la carga al 0,2 % de deformación permanente.  
Nota: Los valores de relajación se deben establecer por convenio previo con el fabricante y se deben verificar aplicando la norma IRAM-IAS U 500-114.

Tabla 3.12. a). Cordones de dos o tres alambres con tratamiento térmico, para estructuras de hormigón pretensado

Designación del cordón IRAM – IAS U 500 – 07 (*)	Construcción del cordón (Nº de alambres x diámetro nominal)	Diámetro nominal de los alambres	Carga al 1 % de alargamiento total mínima (**)	Carga de rotura mínima	Límite de fluencia mínima	Resistencia a la tracción mínima	Alargamiento porcentual de rotura bajo carga en 200 mm mínimo
			Q1	Qt	Re	R	At
		mm	kN	kN	MPa	MPa	%
C – 1950	2 x 2,25	2,25	13,20	15,60	1660	1962	2,5
	3 x 2,25	2,25	19,80	23,50	1660	1970	
	2 x 1,84	1,84	8,10	9,50	1523	1786	
C – 1800	2 x 2,40	2,40	13,80	16,20	1525	1790	
	3 x 2,40	2,40	20,70	24,30	1525	1791	
C – 1750	3 x 3,00	3,00	31,50	37,10	1485	1749	
C – 1650	3 x 4,00	4,00	52,90	62,20	1403	1650	

(\*) Designación de los cordones: Los valores corresponden, aproximadamente, a la resistencia a la tracción nominal del acero, expresada en MPa.  
(\*\*) La carga al 1% del alargamiento total, se considera equivalente al 0,2 % de deformación permanente.  
Nota: Los valores de relajación se deben establecer por convenio previo con el fabricante y se deben verificar aplicando la norma IRAM-IAS U 500-114.

Tabla 3.12.b). Cordones de dos o tres alambres con tratamiento termomecánico (BR-baja relajación) para estructuras de hormigón pretensado.

Designación del cordón IRAM – IASU 500 – 07 (*)	Construcción del cordón (Nº de alambres x diámetro nominal)	Diámetro nominal de los alambres	Carga al 1 % de alargamiento total mínima (**)	Carga de rotura mínima Qt	Límite de fluencia mínimo Re	Resistencia a la tracción mínima R	Alargamiento de rotura bajo carga en 200 mm mínimo At	Relajación máxima a 1000 h y 20 °C, para una carga inicial expresada en % de la carga de rotura Qt		
								Baja Relajación BR		
								60 % Qt	70 % Qt	80 % Qt
		mm	kN	kN	MPa	MPa	%	%	%	%
C – 1950	2 x 2,25	2,25	14,04	15,60	1766	1962	2,5	1	2,5	3,5
	3 x 2,25	2,25	21,15	23,50	1773	1970				
	2 x 1,84	1,84	8,55	9,50	1607	1786				
C – 1800	2 x 2,40	2,40	14,58	16,20	1611	1790	2,5	1	2,5	3,5
	3 x 2,40	2,40	21,87	24,30	1612	1791				
C – 1750	3 x 3,00	3,00	33,39	37,10	1574	1749				
C – 1650	3 x 4,00	4,00	55,98	62,20	1485	1650				

(\*) Designación de los cordones: Los valores corresponden, aproximadamente, a la resistencia a la tracción nominal del acero, expresada en MPa.

(\*\*) La carga al 1% del alargamiento total, se considera equivalente al 0,2 % de deformación permanente.

**Tabla 3.13.** Cordones de siete alambres con tratamiento termomecánico (BR-baja relajación) para estructuras de hormigón pretensado

Designación de los cordones IRAM – IAS U 500 – 03 (*)	Diámetro nominal de los cordones	Carga al 1 % de Alargamiento total mínima Q1	Carga de rotura mínima Qt	Límite de fluencia mínimo Re	Resistencia a la tracción mínima R	Alargamiento porcentual de rotura bajo carga sobre 600 mm mínimo At	Relajación máxima a 1000 h y 20 °C, para una carga inicial expresada en % de la carga de rotura Qt		
							Baja Relajación BR		
	mm	kN	kN	MPa	MPa	%	60 % Qt	70 % Qt	80 % Qt
							%	%	%
C – 1750	9,5	80,1	89,0	1546	1718	3,5			
	12,7	144,0	160,0	1550	1722				
	15,2	216,0	240,0	1554	1727		1	2,5	3,5
C – 1900	9,5	92,0	102,0	1678	1860				
	12,7	166,0	184,0	1682	1864				
	15,2	235,0	261,0	1679	1864				

(\*) Designación de los cordones: Los valores corresponden, aproximadamente, a la resistencia a la tracción nominal del acero, expresada en MPa.



**CAPÍTULO 4. HORMIGÓN FRESCO - PROPIEDADES, DOSIFICACIÓN Y PUESTA EN OBRA**

**4.1. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO**

**4.1.1. Consistencia del hormigón**

4.1.1.1. El hormigón tendrá una consistencia acorde con las características de los elementos estructurales a hormigonar y con los medios disponibles para permitir su transporte, colocación y correcta compactación sin que se origine segregación ni exudación perjudicial.

C.4.1.1.2. En hormigones de consistencia fluida, cuando las mezclas sean poco cohesivas se recomienda el uso del ensayo de Extendido. Se consideran mezclas poco cohesivas, cuando al desmoldar el cono de Abrams no se percibe el círculo superior del tronco de cono de hormigón y/o se observa en el borde exterior una aureola de agua significativa.

Los hormigones de consistencias fluida y muy fluida, con fluidez obtenida con el uso de superfluidificantes pueden perder fluidez de modo significativo con el transcurso del tiempo. En esos casos se deberá verificar que el hormigón posea la consistencia requerida al momento de ser colocado, especialmente para transportes y/o esperas de colocación importantes.

4.1.1.2. Este Código establece seis (6) intervalos de consistencia de hormigones cuyas denominaciones y métodos de evaluación se indican en la Tabla 4.1.

a) Los intervalos de consistencia fluida y muy fluida se utilizarán en hormigones de cualquier clase sólo si éstos contienen un aditivo superfluidificante. La dosis y la oportunidad de ingresar el aditivo a la mezcla serán tales que maximicen la fluidez de la pasta del hormigón sin generar segregación del mismo.

b) Los hormigones de clase H-15 (hormigón sin armar) se pueden elaborar con intervalo de consistencia fluida sin el uso de aditivos superfluidificantes si el asentamiento es igual o menor que 18,0 cm y si el contenido de cemento por metro cúbico de hormigón es igual o mayor que 300 kg.

**Tabla 4.1.** Métodos de ensayo aplicables a cada intervalo de consistencia del hormigón

Consistencia	Intervalo			Ensayo de evaluación aplicable
	Remoldeo (V) [s]	Asentamiento (A) [cm]	Extendido (E) [cm]	
Muy seca	$5,0 < V \leq 30,0$	--	--	Tiempo de remoldeo en el dispositivo VeBe. Norma IRAM 1767.
Seca	--	$2,0 < A \leq 5,0$	--	Asentamiento del Cono de Abrams. Norma IRAM 1536.
Plástica	--	$5,0 < A \leq 10,0$	--	Asentamiento del Cono de Abrams. Norma IRAM 1536.
Muy plástica	--	$10,0 < A \leq 15,0$	$50 < E \leq 55$	Asentamiento del Cono de Abrams. Norma IRAM 1536. Extendido en la Mesa de Graf. Norma IRAM 1690.
Fluida	-	$15,0 < A \leq 18,0$	$55 < E \leq 60$	Asentamiento del Cono de Abrams. Norma IRAM 1536. Extendido en la Mesa de Graf. Norma IRAM 1690.
Muy fluida	--	--	$60 < E \leq 65$	Extendido en la Mesa de Graf. Norma IRAM 1690.

4.1.1.3. Los Documentos del Proyecto deben indicar el valor de la consistencia media de la mezcla a utilizar en los diferentes tipos de elementos estructurales de la obra (consistencia de diseño).

4.1.1.4. Los distintos pastones deben tener una consistencia igual a la consistencia de diseño  $\pm$  la tolerancia indicada en la Tabla 4.2.

**Tabla 4.2.** Intervalos de consistencia y tolerancias

	Remoldeo (V) [s]		Asentamiento (A) [cm]		Extendido (E) [cm]	
	Intervalo	Tolerancia	Intervalo	Tolerancia	Intervalo	Tolerancia
Muy seca	$5,0 < V \leq 30,0$	$\pm 2,0$	--	--	--	--
Seca	--	--	$2,0 < A \leq 5,0$	$\pm 1,0$	--	--
Plástica	--	--	$5,0 < A \leq 10,0$	$\pm 2,0$	--	--
Muy plástica	--	--	$10,0 < A \leq 15,0$	$\pm 2,0$	$50 < E \leq 55$	$\pm 1,0$
Fluida	--	--	$15,0 < A \leq 18,0$	$\pm 3,0 (*)$	$55 < E \leq 60$	$\pm 2,0$
Muy fluida	--	--	--	--	$60 < E \leq 65$	$\pm 2,0$

(\*) La tolerancia en (+) es válida siempre que el asentamiento medido sea igual o menor que 20,0 cm.

#### 4.1.2. Aire intencionalmente incorporado

C.4.1.2.1. El contenido de aire expresado en volumen por m<sup>3</sup> de hormigón, si bien es fácilmente cuantificable, no es un indicador absoluto de que el aire se haya incorporado en la forma de microburbujas no coalescentes. Por lo tanto, lo indicado en este artículo es de aplicación para aditivos que cumplan lo establecido en la norma IRAM 1663:2002.

En hormigones con aire incorporado, el contenido de material pulverulento (ver 4.1.3) se puede reducir en un volumen igual al del aire intencionalmente incorporado, siempre que en obra se compruebe que el hormigón sea cohesivo, no segregue ni exude.

4.1.2.1. Cuando de acuerdo con el tipo de exposición o para hormigones con características especiales, según el Capítulo 2, Tabla 2.5 y Capítulo 9 Tabla 9.2, se requiera la incorporación intencional de aire, el porcentaje total debe estar comprendido dentro de los límites establecidos en la Tabla 4.3, en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso, donde los porcentajes de aire corresponden al hormigón integral.

4.1.2.2. La **determinación del contenido de aire del hormigón** se debe efectuar mediante los ensayos especificados en la norma IRAM 1602-1 ó 1602-2.

4.1.2.3. Para **hormigones con tamaño máximo nominal de agregado grueso igual o mayor que 53,0 mm**, el contenido de aire se debe determinar según el artículo 4.1.2.2, sobre la fracción de hormigón que resulta luego de retirar mediante tamizado, las partículas de agregado grueso mayores que **37,5 mm**. En este caso, el contenido de aire medido en la fracción que pasa el tamiz de **37,5 mm** de abertura debe ser el indicado en la Tabla 4.3 para el tamaño máximo nominal de **37,5 mm**.

4.1.2.4. Para hormigones de *clase igual o mayor que H-35* las cantidades de aire indicadas en la Tabla 4.3, se pueden reducir hasta una unidad porcentual (**1,0 %**), salvo que en los **Documentos de Proyecto** se indique lo contrario.

**Tabla 4.3.** Total de aire natural e intencionalmente incorporado al hormigón

<b>Tamaño máximo del agregado</b>	<b>Total de aire natural e intencionalmente incorporado al hormigón, de acuerdo con el tipo de exposición o para hormigones especiales (Capítulo 2, Tablas 2.5 y Capítulo 9, Tabla 9.3)</b>	
	<b>Exposición tipo C1 y hormigón a colocar bajo agua</b>	<b>Exposición tipo C2</b>
<b>mm</b>	<b>% en volumen</b>	<b>% en volumen</b>
13,2	5,5 ± 1,5	7,0 ± 1,5
19,0	5,0 ± 1,5	6,0 ± 1,5
26,5	4,5 ± 1,5	6,0 ± 1,5
37,5	4,5 ± 1,5	5,5 ± 1,5
53,0	4,0 ± 1,5	5,0 ± 1,5

**4.1.3. Contenido de material pulverulento que pasa el tamiz IRAM 300 µm**

C.4.1.3.1. La presencia, en proporción adecuada, **de material pulverulento** otorga al hormigón fresco la cohesión que impide su segregación y excesiva exudación.

C.4.1.3.2. Cuando el hormigón deba ser transportado por bombeo o largas distancias, la existencia de partículas finas adquiere especial importancia. También es necesaria en estructuras impermeables y elementos de paredes delgadas y fuertemente armados.

Un exceso de partículas muy finas puede afectar la consistencia del hormigón, transformándolo en una mezcla “pegajosa” muy difícil de compactar. El contenido de material pulverulento deberá ser un equilibrio entre las necesidades de fluidez y de cohesión del hormigón.

En hormigones sometidos a abrasión superficial, congelación y deshielo o a algunos agentes químicos y/o físicos, un excesivo contenido de material pulverulento resulta desfavorable.

4.1.3.1. Este Código especifica que se debe computar como **material pulverulento** de un hormigón a la suma, en masa, de las partículas del **cemento**, las **adiciones minerales pulverulentas**, ya sean **activas o no**, y la fracción de los **agregados que pasan el tamiz IRAM 300 µm**. (Nº 50).

4.1.3.2. Los contenidos mínimos se indican en la Tabla 4.4, **en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso** empleado en el hormigón.

4.1.3.3. En hormigones de **clase igual o menor que H-20**, que no sean transportados por bombeo, de consistencia menor o igual a muy plástica y que luego no estén en contacto con medios agresivos (ver el Capítulo 2) se podrán utilizar **contenidos menores a los** indicados en la Tabla 4.4.

4.1.3.4. Sin perjuicio del cumplimiento de los artículos 4.1.3.1 a 4.1.3.3, el tipo y cantidad de material que pasa por el tamiz IRAM de **300 µm (N° 50)** debe asegurar que la exudación del hormigón cumpla con lo establecido en el artículo 4.1.4.

**Tabla 4.4.** Contenido mínimo de material que pasa por el tamiz IRAM 300 µm

<b>Tamaño máximo del agregado</b>	<b>Contenido de material que pasa por el tamiz IRAM 300 µm (N° 50)</b>
<b>(mm)</b>	<b>(kg por metro cúbico de hormigón).</b>
13,2	480
19,0	440
26,5	410
37,5	380
53,0	350

#### 4.1.4. Exudación del hormigón

C.4.1.4.1. La exudación de agua del hormigón en elementos estructurales que superan los 2 m de altura, se traduce en una disminución importante de la resistencia del hormigón colocado en la parte superior del mencionado elemento estructural.

4.1.4.1. Cuando se construyan **elementos estructurales que superen los dos (2) metros de altura** o que estén sometidos a **abrasión, erosión o cavitación**, la exudación del hormigón, determinada según la norma IRAM 1604:2004, debe cumplir los límites siguientes:

- capacidad de exudación igual o menor que cinco por ciento (5 %).
- velocidad de exudación igual o menor que  $100 \times 10^{-6}$  cm/s.

#### 4.1.5. Contenido unitario de cemento

C.4.1.5.1. Contenidos de cemento elevados pueden dar lugar a mezclas muy cohesivas y difíciles de trabajar. A la vez, en secciones masivas y moderadamente masivas originan un elevado incremento de la temperatura del hormigón en las primeras edades que, con el posterior enfriamiento, pueden dar lugar a fisuras originadas por tensiones de origen térmico.

4.1.5.1. El hormigón debe contener la **cantidad de cemento que resulte necesaria para cumplir con los requisitos de resistencia y durabilidad establecidos en este Código** según el destino para el que se lo utilice.

4.1.5.2. A los efectos de proteger las armaduras contra la corrosión, el contenido mínimo de cemento debe ser igual a 280 kg/m<sup>3</sup> de hormigón tanto en hormigón armado como en hormigón pretensado.

4.1.5.3. Como excepción a lo indicado en 4.1.5.2, en elementos estructurales de hormigón masivo armado el contenido mínimo de cemento debe ser igual a 200 kg/m<sup>3</sup> de hormigón si se cumplen las siguientes condiciones:

- a) El elemento estructural está expuesto a un *medio no agresivo* tanto para el hormigón como para las armaduras (Exposición *Clase A1*, del Capítulo 2, Tabla 2.1.).
- b) El recubrimiento de las armaduras es igual o mayor que *100 mm*.

#### 4.1.6. Homogeneidad de una mezcla de hormigón

En todas las instancias del proceso de elaboración, transporte y colocación del hormigón, en que este Código exija *homogeneidad* de la mezcla, el hormigón debe ser ensayado según la norma IRAM 1876:2004. El hormigón del pastón se considera *homogéneo*, cuando las diferencias máximas admisibles, en valor absoluto, entre los resultados de ensayo de muestras extraídas de diferentes porciones de un mismo pastón, son menores que:

- a) contenido de agregado grueso: *6,0 %*
- b) densidad del mortero libre de aire: *1,6 %*

## 4.2. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

### 4.2.1. Requisitos generales

C.4.2.1.1. Este Código no establece especificaciones para hormigones de tipo arquitectónico. Los requisitos a cumplir para estos casos se deben establecer en los Documentos del Proyecto.

4.2.1.1. Los *materiales componentes y las proporciones del hormigón* deben asegurar:

- la trabajabilidad necesaria para su adecuado escurrimiento entre las armaduras y para el llenado completo de los encofrados, con la terminación requerida y en las condiciones de colocación a ser empleado en obra, sin que se produzca segregación o exudación perjudicial para el hormigón de acuerdo con lo establecido en el artículo 4.1.
- los requisitos para el hormigón endurecido, según se establece en el Capítulo 2.

4.2.1.2. La *dosificación del hormigón* se debe establecer en forma racional, en base a información de experiencias previas y/o mediante la preparación de mezclas de prueba en el laboratorio o en la obra. En ambos casos con los materiales que se van a utilizar en la obra. (Ver los artículos 4.2.5.1 y 4.2.5.2).

La *dosificación para hormigones sin armar de clase H-15*, se puede establecer en *forma empírica* cuando se cumplan los requisitos especificados en el artículo 4.2.5.3.

4.2.1.3. Los ensayos de *resistencia de rotura a la compresión* se realizarán en la forma indicada en el artículo 6.1.6.

4.2.1.4. Cuando los criterios de diseño se basen en la *resistencia del hormigón a tracción por compresión diametral o a tracción por flexión*, se debe:

- a) Verificar en forma experimental, durante los ensayos de dosificación, que la mezcla cumpla con la resistencia a tracción especificada en los *Documentos del Proyecto*. Los ensayos de tracción por compresión diametral se realizarán según la norma IRAM 1658 y los de tracción por flexión según la norma IRAM 1547.
- b) Determinar la correlación entre la resistencia a compresión y la resistencia a tracción por compresión diametral o a tracción por flexión, según corresponda, mediante ensayos con el mismo hormigón a utilizar en obra.
- c) Realizar la recepción del hormigón mediante ensayos de compresión, y verificar el cumplimiento de la resistencia especificada aplicando el

coeficiente de correlación determinado según b).

#### 4.2.2. Estimación de la resistencia de diseño de la mezcla

4.2.2.1. La **resistencia de diseño de la mezcla de hormigón** que se utilizará en obra, es la resistencia media de rotura a compresión para la cual se dosifica dicha mezcla. La resistencia media de las probetas moldeadas con la mezcla en los ensayos de prueba debe ser igual o mayor que la resistencia de diseño de la mezcla calculada de acuerdo con el artículo 4.2.2.2.

C.4.2.2.2. Para el Modo de Control 1, la primera expresión resulta para una probabilidad de 1 en 100 que el promedio de 3 resultados de ensayos consecutivos sea menor que la resistencia especificada ( $f'_c$ ). La segunda expresión resulta de establecer igual probabilidad de que cada resultado de ensayo no se encuentre en más de 3,5 MPa por debajo de la resistencia especificada ( $f'_c$ ).

Un criterio similar se aplica para las expresiones del Modo de Control 2.

En estas expresiones se asume que la desviación normal usada es igual al valor de la desviación normal para una población constituida por un gran número de resultados de ensayos.

4.2.2.2. Modos de control

a) **Modo de Control 1:** La **resistencia de diseño de la mezcla debe ser mayor** que los valores que resulten de aplicar las siguientes ecuaciones:

$$f'_{cr} = f'_c + 1,34 s_n \quad (4-1)$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2,33 s_n - 3,5 \quad (4-2)$$

b) **Modo de Control 2:** La **resistencia de diseño de la mezcla** debe ser mayor que el valor que resulte de aplicar las siguientes expresiones:

$$f'_{cr} = (f'_c + 5) + 1,34 s_n \quad (4-3)$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2,33 s_n \quad (4-4)$$

siendo:

$f'_c$ : la resistencia especificada a la compresión del hormigón, en MPa.

$f'_{cr}$ : la resistencia de diseño de la mezcla, en MPa.

$s_n$ : la desviación estándar, en MPa.

4.2.2.4. En ningún caso la **desviación estándar**,  $s_n$ , a utilizar en la estimación de la resistencia de diseño de la mezcla debe ser menor que **3,0 MPa**.

4.2.2.5. Cuando no se cuente con registros para determinar la desviación estándar, el hormigón se debe proyectar adoptando la **resistencia media de rotura a compresión dada en la Tabla 4.5**.

**Tabla 4.5.** Resistencia de diseño de la mezcla cuando no se conoce la desviación estándar para hormigones sin armar y armados

Resistencia especificada	Resistencia de diseño de la mezcla ( $f'_{cr}$ )
MPa	MPa
Igual o menor que 20	$f'_c + 7,0$
Mayor que 20 y menor que 35	$f'_c + 8,5$
Mayor que 35	$f'_c + 10,0$

4.2.2.6. Durante la construcción de la obra, y a medida que se disponga de resultados de ensayos, se podrá determinar su desviación estándar y con ese valor reajustar la mezcla. **El valor a adoptar en ningún caso debe ser menor que 2,0 MPa**.

#### 4.2.3. Desviación estándar

4.2.3.1. Cuando una **planta elaboradora** posea registros de su producción se debe calcular la desviación estándar a aplicar en los

hormigones a producir.

Los resultados de ensayo que se utilicen para calcular la desviación estándar deben cumplir los siguientes requisitos:

- a) los resultados de ensayo deben pertenecer a una misma mezcla.
- b) los materiales y las condiciones de elaboración, deben ser similares a los del hormigón a producir.
- c) los procedimientos de control de producción realizados deben ser igual de rigurosos que los del hormigón a producir y se debe utilizar el mismo tamaño de probeta del ensayo de resistencia.
- d) los cambios en los materiales y en las proporciones de la mezcla, que se hayan producidos durante el período de tiempo al que corresponden los registros de ensayos, deben ser iguales o más restringidos que aquellos esperados para la obra.
- e) los resultados deben pertenecer a hormigones cuya resistencia esté dentro de un intervalo de  $\pm 10$  MPa respecto de la resistencia especificada para el Proyecto a construir.
- f) se debe disponer de treinta (30) o más resultados de ensayos consecutivos o en su defecto de al menos dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen un mínimo de 30 ensayos, donde cada grupo no podrá tener menos de 10 ensayos.

4.2.3.2. **Cuando se disponga de treinta (30) o más resultados de ensayos consecutivos que conforman un (1) único grupo**, la desviación estándar se debe determinar aplicando la siguiente fórmula:

$$s_n = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{(n - 1)}} \quad (4-5)$$

siendo:

$s_n$  la desviación estándar

$X_i$  el resultado de un ensayo.

$\bar{X}$  el promedio de (n) resultados de ensayos.

$n$  el número de resultados de ensayos consecutivos.

4.2.3.3. **Cuando se disponga de dos (2) grupos de ensayos consecutivos, que entre ambos sumen treinta (30) o más resultados de ensayos**, se debe determinar la desviación estándar promedio aplicando la siguiente expresión:

$$s_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)(s_{n1})^2 + (n_2 - 1)(s_{n2})^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (6-5)$$

siendo:

$s_p$  el **promedio estadístico de las desviaciones estándares**, cuando se usan dos grupos de resultados de ensayos para determinar la desviación estándar.

$s_{n1}$  y  $s_{n2}$  las desviaciones estándares calculadas por separado para cada uno de los dos grupos de resultados de ensayos.

$n_1$  y  $n_2$  el número de resultados de ensayos que conforman cada grupo (no inferiores a 10).

C.4.2.3.4. Los factores de incremento de la desviación normal establecidos en la Tabla 4.6 se basan en la distribución del muestreo de la desviación normal, y

4.2.3.4. Si la planta posee registros que cumplan con las condiciones del artículo 4.2.3.1 pero **sólo se dispone de 15 a 29 resultados** de ensayos consecutivos, la desviación estándar (s) se debe determinar

proporcionan una seguridad equivalente a la que corresponde al adoptar 30 resultados de ensayos consecutivos, evitando que al tomar una muestra menor se distorsione la verdadera desviación normal de la población del universo.

con los valores de ensayo disponibles utilizando la expresión indicada en el artículo 4.2.3.2 y ese valor se debe incrementar con el factor que le corresponda según la Tabla 4.6. Este procedimiento es válido si los ensayos pertenecen a un solo conjunto de ensayos consecutivos realizados dentro de un período de tiempo no menor que cuarenta y cinco (45) días corridos, y comprendido dentro de los últimos doce meses respecto de la fecha del estudio de las proporciones que se efectúa.

**Tabla 4.6.** Factor que incrementa la desviación estándar ( $s_n$ ), cuando se dispone de menos de 30 resultados de ensayos consecutivos

<b>Resultados de ensayos</b>	<b>Factor de modificación de la desviación estándar, <math>s_n</math></b>
Menos de 15	No aplicable
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30	1,00
Interpolar para un número de ensayos intermedios	

4.2.3.5. *En todos los casos, a medida que por el avance de obra se disponga de treinta (30) o más ensayos consecutivos*, se debe determinar la desviación estándar y con este valor reajustar la dosificación del hormigón en caso de ser necesario.

#### 4.2.4. Elección de la razón agua/cemento

4.2.4.1. La *razón agua/cemento* o la *razón agua/material cementicio* con que se debe proyectar el hormigón debe ser la menor de las dos siguientes:

- a) la necesaria para alcanzar la resistencia de diseño de la mezcla de acuerdo con lo establecido en el artículo 4.2.2.
- b) la menor de las máximas especificadas por durabilidad y por características especiales de la estructura, según se establece en el Capítulo 2.

4.2.4.2. Cuando se use *cemento portland más una adición mineral activa incorporada en el momento del mezclado*, se debe reemplazar la razón agua/cemento ( $a/c$ ) por la razón agua/material cementicio  $[a/(c+x)]$ , que tenga en cuenta la suma del cemento portland ( $c$ ) y la cantidad de adición ( $x$ ) (Ver Capítulo 2). Esto deberá ser respaldado con experiencias de laboratorio o por resultados fehacientes de obras anteriores. En ambos casos las experiencias deben haber sido realizadas con los mismos materiales componentes y con hormigones de proporciones similares.

#### 4.2.5. Determinación de la composición del hormigón

La determinación de la composición y proporciones de los materiales del hormigón se debe realizar de acuerdo con uno de los siguientes procedimientos:

- a) *racional* mediante *pastones de prueba*

b) *racional utilizando información de obras anteriores*

c) *empírico*

En el Anexo A4 se indican los requerimientos de los diferentes procedimientos de dosificación citados (a, b, c).

### 4.3. PRODUCCIÓN

#### 4.3.1. Datos básicos de producción a disponer

4.3.1.1. En el lugar físico desde el cual se opere la planta de elaboración de los hormigones, debe estar disponible la documentación con la indicación precisa de la composición y de las proporciones de los materiales constituyentes de los hormigones a producir.

Para cada uno de los tipos de hormigón que se elaboren, se determinará la siguiente información:

a) *Contenido de agua de la mezcla*, expresado en  $\text{dm}^3/\text{m}^3$  o  $\text{kg}/\text{m}^3$  de hormigón y en  $\text{dm}^3/\text{pastón}$  o  $\text{kg}/\text{pastón}$ .

b) *Cantidad de agua neta* a ingresar a la hormigonera, en función de los distintos valores de humedad que presenten los agregados.

c) Tipo, características y procedencia de los *agregados* a emplear.

d) Cantidad de *agregados* de cada fracción expresada en  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

e) Tipo, marca y procedencia del *cemento* y los *aditivos*.

f) Cantidad de *cemento* y *adiciones*, si las hubiere, expresadas en  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

g) *Dosis* de cada uno de los *aditivos* a incorporar a los hormigones, expresada en  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

h) *Razón agua/cemento* o *razón agua/material cementicio*, expresada en masa.

i) *Resistencia de diseño* a obtener con la dosificación.

j) *Consistencia* del hormigón fresco.

k) *Masa de la unidad de volumen* del hormigón fresco, expresada en  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

4.3.1.2. En el proceso de *producción de hormigones de clase igual o mayor que H-20* se deberá registrar, para cada pastón elaborado, la información correspondiente a los puntos a) hasta g) detalladas en el artículo 4.3.1.1.

#### 4.3.2. Medición de los materiales componentes del hormigón

C.4.3.2.1. Se recomienda que:

- los equipos de medición de la planta de elaboración de hormigones sean operados por personal idóneo y experimentado en su manejo, con capacitación comprobable.

- periódicamente se proceda a limpiar balanzas y articulaciones de los equipos de medición, como así también a realizar controles de funcionamiento. El contraste de las balanzas se debe realizar como mínimo al iniciarse la producción del hormigón y posteriormente una vez

4.3.2.1. Los *equipos de medición* deben estar instalados de tal manera que operen dentro de las tolerancias establecidas en el artículo 4.3.2.6, Tabla 4.7, aún ante movimientos y/o vibraciones que se produzcan en la zona de la planta de elaboración de hormigones.

por mes o antes si hubiere presunción de deficiencias en el funcionamiento.

- los dispositivos empleados para la medición del agua de mezclado no sean afectados, ni se produzcan errores de medición fuera de las tolerancias establecidas, si varía la presión del agua en la cañería de alimentación.

4.3.2.2. El **cemento se debe medir en masa** y en **forma separada de los agregados**. Como única excepción se admitirá la incorporación a la hormigonera del cemento en sus bolsas originales enteras.

4.3.2.3. Las fracciones de agregados finos y de agregados gruesos se deben medir en forma separada, bajo las siguientes condiciones:

a) Exclusivamente en masa para hormigones de clase mayor que **H-20**.

b) En **masa o en volumen** para hormigones de **clase igual o menor que H-20**. Cuando se mida en volumen se debe determinar previamente la densidad a granel (peso unitario) de los materiales en las condiciones de humedad en que se encuentran en el acopio, efectuándose la medición en volúmenes aparentes de materiales sueltos, en recipientes cuidadosamente enrasados de pequeña sección y gran altura.

c) Se debe determinar el contenido de humedad superficial de los agregados, como mínimo al comenzar las tareas de hormigonado y cuando cambie el acopio o las condiciones de humedad del mismo.

d) La cantidad de agregados a introducir en la hormigonera debe ser corregida de acuerdo con su real humedad superficial.

C.4.3.2.4. Al medir el agua se tendrá en cuenta el agua aportada en forma de humedad superficial por los agregados y la incorporada como hielo, a los fines de efectuar la corrección correspondiente.

4.3.2.4. El agua de mezclado se puede medir en masa o en volumen.

4.3.2.5. Los aditivos químicos líquidos se deben medir en volumen o en masa, y los pulverulentos se deben medir sólo en masa.

4.3.2.6. Cuando los materiales componentes del hormigón se midan en masa y el agua en masa o en volumen, deben cumplir las tolerancias establecidas en la Tabla 4.7.

4.3.2.7. Las **balanzas** deben estar graduadas como mínimo al **0,1 %** de su capacidad máxima y se deben utilizar en el intervalo comprendido entre el **30 %** y **100 %** de su capacidad.

**Tabla 4.7.** Tolerancia porcentual admitida en la medición de los materiales por pastón

<b>Materiales</b>	<b>Tolerancia porcentual admitida en la medición, respecto a la masa total de cada material</b>
Cemento - Adiciones minerales	± 1,0 %
Cada fracción de agregado	± 2,0 %
Agua de mezclado (incluyendo hielo)	± 1,0 %
Aditivos químicos (polvo o líquidos)	± 3,0 %

### 4.3.3. Mezclado del hormigón

4.3.3.1. La *operación de mezclado* se debe realizar exclusivamente en forma mecánica.

4.3.3.2. Los *equipos de mezclado* se deben encontrar en condiciones de uso y mantenimiento que permitan cumplir con lo establecido en este Código. Se debe llevar un registro de los servicios de mantenimiento y controles de funcionamiento efectuados desde su puesta en servicio.

4.3.3.3. El *tiempo de mezclado* se debe medir a partir del momento en que todos los materiales ingresaron al tambor de la mezcladora.

C.4.3.3.4. Los tiempos mínimos de mezclado se establecen para lograr una mezcla razonablemente homogénea. La uniformidad de un pastón se verifica a través de la norma IRAM 1876:2004. El tiempo de mezclado necesario para alcanzar la uniformidad depende, entre otras cosas, del tipo de hormigonera, de la consistencia del hormigón y del tipo y tamaño máximo del agregado.

4.3.3.4. Para *cada equipo mezclador* el tiempo mínimo de mezclado se debe determinar al iniciar la producción en obra y posteriormente cuando hubiere presunción de deficiencias de funcionamiento. Si el equipo tiene una capacidad nominal superior a  $1 \text{ m}^3$ , el tiempo mínimo de mezclado se determinará con una frecuencia igual o menor que tres (3) meses.

4.3.3.5. Cuando el hormigón se mezcle mediante motohormigoneras, cumplirá con los requisitos de mezclado especificados en la norma IRAM 1666-2.

4.3.3.6. Los *aditivos químicos* se deben ingresar al tambor de la hormigonera en forma de soluciones acuosas, como parte del agua de mezclado, con excepción de los superfluidificantes líquidos que se pueden incorporar sin dilución. Cuando el hormigón contenga dos (2) o más aditivos químicos, estos se deben almacenar, medir e ingresar en forma separada al tambor de la hormigonera. En el caso del uso de más de un aditivo se debe verificar previamente la compatibilidad entre los productos empleados desde el punto de vista del comportamiento del hormigón fresco y endurecido.

4.3.3.7. Para *hormigoneras estacionarias de ejes horizontal, basculante o vertical*, el *tiempo de mezclado* se debe establecer determinando el mínimo tiempo requerido para que el hormigón producido cumpla con las condiciones de homogeneidad de una mezcla, establecidas en el artículo 4.1.6.

C.4.3.3.8. Los valores mínimos de tiempo de mezclado indicados para hormigoneras de eje basculante y de eje horizontal con inversión de marcha,

4.3.3.8. Si no se aplica lo especificado en el artículo 4.3.3.7, para las *hormigoneras estacionarias de eje horizontal con inversión de marcha y de eje basculante*, los tiempos mínimos de mezclado deben

asumen un correcto funcionamiento de las mismas. Las hormigoneras de eje vertical de más de 2 m<sup>3</sup> de capacidad nominal, en condiciones de óptimo funcionamiento, cumplen los requisitos de uniformidad de IRAM 1876:2004 con menores tiempos de mezclado que los indicados para hormigoneras convencionales. En tales casos, verificando la eficiencia del mezclado, se puede reducir el tiempo establecido para hormigoneras convencionales.

C.4.3.3.9. El tiempo de mezclado no debe exceder 3 veces el mínimo establecido para cada equipo, ya que su prolongación no genera beneficios adicionales de homogeneidad y puede provocar desgaste del agregado grueso, mayor pérdida de agua por evaporación, elevación de temperatura y pérdida de aire intencionalmente incorporado.

ser los que se indican en la Tabla 4.8.

4.3.3.9. El tiempo máximo de mezclado para cada hormigón deberá establecerse en función de los equipos de mezclado empleados. Deberá ser el mínimo posible que garantice la homogeneidad del material.

**Tabla 4.8.** Tiempos mínimos de mezclado en hormigoneras de eje horizontal con inversión de marcha y de eje basculante.

Volumen de hormigón	Tiempo mínimo de mezclado
Igual o menor que 1 m <sup>3</sup>	90 s
Entre 1 m <sup>3</sup> y 2 m <sup>3</sup>	110 s
Entre 2 m <sup>3</sup> y 3 m <sup>3</sup>	130 s
Entre 3 m <sup>3</sup> y 4 m <sup>3</sup>	150 s
Mayor que 4 m <sup>3</sup>	180 s

#### 4.4. TRANSPORTE DEL HORMIGÓN HACIA Y EN LA OBRA

##### 4.4.1. Aspectos generales

C.4.4.1. La consistencia del hormigón aumenta con el tiempo de transporte conforme los materiales utilizados y la temperatura; esto puede ser importante y afectar la colocación del hormigón.

No se debe confundir el aumento de consistencia con el comienzo del fraguado del hormigón. El tiempo de fraguado inicial debe ser mayor que la suma de los tiempos requeridos para transportar, colocar y compactar el hormigón. Para determinados tipos de estructuras, como pilotes y elementos flexados de grandes dimensiones que se hormigonen en tiempo caluroso, el tiempo de transporte debe permitir colocar y compactar el hormigón antes que comience el fraguado inicial.

Las condiciones de transporte del hormigón deben establecerse teniendo en cuenta la consistencia del material, el aumento de consistencia con el tiempo y el fraguado.

En los artículos siguientes se describen los métodos de transporte, tanto hasta la obra como dentro de la misma, su campo de aplicación y particularidades.

#### **4.4.2. Transporte en camiones sin dispositivos mezcladores ni de agitación**

4.4.2.1. El hormigón con un *asentamiento* igual o menor que **7,0 cm** a la salida de la planta elaboradora, puede ser transportado, hasta la obra y dentro de la misma, en camiones o vehículos adecuados sin dispositivos mezcladores ni de agitación, si se cumplen todas las condiciones establecidas en los artículos 4.4.1.2 a 4.4.1.7 inclusive.

4.4.2.2. El hormigón no se debe *segregar* durante el transporte.

4.4.2.3. Los *vehículos de transporte* deben tener cajas metálicas, lisas, estancas con aristas y vértices redondeados, y deben estar provistos de puertas que permitan controlar la descarga del hormigón, y de los medios o cubiertas necesarias para proteger al hormigón contra las acciones climáticas y contra toda posibilidad de contaminación con sustancias extrañas.

4.4.2.4. Al momento de su descarga del vehículo de transporte, el hormigón debe tener la consistencia necesaria para su colocación y compactación acorde con los equipos disponibles en el lugar, de acuerdo con las prescripciones de este Código.

4.4.2.5. El hormigón debe ser completamente descargado con tiempo suficiente para que pueda ser colocado, compactado y terminado con los medios disponibles en la obra antes de que se haya alcanzado su tiempo de fraguado inicial (norma IRAM 1662).

4.4.2.6. Se debe verificar que el hormigón sea uniforme luego de haber sido transportado con los equipos dispuestos, aplicando el criterio establecido en el artículo 4.1.6. Ello se debe realizar al inicio del proceso y luego con una frecuencia igual o menor de 3 meses, o cuando hubiere presunción de alteraciones en el proceso.

4.4.2.7. Si no se determina el tiempo de fraguado inicial del hormigón para verificar la condición establecida en el artículo 4.4.1.5, o no se controla la uniformidad del hormigón luego de efectuado el transporte, de acuerdo con el artículo 4.4.1.6, se debe limitar el transporte por este medio a un recorrido máximo de 10 km, exclusivamente por camino nivelado, y la descarga del hormigón se debe concluir en un lapso máximo de 30 minutos desde que el agua se puso en contacto con el cemento.

#### **4.4.3. Transporte del hormigón mediante motohormigoneras o equipos agitadores**

4.4.3.1. Los equipos motohormigoneros deben cumplir con las condiciones establecidas en la norma IRAM 1666-2.

C.4.4.3.2. Para que la velocidad del tambor de la motohormigonera pueda ser considerada como de mezclado deberá estar comprendida entre 14 y 18 rev/min y la velocidad del tambor para el caso de agitación del hormigón deberá estar entre 2 y 6 rev/min.

4.4.3.2. Cuando el mezclado del hormigón se complete en planta el transporte se debe realizar con el tambor de la motohormigonera en velocidad de agitación. Cuando el mezclado se efectúe en la motohormigonera en tránsito, el transporte se realizará a velocidad de mezclado hasta que se completen de 70 a 100 revoluciones del tambor, manteniéndolo luego en velocidad de agitación.

4.4.3.3. Cuando la motohormigonera llegue a pie de obra, antes de proceder a su descarga, se debe realizar un remezclado del hormigón con velocidad de giro del tambor correspondiente a mezclado. El

C.4.4.3.4. La consistencia del hormigón al momento de la descarga debe ser compatible con los medios disponibles para colocarlo y compactarlo de acuerdo con lo indicado en este Código.

C.4.4.3.6. Se suele limitar a un máximo de 300 las revoluciones del tambor de la motohormigonera a fin de minimizar inconvenientes como trituración de agregados blandos, aumento de consistencia del hormigón, abrasión del tambor y efectos negativos del tiempo caluroso. Si se determina que exceder el límite indicado no resulta perjudicial, especialmente en lo concerniente a la pérdida de asentamiento, se puede superar el total de revoluciones empleando velocidad de agitación.

C.4.4.3.7. En caso de agregar agua, se debe acordar entre el productor de hormigón y los responsables de la obra, la metodología para la medición, la incorporación y el control del agua a agregar para recuperar el asentamiento.

C.4.5.1. Los equipos y medios de transporte del hormigón deben ser capaces de entregar, en el punto de descarga, en forma continua y confiable, un hormigón de constitución homogénea. Tal eficiencia se debe determinar aplicando el criterio establecido en el artículo 4.1 de este Código Modelo, debiendo modificarse el proceso o los medios si la evaluación resultara negativa.

número necesario de revoluciones del tambor se debe determinar de acuerdo con el criterio de cumplimiento de la uniformidad de composición del hormigón producido, establecido en la norma IRAM 1666-3, pero en ningún caso debe ser menor a 25 revoluciones.

4.4.3.4. La descarga total de las motohormigoneras se debe producir con tiempo suficiente para que el hormigón se pueda colocar, compactar y terminar con los medios disponibles en la obra antes de haber alcanzado su tiempo de fraguado inicial.

4.4.3.5. Al comienzo de la obra y ante la advertencia de anomalías en la uniformidad del hormigón el director de obra deberá verificar la eficiencia de mezclado de los equipos motohormigoneros, aplicando el criterio establecido en el artículo 4.1.6.

4.4.3.6. Cuando no se determine el tiempo de fraguado inicial del hormigón para verificar el artículo 4.4.3.4, o no se controle la uniformidad del hormigón, según el artículo 4.4.3.5, la descarga total de las motohormigoneras se debe producir antes de que transcurran 90 minutos contados a partir del momento en que el agua se puso en contacto con el cemento, o antes que se alcance el límite de 300 revoluciones contadas a partir del mismo momento.

En tiempo caluroso (artículo 5.2.) o en condiciones que favorezcan el endurecimiento del hormigón, el tiempo de transporte hasta la descarga total del hormigón se debe limitar a 60 min desde que el agua se puso en contacto con el cemento.

4.4.3.7. Durante el transporte se puede producir un **aumento** de consistencia importante que afecte las condiciones de colocación y compactación. En esos casos, el incremento de consistencia será compensado antes de la descarga del hormigón, por alguno de los siguientes métodos:

a) Mediante el **agregado de un aditivo superfluidificante**.

b) Mediante el **agregado de agua**. En este caso, la cantidad de agua a agregar debe ser parte del agua total correspondiente a la dosificación de la mezcla.

## 4.5. MANIPULEO DEL HORMIGÓN EN OBRA

### 4.5.1. Generalidades

El hormigón debe ser conducido desde la hormigonera, desde el lugar de descarga de la motohormigonera o desde los vehículos de transporte hasta el emplazamiento definitivo, con la mayor rapidez posible y sin interrupciones, empleando métodos y procedimientos que eviten la pérdida de humedad y la segregación del mismo.

La verificación de la uniformidad del hormigón luego de efectuado su manipuleo, se debe realizar cada vez que existan dudas sobre la eficacia del proceso dispuesto, presunción de deficiencias en el funcionamiento del equipo utilizado o si se detectan alteraciones significativas en el hormigón en colocación. Será de aplicación el criterio de uniformidad establecido en el artículo 4.1.6.

### 4.5.2. Transporte del hormigón mediante canaletas

4.5.2.1. Las canaletas sólo se pueden emplear como elementos auxiliares verificando que no produzcan segregación del hormigón.

4.5.2.2. Las superficies de la canaleta en contacto con el hormigón se

deben confeccionar con materiales no absorbentes, y deben ser lisas, estancas y sus aristas y vértices deben ser redondeados.

4.5.2.3. La inclinación máxima de las canaletas debe ser aquella que permita el escurrimiento lento de la masa fresca, sin segregación de los componentes. No debe superar los 35° a partir de la horizontal

#### **4.5.3. Transporte del hormigón mediante cintas**

C.4.5.3.1. El perfil transversal que adopta la cinta en condiciones de transporte, la inclinación en el sentido del transporte y la velocidad de transporte, deben ser tales que aseguren la homogeneidad del hormigón transportado, evitando su segregación, de acuerdo al criterio prescrito en el artículo 4.1.6.

4.5.3.1. El transporte mediante cintas se puede utilizar para hormigones con consistencias muy seca a muy plástica. Las cintas serán de material no absorbente y de sección transversal cóncava.

C.4.5.3.2. Las partículas de agregado de diferente tamaño llegan a los puntos de transferencia con diferente impulso. Esto puede provocar segregación del hormigón y se regula mediante la tolva de descarga.

4.5.3.2. El hormigón transportado por cintas debe ser descargado en el sitio de colocación a través de una tolva. La velocidad de transporte no debe provocar segregación en el punto de transferencia.

4.5.3.3. Cuando se deba evaluar la homogeneidad del hormigón, de acuerdo con lo indicado en el artículo 4.5.1, dicha evaluación se debe efectuar al final del conjunto de cintas de transporte y tolvas de transferencia con el criterio establecido en el artículo 4.1.6.

4.5.3.4. En épocas con temperatura ambiente igual o mayor que 25°C o humedad relativa del aire inferior a 70 %, se debe evitar la pérdida de humedad del hormigón.

#### **4.5.4. Transporte del hormigón por bombeo**

4.5.4.1. La composición del hormigón debe permitir transportarlo por bombeo sin segregación como una vena continua, evaluándose el comportamiento en la boca de descarga de la cañería.

El procedimiento de bombeo no debe afectar la homogeneidad del hormigón. Ello se debe verificar con muestras obtenidas, en distintas oportunidades, del punto de descarga de la cañería y aplicando el artículo 4.1.6.

Cuando se transporte por bombeo una mezcla con aire intencionalmente incorporado, la cantidad de aire especificada se deberá verificar en el hormigón al final de la cañería de bombeo.

4.5.4.2. El equipo de bombeo debe asegurar un transporte continuo del hormigón hasta el lugar de su colocación definitiva.

4.5.4.3. Las cañerías, soportes, fijaciones y uniones del conjunto de bombeo deben estar diseñados para soportar el doble de la presión máxima del equipo. Las cañerías no deben estar constituidas por aluminio ni aleaciones que lo contengan, y deben tener un diámetro interno por lo menos 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso del hormigón. Los conductos flexibles, o manguas, sólo se admiten en el extremo de descarga.

4.5.4.4. Las instalaciones se deben limpiar mediante agua a presión al finalizar las tareas de hormigonado, y cada vez que se interrumpa el

bombeo por un lapso superior a la mitad del tiempo de fraguado inicial del hormigón. Si no se determina el tiempo de fraguado del hormigón, se debe limpiar en forma total la cañería cuando se interrumpa el bombeo por un lapso superior a 60 minutos.

