

Tabla de Contenido

1.	Introducción.....	1
1.1.	General	1
1.2.	Objetivo General	2
1.3.	Objetivos Específicos	2
1.4.	Estructura de Trabajo.....	2
2.	Marco Teórico	3
2.1.	Definición de los medios granulares.....	3
2.2.	Importancia de los medios granulares.....	3
2.2.1.	Suelos granulares gruesos en Chile	3
2.3.	Resistencia al Corte	3
2.3.1.	Ángulo de fricción interna	4
2.3.1.1.	Ángulo de fricción interna movilizado	6
2.3.2.	Cohesión	6
2.3.3.	Criterios de Falla.....	8
2.3.3.1.	Criterio de Falla Lineal	8
2.3.3.2.	Criterios de Falla No-Lineales	9
2.3.3.3.	Criterio de Falla Bi-lineal	10
2.3.4.	Nivel de tensiones	10
2.4.	Factores que Influyen en la Resistencia al Corte	12
2.4.1.	Granulometría.....	12
2.4.1.1.	Superficie Específica.....	13
2.4.1.2.	Permeabilidad	14
2.4.2.	Forma y rugosidad de las partículas.....	14
2.4.2.1.	Estimación esfuerzo de corte en enrocados	16
2.4.3.	Dureza de las partículas	16
2.4.4.	Rotura de partículas	17
2.4.4.1.	Rotura de Marsal.....	18
2.4.4.2.	Índice Rotura de Hardin	19
2.4.4.3.	Estimación de Rotura.....	19
2.4.5.	Mineralogía	20
2.5.	Ensayos de Resistencia al Corte	21
2.5.1.	Compresión no confinada.....	21

2.5.2.	Corte Simple	21
2.5.3.	Corte directo	21
2.5.4.	Triaxial Estándar	21
2.5.5.	Triaxial a gran escala.....	22
2.6.	Dificultades del Triaxial Gigante IDIEM	22
2.6.1.	Métodos alternativos.....	23
2.6.1.1.	Método de la granulometría homotética	23
2.6.1.2.	Método de corte	23
2.6.1.3.	Método de corte y reemplazo.....	23
2.6.1.4.	Método de la matriz.....	23
2.6.2.	Ensayo a carga controlada	24
2.7.	Comportamiento de Suelos.....	24
3.	Programa Experimental.....	27
3.1.	Materiales.....	27
3.2.	Equipo Triaxial	30
3.2.1.	Descripción del equipo	30
3.2.1.1.	Características equipo	30
3.2.1.2.	Componentes del equipo	30
3.2.2.	Acondicionamiento de los materiales	32
3.2.3.	Descripción de Probeta	32
3.2.3.1.	Tamaño de probeta.....	32
3.2.3.2.	Procedimiento Probeta Inalterada.....	33
3.2.3.3.	Procedimiento Probeta Remoldeada	33
3.2.3.4.	Armado.....	33
3.2.4.	Macrogranulometría.....	34
3.2.5.	Ensayo.....	36
3.2.5.1.	Ensayo CID	36
3.2.5.2.	Ensayo CIU	36
3.2.6.	Término del Ensayo.....	36
3.3.	Ensayos recopilados	36
4.	Procesamiento de Datos	43
4.1.	Planilla Granulometría.....	43
4.2.	Planilla Consolidación	43
4.2.1.	Saturación	43

