

# HORMIGON

materiales, vida útil y criterios de conformidad  
y su consideración en el reglamento  
CIRSOC 201-2005



ALBERTO GIOVAMBATTISTA



INTI

Instituto  
Nacional  
de Tecnología  
Industrial



## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Breve historia de los reglamentos de hormigón en la Argentina	3
1.2. Capítulos del Reglamento que contienen los temas de materiales y procedimientos constructivos	7
1.3. Discusión pública y tratamiento de las observaciones	9
1.4. Consideraciones sobre un reglamento de seguridad estructural. Objetivos y contexto legal de su aplicación	10
1.5. Reglamentos Técnicos, sistemas jurídicos y hábitos culturales del país en que se aplican	10
1.6. Campo de aplicación	12
1.7. Otros reglamentos y normas necesarias para la aplicación del Reglamento CIRSOC 201-2005	13
1.8. Figuras legales utilizadas	14
1.9. Consideraciones adicionales acerca de los contenidos sobre materiales y procedimientos constructivos	14
1.10. Materiales y procedimientos constructivos. Planteo conceptual y modificaciones más significativas del Reglamento CIRSOC 201-2005	15
<b>CAPÍTULO 2 - EL HORMIGÓN COMO MATERIAL ESTRUCTURAL</b>	<b>17</b>
2.1. Introducción	19
2.2. La estructura del hormigón	19
2.2.1. Niveles de observación	21
2.2.2. Fases e interfases	23
2.3. Estructura interna y propiedades del hormigón	28
2.4. Consideraciones finales	36
2.5. Referencias	37

<b>CAPÍTULO 3 - MATERIALES</b>	<b>39</b>
3.1. Cementos	41
3.1.1. Introducción al estudio de los cementos	43
3.1.2. Cemento pórtland puro	45
3.1.2.1. Composición	45
3.1.2.2. Hidratación del cemento pórtland puro	49
• Hidratación de los aluminatos	49
• Hidratación de los silicatos	50
• Características fisicoquímicas del proceso de hidratación	50
• Estructura de la pasta hidratada	53
• Características de los productos de hidratación	55
3.1.2.3. Los componentes del clinker y su aporte a las propiedades ingenieriles	58
3.1.2.4. Tipos de cementos pórtland puros	60
3.1.3. Adiciones minerales	62
• Materiales Puzolánicos	64
• Cenizas volcánicas y sus tobas	66
• Tierras de diatomeas	66
• Cenizas volantes	66
• Humos de sílice (silica fume)	67
• Arcillas activadas por calcinación	67
• Ceniza de cáscara de arroz	67
• Escoria granulada de alto horno (granulated ground blast furnace slag - GGBFS)	68
• Filler calcáreo	68
• Normas IRAM de adiciones	69
3.1.4. Cementos pórtland con adiciones	69
3.1.5. Cementos especiales	70
3.1.6. Fabricación del cemento	70
3.1.7. Normalización de los cementos	74
3.1.7.1. Requisitos típicos de composición y características físicas	74
• Requisitos físicos	75
• Requisitos químicos	76
• Normas de especificación prescriptivas y normas prestacionales	77
3.1.7.2. Normas ASTM (American Society for Testing and Materials)	77
• ASTM C 150-09 - Cementos pórtland (puros, sin adiciones)	78
• ASTM C 595-09 - Cementos mezcla	80
• ASTM C 1157 - Cementos hidráulicos basados en su comportamiento	82
3.1.7.3. Norma de la Comunidad Europea EN 197-1 (versión del año 2000)	84
3.1.7.4. Normas IRAM	88

3.1.8.	Los cementos en el Reglamento CIRSOC 201-2005	91
•	Normas de aplicación	91
•	Transporte, manipuleo y acopio del cemento	92
3.1.9.	Referencias	95
3.2.	Agregados	97
3.2.1.	Introducción	99
3.2.2.	Forma y textura de los agregados	100
•	Utilización de arenas de trituración	103
3.2.3.	Granulometría de los agregados	104
•	Módulo de finura	111
•	Consideraciones sobre el tamaño máximo nominal del agregado grueso	111
3.2.4.	Partículas lajosas y elongadas	113
3.2.5.	Sustancias nocivas	113
•	Material fino que pasa el tamiz IRAM 75 micrómetros (N° 200)	114
•	Terrones de arcilla y partículas friables	115
•	Ftanita (chert) como impurezas	116
•	Conchillas	116
•	Materias carbonosas	116
•	Otras sustancias perjudiciales según norma IRAM 1649	116
•	Cloruros	117
•	Sulfatos	117
•	Materia orgánica	117
•	Límites de sustancias nocivas según el Reglamento CIRSOC 201-2005	118
3.2.6.	Estabilidad de un agregado frente a ciclos de temperaturas de congelación y deshielo	118
3.2.7.	Estabilidad de los agregados basálticos	120
3.2.8.	Desgaste "Los Ángeles" del agregado grueso	121
3.2.9.	Absorción y humedad superficial de los agregados	122
•	Agregado seco a masa constante ( $A_{smc}$ )	122
•	Agregado seco al aire	122
•	Agregado saturado a superficie seca ( $A_{sss}$ )	122
•	Agregado húmedo superficialmente	122
•	Esponjamiento de los agregados	123
3.2.10.	Manipuleo en obra de los agregados	124
•	Segregación	124
•	Contaminación	128
	<i>Acopio de los agregados directamente sobre el suelo</i>	128
	<i>Aporte externo de material fino</i>	128
	<i>Arrastre de material fino por escurrimiento de agua a través del acopio</i>	128
•	Degradación	128
•	Heterogeneidad en el contenido de humedad superficial	130
3.2.11.	Referencias	131