4.5.4.5. Cuando la cañería de bombeo termine en un tramo vertical o subvertical descendente, se debe adoptar una de las siguientes alternativas:

- a) Durante todo el hormigonado, la tubería vertical debe estar llena y con su extremo final sumergido en el hormigón fresco ya colocado.
- b) Horizontalizar un tramo de tubería antes de la descarga.

#### **4.5.5. Transporte del hormigón mediante tuberías verticales**

Las tuberías para el transporte vertical del hormigón, desde una cota superior a una cota inferior, deben estar constituidas por caños de sección circular. Los mismos pueden ser metálicos, de material plástico o goma. Su diámetro debe ser igual o mayor que ocho veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

### **4.6. COLOCACIÓN**

#### **4.6.1. Aspectos generales**

**C.4.6.1.** A modo de referencia se enumeran puntos a verificar:

- a) Dimensiones, niveles, alineación, estanqueidad y condiciones de los encofrados.
- b) Diámetros, separaciones, recubrimiento y estado superficial de las armaduras.
- c) Estado de las superficies de las fundaciones.
- d) Seguridad en las estructuras de apuntalamiento de los encofrados y otros elementos de sostén.
- e) Disponibilidad suficiente en cantidad y calidad de los materiales, equipos y mano de obra necesarios para realizar las operaciones de colocación, compactación, terminación y curado continuo de los elementos estructurales.

El hormigón se debe disponer en el sitio más cercano al de su posición definitiva, evitando desplazamientos laterales y la segregación del hormigón.

Antes de iniciar las operaciones de hormigonado se deben verificar los encofrados, superficies de las fundaciones, estado y disposición de las armaduras, seguridad de elementos de sostén, disponibilidad de equipamiento y mano de obra.

#### **4.6.2. Estructuras hormigonadas en contacto con el suelo**

4.6.2.1. Los elementos de fundación no se deben ejecutar directamente sobre el suelo. Este debe ser cuidadosamente limpiado, compactado y alisado, para luego recubrirlo con una capa de hormigón bien compactada y de un espesor igual o mayor que 50 mm, denominada capa de limpieza, de la misma calidad que el hormigón del elemento de fundación que apoyará sobre ella. En caso de hormigones de clase mayor al H30 se podrá utilizar como hormigón de limpieza un H30.

4.6.2.2. El espesor de esta capa de limpieza no se debe tener en cuenta a los efectos del dimensionamiento estructural.

4.6.2.3. Luego de construida la capa de limpieza deberá transcurrir el tiempo necesario para evitar su degradación antes de construir sobre

ella el elemento de fundación.

C.4.6.2.4. Las superficies congeladas se deben descongelar hasta una profundidad tal que, una vez colocado el hormigón, la superficie de contacto no se vuelva a congelar durante el período establecido para protección del hormigón.

4.6.2.4. No se debe colocar hormigón sobre terrenos o superficies de fundación congelados, o que estén cubiertos de hielo, nieve o materiales congelados.

#### **4.6.3. Estructuras hormigonadas en contacto o bajo agua**

C.4.6.3.1. Para el caso de agua en movimiento se deberán realizar estudios particulares.

4.6.3.1. Estas especificaciones contemplan el caso de hormigón en contacto con agua quieta.

4.6.3.2. Cuando haya que colocar hormigón bajo agua, para la composición del mismo se deben respetar los requisitos establecidos en el Capítulo 9 de este Código.

C.4.6.3.3. Las técnicas de colocación de hormigón bajo agua se basan en evitar el flujo de agua a través de la masa fresca. El procedimiento (bombeo o colado por tuberías) debe garantizar que el hormigón se coloque desde adentro de la masa fresca ya colocada. Una cantidad inicial funciona como sello o tapón, de modo que la mayor parte del hormigón no se ponga en contacto con el agua. En general, este hormigón colocado para sello (que toma contacto con el agua circundante) debe ser posteriormente eliminado, y no tomarse en consideración.

4.6.3.3. La colocación se debe realizar evitando el flujo de agua a través de la masa de hormigón fresco. La incorporación del nuevo hormigón se debe hacer desde adentro de la masa fresca ya colocada para que no tome contacto con el agua circundante.

C.4.6.3.4. En general, y dependiendo del hormigón empleado, detenciones y demoras menores de 30 minutos no requieren de mayores cuidados al reinicio del proceso de moldeo. Si se excede ese límite se puede perder la continuidad en el hormigonado. Esta situación se puede superar si el hormigón contiene un retardador de fraguado y se continúa la colocación de modo que el hormigonado no se detenga totalmente, aunque se efectúe a ritmo muy lento, hasta que se restablezca el suministro normal.

4.6.3.4. El proceso de hormigonado debe ser continuo. Se deben evitar interrupciones en el hormigonado en las que se puedan producir pérdida de fluidez o inicio del fraguado.

En caso que por fuerza mayor ocurrieren, el proyectista y/o el Director de Obra deberán adoptar los estudios necesarios para reiniciar el proceso sin afectar la integridad de la estructura.

A efectos de evitar inconvenientes durante la colocación del hormigón, se recomienda duplicar los controles de consistencia y contenido de aire de los hormigones colocados bajo agua.

#### **4.6.4. Estructuras hormigonadas en contacto con encofrados**

4.6.4.1. Las superficies internas de los encofrados, se deben limpiar en forma cuidadosa, eliminando todo resto de mortero u hormigón endurecidos y cualquier otra sustancia extraña o restos de madera que ocupen el lugar donde se debe colocar el hormigón.

- 4.6.4.2. Al empezar la colocación del hormigón no debe existir acumulación de agua u otros líquidos sobre la superficie de los encofrados.
- C.4.6.4.3. El uso de una membrana drenante adosada al encofrado para mejorar el hormigón de recubrimiento, no se contrapone con la exigencia de que el encofrado no sea poroso.
- 4.6.4.3. Las superficies internas de los encofrados no deben ser porosas, y se deben cubrir con un agente antiadhesivo que facilite el rápido y limpio desencofrado de los elementos estructurales, sin producir roturas del hormigón, sin mancharlo ni alterar su proceso de endurecimiento.
- 4.6.4.4. Sobre la superficie interna del encofrado se pueden colocar membranas destinadas a mejorar la calidad del hormigón de recubrimiento de armaduras, o para lograr efectos estéticos en la superficie de hormigón visto. La utilización de estas membranas está condicionada a que se demuestre que las mismas no producen otros efectos que alteren las características del hormigón endurecido.
- 4.6.5. Disposiciones sobre colocación del hormigón**
- 4.6.5.1. El hormigón debe ser colocado, compactado y terminado en obra antes de que alcance el tiempo de fraguado inicial.
- 4.6.5.2. El hormigón se debe colocar en capas horizontales y continuas de un espesor máximo de 0,50 m, las cuales deben ser completamente compactadas antes que la capa precedente haya alcanzado el tiempo de fraguado inicial. Se exceptúan de esta limitación los elementos estructurales indicados en el artículo 4.6.5.3. Dichas capas pueden ser continuas o escalonadas, según sea la longitud y espesor del elemento estructural. Cada capa debe ser solidarizada a la inferior, mediante la compactación conjunta con un espesor mínimo de 5 cm de la capa inferior.
- 4.6.5.3. En columnas, vigas y otros elementos estructurales esbeltos y de volumen reducido, el espesor de la capa de hormigonado se puede aumentar a 1 m, si se verifica que se puede obtener la máxima densidad del hormigón sin pérdida de homogeneidad.
- C.4.6.5.4. Los conductos pueden ser rígidos, articulados o flexibles.
- 4.6.5.4. La máxima altura para verter el hormigón libremente será de 1,50 m. Para alturas mayores se debe conducir la vena de hormigón empleando embudos y/o conductos metálicos verticales ajustables, de forma cilíndrica.
- 4.6.5.5. No se debe colocar hormigón si las condiciones climáticas (lluvia, viento, nieve, humedad ambiente) pueden perjudicar su calidad o impedir que las operaciones de colocación, compactación, protección y curado inicial se realicen en forma adecuada.
- 4.6.5.6. El vertido del hormigón se debe efectuar de modo tal que la masa fresca no cambie bruscamente la dirección de su movimiento, ni que impacte contra obstáculos que puedan originar rebote.
- 4.6.5.7. El ingreso del hormigón en los encofrados se debe realizar en forma continua y con la menor velocidad de colocación posible.
- 4.6.5.8. Cuando no se disponga de los medios adecuados y eficaces para proteger al hormigón y evitar los efectos perjudiciales de las temperaturas extremas, de acuerdo con los artículos 5.1 y 5.2, se deben interrumpir las operaciones de colocación.

4.6.5.9. Durante las operaciones de colocación y compactación del hormigón, las armaduras no se deben deformar, ni desplazar con respecto a la ubicación establecida en los planos.

#### **4.6.6. Hormigonado de elementos típicos**

4.6.6.1. Las losas se deben hormigonar en todo su espesor mediante fajas continuas y paralelas, preferentemente en la dirección de la luz menor. El ancho de la faja debe ser el que corresponda para que, al colocar el hormigón de la faja contigua, el hormigón de la anterior no haya comenzado a fraguar (ver artículo 4.6.5.1).

4.6.6.2. En superficies planas, el vertido se debe ejecutar a distancias cortas entre sí, evitando la formación de grandes pilas o montículos que requieran de importantes movimientos transversales para alcanzar su sitio definitivo.

4.6.6.3. Se recomienda hormigonar las columnas hasta el nivel de fondo de vigas sin colocar las armaduras de las vigas. Posteriormente se tratarán las juntas constructivas, se colocarán las armaduras de vigas y se continúa con las operaciones constructivas.

4.6.6.3. Cuando se hormigonan columnas se debe evitar colar el hormigón a través de armaduras de vigas muy densas.

4.6.6.4. En las vigas placas, el nervio y la losa se deben hormigonar en forma simultánea con el objeto de garantizar la absorción del esfuerzo de corte que se produce entre ambos. En caso contrario se deben disponer elementos de transferencia del esfuerzo de corte dimensionados de acuerdo con las prescripciones de este Código.

4.6.6.5. Las bases de fundación se deben ejecutar preferentemente en una sola operación continua. Cuando por razones constructivas ello no fuera posible, se permite subdividir su hormigonado, tratando las superficies de contacto de acuerdo con lo establecido en el artículo 4.8.4. En este caso se debe presentar una memoria de cálculo sobre la transferencia de los esfuerzos cortantes y detalles de la ejecución, la cual debe ser aprobada por la Dirección de Obra.

4.6.6.6. Los elementos estructurales que apoyen sobre bases se deben moldear, como mínimo, después de transcurridas 48 h de la ejecución de las mismas.

4.6.6.7. Cuando se coloque hormigón en una superficie inclinada, la operación se debe iniciar en el punto más bajo de aquella, aplicando técnicas de colocación y características de la mezcla fresca que eviten el desplazamiento del hormigón al compactar.

4.6.6.8. Si se interrumpiese la construcción de la estructura por un período mayor de 3 meses, se deben proteger las armaduras salientes en espera, destinadas a vincular la futura ampliación, contra los efectos de la corrosión utilizando una capa continua de pasta de cal protegida con un mortero de cemento. No se pueden proteger las armaduras salientes en espera utilizando hormigón pobre o mampostería sin previamente realizar sobre las barras las protecciones establecidas precedentemente.

4.6.6.9. Al reiniciar la construcción de una estructura se deben limpiar en forma cuidadosa las armaduras salientes, retirando todo vestigio de material de protección y de óxido. Antes de utilizar la armadura en

espera se debe verificar su estado, en especial la parte empotrada debajo de la interfase hormigón-aire; ante signos de corrosión avanzada deberán ser reemplazadas total o parcialmente. Se considera corrosión avanzada cuando, luego de la limpieza, se constata una disminución de cualquier sección transversal igual o mayor que 10 %.

## 4.7. COMPACTACIÓN

### 4.7.1. Requisitos generales

4.7.1.1. Durante e inmediatamente luego de colocado, el hormigón se debe compactar hasta alcanzar la máxima densidad posible, evitando eliminar aire intencionalmente incorporado (si existe), la segregación del hormigón y que queden porciones sin consolidar.

4.7.1.2. En ningún caso se debe colocar hormigón fresco sobre otro que no haya sido compactado.

4.7.1.3. El hormigón no debe ser vibrado ni revibrado después que el mismo alcanzó su tiempo de fraguado inicial.

4.7.1.4. Una vez alcanzado el tiempo de fraguado inicial del hormigón, y hasta por lo menos **24 h** después de haberlo alcanzado, se debe evitar todo movimiento, golpe o vibración de los encofrados y de los extremos salientes de las armaduras.

4.7.1.5. Antes del inicio de cada hormigonado se deben disponer en el lugar equipos alternativos de colocación y compactación para reemplazar a aquellos que sufran desperfectos.

C.4.7.1.6. La magnitud de la energía necesaria para compactar el hormigón es función de su comportamiento reológico. A los fines prácticos se la correlaciona con la consistencia de la mezcla fresca, la que a su vez se vincula con las características de la estructura a moldear.

En el Anexo A4 se indican los medios de compactación recomendados de acuerdo con la consistencia del hormigón fresco.

4.7.1.6. El método de compactación debe ser elegido de acuerdo con lo establecido en el artículo 4.1.1.1.

4.7.1.7. Cuando se coloque hormigón en una superficie inclinada, la operación se debe iniciar en el punto más bajo de aquella, aplicando técnicas que eviten el desplazamiento del hormigón cuando se efectúen las operaciones de compactación.

### 4.7.2. Compactación mediante vibradores de inmersión

C.4.7.2.1. La vibración se efectúa con el objeto de reducir la fricción entre las partículas para darle mayor movilidad a la masa fresca y para eliminar el aire que pudiese quedar ocluido en el hormigón fresco, alcanzando así una mayor compacidad.

El diámetro del elemento vibrante debe permitir su fácil introducción en los encofrados y a través de las armaduras.

En el Anexo A4 se indican, para cada rango de consistencia del hormigón, las características de los vibradores

4.7.2.1. La masa de elemento vibrante se debe elegir teniendo en cuenta la consistencia del hormigón y la frecuencia y amplitud de vibración, de forma tal que fluidifique la masa del hormigón eliminando vacíos, sin producir segregación ni eliminación de aire intencionalmente incorporado en el hormigón.

recomendados. Dada la importancia de su correcto funcionamiento se debe verificar que la frecuencia y amplitud se encuentren dentro de los valores recomendados.

El control de la eficiencia del equipo se realiza según norma IRAM 1705.

C.4.7.2.4. Un exceso de energía de compactación se manifiesta como pérdida de homogeneidad y/o segregación del hormigón. En hormigones de consistencia fluida o muy fluida la vibración no es necesaria para mejorar la movilidad del material. Se recomienda utilizarla exclusivamente para eliminar el aire atrapado y mejorar la compacidad de la mezcla colocada, reduciendo el tiempo de vibrado al mínimo imprescindible.

C.4.7.2.5. La vibración debe ser interrumpida en el momento que cese el desprendimiento de las grandes burbujas de aire y se observe la aparición de agua y/o de lechada en la superficie del hormigón.

C.4.7.3.1. Se recomienda el uso de varillas de 16 mm de diámetro, con superficie lateral lisa y de punta redondeada. Su largo será el suficiente

4.7.2.2. El hormigón de consistencias muy seca, seca y plástica se debe compactar con vibradores internos de alta frecuencia. Cuando sea posible se debe complementar con golpeteo de los encofrados y/o con vibradores de encofrados.

4.7.2.3. En el hormigón de consistencia muy plástica se aplica lo indicado en 4.7.2.2. En elementos confinados, como tabiques delgados y revestimientos de bóvedas de túneles, la compactación se puede complementar con vibradores de encofrados.

4.7.2.4. El hormigón de consistencias fluida y muy fluida se debe compactar por vibración interna muy leve y cuidadosa.

4.7.2.5. Al compactar con vibración interna se debe asegurar que:

a) los vibradores se inserten a distancias uniformemente espaciadas entre sí, con una separación menor que el diámetro del círculo dentro del cual la vibración es visiblemente efectiva.

b) Los vibradores se deben introducir y extraer de la masa de hormigón en posición vertical. Se debe retirar el vibrador en forma lenta, asegurando que se cierre adecuadamente el hueco dejado por el vibrador en el hormigón.

c) en cada lugar de inserción, el vibrador debe ser mantenido solo el tiempo necesario y suficiente para compactar el hormigón, sin que el mismo se segregue.

d) en ningún caso se deben utilizar los vibradores como medio para el desplazamiento del hormigón colocado.

e) se debe evitar el contacto de los vibradores con el encofrado o con las armaduras, y que el vibrado produzca la deformación o el desplazamiento de las armaduras.

4.7.2.6. Al vibrar una capa de hormigón, la inmediata inferior aún debe estar en condiciones de ser revibrada, no habiendo superado su tiempo inicial de fraguado. El vibrador debe atravesar la nueva capa totalmente y penetrar en la inferior para asegurar la unión entre ambas, evitando la formación de un plano de junta.

### 4.7.3. Compactación manual por varillado

4.7.3.1. La compactación manual se debe realizar mediante el picado de la masa fresca utilizando varillas de acero. Se debe complementar mediante el golpeteo, con una maza de madera o de goma, de los

para compactar la totalidad del espesor de las capas de hormigón colocado.

encofrados laterales.

4.7.3.2. Esta modalidad de compactación se puede usar exclusivamente en hormigones de consistencias muy plástica, fluida y muy fluida. En hormigones de consistencia muy plástica, la compactación por varillado está condicionada a que se realice en forma muy enérgica. Al varillar se debe asegurar la compactación de todo el volumen de hormigón y evitar el contacto con el encofrado o con las armaduras, y que se produzca deformación o desplazamiento de estas últimas.

#### 4.7.4. Compactación mediante vibradores de encofrados

C.4.7.4.1. Es conveniente el uso de vibradores externos de encofrado cuando la disposición de la armadura no permita introducir satisfactoriamente vibradores internos y cuando se requieran paramentos vistos muy lisos.

4.7.4.1. El hormigón de consistencia muy seca, utilizado en la fabricación de piezas prefabricadas in situ o en taller, se debe compactar mediante vibradores de encofrado y/o presión externa.

C.4.7.4.2. Son preferibles los vibradores de encofrado de baja frecuencia y alta amplitud de oscilación.

4.7.4.2. Los hormigones de consistencias seca y plástica se pueden compactar con vibradores de inmersión y de encofrados. En aquellos casos en que el hormigón se encuentre en posición inaccesible para ser compactado con vibradores de inmersión se admite utilizar únicamente vibradores de encofrado.

C.4.7.4.3. Los vibradores de encofrado pueden producir segregación aún con tiempos menores que los vibradores de inmersión.

4.7.4.3. Los vibradores de encofrado deben operar a frecuencias comprendidas entre 50 Hz y 100 Hz. Se debe controlar en forma permanente el tiempo de vibrado para evitar la segregación del hormigón, particularmente en las zonas adyacentes a los encofrados.

### 4.8. SUPERFICIES Y JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN

C.4.8. En el Capítulo 8 se desarrolla en forma más exhaustiva el tema de las juntas en estructuras de hormigón.

#### 4.8.1. Definición

Se entiende por juntas de construcción a una superficie entre dos masas de hormigón, colocadas en instancias distintas, pero que forman parte de un mismo elemento estructural. Las juntas de construcción pueden ser programadas o accidentales debidas estas últimas a contingencias durante el proceso de hormigonado.

#### 4.8.2 Tipos de juntas

C.4.8.2.1. Lograr buena adherencia en una junta de construcción siempre requiere adoptar medidas y precauciones que lo transforman en un trabajo cuidadoso. Es preferible minimizar las juntas de construcción a las estrictamente indispensables, realizando estructuras continuas y monolíticas. Para más información ver Capítulo 8.

4.8.2.1. Los Documentos del proyecto deben incluir la ubicación de las **juntas de construcción programadas**.

C.4.8.2.2. En la medida que sea posible, las juntas se deben disponer normales a la dirección de los esfuerzos principales de compresión.

4.8.2.2. Las **juntas de construcción accidentales** (no consideradas en los planos) se deben ejecutar en la forma que menos perjudique a la resistencia, durabilidad y aspecto de la estructura.

### 4.8.3. Ejecución y tratamiento de las juntas de construcción

4.8.3.1. En las *estructuras estancas*, todas las *juntas de construcción* previstas en los Documentos del Proyecto, deben estar diseñadas con una barrera de estanqueidad (water-stop) a fin de impedir el paso de agua a través de las mismas.

4.8.3.2. Siempre que un *hormigón fresco* deba ponerse en contacto con otro ya *endurecido*, o cuyo endurecimiento se ha iniciado al haberse superado su tiempo final de fraguado, la superficie de contacto del hormigón debe ser tratada para asegurar una buena adherencia, como se especifica en el artículo 4.8.4 de este Código.

C.4.8.3.3. No se admite el uso de membranas de curado.

4.8.3.3. *Toda superficie expuesta* que constituirá una *junta de construcción*, debe ser mantenida con curado húmedo continuo hasta que la nueva capa de hormigón sea colocada o hasta que se cumpla con el tiempo mínimo establecido en el artículo 4.10.

4.8.3.4. El tratamiento de las *superficies y juntas de construcción* se debe iniciar tan pronto como sea posible sin que se perjudique la calidad del hormigón colocado.

C.4.8.3.5. La superficie de la junta debe ser lavada enérgicamente luego de la limpieza, hasta eliminar todo resto de material suelto. La eliminación del material indeseable de la superficie o junta de construcción no se debe realizar picando la superficie con una herramienta cortante ni someténdola a operaciones de martelinado.

4.8.3.5. De acuerdo con el grado de endurecimiento del hormigón colocado, y el tamaño de la junta de construcción, la *limpieza de su superficie* se debe realizar mediante rasqueteo con cepillos de alambre, chorro de agua a presión, o combinando chorro de arena y agua a presión. Esta operación se debe continuar hasta eliminar la lechada, mortero u hormigón porosos y toda sustancia extraña, dejando al descubierto hormigón de buena calidad y las partículas de agregado grueso de mayor tamaño, cuya adherencia no debe verse perjudicada, obteniendo una superficie lo más rugosa posible. Las *partículas de agregado grueso* que queden expuestas deberán tener *empotrado* las tres cuartas partes de su volumen o los dos tercios de su altura.

C.4.8.3.6. Luego de humedecida la superficie, el momento adecuado para aplicar el hormigón fresco es cuando dicha superficie haya perdido su brillo.

4.8.3.6. Antes de colocar el nuevo *hormigón en estado fresco sobre la junta* la superficie de unión debe ser humedecida con agua; luego se debe eliminar toda película o acumulación de agua que hubiese podido quedar sobre la misma.

C.4.8.3.7. Cuando se aplique la primera capa de hormigón fresco junto a una junta de construcción, se debe verificar que la misma se compacte cuidadosamente para asegurar la adherencia requerida.

4.8.3.7. La adherencia entre el hormigón fresco a colocar y el hormigón endurecido existente se alcanza colocando al primero en forma directa sobre el hormigón endurecido, asegurándose que la mezcla fresca disponga de suficiente mortero en su composición.

C.4.8.3.8. La necesidad de mejorar la adherencia puede deberse a los esfuerzos a que estará sometida la estructura o para lograr una mayor estanqueidad. En condiciones de alta temperatura ambiente se deben extremar los recaudos referidos al tiempo de endurecimiento del producto.

4.8.3.8. En casos de excepción y para solucionar juntas constructivas no previstas en el proyecto y producidas durante la marcha de la obra, se pueden emplear adhesivos específicos, denominados *puentes de adherencia*, sobre los que exista fehaciente información. El producto debe mantener su capacidad de adherencia durante el tiempo necesario para la aplicación del puente, el acondicionamiento final de los encofrados y las armaduras y la colocación del hormigón fresco.

### 4.8.4. Diseño de las juntas de construcción

C.4.8.4.1. Las juntas de construcción se deben ubicar en aquellos lugares donde ocasionen el menor debilitamiento de la estructura.

4.8.4.1. Las *juntas de construcción* se deben diseñar y ubicar de manera tal que no perjudiquen la resistencia de la estructura. A tal fin se deben adoptar las medidas necesarias para garantizar la transferencia

El diseño para fuerzas laterales puede requerir un tratamiento especial de diseño de juntas de construcción.

del corte y de otros esfuerzos a través de las juntas de construcción.

C.4.8.4.4. Un desfase en la colocación del hormigón en elementos estructurales que apoyan en columnas y tabiques se considera necesario para evitar el agrietamiento de la zona de contacto con el elemento de soporte, que se puede originar por exudación y asentamiento plástico del hormigón del elemento de apoyo.

4.8.4.2. Las **juntas de construcción** de los pisos se deben ubicar dentro del tercio medio o central de las luces de las losas y vigas.

4.8.4.3. Las **juntas de construcción** en las vigas principales se deben desfazar una distancia mínima igual a dos veces el ancho de las vigas secundarias que se interceptan.

4.8.4.4. Las vigas, vigas principales y losas que se apoyen en columnas o en tabiques, no se deben hormigonar hasta tanto el hormigón de los elementos de apoyo haya dejado de ser plástico y desarrollado la resistencia necesaria.

En elementos prefabricados el montaje no se deberá realizar hasta tanto el hormigón de los elementos de apoyo haya alcanzado la resistencia necesaria.

C.4.8.4.5. El hormigonado por separado de losas, vigas, ménsulas y elementos similares sólo será permitido cuando sea indicado en los documentos del Proyecto y se adopten las medidas necesarias para transferir esfuerzos.

4.8.4.5. Las vigas, vigas principales, ménsulas cortas, ábacos y capiteles se deben hormigonar monolíticamente como parte del sistema de losas, a no ser que se indique lo contrario en los planos del Proyecto o en las Especificaciones Técnicas.

## 4.9. JUNTAS DE CONTRACCIÓN Y DE DILATACIÓN

### 4.9.1. Ubicación

Las **juntas de contracción** y de **dilatación** se deben ejecutar en los lugares y de acuerdo con los detalles establecidos en los planos de proyecto de la estructura y en los **Documentos del Proyecto**.

### 4.9.2. Metodología de ejecución

4.9.2.1. Previamente a su implementación se deben aprobar los métodos y materiales a emplear en la ejecución de las juntas de contracción y de dilatación, los cuales deben estar indicados en los **Documentos del Proyecto**.

4.9.2.2. En el caso **estructuras** de **estancas**, las juntas de contracción y de dilatación también deben serlo.

## 4.10. PROTECCIÓN Y CURADO DEL HORMIGÓN

### 4.10.1. Acciones que originan la necesidad de protección

4.10.1.1. Inmediatamente después de su colocación el hormigón debe ser **protegido**, durante el período en que permanece en estado plástico y en sus edades tempranas, contra las acciones que pudieran agredirlo. Las **protecciones** deben permanecer hasta que el hormigón adquiriera la resistencia suficiente para no ser afectado.

C.4.10.1.2. Los pisos industriales y pavimentos de hormigón también son elementos extremadamente sensibles a

4.10.1.2. El hormigón debe ser **especialmente protegido**, adoptándose las medidas indicadas en este Código para cada tipo de agresión, ante:

a) Secado prematuro por la combinación y acción del sol, temperatura, humedad relativa y del viento, particularmente en estructuras con

estos procesos, pero exceden el alcance de este Código.

grandes superficies no encofradas y expuestas, como losas de entresijos.

b) Secado prematuro por circulación del aire, particularmente en túneles, conductos, galerías y estructuras similares, donde se evitará la circulación de aire por su interior, manteniéndolos cerrados durante el mayor tiempo posible.

c) Contacto directo con lluvia y/o nieve.

d) Agua en movimiento.

e) Aguas, líquidos, suelos o sustancias agresivas para el hormigón que puedan existir en el lugar de emplazamiento de la estructura.

f) Acciones mecánicas, oscilaciones, vibraciones o sobrecargas.

g) Temperaturas extremas (tanto bajas como elevadas).

h) Acción del fuego.

C.4.10.1.3. Si bien la problemática de la contracción plástica, no se restringe al caso de climas extremos, se desarrolla en profundidad en el Capítulo 5.

4.10.1.3. Cuando las condiciones ambientales impliquen riesgos de contracción plástica se deben tomar las medidas indicadas en el Capítulo 5.

#### 4.10.2. Curado del hormigón

C.4.10.2.1. El curado debe asegurar que el hormigón mantenga la humedad y la temperatura necesarias para que se desarrolle la hidratación del cemento y se alcancen las propiedades especificadas para el hormigón.

4.10.2.1. El **curado** se debe realizar en **todas las estructuras**, con independencia de la clase de hormigón y del tipo de estructura. **El curado se debe mantener hasta que el hormigón de la estructura alcance el 70 % de la resistencia de diseño.**

Lo indicado en este Código corresponde a las medidas mínimas necesarias para alcanzar la resistencia y durabilidad proyectadas para el hormigón.

Los métodos de curado se basan en evitar la pérdida del agua disponible en la mezcla fresca, restituir el agua perdida por evaporación durante el tiempo de curado, o acelerar su endurecimiento por curado con vapor. Estos procedimientos pueden ser independientes o complementarse entre sí según las condiciones ambientales y características y requerimientos constructivos de las estructuras.

4.10.2.2. **La duración del curado** para verificar la condición establecida en el artículo 4.10.2.1 se controlará de acuerdo con el artículo 4.3, mediante el **ensayo de probetas cilíndricas curadas en forma similar a la estructura o aplicando el criterio de madurez.**

4.10.2.3. **El curado se debe iniciar tan pronto el hormigón haya endurecido lo suficiente como para que su superficie no resulte afectada** por el método de curado adoptado. Cuando el hormigonado se realice en condiciones ambientales que puedan afectar al hormigón, este deberá ser convenientemente protegido hasta que se inicie el curado. Serán de aplicación las acciones que correspondan establecidas en los artículos 5.1 y 5.2.

C.4.10.2.4. Por simplicidad, los períodos de curado indicados están especificados

4.10.2.4. Cuando no se verifique el desarrollo de resistencia de acuerdo con lo establecido en los artículos 4.10.2.1 y 4.10.2.2, el **período**

según el tipo de cemento utilizado, aunque en forma estricta dependen de la velocidad de endurecimiento. Especial atención merece el uso de cementos con baja velocidad de endurecimiento, para los que en la Tabla 4.9 se requieren 8 días de curado mínimo, por las diferencias que se pueden encontrar entre diferentes marcas u origen.

**mínimo de curado húmedo continuo** para estructuras no masivas, contado a partir del momento de la colocación del hormigón, será el indicado en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9. Periodos mínimos de curado.

Edad de diseño del hormigón	Cemento		Tiempo mínimo de curado
	Tipo	Categoría	
7 días	CPx (ARI)	50	3 días
28 días	CPN	40 - 50	5 días
	CPF	30	
	CPC		
	CPE		
	CPP		
28 días	CAH	30 - 40 - 50	8 días

C.4.10.2.5. Cuando el hormigón de la estructura inmediatamente después de construido estará en contacto con condiciones de exposición muy agresivas, es recomendable extender el período de curado tanto como sea posible, para mejorar la impermeabilidad y durabilidad del hormigón.

4.10.2.5. Para cumplimentar lo requerido en el artículo 4.10.2.4, se deben computar como **días válidos de curado aquellos en los que la temperatura media del aire en contacto con la estructura sea igual o mayor que 10 °C**.

Se debe computar un día de curado por cada dos días en que la temperatura media del aire esté comprendida entre 5 °C y 10 °C.

Sin perjuicio de lo anterior, también son de aplicación los requisitos establecidos en el artículo 5.1 para **hormigón sometido a bajas temperaturas**, en especial lo indicado en el artículo 5.11.6.

4.10.2.6. Durante el período de curado establecido los **encofrados no impermeables** que permanezcan colocados y las **estructuras que se desencofren antes de finalizar dicho período** se deben mantener continuamente humedecidos.

4.10.2.7. Al finalizar el **período de protección y curado** el hormigón no debe ser sometido a cambios bruscos de temperatura, debiendo los mismos ser graduales. En el caso de **hormigón no masivo** el gradiente máximo será de 3 °C/h y sin sobrepasar 20 °C cada 24 h.

4.10.2.8. Cuando se prevean **períodos de curado extensos con temperaturas inferiores a 10 °C** se debe medir la temperatura efectiva que alcanza el interior del hormigón en la estructura.

C.4.10.3. El agua se debe aplicar directamente sobre la superficie del hormigón o sobre las cubiertas de arpilleras, mantos de arena, tierra o paja, que estén en contacto directo con la superficie de la estructura y en permanente estado saturado para mantener la humedad del hormigón el tiempo establecido.

**4.10.3. Curado con agua**

Durante el período de curado establecido el **hormigón** se debe mantener **permanentemente humedecido** a una temperatura mayor a 10 °C. Para ello se puede adicionar agua mediante inmersión total, riego en forma de niebla fina o mediante rociadores. El agua utilizada para el curado debe cumplir las condiciones establecidas en el Capítulo 3 de este Código.

#### 4.10.4. Curado mediante compuestos líquidos capaces de formar membranas

C.4.10.4.1. El producto se puede aplicar usando equipos rociadores de accionamiento neumático, eléctrico o mecánico. Se recomienda aplicar dos capas cruzadas y colocadas una inmediatamente después de la otra, en la proporción que indique el fabricante, garantizando homogeneidad y cubrimiento total de la superficie. Si lloviese antes de que el producto haya secado, se debe cubrir nuevamente la superficie con el compuesto en la forma indicada precedentemente.

4.10.4.1. Los **compuestos** que se utilicen deben cumplir las condiciones establecidas en la norma IRAM 1675:1975 y no deben provocar reacciones desfavorables para el fraguado y el endurecimiento del hormigón.

4.10.4.2. El producto se debe entregar en obra **listo para su empleo**, y en **ningún caso debe ser diluido ni alterado en obra**.

4.10.4.3. En el caso de **superficies expuestas de hormigón fresco**, el producto se debe aplicar inmediatamente después que haya desaparecido la película brillante de agua libre sobre la superficie. Como excepción, cuando la operación esté supervisada por la Dirección de Obra y se empleen membranas a base solvente, se podrá adelantar la aplicación y realizarse una vez finalizadas las operaciones de terminación. La Dirección de Obra deberá demostrar que este procedimiento asegura el curado eficiente del hormigón.

4.10.4.4. En el caso de **superficies desmoldadas de hormigón endurecido**, el producto se debe aplicar después de finalizadas las operaciones de desencofrado, previa saturación de la superficie con agua e inmediatamente después de que haya desaparecido la película brillante de agua libre sobre la superficie.

4.10.4.5. Las **superficies cubiertas con el compuesto** deben estar permanentemente protegidas durante el periodo de curado, no permitiéndose el paso de peatones, equipos o vehículos sobre la membrana, salvo en zonas en donde se realicen caminos para ese fin.

4.10.4.6. Cuando las condiciones del medio ambiente y la temperatura del hormigón puedan ocasionar la fisuración por **contracción plástica** (ver el artículo 5.2), inmediatamente después de terminada la superficie se aplicará un **rociado con agua en forma de niebla**. Este proceso debe ser suspendido cuando el hormigón esté en condiciones de recibir la membrana de curado.

4.10.4.7. El **curado con membranas** no se debe aplicar sobre superficies a las que posteriormente se deba adherir hormigón fresco, mortero u otros revestimientos, salvo en el caso en que la superficie sea luego tratada de acuerdo a lo especificado en el artículo 4.8.

#### 4.10.5. Curado mediante membranas preformadas

C.4.10.5.1. Las membranas preformadas pueden ser:

a) Películas plásticas de un espesor mínimo de 0,1 mm. El color suele ser blanco o negro según convenga por razones térmicas.

4.10.5.1. Se puede efectuar el curado mediante la utilización de **membranas preformadas** que impidan la pérdida de agua del hormigón, las que se aplicarán tan pronto como sea posible, pero sin afectar la superficie del hormigón, especialmente en el caso de superficies donde además de la planicidad se deba respetar una determinada textura superficial.

b) Papel reforzado de dos hojas tipo kraft adheridas entre sí con un cementante, tratadas para reducir la deformación por humedecimiento y secado, y con superficie reflectante.

4.10.5.2. Las **láminas sin roturas** se deben aplicar firmemente sobre las superficies expuestas de hormigón fresco, solapadas entre sí no menos de **40 cm**, extendidas por fuera de los límites de los elementos que protegen, y sostenidas de modo que su desplazamiento esté impedido durante todo el lapso de curado establecido.

4.10.5.3. Las **superficies transitables** cubiertas con láminas de curado deben estar permanentemente protegidas durante el período de curado no permitiéndose el paso de peatones, equipos o vehículos sobre la membrana, salvo en zonas donde se realicen caminos para ese fin.

4.10.5.4. El **curado mediante membranas preformadas** no se debe aplicar sobre las superficies donde esté especificada una terminación vista y la apariencia de la misma fuese relevante, a excepción de que se la combine con un curado por adición de agua inicial hasta que el hormigón haya superado en **12 h** su tiempo de fraguado final.

#### **4.10.6. Curado a vapor**

4.10.6.1. Previamente a su aplicación, la metodología e instalaciones a utilizar deben ser aprobados por el Proyectista o la Dirección de Obra, según corresponda.

4.10.6.2. Para mantener la temperatura y la humedad en las cámaras de curado se debe utilizar vapor saturado a presión atmosférica. Los chorros de vapor deben rodear a los elementos estructurales y nunca incidir directamente sobre ellos, ni sobre las probetas moldeadas que se almacenen en la cámara para el control de las resistencias.

4.10.6.3. Las cámaras o recintos donde se realice el curado, deben permitir la libre circulación del vapor entre los elementos estructurales, y estarán construidas de forma tal de minimizar las pérdidas de humedad y temperatura.

4.10.6.4. Las cámaras o recintos deben contar en su interior con termómetros e higrómetros registradores, para medir en forma continua las variaciones de temperatura y humedad.

C.4.10.6.5. El ciclo de curado a vapor consta de varias etapas que incluyen un incremento gradual de la temperatura, un período a alta temperatura aproximadamente constante y un descenso gradual de la temperatura. En muchos casos esto se complementa con un curado húmedo posterior a temperatura ambiente. Todas las etapas están interrelacionadas y la resistencia final depende de la duración y de las temperaturas utilizadas en cada etapa.

4.10.6.5. El ciclo térmico del curado a vapor debe ser estudiado experimentalmente para demostrar que, con los materiales componentes elegidos, las proporciones calculadas para la mezcla y los equipos de obra, el hormigón alcanzará la resistencia de rotura a la compresión especificada tanto a corta como a larga edad.

C.4.10.6.6. En este artículo se establecen algunas condiciones que se deben contemplar en el diseño de un ciclo de curado a vapor.

4.10.6.6. Independientemente de lo establecido en el artículo 4.10.6.5, el ciclo térmico debe cumplir con las siguientes condiciones mínimas:

a) Antes de iniciar el curado a vapor, los elementos estructurales se deben dejar estacionar al aire a una temperatura entre 10 °C y 30 °C

El uso de temperaturas elevadas durante períodos cortos, por ejemplo 80 °C, puede provocar resistencias menores a la edad de 28 días que las que se logran usando temperaturas menores durante un lapso mayor.

Asimismo, temperaturas mayores a 80°C pueden provocar problemas de durabilidad por formación de etringita secundaria.

C.4.10.6.9. El curado húmedo convencional inmediatamente después del traslado de los elementos es de suma importancia para mejorar la durabilidad y reducir la permeabilidad del hormigón con curado acelerado.

hasta el comienzo de su fraguado inicial.

b) El calentamiento y el posterior enfriamiento del elemento estructural deben ser graduales, y con una velocidad de aumento y disminución de la temperatura en la atmósfera de la cámara limitada entre 10 °C y 30 °C por hora.

c) La temperatura máxima para el curado a vapor no podrá superar los 80 °C en cualquier lugar de la cámara.

d) Finalizado el ciclo de curado a vapor los elementos estructurales no se deben someter a cambios bruscos de temperatura.

4.10.6.7. Las probetas para verificar la resistencia del hormigón se deben moldear exclusivamente en moldes metálicos y colocar en lugares de la cámara de curado en donde la temperatura y la humedad sean representativas de los valores medios reinantes en la misma.

4.10.6.8. Los elementos estructurales pueden ser trasladados cuando la resistencia media de al menos tres probetas, obtenida de acuerdo con el artículo 4.10.6.7, alcance el valor especificado por el Proyectista para su movilización.

4.10.6.9. Inmediatamente después del traslado de los elementos estructurales y de las probetas de control, ambos se deben someter a un curado continuo adicional hasta verificar la condición establecida en los artículos 4.10.2.1 y 4.10.2.2. Este curado adicional se realizará con agua, con una membrana de curado o con la combinación de ambos.

Si no se controla la resistencia durante el curado adicional, este se debe realizar durante un lapso de 7 días.

Cuando a la salida del curado acelerado se verifican las condiciones 4.10.2.1 y 4.10.2.2 no es necesario realizar el curado adicional.



**ANEXO A4**  
**HORMIGON FRESCO**

**1. MEDIOS DE COMPACTACIÓN**

**Tabla A4.1.** Medios de compactación recomendados para cada rango de consistencia del hormigón fresco

<b>Consistencia</b>	<b>Sistema de compactación aplicable</b>
Muy seca	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vibración interna y/o externa de máxima intensidad.</li> <li>• Vibro compresión.</li> <li>• Medios de compactación para suelos.</li> </ul>
Seca	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vibración interna y/o externa de máxima intensidad.</li> <li>• Vibro compresión.</li> </ul>
Plástica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apisonado enérgico superficial.</li> <li>• Vibración interna y/o externa de alta intensidad.</li> <li>• Centrifugación y vibro-compresión.</li> </ul>
Muy plástica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Varillado enérgico de la masa.</li> <li>• Apisonado intenso superficial.</li> <li>• Vibración interna de moderada intensidad.</li> <li>• Reglas vibratorias de acción superficial.</li> </ul>
Fluida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Varillado normal de la masa.</li> <li>• Apisonado superficial suave.</li> <li>• Eventual vibración interna en casos limitados.</li> </ul>
Muy fluida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acción de la gravedad solo en pilotes excavados.</li> <li>• Varillado normal de la masa.</li> <li>• Eventual vibración interna en casos limitados.</li> </ul>

**Tabla A4.2.** Características recomendadas de los vibradores de inmersión

<b>Rango de Consistencia</b>	<b>Diámetro de la aguja</b>	<b>Valores sugeridos de</b>			<b>Radio de acción</b>
		<b>Frecuencia</b>	<b>Fuerza centrífuga</b>	<b>Amplitud</b>	
	<b>mm</b>	<b>Hz</b>	<b>kg</b>	<b>mm</b>	<b>cm</b>
Muy seca	80 a 150	130 a 180	680 a 1800	0,80 a 1,50	30 a 50
Seca	50 a 90	130 a 200	320 a 900	0,60 a 1,30	18 a 36
Plástica	30 a 60	140 a 210	140 a 400	0,50 a 1,00	13 a 25
Muy plástica	20 a 40	150 a 250	45 a 180	0,40 a 0,80	8 a 15
Fluida	20 a 40	150 a 250	45 a 180	0,40 a 0,80	8 a 15
Muy fluida	20 a 40	150 a 250	45 a 180	0,40 a 0,80	8 a 15

## 2. METODOS DE DOSIFICACIÓN

### 2.1 Dosificación racional mediante pastones de prueba

*Las proporciones de las mezclas para las diferentes clases de hormigones, materiales y condiciones de elaboración con que se ejecutará la obra*, se deben establecer experimentalmente, en base a la preparación y ensayo de pastones de prueba, elaborados bajo las siguientes condiciones:

a) se deben emplear **tres (3) razones agua/cemento distintas**, que comprendan a la elegida de acuerdo con el artículo 4.2.4 y con contenidos de materiales cementicios que produzcan un intervalo de resistencias que comprenda a la resistencia de diseño ( $f'_{cr}$ ).

b) **el asentamiento del hormigón debe ser el especificado para la estructura donde se empleará el hormigón**, con las tolerancias admitidas en la Tabla 4.2.

c) el **contenido de aire** incorporado debe ser el especificado para la estructura a construir, con las tolerancias admitidas en la Tabla 4.3.

d) la **temperatura** de la mezcla fresca en el laboratorio debe estar comprendida dentro de un intervalo de  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  respecto de la máxima temperatura que se prevé que tendrá el hormigón en el momento de ser mezclado y colocado en obra.

e) para cada **razón agua/cemento** se deben moldear por lo menos tres (3) probetas cilíndricas de **15 cm** de diámetro y **30 cm** de altura o, si corresponde, un mínimo de cuatro (4) probetas cilíndricas de **10 cm** de diámetro y **20 cm** de altura, para la edad de diseño y para cada edad de ensayo adicional que se desee. Las probetas se deben preparar, curar y acondicionar para su ensayo en un todo de acuerdo con lo establecido en las normas IRAM 1524 o 1534.

Los **ensayos de resistencia a la compresión** se deben realizar en las condiciones que establece la norma IRAM 1546, a la edad de diseño que corresponda, en un todo de acuerdo con lo establecido en el artículo 4.2.1. En el caso de cilindros de 10 cm de diámetro se deberán minorar los resultados conforme lo indicado en 6.1.6.1.

f) con los resultados de los ensayos se debe trazar una curva que relacione las **razones agua/cemento del hormigón con las resistencias medias de rotura a la compresión a la edad de diseño**, obtenidas con las mezclas mencionadas en a).

De la curva trazada para la resistencia de diseño de la mezcla establecida de acuerdo con el artículo 4.2.2.2, se debe obtener la **razón agua/cemento a utilizar en la obra**. El valor obtenido no debe exceder la máxima razón establecida por consideraciones de durabilidad, de acuerdo con el artículo 4.2.4.1.

g) **la mezcla resultante se debe ajustar posteriormente con los materiales y equipos disponibles en la obra**, antes de iniciar su producción industrial. Las proporciones finales se establecerán de modo tal que no sea excedida la máxima relación agua/cemento determinada según f), cuando el asentamiento sea el máximo especificado.

### 2.2. Dosificación racional basada en información de experiencias previas

*La dosificación del hormigón se puede calcular mediante métodos racionales aplicados a la información experimental obtenida en obra o en laboratorio, siempre que se cumpla que:*

a) La relación agua/cemento sea elegida de acuerdo con lo establecido en el artículo 4.2.4.

b) La información necesaria se haya obtenido mediante ensayos realizados dentro de los últimos doce (12) meses.

c) Los materiales, equipos y condiciones de diseño, sean similares a las que se utilizarán en la obra que motiva la dosificación a realizar.

d) La mezcla sea finalmente ajustada en obra de acuerdo con lo establecido en el artículo 2.1.g).

### 2.3. Dosificación del hormigón sin armar establecida en forma empírica

*Para los hormigones clase H-15, exclusivamente, se pueden adoptar dosificaciones empíricas basadas en proporciones preestablecidas, si se cumple que:*

a) La condición de exposición de la estructura sea del tipo A1, según lo indicado en el Capítulo 2.

b) Se utilicen cementos de acuerdo con el artículo 3.1.1.1 y se asegure los contenidos mínimos indicados en la Tabla A4.3.

c) No se utilicen aditivos ni adiciones minerales de ningún tipo.

d) La consistencia del hormigón pertenezca a las consistencias seca, plástica, muy plástica y fluida con exclusión de las consistencias muy seca y muy fluida.

e) El cemento se deberá medir en bolsa entera o en peso.

**Tabla A4.3.** Contenido mínimo de cemento, según la consistencia de la mezcla, para hormigones simples dosificados en forma empírica

	<b>Contenido mínimo de cemento por metro cúbico de hormigón (kg)</b>		
<b>Consistencia</b>	<b>Seca y plástica</b>	<b>Muy plástica</b>	<b>Fluida</b>
<b>H-15</b>	300	320	350



## CAPÍTULO 5. HORMIGONADO EN TIEMPO FRÍO Y CALIDO

### 5.1. REQUISITOS PARA EL HORMIGONADO EN TIEMPO FRÍO

**C.5.1.1.** Para el hormigón de corta edad, los riesgos por razones climáticas se incrementan cuando a las temperaturas ambientales de congelación se suman fuertes vientos.

