

Tabla de contenido

1	Introducción.....	1
1.1	Introducción general.....	1
1.2	Impacto ambiental centrales termoeléctricas.....	2
1.2.1	Matriz energética mundial.....	2
1.2.2	Matriz energética en Chile.....	3
1.2.3	Problema ambiental asociado a centrales termoeléctricas carboneras.....	4
1.2.4	Producción de ceniza proveniente de plantas termoeléctricas.....	4
1.3	Impacto ambiental hormigón convencional.....	5
1.4	Objetivos.....	6
1.4.1	Objetivos generales.....	6
1.4.2	Objetivos específicos.....	6
2	Antecedentes.....	7
2.1	Geopolímeros.....	7
2.2	Componentes de los geopolímeros.....	7
2.2.1	Fuente de aluminosilicatos.....	7
2.2.1.1	Ceniza volante.....	8
2.2.1.2	Escoria de alto horno.....	9
2.2.1.3	Microsílice.....	10
2.2.2	Activador alcalino.....	10
2.3	Modelo Geopolimerización.....	11
2.3.1	Modelo conceptual de la geopolimerización.....	11
2.3.2	Modelo descriptivo geopolimerización ceniza volante.....	12
2.4	Hormigón geopolimérico.....	14
3	Planteamiento de la investigación.....	16
3.1	Introducción.....	16
3.2	Programa de ensayo.....	17
4	Materiales.....	20
4.1	Fuentes de aluminosilicatos.....	20
4.1.1	Ceniza Volante.....	20
4.1.2	Escoria de alto horno.....	22

4.1.3	Microsílice	24
4.2	Solución Alcalina	24
4.2.1	Hidróxido de Sodio	24
4.2.2	Silicato de Sodio	25
4.3	Áridos	26
4.4	Aditivo Reductor de Agua	26
5	Trabajo en laboratorio	27
5.1	Trabajo preliminar.....	27
5.2	Dosificación final mezcla.....	29
5.2.1	Ceniza volante (CV)	29
5.2.2	Solución alcalina (SA)	29
5.2.3	Agregados	29
5.2.4	Superplastificante.....	30
5.2.5	Agua extra.....	30
5.3	Dosificación teórica	30
5.4	Procedimiento en laboratorio.....	31
5.4.1	Preparación previa de materiales	31
5.4.2	Mezclado.....	31
5.4.3	Colocación y compactación	33
5.4.4	Curado.....	34
5.4.5	Ensayos	34
6	Presentación y análisis de resultados.....	35
6.1	Composición fuente de aluminosilicatos.....	35
6.1.1	Porcentaje de pérdida por calcinación (LOI) de ceniza volante	35
6.1.2	Ceniza con adición de escoria de alto horno.....	37
6.1.3	Ceniza con adición de microsílice	39
6.2	Composición solución alcalina	40
6.2.1	Concentración de la solución de hidróxido de sodio	40
6.2.2	Composición de silicato de sodio	42
6.3	Aditivos mezcla geopolimérica	43
6.3.1	Contenido de agua extra.....	43
6.3.2	Superplastificante.....	44
6.4	Condiciones de curado	46

6.4.1	Temperatura de curado	46
6.4.2	Periodo de descanso	47
6.5	Granulometría áridos.....	48
7	Discusión y conclusiones	49
8	Bibliografía	51
9	Anexo A.....	54