Anexo. Ejemplos de Aplicación	133
• Ejemplo N° 1	133
• Ejemplo N° 2	134
• Ejemplo N° 3	136
3.3. Agua para el mezclado y curado del hormigón	139
3.3.1. Introducción	141
3.3.2. Norma IRAM 1601	142
3.3.3. Norma ASTM C 1602:2006	143
3.3.4. Manipuleo y acopio del agua de mezclado para morteros y hormigones	144
3.5.5. Referencias	144
3.4. Aditivos	145
3.4.1. Introducción al estudio de los aditivos	147
3.4.2. Reseña histórica	147
3.4.3. Terminología y Clasificación	150
3.4.4. Incorporadores de aire	153
3.4.5. Aditivos reductores del contenido de agua de mezclado	153
3.4.5.1. Lignosulfonatos	155
3.4.5.2. Superfluidificantes	156
• Naftalenos y melaminas sulfonadas	158
• Poliacrílatos y policarboxilatos	159
3.4.5.3. Evaluación de la compatibilidad entre el cemento y el aditivo	161
3.4.5.4. Condiciones de uso de los superfluidificantes	162
3.4.6. Aditivos modificadores del fraguado y la resistencia inicial	163
• Retardadores de fraguado	164
• Acelerantes	165
3.4.7. Otros aditivos	165
• Expansores	166
• Espumígenos o generadores de espuma	166
• Látex y resinas	166
• Inhibidores de acciones deletéreas	166
• Aditivos para hormigón proyectado	166
3.4.8. Síntesis de los aditivos existentes	167
3.4.9. Referencias	169
<b>CAPÍTULO 4 - DURABILIDAD DEL HORMIGÓN Y VIDA EN SERVICIO DE LAS ESTRUCTURAS</b>	<b>171</b>
4.1. Causas del deterioro del hormigón	175
4.2. Durabilidad y vida en servicio	177
4.3. La preocupación por la vida en servicio de las estructuras de hormigón	177

4.4.	Breve síntesis de la evolución de los reglamentos de seguridad estructural	181
•	La evolución en Argentina	185
4.5.	Importancia del agua y de la microestructura del hormigón en los procesos de deterioro	186
•	Permeabilidad	186
•	Transporte por difusión	191
4.6.	Lixiviación	193
4.7.	Ataque ácido con intercambio iónico	198
4.8.	Ataque por sulfatos	204
•	Mecanismos de transporte	200
•	Formación de etringita	201
•	Formación de yeso	202
•	Acción física por cristalización de sales	203
•	Ataque interno de sulfatos	204
4.9.	Ataque al hormigón en agua de mar	205
4.10.	Reacción álcali-sílice	206
•	Mecanismo de la RAS	208
•	Factores que afectan a la RAS	215
•	Influencia del cemento pórtland sin adiciones (CPN)	215
•	Influencia de los cementos compuestos o con adiciones minerales	216
•	Influencia de los agregados	217
•	Influencia de los aditivos	218
•	Influencia del medio ambiente	219
•	Antecedentes sobre la RAS en la Argentina	219
•	Métodos para determinar la reactividad potencial de los agregados	221
•	Agregados reactivos en Argentina	224
•	Niveles de afectación por RAS de una estructura	225
•	Antecedentes de obras afectadas por la reacción álcali - sílice en la Argentina	226
4.11.	Congelación y deshielo	229
•	Congelación de la pasta de cemento	232
•	Efecto del aire incorporado sobre la congelación y deshielo del hormigón	236
•	Congelación de agregados	238
•	Efecto de las sales descongelantes	239
4.12.	Corrosión de las armaduras	240
•	Esquema básico de la corrosión del acero en el hormigón	241
•	Corrosión por carbonatación	242
•	Corrosión por cloruros	243
•	Corrosión en espacios confinados	244
•	El avance del proceso de corrosión y la afectación de las estructuras	246
•	Protección de las barras de acero de las armaduras	248