Los requisitos para el hormigonado en tiempo frío, establecidos por este Código, se basan en el documento *ACI 306 R-10 "Cold Weather Concreting"*

**C.5.1.2.** El tiempo frío puede presentar algunas ventajas para colocar hormigón. El hormigón que es colocado a baja temperatura (5 °C a 13 °C), protegido contra el congelamiento y que recibe un curado prolongado, desarrolla mayor resistencia última, mayor durabilidad, también reduce el riesgo de fisuración por retracción térmica.

La temperatura del hormigón en el momento de su colocación se debe mantener tan cerca de los mínimos establecidos como sea practicable, y preferentemente no superar los 25 °C. De no ser así puede sufrir una rápida pérdida de humedad desde la superficie expuesta al ambiente frío, porque el hormigón caliente, a su vez calienta el aire frío circundante, reduciendo así la humedad relativa de este último.

**C.5.1.3.** Debido a que la temperatura del hormigón afecta la velocidad de pérdida de asentamiento y puede afectar el comportamiento de los aditivos, las fluctuaciones de su temperatura pueden originar un comportamiento variable de los sucesivos pastones.

Los materiales se deben calentar uniformemente ya que diferencias de temperatura pueden modificar la demanda de agua, incorporación de aire, la consistencia y el tiempo de fraguado.

Si los agregados están libres de hielo y de terrones congelados, habitualmente basta calentar sólo el agua de mezclado para obtener la temperatura mínima requerida en el hormigón. Pero cuando la temperatura del aire está por debajo de los - 4°C, suele ser necesario calentar también los agregados. Rara vez es necesario calentar los agregados a

#### 5.1.1. Definición

Este Código define como *tiempo frío* al período en el cual durante más de tres (3) días consecutivos existen las siguientes condiciones:

- La *temperatura media diaria ambiente* es menor que 5 °C.
- La *temperatura ambiental* es igual o menor que 10 °C durante medio día de cualquier período de 24 h.

Este Código considera como *temperatura media diaria ambiente* al promedio de las temperaturas máxima y mínima que ocurren durante las 24 h de dos días consecutivos.

#### 5.1.2. Temperaturas de colocación del hormigón fresco

La *temperatura del hormigón fresco inmediatamente después de su colocación*, debe ser igual o mayor que la indicada en la línea I de la Tabla 5.1. Dichas temperaturas mínimas tienen en cuenta la temperatura ambiente y la menor dimensión lineal de la sección transversal.

La *temperatura de colocación del hormigón* no debe superar en más de 10 °C a los mínimos indicados en la línea I y debe estar lo más próxima posible a esos mínimos.

La temperatura del hormigón fresco a la salida de la planta elaboradora debe tener en cuenta las pérdidas de calor durante el transporte. A ese efecto se debe calcular la temperatura a la salida de planta que permita cumplir con la temperatura mínima de colocación. Por defecto, se deben utilizar los valores indicados en la Tabla 5.1, líneas II, III y IV.

#### 5.1.3. Temperaturas máximas de calentamiento de los materiales

Cuando sea necesario *calentar los materiales componentes* para que el hormigón alcance las temperaturas de colocación establecidas en el artículo 5.1.2, se deben respetar las siguientes temperaturas máximas:

- Agua de mezclado: 80 °C;
- Agregados: 65 °C de media, y en cualquier punto de la masa de los mismos menor que 80 °C.

Los *equipos empleados para calentar los materiales*, lo deben hacer en forma *uniforme* en toda su masa. *En ningún caso la temperatura del hormigón fresco* resultante será mayor que 30 °C.

temperaturas superiores a los 15 °C, si el agua de mezclado se calienta a 60 °C.

Para calentar los agregados se deberá seleccionar un método apropiado con la suficiente anticipación a la elaboración del hormigón como para alcanzar un sustancial equilibrio entre el contenido de humedad y la temperatura.

Si se conocen las temperaturas de todos los constituyentes y el contenido de humedad de los agregados, se puede estimar la temperatura del hormigón como se indica en el Anexo A5.

Cuando se utilice agua de mezclado a temperatura regulada, se debe disponer de cantidad suficiente de la misma para evitar las fluctuaciones de temperatura del hormigón entre pastón y pastón.

**Tabla 5.1.** Temperaturas de colocación del hormigón, en tiempo frío.

	Temperatura del aire	Mínima dimensión lineal de la sección (cm)			
	°C	Menor a 30	30 a 90	90 a 180	Mayor a 180
Temperatura mínima a la que se debe colocar y mantener el hormigón durante el período de protección					
<b>I</b>	-----	13 °C	10 °C	7 °C	5 °C
Temperatura mínima recomendada a la salida de la planta dosificadora, según sea la temperatura del aire					
<b>II</b>	<b>-1 a +7</b>	16 °C	13 °C	10 °C	7 °C
<b>III</b>	<b>-18 a -1</b>	18 °C	16 °C	13 °C	10 °C
<b>IV</b>	<b>Menor a -18</b>	21 °C	18 °C	16 °C	13 °C
Variación máxima admisible de la temperatura del hormigón en las primeras 24 horas posteriores a la finalización del período de protección					
<b>V</b>	-----	28 °C	22 °C	17 °C	11 °C

#### 5.1.4. Elaboración del hormigón

5.1.4.1. No deben utilizarse agregados que contengan hielo adherido a su superficie. Para la eliminación del hielo no deben emplearse sales o productos químicos.

C.5.1.4.2. El contacto prematuro de agua muy caliente con cantidades concentradas de cemento puede causar fraguado instantáneo y bochas de cemento en la hormigonera. Puede ser una ayuda agregar el agua caliente y el agregado grueso antes que el cemento y detener o reducir la adición de agua mientras se cargan el cemento y los agregados finos.

5.1.4.2. Se debe cuidar el **orden de ingreso a la hormigonera de los materiales componentes de la mezcla**, evitando que el cemento se ponga en contacto con materiales que estén a temperaturas mayores a 60 °C.

Hay aditivos que pierden efectividad en contacto con agua caliente. En estos

casos se deben adoptar precauciones, e incorporar el aditivo después de que la temperatura del agua se haya reducido por el contacto con los otros materiales.

C.5.1.5.1. La preparación para el hormigonado implica primariamente, asegurar que todas las superficies que estarán en contacto con el hormigón colocado se encuentren a temperaturas que no puedan causar el congelamiento temprano, ni una prolongación importante del tiempo de fraguado del hormigón.

Asimismo, la colocación del hormigón alrededor de elementos metálicos masivos empotrados en él, que estén a temperaturas inferiores al punto de congelación del agua en el hormigón, puede ocasionar el congelamiento local del hormigón en la interfase. Si la interfase permanece congelada más allá del momento del vibrado final del hormigón, se producirá una disminución permanente de la resistencia a la adherencia en dicha interfase, situación que se debe evitar.

Inmediatamente antes de hormigonar se debe remover toda la nieve, el hielo y la escarcha, de modo tal que ellos no ocupen el espacio destinado a ser llenado con el hormigón. Para ello se permite utilizar chorros de aire caliente sobre los encofrados, armaduras y otros elementos empotrados. A menos que el área de trabajo se encuentre dentro de un recinto, este trabajo se debe realizar inmediatamente antes de colocar el hormigón, para prevenir un nuevo congelamiento de la misma.

C.5.1.5.2. Respecto al punto d) las superficies de contacto incluyen moldes y encofrados; elementos metálicos que queden empotrados en el hormigón; suelos de fundaciones y subrasantes hasta **10 cm** por debajo de la superficie de contacto con el hormigón; hormigón endurecido hasta **10 cm** de la superficie de construcción.

### 5.1.5. Colocación del hormigón

5.1.5.1. Las **operaciones de colocación** no se deben iniciar, o deben ser interrumpidas, **cuando se carezca de medios adecuados para proteger al hormigón** de las bajas temperaturas, (ver el artículo 5.1.6), y se den algunas de las siguientes condiciones:

- La **temperatura ambiente** en el lugar de la obra, a la sombra y lejos de toda fuente artificial de calor, sea menor que **5 °C**.
- Cuando pueda preverse que **dentro de las 48 h** siguientes al momento de colocar el hormigón, la **temperatura ambiente** pueda descender por debajo de **0 °C**.

A tales efectos, el hecho de que la **temperatura ambiente a las nueve de la mañana sea menor de 4 °C**, se debe considerar como indicio suficiente para prever que dentro del plazo indicado se alcanzará el límite de temperatura antes establecido.

5.1.5.2. Durante los **períodos de baja temperatura ambiente**, antes de iniciar las tareas de colocación, se debe verificar que:

- Existan en obra los medios necesarios para **proteger al hormigón** contra la acción de las bajas temperaturas.
- Los materiales componentes del hormigón estén **libres** de nieve, hielo o escarcha, inmediatamente antes de su ingreso a la hormigonera.
- Los encofrados, armaduras y lugares que ocupará el hormigón estén **libres** de nieve, hielo o escarcha.
- La **temperatura de la superficie de contacto** sea igual o mayor que **2° C** y no debe superar en más de **5 °C** a las temperaturas mínimas de colocación dadas en la Tabla 5.1.

5.1.5.3. El hormigón que haya resultado perjudicado por la **acción de las bajas temperaturas, debe ser eliminado antes de continuar con las tareas de hormigonado.**

### 5.1.6. Protección y curado del hormigón

C.5.1.6.1. Previo al inicio de las tareas de hormigonado, se debe disponer en el lugar de los elementos para cubrir, aislar o calentar el hormigón recientemente colocado.

Es necesario proteger al hormigón inmediatamente después de su colocación, para prevenir su congelación a temprana edad. Esta protección debe permitir que en todas las secciones del hormigón moldeado se alcancen las condiciones de temperatura y humedad establecidas en este Código.

Durante el tiempo frío, la protección provista por los encofrados, excepto aquéllos de acero, a menudo es de gran significación. Aún en recintos cerrados, los encofrados sirven para distribuir uniformemente el calor.

La mayor parte del calor de hidratación del cemento se desarrolla durante los primeros días. Si se protege al hormigón para conservar ese calor durante los períodos mínimos establecidos, en general no es necesario agregar calor desde fuentes externas para mantener la temperatura mínima requerida.

Siempre que se proteja al hormigón, se recomienda llevar un registro continuo que incluya fecha y hora, temperatura exterior, temperatura del hormigón en el momento de colocación, condiciones generales del tiempo, temperatura ambiente en distintos puntos del recinto de protección, incluyendo superficies, ángulos y aristas del hormigón, en varios lugares de la estructura.

C.5.1.6.3. Para verificar la resistencia in situ se pueden seguir los lineamientos indicados en el artículo 4.3.

5.1.6.1. Cuando se espere que la **temperatura media del ambiente descienda** por debajo de **5 °C**, después de su colocación, el hormigón fresco debe ser protegido y mantenido a temperaturas iguales o mayores que las mínimas establecidas en la línea **I** de la Tabla 5.1, durante un período no menor que el indicado en el artículo 5.1.6.2, con las aclaraciones indicadas en los artículos 5.1.6.3 y 5.1.6.4.

5.1.6.2. Cuando el hormigón contenga **aire intencionalmente incorporado**, el período de protección mínimo debe ser el indicado a continuación, según sea el tipo de cemento utilizado:

- a) Cementos portland normal y fillerizado: tres **(3)** días.
- b) Cemento de alta resistencia inicial: dos **(2)** días.
- c) Cementos de bajo calor de hidratación, puzolánico, compuesto, con escorias y cemento de alto horno: seis **(6)** días.

5.1.6.3. Si el hormigón **no contiene aire intencionalmente incorporado** en su masa, los **períodos de protección** establecidos en el artículo 5.1.6.2 deben ser **duplicados**. Como alternativa, el período de protección se debe extender como mínimo hasta que el hormigón haya desarrollado una resistencia in situ igual o mayor que **7 MPa**.

5.1.6.4. Durante el **período de protección del hormigón** se pueden admitir temperaturas de la masa inferiores a las indicadas en la línea **I** de la Tabla 5.1 siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- a) En ningún momento la **temperatura del hormigón de la estructura** será menor que **5 °C**.
- b) Dicha temperatura será monitoreada con **sensores empotrados en su masa**, que serán leídos no menos de cuatro **(4)** veces al día. Las lecturas

deben permitir el registro de los picos extremos.

c) La **protección del hormigón** se mantendrá durante el período de tiempo necesario para que el hormigón alcance una resistencia a compresión igual o mayor que **7 MPa**, y asegure el posterior desarrollo de la resistencia característica especificada.

d) La **protección exterior** debe ser suficientemente confiable frente a los fenómenos atmosféricos y las contingencias propias de la obra, para poder asegurar las condiciones antes establecidas [a), b) y c)].

C.5.1.6.5. Para evitar la pérdida del calor producido por la hidratación del cemento se pueden emplear:

- Encofrados protegidos con un material aislante (espuma de poliuretano, placas de poliestireno expandido, espuma vinílica, lana de vidrio, etc.).

- Mantas que contengan en su interior un material aislante (lana de vidrio, fibras celulósicas o paja).

- Materiales aislantes sueltos en elementos horizontales o sub-horizontales (paja, arena o tierra).

Dado que las esquinas y bordes son particularmente vulnerables, es conveniente triplicar el espesor de material aislante para estas partes.

El uso de recintos cerrados constituye el método de protección más efectivo, pero generalmente más caro. Los construidos con materiales rígidos, dada su mayor hermeticidad, mantienen mejor la temperatura ambiental interna. Estos recintos se pueden calentar mediante aire caliente, vapor de agua o radiadores. Cuando se empleen fuentes de calor distintas del vapor de agua, se adoptarán las precauciones necesarias para evitar el secado del hormigón.

C.5.1.6.6. El curado con agua es el método menos recomendable en clima frío. Cuando los recintos de protección se encuentran mal sellados se puede congelar el agua en el interior de los mismos. Por otra parte, al saturarse de agua el hormigón, crece la posibilidad de congelamiento del mismo al ponerse en contacto con el ambiente exterior, una vez finalizado el período de protección.

Los requisitos para hormigonado en tiempo caluroso aquí establecidos se basan en el documento *ACI 305 R-10*.

5.1.6.5. Para **proteger el hormigón del efecto de las bajas temperaturas** se deben utilizar cubiertas con **aislantes térmicos** que aprovechen el calor de hidratación, o cerramientos que permitan calentar con vapor de agua el recinto en que se encuentra la estructura.

Si para mantener la temperatura se emplean **radiadores o calefactores a combustión**, se deben adoptar las precauciones necesarias para evitar el secado del hormigón. Además, los gases de combustión se deben conducir hacia afuera del recinto calefaccionado para evitar la exposición del hormigón a una **atmósfera contaminada** con anhídrido carbónico.

5.1.6.6. El **curado del hormigón** durante el **período de protección** se debe realizar utilizando algunos de los métodos indicados en el artículo 4.10, combinándolos con la protección adecuada para cumplimentar los requisitos establecidos en los artículos 5.1.6.1 a 5.1.6.5.

En caso de emplearse un **curado húmedo** con aporte de agua o vapor, el mismo debe ser interrumpido no menos de **12 h** antes de que se termine el período de protección establecido.

5.1.6.7. Finalizado el **período de protección**, en caso de que existan temperaturas ambientes por encima de **10 °C** durante más de **12 h** de cualquier período de **24 h** por tres (3) días consecutivos, se debe considerar que el hormigón no está más sometido a tiempo frío y sobre él se continuará el curado normal.

## 5.2. REQUISITOS PARA EL HORMIGONADO EN TIEMPO CALUROSO

**C.5.2.1.** Los factores climáticos asociados a la alta temperatura ambiente incluyen: alta temperatura del hormigón, baja humedad relativa ambiente, velocidad del viento y radiación solar.

a) Efectos sobre el hormigón fresco:

- Mayor demanda de agua de mezclado.
- Mayor velocidad de aumento de consistencia, y por ende la tendencia a agregar agua en el lugar de colocación.
- Menor tiempo de fraguado inicial, dificultando las operaciones de transporte, colocación, compactación, terminación y curado. Crece la posibilidad de generar juntas de construcción no previstas.
- Mayor posibilidad de que se produzcan fisuras por contracción.
- Dificulta mantener bajo control el contenido de aire incorporado al hormigón.

b) Efectos sobre el hormigón endurecido:

- La mayor demanda de agua puede dar lugar a reducciones en la resistencia.
- Aumenta la tendencia a la fisuración por contracción por secado o shock térmico.
- Reduce la durabilidad del hormigón.
- Disminuye la posibilidad de lograr superficies vistas de apariencia uniforme.

C.5.2.2.1. A menudo se especifica una temperatura máxima del hormigón en el momento de ser colocado, en un intento de controlar su resistencia, durabilidad, fisuración por contracción plástica, fisuración térmica y contracción por secado.

El ACI no especifica una temperatura máxima, porque dependerá de las demás condiciones climáticas, y en cambio da un rango de temperaturas máximas a considerar, entre 24 y 38 °C.

C.5.2.2.2. La fisuración temprana debido a la contracción térmica es generalmente más severa en primavera y verano, debido a que la amplitud de temperatura en un período de 24 horas es mayor durante estas épocas del año.

Las medidas de precaución requeridas en un día ventoso y/o soleado serán más estrictas que las requeridas en un día

## 5.2.1. Definición

Este Código define como **tiempo caluroso** a cualquier combinación de factores climáticos asociados a la **alta temperatura ambiente** que tienda a perjudicar la calidad del hormigón fresco o endurecido o que contribuya al desarrollo de propiedades anormales del mismo.

## 5.2.2. Temperatura de colocación del hormigón fresco

5.2.2.1. La **temperatura del hormigón fresco** inmediatamente después de su colocación y compactación, debe ser igual o menor que **30 °C**. Cuando el proyectista establezca una temperatura menor de colocación, esta tendrá prelación sobre la indicada anteriormente.

5.2.2.2. La **temperatura** indicada en el artículo 5.2.2.1 no evita la formación de **fisuras por retracción térmica**. Cuando la tipología estructural y las condiciones del medio planteen la posibilidad de que ello ocurra y se deba evitar la fisuración térmica por razones de durabilidad y/o aptitud de servicio de la estructura, se deben realizar los estudios necesarios para fijar la temperatura máxima de colocación.

Lo expresado precedentemente es de especial aplicación, sin que las menciones sean taxativas, en **estructuras masivas, tabiques, losas de fundación y entrepisos de grandes dimensiones**, y en toda estructura en las que las formas estructurales y las restricciones de vínculos a la

tranquilo y húmedo, incluso si las temperaturas del aire son idénticas.

C.5.2.2.3. La fisuración por contracción plástica está asociada frecuentemente al hormigonado en tiempo caluroso en climas áridos y se puede producir siempre que la velocidad de evaporación sea mayor que la velocidad de exudación del hormigón.

En el Anexo A5, la Fig. A5.1 presenta la forma de estimar la velocidad de evaporación a partir de la temperatura del hormigón y las condiciones ambientales. También se incluye la fórmula (Ec. 4) que permite esa estimación. La Tabla A5.1 muestra que, desde el punto de vista de la fisuración plástica, temperaturas del hormigón aún menores que 30 °C pueden ser críticas.

C.5.2.3. La temperatura del hormigón fresco más favorable para su colocación en tiempo caluroso está comprendida entre 10 °C y 16 °C. Sin embargo, resulta difícil de obtener sin recurrir al enfriamiento artificial.

Si durante las tareas de hormigonado la temperatura del hormigón se incrementa en los sucesivos pastones, se pueden producir diversos inconvenientes que afecten la calidad final del material. Al aumentar la temperatura hay pérdida de asentamiento que, inadecuadamente, se tiende a compensar agregando agua a la mezcla, disminuyendo así la resistencia y afectando en forma desfavorable otras propiedades importantes del hormigón.

En el Anexo A5, se incluye la fórmula para la temperatura del hormigón recién mezclado.

C.5.2.4.1. Al fundirse, el hielo absorbe calor a razón de 80 cal/g (335 J/g). Para ser más efectivo, debe ser incorporado a la hormigonera en forma de escamas o fuertemente triturado como reemplazo parcial o total del agua de mezclado.

C.5.2.4.2. Dado que la mayor parte del hormigón está constituida por los agregados, la reducción de la temperatura de los mismos es prioritaria. En consecuencia, se deberán emplear todos los métodos prácticos necesarios para mantener los agregados lo más fríos posible.

El rociado de los agregados gruesos con agua puede reducir su temperatura por evaporación y por enfriado directo. No

retracción térmica puedan producir tensiones mayores que la resistencia a tracción.

5.2.2.3. El *hormigonado en tiempo caluroso* puede provocar la fisuración por *contracción plástica* del hormigón. La temperatura indicada en el artículo 5.2.2.1 no asegura su prevención.

Cuando se hormigone en *tiempo caluroso* se deben prever las condiciones necesarias para evitar la contracción plástica.

### 5.2.3. Reducción de la temperatura del hormigón

Para *reducir la temperatura del hormigón* se puede adoptar uno o más de los siguientes métodos:

- a) Usar cemento con la menor temperatura posible.
- b) Mantener los acopios de agregados a la sombra, y refrigerarlos por humedecimiento con agua en forma de niebla para reducir su temperatura.
- c) Refrigerar el agua de mezclado.
- d) Emplear hielo en reemplazo parcial o total del agua de mezclado.
- e) Mantener a la sombra o aislados térmicamente o pintados de blanco o de color claro a los silos, tolvas, depósitos y cañerías que conducen el agua de mezclado, y al tambor de la hormigonera.

### 5.2.4. Elaboración del hormigón

5.2.4.1. Cuando se utiliza *hielo*, el mismo se debe fundir totalmente antes de terminar el período de mezclado.

5.2.4.2. Si los *agregados se refrigeran con agua en forma de niebla*, se debe descontar del total de agua de mezclado, la aportada por los agregados.

obstante, el mojado de los agregados tiende a causar variaciones en la humedad superficial y por lo tanto a producir cambios en la consistencia y en la razón agua/cemento del hormigón.

C.5.2.4.3. Siempre resultará conveniente minimizar el contenido de cemento. En tal sentido puede evaluarse el uso de adiciones minerales apropiadas, que no impliquen una aceleración del proceso de hidratación, demanda de agua excesiva u otros efectos desfavorables.

C.5.2.4.4. Los aditivos retardadores de fraguado o fluidificantes y retardadores de fraguado son benéficos para el hormigonado en tiempo cálido. Estos aditivos permiten compensar la aceleración del fraguado producida por la mayor temperatura del hormigón, pero no son de aplicación para resolver otros efectos térmicos desfavorables. Se pueden combinar con otros aditivos y la dosis de retardador se debe ajustar conforme la temperatura de colocación del hormigón.

En comparación con hormigones que no poseen aditivos, una mezcla con aditivo reductor de agua y retardador puede tener mayor velocidad de pérdida de asentamiento, no obstante, en general si el asentamiento inicial es aumentado para compensar dicha pérdida, la reducción neta de agua y otros beneficios serán substanciales.

El uso de aditivos superfluidificantes o superfluidificantes-retardadores de fraguado puede ser beneficioso en tiempo caluroso cuando se los emplea para producir hormigones fluidos, al incrementar la velocidad de colocación y compactación.

C.5.2.4.5. Los procedimientos de mezclado en las condiciones de tiempo caluroso no son diferentes a las buenas prácticas bajo condiciones ambientales normales.

Es conveniente minimizar el tiempo de mezclado y la velocidad de la mezcladora para evitar aumentos innecesarios en la temperatura del hormigón. Tan pronto como el hormigón ha sido mezclado hasta lograr su homogeneidad, toda rotación adicional del tambor se debe producir a la menor velocidad de agitación de la unidad o a una velocidad recomendada para la mezcladora, o por el fabricante de aditivos en caso de ser utilizado. Se debe tratar de evitar detener la rotación del tambor por períodos prolongados.

5.2.4.3. **No se debe utilizar** cemento de alta resistencia inicial ni aditivos químicos aceleradores del tiempo de fraguado.

5.2.4.4. **Se puede utilizar** un aditivo retardador del tiempo de fraguado, fluidificante y retardador o superfluidificante y retardador del tiempo de fraguado del hormigón.

5.2.4.5. El **tiempo de mezclado del hormigón** debe ser el mínimo indispensable para producir mezclas uniformes y homogéneas. En lo posible, y para hormigón mezclado en planta fija, no debe exceder de **90 s.**

### 5.2.5. Colocación del hormigón

**C.5.2.5.1.** Se debe minimizar el período comprendido entre el mezclado y la colocación del hormigón. El despacho de los camiones se debe coordinar con la velocidad de colocación para evitar demoras en el arribo o períodos de espera hasta la descarga. Cuando se coloquen grandes volúmenes de hormigón, se debe contar con buenas comunicaciones entre el lugar de colocación y las instalaciones de producción del hormigón.

Las operaciones de colocación se deben planificar con la suficiente anticipación, de modo tal de minimizar la exposición del hormigón a condiciones adversas.

**C.5.2.5.3.** Los informes del tiempo local junto con la temperatura prevista o medida en el hormigón, deben permitir al personal de supervisión determinar y preparar las medidas protectoras requeridas.

**C.5.2.6.1.** Las operaciones de protección y curado deben comenzar lo más pronto posible para evitar el secado de las superficies, con una amplia cobertura y deben ser continuadas sin interrupción. La no realización de estas tareas puede originar una contracción por el secado y una fisuración excesivas, lo cual perjudicará la durabilidad de las superficies y la resistencia del hormigón.

**C.5.2.6.2.** Como se menciona en el Anexo A5 habrá que tomar precauciones cuando la velocidad de evaporación sea mayor que 1 kg/m<sup>2</sup>h y preferentemente cuando la misma supere 0,5 kg/m<sup>2</sup>h. En el Anexo también se describe un sencillo método para determinar la velocidad de evaporación.

**5.2.5.1.** Cuando la *temperatura del aire ambiente* llegue a **30° C**, y se continúe colocando hormigón adoptando las precauciones estipuladas en el artículo 5.2.3, se debe proceder a rociar y humedecer los moldes, los encofrados, el hormigón y las armaduras existentes, con agua en forma de niebla a la menor temperatura posible. En este caso, inmediatamente antes de la colocación del hormigón, se debe eliminar toda acumulación de agua que pueda existir en los lugares que ocupará el hormigón fresco.

**5.2.5.2.** En caso de que las *condiciones ambientales diurnas* sean críticas para lograr que el hormigón tenga una temperatura menor a la establecida en el artículo 5.2.2.1, las operaciones de hormigonado se realizarán por la noche.

**5.2.5.3.** Diariamente y a distintas horas se debe registrar la temperatura y la humedad relativa ambiente, la temperatura del hormigón y la velocidad del viento (ver 1.3.5).

### 5.2.6. Protección y curado del hormigón

**5.2.6.1.** Las *superficies expuestas de hormigón* se deben mantener continuamente humedecidas durante **48 h** después de finalizada la colocación, mediante riego en forma de niebla, arpilleras húmedas u otros medios de comprobada eficacia. Inmediatamente después se debe seguir con el período de curado húmedo especificado en el artículo 4.10

**5.2.6.2.** Durante las primeras **24 h**, las *superficies de hormigón expuestas al medio ambiente*, deben ser protegidas contra la acción del viento y del sol, con el objeto de evitar la fisuración del hormigón por contracción plástica y/o por secado prematuro.

**5.2.6.3.** Los *encofrados de madera* se deben mantener continuamente humedecidos hasta finalizar el período de curado especificado en el artículo 4.10.

**5.2.6.4.** En ningún caso el *agua de curado* debe tener una temperatura inferior a la del hormigón en más de **10 ° C**.

**5.2.6.5.** El *curado del hormigón* se debe realizar utilizando algunos de los métodos indicados en el artículo 4.10, combinándolos con la protección adecuada para cumplimentar los requisitos establecidos en los artículos 5.2.6.1 a 5.2.6.4.



## ANEXO A5

### HORMIGONADO EN TIEMPO FRÍO Y CALUROSO

#### 1. ESTIMACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL HORMIGÓN A PARTIR DE LA TEMPERATURA DE LOS MATERIALES COMPONENTES

##### 1.1. En tiempo frío

Si se conocen las temperaturas de todos los constituyentes y el contenido de humedad de los agregados, se puede estimar la temperatura final de la mezcla de hormigón a partir de la siguiente fórmula:

$$T = \frac{[0,22 (Taf Paf + Tag Pag + Tc Pc) + Ta Pa + Taf Pafs + Tag Pags]}{[0,22 (Paf + Pag + Pc) + Pa + Pafs + Pags]} \quad (\text{Ec.1})$$

siendo:

**T** temperatura final de la mezcla de hormigón, en °C

**Tc** temperatura del cemento, en °C

**Taf** temperatura del agregado fino, en °C

**Tag** temperatura del agregado grueso, en °C

**Ta** temperatura del agua de mezclado agregada, en °C

**Pc** peso del cemento, en kg

**Paf** peso del agregado fino, en kg

**Pag** peso del agregado grueso, en kg

**Pa** peso del agua de mezclado agregada, en kg

**Pafs** peso del agua libre en el agregado fino, en kg

**Pags** peso del agua libre en el agregado grueso, en kg

Si la temperatura de uno o ambos agregados es inferior a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , el agua libre de los mismos estará congelada, y consecuentemente la expresión anterior se deberá transformar sustituyendo (**Taf Pafs**) ó (**Tag Pags**) ó ambos, si corresponde, de la siguiente forma:

*Taf Pafs por Pafs (0,50 Taf – 80)*

*Tag Pags por Pags (0,50 Tag – 80)*

Resultando:

$$T = \frac{[0,22 (Taf Paf + Tag Pag + Tc Pc) + Ta Pa + Pafs (0,50 Taf - 80) + Pags (0,50 Tag - 80)]}{[0,22 (Paf + Pag + Pc) + Pa + Pafs + Pags]} \quad (\text{Ec.2})$$

Debido a que su calor específico es entre cuatro a cinco veces mayor que el del cemento o de los agregados, el agua de mezclado posee el mayor efecto por unidad de peso, sobre la temperatura del hormigón, que cualquiera de los componentes sólidos.

##### 1.2. En tiempo caluroso

Hormigón sin hielo: La misma expresión que en Ec 1.

Hormigón con hielo: Añadiendo a la Ec. 1 los efectos del hielo considerando el consumo de calor producto del cambio de estado.

$$T = \frac{[0,22 (Taf Paf + Tag Pag + Tc Pc) + Ta (Pa - Ph) + Taf Pafs + Tag Pags] - 80 Ph}{[0,22 (Paf + Pag + Pc) + Pa + Ph + Pafs + Pags]} \quad (\text{Ec.3})$$

siendo:

**Ph** peso del hielo, en kg

Es fácil controlar la temperatura del agua y, aunque este material se utiliza en menor cantidad que los componentes sólidos, el uso de agua fría de mezclado produce una reducción moderada en las temperaturas de colocación del hormigón.

La reducción de la temperatura del agua se puede realizar por refrigeración directa o por mezclado de la misma con hielo.

Los silos y las tolvas absorben menos calor si se los recubre con alguna pintura reflectora del calor. También resulta de alguna ayuda pintar de blanco las superficies para minimizar el calor de origen solar.

En base a un tiempo de entrega de 1 h durante un día cálido y soleado, el hormigón en un tambor blanco y limpio debería ser de 1 °C a 1,5 °C más frío que en un tambor negro o rojo.

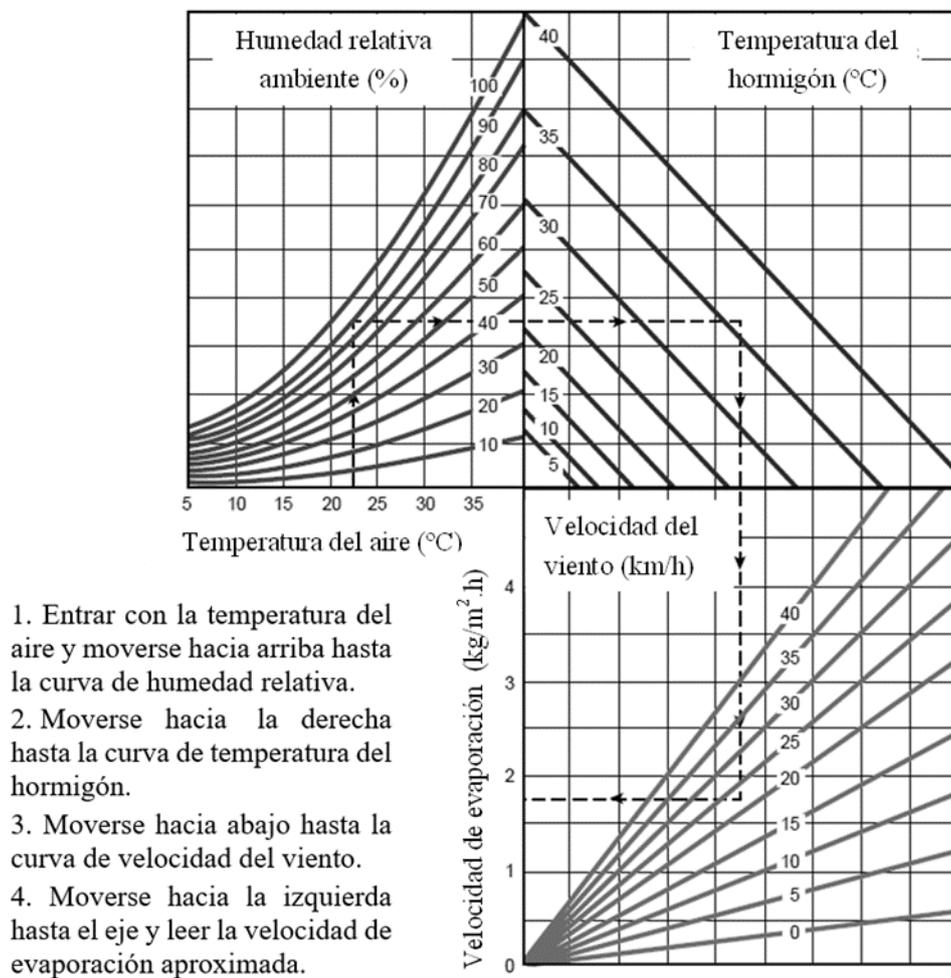
## 2. TEMPERATURA DE COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN FRESCO EN TIEMPO CALUROSO Y RIESGO DE FISURACIÓN PLÁSTICA

2.1. Desde el punto de vista de la fisuración plástica, temperaturas del hormigón aún menores que 30 °C pueden ser críticas, según se aprecia en la **Tabla A5.1**.

**Tabla A5.1.** Temperaturas del hormigón y humedades relativas para limitar la velocidad de evaporación crítica para que se produzca la fisuración plástica a 1 kg/m<sup>2</sup>h (se asume una velocidad del viento de 16 km/h y una diferencia de temperatura entre hormigón y aire de 6 °C)

Temperatura del hormigón (°C)	Humedad relativa (%)
41	90
38	80
35	70
32	60
29	50
27	40
24	30

2.2. El nomograma de la **Fig. A5.1** permite estimar la velocidad de evaporación de la humedad superficial del hormigón fresco en función de su temperatura y de las condiciones ambientales. Otra alternativa es aplicar la Ec. 4. Se recomienda tomar medidas precautorias cuando la velocidad de evaporación prevista se aproxime a **1 kg/m<sup>2</sup>h**.



**Figura A5.1.** Efecto de la temperatura del hormigón y del aire, de la humedad relativa ambiente y de la velocidad del viento, sobre la velocidad de evaporación de la humedad superficial del hormigón.

$$E = 5((T_h + 18)^{2.5} - RH.(T_a + 18)^{2.5}/100).(V+4).10^{-6} \quad (\text{Ec. 4})$$

siendo:

E velocidad de evaporación  $\text{kg/m}^2.\text{h}$

V velocidad promedio del viento a 0,5 m sobre la superficie del hormigón  $\text{km/h}$

RH humedad relativa (%)

$T_a$  temperatura del aire ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_h$  temperatura del hormigón ( $^{\circ}\text{C}$ )

### 2.3. Determinación de la velocidad de evaporación

La velocidad de evaporación se puede determinar ajustadamente mediante una bandeja de aproximadamente 30x30 cm, que se llena de agua y se pesa cada 15 a 20 min y estará dada por la pérdida de peso del agua de la bandeja. Para ello bastará disponer de una balanza de no menos de 3500 g de capacidad, graduada al 0,1 g.



## CAPÍTULO 6. CRITERIOS Y CONTROL DE CONFORMIDAD DEL HORMIGÓN

### 6.0. SIMBOLOGÍA

$f'_c$	resistencia especificada a la compresión del hormigón, en MPa.
$f'_{ci}$	resistencia de un ensayo, en MPa.
$f'_{cm}$	media aritmética de los resultados de los ensayos de resistencia, en MPa.
$f'_{cm3}$	resistencia media móvil de cada serie de tres (3) ensayos consecutivos, en MPa.
$S_p$	desviación estándar de los resultados de los ensayos de resistencia correspondiente al control de producción, en MPa.
$S_r$	desviación estándar de los resultados de los ensayos de resistencia correspondiente al control de recepción, en MPa.
$f'_{c15x30}$	resistencia a compresión del hormigón, en MPa, medida sobre probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.
$f'_{c10x20}$	resistencia a compresión del hormigón, en MPa, medida sobre probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura.
$CE$	Coefficiente de corrección que debe aplicarse a los resultados de resistencia obtenidos mediante el ensayo de probetas encabezadas con placas de elastómero para llevarlos a los valores obtenidos con el método de referencia (encabezado con morteros de azufre, cemento o pulidas).

### 6.1. REQUISITOS GENERALES

Este Capítulo contiene las disposiciones a aplicar para determinar si el hormigón utilizado para la construcción de una estructura cumple con los requisitos establecidos en este Código Modelo.

**C.6.1.1.** Siguiendo los criterios usados en los reglamentos de referencia del ámbito internacional, y también en las versiones CIRSOC 201-82 y CIRSOC 201M-96, este Código modelo define *la resistencia especificada ( $f'_c$ )* utilizando criterios estadísticos explícitos. No obstante, para determinar si el hormigón utilizado en la construcción de una estructura posee dicha resistencia especificada, este Código recurre a *criterios de conformidad* que utilizan un número reducido de valores de ensayo a los cuales no les aplica expresiones de matemática estadística. La excepción la constituyen las obras de gran volumen de producción de hormigón, en cuyo caso este Código aplica criterios estadísticos.

Las expresiones matemáticas de los criterios de conformidad por resistencia también pueden ser evaluadas con la teoría de las probabilidades para determinar cuál es el error con que estiman el cumplimiento de la resistencia especificada.

Si se evaluara en términos estadísticos la resistencia potencial del hormigón colocado en la estructura (resistencia

**6.1.1.** Los *criterios de conformidad* son las disposiciones destinadas a establecer si el hormigón que se colocó en una estructura cumple con los requisitos especificados por este *Código Modelo* y los *Documentos del Proyecto*. Los *criterios de conformidad* contenidos en este capítulo están referidos a las propiedades del hormigón fresco y del hormigón endurecido.

característica del hormigón colocado), ella debería ser igual o mayor que la especificada (resistencia característica del hormigón especificado). La especificación y obtención de esa resistencia están íntimamente vinculadas con la seguridad de la estructura.

El cumplimiento de los criterios de conformidad supone que se cumple con la resistencia especificada, con un error de estimación que depende del número de ensayos utilizados en la estimación y de los valores de corte establecidos para aceptar en el criterio de conformidad.

No se debe confundir:

- 1) La definición de la resistencia especificada necesaria para satisfacer una dada seguridad estructural.
- 2) El valor de resistencia utilizada por el productor para diseñar la mezcla que tiene en cuenta a la resistencia especificada, la dispersión de resistencia de la planta y el porcentaje de rechazos que el productor está dispuesto a admitir.
- 3) El valor límite del criterio de conformidad, establecido para un determinado nivel de error de estimación de la resistencia, con el cual el consumidor determina si el hormigón que le entregan posee o no la resistencia especificada.

**C.6.1.2.** Los criterios de conformidad se aplican utilizando exclusivamente los resultados de ensayo de las probetas moldeadas en obra.

Para este Código Modelo, el **único responsable de la realización e interpretación de los ensayos, y de la aplicación de los criterios de conformidad, es el Director de Obra**. Ello no impide que el Director de Obra pueda delegar la realización de alguna de esas funciones en sus auxiliares, pero sin transferir la responsabilidad que le asigna este Código modelo.

**C.6.1.4. Los criterios de conformidad establecidos en este Código consideran también la posibilidad de utilizar los controles de producción de planta**, cuando el Director de Obra los supervisa directamente por estar la planta dentro del recinto de obra o en el caso de que los controles de planta estén avalados por un sistema de calidad certificado y el

**6.1.2. El control de conformidad** constituye el conjunto de acciones y decisiones destinadas a la recepción del hormigón, aplicando los criterios de conformidad. Se basa en la realización de ensayos normalizados que miden las propiedades del hormigón especificadas en los **Documentos del Proyecto**. Dichos ensayos se deben realizar a partir de muestras extraídas en obra bajo la responsabilidad del **Director de Obra**. Los ensayos a realizar sobre dichas muestras también son responsabilidad del **Director de Obra**. **En ningún caso, los resultados de los ensayos y registros de control interno y/o externo de la planta elaboradora eximirán al Director de Obra de realizar los ensayos de Control de Conformidad** que le corresponden de acuerdo con el presente Capítulo.

**6.1.3. El plan de muestreo y ensayos y los criterios de conformidad** a aplicar se indican en los artículos 6.2, 6.5 y 6.6 inclusive. Cuando en un Proyecto sea necesario incrementar el muestreo y los ensayos, ello se debe establecer en los **Documentos del Proyecto**.

**6.1.4. Los criterios de conformidad establecidos en este Código** tienen en cuenta los sistemas de control de producción correspondientes a la elaboración del hormigón y los controles de conformidad realizados por el **Director de Obra**.

Director de Obra tiene acceso a dicha información.

Los *controles de planta* sirven como información adicional y *no se deben utilizar en el cálculo establecido por el criterio de conformidad*. Pero su existencia y disponibilidad constituyen una de las *condiciones necesarias para poder recibir en el Modo 1 de conformidad* según se establece en el artículo 6.1.5.

El uso conjunto *de los controles de planta* (condición previa) y de los *controles a pie de obra* se inspira en los conceptos más modernos utilizados en los sistemas de calidad. Además, si su aplicación es posible y ambos controles son confiables, esto permite reducir el error de aceptación del consumidor.

La aplicación del criterio de conformidad de resistencia establecido en el Código ACI 318-02/05 tiene una probabilidad elevada de aceptar lotes no conformes (error del consumidor) si se prescinde del control de producción de planta (o lo que es lo mismo, de la garantía de calidad del productor). A modo de ejemplo, lotes con **20 %**, **30 %** y **40 %** de defectuosos (cantidad de hormigón por debajo de  $f'_c$ ) tienen una probabilidad de ser aceptados de aproximadamente **0,83**, **0,64** y **0,44** respectivamente. Se ha considerado que el criterio del Código ACI 318-02 y 05 es viable en un contexto de producción del hormigón que no está generalizado en nuestro país y que el **Modo 1** de producción y control de conformidad es asimilable al existente en E.E.U.U. Para esas condiciones de producción y control de producción este Código mantiene el criterio de conformidad del ACI 318-02 y 05 (ver comentarios a los artículos 6.1.5 y 6.2.3). Cuando no se dan las condiciones anteriores se exige un criterio de conformidad que eleva el valor de corte tal como se explica en los comentarios al artículo 6.2.4.

#### C.6.1.5.

El **Modo 1** de control de conformidad utiliza los controles de producción y de recepción, asumiendo que el primero reúne las condiciones que se detallan en el artículo 6.2.3, incluyendo el acceso de la Dirección de Obra a los controles y registros de la planta elaboradora. Este Modo es aplicable a los casos en que la obra es abastecida por una planta elaboradora ubicada fuera del recinto físico de la obra y a los casos en que la planta es operada por la misma empresa constructora (ver Capítulo 5).

**6.1.5.** Este Código establece *dos modos de control de conformidad a ser aplicados a diferentes modos de producción, puesta en obra y control de producción del hormigón*. Dichos modos se describen a continuación:

**Modo 1.** El hormigón es producido en una planta productora que opera con un sistema de calidad. La planta elaboradora puede estar instalada dentro o fuera del recinto de la obra. El Director de Obra tiene acceso al control de producción de la planta y conoce sus registros. El control de conformidad se realiza de acuerdo con el artículo 6.2.3.

**Modo 2.** El hormigón es producido en condiciones que no satisfacen los requisitos establecidos para el **Modo 1**. El control de conformidad se realiza de acuerdo con el artículo 6.2.4.

El **Modo 2** corresponde a las obras en que el hormigón es abastecido por una planta externa sin sistema de calidad y/o cuando la Dirección de Obra desconoce los controles de producción.

C.6.1.6.1. Este Código incorpora el concepto de efecto tamaño sobre la resistencia a compresión. Por tal motivo es necesario corregir el valor de resistencia determinado sobre cilindros de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura para asimilarlo al que se obtendría empleando cilindros de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

De este modo:

$$f'_{c\ 15 \times 30} = 0,93 f'_{c\ 10 \times 20}$$

El valor 0,93 se corresponde con lo informado en abundante bibliografía para hormigones convencionales.

C.6.1.6.2. En experiencias de obras locales se observó que las probetas ensayadas con placas de neoprene arrojaron resultados del orden del 6 % mayor que las encabezadas con mortero de azufre.

Al comienzo de la obra y luego cada 12 meses, se recomienda determinar la necesidad de aplicar un coeficiente de corrección a los resultados de los ensayos de las probetas encabezadas con azufre o mortero de cemento. A ese efecto se recomienda realizar no menos de 30 ensayos comparativos de probetas con los dos tipos de encabezado (elastómero y encabezado de referencia). Cada ensayo cumplirá con lo establecido en 6.1.6.3 y se realizará a la edad de 28 días o la edad de diseño establecida.

El procedimiento para la determinación del coeficiente de correlación (CE), deberá ser previamente aprobado por el Director de Obra.

En ningún caso se admitirá un coeficiente de corrección mayor a 1.

#### 6.1.6. Ensayos para verificar la resistencia especificada

6.1.6.1. Se deben realizar ensayos de resistencia de rotura a la compresión utilizando probetas cilíndricas normales de **15 cm** de diámetro y **30 cm** de altura, las que deben ser moldeadas y curadas de acuerdo con lo establecido en IRAM 1534 ó 1524. Las probetas deben ser ensayadas a compresión hasta la rotura, de acuerdo con lo establecido en IRAM 1546. La edad de ensayo debe ser la edad de diseño de acuerdo con el artículo 2.3.3.

Si la totalidad de las partículas del agregado grueso que se utiliza para elaborar el hormigón pasan por el tamiz de **26,5 mm**, se puede determinar su resistencia de rotura a la compresión por ensayo de probetas cilíndricas normales de **10 cm** de diámetro y **20 cm** de altura, moldeadas, curadas y ensayadas según IRAM indicadas precedentemente. En este caso, se debe efectuar corrección de los resultados de ensayo por tamaño de la probeta. Para tal fin, en *estudios previos de mezclas*, se debe determinar la relación entre las resistencias obtenidas ensayando probetas cilíndricas normales de **15 cm** de diámetro y **30 cm** de altura y las obtenidas en probetas cilíndricas normales de **10 cm** de diámetro y **20 cm** de altura (coeficiente de corrección).

