

# Contenido

Presentación . . . . .	15
Prólogo . . . . .	17
Introducción . . . . .	19
<b>1. El concreto, generalidades . . . . .</b>	<b>21</b>
1.1 Reseña histórica . . . . .	21
1.2 Cementantes del concreto hidráulico . . . . .	23
1.2.1 Cementos con <i>clinker</i> Portland . . . . .	24
1.3 Composición y definición de términos . . . . .	25
1.4 Características y funciones de los componentes . . . . .	26
1.5 Funciones de la pasta de cemento . . . . .	27
1.6 Funciones de los agregados . . . . .	28
1.7 Funciones de los aditivos . . . . .	28
1.8 Conceptos . . . . .	28
1.9 Clasificación general del concreto . . . . .	29
1.10 Clasificación según su peso unitario . . . . .	30
<b>2. El cemento . . . . .</b>	<b>31</b>
2.1 Características del producto . . . . .	31
2.2 Breve reseña histórica de la industria del cemento en Colombia . . . . .	31
2.3 Tecnología . . . . .	33
2.4 Proceso productivo . . . . .	35
2.4.1 Extracción de las materias primas y transporte hasta la planta . . . . .	35
2.4.2 Adecuación de la materia prima al proceso . . . . .	35
2.4.2 Clinkerización o calcinación . . . . .	37
2.4.4 Molienda de <i>clinker</i> y adición de yeso . . . . .	38
2.4.5 Empaque y almacenamiento . . . . .	38
2.5 Producción de otros tipos de cemento . . . . .	38
2.6 Externalidades del proceso productivo . . . . .	38

2.6.1	Contaminación ambiental . . . . .	38
2.6.2	Normas vigentes . . . . .	39
2.6.3	Estado del control de la contaminación en las fábricas de cemento en Colombia . . . . .	39
2.7	Clasificación y nomenclatura . . . . .	40
2.8	Definiciones generales . . . . .	41
2.9	Características esenciales del cemento . . . . .	43
2.10	Propiedades del cemento Portland . . . . .	49
2.10.1	Peso específico . . . . .	49
2.10.2	Finura . . . . .	50
2.10.3	Consistencia normal . . . . .	52
2.10.4	Fraguado . . . . .	53
2.10.5	Falso fraguado . . . . .	55
2.10.6	Estabilidad volumétrica . . . . .	56
2.10.7	Calor de hidratación . . . . .	59
2.10.8	Ensayo de resistencia a compresión del mortero . . . . .	60
2.10.9	Ensayo de resistencia a tensión del mortero . . . . .	62
2.11	Requisitos del cemento Portland . . . . .	64
2.11.1	Requisitos químicos . . . . .	64
2.11.2	Requisitos físicos . . . . .	65
2.11.3	Equipo . . . . .	67
2.11.4	Ejecución de los trabajos . . . . .	68
2.11.5	Condiciones para el recibo del producto . . . . .	68
<b>3.</b>	<b>Agregados pétreos . . . . .</b>	<b>71</b>
3.1	Clasificación de los agregados . . . . .	71
3.1.1	Clasificación según su procedencia . . . . .	71
3.1.2	Clasificación según su densidad . . . . .	80
3.1.3	Clasificación según su tamaño . . . . .	81
3.1.4	Clasificación según su forma y textura superficial . . . . .	82
3.2	Propiedades químicas del agregado . . . . .	84
3.2.1	Epitaxia . . . . .	84
3.2.2	Reacción álcali-agregado . . . . .	85
3.3	Propiedades físicas . . . . .	85
3.3.1	Granulometría . . . . .	85
3.3.2	Densidad . . . . .	93
3.3.3	Absorción y humedad . . . . .	95
3.3.4	Masa unitaria . . . . .	96
3.3.5	Resistencia . . . . .	96
3.4	Sustancias perjudiciales . . . . .	98
3.4.1	Suelo fino . . . . .	98
3.4.2	Impurezas orgánicas . . . . .	101
3.4.3	Partículas deleznables . . . . .	102
3.4.4	Partículas livianas . . . . .	103
3.4.5	Partículas blandas . . . . .	103

