

---

---

# ÍNDICE

**Introducción.**

**Agradecimientos.**

**Prefacio por Adam Neville, CBE FEng.**

**Prefacio por Yves Malier.**

**Capítulo 1**

**TERMINOLOGÍA: ALGUNAS DECISIONES PERSONALES**

- |     |   |   |
|-----|---|---|
| 1.1 | Acerca del título de este libro .....                                   | 1 |
| 1.2 | Relación agua/cemento, agua/material cementante o agua/material ligante | 2 |
| 1.3 | Concreto de resistencia normal /concreto convencional /concreto normal  | 4 |
| 1.4 | Concreto de alta resistencia o de alto desempeño .....                  | 4 |

**Capítulo 2**

**INTRODUCCIÓN .....** 7

**Capítulo 3**

**UNA PERSPECTIVA HISTÓRICA**

- |     |   |    |
|-----|---|----|
| 3.1 | Precursores y pioneros .....                      | 27 |
| 3.2 | De reductores de agua a superplastificantes ..... | 31 |
| 3.3 | La llegada del humo de sílice .....               | 33 |
| 3.4 | Situación actual .....                            | 34 |

**Capítulo 4**

**RAZÓN FUNDAMENTAL DEL CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO**

- |       |                                     |    |
|-------|-------------------------------------|----|
| 4.1   | Introducción .....                  | 43 |
| 4.2   | Para el propietario .....           | 44 |
| 4.3   | Para el diseñador .....             | 45 |
| 4.4   | Para el constructor .....           | 46 |
| 4.5   | Para el productor de concreto ..... | 46 |
| 4.6   | Para el ambiente .....              | 48 |
| 4.7   | Estudio de casos .....              | 48 |
| 4.7.1 | Water Tower Place .....             | 49 |
| 4.7.2 | Plataforma marítima Gullfaks .....  | 50 |
| 4.7.3 | Viaductos Sylans y Glacières .....  | 54 |
| 4.7.4 | Scotia Plaza .....                  | 58 |

4.7.5	Puente Île de Ré .....	61
4.7.6	Two Union Square .....	64
4.7.7	Puente Joigny .....	67
4.7.8	Puente Montée St-Rémi .....	70
4.7.9	Puente Pont de Normandie .....	73
4.7.10	Plataforma marítima Hibernia .....	77
4.7.11	Puente Confederation .....	83

## Capítulo 5

### PRINCIPIOS DEL CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO

5.1	Introducción .....	93
5.2	Rotura del concreto bajo carga de compresión .....	94
5.3	Mejoramiento de la resistencia de la pasta de cemento hidratada .....	97
5.3.1	Porosidad .....	98
5.3.2	Disminución del tamaño de grano de los productos de hidratación .....	103
5.3.3	Reducción de la no-homogeneidad .....	103
5.4	Mejoramiento de la resistencia de la zona de transición .....	103
5.5	Búsqueda de agregados resistentes .....	105
5.6	Reología de la mezcla con baja relación agua/material ligante .....	106
5.6.1	Optimización de la distribución del tamaño de los agregados .....	106
5.6.2	Optimización de la distribución del tamaño de grano de las partículas ligantes .....	107
5.6.3	El uso de materiales ligantes suplementarios .....	107
5.7	Ley de la relación agua/material ligante .....	108
5.8	Observaciones finales .....	109

## Capítulo 6

### REVISIÓN DE LAS PROPIEDADES PERTINENTES DE ALGUNOS INGREDIENTES DEL CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO

6.1	Introducción .....	113
6.2	Cemento Pórtland .....	113
6.2.1	Composición .....	113
6.2.2	Fabricación del clinker .....	115
6.2.3	Microestructura del clinker .....	118
6.2.4	Fabricación del cemento Pórtland .....	124
6.2.5	Ensayos de aceptación del cemento Pórtland .....	126
6.2.6	Hidratación del cemento Pórtland .....	128
6.2.7	Observaciones finales sobre la hidratación del cemento Pórtland desde el punto de vista del concreto de alto desempeño .....	133
6.3	Cemento Pórtland y agua .....	134
6.3.1	De reductores de agua a superplastificantes .....	135
6.3.2	Tipos de superplastificantes. ....	139
6.3.3	Fabricación de superplastificantes .....	139
6.3.4	Hidratación del cemento Pórtland en presencia de superplastificantes ..	143
6.3.5	El papel crucial del sulfato del calcio .....	149
6.3.6	Aceptación de superplastificantes .....	150
6.3.7	Observaciones finales .....	152

