



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**EFFECTO DE LA FÁBRICA Y LA ESTRUCTURA EN LA RESISTENCIA NO DRENADA DE  
RELAVE INTEGRAL**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL CON MENCIÓN EN  
ESTRUCTURAS, CONSTRUCCIÓN Y GEOTECNIA

CALEB ANTONIO DE JESÚS CONEJERA FIGUEROA

PROFESOR GUÍA:  
CÉSAR PASTÉN PUCHI

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
RICARDO MOFFAT COVARRUBIAS  
MARCELO GONZÁLEZ SULLIVAN

SANTIAGO DE CHILE

AÑO 2016

**RESUMEN DE MEMORIA PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE:** Ingeniero Civil con Mención en  
Estructuras, Construcción Y Geotecnia.  
**POR:** Caleb Conejera Figueroa  
**FECHA:** 31/03/2016  
**PROFESOR GUÍA:** César Pastén Puchi

## **EFFECTO DE LA FÁBRICA Y LA ESTRUCTURA EN LA RESISTENCIA NO DRENADA DE RELAVE INTEGRAL**

El presente trabajo de título consiste en estudiar experimentalmente el efecto de la *fábrica* y la *estructura* en la resistencia al corte no drenado de relave integral proveniente del tranque de relaves de cobre Ovejería. Para esto se realizó un modelo experimental que consta de un contenedor de acrílico que permite simular condiciones de depositación, almacenamiento y drenaje. Se desarrolló una metodología de descarga, que permitió fabricar muestras depositadas en laboratorio con densidades mayores al 75% de la densidad máxima compactada seca, simulando los relaves depositados en la cubeta de un tranque compuesto por uno, dos y tres ciclos de depositación. Este trabajo reporta ensayos de caracterización del relave, ensayos de corte simple y ensayos triaxiales consolidados isotrópicamente no drenados (CIU). Los ensayos de corte simple se realizaron en muestras compuestas por un ciclo de depositación y muestras remoldeadas obtenidas mediante el método de apisonado húmedo (wet tamping), a tensiones verticales entre 0,5 y 4 kg/cm<sup>2</sup>. Los ensayos triaxiales CIU se realizaron en muestras compuestas por dos y tres ciclos de depositación y en muestras remoldeadas (envejecidas y sin envejecer), obtenidas también mediante el método de apisonado húmedo, a presiones efectivas de cámara entre 1 y 6 kg/cm<sup>2</sup>. Los resultados de ensayos de corte simple y triaxiales CIU muestran que, tanto las muestras depositadas en laboratorio como las muestras remoldeadas, tienen un comportamiento contractivo. Sin embargo, en ambos ensayos la resistencia de las muestras depositadas en laboratorio es significativamente mayor que las muestras remoldeadas, llegando a diferencias cercanas al 50%. Esta tendencia se produce a pesar de que las muestras remoldeadas presentan un menor índice de vacío (mayor densidad). Este resultado es consistente con la diferencia en las líneas de estado último en el espacio e-p' de los ensayos triaxiales CIU para muestras compuestas por dos y tres ciclos de depositación y muestras remoldeadas, lo cual es atribuible a un efecto de fábrica y estratificación.

*A mis padres, abuelos y hermanos*

## **Agradecimientos**

A mis padres Manuel y Mónica, por su incondicional amor, apoyo y sacrificio, que gracias a las herramientas y oportunidades que me han entregado, me permiten estar culminando esta gran etapa. A mis hermanos José Manuel y Emilia, pero en especial quiero agradecer a mi hermana melliza Ayleen, por todos los momentos vividos y soñados, por acompañarme desde que nacimos en cada momento de mi vida y darme el apoyo que siempre necesite. Sin cada uno de ustedes esto jamás hubiera sido posible.

A mis abuelos Papa Chechito y Mama Alvarita, por su gran amor y estar presente siempre en mi vida. Gracias a su sacrificio y esfuerzo, me han enseñado las cosas importantes de la vida.

A mis tíos Marco y Paola, por su gran cariño, apoyo y ayuda entregada. Gracias por acompañarme durante toda esta etapa y ser mis padres durante mi estadía en Santiago.

A mis tíos y primos “Los Conejera”, por los memorables momentos que hemos compartido desde chicos, y por sobre todo, ser una parte fundamental en mi formación personal. Gracias por ser lejos la mejor familia que me pudo tocar.

A mi profesor guía César Pastén, por la confianza y todo tiempo dedicado para desarrollar este trabajo de título. Gracias por la paciencia y todos los consejos entregados.

A Omar González y Mario Carrillo, por la enorme paciencia, valores y alegría entregada durante mi estadía en el MECESUP. Gracias por ser un apoyo fundamental en la materialización de la parte experimental de este trabajo.

A mi grupo de amigos CiBilis, por cada uno de los momentos de estudio y esparcimiento vividos durante la carrera, que claramente no fueron pocos. Gracias por su gran amistad y todo el apoyo emocional y académico.

A mis amigos y compañeros que me han acompañado desde que empezó esta travesía: Jano, Pedro, Kate, Pablo, Esteban, Carlos, Caro(s), Pelao y otros más que quedan en el tintero. Gracias por la amistad que siempre me entregaron.

A la gente de DLS: Don Jaime, Sra Laura, Cristóbal, Pancho, Rocío, Jorge, Seba y Gonzalo, por su ayuda, comprensión y apoyo. Gracias por todos los conocimientos y experiencias entregadas, y por darme la oportunidad de trabajar junto a ustedes mientras terminaba la carrera.

Este trabajo fue financiado por fondos de titulación del Departamento de Ingeniería Civil.

## Tabla de contenido

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	Motivación .....	1
1.2.	Objetivos .....	2
1.3.	Organización del Trabajo.....	3
2.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1.	Tipos De Depósitos de Relave.....	4
2.2.	Efecto de la Fábrica en el Comportamiento de Suelos .....	18
2.3.	Envejecimiento de Suelos.....	24
3.	DEPOSITACIÓN DE RELAVES.....	26
3.1.	Material Utilizado .....	26
3.2.	Contenedor de Relave.....	27
3.3.	Primera Depositación (1 Ciclo de Depositación) .....	28
3.4.	Segunda Depositación (2 Ciclos de Depositación) .....	30
3.5.	Tercera Depositación (3 Ciclos de Depositación) .....	35
4.	ENSAYOS DE LABORATORIO .....	41
4.1.	Programa de Ensayos .....	41
4.2.	Equipos .....	42
4.3.	Metodología de Ensayos de Corte.....	45
5.	RESULTADOS DE ENSAYOS.....	50
5.1.	Ensayos de Caracterización .....	50
5.2.	Ensayo de Corte Simple .....	51
5.3.	Ensayos Triaxiales CIU .....	54
6.	DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	65
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68

7.1. Conclusiones .....	68
7.2. Recomendaciones .....	69
8. BIBLIOGRAFÍA .....	70
9. ANEXOS .....	73
Ensayos de Caracterización.....	73
Ensayos de Corte Simple.....	81
Ensayos CIU.....	89

## Índice de Tablas

Tabla 3.1. Dimensiones Contenedor.....	27
Tabla 4.1. Plan de Ensayos de Caracterización de Material .....	41
Tabla 4.2. Resumen plan de ensayos.....	41
Tabla 5.1. Resumen Propiedades Índice Relave Integral Ovejería .....	51
Tabla 5.2. Propiedades de probetas depositadas en laboratorio.....	52
Tabla 5.3. Propiedades probetas remoldeadas (wet tamping) .....	52
Tabla 5.4. Datos de probetas depositadas en laboratorio .....	55
Tabla 5.5. Datos de probetas remoldeadas (wet tamping) .....	55
Tabla 5.6. Datos probetas de tercera depositación .....	62

## Índice de Figuras

Figura 2.1. Tranque de Relaves Ovejería (Bernal, 2012). .....	5
Figura 2.2. Esquema Tranque de Relave Convencional (Osorio, 2009). .....	5
Figura 2.3. Método de crecimiento aguas arriba (MSHA US, 2009). .....	6
Figura 2.4. Método de crecimiento aguas abajo (MSHA US, 2009). .....	7
Figura 2.5. Método de crecimiento mixto o de eje central (MSHA US, 2009). .....	7
Figura 2.6. Posición laguna de aguas claras de un tranque convencional (Tranque de Relave Ovejería). .....	9
Figura 2.7. Método de descarga sub-aérea (DME, 1999). .....	11
Figura 2.8. Esquema de segregación de partículas en punto de descarga. A corresponde al material grueso y A' al material fino (Estudio Minera Ceniza, 2007). .....	11
Figura 2.9. Método de depositación sub-acuática (Tailings, 2014). .....	12
Figura 2.10. Esquema de operación y efecto de segregación de partículas en tranques de relaves (Valdebenito, 2008). .....	12
Figura 2.11. Cubeta de un tranque de relaves. (a) y (b) Calicata dentro de la cubeta de un tranque; (c) Depositación estratificada y presencia de lentes de agua en cubeta de relave, además de grietas de contracción rellenas con relave de depositaciones posteriores (Campaña & Cifuentes 2012). .....	13
Figura 2.12. Relaves depositados en cubeta. (a) Depositación estratificada y segregada; (b) Grietas de contracción en la superficie (Cifuentes & Verdugo, 2007). .....	13
Figura 2.13. Métodos de depositación de relaves espesados en función de la topografía del terreno (Robinsky, 1999). .....	15
Figura 2.14. Diferencias entre Depósitos Convencionales y Depósitos de Relaves Espesados (Valdenito, 2008). .....	16
Figura 2.15. Depósitos de relave en pasta (Ramírez, 2007). .....	17



Figura 2.16. Depósitos de relaves filtrados (Ramírez, 2007).....	17
Figura 2.17. Muestras de suelo con una disposición de partículas homogéneas (Verdugo, 1992). .....	19
Figura 2.18. Muestras de suelo con una disposición de partículas heterogénea (Verdugo, 1992) .....	19
Figura 2.19. Esquema de muestras inalteradas y muestras después de remoldeo. (a) Muestra con una estructura segregada y estratificada; (b) Muestras remoldeadas con un ordenamiento anisotrópico; (c) Muestras remoldeadas con un ordenamiento isotrópico (Yoshimine & Koike, 2005). .....	20
Figura 2.20. Resistencia no drenada de limos arenosos provenientes del tranque Lower San Francisco (Yoshimine & Koike, 2005) .....	21
Figura 2.21. Ilustración de tipos de muestras consideradas en el estudio de Yoshimine y Koike (2005). (a) Muestras uniformes y homogéneas; (b) Estratificadas y segregadas .....	22
Figura 2.22. Curvas tensión-deformación. (a) Muestras homogéneas; (b) Muestras estratificadas. (Yoshimine & Koike, 2005) .....	23
Figura 2.23. Trayectoria de esfuerzos efectivos. (a) Muestras homogéneas; (b) Muestras estratificadas (Yoshimine & Koike, 2005).....	23
Figura 2.24. Tranque El Cobre después de falla 1965 (Dobry & Álvarez, 1967).....	24
Figura 2.25. Variación resistencia muestras envejecidas donde: (a) muestra remoldeada con arena extraída a 0,3 m de profundidad y envejecida en laboratorio; (b) muestra inalterada extraída a 2,5 m de profundidad (Ormazábal, 2008).....	25
Figura 2.26. Variación de módulo de deformación inicial para muestra remoldeadas envejecidas y sin envejecer, obtenidas a 2,5 m de profundidad. (a) Confinamiento 1kg/cm <sup>2</sup> ; (b) Confinamiento 5 kg/cm <sup>2</sup> (Ormazábal, 2008). .....	25
Figura 3.1. Método de extracción de muestras (Cifuentes & Verdugo, 2007).....	26
Figura 3.2. Contenedor relave (a) detalle dimensiones; (b) detalle sistema de drenaje basal. ...	27
Figura 3.3. Sistema de primera depositación de relave.....	28

Figura 3.4. Primera depositación. (a) Relave despues de 30 minutos depositado; (b) después de una hora; (c) después de 5 días; (d) después de 10 días. ....	29
Figura 3.5. Relave depositado después de 15 días. (a) abertura del contenedor; (b) muestras extraídas.....	30
Figura 3.6. Sistema de segunda depositación. ....	31
Figura 3.7. Depositación del primer ciclo. (a) Altura inmediatamente después de la depositación y (b) después de sedimentar por 40 min. ....	32
Figura 3.8. Depositación del segundo ciclo. (a) Altura inmediatamente después de la depositación, (b) después de una hora, (c) después de un día y (d) después de una semana. ....	32
Figura 3.9. Variación de altura de la segunda de depositación. ....	33
Figura 3.10. Grietas de contracción en las muestras. ....	33
Figura 3.11. Muestras extraídas de la segunda depositación después de 2 semanas. (a) Altura de estratos y (b) Bloques para tallado de probetas de ensayos triaxiales CIU. Los números indican los sectores de la muestra en los que se realizó un análisis granulométrico al microscopio (Figura 3.12). ....	34
Figura 3.12. Imágenes del relave depositado al microscopio con un aumento x10. Los números corresponden a las capas identificadas en la Figura 3.11a: (1) Partículas finas del estrato superior, (2) partículas gruesas del estrato superior, (3) partículas finas del estrato inferior y (4) partículas gruesas del estrato inferior.....	35
Figura 3.13. Depositación del primer ciclo. (a) Altura inmediatamente después de la depositación y (b) después de sedimentar por 2 horas.....	35
Figura 3.14. Depositación del segundo ciclo (a) Altura inmediatamente después de la depositación; (b) Después de sedimentar por 2 horas .....	36
Figura 3.15. Depositación del tercer ciclo (a)Altura inmediatamente después de la depositación; (b) después de una hora y treinta minutos; (c) después de 24 horas; (d) después de 4 días; (e) después de 6 días; (f) después de 12 días. ....	37
Figura 3.16. Variación de altura de muestras depositadas en la tercera depositación. ....	38

Figura 3.17. Grietas de contracción después de 19 días. ....	38
Figura 3.18. Muestra obtenida de la tercera depositación. (a) Altura de muestras una vez abierto el contenedor. Los números romanos indican el lugar de extracción de las probetas ensayadas de esta depositación, para verificar el efecto de la estratificación en la resistencia (ver Tabla 5.6); (b) Bloques para tallado de probetas de ensayos triaxiales CIU. ....	39
Figura 3.19. Muestra al microscopio con un aumento x10. Los números corresponden a las capas identificadas en la Figura 3.18: (1) Partículas finas del estrato superior; (2) partículas gruesas del estrato superior; (3) partículas finas del estrato central; (4) partículas gruesa del estrato central; (5) partículas finas del estrato inferior; (6) Partículas gruesas del estrato inferior. ....	40
Figura 4.1. Equipo de corte simple. (a) Esquema equipo; (b) detalle celda de corte simple. ....	42
Figura 4.2. Equipo Triaxial Utilizado. (a) Marco de carga; (b) y (c) paneles de regulación de presión y medición de deformación volumétrica. ....	44
Figura 4.3. Celda triaxial utilizada para probetas de 5 x 10 cm. ....	44
Figura 4.4. Probeta luego de realizado el ensayo. ....	46
Figura 4.5. Muestra depositadas en laboratorio. (a) Probeta de segunda depositación (2 ciclos) y (b) probeta de tercera depositación (3 ciclos). ....	47
Figura 4.6. Preparación probetas remoldeadas. (a) Materiales y herramientas utilizadas para preparación; (b) probeta remoldeada. ....	48
Figura 5.1. Granulometría completa material previo al programa de ensayos. ....	50
Figura 5.2. Curva Tensión-Deformación probetas depositadas en laboratorio y remoldeadas. .	52
Figura 5.3. Curva Deformación Vertical-Deformación Angular probetas depositadas en laboratorio y remoldeadas. ....	53
Figura 5.4. Envoltorio de falla probetas depositada en laboratorio y remoldeadas. ....	53
Figura 5.5. Curva tensión-deformación en triaxiales CIU. ....	56
Figura 5.6. Variación de presión de poros en función de la deformación axial en triaxiales CIU	56
Figura 5.7. Trayectoria esfuerzos efectivos de ensayos triaxiales CIU. ....	57

Figura 5.8. Línea de estado último obtenida en ensayos triaxiales CIU. ....	57
Figura 5.9. Resistencia última no drenada en función del confinamiento efectivo. ....	58
Figura 5.10. Curvas consolidación isotrópica obtenida en ensayos triaxiales CIU .....	58
Figura 5.11. Curvas de consolidación isotrópica en el tiempo en ensayos triaxiales CIU. ....	59
Figura 5.12: Comparación curvas de consolidación isotrópica y líneas de estado último. ....	59
Figura 5.13. Curva tensión deformación- Comparación entre muestras remoldeadas envejecidas y aquellas sin envejecer. ....	60
Figura 5.14. Variación presión de poros- Comparación entre muestras remoldeadas envejecidas y aquellas sin envejecer. ....	61
Figura 5.15. Comparación trayectoria de esfuerzos entre muestras remoldeadas envejecidas y sin envejecer. ....	61
Figura 5.16. Comparación de curvas tensión deformación de muestras depositadas en laboratorio (3 estratos) y extraídas de distintos estratos. ....	63
Figura 5.17. Comparación de curvas variación de presión de poros de muestras depositadas en laboratorio y extraída de distintos estratos. ....	63
Figura 5.18. Comparación de trayectoria de esfuerzos efectivos de muestras depositadas en laboratorio y muestras extraídas de distintos estratos. ....	64

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Motivación

Durante los últimos años, la minería ha presentado un gran auge económico que ha elevado considerablemente sus niveles de producción. Sin embargo, las actuales leyes de mineral con las que se explotan los yacimientos han disminuido, lo que conlleva a una gran producción de desechos minerales conocidos como “relaves”.

El método de almacenamiento de relaves más utilizado en Chile es el de tranques o depósitos de relaves convencional, el que considera para su construcción y operación la separación de parte del material a través del proceso de hidrocicloneado, donde la fracción gruesa de arena se utiliza para la construcción de un muro de contención y la fracción fina resultante se deposita directamente en la cubeta junto con el relave que no ha pasado por este proceso (Osorio, 2009).

El material que no ha pasado por el proceso de hidrocicloneado durante la operación minera, denominado relave integral, se deposita directamente en la cubeta del tranque, y corresponde a un limo arenoso, con un índice de plasticidad bajo a nulo (Santos, 2011). Según estándares de operación minera, la relación entre el relave que pasa por el proceso de hidrocicloneado y el relave integral depositado en cubeta depende de la demanda de arena (fracción gruesa) para la construcción del muro de contención; sin embargo, de todo el relave producido la mayor parte se deposita directamente en la cubeta.

La producción de relaves trae problemáticas relacionadas a su almacenamiento y disposición. Esto, sumado al aumento en los estándares medio ambientales para la creación de nuevos depósitos, hace necesario modificar e innovar constantemente los diversos métodos y tecnologías para la disposición de estos desechos, además de estudiar de la capacidad de tranques actuales con el fin de poder almacenar una cantidad mayor a la que fueron diseñados originalmente.

Considerando que la cubeta se compone fundamentalmente de relave integral y la constante necesidad de aumentar o mantener los niveles de producción, el análisis de la resistencia al corte en este tipo de material ha sido un tema de constante estudio en el último tiempo, ya sea para la ampliación de los depósitos actuales, que pueden llegar a alturas mayores a los 200 m, o para la colocación de relaves espesado sobre la cubeta de tranques convencionales.

Diversos estudios han indicado que existen factores que influyen notoriamente en el comportamiento y resistencia del relave, dentro de los cuales se destacan: la fábrica (Retamal, 2005), el confinamiento (Maureira, 2012), el corte estático (Asenjo, 2010), el contenido de finos y la densidad relativa (Viertel, 2003) y el envejecimiento (Ormazábal, 2008). La mayoría de estos estudios analizan arenas de relave para la construcción de muros y/o relaves espesados. Sin embargo, no realizan mayor análisis al comportamiento y la fábrica del relave integral depositado en cubeta. Considerando esta carencia, se ha decidido estudiar experimentalmente en este trabajo de título el efecto de la fábrica y la estructura de relaves integrales depositados en tranques de relave convencional, a modo de verificar y/o ajustar los actuales parámetros de diseño. El efecto fábrica es un término que se aplica principalmente a suelos cohesivos, es decir con un importante contenido de finos, y se usa indistintamente para referirse al efecto que tiene la orientación y distribución de las partículas en una masa de suelo, además de aquellas propiedades que pueden ser borradas cuando el suelo es sometido a altos niveles de deformación, en tanto la estructura se refiere a todas las características y propiedades del suelo que no pueden ser borrados a altos niveles de deformación, incluyendo naturaleza y fuerza entre las partículas (Retamal, 2005).

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivos Generales**

Determinar la resistencia al corte no drenada de relave integral utilizando muestras depositadas en laboratorio, simulando condiciones de descarga y envejecimiento, y comparar los resultados con la resistencia de muestras remoldeadas.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

Dentro de los objetivos específicos se destacan:

- Caracterizar el material de relave utilizado y sus propiedades geotécnicas.
- Caracterizar la fábrica del material depositado a través de secciones transversales y procesamiento de imágenes.
- Determinar la resistencia última ( $S_u$ ) no drenada de relave integral depositado en laboratorio a distintos niveles de confinamiento a través de ensayos CIU estáticos.
- Determinar la resistencia última no drenada de muestras remoldeadas de relave integral, y comparar resultados con muestras depositadas en laboratorio.
- Estudiar el efecto que tiene la estratificación de partículas en la resistencia al corte no drenado.

### **1.3. Organización del Trabajo**

El presente trabajo de título está organizado en 6 capítulos además de esta introducción. El Capítulo 2 recopila antecedentes relacionados con los depósitos de relave, en cuanto a sus formas de construcción y operación. Además, entrega información de las investigaciones relacionadas al comportamiento mecánico de los relaves y factores que influyen en su resistencia, entre otros. El Capítulo 3 resume el modelo experimental y las metodologías empleadas para la obtención de las muestras depositadas en laboratorio. El capítulo 4 describe los equipos, metodología y plan de ensayos a seguir durante la investigación. El Capítulo 5 entrega todos los resultados obtenidos del plan de ensayos, el cual comprende ensayos de caracterización geotécnica, corte simple y triaxiales CIU. El Capítulo 6 discute y analiza los resultados de la investigación, si es que se condicen con los resultados reportados en otras investigaciones, y cómo estos pueden aportar a parámetros de diseño. Finalmente, el Capítulo 7 presenta las principales conclusiones del estudio, además de hacer mención a futuras investigaciones que se pueden realizar con estos materiales.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A continuación se entregan definiciones, antecedentes e investigaciones previas relacionados con este trabajo.

### 2.1. Tipos De Depósitos de Relave

El relave integral, o simplemente relave, corresponde a un desecho minero generado producto del proceso de flotación para la obtención de cobre fino. Este desecho es una suspensión de residuos sólidos finos en agua, generando una pulpa para su transporte, y que se encuentra constituida fundamentalmente por una mezcla de suelo, rocas y minerales provenientes del mismo yacimiento del cual se ha extraído mineral valioso. Según el sistema de clasificación USCS, este material generalmente clasifica como un limo arenoso, con un índice de plasticidad (IP) bajo a nulo.

Las características y el comportamiento de la pulpa de relave dependen fundamentalmente de las propiedades de las partículas sólidas, su reología y de la concentración en peso de los sólidos ( $C_p$ ), siendo este el último parámetro, que se define en la Ecuación 1, fundamental para la clasificación de los tipos de relave y su forma de almacenamiento.

$$C_p = \frac{W_{relave}}{W_{relave} + W_{agua}} \quad (1)$$

Donde  $W_{relave}$ : Peso seco del relave [kg]  
 $W_{agua}$ : Peso del agua [kg]

Dentro de las formas de disposición y almacenamiento de los relaves existen diversos métodos y alternativas, que dependen fuertemente de las características del relave que se produce en planta, costo del agua y la topografía donde se quiera emplazar el depósito, entre otros (Ramírez, 2007). En Chile, la normativa vigente considera los depósitos de relaves que se explican a continuación.

#### 2.1.1. Tranques de Relaves Convencional

Es el método de almacenamiento de relaves más utilizado en Chile, debido al bajo costo de inversión en comparación a otros tipos depósitos, y es en el cual se centra la presente investigación. Estos depósitos consideran para su construcción y operación la separación del relave mediante el proceso de hidrocicloneado, donde la parte gruesa o arena se utiliza para la construcción de un muro perimetral de contención, que permite almacenar el relave no cicloneado



(relave integral) y la fracción fina (lomas) sobrante del proceso de hidrocicloneado, tal como se muestra en la Figura 2.1y Figura 2.2.



Figura 2.1. Tranque de Relaves Ovejería (Bernal, 2012).

La arena que se utiliza para la construcción del muro de contención tiene un porcentaje de finos en torno al 20% y se comienza a depositar sobre un muro de partida construido con material de empréstito, que sirve para dar la estabilidad inicial al muro de arenas (ver Figura 2.2). El diseño de este sistema de contención debe considerar la estabilidad del muro, la disponibilidad de arenas, los costos de operación, el plan minero de producción, la operatividad del sistema, entre otros.

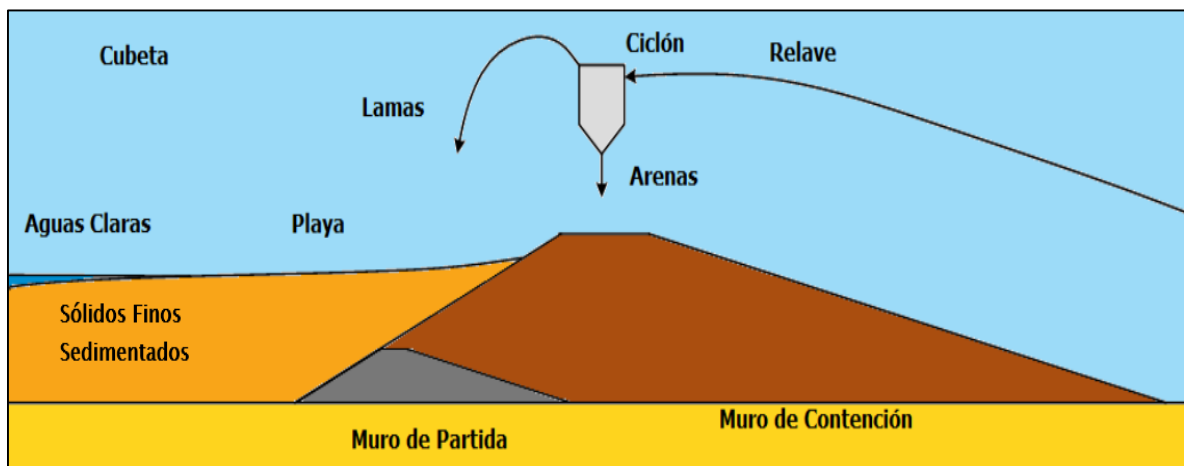


Figura 2.2. Esquema Tranque de Relave Convencional (Osorio, 2009).

Los estándares de operación de este tipo de depósitos, establece que el porcentaje de relave sometido al proceso de hidrocicloneado depende de la arena necesaria para la construcción del muro, asociado a su vez al nivel de crecimiento y a la inclinación del talud (menores inclinaciones generan aumentos en el volumen de arenas).

La cubeta del tranque se compone mayoritariamente de relave integral no cicloneado, el cual tiene un porcentaje de finos en torno al 50 % y su concentración de sólidos varía entre el 50% y 65%, lo que permite transportarlo gravitacionalmente en forma de pulpa. Por otro lado, una menor parte se deposita en la cubeta en forma de lamas provenientes del proceso de hidrocicloneado, las cuales tienen un porcentaje de finos mayor o igual al 80%.

#### 2.1.1.1. Métodos de Crecimiento de un Tranque:

Un tranque de relaves puede seguir 3 tipos de crecimiento, los cuales se describen a continuación:

##### a) Método de Aguas Arriba

Este método consiste en la construcción de un muro de partida, desde el cual comienza la construcción del muro principal depositando la arena aguas arriba del muro, apoyándose sobre la cubeta del tranque (Bernal, 2012), tal como se puede ver en la Figura 2.3. En Chile, la normativa vigente no permite la construcción de depósitos con este método de crecimiento.

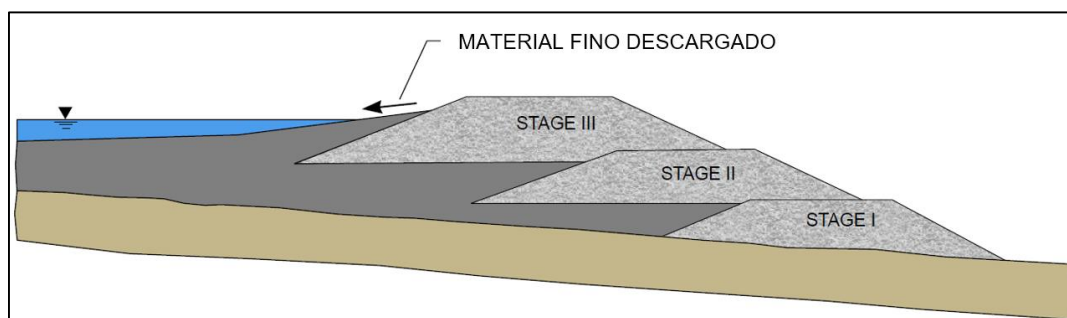


Figura 2.3. Método de crecimiento aguas arriba (MSHA US, 2009).

##### b) Método de Aguas Abajo

Este método, al igual que el anterior, considera la construcción de un muro de partida desde el cual se vacía la arena cicloneada hacia el talud aguas abajo y las lamas se depositan hacia aguas arriba (MSHA US, 2009). Es el método de crecimiento más común en los tranques convencionales debido a su gran estabilidad y seguridad (ver Figura 2.4).

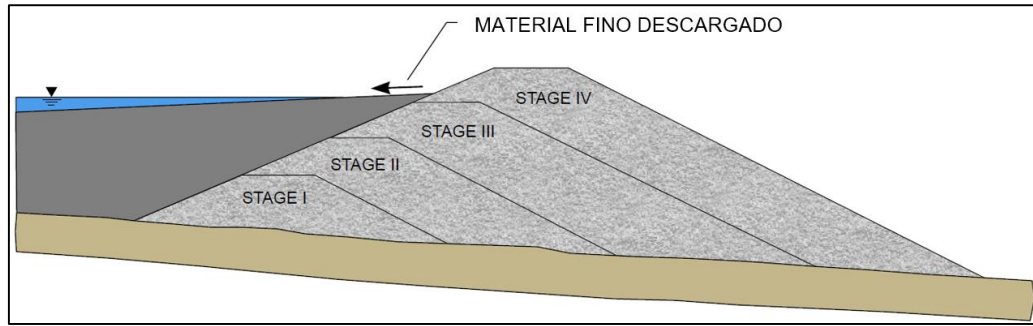


Figura 2.4. Método de crecimiento aguas abajo (MSHA US, 2009).

c) Método de Eje Central o Mixto

Se inicia igual que los otros métodos descritos, con la construcción de un muro de partida, sobre el cual se depositan las arenas cicloneadas hacia aguas abajo y las lamas hacia aguas arriba. Sin embargo, una vez llenado el muro, se eleva la línea de alimentación de arenas y lamas, siguiendo un plano vertical inicial de la berma de coronamiento del muro de partida. En la Figura 2.5 se muestra un esquema de este tipo de crecimiento.

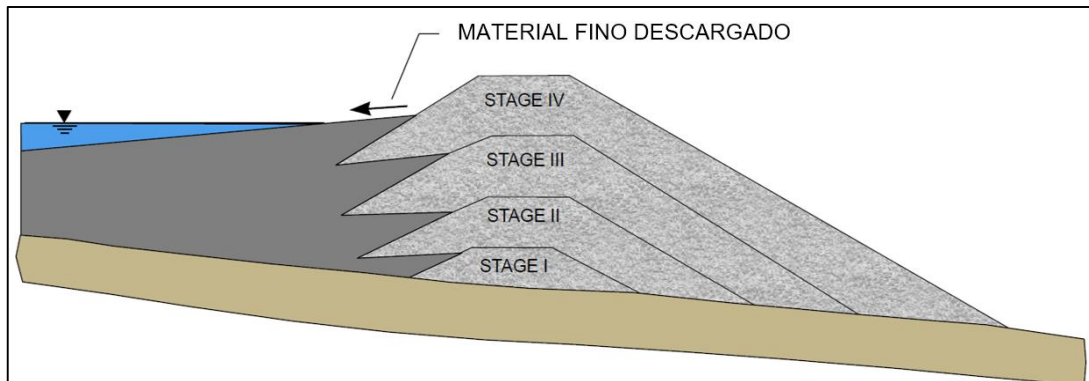


Figura 2.5. Método de crecimiento mixto o de eje central (MSHA US, 2009).

**2.1.1.2. Diseño y Operación de un Tranque**

Para el diseño y operación de un depósito de relaves convencional, se deben considerar al menos las siguientes variables:

a) Producción y Plan Minero:

El plan minero es la base para la operación y producción minera, ya que es el programa que transforma el mineral disponible en recursos económicos, siendo el punto de partida para determinar la vida útil del yacimiento, volumen de mineral extraído, capacidad productiva, perfiles de inversión, volúmenes de desechos producidos, entre otros (Siñuela, 2012). Este plan permite

determinar el volumen de mineral procesado y con ello las tasas de depositación, la cantidad de relaves que se deberá almacenar el depósito, su vida útil, entre otros.

La producción minera se mide en toneladas de mineral procesadas por día (tpd), lo que permite clasificar la producción minera en pequeña, mediana y gran minería. La pequeña minería es aquella que procesa menos de 350 tpd de mineral, en tanto la mediana procesa entre 350 y 5.000 tpd, y finalmente la gran minería procesa desde 5.000 tpd hasta incluso 180.000 tpd. Este parámetro permite además, determinar los caudales y tasas con la que depositará diariamente en los diferentes puntos de descarga del tranque (SERNAGEOMIN, 2014).

#### b) Propiedades del Relave

Para el diseño de un depósito de relaves, ya sea uno convencional o de otro tipo, deben realizarse inicialmente pruebas reológicas del material a depositar para determinar su comportamiento durante el transporte, además de establecer el tamaño de partícula máximo y mínimo con la que se descargará, lo que influye en el tiempo de sedimentación y suspensión de partículas, y en el proceso de recuperación de agua (Ramírez, 2007).

Otro factor que depende fundamentalmente de la reología del material, es determinar la concentración en peso ( $C_p$ ) con la que se depositará el relave. Este valor establecerá un rango de pendientes mínimas requeridas para su escurrimiento en forma de fluido, permitiendo además realizar estimaciones de las pendientes de depositación en las zonas de playa una vez depositado el material, y su densidad de depositación. Considerando estos se podrá realizar estimaciones de la necesidad de agua para la producción, depositación, manejo y transporte de relave, además de poder estimar el balance y recuperación de aguas en el depósito.

#### c) Características de un Tranque y Lugar de Emplazamiento

Cada minera tiene características y requerimientos propios que influyen en las operaciones globales de procesamiento y producción de relaves. Sin embargo, para el diseño y emplazamiento de un depósito de relaves, es necesario considerar diversos factores y requisitos mínimos que permitan un óptimo diseño, cumpliendo con la normativa ambiental establecida. Entre estos factores se destacan (MSHA U.S., 2009):

- Localización, número y capacidad de las posibles áreas de disposición de material.
- Características topográficas, geológicas, sismológica, hidrológicas, hidrogeológicas, y del suelo donde se emplazara el depósito.
- Condiciones ambientales y ecológicas del sitio de emplazamiento.

- Costos de capital asociado a la construcción, operación, mantención y cierre del depósito.
- Cercanía a centros de poblaciones y/o ciudades.
- Requerimientos de agua para el proceso de preparación y disposición del relave, entre otros.

Todo depósito de relaves debe contar con un sistema de drenaje que permita deprimir al máximo el nivel freático al interior de la cubeta, brindando mayor estabilidad y así evitar fenómenos relacionados con la licuefacción de suelo, y permitiendo la recuperación de las aguas filtradas. También debe tener un sistema de impermeabilización de la cubeta que evite la infiltración de sustancias potencialmente tóxicas hacia las aguas subterráneas. Estos sistemas son fundamentales en el funcionamiento del depósito, y son exigidos en la normativa vigente (DS 248, 2007).

Un componente clave en la operación de un tranque es la laguna de aguas claras o también denominada laguna de operación, que corresponde a la laguna que se forma producto de la sedimentación y decantación del relave, siendo fundamental en el balance hídrico y el sistema de recuperación de agua. Toda laguna debe mantenerse lo más alejada del muro de contención, con tal de deprimir el nivel freático dentro del tranque, y así disminuir el riesgo de licuefacción en el muro de arenas. La Figura 2.6 muestra la típica formación de la laguna de aguas claras en un tranque de relaves convencional, en este caso el Tranque Ovejería.

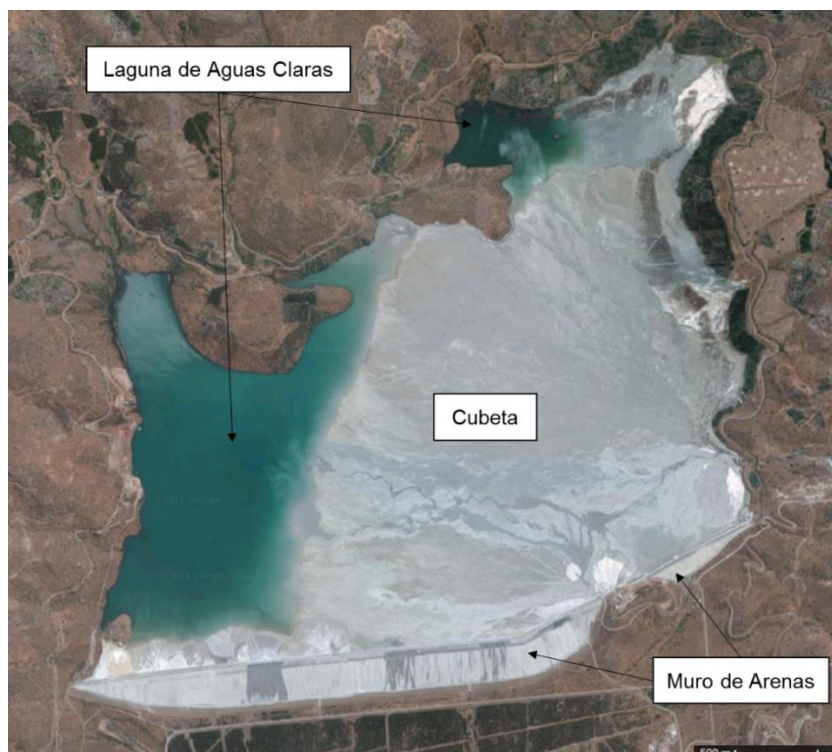


Figura 2.6. Posición laguna de aguas claras de un tranque convencional (Tranque de Relave Ovejería).

### 2.1.1.3. Métodos de Depositación

En traques de relaves convencionales, el material puede ser descargado sobre la cubeta utilizando diferentes técnicas de depositación, dependiendo fuertemente de las características del relave, el plan de operación minera, el balance de agua, la topografía, y considerado aquel método que por diseño que sea técnica y económicamente más conveniente. Además, el relave es transportado y descargado de forma hidráulica a través de tubería y/o canaletas ubicadas en puntos estratégicos, que buscan reducir las pérdidas de agua debido a la evaporación, confinar la pulpa de relave y la laguna de operación, además de optimizar la recuperación de agua del depósito.

Dentro de los diferentes métodos de descarga, se destacan la depositación sub-aérea y sub-acuática, las cuales se describen a continuación.

#### a) Depositación Sub-Aérea:

Es el método más utilizado en tranques de relave convencional, y describe de forma genérica la depositación de relaves en la que se forman playas activas o deltas, generando pendientes suaves hacia la laguna de operación. Este tipo de descarga forma corrientes de baja velocidad con flujo laminar, que son de poca profundidad, lo que permite que el relave fluya y se segregue (DME, 1999). La Figura 2.7 muestra un ejemplo de este tipo de depositación.

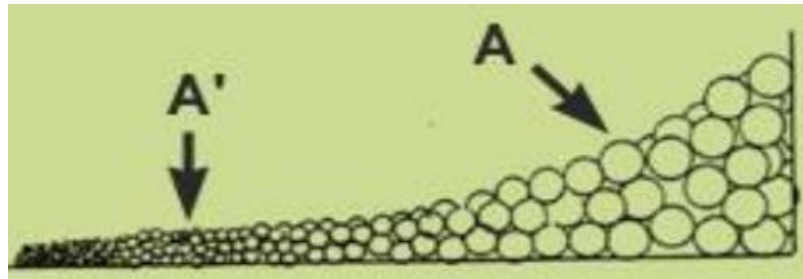
Este método se aplica en depósitos que tienen descargas en distintos zonas estratégicas, lo que facilita la rotación de los puntos de descarga, produciendo así ciclos de depositación que permiten controlar la posición de la laguna de operación y dejar que el relave depositado fluya en la cubeta, se seque, se contraiga y posteriormente se consolide, mientras otro punto sigue funcionando. La frecuencia con la que se rotan los diferentes puntos de descarga depende de diversos factores, tales como el clima, la producción de relave, el secamiento y la forma del depósito.

Este mecanismo permite la formación de diferentes estratos dentro de la cubeta, dado que las capas posteriores que se depositan, siempre deberán emplazarse sobre una zona ya drenada y seca.



**Figura 2.7. Método de descarga sub-aérea (DME, 1999).**

En este tipo de depositación se produce un importante fenómeno de estratificación y segregación de material debido a los ciclos de depositación, concentrándose gran parte del material grueso cerca del punto de descarga y el material fino arrastrado a través de la playa activa, tal como se muestra en la Figura 2.8.



**Figura 2.8. Esquema de segregación de partículas en punto de descarga. A corresponde al material grueso y A' al material fino (Estudio Minera Ceniza, 2007).**

Dentro de la descarga sub-aérea se encuentra la descarga a través de Spigots o múltiples tuberías, la que se utiliza para descargar alrededor del perímetro del depósito de relaves y es comúnmente utilizado en tranques de relave para la depositación hidráulica de las arenas que componen el muro de contención (Tailings, 2014), tal como se muestra en la Figura 2.1.

b) Depositación Sub-Acuática:

Es el método más adecuado cuando se tiene relaves que contienen sulfuros que posiblemente se oxidan, produciendo sustancias ácidas dentro del relave. Este tipo de descarga se realiza bajo el agua (Tailligs, 2014) y permite prevenir la formación de sustancias ácidas y los problemas ambientales asociados a ésta por la limitada cantidad de oxígeno. Esta depositación produce mayores efectos de sedimentación de material. La Figura 2.9 muestra este tipo de depositación.



Figura 2.9. Método de deposición sub-acuática (Tailings, 2014).

#### 2.1.1.4. Segregación de Material y Estratificación

La Figura 2.10 muestra un esquema típico de la operación y el fenómeno de segregación de partículas y estratificación que se produce en un tranque producto de la deposición sub-aérea. Mientras tanto la Figura 2.11 muestra una prospección en la cubeta del tranque que evidencia estratificación y lentes de agua debido a las bajas permeabilidades de los materiales finos.

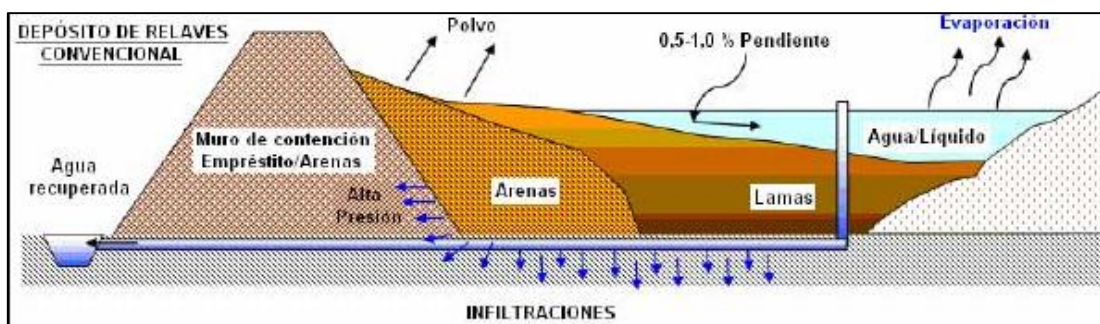


Figura 2.10. Esquema de operación y efecto de segregación de partículas en tranques de relaves (Valdebenito, 2008).

Durante el secado del material, producto del calor en climas cálidos y secos, se producen grietas de contracción, tal como se puede apreciar en la Figura 2.11c y Figura 2.12b, las cuales puede variar en profundidad y espesor, y que se van rellenando por relave de nuevas depositaciones. Dentro de la cubeta del relave, producto del secado superficial de los estratos que se van depositado, se producen presiones de poros negativas (succión) debido a la capilaridad formando lentes de agua.



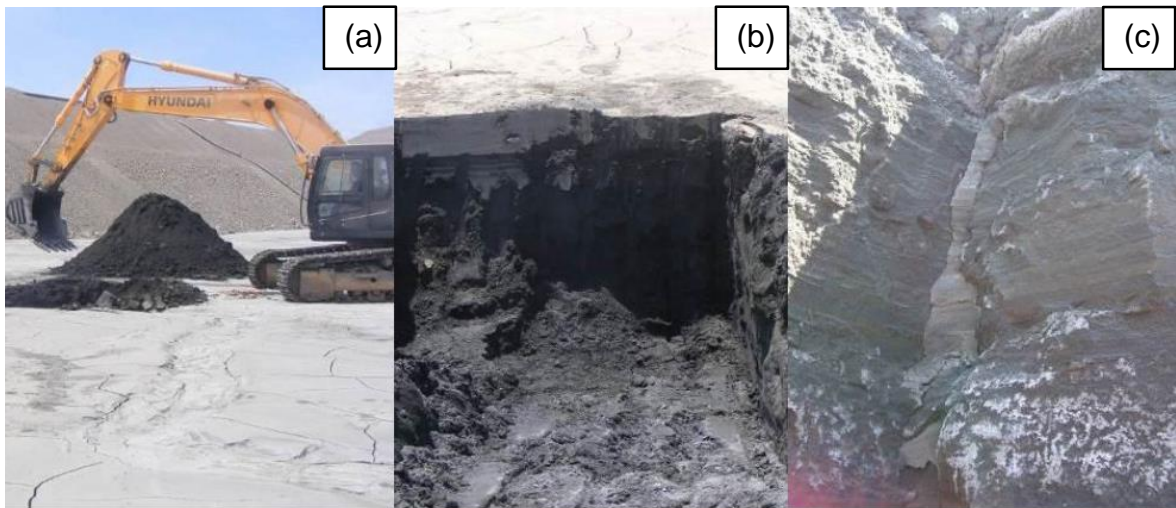


Figura 2.11. Cubeta de un tranque de relaves. (a) y (b) Calicata dentro de la cubeta de un tranque; (c) Deposición estratificada y presencia de lentes de agua en cubeta de relave, además de grietas de contracción rellenadas con relave de depositaciones posteriores (Campaña & Cifuentes 2012).

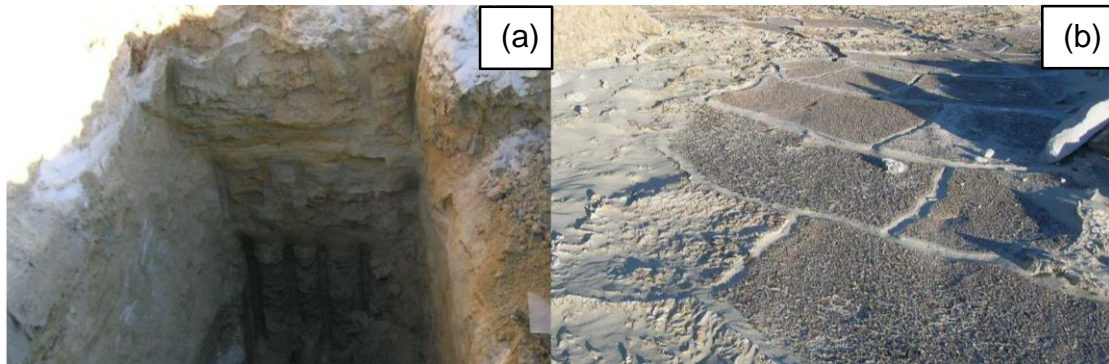


Figura 2.12. Relaves depositados en cubeta. (a) Deposición estratificada y segregada; (b) Grietas de contracción en la superficie (Cifuentes & Verdugo, 2007).

