

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1	ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN.....	1
1.2	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.3	SOLUCIÓN PROPUESTA .....	2
1.4	OBJETIVOS .....	2
1.4.1	Objetivo general.....	2
1.4.2	Objetivos específicos .....	2
1.5	ALCANCES .....	2
1.6	METODOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS .....	3
1.7	RESULTADOS ESPERADOS .....	3
1.8	ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO .....	3
1.8.1	Antecedentes teóricos.....	3
1.8.2	Antecedentes generales .....	4
1.8.3	Metodología propuesta .....	4
1.8.4	Resultados .....	4
1.8.5	Conclusiones.....	4
<b>2</b>	<b>ANTECEDENTES TEÓRICOS</b> .....	5
2.1	INTRODUCCIÓN .....	5
2.2	BOTADERO DE ESTÉRILES MINEROS .....	7
2.3	FALLAS SIN CONTROL ESTRUCTURAL .....	7
2.3.1	Caída de Rocas.....	7
2.3.2	Falla Circular .....	7
2.3.3	Falla no Circular.....	8
2.4	FACTOR DE SEGURIDAD.....	9
2.4.1	Criterio de aceptabilidad .....	9
2.5	PROBABILIDAD DE FALLA .....	10
2.5.1	Criterios de aceptabilidad .....	10
2.6	ANÁLISIS SÍSMICO .....	11
2.7	CALCULO DE ESTABILIDAD DE TALUDES.....	12
2.8	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD .....	14

2.8.1	Métodos de Equilibrio Límite.....	15
2.8.2	Métodos numéricos .....	21
3	ANTECEDENTES GENERALES.....	25
3.1	PROYECTO CONTINUIDAD MINA GABRIELA .....	25
3.2	UBICACIÓN Y ACCESO AL ÁREA .....	25
3.3	GEOLOGÍA.....	27
3.4	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	29
3.5	DEPÓSITOS DEL SUELO DE FUNDACIÓN.....	30
4	METODOLOGÍA PROPUESTA .....	33
4.1	INTRODUCCIÓN .....	33
4.2	MÉTODOS DE ANÁLISIS .....	34
4.2.1	Análisis estático.....	34
4.2.2	Análisis pseudoestático sismo operacional.....	34
4.2.3	Análisis pseudoestático sismo máximo .....	35
4.3	PERFILES SELECCIONADOS .....	35
4.3.1	Botadero China Sur .....	35
4.3.2	Botadero Japón/India .....	36
4.3.3	Botadero Tailandia .....	37
4.4	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES .....	39
4.5	CRITERIOS DE ACEPTABILIDAD .....	41
4.6	SISMICIDAD.....	42
5	RESULTADOS.....	43
5.1	Modelamiento numérico .....	43
5.2	Método de equilibrio limite .....	55
6	CONCLUSIONES.....	69
7	REFERENCIAS .....	73
8	ANEXOS.....	74
8.1	ANEXO A.....	74
8.2	ANEXO B.....	77
8.3	ANEXO C.....	80
8.4	ANEXO D.....	83
8.5	ANEXO E.....	85

<b>8.6</b>	<b>ANEXO F</b> .....	87
<b>8.7</b>	<b>ANEXO G</b> .....	89
<b>8.8</b>	<b>ANEXO H</b> .....	91
<b>8.9</b>	<b>ANEXO I</b> .....	94
<b>8.10</b>	<b>ANEXO J</b> .....	96
<b>8.11</b>	<b>ANEXO K</b> .....	98
<b>8.12</b>	<b>ANEXO L</b> .....	100
<b>8.13</b>	<b>ANEXO M</b> .....	102
<b>8.14</b>	<b>ANEXO N</b> .....	103
<b>8.15</b>	<b>ANEXO Ñ</b> .....	104

