

# CONCRETO CON CEMENTO PORTLAND COMERCIAL ESCORIA Y CENIZA

APRECIACIONES FRENTE A UN  
CAMBIO DE NORMATIVA



Óscar Javier Gutiérrez-Junco  
Yaneth Pineda-Triana  
Sandra Patricia Pérez-Velásquez

# **CONCRETO CON CEMENTO PORTLAND COMERCIAL, ESCORIA Y CENIZA**

**Apreciaciones frente a un cambio  
de normativa**

# **CONCRETO CON CEMENTO PORTLAND COMERCIAL, ESCORIA Y CENIZA**

**Apreciaciones frente a un cambio  
de normativa**

Óscar Javier Gutiérrez-Junco  
Yaneth Pineda-Triana  
Sandra Patricia Pérez-Velásquez

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
TUNJA  
2018

Concreto con cemento Portland comercial, escoria y ceniza. Apreciaciones frente a un cambio de normativa/Gutiérrez-Junco, Óscar Javier; Pineda-Triana, Yaneth y Pérez-Velásquez, Sandra Patricia. Tunja: Editorial UPTC, 2018. 330 p.

ISBN 978-958-660-270-9

1. Cemento. 2. Materiales cementantes suplementarios. 3. Ceniza volante. 4. Escoria del alto horno. 5. Corrosión.

(Dewey 691/21).



**Uptc**  
Universidad Pedagógica y  
Tecnológica de Colombia

VIGILADA MINEDUCACIÓN



Vicerrectoría  
de Investigación y Extensión



Dirección de  
Investigaciones



EDITORIAL  
UPTC

Primera Edición, 2018

200 ejemplares (impresos)

Concreto con cemento Portland comercial, escoria y ceniza.  
Apreciaciones frente a un cambio de normativa

ISBN 978-958-660-270-9

Colección Libros Investigación No. 72 UPTC

- © Oscar Javier Gutiérrez-Junco, 2018
- © Sandra Patricia Pérez-Velásquez, 2018
- © Yaneth Pineda-Triana, 2018
- © Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2018

**Rector, UPTC**

Alfonso López Díaz

**Comité Editorial**

Hugo Alfonso Rojas Sarmiento, Ph.D.  
Enrique Vera López, Ph.D.  
Patricia Carolina Barreto Bernal, Ph.D.  
María Eugenia Morales Puentes, Ph.D.  
Liliana Fernández Samacá, Ph.D.  
Luz Eliana Márquez, Mg.  
Rafael Enrique Buitrago Bonilla, Ph.D.  
Olga Yaneth Acuña Rodríguez, Dra.  
Yolima Bolívar Suárez, Mg.

**Editora en Jefe:**

Ruth Nayibe Cárdenas Soler

**Coordinadora Editorial:**

Andrea María Numpaque Acosta

**Corrección de Estilo**

Claudia Helena Amarillo Forero

**Editorial UPTC**

Edificio Administrativo – Piso 4  
Avenida Central del Norte 39-115  
comite.editorial@uptc.edu.co  
www.uptc.edu.co

**Impresión**

SB Digital - Publicidad  
Calle 17 No. 13-52 Tunja.  
Tel. 7449246

Libro financiado por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la UPTC. Se permite la reproducción parcial o total, con la autorización expresa de los titulares del derecho de autor. Este libro es registrado en Depósito Legal, según lo establecido en la Ley 44 de 1993, el Decreto 460 de 16 de marzo de 1995, el Decreto 2150 de 1995 y el Decreto 358 de 2000.

Libro resultado de Investigación.

Citación: Gutiérrez-Junco, O.; Pineda-Triana Y.; Pérez Velásquez, S. (2018). *Concreto con cemento Portland comercial, escoria y ceniza. Apreciaciones frente a un cambio de normativa*. Tunja: Editorial Uptc.

*A nuestras familias*

“The more we learn about the world, and the deeper our learning, the more conscious, specific, and articulate will be our knowledge of what we do not know; our knowledge of our ignorance. For this, indeed, is the main source of our ignorance - the fact that our knowledge can be only finite, while our ignorance must necessarily be infinite”.

“Cuanto más aprendemos acerca del mundo, y cuanto más profundo es nuestro aprendizaje, más consciente, específico y articulado será nuestro conocimiento de lo que no sabemos; nuestro conocimiento de nuestra ignorancia - El hecho de que nuestro conocimiento solo puede ser finito, mientras que nuestra ignorancia debe ser necesariamente infinita”.

