

ÍNDICE CONTENIDO

	Página
RESUMEN EJECUTIVO	i
ÍNDICE TABLAS.....	v
ÍNDICE IMÁGENES.	viii
ÍNDICE GRÁFICOS.	xii
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 Origen del hormigón.....	3
2.2 Fabricación del hormigón.....	4
2.3 Componentes del hormigón.....	6
2.3.1 Cemento.....	6
2.3.1.1 Clasificación del cemento.....	6
2.3.1.2 Componentes del cemento.....	7
2.3.2 Árido.....	8
2.3.2.1 Árido grueso.....	8
2.3.2.2 Árido fino.....	8
2.3.3 Agua.....	8
2.3.4 Aditivos.....	9
2.4 Propiedades del hormigón.....	9
2.4.1 Hormigón armado	9
2.4.2 Propiedades del hormigón fresco.....	10
2.4.2.1 Consistencia.....	10
2.4.2.2 Docilidad.....	11
2.4.2.3 Homogeneidad.....	12
2.4.2.4 Peso específico.....	12
2.4.3 Propiedades del hormigón endurecido.....	13
2.4.3.1 Densidad o masa específica.....	13
2.4.3.2 Compacidad.....	13
2.4.3.3 Permeabilidad.....	14
2.4.3.4 Resistencia al desgaste.....	15

	Página
2.4.3.5 Resistencia al fuego.	15
2.5 Clasificación del hormigón.	15
2.5.1 Resistencia a compresión.	16
2.5.2 Resistencia a flexotracción.	17
2.6 Fábricas de hormigón en Chile.	18
2.7 Cartón.	19
2.7.1 Definición.	19
2.7.2 Propiedades.	20
2.7.3 Composición.	20
2.7.4 Fabricación.	20
2.8 Viruta metálica.	21
2.8.1 Definición.	21
2.8.2 Propiedades.	21
2.8.3 Composición.	22
2.8.4 Fabricación.	22
2.9 Estado del arte.	23
2.10 Tipos de construcción en Chile.	27
2.10.1 Clasificación según el material.	27
2.10.2 Plan regulador.	28
2.11 Normativa general.	29
2.11.1 Principal normativa relacionada con el hormigón.	29
2.11.2 Modificaciones de la Normativa a través del tiempo.	30
CÁPITULO III DESARROLLO.	31
3.1 Metodología.	31
CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE ÁRIDOS.	33
4.1 Granulometría.	33
4.2 Determinación de áridos finos menores a 0,08 mm.	33
4.3 Densidad aparente.	34
4.4 Peso específico y absorción de agua.	34
CAPÍTULO V CONFECCIÓN DE PROBETAS.	37
5.1 Dosificación de hormigón por método Faury.	37
5.1.1 Determinación resistencia de diseño.	37
5.1.2 Determinación de la cantidad de cemento por m ³ de hormigón.	37
5.1.3 Determinación razón agua/cemento.	38

	Página
5.1.4 Determinación agua de amasado.....	39
5.1.5 Determinación de la compacidad (z) y las proporciones de la mezcla (%).	39
5.1.6 Determinación del agua de absorción.	43
5.2 Variación de grava sustituida por cartón.....	44
5.3 Docilidad del hormigón	47
CAPÍTULO VI ENSAYOS	48
6.1 Ensayo a compresión	48
6.2 Ensayo a flexotracción, 28 días.....	50
6.3 Ensayo térmico.....	51
CAPÍTULO VII RESULTADOS OBTENIDOS	54
7.1 Resistencia a compresión.	54
7.1.1 Cálculo de Desviación Estándar	54
7.2 Resistencia a flexotracción.	60
7.3 Ductilidad y Módulo de Elasticidad.....	61
7.3 Resistencia térmica.	64
CAPÍTULO VIII ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	67
8.1 Análisis de resistencias mecánicas y térmicas de las probetas.	67
CAPÍTULO IX MODELACIÓN ESTRUCTURAL.	73
9.1 Resumen de datos a utilizar.	73
9.2 Análisis del tipo de estructura a modelar.	73
9.3 Ensayo estructural.....	77
9.4 Resultados obtenidos.	83
9.5 Análisis de resultados.	85
9.6 Estudio económico del hormigón.	91
CAPÍTULO X CONCLUSIONES.....	95
Bibliografía	98

