

Tabla de Contenido.

1. Introducción.	1
1.1. Aspectos Generales.	1
1.2. Motivación.	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Secundarios.....	4
1.4. Metodología.	4
2. Empujes de suelo.	6
2.1. Introducción.	6
2.2. Empujes de suelo en muros gravitacionales.	6
2.2.1. Empuje en reposo de Rankine.	6
2.2.2. Empuje Pasivo de Rankine.	7
2.2.3. Empuje activo de Rankine.....	8
2.2.4. Empuje dependiendo de la deformación del sistema.	10
2.3. Empujes de suelos en pantallas flexibles.	11
2.3.1. Cortes en Arenas.....	12
2.3.2. Cortes en arcillas blandas y medias.	12
2.3.3. Cortes en arcillas firmes a duras.	13
2.4. Empuje sísmico en Chile, considerando NCh 433. Of 96. Mod 2012.	14
3. Maquinaria y Materiales utilizados en los sistemas de sostenimiento.	16
3.1. Materiales utilizados.	16
3.1.1. Lodo Bentonítico.....	16
3.1.2. Shotcrete / Lechada / Hormigón proyectado.	17
3.2. Tubería Tremie.	18
3.3. Planta desarenadora.	19
3.4. Máquina de excavación.	20
3.4.1. Máquina excavadora.	21

3.4.2. Máquina retroexcavadora.....	21
3.4.3. Máquina Bulldozer.....	22
3.5. Máquinas perforadoras.....	23
3.5.1. Hidrofresa.....	24
3.5.2. Equipos de percusión.....	25
3.5.3. Cuchara Bivalva o Almeja.....	25
3.5.4. Hélice continua (CFA).....	25
3.5.5. Máquina perforadora rotatoria vertical.....	27
3.6. Máquinas de hincado.....	28
3.6.1. Mazas de caída libre.....	28
3.6.2. Martinetes de simple efecto.....	30
3.6.3. Martinetes de doble efecto.....	30
3.6.4. Martillos diesel.....	31
3.6.5. Vibrohincadores.....	31
3.6.6. Lanza de agua.....	32
3.7. Máquinas perforadoras horizontales para anclajes.....	33
3.7.1. Método de perforación horizontal por rotación.....	33
3.7.2. Método de perforación por rotopercusión.....	34
3.8. Máquina para postensado de anclaje.....	35
3.8.1. Gatos hidráulicos.....	35
3.9. Máquina para levantamiento.....	36
3.9.1. Grúa.....	36
4. Agotamiento napa freática en excavaciones verticales.....	38
4.1. Introducción.....	38
4.2. Tipos de bombas de agotamiento utilizadas en rebajar nivel freático.....	39
4.2.1. Bombas de diafragma.....	39

4.2.2. Bombas centrífugas.....	40
4.2.3. Bombas sumergibles.	41
4.3. Métodos de agotamiento de napa freática.....	42
4.3.1. Zanjas.....	44
4.3.2. Pozos de baja capacidad.	44
4.3.3. Sistema well point.....	46
4.3.4. Electroósmosis.	51
4.4. Cantidad de bombas a elegir.	53
5. Sistemas flexibles de Sostenimiento de Suelo.....	55
5.1. Tablestacado.	55
5.1.1. Características del Tablestacado.	55
5.1.2. Tipos de tablestacas.....	56
5.1.3. Proceso constructivo del Tablestacado.	63
5.1.4. Tipos de Tablestacados.	68
5.1.5. Ventajas y Desventajas.	70
5.2. Pantalla de Pilas y Pilotes.	72
5.2.1. Características de Pilas y Pilotes.	72
5.2.2. Tipos de Pantallas de Pilotes.	73
5.2.3. Proceso constructivo Pantalla de Pilotes.....	77
5.2.4. Pantalla de Pilas.....	85
5.2.5. Ventajas y Desventajas Pilotes.	89
5.2.6. Ventajas y Desventajas Pilas.	90
5.3. Muro Pantalla.....	91
5.3.1. Características del Muro Pantalla.....	91
5.3.2. Proceso constructivo.	92