6.4	Materiales ligantes suplementarios .....	152
6.4.1	Introducción .....	152
6.4.2	Humo de sílice .....	154
6.4.3	Escoria .....	161
6.4.4	Cenizas volantes .....	166
6.4.5	Observaciones finales .....	170

## Capítulo 7

### ELECCIÓN DE MATERIALES

7.1	Introducción .....	179
7.2	Diferentes tipos de concretos de alto desempeño .....	179
7.3	Elección de materiales .....	180
7.3.1	Elección del cemento .....	181
7.3.2	Elección del superplastificante .....	187
7.3.2.1	Superplastificantes de melamina .....	188
7.3.2.2	Superplastificantes de naftaleno .....	189
7.3.2.3	Superplastificantes a base de lignosulfonatos .....	190
7.3.2.4	Control de calidad de los superplastificantes .....	191
7.3.3	Compatibilidad cemento/superplastificante .....	192
7.3.3.1	El método del mini revenimiento .....	193
7.3.3.2	El método del cono de Marsh .....	195
7.3.3.3	Punto de saturación .....	197
7.3.3.4	Control de la consistencia de producción de un cemento o un superplastificante específicos .....	200
7.3.3.5	Diferentes comportamientos reológicos .....	201
7.3.3.6	Ejemplos prácticos .....	203
7.3.4	Dosis de superplastificante .....	206
7.3.4.1	¿Forma sólida o líquida? .....	208
7.3.4.2	Uso de un agente retardante .....	208
7.3.4.3	Incorporación retardada .....	208
7.3.5	Selección del sistema cementante final .....	209
7.3.6	Selección del humo de sílice .....	210
7.3.6.1	Introducción .....	210
7.3.6.2	Variabilidad .....	210
7.3.6.3	¿Cuál tipo de humo de sílice utilizar? .....	211
7.3.6.4	Control de calidad .....	211
7.3.6.5	Dosis de humo de sílice .....	212
7.3.7	Selección de la ceniza volante .....	213
7.3.7.1	Control de calidad .....	214
7.3.8	Selección de escoria .....	215
7.3.8.1	Dosis .....	215
7.3.8.2	Control de calidad .....	216
7.3.9	Posibles limitaciones en el uso de escoria y ceniza volante en concreto de alto desempeño .....	216
7.3.10	Selección de los agregados .....	217
7.3.10.1	Agregado fino .....	218

7.3.10.2	Piedra triturada o grava .....	219
7.3.10.3	Selección del tamaño máximo del agregado grueso .....	221
7.4	Diseño factorial para optimizar el diseño de la mezcla del concreto de alto desempeño .....	222
7.4.1	Introducción .....	222
7.4.2	Selección de un plan de diseño factorial .....	223
7.4.3	Ejemplo de cálculo .....	224
7.4.3.1	Isocurvas de dosificación de cemento .....	226
7.4.3.2	Isocurvas de dosificación para el superplastificante .....	226
7.4.3.3	Isocurvas de costo .....	229
7.5	Conclusiones .....	229

