

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	PÁGINA
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. ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	3
2.1.1. HISTORIA DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL	4
2.1.2. DEFINICIÓN Y TIPOS DE ESTRUCTURAS.....	12
2.1.2.1. ESTRUCTURA DE MARCOS O PÓRTICOS.....	13
2.1.2.2. ESTRUCTURAS MIXTAS.....	13
2.1.3. COMPOSICIÓN DE UNA ESTRUCTURA.....	14
2.1.4. TIPOS DE ESFUERZOS.....	25
2.1.5. CLASIFICACIÓN DE CARGAS	28
2.1.5.1. CARGAS PERMANENTES O MUERTAS (D)	29
2.1.5.2. SOBRECARGAS DE USO (L).....	29
2.1.5.3. CARGAS DE VIENTO (W)	31
2.1.5.4. CARGAS DE NIEVE (S).....	32
2.1.5.5. CARGAS POR SISMOS (E).....	33
2.1.6. CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	37
2.1.7. COMBINACIONES DE CARGAS.....	38
2.2. HORMIGÓN.....	40

CONTENIDO	PÁGINA
2.2.1. HISTORIA DEL HORMIGÓN	45
2.2.2. TIPOLOGÍA DE HORMIGONES	49
2.2.3. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL HORMIGÓN	51
2.2.4. EMPRESAS PRODUCTORAS DE HORMIGÓN EN CHILE	53
2.3. ACERO	57
2.3.1. HISTORIA DEL ACERO	57
2.3.2. CLASIFICACIÓN DEL ACERO.....	60
2.3.3. CARACTERÍSTICAS DEL ACERO.....	62
2.4. HORMIGÓN ARMADO	66
2.4.1. HISTORIA DEL HORMIGÓN ARMADO	66
2.4.2. HISTORIA DEL HORMIGÓN ARMADO EN CHILE	68
2.4.3. HISTORIA DE LA NORMATIVA SÍSMICA Y REGULACIÓN DE CONSTRUCCIONES EN CHILE.....	71
2.4.4. CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN ARMADO	73
2.5. HORMIGÓN LIGERO O LIVIANO.....	74
2.5.1. HISTORIA DEL HORMIGÓN LIGERO	76
2.5.2. CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN LIGERO.....	77
CAPÍTULO 3: ETAPA EXPERIMENTAL EN LABORATORIO	79
3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁRIDOS.....	79
3.1.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	79
3.1.1.1. PROCEDIMIENTO DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	80
3.1.2. ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	84
3.1.2.1. DENSIDAD REAL SECA, DENSIDAD APARENTE YA PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE AGUA EN LA GRAVILLA.....	84

CONTENIDO	PÁGINA
3.1.2.2. DENSIDAD REAL SECA, DENSIDAD APARENTE SUELTA Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE AGUA EN LA ARENA	87
3.1.2.3. DENSIDAD APARENTE DE ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA)....	89
3.2. ELABORACIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN	90
3.2.1. MÉTODO DE DOSIFICACIÓN.....	90
3.2.2. CONFECCIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN.....	100
3.3. ENSAYOS AL HORMIGÓN.....	101
3.3.1. RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS AL HORMIGÓN FRESCO	102
3.3.2. RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	103
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS	105
4.1. DENSIDADES DE HORMIGONES.....	105
4.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	106
4.3. CURVA DE EVOLUCIÓN DE RESISTENCIA	107
4.4. COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS HORMIGONES REALIZADOS	109
4.4.1. CURVAS TENSIÓN-DEFORMACIÓN OBTENIDAS.....	109
4.4.2. PARÁMETROS DESCRIPTIVOS DEL MATERIAL.....	111
CAPÍTULO 5: MODELACIÓN ESTRUCTURAL	113
5.1. EDIFICACIÓN SELECCIONADA.....	113
5.2. MODELACIÓN ESTRUCTURAL COMPUTACIONAL.....	115
5.2.1. PROCEDIMIENTO PARA MODELAR LA EDIFICACIÓN	115
5.2.2. ANÁLISIS Y RESULTADOS OBTENIDOS EN LA MODELACIÓN	119

