

Índice de contenido

Dedicatoria.....	VII
Agradecimientos.....	IX
Resumen.....	XI
Resum.....	XIII
Abstract.....	XV
Convenciones.....	XVII
Capítulo I.....	1
1 Introducción.....	1
1.1 Motivación.....	1
1.2 Hipótesis.....	4
Capítulo II.....	5
2 Estado del arte.....	5
2.1 Escorias de cobre.....	5
2.2 Procesos de fundición del cobre.....	7
2.2.1 Proceso de fundición actual.....	7
2.2.2 Proceso de fundición de cobre en el siglo XIX.....	10
2.3 Escoriales abandonados y su efecto en el medio ambiente.....	15
2.4 Usos de la escoria de cobre en la construcción.....	23
2.5 Caracterización de las escorias de cobre.....	26
2.5.1 Composición mineralógica.....	27
2.5.2 Características físicas y mecánicas de las escorias de cobre.....	28
2.5.3 Características químicas de las escorias de cobre.....	29
2.6 Escorias de cobre en pastas de cal y pastas de cemento Pórtland.....	33
2.7 Morteros de cemento Pórtland con escoria de cobre.....	36
2.8 Morteros y pastas con escoria de cobre activada alcalinamente.....	39
Conclusiones del Capítulo Estado del arte.....	42
Capítulo III.....	45
3 Objetivos.....	45
3.1 Objetivo General.....	45
3.2 Objetivos específicos.....	45
3.3 Estructura de la tesis.....	45
Capítulo IV.....	47
4 Procedimiento Experimental.....	47
4.1 Materiales.....	47
4.1.1 Escorias de cobre (EC).....	47
4.1.2 Cemento.....	49
4.1.3 Hidróxido de calcio.....	49
4.1.4 Hidróxido de sodio.....	49
4.1.5 Silicato de sodio.....	49
4.1.6 Áridos.....	49
4.1.7 Agua.....	50
4.1.8 Otros reactivos químicos.....	50

4.1.9	Papel de filtro.....	50
4.2	Equipos y procedimientos.....	51
4.2.1	Toma de muestras in situ.....	51
4.2.2	Molienda de la EC.....	51
4.2.3	Densidad Real.....	52
4.2.4	Residuo insoluble.....	53
4.2.5	Pérdida al fuego.....	53
4.2.6	Granulometría por difracción láser.....	53
4.2.7	Fluorescencia de rayos X.....	53
4.2.8	Difracción de rayos X.....	54
4.2.9	Espectroscopía de infrarrojos por transformada de Fourier.....	54
4.2.10	Análisis termogravimétrico.....	54
4.2.11	Microscopía electrónica de barrido.....	55
4.2.12	Porosimetría por intrusión de mercurio.....	57
4.2.13	Conductividad eléctrica y pH en suspensiones acuosas.....	58
4.2.14	Pastas de cal.....	58
4.2.15	Pastas de cemento Pórtland.....	59
4.2.16	Pastas de EC activadas alcalinamente (AA EC).....	59
4.2.17	Morteros de cemento Pórtland.....	60
4.2.18	Morteros con EC activadas alcalinamente.....	62
4.2.19	Lixiviados.....	63
	Capítulo V.....	69
5	Resultados y discusión.....	69
5.1	Caracterización de las escorias de cobre.....	69
5.1.1	Caracterización química.....	69
5.1.2	Caracterización física.....	71
5.1.2.1	Densidad real, pérdida al fuego y residuo insoluble.....	71
5.1.2.2	Granulometría y morfología de las escorias de cobre.....	72
5.1.2.3	Espectroscopía infrarroja de transformada de Fourier.....	74
5.1.2.4	Análisis termogravimétrico.....	78
5.1.3	Caracterización mineralógica.....	81
	Conclusiones sobre la caracterización de las escorias de cobre.....	84
5.2	Reactividad puzolánica de las escorias de cobre.....	86
5.2.1	Reactividad de escorias de cobre en suspensiones acuosas.....	86
5.2.1.1	pH y conductividad eléctrica de suspensiones CH/EC-PN.....	87
5.2.1.2	pH y conductividad eléctrica de suspensiones CH/EC-PQ.....	93
5.2.1.3	pH y conductividad eléctrica de suspensiones CH/EC-CA.....	95
5.2.1.4	pH y conductividad eléctrica de suspensiones CH/EC-NT.....	96
5.2.1.5	pH y conductividad eléctrica de suspensiones CH/EC-SV.....	98
5.2.1.6	pH y conductividad eléctrica de suspensiones CH/EC-AN.....	99
5.2.1.7	pH y conductividad eléctrica de suspensiones CH/EC-HV.....	100
	Conclusiones sobre la reactividad de las escorias de cobre en suspensiones acuosas.....	104
5.2.2	Actividad puzolánica en pastas de cal/escorias de cobre (CH/EC).....	106
5.2.2.1	Pastas de cal/escoria de cobre Playa Negra (PN).....	107
5.2.2.2	Pastas de cal/escoria de cobre Púquios (PQ).....	112
5.2.2.3	Pastas de cal/escoria de cobre Huelva (HV).....	116