5.3.3. Ejemplos de Muros Pantallas en Chile.....	98
5.3.4. Ventajas y Desventajas.....	99
5.4. Muro Berlinés.....	100
5.4.1. Características del Muro Berlinés.....	100
5.4.2. Proceso constructivo.....	102
5.4.3. Ejemplo de Muros Berlinés en Chile.....	104
5.4.4. Ventajas y Desventajas.....	105
5.5. Soil Nailing o Muro Anclado de Hormigón Proyectoado.....	106
5.5.1. Características del Soil Nailing.....	106
5.5.2. Proceso constructivo.....	108
5.5.3. Ejemplo de Soil Nailing en Chile.....	113
5.5.4. Ventajas y Desventajas.....	115
5.6. Muro Anclado de Hormigón Armado o Muro Colgado.....	116
5.6.1. Características de Muro Colgado.....	116
5.6.2. Proceso constructivo.....	117
5.6.3. Ejemplo de Muro Colgado en Chile.....	121
5.6.4. Ventajas y Desventajas.....	122
5.7. Sistemas Top – Down.....	124
5.7.1. Características del sistema Top – Down tradicional.....	124
5.7.2. Proceso constructivo sistema Top – Down tradicional.....	126
5.7.3. Stanchions como columna estructural.....	128
5.7.4. Nonshored formworks Top – Down (NSTD), modificación del método tradicional.....	132
5.7.5. Ejemplo de sistema Top - Down en Chile.....	135
5.7.6. Ventajas y Desventajas.....	135

6. Elección del uso de Sistemas de Sostenimiento de Suelo.	137
6.1. Proveedores que entregan los servicios en Chile.....	137
6.2. Diagrama de decisión con respecto a condiciones del terreno.....	138
6.3. Simulación de Sistemas de Sostenimiento en obra de 1200 m² y 9600 m³	139
6.3.1. Pantalla de Pilas discontinuas.....	141
6.3.2. Muro Pantalla.	142
6.3.3. Muro Berlínés.	144
6.3.4. Muro Soil Nailing.	145
6.3.5. Muro Colgado.....	147
6.4. Decisión de Sistema de Sostenimiento a usar con respecto a costo y plazos.	148
6.4.1. Comparación y análisis de costos.	148
6.4.2. Comparación y análisis de plazos.	150
6.5. Tabla resumen de distintos sistemas de sostenimiento.....	152
7. Conclusiones y Recomendaciones.	154
8. Glosario.....	158
9. Bibliografía.	160
10. Anexos.....	168
10.1. Valores de K₀ en teoría de empujes de suelo.....	168
10.2. Sistemas de arriostramiento en pantallas flexibles.	169
10.2.1. Banquetas.	169
10.2.2. Puntales.	170
10.2.3. Anclajes.....	172
10.2.4. Losas.....	177

Índice de Tablas.

Tabla 1: Valor del coeficiente Cr dependiendo del tipo de compacidad del suelo. Elaboración propia, obtenida de NCh 433 (2012).	15
Tabla 2: Procedimiento a seguir dependiendo de la permeabilidad. Elaboración propia, datos obtenidos de Jiménez (1980).	43
Tabla 3: Empresas proveedoras de servicios de sostenimiento de suelo. Elaboración propia.	138
Tabla 4: Estructura de costos Pilas discontinuas. Elaboración propia.	141
Tabla 5: Plazo Pantalla de Pilas discontinuas. Elaboración propia.	142
Tabla 6: Estructura de costos Muro Pantalla. Elaboración propia.	143
Tabla 7: Duración Muro Pantalla. Elaboración propia.	144
Tabla 8: Estructura de costos Muro Berlínés. Elaboración propia.	144
Tabla 9: Duración Muro Berlínés. Elaboración propia.	145
Tabla 10: Estructura de costos Muro Soil Nailing. Elaboración propia.	146
Tabla 11: Duración Muro Soil Nailing. Elaboración propia.	146
Tabla 12: Estructura de costos Muro Colgado. Elaboración propia.	147
Tabla 13: Duración Muro Colgado. Elaboración propia.	148
Tabla 14: Costos de los sistemas de sostenimiento. Elaboración propia.	148
Tabla 15: Duración de los diferentes sistemas de sostenimiento. Elaboración propia.	150
Tabla 16: Comparación de los distintos sistemas de sostenimiento. Elaboración propia.	153
Tabla 17: Valores típicos de coeficiente de empuje en reposo. Elaboración propia.	168

Índice de Figuras.

