

Índice de contenidos

1-	Capítulo 1- Introducción.....	1
1.1	Descripción del problema	2
1.2	Solución propuesta.....	3
1.3	Objetivos	5
1.3.1	Objetivo General.....	5
1.3.2	Objetivos Específicos	5
1.4	Alcances del proyecto	6
1.5	Metodologías y herramientas utilizadas.....	7
2-	Capítulo 2 Marco Teórico	9
2.1	Terremoto 27 de febrero en Chile	10
2.2	Fuentes sismogénicas	12
2.3	Material estéril	14
2.3.1	Botaderos	14
2.3.2	Control de aguas	17
2.3.3	Potenciales riesgos por fallamiento del botadero	17
2.4	Criterios de diseño de botaderos	19
2.4.1	Decreto supremo 132.....	19
2.4.2	Condiciones de sitio.....	20
2.4.3	Atenuación de la aceleración	23
2.4.4	Caracterización geotécnica	23
2.4.5	Estabilidad a través del método de equilibrio límite.....	32
2.4.6	Método pseudoestático	35
2.4.7	Softwares de diseño	35
3-	Capítulo 3 Metodología	38

3.1	Metodología	39
3.1.1	Etapa 1. Levantamiento de información	39
3.1.2	Etapa 2. Caracterización geotécnica	39
3.1.3	Etapa 3. Estudio Sísmico	40
3.1.4	Etapa 4. Modelamiento	40
3.1.5	Etapa 5. Análisis de resultados	40
4-	Capítulo 4 Análisis de Resultados.....	41
4.1	Levantamiento de información	42
4.1.1	Localización.....	42
4.1.2	Topografía.....	43
4.1.3	Clima.....	44
4.1.4	Hidrología.....	45
4.1.5	Geología.....	45
4.2	Caracterización geotécnica	46
4.2.1	Información de la mina	46
4.2.2	Descripción material estéril	46
4.2.3	Ensayo granulométrico	47
4.2.4	Límites de Atterberg.....	54
4.2.5	Densidad	56
4.2.6	Gravedad específica de los sólidos	57
4.2.7	Ensayo Proctor	58
4.2.8	Clasificación de suelos	59
4.2.9	Ángulo de reposo	60
4.2.10	Ensayos UCS.....	62
4.2.11	Resistencia al corte.....	64

4.2.12	Evaluación sísmica.....	66
4.3	Modelamiento	82
4.3.1	Análisis de pendiente	82
4.3.2	Nivel de suelo y nivel freático	85
4.3.3	Índice de estabilidad de descarga	86
4.3.4	Modelos	86
4.3.5	Análisis Estático	88
4.3.6	Análisis Pseudoestático	93
4.3.7	Análisis Estático post sísmico	100
4.3.8	Análisis Pseudoestático en condiciones no drenadas.	104
4.4	Selección de modelos.....	108
5-	Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones.....	112
5	Conclusiones.....	113
5.1	Recomendaciones.....	115
6-	Referencias.....	116
7-	Anexos	120
	Anexo 1. Curvas granulométricas material estéril	121
	Anexo 2. Fotografía material estéril correspondiente al saco 1 y 2.....	124
	Anexo 3. Curvas granulométricas suelo de fundación y coluvio.....	125
	Anexo 4. Fotografía depositación material estéril en acceso Colin en mina Chépica	126
	Anexo 5. Límites de Atterberg para el material del suelo	127
	Anexo 6. Densidades máximas y mínimas calculadas mediante el método de la mesa vibratoria.....	127
	Anexo 7. Ensayo Slug Test permeabilidad del suelo.....	129
	Anexo 8. Ensayos de densidad <i>in situ</i>	130

Anexo 9. Tabla de resultados rating DSR..... 133

Anexo 10. Curvas de diseño análisis dinámico *QUAKE/W* y *DEEPSOIL* 134

Anexo 11. Análisis estático para modelos considerando un ángulo de fricción interno de 37° y 39° 136

Anexo 12. Análisis pseudoestático para modelos considerando un ángulo de fricción interno de 37° y 39° 141