Índice de tablas

Tabla 1: Especificaciones para las cenizas según ASTM C618.....	9
Tabla 2: Especificaciones para Microsílice según ASTM C1240.....	10
Tabla 3: Detalle de mezclas 1 a 9.....	18
Tabla 4: Detalle de mezclas 10 a 19.....	19
Tabla 5: Composición de ceniza volante determinada por FRX (% masa).....	20
Tabla 6: Composición escoria determinada por FRX (% masa).....	22
Tabla 7: Datos técnicos de microsíllice.....	24
Tabla 8: Análisis físico químico Silicato de Sodio 2.0.....	25
Tabla 9: Análisis físico químico Silicato de Sodio 30 °Be.....	25
Tabla 10: Análisis físico químico Silicato de sodio 38-39 °Be.....	25
Tabla 11: Análisis físico químico Silicato de Sodio 50-52 °Be.....	26
Tabla 12: Granulometría arena fina.....	26
Tabla 13: Densidades y Resistencias mecánicas según LOI.....	36
Tabla 14: Densidades y Resistencias mecánicas según edad de ensayo.....	37
Tabla 15: Densidades y Resistencias mecánicas según edad de ensayo.....	38
Tabla 16: Densidades y resistencias mecánicas según temperatura de curado.....	39
Tabla 17: Comparación propiedades entre mezcla con ceniza y otra con microsíllice.....	39
Tabla 18: Densidades y resistencias mecánicas según molaridad NaOH.....	40
Tabla 19: Tipos de silicatos con su caracterización fisicoquímica.....	42
Tabla 20: Densidades y resistencias mecánicas según tipo de silicato.....	42
Tabla 21: Densidades y Resistencias mecánicas según contenido de agua extra.....	43
Tabla 22: Densidades y resistencias mecánicas según cantidad de superplastificante.....	45
Tabla 23: Densidades y resistencias mecánicas según temperatura de curado.....	46
Tabla 24: Densidades y Resistencias mecánicas según periodo de descanso.....	47
Tabla 25: Distribución granulométrica, continua y discontinua.....	48
Tabla 26: Densidades y resistencias mecánicas según granulometría de áridos.....	48
Tabla 27: Propiedades mezclas de 1 a 4.....	54
Tabla 28: Propiedades mezclas de 5 a 13.....	55
Tabla 29: Propiedades mezclas de 14 a 19.....	56

Índice de figuras

Figura 1: Consumo energético mundial año 2015.....	2
Figura 2: Distribución y capacidad energética instalada del SING y SIC en el mes de Diciembre de 2016.....	3
Figura 3: Etapas de la Geopolimerización.....	12
Figura 4: Modelo descriptivo de la activación alcalina de ceniza volante.	13
Figura 5: Ceniza volante.....	20
Figura 6: Distribución de tamaño de partícula.	21
Figura 7: Distribución de tamaño de partículas bajo tamiz #100.	21
Figura 8: Molino de bolas, planta piloto IDIEM.	23
Figura 9: Escoria de alto horno. A la izquierda, escoria sin procesar y a la derecha, escoria luego de ser molida.	23
Figura 10: Influencia cantidad de áridos en resistencia a compresión de la mezcla con razón solución alcalina/ceniza volante de 0,65.	28
Figura 11: Influencia razón solución alcalina/ceniza volante en resistencia a compresión de la mezcla con 65% de áridos.	28
Figura 12: Materiales para fabricar hormigón geopolimérico.....	31
Figura 13: Mezcladora.....	32
Figura 14: Adición de componentes líquidos a la mezcla seca.	32
Figura 15: Pasta geopolimérica.	33
Figura 16: Compactación.....	33
Figura 17: Horno para curado térmico seco.	34
Figura 18: (a) Ensayo a flexotracción (b) Ensayo a compresión.....	34
Figura 19: Efecto de LOI sobre resistencia a compresión.....	36
Figura 20: Desarrollo de resistencia a compresión de mezclas con ceniza volante y con adición de escoria.	38
Figura 21: Resistencia a compresión con respecto a la concentración molar de NaOH.	41
Figura 22: Efecto tipo de silicato de sodio sobre resistencia a compresión.	43
Figura 23: Influencia cantidad de agua sobre resistencia a compresión.....	44
Figura 24: Influencia cantidad de aditivo sobre resistencia a compresión.	45
Figura 25: Influencia de temperatura de curado sobre resistencia a compresión.	46
Figura 26: Efecto del periodo de descanso sobre resistencia a compresión.	47