#### 2.1.1.5. Pendientes de Depositación

Las pendientes de deposición o pendientes de playa se refieren a la pendiente superficial que se produce en la cubeta del depósito, una vez que el material es descargado mecánica o hidráulicamente desde algún punto. Ésta se produce entre el punto de descarga, producido típicamente por una deposición sub-aérea, hasta la laguna de operación (en caso de existir) o el punto más bajo del depósito, midiéndose generalmente en forma porcentual (Fitton, 2007).

Las pendientes de deposición que se forman una vez descargado el material son sumamente importantes en el diseño, construcción y operación de los depósitos de relave, influyendo en la ubicación de la laguna de operación y fundamentalmente en la capacidad final del depósito. La formación de las pendientes depende fuertemente de la topografía donde se emplaza el depósito, además de las concentraciones de los sólidos ( $C_p$ ) de relave y de su reología. Cabe destacar que

la magnitud de las pendientes de depositación, afecta fuertemente el grado de segregación del material, pudiendo provocar los siguientes escenarios (Tailings Info, 2014):

- Pendientes Planas:
  - Reducción de la vida de operación del depósito, ya que se produce una reducción en el volumen almacenado
  - Reducción en la profundidad de la laguna de operación y aumento de pérdidas de su volumen.
  - Posibles formaciones de múltiples lagunas y/o lagunas parásito, dado que no existe confinamiento para almacenar agua.
  - Baja segregación de partículas.
  
- Pendientes altas:
  - Mayores espesores de las capas de depositación, lo que puede aumentar la densidad de depositación del relave.
  - Mayor capacidad para controlar la ubicación de la laguna de operación.
  - Mayor capacidad de almacenamiento del depósito, lo que se traduce una mayor vida útil.
  - Mayores efectos de segregación y estratificación de partículas.

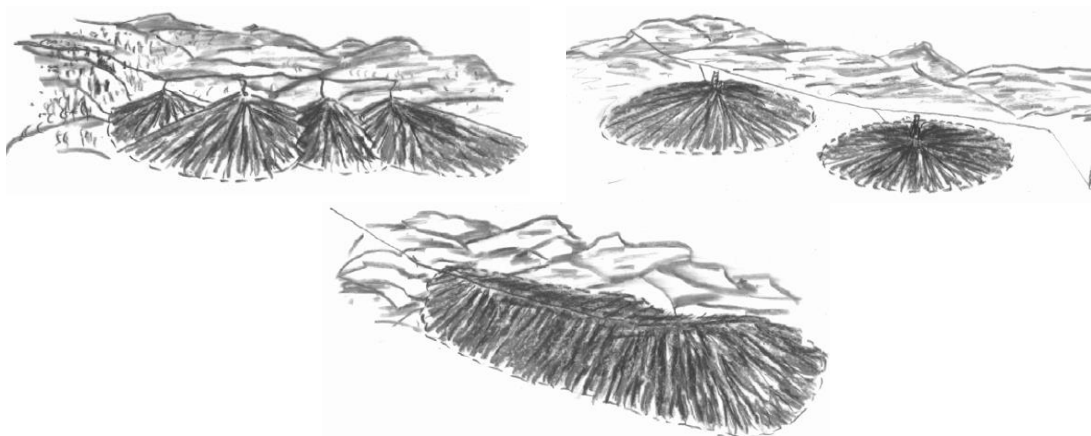
En tranques de relaves convencionales las pendientes de depositación varían entre 0,3%-1,0% (Barrera y Pinto, 2002).

### 2.1.2. Depósitos de Relaves Espesados

El relave espesado corresponde al relave integral tratado mediante un proceso de sedimentación a través de espesadores, recuperando parte importante del agua que contiene. Este tipo de relave posee una concentración en peso de los sólidos mayores al 65% y tiene una mayor tensión de corte o de fluencia que el relave convencional (DS 248, 2007).

El sistema de depósitos de relaves espesados fue desarrollado por Robinsky (1999), quien plantea que este sistema no requiere de un sistema de contención para el almacenamiento del relave, dado que el material adquiere una mayor viscosidad, dado la disminución del contenido de agua y el aumento en la concentración en peso.

Este sistema considera el bombeo de relave hasta una torre, desde la cual se va depositando formando un cono cuya pendiente es función de la concentración en peso de los sólidos. La Figura 2.13 muestra un esquema de este tipo de disposición de relaves.



**Figura 2.13. Métodos de depositación de relaves espesados en función de la topografía del terreno (Robinsky, 1999).**

Desde el punto de vista operacional, este tipo de depósito tiene las siguientes ventajas (Robinsky, 2009):

- Disminución del agua de proceso y agua recirculada, lo que ahorra agua fresca, disminuye infiltraciones al terreno natural y reduce la susceptibilidad al fenómeno de licuefacción.
- Generación de un material homogéneo que no se segrega durante el transporte y depositación.
- Menores velocidades de transporte en tuberías, lo que disminuye sus costos de mantención.

- Al ser dispuesto en superficie con pendientes de playa más inclinadas, permite un aumento de capacidad de almacenamiento, conllevando a que además forme parte de la estabilidad de este sistema de depósito.

La Figura 2.14 muestran las diferencias de depositación entre un depósito de relaves convencional y un depósito de relaves espesados.



Figura 2.14. Diferencias entre Depósitos Convencionales y Depósitos de Relaves Espesados (Valdenito, 2008).

### 2.1.3. Depósitos de Relaves en Pasta y Filtrados

El relave en pasta es un tipo de relave que presenta una situación intermedia entre el relave espesado y el relave filtrado. A este tipo de relave se le ha quitado gran parte del contenido de agua, alcanzando concentraciones en peso de los sólidos superiores al 75% (DS 248, 2007). Los depósitos de relaves en pasta trabajan con materiales que son transportados a través de tuberías y son depositados en forma de cono para luego dejarse secar. Este método permite reducir la superficie cubierta de relave y la cantidad de agua necesaria para este proceso. En la Figura 2.15 se ve un esquema de este tipo de almacenamiento.



**Figura 2.15. Depósitos de relave en pasta (Ramírez, 2007).**

Por otro lado, el relave filtrado corresponde a relaves integrales, que antes de ser depositados son sometidos a un proceso de filtración mediante equipos especiales de filtro que eliminan una cantidad importante de agua, alcanzando una concentración en peso cercana al 80% (DS 248, 2007). El relave filtrado se transporta al lugar de almacenamiento a través de cintas transportadoras o camiones, tal como se puede apreciar en la Figura 2.16.



**Figura 2.16. Depósitos de relaves filtrados (Ramírez, 2007).**

## **2.2. Efecto de la Fábrica en el Comportamiento de Suelos**

Los términos *fábrica* y *estructura* son usados indistintamente para referirse a la orientación, distribución y disposición de las partículas en una masa de suelo, describiendo además, el grado de heterogeneidad y empaquetamiento. Sin embargo, es necesario realizar la diferencia entre ambos términos, ya que la “fábrica” se refiere a aquellas características, disposición y orientación de partículas que pueden ser borrados a altos niveles de deformación, mientras que la “estructura” describe aquellas propiedades y características del suelo que no pueden ser borrados a altos niveles de deformación, incluyendo naturaleza y fuerza entre las partículas (Retamal, 2005).

Verdugo (1995) hace la distinción entre estos términos en función de la escala en la que se trabaja, donde a las estructuras homogéneas de gran escala lo llama “estructura”, en tanto al arreglo de partículas en escala de tamaño partículas lo denomina “fábrica”.

El efecto de la “fábrica” y la “estructura” de un material granular, atribuible a los métodos de preparación de muestras, disposición, segregación y estratificación de partículas, posee una influencia en la resistencia y el comportamiento del suelo.

### **2.2.1. Fábrica y Estructura en Suelos Homogéneos y Heterogéneos**

Se ha demostrado que en muestras de arenas que presentan una disposición homogénea (ver Figura 2.17), la línea de pseudo estado último (Ishihara 1995) se ve fuertemente afectada por los métodos de preparación de las muestras, en tanto la línea de estado último, muy por el contrario, resulta muy estable. El pseudo estado último se produce a un nivel de deformaciones medio, que no permite que la disposición y orientación inicial de las partículas de suelo pueda ser borrada, por lo que se ve fuertemente afectado por los métodos de preparación y disposición de partículas. Por otro lado, pruebas realizadas a muestras de la misma arena, pero con una disposición totalmente heterogénea y con una estructura estratificada, mostraron líneas de estado último muy diferentes a las de muestras homogéneas (Retamal, 2005). En consecuencia, para muestras totalmente heterogéneas y/o estratificadas, como se muestran en la Figura 2.18, el estado último no es capaz de borrar la disposición y orientación inicial de las partículas, pese al desarrollo de grandes deformaciones. Por lo tanto, se tiene un pseudo estado último y un estado último completamente influenciados por la fábrica y estructura del suelo, mostrando incluso la misma configuración inicial una vez que se han alcanzado altas deformaciones (Retamal, 2005).

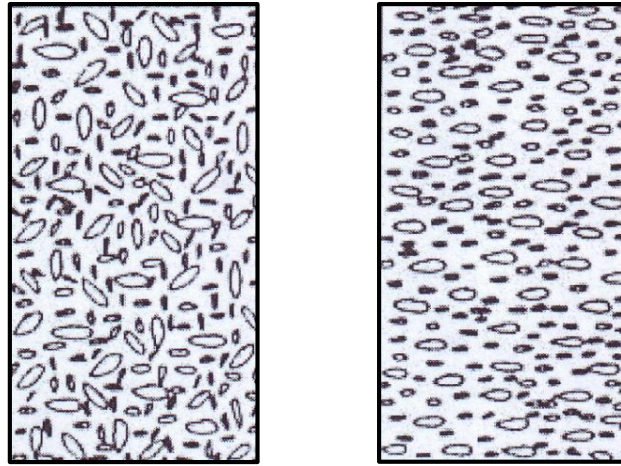


Figura 2.17. Muestras de suelo con una disposición de partículas homogéneas (Verdugo, 1992).

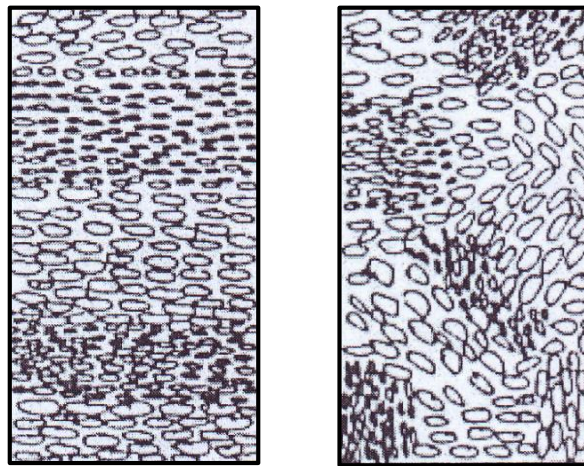


Figura 2.18. Muestras de suelo con una disposición de partículas heterogénea (Verdugo, 1992)

En resumen, se tiene que la fábrica y estructura inicial de una muestra de suelo afecta directamente el pseudo estado último, indistintamente de la disposición de partículas del suelo, mientras que el estado último no se ve afectado por la fábrica inicial pero si puede serlo por la estructura del suelo (Verdugo, 1992).

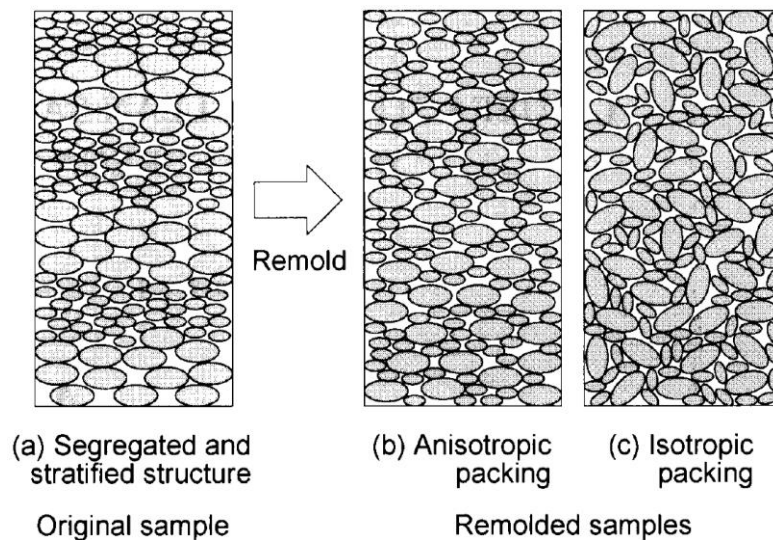
### 2.2.2. Muestras Inalteradas y Remoldeadas

La resistencia al corte de muestras inalteradas, en general, es mayor a la resistencia de muestras remoldeadas. Esta diferencia puede ser atribuida a dos tipos de estructuras del suelo en diferentes escalas: una estructura de empaquetamiento de partículas en la escala del tamaño de partículas y una estructura laminar del depósito de suelo a gran escala. La diferencia en la

resistencia en este tipo de muestras, entrega una estimación del efecto de la fábrica en depósitos de suelo (Yoshimine & Koike, 2005).

Estudios realizados con arena de Niigata mostraron que la resistencia de las muestras inalteradas obtenidas mediante la técnica del congelamiento fue mayor que la resistencia de muestras inalteradas obtenidas a través del método de muestreo de triple tubo (“triple tube sampler”) y que la resistencia de muestras remoldeadas. Esto se debe principalmente a la microestructura que se produce por el arreglo entre las partículas de arena y la cementación entre ellas debido al envejecimiento, los cuales se ven afectados por pequeñas alteraciones en el muestreo (Yoshimi et al, 1984).

La estructura estratificada de una muestra inalterada debido a la graduación en el tamaño de partículas, desaparece si el suelo es remoldeado y reconstituido homogéneamente, pudiendo tener un empaquetamiento muy diferente dependiendo del método de reconstitución en laboratorio, tal como se muestra en la Figura 2.19 (Yoshimine & Koike, 2005).



**Figura 2.19. Esquema de muestras inalteradas y muestras después de remoldeo. (a) Muestra con una estructura segregada y estratificada; (b) Muestras remoldeadas con un ordenamiento anisotrópico; (c) Muestras remoldeadas con un ordenamiento isotrópico (Yoshimine & Koike, 2005).**

Las muestras remoldeadas con empaquetamiento anisotrópico (Figura 2.19b) reproducen la fábrica de la muestra inalterada (Figura 2.19a), pero no reproduce su estructura estratificada. En tanto las muestras remoldeadas homogéneas (Figura 2.19c) no reproducen ni la fábrica ni la estructura.

Estudios realizados por Castro et al. (1989), Seed et al. (1989), Marcuson et al. (1990) y Castro et al. (1992) en el tranque Lower San Fernando en California, que falló debido a un terremoto en



1971, mostraron la diferencia en la resistencia no drenada de muestras inalteradas y muestras remoldeadas (Figura 2.20). La resistencia no drenada es mayor en muestras inalteradas que en muestras remoldeadas para índice de vacíos mayores a 0,6, potencialmente debido a la estructura graduada y estratificada de las muestras inalteradas. Además, se puede ver que la resistencia no drenada de las muestras remoldeadas estratificadas se acerca al de las muestras inalteradas para muestras con índice de vacíos inferiores a 0,6.

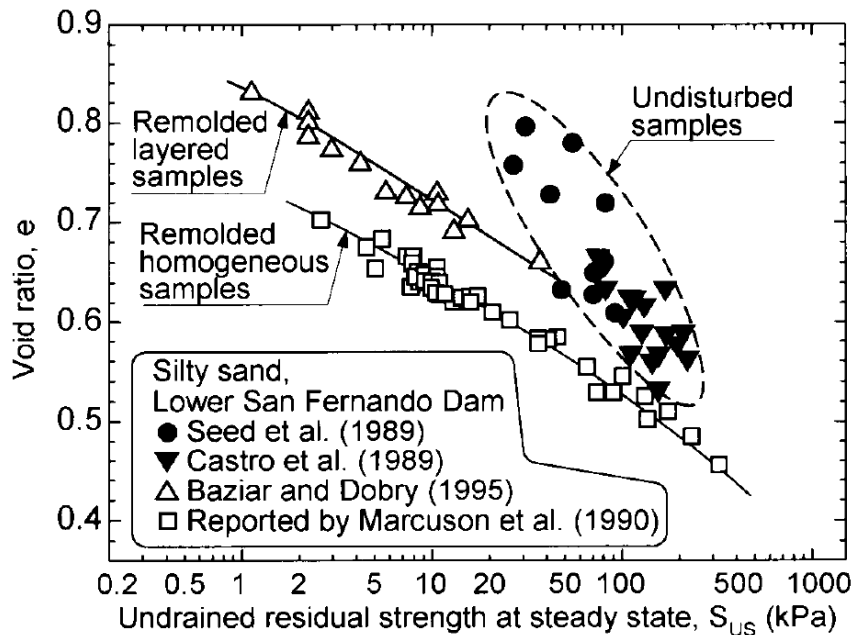


Figura 2.20. Resistencia no drenada de limos arenosos provenientes del tranque Lower San Francisco (Yoshimine & Koike, 2005)

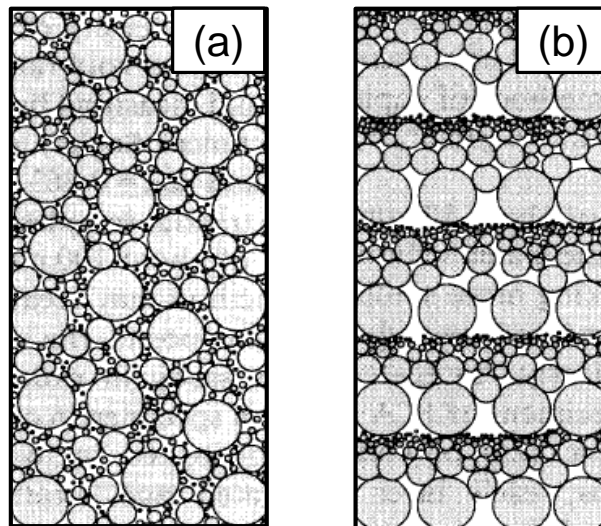
El estudio realizado por Vaid y Sivathalayan (2001) comparó la resistencia de limos y limos arenosos de muestras inalteradas con muestras reconstituidas a través de diferentes métodos. El estudio mostró que el método de apisonado húmedo en estos materiales entrega resultados muy conservadores en comparación con el comportamiento de muestras inalteradas. Además, que la línea de estado último en el espacio  $e-\sigma'_3$  (ó  $e-p'$ ) no es única para una fábrica y estructura dada, y que depende tanto del estado inicial que incluye la magnitud y dirección de las tensiones principales como de la trayectoria de esfuerzos efectivos.

Dobry (1995) indica que muestras remoldeadas estratificadas presentan resistencias mayores a las remoldeadas homogéneas, y las líneas de estado último logran acercarse bastante a la de muestras inalteradas.

### 2.2.3. Estratificación y Segregación de Partículas en el Suelo

Se ha planteado que la estratificación y segregación de partículas tienen una notoria influencia en el comportamiento y resistencia de una masa de suelo, y se ha demostrado que muestras heterogéneas y estratificadas tienen una resistencia no drenada mayor a muestras homogéneas del mismo material.

Yoshimine y Koike (2005) realizaron estudios en probetas remoldeadas de arena JCA (Japanese Cement Association) bien graduada, en las que se reprodujeron 2 disposiciones de partículas a través del método "air pluviation", una con una estructura homogénea y uniforme y la otra con una estructura segregada y estratificada (Figura 2.21). Ambas muestras tenían índice de vacíos similares. Estas muestras se sometieron a ensayos CIU estáticos, y los gráficos tensión deformación y trayectorias de esfuerzos se muestran en la Figura 2.22 y Figura 2.23.



**Figura 2.21. Ilustración de tipos de muestras consideradas en el estudio de Yoshimine y Koike (2005). (a) Muestras uniformes y homogéneas; (b) Estratificadas y segregadas**

La Figura 2.22 y Figura 2.23 muestran que el comportamiento inicial de muestras homogéneas tiende a ser contractivo, para posteriormente dilatar, mientras que las muestras estratificadas tienden a un comportamiento dilatante. Se desprende además, que estas últimas muestras, para similares índice de vacíos presentan una resistencia mayor que las muestras homogéneas, y que el efecto de las capas no desaparece a grandes deformaciones.

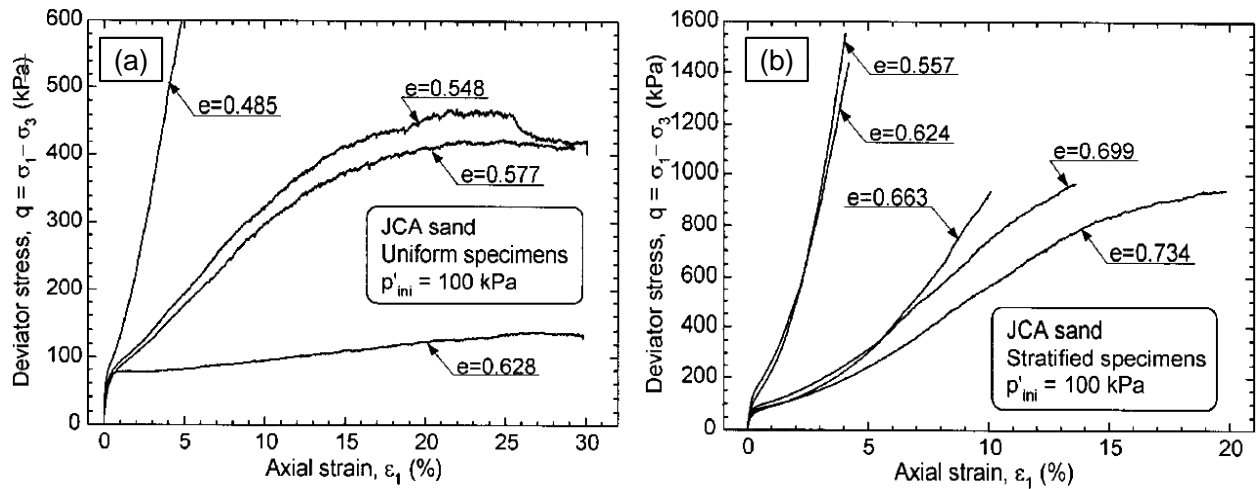


Figura 2.22. Curvas tensión-deformación. (a) Muestras homogéneas; (b) Muestras estratificadas. (Yoshimine & Koike, 2005)

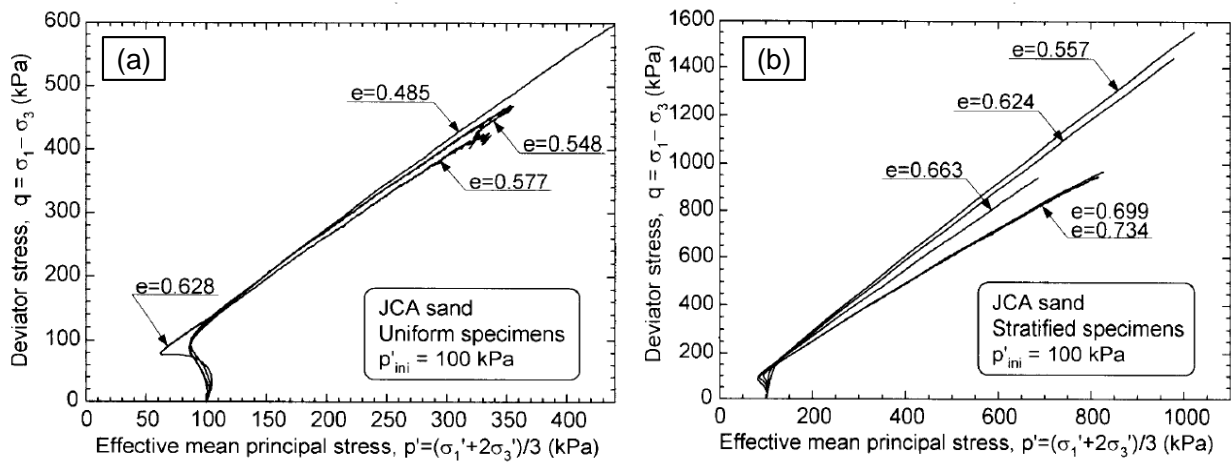


Figura 2.23. Trayectoria de esfuerzos efectivos. (a) Muestras homogéneas; (b) Muestras estratificadas (Yoshimine & Koike, 2005).

Una estructura de suelos estratificada debido a la segregación de tamaño de partículas es comúnmente observada en depósitos de suelo natural y artificial, especialmente cuando las partículas sedimentan hidráulicamente y el material es bien graduado, tal como ocurre en depósitos de relave convencional. En estos casos la fracción gruesa se deposita en la parte inferior, mientras que la fracción fina del relave se deposita en la parte superior debido a los ciclos de depositación. Por otro lado, depósitos de suelo que presentan un material pobremente graduado no son propensos a generar una estructura estratificada. La Figura 2.24 muestra el Tranque El Cobre después de la falla y donde se aprecia el relave completamente estratificado.

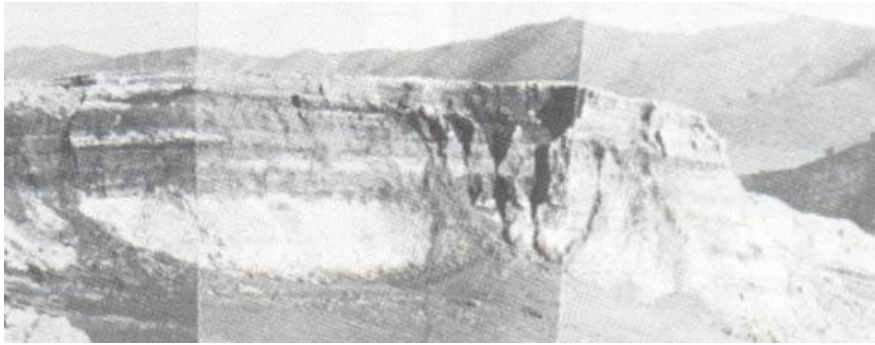


Figura 2.24. Tranque El Cobre después de falla 1965 (Dobry & Álvarez, 1967).

### 2.3. Envejecimiento de Suelos

Ormazábal (2008) estudió el efecto del envejecimiento (*aging*) en arenas de relave provenientes del tranque de relaves de Ovejería. Este análisis se realizó para muestras de arena inalterada, proveniente directamente del muro, extraída a diferentes profundidades (0,3 m -1,4 m - 2,5 m). Además de estas muestra, se confeccionaron muestras remoldeadas con la misma arena de las muestras inalteradas, que fueron envejecidas posteriormente en laboratorio durante un periodo que varió entre 0 a 5 meses, equivalentes al periodo de envejecimiento que se encuentran las muestras inalteradas (0,3 m-1,4 m- 2,5 m).

De este estudio se llega a la conclusión que el fenómeno de envejecimiento, genera un aumento importante en la resistencia no drenada estática y cíclica, y en el módulo de deformación del suelo, dada por la cementación que se genera entre las partículas. Además, se pudo notar que el aumento de resistencia debido al fenómeno de envejecimiento es más notorio y más rápido en muestras remoldeadas envejecidas en laboratorio que en muestras inalteradas. La Figura 2.25 y Figura 2.26 muestra la variación de la resistencia estática y módulo de deformación para diferentes periodos de envejecimiento, respectivamente.

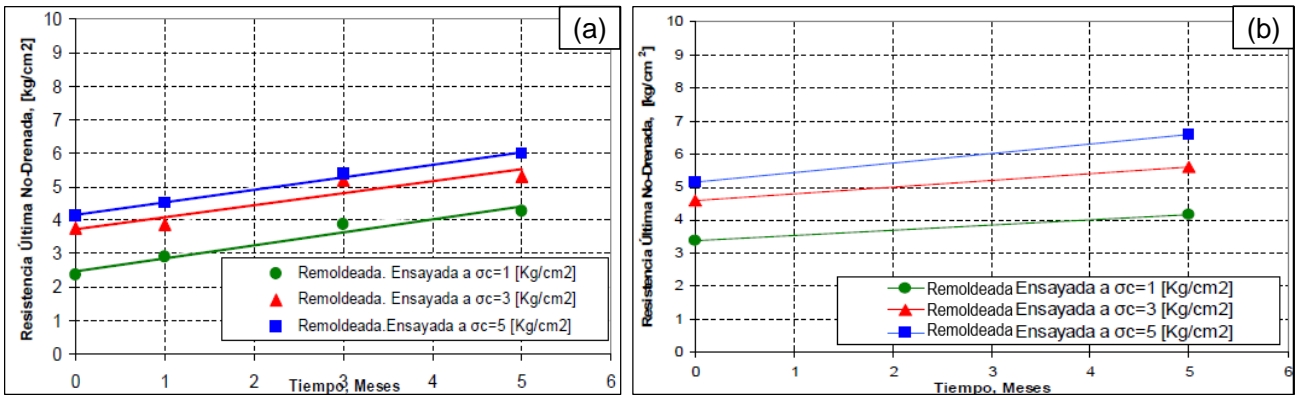


Figura 2.25. Variación resistencia muestras envejecidas donde: (a) muestra remoldeada con arena extraída a 0,3 m de profundidad y envejecida en laboratorio; (b) muestra inalterada extraída a 2,5 m de profundidad (Ormazábal, 2008).

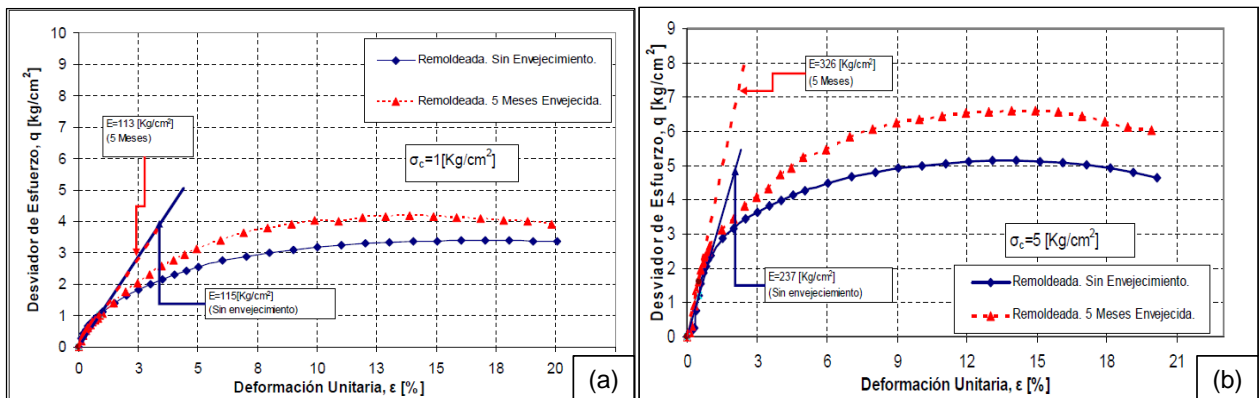


Figura 2.26. Variación de módulo de deformación inicial para muestra remoldeadas envejecidas y sin envejecer, obtenidas a 2,5 m de profundidad. (a) Confinamiento 1kg/cm²; (b) Confinamiento 5 kg/cm² (Ormazábal, 2008).

### 3. DEPOSITACIÓN DE RELAVES

A continuación se presentan el material y sistema de almacenamiento utilizado, además se detalla la metodología y resultados para las diferentes muestras depositadas en laboratorio, las cuales buscan simular una cubeta de un tranque de relave compuesta por uno (1), dos (2) y tres (3) ciclos de depositación. Todo el relave depositado tenía una concentración en peso inicial  $C_p = 60\%$  y la depositación en el contenedor se realizó utilizando el método de sedimentación hidráulica.

#### 3.1. Material Utilizado

El material utilizado corresponde a relave integral proveniente del Tranque de Relaves Ovejería, perteneciente a la División Andina de CODELCO, ubicado en la comuna de Colina, Región Metropolitana. Este material fue extraído directamente desde las canaletas de conducción previa a la estación de ciclones del depósito.

La extracción del material fue realizada por Cifuentes & Verdugo (2007) utilizando baldes de 25 litros para llenar tres cubetas de 200 litros, las que posteriormente fueron trasladadas al laboratorio para su posterior secado al horno. La concentración en peso de los sólidos, al momento de la extracción del material, correspondía a un 55% (Cifuentes & Verdugo, 2007) y Figura 3.1 muestra el método de extracción.

El relave se encuentra en estado seco y almacenado en un tambor de 200 litros, en el Laboratorio de Sólidos y Medios Particulados de la Universidad de Chile. Parte de este material se utilizó en el estudio realizado por Cifuentes y Verdugo (2007).



Figura 3.1. Método de extracción de muestras (Cifuentes & Verdugo, 2007).

### 3.2. Contenedor de Relave

Las pruebas de depositación contemplan el uso de un contenedor de acrílico desmontable que simula la depositación sub-aérea de relave en la cubeta de un tranque convencional. El contenedor permite el retiro de muestras depositadas en laboratorio desde cualquier parte. Este sistema recrea condiciones de almacenamiento y drenaje de la cubeta, permitiendo observar los efectos de segregación y distribución de partículas, además de los fenómenos de sedimentación y estratificación del material una vez depositado.

El contenedor consta con una serie de perforaciones en su cara inferior, a modo de reproducir un sistema de drenaje basal. Sobre éste se dispone una capa drenante compuesta de arena y papel filtro, para ayudar a la pérdida de humedad y evitar la migración de partículas finas. En la Tabla 3.1 y Figura 3.2 se muestra las dimensiones y detalles del contenedor respectivamente.

Tabla 3.1. Dimensiones Contenedor

Dimensiones Internas	Valor	Unidad
Largo	70	cm
Ancho	53	cm
Altura	25	cm
Espesor Pared	15	mm

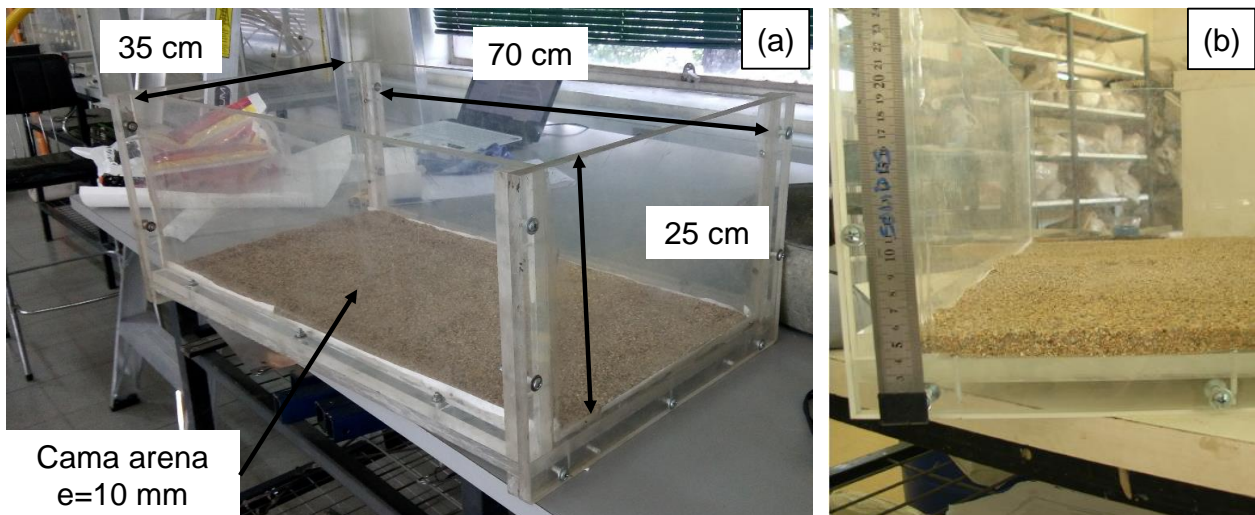


Figura 3.2. Contenedor relave (a) detalle dimensiones; (b) detalle sistema de drenaje basal.

### 3.3. Primera Depositación (1 Ciclo de Depositación)

Para simular la forma de depositación y almacenamiento de un tranque de relaves, se montó un sistema hidráulico (Figura 3.3), que cuenta con un tambor plástico y un contenedor de acrílico donde se deposita el material. El tambor tiene un diámetro interno de 56 cm y un altura de 90 cm, y cuenta además con una manguera de salida de diámetro interno 50 mm y un armazón de acero junto set de cadenas, que permite elevarlo mediante una gata hidráulica para descargar el relave. El sistema es capaz de elevar el estanque a una altura máxima de 1,4 m con respecto al suelo, por lo que restando la altura de 0,9 m a la que se encuentra el contenedor, se tiene una altura hidráulica de 0,5 m (Figura 3.3). El contenedor tiene un sistema de drenaje basal que permite extraer las aguas filtradas y conducir las mediante un plástico hacia un balde receptor.

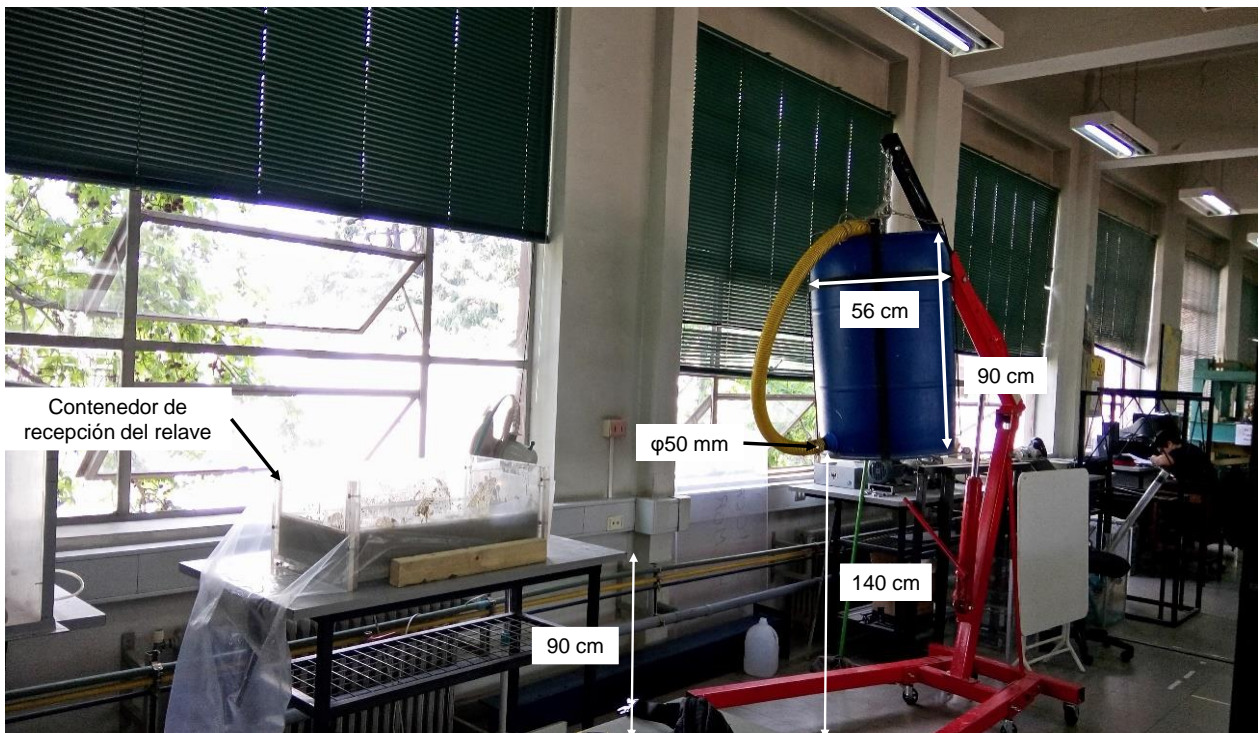
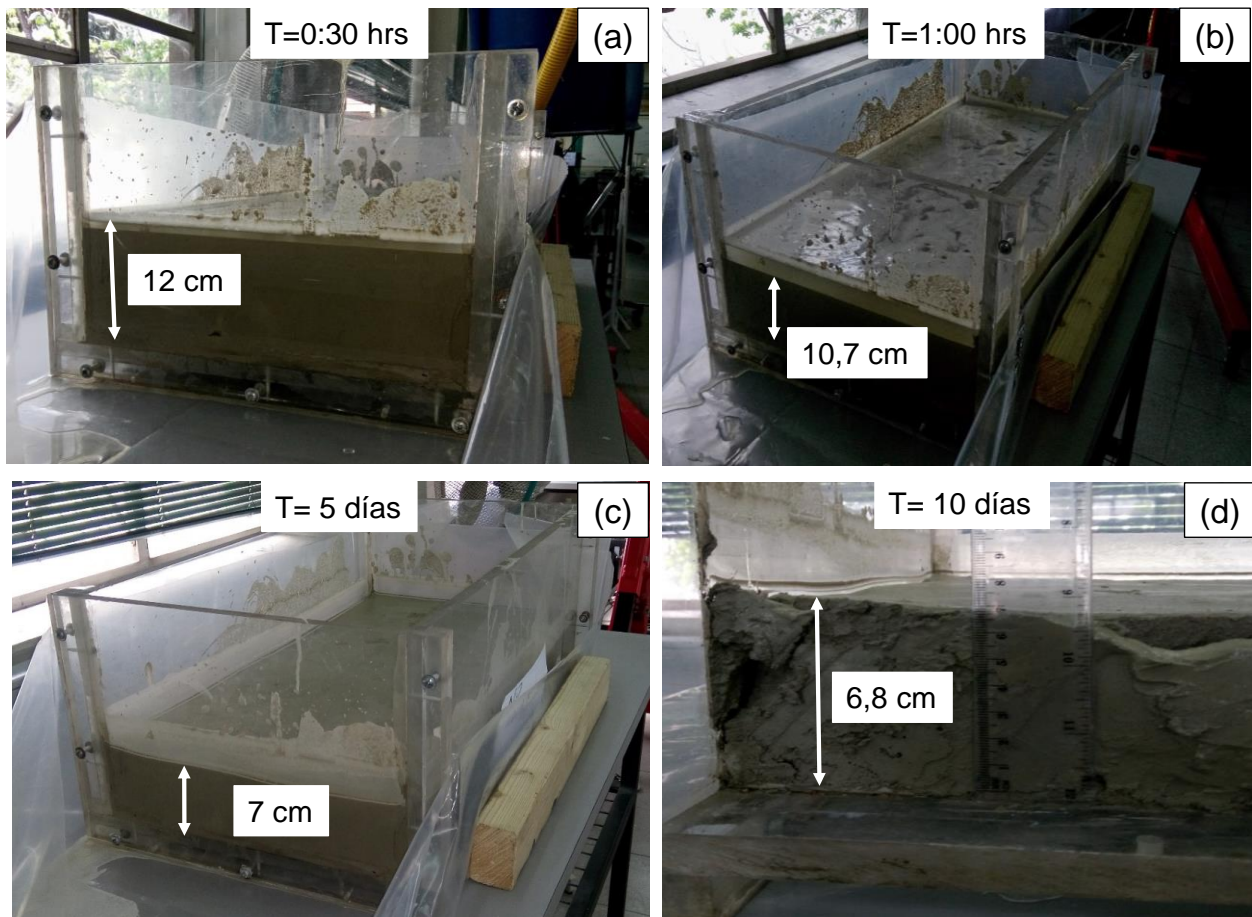


Figura 3.3. Sistema de primera depositación de relave.

Para esta primera depositación, que simula un ciclo de depositación, se elaboró una pulpa de relave con una concentración en peso  $C_p = 60\%$ , preparada con 30 kg de peso seco de relave y 20 litros de agua. Al preparar la mezcla se tuvo problemas al revolver y homogenizar, lo que se tradujo en una notoria segregación de partículas al momento de depositar, quedando parte de las partículas gruesas en el estanque y descargando finalmente las partículas finas en el contenedor.



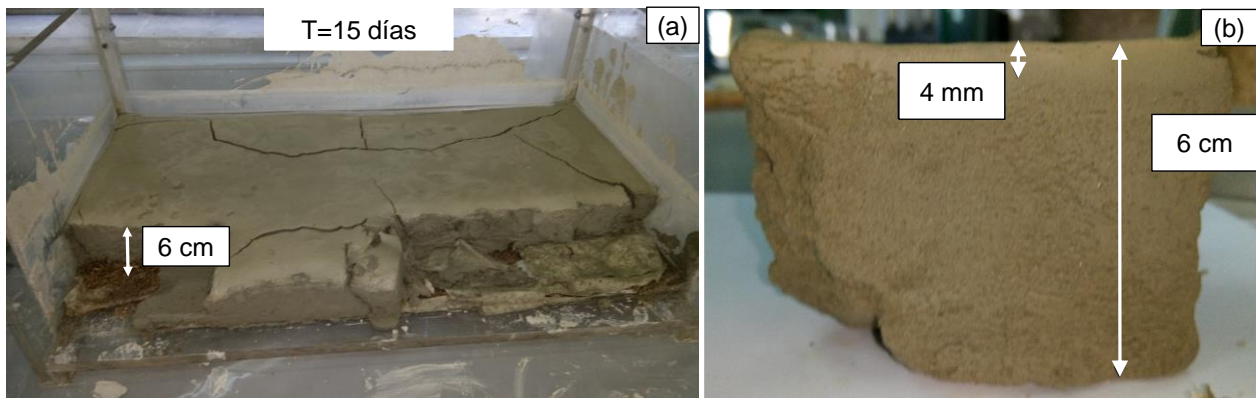
Una vez depositado el relave se formó un estrato que alcanzó una altura inicial aproximada de 12 cm, que se dejó sedimentar y secar durante unos 15 días aproximadamente. La Figura 3.4 muestra la variación de la altura del relave una vez depositado.



**Figura 3.4. Primera depositación. (a) Relave después de 30 minutos depositado; (b) después de una hora; (c) después de 5 días; (d) después de 10 días.**

Después de aproximadamente un día, se recuperaron cerca de 8,6 litros de agua que drenaron por la parte inferior, equivalentes al 43% del agua inicial de la pulpa. El resto del agua se perdió por evaporación o quedó como humedad residual en el relave.

Finalmente, tras 15 días se abrió el contenedor (Ver Figura 3.5). Esta depositación alcanzó una altura entre 6-7 cm y una humedad residual cercana al 17%. Posteriormente, se extrajeron muestras y se envolvieron en Alusa, para ser almacenadas en la cámara húmeda.