## Capítulo 8

### MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS DE ALTO DESEMPEÑO

8.1	Antecedentes .....	235
8.2	ACI 211-1 Práctica normalizada para la selección de la relación del concreto normal .....	236
8.3	Definiciones y fórmulas prácticas .....	241
8.3.1	Estado seco de superficie saturada para los agregados .....	241
8.3.2	Contenido de humedad y de agua .....	244
8.3.3	Gravedad específica .....	246
8.3.4	Contenido de material cementicio suplementario .....	246
8.3.5	Dosificación del superplastificante .....	247
8.3.5.1	Gravedad específica del superplastificante .....	248
8.3.5.2	Contenido de sólidos .....	248
8.3.5.3	Masa del agua contenida en cierto volumen de aditivo superplastificante .....	248
8.3.5.4	Otras fórmulas prácticas .....	250
8.3.5.5	Masa de partículas sólidas requeridas .....	250
8.3.5.6	Volumen de partículas sólidas contenidas en Vliq .....	251
8.3.5.7	Ejemplo de cálculo .....	251
8.3.6	Cantidades de aditivos reductores de agua y agentes de aire incluidos ..	252
8.3.7	Resistencia a la compresión promedio requerida .....	252
8.4	Método propuesto .....	254
8.4.1	Hoja de diseño de mezcla .....	258
8.4.1.1	Cálculos del diseño de mezcla .....	260
8.4.1.2	Ejemplo de cálculo .....	262
8.4.1.3	Cálculos .....	263
8.4.2	Composición de 1 m <sup>3</sup> a partir de las proporciones de mezcla de prueba (condición Saturado Superficie Seca) .....	267
8.4.2.1	Cálculo de la mezcla .....	268
8.4.2.2	Ejemplo de cálculo .....	270
8.4.2.3	Cálculos .....	270
8.4.3	Composición de la mezcla .....	272
8.4.3.1	Cálculo de la mezcla .....	273
8.4.3.2	Ejemplo de cálculo .....	274
8.4.3.3	Cálculos .....	275

8.4.4	Limitaciones del método propuesto .....	276
8.5	Otros métodos de diseño de mezcla .....	279
8.5.1	Método sugerido por el comité del ACI 363 para concretos de alto desempeño .....	279
8.5.2	Método de Larrard (de Larrard 1990) .....	281
8.5.3	Método simplificado de Mehta y Aïtcin .....	283

## Capítulo 9

### PRODUCCIÓN DE CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO

9.1	Introducción .....	289
9.2	Preparación antes del mezclado .....	291
9.3	Mezclado .....	293
9.4	Control de la trabajabilidad del concreto de alto desempeño .....	295
9.5	Segregación .....	296
9.6	Control de la temperatura del concreto fresco .....	296
9.6.1	Una mezcla demasiado fría: aumento en la temperatura del concreto fresco .....	298
9.6.2	Una mezcla demasiado caliente: enfriamiento del concreto fresco .....	298
9.7	Producción de un concreto de alto desempeño con aire incluido .....	300
9.8	Estudio de casos .....	302
9.8.1	Producción del concreto utilizado para construir la plataforma del puente Jacques-Cartier en Sherbrooke (Blais et ál. 1996) .....	302
9.8.1.1	Especificaciones del concreto .....	302
9.8.1.2	Composición del concreto de alto desempeño utilizado .....	303
9.8.1.3	Secuencia de mezclado .....	303
9.8.1.4	Consideraciones económicas .....	305
9.8.2	Producción de un concreto de alto desempeño en una planta de pesado en seco .....	305
9.8.2.1	Edificio Scotia Plaza (Ryell y Bickley 1987) .....	305
9.8.2.2	Puente Portneuf (Lessard et ál. 1993) .....	306

## Capítulo 10

### PREPARACIÓN PARA EL COLADO: ¿QUÉ HACER, CÓMO HACERLO Y CUÁNDO HACERLO ?

10.1	Introducción .....	309
10.2	Reunión previa a la construcción .....	311
10.3	Programa de ensayos de precalificación .....	312
10.3.1	Programa de pruebas de precalificación para la construcción de Bay-Adelaide Centre en Toronto, Canadá .....	313
10.3.2	Programa de pruebas de precalificación para el puente de concreto de alto desempeño con aire incluido 20 Mile Creek, en la Highway 20 (Bickley 1996) .....	314
10.3.3	Ensayo piloto .....	315
10.4	Control de calidad en la planta .....	316
10.5	Control de calidad en la obra .....	317
10.6	Realización de ensayos .....	318
10.7	Evaluación de la calidad .....	319

