



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

**USO DEL MÉTODO DE CURVAS HOMOTÉTICAS EN LA
REPRESENTACIÓN DE ENSAYOS MONOTÓNICOS Y CÍCLICOS
EN SUELOS GRUESOS**

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL

GASPAR ANTONIO BESIO HERNANDEZ

**PROFESOR GUÍA:
MARCELO GONZALEZ SULLIVAN**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ESTEBAN SAEZ ROBERT
RAMON VERDUGO ALVARADO**

**SANTIAGO DE CHILE
OCTUBRE 2012**

USO DEL MÉTODO DE CURVAS HOMOTÉTICAS EN LA REPRESENTACIÓN DE ENSAYOS MONOTÓNICOS Y CÍCLICOS EN SUELOS GRUESOS

Las necesidades de crecimiento de áreas como minería y obras civiles han forzado el uso cada vez más frecuente de materiales con partículas de gran tamaño en la construcción de sus geo-estructuras. La caracterización mecánica de estos macro materiales se determina actualmente con ensayos triaxiales de gran escala, los cuales admiten probetas de hasta 100 cm x 180 cm, ensayos in-situ o utilizando técnicas de escalamiento que permiten ensayar probetas que contengan tamaños de partículas admisibles para equipos triaxiales convencionales. Como el uso de triaxiales de gran escala o ensayos in-situ son de alto costo, tiempo y esfuerzo, los ensayos a probetas escaladas se presentan como una alternativa factible y rentable para los diseños actuales de ingeniería.

De acuerdo con estudios anteriores (Gesche, De La Hoz y Dorador entre otros), el método de curvas paralelas u homotéticas es la técnica de escalamiento que mejor puede replicar el comportamiento de un suelo granular grueso, sin embargo, debido a una serie de limitaciones del método (contenido de finos, efecto del escalamiento en la dureza y forma de las partículas entre otros), aún se estudia su validez como método de representación de la resistencia de macro materiales. Por lo anterior, se ha propuesto y desarrollado el siguiente trabajo de forma de ampliar el nivel de entendimiento y rango de aplicabilidad de este método.

En el presente trabajo se utilizó un material proveniente de una cantera de mármol negro para estudiar la validez del método de las curvas homotéticas al realizar ensayos triaxiales CID a confinamientos de 5, 10 y 20 [kgf/cm²], en donde el tamaño medio de la muestra escalada es aproximadamente 36 veces menor que el de la muestra original. Se estudió como influye la magnitud del escalamiento y el nivel de confinamiento cuando se intenta replicar la resistencia máxima de un suelo granular mediante granulometrías paralelas. Los resultados obtenidos muestran que para replicar la resistencia máxima, el índice de vacíos de ensayo del material escalado debe ser mayor que el del suelo original en una magnitud que crecerá a medida que el nivel de confinamiento sea mayor.

Agradecimientos:

A mis padres por todo el apoyo que me han dado y por la confianza absoluta que pusieron en mí. Gracias por su amor incondicional y por hacer posible que cumpla este sueño.

A Marcelo González por su permanente apoyo como profesor guía y por la confianza que tuvo en mí para desarrollar esta investigación.

A los profesores Esteban Saez y Ramón Verdugo por aceptar formar parte de la comisión y porque siempre me ayudaron cuando necesité ayuda.

A mis amigos Omar González y Mario Carrillo por todos los buenos momentos y por la inmensa ayuda que me brindaron durante este año en el laboratorio. Gracias por la paciencia que tuvieron conmigo y por todas las enseñanzas que me dieron.

A Karem De La Hoz y Roberto Gesche por su ayuda, recomendaciones y por facilitarme gustosamente los resultados de sus investigaciones.

A mis amigos memoristas Carlos Carmi, Carla Guzmán, Alejandra Alfaro, José Manuel Gacitúa, Jorge Alfaro, Pablo Polanco, Manuel Bernal, Felipe Ahumada, Bruno Morales y Gabriel Guggisberg por su apoyo y por todas las alegrías que me dieron durante esta etapa.

Quiero agradecer especialmente a dos personas por su gran ayuda y porque me siento absolutamente en deuda con ellos:

A Leonardo Dorador, ya que desde hace mucho tiempo has estado ayudándome y aconsejándome. Te agradezco mucho tu honestidad y que siempre has estado cuando te he necesitado. Además te agradezco por facilitarme los resultados de tu investigación y por todo el material bibliográfico que siempre me proporcionaste.

A Marcelo Vargas por la inmensa e invaluable ayuda que me brindaste durante toda esta investigación. Además, te has transformado en un muy buen amigo y te agradezco mucho por todas las subidas de ánimo que me diste y por los buenos y entretenidos momentos que hemos pasado.

Por último, me gustaría agradecer al personal de IDIEM y Golder Associates S.A. por la gran ayuda que me brindaron para llevar a cabo esta investigación.

A todos ustedes, muchas gracias!

Índice de contenido

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	9
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	10
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
2. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1 INTRODUCCIÓN.....	11
2.2 VARIABLES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS GRANULARES.....	12
2.2.1 LA PARTÍCULA	12
2.2.2 EL SUELO EN SU CONJUNTO.....	18
2.3 MÉTODO DE GRADACIÓN PARALELA O CURVAS HOMOTÉTICAS	22
2.3.1 Resultados de Gesche (2002)	22
2.3.2 Resultados de De la Hoz (2007).....	24
2.3.3 Resultados de Dorador (2010).....	27
3. EQUIPOS TRIAXIALES, MATERIAL UTILIZADO Y METODOLOGÍAS DE ENSAYO	28
3.1 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS TRIAXIALES	28
3.1.1 Equipo triaxial de bajas presiones, Laboratorio de Sólidos y Medios Particulados	29
3.1.2 Equipo triaxial de altas presiones, Laboratorio de Sólidos y Medios Particulados.	30
3.1.3 Equipo triaxial de gran escala (IDIEM)	31
3.2 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL UTILIZADO.....	32
3.3 METODOLOGÍAS DE ENSAYO	35
3.3.1 Confección de materiales.....	35
3.3.2 Confección, saturación y consolidación de probetas.....	36
3.3.3 Proceso de corte.....	39
3.3.4 Medición de índices de vacíos.....	40
4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	42
4.1 RESULTADOS DE ENSAYOS TRIAXIALES CID	43
4.1.1 Ensayos triaxiales CID a muestra cortada Macro.....	43
4.1.2 Ensayos triaxiales CID a muestra homotética H-3.....	46
4.2 MÓDULO DE DEFORMACIÓN SECANTE	51
4.3 RESISTENCIA DE LAS PARTÍCULAS	53
4.4 FORMA DE PARTÍCULAS	57
4.5 ÁNGULO DE FRICCIÓN PEAK	59

4.6	PRESIÓN DE CONFINAMIENTO	60
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	61
5.1	ÁNGULO DE FRICCIÓN PEAK	61
5.2	MÓDULO DE DEFORMACIÓN	64
5.3	ROTURA DE PARTÍCULAS	65
5.4	DEFORMACIÓN VOLUMÉTRICA	68
5.5	ÍNDICES DE VACÍOS DE ENSAYO PARA REPLICAR RESISTENCIA MÁXIMA DE SUELO ORIGINAL	70
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
6.1	Conclusiones generales	74
6.2	Conclusiones particulares	74
6.3	Recomendaciones	76
7.	REFERENCIAS	76
8.	ANEXOS	78
8.1	ANEXO A: GRANULOMETRÍAS	78
8.1.1	Material original	79
8.1.2	Material cortado y muestras homotéticas	80
8.2	ANEXO B: ENSAYOS TRIAXIALES CID	81
8.2.1	RESUMEN ENSAYOS EN EQUIPO TRIAXIAL DE BAJAS PRESIONES	82
8.2.2	RESUMEN ENSAYOS EN EQUIPO TRIAXIAL DE ALTAS PRESIONES	96
8.2.3	RESUMEN ENSAYOS EN EQUIPO TRIAXIAL DE GRAN ESCALA, IDIEM 110	
8.3	ANEXO C: ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL	138

Índice de tablas

Tabla 3.1: Caracterización de curvas granulométricas, material M.N.	32
Tabla 3.2: Densidades e índices de vacíos límites para muestra H-3.....	35
Tabla 4.1: Resumen ensayos triaxiales.....	42
Tabla 4.2: Índices de vacío y densidades para las etapas de confección y de ensayo, triaxiales de gran escala	45
Tabla 4.3: Módulos de deformación para material H-3 (escalado)	51
Tabla 4.4: Módulos de deformación para el material Macro (cortado bajo 7'')	52
Tabla 4.5: Ensayos de compresión uniaxial	53
Tabla 4.6: Ensayos de carga puntual, IDIEM.....	54
Tabla 5.1: Resumen ensayos con igual resistencia peak	62
Tabla 5.2: Resumen de valores B_g obtenidos	67
Tabla 5.3: Resumen de ensayos que replican resistencia peak para muestras con gradaciones paralelas	70
Tabla 5.4: Resumen ensayos utilizados en análisis de sensibilidad de resistencia peak	73

Índice de figuras

Figura 2.1: Partículas con diferente esfericidad y redondez. Krumbein y Sloss (1963)	12
Figura 2.2: Granulometrías post-ensayo de suelos con distinta forma de partículas, Lee y Farhoomand (1967)	13
Figura 2.3: Compresibilidad de suelos con distinta forma de partículas, Lee y Farhoomand (1967)	14
Figura 2.4: Granulometrías para óxido de aluminio (a) y piedra caliza (b), Lo y Roy (1973).....	15
Figura 2.5: Resistencia al corte vs deformación unitaria, para distintos porcentajes de partículas sanas y alteradas	15
Figura 2.6: Cambio volumétrico vs deformación unitaria, para distintos porcentajes de partículas sanas y alteradas	16
Figura 2.7: Influencia del tamaño de partículas en el índice de vacíos para suelos con el mismo coeficiente de uniformidad	17
Figura 2.8: Granulometrías originales de suelos ensayados, Lee y Farhoomand (1967).....	18
Figura 2.9: Rotura de partículas para suelos con diferente gradación, Lee y Farhoomand (1967)	19
Figura 2.10: Influencia de la densidad relativa en el ángulo de fricción. Resumen de resultados de Al-Hussaini, Dorador (2010).....	19
Figura 2.11: Ensayos triaxiales CID a distintos confinamientos, Lambe y Whitman (1969)	20
Figura 2.12: Métodos para cuantificar la rotura de partículas, Lade et al. (1986)	21
Figura 2.13: Granulometrías de las curvas homotéticas de los materiales A-1 y M-1, Gesche (2002)	23
Figura 2.14: Gráficos tensión y cambio volumétrico vs deformación. Material A-1 y M-1, Gesche (2002)	23
Figura 2.15: Granulometrías de las curvas homotéticas de los materiales M-2, M-3 y P-1, De la Hoz (2007).....	25
Figura 2.16: Gráficos tensión y cambio volumétrico vs deformación. Material M-2, De la Hoz (2007)	25
Figura 2.17: Gráficos tensión y cambio volumétrico vs deformación. Material M-3, De la Hoz (2007)	26
Figura 2.18: Gráficos tensión y cambio volumétrico vs deformación. Material P-1, De la Hoz (2007)	26
Figura 2.19: Granulometrías de las curvas homotéticas del material E.R., Dorador (2010).....	27
Figura 2.20: Gráficos tensión y cambio volumétrico vs deformación. Material E.R., Dorador (2010)	27
Figura 3.1: Equipo triaxial de bajas presiones y esquema de componentes principales de su cámara triaxial, Laboratorio de Sólidos y Medios Particulados	29
Figura 3.2: Equipo triaxial de altas presiones y esquema de componentes principales de su cámara triaxial, Solans (2010).....	30
Figura 3.3: Equipo triaxial de gran escala y esquema de componentes principales de su cámara triaxial, De La Hoz (2007).....	31
Figura 3.4: Sistema de control volumétrico, De La Hoz (2007)	31
Figura 3.5: Material cortado bajo 7'' (Macro)	33
Figura 3.6: Curvas granulométricas	33
Figura 3.7: Partículas mayores a 5''	34
Figura 3.8: Partículas entre malla #140 y #200	34
Figura 3.9: Confección probeta de 100 [cm] x 180 [cm]	36