4.2.2.	Consolidación	44
4.2.2.1.	Variación volumétrica	44
4.2.2.2.	Variación axial	44
4.2.2.3.	Índice de Vacíos	44
4.2.2.4.	Tensión Efectiva	44
4.2.2.5.	Presión de Poros	44
4.3.	Planilla Corte	45
4.3.1.	Planilla Condición Drenada	45
4.3.1.1.	Deformación Vertical	45
4.3.1.2.	Deformación Volumétrica	45
4.3.1.3.	Deformación Radial	45
4.3.1.4.	Dimensiones Actuales	45
4.3.1.5.	Carga	46
4.3.1.6.	Peso específico/Densidad	46
4.3.1.7.	Esfuerzo desviador	46
4.3.1.8.	Índice de vacío	46
4.3.2.	Planilla Condición No Drenada	47
4.3.3.	Esfuerzo de Corte	47
4.3.3.1.	Esfuerzo de Corte (2D-3D)	47
4.3.4.	Módulo de Deformación	48
4.3.4.1.	Módulo de Deformación (E_{50})	48
4.3.4.2.	Modelo Hiperbólico	48
4.3.4.3.	Módulo de Corte	49
4.3.5.	Energía	49
4.3.5.1.	Consolidación	50
4.3.5.2.	Corte	50
4.4.	Ajuste de Curvas	51
4.5.	Asociación a Deformación	51
4.5.1.	Desacoplamiento Parámetros de Resistencia al Corte Movilizados	51
4.5.2.	Módulo de Deformación Secantes	52
4.6.	Análisis Estadístico	53
4.6.1.	Regresión Simple	53
4.6.2.	Coeficiente de Correlación de Pearson	54
4.6.3.	Desviación estándar y bandas	54

5.	Resultados y Análisis	55
5.1.	Ensayo de Granulometrías.....	55
5.1.1.	Superficie específica.....	55
5.1.2.	Permeabilidad.....	56
5.2.	Ensayo de Consolidación.....	58
5.3.	Ensayo de Corte	66
5.3.1.	Gráfico curvas características.....	66
5.3.1.1.	Ensayos drenados	66
5.3.1.2.	Ensayos no drenados	75
5.3.2.	Análisis Deformación	80
5.3.3.	Esfuerzo de corte.....	83
5.4.	Energía.....	85
5.4.1.	Energía Total	85
5.4.1.1.	Relación Energía – Deformación	86
5.4.1.2.	Relación Energía Total – Rotura	90
5.4.2.	Energía Acumulada	94
5.4.2.1.	Tendencias de Energía acumulada.....	94
5.4.2.2.	Energía acumulada movilizada	97
5.5.	Rotura de Partículas.....	100
5.5.1.	Rotura Marsal	100
5.5.1.1.	Máxima Rotura.....	100
5.5.2.	Índice Rotura Hardin	100
5.5.3.	Área de rotura.....	102
5.5.4.	Estimaciones de Rotura.....	104
5.5.4.1.	Estimaciones de Indraratna et al. (1998)	104
5.5.4.2.	Propuestas de estimaciones de rotura	107
5.6.	Módulo de Deformación	112
5.6.1.	Módulo de Deformación secante E_{50}	112
5.6.2.	Modelo Hiperbólico	117
5.6.3.	Modulo de deformación secante y niveles de deformación	121
5.6.4.	Módulo de Corte	125
5.6.4.1.	Relación módulo de corte (G_{50}) e índice de vacíos	125
5.6.4.2.	Función de Hardin.....	125
5.6.4.3.	Módulo de corte secante.....	129

5.7.	Parámetros de Resistencia al Corte.....	133
5.7.1.	Criterio de falla lineal	133
5.7.1.1.	Niveles de tensiones	133
5.7.1.2.	Planos p y q	138
5.7.2.	Criterios de Falla No-lineales.....	143
5.8.	Comportamiento.....	146
5.8.1.	LEU.....	146
5.8.2.	Resumen Comportamiento.....	148
5.9.	Mineralogía	149
6.	Discusión.....	152
6.1.	Granulometría	152
6.2.	Energía.....	152
6.3.	Rotura de partículas	153
6.4.	Módulo de deformación.....	155
6.5.	Parámetros de resistencia al corte.....	156
6.6.	Comportamiento.....	157
7.	Conclusiones y Recomendaciones	158
7.1.	Conclusiones.....	158
7.2.	Recomendaciones.....	161
8.	Bibliografía	162
A.	Anexo: Desarrollo Modelo Hiperbólico	165
B.	Anexo: Simbología Presiones de Confinamiento	168
C.	Anexo: Gráficos por Serie de Ensayos.....	169
D.	Anexo: Gráficos Modelo Hiperbólico	169
E.	Anexo: Módulo de deformación por niveles de deformación.....	169
F.	Anexo: Envoltentes	170
G.	Anexo: LEU	170
H.	Anexo: Gráficos Comparativos de Comportamiento	170