10.8	Conclusiones.....	320
<b>Capítulo 11</b>		
<b>TRANSPORTE, COLOCACIÓN Y CONTROL DEL CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO</b>		
11.1	Transporte del concreto de alto desempeño .....	325
11.2	Ajuste final al revenimiento previo a la colocación .....	325
11.3	Colocación del concreto de alto desempeño .....	327
11.3.1	Bombeo .....	327
11.3.2	Compactación .....	329
11.3.3	Acabado de losas de concreto .....	330
11.4	Métodos de construcción especiales .....	332
11.4.1	Construcción de columnas tipo hongo .....	332
11.4.2	Cimbra trepadora .....	332
11.4.3	Cimbra deslizante .....	333
11.4.4	Concreto de alto desempeño compactado a rodillo .....	335
11.5	Conclusión .....	335
<b>Capítulo 12</b>		
<b>EL CURADO DEL CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO PARA MINIMIZAR LA CONTRACCIÓN</b>		
12.1	Introducción .....	337
12.2	La importancia de un curado apropiado .....	338
12.3	Los diferentes tipos de contracción .....	338
12.4	La reacción de hidratación y sus consecuencias .....	339
12.4.1	Resistencia .....	341
12.4.2	Calor .....	343
12.4.3	Contracción volumétrica .....	343
12.4.3.1	Volumen aparente y volumen sólido .....	343
12.4.3.2	Cambios volumétricos del concreto (volumen aparente) .....	344
12.4.3.3	Contracción química (volumen absoluto) .....	345
12.4.3.4	El papel crucial de los meniscos de los tubos capilares del concreto en los cambios de volumen aparente .....	346
12.4.3.5	Diferencia esencial entre auto-deseccación y secado .....	347
12.4.3.6	De los cambios volumétricos de la pasta de cemento hidratada a la contracción del concreto .....	347
12.5	La contracción del concreto .....	348
12.5.1	La contracción de origen térmico .....	349
12.5.2	Cómo reducir la contracción autógena y por secado del concreto de alto desempeño y sus efectos aplicando un curado apropiado .....	349
12.6	¿Porque la contracción autógena es mas importante en un concreto de alto desempeño que en un concreto convencional? .....	351
12.7	¿Es suficiente la aplicación de un compuesto de curado para minimizar o atenuar la contracción de un concreto de alto desempeño? .....	353
12.8	El curado del concreto de alto desempeño .....	354
12.8.1	Columnas grandes .....	356
12.8.1.1	Cambios volumétricos en A .....	356

12.8.1.2	Cambios volumétricos en B .....	357
12.8.1.3	Cambios volumétricos en C .....	357
12.8.2	Vigas grandes .....	358
12.8.3	Vigas pequeñas .....	359
12.8.4	Losas delgadas .....	359
12.8.5	Losas gruesas sobre terreno .....	360
12.8.6	Otros casos .....	361
12.9	¿Cómo estar seguro de que el concreto se cura apropiadamente en el campo? .....	361
12.10	Conclusión .....	362

## Capítulo 13

### LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

13.1	Introducción .....	367
13.2	Masa unitaria .....	369
13.3	Revenimiento .....	369
13.3.1	Medición .....	369
13.3.2	Factores que influyen en el revenimiento .....	370
13.3.3	Mejoramiento de la reología del concreto fresco .....	371
13.3.4	Pérdida de revenimiento .....	372
13.4	Contenido de aire .....	373
13.4.1	El concreto de alto desempeño sin aire incluido .....	373
13.4.2	El concreto de alto desempeño con aire incluido .....	374
13.6	Retardo de fraguado .....	374
13.7	Observaciones finales .....	376