Anexo 13. Licencia Software Geostudio 146

Índice de figuras

Figura 1.1 Ubicación epicentro 27F y Mina Chépica.....	3
Figura 1.2 Mapa Mina Chépica mostrando las principales instalaciones (Modificado de Google Earth).	4
Figura 1.3 Corresponde al diagrama de flujo del procedimiento metodológico de este estudio.(Elaboración propia).	8
Figura 2.1 Mapa del epicentro (rojo) y replicas (azul) del terremoto del 27 de febrero del año 2010 (Barrientos, 2010).....	10
Figura 2.2 Mapa de daños sobre viviendas en la región del Maule, el epicentro del terremoto 27F eta demarcado con una estrella (Ministerio de Obras Publicas, 2010).	11
Figura 2.3 Mapa de la zona centro sur de Chile indicando la zonificación sísmica que la Norma Chilena 433 sugiere para el diseño de obras. (NCh433, 2011).....	12
Figura 2.4 Perfil de subducción perpendicular a la fosa en la Región del Maule, entre los 34,5° y 35,5° de latitud sur indicando los diferentes tipos de sismos de MW> 3,5 (Alfaro, 2011).	13
Figura 2.5 Esquema de composición de botadero minero (Sonami, 2014).	15
Figura 2.6 Esquemas de los diferentes tipos de botaderos mineros que se utilizan normalmente.....	16
Figura 2.7 Influencia de aguas lluvia en taludes (Montoya, 2009).....	17
Figura 2.8 Falla circular sobre cresta y falla circular completa. (Montoya, 2009).	18
Figura 2.9 Falla de cimentación (Montoya, 2009).....	18
Figura 2.10 Falla plana (Montoya, 2009).	19
Figura 2.11 Efectos sísmicos sobre taludes (Montoya, 2009).	21
Figura 2.12 PGA Estimado mediante métodos determinísticos y probabilísticos en la zona del Maule, estrella amarilla corresponde a la ubicación de la zona de estudio, mina chépica (Alfaro, 2011).	22
Figura 2.13 Correspondiente al mapa de PGA asociado a la región del Maule, utilizando métodos probabilísticos (Alfaro, 2011).	22
Figura 2.14 a) Curvas granulométricas paralelas (Dorador, L, 2018), b) Material estéril en mina Chépica, granulometría superior a 75mm (Elaboración propia).....	24
Figura 2.15 Curvas paralelas conservando el porcentaje de finos (izquierda), grafica de relación de vacíos en relación al tamaño de partícula (derecha) (Dorador, 2018).	26
Figura 2.16 Esquema máquina de corte modelo AUTOSHEAR 27-WF2160 marca Wykeham Farranc (Laboratorio construcción universidad de Talca).....	28
Figura 2.17 Valores típicos para cohesión C y ángulo de fricción interno ϕ para rocas comunes en Chile (Gonzales de Vallejo, 2012).	29