## ÍNDICE DE FIGURA

Figura 2.1: Clasificación de taludes.....	6
Figura 2.2: Casos que requieren análisis de estabilidad de taludes (L., 2009).....	6
Figura 2.3: Proyección estereográfica de rotura rotacional (Lopez, 2016).....	8
Figura 2.4: Esquema de falla rotacional no circular. (SERNAGEOMIN, 2018).....	8
Figura 2.5: Formulación del método pseudoestático.....	12
Figura 2.6: Esquema métodos de cálculo para estabilidad de taludes.....	13
Figura 2.7: Fuerzas actuando sobre una superficie de rotura en talud (Luis I. González de Vallejos, 2004).....	17
Figura 2.8: Formulación del método de Bishop simplificado (Véliz).....	18
Figura 2.9: Formulación del método de Jabu (Véliz).....	20
Figura 2.10: Formulación del método de Morgenstern-Price (Véliz).....	21
Figura 2.11: Desarrollo del método de elementos finitos (Brady, 2004).....	22
Figura 2.12: Envoltorio de falla según criterio de Mohr-Coulomb (Dawson et al., 1999). 23	23
Figura 3.1: Ubicación PCMG.....	26
Figura 3.2: Localización de las concesiones de PCMG en la carta geológica general.....	27
Figura 3.3: Mapa de la geología distrital.....	28
Figura 3.4: Carta Altamira (Servicio Nacional de Geología y Minería).....	29
Figura 3.5: Geología de la roca basal, Botadero China Sur.....	31
Figura 3.6: Geología de la roca basal, Botadero Tailandia.....	32
Figura 4.1: Etapas para realizar un estudio de estabilidad de taludes.....	33
Figura 4.2: Esquema general de metodología propuesta.....	34
Figura 4.3: Imagen representativa del Botadero China Sur, donde se muestran las secciones evaluadas.....	36
Figura 4.4: Imagen representativa del Botadero Japón/India, donde se muestran las secciones evaluadas.....	37
Figura 4.5: Imagen representativa del Botadero Tailandia, donde se muestran las secciones evaluadas.....	38
Figura 4.6: Identificación de los materiales correspondientes a la Sección A del Botadero China Sur (Software Phase2).....	39
Figura 4.7: Identificación de los materiales correspondientes a la Sección D del Botadero Japón/India (Software Phase2).....	40
Figura 4.8: Identificación de los materiales correspondientes a la Sección G del Botadero Tailandia (Software Phase2).....	40
Figura 4.9: Coeficiente sísmico correspondiente a PCMG.....	42
Figura 5.1: Resultado análisis SSR correspondiente a la Sección A del Botadero China Sur.....	43
Figura 5.2: Gráfico de comportamiento entre el SRF y el desplazamiento máximo para la Sección A.....	44
Figura 5.3: Resultado análisis SSR correspondiente a la Sección B del Botadero China Sur.....	45
Figura 5.4: Gráfico de comportamiento entre el SRF crítico y el desplazamiento máximo para la Sección B.....	45

Figura 5.5: Resultado análisis SSR correspondiente a la Sección C del Botadero China Sur .....	46
Figura 5.6: Gráfico de comportamiento entre el SRF y el desplazamiento máximo para la Sección C.....	47
Figura 5.7: Resultado análisis SSR correspondiente a la Sección D del Botadero Japón/India .....	48
Figura 5.8: Gráfico de comportamiento entre el SRF y el desplazamiento máximo para la Sección D .....	48
Figura 5.9: Resultado análisis SSR correspondiente a la Sección E del Botadero Japón/India .....	49
Figura 5.10: Gráfico de comportamiento entre el SRF y el desplazamiento máximo para la Sección E.....	50
Figura 5.11: Resultado análisis SSR correspondiente a la Sección F del Botadero Japón/India .....	50
Figura 5.12: Gráfico de comportamiento entre el SRF y el desplazamiento máximo para la Sección F.....	51
Figura 5.13: Resultado análisis SSR correspondiente a la Sección G del Botadero Tailandia .....	52
Figura 5.14: Gráfico de comportamiento entre el SRF y el desplazamiento máximo para la Sección G .....	52
Figura 5.15: Resultado análisis SSR correspondiente a la Sección H del Botadero Tailandia .....	53
Figura 5.16: Gráfico de comportamiento entre el SRF y el desplazamiento para la Sección H .....	54
Figura 5.17: Análisis de estabilidad estático de falla no circular para la sección A del Botadero China Sur.....	55
Figura 5.18: Análisis de estabilidad sismo operacional de falla no circular para la sección A del Botadero China Sur .....	55
Figura 5.19: Análisis de estabilidad sismo máximo probable de falla no circular para la sección A del Botadero China Sur.....	56
Figura 5.20: Análisis de estabilidad estático de falla no circular para la sección B del Botadero China Sur.....	56
Figura 5.21: Análisis de estabilidad sismo operacional de falla no circular para la sección B del Botadero China Sur .....	57
Figura 5.22: Análisis de estabilidad sismo máximo probable de falla no circular para la sección B del Botadero China Sur .....	57
Figura 5.23: Análisis de estabilidad estático de falla no circular para la sección C del Botadero China Sur.....	58
Figura 5.24: Análisis de estabilidad sismo operacional de falla no circular para la sección C del Botadero China Sur .....	58
Figura 5.25: Análisis de estabilidad sismo máximo probable de falla no circular para la sección C del Botadero China Sur .....	59