## Capítulo 14

### AUMENTO EN LA TEMPERATURA EN EL CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO

14.1	Introducción .....	379
14.2	Comparación del aumento de temperatura en un concreto con 35 MPa y uno de alto desempeño .....	380
14.3	Algunas consecuencias del aumento de temperatura en el interior de un concreto .....	381
14.3.1	Efecto del aumento de temperatura en la resistencia a la compresión del concreto de alto desempeño .....	382
14.3.2	No-homogeneidad del aumento de temperatura en un elemento estructural de concreto de alto desempeño .....	383
14.3.3	Efecto de los gradientes térmicos desarrollados durante el enfriamiento del concreto de alto desempeño .....	383
14.3.4	Efecto del aumento de temperatura en la microestructura del concreto ..	384
14.4	Influencia de diferentes parámetros en el aumento de la temperatura ..	387
14.4.1	Influencia de la cantidad de cemento .....	387
14.4.2	Influencia de la temperatura ambiente .....	390
14.4.3	Influencia de la geometría del elemento estructural .....	392
14.4.4	Influencia de la naturaleza de la cimbra .....	392
14.4.5	Influencia simultánea del concreto fresco y las temperaturas ambiente ..	394
14.4.6	Observaciones finales .....	396

14.5	Cómo controlar la temperatura máxima alcanzada en un elemento estructural de concreto de alto desempeño .....	396
14.5.1	Disminución de la temperatura del concreto entregado .....	397
14.5.1.1	Enfriamiento con nitrógeno líquido .....	397
14.5.1.2	Uso del hielo triturado .....	398
14.5.2	Uso de retardante .....	398
14.5.3	Uso de materiales cementantes suplementarios .....	399
14.5.4	Uso de cemento de bajo calor de hidratación .....	399
14.5.5	Uso de agua caliente y cimbras aislantes, o mantos calientes y aislantes en invierno .....	400
14.6	Cómo controlar los gradientes térmicos .....	400
14.7	Observaciones finales .....	401

## Capítulo 15

### PRUEBAS AL CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO

15.1	Introducción .....	405
15.2	Medición de la resistencia a la compresión .....	407
15.2.1	Influencia de la máquina de prueba .....	408
15.2.1.1	Limitantes debido a la capacidad de la máquina de prueba .....	408
15.2.1.2	Influencia de las dimensiones de la cabeza esférica .....	409
15.2.1.3	Influencia de la rigidez de la máquina de prueba .....	414
15.2.2	Influencia de los procedimientos de prueba .....	414
15.2.2.1	Cómo preparar los extremos de los especímenes .....	415
15.2.2.2	Influencia de la excentricidad .....	420
15.2.3	Influencia del espécimen .....	423
15.2.3.1	Influencia de la forma del espécimen .....	423
15.2.3.2	Influencia del molde para formar el espécimen .....	424
15.2.3.3	Influencia del diámetro del espécimen .....	425
15.2.4	Influencia del curado .....	428
15.2.3.1	Edad de la prueba .....	428
15.2.4.2	¿Cómo deben curarse los especímenes de concreto de alto desempeño? .....	430
15.2.5	Resistencia del núcleo versus resistencia del espécimen moldeados en fresco .....	431
15.3	Curva esfuerzo-deformación .....	432
15.4	Medición de la retracción .....	434
15.4.1	Procedimiento actual .....	434
15.4.2	Desarrollo de la retracción en un concreto con alta relación agua/material ligante .....	436
15.4.3	Desarrollo de la retracción en un concreto con baja relación agua/material ligante .....	436
15.4.4	Incremento inicial de la masa y auto-desección .....	438
15.4.5	Desarrollo inicial de la resistencia a la compresión y auto-desección ..	438
15.4.6	Nuevo procedimiento para determinar la retracción por secado .....	439
15.5	Medición del flujo plástico .....	441
15.5.1	Método de curado actual de muestras (ASTM C512) .....	441
15.5.2	Desarrollo de diversas deformaciones en el concreto durante la prueba de flujo plástico por 28 días .....	443