Conclusiones sobre la actividad puzolánica en pastas de CH/EC.....	120
5.2.3 Reactividad de escorias de cobre en pastas de cemento Pórtland	122
5.2.3.1 Reactividad en pastas de cemento Pórtland/escoria de cobre Playa Negra.....	123
5.2.3.1.1 Porosimetría por intrusión de mercurio en morteros de control y CP/EC-PN.....	127
5.2.3.2 Reactividad en pastas de cemento Pórtland/escoria de cobre Púquios.....	129
5.2.3.3 Reactividad en pastas de cemento Pórtland/escoria de cobre Huelva.....	134
Conclusiones sobre la actividad puzolánica en pastas de CP/EC.....	139
5.2.4 Reactividad en pastas de escorias de cobre activadas alcalinamente	139
5.2.4.1 Pastas de EC-PN activadas alcalinamente.....	139
5.2.4.2 Pastas de EC-PQ activadas alcalinamente.....	143
5.2.4.3 Pastas de EC-HV activadas alcalinamente.....	146
Conclusiones sobre la reactividad de las escorias de cobre activadas alcalinamente.....	149
5.2.5 Resistencia a compresión de morteros con sustitución de cemento Pórtland por escoria de cobre.....	150
5.2.5.1 Resistencia a compresión de morteros con sustitución de cemento Pórtland por escoria de cobre Playa Negra.....	152
5.2.5.2 Resistencia a compresión de morteros con sustitución de cemento Pórtland por escoria de cobre Púquios.....	154
5.2.5.3 Resistencia a compresión de morteros con sustitución de cemento Pórtland por escoria de cobre Canto del Agua.....	156
5.2.5.4 Resistencia a compresión de morteros con sustitución de cemento Pórtland por escoria de cobre Nantoco.....	159
5.2.5.5 Resistencia a compresión de morteros con sustitución de cemento Pórtland por escoria de cobre Salvador.....	162
5.2.5.6 Resistencia a compresión de morteros con sustitución de cemento Pórtland por escoria de cobre Altonorte.....	164
5.2.5.7 Resistencia a compresión de morteros con sustitución de cemento Pórtland por escoria de cobre Huelva.....	167
5.2.5.8 Algunas consideraciones respecto al parámetro Ganancia de Resistencia.....	169
5.2.5.9 Resistencias mecánicas de morteros con diferentes sustituciones de CP por EC-HV. Influencia de la relaciones w/binder y árido/binder.....	171
Conclusiones sobre la resistencia a compresión en morteros de cemento..	174
5.2.6 Resistencia a compresión de morteros de escoria de cobre activada alcalinamente (AA).....	175
5.2.6.1 Resistencia a compresión de morteros AA EC-PN.....	176
5.2.6.2 Resistencia a compresión de morteros AA EC-PQ.....	178
5.2.6.3 Resistencia a compresión de morteros AA EC-CA.....	180
5.2.6.4 Resistencia a compresión de morteros AA EC-NT.....	182
5.2.6.5 Resistencia a compresión de morteros AA EC-SV.....	184