Figura 5.26: Análisis de estabilidad estático de falla no circular para la sección D del Botadero Japón/India .....	59
Figura 5.27: Análisis de estabilidad sismo operacional de falla no circular para la sección D del Botadero Japón/India.....	60
Figura 5.28: Análisis de estabilidad sismo máximo probable de falla no circular para la sección D del Botadero Japón/India .....	60
Figura 5.29: Análisis de estabilidad estático de falla no circular para la sección E del Botadero Japón/India .....	61
Figura 5.30: Análisis de estabilidad sismo operacional de falla no circular para la sección E del Botadero Japón/India.....	61
Figura 5.31: Análisis de estabilidad sismo máximo probable de falla no circular para la sección E del Botadero Japón/India .....	62
Figura 5.32: Análisis de estabilidad estático de falla no circular para la sección F del Botadero Japón/India .....	62
Figura 5.33: Análisis de estabilidad sismo operacional de falla no circular para la sección F del Botadero Japón/India.....	63
Figura 5.34: Análisis de estabilidad sismo máximo probable de falla no circular para la sección F del Botadero Japón/India .....	63
Figura 5.35: Análisis de estabilidad estático de falla no circular para la sección G del Botadero Tailandia.....	64
Figura 5.36: Análisis de estabilidad sismo operacional de falla no circular para la sección G del Botadero Tailandia .....	64
Figura 5.37: Análisis de estabilidad sismo máximo probable de falla no circular para la sección G del Botadero Tailandia.....	65
Figura 5.38: Análisis de estabilidad estático de falla no circular para la sección H del Botadero Tailandia.....	65
Figura 5.39: Análisis de estabilidad sismo operacional de falla no circular para la sección H del Botadero Tailandia .....	66
Figura 5.40: Análisis de estabilidad sismo máximo probable de falla no circular para la sección H del Botadero Tailandia.....	66
Figura 5.41: Factor de seguridad para condición estática .....	67
Figura 5.42: Factor de seguridad para condición sismo operacional.....	67
Figura 5.43: Factor de seguridad para condición sismo máximo probable.....	68
Figura 6.1: Factor de Seguridad para condición estática .....	70
Figura 6.2: Factor de Seguridad para condición sismo operacional .....	70
Figura 6.3: Factor de Seguridad para condición de sismo máximo probable .....	71
Figura 6.4: Comparación condición estática y pseudoestática .....	71
Figura 6.5: Comparación factores asociados a métodos de análisis .....	72
Figura 8.1: Resultado reducción de la fuerza de corte para la Sección A con un SRF 1,83	74
Figura 8.2: Resultado reducción de la fuerza de corte para la Sección A con un SRF 1,84	74
Figura 8.3: Resultado reducción de la fuerza de corte para la Sección B con un SRF 2,46	77
Figura 8.4: Resultado reducción de la fuerza de corte para la Sección B con un SRF 2,51	77
Figura 8.5: Resultado reducción de la fuerza de corte para la Sección B con un SRF 2,52	78