Cuando no se realicen estos ensayos previos comparativos, se debe adoptar un coeficiente de corrección igual a **0,93**.

6.1.6.2. Cuando los ensayos se realicen encabezando a las probetas con placas de elastómero, se recomienda verificar que los resultados que se obtengan no difieren significativamente de los correspondientes al ensayo con el encabezado tradicional con azufre, mortero de cemento o pulido.

6.1.6.3. Se debe adoptar como *resultado de un ensayo ( $f'_{ci}$ )* al valor que se obtiene como promedio de las resistencias de, como mínimo, **dos (2) probetas cilíndricas normales, moldeadas con la misma muestra de hormigón y ensayadas a la misma edad**. Se debe cumplir que la diferencia entre las resistencias extremas del grupo que constituye cada ensayo, sea menor del **15 %** de la resistencia media de las probetas que constituyen el grupo. Si dicho valor resultara mayor, se debe rechazar el ensayo

correspondiente y se deben investigar los procedimientos de moldeo, curado y ensayo de las probetas, con el objeto de analizar si los mismos se están realizando en un todo de acuerdo con las normas. En el caso de que el grupo esté constituido por tres (3) probetas, si la diferencia entre las resistencias extremas es mayor del 15 %, pero las resistencias de dos (2) de ellas difieren en menos del 10 % con respecto a su resistencia promedio, se puede descartar el tercer resultado y aceptar el ensayo, tomando como resistencia del mismo el promedio de las dos aceptadas.

## 6.2. CONFORMIDAD CON LA RESISTENCIA ESPECIFICADA

### 6.2.1. Requisitos generales

6.2.1.1. La *conformidad de la resistencia del hormigón* colocado en una parte o en toda la estructura se debe determinar mediante resultados de ensayos de probetas moldeadas con muestras de hormigón extraídas a pie de obra.

#### 6.2.1.2. Ensayos para verificar la resistencia especificada

Para *juzgar la resistencia del hormigón* que se colocó en los encofrados o moldes (resistencia potencial), se moldearán como mínimo dos (2) probetas, identificándose el elemento y el sector en donde se colocará el hormigón que ellas representan. El moldeo, acondicionamiento y ensayo se realizará de acuerdo con lo establecido en el artículo 6.1.6.

C.6.2.1.3. Se entiende por lote al volumen de hormigón constituido por pastones sucesivos, elaborados bajo las mismas condiciones esenciales y que, desde el punto de vista estadístico, puede considerarse que pertenecen a la misma población.

6.2.1.3. A los efectos indicados en los artículos 6.2.1.1 y 6.2.1.2, se deben agrupar los *elementos estructurales de igual  $f_c$*  en conjuntos sucesivos denominados lotes. La conformidad de la resistencia se debe determinar para cada lote, salvo excepción debidamente justificada. La conformación de los lotes se indicará en los Documentos del Proyecto, pero será igual o menor que la establecida en el artículo 6.2.2.

### 6.2.2. Dimensión de lotes y extracción de muestras

6.2.2.1. La dimensión de los lotes debe ser igual o menor que la indicada en la Tabla 6.1, excepto para el caso indicado en 6.2.3.8 donde se debe aplicar el artículo 6.2.2.5.

**Tabla 6.1.** Dimensiones máximas de los lotes.

Modo de elaboración/ control	Límite superior	Tipo de elementos estructurales		
		Estructuras que tienen elementos comprimidos (1)	Estructuras que tienen sólo elementos solicitados a flexión (2)	Estructuras Macizas (3)
Modo 1	Volumen de hormigón	200 m <sup>3</sup>	200 m <sup>3</sup>	200 m <sup>3</sup>
	Número de pastones	100	100	200
	Período de producción del lote	2 semanas	2 semanas	2 semanas
	Superficie construida (*)	1000 m <sup>2</sup>	2000 m <sup>2</sup>	-----
	Número de plantas (*)	2	2	-----
Modo 2	Volumen de hormigón	100 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>
	Número de pastones	50	50	100
	Período de producción del lote	1 día	1 día	1 día
	Superficie construida (*)	500 m <sup>2</sup>	1000 m <sup>2</sup>	-----
	Número de plantas (*)	1	1	-----
<p>(1) Elementos comprimidos como: columnas, tabiques, pilares, pilas, muros portantes, pilotes, etc.                      (2) Esta columna incluye entresijos de hormigón sobre pilares metálicos, tableros, muros de sostenimiento, etc.                      (3) Bases, plateas de fundación, etc.                      (*) Válido sólo para estructuras de edificios.</p>				

6.2.2.2. La dimensión de los lotes es de aplicación con las siguientes condiciones:

- el número mínimo de lotes sea igual o mayor que **3**.
- en el caso que algún lote resulte no conforme en el Modo 1, se pasará a utilizar los límites del Modo 2 hasta que cuatro lotes seguidos resulten conformes.

6.2.2.3. En el **Modo 1**, cuando un conjunto de elementos estructurales posea dimensiones mayores que los límites que le corresponden en la Tabla 6.1, se puede considerar que dichos elementos estructurales constituyen un lote único si se cumple que:

- son hormigonados durante una misma jornada de trabajo en forma continuada, salvo interrupciones menores a **3 horas**.
- en su hormigonado se utiliza un mismo tipo de hormigón elaborado con los mismos materiales.

6.2.2.4. El **número de muestras a extraer** debe ser igual o mayor que el mayor valor resultante de aplicar las siguientes frecuencias:

- cinco (**5**) muestras por lote.
- tres (**3**) muestras por planta de edificio, cuando corresponda.
- para los casos previstos en el artículo 6.2.2.3, una (**1**) muestra cada **100 m<sup>3</sup>** de hormigón y no menos de cinco (**5**) muestras.

En cada muestra se debe realizar como mínimo un ensayo (dos probetas) a la edad de diseño.

6.2.2.5. Cuando se aplique el criterio de conformidad descrito en 6.2.3.8 (cálculo mediante herramientas estadísticas), la dimensión del lote será definida por el Proyectista y/o el Director de Obra y se deberá extraer no menos de:

- una muestra por cada día de hormigonado.
- una muestra cada 100 m<sup>3</sup> de hormigón colocado.

**C.6.2.3.** Para el Modo 1 se mantienen los criterios de conformidad especificados en el Código ACI 318-02 y 05, actualizados según ACI 318-19. Se asume que la Planta Elaboradora garantiza la conformidad del hormigón y ello reduce la probabilidad de aceptar lotes no conformes.

### 6.2.3. Criterios de conformidad para el Modo 1 de Control

Los criterios de conformidad para el *Modo 1* de control se indican en el artículo 6.2.3.5. ***Estos criterios sólo se pueden aplicar si la planta posee un sistema de gestión de la calidad y se cumplen las condiciones establecidas en los artículos 6.2.3.1 a 6.2.3.4 inclusive.***

#### 6.2.3.1. Campo de validez.

La Planta Elaboradora satisface una de las dos alternativas siguientes:

a) Está instalada en el mismo recinto físico de la obra, opera de acuerdo con las prescripciones del artículo 6.2.3.2 y el Director de Obra supervisa directamente el sistema de control de producción.

b) Está instalada fuera del recinto físico de la obra, posee un sistema de Gestión de Calidad según ISO 9001, certificado por un organismo acreditado por el OAA (Organismo Argentino de Acreditación) y opera de acuerdo con lo especificado en los artículos 6.2.3.2 y 6.2.3.3.

La entidad certificante deberá ***certificar que el sistema de calidad de la Planta, sus actividades y los hormigones producidos cumplen con los requisitos establecidos en este Código***, específicamente con este Capítulo 6.

El ***certificado se otorgará a cada Planta y será intransferible***, inclusive entre plantas elaboradoras que pertenezcan a una misma organización.

El certificado otorgado ***no sustituirá*** todas las responsabilidades establecidas por la legislación vigente a nivel nacional, provincial o municipal que sean de aplicación.

#### 6.2.3.2. Condiciones en que opera la Planta Elaboradora

En cualquiera de las alternativas exigidas en el artículo 6.2.3.1, la operación de la ***Planta Elaboradora*** debe incluir las siguientes condiciones:

- El hormigón se elabora en forma continua. Se considera que la planta opera en forma continua cuando se cumplen las siguientes condiciones:
  - a) Se dispone de un mínimo de 30 resultados de ensayo de una misma clase de hormigón, evaluado durante un período mínimo de producción de 30 días
  - b) La planta produce un mínimo de 250 m<sup>3</sup> semanales
- Se realiza el control de recepción de los materiales y la verificación periódica de sus características de empleo.
- El acopio de los materiales debe asegurar la producción continua del hormigón y garantizar que se mantengan las características originales de todos los materiales ingresados a la Planta, evitando su segregación y contaminación o deterioro. Las cantidades de materiales acopiados deben ser suficientes para una producción mínima de 2 días.
- Medición de todos los materiales en masa. Registro continuo de pesadas y verificación periódica de los equipos de pesado y de las mezcladoras.

C.6.2.3.1.b). El Capítulo 7 de este Código provee una guía de lineamientos básicos para la implementación de un Sistema de Gestión de Calidad según ISO 9001:2015.

- Mezcla dosificada racionalmente, con corrección de materiales por humedad.
- Muestreo periódico del hormigón y seguimiento de sus propiedades en estado fresco y de la resistencia a la edad de diseño, y a una edad anterior que se pueda correlacionar con la de diseño.
- El control de producción se basa en el seguimiento de la resistencia utilizando matemática estadística y cartas de control incluyendo:
  - Determinación de la resistencia media, desviación normal y resistencia característica con un mínimo de **30** resultados de ensayos.
  - Utilización de tablas y gráficos de control tales como: valores individuales, media móvil, característica móvil, "CUSUM", etc., que permitan el seguimiento de la resistencia y el estado de control del proceso (detección de tendencias o sesgos).

6.2.3.3. Cuando el hormigón se elabore según la alternativa descrita en el artículo 6.2.3.1.b), se deberán cumplir además los siguientes requisitos:

a) la **Planta Elaboradora** suministrará a la Dirección de Obra copia de los registros de control de producción y de los protocolos de ensayos correspondientes a la elaboración del tipo de hormigón del cual se realizó el suministro a la Obra. Dicha información estará certificada por el responsable de la Gerencia de Calidad de la Planta Elaboradora o su equivalente.

b) la **Dirección de Obra** tendrá libre acceso a la Planta Elaboradora y a sus registros de calidad.

6.2.3.4. Los resultados del control de producción de la **Planta**, obtenidos por aplicación del artículo 6.2.3.2, deben demostrar que la media aritmética de los resultados de los ensayos de resistencia correspondientes al tipo de hormigón del cual proviene el lote que se evalúa, es igual o mayor que la resistencia especificada más 1,28 por la desviación estándar.

$$f'_{cm} \geq f'_c + 1,28 S_p \quad (6-1)$$

La **desviación estándar** debe ser calculada de acuerdo con el artículo 6.2.3, utilizando **resultados de ensayos correspondientes a un período mayor a tres meses**. Dicho período será anterior al que se evalúa. El valor de la desviación estándar así determinado puede ser aplicado al período subsiguiente siempre que el **valor móvil de los últimos quince ensayos se mantenga acotado dentro del rango  $0,63 s_n$  a  $1,37 s_n$** . En caso contrario se calculará la desviación estándar con los últimos resultados de ensayos correspondientes al **período de obra en análisis**, en el cual se verifique que todo el hormigón de una misma clase pertenece a la misma población, con distribución de frecuencias aproximadamente simétrica.

6.2.3.5. Cumplidas las condiciones establecidas en los artículos 6.2.3.1 a 6.2.3.4, la **recepción del lote se debe hacer exclusivamente con los resultados de los ensayos que se indican en el artículo 6.1.2**. En el **Modo 1 de Control** se considera que el **hormigón evaluado** posee la resistencia especificada cuando se cumplan los requisitos establecidos en los artículos 6.2.3.6, 6.2.3.7 o 6.2.3.8. Al inicio de la obra se deberá definir cuál de los procedimientos mencionados será de aplicación. Una vez definido el criterio de evaluación, el mismo se aplicará durante el desarrollo de toda la obra, sin posibilidad de cambio.

6.2.3.6. **Evaluación del 100 % del lote**. En las estructuras donde las especificaciones particulares indiquen tomar muestras de todos los pastones, o donde ello resulte del volumen de hormigón colocado en cada jornada de trabajo, se considerará que todo el hormigón evaluado posee la resistencia especificada si se cumplen las dos condiciones siguientes:

a) La resistencia media de los ensayos de todas las muestras correspondientes al hormigón colocado en una jornada de trabajo es igual o mayor que la resistencia especificada.

$$f'_{cm} \geq f'_c \quad (6-2)$$

b) El **resultado de cada uno de los ensayos** será igual o mayor que el requerida en 6.2.3.7.b) y 6.2.3.7.c).

C.6.2.3.7. Los criterios de conformidad indicados en este artículo aplican a las estructuras de edificios en las cuales se coloca hormigón en forma secuencial con intervalos que generalmente son mayores que 3 días. También aplica a otros tipos de estructuras que se construyan con la misma metodología de colocación del hormigón.

Estos criterios de conformidad son similares a los establecidos en el CIRSOC 201-2005, con el agregado de la condición c) que se actualizó según el ACI 318.19

6.2.3.7. **Empleo de estimadores.** En las estructuras de edificios y otras, en las cuales se coloque hormigón en forma secuencial y no sea de aplicación el artículo 6.2.3.6 y 6.2.3.8, se considera que el **hormigón evaluado** posee la resistencia especificada cuando:

a) La resistencia media móvil de todas las series posibles de tres (3) ensayos consecutivos cualesquiera, es igual o mayor que la resistencia especificada.

$$f'_{cm3} \geq f'_c \quad (6-3)$$

b) El resultado de cada uno de los ensayos es igual o mayor que la resistencia especificada menos 3,5 MPa, si  $f'_c \leq 35$  MPa

$$f'_{ci} \geq f'_c - 3,5 \text{ MPa} \quad (6-4)$$

c) El resultado de cada uno de los ensayos es igual o mayor que la resistencia especificada menos 0,10  $f'_c$ , si  $f'_c > 35$  MPa

$$f'_{ci} \geq f'_c - 0,10 f'_c \quad (6-5)$$

C.6.2.3.8. Este criterio constituye una alternativa de aplicación a obras de gran volumen donde se coloca hormigón de una misma clase y dosificación, en dos o más días por semana.

En estos casos se ha optado por establecer un criterio de conformidad estadístico que ajusta mas a la definición de resistencia especificada. Su aplicación es posible por al volumen de la obra y la cantidad de ensayos de control disponibles.

Es conveniente que para definir el número de muestras a extraer, el mismo involucre una cantidad de elementos estructurales “completos”, con el objeto de satisfacer el requisito la resistencia media especificada.

6.2.3.8. **Cálculo mediante herramientas estadísticas.** En estructuras de gran volumen, donde:

- Se coloca hormigón de una misma clase y dosificación en dos o más días por semana.
- Se dispone de 30 o más resultados de ensayos de una misma clase y dosificación de hormigón.

Se considerará que **todo el hormigón evaluado posee la resistencia especificada** si se cumplen las dos condiciones siguientes:

a) La resistencia media aritmética de los resultados de ensayos de resistencia correspondientes al tipo de hormigón del cual proviene el lote que se evalúa cumpla con la expresión siguiente:

$$f'_{cm} \geq f'_c + 1,28 S_r \quad (6-6)$$

A los efectos del cálculo, el número de muestras a considerar será como mínimo 30 y máximo 40.

El Director de Obra debe verificar mediante herramientas estadísticas (Recta de Henry, CUSUM, gráficos de Shewart, etc.) que los datos se distribuyen de manera normal o gaussiana (distribución simétrica) y que no se detectan sesgos o tendencias definidas.

b) El **resultado de cada uno de los ensayos** será igual o mayor que el requerido en 6.2.3.7.b) y 6.2.3.7.c).

6.2.3.9. Cuando no se cumpla alguna de las condiciones establecidas en los artículos 6.2.3.6 a 6.2.3.8 se debe pasar al **Modo 2 de Control de Conformidad**.

C.6.2.4. **El Modo 2 de control de conformidad constituye una modificación del comentado en el artículo 6.2.3.** Ha sido diseñado para cuando se deba recibir un lote con 5 resultados de ensayos y ese lote

#### 6.2.4. Criterios de conformidad para el Modo 2 de Control

En este caso se debe evaluar el **hormigón perteneciente a una misma clase**, recibido durante un intervalo de tiempo durante el cual la entrega en obra ha sido continua, salvo interrupciones menores de tres horas. La

pertenece a una población con **5 MPa** de desvío estándar y **20 %** de hormigón con resistencia inferior a  $f'_c$ . En esas condiciones, la probabilidad de aceptar, por error, a dicho lote no conforme, es igual a **0,20**.

resistencia de dicho hormigón se evalúa con un número reducido de ensayos realizados de acuerdo con el artículo 6.2.1.

**Se considerará que todo el hormigón evaluado posee la resistencia especificada si se cumplen las dos condiciones siguientes:**

a) La **resistencia media móvil de todas las series posibles de tres (3)** ensayos consecutivos, correspondientes al hormigón evaluado, es igual o mayor que la resistencia especificada más **5 MPa**.

$$f'_{cm3} \geq f'_c + 5 \text{ MPa} \quad (6-7)$$

b) El **resultado de cada uno de los ensayos** será igual o mayor que la resistencia especificada:

$$f'_{ci} \geq f'_c \quad (6-8)$$

Cuando el volumen de hormigón producido durante una jornada de trabajo continua corresponda a menos de tres pastones, la evaluación del lote se realizará aplicando la metodología indicada en 6.2.3.6.

### **6.2.5. Criterios de conformidad para el hormigón de elementos estructurales sometidos a curado acelerado**

C.6.2.5.1. Según sean las características del Proyecto y su proceso constructivo, es habitual que se especifique una resistencia potencial mayor que la que debe lograrse efectivamente al final del proceso de curado industrial. Esta resistencia efectiva es la necesaria a los efectos de la seguridad estructural.

Cuando ambas resistencias sean diferentes también deberá verificarse la conformidad con los requisitos por durabilidad luego del curado acelerado.

6.2.5.1. En estos casos, los Documentos del Proyecto deben especificar claramente la resistencia potencial del hormigón con que se deben construir los elementos estructurales y la resistencia efectiva que debe poseer el hormigón a la conclusión del curado del elemento estructural. Este último puede incluir solamente al curado acelerado o la suma del curado acelerado más un curado húmedo posterior.

6.2.5.2. La resistencia potencial y la resistencia efectiva mencionadas en 6.2.5.1 se deben evaluar por separado.

6.2.5.3. Se considerará que el hormigón de un lote de elementos estructurales con curado acelerado es conforme por resistencia cuando, se verifiquen los criterios de conformidad del Modo 1 o del Modo 2, aplicando 6.2.3 o 6.2.4 según corresponda. A ese efecto, las dimensiones de los lotes y los criterios a aplicar serán los indicados en 6.2.2, 6.2.3 y 6.2.4.

### 6.2.6. Determinación del volumen de hormigón no conforme

La determinación del volumen de hormigón no conforme correspondiente al lote evaluado dependerá de la metodología empleada para procesar los resultados de los ensayos de resistencia del hormigón, a saber:

a) Evaluación del 100 % del lote.

Si algún valor de  $f_{ci}$  no cumple con el art. 6.2.3.6, se considerará no conforme al hormigón correspondiente al pastón del que fueron extraídas las probetas empleadas en el cálculo de  $f_{ci}$ .

b) Empleo de estimadores.

Cuando *alguno de los valores individuales*, o de las *medias móviles*, no cumplen los criterios de conformidad correspondientes, se debe acotar el volumen de hormigón representado por las muestras defectuosas. A tal efecto se debe considerar que:

- *Si una o más medias móviles no cumplen con el criterio de conformidad* que le corresponde según el modo de control adoptado, se considerará defectuoso todo el hormigón recibido durante el período comprendido entre la extracción de la primera y la última muestra utilizadas en el cálculo de las medias móvil defectuosas.
- *Si un ensayo individual no cumple con el criterio de conformidad* de los valores individuales, se considerará defectuoso a todo el hormigón recibido durante el período comprendido entre la extracción de las muestras anterior y posterior más próximas a la defectuosa, cuyos resultados individuales satisfagan el criterio de conformidad de los valores individuales.

c) Cálculo de la resistencia mediante herramientas estadísticas

Cuando el valor de la resistencia media obtenido con los resultados de ensayo consecutivos no cumple con lo establecido en 6.2.3.8, se considerará que todo el hormigón representado por los resultados de ensayo (entre 30 y 40), es no conforme.

## 6.3. JUZGAMIENTO DE LA RESISTENCIA PARA VALORAR EL GRADO DE ENDURECIMIENTO DEL HORMIGÓN

### 6.3.1 Campo de validez

Este artículo contempla los casos en que se requiere conocer el *grado de endurecimiento del hormigón* (desarrollo de resistencia in situ), para poder valorar:

- las condiciones de protección y de curado del hormigón.
- la oportunidad de realizar las operaciones de desencofrado y desapuntalamiento.
- la resistencia del hormigón como requisito previo para aplicar cargas a la estructura.
- la resistencia del hormigón para iniciar el movimiento y traslado de los elementos premoldeados.
- otras condiciones que sean necesarias por circunstancias propias de la estructura o de su construcción.

El *grado de endurecimiento* se debe determinar mediante probetas moldeadas de acuerdo con el artículo 6.3.2 ó aplicando el método de madurez indicado en el artículo 6.3.3.

En cualquiera de los casos, además, se deben moldear y ensayar probetas de acuerdo con lo especificado en el artículo 6.2.

### 6.3.2. Ensayo de probetas moldeadas

Para juzgar el **grado de endurecimiento** se deben moldear y ensayar probetas de hormigón adicionales a las requeridas en el artículo 6.2.

El **grado de endurecimiento** se debe determinar, como mínimo, con el **promedio de dos (2) ensayos provenientes de igual número de pastones distintos** empleados en la construcción de los elementos estructurales. A ese efecto se deben cumplimentar las siguientes condiciones:

a) Se moldearán grupos de **dos (2)** probetas adicionales cada uno (un ensayo), con muestras extraídas del mismo hormigón que se colocó en los elementos estructurales a verificar. Es aconsejable moldear también **dos (2)** probetas para ensayar según las condiciones establecidas en el artículo 6.2.

b) La cantidad de grupos de probetas adicionales dependerá de las variables a controlar de acuerdo con el artículo 6.3.1, de las diferentes edades de ensayo a que se realizarán los controles y de la importancia del elemento estructural. En hormigón pretensado es aconsejable realizar estos controles sobre cada elemento estructural.

c) Las probetas serán moldeadas y ensayadas según IRAM 1524 y 1546.

d) Después de moldeadas, las probetas adicionales serán mantenidas junto a los elementos estructurales que representan y serán sometidas al mismo curado.

**C.6.3.3.** El principio fundamental del método consiste en relacionar la resistencia de un determinado hormigón con el valor de su madurez.

1) Para utilizar esta técnica, se debe trazar una curva resistencia a compresión–madurez para cada hormigón a elaborar en obra, siguiendo el procedimiento que se detalla:

– Elaborar el hormigón utilizando los materiales y proporciones que se usarán en obra.

– De un mismo pastón moldear probetas cilíndricas, en la cantidad suficiente para ser ensayadas a distintas edades y una probeta testigo para medir sobre ella las temperaturas de curado en función del tiempo. Las edades a adoptar dependen del tipo de estructura a construir. En general se puede tomar 6 horas, 9 horas, 12 horas, 18 horas, 1 día, 2 días, 3 días, 7 días, 28 días, 60 días y 90 días. Para cada edad se deben moldear como mínimo 3 probetas.

– Las probetas para ser ensayadas a compresión y las probetas testigo deben ser curadas en forma normalizada, según IRAM 1524 ó 1534.

– En cada período de tiempo preestablecido se debe medir la temperatura del hormigón en la probeta testigo, con el objeto de que a cada una de las edades de ensayo establecidas se cuente con un registro continuo de temperatura para poder calcular la madurez mediante la expresión:

$$M = \sum (T + 10) \Delta t$$

### 6.3.3. Aplicación de la madurez del hormigón

Como alternativa a lo especificado en el artículo 6.3.2 se puede utilizar la madurez del hormigón.

El **endurecimiento alcanzado aplicando el criterio de madurez** se puede evaluar comparando la madurez desarrollada por el hormigón colocado en la estructura con la correspondiente al hormigón curado en condiciones de laboratorio. La madurez del hormigón se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$M = \sum (T + 10) \Delta t \quad (6-9)$$

siendo:

**M**: la madurez en grados centígrados por hora o grados centígrados por día.

**T**: la temperatura en el interior del hormigón en grados centígrados.

**$\Delta t$** : la duración del curado a la temperatura T, expresada en horas o días.

Este Código considera que el **hormigón colocado en la estructura ha desarrollado la resistencia requerida** o tiene el **curado especificado**, cuando su madurez en el sitio, según corresponda, sea igual a:

- la madurez necesaria para alcanzar la resistencia requerida en condiciones de curado de laboratorio.
- la madurez del hormigón curado en condiciones de laboratorio hasta la edad especificada.

– Conociendo la resistencia a compresión promedio obtenida a cada edad de ensayo y el factor de maduración correspondiente, se ajusta una curva continua para el hormigón en estudio. Convencionalmente se representa sobre el eje de abscisas el factor de maduración y sobre el eje de ordenadas la resistencia a la compresión.

2) Para determinar en obra la resistencia a compresión, a determinada edad, de un hormigón colocado, curado y protegido respetando las condiciones especificadas en este Código, se procederá de la siguiente manera:

– Se debe contar en obra con la curva ajustada resistencia a compresión – madurez, obtenida en un todo de acuerdo con lo establecido en el punto 1) precedente.

– A cada período preestablecido, se debe medir la temperatura del hormigón en el interior del elemento estructural o sector de la estructura de la cual se quiere conocer la resistencia. De esta manera para cualquier edad de la estructura se cuenta con un registro continuo de temperaturas. La temperatura se puede medir usando termómetros de contacto o termocuplas.

– Con el registro de temperatura se calcula el factor de madurez, utilizando la función de madurez:

$$M = \sum (T + 10) \Delta t$$

Cuanto menores son los períodos preestablecidos para medir la temperatura del hormigón, más representativo es el valor del factor de maduración.

– En la curva previamente ajustada, entrando en el eje de abscisas con el factor de maduración calculado para una determinada edad del hormigón, se puede determinar sobre el eje de ordenadas el valor de la resistencia a compresión correspondiente.

La predicción de la resistencia a compresión utilizando el método de maduración se basa en la premisa fundamental de que el hormigón colocado en la estructura tiene la misma resistencia potencial que el hormigón elaborado en laboratorio para trazar la curva resistencia a compresión–madurez. Es fundamental verificar que se cumpla dicha premisa previamente a la aplicación de la curva determinada en laboratorio.

Para lo cual se puede aplicar alguno de los siguientes métodos:

– Moldear con el hormigón a colocar en la estructura, una serie de probetas para ser curadas en forma normalizada y ser ensayadas a compresión a distintas edades tempranas.

– Extraer testigos cilíndricos de hormigón endurecido de la estructura para ser ensayados a compresión a distintas edades tempranas.

#### **6.4. VERIFICACIONES A REALIZAR CUANDO UN LOTE NO POSEE LA RESISTENCIA POTENCIAL ESPECIFICADA**

**6.4.1. Esta verificación es de exclusiva aplicación para estructuras en construcción**, en las que la evaluación de acuerdo con el artículo 6.2 haya indicado *lotes no conforme*.

**Esta verificación no puede ser aplicada a estructuras existentes o a estructuras en construcción en las que se carezca de resultados de ensayos de probetas moldeadas.**

C.6.4.2. Los coeficientes de corrección por esbeltez que se aplican para corregir los resultados de resistencia a la compresión y estimar la que tendría la probeta normalizada (esbeltez 2), surgen a partir de datos experimentales obtenidos por muchos autores sobre hormigones de uso corriente en las obras de hormigón. Los mismos pueden variar con el nivel de resistencia y el tamaño máximo del agregado empleado. Como ejemplo, en hormigones de alta resistencia, por encima de 60 MPa, donde los agregados suelen ser más pequeños y existe la posibilidad de fractura a través de los mismos, se han observado menores diferencias entre probetas de distinta esbeltez. De igual modo, las diferencias de resistencia para las mismas condiciones de ensayo son menores en un mortero que en un hormigón con un tamaño máximo intermedio y crecen si se ensaya un hormigón de baja resistencia con agregados de gran tamaño. El factor determinante de los cambios en la capacidad de carga con la esbeltez, es la fricción entre las cabezas de las probetas y los apoyos de la máquina de ensayo. A medida que aumenta la fricción mayor será la diferencia entre probetas de diferente esbeltez, elaboradas con un mismo hormigón. Por tal motivo, en el caso de emplear encabezados con placas de neopreno son de esperar menores diferencias que las tradicionales para encabezados con mortero de cemento o azufre, dada la mayor deformabilidad del neopreno. En experiencias locales sobre cilindros de esbeltez 1 y 2 encabezados con elastómero, se observó una resistencia similar. Obviamente esto podría modificarse conforme las características del neopreno.

Para el ensayo de testigos este Código indica aplicar los coeficientes por esbeltez de la IRAM 1551, válidos para encabezados con morteros de cemento o azufre. Cuando los testigos se encabecen con placas de neopreno, la aplicación de dichos coeficientes está del lado de la

**6.4.2.** Si la evaluación de acuerdo con el artículo 6.2 indica que un lote o fracción de un lote es no conforme, se debe proceder de la siguiente forma:

- a) se debe acotar el lote o fracción del lote no conforme.
- b) se debe extraer una cantidad de testigos de hormigón igual o mayor que el doble del número de muestras indicada en el artículo 6.2.2.4.
- c) la extracción y los ensayos de los testigos deben ser realizados bajo la supervisión de la Dirección de Obra.
- d) los testigos deben ser extraídos en lugares que no afecten la estabilidad de la estructura, empleando un equipo que asegure la extracción de muestras no alteradas del hormigón de la estructura.
- e) la extracción de los testigos, su preparación para el ensayo de resistencia y la corrección de los resultados por esbeltez, se deben realizar según IRAM 1551. El ensayo a la compresión se realizará según IRAM 1546. El encabezado se realizará según IRAM 1553 o IRAM 1709. Cuando el encabezado se realice con mortero de azufre o cemento, se aplicarán los coeficientes de corrección de la IRAM 1551. Cuando el encabezado se realice con pad de neopreno, se podrán utilizar los coeficientes de la IRAM 1551, de lo contrario, se deberán determinar experimentalmente.
- f) el diámetro de los testigos debe ser igual o mayor que tres (3) veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso, y no menor de 7,5 cm. La relación altura/diámetro debe ser en lo posible igual a 2 y nunca menor a 1.

seguridad, ya que pueden minorizar en exceso a la resistencia efectiva del hormigón.

Si se desea una mejor aproximación, cuando se encabece con neopreno, el Código admite la posibilidad de determinar experimentalmente los coeficientes de corrección por esbeltez. Ellos deben ser obtenidos en base a suficientes estudios previos sobre hormigones con nivel de resistencia y tamaños de agregados similares a los que se están evaluando.

**6.4.3.** Este Código modelo considera que el hormigón representado por los testigos extraídos y ensayados, de acuerdo con los artículos 6.4.1 y 6.4.2, posee la resistencia especificada si se cumplen las siguientes condiciones:

a) La **resistencia individual de cada testigo** es igual o mayor que:

$$f'_{ci} \geq 0,75 (f'_c - 3,5 \text{ MPa}) \quad \text{si } f'_c \leq 35 \text{ MPa} \quad \text{(6-10)}$$

$$f'_{ci} \geq 0,75 (f'_c - 0,10 f'_c) \quad \text{si } f'_c > 35 \text{ MPa} \quad \text{(6-11)}$$

b) La **resistencia media de los testigos extraídos** del elemento estructural o del sector de la estructura de hormigón que se analiza, es igual o mayor que **0,85** de la resistencia especificada.

$$f'_{cm} \geq 0,85 f'_c \quad \text{(6-12)}$$

## 6.5. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA POTENCIAL DE UNA ESTRUCTURA EN SERVICIO

**6.5.1.** Este artículo es de aplicación cuando sea necesario conocer la resistencia efectiva de una estructura en servicio o parte de ella, a efectos de estimar la resistencia potencial necesaria para la verificación analítica de la seguridad estructural.

En este caso se puede estimar la resistencia potencial a partir del ensayo de testigos extraídos de la estructura en servicio.

**6.5.2.** La estimación de la resistencia potencial equivalente, a partir de los resultados de ensayo de los testigos, deberá realizarse aplicando métodos estadísticos y siguiendo recomendaciones de instituciones reconocidas del ámbito internacional, como el American Concrete Institute, el CEN Comité Europeo de Normalización u otra institución de referencia

**C.6.5.2.** ACI 214.4R-10 ha desarrollado dos métodos para determinar la  $f'_c$  equivalente, que es de aplicación a la evaluación considerada en este Art 6.5. El CEN también tiene indicaciones en la Norma EN 13791.

**C.6.5.3.** La cantidad de testigos deberá tener en cuenta la uniformidad del hormigón a evaluar y la sensibilidad de la estructura.

**6.5.3.** Los testigos serán extraídos según se indica en 6.4.2. c) a f) inclusive.

La cantidad y lugar de extracción de los testigos será determinada por el Projectista Estructural a cargo de la evaluación.

**6.5.4.** El evaluador deberá tener en cuenta los factores de corrección debidos al diámetro del testigo, la relación altura/diámetro, la humedad del testigo en el momento del ensayo, el daño provocado por la extracción del testigo y sus respectivos coeficientes de variación.

## 6.6. CONFORMIDAD DE LOS REQUISITOS DE DURABILIDAD

### 6.6.1. Requisitos generales

Este Código considera que el **hormigón colocado en una parte o en toda la estructura es conforme por durabilidad y verifica los requisitos establecidos en el artículo 2.2**, cuando:

- los agregados cumplen con los requisitos de durabilidad establecidos en el Capítulo 3.

- se deben utilizar cementos con propiedades especiales y los mismos cumplen los requisitos de durabilidad correspondientes.
- el conjunto cemento-agregados no presenta expansiones perjudiciales de acuerdo con el artículo 2.2.16.
- el hormigón es conforme por resistencia de acuerdo con el artículo 6.2.
- el hormigón es conforme por razón agua/cemento de acuerdo con el artículo 6.6.2.
- el hormigón es conforme por su contenido de aire incorporado de acuerdo con el artículo 6.7.4.
- la mezcla de hormigón utilizada cumple con el requisito de succión capilar y/o de penetración de agua, según corresponda, de acuerdo con el artículo 2.2.15.

#### 6.6.2. Criterios de conformidad para la razón agua/cemento.

C.6.6.2.1. La absorción de agua de un agregado se determina por la disminución de masa de una muestra en estado saturada a superficie seca, cuando es secada en estufa hasta peso constante. La saturación del agregado se alcanza mediante su inmersión total en agua durante 24 horas.

Sin embargo, en climas cálidos con humedad relativa baja, algunos agregados de mediana absorción no se encuentran en estado saturado a superficie seca, ni lo logran en el lapso que dura el mezclado y puesta en sitio del hormigón. Por tal motivo en esas situaciones se debe determinar la absorción del agregado a tiempos menores, habitualmente 30 minutos ó 1 hora. Ese valor de absorción es el que se utiliza para corregir la mezcla.

6.6.2.1. Cuando se exija una **razón agua/cemento máxima**, ella se debe verificar a partir de los pesos de los materiales empleados en la producción de los pastones. Los valores de las pesadas deben ser tomados de los registros impresos o relevados de los equipos de pesada. En la determinación del contenido de agua, se debe considerar la humedad superficial y el agua absorbida de los agregados. El agua absorbida por los agregados se debe determinar para un tiempo de inmersión de veinticuatro horas. En caso de agregados muy absorbentes dicha determinación se debe realizar también para un tiempo de inmersión de **60 minutos**. Cuando fuera de la planta se adicione agua, aditivos u otros materiales a la mezcla, éstos deberán ser tenidos en cuenta para el cálculo de la relación a/c. La cantidad de agua a agregar debe ser parte del agua total correspondiente a la dosificación de la mezcla.

6.6.2.2. La determinación de la razón agua/cemento se efectuará como mínimo en las siguientes ocasiones:

- al comienzo del proceso de hormigonado de cada día, al menos en los **cinco primeros pastones consecutivos**.
- dos (2) veces por día.
- cuando se detecten variaciones importantes en la humedad superficial de los agregados.
- luego de obtener un resultado de ensayo no conforme, al menos en los tres (3) pastones consecutivos siguientes.

6.6.2.3. Un resultado de control de la razón agua/cemento se considera **no conforme** cuando la misma excede en **0,02** al valor especificado.

6.6.2.4. Cuando se obtiene un resultado de **ensayo de control no conforme**, se debe considerar que el pastón bajo control es **no conforme** respecto de la razón agua/cemento. Cuando esto suceda, se deberán interrumpir las tareas de hormigonado y se procederá a analizar las causas de este desvío, de forma tal de ajustar la mezcla convenientemente a fin de restituir el valor de la relación a/c al valor especificado en el proyecto.

C.6.7. Este Código no prescribe la realización de ensayos para verificar los contenidos de agua y de cemento en el hormigón fresco. Ello se debe a que se trata de ensayos cuyo tiempo de

#### 6.7. CONFORMIDAD DE LAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

ejecución los hace difíciles de aplicar en el control de recepción del hormigón. No obstante, cuando razones específicas lo requieran, el Director de Obra podrá verificar dichos contenidos de agua y cemento utilizando los procedimientos establecidos en IRAM 1879.

### 6.7.1. Extracción de muestras de hormigón fresco

6.7.1.1. La *extracción de las muestras del hormigón fresco* se debe efectuar en la boca de descarga de los equipos mezcladores fijos y/o motohormigoneros, en la forma y condiciones que establece este Código.

6.7.1.2. *Cada muestra de hormigón fresco* se debe extraer de un pastón distinto elegido al azar, o de acuerdo con un plan de muestreo elaborado previamente a la iniciación de las operaciones de hormigonado.

6.7.1.3. El *volumen de la muestra*, una vez homogeneizada, debe ser como mínimo superior en un **40 %** al volumen necesario para realizar todos los ensayos de control previstos, incluyendo en ellos al moldeo de las probetas para ensayos de resistencia.

6.7.1.4. Para *hormigoneras fijas* la muestra de hormigón fresco se debe extraer del volumen del pastón en algún momento después de haberse descargado el **15 %** del total y antes de que se haya descargado el **85 %** del volumen del pastón. La muestra se debe obtener introduciendo un recipiente estanco que atraviese toda la corriente de descarga.

6.7.1.5. En el caso del *hormigón elaborado transportado por equipos motohormigoneros* la muestra se extraerá de la motohormigonera luego de haberse descargado como mínimo el primer cuarto de metro cúbico del pastón y antes de la descarga del último cuarto de metro cúbico. Las muestras se tomarán en la canaleta de descarga. A tal efecto el productor facilitara al usuario la obtención de dichas muestras, con excepción de la provisión de los elementos para la ejecución de los ensayos. Será de aplicación la IRAM 1541, en todo aquello que no se oponga a este Código.

6.7.1.6. El *plan de muestreo diario* se debe establecer para cada clase de hormigón elaborado bajo las mismas condiciones y materiales componentes, de acuerdo con lo indicado en este Código. El número de muestras a extraer debe ser función del volumen de hormigón a colocar y del tiempo previsto de hormigonado. El plan de muestreo mínimo a cumplimentar se indica en los artículos correspondientes al criterio de conformidad de cada propiedad en evaluación.

### 6.7.2. Metodología de control

6.7.2.1. La *determinación y control de cada parámetro del hormigón fresco por medio de ensayos* se debe efectuar como mínimo en las siguientes ocasiones:

- al comienzo del proceso de hormigonado de cada día, al menos en los cinco **(5)** primeros pastones consecutivos
- cuando hubiese transcurrido **2 h** de la última determinación
- cuando se efectúe la toma de muestras para moldear probetas de control de resistencia.
- luego de obtener un resultado de ensayo no conforme, al menos en los **tres (3)** pastones consecutivos siguientes.

6.7.2.2. Si efectuado el ensayo se obtiene un valor del parámetro de control dentro del rango establecido para ese parámetro en este Código, según se indica en los artículos siguientes, se debe considerar que el *pastón es conforme* respecto al parámetro del hormigón fresco ensayado. Si el

resultado obtenido se encuentra fuera del rango establecido se considerará que el resultado de ensayo de control es **no conforme**.

6.7.2.3. Si se obtiene un resultado de ensayo de control **no conforme** se debe proceder a obtener otra muestra del mismo pastón y a repetir la determinación. Si en este segundo ensayo se obtiene un resultado nuevamente no conforme, se debe considerar que el pastón bajo control es **no conforme** respecto del parámetro del hormigón fresco ensayado. Si ese segundo resultado de ensayo está dentro del rango establecido para ese parámetro en este Código, se considerará que el pastón es **conforme** respecto al parámetro del hormigón fresco ensayado y que cumple con la especificación que corresponde.

### 6.7.3. Criterios de conformidad para la consistencia del hormigón

6.7.3.1. Durante las **operaciones de hormigonado** se debe controlar visualmente la consistencia del hormigón fresco en todos los pastones, comparando el pastón bajo control con el aspecto normal del hormigón de la consistencia especificada.

6.7.3.2. La **determinación y control de la consistencia del hormigón fresco** por medio de ensayos se debe efectuar, como mínimo, de acuerdo con lo indicado en el artículo 6.7.2.1; cuando exista duda en el control visual efectuado de acuerdo con el artículo 6.7.3.1 y cuando se efectúe el control del contenido de aire, la temperatura de colocación y/o la determinación de la masa por unidad de volumen del hormigón fresco, indistintamente.

6.7.3.3. Se debe considerar que un resultado de ensayo de consistencia es **no conforme** cuando el resultado obtenido no cumpla con lo especificado en el artículo 4.1.1.

6.7.3.4. Los **pastones no conformes** por su consistencia serán rechazados.

#### **6.7.4. Criterios de conformidad para el contenido de aire en el hormigón**

6.7.4.1. *La determinación y control del contenido de aire en el hormigón fresco* por medio de ensayos se debe efectuar como mínimo, de acuerdo con lo indicado en el artículo 6.7.2.1.

6.7.4.2. El ensayo para la determinación del contenido de aire total del hormigón fresco se debe realizar *inmediatamente antes de ser colocado en los encofrados*, luego de efectuado su transporte al sitio.

6.7.4.3. Un *resultado de ensayo del contenido de aire incorporado se debe considerar como no conforme* cuando el resultado obtenido esté por fuera de los límites establecidos en la Tabla 4.3.

6.7.4.4. Los *pastones con resultados no conformes en el contenido de aire*, luego de efectuar el proceso indicado en el artículo 6.7.2.3, deben ser rechazados.

#### **6.7.5. Criterios de conformidad para la temperatura del hormigón fresco**

6.7.5.1. La temperatura del hormigón fresco se debe controlar en el momento de verterlo en los encofrados, cuando se cumplan las condiciones establecidas en este Código para tiempo frío o caluroso, de acuerdo con los artículos 5.1 y 5.2 respectivamente, o cuando se hubiere especificado una temperatura de colocación por características particulares en la estructura.

6.7.5.2. La determinación de la *temperatura del hormigón fresco* se debe efectuar como mínimo de acuerdo con lo indicado en el artículo 6.6.2.1.

6.7.5.3. Un *resultado de ensayo de temperatura del hormigón fresco se debe considerar como no conforme* cuando el valor obtenido esté por fuera de los límites establecidos en el artículo 5.1.2 para el hormigonado en tiempo frío; en el artículo 5.2.2, para el hormigonado en tiempo caluroso; o en la documentación del Proyecto según corresponda.

6.7.5.4. Los *pastones* con resultados *no conformes* por su temperatura de colocación, luego de efectuar el proceso indicado en el artículo 6.7.2.3, deben ser rechazados.

#### **6.7.6. Criterios de conformidad para la masa de la unidad de volumen del hormigón fresco**

6.7.6.1. Cuando se haya especificado la *masa por unidad de volumen del hormigón fresco*, por características particulares en la estructura o como medio de control para apreciar variaciones en el contenido unitario de cemento y en la uniformidad de la composición del hormigón, se debe verificar su valor mediante el ensayo establecido en IRAM 1562.

6.7.6.2. La determinación de la *masa por unidad de volumen del hormigón fresco* se debe efectuar como mínimo de acuerdo con lo indicado en el artículo 6.7.2.1.

6.7.6.3. Un *resultado de ensayo de masa por unidad de volumen del hormigón fresco se considera como no conforme* cuando el resultado obtenido difiera en más o en menos un dos por ciento (2 %) de la masa unitaria teórica de la mezcla propuesta.

6.7.6.4. Los **pastones con resultados no conformes en la masa por unidad de volumen del hormigón fresco**, luego de efectuar el proceso indicado en el artículo 6.7.2.3, deben ser rechazados.

#### **6.7.7. Criterios de conformidad para el contenido de material pulverulento que pasa el tamiz IRAM 300 µm**

6.7.7.1. Cuando esté especificado el **contenido de material pulverulento que pasa el tamiz IRAM 300 µm**, se lo debe verificar a partir de los pesos de los materiales empleados en la producción de los pastones. Los valores de las pesadas deben ser tomados de los registros impresos o relevados de los equipos de pesada.

6.7.7.2. La **determinación del contenido de material pulverulento que pasa el tamiz IRAM 300 µm**, se debe efectuar como mínimo en las siguientes ocasiones:

- al comienzo del proceso de hormigonado de cada día, al menos en los cinco (5) primeros pastones consecutivos.
- cuando visualmente o al determinar la consistencia del hormigón, se detecte segregación o variaciones importantes en su contenido de finos.
- luego de obtener un resultado de ensayo no conforme, al menos en los tres (3) pastones consecutivos siguientes.

6.7.7.3. Un **resultado del control del contenido de material pulverulento que pasa el tamiz IRAM 300 µm** se considera como no conforme, cuando el mismo es menor que el valor especificado en la Tabla 4.4.

6.7.7.4. Cuando se obtiene un resultado de ensayo de control **no conforme** se debe considerar que el pastón bajo control es **no conforme** respecto del contenido de material pulverulento que pasa el tamiz IRAM 300 µm. Cuando esto suceda, se deberán interrumpir las tareas de hormigonado y se procederá a analizar las causas de este desvío, de forma tal de ajustar la mezcla convenientemente a fin de restituir el valor del contenido de material pulverulento al valor especificado en el proyecto.

#### **6.7.8. Criterio de conformidad para el requisito de exudación del hormigón**

6.7.8.1. Cuando el hormigón debe cumplir con los requisitos de **exudación** de acuerdo con el artículo 4.1.4, se debe verificar su valor mediante el ensayo establecido en IRAM 1604.

6.7.8.2. La determinación de la **capacidad y velocidad de exudación** se debe efectuar como mínimo en las siguientes ocasiones:

- cuando se utilice una mezcla por primera vez en obra.
- cuando se cambie alguno de los componentes de la mezcla.
- cuando visualmente se detecte exudación excesiva en la mezcla.

6.7.8.3. La exudación se considera como **no conforme** cuando la capacidad y/o la velocidad de exudación sean mayores que los valores especificados.

6.7.8.4. Obtenido un resultado de ensayo de control no conforme se considera que la mezcla es no conforme respecto de la exudación. Cuando esto suceda, se deberán interrumpir las tareas de hormigonado y se procederá a analizar las causas de este desvío, de forma tal de ajustar la mezcla convenientemente a fin de restituir el valor de la exudación del hormigón al valor especificado en el proyecto.

