

Tabla de Contenido

1	Introducción.....	1
1.1	Objetivos.....	2
1.1.1	Objetivo general	2
1.1.2	Objetivos específicos.....	2
1.2	Estructura del trabajo.....	2
2	Marco Teórico	3
2.1	Relave y depósitos de relaves.....	3
2.2	Tipos de depósitos de relaves	4
2.3	Métodos constructivos.....	5
2.3.1	Método de aguas arriba.....	5
2.3.2	Método de aguas abajo	6
2.3.3	Método de eje central	6
2.4	Modos de falla	7
2.4.1	Licuación sísmica	7
2.4.2	Inestabilidad de taludes	8
2.4.3	Rebalse	9
2.4.4	Erosión interna.....	9
2.4.5	Capacidad de soporte.....	12
2.5	Variables geotécnicas	14
2.5.1	Nivel freático	16
2.5.2	Presiones de poros	16
2.5.3	Filtraciones	16
2.5.4	Deformaciones.....	16
2.5.4.1	Deformaciones horizontales	16
2.5.4.2	Asentamientos	17
2.5.4.3	Deformaciones sísmicas	17
2.5.5	Aceleraciones sísmicas	17
2.5.6	Esfuerzos totales	17
2.5.7	Revancha	17
2.5.8	Caudal.....	18
2.5.9	Distancia a la laguna de aguas claras.....	18
2.5.10	Volumen de agua en la laguna.....	18
2.6	Otras variables	18
2.6.1	Condiciones climáticas	18
2.7	Métodos y técnicas utilizadas para el monitoreo de variables geotécnicas.....	18
2.7.1	Métodos invasivos	19
2.7.1.1	Piezómetro	20
2.7.1.2	Inclinómetro	22
2.7.1.3	Extensómetro de varilla	24
2.7.1.4	Clinoextensómetro.....	25
2.7.1.5	Limnómetro	25
2.7.1.6	Celdas de asentamientos de cuerda vibrante	26
2.7.1.7	Celda de presión	27
2.7.1.8	Aforador de caudal	27

2.7.1.9	Acelerómetro	27
2.7.1.10	GPS/GNSS	28
2.7.1.11	Prisma de control topográfico	29
2.7.2	Métodos semi invasivos	29
2.7.2.1	Levantamiento batimétrico	30
2.7.2.2	Radar de estabilidad de taludes (SSR).....	30
2.7.2.3	Escáner láser	32
2.7.2.4	Estación total automática.....	32
2.7.2.5	Tomografía de resistividad eléctrica (ERT)	33
2.7.2.6	Estación meteorológica automática	34
2.7.3	Métodos no invasivos	35
2.7.3.1	Light detection and ranging (LiDAR)	35
2.7.3.2	Sistema de radar de apertura sintética interferométrica (InSAR).....	36
2.7.3.3	Fotogrametría	36
2.7.3.4	Imágenes hiperespectrales (HSI)	37
2.7.3.5	Imágenes térmicas	37
2.8	Sistemas de información.....	37
2.9	Estado de la práctica según la literatura de los sistemas de monitoreo geotécnico en depósitos de relaves	38
2.9.1	Literatura internacional.....	38
2.9.2	Literatura chilena.....	40
3	Clasificación por Ventajas y Limitaciones de los Métodos y Técnicas de Monitoreo Geotécnico en Depósitos de Relaves.....	41
3.1	Métodos invasivos	41
3.1.1	Nivel freático y presiones de poros	41
3.1.2	Filtraciones	43
3.1.3	Deformaciones.....	43
3.1.4	Esfuerzos totales	46
3.1.5	Aceleraciones sísmicas	47
3.1.6	Revancha	47
3.2	Métodos semi invasivos	48
3.2.1	Volumen de agua en la laguna.....	48
3.2.2	Deformaciones.....	49
3.2.3	Filtraciones	51
3.2.4	Condiciones climáticas	52
3.3	Métodos no invasivos	52
3.3.1	Deformaciones.....	52
3.3.2	Otros	55
4	Estado de la Práctica Respecto a la Instrumentación y Monitoreo en Depósitos de Relaves Chilenos.....	56
4.1	Normativa chilena.....	56
4.1.1	Decreto supremo N°248	56
4.1.2	Decreto supremo N°35	58
4.2	Programa Tranque	64
4.3	Catastro de instrumentación en depósitos de relaves chilenos	67
4.3.1	Depósito de Arenas, Caserones	67
4.3.2	Depósito de Relaves Espesados Minera Centinela.....	68
4.3.3	Depósito de Relaves El Trigo.....	69

4.3.4	Depósito de Relaves Los Corralillos	70
4.3.5	Depósito de Relaves Los Diques	71
4.3.6	Depósito de Relaves Pampa Pabellón	71
4.3.7	Depósito de Relaves Sierra Gorda.....	72
4.3.8	Depósito de Relaves Zaldívar.....	73
4.3.9	Embalse Carén.....	74
4.3.10	Embalse de Lamas, Caserones	75
4.3.11	Embalse de Relaves Altonorte.....	76
4.3.12	Embalse de Relaves Carmen de Andacollo.....	77
4.3.13	Embalse de Relaves Salar de Talabre.....	78
4.3.14	Tranques de Relaves Barahona 1 y 2.....	79
4.3.15	Tranque de Relaves El Mauro	80
4.3.16	Tranque de Relaves El Torito.....	80
4.3.17	Tranque de Relaves Las Tórtolas	81
4.3.18	Tranque de Relaves Los Quillayes	83
4.3.19	Tranque de Relaves Laguna Seca.....	84
4.3.20	Tranque de Relaves Ovejería.....	85
4.3.21	Tranque de Relaves Pampa Austral.....	86
4.4	Estado de la práctica de los sistemas de monitoreo geotécnico y perspectiva hacia el futuro 87	
5	Análisis Crítico de Sistemas de Instrumentación y Monitoreo en la Actualidad	89
5.1	Variables geotécnicas	90
5.1.1	Nivel freático y presiones de poros.	90
5.1.2	Filtraciones	92
5.1.3	Deformaciones.....	93
5.1.4	Aceleraciones sísmicas	96
5.1.5	Esfuerzos totales	97
5.1.6	Condiciones climáticas	97
5.1.7	Revancha	97
5.1.8	Caudal.....	98
5.1.9	Distancia a la laguna de aguas claras.....	98
5.1.10	Volumen de agua en la laguna.....	99
6	Propuesta Metodológica Avanzada de Instrumentación y Monitoreo de Depósitos de Relaves	101
6.1	Monitoreo de nivel freático y presiones de poros	101
6.2	Monitoreo de filtraciones.....	102
6.3	Monitoreo de deformaciones.....	104
6.4	Monitoreo de aceleraciones sísmicas	106
6.5	Monitoreo de esfuerzos totales.....	107
6.6	Monitoreo de las condiciones climáticas.....	107
6.7	Monitoreo de revancha	107
6.8	Monitoreo de caudal	108
6.9	Monitoreo de la distancia a la laguna de aguas claras.....	108
6.10	Volumen de agua en la laguna.....	108
6.11	Plataforma de monitoreo	109
7	Conclusiones.....	110
7.1	Recomendaciones	111
8	Bibliografía.....	112