3.5	Beneficio de agregados . . . . .	103
3.6	Manejo y almacenamiento de agregados . . . . .	104
3.7	Durabilidad . . . . .	106
3.8	Propiedades especificadas en el concreto . . . . .	111
3.9	Especificaciones de agregados para pavimentos de concreto . . . . .	113
<b>4.</b>	<b>Agua de mezclado para el concreto . . . . .</b>	<b>119</b>
4.1.	Impurezas contenidas en el agua de mezclado . . . . .	119
4.2	Especificación que debe cumplir el agua de mezclado . . . . .	123
<b>5.</b>	<b>Aditivos en el concreto . . . . .</b>	<b>125</b>
5.1	Usos de los aditivos . . . . .	126
5.2	Principales aditivos utilizados . . . . .	127
5.3	Aditivos líquidos . . . . .	127
5.4	Aditivos minerales finamente divididos . . . . .	128
5.4.1	Efectos en las propiedades del concreto . . . . .	128
5.5	Aditivos inclusores de aire . . . . .	132
5.6	Aditivos acelerantes . . . . .	132
5.6.1	Efecto en el concreto fresco y en el concreto endurecido . . . . .	133
5.7	Aditivos reductores de agua y para control de fraguado . . . . .	134
5.7.1	Efectos en las propiedades del concreto . . . . .	135
5.8	Diversos aditivos . . . . .	138
5.8.1	Aditivos generadores de gas . . . . .	138
5.8.2	Aditivos para rellenos . . . . .	138
5.8.3	Aditivos para producir expansión . . . . .	138
5.8.4	Aditivos para adherencia . . . . .	139
5.8.5	Aditivos colorantes . . . . .	139
5.8.6	Aditivos floculantes . . . . .	140
5.8.7	Aditivos fungicidas, germicidas e insecticidas . . . . .	140
5.8.8	Aditivos para resistir la humedad . . . . .	141
<b>6.</b>	<b>Dosificación del concreto . . . . .</b>	<b>143</b>
6.1	Objetivo de la dosificación . . . . .	143
6.1.1	El concreto pobre . . . . .	147
6.1.2	El concreto poroso . . . . .	148
6.2	Algunos principios útiles para el diseño de mezclas de concreto . . . . .	149
6.2.1	Diseño de mezclas de concreto-Método Sandino . . . . .	150
6.2.2	Diseño de mezclas de concreto - método propuesto por ACI . . . . .	165
6.3	Datos previos . . . . .	165
6.3.1	Datos de la obra . . . . .	165
6.3.2	Datos de los materiales . . . . .	166
6.4	Método de dosificación . . . . .	166
6.4.1	Elección del asentamiento . . . . .	167
6.4.2	Elección del Tamaño Máximo Nominal (TMN) . . . . .	169
6.4.3	Estimación del contenido de aire . . . . .	170
6.4.4	Estimación de la cantidad de agua de mezclado (a) . . . . .	170