Figura 3.10: Confección probeta para triaxial de bajas presiones.....	37
Figura 3.11: Confección probeta para triaxial de altas presiones.....	39
Figura 3.12: Densidades de confección.....	41
Figura 4.1: Esfuerzo desviador vs deformación unitaria, triaxiales de gran escala.....	44
Figura 4.2: Deformación volumétrica unitaria vs deformación unitaria, triaxiales de gran escala.....	44
Figura 4.3: Gráfico tensión vs deformación unitaria, $\sigma'c=5$ [kgf/cm ²].....	46
Figura 4.4: Gráfico deformación volumétrica unitaria vs deformación unitaria, $\sigma'c=5$ [kgf/cm ²].....	46
Figura 4.5: Gráfico tensión vs deformación unitaria, $\sigma'c=10$ [kgf/cm ²].....	47
Figura 4.6: Gráfico deformación volumétrica unitaria vs deformación unitaria, $\sigma'c=10$ [kgf/cm ²].....	48
Figura 4.7: Gráfico tensión vs deformación unitaria, $\sigma'c=20$ [kgf/cm ²].....	49
Figura 4.8: Gráfico deformación volumétrica unitaria vs deformación unitaria, $\sigma'c=20$ [kgf/cm ²].....	50
Figura 4.9: Módulos de deformación vs índice de vacíos.....	52
Figura 4.10: Testigos para ensayos de compresión uniaxial.....	54
Figura 4.11: Roca (mármol negro perforada con diamantina) para ensayo de compresión uniaxial.....	55
Figura 4.12: Equipo para ensayos de compresión uniaxial.....	55
Figura 4.13: Testigos luego de ensayo de compresión uniaxial.....	56
Figura 4.14: Fotografías antes y después de ensayo de carga puntual, partículas de 25.4 mm.....	56
Figura 4.15: Fotografías antes y después de ensayo de carga puntual, partículas de 9.53 mm.....	56
Figura 4.16: Fotografías antes y después de ensayo de carga puntual, partículas de 4.75 mm.....	57
Figura 4.17: Partículas de material no ensayado, material H-3 post ensayo $\sigma'c=20$ [kgf/cm ²] y material macro post ensayo $\sigma'c=20$ [kgf/cm ²] entre mallas #4 y #10.....	57
Figura 4.18: Partículas de material no ensayado, material H-3 post ensayo $\sigma'c=20$ [kgf/cm ²] y material macro post ensayo $\sigma'c=20$ [kgf/cm ²] entre mallas #10 y #20.....	58
Figura 4.19: Partículas de material no ensayado, material H-3 post ensayo $\sigma'c=20$ [kgf/cm ²] y material macro post ensayo $\sigma'c=20$ [kgf/cm ²] entre mallas #20 y #40.....	58
Figura 4.20: Partículas de material no ensayado, material H-3 post ensayo $\sigma'c=20$ [kgf/cm ²] y material macro post ensayo $\sigma'c=20$ [kgf/cm ²] entre mallas #40 y #60.....	58
Figura 4.21: Partículas de material no ensayado, material H-3 post ensayo $\sigma'c=20$ [kgf/cm ²] y material macro post ensayo $\sigma'c=20$ [kgf/cm ²] entre mallas #60 y #140.....	59
Figura 4.22: Partículas de material no ensayado, material H-3 post ensayo $\sigma'c=20$ [kgf/cm ²] y material macro post ensayo $\sigma'c=20$ [kgf/cm ²] entre mallas #140 y #200.....	59
Figura 4.23: Ángulos de fricción peak vs densidad relativa de ensayo.....	60
Figura 4.24: Esfuerzo desviador normalizado con la presión de confinamiento vs deformación unitaria.....	61
Figura 5.1: ángulos de fricción peak vs confinamiento.....	63
Figura 5.2: Módulos de deformación E_{50} vs confinamiento.....	65
Figura 5.3: Granulometrías pre y post ensayo.....	66
Figura 5.4: Rotura de partículas medidas a ensayos de distintos materiales.....	68
Figura 5.5: Deformación volumétrica entre muestras homotéticas.....	69
Figura 5.6: Estimación de índice de vacíos de ensayo utilizando gradaciones paralelas.....	72
Figura 5.7: Influencia del índice de vacíos post consolidación en la estimación de la resistencia peak.....	73

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En proyectos de ingeniería asociados a minería, es muy común que se requieran ensayos triaxiales para estimar la resistencia y deformabilidad de materiales. Es frecuente que para el diseño de presas de tierra, botaderos o pilas de lixiviación, los materiales que se desean ocupar tengan partículas de tamaño máximo mayor a los 20 cm y con contenidos de finos entre 5% y 30%. Actualmente, IDIEM posee el más grande de los equipos triaxiales en el mercado chileno, el cual admite probetas cilíndricas de 100 cm x 180 cm con partículas de hasta 17 cm aproximadamente. El elevado costo y logística para el desarrollo de ensayos como éste son los que motivan el desarrollo de métodos que permitan estimar los parámetros geomecánicos del material utilizando la menor parte gruesa posible de éstos.

Dentro de los métodos más aceptados para estimar la resistencia al corte de suelos granulares gruesos, de acuerdo con varios autores el que mejor puede estimar esta resistencia es el Método de la gradación paralela (curvas homotéticas), el cual consiste en escalar la curva granulométrica del material grueso para obtener un material cuyo tamaño máximo de partículas sea admitido en un equipo triaxial convencional. La bibliografía existente del método de curvas homotéticas es extensa (Marachi et al, 1972; Thiers et al, 1981; Lee, 1986; Gesche, 2002; Varadarajan, 2003; De la Hoz, 2007, Dorador, 2010; entre otros), pero existen pocas publicaciones que comparen los resultados de pruebas triaxiales comunes con pruebas triaxiales de gran escala, manteniendo algún grado de desconocimiento en la validez del método para describir macro materiales.

A partir de esto, surgió la motivación de investigar el rango de validez de este método para replicar la resistencia observada en ensayos triaxiales de gran escala, prestando atención a los factores relevantes que controlan el escalamiento de partículas. Para lograr el objetivo anterior, se ha utilizado el método de curvas granulométricas homotéticas para replicar resultados de ensayos triaxiales de gran escala realizados por una empresa minera para el proyecto de alzamiento de su muro principal de material de estéril, el cual corresponde a un suelo granular grueso con partículas angulares proveniente de la voladura de canteras de mármol negro cercanas al proyecto. El material fue ensayado en el equipo triaxial de gran escala de IDIEM durante el año 2011. Además de los resultados, se cuenta con el material que no fue utilizado en estos ensayos, el cual fue usado para los triaxiales convencionales que dan la base a esta investigación.

Los capítulos de esta investigación son los siguientes:

1. Introducción y Objetivos: Objetivos generales y específicos.
2. Marco teórico: Donde se discuten las conclusiones de investigaciones sobre el tema, variables que afectan el comportamiento de los suelos granulares y como considerar dichas variables para un correcto uso del método de gradación paralela o curvas homotéticas.
3. Equipos triaxiales, material utilizado y metodologías de ensayo: En este capítulo se describen los equipos utilizados, el material ensayado y además se incluye una descripción de las metodologías de los ensayos realizados.
4. Presentación de resultados: Presenta los resultados obtenidos durante esta investigación.
5. Análisis de resultados: En este capítulo se analizan conceptos relacionados a la resistencia de suelos granulares utilizando los resultados de ésta y otras investigaciones.
6. Conclusiones y Recomendaciones: Se presentan las conclusiones finales obtenidas en este trabajo.
7. Referencias
8. Anexos

1.1 **OBJETIVO GENERAL**

El objetivo de este trabajo de título es replicar la resistencia peak observada en materiales de tamaño máximo 177.8 [mm], ensayados en triaxiales monotónicos y cíclicos para tres presiones de confinamiento 5, 10 y 20 [kgf/cm²], a través de ensayos triaxiales con probetas de material creado por el método de las curvas granulométricas homotéticas con tamaño de partícula máximo de 4.75 [mm].

1.2 **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudiar si al replicar la resistencia peak con una muestra escalada, es posible obtener también rigideces y deformaciones volumétricas similares.
- Estudiar cómo influye el factor de escalamiento y presión de confinamiento en los índices de vacíos de muestras con gradación paralela que logran desarrollar la misma resistencia peak.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

Actualmente los suelos gruesos son muy utilizados para proyectos mineros y de obras civiles, principalmente por las facilidades de accesibilidad que ellos otorgan, ya que generalmente su uso resulta en una disminución de tiempo y de costo para los proyectos. Sin embargo el uso de estos materiales incluye la problemática de la estimación de sus parámetros de resistencia al corte, los cuales son fundamentales para el diseño de las correspondientes geo estructuras. Una alternativa para subsanar este problema es utilizar métodos de escalamiento del material, ya que permiten estimar la resistencia al corte de un suelo grueso a partir de ensayos de resistencia a una fracción más fina de éste.

Los métodos de escalamiento más utilizados hasta la fecha son:

- Método de corte, que consiste en separar las partículas de sobre tamaño, las cuales corresponden a las de tamaño mayor que el admisible en el equipo triaxial deseado, y utilizar el material remanente para estimar la resistencia al corte del suelo grueso.
- Método de corte y reemplazo, el cual consiste en separar la fracción de partículas de sobre tamaño y reemplazarlas por el mismo peso en partículas de menor tamaño.
- Método de las curvas homotéticas, el cual consiste en escalar la curva granulométrica del suelo original para obtener una con menores tamaños de partículas, pero manteniendo constantes los coeficientes de uniformidad (C_u) y gradación (C_c).

De acuerdo con varios autores el método de las curvas homotéticas es el que mejor puede llegar a estimar los parámetros de resistencia al corte de un suelo grueso, sin embargo para que funcione correctamente se deben considerar varios factores que afectan a la resistencia de un suelo granular, los cuales se pueden clasificar como los que tienen directa relación con la partícula en sí: forma, dureza y tamaño; y los que se relacionan con el conjunto como la gradación, densidad relativa y confinamiento.

En este capítulo se discuten los factores mencionados anteriormente sobre la resistencia al corte de los suelos granulares gruesos y se analizan los resultados de investigaciones realizadas en Chile sobre la validez del método de las curvas homotéticas.

2.2 *VARIABLES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS GRANULARES*

2.2.1 LA PARTÍCULA

2.2.1.1 *Forma de las partículas*

La forma de las partículas es una variable muy importante en la resistencia al corte de los suelos granulares, ya que solamente cambiando la forma general de las partículas se puede afectar la resistencia y compresibilidad del suelo. La forma de las partículas puede ser estimada de forma directa por inspección visual o por medio de microscopios electrónicos, entre otros medios. Krumbein y Sloss (1963) propusieron clasificaciones de formas de partículas como la observada en la figura 2.1, las cuales basadas en la esfericidad de las partículas y en el grado de redondez de sus bordes las separan en distintas clases como angulosas, subangulosas, subredondeadas y redondeadas. Clasificaciones como esta ayudaron en primera instancia a explicar las diferencias en resistencia que partículas pueden tener dependiendo de su forma.

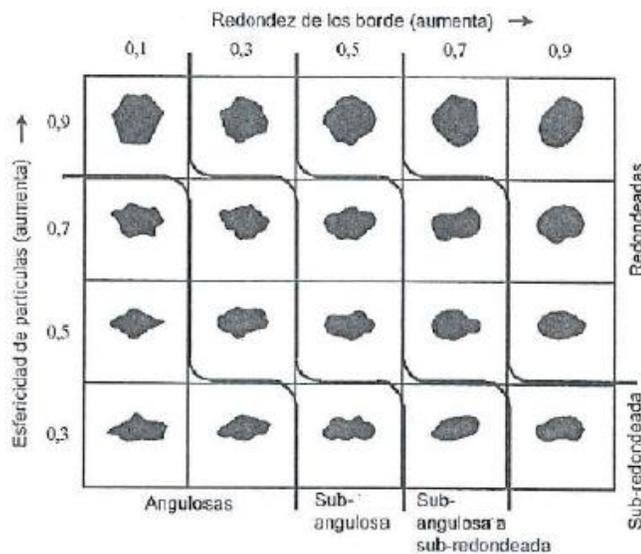


Figura 2.1: Partículas con diferente esfericidad y redondez. Krumbein y Sloss (1963)

Las partículas angulosas tienden a romper más fácilmente que las redondeadas, ya que la transmisión de las fuerzas se puede concentrar en sus cantos angulosos, generando grandes tensiones en esos puntos que pueden superar la resistencia del material que compone a la partícula, pudiendo producir rotura (Maureira, 2012; Lade et al., 1986). Esta hipótesis puede ser corroborada con los resultados de la investigación llevada a cabo por Lee y Farhoomand (1967), quienes realizaron ensayos triaxiales drenados a suelos de similar granulometría, pero con distinta forma de partículas (angulares y subredondeadas) y obtuvieron que al fijar otras variables, como la presión de confinamiento y la razón entre las tensiones principales, el suelo con partículas angulares sufrió siempre mayor rotura que el suelo con partículas subredondeadas. Este hecho fue medido a través de las granulometrías pre y post-ensayo de los suelos y mostrado mediante la figura 2.2, donde se puede apreciar que el suelo con partículas angulares obtuvo un mayor contenido de partículas del orden de 1,0 mm que el suelo con partículas subredondeadas. Los resultados de la figura 2.2 muestran además el incremento de la rotura de partículas con el aumento de la presión de confinamiento para ambos tipos de suelos, siendo este incremento mayor para el suelo con partículas angulares.