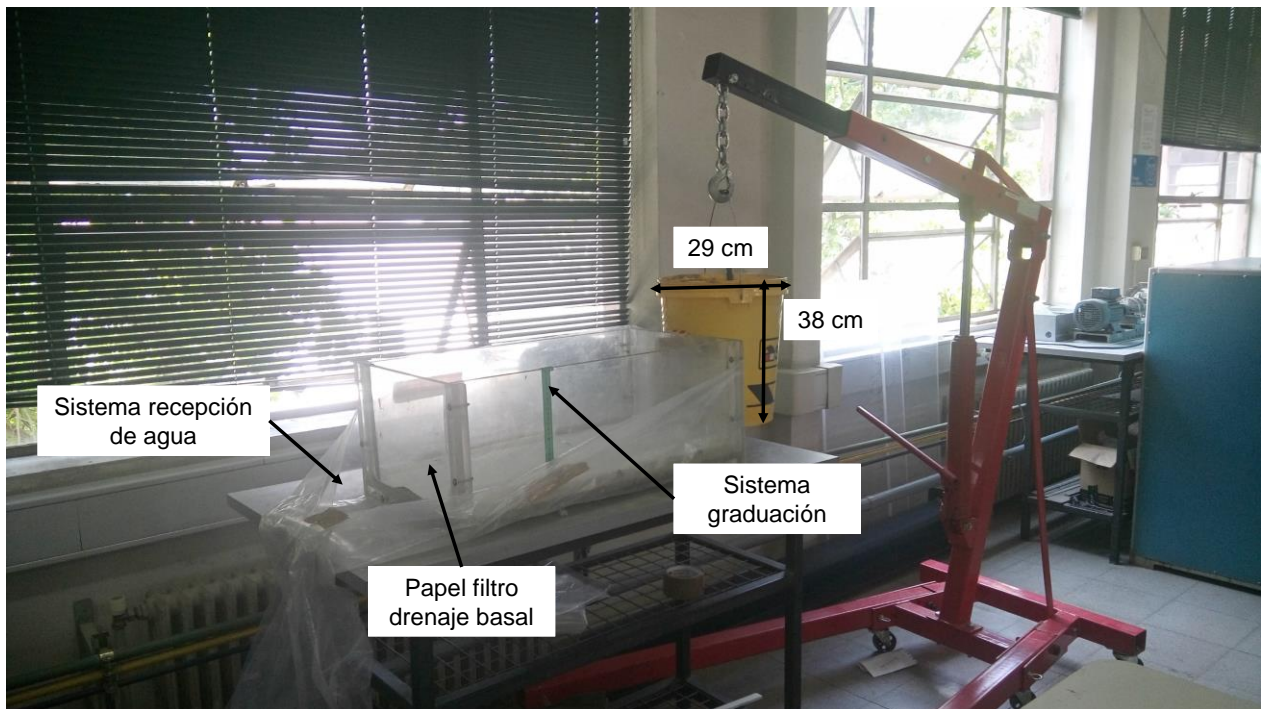
**Figura 3.5. Relave depositado después de 15 días. (a) abertura del contenedor; (b) muestras extraídas.**

Dado la escasa altura que alcanzó el relave, es imposible por norma realizar ensayos triaxiales estáticos, por lo que se llevaron a cabo una serie de ensayos de corte simple, con probetas cilíndricas de altura 2 cm y diámetro 7 cm. Los resultados de estos ensayos se muestran en la Sección 5.2.

### **3.4. Segunda Depositación (2 Ciclos de Depositación)**

Debido a problemas de segregación de partículas que se produjeron en la primera depositación, se utilizó un sistema diferente para depositar el material. El sistema consistió en levantar con una gata hidráulica un balde lleno de pulpa de relave, y posteriormente vaciar el contenido lentamente desde un borde del contenedor. El balde utilizado tiene una capacidad de 20 litros, con un diámetro de 29 cm y una altura de 38 cm (ver Figura 3.6).

Al igual que en la prueba anterior, se instaló un plástico en la mesa con el fin de conducir todas las aguas filtradas hacia un balde receptor. Además, se colocó una huincha de medir en el contenedor con el fin de registrar el asentamiento y grado de consolidación del relave en el tiempo (ver Figura 3.6)



**Figura 3.6. Sistema de segunda deposición.**

Esta deposición se realizó a una velocidad constante con el fin de evitar los efectos de sedimentación y segregación de partículas. La pulpa de relave con la que se trabajó tiene una concentración en peso  $C_p = 60\%$ , la que se preparó con 15 kg de relave seco y 10 litros de agua por cada balde, mezclándolo hasta tener una pulpa totalmente homogénea.

Se depositaron en total 3 baldes con pulpa de relave, equivalente a 45 kg de relave y 30 litros de agua. El relave se depositó siguiendo el siguiente procedimiento: se vierte el primer balde a velocidad constante (caudal aproximado 0,2 l/s) y se deja sedimentar el material durante unos 40 a 50 minutos. Posteriormente, se vierte de forma seguida, uno tras otro, dos baldes a velocidad constante, los cuales alcanza un caudal aproximado de 0,28 y 0,24 l/s, respectivamente.

Esta secuencia de deposición permite simular una cubeta de un tranque compuesta por dos ciclos de deposición, formando dos estratos. El primer ciclo formó un estrato que alcanzó una altura inicial de 6,5 cm, y luego se dio paso al segundo ciclo de deposición para formar el segundo estrato (ver Figura 3.7).

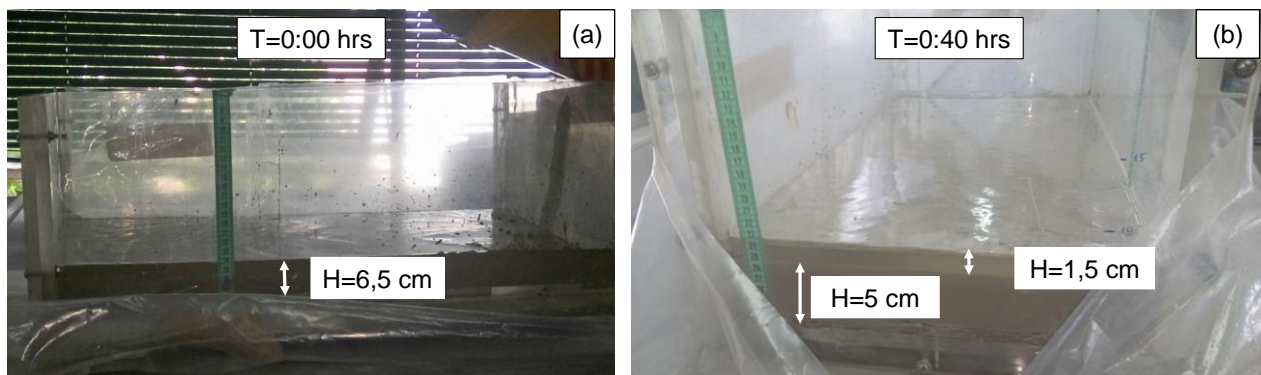


Figura 3.7. Deposición del primer ciclo. (a) Altura inmediatamente después de la deposición y (b) después de sedimentar por 40 min.

El segundo ciclo formó un estrato que alcanzó una altura inicial de 13 cm, equivalente a una altura total de 17,7 cm, y posteriormente se dejó sedimentar y secar (ver Figura 3.8). La Figura 3.9 muestra la variación de la altura del relave en el tiempo, a medida que este se contrae y consolida, llegando a una altura promedio final 13 cm aproximadamente, equivalente a una deformación total del 23%. De esta deposición se recuperaron 12,3 litros de agua por el sistema de drenaje inferior, que equivalen al 41% del agua inicial de la pulpa. Durante el proceso de secado del relave, se pudo apreciar notorias grietas de contracción (ver Figura 3.10).

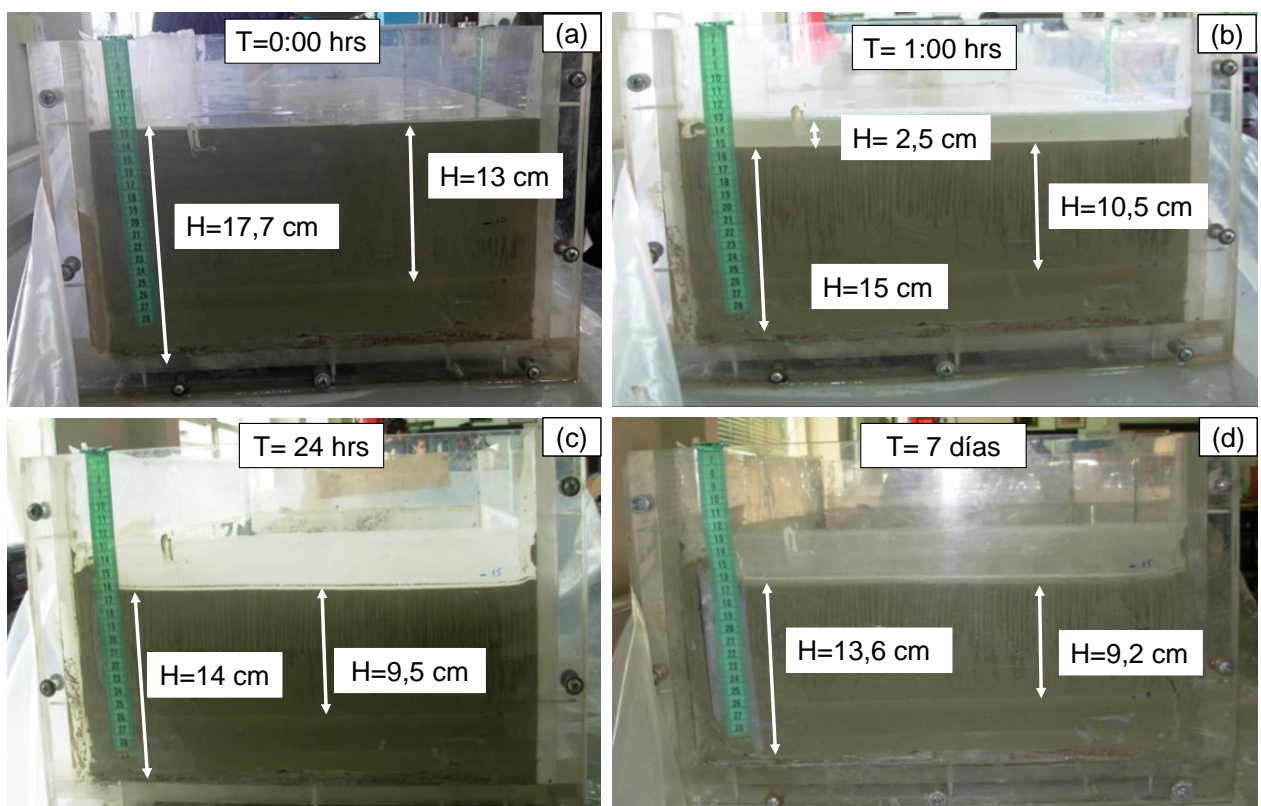


Figura 3.8. Deposición del segundo ciclo. (a) Altura inmediatamente después de la deposición, (b) después de una hora, (c) después de un día y (d) después de una semana.

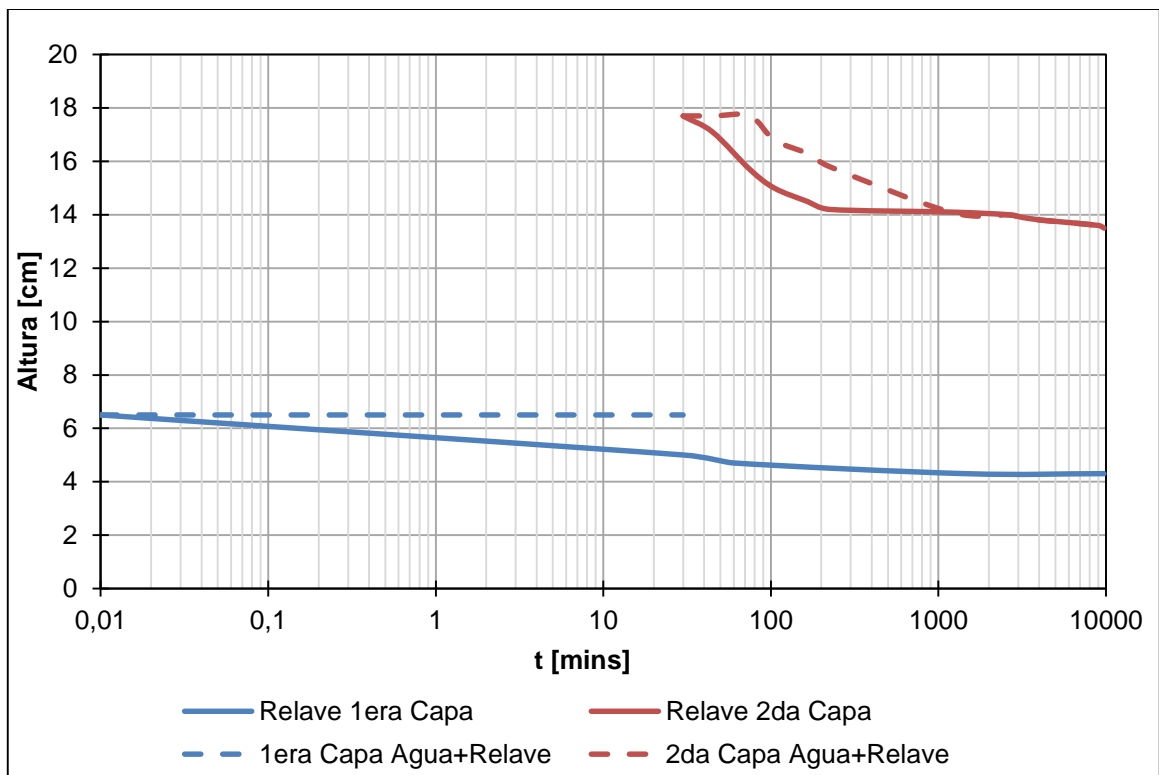
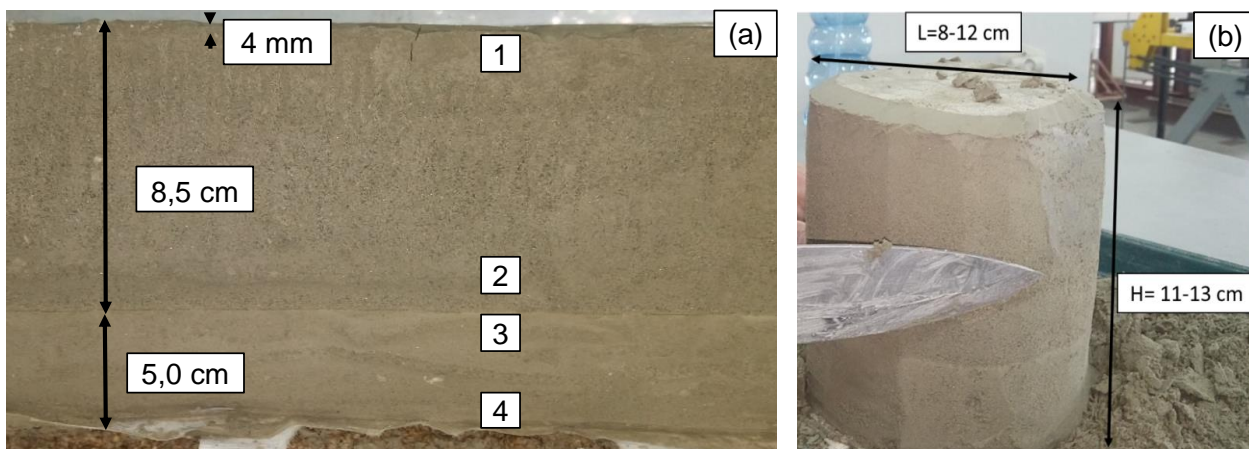


Figura 3.9. Variación de altura de la segunda de deposición.



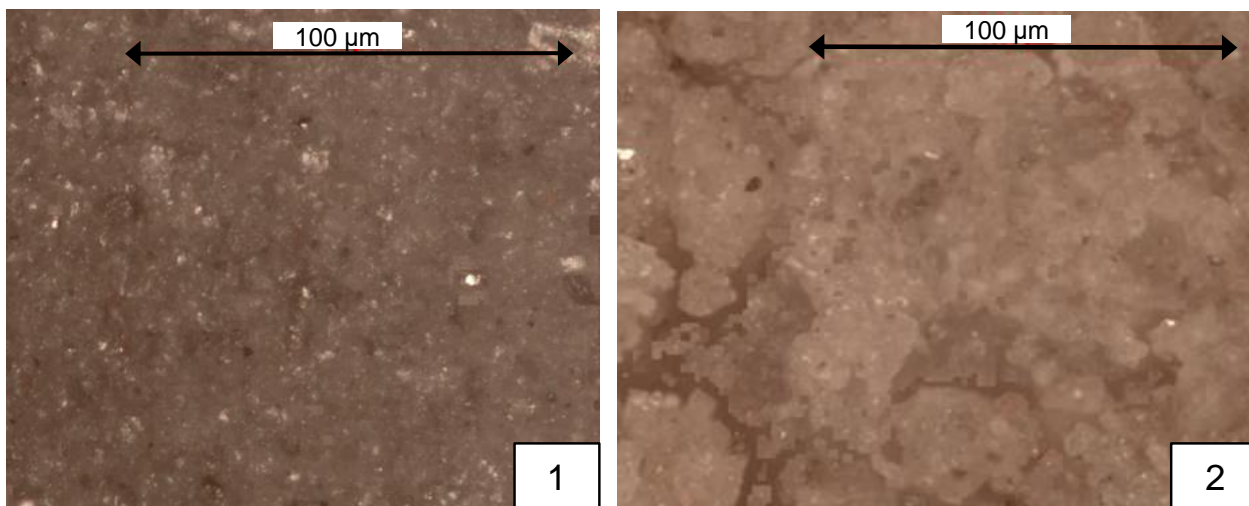
Figura 3.10. Grietas de contracción en las muestras.

Después de 2 semanas de secado, se abrió el contenedor (ver Figura 3.11a) y se sacaron muestras, con una humedad aproximada del 13%. Las muestras fueron talladas en bloques (ver Figura 3.11b), envueltas en papel Alusa, y guardadas en la cámara húmeda.



**Figura 3.11. Muestras extraídas de la segunda deposición después de 2 semanas. (a) Altura de estratos y (b) Bloques para tallado de probetas de ensayos triaxiales CIU. Los números indican los sectores de la muestra en los que se realizó un análisis granulométrico al microscopio (Figura 3.12).**

La Figura 3.11 muestra una estructura de dos estratos bien marcados, donde en cada estrato se distingue una zona con partículas finas y otra inferior con partículas gruesas producto de los ciclos de depositación y proceso de sedimentación del material una vez depositado en la cubeta. Esta diferencia en el tamaño de partículas se puede ver claramente en la Figura 3.12. Las partículas presentan formas angulares a sub-redondeadas, típico de este tipo de material, producto del proceso de molienda de la roca y del posterior transporte en canaleta por una extensión de 150 km desde la División Andina de Codelco hasta el tranque Ovejería (Bernal, 2012).



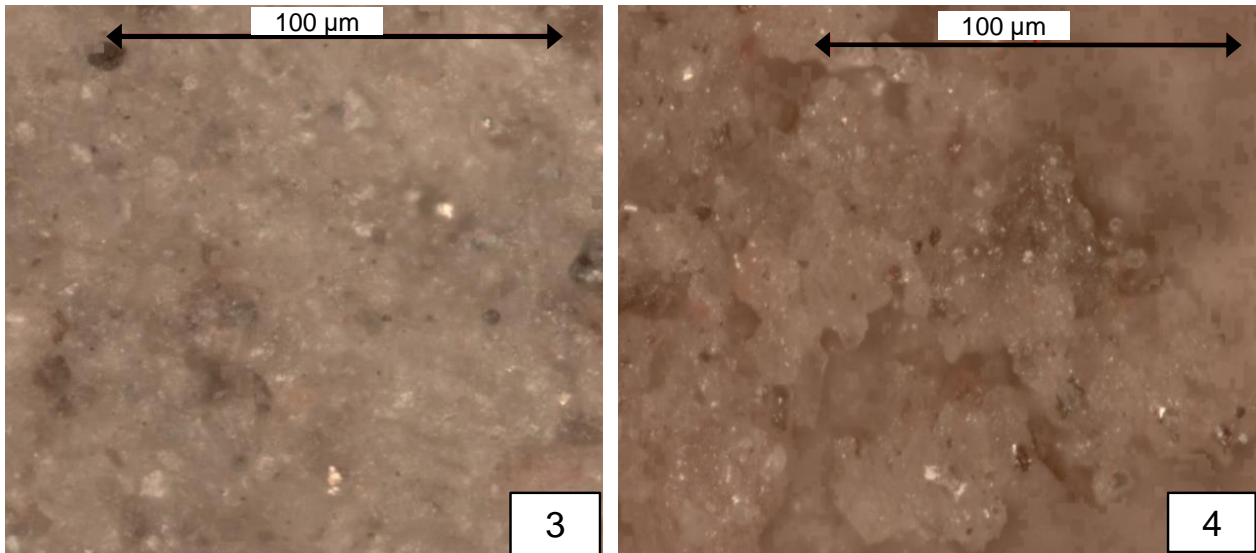


Figura 3.12. Imágenes del relave depositado al microscopio con un aumento x10. Los números corresponden a las capas identificadas en la Figura 3.11a: (1) Partículas finas del estrato superior, (2) partículas gruesas del estrato superior, (3) partículas finas del estrato inferior y (4) partículas gruesas del estrato inferior.

### 3.5. Tercera Depositación (3 Ciclos de Depositación)

Esta depositación se realizó siguiendo un procedimiento similar al adoptado en la segunda de depositación, donde se depositaron 3 baldes de pulpa de relave con una concentración en peso del 60%. La secuencia de depositación realizada permite simular una cubeta de un tranque compuesto por 3 ciclos de depositación, formando 3 estratos de altura similar. Esta secuencia se realizó siguiendo el siguiente procedimiento: se vertió el primer balde a velocidad constante (caudal aproximado 0,26 l/s) formando el primer estrato, el cual alcanzó una altura inicial de 6,8 cm, y se dejó sedimentar durante 2 horas aproximadamente (ver Figura 3.13).

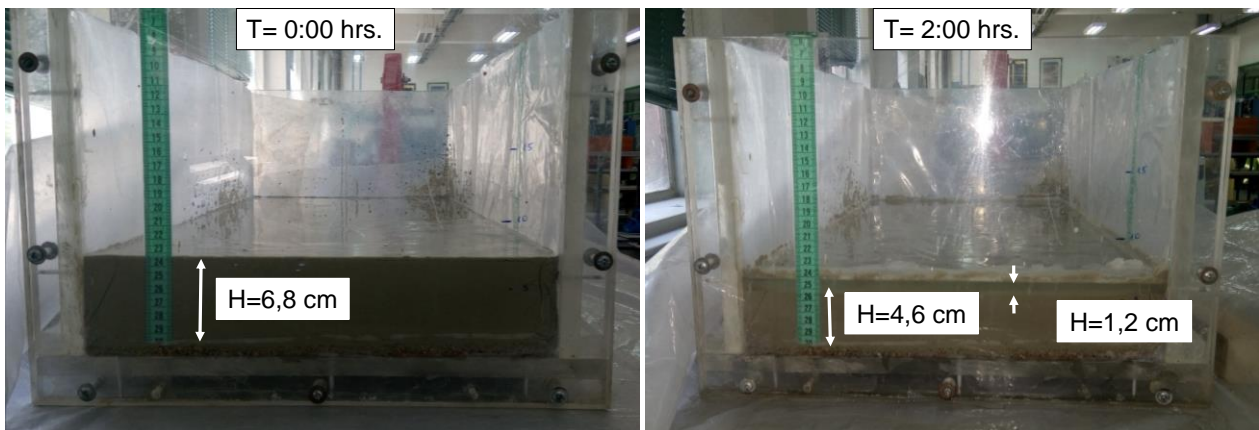
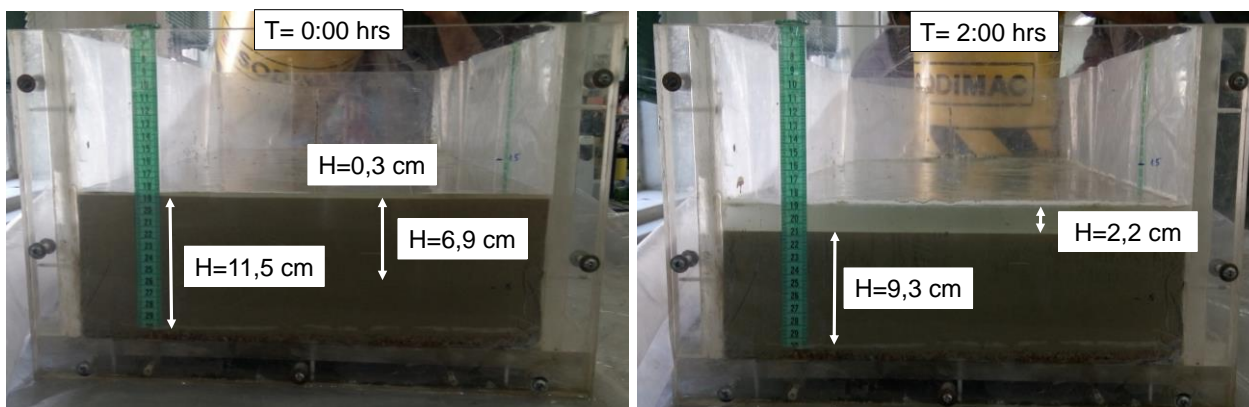


Figura 3.13. Depositación del primer ciclo. (a) Altura inmediatamente después de la depositación y (b) después de sedimentar por 2 horas.

Posteriormente se dio paso al segundo ciclo, vertiendo un segundo balde (caudal aproximado 0,24 l/s) para formar el segundo estrato. Este alcanzó un espesor de 6,9 cm, equivalente a una altura total de 11,5 cm, y se dejó sedimentar por otras 2 horas (ver Figura 3.14).



**Figura 3.14. Deposición del segundo ciclo (a) Altura inmediatamente después de la depositación; (b) Después de sedimentar por 2 horas**

Finalmente se dio paso al tercer ciclo, depositando el último balde (caudal aproximado 0,25 l/s), que formó un estrato que alcanzó un espesor de 7,5 cm, equivalente a una altura total de 17 cm, dejándose posteriormente sedimentar y secar (ver la Figura 3.15a y b).

De esta depositación se recuperaron en total 13,41 L de agua por el sistema de drenaje inferior, que equivalen al 44,7% del agua inicial de la pulpa de relave. La Figura 3.16 muestra la variación de la altura del relave en el tiempo, a medida que sedimenta, se seca, contrae y consolida, llegando finalmente a una altura promedio de 12,5 cm, lo que equivale aproximadamente a una deformación total aproximada del 25%.



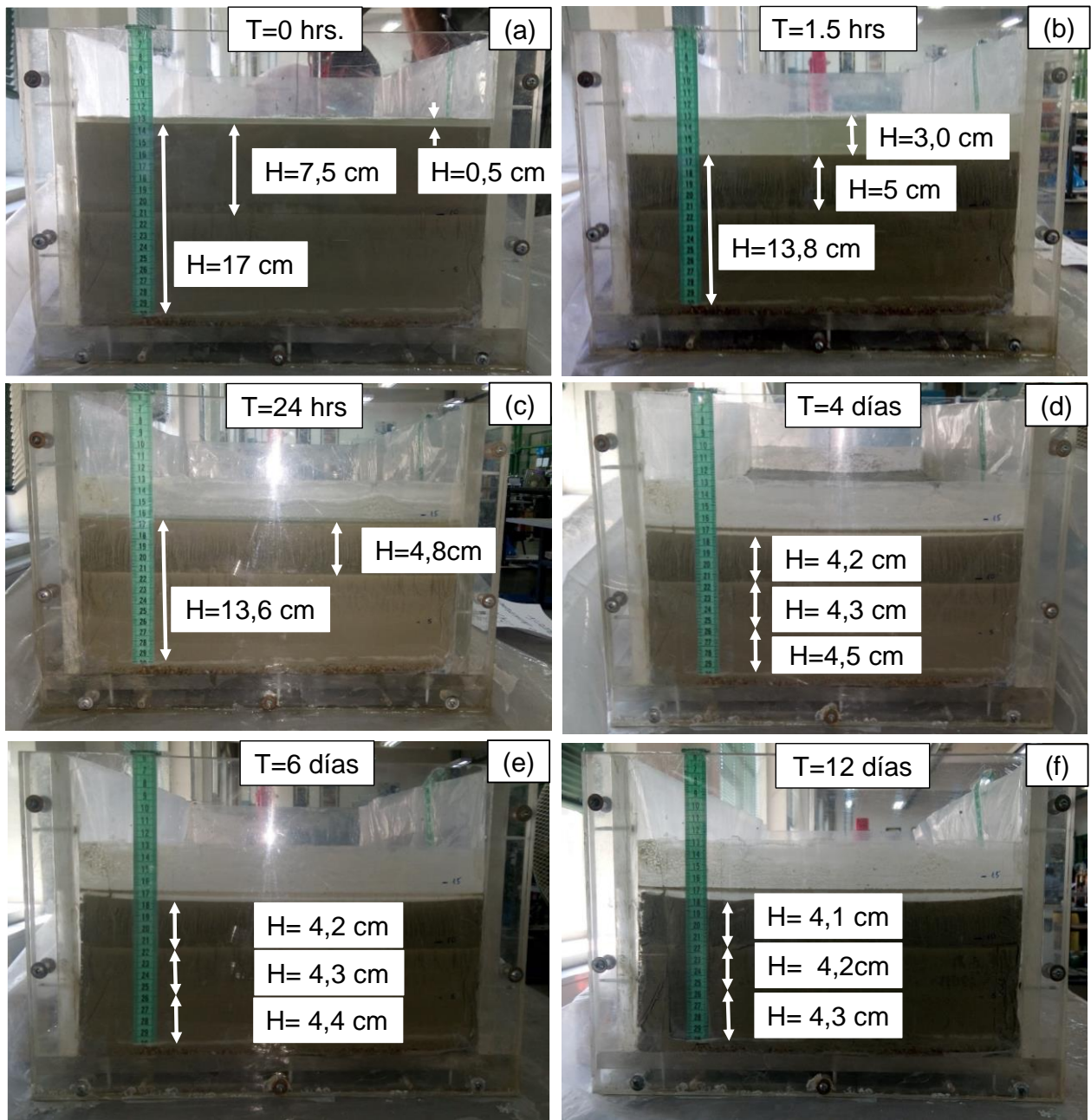


Figura 3.15. Deposición del tercer ciclo (a)Altura inmediatamente después de la depositación; (b) después de una hora y treinta minutos; (c) después de 24 horas; (d) después de 4 días; (e) después de 6 días; (f) después de 12 días.

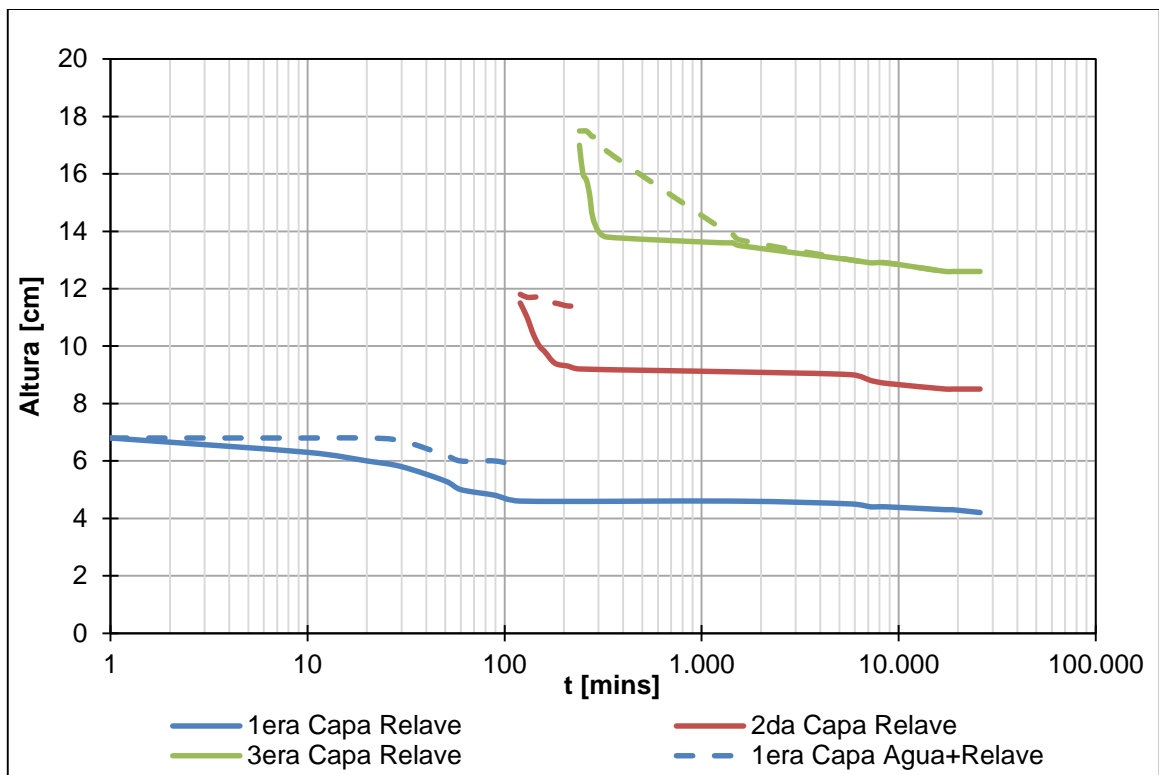


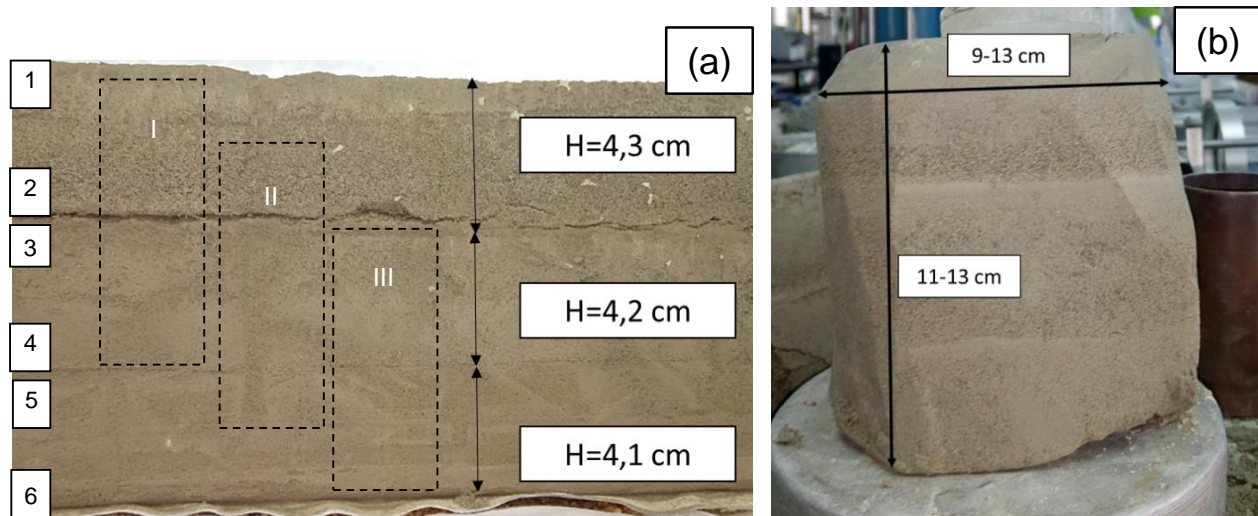
Figura 3.16. Variación de altura de muestras depositadas en la tercera deposición.

Durante el proceso de secado del material, se pudo apreciar grietas de contracción (Figura 3.17), las que fueron minimizadas en comparación a la de las muestras de la primera y segunda deposición por la instalación de láminas plásticas en las paredes del contenedor, que permitieron un movimiento solidario con el material e impidieron la generación de tensiones en el contacto con la pared de acrílico.



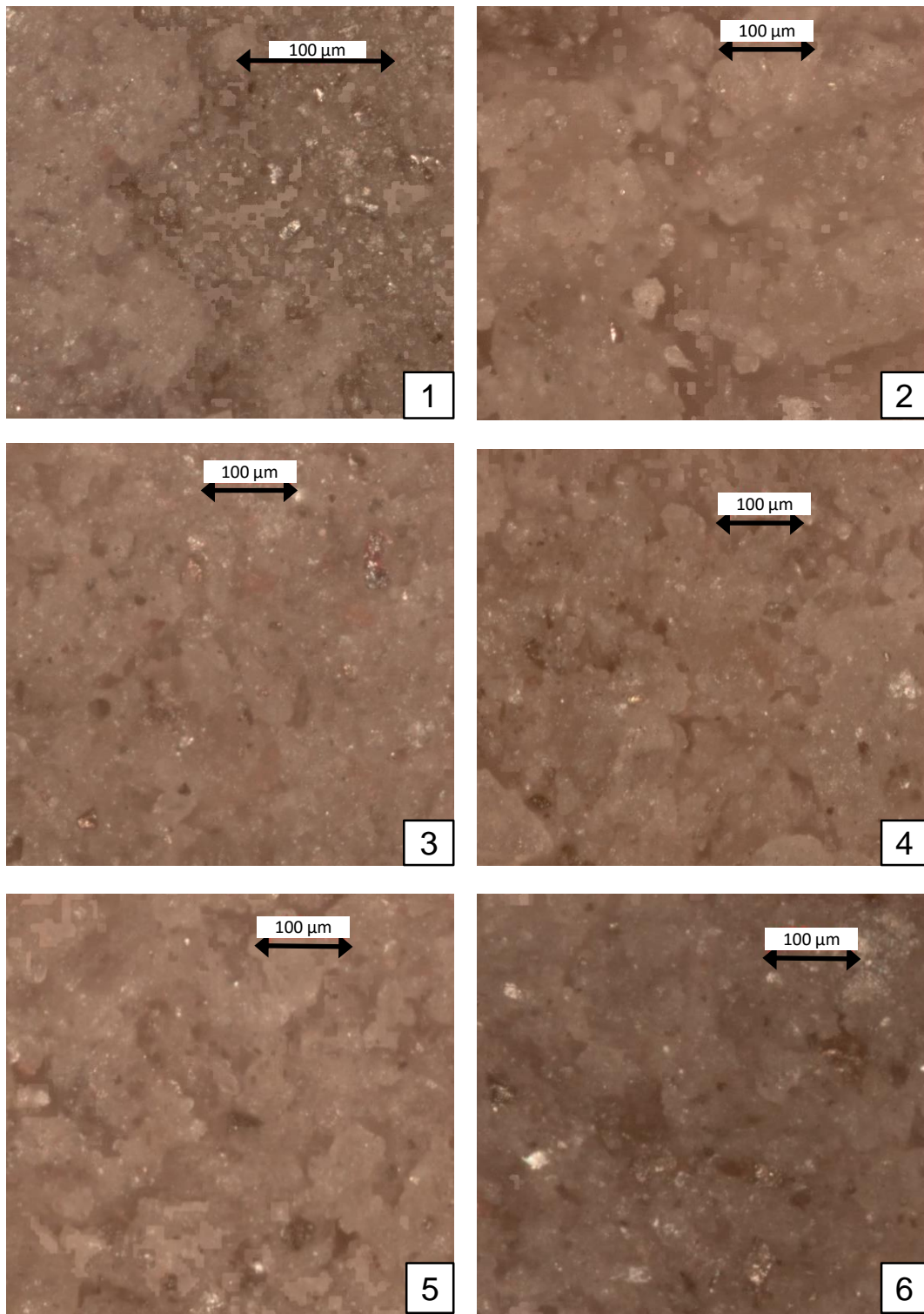
Figura 3.17. Grietas de contracción después de 19 días.

Después de casi 19 días de secado, se abrió el contenedor (ver Figura 3.18a) y se sacaron muestras con una humedad aproximada del 14%. Las muestras fueron talladas en bloques (ver Figura 3.18b), envueltas en papel Alusa y guardadas en la cámara húmeda.



**Figura 3.18. Muestra obtenida de la tercera depositación. (a) Altura de muestras una vez abierto el contenedor. Los números romanos indican el lugar de extracción de las probetas ensayadas de esta depositación, para verificar el efecto de la estratificación en la resistencia (ver Tabla 5.6); (b) Bloques para tallado de probetas de ensayos triaxiales CIU.**

A las muestras extraídas se le realizó un análisis fotográfico microscópico, para analizar su fábrica. La Figura 3.18 muestra una estructura de tres estratos bien marcados, donde en cada uno de ellos se puede ver una zona con partículas finas y otra inferior con partículas gruesas producto de los ciclos de depositación y el proceso de sedimentación del material en agua. La diferencia en el tamaño de partículas y su disposición se puede apreciar en la Figura 3.19, donde en 2, 4 y 6 se puede ver claramente las partículas gruesas dentro de cada estrato, en tanto en 1, 3 y 5 se aprecian partículas más finas. Al igual que en la segunda depositación se aprecia que las partículas presentan formas angulares a sub-redondeadas.



**Figura 3.19. Muestra al microscopio con un aumento x10. Los números corresponden a las capas identificadas en la Figura 3.18: (1) Partículas finas del estrato superior; (2) partículas gruesas del estrato superior; (3) partículas finas del estrato central; (4) partículas gruesa del estrato central; (5) partículas finas del estrato inferior; (6) Partículas gruesas del estrato inferior.**

## 4. ENSAYOS DE LABORATORIO

### 4.1. Programa de Ensayos

Se realizaron diversos ensayos de caracterización preliminar con el fin de obtener propiedades índices del material utilizado. Los ensayos realizados se detallan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Plan de Ensayos de Caracterización de Material

Ensayo	Método y/o Norma	Cantidad
Análisis Granulométrico vía seca (hasta 0,075 mm)	ASTM D2487	3
Análisis Granulométrico-Hidrómetro	ASTM D421-58	2
Límites de Atterberg	ASTM D423-66	1
Peso Específico de los Sólidos	ASTM D894	1
Densidad Máxima	Método Japonés JSSMFE	1
Densidad Mínima	Método Japonés JSSMFE	1

Además, se realizaron ensayos de Corte Simple y Triaxiales CIU, tanto a muestras depositadas en laboratorio como a muestras remoldeadas. Los ensayos realizados se resumen en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Resumen plan de ensayos

Ensayos	Muestras	Cantidad	Esfuerzo Vertical [kg/cm <sup>2</sup> ]	Presión de Cámara [kg/cm <sup>2</sup> ]
Corte Simple	1era depositación (1 ciclo)	4	0,5 – 1 – 2 - 4	-
	Remoldeada	4	0,5 – 1 - 2 - 4	-
Triaxiales CIU	2da depositación (2 ciclos)	4	-	1 – 2 – 4 - 6
	3era depositación (3 ciclos)	4	-	1 – 2 – 4 - 6
	Remoldeada	4	-	1 – 2 – 4 - 6
	Remoldeada envejecida (1)	2	-	1 – 4
	2 estratos superiores (3era depositación)	2	-	1 – 4
	2 estratos inferiores (3era depositación)	2	-	1 – 4
<b>Total</b>		26		

Nota: (1) Muestras envejecidas durante 2 semanas

## 4.2. Equipos

Tanto los ensayos de corte simple como los ensayos triaxiales (CIU) estáticos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Sólidos y Medios Particulados de la Universidad de Chile. Los equipos utilizados se describen a continuación.

### 4.2.1. Equipo de Corte Simple

El equipo de corte simple es un sistema de carga electromecánico, compuesto por un sistema de compresión de aire comprimido que permite aplicar una tensión vertical sobre la probeta, y un sistema mecánico que induce un desplazamiento en la base de la probeta a través de la celda de corte. Cuenta además, con un sistema de diales mecánicos que mide la deformación vertical y horizontal, y una celda de carga electrónica con su correspondiente sistema de lectura de voltaje, que permite registrar tanto la carga vertical como la fuerza de corte aplicada.

Este equipo permite ensayar probetas cilíndricas de diámetro 7 cm y altura 2 cm, y tiene una capacidad máxima de tensión vertical aplicada de  $7 \text{ kg/cm}^2$ . En la Figura 4.1 se muestra un esquema de los componentes del equipo y celda de carga. Este ensayo se realiza a deformación controlada, la cual se puede regular la velocidad de desplazamiento mediante un sistema de engranajes en su base.

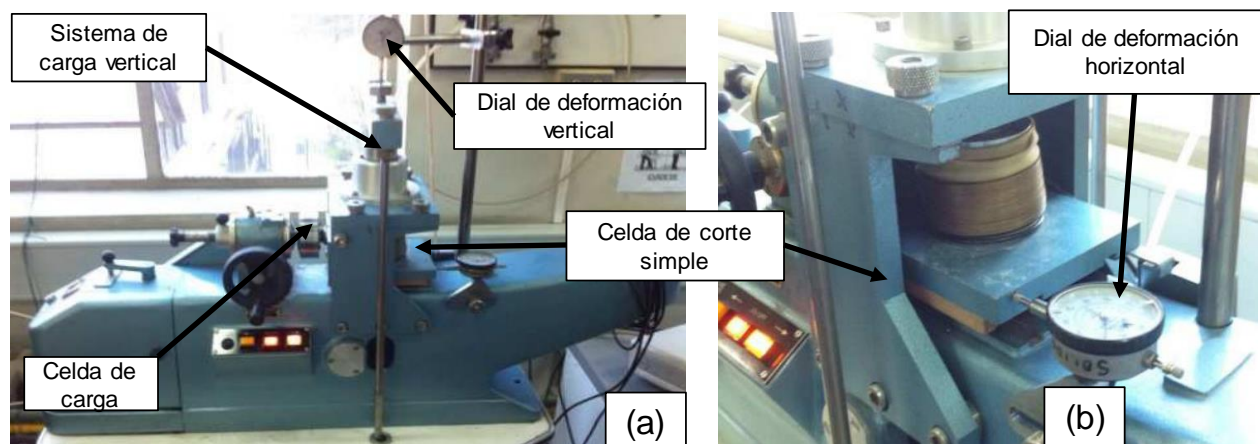


Figura 4.1. Equipo de corte simple. (a) Esquema equipo; (b) detalle celda de corte simple.

#### 4.2.2. Equipo Triaxial Estático Convencional

El equipo triaxial utilizado es un sistema de carga electromecánico compuesto por un panel de saturación y de presión de cámara, una mesa triaxial y una unidad eléctrica de medición, los cuales se pueden apreciar en la Figura 4.2. Este equipo tiene una capacidad máxima presión de cámara de  $7 \text{ kg/cm}^2$ , que permite ensayar probetas cilíndricas de diámetro 5 cm y altura 10 cm. Sin embargo debido a los limitantes de celda de carga y presión de poros, puede alcanzar presiones de cámara efectiva de hasta  $6 \text{ kg/cm}^2$ . La Figura 4.2 y Figura 4.3 muestran el equipo y celda triaxial utilizada respectivamente.

Los componentes básicos del equipo son los siguientes (Mora, 2001):

- Marco metálico de reacción vertical con una capacidad máxima de 5 ton.
- Prensa triaxial con lector digital de deformación vertical, carga vertical y presión de poros. Cuenta con un plato de apoyo, con movimiento ascendente, utilizado para la ejecución de ensayos a deformación controlada.
- Celda de carga de medición de carga vertical, con una capacidad máxima de 1 ton.
- Panel de aplicación de presión de cámara, con una capacidad máxima de  $7 \text{ kg/cm}^2$ .
- Sensor de presión de poros, con una capacidad de medición máxima de  $10 \text{ kg/cm}^2$ .

El método de empleo de este equipo ya ha sido descrito por Sánchez (2002) y Díaz (2002), por lo que no se profundizará en su descripción.