15.5.3	Deformaciones que se presentan en un concreto con alta relación agua/material ligante, sometido a carga temprana durante una prueba de flujo plástico .....	443
15.5.4	Deformaciones que ocurren en concretos con baja relación agua/material ligante, sometidos a carga temprana durante una prueba de flujo plástico .....	444
15.5.5	Procedimiento de curado propuesto previo a la carga para la medición de flujo plástico .....	446
15.6	Conclusiones sobre la medición del flujo plástico y de la retracción ....	446
15.7	Medición de la permeabilidad .....	446
15.8	Apéndice: Determinación del módulo de elasticidad .....	450

## Capítulo 16

### PROPIEDADES MECÁNICAS

16.1	Introducción .....	459
16.2	Resistencia a la compresión .....	461
16.2.1	Resistencia a la compresión temprana del concreto de alto desempeño .	463
16.2.2	Efecto del aumento temprano de temperatura del concreto de alto desempeño sobre su resistencia a la compresión .....	464
16.2.3	Influencia del contenido de aire sobre la resistencia a la compresión ...	465
16.2.4	Resistencia a la compresión a largo plazo .....	465
16.3	Módulo de ruptura y resistencia a la tracción según prueba brasileña ..	467
16.4	Módulo de elasticidad .....	469
16.4.1	Enfoque teórico .....	470
16.4.2	Enfoque empírico .....	474
16.4.3	Observaciones finales sobre la evaluación del módulo elástico .....	478
16.5	Relación de Poisson .....	479
16.6	Curva de esfuerzo-deformación .....	479
16.7	Flujo plástico y contracción .....	483
16.8	Resistencia a la fatiga del concreto de alto desempeño .....	486
16.8.1	Introducción .....	486
16.8.2	Definiciones .....	487
16.8.3	Resistencia a la fatiga de estructuras de concreto .....	490
16.9	Observaciones finales .....	491

## Capítulo 17

### LA DURABILIDAD DEL CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO

17.1	Introducción .....	499
17.2	La durabilidad de los concretos convencionales: un tema de importante preocupación .....	501
17.2.1	Durabilidad: el criterio clave de un buen diseño .....	502
17.2.2	La importancia crítica de la colocación y el curado en la durabilidad del concreto .....	504
17.2.3	La importancia de la "piel" del concreto .....	505
17.2.4	¿Por qué algunos concretos viejos son más durables que algunos concretos modernos? .....	507
17.3	¿Por qué los concretos de alto desempeño son más durables que algunos concretos convencionales? .....	509

17.4	La durabilidad a nivel microscópico .....	512
17.5	La durabilidad a nivel macroscópico .....	513
17.6	Resistencia a la abrasión .....	514
17.6.1	Introducción .....	514
17.6.2	Factores que afectan la resistencia a la abrasión del concreto de alto desempeño .....	515
17.6.3	Aplicaciones en pavimentos .....	517
17.6.4	Resistencia a la abrasión-erosión en estructuras hidráulicas .....	518
17.6.5	Abrasión por hielo .....	519
17.7	Resistencia al congelamiento y deshielo .....	519
17.7.1	Durabilidad al congelamiento y deshielo del concreto convencional ...	519
17.7.2	Durabilidad al congelamiento y deshielo del concreto de alto desempeño	521
17.7.3	¿Cuántos ciclos de congelamiento-deshielo debe tolerar el concreto para establecer que es resistente al congelamiento y el deshielo? .....	525
17.7.4	Puntos de vista personales .....	527
17.8	Resistencia al descascaramiento .....	527
17.9	Resistencia a la penetración de cloruros .....	528
17.10	Corrosión del acero de refuerzo .....	530
17.10.1	Uso de varillas de refuerzo inoxidables .....	531
17.10.2	Uso de varillas galvanizadas .....	532
17.10.3	Uso de varillas recubiertas con epóxico .....	533
17.10.4	Uso de varillas reforzadas con fibra de vidrio .....	534
17.10.5	Efectividad por mejoramiento de la calidad del "cubrecreto" .....	535
17.10.5.1	Tiempo para iniciar el agrietamiento .....	536
17.10.5.2	Relación entre el tiempo de iniciación del agrietamiento y la corriente inicial .....	538
17.10.6	Conclusiones relevantes .....	539
17.11	Resistencia a varias formas de ataque químico .....	539
17.12	Resistencia a la carbonatación .....	540
17.13	Resistencia al agua de mar .....	540
17.14	Reacción álcali-agregado y el concreto de alto desempeño .....	541
17.14.1	Introducción .....	541
17.14.2	Condiciones esenciales para el desarrollo de RAA dentro del concreto .	541
17.14.2.1	Condición de humedad y RAA .....	541
17.14.2.2	Contenido de cemento, relación agua/material ligante y RAA .....	542
17.14.3	Superplastificantes y RAA .....	542
17.14.4	Prevención de RAA .....	543
17.14.5	Extrapolación de los resultados del concreto convencional al concreto de alto desempeño .....	543
17.15	Resistencia al fuego .....	544
17.15.1	¿Es el concreto de alto desempeño resistente al fuego? .....	544
17.15.2	El incendio en el Túnel del Canal de la Mancha .....	546
17.15.2.1	Las circunstancias .....	546
17.15.2.2	Los daños .....	546
17.16	Conclusiones .....	547