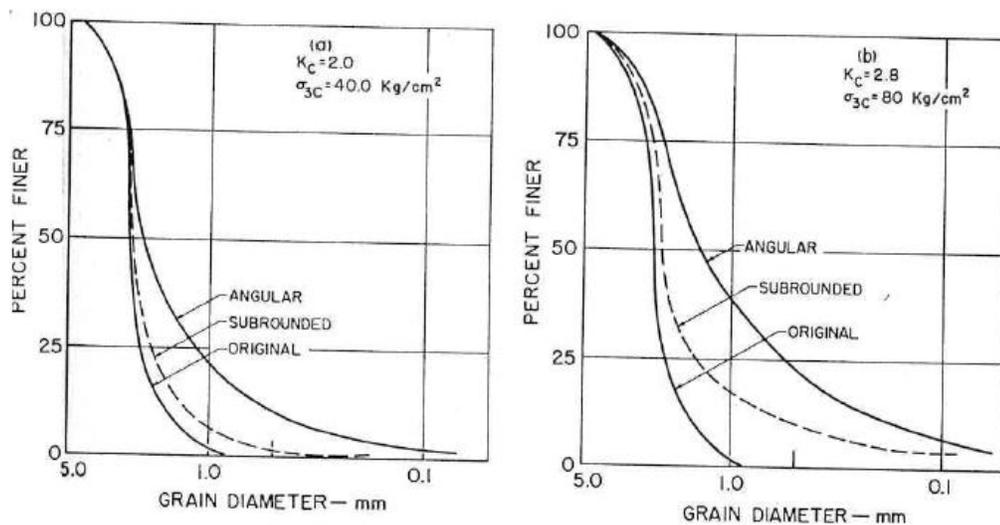


Figura 2.2: Granulometrías post-ensayo de suelos con distinta forma de partículas, Lee y Farhoomand (1967)

Lee y Farhoomand (1967) además obtuvieron que la compresibilidad del suelo con partículas angulares fue mayor que la del suelo con partículas subredondeadas (figura 2.3).

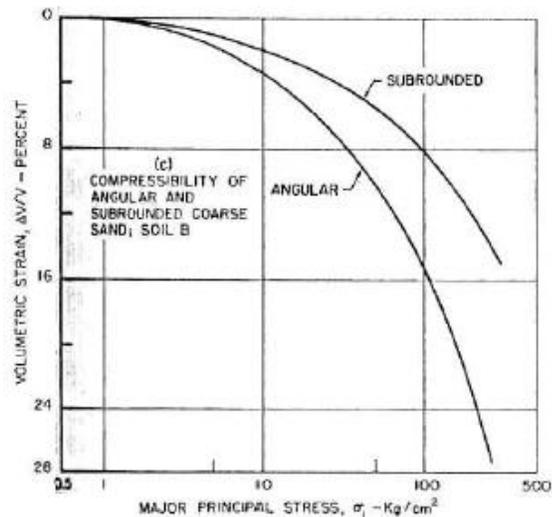


Figura 2.3: Compresibilidad de suelos con distinta forma de partículas, Lee y Farhoomand (1967)

De La Hoz (2007) mostró que para que el método de las granulometrías paralelas entregue parámetros de resistencia al corte y módulos de deformación similares al suelo original, una de las condiciones que se debe satisfacer es que la forma predominante de las partículas de la muestra original se mantenga en las muestras escaladas.

2.2.1.2 Dureza de las partículas

Lo y Roy (1973) estudiaron la resistencia de partículas en ensayos CID mediante 3 materiales de tamaño máximo 0.5 mm y similar granulometría. Los materiales, ordenados de mayor a menor resistencia, corresponden a óxido de aluminio, cuarzo y piedra caliza. Las presiones de confinamiento utilizadas abarcaron desde los 25 psi (1.8 kgf/cm²) hasta los 1600 psi (112.5 kgf/cm²). Las granulometrías pre y post ensayo para los materiales óxido de aluminio y piedra caliza se presentan en la figura 2.4, en donde se confirma la tendencia esperada, ya que el material conformado con las partículas de mayor resistencia (óxido de aluminio) presenta menor rotura que el material conformado con las partículas de menor resistencia (piedra caliza). En particular para los ensayos de 400 psi de confinamiento (28 kgf/cm²), el material de menor resistencia de partículas aumentó su contenido de finos de un 3% a un 37% aproximadamente, mientras que el material de mayor resistencia de partículas pasó de tener un 1% de finos a sólo un 4% aproximadamente.

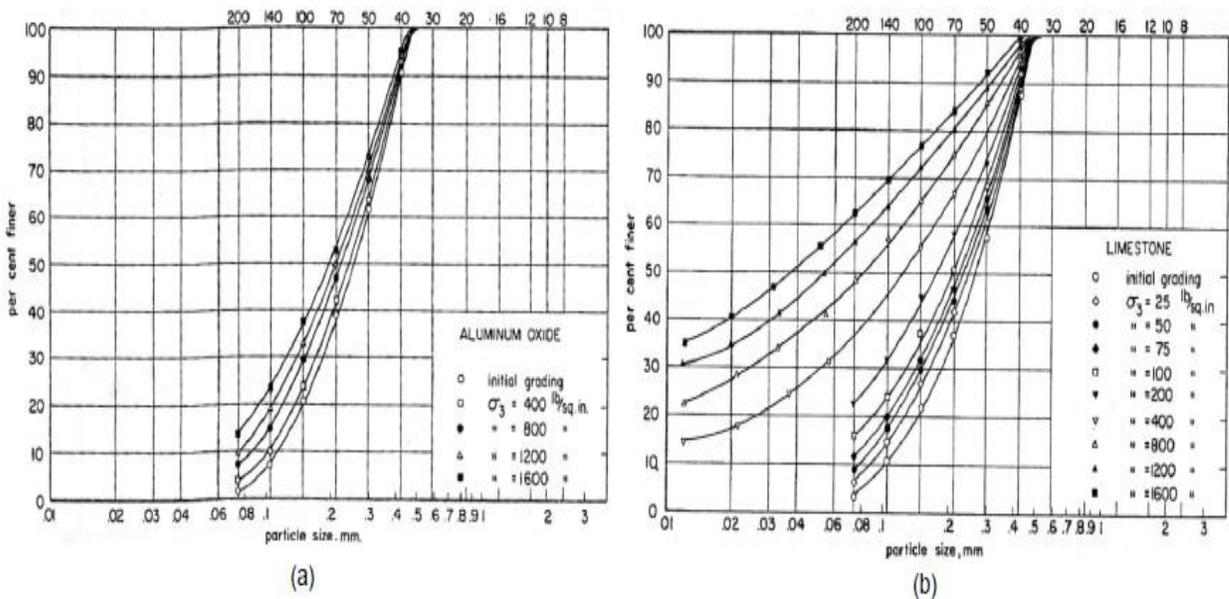


Figura 2.4: Granulometrías para óxido de aluminio (a) y piedra caliza (b), Lo y Roy (1973)

La dureza de las partículas es un parámetro clave que debe ser considerado cuando se realizan curvas homotéticas. Dorador (2010) realizó ensayos triaxiales CID a probetas de un material de origen andesítico conformado por partículas alteradas (resistencia de partículas entre 10 y 40 [kgf/cm²]) e inalteradas (resistencia de partículas entre 120 y 150 [kgf/cm²]). Las probetas fueron confeccionadas, variando el porcentaje de partículas alteradas, a una densidad relativa de 80% y fueron ensayadas a un confinamiento de 0.5 [kgf/cm²]. Los resultados se presentan en las figuras 2.5 y 2.6.

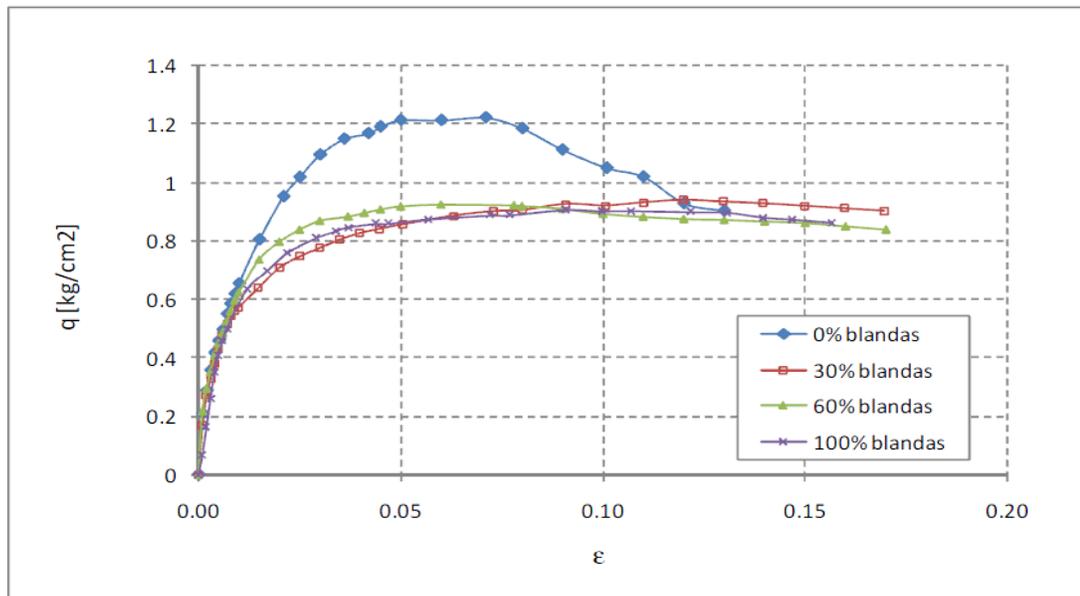


Figura 2.5: Resistencia al corte vs deformación unitaria, para distintos porcentajes de partículas sanas y alteradas

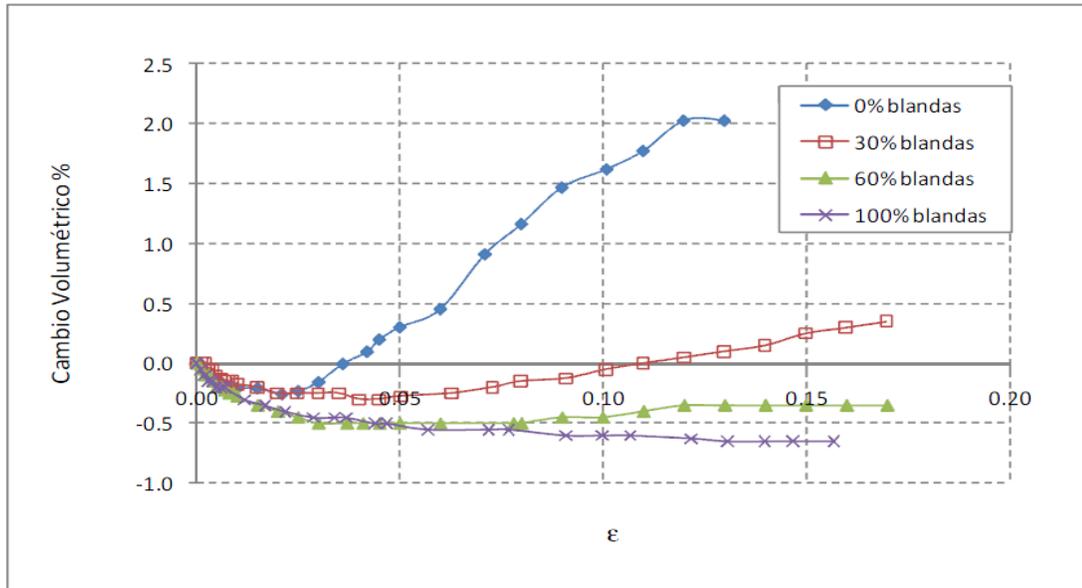


Figura 2.6: Cambio volumétrico vs deformación unitaria, para distintos porcentajes de partículas sanas y alteradas

La figura 2.5 muestra que dentro de una misma muestra, suelos con mayor concentración de partículas blandas desarrollan una menor resistencia que suelos conformados por partículas de similar dureza. Se puede observar que un 30% de partículas más blandas que el resto son suficientes para impedir la dilatancia a una densidad relativa de confección de 80%. Después de este valor, un aumento relativo de partículas blandas no produce ningún cambio en la resistencia del suelo, sin embargo tiene un leve efecto en cuanto al comportamiento volumétrico, ya que al haber mayor rotura hay mayor reacomodo de partículas y por ende mayor compresibilidad. Dorador (2010) recomienda analizar la dureza de las partículas para distintos tamaños del material, ya que si ésta no se mantiene constante, el método de las granulometrías paralelas podría no funcionar para ensayos donde la rotura de partículas sea importante.

2.2.1.3 Tamaño de partículas

De acuerdo con Maureira (2012), a mayor tamaño de partículas, mayor es el fracturamiento de éstas, debido principalmente a la mayor existencia de defectos en una partícula dada, entendiendo por defectos a micro fisuras, planos de debilidad u orientación preferente de los minerales que la componen. Además si los tamaños de partículas son mayores, entonces las áreas de contacto inter-partículas serán menores, por lo que aumentarán los esfuerzos producidos y seguramente la rotura.

Es bastante complejo analizar esta variable ya que es difícil separar el efecto del tamaño de partículas con respecto a otras variables que influyen en la resistencia al corte de suelos granulares como la granulometría, forma, dureza de partículas, etc. Probablemente por esta razón es que diversos estudios sobre este tema llegan a diferentes conclusiones, diciendo algunos que con el aumento del tamaño de partículas aumenta la resistencia mientras que en otros se concluye que ésta disminuye. Por ejemplo Varadarajan et al. (2003) obtiene que para un suelo con partículas redondeadas su ángulo de fricción peak aumenta con el aumento del tamaño de partículas, mientras que para otro suelo con partículas angulosas su ángulo de fricción peak disminuye. Una explicación posible a esto es que el aumento del tamaño de partículas produce 2 efectos, el primero es que, según Lambe y Whitman (1969), bajo una misma energía de compactación se obtienen menores índices de vacío para suelos con mayor tamaño de partículas, tal como se muestra en la figura 2.7.