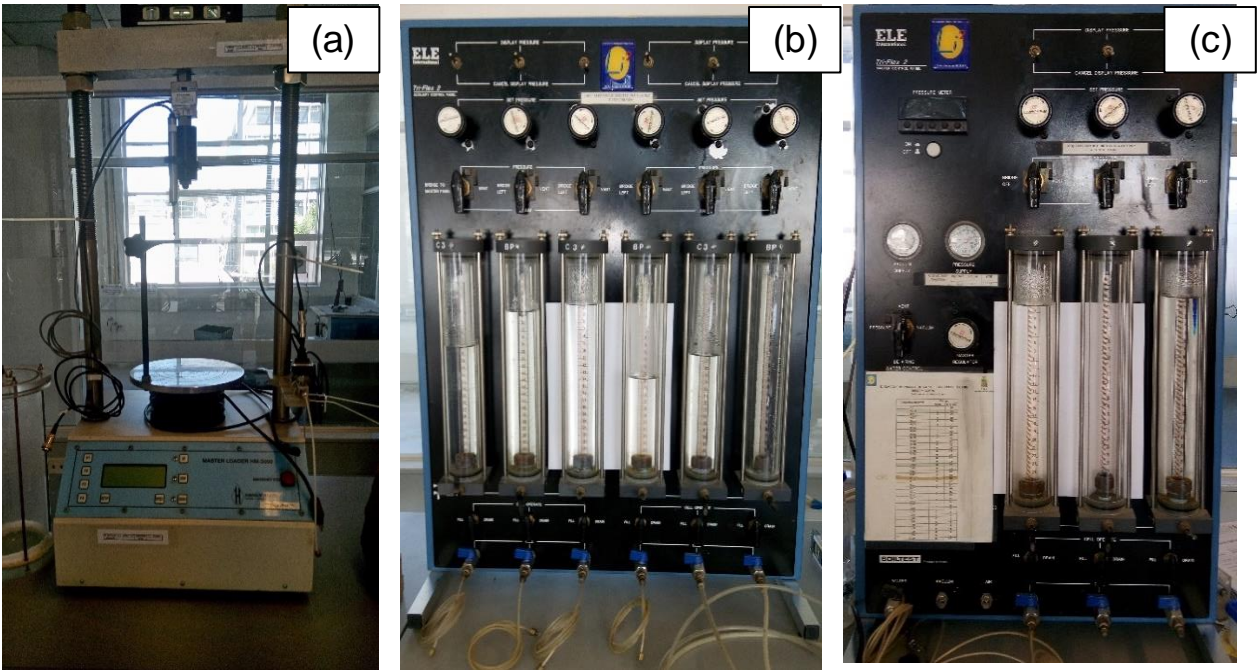


Figura 4.2. Equipo Triaxial Utilizado. (a) Marco de carga; (b) y (c) paneles de regulación de presión y medición de deformación volumétrica.



Figura 4.3. Celda triaxial utilizada para probetas de 5 x 10 cm.



### **4.3. Metodología de Ensayos de Corte**

#### **4.3.1. Corte Simple**

##### **Preparación y Confección de probetas**

Muestras extraídas de la primera de depositación:

Las muestras obtenidas de la primera depositación en laboratorio, detallada en la sección 3.1, se dejaron secar durante aproximadamente 2 semanas a temperatura ambiente hasta notar un grado de consistencia que permitiera la extracción de bloques para el posterior tallado de las probetas. Las probetas ensayadas son de forma cilíndrica, de diámetro 7 cm y altura 2 cm. Para obtener la densidad, grado de saturación e índice de vacíos inicial de las muestras, se tomaron sus dimensiones y posteriormente fueron pesadas. La humedad inicial de las muestras estaba en torno al 18%. Durante la preparación de las muestras, se trató de evitar que el material recibiera ningún tipo de vibración o alteración.

Probetas remoldeadas:

Para la preparación de probetas remoldeadas, inicialmente se agregó agua a una muestra de relave seco hasta alcanzar una humedad cercana al 18%, para después revolver en una bolsa plástica, buscando que esta quede totalmente homogénea y todas las partículas humectadas. Posteriormente, se sella la bolsa con el fin de evitar efectos de evaporación, y se deja en la cámara húmeda por un periodo de 24 horas.

Las probetas utilizadas en este ensayo se prepararon mediante el método de apisonado húmedo (wet tamping). Estas fueron compactadas en un molde de bronce de 7 cm de diámetro y 2 cm de altura, con una humedad en torno al 18%, buscando obtener una densidad seca similar a la de las muestras de la primera depositación en laboratorio. Una vez preparada la probeta, se procede a sacar del molde y se monta sobre la base de la celda de corte simple.

##### **Consolidación**

Tanto las probetas provenientes de las pruebas de depositación como las probetas remoldeadas fueron revestidas con una geomembrana de látex una vez montadas sobre la celda de corte simple. Posteriormente se colocaron los anillos rígidos alrededor de las probetas y el cabezal superior de la celda, donde se aplica la carga vertical.

Después de montada la celda con la probeta en el equipo, se procedió a la etapa de consolidación, la cual consiste en aplicar una tensión vertical constante y medir la deformación vertical de la probeta. Una vez que se estabilizó la deformación vertical, se registró su lectura para la corrección en la altura de la probeta.

### **Aplicación de Esfuerzo de Corte**

En esta etapa se somete la muestra de suelo a una deformación angular, induciendo un esfuerzo de corte en la base. El ensayo se realiza a deformación horizontal controlada, a una velocidad 0,12 mm/min, hasta una llegar a una deformación angular del 20%. Durante el ensayo se registra la deformación vertical y carga horizontal inducida para una deformación horizontal aplicada.



Figura 4.4. Probeta luego de realizado el ensayo.

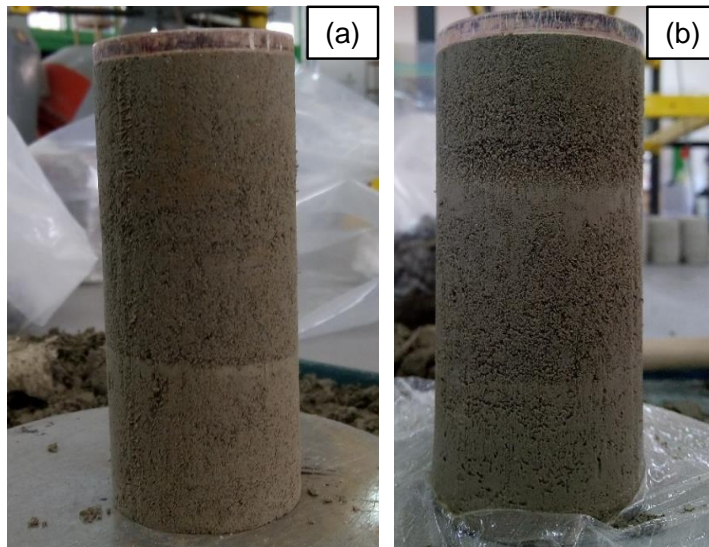
### **4.3.2. Triaxial Estático**

#### **Preparación, Confección y Montaje de Probetas**

Probetas depositadas en laboratorio:

De las muestras de la segunda y tercera depositación, detalladas en los puntos 3.4 y 3.5 respectivamente, se dejó secar el material durante unas 2 a 3 semanas a temperatura ambiente hasta ver un grado de solidificación evidente en el material. Se trató de que el material no recibiera ningún tipo de vibración, con tal de evitar posibles efectos de densificación o alteración. Posteriormente se procedió a dividir la muestra en diferentes bloques, tal como se muestra en la Figura 3.11 y la Figura 3.18, de forma que permitiera tallar probetas cilíndricas “inalteradas” de 5 cm de diámetro y 10 cm de altura (ver Figura 4.5).

Una vez talladas las probetas, se procedió a registrar su peso y tomar 3 medidas de diámetro y altura con un pie de metro. Se registró además la humedad inicial, las que estaban en torno al 13% y 14% para la segunda y tercera depositación respectivamente. Finalmente, se obtenían la densidad, índice de vacíos y grado de saturación de la muestra previo al ensayo.

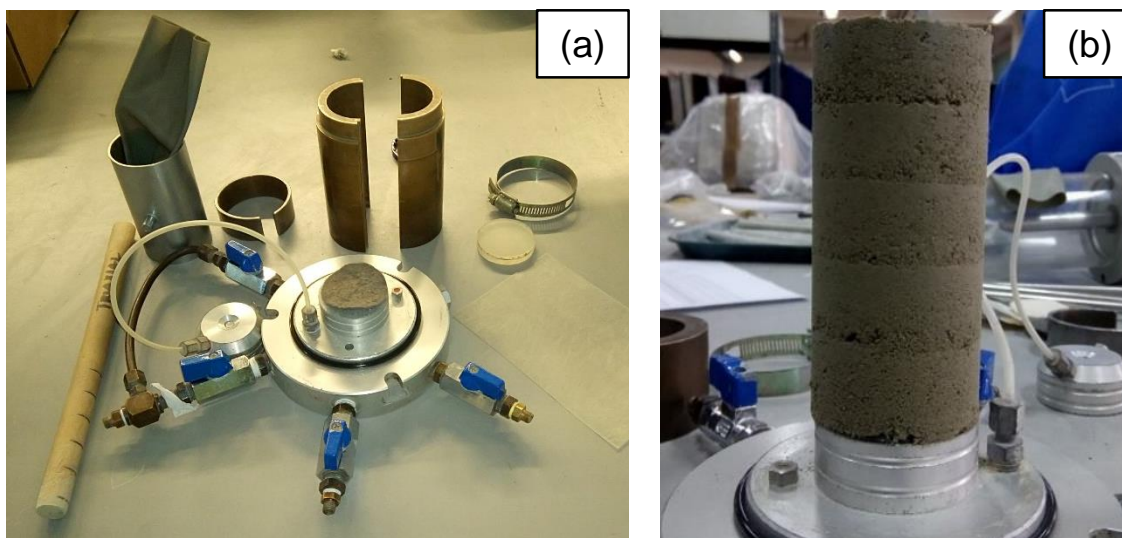


**Figura 4.5. Muestra depositadas en laboratorio. (a) Probeta de segunda depositación (2 ciclos) y (b) probeta de tercera depositación (3 ciclos).**

Probetas remodeladas:

Para la preparación de las muestras remodeladas, inicialmente se agregó agua a una muestra de relave seco hasta alcanzar una humedad deseada cercana al 13%. Posteriormente, se revolvió la muestra en una bolsa plástica, buscando que esta quede totalmente homogénea, y se selló con tal de evitar posibles efectos de evaporación. Finalmente se introdujo en la cámara húmeda por un periodo de 24 horas con el fin de que se humecten todas las partículas del material.

Las probetas remodeladas para los ensayos triaxiales, se prepararon a través del método de apisonado húmedo o wet tamping . El método consiste en compactar una muestra de relave, con una humedad deseada, en un total de 5 capas sobre la celda triaxial con un molde de bronce de diámetro 5 cm y altura 10 cm, buscando obtener una densidad seca similar a las de las muestras depositadas en laboratorio. La Figura 4.6 muestra los materiales y herramientas utilizados para la preparación de las muestras, y las probetas una vez preparadas.



**Figura 4.6. Preparación probetas remoldeadas. (a) Materiales y herramientas utilizadas para preparación; (b) probeta remoldeada.**

Tanto para las muestras depositadas en laboratorio como para las muestras remoldeadas, se procede a colocar la geomembrana de látex, la que se sujeta mediante 2 anillos de goma a cada cabezal de la celda. Posteriormente, se aplica una leve presión de succión a la muestra para que mantenga su forma y permanezca estable, y luego se coloca la cámara triaxial para ser llenada con agua, agregando una pequeña presión de cámara en torno a los  $0,1 \text{ kg/cm}^2$ .

A modo de evitar la migración de material debido al paso de agua durante el proceso de saturación, se colocan unos geotextiles entre la muestra de suelo y los cabezales, permitiendo solamente el paso de agua.

### **Aplicación de $\text{CO}_2$ y Saturación**

Una vez montada la probeta en la celda triaxial, se procede al proceso de paso de  $\text{CO}_2$  al interior de ésta con tal de reemplazar el aire que queda en los intersticios de la muestra de suelo por este gas. Este procedimiento se efectúa con el fin de ayudar y hacer más eficiente el posterior proceso de saturación de la muestra, dado que el  $\text{CO}_2$  es más liviano que el aire y permite saturar fácilmente la muestra. La aplicación de este gas se realizó durante 30 minutos.

Después de aplicado el  $\text{CO}_2$ , se da paso al proceso de saturación de la muestra con agua destilada desaireada desde la parte inferior de la probeta. Se deja pasar aproximadamente unos 100 ml de agua, que dada la granulometría y baja permeabilidad de las muestras, este procedimiento tenía una duración de 4 a 5 horas.

Posteriormente, se aplica una presión de cámara inicial ( $\sigma_{3i}$ ) y una contrapresión de forma gradual, registrándose la presión de poros inicial ( $u_i$ ) generada por esta carga. Después se aplica la presión de cámara final ( $\sigma_{3f}$ ) hasta alcanzar la presión de cámara efectiva deseada, y se registra la presión de poros final ( $u_f$ ). Para medir el grado de saturación de la muestra, se utilizó el parámetro B de Skempton:

$$B = \frac{\Delta\sigma_3}{\Delta u} \geq 0,95 \quad (2)$$

Donde  $\Delta\sigma_3$ : Variación de presión de confinamiento ( $\sigma_{3f} - \sigma_{3i}$ ) en kg/cm<sup>2</sup>

$\Delta u$ : Variación de presión de poros ( $u_f - u_i$ ) en kg/cm<sup>2</sup>

Se consideraron las muestras saturadas si  $B \geq 95\%$

### Consolidación

Corresponde al proceso en el cual la probeta cambia de volumen a medida que disipa las presiones de poros, generadas por la presión de confinamiento efectiva aplicada. Antes de iniciar este proceso, se bajó el nivel de la pipeta dentro de la bureta que mide el cambio volumétrico, registrándose como  $V_i$ , para posteriormente abrir las válvulas de drenaje y medir el volumen de la pipeta ( $V_n$ ) para diferentes instantes de tiempo. Se consideró que la consolidación estaba finalizada cuando el cambio volumétrico se estabilizara y/o la presión de poros igualara a la contrapresión utilizada.

### Aplicación de Esfuerzo Desviador

Después del proceso de consolidación, se da inicio a la aplicación del esfuerzo desviador vertical, el cual se lleva a cabo a deformación vertical controlada con una velocidad de 0,13 mm/min hasta llegar a una deformación axial del 20% de la altura de las probetas. Durante la realización de este ensayo, se registra la carga vertical y presión de poros a una deformación vertical dada. El ensayo se realiza en condición no drenada.

### Evaluación del Índice de Vacíos Post-Ensayos

La evaluación del índice de vacíos al final del ensayo se realizó siguiendo la metodología propuesta por Verdugo & Ishihara (1996). El índice de vacío se calcula como

$$e = \frac{(V_i - V_f) + \omega_r \cdot W_d}{W_d} \cdot G_s \quad (3)$$

Donde  $V_i$  y  $V_f$ : Volumen inicial y final respectivamente registrado en la bureta de deformación volumétrica [cm<sup>3</sup>]

$G_s$ : Peso específico de los sólidos [-]

$W_d$ : Peso seco de la probeta [gr]

$\omega_r$ : Humedad de la probeta [-]

## 5. RESULTADOS DE ENSAYOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio de acuerdo al plan de ensayos descritos en el capítulo anterior.

### 5.1. Ensayos de Caracterización

Se realizaron granulometrías completas a 3 muestras de relave integral que se encontraba almacenado, mediante tamices e hidrómetros. La Figura 5.1 muestra la granulometría de las 3 muestras analizadas, de la cual se obtuvieron parámetros promedio debido a la poca variabilidad que presentan. De las curvas granulométricas se infiere que el material presenta un porcentaje de finos en torno al 61%, con un tamaño máximo de partículas de 2 mm y un tamaño medio de 0,038 mm.

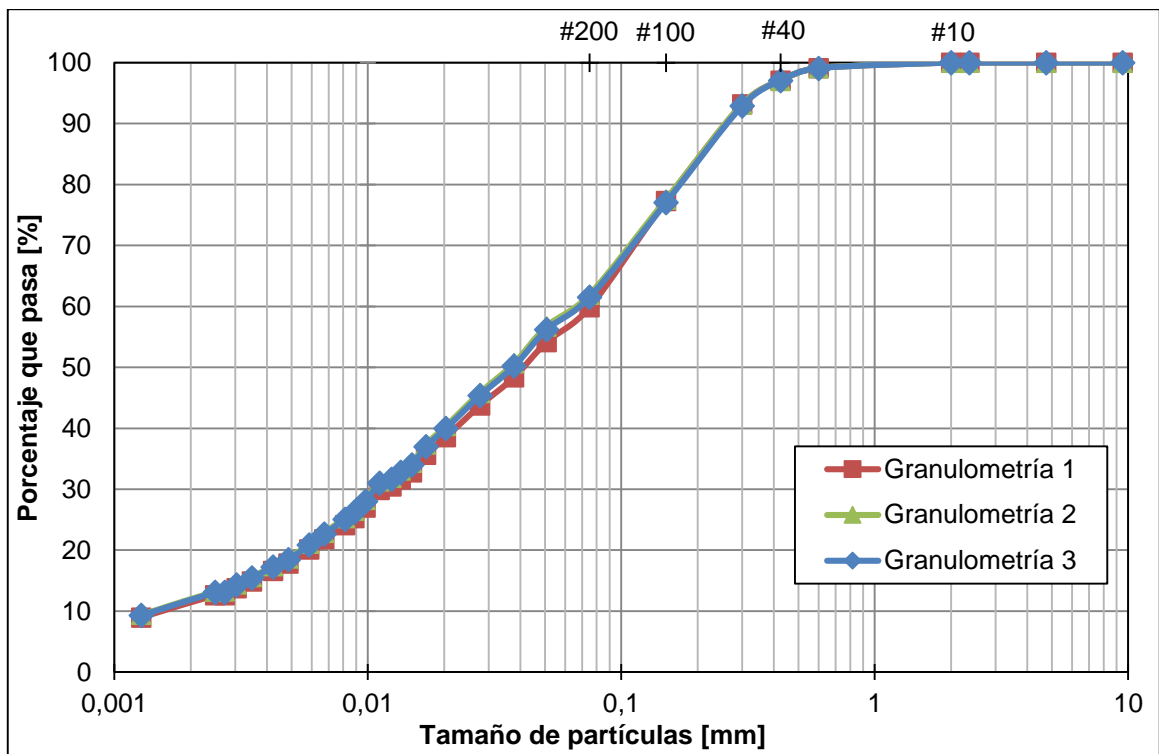


Figura 5.1. Granulometría completa material previo al programa de ensayos.

En la Tabla 5.1 se muestra un resumen de los ensayos realizados para la caracterización del relave, de la cual se desprende que el material clasifica como un limo arenoso de baja plasticidad. La densidad máxima seca se obtiene del ensayo de compactación Proctor Modificado, realizado por Cifuentes (2007), y que se utiliza para suelos que tienen un contenido de finos mayor al 12%. La densidad máxima compactada seca (DMCS) es 2,06ton/m<sup>3</sup> y la humedad óptima es 10%.

**Tabla 5.1. Resumen Propiedades Índice Relave Integral Ovejería**

ENSAYOS		VALOR	UNIDAD
Granulometría	Tamaño máximo partículas	2	mm
	Porcentaje finos (<0,075 mm)	61,1	%
	D <sub>60</sub>	69,7	µm
	D <sub>30</sub>	10,7	µm
	D <sub>10</sub>	1,5	µm
	Coeficiente Uniformidad (Cu)	46,4	-
	Coeficiente Curvatura (Cc)	1,1	-
Límites de Atterberg	Límite Líquido (LL)	18,3	%
	Límite Plástico (LP)	15,1	%
	Índice de Plasticidad (IP)	3,2	%
Clasificación USCS		ML	-
Gravedad específica del sólido (Gs)		2,73	-
Densidad Relativa	Densidad Máxima	1,56	t/m <sup>3</sup>
	Densidad Mínima	1,09	t/m <sup>3</sup>
Proctor Estándar	Densidad Máxima Compactada Seca	1,96	t/m <sup>3</sup>
	Humedad Óptima de Compactación	12,5	[%]
Proctor Modificado	Densidad Máxima Compactada Seca	2,06	t/m <sup>3</sup>
	Humedad Óptima de Compactación	10,0	[%]

Nota: Los resultados de ensayos Proctor Estándar y Modificado son los reportados por Cifuentes (2007) para el mismo material.

## 5.2. Ensayo de Corte Simple

A continuación, se muestran los resultados de los ensayos de corte simple ejecutados sobre muestras depositadas en laboratorio (primera depositación) y muestras remoldeadas (apisonado húmedo). En la Tabla 5.2 y Tabla 5.3 se muestra un resumen con el detalle de las probetas ensayadas, cuyas densidades reportadas son aquellas obtenidas previo la realización del ensayo. Se puede notar que el grado de saturación tanto para muestras depositadas en laboratorio como para muestras remoldeadas se encuentra en torno al 68%.

La Figura 5.2 muestra las curvas tensión-deformación para las muestras depositadas en laboratorio (primera depositación-1 ciclo) y muestras remoldeadas, mientras que la Figura 5.3 muestra las curvas de deformación vertical-deformación angular. Los índices de vacíos que se indican en las figuras corresponden a los obtenidos después de la etapa de consolidación de las muestras (Tablas 5.2 y 5.3).

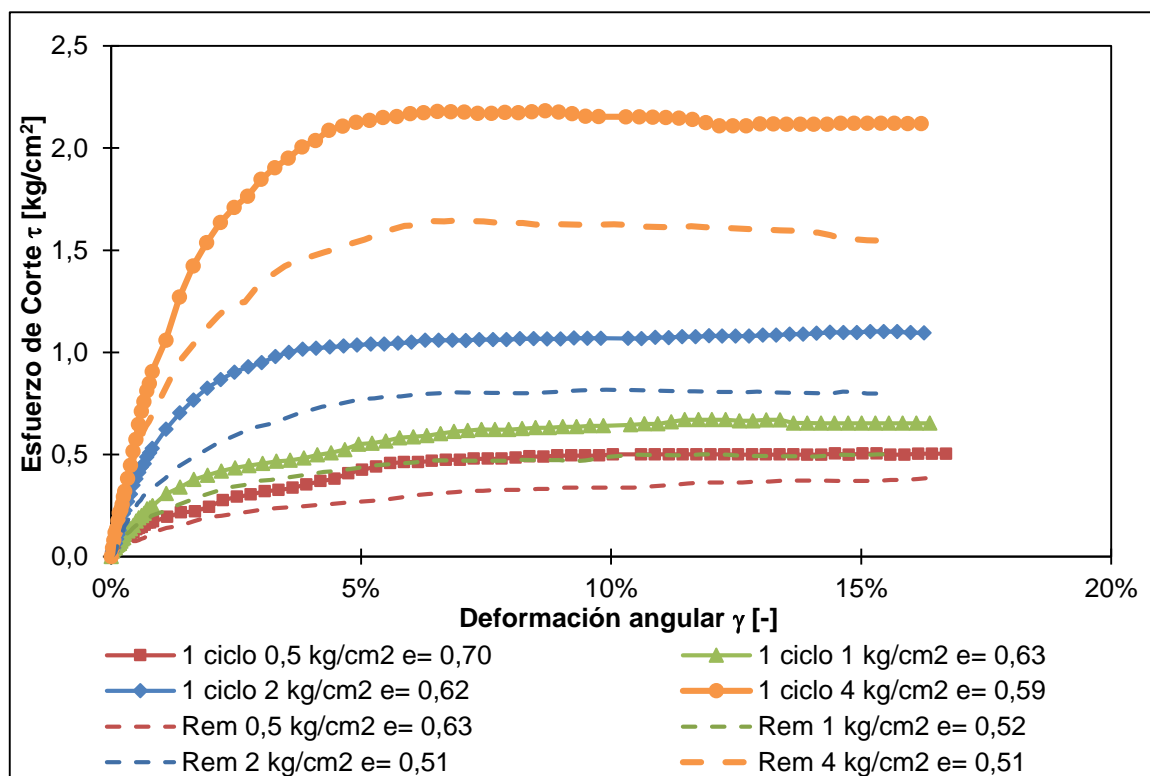
Considerando estos ensayos, las muestras de la primera deposición presentan parámetros resistentes de un ángulo de fricción interna  $\phi = 31^\circ$  y cohesión  $c = 0 \text{ kg/cm}^2$ , en tanto las muestras remoldeadas tienen un ángulo de fricción interna de  $\phi = 28^\circ$  y cohesión  $c = 0 \text{ kg/cm}^2$  (Figura 5.4).

**Tabla 5.2. Propiedades de probetas depositadas en laboratorio**

$\sigma_v$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$\omega_{\text{inicial}}$ [-]	$\omega_{\text{final}}$ [-]	$\gamma_{\text{suelo inicial}}$ [gr/cm <sup>3</sup> ]	$\gamma_{\text{seco inicial}}$ [gr/cm <sup>3</sup> ]	Gr.Compactación (PM.)	S <sub>inicial</sub> [-]	e <sub>inicial</sub> [-]	e <sub>post-consolidación</sub> [-]
0,5	19,2%	18,6%	1,87	1,57	76,3%	69,9%	0,75	0,70
1,0	18,3%	17,9%	1,88	1,59	77,3%	68,6%	0,73	0,63
2,0	17,7%	17,0%	1,85	1,57	76,4%	68,1%	0,71	0,62
4,0	17,8%	16,6%	1,86	1,58	76,8%	68,6%	0,71	0,59

**Tabla 5.3. Propiedades probetas remoldeadas (wet tamping)**

$\sigma_v$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$\omega_{\text{inicial}}$ [-]	$\omega_{\text{final}}$ [-]	$\gamma_{\text{suelo inicial}}$ [gr/cm <sup>3</sup> ]	$\gamma_{\text{seco inicial}}$ [gr/cm <sup>3</sup> ]	Gr.Compactación (PM)	S <sub>inicial</sub> [-]	e <sub>inicial</sub> [-]	e <sub>post-consolidación</sub> [-]
0,5	18,6%	16,4%	1,85	1,56	75,8%	69,7%	0,73	0,63
1,0	17,4%	15,5%	1,88	1,60	77,9%	68,6%	0,69	0,52
2,0	17,1%	15,2%	1,88	1,61	78,1%	68,7%	0,68	0,51
4,0	16,5%	14,9%	1,86	1,60	77,6%	65,4%	0,69	0,50



**Figura 5.2. Curva Tensión-Deformación probetas depositadas en laboratorio y remoldeadas.**



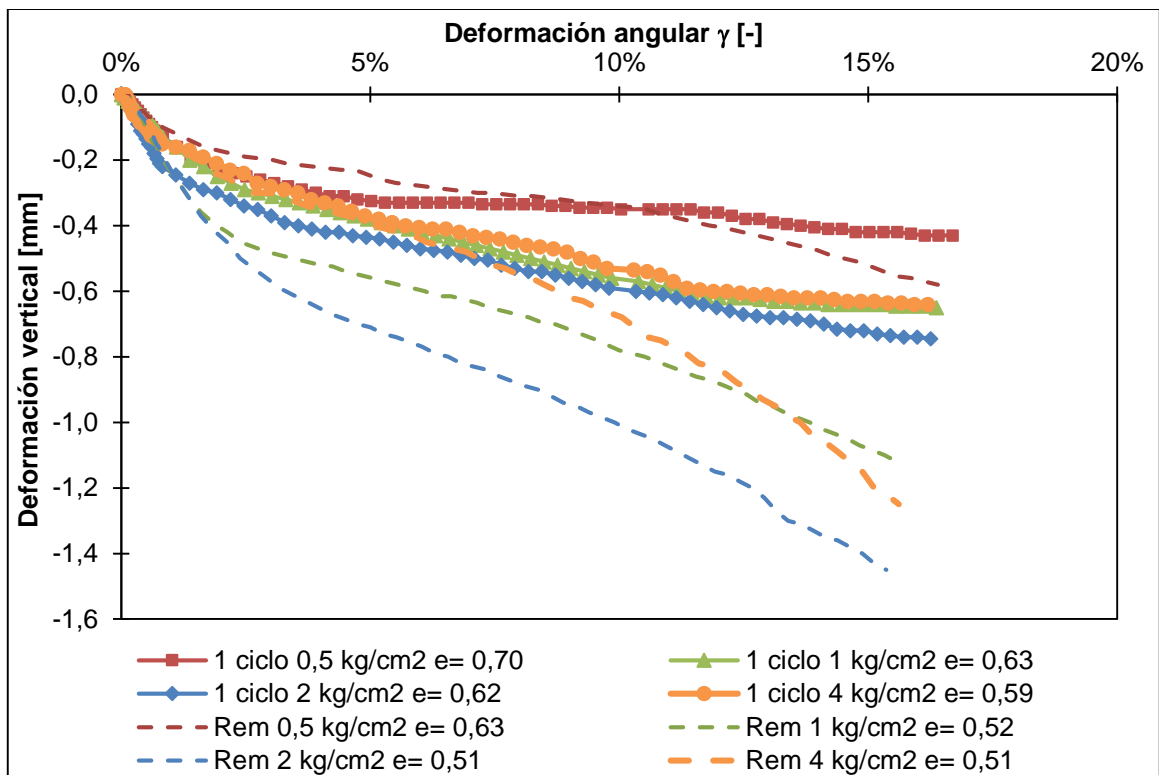


Figura 5.3. Curva Deformación Vertical-Deformación Angular probetas depositadas en laboratorio y remoldeadas.

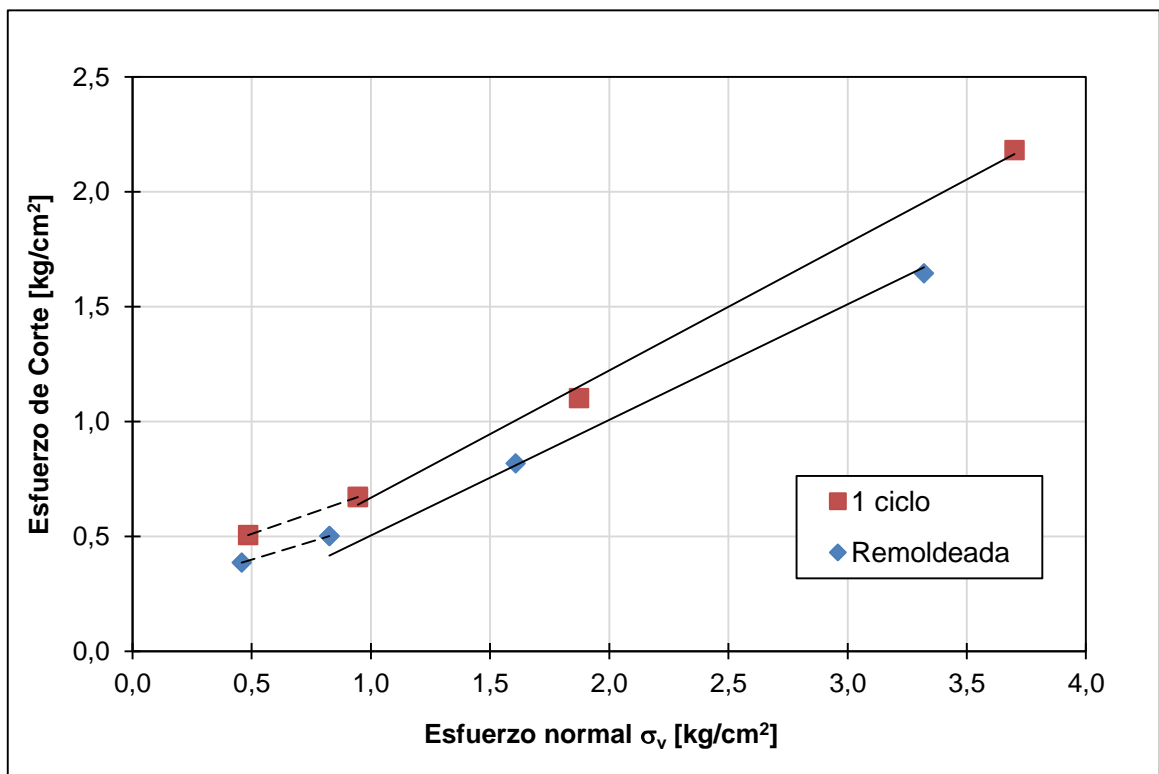


Figura 5.4. Envolvente de falla probetas depositada en laboratorio y remoldeadas.

### 5.3. Ensayos Triaxiales CIU

A continuación se presentan los resultados de los ensayos triaxiales CIU para analizar la resistencia estática no drenada de muestras de relave que presentan diferentes estructuras. En la Tabla 5.4 y Tabla 5.5 se resumen las propiedades y los resultados de las probetas ensayadas. El índice de vacíos inicial ( $e_{inicial}$ ) y el grado de saturación ( $S_{inicial}$ ) que se presentan corresponden a los valores obtenidos previo a la realización del ensayo, en tanto el índice de vacíos post-consolidación ( $e_{post-consolidación}$ ) corresponde al valor obtenido posterior a la etapa de consolidación (Formula 3), y que es el índice de vacíos que tienen la muestra al aplicar esfuerzo desviador. En todos los ensayos realizados, el parámetro de Skempton B es mayor al 95%. Cabe destacar que la baja permeabilidad de las capas superiores de las muestras con más ciclos de depositación (mayor estratificación) dificultó la saturación de las muestras, debiendo pasar agua por más de 5 horas.

La Figura 5.5 muestra las curvas tensión deformación para las muestras de la segunda y tercera depositación y muestras remoldeadas, mientras que la Figura 5.6 muestra la curva de variación de presión de poros, y la Figura 5.7 muestra las trayectorias de esfuerzos efectivos. La Figura 5.8 muestra la línea de estado último para las muestras estudiadas, mientras que la Figura 5.9 muestra la resistencia última no drenada en función del confinamiento.

De la curva Figura 5.7 se puede obtener los parámetros resistentes del material, donde la línea de estado último para las muestras depositadas en laboratorio (2da y 3ra depositación) presentan un ángulo de fricción interna  $\phi=36^\circ$  y una cohesión  $c=0 \text{ kg/cm}^2$ , en tanto las muestras remoldeadas presentan un ángulo de fricción  $\phi=32^\circ$  y una cohesión nula.

La Figura 5.10 y Figura 5.11 muestran la línea de consolidación isotrópica y la curva de consolidación en el tiempo, respectivamente. De estas figuras se puede ver que la compresibilidad de las muestras remoldeadas es mayor, en tanto las muestras que cuentan con 3 ciclos de depositación (3 estratos) presentan una menor compresibilidad que la muestra que cuentan con 2 ciclos (2 estratos). Finalmente en la Figura 5.12 se muestra la comparación de las curvas de consolidación isotrópica y las líneas de estado último en el espacio  $e-p'$ .

Los índices de vacío que se presentan en las figuras corresponden a aquellos obtenidos luego de la etapa de consolidación de las muestras ( $e_{post-consolidación}$ ).

**Tabla 5.4. Datos de probetas depositadas en laboratorio**

	2 ciclos de depositación (2 estratos)				3 ciclos de depositación (3 estratos)			
	1	2	4	6	1	2	4	6
$\sigma_{cámara}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]								
Peso [gr]	392,7	385,0	392,8	391,1	388,3	389,0	391,4	392,8
Volumen [cm <sup>3</sup> ]	204,9	200,0	203,9	203,9	203,1	202,8	202,3	202,6
$\gamma_{suelo\ inicial}$ [gr/cm <sup>3</sup> ]	1,92	1,93	1,93	1,92	1,91	1,92	1,93	1,94
$\omega_{inicial}$ [-]	13,1%	13,3%	13,6%	13,4%	15,0%	14,9%	14,8%	14,2%
$\gamma_{seco\ inicial}$ [gr/cm <sup>3</sup> ]	1,69	1,7	1,7	1,69	1,66	1,67	1,69	1,7
Gr. Compactación (PM.)	82,4%	82,6%	82,5%	82,3%	81%	81%	82%	82%
$\omega_{final}$ [-]	17,8%	17,7%	17,07%	16,9%	16,2%	16,3%	15,4%	17,2%
$B=\Delta u/\Delta\sigma_3$	95%	95,3%	99,0%	95,4%	98,9%	95,3%	95,6%	95,3%
$e_{inicial}$ [-]	0,627	0,619	0,626	0,626	0,642	0,635	0,632	0,631
$S_{inicial}$ [-]	57,3%	58,8%	59,3%	58,4%	63,8%	62,8%	65,1%	63,8%
$e_{post-consolidación}$ [-]	0,61	0,583	0,557	0,536	0,63	0,628	0,583	0,576
$p'_{último}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	0,40	0,78	1,36	2,67	0,52	0,67	2,13	2,53
$q_{último}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	0,30	0,48	1,07	1,94	0,46	0,49	1,51	1,97

**Tabla 5.5. Datos de probetas remoldeadas (wet tamping)**

	1	2	4	6	1 <sup>(1)</sup>	4 <sup>(1)</sup>
$\sigma_{cámara}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]						
Peso [gr]	382,4	382,4	382,4	382,4	376,34	377,3
Volumen [cm <sup>3</sup> ]	199,5	199,5	199,5	199,5	196,4	196,4
$\gamma_{suelo\ inicial}$ [gr/cm <sup>3</sup> ]	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92
$\omega_{inicial}$ [-]	13,2%	13,4%	12,7%	13,6%	13,3%	13,3%
$\gamma_{seco\ inicial}$ [gr/cm <sup>3</sup> ]	1,69	1,69	1,7	1,69	1,69	1,67
Gr. Compactación (PM)	82,4%	81,9%	82,7%	82,0%	82,2%	81,2%
$\omega_{final}$ [-]	15,6%	15,3%	15,8%	16,9%	17,4%	17,4%
$B=\Delta u/\Delta\sigma_3$	100%	95,3%	95,9%	95,4%	98,9%	94,9%
$e_{inicial}$ [-]	0,624	0,626	0,62	0,63	0,63	0,62
$S_{inicial}$ [-]	57,8%	60,3%	56,2%	59,1%	57,6%	58,6%
$e_{post-consolidación}$ [-]	0,56	0,54	0,52	0,51	0,58	0,56
$p'_{último}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	0,46	0,77	1,55	1,86	0,41	1,68
$q_{último}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	0,24	0,39	0,88	1,16	0,27	0,92

Nota: (1) Muestras envejecidas durante 2 semanas en laboratorio

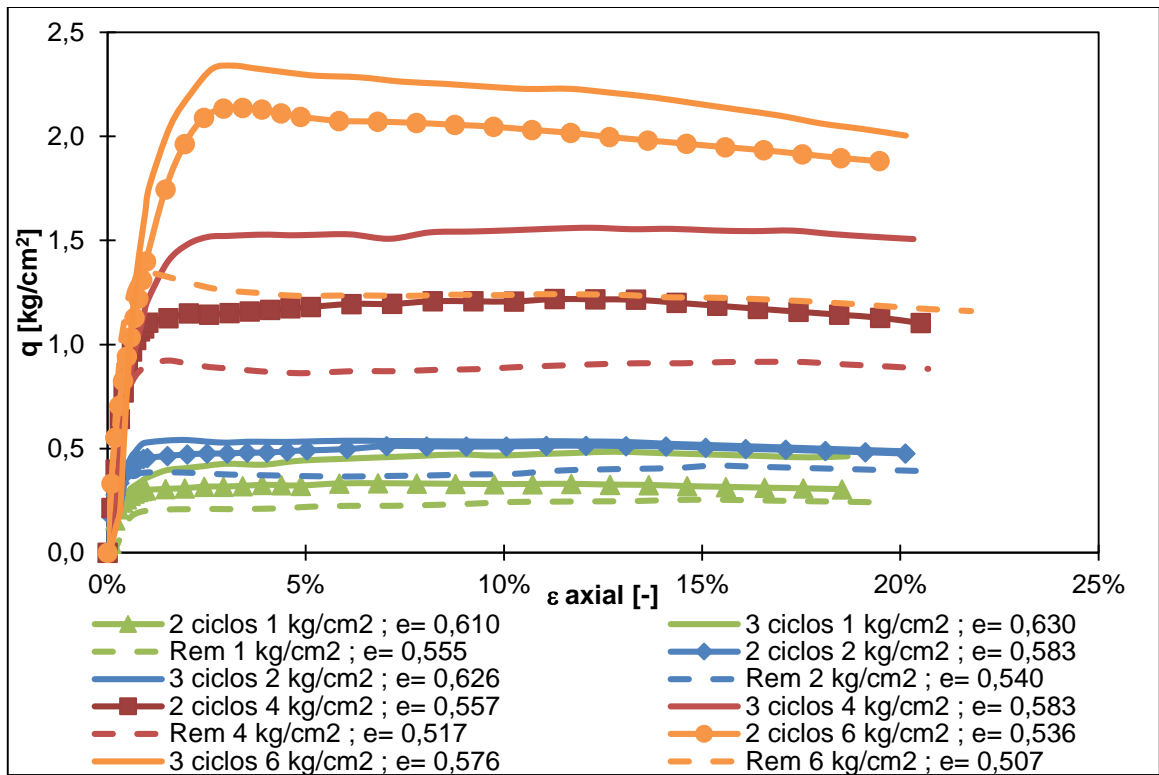


Figura 5.5. Curva tensión-deformación en triaxiales CIU.

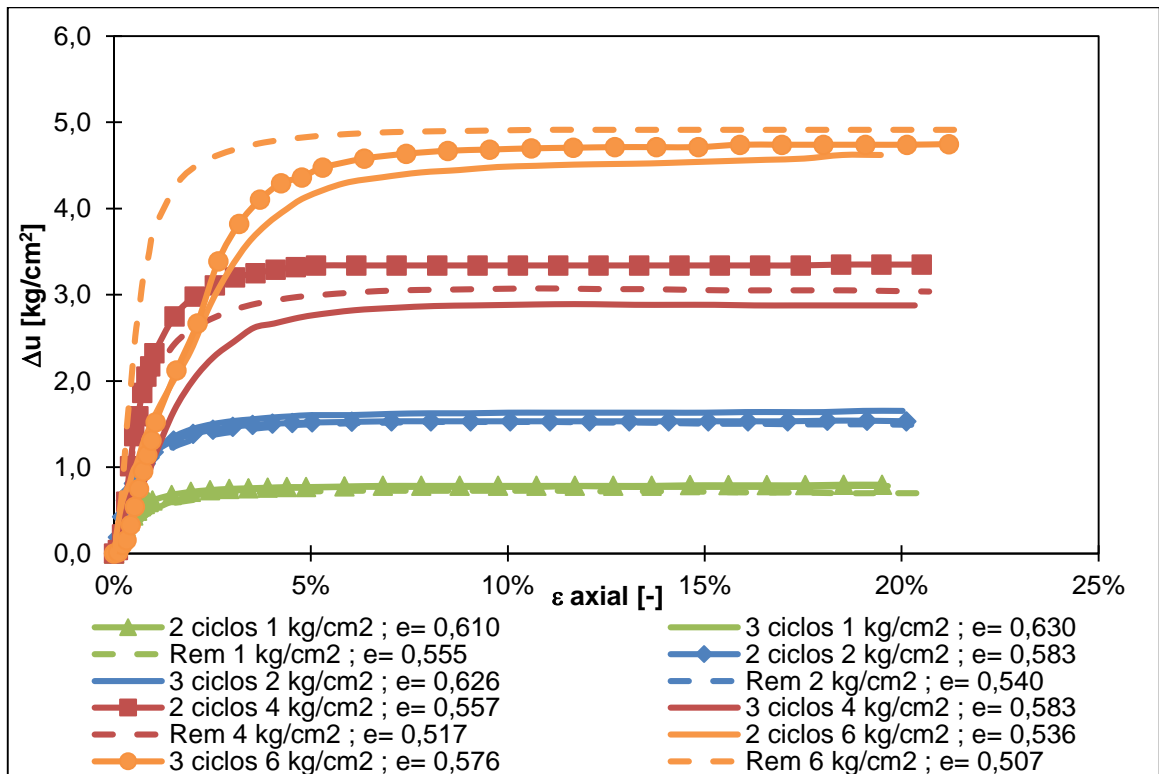


Figura 5.6. Variación de presión de poros en función de la deformación axial en triaxiales CIU

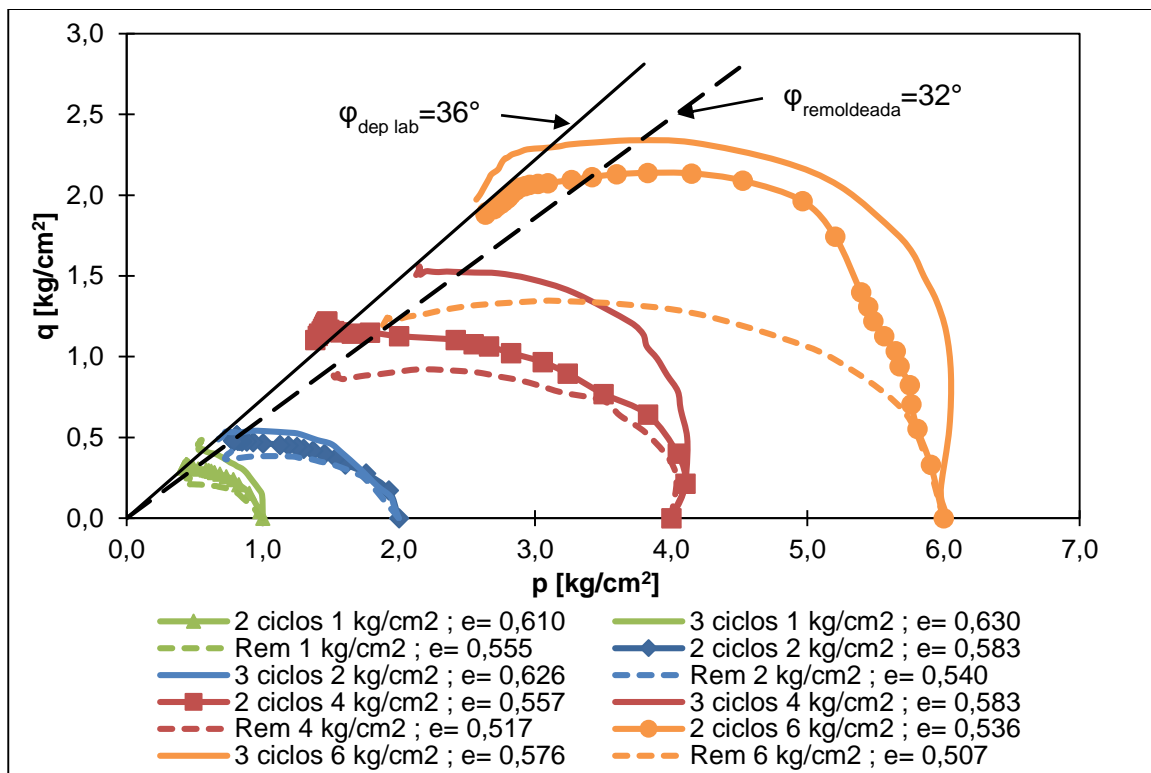


Figura 5.7. Trayectoria esfuerzos efectivos de ensayos triaxiales CIU.

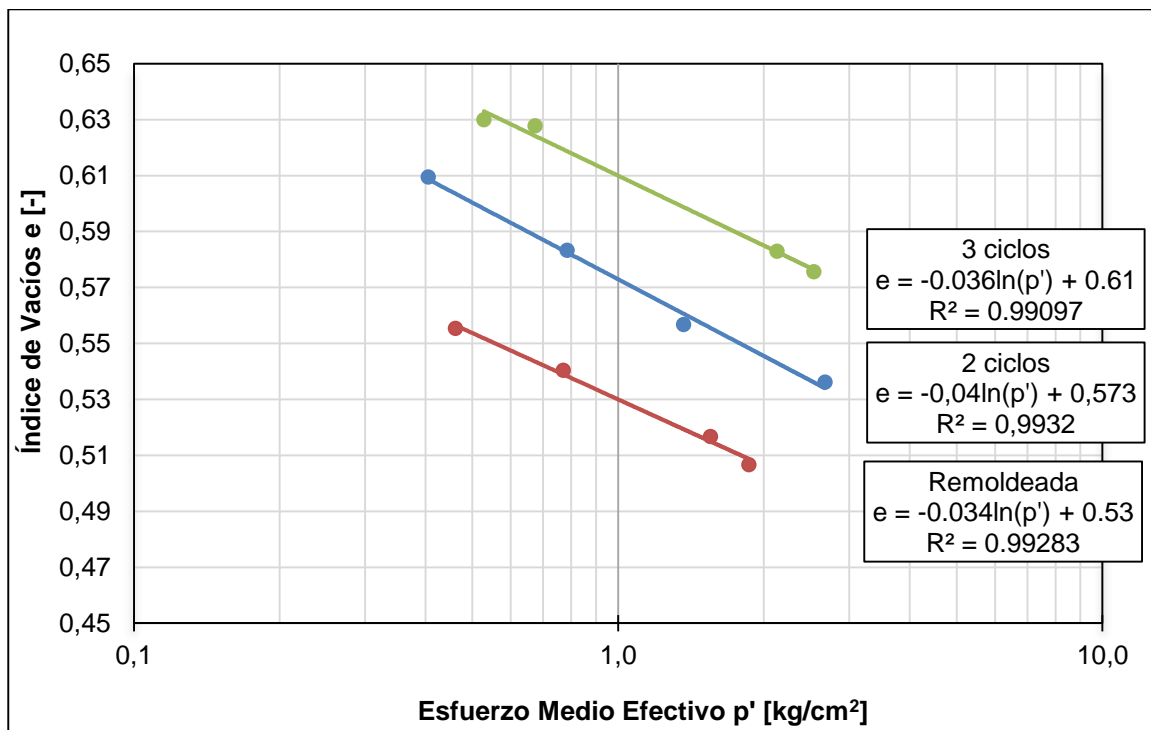


Figura 5.8. Línea de estado último obtenida en ensayos triaxiales CIU.