6.4.5	Elección de la relación agua/cemento (a/c) . . . . .	171
6.4.6	Cálculo del contenido de cemento . . . . .	173
6.4.7	Verificación de las especificaciones granulométricas . . . . .	175
6.4.8	Cálculo del contenido de agregados . . . . .	175
6.4.9	Ajustes a las mezclas de prueba . . . . .	185
6.5	Ejemplos de aplicación . . . . .	187
6.5.1	Ejemplo 6.3 . . . . .	187
6.5.2	Ejemplo 6.4 . . . . .	193
6.6	Dosificación de mezclas de concreto según los criterios de la NSR-98 . . . . .	199
6.6.1	Definición de términos . . . . .	199
6.6.2	Requisitos de dosificación exigidos por la NSR . . . . .	200
6.7	Durabilidad . . . . .	203
6.8	Relación Agua - Material Cementante . . . . .	203
6.9	Durabilidad . . . . .	203
6.9.1	Concretos expuestos a productos que impidan el congelamiento . . . . .	203
6.9.2	Exposición a ambiente húmedo o marino . . . . .	203
6.9.3	Exposición a sulfatos . . . . .	204
6.9.4	Corrosión del refuerzo . . . . .	206
<b>7.</b>	<b>Propiedades del concreto fresco . . . . .</b>	<b>209</b>
7.1	Trabajabilidad o manejabilidad . . . . .	209
7.1.1	La compacidad . . . . .	210
7.1.2	La cohesividad . . . . .	210
7.1.3	La plasticidad . . . . .	210
7.1.4	La consistencia o movilidad . . . . .	210
7.2	Factores que afectan la manejabilidad . . . . .	210
7.2.1	Contenido de agua de mezclado . . . . .	210
7.2.2	Contenido de aire . . . . .	211
7.2.3	Propiedades de los agregados . . . . .	211
7.2.4	Relación pasta/agregado . . . . .	211
7.2.5	Condiciones climáticas . . . . .	212
7.3	Ensayos para determinar la trabajabilidad . . . . .	213
7.3.1	Ensayo de asentamiento . . . . .	213
7.3.2	Ensayo de remoldeo . . . . .	218
7.3.3	Otros ensayos . . . . .	219
7.3.4	Segregación . . . . .	221
7.3.5	Exudación o sangrado . . . . .	222
7.4	Ensayo para determinar la exudación . . . . .	223
7.5	Ensayo para determinar la masa unitaria fresca . . . . .	223
7.6	Contenido de aire . . . . .	226
7.6.1	Ensayos para determinar el contenido de aire . . . . .	226
7.7	Contenido de agua y de cemento . . . . .	228
7.7.1	Ensayos para determinar el contenido de agua y cemento . . . . .	229
7.7.2	Ensayo de reducción de agua . . . . .	230

7.8	Proceso de fraguado . . . . .	231
7.8.1	Tiempo de fraguado . . . . .	231
7.8.2	Ensayos para determinar el tiempo de fraguado . . . . .	231
7.9	Contracción plástica . . . . .	233
<b>8.</b>	<b>Propiedades del concreto endurecido . . . . .</b>	<b>235</b>
8.1	Generalidades . . . . .	235
8.2	Resistencia . . . . .	235
8.3	Factores que inciden en la resistencia . . . . .	236
8.4	Resistencia a la compresión . . . . .	240
8.5	Resistencia a la tracción . . . . .	241
8.6	Resistencia a la flexión . . . . .	241
8.7	Resistencia a cortante . . . . .	241
8.8	Elaboración y curado de muestras . . . . .	243
8.9	Ensayo de resistencia a la compresión . . . . .	243
8.10	Predicción de la resistencia a compresión . . . . .	246
8.11	Madurez . . . . .	247
8.12	Ensayos acelerados de resistencia a compresión . . . . .	249
8.13	Módulo de elasticidad y relación de Poisson . . . . .	249
8.14	Ensayo de resistencia a la tracción . . . . .	250
8.15	Ensayo de resistencia a la flexión . . . . .	251
8.16	Ensayo de resistencia al esfuerzo cortante . . . . .	253
8.17	Masa unitaria . . . . .	253
8.18	Durabilidad del concreto . . . . .	254
8.19	Influencia del medio ambiente sobre la durabilidad . . . . .	257
<b>9.</b>	<b>Producción y transporte del concreto . . . . .</b>	<b>279</b>
9.1	Generalidades . . . . .	279
9.2	Formas de suministro del concreto . . . . .	281
9.3	Control de la producción . . . . .	284
9.4	Aspectos a tener en cuenta en las plantas dosificadoras de concreto . . . . .	285
9.5	Control de los equipos . . . . .	286
9.6	Control del concreto . . . . .	288
9.7	Transporte del concreto hidráulico . . . . .	290
9.8	Transporte del concreto seco . . . . .	290
9.9	Transporte del concreto mezclado en una central . . . . .	290
<b>10.</b>	<b>Transporte y colocación del concreto hidráulico . . . . .</b>	<b>293</b>
10.1	Consideraciones generales . . . . .	293
10.1.1	Transporte por aire . . . . .	294
10.2	Transporte y colocación del concreto . . . . .	297
10.2.1	Consideraciones generales . . . . .	297
10.2.2	Retrasos . . . . .	298
10.2.3	Endurecimiento . . . . .	298
10.2.4	Segregación . . . . .	298
10.2.5	Etapas de Transporte . . . . .	298