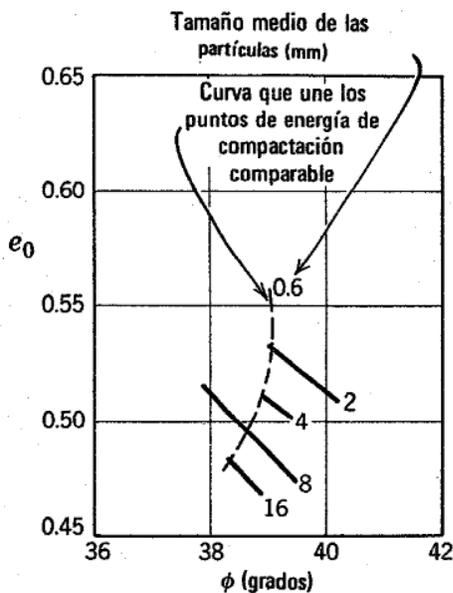


Figura 2.7: Influencia del tamaño de partículas en el índice de vacíos para suelos con el mismo coeficiente de uniformidad

Un menor índice de vacíos produce un mejor encaje entre partículas, lo que aumenta la resistencia del suelo. Sin embargo aumentar el tamaño de partículas significa también aumentar la rotura de éstas lo que podría disminuir la resistencia. Para cada suelo estos 2 efectos tienen magnitudes diferentes, por lo que el efecto del tamaño de partículas en la resistencia dependerá de cuál de estos 2 efectos pese más.

2.2.2 EL SUELO EN SU CONJUNTO

2.2.2.1 *Gradación*

Lee y Farhoomand (1967) realizaron ensayos triaxiales drenados a dos suelos del mismo origen y tamaño máximo de partículas, pero que difieren en su gradación, siendo uno uniforme y el otro bien graduado. Ambas granulometrías se presentan en la figura 2.8 (suelos A y F respectivamente):

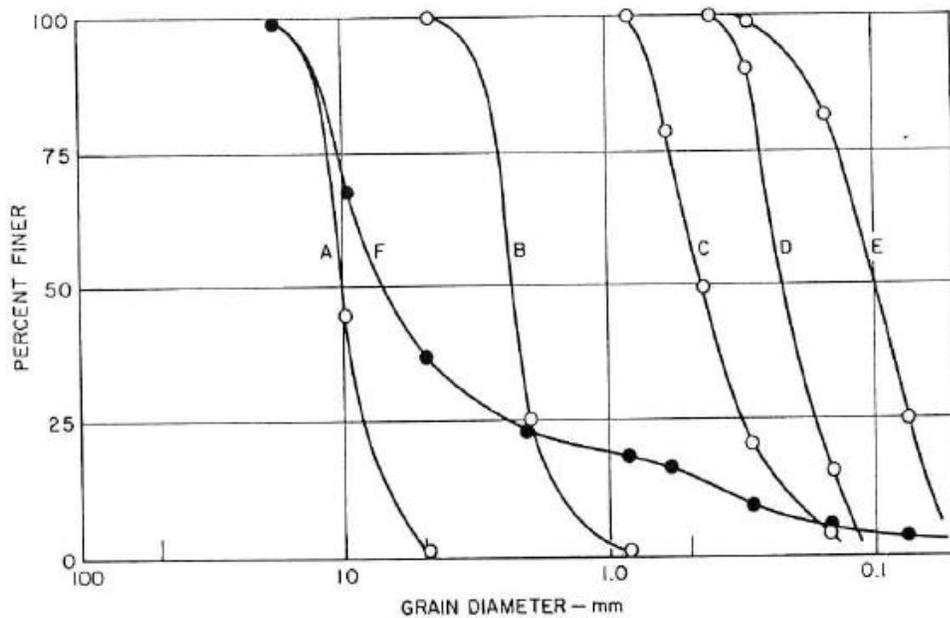


Figura 2.8: Granulometrías originales de suelos ensayados, Lee y Farhoomand (1967)

Para cuantificar la rotura, Lee y Farhoomand (1967) definieron el parámetro “rotura relativa” (relative crushing), el cual está definido como la razón D_{15i}/D_{15f} , en donde D_{15i} es el tamaño de partícula que define el 15% del material más fino de la muestra original y D_{15f} corresponde al tamaño de partícula que define el 15% del material más fino de la muestra ensayada. Al calcular este parámetro, obtuvieron que el suelo uniforme (suelo A) sufrió una mayor rotura que el suelo bien graduado (suelo F) para todos los ensayos realizados, de acuerdo con la figura 2.9. Según Terzaghi, un suelo bien graduado sufre una menor rotura de partículas que un suelo uniforme al ser cargado, ya que en el suelo bien graduado el número de contactos entre partículas es alto, lo cual disminuye las tensiones que tiene cada partícula. De acuerdo con lo expuesto por Terzaghi, los resultados obtenidos por Lee y Farhoomand (1967) mostraron una tendencia coherente en relación a la gradación de los suelos.

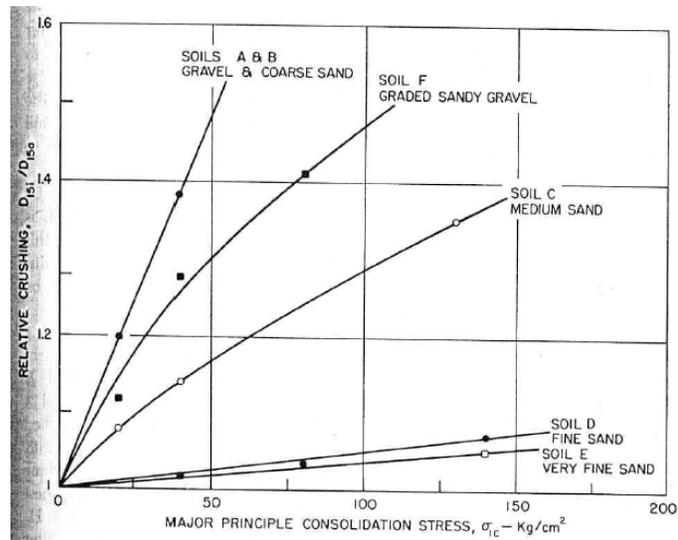


Figura 2.9: Rotura de partículas para suelos con diferente gradación, Lee y Farhoomand (1967)

2.2.2.2 Densidad relativa

Este parámetro es muy importante ya que representa el grado de compactación de los suelos no cohesivos y, según Duncan (2004), es el factor más importante que gobierna el ángulo de fricción en los suelos granulares. Bajo un mismo confinamiento, una mayor densidad implica una mayor rigidez inicial y resistencia peak del suelo. Al-Hussaini (1983) realizó ensayos triaxiales CID a gravas de tamaño máximo 3'', los cuales Dorador (2010) los resume en la figura 2.10:

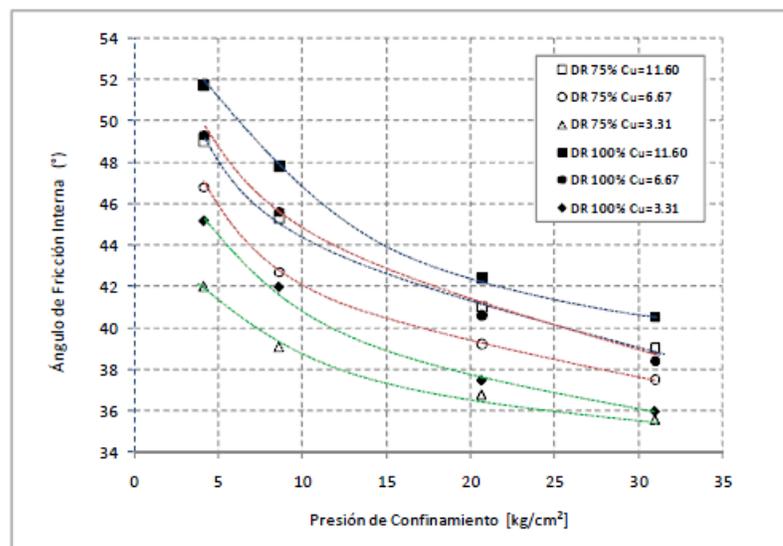


Figura 2.10: Influencia de la densidad relativa en el ángulo de fricción. Resumen de resultados de Al-Hussaini, Dorador (2010)

Se puede apreciar que para el mismo suelo, un aumento en la densidad relativa de 75% a 100%, produce un ángulo de fricción interna hasta 3° mayor para un confinamiento de 5 [kg/cm²], pero para un confinamiento cercano a los 30 [kg/cm²], esta diferencia entre ángulos de fricción disminuye a 1° o menos.

2.2.2.3 Presión de confinamiento

En la figura 2.11 las pruebas 1 y 2 corresponden a ensayos triaxiales CID confeccionados a la misma densidad, pero ensayados a distintos confinamientos (1 y 3 [kgf/cm²] respectivamente). En esta figura el eje vertical fue normalizado por el confinamiento efectivo de cada ensayo, y se puede observar que al aumentar el confinamiento, la resistencia máxima normalizada tiende a disminuir y a desarrollarse a un mayor nivel de deformaciones. La razón de esto es que el encaje entre partículas disminuye al aumentar el confinamiento, ya que las partículas se aplastan en los puntos de contacto, se rompen los bordes agudos y más partículas se parten (Lambe y Whitman 1969).

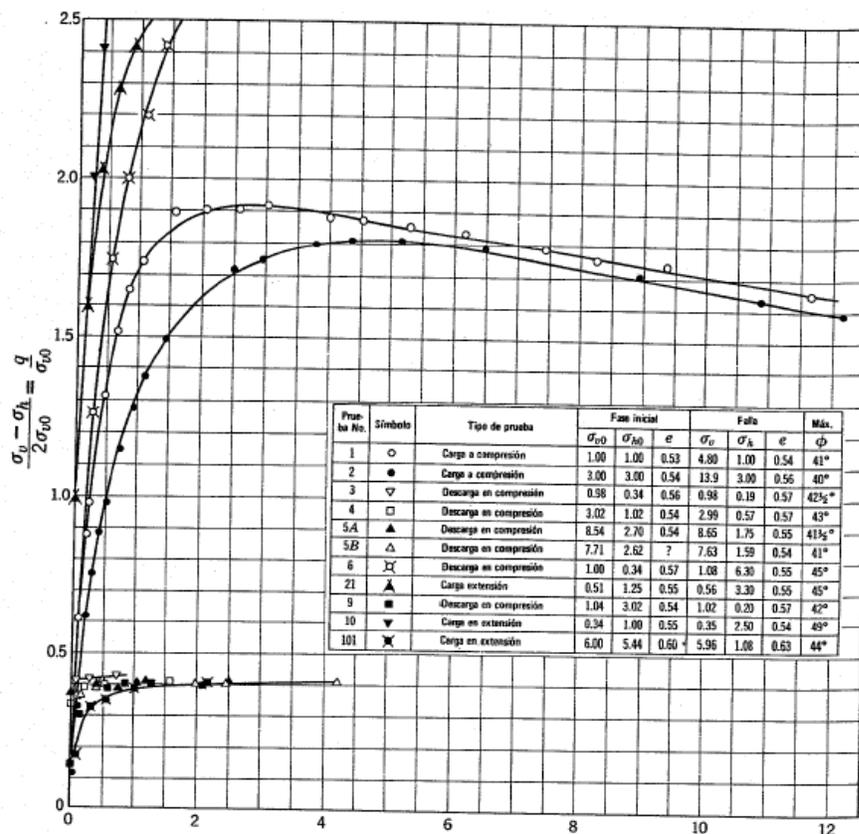


Figura 2.11: Ensayos triaxiales CID a distintos confinamientos, Lambe y Whitman (1969)

Al aumentar la presión de confinamiento se produce una disminución en el ángulo de fricción peak, que podría ser atribuida en parte a la mayor rotura de partículas. Este hecho se puede observar en la figura 2.10, donde se muestra que un suelo puede disminuir su ángulo de fricción peak en más de 10° al pasar de 5 a 30 [kgf/cm²] de confinamiento.

2.2.2.4 Rotura de partículas

Lee y Farhoomand (1967) sugieren que el rompimiento de partículas aumenta cuando hay adición de agua, mayor tamaño de partículas en un suelo uniforme, mayor presión de confinamiento, mayor angulosidad de partículas, muestras más uniformes, partículas de menor resistencia y aplicación de esfuerzo de corte. Como se discutió en la sección 2.2.1.2, la rotura de partículas afecta directamente a la resistencia al corte de un suelo ya que disminuye su capacidad de dilatancia. Además una mayor rotura provoca mayor reajuste y compresibilidad del suelo, por lo que el cambio volumétrico también se ve afectado.