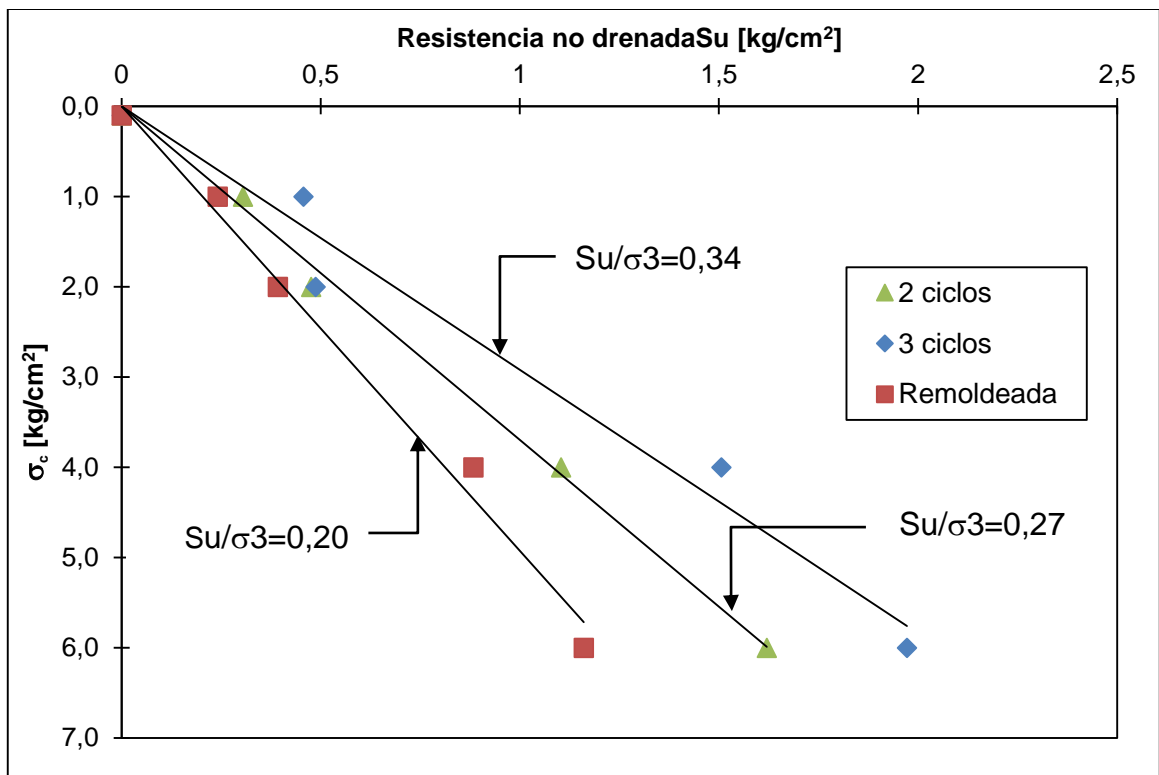


Figura 5.9. Resistencia última no drenada en función del confinamiento efectivo.

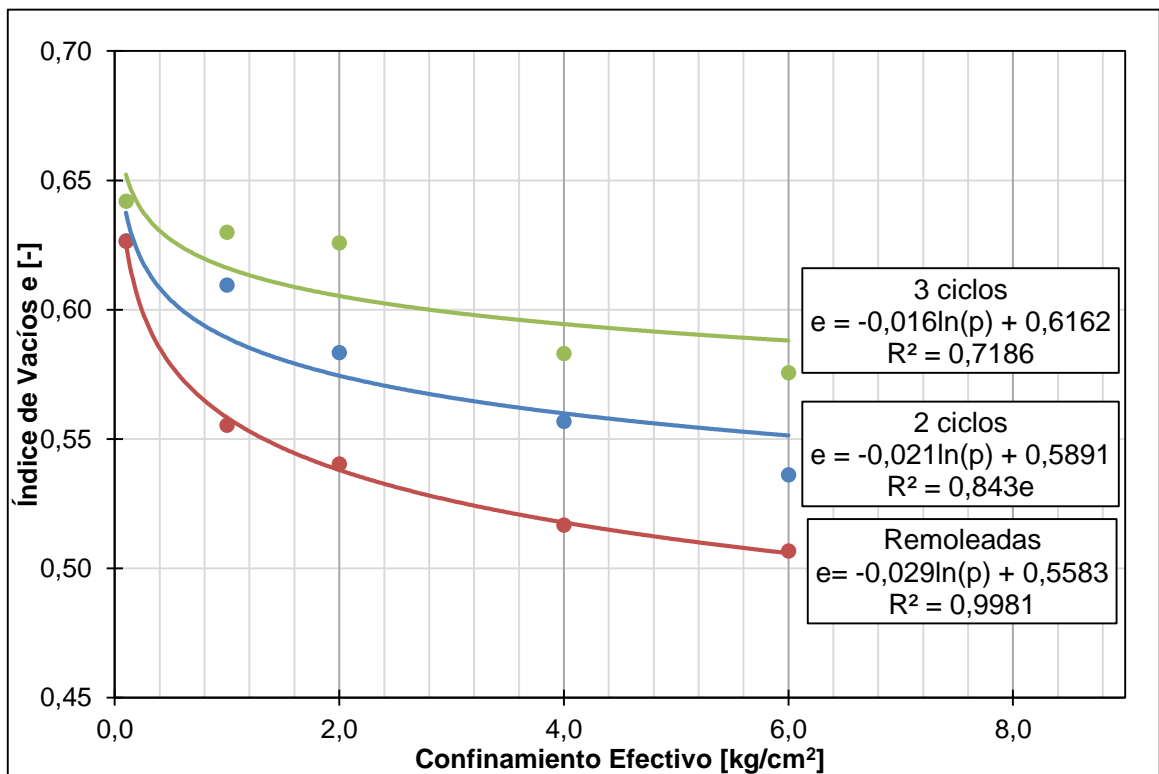


Figura 5.10. Curvas consolidación isotrópica obtenida en ensayos triaxiales CIU

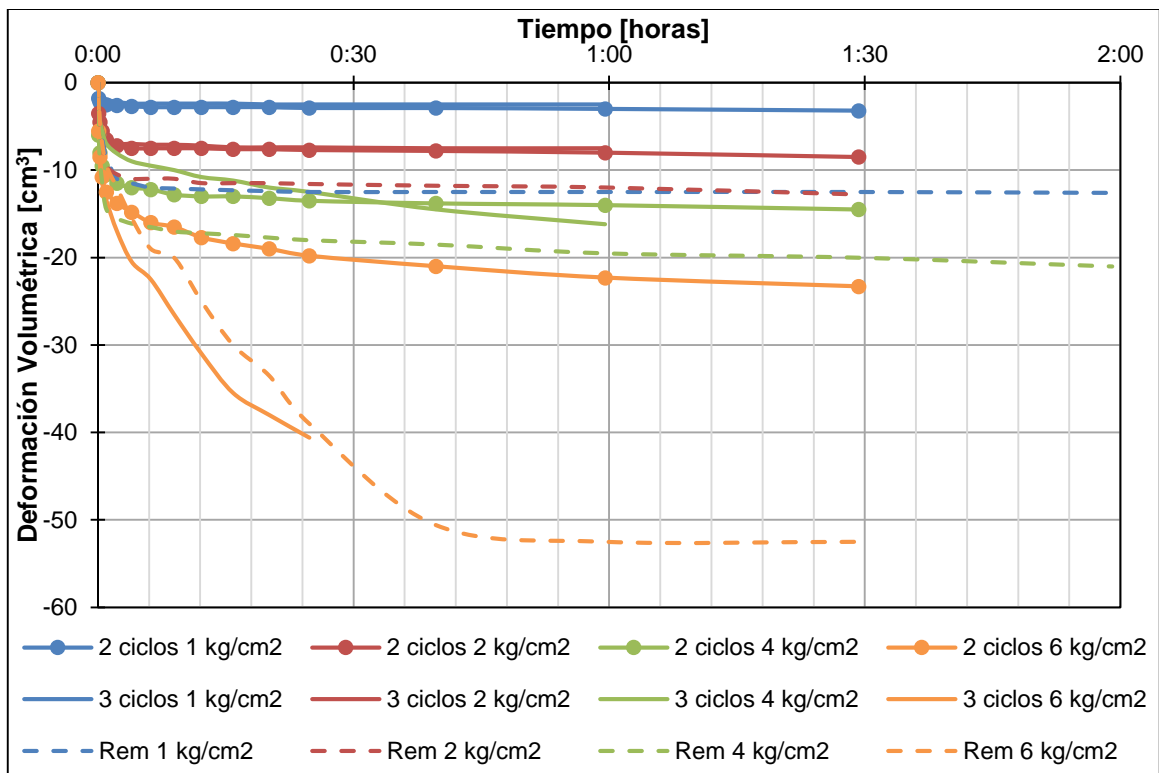


Figura 5.11. Curvas de consolidación isotrópica en el tiempo en ensayos triaxiales CIU.

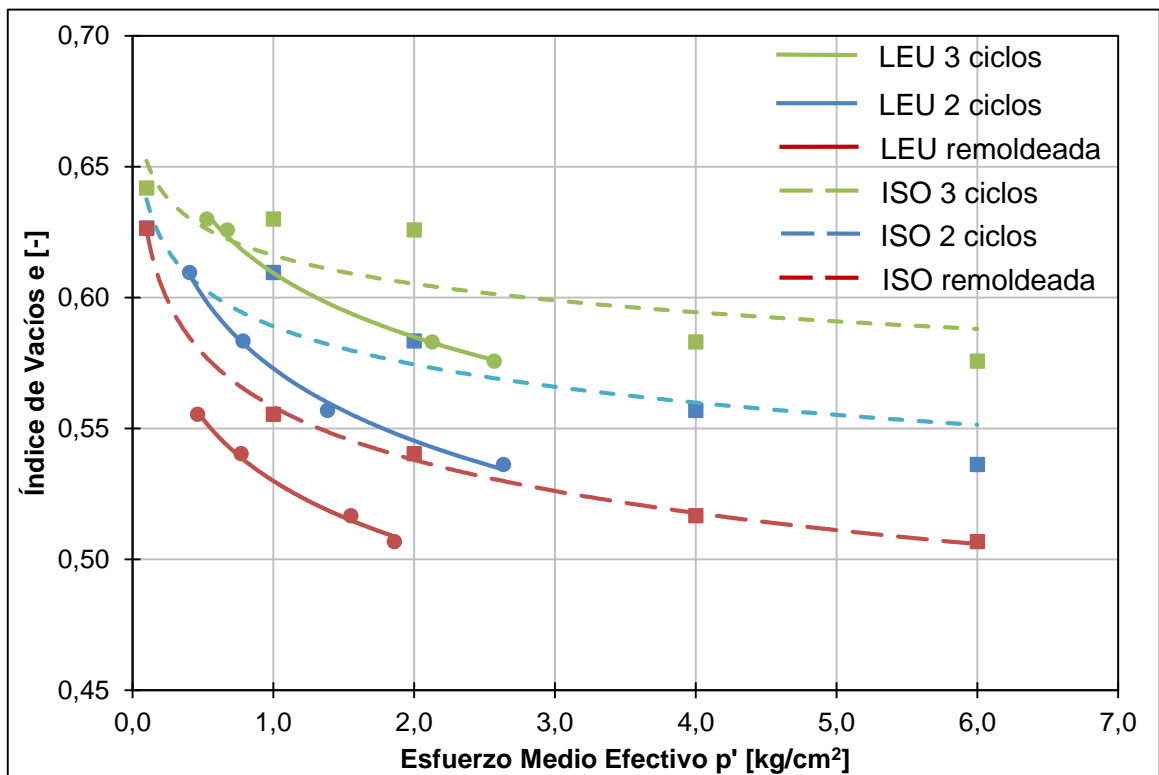


Figura 5.12: Comparación curvas de consolidación isotrópica y líneas de estado último.

Adicionalmente, se realizó un set de ensayos triaxiales en probetas remoldeadas y envejecidas durante 2 semanas, que equivale al mismo tiempo que se dejó secar las muestras depositadas en laboratorio. El objetivo era verificar que la resistencia de las probetas depositadas en laboratorio efectivamente fuera mayor que las probetas remoldeadas por efecto de la fábrica y no por un efecto del envejecimiento. La Figura 5.13 compara las curvas tensión-deformación de las muestras remoldeadas envejecidas y de aquellas sin envejecer, en tanto la Figura 5.14 muestra la comparación de las curvas de presión de poros en función de la deformación axial. La Figura 5.15 entrega la comparación entre la trayectoria de esfuerzos efectivos para las muestras descritas.

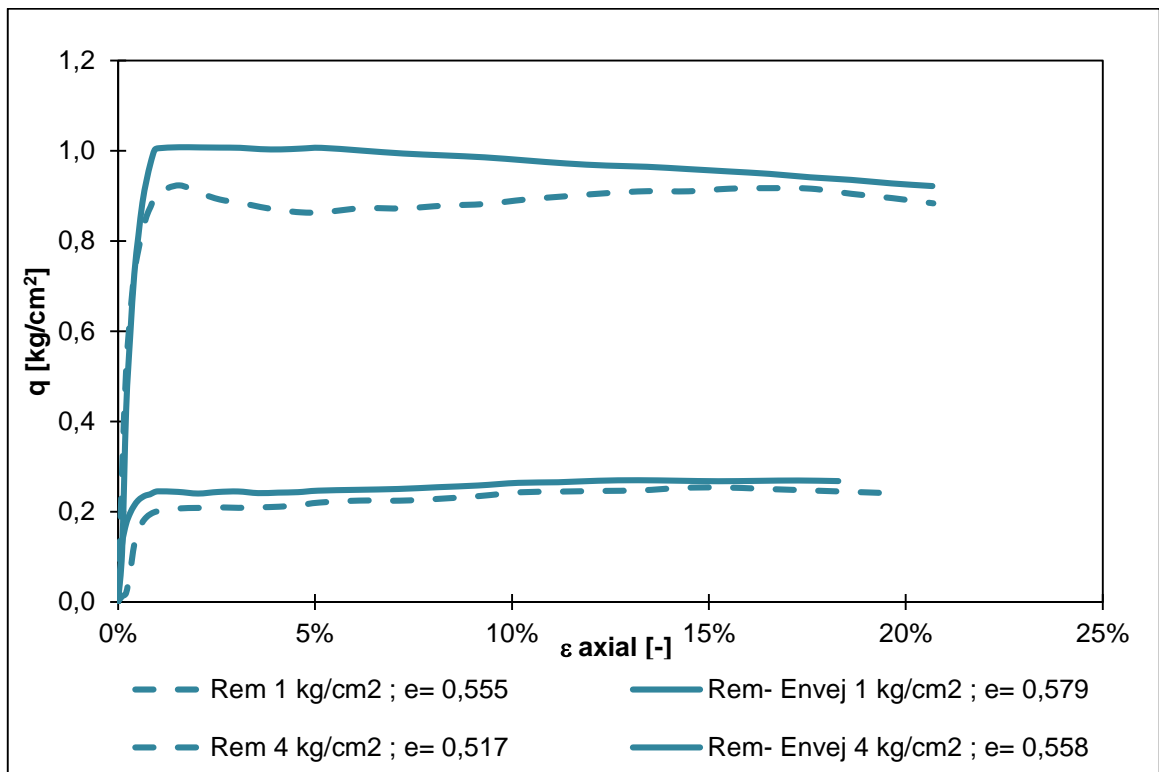


Figura 5.13. Curva tensión deformación- Comparación entre muestras remoldeadas envejecidas y aquellas sin envejecer.



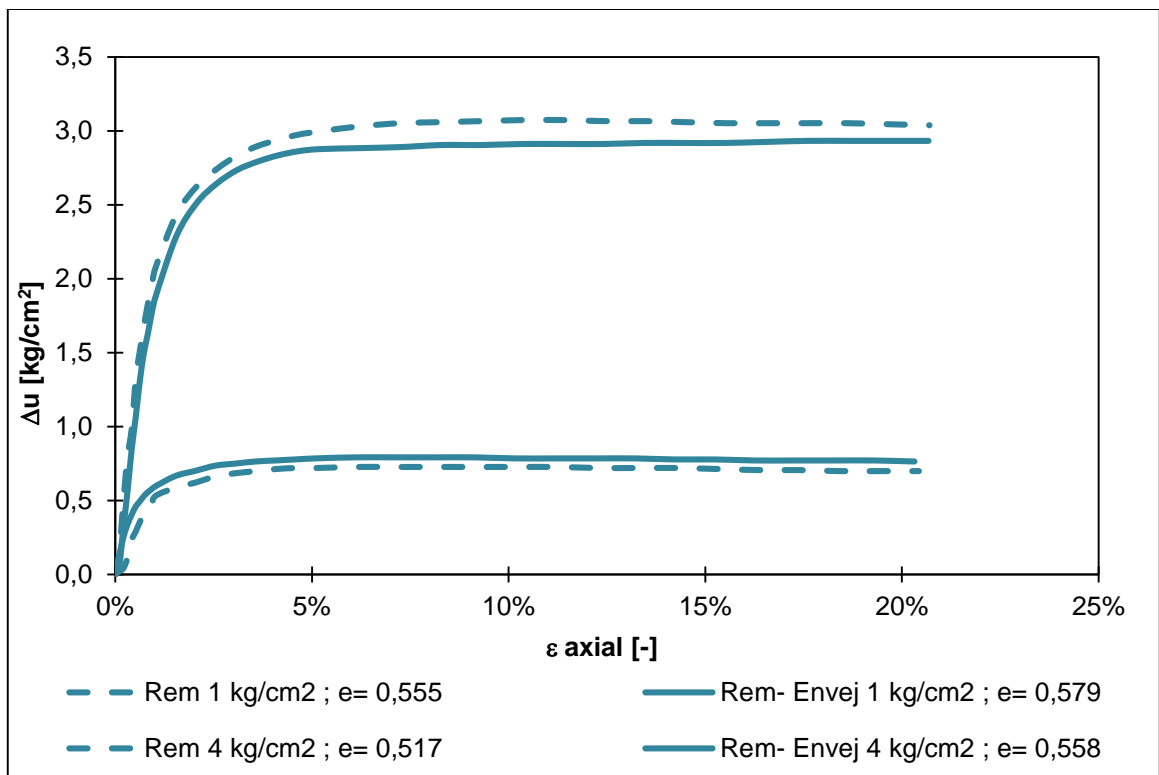


Figura 5.14. Variación presión de poros- Comparación entre muestras remoldeadas envejecidas y aquellas sin envejecer.

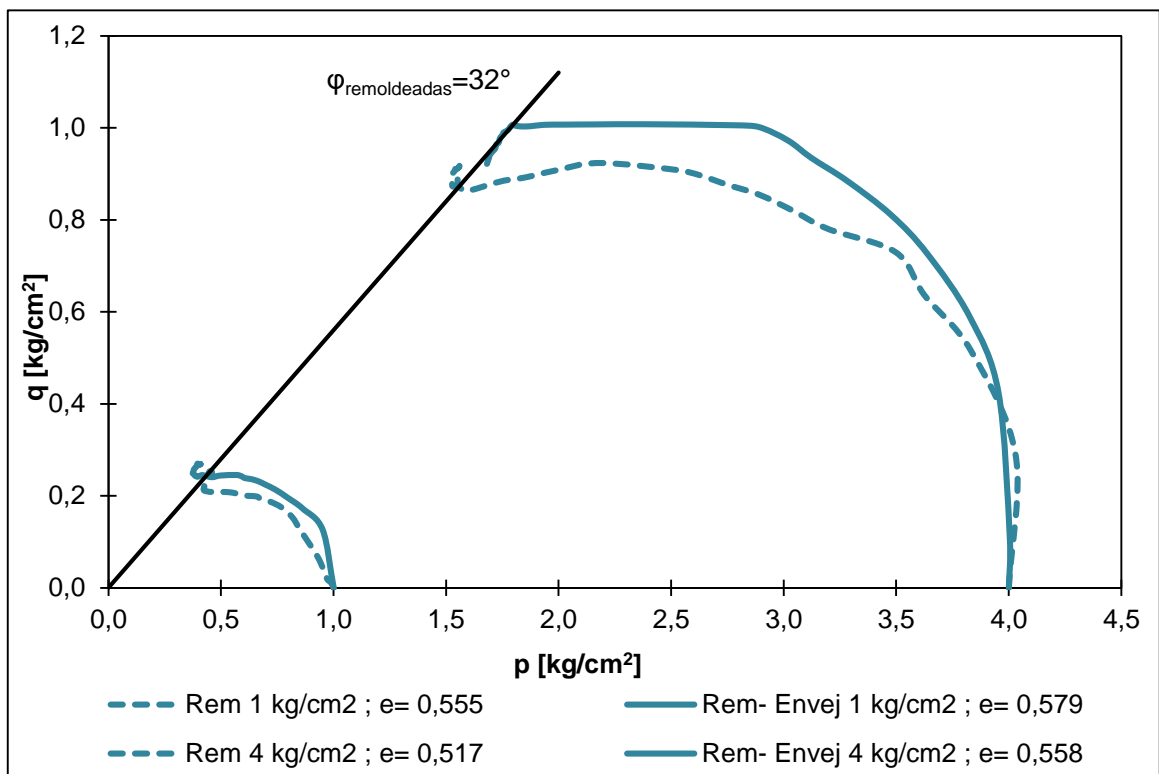


Figura 5.15. Comparación trayectoria de esfuerzos entre muestras remoldeadas envejecidas y sin envejecer.

Finalmente, se realizó un set de ensayos triaxiales para verificar el efecto que tiene la cantidad de estratos en la resistencia de este tipo de materiales. Para llevar a cabo estos ensayos se utilizaron muestras de la tercera depositación (3 ciclos de depositación) y se sacaron cuatro probetas, dos compuestas por los 2 estratos superiores y las otras dos compuesta de los dos estratos inferiores. La Figura 3.18 muestra el esquema de las probetas ensayadas en esta sección (probetas I y III), en tanto la Tabla 5.6 muestra los datos de estas probetas (los datos de las probetas II se encuentran en la Tabla 5.4). Cabe destacar que las probetas de dos estratos (probetas I y III) tienen una altura en torno a los 8 cm.

**Tabla 5.6. Datos probetas de tercera depositación**

	2 Estratos Superiores (I)		2 Estratos Inferiores (III)	
	1	4	1	4
$\sigma_{\text{cámara}}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]				
Peso [gr]	315,9	341,5	284,0	285,8
Volumen [cm <sup>3</sup> ]	165,0	177,8	147,2	148,0
$\gamma_{\text{suelo}}$ [gr/cm <sup>3</sup> ]	1,91	1,92	1,93	1,93
$\omega_{\text{inicial}}$ [-]	13,7%	13,7%	13,7%	13,7%
$\gamma_{\text{seco}}$ [gr/cm <sup>3</sup> ]	1,68	1,69	1,7	1,7
Gr. Compactación (PM)	80,7%	80,9%	81,4%	81,4%
$\omega_{\text{final}}$ [-]	17,7%	17,4%	16,5%	16,3
$B=\Delta u/\Delta\sigma_3$	96,7%	95,1%	95,56%	95,9%
$e_{\text{inicial}}$ [-]	0,63	0,63	0,62	0,60
$s_{\text{inicial}}$ [-]	59,4%	59,4%	60,3%	62,3%
$e_{\text{post-consolidación}}$ [-]	0,62	0,56	0,62	0,58
$p'_{\text{último}}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	0,69	2,01	0,54	2,26
$q_{\text{último}}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	0,42	1,29	0,38	1,24

La Figura 5.16 muestra la comparación entre las curvas tensión-deformación de las diferentes muestras, en tanto la Figura 5.17 muestra la curva de variación de presión de poros y la Figura 5.18 muestra la curva tensión deformación.

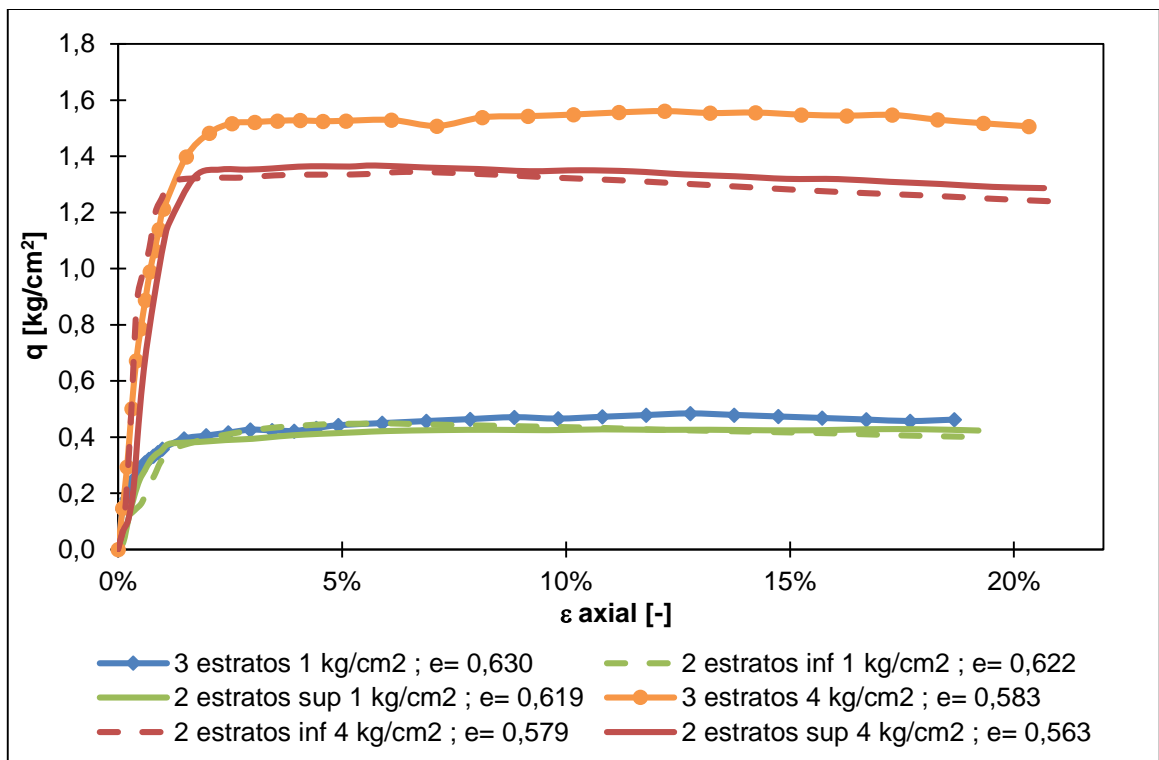


Figura 5.16. Comparación de curvas tensión deformación de muestras depositadas en laboratorio (3 estratos) y extraídas de distintos estratos.

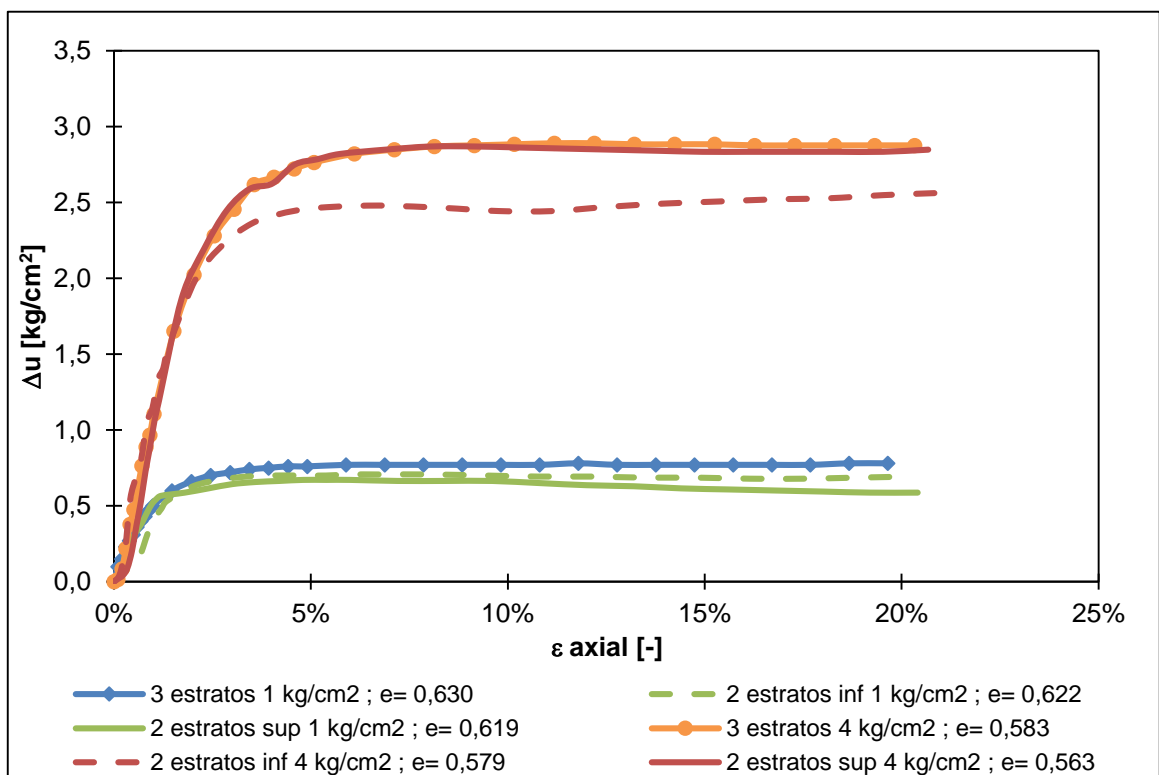


Figura 5.17. Comparación de curvas variación de presión de poros de muestras depositadas en laboratorio y extraídas de distintos estratos.

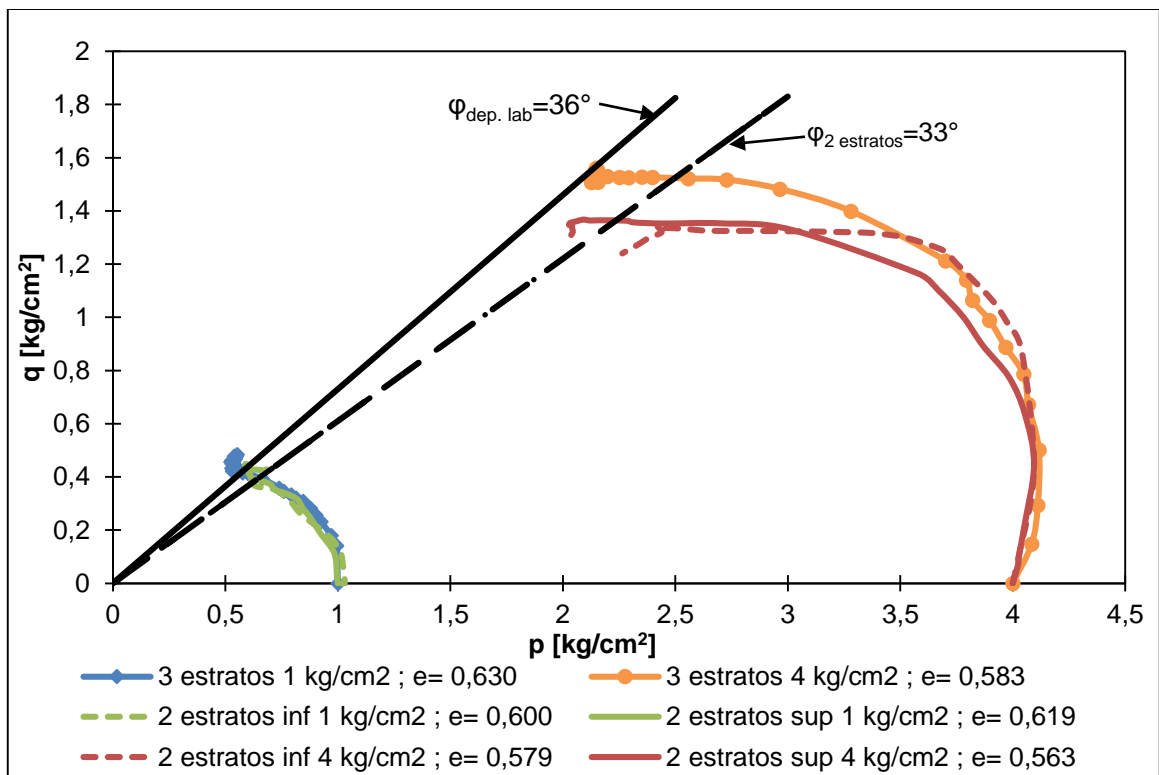


Figura 5.18. Comparación de trayectoria de esfuerzos efectivos de muestras depositadas en laboratorio y muestras extraídas de distintos estratos.

## 6. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de los ensayos de corte simple mostrados en la Figura 5.2 y Figura 5.3, se aprecia claramente que las muestras tienen un comportamiento contractivo para las diferentes tensiones verticales aplicadas. Se puede notar además, que las muestras remoldeadas preparadas mediante apisonado húmedo tienden a presentar una mayor deformación vertical y una menor resistencia que las muestras depositadas en laboratorio. Este fenómeno se presenta pese a que las muestras remoldeadas presentan un menor índice de vacíos post-consolidación que las muestras depositadas en laboratorio, siendo este fenómeno atribuible a la fábrica que presentan estas muestras.

La Figura 5.4 muestra la línea de estado último para los ensayos de corte simple en el espacio  $\sigma - \tau$ , de la cual se puede interpretar que esta línea presenta un quiebre tanto para las muestras depositadas en laboratorio como para las muestras remoldeadas. Este fenómeno se podría atribuir a un efecto de succión que se produciría dentro de las probetas para cierto rango de tensiones verticales.

A partir de los ensayos triaxiales no drenados, se puede apreciar que las probetas ensayadas presentan un comportamiento contractivo, tanto en muestras depositadas en laboratorio como en muestras remoldeadas (ver Figura 5.5 y Figura 5.7).

La resistencia no drenada de las muestras depositadas en laboratorio es mayor que la resistencia de muestras remoldeadas, incluso comparando con muestras envejecidas, tal como se presenta en la Figura 5.13 y Figura 5.15. Esta tendencia se da para los distintos confinamientos estudiados, pese a que las muestras remoldeadas tienen un índice de vacío post-consolidación menor que las muestras una vez iniciado el ensayo. La diferencia entre la resistencia desarrollada en muestras remoldeadas es cercana al 50% de la resistencia de las muestras depositadas en laboratorio.

Las curvas de variación de presión de poros, para cada nivel de confinamiento estudiado, son similares para las muestras depositadas en laboratorio y las muestras remoldeadas (ver Figura 5.6 y Figura 5.14).

El ángulo de fricción interna para las muestras depositadas en laboratorio es de  $36^\circ$  con una cohesión nula. En tanto para las muestras remoldeadas se tiene un ángulo de fricción menor de  $33^\circ$  y también una cohesión nula (ver Figura 5.7). Al comparar estos valores con los obtenidos de los ensayos de corte simple, se puede notar que existe una diferencia, en el que para ensayos

triaxiales CIU el ángulo de fricción interna tiende a ser mayor entre  $5^{\circ}$ - $7^{\circ}$  a lo reportado en los ensayos de corte simple. Esta diferencia puede interpretarse a que en el ensayo de corte simple no se conoce el efecto de la succión en las muestras húmeda.

Las líneas de estado último en el espacio  $e$ - $p'$  de cada muestra son diferentes (ver Figura 5.8), similar a lo reportado por Yoshimine y Koike (2005) en la Figura 2.20. Las muestras con 3 estratos (3 ciclos de depositación) presentan una línea de estado último sobre las muestras con 2 estratos (2 ciclos), en tanto las muestras remoldeadas presentan una línea de estado último bajo las muestras configuradas por 2 y 3 estratos. La diferencia en resistencia y líneas de estado último entre las muestras depositadas en laboratorio se atribuye a los efectos de fábrica y estructura.

Al comparar la resistencia de las muestras remoldeadas envejecidas con aquellas no envejecidas, se puede apreciar (Ver Figura 5.13) que las muestras envejecidas presentan una resistencia levemente mayor.

En la Figura 5.16 y Figura 5.18 se puede ver la comparación de resistencia para las muestras de la tercera depositación, de las cuales se desprende que las probetas configuradas por 3 estratos (esquema II de Figura 3.18) tienen una mayor resistencia que aquellas probetas de 2 estratos (esquema I y III de Figura 3.18). La diferencia de resistencia entre las diferentes probetas no es notoria, y se encuentra en torno al 15%. Esta tendencia se puede producir debido a que la altura de la probeta de dos estratos (esquema I y III) es cercano a los 8 cm, inferior a los 10 cm mínimo establecido por norma, por lo que se podría estar sobreestimando la resistencia de estas muestras.

Las muestras remoldeadas presentan una mayor compresibilidad que las muestras depositadas en laboratorio (ver Figura 5.10). Esto se nota en que pese a que este tipo de muestras se preparan con una densidad similar a las muestras depositadas en laboratorio, al ser consolidadas previo a la ejecución del ensayo triaxial, alcanzan un índice de vacíos menor que aquellas muestras depositadas en laboratorio. De la Figura 5.11 se puede notar que para una presión de confinamiento de  $6 \text{ kg/cm}^2$ , tanto las muestras depositadas en laboratorio como las remoldeadas presentan una gran deformación volumétrica.

Cifuentes (2007) y Santos (2011) obtienen líneas de estado ultimo similares para muestras preparadas en laboratorio como para muestras remoldeadas. Esto se produce debido a que ambas muestras con las que ellos trabajan son totalmente homogéneas y carentes de una estructura estratificada, como la que se estudia en la presenta investigación.

Durante la realización de los ensayos, dado los diferentes niveles de confinamientos utilizados, no se aprecia rotura de partículas en las probetas.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. Conclusiones

Las conclusiones de la presente investigación son las siguientes:

- Para todas las pruebas de depositación se alcanza una densidad inferior al 85% de la D.M.C.S (PM). Esta condición de compactación se asemeja bastante a lo que se encuentra en la cubeta de un tranque de relaves (Campaña & Cifuentes, 2012).
- El grado de compactación que presentan tanto las muestras depositadas en laboratorio como las muestras remoldeadas es baja, lo que se verifica en el comportamiento contractivo que presentan.
- Pese a que muestras remoldeadas obtenidas mediante apisonado húmedo, para cada nivel de confinamiento, alcanzan un índice de vacíos menor (mayor densidad) que las muestras depositadas en laboratorio, estas últimas presentan una resistencia menor. Esta tendencia se da incluso para aquellas muestras que se encuentran envejecidas durante un par de semanas. Esto es atribuible a la fábrica y estructura que presentan cada una de las muestras: en muestras remoldeadas se pierde por completo la fábrica y estructura inicial de la muestra y por ende se subestima la resistencia que puede tener un depósito.
- De las curvas tensión deformación, se puede ver que para cada nivel de confinamiento, las muestras que tienen una mayor estratificación (3 estratos) presentan una mayor resistencia que aquellas con una menor estratificación (2 estratos). Esto se condice con la literatura, que indica que “resistencia de las muestras se ve considerablemente afectado por una estructura estratificada y segregada” (Yoshimine & Koike, 2005).
- La resistencia no drenada normalizada ( $S_u/\sigma_3$ ) es mayor para las muestras que presentan 3 estratos con un valor de 0,34. En tanto para muestras con 2 estratos esta relación es 0,27 y para muestras remoldeadas es 0,20.
- Se puede notar que la resistencia del material, tanto para muestras depositadas en laboratorio como remoldeadas, está dado fundamentalmente por la fricción que existe entre las partículas, debido la dureza y forma que estas presentan (angulosas a sub-angulosas), producto la molienda de rocas y mineral.
- La compresibilidad de las muestras estratificadas fabricadas en laboratorio es menor que la de muestras remoldeadas, que carecen de la fábrica y estructura que presentan las muestras depositadas en laboratorio.



## 7.2. Recomendaciones

Continuando con esta línea de investigación, se recomienda:

- Evaluar la resistencia cíclica de las muestras depositadas en laboratorio (2 y 3 estratos) y muestras remodeladas, con tal de evaluar el riesgo a la licuefacción que presenta este tipo de material.
- Estudiar la resistencia de las diferentes muestras, a grandes confinamientos, y ver el comportamiento y fenómenos que se producen en este tipo de material.
- Comparar y/o validar resultados de muestras depositadas en laboratorio con muestras inalteradas obtenidas directamente la cubeta de un tranque de relaves.
- Comparar resistencia de muestras fabricadas en laboratorio con resultados de ensayos in situ que se puedan realizar en la cubeta de un tranque (CPT, NSPT, entre otros), que no alteren las propiedades y estructuras que se producen.
- Estudiar y generar alguna metodología de depositación, que pueda simular en laboratorio una descarga sub-aérea, con una depositación segregada en una cubeta de mayores dimensiones, que no se encuentre limitada por condiciones de borde.
- Estudiar efectos que tiene en las muestras una mayor cantidad de estratos, pero con un menor espesor que los estudiados en la presente investigación.
- Estudiar algún método de remodelado eficiente, que sea capaz de reproducir tanto muestras depositadas en laboratorio como muestras inalteradas que se producen en la cubeta de un tranque de relaves.
- Estudiar en conjunto el efecto del envejecimiento, estructura y fábrica de los relaves, generando alguna metodología capaz de mezclarlos, con tal de generar una mejor modelación de la cubeta de un tranque de relaves.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- 1- Asenjo, R. (2010), "Efecto del Esfuerzo de Corte Estático Inicial en la Resistencia Cíclica en una Arena de Relave", Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.
- 2- Barrera, S & Pinto, S (2002), "Tailings Beach Slopes Forecasting- Copper Tailings", Tailing Mine Waste.
- 3- Bernal, M (2012), "Estabilidad Sísmica En Presa de Relave Construida por El Método Eje Central", Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.
- 4- Campaña, J (2011), "Comportamiento de Arenas de Relave a Altas Presiones", Tesis para Optar al Grado de Magíster en Ingeniería Geotécnica, Universidad de Chile.
- 5- Campaña, J & Cifuentes, L. (2012), "Caracterización Geotécnicas de Relaves Integrales Depositados Hidráulicamente", Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica.
- 6- Castro, G, Seed, R, Keller, T, Seed, B (1992), "Steady State Strength Analysis of Lower San Fernando Dam Slide", Journal Geotechnical Engineering.
- 7- Cifuentes, L & Verdugo, R (2007), "Resistencia Cíclica y Estática de Relaves Espesados", Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica.
- 8- Decreto Supremo N° 248 (2007), "Reglamento para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de los Depósitos De Relaves", Ministerio de Minería.
- 9- Departamento de Minería y Energía, Australia (1998), "Guía Para el Desarrollo de una Operación Manual de Depósitos de Relaves.
- 10- Díaz, A. (2002), "Parámetros de Estado para Caracterizar la Respuesta Cíclica En Arenas de Relave", Memoria Para Optar Al Título De Ingeniero Civil, Universidad De Chile.
- 11- Dobry, R. & Álvarez, L. (1967), "Seismic Failures of Chilean Tailing Dams", Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, American Society of Civil Engineers.
- 12- Fitton, T (2007), "Tailing Beach Slopes Prediction", Tesis Para Optar al Grado de Doctor en Filosofía, RMIT University.
- 13- Ishihara, K., Troncoso, J., Kawase, Y., and Takahashi, Y. (1980), "Cyclic Strength Characteristics of Tailings Materials", Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- 14- Ishihara, K (1993) "Liquefaction and Flow Failure During Earthquake", Géotechnique Vol. 43, Issue 3, pp 351-451.
- 15- Marcuson, W & Townsend F (1976), "Effects of Specimen Reconstitution on Cyclic Triaxial Results", U.S. Army Engineering District, Omaha.
- 16- Maureira, S. (2012), "Respuesta Cíclica de Arenas de Relave en un Amplio Rango, de Presiones", Tesis de Magíster Ingeniería Geotécnica, Universidad de Chile.

- 17- Mine Safety and Health Administration MSHA (2009), "Engineering and Design Manual Coal Refuse Disposal Facilities".
- 18- Minera Ceniza, Faenas Cabildo (2007), "Depósito de Pasta Cabildo"
- 19- Ormazábal, G. (2008), "Estudio en Laboratorio del Efecto Envejecimiento en el Comportamiento de Arenas de Relave", Memoria para Optar al Título de Ingeniero, Universidad de Chile.
- 20- Osorio, B. (2009). "Resistencia Estática y Cíclica de Relaves Integrales", Memoria para Optar al Título de Ingeniero, Universidad de Chile.
- 21- Palma, C. (2004), "Propiedades Geomecánicas Asociadas al Diseño Sísmico de Depósitos de Relaves", Tesis de Magíster Ingeniería Geotécnica, Universidad de Chile.
- 22- Peters, G, Verdugo, R, Echeverría, J & Caro, G (2014), "Estudio Geotécnico Para El Emplazamiento De Un Depósito De Relaves Espesados Sobre Uno Convencional Existente", Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica.
- 23- Peters, G. (2004), "Propiedades Geotécnicas de Arenas de Relave y sus Implicancias en el Diseño de Tranques", V Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica.
- 24- Poulos, S. (1981) "The Steady State of Deformation", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 17, pp 553-562.
- 25- Ramírez, N. (2007), "Guía Técnica de Operación y Control de Depósitos de Relaves", Investigación Externa del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN).
- 26- Retamal, W. (2005). "Efecto de la Fábrica en el Comportamiento Cíclico de Arenas de Relave", Memoria para optar al título de Ingeniero, Universidad de Chile.
- 27- Robinsky, E. (1999), "Thickened Tailings Disposal in th Mining Industry", E. Robinsky Associates Limited, Canada.
- 28- Sánchez, A. (2002), "Resistencia Última No Drenada en Arenas: Estado Inicial del Suelo y Correlación con Estado Último Mediante la Velocidad de Ondas de Corte", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.
- 29- Santos, E. & Verdugo, R. (2012), "Comportamiento Monótono y Cíclico de Relaves Integrales de Minas de Cobre", Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica.
- 30- Santos, E. (2011), "Comportamiento Monótono y Cíclico No Drenado de Arenas de Relaves Integrales", Tesis de Magíster Ingeniería Geotécnica, Universidad de Chile.
- 31- Seed, H & Lee, K (1966) "Liquefaction of Saturated Sand During Cyclic Loading", Journal Of The Soil Mechanics And Foundation Division, ASCE, Vol.92, pp.105-134.
- 32- Tailings Info (2014), "Beach Slopes Prediction Methods".  
<http://www.tailings.info/technical/beach-slope.htm>

- 33- Tailings Info (2014), "Deposition Methods of Tailings"  
<http://www.tailings.info/disposal/deposition.htm>
- 34- Vaid, Y. P. & Sivathalayan, S. (1991) "Discussion; Strength of Undisturbed versus reconstituted silt and silty sands specimens", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.
- 35- Verdugo, R & Ishihara, K (1996), "The Steady State of Sandy Solis", Soils and Foundation Japanese Geotechnical Society.
- 36- Verdugo, R (1992), "Characterization of Sandy Soil Behavior Under Large Deformation", Tesis para Optar al Grado de Doctor en Filosofía, Universidad de Tokio.
- 37- Verdugo, R., Castillo, P. & Briceño, L. (1995) "Initial Soil Structure and Steady State Strength, First Conference Earthquake Geotechnical Engineering.
- 38- Viertel, P. (2003), "Efecto del Contenido de Finos y de la Densidad Relativa en la Resistencia Cíclica de Arenas de Relave", Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.
- 39- Yamamuro, J. & Lade, P. (1998) "Steady State Concepts and Static Liquefaction of Silty Sand", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.
- 40- Yamamuro, J & Wood, F (2004), "Effect of Depositional Method on the Undrained Behavior and Microstructure of Sand with Silt", Soil Dynamics and Earthquake Engineering.
- 41- Yoshimi, T., Tokimatsu, K. & Hosaka, Y (1984) "Evaluation of liquefaction resistance of clean sands based on high-quality undisturbed samples", Soil and Foundations Japanese Geotechnical Society.
- 42- Yoshimine, M & Koike, R (2005), "Liquefaction of Clean Sand With Stratified Structure Due To Segregation Of Particle Size", Soils and Foundation Japanese Geotechnical Society.
- 43- Yoshimine, M & Ishihara, K (1998) "Flow Potential of Sand During Liquefaction", Soils and Foundation Japanese Geotechnical Society.