Figura 2.18 Ensayo de compresión sobre una roca..	30
Figura 2.19 Esquema de aplicación método del cono de arena (Braja M. Das, 2013).	32
Figura 2.20 Diagrama de cuerpo libre sobre el bloque o dovela i (Morgenstern, N.R. & Price, V.E., 1965).	34
Figura 4.1 Ubicación mina respecto ciudad de Talca (Modificado de Google Earth).	42
Figura 4.2 Ubicación mina (Modificado de Google Earth).	42
Figura 4.3 Vista superficial topografía superficie mina Chépica, al centro se puede observar el depósito de relave, con curvas de nivel cada 5 metros de elevación. (Elaboración propia).	43
Figura 4.4 Fotografía panorámica de mina Chépica tomada desde el muro del embalse mostrando la variabilidad de pendientes presentes (Elaboración propia).	43
Figura 4.5 Vista tridimensional topografía de la superficie de mina Chépica en dirección NW, al centro se puede observar el depósito de relave, con curvas de nivel cada 5 metros de elevación. (Elaboración propia).	44
Figura 4.6 Cuenca hidrográfica del Maule (Inventario Público de Cuencas Hidrográficas, DGA.).	45
Figura 4.7 Diaclasas presentes en muestra de material estéril (Elaboración Propia)	47
Figura 4.8 Plano del depósito de relaves indicando puntos de muestreo. (Elaboración propia).	48
Figura 4.9 Acopio material estéril mina Chépica (Elaboración Propia).	48
Figura 4.10 Fotografías material estéril mayor a 3 pulgadas (Elaboración propia).	49
Figura 4.11 Clasificación material estéril inferior a 3 pulgadas y superior a la malla #4 (Elaboración propia).	49
Figura 4.12 Tamices desde la malla 10 hasta la malla 200 con material estéril (Elaboración propia).	50
Figura 4.13 Ensayo de densidad in situ coluvio ladera (Elaboración propia).	57
Figura 4.14 Material compactado durante ensayo Proctor modificado.	59
Figura 4.15 A la izquierda. montículo formado por material estéril cuyo ángulo de reposo es de 34°. A la derecha montículo formado por suelo cuyo ángulo de reposo es de 31° (Elaboración propia).	60
Figura 4.16 A la izquierda medición en terreno de ángulo de reposo de material estéril cuyo valor es 35° a la derecha medición en terreno de ángulo de reposo de material estéril cuyo valor es 31° (Elaboración propia).	61
Figura 4.17 A la izquierda medición en terreno de ángulo de reposo material suelo cuyo valor es 22° a la derecha medición en terreno de ángulo de reposo material suelo cuyo valor es 32° (Elaboración propia)	61
Figura 4.18 Ensayo de compresión simple sobre material estéril (Elaboración propia).	62
Figura 4.19 Roca pre y post ensayo de compresión simple, con una fractura vertical sin rotura de matriz (Elaboración propia).	62

Figura 4.20 Aceleraciones registradas en un periodo de 70 segundos durante el terremoto del 27 de febrero del 2010 medidas en UTFSM. Valparaíso.	66
Figura 4.21 Mapa geológico zona de estudio (Rivas, 2015).	71
Figura 4.22 Columna estratigráfica Chépica (Rivas, 2015).....	72
Figura 4.23 Material del suelo de fundación in situ (Elaboración propia).	73
Figura 4.24 Andesita lixiviada, Sondaje mina Colin (Rivas, 2015).	74
Figura 4.25 Andesita porfídica Z1 (color gris verdoso) (Rivas, 2015).....	74
Figura 4.26 Andesita porfídica Z2 (Rivas, 2015).....	75
Figura 4.27 Columna de materiales (Elaboración propia).....	79
Figura 4.28 Registros de aceleración estimada mediante el software DEEPSOIL para cada material estudiado, Estéril, Suelo coluvio ladera, zona lixiviada y andesita Z1.....	80
Figura 4.29 Registros de desplazamiento estimada mediante el software DEEPSOIL para cada material estudiado, Estéril, Suelo coluvio ladera, zona lixiviada y andesita Z1.....	81
Figura 4.30 Intensidad de Arias registrada para cada material estudiado, Estéril, suelo coluvio ladera, zona lixiviada y andesita Z1	81
Figura 4.31 Mapa de la propiedad minera y sectores cercanos, (Modificado de Google Earth).	82
Figura 4.32 Mapa topográfico elaborado en ArcGis indicando las elevaciones del terreno de la propiedad minera Chépica (Elaboración propia).....	82
Figura 4.33 Vista cercana al mapa topográfico elaborado en ArcGis con elevaciones del terreno de la propiedad minera Chépica (Elaboración propia).....	83
Figura 4.34 Mapa elaborado en ArcGis indicando pendientes en porcentaje sobre el proyecto minero Chépica (Elaboración propia).....	83
Figura 4.35 Mapa elaborado en ArcGis indicando pendientes en porcentaje sobre el proyecto minero Chépica, incluyendo las posibles ubicaciones de los botaderos (Elaboración propia).	84
Figura 4.36 Fotografía ilustrada ubicación botadero 1, 3, 4 y 5 (Elaboración propia).	85
Figura 4.37 Fotografía ilustrada ubicación botadero 6 (Elaboración propia).	85
Figura 4.38 Fotografías en el cerro y en el acceso a túnel Chépica donde se puede observar un nivel de suelo entre 1 y 3 metros para las laderas del cerro y de 2 a 11 metros para las zonas planas(Elaboración propia).	86
Figura 4.39 Modelos 3D de botaderos sobre la topografía superficial de mina Chépica realizados en Vulcan	87
Figura 4.40 Botadero modelado frente al embalse de relaves utilizando Geostudio. (Elaboración propia).	88