**6.7.9. Criterios de conformidad para otras propiedades del hormigón exigidas en los Documentos del Proyecto**

Cuando los *Documentos del Proyecto* exijan que el hormigón posea otras propiedades, además de las indicadas taxativamente en este *Código*, en los *Documentos del Proyecto* se deben establecer también los correspondientes criterios de conformidad.



## CAPÍTULO 7. SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD PARA UNA PLANTA ELABORADORA DE HORMIGÓN

### PRIMERA PARTE. INTRODUCCIÓN, TÉRMINOS, DEFINICIONES Y CONCEPTOS GENERALES

**C.7.1.** Para la redacción del *sistema de gestión de la calidad son de aplicación los términos y definiciones* establecidos en el Capítulo 3 de la Norma Argentina IRAM – ISO 9000:2015 "Sistemas de Gestión de la Calidad – Fundamentos y Vocabulario".

Este Capítulo 7 no es un documento específico de producción y recepción, sino un documento para desarrollar un sistema de la calidad propio de la Planta.

La recepción del hormigón se hace siempre en base a ensayos normalizados de probetas moldeadas con muestras extraídas en obra bajo la responsabilidad del Director de Obra. El cumplimiento de este Capítulo tiene efecto sobre el criterio a aplicar para establecer la conformidad del hormigón verificado con los ensayos mencionados precedentemente.

**C.7.2.1.** Este Capítulo adopta el sistema de gestión de la calidad basado en procesos, entendiendo como tal a cualquier actividad o conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados.

En este enfoque, para que cada Planta opere de manera eficaz y cumpla con los requisitos establecidos, tiene que identificar y gestionar todos sus procesos interrelacionados y que interactúan.

Los términos y definiciones que competen al desarrollo de este capítulo se incluyen en el Anexo A7.

#### 7.1. OBJETO Y CAMPO DE VALIDEZ

Este capítulo provee una guía de lineamientos básicos para desarrollar, implementar y certificar un sistema de gestión de la calidad de una *Planta Elaboradora de Hormigón según ISO 9001:2015, en adelante denominada sólo Planta*, a los fines requeridos por este *Código Modelo*.

Este Código permite *dos Modos de producción de hormigón con sus correspondientes criterios y control de conformidad*. En su Capítulo 6 se establecen los requisitos para operar en cada uno de esos Modos.

Para operar en el Modo 1, cuando la planta está instalada fuera del recinto físico de la obra, se requiere que la misma posea un sistema de gestión de calidad según ISO 9001, certificado por un organismo acreditado por el OAA (Organismo Argentino de Acreditación).

***Este Capítulo debe ser cumplido por cualquier Planta que produzca hormigones de acuerdo con el artículo 6.2.3 "Criterios de conformidad para el Modo 1 de Control" de este Código Modelo.***

#### 7.2. SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD (SGC)

##### 7.2.1. Conceptos generales

Cada Planta Elaboradora *debe establecer, documentar, implementar y mantener un sistema de gestión de la calidad basado en sus propios procesos*, respetando las siguientes premisas fundamentales:

- ***Desarrollar una conciencia de la calidad dentro de la Planta***, que involucre a todos sus niveles y sectores.
- ***Establecer y mantener un sistema de la calidad*** como un medio de asegurar que los hormigones a elaborar cumplen con los requisitos especificados.
- ***Definir objetivos e información documentada necesaria para obtener la calidad*** y el compromiso de todos los involucrados en la actividad de la Planta para lograr esos objetivos.
- ***Identificar todos los procesos*** que son necesarios para implementar un sistema de la calidad basado en los requisitos establecidos en este Capítulo 7 y ***determinar la secuencia y cómo interactúan entre sí los procesos identificados***.
- ***Definir las autoridades*** que están a cargo de cada sector de la Planta y ***las responsabilidades*** que le competen a cada una de ellas.
- ***Definir las relaciones entre el personal que dirige, realiza y verifica*** cualquiera de las tareas que inciden en la calidad.
- ***Asegurar los recursos humanos, las instalaciones, el equipamiento de producción y de control y la realización de las mediciones y los ensayos***, esenciales para alcanzar los objetivos de la calidad.

### 7.2.2. El sistema de gestión de la calidad

Cada Planta Elaboradora debe **desarrollar y operar un sistema de gestión de la calidad** que abarque, como mínimo, los siguientes aspectos:

- Dirección (ver el artículo 7.3).
- Recursos humanos, económicos, instalaciones y equipos afectados a las actividades de la calidad (ver el artículo 7.4).
- Documentación (ver el artículo 7.5).
- Compras (ver el artículo 7.6).
- Recepción, acopio y manejo de acopios de materiales para elaborar hormigón (ver el artículo 7.7).
- Diseño (ver el artículo 7.8).
- Proceso. Incluye elaboración, transporte y entrega del hormigón (ver el artículo 7.9).
- Medición y control del proceso. Incluye control de materiales, acopios, medición, mezclado, transporte, entrega y ensayos (ver el artículo 7.10).
- Registros (ver el artículo 7.11).
- Auditorías internas y externas (ver el artículo 7.12).
- **Certificación del sistema de la calidad** (ver el artículo 7.13).

### 7.2.3. Información documentada

La organización debe mantener información documentada para apoyar sus procesos y conservarla para constatar que los procesos se realizan según lo planificado.

Debe incluir la información documentada requerida por ISO 9001:2015 y toda aquella que la organización determine como necesaria para la eficacia de su sistema de gestión de calidad.

La Planta debe establecer y mantener información documentada sobre:

- a) La política de la calidad de la Planta
- b) El alcance del sistema de Gestión de calidad
- c) La Planificación y control operacional para cada Planta, en la cual conste:
  - c1) Para cada operación, el alcance y los procedimientos documentados establecidos para su ejecución.
  - c2) La interacción entre las distintas actividades y operaciones.

En el Anexo A7, apartado 2, se presenta un diagrama de flujo de un Sistema de Gestión de la Calidad.

## SEGUNDA PARTE. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD (SGC)

### 7.3. DIRECCIÓN

#### 7.3.1. La Planta Elaboradora debe:

- a) **Asegurar la política, los objetivos y la planificación de la calidad** de cada Planta de Hormigón.
- b) **Designar a un Responsable del SGC**, quien con independencia de otras responsabilidades, tendrá la responsabilidad y la autoridad para desarrollar, implementar, supervisar, mantener y mejorar el sistema de gestión de la calidad.

c) **Asegurar que la producción del hormigón y el servicio** de transporte y entrega se realice en un todo de acuerdo con su propio sistema de gestión de la calidad, con este Código Modelo y con este Capítulo.

d) **Asegurar la provisión de la infraestructura y los recursos humanos y materiales** necesarios para la producción, transporte y entrega del hormigón en las condiciones mencionadas precedentemente.

### 7.3.2. La Dirección, a través del responsable del SGC debe:

a) Proporcionar los **recursos humanos y su capacitación, la infraestructura y el equipamiento** necesario y las condiciones de higiene y seguridad laboral.

b) Realizar el **seguimiento, la medición y la evaluación de los procesos** que intervienen en la producción del hormigón, desde la compra de los insumos hasta la entrega del hormigón y el servicio postventa, como así también el análisis de la información obtenida en dichas actividades.

c) Establecer métodos para **evaluar a los subcontratistas de servicios y a los proveedores de materiales**, en lo que respecta a su capacidad de suministrar productos que cumplan con todos los requisitos de las especificaciones y documentos de compra.

d) Comprometerse a **inducir a los subcontratistas de servicios y a los proveedores de materiales para que implementen un sistema formal de la calidad**, de acuerdo con las directivas que imparta cada Planta.

e) Asegurar que se **controlen los procesos identificados** que la Planta opte por contratar externamente, y que afecten a la conformidad del hormigón requerida por este Código.

f) Asegurar que se realicen **mejoras continuas tanto en los procesos y en las actividades como en las distintas clases de hormigones que se elaboren y entreguen**.

## 7.4. RECURSOS HUMANOS, ECONÓMICOS, INSTALACIONES Y EQUIPOS AFECTADOS A LAS ACTIVIDADES DE LA CALIDAD

Este Capítulo es de aplicación a la **provisión de los recursos humanos, económicos, instalaciones y equipos** afectados a las actividades de la calidad.

La Planta debe:

a) **Formar y capacitar a todo el personal de la Planta** involucrado en actividades que afecten a la calidad de los hormigones y a los que son requeridos por la Planta de acuerdo con lo establecido en el **artículo 7.10 – Medición y Control de Proceso**, de este Capítulo.

b) **Proveer la infraestructura y el equipamiento** necesario para elaborar los distintos “tipos” de hormigones, en un todo de acuerdo con los requisitos de conformidad establecidos en este Código. Los mismos deben ser los necesarios para cumplir con lo establecido por la propia Planta para satisfacer los requerimientos de este Capítulo.

### 7.4.1. Capacitación

7.4.1.1. La Dirección de la Organización debe:

a) **Identificar las necesidades de capacitación** del personal afectado a la Planta.

b) **Capacitar en forma periódica** a su personal directivo o ejecutivo, técnico y encargados de áreas y operadores de procesos, en **todos los temas que puedan afectar la calidad** de los distintos “tipos” de hormigones que comercializa la Planta.

c) **Capacitar a su personal en forma obligatoria** cuando:

- Ingrese a la organización.
- Se incorporen nuevos procesos a la Planta.
- Se incorporen nuevas metodologías para la producción de hormigón.
- El personal de la Planta lo solicite o evidencie desconocimiento parcial o total o dudas sobre las actividades que tiene a su cargo y/o los fundamentos de las mismas.

7.4.1.2. **Los procedimientos** utilizados en esta actividad deben constar en los **documentos escritos elaborados por la Planta Elaboradora**. Se debe mantener registro de las capacitaciones brindadas, donde se especifiquen los temas, la cantidad de horas y la eficacia de las mismas en los distintos niveles, a saber:

- Personal ejecutivo o directivo.
- Personal técnico.
- Encargados de áreas y operadores de procesos.

7.4.1.3. Los procedimientos deben establecer la **frecuencia mínima** con que se realizará la capacitación periódica establecida en el artículo 7.4.1.1.b).

#### **7.4.2. Instalaciones y equipos afectados a las actividades de la calidad**

La Planta Elaboradora debe:

a) **Proporcionar la infraestructura y el equipamiento** necesario y suficiente para elaborar los distintos “tipos” de hormigones que comercializa la Planta, en un todo de acuerdo con los requisitos de conformidad establecidos en este Código y por la propia Planta Elaboradora.

b) **Determinar y proporcionar nuevos equipos o adecuar los ya existentes**, cuando en la Planta se incorporen nuevos procesos o metodologías para la producción de hormigón.

c) Asegurar el **mantenimiento permanente de la infraestructura y de todos los equipos de producción** que puedan afectar la calidad de los distintos “tipos” de hormigones que comercializa la Planta, aplicando lo establecido en el artículo 7.10.

#### **7.4.3. Laboratorio de ensayos**

La Planta debe:

a) Tener las **instalaciones y el equipamiento necesario y suficiente para realizar las mediciones y ensayos** requeridos en **el artículo 7.10 – Medición y Control de Proceso** de este Capítulo y los exigidos por este Código.

b) **Determinar y proporcionar nuevos equipos de ensayos** que puedan ser necesarios para el control de producción, cuando en la Planta se incorporen **nuevos procesos o metodologías** para la producción de hormigón.

c) Asegurar el **mantenimiento permanente de todos los equipos para ensayos**, aplicando lo establecido en el artículo 7.10.

**C.7.5.** El propósito de este apartado es establecer las *normas para la elaboración, aprobación, identificación, registro, implementación, conservación, actualización y archivo* de la documentación del sistema de calidad de cada Planta.

## 7.5. DOCUMENTACIÓN

Este artículo es de aplicación a *todos los documentos que integran el Sistema de Gestión de la Calidad* de la Planta Elaboradora de Hormigón, y a *todos los documentos que se generen* en la aplicación del mismo.

### 7.5.1. Documentación del sistema de calidad

Los documentos pueden ser elaborados en *cualquier formato y tipo de medio*. Elegido el formato, se debe mantener el mismo para todos los documentos del sistema de calidad. Cuando el medio de soporte de la información sea *papel, se adoptará el tamaño A4*, establecido por IRAM 3001-1-86.

En cada una de las hojas de cada documento se debe imprimir el *logotipo de la Planta*, a la que pertenece el sistema de calidad.

Todos los documentos deben contener el *número de cada hoja y la cantidad total de hojas* que lo integran.

### 7.5.2. Identificación de cada documento del sistema de calidad

Cada documento debe ser identificado fehacientemente, incluyendo como *mínimo*:

- Tema específico que trata.
- Número identificador.
- Versión o Revisión.
- Responsable de elaboración, revisión y aprobación.
- Fecha de vigencia.

### 7.5.3. Contenido mínimo de cada documento

El cuerpo de cada documento debe contener como mínimo los siguientes tópicos:

- Propósito: descripción sintética del propósito específico del documento.
- Definiciones y Abreviaturas: se puede hacer referencia a un documento específico de definiciones, y de ser necesario agregar en este documento las definiciones particulares o abreviaturas que se usan en el documento.
- Alcance: se debe especificar a qué áreas o lugares de trabajo es aplicable el documento.
- Atribuciones y Responsabilidades: detallar en forma resumida las atribuciones y responsabilidades del personal involucrado en este procedimiento, para cada una de las áreas o lugares de trabajo especificados en "Alcance".
- Desarrollo: detallar en forma resumida las tareas que le corresponden a cada persona involucrada en este procedimiento, para cada una de las áreas o lugares de trabajo especificados en "Alcance".
- Distribución: para cada una de las áreas o lugares de trabajo especificados en "Alcance", indicar a que persona se le debe hacer llegar el documento.
- Referencias: enumerar los documentos con los que se relaciona este documento.
- Capítulos: sí corresponde, detallar los Capítulos que contiene el documento.
- Registros: sí corresponde, detallar las planillas o documentos en los cuales se debe registrar la información que surja del documento.
- Anexos: cuando sea necesario.

**C.7.5.3.** En el apartado 3 del Anexo se presentan ejemplos de la forma de presentación de la documentación de una planta conforme requiere el Manual de la calidad.

#### 7.5.4. Aprobación

La Dirección definirá la persona responsable de **aprobar** los documentos. Para la emisión de un nuevo documento o la actualización de uno ya implementado, se deberá informar al responsable del SGC quien deberá realizar una revisión para comprobar que los documentos cumplen con los requisitos establecidos en este Código Modelo y en el presente capítulo.

El Responsable de la aprobación de documentos firmará y aclarará su firma al final de cada documento original.

#### 7.5.5. Distribución

Se debe garantizar la **distribución de la última revisión** de todos los documentos del sistema de la calidad a las áreas en que sean de aplicación. Esta exigencia es válida para los **documentos de origen interno y externo** a la Planta.

#### 7.5.6. Implementación

Previamente a la puesta en marcha del sistema de calidad, se debe **implementar cada documento en el área específica a la que es aplicable y en las áreas que interactúan con ella**. Esta tarea permitirá ajustar el documento a las reales necesidades de cada Planta y asegurar que sea entendible y aplicable por el personal involucrado.

#### 7.5.7. Revisión y actualización

Periódicamente se deben **revisar y actualizar los documentos y aprobarlos nuevamente**. Estas operaciones se realizarán de acuerdo a lo definido por la organización.

#### 7.5.8. Conservación y archivo

Todos los documentos que integran el sistema de la calidad de cada Planta deben ser **conservados y archivados**, en condiciones tales que:

- a) Permanezcan legibles y fácilmente identificables.
- b) Se identifiquen de forma inequívoca los cambios efectuados.
- c) Se identifique el estado de revisión actual.

#### 7.5.9. Versiones

En **todas las áreas o lugares de trabajo** involucrados en la calidad se debe asegurar que:

- a) Se encuentren **disponibles las últimas versiones** emitidas y que se hayan **retirado de uso las versiones anteriores**.
- b) Se **identifique fehacientemente a todos los documentos obsoletos** que se deban mantener por una razón de fuerza mayor, para evitar su uso no intencionado.

#### 7.5.10. Documentos generados por la aplicación del Sistema de Gestión de la Calidad

Los documentos generados a partir de la aplicación del sistema de gestión de calidad, como planillas, registros de control de procesos, de medición y ensayos y documentos que acrediten el cumplimiento de los procedimientos, deben identificarse y conservarse.

El **período mínimo de tiempo** durante el cual se mantendrán disponibles, será establecido de acuerdo a la información que contengan y quedará a criterio de cada planta. **Se utilizarán para la trazabilidad del hormigón y para las auditorías establecidas en el artículo 15. Podrán ser solicitados por los Directores de Obra que operen según el Modo 1 de este Código Modelo.**

Ver Anexo A7, apartado 3.

## 7.6. PROCESOS, PRODUCTOS Y SERVICIOS SUMINISTRADOS EXTERNAMENTE

Este artículo es de aplicación a las actividades de *evaluación y selección de los proveedores y a las compras o provisión por parte de terceros de insumos para el hormigón y para los equipos de producción, transporte y control*, que realice cada Planta Elaboradora de Hormigón.

Sus propósitos principales son:

- a) **Seleccionar los proveedores** en función de su capacidad para cumplir con los requisitos de la subcontratación efectuada, incluidos aquellos atinentes a la calidad.
- b) Garantizar que todos los **insumos**, adquiridos y utilizados en la elaboración de los hormigones que comercializa la Planta, **cumplan con los requisitos especificados por este Código Modelo y por la propia Planta**.

La Planta Elaboradora debe asegurar esta condición aun cuando el proveedor tenga su propio sistema de calidad o cuando el cliente suministre insumos a incorporar en la Planta.

- c) Cuando por convenio previo los insumos o la dosificación sean establecidos por el cliente, no será responsabilidad de la Planta garantizar las propiedades del hormigón resultante.

### 7.6.1. Responsables

La Planta Elaboradora debe:

#### 7.6.1.1. Designar un responsable para

- a) Realizar la *evaluación y selección de los proveedores y las compras* de las áreas de:

Insumos para el hormigón.

Equipos de producción, transporte y control.

- b) Establecer y mantener actualizado un **registro de cada proveedor**, tarea que estará a cargo de los responsables de cada área.
- c) Redactar las **especificaciones técnicas** correspondientes a cada insumo a comprar, tarea que estará a cargo de los responsables de cada área.
- d) Redactar y/o revisar las **cláusulas de compras** de orden legal y contable.

#### 7.6.1.2. Designar un responsable

- a) Que se encargue de **aprobar la selección final y que revise, controle y extienda la autorización final para la compra de los insumos**, quién debe tener la idoneidad necesaria para reconocer o evaluar las especificaciones y asegurar que se incluyeron las cláusulas sobre calidad de los insumos.
- b) Para la **recepción y el control de los insumos** adquiridos para cada área.

### 7.6.2. Evaluación y selección de los proveedores que cuentan con un sistema de la calidad certificado

Cada Planta deberá asegurarse de que un proveedor que **cuenta con su propio sistema de calidad certificado**, puede cumplir con las especificaciones de los insumos o servicio que se le adquiere.

Las **pruebas mínimas exigibles** por este Capítulo son:

- a) Solicitar al proveedor la **documentación que demuestre que tiene un sistema de calidad establecido, documentado, implementado, mantenido y certificado**

- b) Solicitar al proveedor los **registros que demuestren que realiza ensayos** sobre sus productos para verificar el cumplimiento de las especificaciones.
- c) Analizar la **actuación del proveedor en plaza** en cuanto a plazo de entrega y calidad del producto.
- d) Solicitar los **informes de la auditoría externa del proveedor o realizar la auditoría al proveedor**. En cualquiera de los casos, la Planta **puede** corroborar la eficacia del sistema de calidad del proveedor, y si corresponde, solicitarle muestras de los productos que comercializa para someterlos a ensayos de control.

### 7.6.3. Evaluación y selección de los proveedores que no cuentan con un sistema de la calidad certificado

Cada Planta debe contar con pruebas confiables que demuestren que un proveedor, **que no cuenta con un sistema de gestión de calidad certificado**, está en condiciones de cumplir con las especificaciones del producto o servicio que se le adquiere.

Las pruebas mínimas exigibles por este Capítulo son:

- a) Solicitar al proveedor **resultados documentados de pruebas de sus productos** para verificar el cumplimiento de las especificaciones. Si el proveedor no posee esta información, la Planta debe solicitarle **muestras de los productos que comercializa y someterlos a ensayos de control**.
- b) Analizar la **actuación del proveedor en plaza** en cuanto a plazo de entrega y la calidad del producto.
- c) Realizar **informes documentados de las evaluaciones efectuadas a las instalaciones del proveedor** que permitan determinar fehacientemente su capacidad para cumplir con las especificaciones del producto o servicio que ofrece.

**C.7.6.4.** La Órdenes de Compra, además de los datos obligatorios indicados en el artículo 7.6.4.b), pueden incluir datos optativos como:

Número, nombre y edición de las normas IRAM a cumplimentar por cada insumo.

Si la recepción se realizará en las instalaciones del proveedor o en la Planta.

Ensayos a realizar para su recepción.

Cláusulas de compras de orden legal y contable.

### 7.6.4. Órdenes de Compra

- a) Deben ser redactadas en forma clara.
- b) Deben incluir los siguientes datos:
  - Número de la Orden de Compra.
  - Descripción clara del o de los insumos que se compran, con una identificación precisa de los mismos y la especificación técnica redactada por el área que corresponda.
  - Modelo, número de serie y tipo del insumo a adquirir o cualquier otro dato técnico necesario para individualizar al mismo, en caso de ser necesario, para la adquisición de elementos electromecánicos.
  - Certificado de la calidad emitido por el proveedor, en caso que corresponda.
  - Plazo de entrega.
- c) Una vez completada la documentación de la Orden de Compra, **antes de su liberación, debe ser aprobada por el responsable designado en el artículo 7.6.1.2.**

### 7.6.5. Recepción de los insumos

- a) La **recepción de los insumos** adquiridos debe ser realizada por los **responsables designados según el artículo 7.6.1.2.**
- b) Se debe verificar si los mismos **son conformes o no conformes** con las especificaciones establecidas en la correspondiente Orden de Compra, y los pasos a seguir en cada caso.
- c) Se deben establecer **registros claros que permitan la identificación y la trazabilidad** de cada insumo adquirido.

**7.6.6. Insumos o bienes de propiedad del cliente entregados en Planta**

Para todos los *insumos o bienes de propiedad del cliente*, provistos para formar parte del hormigón o para su elaboración o transporte, cada Planta debe establecer *procedimientos escritos* que permitan:

- a) Su *identificación* al ingresar a la Planta.
- b) Su *verificación* cuando corresponda, registro, almacenamiento y conservación.
- c) Su *ensayo y/o inspección*, a realizar en Planta
- d) Comunicar al cliente su eventual pérdida o deterioro.

**7.7. RECEPCIÓN, ACOPIO Y MANEJO DE ACOPIOS DE MATERIALES PARA ELABORAR HORMIGÓN**

Este artículo es de aplicación en cada Planta de Elaboración de Hormigón a las actividades de *recepción, acopio y manejo de acopios de materiales para elaborar hormigón*.

Estos procesos se deben realizar de acuerdo tanto con lo *especificado por este Código Modelo como con la modalidad propia de cada Planta*. Con el fin de asegurar que durante su ejecución no se modifiquen las características de los materiales componentes del hormigón ni se afecten las propiedades del mismo.

Los procedimientos utilizados en estos procesos deben constar en los *documentos escritos elaborados por cada Planta*.

### 7.7.1. Recepción de materiales componentes del hormigón

Se debe controlar que los materiales **conformes** que ingresan a la Planta mantengan sus **características originales**.

Consecuentemente, se deben elaborar procedimientos escritos para:

- a) La **recepción de las distintas partidas**, con los ensayos de aceptación y las acciones a seguir, según que el **proveedor tenga o no un sistema de la calidad acreditado**.
- b) Asegurar que las distintas partidas recibidas sean **conformes** con los requisitos especificados por este Código Modelo y por la propia Planta.
- c) Fijar los límites y criterios para el reprocesamiento y reclasificación de aquellas **partidas no conformes**, estableciéndose los procedimientos para su utilización de forma tal que se cumpla con lo requerido por este Código Modelo.
- d) Definir los procedimientos a implementar para lograr la identificación y trazabilidad de las partidas.

Cuando se reciban materiales **no conformes** y ellos sean reprocesados de acuerdo con el artículo 7.7.1.c) se debe controlar que mantengan las propiedades del material reprocesado hasta su utilización.

### 7.7.2. Acopio de materiales componentes del hormigón

Se debe controlar que en los **acopios de planta y en las tolvas de la Planta**, se mantengan las características originales de todos los materiales ingresados a la Planta.

Consecuentemente, se deben establecer **procedimientos escritos** para asegurar:

- a) El **suministro de agua de mezclado** en cantidad y oportunidad, y su protección del medio ambiente.
- b) La **identificación de los diferentes tipos y marcas de cemento** en silos metálicos que cumplan con las exigencias establecidas en este Código Modelo.
- c) La **utilización de los distintos tipos y marcas de cemento** en el orden cronológico de su ingreso a la Planta.
- d) La **identificación y el acopio por separado de los distintos tipos y fracciones de agregados**, evitando su mezcla.
- e) La **identificación de los aditivos de cada marca, tipo y procedencia**, recibidos tanto en envases originales de fábrica como a granel, y su **protección de las temperaturas extremas** indicadas por su fabricante.

### 7.7.3. Manipulación de materiales componentes del hormigón

Se deben utilizar **métodos operativos y equipos** que garanticen la constancia de las características de los materiales componentes del hormigón, evitando su **segregación, contaminación o deterioro y garantizando un abastecimiento continuo de los mismos**. Consecuentemente, se deben establecer **procedimientos escritos** para asegurar el manipuleo y transporte de:

- a) El agua **para el mezclado** del hormigón, desde su acopio hasta la mezcladora o la motohormigonera.
- b) Los **distintos tipos de cemento** a los silos de acopio y desde estos hasta la tolva de pesado de la planta.
- c) Los **distintos tipos y fracciones de agregados** desde sus acopios hasta las tolvas de acopio de la planta, y desde ellas hasta la mezcladora o la motohormigonera.
- d) Cada **tipo y fracción de los agregados** a usar para cada "**tipo**" de hormigón a elaborar, en función de la cantidad de tolvas de acopio que posee cada planta mezcladora o dosificadora.

e) Los *distintos tipos de aditivos* desde su acopio hasta la mezcladora o la motohormigonera.

f) El *tipo y dosis de aditivo superfluidificante*. Cuando su incorporación se realiza inmediatamente antes de la descarga del hormigón en obra, se debe agregar un procedimiento específico para ello.

## 7.8. DISEÑO

Este Capítulo es de aplicación al *diseño de los distintos "tipos" de hormigones que comercializa cada Planta*.

Los diseños se deben realizar respetando las premisas básicas establecidas en el Capítulo 6 de *este Código y los criterios adoptados por cada Planta y establecidos en su sistema de gestión de la Calidad*.

Cada Empresa Elaboradora de Hormigón establecerá la definición de *"Tipo de Hormigón", los criterios de diseño y el conjunto de variables a incluir en casos particulares*.

La organización debe planificar el diseño y desarrollo, determinando las entradas, los controles, las salidas y los posibles cambios que sean necesarios implementar.

### a) Datos de entrada para el diseño y desarrollo

Se consideran los requisitos funcionales y de desempeño, la información proveniente de desarrollos similares, los requisitos reglamentarios, las normas aplicables y los procedimientos definidos por la organización.

Esta información deberá mantenerse documentada.

### b) Controles del diseño y desarrollo

Se deben aplicar los controles necesarios para asegurar que están definidos los resultados a lograr, las revisiones, las actividades de verificación y validación para evaluar la capacidad para cumplir con los requisitos, y tomar acciones en caso de ser necesario, dejando documentada todas las actividades realizadas.

### c) Salidas del diseño y desarrollo

Se debe asegurar que se cumplen los requerimientos, que son adecuados para las actividades de provisión e incluyen los criterios de aceptación. También debe conservarse información documentada sobre estas actividades.

### d) Cambios del diseño y desarrollo

Se debe conservar información sobre los cambios realizados, los resultados de las revisiones, la autorización de los cambios y las acciones tomadas para prevenir impactos adversos.

**C.7.9.** En el Anexo A7, apartado 4 se muestra un diagrama de flujo del proceso de elaboración de hormigón y del control de proceso.

## 7.9. PRODUCCIÓN Y PROVISIÓN DEL SERVICIO

Este artículo es de aplicación a las actividades de *dosificación de los materiales componentes, su carga en la mezcladora o la motohormigonera y el mezclado, el transporte y la entrega de cada "tipo" de hormigón* que fabrica cada Planta.

Estos procesos se deben realizar de acuerdo con lo *especificado por este Código y con lo establecido por cada Planta* y deben asegurar que durante su ejecución no se modifiquen las características y las propiedades del hormigón.

Los procedimientos utilizados en estos procesos deben constar en *documentos escritos elaborados para cada Planta*.

Los procedimientos de **Transporte y entrega del hormigón en obra** se deben establecer de acuerdo con este Código con el fin de:

- a) Garantizar que durante el **transporte del hormigón a obra** no se modifican las características y propiedades del hormigón, como así tampoco el volumen de la carga.
- b) Cumplimentar los **tiempos máximos establecidos por este Código** para completar el transporte del hormigón, incluyendo la espera en obra y su descarga. Se deben precisar las condiciones para el hormigón elaborado **sin o con aditivo retardador del tiempo de fraguado**.
- c) Asegurar la **uniformidad y homogeneidad del hormigón** antes de su descarga en la obra según el criterio de muestreo establecido, incluyendo el caso en que se agrega a la motohormigonera un superfluidificante en la obra.
- d) Verificar la **consistencia del hormigón** previo a su descarga en la obra, y registrar quién realiza esta tarea y la consigna en el remito correspondiente.
- e) Garantizar la **razón agua/cemento del hormigón**. El agregado de agua en obra será responsabilidad de la Planta Elaboradora siempre que esta sea adicionada para alcanzar el asentamiento previsto para el tipo de hormigón entregado y forme parte del agua de mezclado prevista en la dosificación. Si, por el contrario, el cliente solicita un asentamiento mayor al contemplado para el tipo de hormigón solicitado o el hormigón por problemas atribuibles al Cliente no se colocará en el tiempo máximo establecido por este Código Modelo el agregado de agua para alcanzarlo será responsabilidad del Cliente, acreditándose en el Remito correspondiente el agregado de agua solicitado. El alcance de la responsabilidad de la Planta Elaboradora establecida en el párrafo precedente se estipulará fehacientemente en el reverso de cada remito y será de conocimiento.

## 7.10. EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO

Ver Anexo A7, apartado 7.3.

### 7.10.1 Condiciones generales

- a) Este artículo es de aplicación al **control de los procesos mencionados en el artículo 7.9**. Su propósito principal es el **control de las variables que afectan la calidad de los hormigones** a proveer por la Planta y asegurar que los mismos sean conformes según lo establecido en este Código Modelo.
- b) **La Planta debe establecer sus propios estándares de la calidad**. También debe diseñar y operar los procedimientos de medición y control de procesos que sean necesarios para asegurar que el hormigón se produce con los estándares de la calidad de la planta. Dichos **procedimientos deben estar documentados y sus mediciones deben registrarse** de acuerdo con lo establecido en el artículo 7.11.
- c) Se deben establecer **procedimientos escritos de medición y control de procesos de todas las características del hormigón** para las cuales este Código, Capítulo 6, exige **criterios de conformidad**. En particular, se deben establecer los procedimientos que surgen de los artículos 7.10.1 a 7.10.7, sin que ellos tengan carácter taxativo.
- d) Las mediciones realizadas durante el control de proceso deben tener la precisión y la frecuencia necesaria para asegurar que el hormigón entregado por la Planta tiene la resistencia especificada, con un error para el cliente **menor que el 5 %**. La Planta debe realizar estudios estadísticos que demuestren el cumplimiento de esta condición y dichos estudios deben **ser verificados y certificados por la entidad de certificación** mencionada en el artículo 7.13. Esta condición también debe ser verificada permanentemente por la Planta y será **objeto ineludible de todas las auditorías internas y externas**.
- e) Toda la información resultante de las acciones mencionadas en el párrafo anterior debe estar a **disposición del cliente**.

### 7.10.2. Laboratorio de ensayos

a) Cada Planta debe **instalar y operar un laboratorio de ensayos de acuerdo con lo especificado en su Plan de la calidad**, el que debe cumplir además con los requisitos establecidos en el artículo 7.4. Este laboratorio deberá tener un equipamiento mínimo que permita realizar los ensayos de control de recepción de materiales componentes y los de control de proceso sobre los acopios.

b) El **personal técnico del laboratorio debe conocer y disponer de los procedimientos escritos y de las normas IRAM** correspondientes a todos los ensayos y mediciones que se deben realizar para dar cumplimiento a lo establecido en el artículo 7.10.1.

c) Adicionalmente, para aquellos ensayos de control que no estén contemplados en el artículo 7.10.2.a), el productor deberá contar con un laboratorio central propio o tercerizado. En el caso de que el productor opte por la modalidad de utilizar un laboratorio tercerizado, éste estará sujeto a:

- los programas de verificación de ensayos de control,
- las auditorías internas (realizadas por el productor),
- las auditorías externas (realizadas por el organismo que realiza la acreditación).

### 7.10.3. Materiales

7.10.3.1. El **responsable designado de acuerdo con el artículo 7.6.1.2. para la recepción y el control de los insumos** debe:

a) Verificar que las distintas partidas recibidas sean **conformes** con los requisitos especificados en este Código y por la propia Planta.

b) Indicar e identificar aquellas partidas que no cumplen con las especificaciones y que deben ser reclasificadas y/o reprocesadas para su utilización de acuerdo con los procedimientos establecidos en el artículo 7.7.1 de este Capítulo 7 y en el Plan de la Calidad.

7.10.3.2. El **Responsable** del SGC debe:

a) Determinar **los ensayos de control** necesarios y suficientes para verificar lo expresado en el artículo 7.7.1.

b) Verificar periódicamente los **resultados de los ensayos de control** realizados por el proveedor y por el laboratorio de Planta, de acuerdo con el programa de validación indicado en el Manual de la Calidad. Dicho programa incluirá la calibración de los equipos de ensayos, contraensayos, periodicidad y criterios de conformidad a utilizar.

### 7.10.4. Acopios de materiales

a) La Planta debe **operar los acopios** de modo tal que se mantengan las características originales.

b) El Plan de la Calidad de cada Planta debe establecer los controles **para verificar lo especificado en el artículo 7.10.4.a).**

c) El responsable **del laboratorio de ensayos** debe determinar la **humedad superficial sobre cada fracción de agregado fino y agregado grueso**. La secuencia con que se realizarán las determinaciones será establecida por el Responsable Técnico.

### 7.10.5. Equipos de almacenamiento, producción, transporte, entrega y control

La Planta debe **establecer y operar programas** que permitan:

Ver ejemplos de diagrama de mantenimiento preventivo de equipos y de compras de máquinas y herramientas e insumos en Anexo A7.

a) El **control y mantenimiento de todos los equipos de almacenamiento, producción, transporte y medición** que utilice en su actividad productiva.

b) El **control y calibración de todos los equipos de ensayo e instrumentos de medición**, que utilice en el laboratorio y en la actividad productiva.

Los programas anteriores deben estar **documentados** y serán realizados de acuerdo con los **procedimientos también documentados**.

#### 7.10.6. Control del hormigón

**El control del hormigón se debe realizar de acuerdo con lo establecido en este Código en el artículo 7.10.1 y en los procedimientos de la Planta.**

Los procedimientos de control deben incluir, **sin carácter taxativo**, la información, los ensayos y las mediciones que se indican a continuación:

a) Cada Planta establecerá en su Plan de la Calidad **los indicadores** correspondientes a los parámetros de diseño de cada "tipo" de hormigón y **midiendo su fluctuación** durante la producción de ese hormigón por la Planta. Cada indicador será **registrado, representado en gráficos de control, evaluado periódicamente y determinada su conformidad** con los estándares de la Planta y los establecidos en el Capítulo 4 de este Código que sean de aplicación a cada "tipo" de hormigón.

b) **Programa diario** de entrega de hormigón, por cliente y "tipo" de hormigón y **registro por cliente** de las cargas efectuadas en la Planta para cada "tipo" de hormigón.

c) Cartas **de control por cada "tipo" de hormigón**, que permitan el seguimiento de los siguientes parámetros:

- Consistencia
- Aire incorporado, si corresponde.
- Masa de la unidad de volumen
- Temperatura.
- Resistencias individuales.
- Resistencias medias de tres (3) valores consecutivos.

#### 7.10.7. Tratamiento de las no conformidades

Cada Planta debe asegurar que los hormigones o sus materiales componentes que **sean no conformes**, se identifiquen y se evite su uso o entrega no intencional al cliente, también deben considerarse los servicios No conformes. Para ello se deben establecer **procedimientos escritos** que establezcan:

a) Quién o quiénes son las **personas responsables de la revisión** de los distintos "tipos" de hormigones o sus materiales componentes, que no se ajusta a las especificaciones, y **quién está facultado para establecer las acciones preventivas o correctivas** correspondientes.

b) Qué **medidas de mejora o correctivas** se aplican ante los distintos tipos de no conformidades que se pueden presentar.

c) Quién es el **responsable de registrar** las no conformidades y las medidas adoptadas.

d) Quién es el responsable y de qué manera realizará la medición de la eficacia de las acciones implementadas

C.7.11. En el Anexo A7, apartado 7 se brindan ejemplos de registros típicos.

#### 7.11. REGISTROS

Este artículo es de aplicación a la actividad de **registros de la calidad** que se deben realizar en cada Planta.

Sus propósitos principales son:

- a) **Documentar los resultados de las mediciones, ensayos e inspecciones** que se realizan sobre los distintos procesos, y los "**tipos**" de hormigones que comercializa la planta, incluyendo sus materiales componentes.
- b) Establecer **normas para la identificación, recopilación, clasificación, archivo, almacenamiento, forma y tiempo de conservación y eliminación** de todos los registros del sistema de la calidad de cada Planta.
- c) Tener **evidencias objetivas de las mediciones, ensayos e inspecciones realizadas**, en caso de ser solicitados por una auditoría externa o por el cliente.
- d) Permitir la **trazabilidad** de los distintos "**tipos**" de hormigones y de sus materiales componentes de acuerdo con lo indicado en el Manual de la Calidad y en el Plan de la Calidad de cada Planta.

#### **7.11.1. Registros mínimos con que debe contar cada Planta Elaboradora**

Cada Planta debe **llevar y mantener registros** para asegurar el control de producción de cada "**tipo**" de hormigón que comercializa, permitir la trazabilidad de los mismos y tener disponibles evidencias objetivas para las auditorías internas o externas de la calidad.

Como **mínimo** se deben llevar y mantener registros que permitan tener evidencias objetivas de:

- a) Todos los **documentos que** componen **el sistema de la calidad**, tanto sean de origen interno como externo a la Planta.
- b) La **capacitación impartida** al personal de dirección, al personal técnico y a los operadores de cada proceso que en la Planta realizan actividades que afectan a la calidad. En los mismos debe constar, para cada curso o cursillo: el tema, el responsable del dictado, la cantidad de horas, si corresponde aprobación o asistencia, lugar de dictado.
- c) El **sistema de distribución y retiro** en cada lugar de trabajo de los documentos de la calidad.
- d) **Toda la información documentada** que surja de aplicar los artículos 7.6.2 y 7.6.3 referentes a la **evaluación y la selección de los proveedores**.
- e) Todos aquellos **proveedores seleccionados como aceptables**, indicando claramente, en estos registros, cómo se incorporan nuevos proveedores a la nómina de los ya "**aprobados**" y cómo se debe dar de baja a proveedores, en caso que sea necesario.
- f) Las **especificaciones emitidas** en conjunto con las Órdenes de Compra de insumos para el hormigón y para los equipos de producción, transporte y control.
- g) La **recepción de** insumos para el hormigón y para los equipos de producción, transporte y control, establecidos en el Manual de la Calidad.
- h) Los **pedidos de** hormigón por cliente y "**tipo**" de hormigón.
- i) Los **ensayos de muestras de los materiales componentes del hormigón**, tomadas en los acopios de la Planta, con identificación de partida, y de los ensayos de verificación.
- j) Los protocolos de ensayos **de cementos y aditivos químicos**, en donde consten los ensayos realizados por la fábrica, con identificación de partida o período de fabricación.
- k) Los **diseños de cada dosificación de hormigón** sobre la que no existan resultados de ensayos históricos para su validación, incluyendo los resultados de las propiedades del hormigón fresco y endurecido.
- l) Las **mediciones y los controles** realizados sobre de los **procesos internos y externos contratados**, que afecten la calidad de los distintos "**tipos**" de hormigones que comercializa la Planta.

- m) Las mediciones **y ensayos** realizados sobre el hormigón y sus materiales componentes, y el análisis de los datos obtenidos.
- n) Las entregas de hormigones y de todas las **cargas efectuadas en la Planta**.
- o) Las **características del hormigón fresco y endurecido** para cada "**tipo**" de hormigón, sobre muestras extraídas en la Planta y/o en la obra. Cuando los ensayos se realicen en obra, estos registros también se llevarán por obra.
- p) El **mantenimiento** de todos los equipos, **propios o alquilados**, de almacenamiento, producción, transporte y medición que integran la o las plantas de producción de hormigón.
- q) La calibración de los equipos de producción, transporte y control del hormigón.
- r) **Cumplimiento de las balanzas con la Ley 19511**, Ley Nacional de Metrología.

**Las balanzas utilizadas deben tener aprobación de modelo y verificación primitiva.**

Adicionalmente, la planta debe asegurar las condiciones de trabajo de las balanzas a través de la verificación periódica de las mismas.

C.7.11.1.r) Según el artículo 20° de la Ley 19511: No se podrá tener ningún título ni disponer en cualquier forma, de instrumentos de medición reglamentados que no hayan sido sometidos a la verificación primitiva. Por otro lado, según el Art. 9. de dicha Ley es obligatoria la verificación periódica y vigilancia de uso de todo instrumento de medición reglamentado que sea utilizado en:

- transacciones comerciales;
- verificación del peso o medida de materiales o mercaderías que se reciban o expidan en toda explotación comercial, industrial, agropecuaria o minera;
- valoración o fiscalización de servicios;
- valoración o fiscalización del trabajo realizado por operarios;
- reparticiones públicas;
- cualquier actividad que, por su importancia, incluya la reglamentación.

s) Las **cartas de control** correspondientes a los parámetros que se indican a continuación, para cada "**tipo**" de hormigón que produce la Planta:

- Consistencia
- Aire incorporado, si corresponde.
- Masa de la unidad de volumen.
- Temperatura.
- Resistencias individuales.
- Resistencias medias de tres (3) valores consecutivos.

### 7.11.2. Archivo y conservación

Se debe asegurar la **identificación, recopilación, clasificación, archivo, almacenamiento, forma y tiempo de conservación y eliminación de todos los registros** que afecten la calidad de los distintos "**tipos**" de hormigones que comercializa la Planta.

Consecuentemente, cada Planta debe **establecer procedimientos documentados para sus registros, que puedan estar en cualquier tipo de medio**, con el fin de asegurar:

- a) Su identificación, recopilación, clasificación y archivo.
- b) El tiempo que corresponde retener cada registro de la calidad.
- c) Que se impida la pérdida de todos los registros de la calidad.

d) Que se cuente con una copia en papel tamaño A 4 establecido por IRAM 3001-1-86, impresa y firmada por el Representante Técnico, para su uso en la trazabilidad del hormigón y las auditorías establecidas en el artículo 7.12.

e) Su sencilla recuperación.

f) Que las instalaciones destinadas a su archivo, garanticen que los registros no sufran deterioro o daño y no se extravíen.

g) Que los registros de la calidad generados por medios electrónicos estén protegidos contra temperaturas extremas, riesgos de electromagnetización y demás casos de contaminación.

## 7.12. AUDITORÍAS INTERNAS Y EXTERNAS

Este artículo es de aplicación a las *auditorías internas y externas* de todas las actividades incluidas en este Capítulo 7.

**C.7.12.1.** En el Anexo A7, apartado 8 se muestra un diagrama de flujo típico para auditoría interna de la calidad.

### 7.12.1. Auditorías internas

7.12.1.1. Cada Planta debe realizar *auditorías internas en intervalos planificados*, con el fin de determinar que:

a) Su *sistema de la calidad* se ajusta globalmente a este Capítulo 7.

b) Los *recursos humanos y las instalaciones* se están utilizando eficientemente.

c) Los *procedimientos escritos* correspondientes a cada proceso se *implementaron correctamente*, y se evaluaron, documentaron e implementaron las *acciones correctivas* propuestas por las auditorías anteriores.

d) Cada "tipo" de hormigón que comercializa cumple con los *requisitos de diseño* establecidos por *el usuario en forma fehaciente* y/o por este Código Modelo.

e) La planta cuenta con un *control de producción* eficiente y los registros de mediciones y ensayos indican que todos los procesos están *bajo control*.

f) Cada "tipo" de hormigón que comercializa y sus materiales componentes, *cumplen con los requisitos de conformidad* establecidos en este Código.

7.12.1.2. Cada Planta debe establecer *un procedimiento escrito*, conteniendo el *programa anual propuesto para realizar las auditorías internas*, en función de las siguientes premisas básicas:

a) El cronograma anual debe especificar la *frecuencia con que se realizarán las auditorías internas*, y si las mismas serán programadas o no programadas.

b) Cada auditoría *programada* debe auditar:

- La información documentada de los registros y toda otra documentación generada por la aplicación del sistema de gestión de la calidad.
- Las actividades en ejecución, los insumos y los hormigones resultantes.

c) Las personas que lleven a cabo la *auditoría interna* de la calidad de la Planta deben ser *independientes* de la función objeto de auditoría.

d) El procedimiento debe establecer los *responsables* para:

- Generar los planes de auditorías internas, en función de la frecuencia anual establecida.
- Seleccionar el equipo auditor y al auditor responsable.

- Analizar el informe final de cada auditoría, investigar las causas de las no conformidades y adoptar las decisiones respecto de las acciones correctivas a implementar.
- Realizar el seguimiento de las acciones correctivas a implementar.

Reunir, archivar y conservar todos los registros que correspondan a cada auditoría interna.

#### 7.12.2. Auditorías externas

- a) Las *auditorías externas* tienen por objeto realizar una verificación del sistema de la calidad por parte del *organismo que realizó su certificación*.
- b) Cuando se aplique el *Modo 1* de producción y control de conformidad, el *Comprador* tendrá la prerrogativa de realizar su *propia auditoría del sistema de la calidad de la Planta*. Los resultados de esta auditoría serán de la *exclusiva responsabilidad del Comprador, quien deberá asumir además el costo de su realización*.

### 7.13. CERTIFICACIÓN DEL SISTEMA DE LA CALIDAD

#### 7.13.1. Entidad certificante

El *sistema de calidad de una Planta* debe ser certificado por un organismo acreditado por el *Organismo Argentino de Acreditación (OAA)*, según Decreto 1474/94.

#### 7.13.2. Alcance de la certificación del sistema de la calidad

- a) La entidad certificante debe *certificar que el sistema de la calidad de la Planta, sus actividades y los hormigones producidos cumplen con los requisitos establecidos en este Capítulo 7*.
- b) El certificado *se otorga a cada Planta y es intransferible*, inclusive entre plantas elaboradoras que pertenezcan a una misma organización.
- c) El certificado otorgado *no sustituye* a todas las responsabilidades establecidas por la legislación vigente que sean de aplicación.