Figura 1: Distribución de empuje. (a) Pasivo, (b) Activo. Das (2015).....	9
Figura 2: Tipo de empuje con respecto a la deformación del soporte. Das (2001).	10
Figura 3: Envoltente presión de suelos. (a) Arenas, (b) Arcillas blandas y medias, (c) Arcillas duras. (Saquel 2009).....	13
Figura 4: Shotcrete vía húmeda y seca. Gentileza: Putzmeister (2015).	18
Figura 5: Esquema tubería tremie. Gentileza: http://ingeosolum.blogspot.cl/2011/08/el-hormigonado-de-muros-pantalla-o-como.html	19
Figura 6: Máquina excavadora sobre ruedas. Gentileza: http://victorye pes.blogs.upv.es/tag/retroexcavadora/	20
Figura 7: Retroexcavadora. Gentileza: http://www.dstgmachine.es/1-backhoe-loader-3a.html	21
Figura 8: Bulldozer, Gentileza: https://luipermom.wordpress.com/2008/12/02/bulldozers-la-eficiencia-en-forma-de-maquina/	22
Figura 9: Hidrofresa. Gentileza: http://www.directindustry.es/	23
Figura 10: Maquinaria para excavación. Gentileza: (a) Cincel, equipo de percusión ; http://www.generadordeprecios.info/ . (b) Cuchara bivalva; http://www.imexcomar.com/accesorios%20hidraulicos.htm	24
Figura 11: Esquema de Hélice continúa. Gentileza: http://www.model-co.com/en/foundation_equipment/piling/continuous_flight_auger_cfa/bf15_continuous_flight_auger_cfa.asp	26
Figura 12: Perforadora rotatoria vertical. Gentileza: http://www.roadmachinerychina.es/5-3-rotary-drilling-rig.html	27
Figura 13: (a) Maza de caída libre impulsada a mano, (b) Maza de caída libre usando cabrestante. Gentileza: (a) http://www.elconstructorcivil.com/search/label/FUNDACIONES?max-results=20 , (b) https://www.liebherr.com/es/bfa/productos/m%C3%A1quinas-de-construcci%C3%B3n/obras-civiles-especiales/tecnicas/hincado/hincado.html	28

Figura 14: Cabrestante. Gentileza: https://www.liebherr.com/es/deu/productos/componentes/transmisiones-y-cabrestantes/cabrestantes-compactos-y-cabrestantes-de-carga-pesada/cabrestantes-compactos-y-cabrestantes-de-carga-pesada.html	29
Figura 15: Perforación rotopercusión con martillo de fondo. Gentileza: http://aguaguas.igme.es	34
Figura 16: Perforación rotopercusión con martillo en cabeza. Gentileza: http://victoryepes.blogs.upv.es/tag/perforacion-a-rotoperfusion/	35
Figura 17: Ejecución de postensado de anclajes. Gentileza: https://www.youtube.com/watch?v=kfJTsYpTtm4	36
Figura 18: (a) Grúa Torre, Gentileza: http://einag.com/es/maquinaria_construccion.asp ; (b) Grúa Telescópica, Gentileza: https://gruasenlatinoamerica.wordpress.com/tag/pluma-telescopica/	37
Figura 19: Bomba de diafragma. Gentileza: http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/mecanica_fluidos/archivos/Material_de_estudio/presentacion_bombas.pdf	39
Figura 20: Bomba centrífuga. Grundfos (2011).....	41
Figura 21: Bomba sumergible. Gentileza: Clase Bombas de agua y agotamiento, Universidad Católica de Chile.....	42
Figura 22: Método agotamiento de napa a partir de curva granulométrica del suelo excavado. Tomlison (1974).....	44
Figura 23: Esquema método pozo de baja capacidad. Tomlison (1973).	45
Figura 24: Colocación de punteras en sistema well point. Valladares (2007)... ..	46
Figura 25: Ubicación perimetral de lanzas de drenaje. Figueres (2005).	48
Figura 26: Visualización cono de depresión (nivel agua reducido). Tomlison (1973).	48
Figura 27: Sistema escalonado para alcanzar mayores profundidades. Tomlison (1973).	49