ÍNDICE TABLAS

	Página
Tabla 1 / Evolución de la resistencia a compresión de un hormigón Portland normal.....	5
Tabla 2 / Consistencia de hormigones.....	10
Tabla 3 / Influencia de algunos factores en la docilidad del hormigón.....	12
Tabla 4 / Principales métodos de consolidación.....	14
Tabla 5 / Clasificación de los hormigones por resistencia a compresión.....	16
Tabla 6 / Clasificación de los hormigones por resistencia a flexotracción.....	18
Tabla 7 / Estado del arte, tipos de hormigón.....	23
Tabla 8 / Estado del arte, tipos de hormigón.....	24
Tabla 9 / Estado del arte, tipos de hormigón.....	25
Tabla 10 / Estado del arte, hormigones con agregados de papel.....	26
Tabla 11 / Granulometría.....	33
Tabla 12 / Peso áridos, determinación impurezas.....	33
Tabla 13 / Densidad aparente.....	34
Tabla 14 / Peso, arena.....	34
Tabla 15 / Densidad y absorción de la arena.....	35
Tabla 16 / Peso, grava.....	35
Tabla 17 / Densidad y absorción de la grava.....	35
Tabla 18 / Peso, cartón.....	36
Tabla 19 / Densidad y absorción del cartón.....	36
Tabla 20 / Factor corrección.....	37
Tabla 21 / Factor de acuerdo al tipo de cemento.....	38
Tabla 22 / Relación agua / cemento.....	38
Tabla 23 / Interpolación lineal.....	38
Tabla 24 / Aire ocluido de acuerdo a tamaño máximo del árido.....	39
Tabla 25 / Valor de M, según consistencia y compactación requerida.....	40
Tabla 26 / Valor de N, según tamaño máximo del árido.....	41
Tabla 27 / Porcentajes de áridos.....	42
Tabla 28 / Porcentajes de áridos para G-30.....	43
Tabla 29 / Cantidad de material por m ³ para hormigón G-30.....	44
Tabla 30 / Porcentaje de áridos para G-30.....	44
Tabla 31 / Porcentaje de áridos, variación 5 %.....	44
Tabla 32 / Cantidad de áridos, variación 5 %.....	45

	Página
Tabla 33 / Cantidad de agua total, variación 5 %.....	45
Tabla 34 / Tabla de resumen, variación 5 %.....	45
Tabla 35 / Tabla de resumen, variación 10 %.....	46
Tabla 36 / Tabla de resumen, variación 15 %.....	46
Tabla 37 / Consistencia de hormigones.....	47
Tabla 38 / Resultados obtenidos Cono de Abrams.....	47
Tabla 39 / Ejemplo cálculo de dimensiones y peso para probeta cúbica.....	48
Tabla 40 / Dimensiones, peso y densidad de cada probeta a los 7 días.....	48
Tabla 41 / Dimensiones, peso y densidad de cada probeta a los 14 días.....	49
Tabla 42 / Dimensiones, peso y densidad de cada probeta a los 28 días.....	49
Tabla 43 / Ejemplo cálculo de dimensiones y peso para probeta prismática.....	50
Tabla 44 / Dimensiones, peso y densidad de cada probeta a los 28 días.....	50
Tabla 45 / Datos probetas, eficiencia energética.....	53
Tabla 46 / Resistencia a compresión, peso y densidad de las probetas a los 7, 14, 28 días.....	54
Tabla 47 / Resistencia a compresión “cálculo de varianza”.....	55
Tabla 48 / Promedio “cálculo de varianza”.....	55
Tabla 49 / Promedio menos resistencia de cada probeta al cuadrado “cálculo de varianza”.....	55
Tabla 50 / Variación estándar de la resistencia a compresión.....	56
Tabla 51 / Variación estándar de la densidad.....	56
Tabla 52 / Promedio de resistencia a compresión, peso y densidad de las probetas a los 7, 14, 28.....	56
Tabla 53 / Resistencia a flexotracción, peso y densidad de las probetas a los 28 días.....	60
Tabla 54 / Promedio de la resistencia a flexotracción, peso y densidad de las probetas a los 28 días.....	60
Tabla 55 / Ductilidad y módulo de elasticidad, resultados a los 28 días.....	63
Tabla 56 / Promedio, ductilidad, módulo de elasticidad y variación estándar a los 28 días.....	63
Tabla 57 / Datos obtenidos en ensayo “gráficos conductividad térmica”.....	65
Tabla 58 / Conductividad térmica.....	66
Tabla 59 / Datos a utilizar en la modelación estructural.....	73
Tabla 60 / Resultados obtenidos de la modelación estructural.....	90
Tabla 61 / Cubicación 1° piso.....	91
Tabla 62 / Cubicación 2° piso.....	91
Tabla 63 / Cubicación 3° piso.....	91
Tabla 64 / Hormigón G-30. Valor m ³ (\$).....	92
Tabla 65 / Hormigón 5 %. Valor m ³ (\$).....	92

	Página
Tabla 66 / Hormigón 10 %. Valor m ³ (\$).....	92
Tabla 67 / Hormigón 15 %. Valor m ³ (\$).....	93
Tabla 68 / Peso total de la estructura (hormigón).....	94

ÍNDICE IMÁGENES.