*Karl Popper*

# CONTENIDO

<b>PRESENTACIÓN</b> .....	23
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	25
<b>CAPÍTULO 1. GENERALIDADES</b> .....	29
1.1 Un punto de partida.....	29
1.2 El porqué y el cómo.....	34
1.3 Estructura temática.....	41
1.4 Descriptores conceptuales.....	42
1.5 Conclusión.....	46
<b>CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA</b> .....	47
2.1 Introducción.....	47
2.2 Desempeño de concretos con materiales cementantes alternativos.....	49
2.3 Evaluación de propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.....	100
2.4 Evaluación de la carbonatación en el concreto.....	105
2.5 Evaluación de la corrosión con técnicas electroquímicas en el concreto reforzado.....	115
2.6 Evaluación con técnicas complementarias.....	133
2.7 Conclusión.....	141
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA</b> .....	143
3.1 Introducción.....	143
3.2 Hipótesis, variables e indicadores.....	144
3.3 Desarrollo experimental.....	151
3.4 Caracterización de materiales.....	162
3.5 Pruebas piloto.....	181

3.6	Selección de combinaciones CPC/FA/GGBFS.....	182
3.7	Pruebas en pasta y mortero.....	188
3.8	Diseño y elaboración de mezclas de concreto.....	195
3.9	Evaluación de propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.....	201
3.10	Evaluación de la carbonatación en el concreto.....	208
3.11	Evaluación de la corrosión del acero con técnicas electroquímicas.....	213
3.12	Evaluación con técnicas complementarias.....	242
3.13	Resumen y conclusión.....	263
<b>CAPÍTULO 4.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>265</b>
4.1	Introducción.....	265
4.2	Interpretación y discusión de resultados.....	265
4.3	Estadísticas de prueba.....	287
4.4	Resumen y conclusión.....	291
<b>CAPÍTULO 5.</b>	<b>CONCLUSIONES E IMPLICACIONES.....</b>	<b>293</b>
5.1	Introducción.....	293
5.2	Conclusiones sobre el problema de investigación.....	294
5.3	Conclusiones sobre los objetivos propuestos.....	299
5.4	Implicaciones prácticas y teóricas.....	303
5.5	Sugerencias para investigaciones posteriores.....	308
<b>REFERENCIAS.....</b>		<b>311</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Identificación de bolsa de cemento portland Tipo 1 adicionado (CPC).....	34
Figura 2.1 Temas principales de la revisión bibliográfica.....	48
Figura 2.2 Diagrama de Pourbaix hierro-agua y condiciones reales del acero embebido en concreto.....	59
Figura 2.3 Curva de polarización esquemática para un sistema pasivo con limitado acceso de oxígeno.....	62
Figura 2.4 Componentes del concreto.....	63
Figura 2.5 Diagrama ternario CaO-SiO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> de materiales cementantes.....	72
Figura 2.6 Diagrama ternario CaO-SiO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> de fases hidratadas.....	73
Figura 2.7 Evolución de la producción de cemento reportada por Holcim....	74
Figura 2.8 Tipos de frentes de carbonatación.....	113
Figura 2.9 Esquema del ensayo de potenciales de corrosión del refuerzo en concreto.....	125
Figura 2.10 Curvas de polarización esquemáticas.....	129
Figura 2.11 Diagrama de Nyquist ideal de respuesta de impedancia electroquímica.....	130
Figura 3.1 Geometría de las probetas.....	147
Figura 3.2 Ambientes de exposición de las muestras.....	148
Figura 3.3 Combinaciones cementantes para ensayos de compresión de pastas.....	152
Figura 3.4 Métodos de caracterización de las materias primas.....	154
Figura 3.5 Métodos de caracterización de los concretos.....	155
Figura 3.6 Metodología.....	156