5.2.6.6 Resistencia a compresión de morteros AA EC-AN.....	185
5.2.6.7 Resistencia a compresión de morteros AA EC-HV.....	187
5.2.6.8 Resumen de los valores de resistencias mecánicas para las escorias de cobre activada alcalinamente.....	189
Conclusiones sobre resistencia a compresión de EC activadas alcalinamente	193
5.3 Aspectos medioambientales.....	194
5.3.1 Análisis químico del material de partida.....	194
5.3.2 Ensayo de disponibilidad y capacidad de neutralización ácida de pastas de CP/EC y EC activadas alcalinamente.....	197
5.3.2.1 Disponibilidad en pastas CP/EC.....	198
5.3.2.2 Disponibilidad en pastas ECAA.....	200
5.3.2.3 Capacidad de neutralización ácida de pastas CP/EC y pastas ECAA.....	202
Conclusiones sobre aspectos medioambientales.....	205
Capítulo VI.....	207
6 Conclusiones generales.....	207
6.1 Caracterización de las escorias de cobre.....	207
6.2 Reactividad puzolánica de escorias de cobre en suspensiones acuosas	207
6.3 Actividad puzolánica en pastas de CH/EC.....	207
6.4 Actividad puzolánica en pastas de cementos.....	208
6.5 Reactividad de pastas con escorias activadas alcalinamente.....	208
6.6 Resistencia a la compresión de morteros de cemento.....	208
6.7 Resistencia a la compresión de morteros con escorias de cobre activadas alcalinamente.....	209
6.8 Aspectos medioambientales.....	210
6.9 Conclusión general.....	211
Capítulo VII.....	213
7 Líneas futuras de investigación.....	213
Capítulo VIII.....	215
8 Referencias.....	215

Índice de figuras

Figura 1.1: Producción de cemento y escorias de cobre en Chile periodo 2010-13....	3
Figura 2.1: Vertido y enfriamiento al aire de escoria de cobre de una fundición actual. [Foto: Carlos Danyau].....	6
Figura 2.2: Proceso simplificado de la producción de cobre en la actualidad.....	9
Figura 2.3: Obtención de ánodos. a) horno refinación y b) moldeo de ánodos.....	9
Figura 2.4: Chimeneas de fundición de cobre del siglo XIX. Labrar, Atacama, Chile.	10
Figura 2.5: Barra de cobre fundida a principios del siglo XIX.....	11
Figura 2.6: Procedimientos metalúrgicos del cobre usados en Chile en el S. XIX. a) antiguo, y b) reformado.....	12
Figura 2.7: Vertederos de residuos mineros: relaves hidrometalúrgicos y escorias de fundición de cobre. Canto del Agua, Atacama, Chile.....	13
Figura 2.8: Antiguos vertederos de escorias de cobre, Atacama- Chile.....	14
Figura 2.9: Moldeo de escorias de cobre usadas en algunas fundiciones chilenas. a) forma semi-ovoide, b) prismática, c) cónica y d) prismática plana.....	14
Figura 2.10: Jerarquía de los residuos y su relación con costes e impacto medioambiental.....	16
Figura 2.11: Efectos del vertido y abandono de escorias de cobre.....	17
Figura 2.12: Uso de escorias antiguas como árido en hormigones. a) y b). En pavimento: c) bloques de EC unidos por arena y d) bloques de EC con ladrillos refractarios.....	25
Figura 2.13: Uso de escorias antiguas como mampuesto. a) Muro en la localidad de Chañaral, b) muro de contención en Carrizal Bajo, c) estanque de agua en Playa Negra, y d) estanque en Canto del Agua.....	26
Figura 4.1: Muestra original escoria de cobre: a) Púquios, b) Huelva.....	48
Figura 4.2: Vistas de vertederos y calicatas practicadas para la toma de muestras de escorias de cobre antiguas.....	52
Figura 4.3: Equipo ICP utilizado en la determinación de concentraciones de metales pesados en EC y pastas.....	68
Figura 5.1: Óxidos mayoritarios contenidos en las EC y CP.....	71
Figura 5.2: Curvas de distribución de tamaño de partículas. a) CP, b) EC antiguas, c)	

