

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
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    Sistemas de clasificación de suelos .....	3
2.1.1    Sistema de clasificación de suelos AASHTO .....	3
2.1.2    Sistema de clasificación USCS.....	4
2.2    Tipos de suelos.....	4
2.2.1    Suelos granulares.....	4
2.2.2    Suelos cohesivos.....	5
2.3.1    Hidrología de la erosión .....	5
2.3.2    Erosión por impacto de la lluvia .....	6
2.3.3    Erosión por viento .....	7
2.3.4    Erosión por escurrimiento superficial.....	7
2.4    Taludes .....	7
2.4.1    Erosión de taludes.....	8
2.4.2    Mezclas de suelo para la construcción de terraplenes .....	9
2.5    Técnicas de estabilización, contención y protección de taludes.....	10
2.5.1    Técnicas mecánicas .....	10
2.5.2    Técnicas de bioingeniería .....	14
2.5.3    Biotécnicas .....	14
2.6    Cemento .....	16
2.6.1    Propiedades físicas y mecánicas del cemento.....	16

2.7	Suelo-cemento.....	17
2.7.1	Suelo-cemento como material de construcción.....	17
2.7.2	Suelo-cemento como material de estabilización de caminos .....	19
2.7.3	Dosificaciones de suelo-cemento.....	20
2.7.4	Proyecto Minimina .....	22
CAPÍTULO 3: DESARROLLO.....		24
3.1	Descripción de la zona a ensayar.....	24
3.2	Clasificación del suelo de la muestra.....	25
3.2.1	Granulometría.....	26
3.2.2	Límite líquido y límite plástico.....	29
3.2.3	Clasificación según AASHTO.....	31
3.2.2	Clasificación según USCS.....	33
3.3	Estudio de los caudales producidos por la lluvia en la zona .....	35
3.3.1	Generalidades .....	35
3.3.2	Escurrimiento de aguas lluvias .....	35
3.3.3	Cálculo del caudal aportante de aguas lluvias.....	37
3.3.4	Período de Retorno (T).....	38
3.3.5	Tiempo de Concentración (Tc) .....	38
3.3.6	Precipitación máxima diaria (PD <sup>10</sup> ).....	39
3.3.7	Precipitación $P_1^T$ .....	39
3.3.8	Precipitación $P_t^T$ .....	40
3.3.9	Intensidad de la Lluvia de Diseño I .....	40
3.3.10	Caudal Aportante por Aguas Lluvias (Q) .....	41
3.4	Características de taludes tipo para la realización de los ensayos.....	41
3.5	Dosificaciones tentativas de suelo-cemento para realizar los ensayos en base a las muestras obtenidas .....	42
3.6	Descripción de ensayos en terreno.....	43

3.6.1	Preparación de taludes .....	43
3.6.2	Ensayos de erosión .....	47
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS Y RESULTADOS .....		50
4.1	Resultados de ensayos en terreno .....	50
4.1.1	Ensayo para período de retorno de 2 años .....	50
4.1.2	Ensayo para período de retorno de 10 años .....	54
4.2	Resumen de resultados .....	56
4.3	Análisis de resultados .....	57
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		59
5.1	Conclusiones generales .....	59
5.2	Recomendaciones .....	59
BIBLIOGRAFÍA .....		61
Manuales .....		61
Normas .....		61
Publicaciones .....		62
Tesis de pregrado .....		62
Apuntes .....		62
Videos .....		62
ANEXOS .....		63
Anexo 1: Cubicaciones .....		63
Anexo 2: Tablas .....		64