Figura 4.41 Análisis estático para botadero 1 realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha).	90
Figura 4.42 Análisis estático para botadero 2 realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha).	91
Figura 4.43 Análisis estático para botadero 3 realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha).	91
Figura 4.44 Análisis estático para botadero 4 realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha).	91
Figura 4.45 Análisis estático para botadero 5 realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha).	92
Figura 4.46 Análisis estático para botadero 6 realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha).	92
Figura 4.47 Análisis estático para botadero refuerzo embalse realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha).	92
Figura 4.48 Resultados de aceleración peak (izquierda) y desplazamientos peak (derecha) para el botadero 1	94
Figura 4.49 Resultados de aceleración peak (izquierda) y desplazamientos peak (derecha) para el botadero 2	94
Figura 4.50 Resultados de aceleración peak (izquierda) y desplazamientos peak (derecha) para el botadero 3	94
Figura 4.51 Resultados de aceleración peak (izquierda) y desplazamientos peak (derecha) para el botadero 4	94
Figura 4.52 Resultados de aceleración peak (izquierda) y desplazamientos peak (derecha) para el botadero 5	95
Figura 4.53 Resultados de aceleración peak (izquierda) y desplazamientos peak (derecha) para el botadero 6	95
Figura 4.54 Resultados de aceleración peak (izquierda) y desplazamientos peak (derecha) para el botadero refuerzo embalse.	95
Figura 4.55 Análisis pseudoestático para botadero 1 realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha).	97
Figura 4.56 Análisis pseudoestático para botadero 2 realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha).	98
Figura 4.57 Análisis pseudoestático para botadero 3 realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha).	98

Figura 4.58 Análisis pseudoestático para botadero 4 realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha)..... 98

Figura 4.59 Análisis pseudoestático para botadero 5 realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha)..... 99

Figura 4.60 Análisis pseudoestático para botadero 6 realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha)..... 99

Figura 4.61 Análisis pseudoestático para botadero refuerzo embalse realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha)..... 99

Figura 4.62 Análisis post sísmico estático en condiciones no drenadas realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha) para botadero 1..... 101

Figura 4.63 Análisis post sísmico estático en condiciones no drenadas realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha) para botadero 2..... 102

Figura 4.64 Análisis post sísmico estático en condiciones no drenadas realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha) para botadero 3..... 102

Figura 4.65 Análisis post sísmico estático en condiciones no drenadas realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha) para botadero 4..... 102

Figura 4.66 Análisis post sísmico estático en condiciones no drenadas realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha) para botadero 5..... 103

Figura 4.67 Análisis post sísmico estático en condiciones no drenadas realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha) para botadero 6..... 103

Figura 4.68 Análisis post sísmico estático en condiciones no drenadas realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha) para botadero Refuerzo embalse 103

Figura 4.69 Análisis pseudoestático en condiciones no drenadas realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha) para botadero 1 105

Figura 4.70 Análisis pseudoestático en condiciones no drenadas realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha) para botadero 2 106

Figura 4.71 Análisis pseudoestático en condiciones no drenadas realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha) para botadero 3 106

Figura 4.72 Análisis pseudoestático en condiciones no drenadas realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha) para botadero 4 106

Figura 4.73 Análisis pseudoestático en condiciones no drenadas realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha) para botadero 5 107