## 9. ANEXOS

### Ensayos de Caracterización

<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería

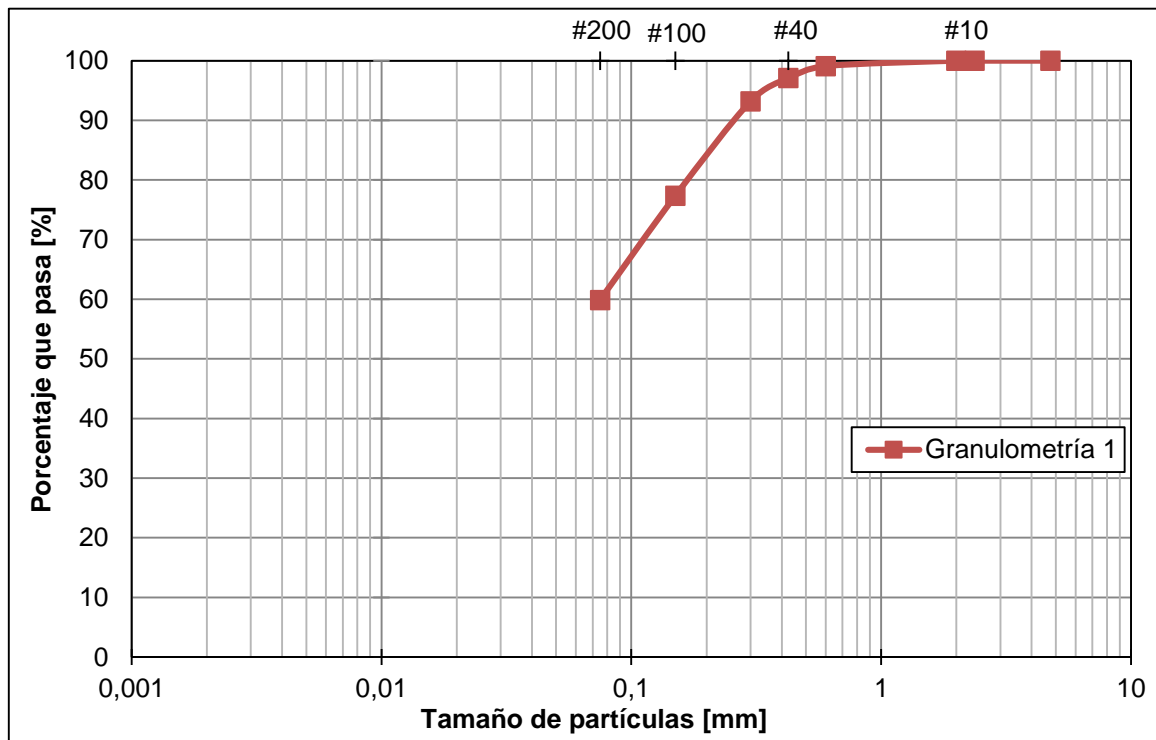
#### Granulometría N°1

Tamiz ASTM	Diámetro (mm)	Pesos [g]	% Retenido	% que pasa
2 1/2"	63	0,0	0,0	100,0
2"	50	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	37,5	0,0	0,0	100,0
1"	25	0,0	0,0	100,0
3/4"	19	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,5	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,5	0,0	0,0	100,0
4	4,75	0,0	0,0	100,0
8	2,36	0,0	0,0	100,0
10	2	0,0	0,0	100,0
30	0,6	4,6	0,9	99,1
40	0,425	10,1	2,0	97,1
50	0,3	19,5	3,9	93,2
100	0,15	79,2	15,8	77,3
200	0,075	87,3	17,5	59,9

Material	Diámetro [mm]	Pesos [g]
Sobre 3"	75	0
Sobre 3/8"	9,5	0
Bajo 3/8"	9,5	500
Total		500

%Finos	59,86
%gravas	0
%arenas	40,14

D10 [mm]	-
D30 [mm]	-
D60 [m]	-
Cu [-]	-
Cc [-]	-



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería

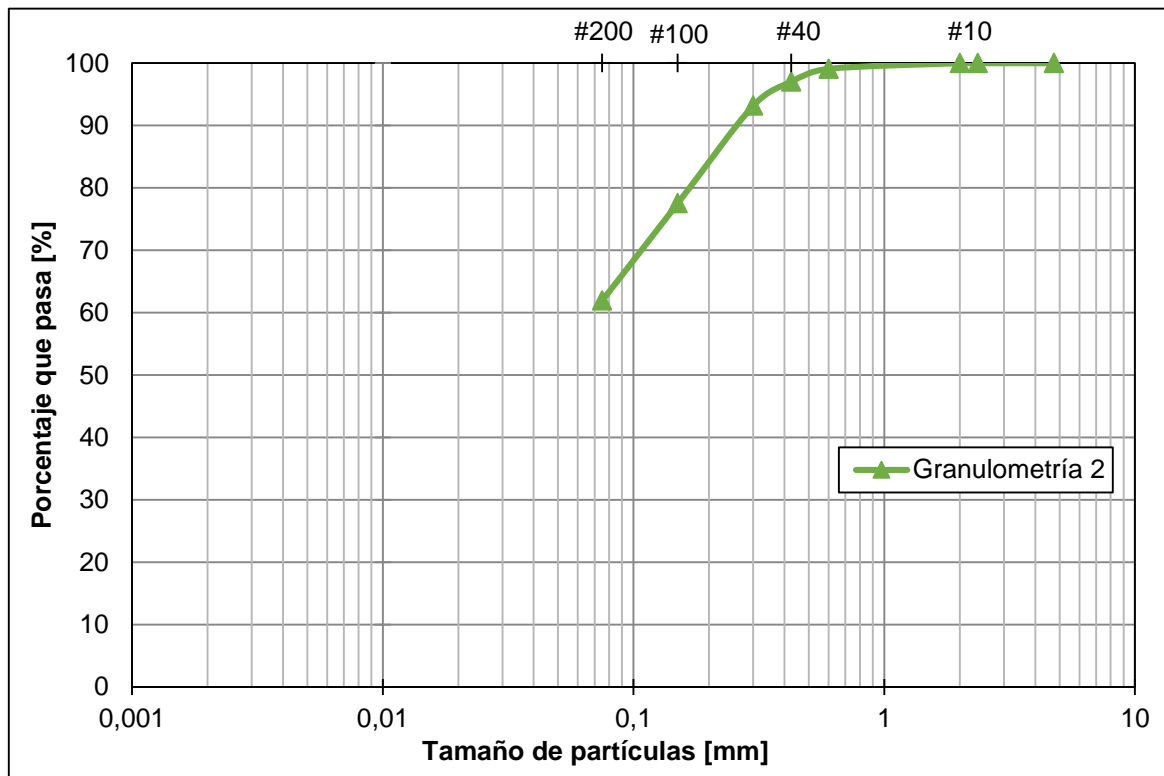
### Granulometría N°2

Tamiz ASTM	Diámetro (mm)	Pesos [g]	% Retenido	% que pasa
2 1/2"	63	0,0	0,0	100,0
2"	50	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	37,5	0,0	0,0	100,0
1"	25	0,0	0,0	100,0
3/4"	19	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,5	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,5	0,0	0,0	100,0
4	4,75	0,0	0,0	100,0
8	2,36	0,0	0,0	100,0
10	2	0,0	0,0	100,0
30	0,6	2,7	0,9	99,1
40	0,425	6,2	2,1	97,0
50	0,3	11,5	3,8	93,2
100	0,15	47,0	15,7	77,5
200	0,075	46,8	15,6	61,9

Material	Diámetro [mm]	Pesos [g]
Sobre 3"	75	0
Sobre 3/8"	9,5	0
Bajo 3/8"	9,5	300
Total		300

%Finos	61,95
%gravas	0,00
%arenas	38,05

D10 [mm]	-
D30 [mm]	-
D60 [m]	-
Cu [-]	-
Cc [-]	-



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería

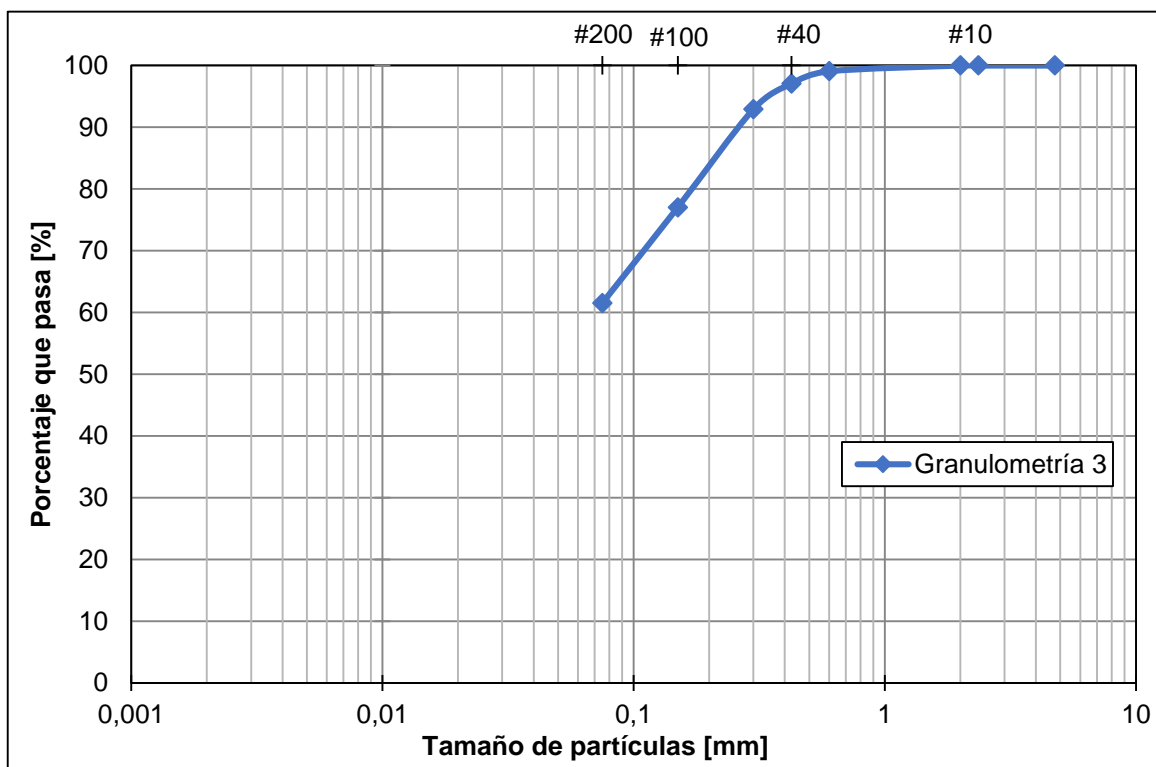
### Granulometría N°3

Tamiz ASTM	Diámetro (mm)	Pesos [g]	% Retenido	% que pasa
2 1/2"	63	0,0	0,0	100,0
2"	50	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	37,5	0,0	0,0	100,0
1"	25	0,0	0,0	100,0
3/4"	19	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,5	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,5	0,0	0,0	100,0
4	4,75	0,0	0,0	100,0
8	2,36	0,0	0,0	100,0
10	2	0,0	0,0	100,0
30	0,6	2,8	0,9	99,1
40	0,425	6,0	2,0	97,1
50	0,3	12,5	4,2	92,9
100	0,15	47,7	15,9	77,0
200	0,075	46,6	15,5	61,5

Material	Diámetro [mm]	Pesos [g]
Sobre 3"	75	0
Sobre 3/8"	9,5	0
Bajo 3/8"	9,5	300
Total		300

%Finos	61,51
%gravas	0
%arenas	38,49

D10 [mm]	-
D30 [mm]	-
D60 [m]	-
Cu [-]	-
Cc [-]	-

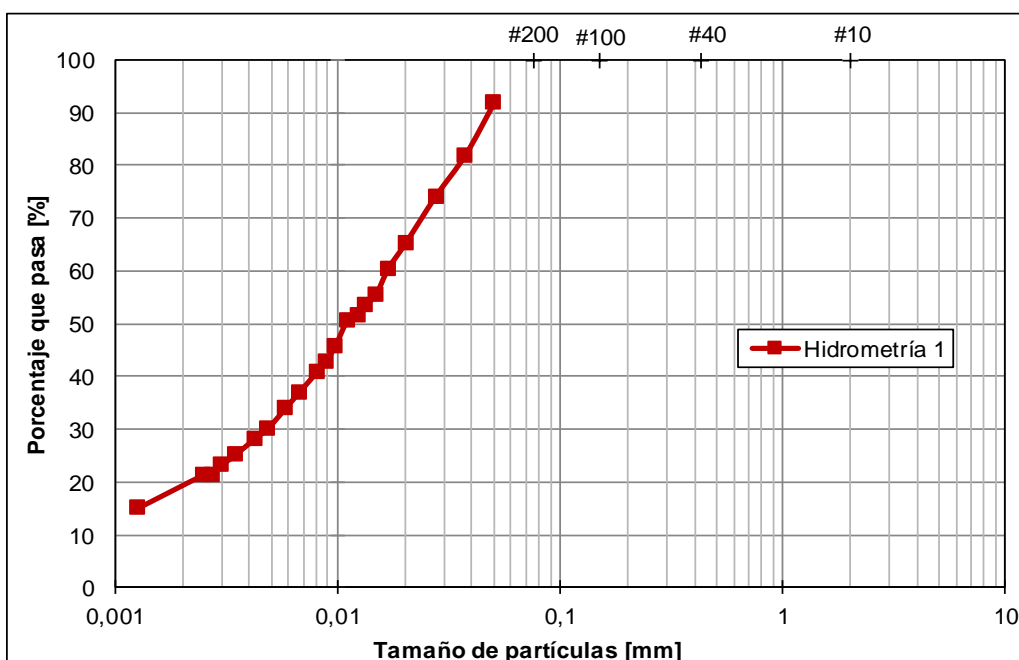


<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería

**Hidrómetro N°1**

Peso Específico	-	2,73
Peso Seco de Muestra	gr	50
Factor de Corrección del Cero	-	5
Factor de Corrección del Menisco	-	1
Factor de Corrección del Gs "a"	-	0,98

Tiempo min	Lectura Hidrómetro	Lectura Temperatura [°C]	Profundidad "L" Hidrómetro	Tamaño Partículas [mm]	% Finos
0,5	51	22,9	7,77	0,051	91,7
1	46	22,9	8,59	0,038	81,9
2	42	22,9	9,25	0,028	74,0
4	37,5	23	9,99	0,020	65,2
6	35	23	10,40	0,017	60,3
8	32,5	23,1	10,80	0,015	55,5
10	31,5	23,1	10,97	0,013	53,5
12	30,5	23,1	11,13	0,012	51,5
15	30	23,1	11,21	0,011	50,6
20	27,5	23,2	11,62	0,010	45,7
25	26	23,2	11,87	0,009	42,8
30	25	23,3	12,03	0,008	40,8
45	23	23,3	12,36	0,007	36,9
60	21,5	23,4	12,61	0,006	34,0
90	19,5	23,4	12,94	0,005	30,1
120	18,5	23,4	13,10	0,004	28,1
180	17	23,4	13,35	0,003	25,2
240	16	23,5	13,51	0,003	23,3
300	15	23,6	13,67	0,003	21,4
360	15	23,5	13,67	0,002	21,3
1440	12	23	14,17	0,001	15,2



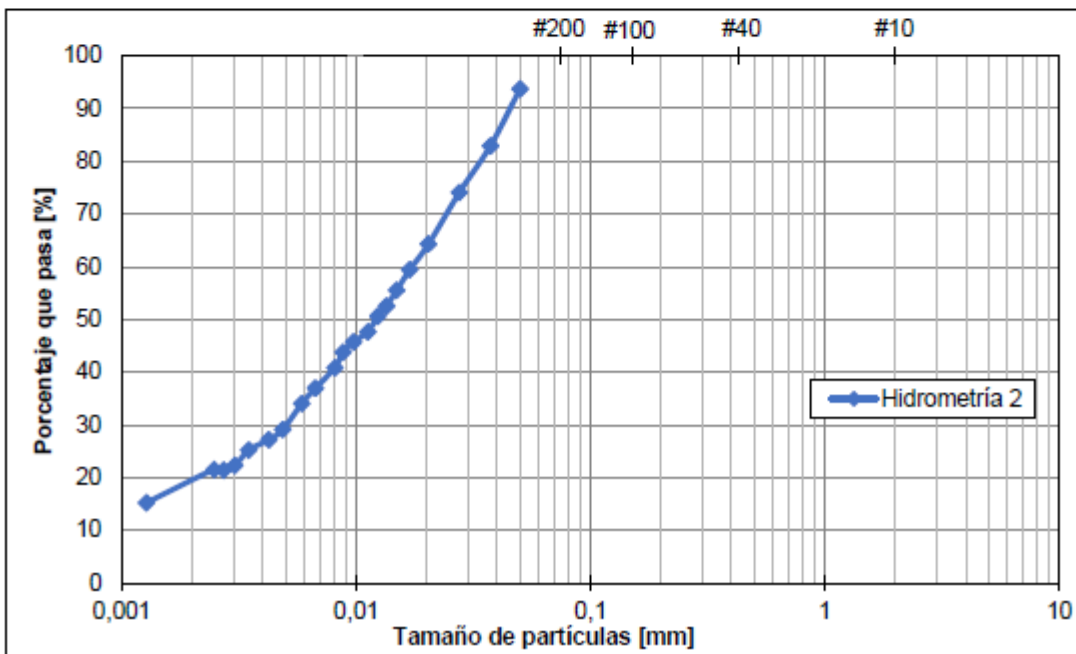


Proyecto	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
Muestra	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería

### Hidrómetro N°2

Peso Especifico	-	2,73
Peso Seco de Muestra	gr	50
Factor de Correccion del Cero	-	5
Factor de Correccion del Menisco	-	1
Factor de Correccion del Gs "a"	-	0,98

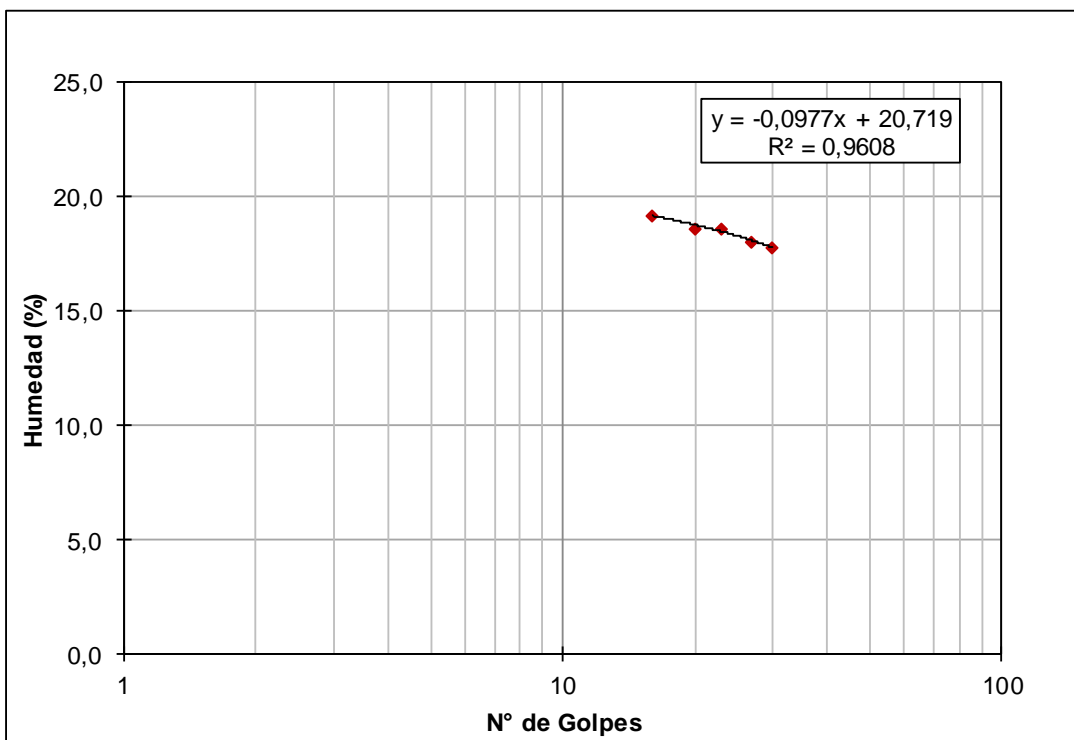
Tiempo min	Lectura Hidrómetro	Lectura Temperatura [°C]	Profundidad "L" Hidrómetro	Tamaño Partículas [mm]	% Finos
0,5	52	23,1	7,61	0,050	93,8
1	46,5	23,11	8,51	0,037	83,0
2	42	23,1	9,25	0,028	74,1
4	37	23,1	10,07	0,020	64,3
6	34,5	23,2	10,48	0,017	59,4
8	32,5	23,2	10,80	0,015	55,5
10	31	23,2	11,05	0,013	52,6
12	30	23,2	11,21	0,012	50,6
15	28,5	23,2	11,46	0,011	47,7
20	27,5	23,3	11,62	0,010	45,8
25	26,5	23,3	11,79	0,009	43,8
30	25	23,3	12,03	0,008	40,8
45	23	23,4	12,36	0,007	37,0
60	21,5	23,4	12,61	0,006	34,0
90	19	23,4	13,02	0,005	29,1
120	18	23,4	13,18	0,004	27,2
180	17	23,4	13,35	0,003	25,2
240	15,5	23,5	13,59	0,003	22,3
300	15	23,7	13,67	0,003	21,4
360	15	23,9	13,67	0,002	21,5
1440	12	23,1	14,17	0,001	15,2



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería

<b>DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO</b>					
Nº de Punto	1	2	3	4	5
Nº de cápsula	215	227	221	203	200
Nº de golpes, N	16	20	23	27	30
Peso suelo húmedo + Cápsula [g]	26,48	29,2	28,37	23,98	23,14
Peso suelo seco + Cápsula [g]	24,19	26,54	26,02	22,33	21,45
Peso Cápsula [g]	12,26	12,26	13,4	13,17	11,96
Peso Suelo Seco [g]	11,93	14,28	12,62	9,16	9,49
Peso agua [g]	2,29	2,66	2,35	1,65	1,69
Contenido de Humedad, w [%]	19,2	18,6	18,6	18,0	17,8
Límite Líquido, LL [%]	<b>18,28</b>				

<b>DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLÁSTICO</b>		
Nº de Punto	1	2
Nº de cápsula	20	90
Peso suelo húmedo + Cápsula [g]	20,42	23,97
Peso suelo seco + Cápsula [g]	19,37	22,43
Peso Cápsula [g]	12,06	12,69
Peso Suelo Seco [g]	7,31	9,74
Peso agua [g]	1,05	1,54
Contenido de Humedad, w [%]	14,36	15,81
Límite plástico, LP [%]	15,09	



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería

### Gravedad específica de los sólidos del suelo

DATOS DE CONFECCION	VALOR	UNIDAD
Densidad del agua $\gamma_{\text{agua}}$ a 4°C	1	[g/cm <sup>3</sup> ]
Peso Picnómetro + Agua + Suelo, W1	363,13	[g]
Peso Picnómetro + Agua , W2	344,13	[g]
Peso Suelo Seco, W3	30	[g]
Volumen del sólido, Vs	11	[cm <sup>3</sup> ]
Densidad seca del sólido, $\gamma_d$	2,73	[g/cm <sup>3</sup> ]
Gravedad específica del sólido (Gs)	2,73	[-]

Temp (°C)	$\gamma_{\text{agua}}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Temp (°C)	$\gamma_{\text{agua}}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Temp (°C)	$\gamma_{\text{agua}}$ (g/cm <sup>3</sup> )
4	1,0000	20	0,9982	25	0,9971
16	0,9990	21	0,9980	26	0,9968
17	0,9988	22	0,9978	27	0,9966
18	0,9986	23	0,9976	28	0,9963
19	0,9984	24	0,9973	29	0,9960

$$V_s = \frac{W_3 + W_2 - W_1}{\gamma_{\text{agua}_4^\circ\text{C}}}$$

$$\gamma_s = \frac{W_3}{V_s}$$

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_{\text{agua}_4^\circ\text{C}}}$$

<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería

### Determinación de la Densidad Relativa (DR)

Peso Molde [g]	Pm	1367,5
Volumen Molde [cm <sup>3</sup> ]	Vm	1047,8

#### Densidad Mínima $\gamma_{\min}$

Peso de Suelo + Molde [g]	P1	2513	1,093
Peso de Suelo + Molde [g]	P2	2560	1,138

#### Densidad Máxima $\gamma_{\max}$

Peso suelo + Molde [g]	W1	3002	1,560
Peso suelo + Molde [g]	W2	2890	1,453
Peso suelo + Molde [g]	W3	2950	1,510

$\gamma_{\min}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1,093
$\gamma_{\max}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1,560

$\gamma_{\max} = \frac{W_{\max}}{V_{\text{molde}}}$	$\gamma_{\min} = \frac{W_{\min}}{V_{\text{molde}}}$	$DR = \frac{1/\gamma_{\min} - 1/\gamma_{\text{suelo}}}{1/\gamma_{\min} - 1/\gamma_{\max}}$
-----------------------------------------------------	-----------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------

# Ensayos de Corte Simple

<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejera
<b>Probeta</b>	Primera deposición en laboratorio - 1 ciclo de deposición

## Resultados Ensayo

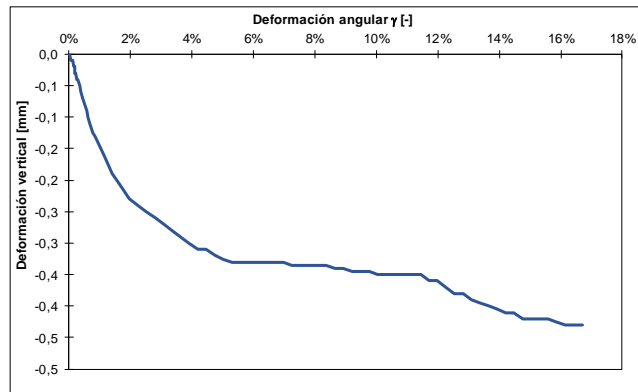
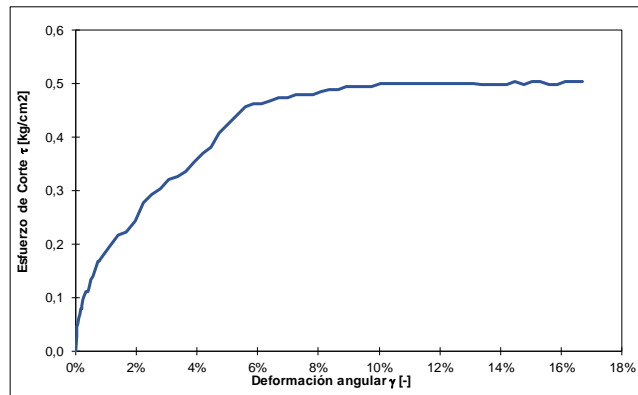
Deformación angular $\gamma$	Esf. corte $\tau$ kg/cm <sup>2</sup>	Deformación vertical mm
-	0.000	0
0.00%	0.000	0
0.03%	0.028	0
0.06%	0.045	-0,01
0.08%	0.050	-0,01
0.11%	0.062	-0,01
0.14%	0.067	-0,02
0.17%	0.078	-0,02
0.20%	0.078	-0,03
0.22%	0.084	-0,03
0.25%	0.095	-0,04
0.28%	0.101	-0,04
0.34%	0.112	-0,05
0.39%	0.112	-0,06
0.45%	0.117	-0,07
0.51%	0.134	-0,08
0.56%	0.139	-0,09
0.62%	0.145	-0,1
0.67%	0.156	-0,11
0.73%	0.167	-0,12
0.79%	0.167	-0,125
0.84%	0.173	-0,13
1.12%	0.194	-0,16
1.40%	0.216	-0,19
1.68%	0.222	-0,21
1.96%	0.244	-0,23
2.24%	0.277	-0,24
2.52%	0.293	-0,25
2.80%	0.304	-0,26
3.07%	0.320	-0,27
3.35%	0.326	-0,28
3.63%	0.337	-0,29
3.91%	0.353	-0,3
4.19%	0.369	-0,31
4.47%	0.380	-0,31
4.74%	0.408	-0,32
5.02%	0.424	-0,325
5.30%	0.441	-0,33
5.58%	0.457	-0,33
5.86%	0.463	-0,33
6.14%	0.463	-0,33
6.42%	0.468	-0,33
6.70%	0.474	-0,33
6.97%	0.474	-0,33
7.25%	0.479	-0,335
7.53%	0.479	-0,335
7.81%	0.479	-0,335
8.09%	0.485	-0,335
8.37%	0.490	-0,335
8.65%	0.490	-0,34
8.93%	0.495	-0,34
9.20%	0.495	-0,345
9.48%	0.495	-0,345
9.76%	0.495	-0,345
10.04%	0.501	-0,35
10.60%	0.501	-0,35
10.87%	0.501	-0,35
11.15%	0.501	-0,35
11.43%	0.501	-0,35
11.71%	0.500	-0,36
11.99%	0.500	-0,36
12.26%	0.500	-0,37
12.54%	0.500	-0,38
12.82%	0.500	-0,38
13.09%	0.500	-0,39
13.37%	0.499	-0,395
13.65%	0.499	-0,4
13.92%	0.499	-0,405
14.20%	0.499	-0,41
14.48%	0.505	-0,41
14.75%	0.499	-0,42
15.03%	0.504	-0,42
15.31%	0.504	-0,42
15.59%	0.499	-0,42
15.86%	0.499	-0,425
16.14%	0.504	-0,43
16.42%	0.504	-0,43
16.70%	0.504	-0,43

Datos		
Diametro	cm	7
Altura	cm	2
Peso	gr	143.92
Densidad humeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.87
Humedad inicial (w)	%	19,75%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,5615
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,75
Tensión vertical $\sigma_v$	kg/cm <sup>2</sup>	0,5
Gr. Compactación (PM)	%	74,85%
Velocidad deformación hor.	mm/min	0,12
Deformación cons. vertical	mm	-0,6
Índice vacíos post-consolidación ( $e_c$ )	-	0,70

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s (1 + w) \gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post-cons} = \frac{\Delta h}{h_i} (1 + e_i) + e_i$$



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejera
<b>Probeta</b>	Primera deposición en laboratorio - 1 ciclo de deposición

**Resultados Ensayo**

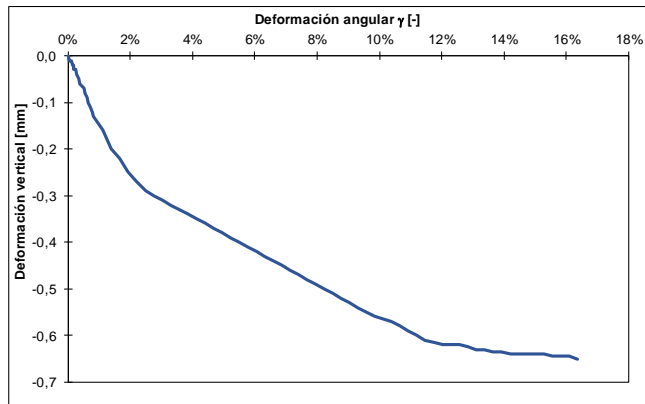
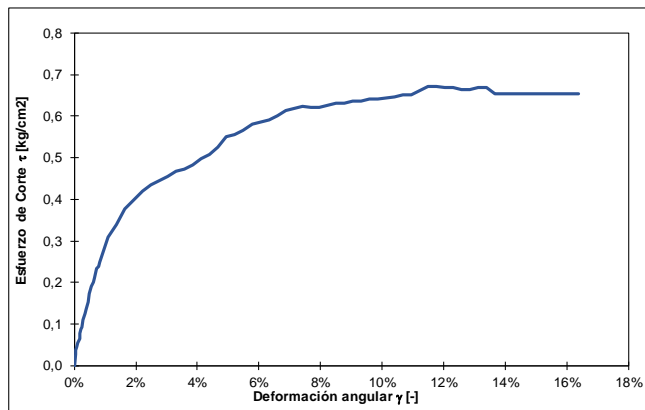
Deformación angular $\gamma$	Esf. corte $\tau$	Deformación vertical
-	kg/cm <sup>2</sup>	mm
0,00%	0,000	0
0,03%	0,027	0
0,06%	0,038	-0,01
0,08%	0,044	-0,01
0,11%	0,055	-0,01
0,14%	0,060	-0,02
0,17%	0,065	-0,02
0,19%	0,076	-0,03
0,22%	0,087	-0,03
0,25%	0,093	-0,03
0,28%	0,109	-0,04
0,33%	0,125	-0,05
0,39%	0,136	-0,06
0,44%	0,152	-0,065
0,50%	0,174	-0,07
0,55%	0,190	-0,08
0,61%	0,201	-0,09
0,66%	0,212	-0,1
0,72%	0,233	-0,11
0,78%	0,239	-0,12
0,83%	0,249	-0,13
1,11%	0,308	-0,16
1,38%	0,340	-0,2
1,66%	0,377	-0,22
1,93%	0,398	-0,25
2,21%	0,419	-0,27
2,48%	0,435	-0,29
2,75%	0,446	-0,3
3,03%	0,456	-0,31
3,30%	0,467	-0,32
3,58%	0,472	-0,33
3,85%	0,482	-0,34
4,13%	0,498	-0,35
4,40%	0,508	-0,36
4,67%	0,524	-0,37
4,95%	0,551	-0,38
5,22%	0,556	-0,39
5,49%	0,566	-0,4
5,77%	0,582	-0,41
6,04%	0,587	-0,42
6,31%	0,592	-0,43
6,59%	0,602	-0,44
6,86%	0,612	-0,45
7,13%	0,617	-0,46
7,40%	0,622	-0,47
7,68%	0,622	-0,48
7,95%	0,622	-0,49
8,22%	0,627	-0,5
8,49%	0,632	-0,51
8,76%	0,631	-0,52
9,03%	0,636	-0,53
9,30%	0,636	-0,54
9,58%	0,641	-0,55
9,85%	0,641	-0,56
10,39%	0,646	-0,57
10,66%	0,650	-0,58
10,93%	0,650	-0,59
11,20%	0,660	-0,6
11,47%	0,671	-0,61
11,74%	0,670	-0,615
12,02%	0,670	-0,62
12,29%	0,670	-0,62
12,56%	0,665	-0,62
12,83%	0,665	-0,625
13,10%	0,670	-0,63
13,38%	0,670	-0,63
13,65%	0,654	-0,635
13,92%	0,654	-0,635
14,19%	0,654	-0,64
14,47%	0,654	-0,64
14,74%	0,654	-0,64
15,01%	0,654	-0,64
15,28%	0,654	-0,64
15,55%	0,653	-0,645
15,83%	0,653	-0,645
16,10%	0,653	-0,645
16,37%	0,653	-0,65

Datos		
Diametro	cm	7
Altura	cm	2
Peso	gr	144,84
Densidad humeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,88
Humedad inicial (w)	%	18,34%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,5901
Indice vacios inicial ( $e_i$ )	-	0,717
Tensión vertical $\sigma_v$	kg/cm <sup>2</sup>	1
Gr. Compactación (PM)	%	76,23%
Velocidad deformación	mm/min	0,12
Deformación cons. vertical	mm	-1,11
Indice vacios post-consolidación ( $e_r$ )	-	0,63

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + w)\gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post-cons} = \frac{\Delta h}{h_i}(1 + e_i) + e_i$$



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejera
<b>Probeta</b>	Primera depositación en laboratorio - 1 ciclo de depositación

**Resultados Ensayo**

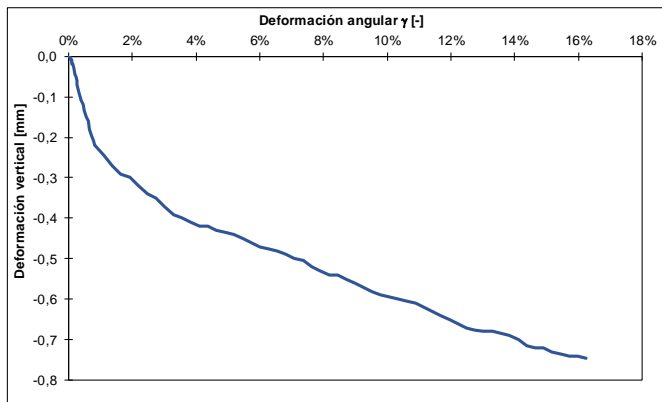
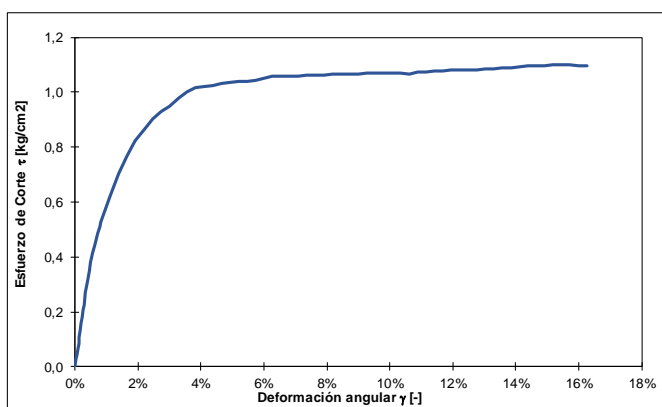
Deformación angular $\gamma$	Esf. corte $\tau$ kg/cm <sup>2</sup>	Deformación vertical mm
-	0,000	0
0,00%	0,000	0
0,03%	0,027	0
0,06%	0,043	-0,01
0,08%	0,065	-0,01
0,11%	0,086	-0,02
0,14%	0,108	-0,02
0,17%	0,130	-0,03
0,19%	0,162	-0,045
0,22%	0,178	-0,05
0,25%	0,210	-0,06
0,28%	0,226	-0,07
0,33%	0,269	-0,09
0,39%	0,307	-0,11
0,44%	0,349	-0,12
0,50%	0,381	-0,135
0,55%	0,413	-0,15
0,61%	0,440	-0,16
0,66%	0,455	-0,18
0,72%	0,487	-0,195
0,77%	0,508	-0,21
0,82%	0,529	-0,22
1,10%	0,625	-0,245
1,37%	0,704	-0,27
1,65%	0,767	-0,29
1,92%	0,825	-0,3
2,19%	0,867	-0,32
2,47%	0,903	-0,34
2,74%	0,929	-0,35
3,01%	0,949	-0,37
3,28%	0,980	-0,39
3,56%	1,001	-0,4
3,83%	1,016	-0,41
4,10%	1,021	-0,42
4,37%	1,026	-0,42
4,65%	1,031	-0,43
4,92%	1,036	-0,435
5,19%	1,041	-0,44
5,46%	1,040	-0,45
5,73%	1,045	-0,46
6,01%	1,049	-0,47
6,28%	1,060	-0,475
6,55%	1,059	-0,48
6,82%	1,059	-0,49
7,09%	1,058	-0,5
7,36%	1,063	-0,505
7,63%	1,062	-0,52
7,90%	1,062	-0,53
8,17%	1,066	-0,54
8,45%	1,066	-0,54
8,72%	1,066	-0,55
8,99%	1,065	-0,56
9,26%	1,070	-0,57
9,53%	1,069	-0,58
9,80%	1,069	-0,59
10,34%	1,068	-0,6
10,61%	1,068	-0,605
10,88%	1,073	-0,61
11,15%	1,072	-0,62
11,42%	1,077	-0,63
11,68%	1,076	-0,64
11,95%	1,081	-0,65
12,22%	1,080	-0,66
12,49%	1,080	-0,67
12,76%	1,079	-0,675
13,03%	1,084	-0,68
13,30%	1,084	-0,68
13,57%	1,089	-0,685
13,84%	1,089	-0,69
14,11%	1,094	-0,7
14,37%	1,098	-0,715
14,64%	1,098	-0,72
14,91%	1,098	-0,72
15,18%	1,102	-0,73
15,45%	1,102	-0,735
15,72%	1,102	-0,74
15,99%	1,096	-0,74
16,26%	1,096	-0,745

Datos		
Diametro	cm	7
Altura	cm	2
Peso	gr	142,21
Densidad humeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,85
Humedad inicial ( $w_i$ )	%	17,05%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,5785
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,729
Tensión vertical $\sigma_v$	kg/cm <sup>2</sup>	2
Gr. Compactación (PM)	%	75,67%
Velocidad deformación	mm/min	0,12
Deformación cons. vertical	mm	-1,27
Índice vacíos post-consolidación ( $e_c$ )	-	0,62

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w_i}$$

$$e_{\text{inicial}} = \frac{G_s (1 + w_i) \gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{\text{post-cons}} = \frac{\Delta h}{h_i} (1 + e_i) + e_i$$



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería
<b>Probeta</b>	Primera deposición en laboratorio - 1 ciclo de deposición

**Resultados Ensayo**

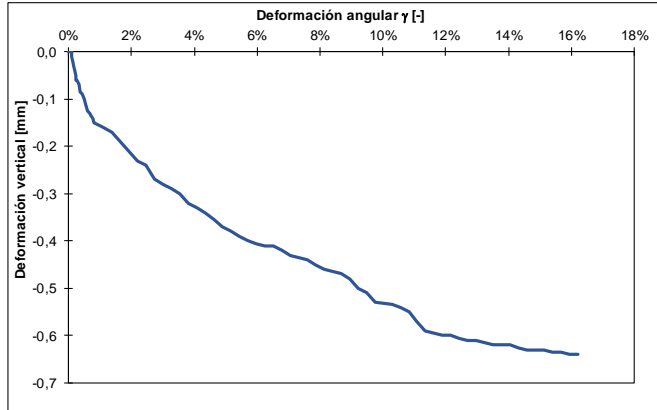
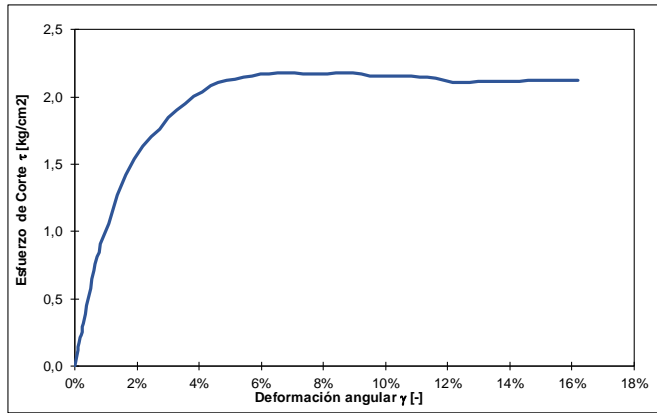
Deformación angular $\gamma$	Esf. corte $\tau$	Deformación vertical
-	kg/cm <sup>2</sup>	mm
0,00%	0,0000	0
0,03%	0,0427	0
0,05%	0,0801	0
0,08%	0,1175	0
0,11%	0,1388	-0,01
0,14%	0,1761	-0,02
0,16%	0,2134	-0,03
0,19%	0,2293	-0,04
0,22%	0,2558	-0,05
0,25%	0,2929	-0,06
0,27%	0,3195	-0,06
0,33%	0,3832	-0,07
0,38%	0,4468	-0,085
0,44%	0,5158	-0,09
0,49%	0,5739	-0,1
0,55%	0,6480	-0,11
0,60%	0,7111	-0,125
0,66%	0,7587	-0,13
0,71%	0,8115	-0,135
0,77%	0,8484	-0,14
0,82%	0,9063	-0,15
1,09%	1,0594	-0,16
1,37%	1,2706	-0,17
1,64%	1,4225	-0,19
1,91%	1,5372	-0,21
2,18%	1,6358	-0,23
2,46%	1,7087	-0,24
2,73%	1,7638	-0,27
3,00%	1,8471	-0,28
3,27%	1,9039	-0,29
3,54%	1,9502	-0,3
3,81%	2,0058	-0,32
4,08%	2,0362	-0,33
4,36%	2,0875	-0,34
4,63%	2,1067	-0,355
4,90%	2,1259	-0,37
5,17%	2,1352	-0,38
5,44%	2,1497	-0,39
5,71%	2,1538	-0,4
5,98%	2,1689	-0,405
6,25%	2,1735	-0,41
6,52%	2,1787	-0,41
6,79%	2,1775	-0,42
7,06%	2,1763	-0,43
7,33%	2,1705	-0,435
7,60%	2,1699	-0,44
7,87%	2,1739	-0,45
8,14%	2,1727	-0,46
8,41%	2,1773	-0,465
8,68%	2,1819	-0,47
8,95%	2,1755	-0,48
9,22%	2,1679	-0,5
9,48%	2,1563	-0,51
9,75%	2,1539	-0,53
10,29%	2,1533	-0,535
10,56%	2,1527	-0,54
10,83%	2,1515	-0,55
11,09%	2,1491	-0,57
11,36%	2,1467	-0,59
11,62%	2,1409	-0,595
11,89%	2,1248	-0,6
12,16%	2,1093	-0,6
12,43%	2,1087	-0,605
12,70%	2,1081	-0,61
12,97%	2,1184	-0,61
13,24%	2,1179	-0,615
13,51%	2,1173	-0,62
13,78%	2,1173	-0,62
14,05%	2,1173	-0,62
14,32%	2,1167	-0,625
14,58%	2,1212	-0,63
14,85%	2,1212	-0,63
15,12%	2,1212	-0,63
15,39%	2,1206	-0,635
15,66%	2,1206	-0,635
15,93%	2,1201	-0,64
16,20%	2,1201	-0,64

Datos		
Diametro	cm	7
Altura	cm	2
Peso	gr	142,88
Densidad humeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,86
Humedad inicial ( $w_i$ )	%	17,83%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,5754
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,733
Tensión vertical $\sigma_v$	kg/cm <sup>2</sup>	4
Gr. Compactación (PM)	%	75,52%
Velocidad deformación	mm/min	0,12
Deformación cons. vertical	mm	-1,5
Índice vacíos post-consolidación ( $e_f$ )	-	0,59

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w_i}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_i (1 + w_i) \gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post\_cons} = \frac{\Delta h}{h_i} (1 + e_i) + e_i$$





Proyecto	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
Muestra	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería
Probeta	Remoldeada