	Página
Imagen 1 / Gran pirámide de Guiza.....	1
Imagen 2 / Isla Santorini.....	1
Imagen 3 / Coliseo Romano.....	4
Imagen 4 / Joseph Apsdin y James Parker.....	4
Imagen 5 / Cemento.....	6
Imagen 6 / Clinker.....	7
Imagen 7 / Puzolana.....	7
Imagen 8 / Escoria de alto horno.....	7
Imagen 9 / Tamiz 5 mm.....	8
Imagen 10 / Tamiz 0.08 mm.....	8
Imagen 11 / Hormigón armado.....	9
Imagen 12 / Proceso cono de Abrams.....	10
Imagen 13 / Mesa de sacudidas.....	11
Imagen 14 / Consistómetro Vebe.....	11
Imagen 15 / Relación agua/cemento.....	11
Imagen 16 / Peso específico.....	12
Imagen 17 / Densidad.....	13
Imagen 18 / Influencia de la A/C en la permeabilidad.....	14
Imagen 19 / Hormigón recubierto con resina epoxi.....	15
Imagen 20 / R. característica C.....	15
Imagen 21 / R. característica T.....	15
Imagen 22 / Resistencia media.....	15
Imagen 23 / Dimensiones cilíndricas.....	16
Imagen 24 / Dimensiones prismática.....	17
Imagen 25 / Carga aplicada.....	17
Imagen 26 / Villa El Dorado.....	18
Imagen 27 / H. premezclado en obra.....	19
Imagen 28 / Cartón corrugado.....	19
Imagen 29 / Madera.....	20
Imagen 30 / Producción de papel.....	20
Imagen 31 / Producción de cartón.....	21
Imagen 32 / Viruta metálica.....	21

	Página
Imagen 33 / Resistencia a tracción.....	21
Imagen 34 / Fundición metal.....	22
Imagen 35 / Vertido en moldes.....	22
Imagen 36 / Muro hormigón autocompactante.....	23
Imagen 37 / Hormigón con fibras.....	23
Imagen 38 / Puente de Alcántara.....	23
Imagen 39 / Hormigón con Poliestireno expandido.....	23
Imagen 40 / Hormigón drenante.....	24
Imagen 41 / Hormigón traslúcido.....	24
Imagen 42 / Fundación de hormigón ciclópeo.....	24
Imagen 43 / Bloques de hormigón.....	25
Imagen 44 / Viga pretensada.....	25
Imagen 45 / Viga postensada.....	25
Imagen 46 / Construcción de bloques.....	26
Imagen 47 / Arco, bloques.....	26
Imagen 48 / Dormitorio, papercrete.....	26
Imagen 49 / Papercrete.....	26
Imagen 50 / Estructura de acero.....	27
Imagen 51 / Estructura de hormigón armado.....	27
Imagen 52 / Estructura de albañilería.....	27
Imagen 53 / Estructura de bloques.....	28
Imagen 54 / Estructura de madera.....	28
Imagen 55 / Estructura de adobe.....	28
Imagen 56 / Prefabricado de metal.....	28
Imagen 57 / Prefabricados de madera.....	28
Imagen 58 / Paneles de poliestireno.....	28
Imagen 59 / Logotipo Instituto Nacional de Normalización.....	29
Imagen 60 / Logotipo Instituto Americano del Concreto.....	29
Imagen 61 / Probetas.....	31
Imagen 62 / Flexotracción.....	31
Imagen 63 / Compresión.....	31
Imagen 64 / Equipo ensayo conductividad térmica, marca: Gunt Hamburg, modelo: WL 420.....	32
Imagen 65 / Diferencial de temperatura.....	32