Figura 3.7 Factores experimentales y sus correspondientes niveles.....	157
Figura 3.8 Central termoeléctrica Termopaipa -GENSA S.A.-.....	163
Figura 3.9 Acerías Paz del Rio S.A.....	164
Figura 3.10 Micrografías SEM de materiales anhidros a un aumento de 5000x de (a) CPC; (b) FA; (c) GGBFS.....	166
Figura 3.11 Sistema ternario del contenido $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ de las materias primas cementantes.....	170
Figura 3.12 Difractogramas para (a) CPC; (b) GGBFS; (c) FA.....	171
Figura 3.13 Distribución granulométrica de la GBFS molida.....	176
Figura 3.14 Granulometría del agregado grueso.....	178
Figura 3.15 Granulometría del agregado fino.....	178
Figura 3.16 Granulometría de la arena normalizada 20-30.....	179
Figura 3.17 Análisis de verificación de concentración de elementos de barra corrugada con espectrómetro de emisión de chispa realizada por el autor.....	180
Figura 3.18 Distribución de pintura epóxica en las barras.....	180
Figura 3.19 Preparación de probetas (a) especímenes recién desencofrados; (b) proceso de curado.....	181
Figura 3.20 Elaboración y curado de cubos de pasta cementante.....	182
Figura 3.21 Resistencia a la compresión de cubos de pasta de CPC-GGBFS...	183
Figura 3.22 Resistencia a la compresión de cubos de pasta de CPC-FA.....	184
Figura 3.23 Resistencia a la compresión de cubos de pasta de CPC-GGBFS-FA.....	185
Figura 3.24 Evolución de las más altas resistencias a la compresión de las pastas ensayadas.....	185
Figura 3.25 Resistencia a la compresión de los cubos de pasta a edad de (a) 56 días; (b) 28 días; (c) 3 días.....	187
Figura 3.26 Ensayos de (a) consistencia normal; (b) tiempos de fraguado.....	189
Figura 3.27 Ensayos de tiempos de fraguado de pastas.....	190

Figura 3.28 Cámara semiadiabática y sistema de medición de temperatura.....	191
Figura 3.29 Registro de cambio de temperatura en las pastas.....	192
Figura 3.30 Pendientes de cambio de temperatura en el tiempo.....	192
Figura 3.31 Calor específico acumulado en el tiempo.....	193
Figura 3.32 Evolución de resistencia de morteros.....	194
Figura 3.33 Elaboración de cilindro de concreto para pruebas electroquímicas.....	198
Figura 3.34 Mediciones de asentamiento en los concretos de referencia a1, con GGBFS a2, con FA a3, y ternario a4.....	201
Figura 3.35 Densidades para concretos sin carbonatación artificial.....	203
Figura 3.36 Densidades para concretos con carbonatación artificial.....	203
Figura 3.37 Absorción para concretos sin carbonatación artificial.....	204
Figura 3.38 Absorción para concretos con carbonatación artificial.....	204
Figura 3.39 Vacíos para concretos sin carbonatación artificial.....	204
Figura 3.40 Vacíos para concretos con carbonatación artificial.....	205
Figura 3.41 Evolución de resistencia de concretos.....	206
Figura 3.42 Evolución de resistencia de concretos carbonatados artificialmente a partir de los 42 días de edad.....	207
Figura 3.43 Sistema de control y cámara de carbonatación acelerada.....	208
Figura 3.44 Ensayo de tracción indirecta de cilindros, uso del indicador acido-base de fenoltaleína y medición de la profundidad de carbonatación.....	209
Figura 3.45 Evolución de la profundidad de carbonatación de cilindros no carbonatados artificialmente.....	210
Figura 3.46 Evolución de la profundidad de carbonatación de cilindros carbonatados artificialmente.....	210
Figura 3.47 Profundidad de carbonatación a 42 días de edad de cilindros con cementante (a) a1; (b) a2; (c) a3; (d) a4.....	211
Figura 3.48 Profundidad de carbonatación a 118 días de edad de cilindros no carbonatados artificialmente, con cementante (a) a1; (b) a2; (c) a3; (d) a4.....	211