Figura 28: Procedimiento hincado de lanza de drenaje. Catalogo Ishebeck Ibéria (2012).	51
Figura 29: Tablestaca de madera con zuncho y azuche metálico. Gentileza: http://www.elconstructorcivil.com/2011/02/partes-de-un-pilote-de-madera.html	57
Figura 30: Disposición de Tablestacado de madera. Gentileza: http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/2015/08/05/tablestacas-de-madera/	58
Figura 31: Disposiciones tablestacas Z según catálogo ArcelorMital. Gentileza Catálogo ArcelorMital 2010.....	61
Figura 32: Disposiciones tablestacas S según catálogo ArcelorMital. Gentileza Catálogo ArcelorMital 2010.....	61
Figura 33: Ejemplos de tipos de Tablestacados. Gentileza Ischebeck Ibérica (2013), Pantallas de tablestacas. (a) Tablestacado con ménsula. (b) Tablestacado arriostrado.	69
Figura 34: Ejemplos de tipos de Tablestacados. Gentileza Ischebeck Ibérica (2013), (a) Tablestacado atirantado. (b) Tablestacado anclado.	70
Figura 35: Pantalla de Pilotes discontinuos. Godavarthi et Al. (2011)	74
Figura 36: Pantalla de Pilotes tangentes. Gentileza: http://pantallax.es/servicios_pantalla_pilotes.php	75
Figura 37: Pantalla de Pilotes secantes, duro/blando y duro/firme. Cementation Skanska (2009).....	76
Figura 38: Pantalla de Pilotes secantes, duro/duro. Cementation Skanska (2009).	77
Figura 39: Proceso constructivo con camisa metálica recuperable. Pilotes Terratest (2001).	78
Figura 40: Proceso constructivo pilotes utilizando lodo bentonítico. Pilotes Terratest (2001).	80
Figura 41: Proceso constructivo utilizando hélice continúa. Pilotes Terratest (2010).	81

Figura 42: Fases en la construcción de Pantallas de Pilotes secantes. Wharmby et Al. (2010).	84
Figura 43: Ejemplo de Viga de Refuerzo en Pila de Socialzado. Ortigosa y Retamal (1994),	88
Figura 44: Construcción brocal, Richards (2006).....	93
Figura 45: Proceso constructivo Muro Pantalla. Pilote Terratest (2010).	97
Figura 46: Esquema muro berlinés. Errazuriz (2009).	100
Figura 47: Perfiles utilizados en muro berlinés. Alarcón (2011).	101
Figura 48: Muro Berlínés construcción subterráneo. Villalobos y Orostegui (2010).	104
Figura 49: Procedimiento constructivo Soil Nailing. Dey (2014).	109
Figura 50: Anclaje con centralizador. Prashant (2010).	111
Figura 51: Ejemplo de Sistema de Drenaje, Geocompuesto GMFL. Gentileza: http://www.emaresa.cl/construccion/index.php/linea-geosinteticos/uso/drenaje/compuesto-de-drenaje/gmfl-2	112
Figura 52: Soil Nailing en entibación subterráneos Edificio Catedral III, Santiago. Pilotest Terratest (2011).	114
Figura 53: Proceso constructivo Muro Anclado de Hormigón Armado. Cabellos (2012).	118
Figura 54: Mini planta de lechada de cemento. Gentileza: https://www.youtube.com/watch?v=cyAJlr5MrAs	119
Figura 55: Muro Colgado en entibación de edificio Universidad Finis Terrae. Pilotest Terratest (2005).	122
Figura 56: Fases del proceso constructivo Top - Down tradicional. Pilotes Terratest (2013).	127
Figura 57: Proceso constructivo post hormigonado. Balasubramaniam et Al. (2000)	129
Figura 58: Proceso constructivo pre hormigonado. Balasubramaniam et Al. (2000)	131

Figura 59: Cubierta NSTD. Lee et Al. (1999)	132
Figura 60: Proceso constructivo método NSTD. Lee et Al. (1999).....	134
Figura 61: Diagrama de decisión de sistema de contención dependiendo de condiciones del terreno. Elaboración propia.	139
Figura 62: Comparación gráfica de costos de los sistemas de sostenimientos. Elaboración propia.	149
Figura 63: Comparación plazos de los sistemas de sostenimientos. Elaboración propia.....	151
Figura 64: Banqueta de tierra para subterráneos de varios niveles. Urbán (2006).	170
Figura 65: Solar irregular con arriostramiento vía puntales. Urbán (2006).	171
Figura 66: Puntales en solares extensos. Errázuriz (2009).	172
Figura 67: Componentes de los anclajes. Muñoz (2011).	173
Figura 68: Colocación de anclaje fuera de la superficie de falla. Errázuriz (2009).	174
Figura 69: Tipos de anclajes según inyección de lechada de cemento. (a) Anclajes inyectados por gravedad, (b) Anclajes inyectados a presión, (c) Anclajes post - inyectados. U.S. Department of Transportation (1999).	176
Figura 70: Arriostramiento mediante losas. Errázuriz (2009).	177