• Rol de la fisuración en el hormigón de recubrimiento	249
• Algunos ejemplos de estructuras con corrosión de armaduras	250
4.13. Durabilidad y vida en servicio en el Reglamento CIRSOC 201-2005	254
• Aspectos generales	254
• Clasificación de los ambientes de exposición	256
• Especificaciones básicas del hormigón necesarias para obtener la vida en servicio del Proyecto	262
• Especificaciones adicionales para exposiciones a ciclos de congelación y deshielo	264
• Especificaciones adicionales por corrosión de las armaduras	264
• Especificaciones complementarias para exposición a sulfatos	266
• Ejemplos de aplicación de las especificaciones por durabilidad del Reglamento CIRSOC 201-2005	269
• Requisitos contenidos en el Reglamento CIRSOC 201-2005 para prevenir la reacción álcali-sílice (RAS)	270
• Uso de protecciones superficiales en ambientes con agresividad química	274
4.14. El planteo prestacional para prevenir la corrosión de armaduras	275
• El planteo probabilístico de la Federation International du Béton (FIB)	275
• Corrosión por carbonatación del hormigón. Modelo FIB	276
• Corrosión por cloruros	279
• Comentarios adicionales para el diseño prestacional para prevenir la corrosión	280
4.15. Referencias	281
Anexo- Ejemplos de elección de los parámetros de diseño por durabilidad, según el Reglamento CIRSOC 201-2005	287
• Ejemplo N° 1	287
• Ejemplo N° 2	288
• Ejemplo N° 3	289
• Ejemplo N° 4	290
• Ejemplo N° 5	292
• Ejemplo N° 6	293

## **CAPÍTULO 5 - ESPECIFICACIÓN Y CONTROL DE CONFORMIDAD DE LA RESISTENCIA** 295

5.1. La naturaleza probabilística de la resistencia del hormigón	297
• Histograma de frecuencias y Curva de Gauss	299
• Algunas consideraciones sobre la aplicación del modelo de Gauss a la evaluación de la resistencia del hormigón	302
5.2. Resistencia especificada	303
• Edad de diseño del hormigón	306
• Implicancias tecnológicas y económicas de los valores adoptados para las resistencias especificadas	306

5.3.	Resistencia potencial y resistencia efectiva	311
5.4.	Criterios de conformidad de la resistencia potencial	311
5.5.	Errores en la estimación de la resistencia de un lote	313
•	Curvas de operación características (Curvas OC)	314
•	Líneas de equiprobabilidad	317
5.6.	Control de conformidad y criterios de conformidad en el Reglamento CIRSOC 201-2005	318
5.6.1.	Conformidad con la resistencia especificada. Cantidad de ensayos y dimensiones de los lotes	320
5.6.2.	Criterios de conformidad de resistencia para el Modo 1 de Control	321
5.6.3.	Criterios de conformidad para el Modo 2 de Control	323
5.7.	La resistencia media a utilizar para el diseño de la mezcla (dosificación) y la resistencia especificada	323
5.8.	Evaluación del desarrollo de la resistencia efectiva	325
5.8.1.	Método del ensayo de probetas moldeadas	327
5.8.2.	Método de la madurez del hormigón	328
5.8.3.	Ejemplo de aplicación del método de madurez del hormigón	329
5.8.4.	Un ejemplo que ilustra sobre la información aportada por el método de madurez	331
5.9.	Verificaciones a realizar cuando un lote no posee la resistencia potencial especificada	333
5.10.	Referencias	334
<b>CAPÍTULO 6 - HORMIGÓN FRESCO - PROPIEDADES</b>		335
6.1.	Introducción al estudio del comportamiento del hormigón fresco	337
6.2.	Principios elementales de reología del hormigón y su relación con la trabajabilidad	337
6.3.	Trabajabilidad	342
6.4.	Ensayo de asentamiento	345
6.5.	Ensayo de extendido	348
6.6.	Ensayo de remoldeo	350
6.7.	Consistencia y trabajabilidad en los Reglamentos de estructuras de hormigón	351
6.8.	Aire intencionalmente incorporado	353



6.9.	Contenido de material pulverulento que pasa el tamiz IRAM 300 µm	358
6.10.	Exudación de agua	360
6.11.	Contenido mínimo de cemento	364
6.12.	Homogeneidad de una mezcla de hormigón	365
6.13.	Tiempo de fraguado del hormigón	367
6.14.	Influencia de la temperatura y del tiempo transcurrido desde el mezclado en las propiedades del hormigón fresco	369
6.15.	Criterios y control de conformidad del hormigón fresco	372
6.16.	Referencias	375
Anexo 6.1.	Medición del contenido de aire total en el hormigón fresco. Método de presión. Equipo de Washington. Norma IRAM 1602	377
Anexo 6.2.	Medición de la exudación de agua. Norma IRAM 1604	380
Anexo 6.3.	Medición del tiempo de fraguado del hormigón, por el método de resistencia a la penetración. Norma IRAM 1662	384