Figura 4.74 Análisis pseudoestático en condiciones no drenadas realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha) para botadero 6 107

Figura 4.75 Análisis pseudoestático en condiciones no drenadas realizado en SLOPE/W (izquierda) y en Slide (derecha) para botadero refuerzo embalse.....	107
Figura 4.76 Mapa propiedad minera con ubicaciones de botaderos indicando el factor de seguridad del análisis pseudoestático asociado a cada uno. (elaboración propia).	109
Figura 4.77 Mapa con las direcciones a los túneles de extracción	110
Figura 7.1 Análisis Granulométrico Estéril Muestra 1.....	121
Figura 7.2 Análisis Granulométrico Estéril Muestra 2.....	121
Figura 7.3 Análisis Granulométrico Estéril Muestra 3.....	122
Figura 7.4 Análisis Granulométrico Estéril Muestra 4.....	122
Figura 7.5 Análisis Granulométrico Estéril Muestra 5.....	123
Figura 7.6 Análisis Granulométrico Estéril Muestra Total.....	123
Figura 7.7 Material estéril saco 1	124
Figura 7.8 Material estéril saco 2	124
Figura 7.9 Tamizaje manual realizado para material grueso,	124
Figura 7.10 Curvas granulométricas Suelo de fundación suelo lecho de quebrada 1.....	125
Figura 7.11 Curvas granulométricas Suelo de fundación suelo lecho de quebrada 2.....	125
Figura 7.12 Curvas granulométricas Suelo de fundación coluvio laderas.....	125
Figura 7.13 Deposición material estéril en acceso Colin en mina Chépica desde distintos ángulos...	126
Figura 7.14 Límites de Atterberg para el material del suelo de fundación.....	127
Figura 7.15 Ensayo densidad mínima y máxima mediante método de la mesa vibratoria Muestra Estéril H1.....	127
Figura 7.16 Ensayo densidad mínima y máxima mediante método de la mesa vibratoria Muestra Estéril H2.....	128
Figura 7.17 Ensayo densidad mínima y máxima mediante método de la mesa vibratoria Muestra Estéril H3.....	128
Figura 7.18 Ensayo Slug test permeabilidad del suelo lecho de quebrada.....	129
Figura 7.19 Ensayo Slug test permeabilidad del suelo Resumen resultados.....	129
Figura 7.20 Ensayo de densidad in situ mediante el método del cono de arena suelo de fundación coluvio de laderas.....	130
Figura 7.21 Ensayo de densidad in situ mediante el método del cono de arena suelo de fundación lecho de quebrada.....	130
Figura 7.22 Ensayo de densidad in situ mediante el método del cono de arena suelo de fundación suelo lecho de quebrada.....	131
Figura 7.23 Instalación cono de arena para ensayo de densidad in situ coluvio de laderas.....	131

Figura 7.24 Preparación del terreno para ensayo de densidad in situ.....	132
Figura 7.25 Material del suelo de fundación.....	132
Figura 7.26 Tabla de resultados rating DSR.....	133
Figura 7.27 Tabla de resultados rating DSR interpretación de resultados.....	134
Figura 7.28 Relación G/G_{max} para material del suelo de fundación.....	134
Figura 7.29 Relación coeficiente de amortiguamiento vs tensión.....	135
Figura 7.30 Curva de estimación G_{max}	135
Figura 7.31 Análisis estático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 37° para botadero 1	136
Figura 7.32 Análisis estático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 39° para botadero 1	136
Figura 7.33 Análisis estático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 37° para botadero 2	137
Figura 7.34 Análisis estático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 39° para botadero 2	137
Figura 7.35 Análisis estático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 37° para botadero 3	137
Figura 7.36 Análisis estático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 39° para botadero 3	138
Figura 7.37 Análisis estático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 37° para botadero 4	138
Figura 7.38 Análisis estático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 39° para botadero 4	138
Figura 7.39 Análisis estático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 37° para botadero 5	139
Figura 7.40 Análisis estático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 39° para botadero 5	139
Figura 7.41 Análisis estático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 37° para botadero 6	139
Figura 7.42 Análisis estático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 39° para botadero 6	140
Figura 7.43 Análisis estático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 37° para botadero embalse.....	140