EC modernas.....	73
Figura 5.3: Micrografías FESEM a 1000X de las escorias molidas: a) EC-PN, b) EC-PQ, c) EC-CA, d) EC-NT, e) EC-SV, f) EC-AN y g) EC-HV.....	74
Figura 5.4: Espectros FTIR de las escorias de cobre molidas.....	75
Figura 5.5: TG y DTG escorias de cobre antiguas.....	79
Figura 5.6: TG y DTG de escorias de cobre modernas.....	80
Figura 5.7: Difractogramas de DRX de escorias de cobre antiguas.....	82
Figura 5.8: Difractogramas de DRX de las escorias de cobre modernas.....	83
Figura 5.9: Medidas de conductividad eléctrica de suspensiones 0/10 a 60°C.....	86
Figura 5.10: Medidas de conductividad eléctrica (σ) y pH de la suspensión CH/EC-PN=0/10 a 40, 50 y 60°C.....	88
Figura 5.11: Medidas de pH de suspensiones CH/EC-PN a 40°C	88
Figura 5.12: Medidas de pH de suspensiones CH/EC-PN a 50°C	89
Figura 5.13: Medidas de pH de suspensiones CH/EC-PN a 60°C.....	89
Figura 5.14: DTG suspensiones CH/EC-PN a 60°C.....	90
Figura 5.15: Pérdida de conductividad eléctrica de suspensiones CH/EC-PN a 40°C.	92
Figura 5.16: Pérdida de conductividad eléctrica de suspensiones CH/EC-PN a 50°C	92
Figura 5.17: Pérdida de conductividad eléctrica de suspensiones CH/EC-PN a 60°C.	93
Figura 5.18: Medidas de pH de suspensiones CH/EC-PQ a 60°C	94
Figura 5.19: Pérdida de conductividad eléctrica de suspensiones CH/EC-PQ a 60°C.	94
Figura 5.20: Medidas de pH de suspensiones CH/EC-CA a 60°C.....	95
Figura 5.21: Pérdida de conductividad eléctrica suspensiones CH/EC-CA a 60°C..	96
Figura 5.22: Medidas de pH de suspensiones CH/EC-NT a 60°C.....	97
Figura 5.23: Pérdida de conductividad eléctrica suspensiones CH/EC-NT a 60°C..	97
Figura 5.24: Medidas de pH de suspensiones CH/EC-SV.....	98
Figura 5.25: Pérdida de conductividad eléctrica de suspensiones CH/EC-SV.....	98

Figura 5.26: Medidas de pH de suspensiones CH/EC-AN.....	99
Figura 5.27: Pérdida de conductividad eléctrica de suspensiones CH/EC-AN.....	99
Figura 5.28: Medidas de pH de suspensiones CH/EC-HV a 40 y 60°C.....	100
Figura 5.29: Pérdida de conductividad eléctrica de suspensiones CH/EC-HV a 40 y 60°C.....	101
Figura 5.30: Curvas de regresión de Lc para CH/EC=1/9 a 60°C.....	102
Figura 5.31: Resultados de insaturación de suspensiones CH/EC=1/9 a 60°C.....	104
Figura 5.32: DTG de pastas CH/EC-PN curadas a 20 y 40°C.....	107
Figura 5.33: Espectros FTIR de pastas CH/EC-PN.....	110
Figura 5.34: Micrografías de EC-PN original y pastas CH/EC-PN curadas a 28 y 90 días a 20°C y 40°C.....	111
Figura 5.35: DTG de pastas CH/EC-PQ curadas a 40°C y 20°C.....	112
Figura 5.36: Espectros FTIR de pastas CH/EC-PQ.....	114
Figura 5.37: Micrografías de EC-PQ original y de pastas CH/EC-PQ curadas a 90 días a 20°C y 40°C.....	115
Figura 5.38: DTG de pastas CH/EC-HV curadas a 20°C y 40°C.....	116
Figura 5.39: FTIR pastas de CH/EC-HV curadas a 20°C y 40°C.....	118
Figura 5.40: Micrografías de EC-HV original y pastas CH/EC-HV curadas a 28 días a 20 y 40°C.....	119
Figura 5.41: Micrografías de pastas CH/EC-HV curadas a 90 días y 20°C.....	120
Figura 5.42: Fijación de cal en pastas CH/EC.....	121
Figura 5.43: DTG pastas CP/EC-PN.....	124
Figura 5.44: Espectros FTIR pastas CP/EC-PN. a) 30%EC-PN, b) 50% EC-PN y c) comparación de pastas 30 y 50% EC-PN a 90 días.....	126
Figura 5.45: Micrografías de EC-PN original y de pastas CP/EC-PN.....	127
Figura 5.46: Curvas de intrusión de mercurio en muestras de mortero control y CP25.....	128
Figura 5.47: DTG pastas CP/EC-PQ.....	129
Figura 5.48: Espectros FTIR EC-PQ original y de pastas CP/EC-PQ.....	133
Figura 5.49: Micrografías de EC-PQ original y de pastas CP/EC-PQ.....	134