Figura 3.49 Profundidad de carbonatación a 118 días de edad de cilindros carbonatados artificialmente, con cementante (a) a1; (b) a2; (c) a3; (d) a4.....	211
Figura 3.50 Profundidad de carbonatación en los cilindros proyectada a 18 años en ambiente natural.....	212
Figura 3.51 Geometría de la probeta y disposición experimental para pruebas electroquímicas.....	214
Figura 3.52 Comportamiento promedio del potencial electroquímico para los cilindros con cementante (a) a1; (b) a2; (c) a3 (d) a4.....	216
Figura 3.53 Curvas de polarización potenciodinámicas corriente-voltaje desarrolladas a 3 días después de elaboradas las probetas con cementante (a) a1; (b) a2; (c) a3 (d) a4.....	219
Figura 3.54 Curvas de polarización potenciodinámicas corriente-voltaje desarrolladas a 118 días en probetas en condición b1 con cementante (a) a1; (b) a2; (c) a3 (d) a4.....	219
Figura 3.55 Curvas de polarización potenciodinámicas corriente-voltaje desarrolladas a 118 días en probetas en condición b2 con cementante (a) a1; (b) a2; (c) a3 (d) a4.....	220
Figura 3.56 Curvas de polarización potenciodinámicas corriente-voltaje desarrolladas a 118 días después de elaboradas las probetas (a) a1b1; (b) a1b2.....	220
Figura 3.57 Curvas de polarización potenciodinámicas corriente-voltaje desarrolladas a 3, 28, 42, 56, 70, 84, 98, y 118 días de edad de las probetas con cementante a1.....	221
Figura 3.58 Curvas de polarización potenciodinámicas corriente-voltaje desarrolladas a 56, 70, 84, 98, y 118 días de edad de las probetas con cementante a1 y carbonatadas artificialmente.....	221
Figura 3.59 Curvas de polarización potenciodinámicas corriente-voltaje desarrolladas a 118 días después de elaboradas las probetas (a) a2b1; (b) a2b2.....	222
Figura 3.60 Curvas de polarización potenciodinámicas corriente-voltaje desarrolladas a 3, 28, 42, 56, 70, 84, 98, y 118 días de edad de las probetas con cementante a2.....	222

Figura 3.61 Curvas de polarización potenciodinámicas corriente-voltaje desarrolladas a 56, 70, 84, 98, y 118 días de edad de las probetas con cementante a2 y carbonatadas artificialmente.....	223
Figura 3.62 Curvas de polarización potenciodinámicas corriente-voltaje desarrolladas a 118 días después de elaboradas las probetas (a) a3b1; (b) a3b2.....	223
Figura 3.63 Curvas de polarización potenciodinámicas corriente-voltaje desarrolladas a 3, 28, 42, 56, 70, 84, 98, y 118 días de edad de las probetas con cementante a3.....	224
Figura 3.64 Curvas de polarización potenciodinámicas corriente-voltaje desarrolladas a 56, 70, 84, 98, y 118 días de edad de las probetas con cementante a3 y carbonatadas artificialmente.....	224
Figura 3.65 Curvas de polarización potenciodinámicas corriente-voltaje desarrolladas a 118 días después de elaboradas las probetas (a) a4b1; (b) a4b2.....	225
Figura 3.66 Curvas de polarización potenciodinámicas corriente-voltaje desarrolladas a 3, 28, 42, 56, 70, 84, 98, y 118 días de edad de las probetas con cementante a4.....	225
Figura 3.67 Curvas de polarización potenciodinámicas corriente-voltaje desarrolladas a 56, 70, 84, 98, y 118 días de edad de las probetas con cementante a4 y carbonatadas artificialmente.....	226
Figura 3.68. Monitoreo de la constante B para los concretos con cementante (a) a1; (b) a2; (c) a3 (d) a4.....	227
Figura 3.69 Comportamiento promedio de la velocidad de corrosión evaluada con la técnica LPR para las cuatro mezclas y las dos condiciones de almacenamiento en laboratorio.....	229
Figura 3.70 Comportamiento promedio de la velocidad de corrosión evaluada con la técnica EIS para las cuatro mezclas y las dos condiciones de almacenamiento en laboratorio.....	230
Figura 3.71 Comportamiento promedio de la resistencia eléctrica del concreto evaluada con la técnica EIS para las cuatro mezclas y las dos condiciones de almacenamiento en laboratorio.....	230