Figura 7.44 Análisis estático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 39° para botadero embalse..... 140

Figura 7.45 Análisis pseudoestático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 37° para botadero 1..... 141

Figura 7.46 Análisis pseudoestático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 39° para botadero 1..... 141

Figura 7.47 Análisis pseudoestático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 37° para botadero 2..... 142

Figura 7.48 Análisis pseudoestático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 39° para botadero 2..... 142

Figura 7.49 Análisis pseudoestático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 37° para botadero 3..... 142

Figura 7.50 Análisis pseudoestático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 39° para botadero 3..... 143

Figura 7.51 Análisis pseudoestático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 37° para botadero 4..... 143

Figura 7.52 Análisis pseudoestático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 39° para botadero 4..... 143

Figura 7.53 Análisis pseudoestático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 37° para botadero 5..... 144

Figura 7.54 Análisis pseudoestático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 39° para botadero 5..... 144

Figura 7.55 Análisis pseudoestático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 37° para botadero 6..... 144

Figura 7.56 Análisis pseudoestático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 39° para botadero 6..... 145

Figura 7.57 Análisis pseudoestático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 37° para botadero refuerzo embalse..... 145

Figura 7.58 Análisis pseudoestático en SLOPE/W y Slide con un ángulo de fricción de 39° para botadero refuerzo embalse..... 145

Índice de tablas

Tabla 2.1 Registros UTFSM Terremoto 27F (RENADIC, 2010).	12
Tabla 4.1 Parámetros curva granulométrica	51
Tabla 4.2 propiedades curvas homotéticas.	52
Tabla 4.3 Propiedades granulométricas material suelo.....	54
Tabla 4.4 Propiedades plasticidad materiales	55
Tabla 4.5 Densidades mínimas y máximas de muestras homotéticas.	56
Tabla 4.6 Densidades <i>in situ</i> material del suelo.....	57
Tabla 4.7 Gravedad específica y propiedades índices.	58
Tabla 4.8 Resumen clasificación de suelos.....	59
Tabla 4.9 Diámetros proyectados en ensayo de ángulo de reposo de material estéril y suelo. 60	
Tabla 4.10 Resultados ensayo de compresión simple.....	63
Tabla 4.11 Resumen resultados ensayo de	63
Tabla 4.12 Resumen resultados ensayo de corte en material coluvio ladera.....	64
Tabla 4.13 Resumen resultado ensayo de corte suelo lecho de quebrada.....	65
Tabla 4.14 Valores cohesión y ángulo de fricción interno para los materiales en condiciones drenadas y no drenadas.	66
Tabla 4.15 Registro UTFSM Terremoto 27F	67
Tabla 4.16 Resultados estimados de cada ley de atenuación para distintas locaciones.....	68
Tabla 4.17 Caracterización Suelo de fundación.	73
Tabla 4.18 Caracterización Andesita Lixiviada.....	74
Tabla 4.19 Estrato andesita Z1	75
Tabla 4.20 Estrato andesita porfídica Z2	75
Tabla 4.21 periodo T(s) asociado a cada material.	76
Tabla 4.22 periodo asociado a el estrato ponderado y roca andesita Z1.....	77
Tabla 4.23 PGA y desplazamientos asociados a cada material estimado mediante <i>DEEPSOIL</i>	79
Tabla 4.24 Elementos del Mapa de la Figura 37.	84
Tabla 4.25 Resumen parámetros geométricos botaderos diseñados.	87