**Resultados Ensayo**

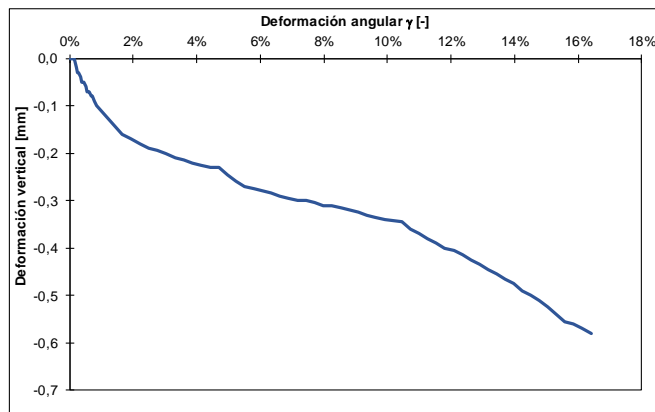
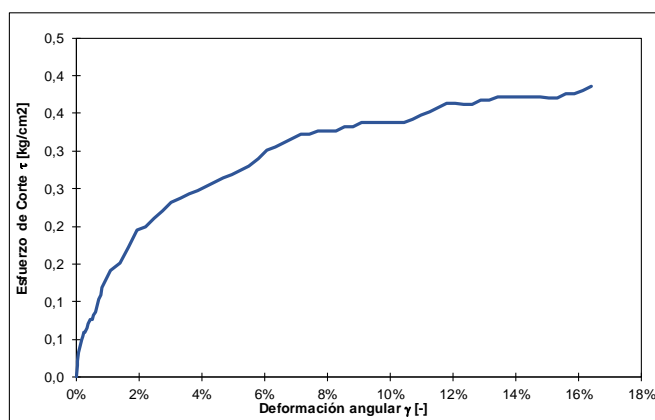
Deformación angular $\gamma$	Esf. corte $\tau$	Deformación vertical
%	kg/cm <sup>2</sup>	mm
0,00%	0,000	0
0,03%	0,016	0
0,06%	0,022	0
0,08%	0,033	0
0,11%	0,038	0
0,14%	0,044	0
0,17%	0,049	-0,01
0,19%	0,054	-0,02
0,22%	0,054	-0,02
0,25%	0,060	-0,03
0,28%	0,060	-0,03
0,33%	0,065	-0,04
0,39%	0,071	-0,05
0,44%	0,076	-0,05
0,50%	0,076	-0,06
0,55%	0,081	-0,07
0,61%	0,087	-0,07
0,66%	0,092	-0,08
0,72%	0,103	-0,08
0,78%	0,109	-0,09
0,83%	0,119	-0,1
1,11%	0,141	-0,12
1,38%	0,152	-0,14
1,66%	0,173	-0,16
1,93%	0,195	-0,17
2,21%	0,200	-0,18
2,49%	0,211	-0,19
2,76%	0,221	-0,195
3,04%	0,232	-0,2
3,31%	0,237	-0,21
3,59%	0,243	-0,215
3,86%	0,248	-0,22
4,14%	0,253	-0,225
4,41%	0,259	-0,23
4,69%	0,264	-0,23
4,96%	0,269	-0,245
5,24%	0,274	-0,26
5,51%	0,279	-0,27
5,79%	0,290	-0,275
6,06%	0,301	-0,28
6,34%	0,306	-0,285
6,61%	0,311	-0,29
6,89%	0,317	-0,295
7,16%	0,322	-0,3
7,44%	0,322	-0,3
7,71%	0,327	-0,305
7,98%	0,327	-0,31
8,26%	0,327	-0,31
8,53%	0,332	-0,315
8,81%	0,332	-0,32
9,08%	0,338	-0,325
9,36%	0,338	-0,33
9,63%	0,337	-0,335
9,90%	0,337	-0,34
10,45%	0,337	-0,345
10,72%	0,342	-0,36
10,99%	0,347	-0,37
11,27%	0,353	-0,38
11,54%	0,358	-0,39
11,81%	0,363	-0,4
12,08%	0,363	-0,405
12,35%	0,363	-0,415
12,63%	0,362	-0,425
12,90%	0,368	-0,435
13,17%	0,367	-0,445
13,44%	0,373	-0,455
13,71%	0,372	-0,465
13,98%	0,372	-0,475
14,25%	0,372	-0,49
14,52%	0,372	-0,5
14,79%	0,371	-0,51
15,05%	0,371	-0,525
15,32%	0,371	-0,54
15,59%	0,376	-0,555
15,86%	0,376	-0,56
16,13%	0,381	-0,57
16,40%	0,386	-0,58

Datos		
Diametro	cm	7
Altura	cm	2
Peso	gr	142,58
Densidad húmeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,85
Humedad inicial ( $w_i$ )	%	17,10%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,5819
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,726
Tensión vertical $c_v$	kg/cm <sup>2</sup>	0,5
Gr. Compactación (PM)	%	75,84%
Velocidad deformación	mm/min	0,12
Deformación cons. vertical	mm	-1,12
Índice vacíos post-consolidación ( $e_c$ )	-	0,63

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w_i}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + w_i)\gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post-cons} = \frac{\Delta h}{h_i}(1 + e_i) + e_i$$



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejera
<b>Probeta</b>	Remoldeada

**Resultados Ensayo**

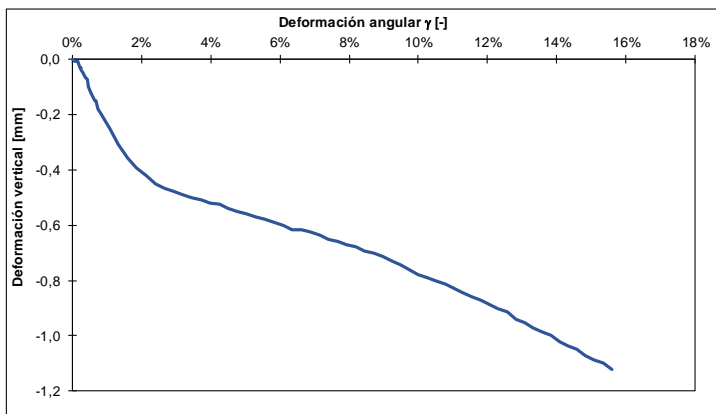
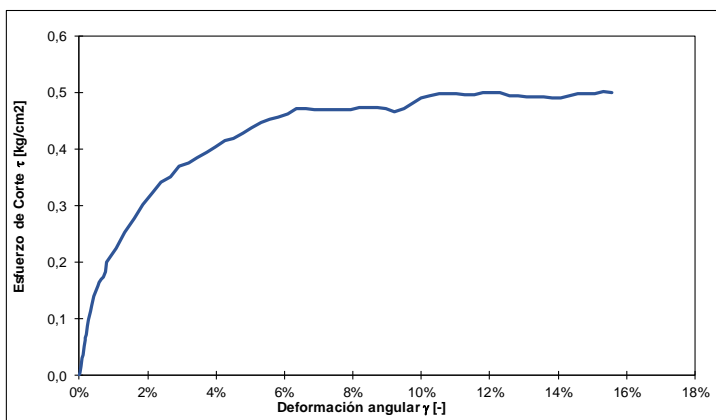
Deformación angular $\gamma$	Est. corte $\tau$	Deformación vertical
%	kg/cm <sup>2</sup>	mm
0,00%	0,000	0
0,03%	0,005	0
0,05%	0,016	0
0,08%	0,031	-0,01
0,11%	0,036	-0,01
0,14%	0,052	-0,01
0,16%	0,062	-0,01
0,19%	0,067	-0,02
0,22%	0,072	-0,03
0,24%	0,088	-0,03
0,27%	0,098	-0,04
0,32%	0,114	-0,05
0,38%	0,124	-0,065
0,43%	0,139	-0,075
0,49%	0,149	-0,1
0,54%	0,159	-0,12
0,59%	0,164	-0,135
0,65%	0,169	-0,15
0,70%	0,174	-0,15
0,75%	0,184	-0,18
0,81%	0,199	-0,195
1,07%	0,224	-0,25
1,34%	0,254	-0,31
1,60%	0,278	-0,36
1,87%	0,302	-0,395
2,13%	0,322	-0,42
2,40%	0,341	-0,45
2,66%	0,351	-0,465
2,93%	0,371	-0,48
3,19%	0,375	-0,49
3,46%	0,385	-0,5
3,72%	0,395	-0,51
3,98%	0,404	-0,52
4,25%	0,414	-0,525
4,51%	0,419	-0,54
4,78%	0,429	-0,55
5,04%	0,438	-0,56
5,30%	0,448	-0,57
5,57%	0,452	-0,58
5,83%	0,457	-0,59
6,09%	0,462	-0,6
6,35%	0,471	-0,615
6,62%	0,471	-0,615
6,88%	0,471	-0,625
7,14%	0,470	-0,635
7,40%	0,470	-0,65
7,66%	0,469	-0,66
7,92%	0,469	-0,67
8,19%	0,474	-0,68
8,45%	0,473	-0,695
8,71%	0,473	-0,7
8,97%	0,472	-0,715
9,22%	0,467	-0,73
9,48%	0,471	-0,745
10,00%	0,490	-0,78
10,26%	0,494	-0,79
10,51%	0,499	-0,8
10,77%	0,498	-0,815
11,03%	0,498	-0,83
11,28%	0,497	-0,845
11,54%	0,496	-0,86
11,80%	0,501	-0,87
12,05%	0,500	-0,885
12,31%	0,500	-0,9
12,56%	0,494	-0,915
12,81%	0,493	-0,94
13,07%	0,493	-0,95
13,32%	0,492	-0,97
13,57%	0,492	-0,985
13,83%	0,491	-1
14,08%	0,490	-1,02
14,33%	0,495	-1,035
14,58%	0,499	-1,05
14,83%	0,498	-1,07
15,08%	0,497	-1,085
15,33%	0,502	-1,1
15,58%	0,501	-1,12

Datos		
Díametro	cm	7
Altura	cm	1,55
Peso	gr	111,64
Densidad húmeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,87
Humedad inicial (wi)	%	17,41%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,5940
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,713
Tensión vertical cv	kg/cm <sup>2</sup>	1
Gr. Compactación (PM)	%	76,42%
Velocidad deformación	mm/min	0,12
Deformación cons. vertical	mm	-1,58
Índice vacíos post-consolidación ( $e_c$ )	-	0,52

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w_i}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + w_i)\gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post-cons} = \frac{\Delta h}{h_i}(1 + e_i) + e_i$$



Proyecto	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
Muestra	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería
Probeta	Remoldeada

Resultados Ensayo

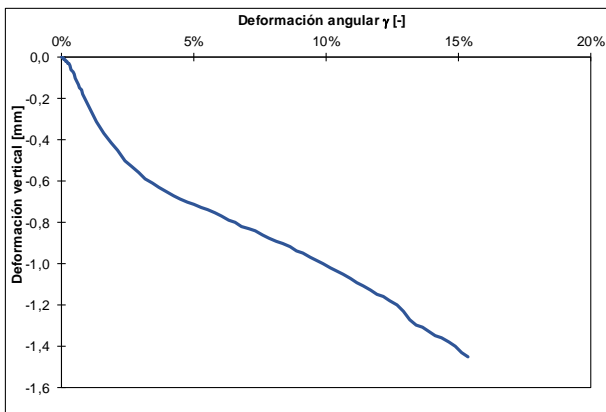
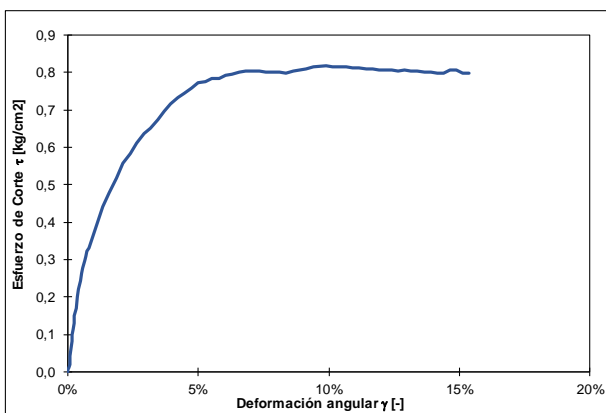
Deformación angular $\gamma$ %	Esf. corte $\tau$ kg/cm <sup>2</sup>	Deformación vertical mm
0,00%	0,000	0
0,03%	0,005	0
0,05%	0,010	0
0,08%	0,021	-0,01
0,11%	0,041	-0,01
0,14%	0,062	-0,01
0,16%	0,083	-0,02
0,19%	0,098	-0,02
0,22%	0,114	-0,02
0,24%	0,129	-0,03
0,27%	0,150	-0,03
0,32%	0,170	-0,04
0,38%	0,201	-0,06
0,43%	0,222	-0,07
0,49%	0,242	-0,08
0,54%	0,262	-0,1
0,59%	0,277	-0,12
0,65%	0,298	-0,13
0,70%	0,307	-0,15
0,75%	0,323	-0,16
0,81%	0,332	-0,18
1,07%	0,382	-0,25
1,34%	0,441	-0,31
1,60%	0,479	-0,37
1,87%	0,518	-0,415
2,13%	0,556	-0,45
2,39%	0,584	-0,5
2,65%	0,613	-0,53
2,92%	0,636	-0,56
3,18%	0,650	-0,59
3,44%	0,674	-0,61
3,70%	0,697	-0,63
3,96%	0,716	-0,65
4,22%	0,735	-0,67
4,48%	0,744	-0,685
4,75%	0,758	-0,7
5,01%	0,772	-0,71
5,27%	0,775	-0,73
5,53%	0,785	-0,74
5,79%	0,784	-0,755
6,05%	0,793	-0,77
6,31%	0,796	-0,79
6,57%	0,801	-0,8
6,82%	0,804	-0,82
7,08%	0,804	-0,83
7,34%	0,803	-0,84
7,60%	0,802	-0,86
7,86%	0,801	-0,875
8,11%	0,800	-0,89
8,37%	0,799	-0,9
8,63%	0,803	-0,92
8,88%	0,807	-0,94
9,14%	0,811	-0,95
9,39%	0,814	-0,97
9,90%	0,817	-1
10,16%	0,816	-1,02
10,41%	0,815	-1,035
10,67%	0,814	-1,05
10,92%	0,813	-1,07
11,17%	0,812	-1,09
11,42%	0,810	-1,11
11,67%	0,809	-1,13
11,92%	0,808	-1,15
12,17%	0,807	-1,16
12,42%	0,806	-1,18
12,67%	0,805	-1,2
12,92%	0,807	-1,23
13,15%	0,805	-1,27
13,40%	0,803	-1,3
13,65%	0,802	-1,31
13,89%	0,801	-1,33
14,14%	0,800	-1,35
14,39%	0,799	-1,36
14,64%	0,807	-1,38
14,88%	0,806	-1,4
15,12%	0,799	-1,43
15,36%	0,798	-1,45

Datos		
Diámetro	cm	7
Altura	cm	1,55
Peso	gr	112,24
Densidad húmeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,88
Humedad inicial ( $w_i$ )	%	17,12%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,6066
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,699
Tensión vertical $\sigma_v$	kg/cm <sup>2</sup>	2
Gr. Compactación (PM)	%	77,02%
Velocidad deformación	mm/min	0,12
Deformación cons. vertical	mm	-1,6
Índice vacíos post-consolidación	-	0,51

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w_i}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + w_i)\gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post-cons} = \frac{\Delta h}{h_i}(1 + e_i) + e_i$$



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejera
<b>Probeta</b>	Remoldeada

**Resultados Ensayo**

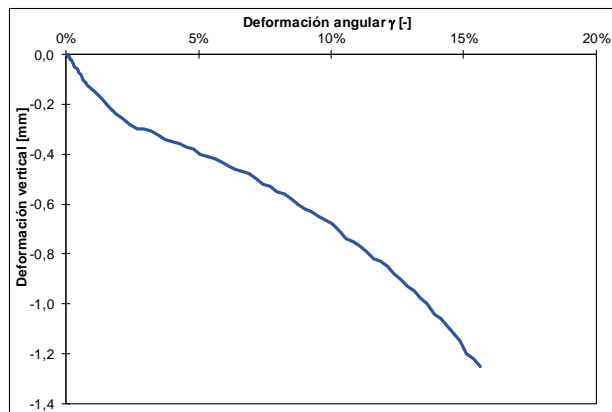
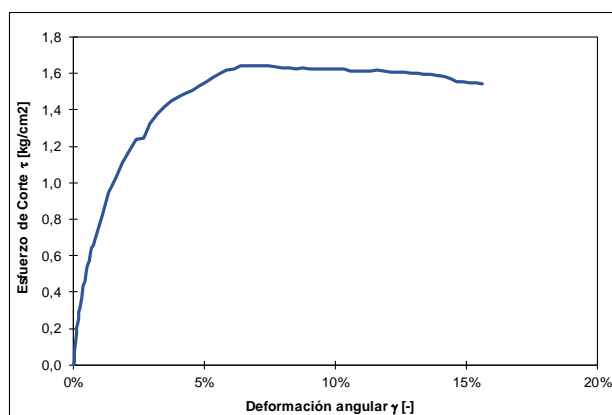
Deformación angular $\gamma$	Esf. corte $\tau$	Deformación vertical
%	kg/cm <sup>2</sup>	mm
0,00%	0,000	0
0,03%	0,015	0
0,05%	0,077	-0,01
0,08%	0,124	-0,01
0,11%	0,175	-0,01
0,13%	0,201	-0,02
0,16%	0,227	-0,02
0,19%	0,257	-0,02
0,22%	0,288	-0,03
0,24%	0,309	-0,03
0,27%	0,339	-0,04
0,32%	0,370	-0,05
0,38%	0,432	-0,055
0,43%	0,462	-0,06
0,48%	0,508	-0,07
0,54%	0,544	-0,08
0,59%	0,574	-0,09
0,65%	0,615	-0,1
0,70%	0,640	-0,11
0,75%	0,661	-0,115
0,81%	0,686	-0,125
1,08%	0,818	-0,15
1,34%	0,949	-0,18
1,61%	1,029	-0,21
1,88%	1,109	-0,24
2,14%	1,179	-0,255
2,41%	1,238	-0,28
2,68%	1,247	-0,3
2,94%	1,328	-0,3
3,21%	1,378	-0,305
3,48%	1,422	-0,325
3,74%	1,451	-0,34
4,01%	1,471	-0,35
4,27%	1,490	-0,36
4,54%	1,510	-0,37
4,81%	1,534	-0,38
5,07%	1,552	-0,4
5,34%	1,577	-0,41
5,60%	1,601	-0,42
5,87%	1,620	-0,43
6,13%	1,623	-0,45
6,39%	1,642	-0,46
6,66%	1,641	-0,47
6,92%	1,645	-0,48
7,19%	1,644	-0,5
7,45%	1,642	-0,52
7,71%	1,636	-0,53
7,97%	1,634	-0,55
8,24%	1,633	-0,56
8,50%	1,626	-0,58
8,76%	1,629	-0,6
9,02%	1,627	-0,62
9,28%	1,626	-0,63
9,54%	1,624	-0,65
10,06%	1,627	-0,68
10,32%	1,624	-0,71
10,57%	1,616	-0,74
10,83%	1,615	-0,75
11,09%	1,613	-0,77
11,35%	1,611	-0,79
11,60%	1,618	-0,82
11,86%	1,612	-0,83
12,12%	1,610	-0,85
12,37%	1,608	-0,88
12,63%	1,606	-0,9
12,88%	1,603	-0,93
13,13%	1,601	-0,95
13,38%	1,598	-0,98
13,64%	1,596	-1
13,88%	1,588	-1,04
14,14%	1,586	-1,06
14,39%	1,573	-1,09
14,63%	1,556	-1,12
14,88%	1,553	-1,15
15,12%	1,548	-1,2
15,37%	1,547	-1,22
15,62%	1,544	-1,25

Datos		
Diametro	cm	7
Altura	cm	2
Peso	gr	142,88
Densidad húmeda ( $\rho_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,86
Humedad inicial ( $w_i$ )	%	16,54%
Densidad seca ( $\rho_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,5929
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,714
Tensión vertical $\sigma_v$	kg/cm <sup>2</sup>	4
Gr. Compactación (PM)	%	76,36%
Velocidad deformación	mm/min	0,12
Deformación cons. vertical	mm	-2,15
Índice vacíos post-consolidación	-	0,50

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + \omega_t}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + \omega_t)\gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post-cons} = \frac{\Delta h}{h_t}(1 + e_t) + e_t$$



# Ensayos CIU

<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería
<b>Probeta</b>	Segunda depositación en laboratorio- 2 Ciclos de depositación

Datos		
Diámetro Superior	cm	5,02
Diámetro Medio	cm	5,04
Diámetro Inferior	cm	5,03
Altura	cm	10,31
Peso	gr	392,7
Densidad húmeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,917
Humedad inicial ( $w_i$ )	%	13,10%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,69
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,627
Índice vacíos post cons. ( $e_r$ )	-	0,610
Presión de cámara efectiva	kg/cm <sup>2</sup>	1
B-value	%	95,00%
Gr. Compactación (PM)	%	81,25%
Velocidad deformación	mm/min	0,13

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + \omega_t}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + \omega_t)\gamma_w - 1}{\gamma_t}$$

$$e_{post\_cons} = \frac{V_f - V_i + \omega_r \cdot W_d}{W_d} G_s$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

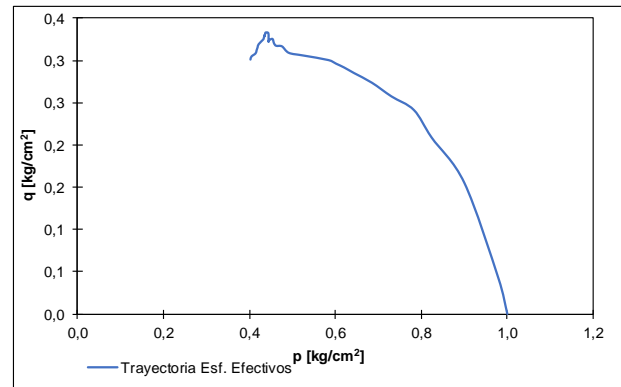
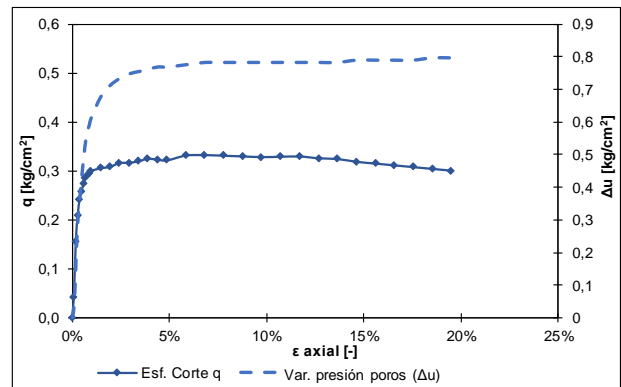
$$p = \frac{\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3}{3} \quad p' = p - \Delta u$$

## Consolidación

Tiempo	Volumen
	[cm <sup>3</sup> ]
0	16
0:00:06	14,2
0:00:15	13,8
0:00:30	13,6
0:01:00	13,5
0:02:15	13,4
0:04:00	13,3
0:06:15	13,2
0:09:00	13,2
0:12:15	13,2
0:16:00	13,2
0:20:15	13,2
0:25:00	13,1
0:40:00	13,1
1:00:00	13
1:30:00	12,8
2:00:00	12,8

## Resultados Ensayo

Deformación axial	Esf. medio efectivo p'	Esf. Corte q	Var. presión poros ( $\Delta u$ )
%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0,00%	1,000	0,000	0
0,10%	0,979	0,042	0,049
0,19%	0,900	0,155	0,203
0,29%	0,824	0,208	0,315
0,39%	0,783	0,241	0,378
0,49%	0,730	0,257	0,441
0,58%	0,685	0,273	0,497
0,68%	0,644	0,285	0,546
0,78%	0,620	0,291	0,574
0,88%	0,602	0,296	0,595
0,97%	0,584	0,300	0,616
1,46%	0,525	0,306	0,679
1,95%	0,492	0,309	0,714
2,44%	0,476	0,316	0,735
2,92%	0,462	0,317	0,749
3,41%	0,457	0,320	0,756
3,90%	0,454	0,325	0,763
4,39%	0,446	0,323	0,77
4,87%	0,445	0,322	0,77
5,85%	0,444	0,332	0,777
6,82%	0,438	0,333	0,784
7,80%	0,437	0,331	0,784
8,77%	0,436	0,330	0,784
9,75%	0,435	0,329	0,784
10,72%	0,435	0,329	0,784
11,70%	0,436	0,330	0,784
12,67%	0,433	0,326	0,784
13,65%	0,432	0,325	0,784
14,62%	0,422	0,319	0,791
15,60%	0,419	0,315	0,791
16,57%	0,417	0,312	0,791
17,55%	0,414	0,308	0,791
18,52%	0,405	0,304	0,798
19,50%	0,402	0,301	0,798



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejera
<b>Probeta</b>	Segunda depositación en laboratorio- 2 Ciclos de depositación

Datos		
Diametro Superior	cm	5,03
Diámetro Medio	cm	5,04
Diametro Inferior	cm	5,01
Altura	cm	10,08
Peso	gr	385,06
Densidad húmeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,925
Humedad inicial ( $w_i$ )	%	13,33%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,70
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,619
Índice vacíos post cons. ( $e_c$ )	-	0,583
Presión de cámara efectiva	kg/cm <sup>2</sup>	2
B-value	%	95,30%
Gr. Compactación (PM)	%	81,43%
Velocidad deformación	mm/min	0,13

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w_i}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + w_i)\gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post\_cons} = \frac{V_f - V_i + \omega_r \cdot W_d}{W_d} G_s$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

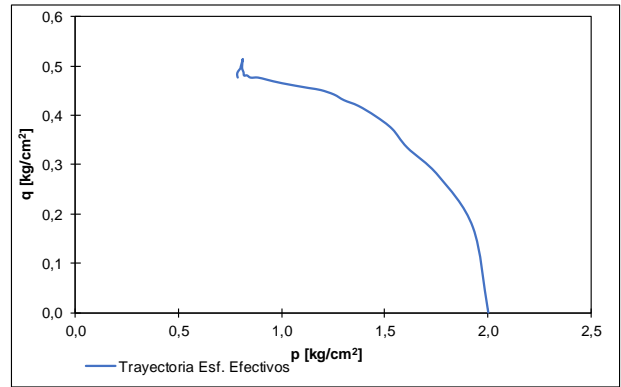
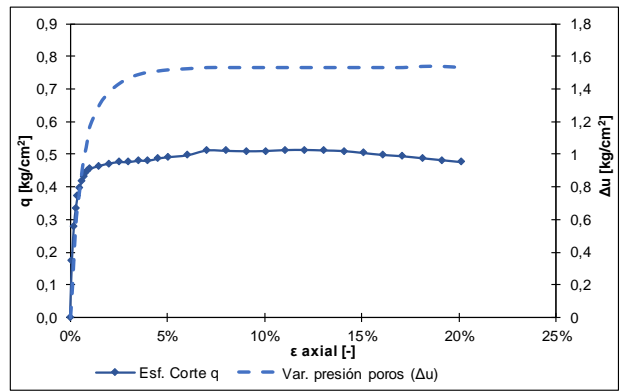
$$p = \frac{\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3}{3} \quad p' = p - \Delta u$$

### Consolidación

Tiempo	Volumen
	[cm <sup>3</sup> ]
0	20
0:00:06	16,5
0:00:15	15,5
0:00:30	14,5
0:01:00	13,5
0:02:15	12,8
0:04:00	12,5
0:06:15	12,5
0:09:00	12,5
0:12:15	12,5
0:16:00	12,4
0:20:15	12,4
0:25:00	12,3
0:40:00	12,2
1:00:00	12
1:30:00	11,5
2:00:00	

### Resultados Ensayo

Deformación axial	Esf. medio efectivo p'	Esf. Corte q	Var. presión poros ( $\Delta u$ )
%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0	2,00	0,00	0
0,10%	1,926	0,172	0,189
0,20%	1,758	0,277	0,427
0,30%	1,607	0,334	0,616
0,40%	1,534	0,372	0,714
0,50%	1,453	0,398	0,812
0,60%	1,369	0,419	0,91
0,70%	1,300	0,430	0,987
0,80%	1,252	0,442	1,043
0,91%	1,188	0,451	1,113
1,01%	1,127	0,455	1,176
1,51%	1,001	0,465	1,309
2,01%	0,928	0,472	1,386
2,52%	0,882	0,476	1,435
3,02%	0,847	0,476	1,47
3,52%	0,829	0,480	1,491
4,02%	0,815	0,480	1,505
4,53%	0,813	0,487	1,512
5,03%	0,808	0,491	1,519
6,04%	0,805	0,497	1,526
7,04%	0,808	0,512	1,533
8,05%	0,808	0,511	1,533
9,06%	0,807	0,510	1,533
10,06%	0,807	0,510	1,533
11,07%	0,809	0,513	1,533
12,07%	0,809	0,514	1,533
13,08%	0,808	0,512	1,533
14,09%	0,807	0,510	1,533
15,09%	0,803	0,504	1,533
16,10%	0,799	0,498	1,533
17,10%	0,796	0,494	1,533
18,11%	0,785	0,488	1,54
19,12%	0,781	0,482	1,54
20,12%	0,784	0,476	1,533



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería
<b>Probeta</b>	Segunda depositación en laboratorio- 2 Ciclos de depositación

Datos		
Diametro Superior	cm	5,02
Diámetro Medio	cm	5,02
Diametro Inferior	cm	5,04
Altura	cm	10,3
Peso	gr	392,78
Densidad húmeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,922
Humedad inicial ( $w_i$ )	%	13,59%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,69
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,626
Índice vacíos post cons. ( $e_c$ )	-	0,557
Presión de cámara efectiva	kg/cm <sup>2</sup>	4
B-value	%	99,10%
Gr. Compactación (PM)	%	81,10%
Velocidad deformación	mm/min	0,13

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w_i}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + w_i)\gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post\_cons} = \frac{V_f - V_i + \omega_r \cdot W_d}{W_d} G_s$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

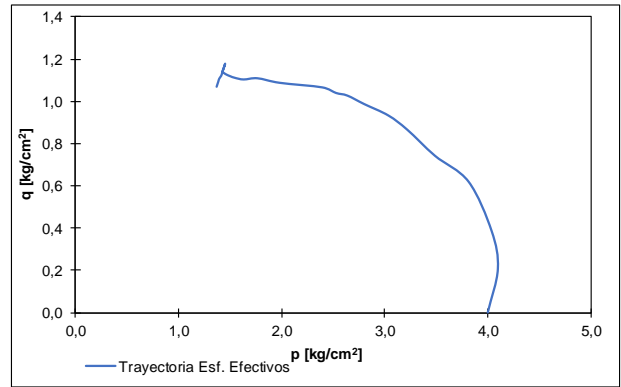
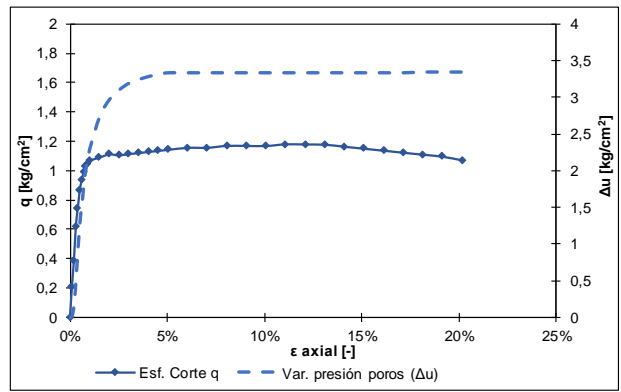
$$p = \frac{\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3}{3} \quad p' = p - \Delta u$$

### Consolidación

Tiempo	Volumen
	[cm <sup>3</sup> ]
0	20
0:00:06	14,5
0:00:15	11,5
0:00:30	9,2
0:01:00	7,5
0:02:15	6,2
0:04:00	5,2
0:06:15	4
0:09:00	3,5
0:12:15	2,3
0:16:00	1,6
0:20:15	1
0:25:00	0,2
0:40:00	18,8
1:00:00	17,5
1:30:00	16,5
2:00:00	

### Resultados Ensayo

Deformación axial	Esf. medio efectivo p'	Esf. Corte q	Var. presión poros ( $\Delta u$ )
%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0,00%	4,000	0,000	0
0,10%	4,098	0,207	0,04
0,20%	4,038	0,386	0,22
0,30%	3,814	0,620	0,6
0,40%	3,486	0,744	1,01
0,50%	3,218	0,867	1,36
0,60%	3,033	0,935	1,59
0,71%	2,799	0,989	1,86
0,81%	2,636	1,029	2,05
0,91%	2,524	1,041	2,17
1,01%	2,392	1,068	2,32
1,51%	1,976	1,090	2,75
2,02%	1,761	1,111	2,98
2,52%	1,627	1,105	3,11
3,02%	1,542	1,113	3,2
3,53%	1,497	1,121	3,25
4,03%	1,462	1,128	3,29
4,54%	1,437	1,135	3,32
5,04%	1,422	1,142	3,34
6,05%	1,431	1,156	3,34
7,06%	1,431	1,157	3,34
8,06%	1,440	1,170	3,34
9,07%	1,440	1,169	3,34
10,08%	1,439	1,169	3,34
11,09%	1,447	1,180	3,34
12,10%	1,446	1,179	3,34
13,11%	1,445	1,178	3,34
14,11%	1,436	1,164	3,34
15,12%	1,427	1,150	3,34
16,13%	1,418	1,137	3,34
17,14%	1,409	1,123	3,34
18,15%	1,390	1,109	3,35
19,15%	1,380	1,096	3,35
20,16%	1,364	1,071	3,35



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería
<b>Probeta</b>	Segunda deposición en laboratorio- 2 Ciclos de deposición

Datos		
Dímetro Superior	cm	5,02
Diámetro Medio	cm	5,01
Diámetro Inferior	cm	5,01
Altura	cm	10,33
Peso	gr	391,14
Densidad húmeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,918
Humedad inicial ( $w_i$ )	%	13,39%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,69
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,626
Índice vacíos post cons. ( $e_c$ )	-	0,536
Presión de cámara efectiva	kg/cm <sup>2</sup>	6
B-value	%	95,42%
Gr. Compactación (PM)	%	81,10%
Velocidad deformación	mm/min	0,13

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w_i}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + w_i)\gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post-cons} = \frac{V_f - V_i + \omega_r \cdot W_d}{W_d} G_s$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

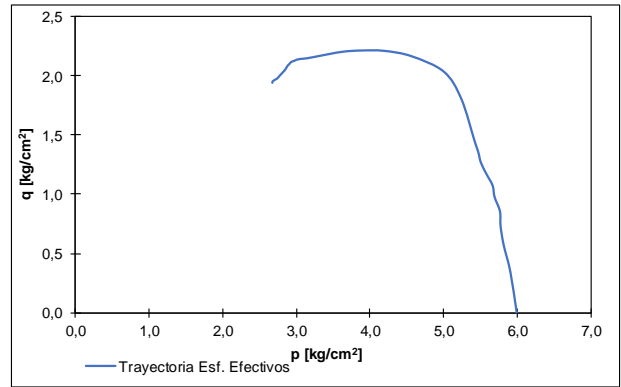
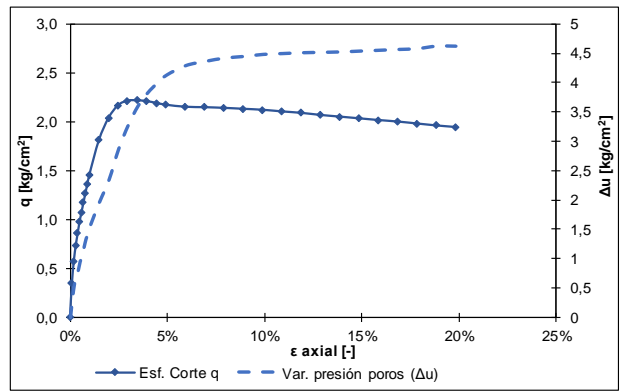
$$p = \frac{\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3}{3} \quad p' = p - \Delta u$$

### Consolidación

Tiempo	Volumen
	[cm <sup>3</sup> ]
0	20
0:00:06	14
0:00:15	12
0:00:30	10,5
0:01:00	9,5
0:02:15	8,5
0:04:00	8
0:06:15	7,8
0:09:00	7,2
0:12:15	7
0:16:00	7
0:20:15	6,8
0:25:00	6,5
0:40:00	6,2
1:00:00	6
1:30:00	5,5
2:00:00	

### Resultados Ensayo

Deformación axial	Esf. medio efectivo p'	Esf. Corte q	Var. presión poros ( $\Delta u$ )
%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0,00%	6,000	0,000	0
0,10%	5,914	0,343	0,315
0,20%	5,822	0,573	0,56
0,30%	5,780	0,731	0,707
0,40%	5,772	0,855	0,798
0,50%	5,699	0,976	0,952
0,59%	5,672	1,073	1,043
0,69%	5,589	1,169	1,19
0,79%	5,513	1,265	1,33
0,89%	5,476	1,356	1,428
0,99%	5,426	1,450	1,54
1,49%	5,245	1,807	1,96
1,98%	5,011	2,034	2,345
2,48%	4,573	2,165	2,87
2,97%	4,198	2,211	3,276
3,47%	3,878	2,214	3,598
3,96%	3,648	2,205	3,822
4,46%	3,467	2,186	3,99
4,96%	3,315	2,168	4,13
5,95%	3,141	2,148	4,291
6,94%	3,068	2,143	4,361
7,93%	3,007	2,136	4,417
8,92%	2,973	2,127	4,445
9,91%	2,931	2,117	4,48
10,90%	2,906	2,100	4,494
11,89%	2,882	2,085	4,508
12,88%	2,861	2,064	4,515
13,87%	2,843	2,047	4,522
14,87%	2,817	2,029	4,536
15,86%	2,791	2,012	4,55
16,85%	2,767	1,997	4,564
17,84%	2,740	1,977	4,578
18,83%	2,685	1,957	4,62
19,82%	2,674	1,941	4,62





<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería
<b>Probeta</b>	Tercera deposición en laboratorio- 3 Ciclos de deposición

Datos		
Díametro Superior	cm	5
Díametro Medio	cm	5,02
Díametro Inferior	cm	5,07
Altura	cm	10,22
Peso	gr	388,33
Densidad húmeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,912
Humedad inicial ( $w_i$ )	%	15,00%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,66
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,642
Índice vacíos post cons. ( $e_c$ )	-	0,630
Presión de cámara efectiva	kg/cm <sup>2</sup>	1
B-value	%	98,90%
Gr. Compactación (PM)	%	79,71%
Velocidad deformación	mm/min	0,13

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w_i}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + w_i)\gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post-cons} = \frac{V_f - V_i + \omega_r \cdot W_d}{W_d} G_s$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

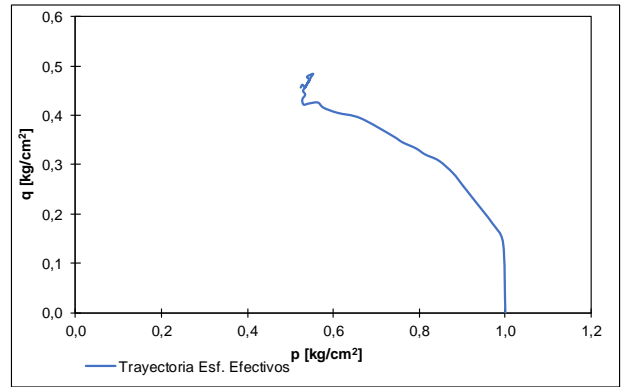
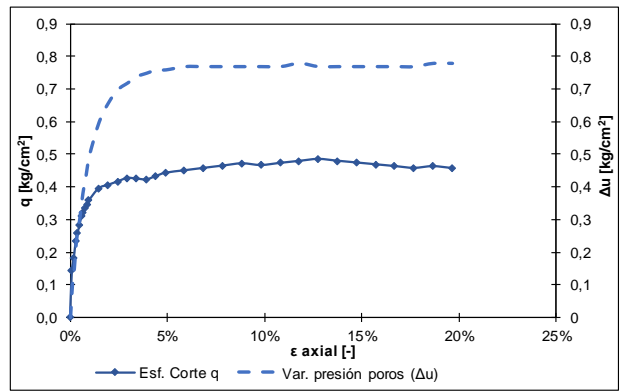
$$p = \frac{\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3}{3} \quad p' = p - \Delta u$$

### Consolidación

Tiempo	Volumen
	[cm <sup>3</sup> ]
0	22
0:00:06	21
0:00:15	20,5
0:00:30	20
0:01:00	20
0:02:15	19,8
0:04:00	19,6
0:06:15	19,6
0:09:00	19,6
0:12:15	19,6
0:16:00	19,6
0:20:15	19,5
0:25:00	19,5
0:40:00	19,5
1:00:00	19,5
1:30:00	
2:00:00	

### Resultados Ensayo

Deformación axial	Esf. medio efectivo p'	Esf. Corte q	Var. presión poros ( $\Delta u$ )
%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0,00%	1,000	0,000	0
0,10%	0,995	0,142	0,1
0,20%	0,970	0,180	0,15
0,29%	0,925	0,232	0,23
0,39%	0,902	0,257	0,27
0,49%	0,878	0,283	0,31
0,59%	0,845	0,308	0,36
0,69%	0,814	0,321	0,4
0,79%	0,792	0,333	0,43
0,88%	0,760	0,346	0,47
0,98%	0,739	0,358	0,5
1,47%	0,663	0,394	0,6
1,96%	0,610	0,405	0,66
2,46%	0,577	0,416	0,7
2,95%	0,564	0,426	0,72
3,44%	0,543	0,424	0,74
3,93%	0,531	0,422	0,75
4,42%	0,528	0,432	0,76
4,91%	0,535	0,442	0,76
5,89%	0,530	0,450	0,77
6,88%	0,535	0,457	0,77
7,86%	0,539	0,464	0,77
8,84%	0,544	0,471	0,77
9,82%	0,541	0,466	0,77
10,81%	0,545	0,472	0,77
11,79%	0,539	0,478	0,78
12,77%	0,553	0,484	0,77
13,75%	0,549	0,479	0,77
14,74%	0,546	0,473	0,77
15,72%	0,542	0,468	0,77
16,70%	0,538	0,463	0,77
17,68%	0,535	0,457	0,77
18,67%	0,528	0,462	0,78
19,65%	0,524	0,457	0,78



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejera
<b>Probeta</b>	Tercera deposición en laboratorio- 3 Ciclos de deposición

Datos		
Dímetro Superior	cm	5,01
Diámetro Medio	cm	5,02
Diámetro Inferior	cm	5
Altura	cm	10,29
Peso	gr	389,02
Densidad húmeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,918
Humedad inicial ( $w_i$ )	%	14,87%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,67
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,635
Índice vacíos post cons. ( $e_r$ )	-	0,628
Presión de cámara efectiva	kg/cm <sup>2</sup>	2
B-value	%	95,30%
Gr. Compactación (PM)	%	80%
Velocidad deformación	mm/min	0,13

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w_i}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + w_i)\gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post-cons} = \frac{V_f - V_i + \omega_r \cdot W_d}{W_d} G_s$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

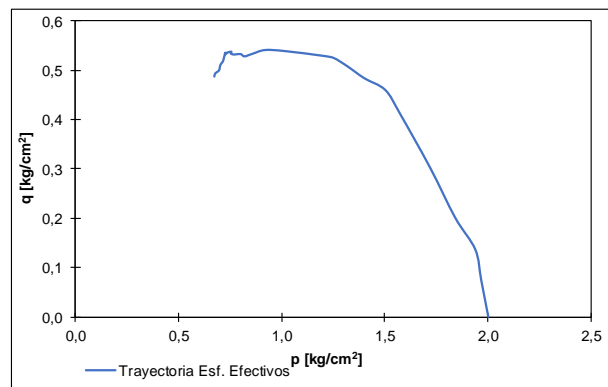
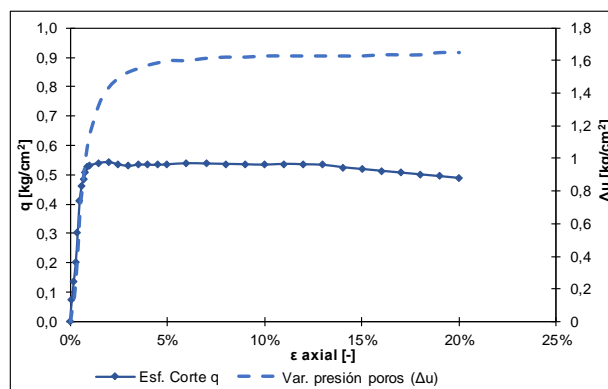
$$p = \frac{\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3}{3} \quad p' = p - \Delta u$$

### Consolidación

Tiempo	Volumen
	[cm <sup>3</sup> ]
0	24
0:00:06	21
0:00:15	19,5
0:00:30	18,5
0:01:00	17
0:02:15	15,9
0:04:00	15
0:06:15	14,5
0:09:00	14
0:12:15	13,2
0:16:00	12,8
0:20:15	12
0:25:00	11,5
0:40:00	9,5
1:00:00	7,8
1:30:00	5,5
2:00:00	

### Resultados Ensayo

Deformación axial	Esf. medio efectivo p'	Esf. Corte q	Var. presión poros ( $\Delta u$ )
%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0,00%	2,000	0,000	0
0,10%	1,966	0,075	0,084
0,20%	1,937	0,137	0,154
0,30%	1,840	0,201	0,294
0,40%	1,719	0,302	0,483
0,50%	1,574	0,411	0,7
0,60%	1,502	0,460	0,805
0,70%	1,399	0,484	0,924
0,80%	1,317	0,508	1,022
0,90%	1,251	0,525	1,099
1,00%	1,198	0,530	1,155
1,50%	1,015	0,539	1,344
2,00%	0,919	0,541	1,442
2,50%	0,858	0,534	1,498
3,00%	0,819	0,529	1,533
3,50%	0,801	0,533	1,554
4,01%	0,780	0,533	1,575
4,51%	0,766	0,532	1,589
5,01%	0,753	0,534	1,603
6,01%	0,756	0,538	1,603
7,01%	0,741	0,537	1,617
8,01%	0,733	0,536	1,624
9,01%	0,732	0,534	1,624
10,01%	0,724	0,533	1,631
11,01%	0,726	0,536	1,631
12,02%	0,725	0,534	1,631
13,02%	0,724	0,532	1,631
14,02%	0,718	0,524	1,631
15,02%	0,714	0,518	1,631
16,02%	0,703	0,512	1,638
17,02%	0,699	0,506	1,638
18,02%	0,695	0,500	1,638
19,03%	0,677	0,494	1,652
20,03%	0,673	0,487	1,652



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería
<b>Probeta</b>	Tercera deposición en laboratorio- 3 Ciclos de deposición

Datos		
Diametro Superior	cm	5
Diámetro Medio	cm	5
Diametro Inferior	cm	5,01
Altura	cm	10,29
Peso	gr	391,37
Densidad húmeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,934
Humedad inicial (wi)	%	14,77%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,69
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,632
Índice vacíos post cons. ( $e_c$ )	-	0,583
Presión de cámara efectiva	kg/cm <sup>2</sup>	4
B-value	%	95,56%
Gr. Compactación (PM)	%	81%
Velocidad deformación	mm/min	0,13

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + \omega_i}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + \omega_i)\gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post-cons} = \frac{V_f - V_i + \omega_r \cdot W_d}{W_d} G_s$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

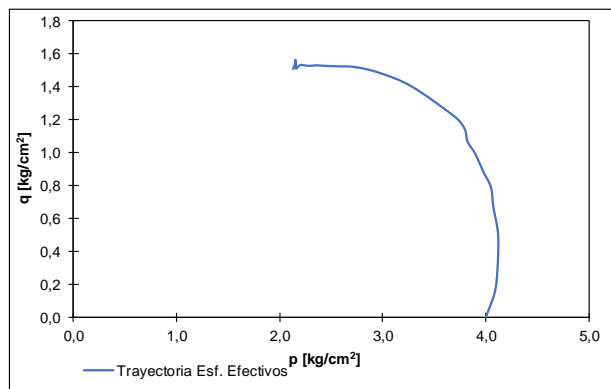
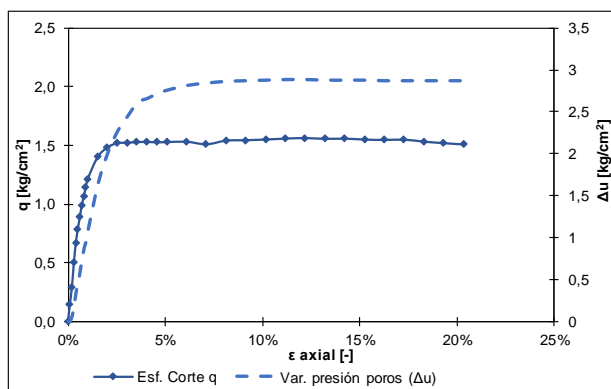
$$p = \frac{\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3}{3} \quad p' = p - \Delta u$$