Figura 3.72 Diagramas de Nyquist experimentales para probetas sin carbonatación artificial a 118 días.....	231
Figura 3.73 Diagramas de Nyquist experimentales para probetas con carbonatación artificial a 118 días.....	232
Figura 3.74 Diagramas de Nyquist experimentales para probetas de cementante a1 con carbonatación artificial a diferentes días.....	232
Figura 3.75 Diagramas de Nyquist experimentales para probetas de cementante a2 con carbonatación artificial a diferentes días.....	233
Figura 3.76 Diagramas de Nyquist experimentales para probetas de cementante a3 con carbonatación artificial a diferentes días.....	233
Figura 3.77 Diagramas de Nyquist experimentales para probetas de cementante a4 con carbonatación artificial a diferentes días.....	234
Figura 3.78 Comportamiento promedio de la velocidad de corrosión evaluada con GPT para las cuatro mezclas y las dos condiciones de almacenamiento en laboratorio.....	235
Figura 3.79 Comportamiento promedio de la resistencia eléctrica del concreto evaluada con GPT para las cuatro mezclas y las dos condiciones de almacenamiento en laboratorio.....	235
Figura 3.80 Inspección directa del estado de corrosión (a) a1b1-118 días – sin corrosión activa; (b) a1b1-140 días – sin corrosión activa.....	237
Figura 3.81 Inspección directa del estado de corrosión (a) a1b2-118 días – sin corrosión activa; (b) a1b2-140 días – zonas de corrosión localizada.....	237
Figura 3.82 Inspección directa del estado de corrosión (a) a2b1-118 días – sin corrosión activa; (b) a2b1-140 días – sin corrosión activa.....	238
Figura 3.83 Inspección directa del estado de corrosión (a) a2b2-118 días – zonas de corrosión localizada; (b) a2b2-140 días – zonas de corrosión localizada.....	238
Figura 3.84 Inspección directa del estado de corrosión (a) a3b1-118 días – sin corrosión activa; (b) a3b1-140 días – sin corrosión activa.....	239

Figura 3.85 Inspección directa del estado de corrosión (a) a3b2-118 días – zonas de corrosión localizada; (b) a3b2-140 días – zonas de corrosión localizada.....	239
Figura 3.86 Inspección directa del estado de corrosión (a) a4b1-118 días – sin corrosión activa; (b) a4b1-140 días – sin corrosión activa.....	240
Figura 3.87 Inspección directa del estado de corrosión (a) a4b2-118 días – zona de corrosión generalizada; (b) a4b2-140 días – zona de corrosión generalizada.....	240
Figura 3.88 Patrón de referencia MITUTOYO de 1 mm de espesor.....	243
Figura 3.89 Micrografías ópticas de alta resolución de concretos sin carbonatación artificial con 118 días de edad a 350x (a) a1; (b) a2; (c) a3; (d) a4.....	244
Figura 3.90 Micrografías ópticas de alta resolución de concretos con carbonatación artificial a 118 días de edad y 350x (a) a1; (b) a2; (c) a3; (d) a4.....	245
Figura 3.91 Micrografías ópticas de alta resolución de concretos de cementante a1 con aumento de 350x a la edad de (a) 3 días; (b) 7 días; (c) 28 días; (d) 56 días.....	246
Figura 3.92 Micrografías ópticas de alta resolución de concretos de cementante a2 con aumento de 350x a la edad de (a) 3 días; (b) 7 días; (c) 28 días; (d) 56 días.....	247
Figura 3.93 Micrografías ópticas de alta resolución de concretos de cementante a3 con aumento de 350x a la edad de (a) 3 días; (b) 7 días; (c) 28 días; (d) 56 día.....	247
Figura 3.94 Micrografías ópticas de alta resolución de concretos de cementante a4 con aumento de 350x a la edad de (a) 3 días; (b) 7 días; (c) 28 días; (d) 56 días.....	247
Figura 3.95 Micrografías ópticas de alta resolución de pastas con 118 días de edad a 350x (a) a1; (b) a2; (c) a3; (d) a4.....	248
Figura 3.96 Micrografías ópticas de alta resolución de pastas de cementante a1 con aumento de 350x a la edad de (a) 3 días; (b) 28 días; (c) 56 días; (d) 118 días.....	249