## Capítulo 18

### CONCRETOS ESPECIALES DE ALTO DESEMPEÑO

18.1	Introducción .....	555
18.2	Concreto de alto desempeño con aire incluido .....	556
18.2.1	Introducción .....	556
18.2.2	Diseño de una mezcla de concreto de alto desempeño con aire incluido	556
18.2.3	Mejoramiento de la reología de un concreto de alto desempeño mediante la inclusión de aire .....	560
18.2.4	Conclusiones .....	561
18.3	Concreto ligero de alto desempeño .....	561
18.3.1	Introducción .....	561
18.3.2	Agregado fino .....	563
18.3.3	Sistema cementante .....	563
18.3.4	Propiedades mecánicas .....	565
18.3.4.1	Resistencia a la compresión .....	565
18.3.4.2	Módulo de ruptura, prueba brasileña y prueba directa de resistencia a la tensión .....	565
18.3.4.3	Módulo de elasticidad .....	565
18.3.4.4	Resistencia por adherencia .....	565
18.3.4.5	Contracción y flujo plástico .....	566
18.3.4.6	Carga máxima aplicada .....	566
18.3.4.7	Resistencia a la fatiga .....	566
18.3.4.8	Características térmicas .....	567
18.3.5	Usos de los concretos ligeros de alto desempeño .....	567
18.3.6	Acerca de la masa unitaria del concreto ligero .....	568
18.3.7	Acerca de la absorción de los agregados ligeros .....	570
18.3.8	Acerca del contenido de agua de los agregados ligeros al elaborar concreto .....	570
18.3.9	Conclusiones .....	571
18.4	Agregados pesados de alto desempeño .....	571
18.5	Concreto de alto desempeño reforzado con fibras .....	573
18.6	Concreto de alto desempeño confinado .....	576
18.7	Concreto compactado con rodillos .....	580
18.8	Conclusiones .....	586

## Capítulo 19

### MATERIALES A BASE DE CEMENTO DE ULTRA ALTA RESISTENCIA

19.1	Introducción .....	591
19.2	Técnica Brunauer et ál. ....	595
19.3	Sistema densificado mediante partículas ultra finas (DSP, por sus siglas en inglés) .....	596
19.4	Materiales libres de macrodefectos (MDF, por sus siglas en inglés) .....	596
19.5	Concreto de polvo reactivo (RPC, por sus siglas en inglés) .....	598

**Capítulo 20**

**UNA MIRADA AL FUTURO**

20.1	Concreto: el material de construcción más ampliamente utilizado .....	605
20.2	Tendencias a corto plazo .....	607
20.3	El mercado de la durabilidad y no solo en la resistencia .....	609
20.4	Tendencias a largo plazo del concreto de alto desempeño .....	610
20.5	Competencia del concreto de alto desempeño .....	611
20.6	Necesidades de investigación .....	612
<b>Epílogo por Pierre Richard .....</b>		<b>614</b>