#### 7.13.3. Vigencia y auditorías externas

- a) La *vigencia* del certificado del sistema de la calidad para cada Planta será establecido por la entidad certificante, pero no podrá ser mayor de *tres (3) años*.
- b) La *entidad certificante auditará periódicamente* a la Planta que cuente con su certificado del sistema de la calidad. La *periodicidad* no podrá ser mayor de una (1) auditoría cada seis (6) meses.
- c) En caso que lo considere necesario, y a su solo juicio, la *entidad certificante* podrá realizar *auditorías en forma aleatoria a la Planta* que cuente con su certificado del sistema de la calidad.

## ANEXO A7

### SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD PARA UNA PLANTA ELABORADORA DE HORMIGÓN

#### 1. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Las definiciones que competen al Capítulo 7 se *transcriben de IRAM-ISO 9000:2015*.

**Acción Correctiva:** Acción tomada para eliminar la causa de una no conformidad detectada u otra situación indeseable.

**Acción Preventiva:** Acción tomada para eliminar la causa de una no conformidad potencial u otra situación potencialmente indeseable.

La acción correctiva se toma para prevenir que algo vuelva a ocurrir, mientras que la acción preventiva se toma para prevenir que algo ocurra.

**Alta Dirección:** Persona o grupo de personas que dirige y controla una organización al más alto nivel.

**Auditado:** Organización que es auditada.

**Auditor:** Persona con habilidad demostrada para aplicar conocimientos y aptitudes.

**Auditoría:** Proceso sistemático independiente y documentado, para obtener registros, declaraciones de hechos o cualquier otra información para ser evaluados de manera objetiva, con el fin de determinar el grado en que se cumple el conjunto de políticas, procedimientos o requisitos utilizados como referencia.

**Calidad:** Grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con la necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria.

**Clase:** Categoría o rango dado a diferentes requisitos de la calidad para productos o procesos que tienen el mismo uso funcional.

**Cliente:** Persona u organización que podría recibir o que recibe un producto o un servicio destinado a esa persona u organización o requerido por ella.

**Conformidad:** Cumplimiento de una necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria.

**Control de la Calidad:** Parte de la gestión de la calidad orientada al cumplimiento de los requisitos de la calidad.

**Confirmación metrológica:** Conjunto de operaciones necesarias para asegurarse de que el equipo de medición es conforme con los requisitos para su uso previsto.

Generalmente incluye calibración o verificación, cualquier ajuste necesario o reparación y posterior recalibración, comparación con los requisitos metrológicos para el uso previsto del equipo, así como cualquier sellado y etiquetado requeridos.

**Corrección:** Acción tomada para eliminar una no conformidad detectada.

**Defecto:** Incumplimiento de una necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria, relativa a un uso previsto o especificado.

La distinción entre los conceptos *defecto* y *no conformidad* es importante por sus connotaciones legales, particularmente aquellas asociadas a la responsabilidad legal de los productos y servicios.

**Desecho:** Acción tomada sobre un producto o servicio no conforme para impedir su uso inicialmente previsto.

En el caso de un servicio no conforme, el uso se impide no continuando el servicio.

**Documento:** Datos que poseen significado y su medio de soporte. El medio soporte puede ser papel, disco magnético, óptico o electrónico, fotografía o muestra patrón o una combinación de éstos.

Ejemplos: registros, especificación, procedimiento, plano, informe, norma.

**Ensayo:** Determinación de acuerdo con los requisitos para un uso o aplicación previsto específico.

**Especificación:** Documento que establece requisitos.

**Evidencia Objetiva:** Datos que respaldan la existencia o veracidad de algo.

Puede obtenerse por medio de la observación, medición, ensayo o por otros medios.

La evidencia objetiva con fines de auditoría generalmente se compone de registros, declaraciones de hechos u otra información que son pertinentes para los criterios de auditoría y verificables.

**Información documentada:** Información que una organización tiene que controlar y mantener, y el medio que la contiene.

La información documentada puede estar en cualquier formato y medio, y puede provenir de cualquier fuente.

La información documentada puede hacer referencia al sistema de gestión; la información generada para que la organización opere (documentación) y la evidencia de los resultados alcanzados.

**Infraestructura:** Sistema de instalaciones, equipos y servicios necesarios para el funcionamiento de una organización.

**Inspección:** Actividad para encontrar una o más características de la conformidad con los requisitos especificados.

**Manual de la Calidad:** Documento que establece los requisitos para el sistema de gestión de la calidad de una organización.

**No Conformidad:** Incumplimiento de una necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria.

**Objetivo de la Calidad:** Resultado a lograr relativo a la calidad.

Puede ser estratégico, táctico u operativo.

Los objetivos de la calidad generalmente se basan en la política de la calidad de la organización.

**Organización:** (A los fines de este Capítulo 7, el término Organización se refiere a la Planta Elaboradora). Conjunto de personas e instalaciones con una disposición de responsabilidades, autoridades y relaciones.

**Plan de la Calidad:** Documento que especifica que procedimientos y recursos asociados deben aplicarse, quién debe aplicarlos y cuándo deben aplicarse a un proceso, producto o contrato específico.

**Planificación de la Calidad:** Parte de la gestión de la calidad orientada a establecer de los objetivos de la calidad y a la especificación de los procesos operativos necesarios y de los recursos relacionados para lograr los objetivos de la calidad.

**Política de la Calidad:** Intenciones y dirección de una organización relativas a la calidad, tal como se expresan formalmente por la alta dirección.

Generalmente, la política de la calidad es coherente con la política global de la organización, puede alinearse con la visión y la misión de la organización y proporciona un marco de referencia para el establecimiento de los objetivos de la calidad.

**Procedimiento:** Forma especificada para llevar a cabo una actividad o un proceso. Los procedimientos pueden estar documentados o no.

**Proceso:** Conjunto de actividades mutuamente relacionadas que utilizan las entradas para proporcionar un resultado previsto.

**Producto:** Salida de una organización que puede producirse sin que se lleve a cabo ninguna transacción entre la organización y el cliente. Generalmente es tangible.

**Programa de Auditorías:** Conjunto de una o más auditorías planificadas para un período de tiempo determinado y dirigidas hacia un propósito específico.

**Proveedor:** Organización o persona que proporciona un producto o servicio.

**Reclasificación:** Variación de la clase de un producto o servicio no conforme para hacerlo conforme a requisitos diferentes de los requisitos iniciales.

**Registro:** Documento que presenta resultados obtenidos o proporciona evidencia de actividades realizadas.

**Reparación:** Acción tomada sobre un producto servicio no conforme para convertirlo en aceptable para su utilización prevista.

**Reproceso:** Acción tomada sobre un producto o servicio no conforme para hacerlo conforme con los requisitos.

El reproceso puede afectar o cambiar partes del producto o servicio no conforme.

**Requisito:** Necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria.

**Servicio:** Salida de una organización con al menos una actividad, necesariamente llevada a cabo entre la organización y el cliente. Los elementos dominantes de un servicio son generalmente intangibles.

**Sistema de Control de las Mediciones:** Conjunto de elementos interrelacionados o que interactúan, necesarios para lograr la confirmación metrológica y el control continuo de las operaciones que permiten determinar el valor de una magnitud.

**Sistema de Gestión de la Calidad:** Conjunto de elementos de una organización interrelacionados o que interactúan para establecer políticas, objetivos y procesos, relacionados con la calidad.

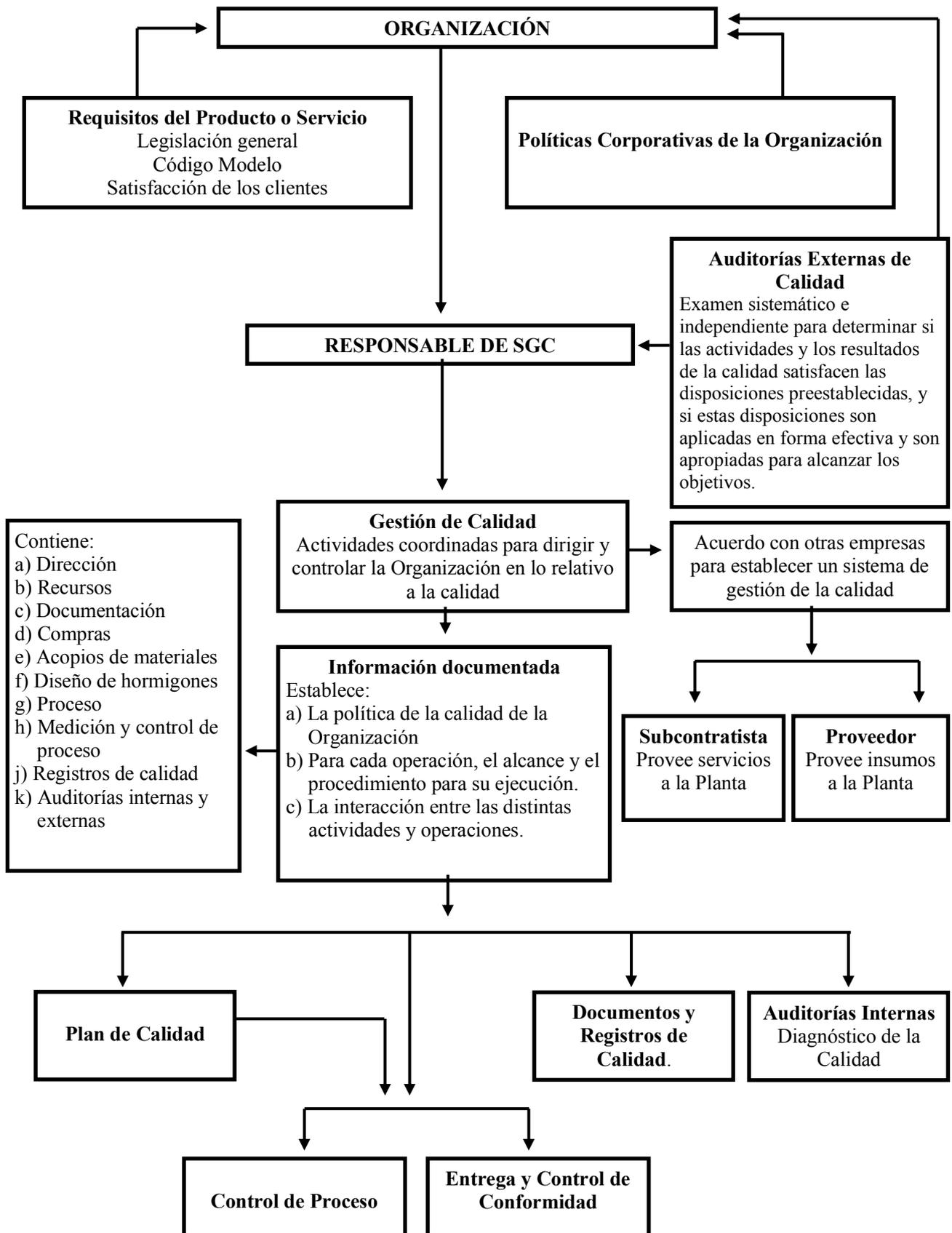
El alcance de un sistema de gestión puede incluir la totalidad de la organización, funciones específicas e identificadas de la organización, secciones específicas e identificadas de la organización, o una o más funciones dentro de un grupo de organizaciones.

**Trazabilidad:** Capacidad para seguir el histórico, la aplicación o la localización de un objeto.

Al considerar un producto o un servicio, la trazabilidad puede estar relacionada con el origen de los materiales y las partes, el histórico del proceso; y la distribución y localización del producto o servicio después de la entrega.

**Verificación:** Confirmación mediante la aportación de evidencias objetivas de que se han cumplido los requisitos especificados.

**2. DIAGRAMA DE FLUJO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD**



### 3. EJEMPLOS DE DOCUMENTACIÓN

#### 3.1. Modelo típico de un documento del sistema de la calidad

<b>Logo</b> <b>Identificadorio</b> <b>Organización</b> <b>Elaboradora de</b> <b>Hormigón</b>	<b>PLAN DE CALIDAD</b>		<i>Documento N°</i>
	<i>Tema: Tema específico a que se refiere el documento</i>		<i>Revisión N°</i>
	Elaborado por: Fecha:	Revisado por: Fecha:	Aprobado por: Fecha:

**Propósito:** Descripción sintética del propósito específico del documento.

**Definiciones y abreviaturas:** Se puede hacer referencia a un documento específico de definiciones, y de ser necesario agragar en este documento las definiciones y abreviaturas particulares que se usan en el documento.

**Alcance:** Se debe especificar a qué áreas o lugares trabajo es aplicable el documento.

**Atribuciones y responsabilidades:** Detallar en forma resumida las atribuciones y responsabilidades del personal involucrado en este procedimiento, para cada una de las áreas o lugares de trabajo especificados en "**Alcance**".

**Desarrollo:** Detallar en forma resumida las tareas que le corresponden a cada persona involucrada en este procedimiento, para cada una de las áreas o lugares de trabajo especificados en "**Alcance**".

**Distribución:** Para cada una de las áreas o lugares de trabajo especificados en "**Alcance**", indicar a que persona se le debe hacer llegar el documento.

**Referencias:** Enumerar los documentos con los que se relaciona este documento.

**Capítulos:** Si corresponde, detallar los Capítulos que contiene el documento.

**Registros:** Si corresponde, detallar las planillas o documentos en los cuales se debe registrar la información que surja de este documento.

**Anexos:** Si corresponde, detallar los anexos que se asocian al documento.

#### 3.2. Referidos al ítem "artículo 7.6 – Procesos, productos y servicios suministrados externamente"

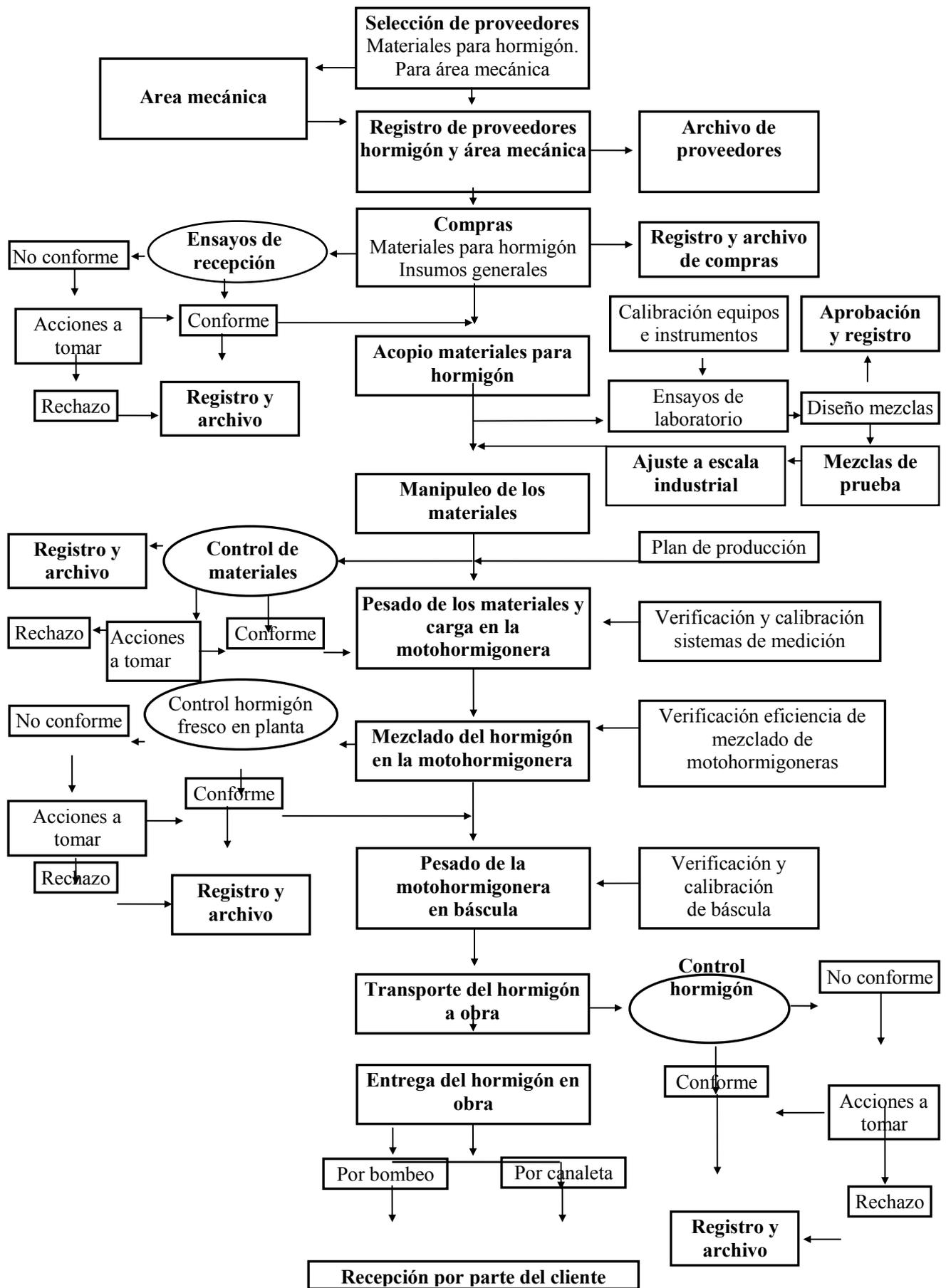
1. Procedimiento para la evaluación y selección de proveedores.
2. Procedimiento para las compras de insumos.
3. Procedimiento para la verificación de los productos comprados.
4. Procedimiento para la identificación, la verificación, el registro, el almacenamiento y la conservación para todos los insumos o bienes de propiedad del cliente.

#### 3.3. Referidos al ítem "artículo 7.10 – Evaluación de Desempeño"

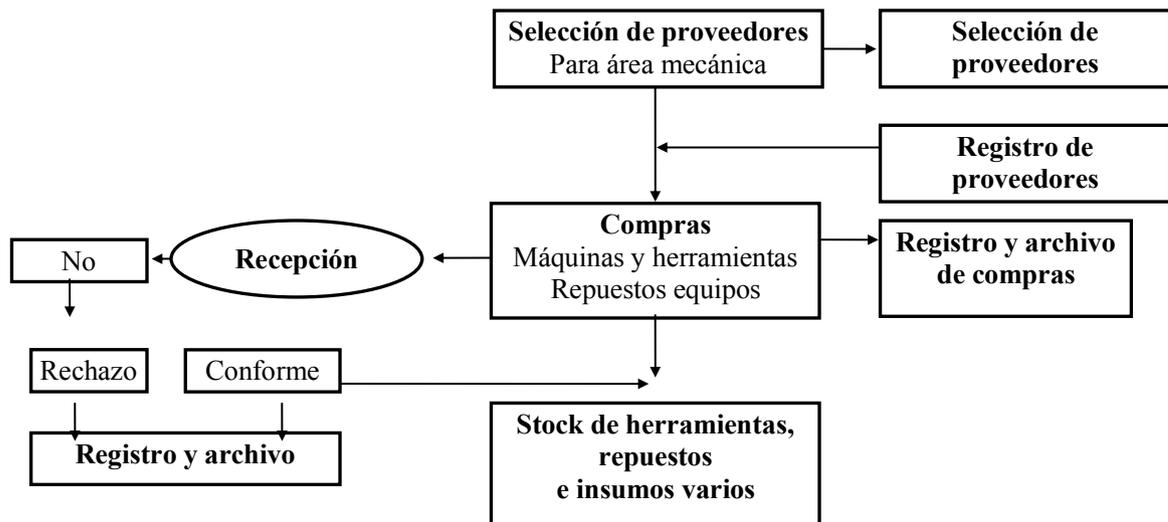
1. Procedimiento para la inspección y los ensayos a realizar sobre el hormigón y sus materiales componentes.
2. Procedimiento para el control de los insumos y los hormigones no conformes.
3. Procedimiento para auditorías internas de la calidad.
4. Procedimiento para las acciones preventivas y correctivas.
5. Procedimiento para el uso de técnicas estadísticas.
6. Instrucción para el control de proceso. Valores límites para el monitoreo.
7. Instrucción para el uso de técnicas estadísticas para el control de las variaciones de las propiedades de los materiales componentes, que pueden afectar la calidad del hormigón.
8. Instrucción para el uso de técnicas estadísticas para el control de las variaciones de las propiedades del hormigón fresco. Cartas de control.
9. Instrucción para el uso de técnicas estadísticas para el control de las variaciones de las propiedades del hormigón endurecido. Cartas de control.

*Nota: Las instrucciones indicadas precedentemente son abarcativas de todas las mediciones involucradas en ellas. Como alternativa, se puede elaborar instrucciones por separado para cada medición.*

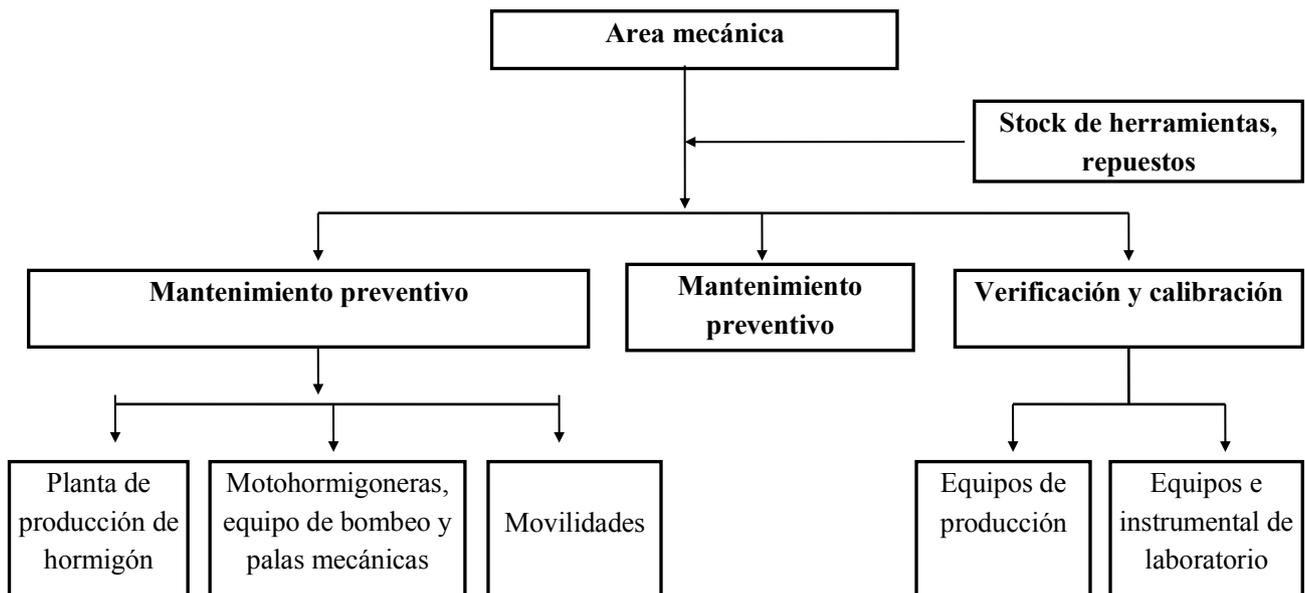
**4. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE HORMIGÓN Y DEL CONTROL DE PROCESO**



## 5. COMPRAS AREA MECANICA



## 6. MANTENIMIENTO PREVENTIVO EQUIPOS



## 7. EJEMPLOS DE REGISTROS TÍPICOS

Considerando la importancia que tienen los registros en un sistema de la calidad de una Planta, *a modo de orientación, y sin ser de carácter taxativo, se detallan a continuación los posibles registros típicos:*

### 7.1. Dirección

1. Registro del seguimiento de los procesos y del hormigón y sus materiales componentes, y el análisis de los datos obtenidos.
2. Registro de control de los procesos contratados externamente, que afectan la conformidad del hormigón.

### 7.2. Recursos Humanos, Económicos, Instalaciones y Equipos Afectados a las Actividades de la Calidad

Registro de capacitación del personal, en el que debe constar como mínimo:

- a) Tema del curso o charla.
- b) Responsable del dictado.
- c) Lugar de dictado.
- d) Cantidad de horas de dictado.
- e) Si corresponde, aprobación o asistencia.

### **7.3. Documentos**

1. Registro de distribución de los documentos del sistema de la calidad.
2. Registro de retiro de los documentos del sistema de la calidad.

### **7.4. Procesos, Productos y Servicios Suministrados Externamente**

1. Registro de los proveedores seleccionados como aceptables.
2. Registro de la evaluación de proveedores, cuando se realizan visitas al proveedor.
3. Registro de la evaluación de proveedores, cuando no es posible realizar visitas al proveedor.
4. Registro de las especificaciones de insumos para el hormigón y para los equipos de producción, transporte y control.
5. Registro de Órdenes de Compra emitidas.
6. Registro de la recepción de insumos para el hormigón y para los equipos de producción, transporte y control.
7. Registro de pedidos de hormigón por cliente y "tipo" de hormigón.

### **7.5. Recepción, Acopio y Manejo de Acopios de Materiales para Elaborar Hormigón**

1. Registro de ensayos del proveedor de agregados fino y grueso, con identificación de partida.
2. Registro de ensayos de muestras tomadas en los acopios de agregados fino y grueso, con identificación de partida.
3. Registro diario de la granulometría de cada fracción de agregado fino y agregado grueso, utilizado para cada tipo de hormigón.
4. Registro diario del material que pasa el tamiz IRAM 75 micrones (N° 200), para los agregados fino y grueso.
5. Registro de ensayos de fábrica de cemento y aditivos, con identificación de partida.
6. Registro de las muestras de cemento y aditivos a guardar para contra ensayos y período que se retienen.

### **7.6. Diseño de Mezclas**

1. Registro del diseño de las dosificaciones, según lo establecido en el artículo 11, por cada tipo de hormigón, entendiéndose por "tipo" al hormigón producido con los siguientes atributos:
  - a) Pertenece a una misma clase (resistencia).
  - b) Tiene un mismo rango de asentamiento (por ejemplo  $10 \pm 2$  cm).
  - c) Tiene el mismo rango de aire incorporado.
  - d) Está elaborado con los mismos materiales y no se han detectado variaciones significativas en los mismos.
  - e) La temperatura de la mezcla fresca debe estar comprendida dentro de un rango de  $\pm 5^\circ$  C, respecto de la máxima temperatura que se prevé que tendrá el hormigón en el momento de ser mezclado y colocado en obra.
2. Registro de los resultados de las propiedades del hormigón fresco y endurecido para cada "tipo" de hormigón diseñado.

### **7.7. Producción y Provisión del Servicio**

1. Registro por cliente de las cargas efectuadas en la Planta para cada "tipo" de hormigón.
2. Registro del programa de entrega de hormigón, por cliente y "tipo" de hormigón.
3. Registro de la humedad superficial determinada sobre cada fracción de agregado fino y agregado grueso, utilizado para elaborar cada tipo de hormigón.
4. Registro de contra ensayos realizados en laboratorio externo, sobre el hormigón y sus materiales componentes.
5. Registro de inspección visual de acopios de agregados, cemento y aditivos en uso.
6. Registro de mantenimiento de todos los equipos de almacenamiento, transporte y medición que integran la o las plantas de producción de hormigón.
7. Registro de mantenimiento de cada una de las motohormigoneras, propias o alquiladas.
8. Registro de mantenimiento de cada equipo para bombeo del hormigón.

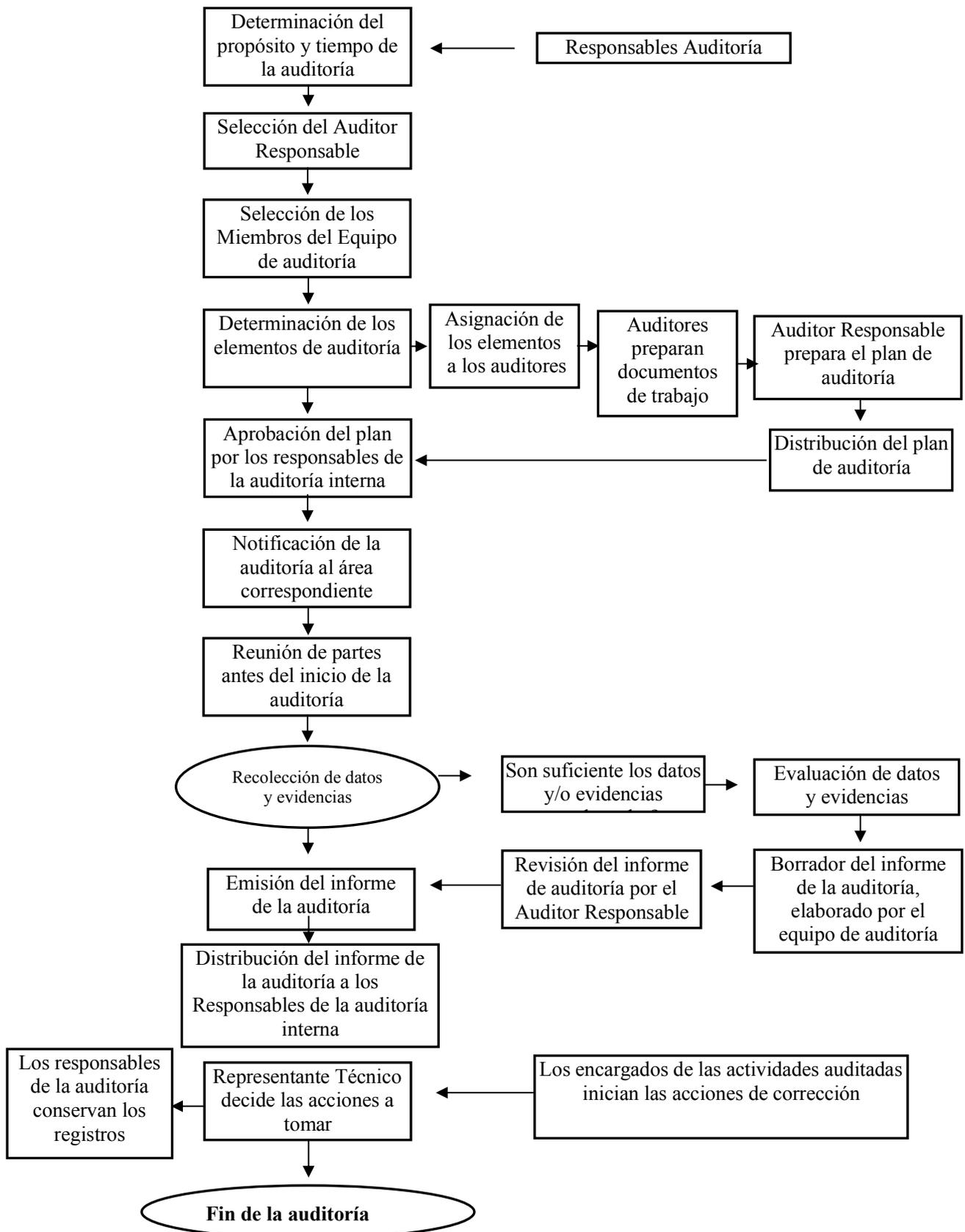
## 7.8. Evaluación de Desempeño

1. Registro de calibración de los equipos de producción y transporte del hormigón.
2. Registro de calibración de los equipos de control.
3. Registro para cada "tipo" de hormigón y por cliente, de las características del hormigón, conteniendo como mínimo los siguientes datos:
  - a) Observación visual del hormigón dentro de la motohormigonera.
  - b) Peso de la motohormigonera en la báscula.
  - c) Temperatura del hormigón fresco en planta.
  - d) Asentamiento en Planta.
  - e) Aire en Planta.
  - f) Temperatura del hormigón fresco en obra.
  - g) Asentamiento en obra.
  - h) Aire en obra.
  - i) Resistencia a compresión de probetas moldeadas en la Planta.
  - j) Resistencia a compresión de probetas moldeadas en la obra.

Estos registros se deben informatizar y compatibilizar de tal forma que cada vez que se cargan los datos a la computadora, esta, mediante un programa específico, los registra por cliente y en el estadístico correspondiente al "**tipo**" de hormigón entregado.

4. Registros de las cartas de control para cada "tipo" de hormigón y para cada variable para:
  - a) Propiedades de los materiales.
  - b) Propiedades del hormigón fresco.
  - c) Propiedades del hormigón endurecido.
5. Registros de control de producción utilizando la información generada diariamente de acuerdo con el punto 4 precedente.

**8. DIAGRAMA DE FLUJO TÍPICO PARA AUDITORIAS INTERNAS DE LA CALIDAD**





## CAPÍTULO 8. CONTROL DE FISURACION Y RECUBRIMIENTO DE ARMADURAS

### 8.1. GENERAL

Este capítulo contiene requisitos sobre control de fisuración de las estructuras y recubrimiento de las armaduras de acero.

Están incluidos en este Código Modelo de Tecnología del Hormigón porque son requisitos complementarios a los de durabilidad establecidos en el Capítulo 2.

Todos ellos, los de durabilidad del Capítulo 2 y los establecidos en el presente Capítulo 8, constituyen requisitos mínimos, de cumplimiento obligatorio, para asegurar la vida en servicio y la aptitud en servicio requerida por el Proyecto

### 8.2. CONTROL DE FISURACION

**C.8.2.1.** La fisuración es normal en elementos estructurales de hormigón armado sometidos a esfuerzos de flexión, corte o tracción, como resultado del estado de cargas actuantes y/o de contracciones restringidas. Los problemas ocurren cuando las fisuras se originan en forma no controlada (impredecible) y/o son de tal magnitud que ocasionan la pérdida de la aptitud en servicio de la estructura.

Para seleccionar materiales componentes y diseñar mezclas con alta estabilidad dimensional, se puede consultar la recomendación ACI 224R. Control de Fisuración.

**C.8.2.2.** La fisuración de los elementos estructurales puede producirse por diversas causas, entre las que cabe citar:

- a) Tensiones de tracción excesivas, provocada por las cargas actuantes.
- b) Tensiones producidas por asentamientos o movimientos diferenciales de la estructura.
- c) Tensiones de tracción producidas por la contracción por secado del hormigón.
- d) Tensiones de tracción producidas por gradientes de temperatura.

Para controlar la formación de fisuras, en el diseño de la estructura se deberán tener en cuenta las acciones antes mencionadas.

**C.8.2.4.** Dichas coacciones pueden generar tensiones de origen térmico y/o inducidas por el proceso de secado, que dependerán fuertemente de las dimensiones y características del

**8.2.1.** Este Código Modelo establece las aberturas máximas admisibles en todo elemento estructural construido con hormigón simple, armado, reforzado con fibras o pretensado, que esté expuesto a problemas de durabilidad, haya requerimientos de impermeabilidad o se dispongan criterios de tipo estético. También indica los requerimientos mínimos que deben aplicarse al control de la fisuración.

**8.2.2.** A los efectos mencionados en 8.2.1, el Código agrupa a las fisuras en tres categorías:

- a) Fisuras que afectan a la durabilidad y, en consecuencia, reducen la vida útil de la estructura.
- b) Fisuras que disminuyen la aptitud en servicio de la estructura (por ejemplo, filtración de agua o radiación, transmisión acústica o daños en la terminación).
- c) Fisuras estéticamente inaceptables.

**8.2.3.** El Comitente y el Proyectista Estructural deberán definir la situación esperada según 8.2.2.

**8.2.4.** La abertura máxima de fisura estimada por el Proyectista Estructural deberá tener en cuenta las solicitaciones por cargas y las coacciones que se generan en la masa del hormigón durante el enfriamiento y/o secado de la estructura, especialmente en los primeros días después del hormigonado.

elemento, características del hormigón y las condiciones del medio ambiente.

### 8.2.5. Abertura máxima de fisuras por problemas de durabilidad

En la Tabla 8.1 se indican las aberturas máximas por durabilidad para los distintos ambientes de exposición del Capítulo 2.

**Tabla 8.1.** Abertura máxima de fisuras (mm) para hormigón armado y elementos de hormigón pretensado con acero adherido.

Tipo de exposición	Hormigón armado o reforzado con fibras (1)	Hormigón pretensado (2)
A1, A2	0,3	0,2
C1, C2	0,2	$\sigma < 0$ (3)
M1, M2, M3	0,2	$\sigma < 0$ (3)
CL, Q1	0,2	$\sigma < 0$ (3)
Q2, Q3, Q4	0,2	$\sigma < 0$ (3)

(1) Para la combinación cuasi permanente de acciones.  
 (2) Para la combinación frecuente de acciones.  
 (3) No se admiten tensiones de tracción en el hormigón en contacto con la armadura de pretensado.

**C.8.2.6.** Generalmente es más confiable y económico lograr la estanqueidad de estas estructuras mediante el uso de hormigón de calidad adecuada, el diseño apropiado de juntas y la colocación de armaduras para control de fisuración, que recurriendo a revestimientos superficiales.

La estanqueidad a los líquidos también se puede lograr mediante el uso de hormigón de contracción compensada. Para lograrlo se pueden seguir las recomendaciones ACI 223 y ACI 224.2R.

Con relación a la máxima abertura de fisuras en estructuras que deben resultar estancas, sometidas o no a un gradiente de presión, los requisitos en general varían entre 0,15 mm y 0,25 mm. Estos requisitos dependen de las consecuencias que pueden provocar la filtración y la presión del fluido en el elemento:

- Si se permite una pequeña filtración y se aceptan algunas manchas superficiales, se puede adoptar como límite máximo de abertura de fisura que tiende a auto-sellarse 0,20 mm. De lo contrario, 0,10 mm puede ser más apropiado.
- Si la filtración debe ser mínima o nula, no se admiten fisuras continuas y debería

### 8.2.6. Abertura máxima de fisuras en estructuras que deben retener agua.

Solo se admitirán fisuras de abertura igual o menor que 0,15 mm, que se auto sellen antes de la puesta en servicio de la estructura. En caso contrario las fisuras deben ser tratadas bajo presión hidrostática para eliminar el pasaje de agua.

haber una zona de compresión de al menos 50 mm.

El auto-sellado de las fisuras depende de la composición del fluido, del tipo de cemento, del gradiente de presión actuante, del tiempo durante el cual actúa dicho gradiente de presión, etc.

**C.8.2.7.** En estas estructuras es prioritario lograr la aptitud en servicio que asegure la salud pública.

C.8.2.9.1. Con el fin de reducir la fisuración que se produce por las contracciones térmicas y por secado, es necesario colocar armadura en dirección perpendicular a la armadura principal.

La Tabla 8.2 reproduce la contenida en el Código ACI 350. Las cuantías especificadas fueron establecidas en forma empírica, pero se justifican por la vasta experiencia norteamericana durante mucho tiempo.

Ver también C.8.2.10.1 b) sobre la distancia máxima entre juntas.

Además de las cuantías mínimas de armadura indicadas en 8.2.9, se recomienda que el Proyectista verifique que la abertura de fisura originada por las cargas actuantes y los efectos de las contracciones restringidas por cambios de temperatura y humedad (contracción térmica y por secado), resulte inferior a la abertura máxima admisible según lo indicado en 8.2.5.

La verificación de armadura para control de fisuración debe contemplar las deformaciones inducidas por cambios de temperatura y por secado, tanto a corta como a larga edad. A tal efecto el código EN1992, Eurocode 2, en particular Parte 1-1 "General rules and rules for buildings" y parte 3 "Liquid retaining and containment structures" provee una guía adecuada para la verificación mencionada. Dicha guía contempla:

**8.2.7. Estructuras de interés medio ambiental. Abertura máxima de fisuras y requerimientos para su control.**

Este artículo aplica a las estructuras que pueden afectar a la salud pública. Incluye, entre otras, a las plantas de tratamiento y conducción de efluentes.

El ancho máximo de fisuras debe cumplir con 8.2.5, salvo indicación en contrario por parte del Propietario.

**8.2.8. Fisuras estéticamente inaceptables.**

El propietario debe establecer la abertura máxima de fisuras que puede ser aceptada por razones estéticas. Dicha abertura deberá ser igual o menor que la establecida en los artículos 8.2.5 a 8.2.7, según corresponda por condiciones de exposición y de aptitud en servicio.

**8.2.9. Armadura para control de fisuración por contracciones térmicas y por secado.**

8.2.9.1. Las estructuras que deban ser estancas a los líquidos o que sean de interés medio ambiental, deberán tener una armadura mínima por contracción térmica y/o por secado según se indica en la Tabla 8.2. Dichas cuantías están referidas a la sección total de hormigón y valen para acero y alambres conformados.

**Tabla 8.2.** Cuantías mínimas de armadura para control de fisuración por contracciones térmicas y por secado.

Distancia entre juntas de movimiento	Cuantías mínimas de armadura de contracción térmica y secado
	$f_y = 420 \text{ MPa}$
Menos de 6 m	0,0030
Entre 6 y 9 m	0,0030
Entre 9 y 12 m	0,0040
12 m o más	0,0050 <sup>(1)</sup>
(1) Cuantías máximas por contracción térmica y/o por secado cuando no se provean juntas de movimiento.	

1- Estimación de la magnitud de la deformación inducida por las coacciones de origen térmico y la contracción por secado.

2- Estimación de las deformaciones restringidas y del riesgo de fisuración.

3- Estimación de la deformación que provoca fisuración.

4- Determinación de la cuantía de armadura para el control de la distancia entre fisuras y abertura de las mismas.

Las cuantías indicadas en la tabla son de aplicación para distancias entre juntas de expansión y de contracción total. Cuando se apliquen juntas de contracción parcial, las cuantías mínimas se deben determinar a partir de la distancia que resulte de multiplicar la distancia real entre juntas de contracción parcial por 1,5.

8.2.9.2. Para secciones de hormigón con espesor igual o mayor que 600 mm, la armadura mínima de contracción y temperatura se puede determinar para la capa de hormigón superficial de 300 mm de espesor en cada cara del elemento.

8.2.9.3. La armadura en la cara inferior de losas en contacto con el suelo se puede reducir en un 50% de lo requerido por la Tabla 8.2.

8.2.9.4. La armadura de contracción térmica y por secado no se debe separar más de 300 mm y el mínimo diámetro de la barra a utilizar debe ser de 12 mm. No menos de 1/3 del área requerida debe ser colocada en una de las caras del elemento.

8.2.9.5. Las cuantías indicadas en la Tabla 8.2 se deben distribuir en partes iguales en las dos caras del elemento estructural. Donde existan condiciones especiales que cambien apreciablemente la velocidad de secado o enfriamiento de una de las dos superficies, la armadura de contracción térmica y por secado se debe ajustar de acuerdo a la condición mencionada (mínimo 1/3 del área requerida en una de las caras del elemento).

8.2.9.6. Cuando se utilice hormigón de contracción compensada para evitar la fisuración se debe colocar una cuantía mínima de armadura igual al 0,3%.

#### **8.2.10. Juntas para el control de fisuración. Requisitos mínimos**

Para el control de fisuración se deben considerar las siguientes variables:

- a) Tipo de materiales componentes y proporciones de la mezcla.
- b) Cálculo adecuado de armaduras de refuerzo.
- c) Proyecto de juntas de movimiento, adecuadamente espaciadas, diseñadas y construidas.
- d) Grado de restricción al movimiento.

En el presente artículo se especifican requisitos mínimos relacionados con tipo y diseño de juntas.

##### 8.2.10.1. Tipos de juntas.

A continuación, se definen las juntas que se utilizan en general en las estructuras de hormigón:

*a) Juntas de contracción:* Se crean planos de debilitamiento de la sección a los efectos de forzar la aparición de las fisuras en dichos planos y no en forma aleatoria en cualquier punto del elemento. Dicho debilitamiento se debe materializar con ranuras que posean una profundidad de por lo menos 10 % del espesor en cada cara del elemento. En casos de elementos

armados, las juntas se pueden clasificar como “Totales” o “Parciales” según el siguiente criterio:

- En la junta “Total” se interrumpe completamente el paso de la armadura a través de la misma.
- En la junta “Parcial” se permite el paso como máximo del 50 % de la armadura a través de la misma.

En ambos casos, las barras que se interrumpan (o se corten) lo deben hacerse a una distancia aproximada de 70 mm del plano de la junta.

La distancia máxima entre juntas verticales no debe exceder los 8 a 10 metros y, en caso de juntas ejecutadas en losas y muros, deben estar alineadas.

*b) Juntas de aislamiento y de expansión:* Permiten el libre movimiento de secciones adyacentes. En general se colocan cuando se produce un cambio de dirección del muro, en el encuentro de dos o más muros provenientes de diferentes direcciones y/o en las secciones con cambios bruscos en la configuración de la estructura. En elementos extensos se deben ubicar a distancias comprendidas entre los 35 metros y 100 metros, con un ancho de junta que varía en general entre los 20 mm y 25 mm.

*c) Juntas de construcción:* Pueden ser verticales u horizontales y constituyen planos de debilidad que se forman a partir de la interrupción de las operaciones de hormigonado. En general su ubicación se define antes de la construcción y en el caso que surja una interrupción no prevista del trabajo, dicha junta constituye también una junta de construcción.

C.8.2.10.1 b) En el caso particular de las estructuras de interés medio ambiental, el Código ACI 350 “Environmental Engineering Concrete Structures”, especifica que las juntas de expansión no deben estar separadas a más de 40 metros.

C.8.2.10.2 Las juntas de contracción en tabiques se pueden materializar mediante listones de madera, plástico o metal adheridos a la parte interior del encofrado, generando una ranura y un plano de debilidad en la sección. Adicionalmente se pueden colocar inductores metálicos entre las barras de armaduras principales. La sección debilitada por los inductores y/o ranuras conformadas tanto en la parte externa como interna del tabique, no debe ser inferior a  $\frac{1}{4}$  del espesor total del tabique.

Como regla general se puede indicar que las juntas de construcción deberían coincidir con los lugares proyectados para las juntas de expansión y de contracción. En el caso que la junta de construcción no coincida con una junta de movimiento (junta de expansión o contracción), dicha junta deberá ser tratada a los efectos de lograr una adecuada adherencia entre el hormigón fresco a colocar y el hormigón existente endurecido, y además deberá sellarse tal como lo recomendado para las juntas de contracción y de expansión.

Las juntas de construcción que quedan expuestas al aire durante un cierto período, en espera de la ejecución del elemento de hormigón adyacente, permiten una cierta contracción inicial que contribuye a una disminución de las tensiones inducidas por las restricciones,

8.2.10.2. Ubicación de juntas y requisitos mínimos para el control de fisuración.

Las juntas de contracción, de expansión y de construcción se deben ejecutar en los lugares y de acuerdo con los detalles establecidos en los Documentos del Proyecto.

Previamente a su implementación se deben aprobar los métodos y materiales a emplear en la ejecución de las juntas los cuales deben estar indicados en los Documentos del Proyecto.

y como consecuencia reducir la tendencia a la fisuración.

8.2.10.3. En el caso de estructuras estancas, las juntas de contracción, de expansión y de construcción también deben serlo.

8.2.10.4. Sellado de juntas.

En las estructuras destinadas a la retención de líquidos, se debe asegurar la estanqueidad de las juntas de contracción, expansión y construcción.

A tal efecto, en las juntas de movimiento se deben colocar selladores elastoméricos adecuados para desempeñarse en servicio continuamente bajo agua. Para el caso de plantas de tratamiento de agua y reservorios, se requiere que sean aptos para estar en contacto con agua potable.

En las juntas de construcción se debe asegurar la continuidad y estanqueidad del elemento estructural. Cuando ello no se pueda asegurar se deben colocar selladores similares a los indicados para las juntas con movimiento.

C.8.2.10.5. Las dimensiones detalladas son orientativas, debiéndose seguir las instrucciones del fabricante para la selección definitiva del tipo y de la metodología para su instalación.

8.2.10.5. Bandas flexibles premoldeadas (Tipo “Water Stop”)

En las estructuras destinadas a la retención de líquidos y a los efectos de lograr la estanqueidad de las juntas, se deberán colocar bandas flexibles premoldeadas (Tipo “Water Stop”) de cloruro de polivinilo plastificado (PVC), flexible con alta resistencia a la tracción y gran deformabilidad. Sus dimensiones mínimas serán: largo: 220 mm; espesor: 9 a 12 mm.