Figura 3.97 Micrografías ópticas de alta resolución de pastas de cementante a2 con aumento de 350x a la edad de (a) 3 días; (b) 28 días; (c) 56 días; (d) 118 días.....	250
Figura 3.98 Micrografías ópticas de alta resolución de pastas de cementante a3 con aumento de 350x a la edad de (a) 3 días; (b) 28 días; (c) 56 días; (d) 118 días.....	250
Figura 3.99 Micrografías ópticas de alta resolución de pastas de cementante a4 con aumento de 350x a la edad de (a) 3 días; (b) 28 días; (c) 56 días; (d) 118 días.....	250
Figura 3.100 Micrografías SEM de pastas a 56 días de edad (a) a1 310x; (b) a2 307x; (c) a3 337x; (d) a4 331x.....	252
Figura 3.101 Micrografías SEM de la pasta a1 con aumento de 6000x a edad de (a) 3 días; (b) 56 días.....	252
Figura 3.102 Micrografías SEM de la pasta a2 con aumento de 6000x a edad de (a) 3 días; (b) 56 días.....	252
Figura 3.103 Micrografías SEM de la pasta a3 con aumento de 6000x a edad de (a) 3 días; (b) 56 días.....	253
Figura 3.104 Micrografías SEM de la pasta a4 con aumento de 6000x a edad de (a) 3 días; (b) 56 días.....	253
Figura 3.105 Micrografías SEM de pastas a 148 días de edad, carbonatadas artificialmente a partir del día 42, aumento de 6000x (a) a1; (b) a2; (c) a3; (d) a4 agujas de ettringita en poro.....	254
Figura 3.106 Micrografías SEM de pastas a 148 días de edad, carbonatadas artificialmente a partir del día 42 (a) a1 422x; (b) a4 224x.....	254
Figura 3.107 Micrografías SEM de concretos a 118 días de edad con aumento de 3000x (a) a1; (b) a2; (c) a3; (d) a4.....	254
Figura 3.108 Velocidad de ultrasonido para concretos sin carbonatación artificial.....	262
Figura 3.109 Velocidad de ultrasonido para concretos con carbonatación artificial.....	263
Figura 4.1 Modelos generales de hidratación y carbonatación de cementantes a base de OPC y CPC (a) hidratación del OPC (b); reacción del OPC con adiciones; (c) caso del CPC adicionado.....	284

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Especificaciones ACI 318-14 para los materiales cementantes.....	54
Tabla 2.2 Principales fases mineralógicas del cemento portland.....	68
Tabla 2.3 Principales adiciones del cemento.....	70
Tabla 2.4 Rangos de composición química de escoria de alto horno en los Estados Unidos y Canadá.....	76
Tabla 2.5 Estándares del índice de actividad de la escoria.....	78
Tabla 2.6 Ejemplos de composición de ceniza volante.....	83
Tabla 2.7 Composición típica de varios materiales cementantes.....	88
Tabla 2.8 Interpretación de las magnitudes de potencial.....	126
Tabla 2.9 Velocidad de pulso longitudinal vs. calidad del concreto.....	141
Tabla 3.1 Variables independientes.....	145
Tabla 3.2 Variables dependientes y técnicas complementarias.....	149
Tabla 3.3 Grupos de unidades experimentales por día de ensayo.....	150
Tabla 3.4 Matriz de experimentos.....	158
Tabla 3.5 Programación de pruebas y cuantificación de material para especímenes de concreto.....	159
Tabla 3.6 Análisis de fisiorción de las materias primas cementantes.....	167
Tabla 3.7 Análisis de óxidos de los materiales cementantes (porcentaje en peso).....	168
Tabla 3.8 Comparación de óxidos del OPC Tipo I importado con los del CPC (porcentaje en peso).....	171
Tabla 3.9 Compuestos mayoritarios identificados con XRD (porcentaje en peso).....	173

Tabla 3.10 Análisis inmediatos de la FA.....	174
Tabla 3.11 Caracterización del agregado grueso.....	177
Tabla 3.12 Caracterización del agregado fino.....	177
Tabla 3.13 Caracterización del acero corrugado.....	179
Tabla 3.14 Cementantes seleccionados para pruebas en morteros y concretos.....	186
Tabla 3.15 Ensayos realizados en pasta (consistencia normal y tiempos de fraguado).....	190
Tabla 3.16 Ensayo de calor de hidratación realizado en pasta.....	193
Tabla 3.17 Parámetros de diseño de mezcla de concreto.....	196
Tabla 3.18 Codificación de mezclas de concreto según la composición del cementante.....	198
Tabla 3.19 Compuestos mayoritarios identificados con XRD (porcentaje en peso).....	261
Tabla 4.1 Prueba estadística ANOVA para medidas de resistencia a la compresión.....	288
Tabla 4.2 Prueba estadística ANOVA para medidas de resistencia a la carbonatación acelerada.....	289
Tabla 4.3 Prueba estadística ANOVA para medidas de resistencia a la corrosión en probetas almacenadas en ambiente de carbonatación artificial.....	290
Tabla 4.4 Comparación de cementos identificados como OPC usados en distintas referencias.....	305