Para medir la rotura de partículas se han propuesto diversos métodos basados en la comparación de las granulometrías pre y post ensayo, entre ellos Lee y Farhoomand (1967), Marsal (1969) y Hardin (1985). Estos métodos aparecen muy bien resumidos en la figura 2.12 gracias a Lade et al. (1986). El más utilizado es el parámetro B_g propuesto por Marsal (1969), el cual se define como la sumatoria de las diferencias positivas entre los porcentajes de material retenido en las mallas, antes y después del ensayo. A pesar de que son bastante útiles para efectos comparativos, según Lade et al. (1986) resulta difícil correlacionar éste u otro parámetro de rotura con propiedades básicas del suelo como la resistencia al corte, ya que se basan solamente en las curvas granulométricas pre y post ensayo y dejan afuera variables tales como el confinamiento y la densidad.

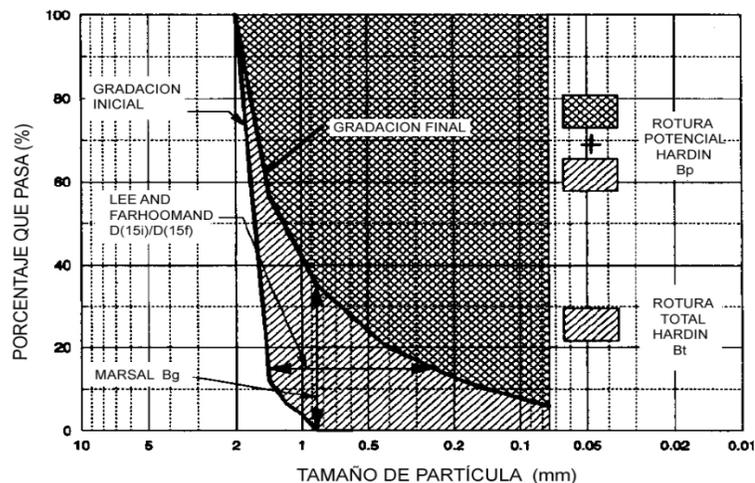


Figura 2.12: Métodos para cuantificar la rotura de partículas, Lade et al. (1986)

2.3 *MÉTODO DE GRADACIÓN PARALELA O CURVAS HOMOTÉTICAS*

En 1964, Lowe propone realizar un escalamiento de un suelo granular grueso mediante granulometrías paralelas con el objetivo de alcanzar un tamaño máximo de partículas que sea permitido por los equipos disponibles a la fecha. Después de Lowe varios investigadores han utilizado este método, como Marachi (1972), Thiers y Donovan (1981), Cea (1994), Gesche (2002), Varadarajan et al. (2003), De La Hoz (2007) y Dorador (2010) entre otros.

Este método consiste en escalar la granulometría de un material a una curva granulométrica de menor tamaño de manera de reproducir la interacción de las partículas en una menor escala. Según De La Hoz (2007), entrega parámetros de resistencia al corte y módulos de deformación equivalentes a la muestra original, siempre que se mantenga la similitud entre los Cu, Cc, densidad máxima y mínima de las curvas granulométricas y cuando el contenido de finos sea menor o igual a un 10%. Además se sabe que se deben mantener las características propias de las partículas, como la dureza, forma, peso específico de los sólidos, etc.

En Chile se han realizado investigaciones sobre este método, las cuales corresponden a los trabajos de Gesche (2002), De La Hoz (2007) y Dorador (2010). Los resultados obtenidos por ellos se resumen a continuación.

2.3.1 Resultados de Gesche (2002)

Gesche (2002) investigó el método de curvas homotéticas utilizando dos materiales diferentes denominados A-1 y M-1, los cuales corresponden a un suelo de origen fluvial compuesto por gravas arenosas de partículas redondeadas provenientes del río Aconcagua, y un suelo compuesto por gravas angulosas chancadas provenientes del lecho del río Maipo, respectivamente. Para el estudio de escalamiento del suelo A-1 se confeccionaron dos curvas homotéticas con tamaños medios de $D_{50} = 1.5$ mm y 0.51 mm y para el suelo M-1 se confeccionaron tres curvas homotéticas con tamaños medios de 2.43 mm, 0.9 mm y 0.33 mm, limitando para todos los casos de escalamiento el contenido de finos a un 10% como máximo. Ensayos triaxiales CID fueron realizados a estos materiales en probetas confeccionadas a una densidad relativa de 80% y para presiones de confinamiento entre 2 y 6 [kgf/cm²]. Las granulometrías de los suelos utilizados se presentan en la figura 2.13 y los resultados de los ensayos triaxiales se presentan en la figura 2.14.

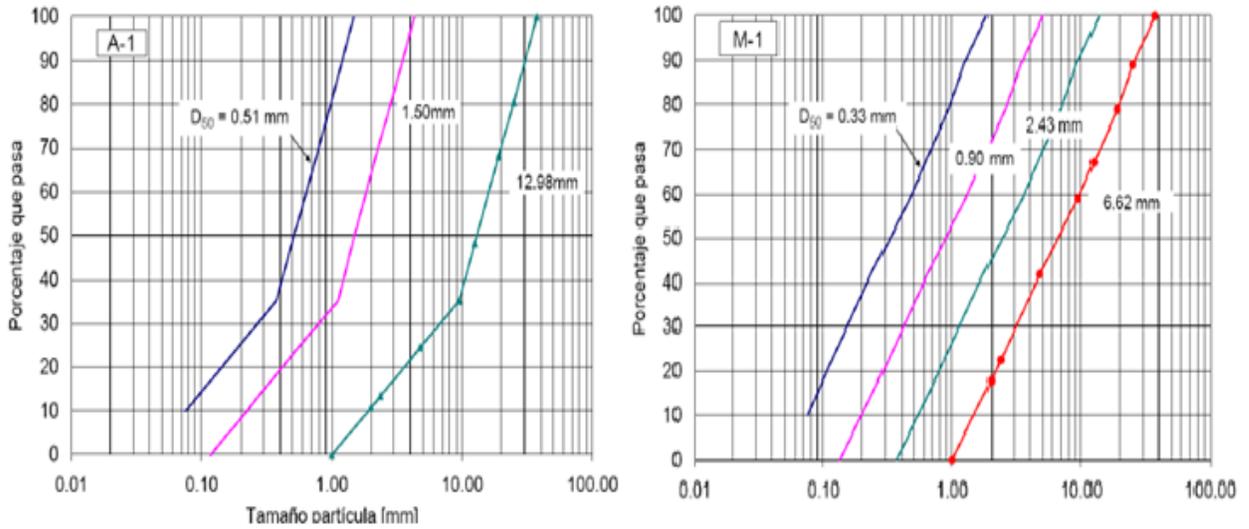


Figura 2.13: Granulometría de las curvas homotéticas de los materiales A-1 y M-1, Gesche (2002)

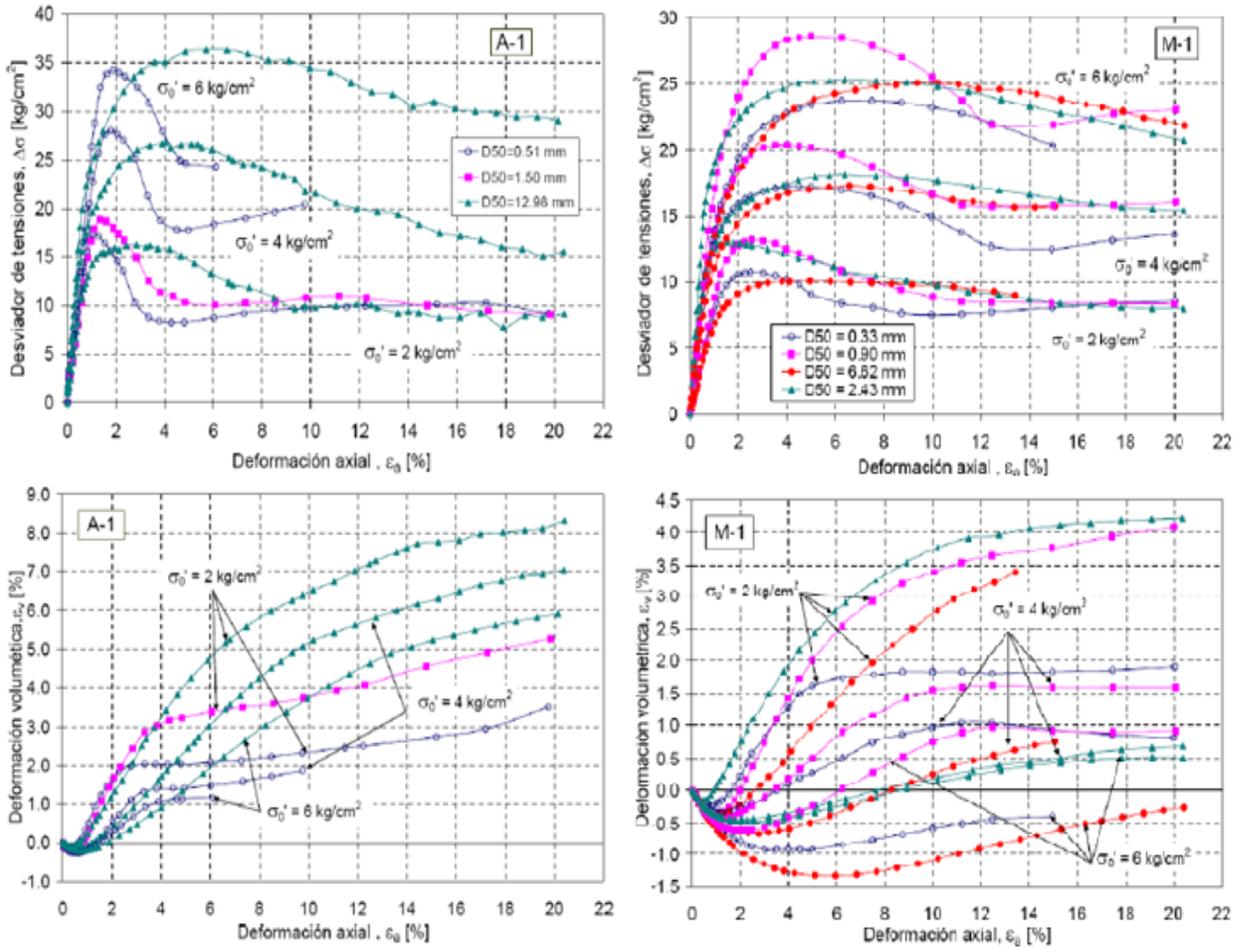


Figura 2.14: Gráficos tensión y cambio volumétrico vs deformación. Material A-1 y M-1, Gesche (2002)

Con los resultados anteriores se puede notar que se logró replicar la resistencia residual entre las homotéticas. También es interesante notar que el cambio volumétrico observado en las homotéticas del material A-1 es bastante similar para pequeñas deformaciones, pero comienza a diferir una vez que el nivel de deformaciones se encuentra entre un 2% y un 4%.

Gesche (2002) concluyó que el método de gradación paralela es adecuado para estimar la resistencia al corte en suelos granulares gruesos para el rango de tamaños y confinamientos estudiados.

2.3.2 Resultados de De la Hoz (2007)

Para estudiar este método De la Hoz utilizó 3 muestras. Las primeras dos, denominadas M-2 y M-3, provienen del lecho del río Maipo y corresponden a gravas redondeadas, y la tercera muestra, denominada P-1, cuyas partículas grandes son de forma tubular y sus partículas pequeñas de forma redondeada, proviene de un material llamado Pumilla. Con las muestras M-2 y M-3 se generaron 3 curvas homotéticas con tamaños máximos de 25 mm (1''), 12,7 mm (1/2'') y 4,75 mm (malla #4), mientras que con el material P-1 se crearon 4 curvas homotéticas, definidas por los tamaños máximos de 25 mm (1''), 12,7 mm (1/2''), 9,5 mm (3/8'') y 4,75 mm (malla #4). Todas las curvas homotéticas fueron restringidas a un contenido máximo de finos de 10%. Para las muestras del río Maipo se realizaron ensayos triaxiales CID con probetas confeccionadas a un 70% de densidad relativa, mientras que las probetas del material P-1 se confeccionaron a una densidad relativa de 80%. El rango de presiones de confinamiento utilizado en esta investigación fue de 0,5 a 4 [kgf/cm²]. Las curvas granulométricas de los suelos utilizados en esta investigación se presentan en la figura 2.15 y los resultados de sus respectivos ensayos triaxiales aparecen en las figuras 2.16, 2.17 y 2.18.