CONTENIDO	PÁGINA
5.2.2.1. RESUMEN DE CURVAS DE CORTE BASAL VERSUS DESPLAZAMIENTO	120
5.2.2.2. PARÁMETROS DESCRIPTIVOS DE LAS EDIFICACIONES SEGÚN EL HORMIGÓN UTILIZADO.....	121
5.2.2.3. ANÁLISIS VISUAL DE LA PERFORMANCE DE LAS EDIFICACIONES	123
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y COMENTARIOS	127
BIBLIOGRAFÍA	131

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

CONTENIDO	PÁGINA
Ilustración 1: Caída edificio Lotus Riverside (Shanghái, China).	3
Ilustración 2: Pirámide escalonada de Zoser.	4
Ilustración 3: Partenón (449 A.C.), Grecia.	5
Ilustración 4: Coliseo (80 D.C.), Roma.	5
Ilustración 5: Viga en voladizo de Galileo.	6
Ilustración 6: Ley de Hooke.....	7
Ilustración 7: Carga Crítica de Euler.	8
Ilustración 8: Módulo de Elasticidad.	8
Ilustración 9: Teorema de los Tres Momentos.	9
Ilustración 10: James Clerk Maxwell.	10
Ilustración 11: Circulo de Mohr.....	10
Ilustración 12: Modelaciones y análisis estructurales en la actualidad.	12
Ilustración 13: Proyectos de Altos del Sur, Bolivia.....	13
Ilustración 14: Estructura mixta de hormigón armado.	14
Ilustración 15: Estructura con Vigas Planas.	15
Ilustración 16: Estructura con Vigas de Canto.	15
Ilustración 17: Estructura con pilares cuadrados.	16
Ilustración 18: Muro de hormigón armado.	16
Ilustración 19: Losas simplemente apoyadas.....	17
Ilustración 20: Edificación con cubierta de losa en volado.	17
Ilustración 21: Losas unidireccionales.....	18
Ilustración 22: Losa con armadura cruzada empotrada en sus cuatro extremos.....	18
Ilustración 23: Losa nervada.....	19
Ilustración 24: Losa continua.....	19
Ilustración 25: Colocación de viguetas y bovedillas de hormigón.	20
Ilustración 26: Armado final del forjado previo el hormigonado.	20
Ilustración 27: Zapata aislada.	21

CONTENIDO	PÁGINA
Ilustración 28: Esquema zapata corrida.	22
Ilustración 29: Armadura de futura zapata combinada.	22
Ilustración 30: Losa de cimentación conjunto habitacional.	23
Ilustración 31: Tipos de pilotes de hormigón armado.	24
Ilustración 32: Construcción de Caisson.	24
Ilustración 33: Muro pantalla en ejecución.	25
Ilustración 34: Esfuerzo de tracción en puente colgante.	26
Ilustración 35: Esfuerzo de compresión en pilar.	26
Ilustración 36: Esfuerzo de flexión en viga.	27
Ilustración 37: Fallo por esfuerzo a torsión.	27
Ilustración 38: Esfuerzo de corte en encuentro de viga con pilar.	28
Ilustración 39: Esquema de cargas en una estructura.	29
Ilustración 40: Zonificación por velocidades de viento zona centro-norte.	31
Ilustración 41: Zonificación sísmica de las regiones IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XIV y Metropolitana.	34
Ilustración 42: Combinaciones de carga, SAP2000.	39
Ilustración 43: Gran Pirámide de Guiza.	45
Ilustración 44: Panteón de Agripa.	46
Ilustración 45: Catedral de Salisbury.	47
Ilustración 46: Horno rotatorio del año 1896.	47
Ilustración 47: Molino tubular.	48
Ilustración 48: Hormigón con fibras.	49
Ilustración 49: Cono de Abrams.	52
Ilustración 50: Villa El Dorado, año 1964.	54
Ilustración 51: Planta Lira Ready Mix.	54
Ilustración 52: Planta de Valparaíso, Pétreos.	55
Ilustración 53: Planta de hormigón, empresa Transex.	56
Ilustración 54: Horno utilizado en el proceso de Bessemer.	58
Ilustración 55: Edificio Home Insurance Company, Chicago.	59
Ilustración 56: Tipos de aceros al carbono.	60