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Contenido</b>	<b>Páginas</b>
Ilustración 1: Efecto de consolidación y dispersión de las partículas de suelo. ....	6
Ilustración 2: Nomenclatura de taludes y laderas. ....	8
Ilustración 3: Talud de corte y terraplén. ....	8
Ilustración 4: Talud erosionado. ....	9
Ilustración 5: Corte de talud con maquinaria. ....	10
Ilustración 6: Foso y contrafoso. ....	11
Ilustración 7: Ejemplo de pedraplén. ....	12
Ilustración 8: Muro de contención de hormigón armado. ....	12
Ilustración 9: Talud protegido con mampostería de piedra. ....	13
Ilustración 10: Proyección de mortero (shotcrete) sobre talud. ....	13
Ilustración 11: Muro criba (cribwalls). ....	15
Ilustración 12: Bloques articulados con vegetación intercalada. ....	15
Ilustración 13: Casa de suelo-cemento compactado construida por la empresa Ramtec, Margaret River, Australia. ....	18
Ilustración 14: Iglesia de suelo-cemento compactado construida por la empresa Ramtec, Margaret River, Australia. ....	18
Ilustración 15: Curva granulométrica del material principal y de aporte para las mezclas. ....	21
Ilustración 16: Resistencia a compresión no confinada en suelo-cemento. ....	22
Ilustración 17: Ubicación Universidad de Talca. ....	23
Ilustración 18: Ubicación Minimina. ....	23
Ilustración 19 : Ubicación predio. ....	24
Ilustración 20: Secado de la muestra. ....	25
Ilustración 21: Cuarteo de la muestra seca. ....	26
Ilustración 22: Ensayo de límite líquido. ....	29
Ilustración 23: Curva de fluidez del suelo. ....	31

Ilustración 24: Clasificación fracción limo-arcillosa.....	33
Ilustración 25: Carta de plasticidad.....	35
Ilustración 26: Plano de planta Minimina.....	36
Ilustración 27: Corte transversal.....	41
Ilustración 28: Conformación del talud.....	44
Ilustración 29: Colocación de moldajes.....	44
Ilustración 30: Preparación de la mezcla de suelo-cemento. ....	45
Ilustración 31: Talud con un 12 % de cemento.....	46
Ilustración 32: Talud con suelo compactado y talud con 12 % de cemento.....	46
Ilustración 33: Taludes previo a los ensayos. ....	47
Ilustración 34: Medición de caudal para período de retorno de 10 años.....	48
Ilustración 35: Ensayo de erosión del talud con 12 % de cemento. ....	49
Ilustración 36: Profundidad de erosión del talud 1 (0 % de cemento añadido).....	50
Ilustración 37: Ancho de erosión del talud 1 (0 % de cemento añadido).....	51
Ilustración 38: Daño observado en el talud 1. ....	51
Ilustración 39: Daño en el talud 2 (6 % de cemento añadido). ....	52
Ilustración 40: Talud con 9 % de cemento al final del primer ensayo. ....	53
Ilustración 41: Talud con 12 % de cemento luego del primer ensayo.....	53
Ilustración 42: Resultado de ensayo de erosión para un período de retorno de 10 años. ....	54
Ilustración 43: Erosión en el talud 1 para 10 años de período de retorno. ....	55
Ilustración 44: Desprendimiento de material del talud 1.....	55
Ilustración 45: Zonas de mayor daño. ....	57
Ilustración 46: Corte transversal moldaje.....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Contenido</b>	<b>Páginas</b>
Tabla 1: Tiempo de fraguado del cemento. ....	17
Tabla 2: Bandas granulométricas para subbase, bases y capas de rodadura. ....	19
Tabla 3: Cuadro recopilatorio de granulometrías recomendadas para suelo-cemento. ....	20
Tabla 4: Resistencia a la compresión-porcentaje de cemento. ....	20
Tabla 5: Serie de tamices elegidos. ....	26
Tabla 6: Granulometría del suelo ensayado. ....	28
Tabla 7: Determinación límite plástico. ....	30
Tabla 8: Determinación límite líquido. ....	30
Tabla 9: Clasificación de suelos Método AASHTO. ....	32
Tabla 10: Clasificación de suelos USCS. ....	34
Tabla 11: Coeficientes de duración y frecuencia. ....	39
Tabla 12: Porcentaje de cemento en función del tipo de suelo. ....	42
Tabla 13: Dosificaciones de suelo-cemento. ....	43
Tabla 14: Medición de caudal para un período de retorno de 2 años. ....	48
Tabla 15: Medición de caudal para un período de retorno de 10 años. ....	48
Tabla 16: Resumen de resultados. ....	56
Tabla 17: Precipitaciones máximas para 10 años de período de retorno, precipitaciones máximas en 1, 2 y 3 días. ....	64
Tabla 18: Coeficientes de duración de varias ciudades para lluvias de igual período de retorno. ...	65
Tabla 19: Coeficientes de frecuencia para lluvias de igual duración. ....	66