Figura 5.50: DTG Pastas CP/EC-HV.....	135
Figura 5.51: FTIR pasta de CP/EC-HV a 28 días de curado.....	137
Figura 5.52: Micrografías FESEM pastas CP/EC-HV.....	138
Figura 5.53: Curvas DTG de pastas con EC-PN activada alcalinamente.....	140
Figura 5.54: Espectros FTIR pastas de EC-PN activadas alcalinamente.....	141
Figura 5.55: Micrografías de EC.PN original y de pastas con EC-PN activadas alcalinamente.....	142
Figura 5.56: Curvas DTG de pastas con EC-PQ activada alcalinamente.....	143
Figura 5.57: Espectros FTIR pastas de EC-PQ activadas alcalinamente.....	144
Figura 5.58: Micrografías SEM de EC-PQ original y de pastas con EC-PQ activadas alcalinamente.....	145
Figura 5.59: Curvas DTG de pastas con EC-HV activada alcalinamente.....	147
Figura 5.60: Espectros FTIR pastas de EC-HV activadas alcalinamente.....	148
Figura 5.61: Micrografías FESEM de pastas con EC-HV activadas alcalinamente.....	149
Figura 5.62: Resistencia a la compresión morteros con sustitución de CP por EC-PN.....	154
Figura 5.63: Resistencia a la compresión morteros con sustitución de CP por EC-PQ.....	156
Figura 5.64: Resistencia a la compresión morteros con sustitución de CP por EC-CA.....	159
Figura 5.65: Resistencia a la compresión morteros con sustitución de CP por EC-NT.....	161
Figura 5.66: Resistencia a la compresión morteros con sustitución de CP por EC-SV.....	164
Figura 5.67: Resistencia a la compresión morteros con sustitución de CP por EC-AN.....	166
Figura 5.68: Resistencia a la compresión morteros con sustitución de CP por EC-HV.....	169
Figura 5.69: Valores de ganancia de resistencia (SG) en morteros CP/EC.....	171
Figura 5.70: Curva de fluidez de morteros CP/EC-HV.....	173
Figura 5.71: Resistencias a compresión de morteros AA EC-PN curados a 20 y 65°C.....	177

Figura 5.72: Resistencias a compresión de morteros AA EC-PQ curados a 20 y 65°C.	180
Figura 5.73: Resistencias a compresión de morteros AA EC-CA curados a 20 y 65°C.	182
Figura 5.74: Resistencias a compresión de morteros AA EC-NT curados a 20 y 65°C.	183
Figura 5.75: Resistencias a compresión de morteros AA EC-SV con 5% de hidróxido cálcico curados a 20 y 65°C.....	185
Figura 5.76: Resistencias a compresión de morteros AA EC-AN curados a 20 y 65°C.	187
Figura 5.77: Resistencias a compresión de morteros AA EC-HV curados a 20 y 65°C.	189
Figura 5.78: Resistencias a compresión de EC activadas alcalinamente a 20°C....	190
Figura 5.79: Resistencias a compresión de EC activadas alcalinamente a 65°C....	191
Figura 5.80: Correlación entre el contenido de CaO y la resistencia a compresión de morteros con EC antiguas activadas alcalinamente curadas a 20°C.....	192
Figura 5.81: Correlación entre el contenido de CaO y la resistencia a compresión de morteros con EC antiguas activadas alcalinamente curadas a 65°C.....	192
Figura 5.82: Ataque ácido del material de partida en ciclos de ebullición en el baño de arena, previo a la determinación de metales.....	195
Figura 5.83: Disponibilidades de Cu y Zn de pastas CP/EC.....	199
Figura 5.84: Capacidad de neutralización ácida (ANC) de pastas CP/EC.....	203
Figura 5.85: Capacidad de neutralización ácida (ANC) de pastas con ECAA a 20°C y 65°C.....	203
Figura 5.86: Comparativa de ANC v/s tiempo entre las pastas control, PNAA-20 y PNAA-65 a pH7.....	204