10.3	Transporte interno y colocación . . . . .	299
10.3.1	Bandas transportadoras . . . . .	300
10.3.2	Cucharones . . . . .	301
10.3.3	Canalones . . . . .	301
10.3.4	Grúas . . . . .	301
10.3.5	Canalones de desnivel . . . . .	301
10.3.6	Canalones y tubos de caída . . . . .	302
10.3.7	Equipos de pavimentación . . . . .	303
10.3.8	Mezcladoras de Dosificación Móviles . . . . .	304
10.3.9	Camiones no agitadores . . . . .	304
10.3.10	Pistolas neumáticas (Concreto lanzado) . . . . .	304
10.3.11	Bombas . . . . .	305
10.3.12	Tubo embudo (Tubo Tremie) . . . . .	306
10.3.13	Carretillas manuales y motorizadas . . . . .	306
10.3.14	Tolvas de sección circular y rectangular . . . . .	306
10.4	El mejor método de transporte y colocación . . . . .	306
10.5	Colocación del concreto . . . . .	307
10.5.1	Recomendaciones para la eficiente colocación del concreto . . . . .	307
<b>11.</b>	<b>Consolidación o compactación del concreto . . . . .</b>	<b>311</b>
11.1	Métodos de consolidación . . . . .	312
11.1.1	Métodos manuales . . . . .	312
11.1.2	Métodos mecánicos . . . . .	312
11.1.3	Aplicación de métodos combinados . . . . .	313
11.2	Consolidación del concreto mediante vibración . . . . .	313
11.2.1	Movimiento vibratorio . . . . .	313
11.2.2	Proceso de consolidación . . . . .	313
11.3	Equipo para vibrado . . . . .	314
11.3.1	Vibradores internos . . . . .	314
11.3.2	Vibrador de motor eléctrico en la cabeza . . . . .	314
11.3.3	Vibradores neumáticos . . . . .	315
11.3.4	Vibradores hidráulicos . . . . .	315
11.3.5	Mesas vibratorias . . . . .	316
11.3.6	Vibradores superficiales . . . . .	316
11.3.6.1	Vibrador de llana . . . . .	316
11.3.6.2	Apisonadores vibradores de placa o de rejilla . . . . .	316
11.3.6.3	Vibradora de rodillos . . . . .	316
11.4	Prácticas de vibración recomendadas para la construcción en general . . . . .	318
11.4.1	Procedimiento para la vibración interna . . . . .	318
11.4.2	Consecuencia del exceso de vibrado . . . . .	319
11.4.3	Principales indicadores de un concreto bien compactado . . . . .	320
11.4.4	Vibrado del acero de refuerzo . . . . .	320
11.4.5	Revibrado . . . . .	320
11.4.6	Imperfecciones que resultan de un vibrado deficiente . . . . .	321

<b>12. Curado del concreto</b> . . . . .	323
12.1 Métodos y materiales para el curado . . . . .	324
12.1.1 Método de curado con agua . . . . .	324
12.1.2 Materiales selladores . . . . .	327
12.1.3 Otros métodos de curado . . . . .	330
12.2 Evaluación de los procedimientos de curado . . . . .	330
12.3 Criterios para la efectividad del curado . . . . .	331
12.4 Requisitos mínimos de curado . . . . .	331
12.5 Acabado del concreto . . . . .	331
12.5.1 Nivelación o enrasado . . . . .	331
12.5.2 Aplanado . . . . .	332
12.5.3 Bordeado . . . . .	332
12.5.4 Emparejado . . . . .	333
12.5.5 Alisado . . . . .	333
12.5.6 Escobillado . . . . .	334
12.5.7 Patrones y texturas . . . . .	335
<b>13. Juntas en las construcciones de concreto</b> . . . . .	337
13.1 El movimiento y la restricción en las estructuras de concreto . . . . .	338
13.1.1 Juntas de construcción . . . . .	338
13.1.2 Juntas de contracción . . . . .	339
13.1.3 Juntas de aislamiento o de dilatación . . . . .	343
<b>14. Concreto Tremie</b> . . . . .	361
14.1 Concreto Tremie en pilotes y muros pantalla . . . . .	362
A. Localización topográfica de la cimentación . . . . .	364
B. Excavación del elemento de cimentación . . . . .	364
C. Preparativos antes de usar el concreto . . . . .	365
D. Vaciado y colocación del Tremie . . . . .	365
<b>15. Concreto bombeable</b> . . . . .	371
15.1 Consideraciones generales . . . . .	371
15.2 Equipo de bombeo . . . . .	372
15.2.1 Bombas de pistón . . . . .	372
15.2.2 Bombas neumáticas . . . . .	372
15.2.3 Bombas de presión "Squeeze" . . . . .	372
15.3 Tuberías y accesorios . . . . .	372
15.3.1 Tuberías . . . . .	373
15.3.2 Acoplamientos . . . . .	373
15.3.3 Accesorios . . . . .	373
15.3.4 Resistencia de la línea . . . . .	373
15.3.5 Consideraciones básicas . . . . .	374
15.3.6 Agregados de peso normal . . . . .	374
15.3.7 Agregados ligeros estructurales . . . . .	378
15.3.8 Agua y revenimiento . . . . .	380
15.3.9 Contenido de cemento . . . . .	381