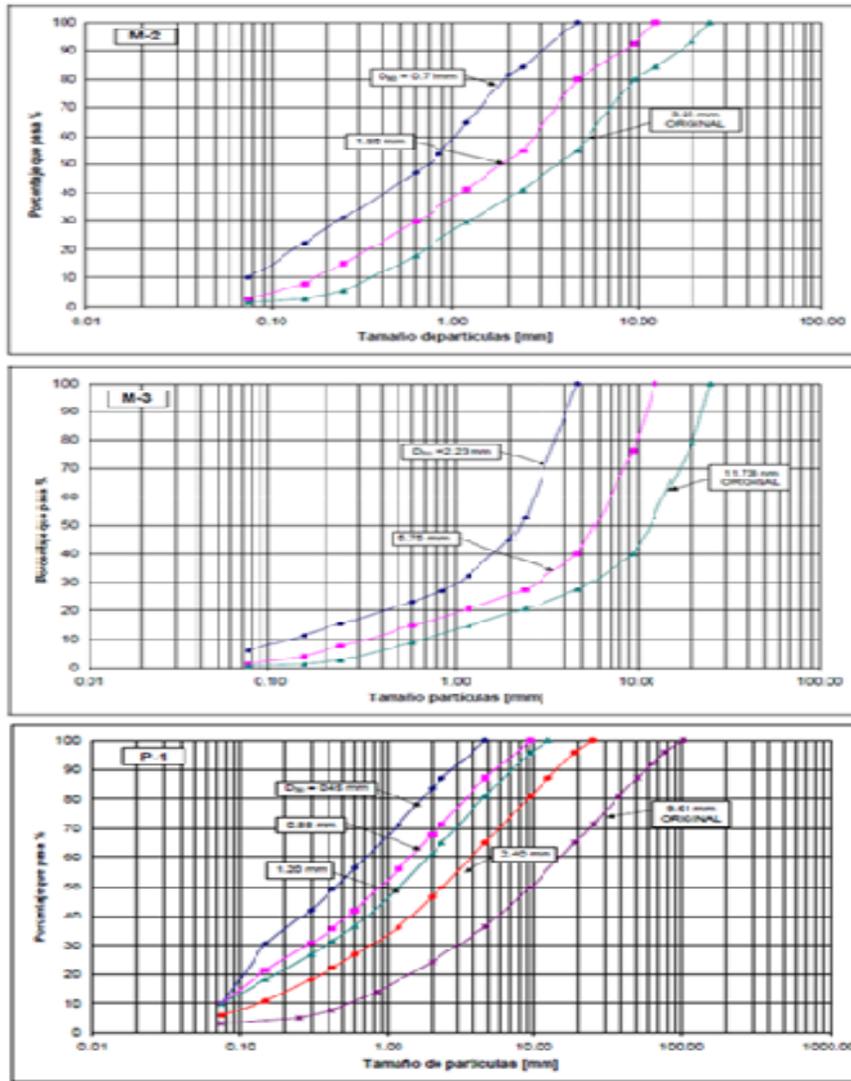


Figura 2.15: Granulometrías de las curvas homotéticas de los materiales M-2, M-3 y P-1, De la Hoz (2007)

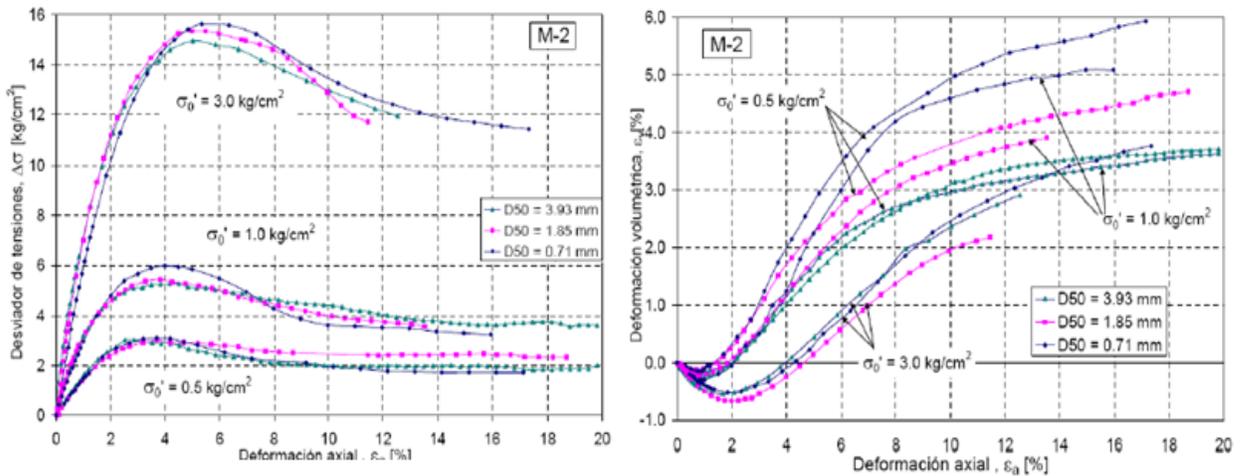


Figura 2.16: Gráficos tensión y cambio volumétrico vs deformación. Material M-2, De la Hoz (2007)

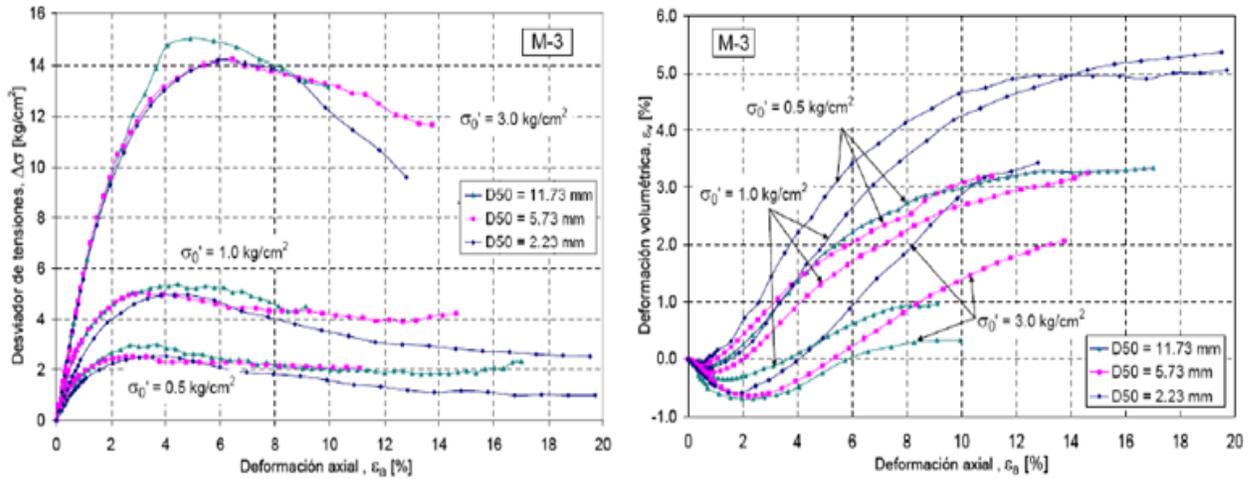


Figura 2.17: Gráficos tensión y cambio volumétrico vs deformación. Material M-3, De la Hoz (2007)

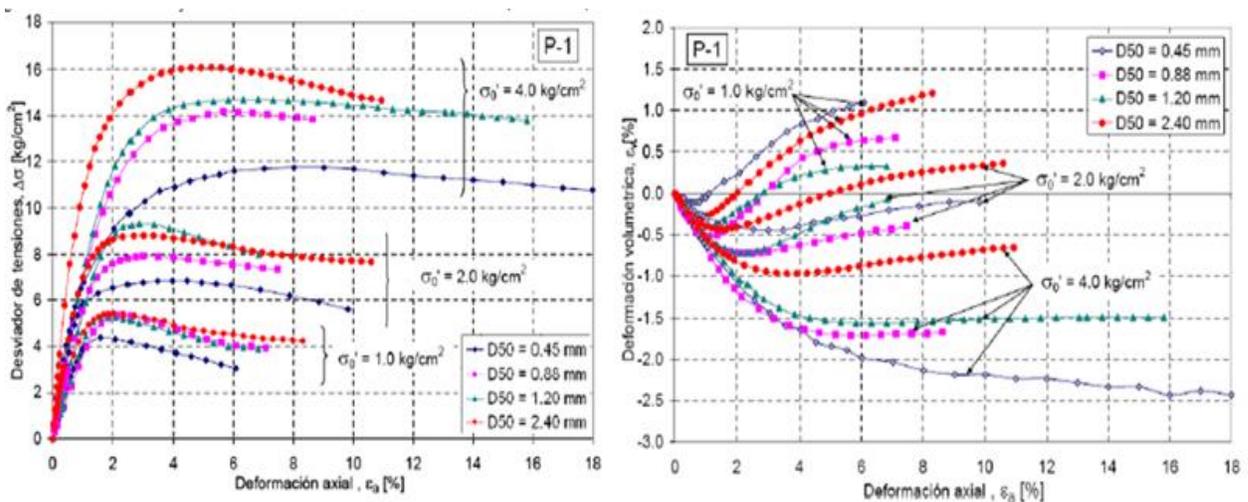


Figura 2.18: Gráficos tensión y cambio volumétrico vs deformación. Material P-1, De la Hoz (2007)

Al observar las figuras anteriores se puede notar que para los materiales M-2 y M-3 las muestras homotéticas replican muy bien la resistencia para los distintos niveles de confinamiento estudiados. Sin embargo en el material P-1 se observa una mayor resistencia al aumentar el tamaño de partículas. En este caso el método de las curvas homotéticas no replica bien el comportamiento del suelo debido a que la forma de las partículas se ve muy afectada al variar los tamaños, además al imponer que el contenido de finos fuera menor o igual a un 10% las curvas perdieron su paralelismo y su similitud entre los coeficientes de C_u y C_c .

En resumen, De la Hoz obtuvo que la forma de las partículas es un factor muy importante en el método de las curvas homotéticas para confinamientos entre 0.5 y 3 [kg/cm²], y que si se controla bien este factor se pueden obtener comportamientos muy similares entre curvas homotéticas.

2.3.3 Resultados de Dorador (2010)

Dorador estudió el método de las curvas homotéticas utilizando suelo denominado E.R. proveniente de una cantera cercana a Rancagua, conformado tanto por andesitas inalteradas como meteorizadas, las cuales son angulosas y se diferencian principalmente por su resistencia a la ruptura. Con este material se generaron cuatro curvas homotéticas con tamaños máximos de 25 mm (1''), 12.7 mm (1/2''), 4.75 mm (malla #4) y 2 mm (malla #10). Las curvas granulométricas generadas a partir de este suelo se presentan en la figura 2.19 y los resultados de los ensayos triaxiales aparecen en la figura 2.20.

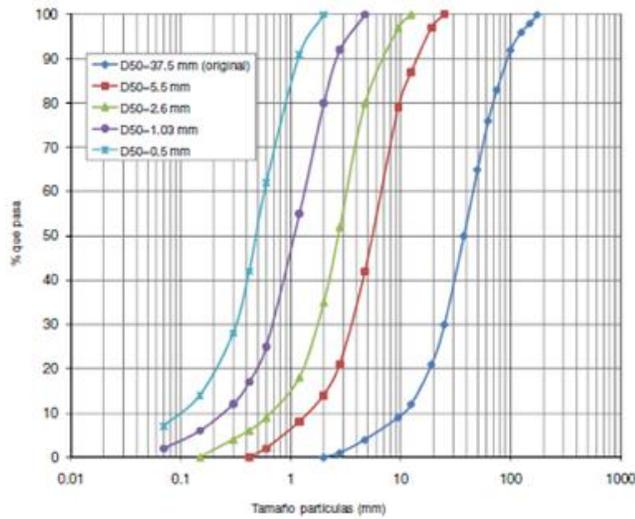


Figura 2.19: Granulometrías de las curvas homotéticas del material E.R., Dorador (2010)

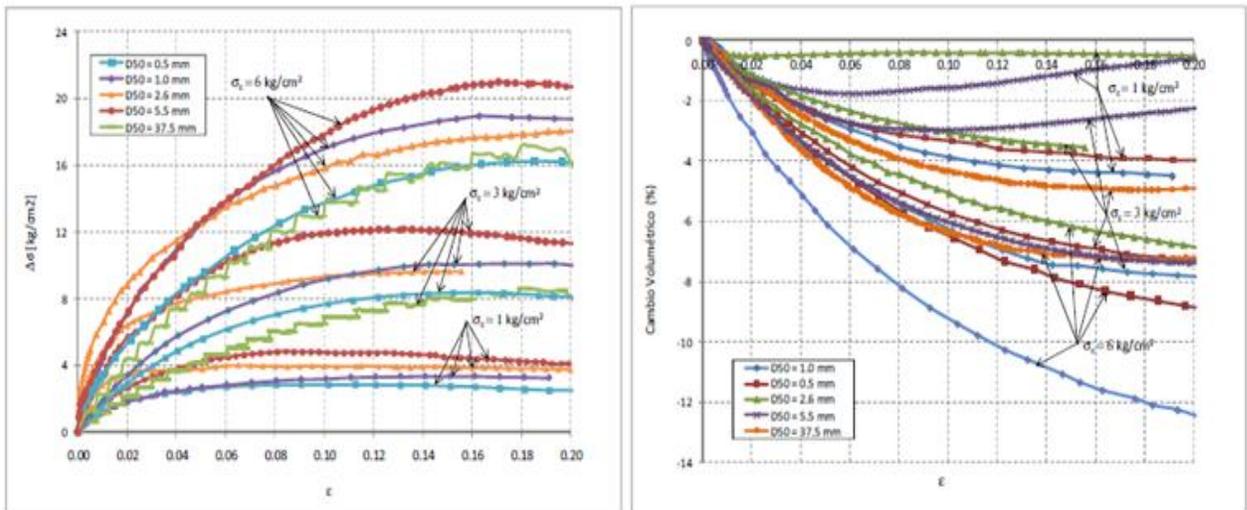


Figura 2.20: Gráficos tensión y cambio volumétrico vs deformación. Material E.R., Dorador (2010)

En la figura 2.20 se puede observar que a pesar de que las muestras del material E.R. fueron confeccionadas a una densidad relativa de 80%, el comportamiento obtenido para confinamientos de 3 y 6 [kg/cm²] fue contractivo y no dilatante. La explicación de esto radica en las partículas meteorizadas presentes en este material, ya que al tener una baja dureza experimentan una rotura importante, impidiendo que se produzca la dilatancia en el material. Para un confinamiento de 1 [kg/cm²], el nivel de rotura alcanzada no es suficiente como para impedir la dilatancia.