C.8.2.10.6. Estos perfiles hidro expansivos poseen secciones transversales del orden de 20 mm x 10 mm. Igual que en C.8.2.10.5, se recomienda seguir las instrucciones del fabricante para la selección del tipo de sellador y su metodología de instalación.

8.2.10.6. Barreras de estanqueidad hidro expansivas.

Como alternativa a 8.2.10.5, en juntas de construcción y/o contracción, se pueden colocar perfiles hidro expansivos en base a resinas naturales y sintéticas que aumentan su volumen en contacto con el agua para conformar el sello.

C.8.2.11. Se recomienda seguir las recomendaciones ACI 223 y ACI 224.R.

**8.2.11. Control de fisuración mediante la utilización de hormigón de retracción compensada.**

Cuando se utilice hormigón de retracción compensada, se deberán realizar estudios experimentales a los efectos de verificar la inexistencia de contracciones y adicionalmente, que las expansiones no resulten perjudiciales para la integridad del elemento.

C.8.2.12. Se recomienda consultar al Código ACI 350 o al *fib* Model Code 2010.

**8.2.12. Control de fisuración mediante la utilización de hormigón precomprimido.**

Cuando se utilice precompresión para controlar la fisuración, el Proyectista deberá demostrar que en los elementos estructurales así tratados para las condiciones de servicio no existen tensiones de tracción que puedan fisurar al hormigón.

**8.3. RECUBRIMIENTOS DE ARMADURA**

**8.3.1.** Este artículo 8.3 establece los valores mínimos de recubrimientos de armadura necesarios para evitar la corrosión del acero. Dichos valores están dados en función de las condiciones de exposición y de la vida útil del proyecto.

**8.3.2.** Los recubrimientos indicados en este artículo 8.3 deben complementarse con los requerimientos establecidos en 2.2.13 y 2.2.14.

**8.3.3.** Al igual que en el Capítulo 2, en este Capítulo se indica el recubrimiento efectivo ( $R_{ef}$ ) necesario para evitar la corrosión de las armaduras durante la vida útil de la estructura. Dicho  $R_{ef}$  debe asegurarse en cualquier punto de cada elemento estructural.

**8.3.4.** En los planos del proyecto se debe indicar el recubrimiento nominal ( $R_{nom}$ ), que se define como:

$$R_{nom} = R_{ef} + \Delta r$$

donde  $\Delta r$ : es un recubrimiento adicional en función del nivel de control de ejecución, a saber:

0 mm: elementos prefabricados con control de ejecución.

5 mm: elementos ejecutados in situ con control de ejecución.

10 mm: en el resto de los casos.

**C.8.3.5.** Se indican recubrimientos mínimos siguiendo el formato del ACI 318-19 y del CIRSOC 201-2005.

**8.3.5. Recubrimientos efectivos mínimos para estructuras no pretensadas hormigonadas in situ**

En la Tabla 8.3 se especifican los *recubrimientos efectivos mínimos* para estructuras no pretensadas, hormigonadas in situ.

**Tabla 8.3.** Recubrimientos efectivos mínimos para estructuras hormigonadas in situ, en función de su vida útil prevista.

Condición	Elementos	Armaduras (mm)	Recubrimiento (mm)	
			50 años	100 años
Hormigón colocado en la base de las fundaciones, en contacto con la capa de hormigón de limpieza *	Todos	Todas	50	60
Hormigón en contacto vertical con el suelo o expuesto al aire libre	Todos	$d_b > 16$	35	40
		$d_b \leq 16$	30	35
No expuesto al aire libre ni en contacto con el suelo	Losas, tabiques, nervaduras	$d_b > 32$	$\geq d_b$	$\geq d_b$
		$d_b \leq 32$	$20 \text{ y } \geq d_b$	$\geq d_b$
	Vigas, columnas	Armadura principal	$30 \text{ y } \geq d_b$	$35 \text{ y } \geq d_b$
		Estribos	20	20
		Zunchos en espiral	30	35

\* El recubrimiento indicado NO incluye el espesor de la capa de limpieza.

**8.3.6. Recubrimientos efectivos mínimos para estructuras pretensadas hormigonadas in situ**

En la Tabla 8.4 se especifican los *recubrimientos efectivos mínimos* para estructuras pretensadas, hormigonadas in situ.

**Tabla 8.4.** Recubrimientos efectivos mínimos para estructuras pretensadas hormigonadas in situ, en función de su vida útil prevista.

Condición	Elementos	Armaduras (mm)	Recubrimiento (mm)	
			50 años	100 años
Hormigón colocado en la base de las fundaciones, en contacto con la capa de hormigón de limpieza. *	Todos	Todas	50	60
Hormigón en contacto vertical con el suelo o expuesto al aire libre	Losas, tabiques y viguetas	Todas	20	25
	Todos los demás	Todas	30	35
No expuesto al clima ni en contacto con el suelo	Losas, tabiques y viguetas	Todas	20	25
	Vigas, Columnas y tensores	Armadura principal	30	35
		Estribos Zunchos en espiral	20	25

\* El recubrimiento indicado NO incluye el espesor de la capa de limpieza.

**C.8.3.7.** Se recomienda que los fabricantes de cemento y los productores de hormigón realicen estudios comparativos de hormigones elaborados con sus materiales, para determinar los coeficientes de mayoración de los recubrimientos. Para ello deberá determinarse experimentalmente el valor del coeficiente de carbonatación (K).

A modo ilustrativo se indican coeficientes que surgen de experiencias con cementos locales (“Correlación entre carbonatación natural y acelerada del hormigón con distintos cementos, 2016”, 21 RT AATH, Salta 2016).

Coefficientes de mayoración:

- CPN = 1
- CPF = 1,3
- CPP = 1,15

**C.8.3.8.** El CIRSOC 201-2005 indica que los valores de la Tabla 7.7.1 y 7.7.2, de dicho reglamento, se deben incrementar en:

- 30 % para las clases de exposición Q1 y C1 (ver Tabla 2.1)
- 50 % para las clases de exposición CL, M1, M2, M3, C2, Q2 y Q3 (Tabla 2.1)

Dichos incrementos son excesivos para las prescripciones de este Código Modelo, pero pueden servir de orientación.

**8.3.7.** Los recubrimientos especificados en las Tablas 8.3 y 8.4 corresponden a estructuras construidas con Cemento Portland Normal.

Cuando se utilicen otros tipos de cemento el Proyectista o el Director de Obra deberá evaluar la necesidad de incrementar dichos recubrimientos.

**8.3.8.** Los recubrimientos especificados en las Tablas 8.3 y 8.4 deben cumplir también los requisitos establecidos en el Capítulo 2.

Además, cuando existan condiciones de agresividad al hormigón, que hagan prever pérdida del espesor de recubrimiento, el Proyectista deberá evaluar si a lo largo de la vida útil de la estructura el espesor de recubrimiento será suficiente para evitar la corrosión de la armadura.

**C.8.3.9.** Los recubrimientos especificados en este Código pueden ser insuficientes para asegurar la vida útil de diseño. Para lograrla, el Proyectista deberá hacer las verificaciones indicadas en 2.2.14. y según sus resultados, será necesario incluir medidas especiales para disminuir la velocidad de penetración del ión cloro o establecer estrategias de mantenimiento obligatorias.

**C.8.3.10.** Se mantiene el criterio del C201 indicado para las Clase T o C en el artículo 18.3.3. del mencionado reglamento.

**8.3.9.** En ambientes con riesgo de corrosión por cloruros correspondientes a las exposiciones Cl, M1, M2 y M3, los recubrimientos indicados en las Tablas 8.3 y 8.4 son mínimos absolutos. Ellos deben verificarse según 2.2.14.

**8.3.10.** Para los elementos de hormigón pretensado, en los que la tensión  $f_t$  en la fibra extrema traccionada precomprimida y bajo las cargas de servicio sea mayor que  $0,7f_c^{0,5}$ , expuestos a ambientes agresivos o corrosivos, o a otras condiciones severas de exposición, el recubrimiento mínimo de la armadura pretensada se deberá incrementar un 50 %. Esta exigencia se podrá obviar si se verifica que la zona de tracción precomprimida del elemento, no resulta traccionada bajo la acción de las cargas de larga duración.



## CAPÍTULO 9. HORMIGONES CON CARACTERÍSTICAS PARTICULARES

### 9.1. CONDICIONES GENERALES

**C.9.1.** Todo lo referente a materiales componentes, propiedades del hormigón fresco, requisitos de durabilidad frente a ambientes agresivos, control de calidad, criterios de conformidad, entre otros, resultan de aplicación salvo que específicamente se indique lo contrario.

Lo establecido en los Capítulos 1 a 8 de este Código Modelo tiene vigencia para los hormigones especiales que se presentan en este capítulo en todo lo que no se oponga a lo establecido para cada uno de los casos que se tratan en los apartados 9.2 a 9.7.

### 9.2. HORMIGON AUTOCOMPACTABLE (HAC)

#### 9.2.1. Alcance

9.2.1.1. En este artículo se establecen los requerimientos para los materiales componentes, dosificación, producción, transporte, colocación y control del Hormigón Autocompactable (HAC).

9.2.1.2. Las especificaciones en esta sección aplican a toda estructura construida con hormigón autocompactable simple, armado, pretensado o reforzado con fibras.

9.2.1.3. En este artículo se establecen los requisitos particulares que debe cumplir el Hormigón Autocompactable, los que tienen prelación sobre las especificaciones equivalentes contenidas en otros Capítulos de este Código.

#### 9.2.2. Definiciones

Para los efectos de este Código Modelo se establecen las siguientes definiciones particulares:

**Capacidad de llenado.** Capacidad para llenar completamente todas las zonas del encofrado, así como recubrir y fluir a través de las armaduras, sin formación de vacíos y sin necesidad de utilizar vibrado ni otros métodos de compactación externos.

**Finos o polvo.** Material con partículas de tamaño menor de 75  $\mu\text{m}$ . Dicha fracción incluye partículas de cemento, adiciones y agregados.

**Mortero.** La fracción del hormigón compuesta por la pasta y los áridos menores de 4,75 mm.

**Pasta.** La fracción del hormigón compuesta por los finos, el agua, el aire y los aditivos.

**Capacidad de pasaje entre pequeñas aberturas.** Capacidad para fluir libremente a través de las armaduras y del recubrimiento, sin indicios de bloqueo del agregado grueso ni otros fenómenos relacionados con la pérdida de homogeneidad (segregación).

**Estabilidad.** Capacidad del hormigón de conservar sus propiedades en estado fresco, aún con pequeñas variaciones de las propiedades o cantidades de los materiales constituyentes.

**Hormigón autocompactable (HAC).** Hormigón capaz de deformarse por acción de su propio peso, llenando todos los sectores del encofrado sin necesidad de vibración interna ni externa y con capacidad para sortear obstáculos sin dificultad (por ejemplo: armaduras de refuerzo), sin segregación ni indicios de bloqueo.

**Resistencia a la segregación.** Capacidad del hormigón de mantener la homogeneidad de la composición en estado fresco.

**Segregación Dinámica.** Segregación que se produce durante la colocación cuando el HAC fluye dentro de los encofrados.

**Segregación Estática.** Segregación asociada a los fenómenos de sedimentación que pueden producirse una vez que el hormigón se encuentra en reposo dentro del encofrado.

**Viscosidad Plástica.** Resistencia del material a fluir una vez que entra en movimiento. De acuerdo al modelo de Bingham, el hormigón se comporta como un sólido (es decir no fluye), hasta que la tensión tangencial aplicada supera un umbral o tensión crítica ( $\tau_0$ , en inglés “yield stress”). En ese momento la mezcla comienza a comportarse como un líquido presentando una relación lineal entre la tensión aplicada y la velocidad de deformación tal como sucede con los fluidos Newtonianos. La ecuación que sigue representa este comportamiento:

$$\tau = \tau_0 + \mu' \dot{\gamma}$$

donde  $\dot{\gamma}$  es la velocidad de deformación [ $s^{-1}$ ],  $\tau_0$  es la tensión crítica o umbral de cizallamiento [Pa] y  $\mu'$  es el coeficiente de viscosidad y se lo denomina “viscosidad plástica” [Pa.s].

**Aditivo Modificador de la Viscosidad (AMV).** Aditivo que se puede incorporar al hormigón fresco para incrementar su resistencia a la segregación.

### 9.2.3. Requisitos

C.9.2.3.1. Los requisitos específicos para el HAC en estado fresco dependerán del tipo de aplicación, y especialmente de:

- Condiciones de confinamiento relacionadas con la geometría del elemento a hormigonar, y de la cantidad, tipo y localización de las armaduras, insertos, recubrimientos, etc.
- Ubicación de los equipos (p.e. bomba, vertido directo desde el camión, balde, tolva).
- Métodos de colocación en obra (p.e. posición y cantidad de puntos de vertido).
- Métodos de terminación.

Las características o clases deben ser seleccionadas cuidadosamente, controladas y justificadas en base a la experiencia del Contratista o del Proveedor de hormigón, o como consecuencia de la realización de ensayos previos a escala de laboratorio y de obra.

9.2.3.1. Requisitos en estado fresco

#### a) Ensayo de extendido

El extendido tiene por objeto evaluar la capacidad de fluir sin obstáculos y se realiza con el cono de Abrams, que se llena sin compactación. Luego de levantar el cono, se mide el diámetro alcanzado por la mezcla. Este valor, denominado extendido, tiene una buena correlación con el valor de  $\tau_0$  (tensión crítica). La fluidez del hormigón autocompactable medida según IRAM 1890-1 dependerá del tipo de elemento a hormigonar, de acuerdo con los siguientes rangos:

- Elementos horizontales comunes (por ejemplo: losas sin exigencias de elevada congestión de armaduras ni dificultad de colocación): El extendido deberá ser de  $560 \pm 50$  mm.
- Elementos verticales comunes (por ejemplo: columnas y/o tabiques con moderada/baja congestión de armaduras): El extendido deberá ser de  $630 \pm 50$  mm.
- Elementos horizontales y/o verticales muy densamente armados y con requisitos de muy buena terminación superficial (por ejemplo: columnas y/o tabiques y/o losas con elevada congestión de armaduras y con dificultad de llenado): El extendido deberá ser de  $700 \pm 50$  mm.

Asimismo, de acuerdo con lo establecido en el anexo de la mencionada normativa, se exige:

- El índice de estabilidad visual en ningún caso podrá ser mayor que 1. Se rechazarán aquellos hormigones cuyo índice de estabilidad visual sea 2 ó 3.
- Se podrá considerar como parámetro de diseño el tiempo  $T_{50}$ . En los casos donde se exige una calidad de terminación superficial por tratarse de hormigón visto, el tiempo  $T_{50}$  medido durante el ensayo de extendido libre no podrá ser superior a los 4 segundos (con el cono de Abrams en su posición natural) o 7 segundos (con el cono de Abrams invertido).

#### b) Ensayo de capacidad de pasaje entre pequeñas aberturas

Cuando los requisitos de elevada congestión de armaduras y/o dificultad de pasaje por cambios de formas así lo requieran, la capacidad de pasaje

se evaluará con el ensayo de extendido restringido con el anillo “J” (J-Ring Test) cuya evaluación deberá realizarse en un todo de acuerdo con IRAM 1890-2.

- Si existe gran congestión de armaduras y/o dificultad de llenado, la diferencia entre el extendido libre (IRAM 1890-1) y el extendido con el anillo “J” (IRAM 1890-2) deberá ser menor a 25 mm.
- En el caso de no existir elevada congestión de armaduras, la diferencia entre ambos ensayos puede ser de hasta 50 mm.
- No se aceptará un hormigón autocompactable con diferencias entre los ensayos de extendido libre y extendido con el anillo “J” superiores a los 50 mm.

#### c) Ensayo de segregación estática

Previo a la aprobación de la mezcla de obra, se deberá demostrar en laboratorio que el hormigón autocompactable diseñado tiene un índice de segregación estática inferior a 10 % medido de acuerdo con ASTM C1610-06.

#### 9.2.3.2. Requisitos en estado endurecido

El HAC deberá cumplir con la clase resistente especificada en los Documentos del Proyecto.

#### **9.2.4. Requisitos para los materiales componentes**

Vale lo indicado en artículo 9.1 con las salvedades detalladas a continuación:

**Agregados:** El tamaño máximo nominal a emplear en hormigones autocompactable no será mayor de 19 mm.

**Aditivos:** Se deberá utilizar un aditivo superfluidificante de base policarboxilato. También pueden utilizarse aditivos modificadores de la viscosidad (AMV). Se deberá demostrar la compatibilidad de los aditivos utilizados con el cemento o material cementicio utilizado en la dosificación, mediante ensayos de laboratorio apropiados.

**Fibras:** Se pueden utilizar fibras metálicas, poliméricas o de vidrio, siempre que se demuestre mediante ensayos previos que las mismas no afectan las propiedades en estado fresco y endurecido. (Ver Capítulo 3 y 9.3).

#### **9.2.5. Determinación de las proporciones de la mezcla**

9.2.5.1. Las proporciones de la mezcla serán tales que permitan satisfacer los requerimientos establecidos para el hormigón en estado fresco y endurecido, de acuerdo a lo indicado en el artículo 9.2.3.

C.9.2.5. En base a los antecedentes, los métodos de diseño se pueden clasificar según los siguientes criterios:

- Aquellos donde la estabilidad se ajusta por medio del contenido de polvo, es decir, alto contenido de pasta.
- Aquellos donde la estabilidad se consigue por medio de AMV y por lo tanto, bajo contenido de pasta (en general sólo cemento portland).
- Aquellos del tipo combinado, donde la estabilidad resulta de un ajuste del contenido de polvo y el uso de AMV.

Los distintos métodos tienen limitaciones relacionadas con los tipos de materiales para los cuales son aplicables o con las características

propias de los hormigones que pueden diseñarse. Algunos proponen un procedimiento paso a paso, y otros en cambio proponen límites a parámetros característicos de la mezcla (contenido de agregados, contenido de agua, etc.).

**C.9.2.6.** Con fines orientativos se resumen a continuación algunos criterios que surgen de antecedentes internacionales y locales:

- a) El volumen de agregado grueso es de 28-34 % del volumen de hormigón.
- b) Relación agua/polvo en volumen entre 0.8 y 1.2. Las mezclas con agentes modificadores de la viscosidad se ubican en el rango superior.
- c) El contenido de agua varía entre 160 y 180 litros/m<sup>3</sup> para mezclas sin AMV, o hasta 200 litros/m<sup>3</sup> con aditivos AMV.
- d) Volumen de agregado fino de 40 a 50 % del volumen de mortero sin aire.
- e) Volumen mínimo de pasta (agua + cemento + adición mineral) excluido el aire, entre 340 y 390 litros /m<sup>3</sup>.

**C.9.2.8.** El alto contenido de pasta y la elevada fluidez pueden dificultar la obtención de una mezcla uniforme, conforme indica IRAM 1666. En particular es probable la formación de “bolas” no mezcladas de material que una vez formadas son muy difíciles de deshacer. Dichas “bolas” tienden a formarse con mayor frecuencia cuando se mezcla en motohormigoneras o en mezcladoras de tambor basculante, siendo muy importante la secuencia de introducción de los materiales componentes a la mezcladora

#### 9.2.6. Parámetros generales de diseño

Existe una amplia gama de diseños que pueden producir HAC de comportamiento satisfactorio, pero en general hay una serie de parámetros claves que varían dentro de ciertos límites.

#### 9.2.7. Elaboración

La planta interna o externa que provea el hormigón deberá tener capacidad técnica para el diseño y producción de este tipo de mezclas. En el caso de plantas externas, se deberá suministrar a la Dirección de Obra copia de los registros de ensayos de laboratorio, ensayos de control de producción correspondientes a la elaboración del tipo de hormigón del cual se realizó el suministro a la Obra, detallando el lugar de la misma, tipo de elemento estructural hormigonado y nombre del cliente. Dicha información estará certificada por el responsable de la Gerencia de Calidad de la Planta Elaboradora o su equivalente. Asimismo, suministrará cualquier otra información que a juicio de la Dirección de Obra sea necesaria para evaluar la calidad del proceso de elaboración de los hormigones.

#### 9.2.8. Mezclado

Se deberá obtener una mezcla homogénea, de acuerdo al criterio indicado en IRAM 1666.

#### 9.2.9. Transporte

El transporte cumplirá con lo establecido en el Capítulo 4.4.

Cuando la motohormigonera llegue a pie de obra, antes de proceder a su descarga, se debe realizar un remezclado del hormigón con velocidad de giro del tambor correspondiente a mezclado. El número necesario de revoluciones del tambor se debe determinar de acuerdo con el criterio de cumplimiento de la uniformidad de composición del hormigón producido, establecido en IRAM 1666, pero en ningún caso debe ser menor a 25 revoluciones.

La descarga total de la motohormigonera se debe producir con tiempo suficiente para que el hormigón se pueda colocar y terminar con los medios disponibles en la obra antes de haber alcanzado su tiempo de fraguado inicial (IRAM 1662-95). Si no se determina el tiempo de fraguado inicial del hormigón, la descarga del hormigón se completará dentro de los 90 minutos a contar desde la unión del agua de mezclado con el cemento y los agregados, o la mezcla del cemento con los agregados, o bien antes que el tambor haya dado 300 giros en el caso que esta situación se produzca primero.

#### 9.2.10. Control de calidad

C.9.2.10.1. Como parámetro indicativo de la viscosidad del hormigón también podrá usarse el Tiempo de pasaje ( $T_v$ ) obtenido mediante el ensayo de “embudo en V”. EN 12350-9.

##### 9.2.10.1. Control de recepción en estado fresco

Con el objeto de realizar el control de la conformidad de los requisitos especificados para los hormigones en estado fresco, el Contratista deberá presentar a la Dirección de Obra para su aprobación un plan de muestreo y ensayos de acuerdo a lo establecido en el Capítulo 6.

Las propiedades en estado fresco que serán sometidas a verificación de conformidad serán como mínimo las que se indican a continuación:

- Extendido y  $T_{50}$  según IRAM 1890-1
- Capacidad de pasaje según IRAM 1890-2
- Peso de la unidad de volumen, según IRAM 1562
- Temperatura

La determinación y control de cada parámetro del hormigón fresco por medio de ensayos se debe efectuar en todos los camiones motohormigoneros que llegan a obra.

La muestra sobre la que se verificarán los parámetros en estado fresco se extraerá del camión inmediatamente después de haberse descargado el primer cuarto de metro cúbico del pastón.

Si efectuado el ensayo se obtiene un valor del parámetro de control dentro del rango establecido se debe considerar que el pastón es conforme respecto al parámetro del hormigón fresco ensayado. Para el caso del extendido y capacidad de pasaje se adoptarán los rangos de variación que se indican en el artículo 9.2.3.1 “Requisitos en Estado Fresco”. Para el resto de los parámetros se establecen los siguientes intervalos de variación:

- Temperatura: valor especificado  $\pm 1,5$  °C
- Peso de la unidad de volumen: valor teórico  $\pm 2$  %

Si el resultado obtenido se encuentra fuera del rango establecido se considerará que el resultado de ensayo de control es no conforme. Cuando se obtiene un resultado de ensayo de control no conforme, se debe proceder a obtener otra muestra del mismo pastón y a repetir la determinación. Si en este segundo ensayo nuevamente se obtiene un resultado no conforme, se debe considerar que el pastón bajo control es no conforme respecto del parámetro del hormigón fresco ensayado.

##### 9.2.10.2. Control de resistencia

Con el objeto de realizar el control de la conformidad de los requisitos especificados para los hormigones en estado endurecido, el Contratista deberá presentar a la Dirección de Obra para su aprobación un plan de muestreo y ensayos de acuerdo a lo establecido en el Capítulo 6. El hormigón se considerará de calidad satisfactoria si cumple con los requisitos especificados en dicho capítulo.

Las probetas para el control de la resistencia serán moldeadas sin ningún tipo de compactación mecánica, en una (1) sola capa y se enrasarán con cuchara.

#### 9.2.11. Ajuste de la mezcla en obra

En caso que sea necesario un ajuste en obra a los efectos de cumplir con los requisitos del hormigón en estado fresco, solo se permitirá la incorporación de aditivo superplastificante. El tipo y cantidad a adicionar, quedará bajo el control y la responsabilidad del proveedor de hormigón.

#### 9.2.12. Personal para el control y supervisión

El personal de obra que intervenga en la recepción de los HAC deberá estar capacitado respecto de los ensayos de recepción especificados, control visual de la mezcla, control de colocación, en especial el control de aspectos relativos a la segregación y bloqueo que se pueden producir.

**C.9.2.13.** La presión lateral sobre los encofrados depende principalmente de la forma y dimensiones de la estructura, las proporciones de la mezcla, la velocidad de llenado, metodología de llenado (desde arriba o desde la parte inferior del encofrado) y la temperatura ambiente. Los antecedentes indican que el cálculo de los encofrados, cuando se utiliza un HAC, debería basarse en la hipótesis que la presión ejercida por el mismo es aproximadamente igual a la presión hidrostática de un fluido con una densidad aproximada de 2,4 kg/dm<sup>3</sup>. Esto es así, dado que los HAC se comportan en forma muy similar a un líquido Newtoniano, con muy bajo valor de tensión crítica (yield stress). Sin embargo, otros trabajos indican presiones medidas sobre los encofrados inferiores a las hidrostáticas. Algunos justifican este comportamiento por la fricción del hormigón contra el encofrado y otros por el carácter tixotrópico del HAC. Por ejemplo, un desencofrante demasiado viscoso puede dificultar la eliminación de burbujas de aire con la consecuente disminución en la calidad superficial del elemento.

**C.9.2.14.** La máxima distancia horizontal que puede recorrer el HAC sin manifestaciones de segregación depende, no solo de la composición del mismo, sino también de las condiciones de borde que impone el elemento a hormigonar. La velocidad de vertido del HAC debe ser menor que la de un hormigón convencional. Si la velocidad de colocación es alta, puede dificultar la eliminación de las burbujas de aire, impidiendo la adecuada compactación.

C.9.2.14.1. El bombeo desde la parte inferior del encofrado es el que da mejor superficie de terminación para cualquier elemento vertical. Este sistema facilita la eliminación de aire y puede permitir un mayor ritmo de bombeo en comparación con el vertido desde la parte superior.

#### 9.2.13. Encofrados

Vale todo lo especificado en el Capítulo 6 del CIRSOC 201-2005 en todo lo que no se oponga a lo mencionado en el presente.

En el diseño del encofrado se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Será metálico o de madera fenólica.
- Deberá resultar estanco.
- Deberá considerarse la presión lateral ejercida por el HAC.
- Se deberá evaluar el tipo y metodología de aplicación del agente desencofrante y su influencia sobre la terminación superficial.

#### 9.2.14. Colocación

Vale todo lo especificado en el Capítulo 4 en todo lo que no se oponga a lo mencionado en el presente artículo.

Se evitarán distancias horizontales superiores a diez (10) metros.

La altura de caída libre está fuertemente condicionada por la presencia y congestión de armaduras. En ningún caso dicha altura será superior a cuatro (4) metros.

#### 9.2.14.1. Colocación por bombeo

Cuando se coloca el hormigón desde la parte superior del encofrado y se desea obtener un buen acabado superficial, se utilizará una manguera flexible que deberá permanecer, preferiblemente, sumergida en el hormigón para minimizar la posibilidad de inclusión de aire. El llenado empezará por la parte más baja del encofrado, en un lugar donde la manguera se pueda localizar tan cerca como sea posible de la parte inferior del encofrado. El extremo de la manguera se mantendrá siempre, si es

posible, por debajo de la superficie del hormigón. Deberá asegurarse un ritmo continuo de hormigonado, evitando el corte en la provisión del material, para lo cual se deberá controlar la velocidad de bombeo.

#### 9.2.14.2. Colocación con balde

En caso que se utilice la colocación mediante balde y tolva se deberá asegurar que el mismo sea estanco para prevenir pérdidas de mortero o pasta durante el transporte y se deberá considerar además que una estancia prolongada de la masa dentro del balde puede causar bloqueo por tixotropía del material.

Cuando se hormigonan tabiques altos o esbeltos se deberá utilizar una tolva con manguera flexible de modo tal que la misma se mantenga llena en todo momento y se evite la entrada de aire en el hormigón.

#### 9.2.15. Compactación

Se debe evitar la compactación del hormigón por métodos internos y/o externos. Si se observan defectos de compactación en los elementos ejecutados se deberán modificar los requisitos de diseño de la mezcla de modo que los mismos se adapten al tipo de elemento a hormigonar y a los requisitos de recepción especificados (por ejemplo, terminación superficial).

**C.9.2.16.** La baja capacidad de exudación que caracteriza en general a los HAC, los hace especialmente susceptibles a la fisuración por contracción plástica, en particular en elementos de gran superficie expuesta con relación a su volumen (losas, tableros de puentes, etc.). Por tal motivo se debe prestar atención a la protección y curado de los mismos para evitar o disminuir el riesgo de fisuración.

#### 9.2.16. Protección y Curado

Vale lo especificado en el artículo 4.10 en todo lo que no se oponga a lo mencionado en el presente.

#### 9.2.17. Elemento estructural de prueba

Previo a la ejecución de la obra, y si el Director de Obra lo requiere, el proveedor de hormigón deberá presentar y ejecutar, en conjunto con la empresa constructora, un plan de trabajo que contemple como paso final la realización de un elemento estructural de prueba similar al que figura en los Documentos del Proyecto.

Este plan de trabajo deberá considerar al menos la evaluación de los siguientes ítems:

- Realización de pastones de prueba a escala industrial y verificación de los requisitos en estado fresco y endurecido.
- Transporte del hormigón en camión motohormigonero.
- Redosificación del aditivo superfluidificante a pie de obra.
- Equipo de colocación (bomba, balde, etc).
- Tipo de encofrado y estanqueidad del mismo.
- Tipo y metodología de colocación del agente desencofrante.
- Color y uniformidad del hormigón.
- Terminación superficial del hormigón y su relación con:
  - a) Propiedades del HAC en estado fresco (viscosidad, fluidez)
  - b) Tipo de encofrados y agente desencofrante
  - c) Forma de colocación del hormigón (desde la parte superior o inferior de los encofrados)
- Capacitación del personal a cargo de los controles de recepción y de la colocación del hormigón.

- Medidas correctivas a aplicar en función de los resultados que se obtienen en el elemento de prueba ejecutado.

### 9.3. HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS

#### 9.3.1. Alcance

9.3.1.1 En este artículo se establecen los requerimientos para los materiales componentes, dosificación, producción, transporte, colocación y control del Hormigón Reforzado con Fibras (HRF).

9.3.1.2. Las especificaciones en esta sección aplican a toda estructura construida con hormigón reforzado con fibras, combinado o no con armaduras convencionales.

9.3.1.3. En este artículo se establecen los requisitos particulares que debe cumplir el HRF, los que tienen prelación sobre las especificaciones equivalentes contenidas en otros Capítulos de este Código.

#### 9.3.2. Definiciones

9.3.2.1 El Hormigón Reforzado con Fibras (HRF) es un compuesto que incorpora fibras discretas (discontinuas) distribuidas en una matriz cementícea que puede contener o no agregados gruesos.

Los rangos usuales de fibras varían entre 0,25 y 1% en volumen. En este reglamento se excluyen mezclas en las que el contenido de fibras supere el 1,5% en volumen.

El HRF puede usarse solo o en combinación con armaduras convencionales.

Un HRF se debe evaluar en base a su respuesta (performance) en ensayos de flexotracción como se describe en 9.3.3. No debe considerarse que la incorporación a cualquier hormigón de un dado tipo y contenido de fibras asegurará dicha performance.

Resistencia de primera fisura ( $f_i$ ): Módulo de rotura del hormigón al momento de aparición de la primera fisura.

Resistencia residual ( $f_i$ ): Módulo de rotura del hormigón calculado en base a la fuerza que corresponde a una determinada deformación “i” (flecha o apertura de la boca de fisura) durante el postpico, considerando la sección nominal (como si no estuviera fisurada).

C.9.3.2.1 Al incorporar fibras se modifican las propiedades mecánicas de la matriz. Sin embargo, ni el peso unitario del hormigón, ni las propiedades elásticas ni la resistencia a compresión cambian en forma significativa, salvo que se utilice un alto porcentaje de fibras.

Las fibras controlan la fisuración, otorgan tenacidad y capacidad residual en estado fisurado. En estado límite de servicio permiten reducir el ancho y el espaciamiento entre fisuras, y consecuentemente mejoran la durabilidad. La presencia de fibras atenúa los efectos de la contracción por secado del hormigón, lo que se ha verificado en losas sobre el piso (fisuración, alabeo) y revestimientos de túneles. Las fibras pueden mejorar la resistencia a la erosión, al corte y al punzonamiento. También se pueden incorporar fibras para mejorar el comportamiento en estado límite último donde pueden sustituir en forma parcial o total a las barras de armadura convencional o a las mallas de refuerzo.

Asimismo, se pueden incorporar fibras poliméricas para atenuar efectos como desprendimientos y estallidos debidos a la exposición frente a muy altas temperaturas (incendios).

C.9.3.2.2. En la actualidad el diseño estructural de elementos de HRF se basa en la resistencia residual post-fisuración provista por el refuerzo de las fibras. Para ello se debe garantizar una mínima performance mecánica del HRF. La misma puede variar notablemente conforme las fibras utilizadas, pero es posible obtener performances similares empleando diferentes fibras.

#### 9.3.2.2 Características y tipos de fibras

Las fibras son elementos de corta longitud y sección delgada de formas diversas; pueden ser de acero, polímeros, carbono, vidrio, de metales amorfos o materiales de origen natural.

Existen fibras que confieren capacidad estructural (macrofibras) y fibras que no poseen función estructural (microfibras). Con las primeras la capacidad post-fisuración crece en función del tipo y contenido de fibras. Las microfibras pueden ser beneficiosas para el control de la fisuración en

Diversos documentos como el Anejo 14 EHE-08 (España), el ACI 544.4R:2018 o el *fib* Model Code 2010 incluyen criterios para el diseño estructural de elementos de HRF.

**C.9.3.3.** La norma EN14651 ensaya prismas de 150x150x600 mm cargados al centro de una luz entre apoyos de 500 mm, y una entalla de 25 mm de profundidad al centro de la cara traccionada. La apertura de la boca de fisura (CMOD) o la flecha se utilizan para el control de la velocidad de ensayo. Se determina la tensión de primera fisura ( $f_L$ ) que representa la resistencia a tracción de la matriz (muchas veces coincide con la carga máxima) y dos resistencias residuales calculadas para CMOD iguales a 0,5 y 2,5 mm ( $f_{R1}$  y  $f_{R3}$ ).

Alternativamente puede calcularse la capacidad residual ensayando prismas similares cargados en cuatro puntos siguiendo ASTM C1609. A partir de las cargas postfisuración para flechas iguales al 1/600 o 1/150 de la luz de ensayo se determinan las tensiones residuales  $f_{600}$  y  $f_{150}$  respectivamente. La norma ASTM C1609 también admite el uso de prismas de menor tamaño. Si bien no se prevé en EN14651, es posible calcular las tensiones residuales  $f_{R1}$  y  $f_{R3}$  empleando probetas de menores dimensiones. *Giaccio, G., Tobes, J.M. and Zerbino, R. "Use of small beams to obtain toughness parameters of Fibre Reinforced Concrete Following the Guidelines of RILEM TC 162-TDF Recommendation" C& CC, 30,14, (2008) 297-306.*

Como referencia de la respuesta del HRF es recomendable determinar la densidad de fibras en las superficies de fractura luego del ensayo de flexión e indicar si se detectó rotura de fibras.

En base a las tensiones residuales tanto en el ACI Committee 544 como en *fib* MC2010 se establecen criterios de cálculo para HRF. El *fib* MC2010 emplea los valores de  $f_{R1}$  y  $f_{R3}$  determinados según EN14651 y en base a los mismos establece Clases de HRF. Cada clase es representativa de una performance, la cual puede ser obtenida con diferentes tipos de fibras. En el caso del ACI los criterios de cálculo para HRF se indican en el reglamento ACI318.

La información sobre el tipo y dosis de fibras empleadas para obtener la performance no solo se empleará para el control en obra, sino que puede resultar de interés para atender otras cuestiones como por ejemplo el control de la contracción (espaciamiento entre juntas, alabeos, entre otras). En este sentido será

estado plástico, para brindar cohesión al hormigón fresco y para atenuar efectos de la exposición frente a altas temperaturas (incendio).

A los fines de este reglamento se consideran fibras de acero, fibras poliméricas y fibras de vidrio resistente a los álcalis. Las características de las mismas fueron detalladas en el Capítulo 3.7.

### 9.3.3. Verificación de la prestación del HRF

La performance del HRF se establece a partir de su capacidad residual. Se define como resistencia residual a la tensión obtenida a partir de la carga correspondiente a una determinada flecha o apertura de fisura durante el postpico, considerando la sección nominal (sin tener en cuenta la profundidad de fisura).

La resistencia residual se determinará en base a ensayos de flexión realizados sobre prismas de 150 x 150 x 600 mm siguiendo lo establecido en EN14651 o mediante ASTM C1609 o a través de procedimiento CIRSOC equivalente a elaborar.

Por ejemplo, en el caso de EN14651 se obtienen valores de resistencias residuales ( $f_{R1}, f_{R2}, f_{R3}, f_{R4}$ ) con los que se realiza el cálculo estructural. En el caso de ASTM C-1609 se emplean las tensiones residuales  $f_{600}$  y  $f_{150}$ . Esos valores son los que deben ser especificados por el calculista.

Para determinar la capacidad residual se deben ensayar al menos 3 prismas para cada HRF, siendo recomendable utilizar 5 probetas.

El uso de prismas de menor tamaño es recomendable en el caso de que la aplicación en cuestión considere el uso de HRF en capas de menor espesor.

El HRF a emplear se especificará en base a su capacidad residual en flexión y su resistencia a compresión.

Los criterios para evaluar la resistencia a compresión son los mismos que se aplican al hormigón sin fibras.

Una vez verificada la performance (capacidad residual) requerida por el calculista (según el método adoptado) se deberán indicar las características y dosis de las fibras utilizadas, dato a emplear en el control en obra.

valioso si se cuenta con experiencias previas ya que pueden existir diferencias entre distintas fibras aun cuando el HRF tenga similar capacidad residual.

C.9.3.4.1. Se recomienda elevar ligeramente la cantidad de mortero (10%) ya que las fibras, aun en pequeño volumen, requieren espacio para acomodarse en la masa del hormigón. Asimismo, por tratarse de un hormigón de alta performance, es recomendable el uso de reductores de agua.

Con buenas prácticas constructivas y dosis de fibras adecuadas no debieran ocurrir problemas de segregación o distribución no homogénea de las fibras. La segregación de las fibras puede dar lugar a la formación de “bolas” o “erizos”. Si los mismos son pocos y se detectan, se retiran y no se generan mayores inconvenientes. Por el contrario, si se produce una formación excesiva de erizos o permanecen dentro de la mezcla, no se alcanzarán las prestaciones buscadas.

C.9.3.4.2. La consigna es asegurar que las fibras se distribuyan en forma homogénea en el pastón. Con los cuidados adecuados también pueden incorporarse las fibras sobre el hormigón fresco.

Es recomendable dosificar en base al número de bolsas o cajas enteras en las que las fibras se suministran.

C.9.3.4.3. En términos generales, los criterios de compactación y los métodos de enrasado y terminación aplicados en hormigón convencional pueden extenderse al caso del HRF.

Elementos de secciones delgadas o las condiciones de llenado (el flujo del hormigón, lugar de descarga, medio de compactación) pueden dar lugar a orientaciones preferenciales. Dicha orientación puede ser beneficiosa y aprovechada o no conforme el caso. Esto debe tenerse en cuenta en el cálculo, al llenar los elementos estructurales y en verificaciones posteriores del HRF (testigos).

**C.9.3.5.** Los métodos de ensayo para verificar la resistencia a compresión, al igual que los criterios de aceptación o rechazo y tolerancias serán los mismos

#### **9.3.4. Estado fresco**

##### 9.3.4.1 Comentarios generales y recomendaciones

En la elaboración, manejo en obra y control de calidad del hormigón fresco deben respetarse las buenas prácticas establecidas para el hormigón convencional.

Para el diseño de mezclas se deben seguir los criterios de la buena práctica aplicados a hormigones convencionales. No debe agregarse agua para compensar la disminución de fluidez que conlleva la incorporación de fibras, sino recurrir al uso de superfluidificantes.

La forma de incorporación, mezclado, compactación deben atender a la distribución homogénea del refuerzo.

##### 9.3.4.2. Elaboración

Es conveniente que las fibras se incorporen dispersas junto con los agregados. Deben preverse básculas o elementos de control que garanticen la dosificación de fibras buscada. Nunca se deben incorporar fibras como primer material en la mezcladora. En cualquier caso, se debe evitar su incorporación abrupta o cualquier otra condición que favorezca su segregación.

Una vez incorporadas las fibras el mezclado debe prolongarse algunos minutos (4 o 5) más que en el hormigón convencional para favorecer su distribución homogénea dentro de la masa del hormigón. Se recomienda no cargar las motohormigoneras en exceso.

##### 9.3.4.3 Colocación y compactación en HRF

Debe evitarse el transporte adicional y se deben verificar los equipos con anticipación si nunca se usó HRF. La velocidad de vertido debe ser tal que se eviten interrupciones.

El HRF puede ser bombeado siguiendo los criterios generales empleados para hormigón convencional (ver Capítulo 4).

El medio de compactación más efectivo es el vibrado externo (mesas vibrantes, de encofrado, de superficie). La compactación manual es inaceptable y, en lo posible, debe evitarse el vibrado interno.

También es posible el uso de mezclas autocompactables reforzadas con fibras (ver Capítulo 9.1).

#### **9.3.5 Control de HRF**

El criterio de aceptación y recepción del HRF se basa en verificar el tipo y contenido de fibras y la resistencia a compresión de la mezcla.

aplicados para el hormigón convencional.

Para el recuento de cantidad de fibras se toma y pesa una muestra del hormigón fresco de aproximadamente 8 kg, se lava y se separan las fibras mediante un método apropiado; las fibras de acero pueden colectarse fácilmente mediante un imán, las fibras de vidrio o poliméricas se pueden separar por flotación y tamizado.

El tipo y contenido de fibras debe ser consistente con la dosis y tipo de fibras antes verificada mediante el ensayo flexión (ver 9.3.3).

En el caso de utilizar motohormigoneras, la diferencia entre el contenido de fibras sobre muestras extraídas del primer y último ¼ del camión debe ser menor al 10 %.

Para control de las propiedades del hormigón fresco se pueden usar diversos métodos según las características del HRF y su forma de compactación (ver Capítulos 4 y 9 según corresponda, remoldeo VB, Asentamiento, Mesa de Graf, Extendido, V funnel).

Una vez adoptado y caracterizado el HRF, se debe disponer de la siguiente información para verificación y control:

- Tipo y designación de las fibras (indicando geometría, en especial largo y diámetro, ficha técnica / certificado de calidad de las fibras).
- Dosis de fibras.
- Dosificación del hormigón.
- Resistencia a compresión y capacidad residual del HRF.
- Trabajabilidad (estableciendo qué método de ensayo y tolerancia).

### 9.3.6 Criterios para conformidad

Se establecen las siguientes tolerancias:

- Dosis de fibras:  $\pm 10\%$ .
- Trabajabilidad y otras propiedades del hormigón fresco: las mismas establecidas para hormigón sin fibras.
- Resistencia a compresión: la misma establecida para hormigón sin fibras (ver Capítulo 6).

## 9.4. HORMIGÓN PROYECTADO

### 9.4.1. Alcance

C.9.4.1.1. Los lineamientos generales del presente capítulo pueden aplicarse al sistema de proyección “vía seca”, cuyo uso es poco frecuente en Argentina. Sin embargo, en tal caso deberán considerarse cuestiones específicas relativas a la elaboración y colocación que pueden diferir del método “vía húmeda”. Mayores detalles pueden obtenerse en la recomendación ACI 506.

9.4.1.1. Este artículo se refiere al hormigón a base de cemento Pórtland, colocado por medios neumáticos sobre una superficie mediante el sistema de proyección “vía húmeda”, utilizado como material soporte del terreno de excavación.

9.4.1.2. Las especificaciones en esta sección aplican a toda estructura construida con hormigón proyectado simple, armado o reforzado con fibras de acero.

9.4.1.3. Los Documentos del Proyecto deberán indicar las resistencias efectivas requeridas a corta edad y a la edad de 28 días.

9.4.1.4. En este artículo se establecen los requisitos particulares que debe cumplir el hormigón proyectado, los que tienen prelación sobre las especificaciones equivalentes contenidas en otros Capítulos de este Código.

### 9.4.2. Definiciones

A los efectos de este Código Modelo se establecen las siguientes definiciones particulares.

Hormigón o mortero proyectado: Mezcla de cemento, agregados y agua que se proyecta en forma neumática desde una boquilla hacia su lugar de colocación para producir una masa densa y homogénea. El hormigón o mortero proyectado incorpora normalmente aditivos y puede incluir adiciones minerales y/o fibras.

Proceso por vía húmeda: Técnica en la que el agua, cemento y los áridos para un pastón, previamente mezclados, se introducen en el equipo de proyección. Habitualmente el aditivo acelerador se introduce en la boquilla del equipo.

Capa: Espesor de hormigón o mortero proyectado, formado por un número de pasadas de boquilla.

Rebote o rechazo: Material que habiendo sido proyectado a través de la boquilla y golpeado contra la superficie, no se adhiere a ella.

Boquilla: Dispositivo a través del cual se proyecta la mezcla.

Resistencia Potencial del Hormigón: Es la resistencia obtenida en ensayos de rotura a compresión de probetas de 150 mm de diámetro, moldeadas con el hormigón antes de la incorporación de los aditivos reguladores del tiempo de fraguado y/o grado de endurecimiento.

Resistencia Efectiva del Hormigón Proyectado: Es la resistencia obtenida en ensayos de rotura a compresión de testigos de 100 mm de diámetro, obtenidos del hormigón proyectado luego de la incorporación de los aditivos reguladores del tiempo de fraguado y/o grado de endurecimiento.

C.9.4.3. Los aditivos acelerantes se utilizan principalmente para ayudar a la colocación del hormigón mediante la aceleración del fraguado normal de la mezcla y también pueden acelerar el desarrollo de resistencia inicial. La sobredosis de un acelerador del fraguado puede retardar la velocidad de desarrollo de la resistencia y comprometer la durabilidad del hormigón, por lo que se deben respetar las recomendaciones del fabricante.

### 9.4.3 Requisitos para los materiales componentes

Vale lo indicado en el artículo 9.1 con las siguientes salvedades:

- Se emplearán aditivos fluidificantes y/o superfluidificantes. Por razones de colocación se podrán utilizar aditivos reguladores del tiempo de fraguado y del endurecimiento del hormigón, como así también aditivos incorporadores de aire para el caso de exposición a congelación y deshielo.
- Previo a su utilización en obra se evaluará la compatibilidad del aditivo y el cemento a emplear, mediante la realización de ensayos de laboratorio.
- Los agregados cumplirán los requerimientos generales establecidos en el artículo 3.2 del Capítulo 3. Además:

Los aceleradores de fraguado se añaden al hormigón en la boquilla o en la manguera de distribución de hormigón proyectado por vía húmeda.