### Consolidación

Tiempo	Volumen
	[cm <sup>3</sup> ]
0	20
0:00:06	17,5
0:00:15	16
0:00:30	14,5
0:01:00	13,5
0:02:15	13
0:04:00	13
0:06:15	12,9
0:09:00	12,9
0:12:15	12,8
0:16:00	12,6
0:20:15	12,6
0:25:00	12,6
0:40:00	12,5
1:00:00	12,5
1:30:00	12
2:00:00	

### Resultados Ensayo

Deformación axial	Esf. medio efectivo p'	Esf. Corte q	Var. presión poros ( $\Delta u$ )
%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0,00%	4,000	0,000	0
0,10%	4,084	0,147	0,014
0,20%	4,112	0,293	0,084
0,30%	4,117	0,501	0,217
0,41%	4,070	0,672	0,378
0,51%	4,048	0,786	0,476
0,61%	3,969	0,888	0,623
0,71%	3,896	0,989	0,763
0,81%	3,821	1,064	0,889
0,91%	3,794	1,140	0,966
1,02%	3,702	1,212	1,106
1,52%	3,280	1,399	1,652
2,03%	2,965	1,482	2,023
2,54%	2,729	1,517	2,282
3,05%	2,557	1,522	2,457
3,56%	2,399	1,526	2,618
4,07%	2,352	1,528	2,667
4,57%	2,293	1,525	2,723
5,08%	2,252	1,526	2,765
6,10%	2,198	1,529	2,821
7,12%	2,156	1,508	2,849
8,13%	2,156	1,539	2,87
9,15%	2,151	1,543	2,877
10,17%	2,148	1,548	2,884
11,18%	2,146	1,556	2,891
12,20%	2,150	1,561	2,891
13,22%	2,152	1,554	2,884
14,23%	2,153	1,556	2,884
15,25%	2,148	1,548	2,884
16,27%	2,153	1,545	2,877
17,28%	2,154	1,547	2,877
18,30%	2,143	1,530	2,877
19,32%	2,135	1,517	2,877
20,33%	2,127	1,506	2,877



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería
<b>Probeta</b>	Tercera deposición en laboratorio- 3 Ciclos de deposición

Datos		
Díametro Superior	cm	5,03
Díametro Medio	cm	5,04
Díametro Inferior	cm	5,01
Altura	cm	10,08
Peso	gr	385,06
Densidad húmeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,925
Humedad inicial ( $w_i$ )	%	14,20%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,69
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,631
Índice vacíos post cons. ( $e_r$ )	-	0,576
Presión de cámara efectiva	kg/cm <sup>2</sup>	6
B-value	%	95,30%
Gr. Compactación (PM)	%	81%
Velocidad deformación	mm/min	0,13

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w_i}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + w_i)\gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post-cons} = \frac{V_f - V_i + \omega_r \cdot W_d}{W_d} G_s$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

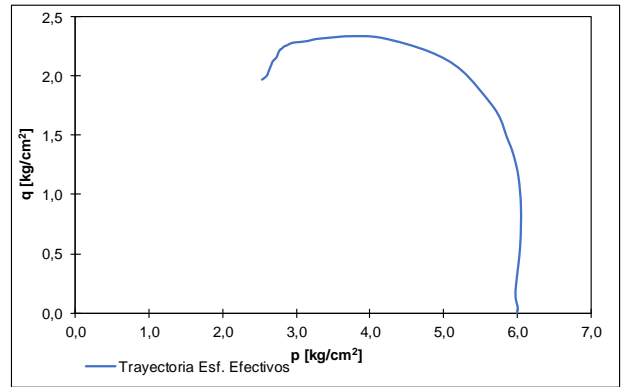
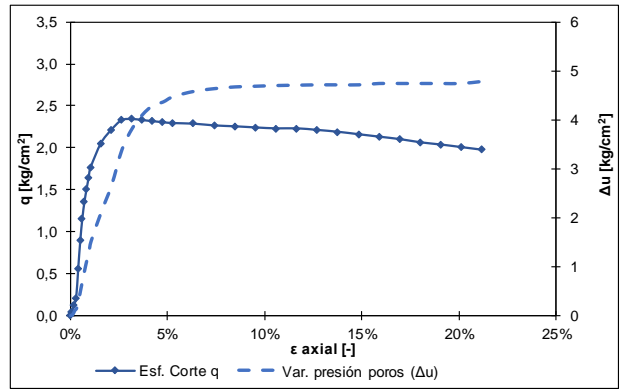
$$p = \frac{\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3}{3} \quad p' = p - \Delta u$$

### Consolidación

Tiempo	Volumen
	[cm <sup>3</sup> ]
0	22
0:00:06	15
0:00:15	12,5
0:00:30	10,5
0:01:00	8,5
0:02:15	5
0:04:00	1,5
0:06:15	20
0:09:00	16
0:12:15	11,5
0:16:00	7
0:20:15	4,5
0:25:00	1,9
0:40:00	15
1:00:00	11,5
1:30:00	11
2:00:00	

### Resultados Ensayo

Deformación axial	Esf. medio efectivo p'	Esf. Corte q	Var. presión poros ( $\Delta u$ )
%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0,00%	6,000	0,000	0
0,11%	6,012	0,039	0,014
0,21%	5,984	0,123	0,098
0,32%	5,983	0,206	0,154
0,42%	6,043	0,558	0,329
0,53%	6,055	0,891	0,539
0,64%	6,020	1,153	0,749
0,74%	5,947	1,349	0,952
0,85%	5,857	1,497	1,141
0,95%	5,780	1,633	1,309
1,06%	5,655	1,761	1,519
1,59%	5,247	2,051	2,121
2,12%	4,806	2,210	2,667
2,65%	4,162	2,325	3,388
3,18%	3,738	2,340	3,822
3,71%	3,449	2,327	4,102
4,24%	3,252	2,314	4,291
4,77%	3,173	2,301	4,361
5,30%	3,054	2,291	4,473
6,36%	2,945	2,284	4,578
7,42%	2,875	2,263	4,634
8,48%	2,833	2,253	4,669
9,54%	2,810	2,239	4,683
10,60%	2,788	2,228	4,697
11,66%	2,782	2,228	4,704
12,72%	2,762	2,209	4,711
13,78%	2,747	2,187	4,711
14,84%	2,728	2,158	4,711
15,90%	2,680	2,129	4,739
16,96%	2,661	2,099	4,739
18,02%	2,635	2,061	4,739
19,08%	2,617	2,035	4,739
20,14%	2,597	2,003	4,739
21,20%	2,534	1,972	4,781



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería
<b>Probeta</b>	Remoldeada

Datos		
Dímetro Superior	cm	5,04
Diámetro Medio	cm	5,04
Diámetro Inferior	cm	5,04
Altura	cm	10
Peso	gr	382,4
Densidad húmeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,917
Humedad inicial ( $w_i$ )	%	13,20%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,69
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,624
Índice vacíos post cons. ( $e_c$ )	-	0,560
Presión de cámara efectiva	kg/cm <sup>2</sup>	1
B-value	%	99,50%
Gr. Compactación (PM)	%	81,17%
Velocidad deformación	mm/min	0,13

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w_i}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + w_i)\gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post-cons} = \frac{V_f - V_i + \omega_r \cdot W_d}{W_d} G_s$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

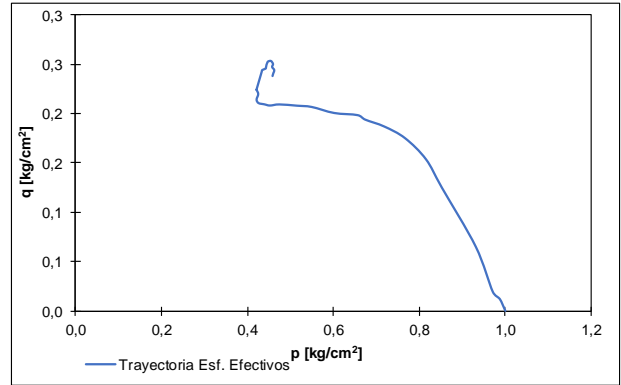
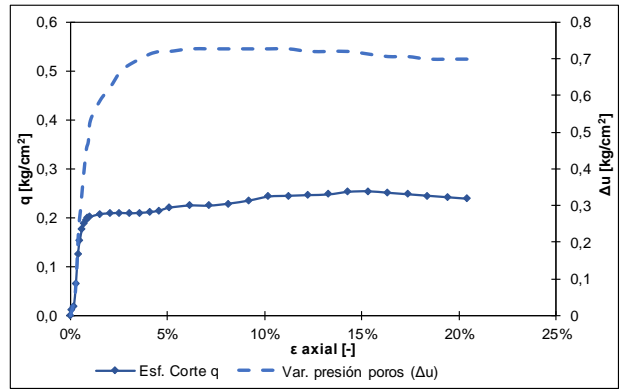
$$p = \frac{\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3}{3} \quad p' = p - \Delta u$$

### Consolidación

Tiempo	Volumen
	[cm <sup>3</sup> ]
0	20
0:00:06	16,5
0:00:15	15
0:00:30	13,5
0:01:00	11,5
0:02:15	9
0:04:00	8,5
0:06:15	8
0:09:00	7,9
0:12:15	7,8
0:16:00	7,7
0:20:15	7,6
0:25:00	7,5
0:40:00	7,5
1:00:00	7,5
1:30:00	7,5
2:00:00	7,4

### Resultados Ensayo

Deformación axial	Esf. medio efectivo p'	Esf. Corte q	Var. presión poros ( $\Delta u$ )
%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0,00%	1,000	0,000	0
0,10%	0,987	0,012	0,021
0,20%	0,971	0,019	0,042
0,31%	0,931	0,065	0,112
0,41%	0,852	0,125	0,231
0,51%	0,816	0,154	0,287
0,61%	0,767	0,175	0,35
0,72%	0,719	0,187	0,406
0,82%	0,674	0,194	0,455
0,92%	0,657	0,199	0,476
1,02%	0,602	0,201	0,532
1,53%	0,550	0,207	0,588
2,04%	0,516	0,208	0,623
2,55%	0,475	0,210	0,665
3,07%	0,453	0,209	0,686
3,58%	0,440	0,210	0,7
4,09%	0,427	0,211	0,714
4,60%	0,422	0,214	0,721
5,11%	0,426	0,220	0,721
6,13%	0,422	0,225	0,728
7,15%	0,422	0,224	0,728
8,17%	0,424	0,229	0,728
9,20%	0,429	0,235	0,728
10,22%	0,434	0,243	0,728
11,24%	0,435	0,245	0,728
12,26%	0,443	0,246	0,721
13,28%	0,444	0,247	0,721
14,30%	0,447	0,253	0,721
15,33%	0,455	0,254	0,714
16,35%	0,460	0,251	0,707
17,37%	0,458	0,248	0,707
18,39%	0,463	0,245	0,7
19,41%	0,461	0,242	0,7
20,43%	0,459	0,238	0,7



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería
<b>Probeta</b>	Remoldeada

Datos		
Dímetro Superior	cm	5,04
Diámetro Medio	cm	5,04
Diámetro Inferior	cm	5,04
Altura	cm	10
Peso	gr	382,4
Densidad húmeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,917
Humedad inicial ( $w_i$ )	%	13,36%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,69
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,626
Índice vacíos post cons. ( $e_r$ )	-	0,540
Presión de cámara efectiva	kg/cm <sup>2</sup>	2
B-value	%	95,30%
Gr. Compactación (PM)	%	81,06%
Velocidad deformación	mm/min	0,13

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w_i}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + w_i)\gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post-cons} = \frac{V_f - V_i + \omega_r \cdot W_d}{W_d} G_s$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

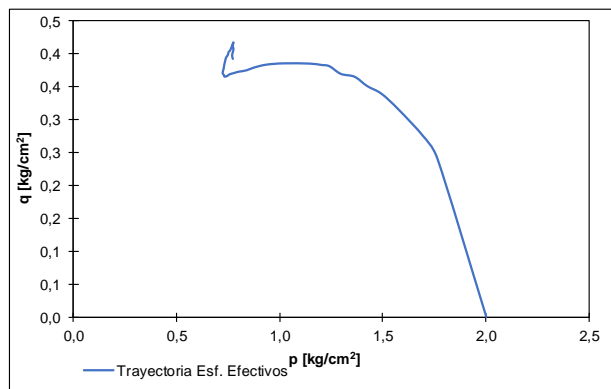
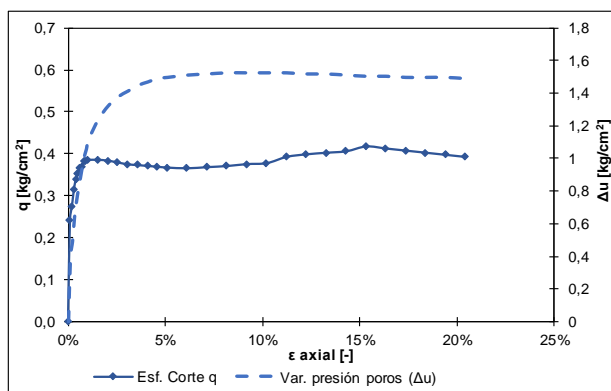
$$p = \frac{\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3}{3} \quad p' = p - \Delta u$$

### Consolidación

Tiempo	Volumen
	[cm <sup>3</sup> ]
0	22
0:00:06	17,5
0:00:15	16
0:00:30	14,5
0:01:00	12,5
0:02:15	11,5
0:04:00	11
0:06:15	11
0:09:00	11
0:12:15	10,5
0:16:00	10,5
0:20:15	10,5
0:25:00	10,4
0:40:00	10,2
1:00:00	10
1:30:00	9,2
2:00:00	

### Resultados Ensayo

Deformación axial	Esf. medio efectivo p'	Esf. Corte q	Var. presión poros ( $\Delta u$ )
%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0,00%	2,000	0,000	0
0,10%	1,762	0,241	0,399
0,20%	1,693	0,275	0,49
0,31%	1,573	0,315	0,637
0,41%	1,491	0,339	0,735
0,51%	1,422	0,351	0,812
0,61%	1,361	0,365	0,882
0,71%	1,294	0,369	0,952
0,82%	1,239	0,381	1,015
0,92%	1,198	0,383	1,057
1,02%	1,144	0,385	1,113
1,53%	1,018	0,385	1,239
2,04%	0,933	0,383	1,323
2,55%	0,874	0,379	1,379
3,06%	0,836	0,375	1,414
3,57%	0,799	0,373	1,449
4,09%	0,777	0,371	1,47
4,60%	0,755	0,369	1,491
5,11%	0,747	0,367	1,498
6,13%	0,731	0,365	1,512
7,15%	0,726	0,368	1,519
8,17%	0,721	0,370	1,526
9,19%	0,724	0,375	1,526
10,21%	0,726	0,377	1,526
11,24%	0,736	0,392	1,526
12,26%	0,747	0,398	1,519
13,28%	0,749	0,402	1,519
14,30%	0,759	0,406	1,512
15,32%	0,773	0,417	1,505
16,34%	0,770	0,412	1,505
17,36%	0,773	0,407	1,498
18,38%	0,770	0,402	1,498
19,41%	0,767	0,397	1,498
20,43%	0,770	0,392	1,491



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería
<b>Probeta</b>	Remoldeada

Datos		
Diametro Superior	cm	5,04
Diámetro Medio	cm	5,04
Diámetro Inferior	cm	5,04
Altura	cm	10
Peso	gr	382,4
Densidad húmeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,917
Humedad inicial ( $w_i$ )	%	12,69%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,70
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,617
Índice vacíos post cons. ( $e_c$ )	-	0,517
Presión de cámara efectiva	kg/cm <sup>2</sup>	4
B-value	%	95,90%
Gr. Compactación (PM)	%	81,54%
Velocidad deformación	mm/min	0,13

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w_i}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + w_i)\gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post-cons} = \frac{V_f - V_i + w_r \cdot W_d}{W_d} G_s$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

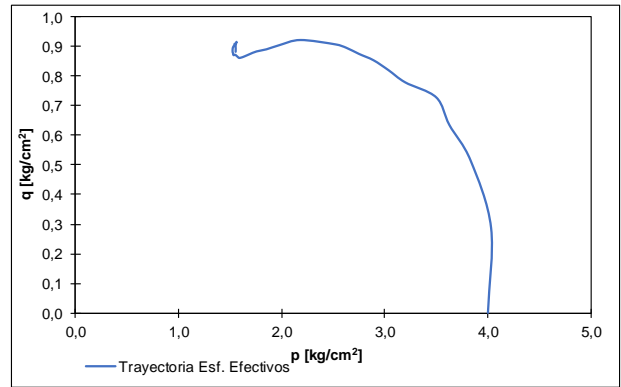
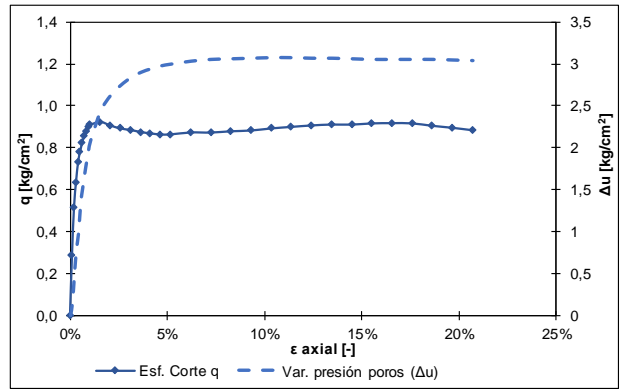
$$p = \frac{\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3}{3} \quad p' = p - \Delta u$$

### Consolidación

Tiempo	Volumen
	[cm <sup>3</sup> ]
0	24
0:00:06	17,5
0:00:15	15
0:00:30	12,5
0:01:00	9,5
0:02:15	8,5
0:04:00	7,9
0:06:15	7,5
0:09:00	7
0:12:15	6,8
0:16:00	6,6
0:20:15	6,3
0:25:00	6
0:40:00	5,5
1:00:00	4,5
1:30:00	4
2:00:00	3

### Resultados Ensayo

Deformación axial	Esf. medio efectivo p'	Esf. Corte q	Var. presión poros ( $\Delta u$ )
%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0,00%	4,000	0,000	0
0,10%	4,031	0,287	0,161
0,21%	3,832	0,515	0,511
0,31%	3,626	0,636	0,798
0,41%	3,499	0,729	0,987
0,52%	3,197	0,780	1,323
0,62%	3,035	0,821	1,512
0,72%	2,890	0,855	1,68
0,83%	2,750	0,876	1,834
0,93%	2,624	0,897	1,974
1,04%	2,520	0,908	2,086
1,55%	2,179	0,923	2,436
2,07%	1,979	0,906	2,625
2,59%	1,851	0,892	2,744
3,11%	1,755	0,885	2,835
3,62%	1,685	0,875	2,898
4,14%	1,639	0,868	2,94
4,66%	1,601	0,863	2,975
5,18%	1,580	0,863	2,996
6,21%	1,551	0,873	3,031
7,25%	1,529	0,872	3,052
8,28%	1,527	0,878	3,059
9,32%	1,522	0,882	3,066
10,35%	1,522	0,892	3,073
11,39%	1,526	0,899	3,073
12,42%	1,538	0,906	3,066
13,46%	1,541	0,910	3,066
14,49%	1,548	0,910	3,059
15,53%	1,559	0,916	3,052
16,56%	1,559	0,917	3,052
17,60%	1,559	0,916	3,052
18,63%	1,551	0,904	3,052
19,67%	1,552	0,895	3,045
20,70%	1,551	0,883	3,038



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería
<b>Probeta</b>	Remoldeada

Datos		
Diametro Superior	cm	5,04
Diámetro Medio	cm	5,04
Diametro Inferior	cm	5,04
Altura	cm	10
Peso	gr	382,4
Densidad húmeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,917
Humedad inicial (wi)	%	13,65%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,69
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,631
Índice vacíos post cons. ( $e_f$ )	-	0,507
Presión de cámara efectiva	kg/cm <sup>2</sup>	6
B-value	%	95,42%
Gr. Compactación (PM)	%	80,85%
Velocidad deformación	mm/min	0,13

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w_i}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + w_i)\gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post-cons} = \frac{V_f - V_i + w_r \cdot W_d}{W_d} G_s$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

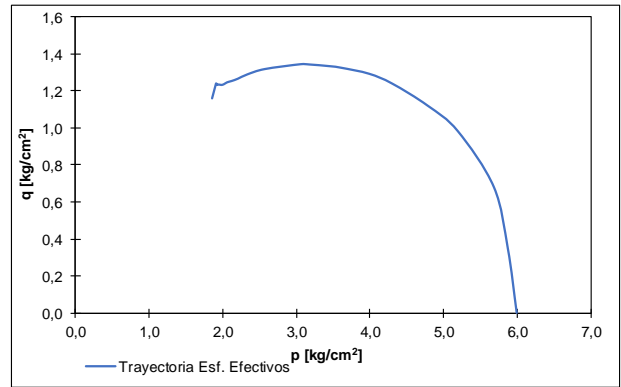
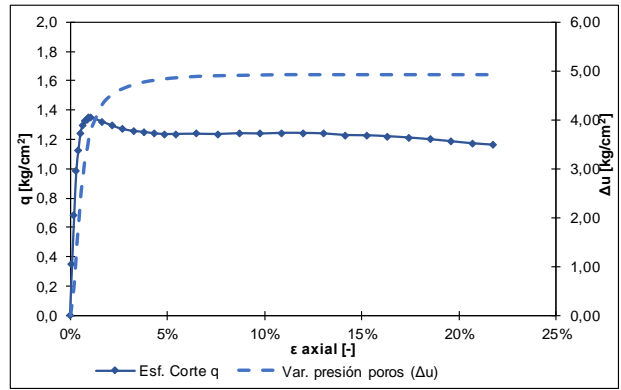
$$p = \frac{\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3}{3} \quad p' = p - \Delta u$$

### Consolidación

Tiempo	Volumen
	[cm <sup>3</sup> ]
0	20
0:00:06	18
0:00:15	15
0:00:30	13
0:01:00	10,5
0:02:15	8
0:04:00	4,5
0:06:15	1
0:09:00	19
0:12:15	14
0:16:00	9
0:20:15	5,5
0:25:00	0
0:40:00	8,4
1:00:00	6,5
1:30:00	6,5
2:00:00	

### Resultados Ensayo

Deformación axial	Esf. medio efectivo p'	Esf. Corte q	Var. presión poros ( $\Delta u$ )
%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0,00%	6,00	0,00	0,00
0,11%	5,88	0,35	0,35
0,22%	5,69	0,68	0,76
0,33%	5,20	0,98	1,46
0,44%	4,79	1,12	1,96
0,54%	4,31	1,24	2,52
0,65%	3,99	1,29	2,87
0,76%	3,63	1,33	3,26
0,87%	3,46	1,33	3,43
0,98%	3,18	1,34	3,72
1,09%	3,06	1,35	3,84
1,63%	2,57	1,32	4,31
2,18%	2,34	1,29	4,52
2,72%	2,21	1,27	4,63
3,27%	2,13	1,25	4,71
3,81%	2,06	1,25	4,77
4,36%	2,02	1,24	4,80
4,90%	1,99	1,23	4,83
5,45%	1,97	1,23	4,85
6,54%	1,94	1,24	4,88
7,63%	1,93	1,23	4,89
8,72%	1,93	1,24	4,90
9,80%	1,92	1,24	4,91
10,89%	1,91	1,24	4,91
11,98%	1,91	1,24	4,91
13,07%	1,91	1,24	4,91
14,16%	1,90	1,23	4,91
15,25%	1,90	1,23	4,91
16,34%	1,90	1,22	4,91
17,43%	1,89	1,21	4,91
18,52%	1,88	1,20	4,91
19,61%	1,88	1,18	4,91
20,70%	1,87	1,17	4,91
21,79%	1,86	1,16	4,91





<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería
<b>Probeta</b>	Remoldeada Envejecida

Datos		
Díametro Superior	cm	5
Diámetro Medio	cm	5
Diámetro Inferior	cm	5
Altura	cm	10
Peso	gr	376,35
Densidad húmeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,917
Humedad inicial ( $w_i$ )	%	13,28%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,69
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,625
Índice vacíos post cons. ( $e_c$ )	-	0,579
Presión de cámara efectiva	kg/cm <sup>2</sup>	1
B-value	%	98,89%
Gr. Compactación (PM)	%	81,11%
Velocidad deformación	mm/min	0,13

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w_i}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + w_i)\gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post-cons} = \frac{V_f - V_i + \omega_r \cdot W_d}{W_d} G_s$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

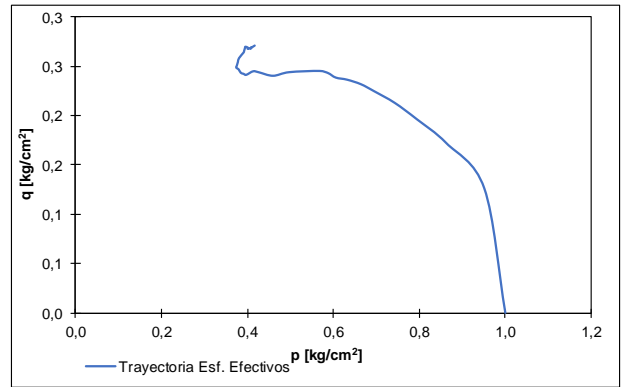
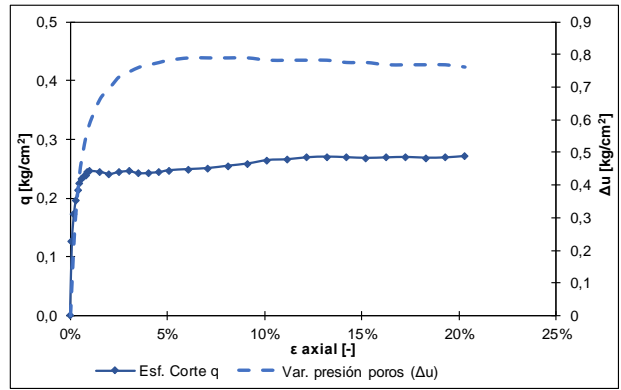
$$p = \frac{\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3}{3} \quad p' = p - \Delta u$$

### Consolidación

Tiempo	Volumen
	[cm <sup>3</sup> ]
0	22
0:00:06	19,5
0:00:15	18
0:00:30	17,5
0:01:00	16
0:02:15	14
0:04:00	13,8
0:06:15	13,5
0:09:00	13,2
0:12:15	13
0:16:00	13
0:20:15	13
0:25:00	13
0:40:00	12,8
1:00:00	12,5
1:30:00	
2:00:00	

### Resultados Ensayo

Deformación axial	Esf. medio efectivo p'	Esf. Corte q	Var. presión poros ( $\Delta u$ )
%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0,00%	1,000	0,00	0
0,10%	0,951	0,13	0,133
0,20%	0,863	0,17	0,252
0,30%	0,795	0,20	0,336
0,41%	0,743	0,21	0,399
0,51%	0,695	0,22	0,455
0,61%	0,665	0,23	0,49
0,71%	0,633	0,24	0,525
0,81%	0,606	0,24	0,553
0,91%	0,588	0,24	0,574
1,02%	0,569	0,25	0,595
1,52%	0,498	0,24	0,665
2,03%	0,460	0,24	0,7
2,54%	0,428	0,24	0,735
3,05%	0,414	0,24	0,749
3,56%	0,398	0,24	0,763
4,06%	0,392	0,24	0,77
4,57%	0,385	0,24	0,777
5,08%	0,380	0,25	0,784
6,10%	0,375	0,25	0,791
7,11%	0,376	0,25	0,791
8,13%	0,379	0,25	0,791
9,15%	0,381	0,26	0,791
10,16%	0,392	0,26	0,784
11,18%	0,393	0,27	0,784
12,19%	0,395	0,27	0,784
13,21%	0,396	0,27	0,784
14,23%	0,402	0,27	0,777
15,24%	0,401	0,27	0,777
16,26%	0,409	0,27	0,777
17,27%	0,410	0,27	0,777
18,29%	0,409	0,27	0,777
19,31%	0,409	0,27	0,777
20,32%	0,418	0,271	0,763



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería
<b>Probeta</b>	Remoldeada Envejecida

Datos		
Diametro Superior	cm	5,0
Diámetro Medio	cm	5,0
Diametro Inferior	cm	5,0
Altura	cm	10
Peso	gr	377,3
Densidad húmeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,922
Humedad inicial (wi)	%	13,30%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,70
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,621
Índice vacíos post cons. ( $e_r$ )	-	0,558
Presión de cámara efectiva	kg/cm <sup>2</sup>	4
B-value	%	94,87%
Gr. Compactación (PM)	%	81,30%
Velocidad deformación	mm/min	0,13

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + \omega_i}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + \omega_i)\gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post-cons} = \frac{V_f - V_i + \omega_r \cdot W_d}{W_d} G_s$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

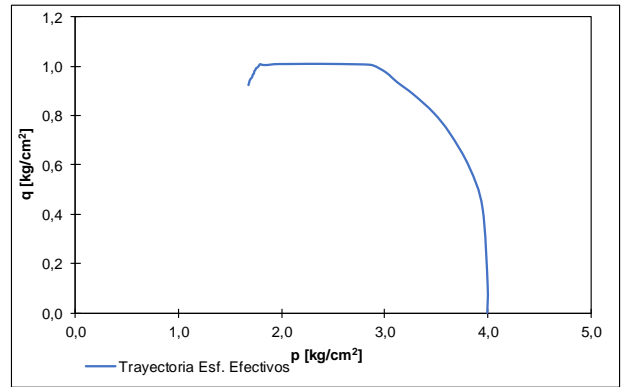
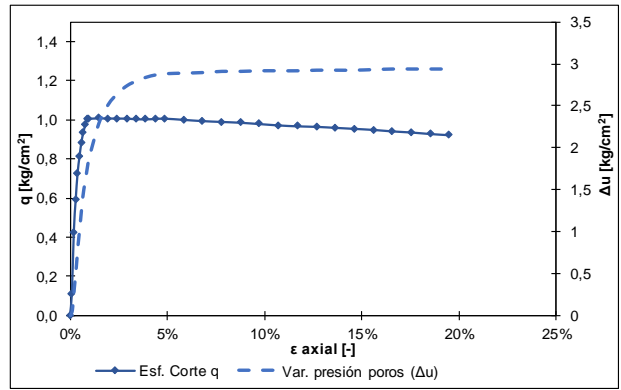
$$p = \frac{\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3}{3} \quad p' = p - \Delta u$$

### Consolidación

Tiempo	Volumen
	[cm <sup>3</sup> ]
0	20
0:00:06	14
0:00:15	12
0:00:30	9
0:01:00	5,5
0:02:15	3
0:04:00	2
0:06:15	2
0:09:00	1,7
0:12:15	1,7
0:16:00	1,7
0:20:15	1,7
0:25:00	1,6
0:40:00	1,4
1:00:00	1,2
1:30:00	
2:00:00	

### Resultados Ensayo

Deformación axial	Esf. medio efectivo p'	Esf. Corte q	Var. presión poros ( $\Delta u$ )
%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0,00%	4,000	0,000	0
0,10%	4,004	0,111	0,07
0,19%	3,954	0,424	0,329
0,29%	3,826	0,589	0,567
0,39%	3,637	0,726	0,847
0,49%	3,476	0,811	1,064
0,58%	3,281	0,885	1,309
0,68%	3,125	0,934	1,498
0,78%	3,018	0,973	1,631
0,88%	2,890	1,002	1,778
0,97%	2,780	1,006	1,89
1,46%	2,383	1,008	2,289
1,95%	2,159	1,007	2,513
2,44%	2,025	1,007	2,646
2,92%	1,934	1,007	2,737
3,41%	1,876	1,004	2,793
3,90%	1,834	1,003	2,835
4,39%	1,807	1,005	2,863
4,87%	1,794	1,007	2,877
5,85%	1,783	1,000	2,884
6,82%	1,772	0,994	2,891
7,80%	1,755	0,990	2,905
8,77%	1,752	0,985	2,905
9,75%	1,740	0,979	2,912
10,72%	1,736	0,972	2,912
11,70%	1,733	0,967	2,912
12,67%	1,724	0,964	2,919
13,65%	1,721	0,959	2,919
14,62%	1,717	0,954	2,919
15,60%	1,707	0,949	2,926
16,57%	1,694	0,941	2,933
17,55%	1,691	0,936	2,933
18,52%	1,685	0,928	2,933
19,50%	1,681	0,922	2,933



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería
<b>Probeta</b>	Tercera deposición- Estratos inferiores

Datos		
Diametro Superior	cm	5,01
Diámetro Medio	cm	5
Diametro Inferior	cm	5,01
Altura	cm	7,48
Peso	gr	284,02
Densidad húmeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,930
Humedad inicial ( $w_i$ )	%	13,66%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,70
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,620
Índice vacíos post cons. ( $e_r$ )	-	0,600
Presión de cámara efectiva	kg/cm <sup>2</sup>	1
B-value	%	95,56%
Gr. Compactación (PM)	%	81,38%
Velocidad deformación	mm/min	0,13

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w_i}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + w_i)\gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post-cons} = \frac{V_f - V_i + \omega_r \cdot W_d}{W_d} G_s$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

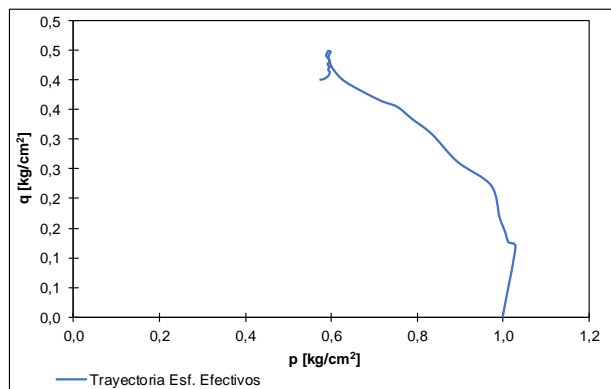
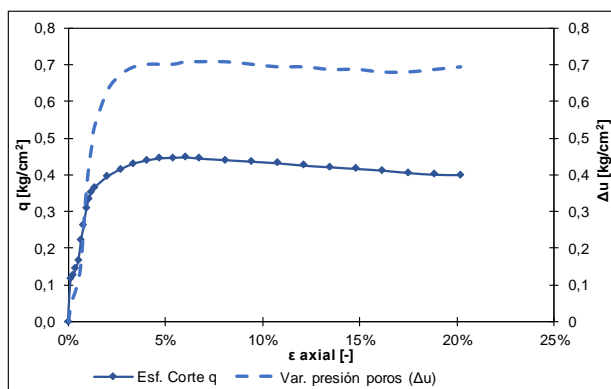
$$p = \frac{\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3}{3} \quad p' = p - \Delta u$$

### Consolidación

Tiempo	Volumen
	[cm <sup>3</sup> ]
0	22
0:00:06	20,5
0:00:15	20
0:00:30	19,8
0:01:00	19,5
0:02:15	19,5
0:04:00	19,5
0:06:15	19,5
0:09:00	19,4
0:12:15	19,4
0:16:00	19,4
0:20:15	19,4
0:25:00	19,3
0:40:00	19,3
1:00:00	
1:30:00	
2:00:00	

### Resultados Ensayo

Deformación axial	Esf. medio efectivo p'	Esf. Corte q	Var. presión poros ( $\Delta u$ )
%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0,00%	1,000	0,000	0
0,13%	1,030	0,119	0,049
0,27%	1,014	0,126	0,07
0,40%	1,005	0,144	0,091
0,54%	0,993	0,168	0,119
0,67%	0,973	0,222	0,175
0,81%	0,894	0,262	0,28
0,94%	0,834	0,308	0,371
1,08%	0,788	0,334	0,434
1,21%	0,753	0,354	0,483
1,35%	0,712	0,366	0,532
2,02%	0,634	0,396	0,63
2,69%	0,605	0,416	0,672
3,36%	0,595	0,432	0,693
4,04%	0,593	0,440	0,7
4,71%	0,597	0,446	0,7
5,38%	0,598	0,447	0,7
6,06%	0,592	0,449	0,707
6,73%	0,590	0,445	0,707
8,07%	0,587	0,441	0,707
9,42%	0,591	0,437	0,7
10,77%	0,595	0,432	0,693
12,11%	0,591	0,426	0,693
13,46%	0,595	0,421	0,686
14,80%	0,592	0,417	0,686
16,15%	0,596	0,412	0,679
17,49%	0,591	0,406	0,679
18,84%	0,581	0,401	0,686
20,19%	0,574	0,400	0,693



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería
<b>Probeta</b>	Tercera deposición- Estratos inferiores

Datos		
Diametro Superior	cm	5,00
Diámetro Medio	cm	5,02
Diametro Inferior	cm	5,00
Altura	cm	7,49
Peso	gr	285,84
Densidad húmeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,938
Humedad inicial (w <sub>i</sub> )	%	13,65%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,70
Índice vacíos inicial (e <sub>i</sub> )	-	0,613
Índice vacíos post cons. (e <sub>f</sub> )	-	0,579
Presión de cámara efectiva	kg/cm <sup>2</sup>	4
B-value	%	95,9%
Gr. Compactación (PM)	%	81,73%
Velocidad deformación	mm/min	0,13

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w_i}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + w_i)\gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post\_cons} = \frac{V_f - V_i + w_r \cdot W_d}{W_d} G_s$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

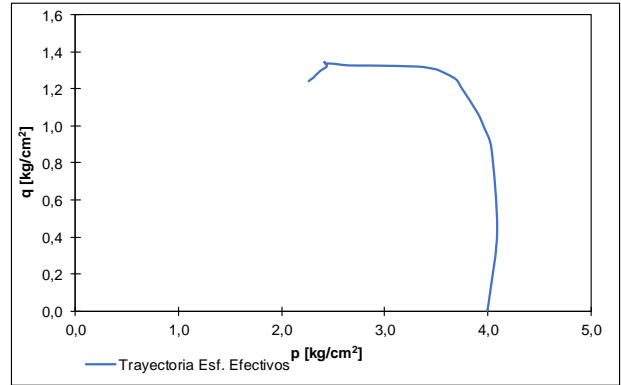
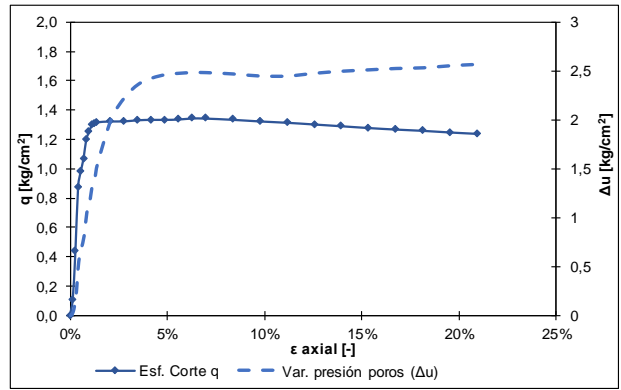
$$p = \frac{\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3}{3} \quad p' = p - \Delta u$$

### Consolidación

Tiempo	Volumen
	[cm <sup>3</sup> ]
0	20
0:00:06	17
0:00:15	16
0:00:30	15,5
0:01:00	15
0:02:15	14,8
0:04:00	14,8
0:06:15	14,6
0:09:00	14,5
0:12:15	14,5
0:16:00	14,5
0:20:15	14,4
0:25:00	14,4
0:40:00	14,3
1:00:00	
1:30:00	
2:00:00	

### Resultados Ensayo

Deformación axial	Esf. medio efectivo p'	Esf. Corte q	Var. presión poros ( $\Delta u$ )
%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0,00%	4,000	0,000	0
0,14%	4,028	0,105	0,042
0,28%	4,095	0,437	0,196
0,42%	4,039	0,878	0,546
0,56%	3,971	0,986	0,686
0,70%	3,902	1,071	0,812
0,84%	3,751	1,202	1,05
0,98%	3,693	1,251	1,141
1,12%	3,535	1,297	1,33
1,26%	3,465	1,308	1,407
1,40%	3,325	1,319	1,554
2,09%	2,881	1,325	2,002
2,79%	2,657	1,325	2,226
3,49%	2,530	1,333	2,359
4,19%	2,468	1,336	2,422
4,88%	2,433	1,336	2,457
5,58%	2,421	1,338	2,471
6,28%	2,419	1,345	2,478
6,98%	2,418	1,344	2,478
8,37%	2,427	1,336	2,464
9,77%	2,440	1,325	2,443
11,16%	2,434	1,316	2,443
12,56%	2,398	1,304	2,471
13,95%	2,369	1,292	2,492
15,35%	2,347	1,280	2,506
16,75%	2,326	1,269	2,52
18,14%	2,313	1,261	2,527
19,54%	2,285	1,249	2,548
20,93%	2,265	1,240	2,562



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejería
<b>Probeta</b>	Tercera deposición- Estratos superiores

Datos		
Díametro Superior	cm	5,01
Díametro Medio	cm	5,02
Díametro Inferior	cm	5,01
Altura	cm	8,36
Peso	gr	315,88
Densidad húmeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,914
Humedad inicial ( $w_i$ )	%	13,71%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,68
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,634
Índice vacíos post cons. ( $e_c$ )	-	0,619
Presión de cámara efectiva	kg/cm <sup>2</sup>	1
B-value	%	96,67%
Gr. Compactación (PM)	%	80,70%
Velocidad deformación	mm/min	0,13

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w_i}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + w_i)\gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post-cons} = \frac{V_f - V_i + \omega_r \cdot W_d}{W_d} G_s$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

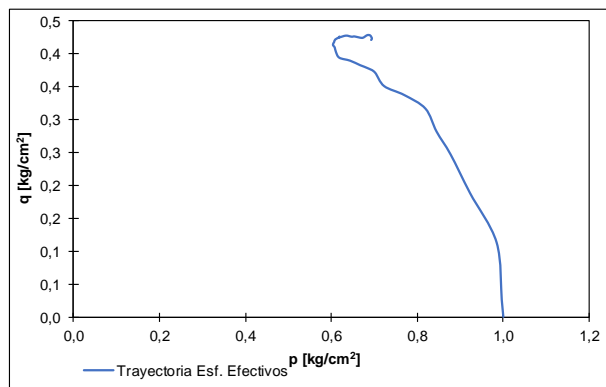
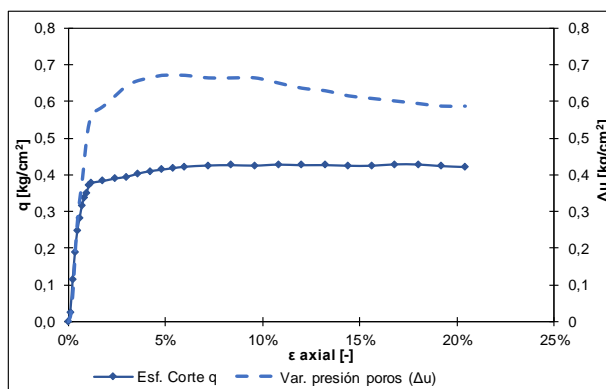
$$p = \frac{\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3}{3} \quad p' = p - \Delta u$$

### Consolidación

Tiempo	Volumen
	[cm <sup>3</sup> ]
0	20
0:00:06	18
0:00:15	18,8
0:00:30	18,8
0:01:00	18,7
0:02:15	18,7
0:04:00	18,6
0:06:15	18,5
0:09:00	18,5
0:12:15	18,5
0:16:00	18,5
0:20:15	18,5
0:25:00	18,4
0:40:00	18,3
1:00:00	
1:30:00	
2:00:00	

### Resultados Ensayo

Deformación axial	Esf. medio efectivo p'	Esf. Corte q	Var. presión poros ( $\Delta u$ )
%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0,00%	1,000	0,000	0
0,12%	0,996	0,026	0,021
0,24%	0,984	0,113	0,091
0,36%	0,922	0,188	0,203
0,48%	0,877	0,247	0,287
0,60%	0,845	0,282	0,343
0,72%	0,819	0,316	0,392
0,84%	0,770	0,337	0,455
0,96%	0,723	0,351	0,511
1,08%	0,701	0,371	0,546
1,20%	0,685	0,378	0,567
1,80%	0,667	0,382	0,588
2,40%	0,644	0,389	0,616
3,00%	0,619	0,394	0,644
3,60%	0,610	0,403	0,658
4,20%	0,608	0,409	0,665
4,80%	0,604	0,413	0,672
5,40%	0,606	0,418	0,672
6,00%	0,609	0,422	0,672
7,20%	0,618	0,425	0,665
8,40%	0,619	0,426	0,665
9,60%	0,618	0,425	0,665
10,80%	0,634	0,427	0,651
12,01%	0,647	0,426	0,637
13,21%	0,654	0,426	0,63
14,41%	0,667	0,424	0,616
15,61%	0,674	0,424	0,609
16,81%	0,683	0,428	0,602
18,01%	0,690	0,428	0,595
19,21%	0,694	0,423	0,588
20,41%	0,693	0,421	0,588



<b>Proyecto</b>	"Efecto de la Fábrica y Estructura en la Resistencia No Drenada de Relave Integral"
<b>Muestra</b>	Relave Integral Depósito de Relaves Ovejera
<b>Probeta</b>	Tercera deposición- Estratos superiores

Datos		
Diametro Superior	cm	5,01
Diámetro Medio	cm	5,01
Diametro Inferior	cm	5,02
Altura	cm	9,03
Peso	gr	341,46
Densidad húmeda ( $\gamma_t$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,917
Humedad inicial (wi)	%	13,71%
Densidad seca ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,69
Índice vacíos inicial ( $e_i$ )	-	0,631
Índice vacíos post cons. ( $e_c$ )	-	0,563
Presión de cámara efectiva	kg/cm <sup>2</sup>	4
B-value	%	95,13%
Gr. Compactación (PM)	%	80,84%
Velocidad deformación	mm/min	0,13

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + \omega_i}$$

$$e_{inicial} = \frac{G_s(1 + \omega_i)\gamma_w}{\gamma_t} - 1$$

$$e_{post-cons} = \frac{V_f - V_i + \omega_r \cdot W_d}{W_d} G_s$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

$$p = \frac{\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3}{3} \quad p' = p - \Delta u$$

### Consolidación

Tiempo	Volumen
	[cm <sup>3</sup> ]
0	20
0:00:06	16
0:00:15	15
0:00:30	13,8
0:01:00	13
0:02:15	12,4
0:04:00	12,3
0:06:15	12,2
0:09:00	12,2
0:12:15	12,2
0:16:00	12,2
0:20:15	12
0:25:00	11,9
0:40:00	
1:00:00	
1:30:00	
2:00:00	

### Resultados Ensayo

Deformación axial	Esf. medio efectivo p'	Esf. Corte q	Var. presión poros ( $\Delta u$ )
%	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0,00%	4,000	0,000	0
0,11%	4,023	0,066	0,021
0,23%	4,028	0,106	0,042
0,34%	4,051	0,214	0,091
0,46%	4,095	0,447	0,203
0,57%	4,054	0,637	0,371
0,69%	3,984	0,774	0,532
0,80%	3,867	0,893	0,728
0,92%	3,779	1,002	0,889
1,03%	3,670	1,101	1,064
1,15%	3,579	1,164	1,197
1,72%	3,017	1,329	1,869
2,30%	2,704	1,353	2,198
2,87%	2,452	1,352	2,45
3,45%	2,314	1,357	2,59
4,02%	2,284	1,363	2,625
4,59%	2,159	1,364	2,751
5,17%	2,123	1,363	2,786
5,74%	2,090	1,367	2,821
6,89%	2,058	1,360	2,849
8,04%	2,033	1,355	2,87
9,19%	2,028	1,347	2,87
10,34%	2,037	1,350	2,863
11,49%	2,042	1,346	2,856
12,63%	2,041	1,335	2,849
13,78%	2,044	1,329	2,842
14,93%	2,045	1,320	2,835
16,08%	2,044	1,319	2,835
17,23%	2,038	1,309	2,835
18,38%	2,032	1,301	2,835
19,52%	2,026	1,291	2,835
20,67%	2,009	1,287	2,849