Dorador (2010) concluye que la dureza de las partículas es un factor importante a considerar al utilizar el método de las curvas homotéticas y recomienda analizar si la resistencia individual de las partículas de la muestra original es la misma que la de las partículas de la muestra escalada mediante algún ensayo como el de carga puntual.

3. EQUIPOS TRIAXIALES, MATERIAL UTILIZADO Y METODOLOGÍAS DE ENSAYO

3.1 *DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS TRIAXIALES*

Para desarrollar la presente investigación se utilizaron 3 equipos triaxiales pertenecientes al Laboratorio de Sólidos y Medios Particulados de la Universidad de Chile y al Instituto de Investigación y Ensayo de Materiales (IDIEM). La descripción de estos equipos se presenta a continuación.

3.1.1 Equipo triaxial de bajas presiones, Laboratorio de Sólidos y Medios Particulados

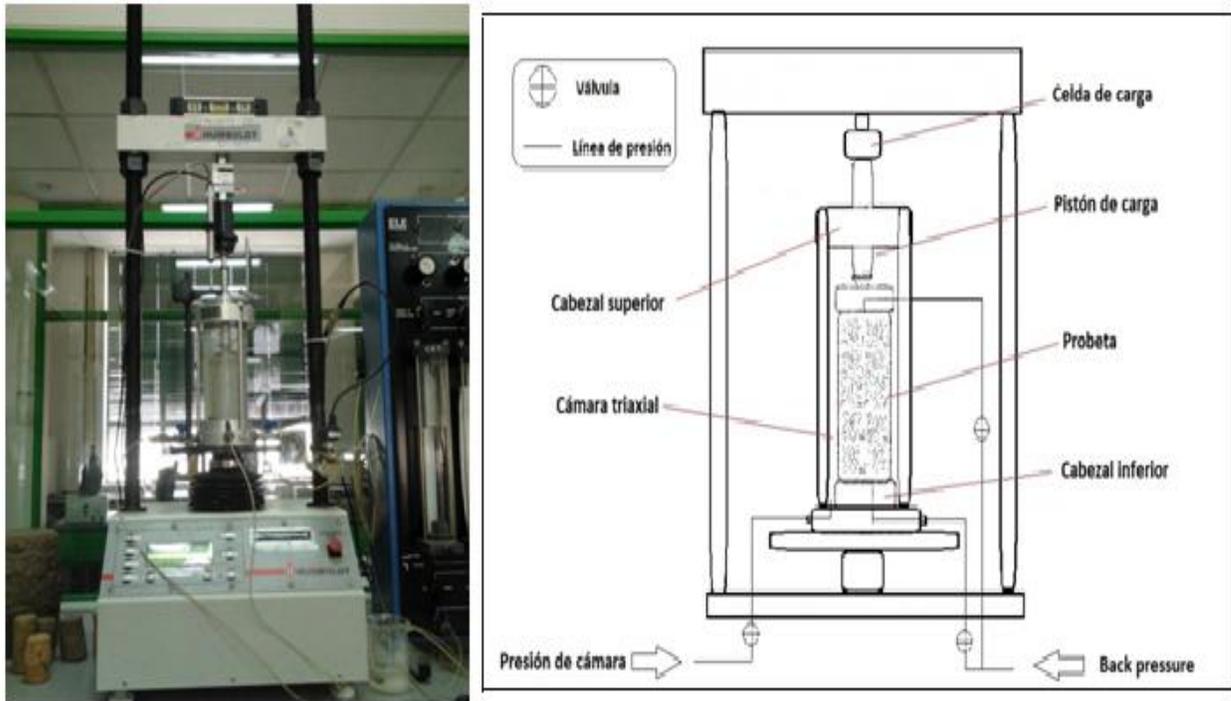


Figura 3.1: Equipo triaxial de bajas presiones y esquema de componentes principales de su cámara triaxial, Laboratorio de Sólidos y Medios Particulados

Este equipo triaxial posee una prensa de carga Modelo Humboldt HM-3000 con capacidad de carga máxima de 5 [tonf] y velocidad de desplazamiento de hasta 75 [mm/min]. La carga vertical se mide por medio de una celda de carga con capacidad máxima de 8,8 [kN] (874 [kgf] aproximadamente). Para medir el desplazamiento vertical se utiliza un sensor de desplazamiento tipo LVDT, el cual tiene una carrera de 3 [cm] y una precisión de 0.005 [mm]. El sistema de control de presiones se realiza a través de un panel de control ELE tipo Tri-Flex 2, con el cual se pueden aplicar presiones de hasta 7 [kgf/cm²]. Este panel se usa para aplicar la presión de cámara y la contrapresión, además de medir cambios volumétricos en buretas con una precisión de 0.05 [cm³]. La presión de poros se mide mediante un transductor de presiones AMETEK, cuya capacidad máxima es de 200 PSIG (15 [kgf/cm²] aproximadamente).

3.1.2 Equipo triaxial de altas presiones, Laboratorio de Sólidos y Medios Particulados

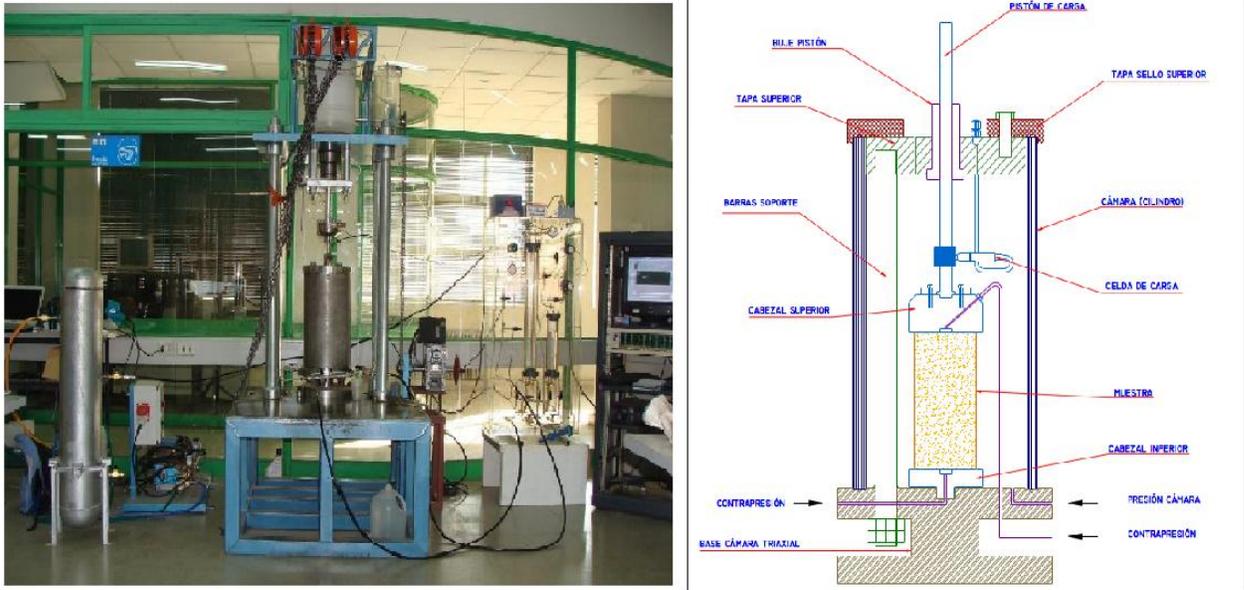


Figura 3.2: Equipo triaxial de altas presiones y esquema de componentes principales de su cámara triaxial, Solans (2010)

Este equipo posee una prensa de carga con una capacidad máxima de 20 [tonf]. Esta carga vertical se mide mediante una celda de carga que permite medir tanto en compresión como en extensión, con un rango de sollicitación que llega hasta los 1200 [kgf]. Para medir desplazamientos verticales se utiliza un sensor de desplazamiento tipo LVDT, el cual se ubica solidario al pistón de carga y tiene una carrera de 50.8 [mm]. La presión de cámara, que puede llegar hasta 60 [kgf/cm²], se aplica mediante una bomba de agua de tres pistones y se estabiliza con un cilindro amortiguador de 60 litros de volumen, mientras que la contrapresión se aplica mediante un compresor de aire y puede llegar hasta los 7 [kgf/cm²]. La adquisición de datos se realiza mediante el programa LabView, con el que se pueden registrar datos con una frecuencia de 1 muestra por segundo para ensayos estáticos. Para medir las presiones de cámara, de poros y contrapresión se utilizan transductores de presión, los cuales, dependiendo del que se desee utilizar, pueden medir presiones máximas de 14, 50 y 100 [kgf/cm²].

3.1.3 Equipo triaxial de gran escala (IDIEM)

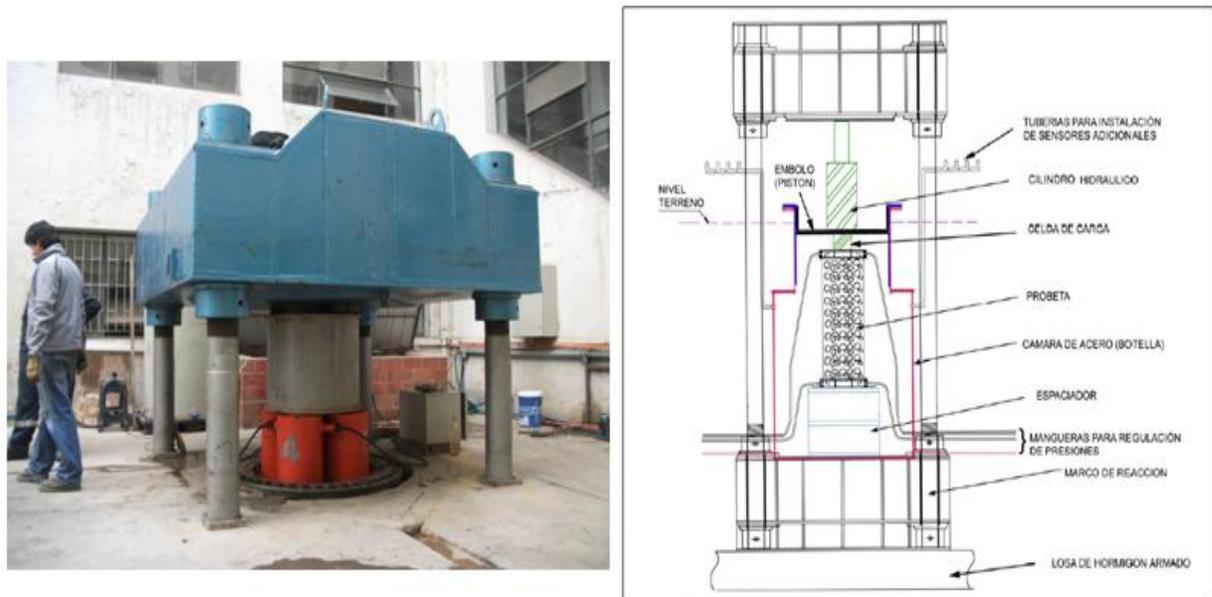


Figura 3.3: Equipo triaxial de gran escala y esquema de componentes principales de su cámara triaxial, De La Hoz (2007)

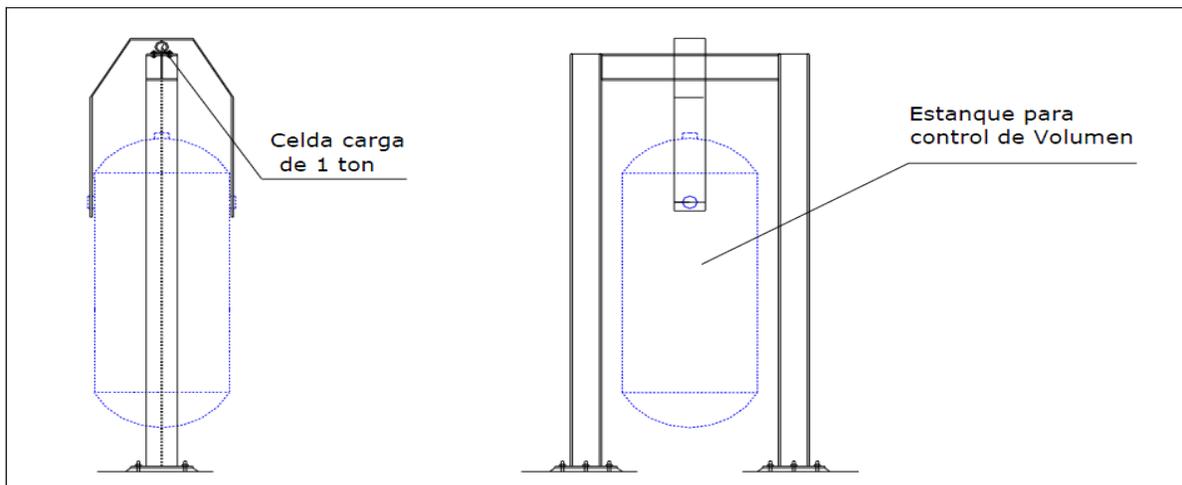


Figura 3.4: Sistema de control volumétrico, De La Hoz (2007)