Índice de Tablas

Tabla 2.1: Propiedades físicas y mecánicas de las escorias de cobre [73].....	28
Tabla 2.2: Elementos químicos de las escorias de cobre reportados en la literatura, % en peso [31].....	30
Tabla 2.3: Elementos químicos traza de las escorias de cobre reportados en la literatura, en mg/kg [31].....	31
Tabla 2.4: Límites de lixiviabilidad de metales pesados según normas MEQO y USEPA.....	32
Tabla 4.1: Coordenadas de ubicación de escoriales.....	48
Tabla 4.2: Composición química y pérdida al fuego del cemento Portland, % en peso.....	49
Tabla 4.3: Parámetros de diseño utilizados en pastas AA EC.....	60
Tabla 4.4: Dosificación de morteros de CP con sustitución de EC.....	62
Tabla 4.5: Nomenclatura de pastas en ensayo de lixiviación.....	66
Tabla 4.6: Volúmenes de los patrones en ICP-OES.....	67
Tabla 4.7: Concentraciones de los patrones en ICP-OES.....	68
Tabla 5.1: Composición química y otros parámetros físicos de CP y EC.....	70
Tabla 5.2: Diámetro medio y tiempo de molienda de las escorias.....	72
Tabla 5.3: Bandas FTIR de escorias de cobre.....	76
Tabla 5.4: Variaciones de masa y sus rangos obtenidos por termogravimetría.....	78
Tabla 5.5: Ecuaciones de regresión de suspensiones CH/EC=1/9 a 60°C.....	103
Tabla 5.6: Resultados de insaturación de suspensiones CH/EC.....	103
Tabla 5.7: Pérdidas de masa y cal fijada de pastas CH/EC-PN=1/1, curadas a 20 y 40°C.....	108
Tabla 5.8: Pérdidas de masa y cal fijada de pastas CH/EC-PQ=1/1, curadas a 20 y 40°C.....	113
Tabla 5.9: Pérdidas de masa y cal fijada de pastas CH/EC-HV=1/1, curadas a 20 y 40°C.....	117
Tabla 5.10: Pérdidas de masa y fijación de cal en pastas de CP/EC-PN.....	124
Tabla 5.11: Datos de PIM para morteros CP y CP25 curados a 28 días.....	128
Tabla 5.12: Pérdidas de masa y fijación de cal en pastas de CP/EC-PQ.....	130
Tabla 5.13: Pérdidas de masa y fijación de cal en pastas CP/EC-HV.....	136
Tabla 5.14: Pérdidas de masa pastas AA EC-PN, en %.....	140
Tabla 5.15: Pérdidas de masa en pastas AA EC-PQ, en %.....	144
Tabla 5.16: Pérdidas de masa en pastas AA EC-HV, en %.....	146
Tabla 5.17: Resistencias a compresión de morteros con sustitución de CP por EC Playa Negra por un 25%.....	153
Tabla 5.18: Ganancia de resistencia e Índice de Actividad Resistente en morteros CP/EC-PN.....	154
Tabla 5.19: Resistencias a compresión de morteros con sustitución de CP por EC Púquios por un 25%.....	155
Tabla 5.20: Ganancia de resistencia e Índice de Actividad Resistente en morteros CP/EC-PQ.....	156
Tabla 5.21: Resistencias a compresión de morteros con sustitución de CP por EC	