	Página
Imagen 66 / Tamizado.....	33
Imagen 67 / Muestra de grava y arena en volúmenes normalizados.....	34
Imagen 68 / Muestra cartón triturado.....	37
Imagen 69 / Diferentes casos de curvas granulométricas.....	41
Imagen 70 / Viruta metálica.....	46
Imagen 71 / Asentamiento, Cono de Abrams.....	47
Imagen 72 / Probeta cúbica.....	48
Imagen 73 / Probeta prismática.....	50
Imagen 74 / Probeta para eficiencia energética.....	51
Imagen 75 / Equipo para ensayo de conductividad térmica	51
Imagen 76 / Diferencial de temperatura	52
Imagen 77 / Gráfico de conductividad térmica.....	53
Imagen 78 / Hormigón con 5 % de cartón.....	59
Imagen 79 / Hormigón con 10 % de cartón.....	59
Imagen 80 / Hormigón con 15 % de cartón.....	59
Imagen 81 / Hormigón patrón G-30.....	59
Imagen 82 / Probeta prismática (G 30).....	60
Imagen 83 / Probeta prismática (15 %).....	60
Imagen 84 / Recta, comportamiento elástico (G-30).....	62
Imagen 85 / Probetas para conductividad térmica.....	66
Imagen 86 / Comparación, curva de esfuerzo vs deformación	70
Imagen 87 / Actividad sísmica en Chile, año 2015.....	73
Imagen 88 / Edificio ubicado entre calle Arturo Prat y Chacabuco.....	74
Imagen 89 / Liceo Fernando Lazcano, ubicado en calle Yungay.....	74
Imagen 90 / Edificio Cebal, ubicado en calle Manuel Montt.....	74
Imagen 91 / Edificio Villa Futuro 1, ubicado en Circunvalación.....	74
Imagen 92 / Plano de planta.....	75
Imagen 93 / Plano de elevación.....	76
Imagen 94 / Detalle de viga tipo.....	76
Imagen 95 / Ventana de datos “Secciones”.....	78
Imagen 96 / Ventana de datos “Clase de elementos”.....	78
Imagen 97 / Ventana de datos “Nodos”.....	79
Imagen 98 / Ventana de datos “Conectividad de elementos”.....	79

	Página
Imagen 99 / Ventana de datos “Vínculos internos”	80
Imagen 100 / Ventana de datos “Vínculos externos” e imagen de apoyos.....	80
Imagen 101 / Ventana de datos “Cargas aplicadas”.....	81
Imagen 102 / Carga triangular incremental.....	81
Imagen 103 / Ventana de datos “Fases de carga”	81
Imagen 104 / Modelo estructural, edificio de 3 pisos.....	82
Imagen 105 / Primer elemento que sobrepasa el límite de fluencia.....	85
Imagen 106 / Colapso estructural.....	85
Imagen 107 / Primera falla por aplastamiento – no confinado.....	86
Imagen 108 / Colapso estructural.....	86
Imagen 109 / Primera falla por aplastamiento – confinado.....	86
Imagen 110 / Colapso estructural.....	86
Imagen 111 / Aplastamiento confinado y no confinado.....	86
Imagen 112 / Primera rotura en elemento estructural.....	87
Imagen 113 / Colapso estructural.....	87
Imagen 114 / Corte basal.....	87
Imagen 115 / Período de una estructura.....	88
Imagen 116 / 1° piso.....	91
Imagen 117 / 2° piso.....	91
Imagen 118 / 3° piso.....	91

ÍNDICE GRÁFICOS.

	Página
Gráfico 1 / Curvas granulométricas, Método Faury.....	42
Gráfico 2 / Dosificación G-30, probeta 1.....	57
Gráfico 3 / Dosificación G-30, probeta 2.....	57
Gráfico 4 / Dosificación 5 %, probeta 1.....	57
Gráfico 5 / Dosificación 5 %, probeta 2.....	57
Gráfico 6 / Dosificación 5 %, probeta 3.....	57
Gráfico 7 / Dosificación 10 %, probeta 1.....	58
Gráfico 8 / Dosificación 10 %, probeta 2.....	58
Gráfico 9 / Dosificación 10 %, probeta 3.....	58
Gráfico 10 / Dosificación 15 %, probeta 1.....	58
Gráfico 11 / Dosificación 15 %. Probeta 2.....	58
Gráfico 12 / Dosificación 15 %, probeta 3.....	58
Gráfico 13 / Dosificación G-30.....	61
Gráfico 14 / Comportamiento y plástico G-30.....	62
Gráfico 15 / Densidad.....	67
Gráfico 16 / Resistencia a compresión, alcanzada a los 28 días.....	68
Gráfico 17 / Resistencia a flexotracción.....	69
Gráfico 18 / Ductilidades.....	70
Gráfico 19 / Módulo de elasticidad.....	71
Gráfico 20 / Conductividad térmica.....	72
Gráfico 21 / Esfuerzo vs deformación, hormigón G-30.....	83
Gráfico 22 / Esfuerzo vs deformación, hormigón 5 %.....	83
Gráfico 23 / Esfuerzo vs deformación, hormigón 10 %.....	84
Gráfico 24 / Esfuerzo vs deformación, hormigón 15 %.....	84
Gráfico 25 / Análisis, esfuerzo vs deformación, hormigón G-30.....	85
Gráfico 26 / Ductilidad, modelo estructural (G-30).....	88
Gráfico 27 / Análisis, esfuerzo vs deformación, hormigón 5 %.....	89
Gráfico 28 / Análisis, esfuerzo vs deformación, hormigón 10 %.....	89
Gráfico 29 / Análisis, esfuerzo vs deformación, hormigón 15 %.....	90
Gráfico 30 / Valor (\$) del hormigón a utilizar en la estructura.....	93