15.3.10	Aditivos	381
15.3.11	Mezclas de Prueba	383
15.3.12	Pruebas para bombeo	383
15.4	Prácticas de campo	383
15.5	Bombeo en revestimiento de túneles	384
15.6	Control de campo	385
<b>16.</b>	<b>Concreto lanzado</b>	<b>387</b>
16.1	Propiedades	389
16.2	Proyección por vía seca	390
16.3	Proyección por vía húmeda	391
16.4	Materiales para concreto lanzado	396
16.4.1	Agregados	396
16.4.2	Agua	398
16.4.3	Concreto	398
16.4.4	Cemento	398
16.4.5	Aditivos y adiciones	399
16.5	Preparación del lugar de colocación	399
16.6	Impermeabilización previa	402
16.7	Colocación	404
16.8	Rebote	408
16.9	Aplicaciones	411
16.9.1	Túneles y cavernas	411
16.9.2	Recubrimientos y revestimientos	413
<b>17.</b>	<b>Control estadístico de calidad</b>	<b>415</b>
17.1	Aspectos generales	416
17.2	Funciones estadísticas	416
17.2.1	Promedio, $\bar{X}$ . La resistencia promedio de todas las pruebas individuales	417
17.2.2	Desviación estándar, $\sigma$	417
17.2.3	Coefficiente de variación, $V$	418
17.2.4	Intervalo, $R$	419
17.3	Variaciones en la resistencia	419
17.3.1	Variación inherente a la prueba	419
17.3.2	Variaciones de mezcla a mezcla	420
17.4	Normas de control	421
17.5	Criterios para los requerimientos de resistencia	427
17.5.1	Criterio número 1	428
17.5.2	Criterio número 2	429
17.5.3	Criterio número 3	430
17.5.4	Criterio número 4	431
17.6	Cartas de control de calidad	433
17.7	Pruebas y cilindros requeridos	435



<b>18. Patología del concreto hidráulico</b> . . . . .	437
18.1 Generalidades . . . . .	437
18.2 Deterioro prematuro . . . . .	437
18.2.1 Aspecto general . . . . .	437
18.2.2 Ataque de los sulfatos . . . . .	438
18.2.3 Corrosión del acero de refuerzo . . . . .	442
18.2.4 Congelación y deshielo . . . . .	461
18.2.5 Lixiviación del hidróxido de calcio . . . . .	472
18.2.6 Reacciones álcali-agregado . . . . .	474
18.2.7 Intemperismo y envejecimiento . . . . .	491
18.2.8 Ataque de sustancias ácidas . . . . .	495
18.3 Sintomatología en las estructuras de hormigón armado . . . . .	501
18.3.1 Fisuración . . . . .	501
18.3.2 Agrietamientos . . . . .	516
18.4 Patologías en cimentaciones . . . . .	518
18.5 Estudio de las causas . . . . .	524
18.6 Reparación del concreto . . . . .	527
<b>Abreviaturas</b> . . . . .	533
<b>Referencias bibliográficas</b> . . . . .	537