Tabla 4.26 Resumen resultados obtenidos del análisis estático realizado en ambos softwares para diferentes ángulos de fricción internos del material estéril.	89
Tabla 4.27 Resumen resultados obtenidos del análisis dinámico realizado en <i>QUAKE/W</i> para los diferentes modelos diseñados.....	96
Tabla 4.28 Resumen resultados obtenidos del análisis pseudoestático realizado en ambos softwares para diferentes ángulos de fricción internos del material estéril.	96
Tabla 4.29 Resumen resultados obtenidos del análisis estático en condiciones no drenadas realizado en ambos softwares para diferentes ángulos de fricción internos del material estéril.	100
Tabla 4.30 Resumen resultados obtenidos del análisis pseudoestático para condiciones no drenadas realizado en ambos softwares para diferentes ángulos de fricción internos del material estéril.....	105
Tabla 4.31 Factores de seguridad obtenidos en los diferentes análisis realizados.....	108
Tabla 4.32 Distancia de los botaderos a los minas Colin y Chépica 1 (elaboración propia)..	110
Tabla 4.33 Ponderación prioridad diseños botaderos mineros.	111

Índice de gráficas

Gráfica 4.1 Curva Granulométrica material estéril.	50
Gráfica 4.2 Curvas homotéticas.	51
Gráfica 4.3 Curva Granulométrica del coluvio de ladera.	52
Gráfica 4.4 Curva granulométrica del suelo 1 lecho quebrada.	53
Gráfica 4.5 Curva granulométrica del suelo 2 lecho quebrada.	53
Gráfica 4.6 Curvas granulométricas Suelo de fundación.....	54
Gráfica 4.7 Límite liquido Suelo lecho de quebrada.	55
Gráfica 4.8 Límite liquido Coluvio ladera.	55
Gráfica 4.9 Densidades muestras homotéticas y extrapolación a muestra original.	56
Gráfica 4.10 Diagrama Ensayo Proctor Estándar para Coluvio ladera.	58
Gráfica 4.11 Envolvente de resistencia al corte Coluvio ladera	64
Gráfica 4.12 Envolvente resistencia al corte material suelo lecho de quebrada.	65
Gráfica 4.13 Leyes de atenuación en función de la distancia.	67

Gráfica 4.14 Registro de aceleración estimado zona Penciahue realizado en DEEPSOIL	69
Gráfica 4.15 Registro desplazamientos estimados zona Penciahue realizado en DEEPSOIL ..	69
Gráfica 4.16 registro intensidad de Arias estimada zona Penciahue	70
Gráfica 4.17 Frecuencias máximas asociadas a cada material en función del periodo	77
Gráfica 4.18 Frecuencia máxima asociada al estrato ponderado y andesita Z1	78
Gráfica 4.19 Factor de seguridad obtenido en cada modelo en función del ángulo de fricción interno del material estéril	90
Gráfica 4.20 Factor de seguridad análisis pseudoestático para diferentes ángulos de fricción interno del material estéril	97
Gráfica 4.21 Factor de seguridad análisis pseudoestático para diferentes ángulos de fricción interno del material	101
Gráfica 4.22 Factor de seguridad análisis pseudoestático en condiciones no drenadas para diferentes ángulos de fricción interno del material estéril	104

Índice de anexos

Anexo 1. Curvas granulométricas material estéril	121
Anexo 2. Fotografía material estéril correspondiente al saco 1 y 2	124
Anexo 3. Curvas granulométricas suelo de fundación y coluvio	125
Anexo 4. Fotografía depositación material estéril en acceso Colin en mina Chépica	126
Anexo 5. Límites de Atterberg para el material del suelo	127
Anexo 6. Densidades máximas y mínimas calculadas mediante el método de la mesa vibratoria	127
Anexo 7. Ensayo Slug Test permeabilidad del suelo	129
Anexo 8. Ensayos de densidad <i>in situ</i>	130
Anexo 9. Tabla de resultados rating DSR	133
Anexo 10. Curvas de diseño análisis dinámico <i>QUAKE/W</i> y <i>DEEPSOIL</i>	134
Anexo 11. Análisis estático para modelos considerando un ángulo de fricción interno de 37° y 39°	136
Anexo 12. Análisis pseudoestático para modelos considerando un ángulo de fricción interno de 37° y 39°	141
Anexo 13. Licencia Software Geostudio	146