Canto del Agua por un 25%.....	157
Tabla 5.22: Ganancia de resistencia e Índice de Actividad Resistente en morteros CP/EC-CA.....	158
Tabla 5.23: Resistencias a compresión de morteros con sustitución de CP por EC Nantoco por un 25%.....	160
Tabla 5.24: Ganancia de resistencia e Índice de Actividad Resistente en morteros CP/EC-NT.....	161
Tabla 5.25: Resistencias a compresión de morteros con sustitución de CP por EC Salvador por un 25%.....	162
Tabla 5.26: Ganancia de resistencia e Índice de Actividad Resistente en morteros CP/EC-SV.....	163
Tabla 5.27: Resistencias a compresión de morteros con sustitución de CP por EC Altonorte por un 25%.....	165
Tabla 5.28: Ganancia de resistencia e Índice de Actividad Resistente en morteros CP/EC-AN.....	166
Tabla 5.29: Resistencias a compresión de morteros con sustitución de CP por EC Huelva por un 25%.....	167
Tabla 5.30: Ganancia de resistencia e Índice de Actividad Resistente en morteros CP/EC-HV.....	168
Tabla 5.31: Resistencia a compresión de morteros de CP/EC-HV y desviación estándar para relaciones árido/binder=3/1 y w/binder=0,45.....	172
Tabla 5.32: Resistencia a compresión de morteros de CP/EC-HV y desviación estándar para relaciones árido/binder=3/1 y w/binder=0,40.....	172
Tabla 5.33: Resistencia a compresión de morteros de CP/EC-HV y desviación estándar para relaciones árido/binder=2/1 y w/binder=0,35.....	172
Tabla 5.34: Ganancia de resistencia de morteros CP/EC-HV, (% de sustitución).....	174
Tabla 5.35: Resistencia a compresión de morteros AA EC-PN curados a 20°C.....	176
Tabla 5.36: Resistencia a compresión de morteros AA EC-PN curados a 65°C.....	177
Tabla 5.37: Resistencia a compresión de morteros AA EC-PQ curados a 20°C.....	178
Tabla 5.38: Resistencia a compresión de morteros AA EC-PQ curados a 65°C.....	179
Tabla 5.39: Resistencia a compresión de morteros AA EC-CA curados a 20°C.....	181
Tabla 5.40: Resistencia a compresión de morteros AA EC-CA curados a 65°C.....	181
Tabla 5.41: Resistencia a compresión de morteros AA EC-NT curados a 20°C.....	182
Tabla 5.42: Resistencia a compresión de morteros AA EC-NT curados a 65°C.....	183
Tabla 5.43: Resistencia a compresión de morteros AA EC-SV curados a 20°C.....	184
Tabla 5.44: Resistencia a compresión de morteros AA EC-SV con adición de 5% de CH curados a 65°C.....	185
Tabla 5.45: Resistencia a compresión de morteros AA EC-AN con 5% de CH, curados a 20°C.....	186
Tabla 5.46: Resistencia a compresión de morteros AA EC-AN con 5% de CH, curados a 65°C.....	186
Tabla 5.47: Resistencia a compresión de morteros AA EC-HV curados a 20°C.....	188
Tabla 5.48: Resistencia a compresión de morteros AA EC-HV curados a 65°C.....	188
Tabla 5.49: Concentraciones de elementos contaminantes de las escorias de cobre, mg/kg.....	196
Tabla 5.50: Relación de valores de óxidos obtenidos por FRX y por ICP.....	196
Tabla 5.51: Disponibilidad de los metales presentes en los lixiviados de pastas	

Caracterización y determinación de las propiedades cementantes de escorias de fundición de cobre del siglo XIX de la Región de Atacama, Chile, para su uso en construcción

CP/EC.....	198
Tabla 5.52: Valores de disponibilidad en pastas ECAA.....	200
Tabla 5.53: Niveles de retención (LR) de metales pesados en pastas de EC activadas alcalinamente a pH4 y pH7, en %.....	202