Figura 8.6: Resultado reducción de la fuerza de corte para la Sección C con un SRF 2,44	80
Figura 8.7: Resultado reducción de la fuerza de corte para la Sección C con un SRF 2,5 ..	80
Figura 8.8: Resultado reducción de la fuerza de corte para la Sección D con un SRF 1,74	83
Figura 8.9: Resultado reducción de la fuerza de corte para la Sección D con un SRF 1,75	83
Figura 8.10: Resultado reducción de la fuerza de corte para la Sección E con un SRF 2,1	85
Figura 8.11: Resultado reducción de la fuerza de corte para la Sección E con un SRF 2,11	85
Figura 8.12: Resultado reducción de la fuerza de corte para la Sección F con un SRF 1,9187	85
Figura 8.13: Resultado reducción de la fuerza de corte para la Sección F con un SRF 1,9287	85
Figura 8.14: Resultado reducción de la fuerza de corte para la Sección G con un SRF 1,8	89
Figura 8.15: Resultado reducción de la fuerza de corte para la Sección G con un SRF 1,81	89
Figura 8.16: Resultado reducción de la fuerza de corte para la Sección H con un SRF 1,95	91
Figura 8.17: Resultado reducción de la fuerza de corte para la Sección H con un SRF 1,96	91
Figura 8.18: Resultado análisis estático mediante método de Bishop	96
Figura 8.19: Resultado análisis estático mediante método Janbu	96
Figura 8.20: Resultado análisis estático mediante método Spencer	97
Figura 8.21: Resultado análisis estático mediante método GLE	97
Figura 8.22: Resultado análisis sismo operacional mediante método Bishop	98
Figura 8.23: Resultado análisis sismo operacional mediante método Janbu	98
Figura 8.24: Resultado análisis sismo operacional mediante método Spencer	99
Figura 8.25: Resultado análisis sismo operacional mediante método GLE	99
Figura 8.26: Resultado análisis sismo máximo probable mediante método Bishop	100
Figura 8.27: Resultado análisis sismo máximo probable mediante método Janbu	100
Figura 8.28: Resultado análisis sismo máximo probable mediante método Spencer	101
Figura 8.29: Resultado análisis sismo máximo probable mediante método GLE	101
Figura 8.30: Mapa zonas (F. Leyton, 2009)	103
Figura 8.31: Periodo de retorno para la zona de PCMG	105
Figura 8.32: Aceleración para PCGM	106

## ÍNDICE DE TABLA

Tabla 2.1: Principales causas de inestabilidad .....	5
Tabla 2.2: Criterios de aceptabilidad de Factor de Seguridad en botaderos (Hustrulid). .....	9
Tabla 2.3: Criterio de aceptabilidad de probabilidad de falla en botadero (Hustrulid) .....	11
Tabla 4.1: Características geométricas Botadero China Sur .....	35
Tabla 4.2: Características geométricas Botadero Japón/India.....	36
Tabla 4.3: Características geométricas Botadero Tailandia .....	37
Tabla 4.4: Parámetros Geotécnicos .....	39
Tabla 4.5: Criterio de aceptabilidad de Factor de Seguridad para botaderos.....	41
Tabla 4.6: Criterios de aceptabilidad de Probabilidad de Falla para botaderos .....	41
Tabla 4.7: Resultado coeficiente sísmico correspondiente PCMG .....	42
Tabla 5.1: Propiedades de resistencia reducidas para SRF critico de la Sección A .....	44
Tabla 5.2: Propiedades de resistencia reducidas para SRF critico de la Sección B .....	45
Tabla 5.3: Propiedades de resistencia reducidas para SRF critico de la Sección C .....	47
Tabla 5.4: Propiedades de resistencia reducidas para SRF critico de la Sección D .....	49
Tabla 5.5: Propiedades de resistencia reducidas para SRF critico de la Sección E.....	50
Tabla 5.6: Propiedades de resistencia reducidas para SRF critico de la Sección F.....	51
Tabla 5.7: Propiedades de resistencia reducidas para SRF critico de la Sección G .....	53
Tabla 5.8: Propiedades de resistencia reducidas para SRF critico de la Sección H .....	54
Tabla 8.1: Resultados obtenidos para cada SRF de la Sección A .....	74
Tabla 8.2: Resultados obtenidos para cada SRF de la Sección B.....	78
Tabla 8.3: Resultados obtenidos para cada SRF de la Sección C.....	80
Tabla 8.4: Resultados obtenidos para cada SRF de la Sección D .....	83
Tabla 8.5: Resultados obtenidos para cada SRF de la Sección E.....	85
Tabla 8.6: Resultados obtenidos para cada SRF de la Sección F.....	87
Tabla 8.7: Resultados obtenidos para cada SRF de la Sección G .....	89
Tabla 8.8: Resultados obtenidos para cada SRF de la Sección H .....	91
Tabla 8.9: Resultado análisis de estabilidad estático.....	94
Tabla 8.10: Resultado análisis de estabilidad sismo operacional.....	94
Tabla 8.11: Resultado de análisis de estabilidad sismo máximo probable .....	95
Tabla 8.12: Distribución de sismo corresponde a la zona de PCMG .....	102
Tabla 8.13: Valores de a y b correspondiente para las zonas estudiadas.....	103