CONTENIDO	PÁGINA
Ilustración 57: Tipos de aceros de alta resistencia y baja aleación.....	61
Ilustración 58: Tipos de aceros de alta resistencia, baja aleación y resistentes a la corrosión.	61
Ilustración 59: Placa de acero templado.	62
Ilustración 60: Barra lisa y barra con resaltes o corrugada.	64
Ilustración 61: Armadura principal y secundaria.	64
Ilustración 62: Diagrama tensión-deformación.	65
Ilustración 63: Barco construido por Joseph Lambot.	67
Ilustración 64: Fábrica de harinas La Ceres.	67
Ilustración 65: La Casa de las Hermanitas de los Pobres. Fuente: Vitoria Gasteiz.	68
Ilustración 66: Casa Prá.	68
Ilustración 67: Edificio Gath y Chávez.	69
Ilustración 68: Palacio Undurraga.	69
Ilustración 69: Edificio Ariztía. Fuente: Santiago Nostálgico, Flickr.	70
Ilustración 70: Banco Central.	70
Ilustración 71: Basílica los Sacramentinos.	70
Ilustración 72: Fotografía del terremoto de Valdivia.	71
Ilustración 73: Fotografía de terremoto de Algarrobo.	72
Ilustración 74: Fotografía edificio Alto Río, Concepción.	72
Ilustración 75: Hormigón celular.	74
Ilustración 76: Hormigón sin finos.	75
Ilustración 77: Áridos livianos para sustitución.	75
Ilustración 78: Cúpula Panteón de Agripa, Roma.	77
Ilustración 79: Gráfico de Joisel.	96
Ilustración 80: Probetas para ensayos de hormigón a compresión.	100
Ilustración 81 y 82: Betonera Bauker y ensayo de cono de Abrams.	100
Ilustración 83 y 84: Proceso de desmolde y curado de probetas de hormigón.	101
Ilustración 85: Refrentado en probetas cilíndricas de hormigón.	102
Ilustración 86: Geometría del proyecto Doña Elisa. Fuente: Galilea Ingeniería y Construcción.	113

CONTENIDO	PÁGINA
Ilustración 87: Ubicación del proyecto Doña Elisa.	113
Ilustración 88: Plano en planta de cada piso del proyecto.	114
Ilustración 89: Detalles de elementos estructurales.	114
Ilustración 90: Geometría y elementos estructurales en planta modelo.	116
Ilustración 91: Dimensionamiento y armado de estructura.	116
Ilustración 92: Corte basal en modelo estructural de la edificación.	116
Ilustración 93: Ingreso de características del material.	117
Ilustración 94: Definición de cantidad de fibras por elemento para posterior análisis.	118
Ilustración 95: Proceso de análisis del programa Seismostruct.	119
Ilustración 96: Curva de corte basal versus desplazamiento en hormigón con 50 % de arrita.	121
Ilustración 97: Primeros elementos en plastificar en edificación de 3 pisos.	123
Ilustración 98: Primeros elementos en plastificar en edificación de 8 pisos.	124
Ilustración 99: Primer elemento estructural en colapsar en edificación de 3 pisos.	125
Ilustración 100: Primer elemento estructural en colapsar en edificación de 3 pisos.	125
Ilustración 101: Elementos que llegan a la ruptura al momento del colapso del edificio de 3 pisos.	126
Ilustración 102: Elementos que llegan a la ruptura al momento del colapso del edificio de 8 pisos.	126

ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO	PÁGINA
Tabla 1: Sobrecargas de uso uniformemente distribuidas para pisos.	30
Tabla 2: Cargas básicas de nieve (kg/m ²).	32
Tabla 3: Zonificación sísmica por comunas en la séptima región.	33
Tabla 4: Categorías de ocupación de edificios y otras estructuras.	36
Tabla 5: Clasificación sísmica del terreno de fundación.	37
Tabla 6: Clasificación de cementos según grado de resistencia.	41
Tabla 7: Clasificación del hormigón por su resistencia a compresión.	44
Tabla 8: Clasificación del hormigón por su resistencia a flexotracción.	45
Tabla 9: Consistencia de hormigones.	51
Tabla 10: Características geométricas y masa por unidad de longitud.	63
Tabla 11: Tipos de tamices normalizados.	80
Tabla 12: Resumen de granulometría de la gravilla.	81
Tabla 13: Resumen de granulometría de la arena.	82
Tabla 14: Resumen de análisis granulométrico de la arlita.	83
Tabla 15: Factor estadístico t.	91
Tabla 16: Valor factor s.	91
Tabla 17: Coeficiente "E".	92
Tabla 18: Resistencia v/s Razón Agua/Cemento.	92
Tabla 19: Contenido de aire según tamaño máximo nominal. (l/m ³).	93
Tabla 20: Valores de "M".	95
Tabla 21: Valores de "N".	95
Tabla 22: Dosificación de para 1 m ³ de hormigón tradicional.	96
Tabla 23: Dosificación para 1 m ³ de hormigón con 50 % de arlita.	97
Tabla 24: Dosificación para 1 m ³ de hormigón con 25 % de arlita.	97
Tabla 25: Corrección por absorción para 1 m ³ de hormigón tradicional.	97
Tabla 26: Corrección por absorción para 1 m ³ de hormigón con 50 % de arlita.	98
Tabla 27: Corrección por absorción para 1 m ³ de hormigón con 25 % de arlita.	98
Tabla 28: Dosificación final para 1 m ³ de hormigón tradicional.	99

CONTENIDO	PÁGINA
Tabla 29: Dosificación final para 1 m ³ de hormigón con 50 % de arlita.....	99
Tabla 30: Dosificación final para 1 m ³ de hormigón con 25 % de arlita.....	99
Tabla 31: Resumen de dosificaciones finales.	99
Tabla 32: Resumen de resultados de ensayos en hormigón fresco.....	103
Tabla 33: Resumen de densidades y resistencias a la compresión a los 7 días.	103
Tabla 34: Resumen de densidades y resistencias a la compresión a los 21 días.	104
Tabla 35: Resumen de densidades y resistencias a la compresión a los 28 días.	104
Tabla 36: Análisis de curvas de evolución de resistencia en los hormigones.	108
Tabla 37: Resumen de resultados obtenidos con las curvas de tensión-deformación en hormigones.	112
Tabla 38: Resumen de datos obtenidos del modelo del edificio de 3 plantas.	122
Tabla 39: Resumen de datos obtenidos del modelo del edificio de 8 plantas.	123

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CONTENIDO	PÁGINA
Gráfico 1: Curva granulométrica de la gravilla.	82
Gráfico 2: Curva granulométrica de la arena.	83
Gráfico 3: Curva granulométrica de la arlita.	84
Gráfico 4: Densidad versus porcentaje de árido sustituido en muestras a los 28 días.....	105
Gráfico 5: Resistencia versus porcentaje de árido sustituido en muestras a los 28 días.....	106
Gráfico 6: Curva de evolución de resistencia en el hormigón tradicional.	107
Gráfico 7: Curva de evolución de resistencia en el hormigón con 25 % de arlita.	107
Gráfico 8: Curva de evolución de resistencia en el hormigón con 50 % de arlita.	108
Gráfico 9: Curva tensión-deformación del hormigón tradicional.....	109
Gráfico 10: Curva tensión-deformación del hormigón con 50 % de arlita.....	110
Gráfico 11: Curva tensión-deformación del hormigón 25 % de arlita.	110
Gráfico 12: Gráfico tensión-deformación descriptiva del hormigón con 50 % de arlita....	111
Gráfico 13: Curva de corte basal versus desplazamiento en edificación de 3 pisos.....	120
Gráfico 14: Curva de corte basal versus desplazamiento en edificación de 8 pisos.....	120