- a) El agregado fino tendrá una granulometría comprendida dentro de los límites de las curvas A y B de la Tabla 3.3 (artículo 3.2.3.2). El módulo de finura no debe ser menor de 2,3 ni mayor de 2,8.
- b) Según el tamaño máximo a emplear el agregado total combinado tendrá una granulometría continua comprendida entre los límites que se detallan en la Tabla 9.1.
- c) Se admitirán agregados que no cumplan los requisitos especificados en a) y b), si se demuestra en pruebas a escala de obra, que el comportamiento en estado fresco y endurecido resultan satisfactorios, según los Documentos del Proyecto o este Código Modelo.

**Tabla 9.1.** Límites granulométricos para hormigón proyectado

Tamices IRAM 1501, Parte II-76	% que pasa, en masa	% que pasa, en masa
12,5 mm	100	--
9,5 mm	90-100	100
4,75 mm	70-85	95-100
2,36 mm	50-70	80-98
1,18 mm	35-55	50-85
600 $\mu\text{m}$	20-35	25-60
300 $\mu\text{m}$	8-20	10-30
150 $\mu\text{m}$	2-10	2-10

**C.9.4.4.** Asentamiento: a su llegada a obra el hormigón deberá tener un asentamiento comprendido entre 6 cm y 10 cm.

Para aquellas zonas de la estructura que estarán bajo la napa de agua durante la vida en servicio de la estructura o durante parte de la misma, se podrá exigir la incorporación al hormigón de un aditivo impermeabilizante en masa, según dosis recomendada por el fabricante.

C.9.4.4 e) Se recomienda no superar el 9 % de aire intencionalmente incorporado para evitar una caída importante de resistencia.

**9.4.4. Requisitos en estado fresco y de resistencia y durabilidad**

- a) Resistencia característica: Tanto la resistencia potencial característica (sin aditivos reguladores del tiempo de fraguado y/o grado de endurecimiento) como la resistencia efectiva a la edad de 28 días serán iguales o mayores que la especificada en los Documentos del Proyecto o de 25 MPa, la que sea más elevada.
- b) Resistencia efectiva a edad temprana: La resistencia a compresión efectiva será igual o mayor que la indicada en los Documentos del Proyecto. Si el Proyecto no lo indica será igual o mayor a 6 MPa a la edad de 12 horas. Podrán requerirse ensayos a edades distintas de la indicada (por ejemplo, a 6, 10 o 24 horas).
- c) Contenido de cemento: El hormigón proyectado deberá tener un contenido de cemento comprendido entre un mínimo de 380 kg/m<sup>3</sup> y un máximo de 480 kg/m<sup>3</sup> de hormigón compactado.
- d) Relación agua cemento: La mezcla de hormigón proyectado tendrá una relación agua/cemento en peso que no excederá de 0,50.
- e) En los casos que el hormigón de la estructura esté expuesto a una clase de exposición C1 según la Tabla 2.2 del Capítulo 2 (congelación y deshielo), la mezcla de hormigón proyectado tendrá un contenido de mínimo de 6 % de aire intencionalmente incorporado, medido antes de su aplicación.
- f) Se podrán incorporar micro-fibras de polipropileno para mejorar el comportamiento del hormigón proyectado frente al fuego y limitar la fisuración.
- g) Se podrán utilizar fibras de acero, macrofibras poliméricas o macrofibras de vidrio para mejorar la resistencia a la flexión y capacidad postfisuración y tenacidad del hormigón proyectado.

#### 9.4.5. Determinación de las proporciones de la mezcla

9.4.5.1. Las proporciones de la mezcla serán tales que permitan satisfacer los requerimientos establecidos para el hormigón con capacidad para ser colocada sin rebote o segregación excesiva y capaz de desarrollar la resistencia requerida.

C.9.4.5.2. IRAM 1896 indica las dimensiones mínimas, procedimiento de colocación y curado para tal fin.

9.4.5.2. Para ajustar la mezcla se elaborarán pastones con distintos contenidos de cemento y distintas dosis de aditivo acelerante de fraguado. Por cada pastón de prueba se fabricarán paneles de prueba utilizando para ello el equipamiento y las condiciones que se presentarán en la Obra. Sobre cada panel se realizarán las siguientes pruebas y ensayos:

a) Para verificar requerimientos de resistencia a larga edad, se extraerán 4 testigos de 100 mm de diámetro en ángulo recto con el plano del panel, como mínimo 2 horas antes del momento del ensayo. No se extraerán testigos de la porción del panel cercana a su perímetro exterior, hasta una distancia del borde equivalente al espesor del panel más 25 mm. Los testigos serán ensayados y corregidos por esbeltez según IRAM 1551. Los ensayos se realizarán dos (2) a los 7 días y los otros dos (2) a los 28 días.

b) Para verificar los requerimientos a temprana edad se extraerán 3 testigos de 100 mm de diámetro, siguiendo lo establecido en el apartado a), 2 horas antes de la edad de ensayo. La resistencia obtenida en el testigo de 100 mm de diámetro será afectada por el factor 0,93 para referirla a la resistencia cilíndrica en probeta de 150 mm de diámetro.

C.9.4.5.3. El valor 0,91 surge de considerar que los testigos deben tener una resistencia mínima de 0,85 de la buscada, pero dado que se determinan sobre testigos de 100 mm de diámetro debe aplicarse el factor de corrección 0,93 para ajustarse a la resistencia de la probeta de 150 mm de diámetro.

9.4.5.3. Para plantas operando en Modo 1, el pastón será considerado de resistencia satisfactoria si la resistencia a la edad de 28 días, obtenida promediando los resultados de los ensayos de los testigos extraídos del panel de prueba corregidos por esbeltez, es igual o mayor que 0,91 de la especificada en los Documentos del Proyecto. En ningún caso será inferior a 22 MPa.

9.4.5.4. Para plantas operando en Modo 2, el pastón será considerado de resistencia satisfactoria si la resistencia a la edad de 28 días, obtenida promediando los resultados de los ensayos de los testigos extraídos del panel de prueba corregidos por esbeltez, es igual o mayor que 0,91 de la especificada en los Documentos del Proyecto más 5 MPa. En ningún caso será inferior a 27 MPa.

9.4.5.5. La resistencia efectiva a edad temprana (12 horas o lo que se especifique) será igual o mayor a la indicada en los Documentos del Proyecto. Si el Proyecto no lo indica será igual o mayor a 6 MPa.

### 9.4.6. Ejecución

9.4.6.1. El hormigón proyectado se ejecutará mediante el procedimiento de colocación por vía húmeda.

C.9.4.6.2. Se recomienda adoptar medidas para asegurar que ningún sistema de suministro entregue aire contaminado con aceite, o que no sea capaz de mantener una presión constante. El equipo del aplicador, incluyendo la manguera y la tobera o pistola, se mantendrá en perfectas condiciones en todo momento, y se lo reemplazará cuando se observe falta de uniformidad en el flujo de material. Se limpiará cuidadosamente todo el equipo por lo menos una vez por turno.

Se recomienda que el hormigón se bombee mediante bomba de pistón hasta la boquilla de proyección, donde se halla la reducción de sección. En la boquilla se añadirá aire a una presión del orden de 5-7 bar y a razón de 7-15 m<sup>3</sup> por minuto. Con ello se consigue incrementar la velocidad del hormigón y su compactación y adherencia a la superficie sobre la que se proyecta. Asimismo, en la boquilla se añadirán también los aditivos acelerantes de fraguado. Se cuidará especialmente que la posición de la boquilla de proyección se mantenga lo más perpendicular posible a la superficie de proyección con objeto de disminuir el rebote. El máximo rebote se obtiene proyectando a 45°, y disminuye progresivamente hasta 90°, donde se minimiza. La distancia se regulará de modo que no exceda de 1,5 m. Simultáneamente, se recomienda proyectar a distancias no inferiores a 0,5 m, por razones de rebote.

9.4.6.2. Cuando se está trabajando bajo el nivel de napa freática, debe asegurarse la depresión de la misma durante la ejecución del hormigón proyectado y durante los veintiocho (28) días posteriores.

a) Personal: La Dirección de Obra deberá verificar la experiencia e idoneidad del operador.

b) Equipos: El equipamiento a emplear asegurará las proporciones que se han establecido para la mezcla, con una desviación mínima de la misma, y permitirá conseguir una mezcla uniforme y homogénea.

c) Preparación de superficies: Las superficies a las cuales se le aplicará hormigón proyectado deberán estar libres de materiales sueltos, barro y/o materias extrañas. Estas superficies se mantendrán saturadas desde el momento de completar la limpieza, hasta que se aplique el hormigón proyectado.

El espesor de todas las capas de hormigón proyectado se verificará mediante el colocado previo de espigas de 6 mm de diámetro o por otros métodos aprobados.

Las superficies deberán ser suficientemente duras para evitar la erosión debido a la operación de proyectado del hormigón, de lo contrario puede ser necesario su tratamiento previo.

Para prevenir el lavado del hormigón recién colocado debido a filtraciones, éstas se deben controlar usando conductos que canalicen el agua. Sólo se podrá proceder a la colocación luego de eliminar las filtraciones de agua de los sectores donde se realizará la proyección.

d) Aplicación.

El hormigón proyectado se aplicará de manera tal que no se deforme ni se desprenda. Las mallas y los refuerzos se fijarán en forma rígida para evitar que se produzcan movimientos durante el proyectado.

Al iniciar o interrumpir la operación de proyectado o cuando el flujo de la boquilla sea irregular, esta será desviada del área de trabajo.

El hormigón será proyectado con un ángulo lo más normal posible a la superficie, manteniendo la boquilla a una distancia aproximada de 0,90 m a 1,50 m del sitio de colocación. En la boquilla se mantendrá una presión de aire del orden de 3 kg/cm<sup>2</sup> y el agua tendrá una presión uniforme que será por lo menos de 1 kg/cm<sup>2</sup> superior a la presión de aire. Si la salida del material por la boquilla no es uniforme, o si se produjeran nidos de arena o áreas de afloramiento de agua, el trabajo se suspenderá hasta que se corrijan los problemas que originan tales anomalías. Toda área defectuosa será reparada a medida que avancen los trabajos.

Durante el proceso de colocación del hormigón proyectado se cuidará de mantener el frente de trabajo libre de material rechazado, el cual será retirado a medida que el trabajo adelante.

El material de rechazo no se incorporará a la construcción ni se volverá a utilizar en el trabajo. El rebote se mantendrá en valores mínimos, por debajo del 30%. Los trabajos de proyección se interrumpirán o no se iniciarán cuando la temperatura ambiente sea inferior a 5°C.

e) Curado.

El hormigón proyectado será curado con membrana de base solvente o con agua durante un período mínimo de 7 días después de su colocación. El curado comenzará a los 30 minutos de finalizadas las tareas de aplicación

del mortero u hormigón. En el caso que se empleen membranas de curado, las mismas cumplirán las características establecidas en IRAM 1675.

En caso de utilizarse la membrana de curado, la misma deberá ser removida totalmente antes de aplicar sobre la superficie cualquier tipo de recubrimiento.

#### 9.4.7. Control de calidad

##### a) Control de recepción en estado fresco

Con el objeto de realizar el control de la conformidad de los requisitos especificados para los hormigones en estado fresco, el Contratista deberá presentar a la Dirección de Obra para su aprobación un plan de muestreo y ensayos de acuerdo a lo establecido en el Capítulo 6.

##### b) Control de resistencia

###### Resistencia potencial en probetas

Con el objeto de realizar el control de la conformidad de los requisitos especificados para los hormigones en estado endurecido, el Contratista deberá presentar a la Dirección de Obra para su aprobación un plan de muestreo y ensayos de acuerdo a lo establecido en el Capítulo 6. El hormigón se considerará de calidad satisfactoria si cumple con los requisitos especificados en citado Capítulo.

###### Resistencia efectiva en testigos

El control de la resistencia efectiva del hormigón proyectado deberá llevarse a cabo mediante la extracción de testigos calados de paneles de ensayo confeccionados al efecto o bien de la estructura definitiva (previo requerimiento o autorización de la Dirección de Obra).

Para los primeros 50 m<sup>2</sup> de superficie proyectada y posteriormente con una frecuencia de una (1) vez cada 250 m<sup>2</sup> de superficie hormigonada y como mínimo una (1) vez por semana, se fabricarán paneles de ensayo con el objeto de verificar el cumplimiento de los requisitos de resistencia a compresión mediante la extracción y ensayos de testigos a edad temprana y a 28 días, según lo especificado en el artículo 9.4.4. Complementariamente se podrán ensayar testigos a la edad de 7 días para evaluar de manera anticipada las características resistentes del hormigón colocado.

Los paneles de ensayos se fabricarán en el frente mismo de hormigonado utilizando el equipamiento y las condiciones de aplicación de obra. De cada panel de ensayo se extraerán al menos 4 testigos de 100 mm de diámetro en ángulo recto con el plano del panel.

El panel deberá estacionarse próximo a la estructura de hormigón proyectado a la que representa, en similares condiciones de exposición y curado.

Los testigos serán ensayados según IRAM 1551 de la siguiente forma: dos (2) a edad temprana y los otros dos (2) a los 28 días.

El hormigón se considerará de calidad satisfactoria si:

- El promedio de los resultados de ensayo, afectado por un factor de 0,93 para referirlo a la resistencia cilíndrica en probeta de 150 mm de diámetro, es igual o mayor que el especificado a edad temprana.
- El promedio de los resultados de ensayo es igual o mayor que 0,91 de la resistencia especificada según 9.4.4 (para planta operando en Modo 1), o igual o mayor que 0,91 de la suma de la resistencia especificada más 5 MPa (para planta operando en Modo 2). Ningún valor individual deberá ser inferior que 0,80 de la resistencia especificada.

El control de la resistencia efectiva a edad temprana del hormigón proyectado podrá realizarse mediante la utilización de un método de ensayo no destructivo. A tal efecto el Contratista deberá presentar una

C.9.4.7.b). La norma IRAM 1896 indica dimensiones mínimas, procedimiento de colocación y curado para tal fin.

curva de calibración contrastada con al menos doce (12) resultados de ensayo de testigos calados en paneles de prueba o en la estructura, la cual deberá constar de límites que muestren el ámbito de variación de los resultados obtenidos con el método propuesto. El procedimiento de calibración deberá ser presenciado y aprobado por la Dirección de Obra.

c) Control de espesor

Cada 10 m<sup>2</sup> de superficie hormigonada se realizarán controles de espesor del hormigón colocado.

d) Control de dosis de aditivo acelerante

La dosis de aditivo acelerante se controlará verificando en obra de forma continua los consumos de aditivo y los volúmenes de hormigón proyectado. En ningún caso la dosis de aditivo acelerante deberá ser superior a la dosis máxima recomendada por el fabricante.

## 9.5. HORMIGÓN MASIVO ESTRUCTURAL

### 9.5.1. Definición, alcance y requisitos

9.5.1.1. Se considera *hormigón masivo*, al colocado en secciones macizas cuya menor dimensión lineal sea igual o mayor que **75 cm**.

9.5.1.2. El presente artículo es de aplicación específica a elementos estructurales como bases de máquinas, plateas, bases de fundación y otras estructuras que tengan la condición 9.5.1.1. No es de aplicación para la construcción de diques de hormigón, pero puede ser utilizado para el diseño de elementos estructurales de hormigón armado o pretensado que formen parte de un dique.

9.5.1.3. En este artículo se establecen los *requisitos particulares* que debe cumplir el hormigón masivo estructural, los que tienen prelación sobre las especificaciones equivalentes contenidas en otros Capítulos de este Código.

9.5.1.4. En la *construcción de un elemento estructural de hormigón masivo*, en todo el proceso que incluye la selección de los materiales, la dosificación de la mezcla, el transporte, colocación, compactación y curado, se debe tener en cuenta que el aumento de la temperatura en la masa del hormigón, generado por el calor de hidratación del cemento, puede producir su posterior fisuración.

C.9.5.1.5. La característica fundamental que diferencia a un hormigón masivo es su comportamiento térmico. Dado que el hormigón tiene baja conductibilidad térmica, en grandes volúmenes el calor generado por la hidratación del cemento se disipa muy lentamente y da lugar a un aumento importante de temperatura en la masa del hormigón.

Cuando también existen restricciones de vínculo, la compresión inicial por dilatación se disipa por fluencia y el posterior enfriamiento produce tensiones de tracción que pueden fisurar al hormigón. Esto puede producirse por restricción exterior (fundación) o por restricción de la masa interior caliente a la contracción del hormigón superficial que se enfría más rápidamente.

El calor de una masa de hormigón se disipa en función inversa del cuadrado

9.5.1.5. En una *estructura masiva de hormigón* se deben considerar las tensiones inducidas por las causas indicadas en el artículo 9.5.1.4, realizar los estudios y adoptar las disposiciones necesarias para cumplir con los requisitos que correspondan y que se indican a continuación:

a) En estructuras de hormigón simple o armado, que deban ser estancas entre juntas de contracción con barreras que impidan el pasaje de agua, no se admiten fisuras.

b) En estructuras de hormigón simple que no deben ser estancas se debe evitar la fisuración errática con juntas de contracción indicadas en los Documentos del Proyecto.

c) En estructuras de hormigón armado que no deben ser estancas se debe evitar la fisuración errática con juntas de contracción indicadas en los Documentos del Proyecto. Además, entre juntas, las armaduras deben ser diseñadas para tomar las tensiones de origen térmico.

de su menor dimensión. Para elementos estructurales no masivos, la mayor parte del calor se disipa rápidamente, no originando aumentos significativos de temperatura, ni posteriores diferenciales entre la temperatura interior del hormigón y la del ambiente exterior.

A modo indicativo, se dan los tiempos de estabilización térmica de elementos estructurales con diferentes espesores:

- Un tabique de hormigón de 150 mm de espesor, en el orden de 1 ½ h.
- Un muro de hormigón de 1,50 m de espesor, en el orden de una (1) semana.
- Un muro de hormigón de 15 m de espesor, en el orden de dos (2) años.

Se puede reducir la generación del calor de hidratación, y por ende de la elevación de temperatura del hormigón mediante la utilización de los materiales indicados en 9.5.2.

Para los requerimientos de los artículos 9.5.1.6 y 9.5.1.7 puede consultarse la recomendación ACI 207-2R, que contiene elementos de orientación para resolver el problema. Por otra parte, existen distintos programas de resolución de estructuras mediante elementos finitos que contienen subrutinas para resolver el problema térmico aquí planteado.

9.5.1.6. El proyecto de un elemento estructural de hormigón masivo, la elección de sus materiales y mezcla de hormigón y el proceso constructivo deben estar avalados por un estudio térmico de evolución de temperatura en la masa del hormigón.

9.5.1.7. Según sean los requerimientos del Comitente respecto del control de la fisuración, el estudio térmico indicado en 9.5.1.6 puede realizarse mediante estimaciones aproximadas o realizando modelos matemáticos. Los resultados del estudio térmico deben utilizarse para asegurar el control de fisuración especificado en el Capítulo 8.2 y para diseñar la armadura necesaria a esos efectos.

## **9.5.2. Materiales componentes**

9.5.2.1. Los requisitos generales para los materiales componentes deben cumplir con lo establecido en el Capítulo 3.

9.5.2.2. El tamaño máximo nominal del agregado grueso debe ser el máximo compatible con las características del elemento estructural y los medios a utilizar para su construcción, sin exceder de los valores indicados a continuación:

- a) En estructuras de hormigón simple: 100 mm.
- b) En estructuras de hormigón armado o pretensado: 75 mm.

En lo que se refiere a la granulometría, para tamaño máximo 75 mm el agregado se debe separar y acopiar en tres fracciones: 75-37,5; 37,5-19,0 y 19,0-4,75. Para los dos últimos valen los límites establecidos en el Capítulo 3 apartado 3.2.4.2. La fracción 75-37,5 deberá cumplir los límites indicados en la Tabla 9.2.

C.9.5.2.2. Para hormigón masivo se recomienda el uso de agregados gruesos del mayor tamaño máximo nominal posible, dado que de esta manera se reduce el contenido de cemento en la mezcla.

**Tabla 9.2.** Granulometrías de la fracción 75-37,5 mm

Tamiz	Porcentaje que pasa
100 mm	100
75 mm	90 a 100
53 mm	20 a 55
37,5 mm	0 a 10
26,5 mm	0 a 5

También en el caso del tamaño máximo 100 mm el agregado se debe separar y acopiar como mínimo en tres fracciones. En este caso quedará a cargo del Director de Proyecto/Director de Obra la definición de los límites correspondientes de las fracciones mayores, con la condición de que la curva granulométrica resultante se ajuste a una curva teórica (a definir)  $\pm\Delta\%$ .

En situaciones particulares, debidamente justificadas por el Director de Proyecto/Director de Obra, y siempre dentro del máximo compatible con las características del elemento estructural, puede aceptarse el uso de un tamaño máximo mayor a 100 mm.

C.9.5.2.3. El cemento portland normal, que se usa en la mayoría de las estructuras convencionales de hormigón, no se aconseja para la ejecución de estructuras de hormigón masivo. Se recomienda el uso de:

- Bajos contenidos de cemento.
- Cementos de bajo calor de hidratación y/o la sustitución de parte del cemento por adiciones minerales

C.9.5.2.4. Cuando los problemas térmicos sean determinantes, es aconsejable utilizar una solución que incluya un hormigón masivo interior que resista exclusivamente las acciones mecánicas, y un hormigón exterior con espesor no masivo, de mayor capacidad para resistir las acciones mecánicas y del medio ambiente.

### 9.5.2.3. Tipo y contenido de material cementicio

El contenido de material cementicio será el mínimo posible para cumplir simultáneamente con los requisitos de resistencia mecánica, durabilidad y demás características especificadas por el Proyectista y con las condiciones establecidas en el Capítulo 2.

El hormigón no debe contener cemento de alta resistencia inicial ni aditivos aceleradores de resistencia.

9.5.2.4. En los elementos estructurales de hormigón masivo armado el contenido mínimo de cemento debe ser igual a 200 kg/m<sup>3</sup> de hormigón fresco compactado si se cumple que:

- a) El elemento estructural está expuesto a un medio no agresivo tanto para el hormigón como para las armaduras (Exposición Clase A1, del Capítulo 2, Tabla 2.1).
- b) El recubrimiento de las armaduras es igual o mayor que 100 mm.

### 9.5.3. Propiedades del hormigón fresco

#### 9.5.3.1. Consistencia

El asentamiento del hormigón masivo (IRAM 1536) debe ser:

- a) Estructuras de hormigón simple: Igual o menor que 50 mm.
- b) Estructuras de hormigón armado: Igual o menor que 100 mm.

Los asentamientos indicados corresponden a los obtenidos antes de la incorporación de un aditivo superfluidificante. En caso que sea necesario aumentar el grado de fluidez por motivos de colocación, se podrá alcanzar solamente mediante la incorporación de un superfluidificante. En ningún caso el asentamiento será mayor de 150 mm, tanto para hormigón simple como hormigón armado.

Cuando el tamaño máximo nominal del agregado grueso sea igual o mayor que 53 mm, el asentamiento (IRAM 1536) se determinará sobre la fracción

de hormigón masivo que pasa por el tamiz de malla cuadrada de 37,5 mm de lado.

#### 9.5.3.2. Contenido total de aire

Cuando el contenido de cemento sea menor a 280 kg/m<sup>3</sup> de hormigón fresco compactado, el hormigón deberá tener aire intencionalmente incorporado en los porcentajes establecidos en la Tabla 4.3.

Cuando el tamaño máximo nominal del agregado grueso exceda de 53 mm, el contenido de aire (IRAM 1602-1 ó 1602-2) se debe determinar sobre la fracción de hormigón masivo que pasa por el tamiz de malla cuadrada de 37,5 mm de lado.

C.9.5.3.3. Cuando sea necesario reducir la temperatura de colocación del hormigón se recomienda:

- Incorporar hielo en escamas en reemplazo parcial del agua de mezclado
- Refrigerar y/o evitar el calentamiento de los agregados.
- Colocar el hormigón en horarios que permitan utilizar agregados con la menor temperatura posible.

#### 9.5.3.3. La temperatura máxima del hormigón masivo

La temperatura máxima del hormigón masivo inmediatamente después de su colocación debe ser la que surja de los estudios térmicos realizados para el diseño de la estructura, y deberá constar en los Documentos del Proyecto.

### 9.5.4. Resistencia potencial del hormigón masivo

#### 9.5.4.1. Requisitos generales

A todos los efectos de este Reglamento, se debe considerar que la **resistencia de un hormigón masivo es la correspondiente al hormigón integral**, como se lo coloca en la estructura, incluyendo todas las fracciones de agregados.

#### 9.5.4.2. Dimensiones de las probetas

Cuando el tamaño máximo nominal del agregado grueso sea igual o mayor que 53,0 mm, la resistencia de rotura a la compresión se determinará con probetas cilíndricas normalizadas de diámetro igual o mayor a tres (3) veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso y una relación entre altura y diámetro igual a 2, moldeadas y curadas de acuerdo con lo establecido por IRAM 1534 ó 1524, y ensayadas a la compresión hasta la rotura de acuerdo con lo establecido por IRAM 1546.

También se pueden utilizar probetas cilíndricas normalizadas de 150 mm de diámetro, moldeadas con la fracción del hormigón que pasa por el tamiz 37,5 mm. En este caso, los resultados de ensayo deberán ser corregidos para tener en cuenta el tamaño de la probeta y la composición del material ensayado, de acuerdo con lo indicado en el artículo 9.5.4.3.

#### 9.5.4.3. Relación entre las resistencias obtenidas en probetas de distinto tamaño

Cuando para la determinación de la resistencia de rotura a compresión se utilicen probetas de 150 mm de diámetro, en los estudios previos de mezclas se debe determinar la relación entre las resistencias obtenidas ensayando probetas moldeadas con el hormigón integral y probetas moldeadas con la fracción del hormigón que pasa por el tamiz de 37,5 mm.

Cuando no se realicen estos ensayos comparativos, se pueden adoptar las siguientes relaciones entre las resistencias a la compresión del hormigón masivo y el hormigón tamizado.

- a) Tamaño máximo nominal igual o menor que 53 mm: 1,00
- b) Tamaño máximo nominal mayor que 53 mm: 0,85

#### 9.5.4.4. Control de resistencia en obra

El control de las resistencias en obra se debe realizar sobre probetas cilíndricas normales de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, moldeadas con la fracción del hormigón masivo que pasa por el tamiz de malla cuadrada de 37,5 mm de lado, y curadas de acuerdo con lo establecido por IRAM 1534 ó 1524, y ensayadas a la compresión hasta la rotura de acuerdo con lo establecido por IRAM 1546.

9.5.4.5. El juzgamiento de la resistencia se debe realizar en un todo de acuerdo con el Capítulo 6, y el artículo 9.5.4.3.

### 9.5.5. Colocación y compactación del hormigón

#### 9.5.5.1. Plan de hormigonado

Para iniciar las tareas de colocación del hormigón se debe contar con un plan de hormigonado aprobado por escrito por el Director de la Obra, en el cual debe constar la metodología para la colocación del hormigón y la secuencia de hormigonado de las distintas secciones.

#### 9.5.5.2. Secuencia de hormigonado y altura de los bloques

La secuencia de hormigonado y la altura de los bloques deben cumplir con las siguientes condiciones.

Los elementos estructurales de carácter masivo que tengan secciones horizontales de grandes dimensiones, se pueden hormigonar según dos alternativas:

- a) Bloques no contiguos y luego los bloques faltantes hasta completar la sección horizontal total.
- b) Bloques contiguos, en forma continua (no alternada), de forma tal que siempre quede un borde libre, hasta completar la sección horizontal total.

La metodología constructiva según las alternativas a) y b) precedentes, deberá definirse por el Proyectista antes del inicio de la obra.

La altura máxima de cada bloque ejecutado de una sola vez será menor de 1,50 m, y una vez iniciada la ejecución del mismo, dicha operación no debe ser interrumpida antes de completar su construcción. La altura máxima indicada puede ser superada si así lo avalan los estudios térmicos realizados para el diseño de la estructura, y deberá constar en los Documentos del Proyecto.

Los elementos estructurales masivos se deben construir colocando el hormigón en capas de espesor igual y menor de 0,50 m de espesor. Dicha colocación se debe iniciar en uno de los extremos del elemento estructural, abarcando todo el ancho del mismo y el sentido de avance debe ser hacia el extremo opuesto del elemento estructural. Cuando la superficie del elemento estructural lo requiera, se puede avanzar con un frente que incluya a dos o más capas de 0,50 m de espesor, dispuestas en escalera. En este último caso se colocará hormigón en todas las capas del frente escalonado simultáneamente y la distancia entre dos escalones será mayor que 1,50 m.

C.9.5.5.3 Las superficies verticales que conforman juntas de construcción entre bloques, pueden materializarse mediante el uso de “metal desplegado” con una malla lo suficientemente cerrada como para impedir el paso del hormigón a través del mismo durante las operaciones de colocación y compactación. Esto genera una superficie rugosa que mejora

#### 9.5.5.3. Tratamiento de las superficies entre bloques

Antes de colocar hormigón fresco sobre la superficie horizontal de un bloque o entre superficies verticales de bloque contiguos cuyo hormigón ha endurecido, se debe dejar transcurrir un período mayor de cinco (5) días, contados a partir del momento de terminación de su ejecución.

Previamente a la colocación del hormigón, las superficies de hormigón endurecido deben ser tratadas en la forma establecida en el artículo 4.8.

la adherencia entre el hormigón fresco y el endurecido. El metal desplegado queda embutido en el elemento como encofrado perdido.

#### 9.5.5.4. Métodos de colocación

El hormigón se debe colocar utilizando baldes con descarga de fondo o lateral, cinta transportadora o la combinación de ambos.

En estructuras densamente armadas el hormigón se puede colocar por bombeo, utilizando un equipo y cañerías compatibles con el tamaño máximo nominal del agregado grueso. El uso de bombeo no debe ser causal de la reducción del tamaño máximo nominal del agregado. En este caso se debe rediseñar la mezcla de hormigón a utilizar. Se admite aumentar el asentamiento hasta un máximo de 15 cm, de acuerdo a lo indicado en el artículo 9.5.3.1.

Cuando sea necesario verter el hormigón desde alturas mayores de 1,50 m, el mismo deberá ser conducido hasta su lugar de colocación mediante tubos verticales cilíndricos, de diámetro compatible con el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

#### 9.5.5.5. Compactación del hormigón

La compactación del hormigón se realizará mediante vibradores de inmersión de acuerdo a lo establecido en el Capítulo 4 y a las indicaciones del presente artículo.

Cuando el tamaño máximo nominal del agregado grueso sea igual o mayor que 53,0 mm, el diámetro de la cabeza vibrante será igual o mayor que 50 mm.

El vibrado debe compactar la masa afectada sin desplazarla en dirección horizontal. A ese efecto, el hormigón que se vibra debe estar confinado por otras masas de hormigón ya compactadas o a compactar posteriormente.

### **9.5.6. Curado y protección del hormigón**

Para el hormigón masivo estructural serán de aplicación los mismos requisitos sobre curado y protección especificados para el hormigón estructural en el Capítulo 4, siempre que no se opongan a los requisitos específicos para hormigón masivo que se indican en los artículos 9.5.6.1 y 9.5.6.2.

#### 9.5.6.1. Curado

El curado se debe iniciar inmediatamente después de que el hormigón haya endurecido lo suficiente como para que su superficie no resulte afectada por el método de curado adoptado.

Cuando un mismo elemento se hormigone en etapas, el curado se debe realizar únicamente con agua, en la forma indicada en el artículo 4.10.3.

El período mínimo de curado húmedo, contado a partir del momento de la colocación del hormigón, será el indicado en el artículo 4.10.2.

#### 9.5.6.2. Protección

Durante el período de curado establecido y al finalizar el mismo, los cambios de temperatura del hormigón deben ser graduales, y menores de 1,5°C en una hora o de 15°C en cualquier período de 24 horas.

Si la temperatura del aire en contacto con la estructura desciende por debajo de + 2°C, la superficie expuesta del hormigón debe ser protegida contra los efectos de las bajas temperaturas. Ver el artículo 7.1.6.

### 9.5.7. Armaduras y juntas para el control de fisuración

9.5.7.1. El Proyecto debe indicar la ubicación de las juntas que sean necesarias por razones constructivas o para el control de fisuración.

9.5.7.2. Cuando el estudio térmico indique riesgo de fisuración, se deben colocar armaduras para su control. Dicha armadura debe ser definida por el Proyectista de acuerdo al Código de referencia para el Proyecto.

9.5.7.3. A los efectos indicados en los artículos precedentes, son de aplicación complementaria las especificaciones contenidas en el Capítulo 8.2.

## 9.6. HORMIGÓN DE RETRACCION COMPENSADA (HRC)

**C.9.6.1.** El HRC es un hormigón expansivo que, debidamente restringido por la armadura u otros medios, durante el periodo de curado húmedo genera una expansión inicial igual o ligeramente superior a la retracción por secado prevista. Debido a la restricción, durante la etapa de expansión el HRC experimentará cierta compresión, la que luego se irá aliviando durante la etapa de retracción. Una vez expuesto al aire se produce una retracción menor que la que hubiera tenido el hormigón sin expansor. El resultado esperado es que, en el estado final de equilibrio, el HCR permanezca con tensión nula o con una ligera tensión de compresión residual, eliminando el riesgo de fisuración.

**C.9.6.2.** Es frecuente el uso de aditivos en bolsas hidrosolubles.

### 9.6.1. Definición

Para elaborar HRC se incorporarán aditivos expansores a la mezcla o cementos expansores que ya los incluyen.

Estos hormigones (con aditivos expansores) se deben emplear combinados con barras de acero convencionales, donde las barras inicialmente se tensionan durante la expansión y generan que la estructura quede comprimida (la cuantía mínima debe ser 0,15 %). También se pueden reemplazar las barras de armadura convencional por fibras de acero para restringir la expansión.

El uso de HRC se limita a aplicaciones específicas: tanques de agua, estructuras antisísmicas, pavimentos, plateas de fundación y pisos industriales.

### 9.6.2. Elaboración

El aditivo expansor debe ser incorporado en forma paulatina, asegurando la uniformidad ciclo por ciclo.

### 9.6.3. Evaluación y requisitos del HRC

La expansión restringida se evaluará aplicando la Norma ASTM C878 o procedimiento CIRSOC equivalente.

Se debe verificar que para el tipo y dosis de aditivo adoptados la expansión se agote con el curado previsto antes de los 28 días.

La expansión restringida mínima requerida (para la cuantía de acero considerada) es la que compense la contracción por secado libre a la edad de 28 días de la mezcla a utilizar (IRAM 1597).

**C.9.6.4.** El tiempo de curado depende del ensayo de expansión sobre probetas que se realizará en paralelo (ver 9.6.3).

### 9.6.4. Curado del HRC

Se debe asegurar un curado mínimo de 7 días el cual puede ser prolongado en caso que el aditivo adoptado lo requiera.

### 9.6.5. Control en obra

Para el control en obra se deberán realizar las siguientes evaluaciones:

Trabajabilidad (el método que se decida adoptar), expansión restringida (9.6.3), resistencia a compresión luego de 28 días de curado húmedo.

## 9.7. HORMIGÓN CON AGREGADOS RECICLADOS (HR)

### 9.7.1. Definición

Se denomina Hormigón Reciclado (HR) al que es elaborado con un porcentaje de Agregados Reciclados (AR) en reemplazo de agregados naturales.

**C.9.7.2.** El Agregado Reciclado (AR) producto de la trituración de hormigones se caracteriza por su composición, ya que sus partículas pueden estar constituidas solamente por el agregado natural, otras conformadas por el agregado natural y parte del mortero del hormigón que se trituró, como así también por partículas solamente de mortero.

Las plantas de producción de agregados reciclados poseen las mismas instalaciones y equipamiento que las de procesamiento de agregados naturales, donde el nivel de complejidad del sistema lo define el grado de contaminación del material de origen y la aplicación que se le dará al agregado reciclado resultante. Las mismas constan de trituradoras, separadores, unidades de transporte y unidades de control de la planta. En el caso de hormigones que provengan de estructuras armadas, previo al proceso de trituración y clasificación, se deberán eliminar todos aquellos elementos metálicos tales como barras de acero, instalaciones, etc.

**C.9.7.2.1.** Durante la trituración de los hormigones se generan agregados con una gran variedad de tamaño de partículas, pudiéndose clasificar a los mismos, tal como ocurre en el caso de

### 9.7.2. Alcance y requisitos

A los fines de este Reglamento se consideran como HR a aquellos en los que se empleen AR procedentes exclusivamente de la trituración de hormigones elaborados con agregados naturales (canto rodado o rocas partidas de diferentes orígenes).

**9.7.2.1.** Para la elaboración de HR se debe optar por el empleo de agregado grueso o de agregado fino reciclado. Los HR no podrán ser elaborados empleando agregado grueso reciclado AGR y agregado fino reciclado AFR en forma conjunta.

trituration de rocas, en agregados gruesos y finos reciclados.

De diferentes estudios realizados surge que empleando un 30% en volumen de AGR o AFR las propiedades resistentes y durables de los hormigones reciclados son semejantes a las del hormigón convencional.

Se admite un contenido **máximo** de AGR del 30% en volumen del total de agregado grueso.

Si se emplea AFR el contenido **máximo** será del 30% en volumen del total de agregado fino.

Se permite el empleo de agregado fino de trituración (AFT) y AFR en forma conjunta, siempre que dicho conjunto no supere el 30% del volumen total del agregado fino.

9.7.2.2. Los agregados reciclados pueden utilizarse en la elaboración de hormigones simples y armados con una resistencia característica máxima de 30 MPa. Los agregados reciclados no podrán emplearse en hormigones pretensados.

9.7.2.3. Para hormigones no estructurales podrá emplearse hasta un 100% en volumen de agregado grueso reciclado (AGR). En el caso del AFR se mantiene el porcentaje máximo indicado en 9.7.2.1.

9.7.2.4. No podrán utilizarse como AR aquellos que procedan de la trituración de:

a) hormigones dañados que puedan afectar la calidad del hormigón reciclado tales como reacción álcali-sílice, ataque por sulfatos, fuego/incendios, etc.

b) hormigones elaborados con cementos no incluidos en IRAM 50000 y 50002.

### 9.7.3. Agregados Finos y Gruesos Reciclados

Lo establecido en el Capítulo 3.2 de este código, para agregados naturales, tiene vigencia para los AR en todo lo que no se oponga a lo establecido para cada uno de los casos que se tratan en este apartado.

C.9.7.3.1. Las partículas de los AFR y AGR poseen características similares a las de los agregados naturales de trituración, presentando formas angulosas y textura superficial algo rugosa.

Debido al proceso de generación del AFR es habitual que los mismos presenten un elevado contenido de polvo (similar al de un AFT). Por tal motivo se recomienda el lavado del AFR previo a su utilización.

Si bien la forma de las partículas de los agregados obtenidos por trituración depende del procesamiento empleado (tipo y cantidad de trituradoras), en el caso de emplear trituradoras de mandíbulas, diferentes estudios indican que la cantidad de partículas lajasas en el AGR es menor que en un AGN. Este hecho no se produce en el caso que los AGR provengan de hormigones elaborados con canto rodado.

C.9.7.3.2. La absorción presenta una importante variación entre las distintas muestras de AGR. La calidad del hormigón de origen incide en forma directa sobre la absorción de los AGR. Habitualmente el tipo de AGN del

#### 9.7.3.1. Requisitos Generales

Para los agregados reciclados no son de aplicación los puntos 3.2.2.2 (minerales potencialmente reactivos con los álcalis) y 3.2.2.3.b) (verificación en estructuras elaboradas con rocas basálticas).

#### 9.7.3.2. Absorción

La absorción máxima del AFR será del 10% y la del AGR del 7%.

hormigón de origen no da lugar a diferencias significativas de absorción. Sin embargo, en el caso particular de AGR provenientes de la trituración de hormigones elaborados con arenisca cuarcítica de la Pcia. de Bs. As., los valores de absorción se incrementan.

**C.9.7.4.** Para obtener una mayor uniformidad en las propiedades de los agregados, una alternativa es almacenar en diferentes acopios los agregados procedentes de hormigón estructural o de elevada resistencia y los provenientes de hormigones no estructurales.

**C.9.7.5.** Para el hormigón reciclado se pueden emplear los métodos convencionales de dosificación.

Cuando se use la combinación de AGN y AGR, y con el fin de que no existan cambios en la consistencia de diseño, se podrá optar por alguna de las siguientes metodologías: a) prehumedecer el AGR, b) adicionar al agua de mezclado la cantidad equivalente al 50% de la absorción a 24 horas del AGR, o c) utilizar aditivos plastificantes. En el caso de optar por las opciones b) o c), en las que el AGR se utilizará seco al aire, se deberá realizar un premezclado de los materiales con una cierta cantidad del agua total a fin de que los mismos no absorban parte del aditivo.

Cuando se emplee AFR se optará por cualquiera de las opciones b) o c) indicadas para el empleo del AGR, tomando la misma precaución respecto a la posible absorción del aditivo.

**C.9.7.6.1.** La mayor porosidad del agregado reciclado conduce a que el HR sea más susceptible a los efectos del ambiente. Sin embargo, la bibliografía indica que la durabilidad del hormigón reciclado, con un porcentaje de AGR o AFR no superior al 30%, y expuesto a los ambientes indicados es similar a la que presenta un hormigón convencional de igual nivel resistente.

#### **9.7.3.3. Estabilidad frente a una solución de sulfato de sodio**

Para los agregados finos y gruesos reciclados no son de aplicación los puntos 3.2.3.5.b) y 3.2.4.4.b) respectivamente (verificación en estructuras construidas).

#### **9.7.3.4. Tamaño máximo**

Para la elaboración de los hormigones reciclados el tamaño máximo de los agregados gruesos se limita a 53,0 mm.

#### **9.7.4. Acopio y manipuleo de los agregados reciclados**

Los AFR deben acopiarse en forma separada de los AFN y los AFT. Además, no deberán quedar a la intemperie ya que al estar en contacto con humedad o lluvia se van consolidando, siendo dificultosa su utilización.

El acopio de los AGR deberá realizarse según el tamaño máximo nominal y en forma separada de los AGN.

#### **9.7.5. Propiedades en estado fresco, dosificación y puesta en obra de hormigones reciclados**

Para los porcentajes de empleo de AGR y AFR establecidos en el punto 9.7.2.1 es de aplicación lo indicado en el Capítulo 4, a excepción de los puntos 4.1.2.4 (hormigones Clase H-35 o mayores), 4.1.5.3 (hormigón masivo armado), 4.10.6 (hormigón curado a vapor) y 9.5 (hormigón masivo).

#### **9.7.6. Requisitos por resistencia y durabilidad**

##### **9.7.6.1. Requisitos por durabilidad**

La utilización de los HR se limita a estructuras que se encuentren ubicadas en los ambientes A1, A2, M1, C1 y Q1.

##### **9.7.6.2. Resistencia de los HR**

C.9.7.6.2.1. Resultados de diferentes estudios señalan que la resistencia a compresión de los HR elaborados con hasta un 30% de AR (AGR o AFR), es similar a la que se obtiene empleando el 100% de agregados naturales.

En los hormigones elaborados con AFR, cuando se adicione el agua de absorción se deberá tener precaución. En algunos estudios se observó que, al no absorber el AFR toda el agua adicionada, se incrementa la razón a/c efectiva con la consiguiente disminución de la resistencia.

C.9.7.6.2.2. Se ha verificado que la resistencia a tracción indirecta de hormigones reciclados elaborados con 30 % de AGR o AFR es similar a la de hormigones convencionales de igual clase resistente elaborados con agregados naturales de iguales características mineralógicas.

C.9.7.6.3.3. Los HR presentan menor rigidez y mayor deformabilidad. Esto es más notorio cuando se emplean AGR. Sin embargo, hay estudios que informan que el módulo de elasticidad estático de HR elaborados con hasta un 30% de AGR, es prácticamente similar al del hormigón convencional de igual nivel resistente y elaborado con el mismo tipo de AGN. En el caso de emplear 30% de AFR, el módulo estático resultó similar.

C.9.7.6.3.4. Los AR presentan menor rigidez que los agregados naturales y en consecuencia mayor tendencia a la contracción. Si bien existen estudios en los que hormigones reciclados elaborados con hasta 30% de AGR o AFR, presentaron valores de contracción por secado equivalentes a los del hormigón convencional, en los casos donde la contracción sea relevante no se puede asumir que vaya a ser igual.

#### 9.7.6.2.1. Resistencia a compresión

La resistencia especificada máxima de hormigones elaborados con agregados reciclados se limita a 30 MPa.

#### 9.7.6.2.2. Resistencia a tracción

En elementos estructurales que requieran una resistencia mínima a tracción (losas, pavimentos), la misma se determinará según IRAM 1547 o IRAM 1658.

#### 9.7.6.3.3. Módulo de elasticidad

Debido a la menor rigidez de los agregados reciclados, se deberá determinar el módulo de elasticidad estático de los HR empleados en elementos estructurales, según IRAM 1865.

#### 9.7.6.3.4. Contracción por secado

En elementos estructurales con una elevada relación superficie/volumen (pavimentos, losas, tabiques), se deberá evaluar la contracción por secado en probetas moldeadas con el HR a utilizar, según IRAM 1597.

### 9.8. REQUISITOS ADICIONALES PARA HORMIGONES CON EXIGENCIAS PARTICULARES

**9.8.1.** Existen estructuras y elementos estructurales que requieren la utilización de hormigones con exigencias particulares.

**9.8.2.** Este Código Modelo establece las condiciones mínimas que se deben tener en cuenta para los siguientes tipos de hormigones:

- hormigones a colocar bajo agua.
- hormigones de elevada impermeabilidad.
- hormigones expuestos a abrasión.

**9.8.3.** Los hormigones mencionados en el artículo 9.8.2 deben cumplir con los requisitos de la Tabla 9.3, además de todos los que les correspondan de acuerdo con lo establecido en los Capítulos 2 y 3.

**Tabla 9.3.** Hormigones para aplicaciones con características particulares

Tipo de hormigón	Hormigón a colocar bajo agua	Hormigón de elevada impermeabilidad	Hormigón expuesto a abrasión
Casos típicos	Pilotes de gran diámetro	Cisternas Depósitos para agua Conductos Tuberías	Resbalamiento de materiales a granel Movimiento de objetos pesados Escurrimiento rápido de agua
Máxima razón agua/cemento, en masa	0,45	espesor $\leq$ 500 mm: 0,45 espesor $>$ 500 mm: 0,55	0,42
Clase mínima de hormigón	H-30	espesor $\leq$ 500 mm: H-30 espesor $>$ 500 mm: H-20	H-40
Aire incorporado	Si	No	No
Asentamiento (mm)	$180 \pm 20$	menor de 150	menor de 100
Penetración de agua IRAM 1554:1983	-----	Para espesor de hormigón $\leq$ 500 mm, la penetración de agua en el ensayo IRAM 1554:1983 debe ser $\leq$ 30 mm (2.2.15.2).	-----
Exigencias adicionales a cumplir por los agregados gruesos	Tamaño máximo nominal igual o menor que 25 mm	-----	Tamaño máximo nominal $\leq$ 26,5 mm Tamaño máximo nominal $\leq$ 1/3 del espesor del elemento estructural. Resistencia a la fragmentación, "Los Angeles" $\leq$ 30 % (3.2.4.5).



**CiC** COMISIÓN DE  
INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
MINISTERIO DE PRODUCCIÓN, CIENCIA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA



GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE  
**BUENOS AIRES**

---

LABORATORIO DE ENTRENAMIENTO MULTIDISCIPLINARIO PARA LA INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

Calle 52 e/121 y 122. La Plata - Provincia de Buenos Aires - Argentina

Tel.: 54-0221-4831141/44 - 54-0221-4224983

[direccion@lemit.gov.ar](mailto:direccion@lemit.gov.ar)

[www.lemit.gov.ar](http://www.lemit.gov.ar)