Este equipo triaxial fue construido el año 2002 por IDIEM con el objetivo de poder ensayar muestras con tamaños de partículas de hasta 7". Los ensayos se realizan bajo carga controlada, la cual puede llegar hasta 2000 [tonf] y es ejercida mediante 4 gatos hidráulicos, cada uno con capacidad de [500 tonf] y una carrera de 40 [cm]. La presión de confinamiento es ejercida mediante una bomba de impulsión con pistones de alta presión que permiten llegar hasta los 30 [kgf/cm²], además cuenta con un estanque de estabilización que permite una presión de confinamiento constante. Para medir los desplazamientos verticales se utilizan 3 sensores tipo

LVDT, cada uno con 5 [cm] de recorrido, los cuales están dispuestos en serie para obtener un registro continuo de las deformaciones de la probeta. Los cambios volumétricos se miden indirectamente a través de una celda de carga que mide los cambios de peso de un estanque de agua de 500 litros de capacidad sostenido por un marco de soporte, tal como se muestra en la figura 3.4. Para medir las presiones se utilizan 3 transductores, uno de ellos para medir la presión de cámara (capacidad máxima 50 [kgf/cm²]) y los otros 2 para medir las presiones de poros dentro de la probeta (capacidad máxima de 10 [kgf/cm²]). El tamaño de las probetas puede ser de 60 x 120 [cm] o de 100 x 180 [cm].

Mayor información sobre los detalles y funcionamiento de este equipo se puede encontrar en los trabajos de Dorador (2010) y De la Hoz (2007).

3.2 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL UTILIZADO

El material utilizado en la presente investigación se obtuvo de canteras de mármol negro, la cual corresponde a una roca metamórfica no foliada con una densidad de partículas entre 2.6 y 2.8 [gr/cm³], cuyo componente principal es el carbonato cálcico y que tiene una dureza en la escala de Mohs entre 3 y 4 (Kearey, 2001). Dentro de esta investigación este material se denomina M.N. (mármol negro). La roca de cantera fue fracturada y reducida mediante un proceso de tronaduras, produciendo partículas de forma angular con un tamaño máximo de 584 [mm] (23'') y un tamaño medio de 107 [mm].

Ensayos triaxiales con probetas de 100 [cm] de diámetro x 180 [cm] de alto se realizaron con el material remanente obtenido después de separar las partículas mayores a 177.8 [mm] (7'') utilizando el método de corte, material que en esta investigación se denomina Macro (figura 3.5). Además, se realizaron ensayos triaxiales a probetas de 5 [cm] de diámetro x 10 [cm] de alto a un material de granulometría paralela al material cortado bajo 7'' denominado H-3, cuyo tamaño máximo de partículas es de 4.75 [mm]. Algunas propiedades de los materiales se presentan en la tabla 3.1:

Tabla 3.1: Caracterización de curvas granulométricas, material M.N.

Muestra	D _{max} [mm]	D ₅₀ [mm]	Coficiente Uniformidad (C _u)	Coficiente Curvatura (C _c)	Clasificación USCS
Original (M.N.)	584.2	104.7	37.5	2.7	GW
Cortado (Macro)	177.8	39.7	34.4	4.1	GP
Escalado (H-3)	4.75	1.1	39.7	3.9	SP



Figura 3.5: Material cortado bajo 7'' (Macro)

Las curvas granulométricas de los materiales descritos se presentan en la Figura 3.6 (los resultados de los ensayos granulométricos se pueden encontrar en el anexo A).

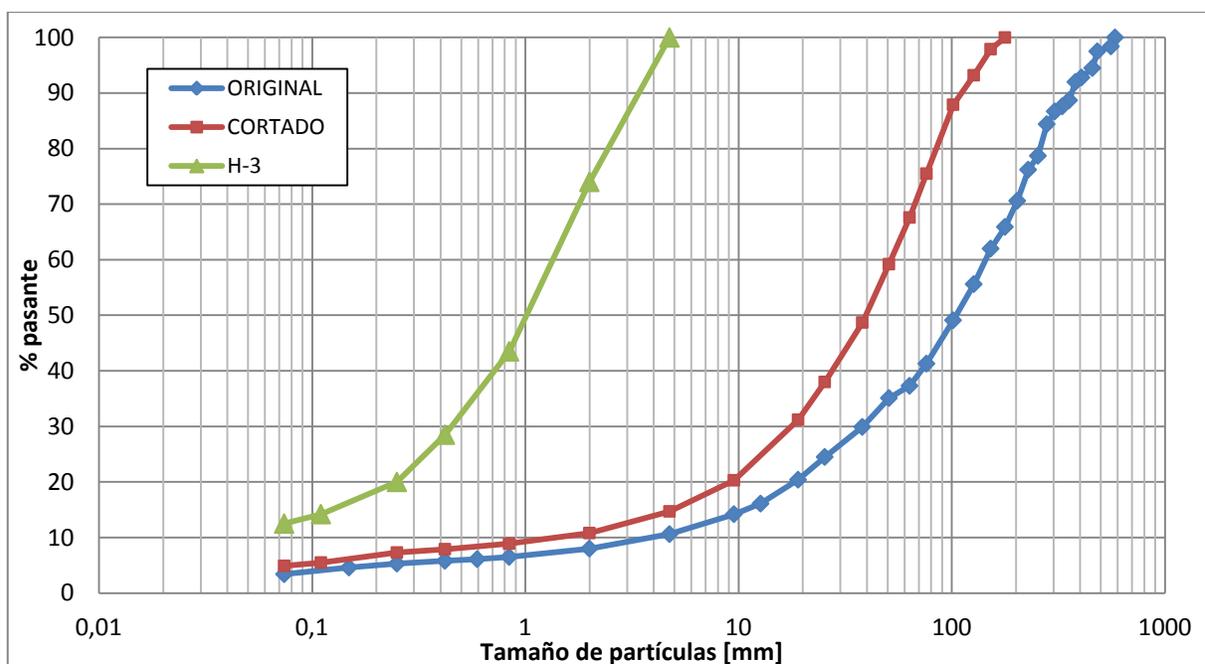


Figura 3.6: Curvas granulométricas

Debido al uso de tronaduras para la creación del suelo estudiado, la forma de las partículas se clasifica entre angulosa y subangulosa (Krumbein y Sloss, 1963). En las figuras 3.7 y 3.8 se puede observar que la forma de las partículas es bastante independiente del tamaño de éstas.



Figura 3.7: Partículas mayores a 5''

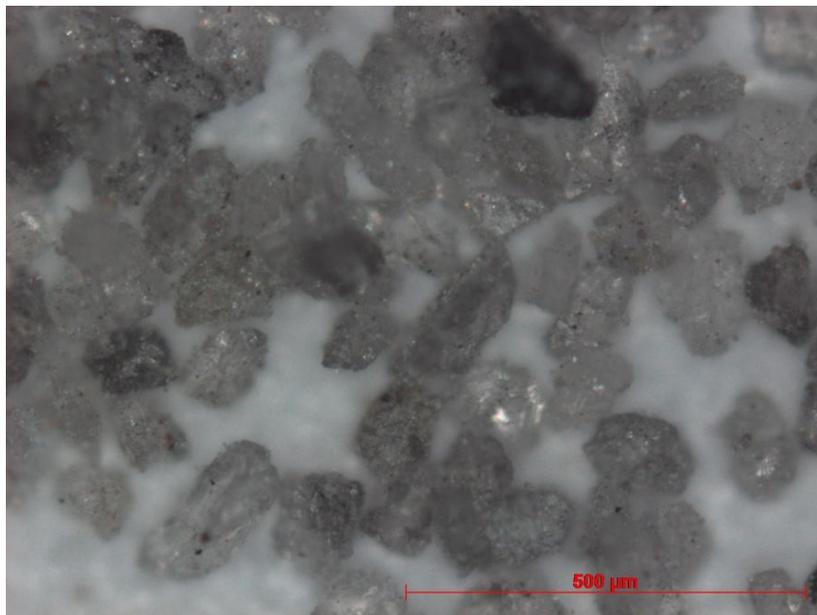


Figura 3.8: Partículas entre malla #140 y #200

La fracción fina de los suelos ensayados, que corresponde a un 4.9% para el material cortado (triaxiales de gran escala) y a un 12.5% para el material escalado (triaxiales convencionales), corresponde a un limo no plástico. El peso específico del material ensayado corresponde a 2.72, el cual fue determinado para la fracción sobre y bajo malla #4 mediante el ensayo de determinación de densidad neta de los gruesos (Manual de Carreteras 8.202.20) y uso de picnómetro (Manual de Carreteras 8.102.10), respectivamente.

Se realizaron ensayos para la determinación de densidades máxima y mínima para la muestra homotética H-3, cuyo tamaño máximo de partículas corresponde a 4.75 [mm], de acuerdo al Manual de Carreteras (8.102.8). Utilizando el peso específico obtenido, fue posible obtener los índices de vacíos límites de este material. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 3.2:

Tabla 3.2: Densidades e índices de vacíos límites para muestra H-3

Material	T_{\max} [mm]	Coefficiente Uniformidad (C_u)	Coefficiente Curvatura (C_c)	γ_{\min} [tonf/m ³]	γ_{\max} [tonf/m ³]	e_{\min}	e_{\max}
H-3	4.75	39.7	3.9	1.63	2.27	0.197	0.666

3.3 METODOLOGÍAS DE ENSAYO

3.3.1 Confección de materiales

Para construir las curvas homotéticas se utilizaron los tamices de 1'', 3/4'', 3/8'', N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°140 y N°200. Una vez separado el suelo por tamaños, se procedió a lavar el material para eliminar las partículas finas remanentes (salvo el material bajo malla #200). Después del lavado se secó el suelo en un horno a 100 °C durante al menos 24 horas. Una vez seco, se procedió a armar los materiales con sus respectivas granulometrías utilizando una pesa con una precisión de 0.005 [gr]. Para el caso de los ensayos triaxiales, se prepararon muestras de 400 gramos de material H-3 para cada ensayo realizado, de esta manera la granulometría antes del ensayo es conocida por lo que puede ser comparada con la granulometría del material después de ser ensayado.

3.3.2 Confección, saturación y consolidación de probetas

- *Probetas de diámetro 100 [cm] y altura de 180 [cm] ensayadas en el equipo triaxial de gran escala*

Estas probetas fueron preparadas mediante compactación seca. El primer paso consiste en armar el molde para la confección de la probeta y colocarlo dentro de la cámara de presión. Una vez montado el molde, se coloca una membrana de caucho, de espesor entre 3 mm y 6 mm, llamada membrana de sacrificio. Se coloca en la base una capa de geotextil y se comienza a compactar el material en 8 capas de igual peso y altura mediante un pisón vibratorio (Figura 3.9). Una vez terminada la compactación de la última capa se coloca un geotextil, se instala el cap superior y se retira el molde. Después de esto se aplica un vacío de $0.3 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$ a la probeta y se coloca una segunda membrana para evitar filtraciones debido a posibles roturas de la membrana de sacrificio. Para finalizar la confección de la probeta se colocan abrazaderas en las zonas de la membrana que están en contacto con el pedestal (zona inferior) y el cap (zona superior) y además se coloca silicona en estas zonas para asegurar que la probeta quede sellada por ambos extremos.



Figura 3.9: Confección probeta de 100 [cm] x 180 [cm]

Una vez sellada la probeta se coloca en la cámara del triaxial y se procede a llenar ésta de agua. Después de esto, se hace circular CO_2 dentro de la probeta en forma ascendente por un período aproximado de 4 horas. Una vez transcurrido este tiempo se procede a saturar la probeta, con agua previamente desaireada, desde la base de la probeta.

Para la verificación de la saturación se calcula el parámetro de Skempton (B), aplicando un aumento de presión de cámara $\Delta\sigma$ y midiendo el correspondiente incremento de presión de poros Δu . Se utilizó como criterio considerar saturada la probeta al obtener un B, correspondiente al cociente entre Δu y $\Delta\sigma$, mayor o igual a 0.95. Después de esto se abren las válvulas de drenaje y se comienza la consolidación de la probeta a través de pequeños incrementos en la presión efectiva de confinamiento.

- *Probetas de diámetro 5 [cm] y altura de 10 [cm] ensayadas en el equipo triaxial de bajas presiones*

Estas probetas también fueron preparadas mediante compactación seca para evitar problemas por diferencia de fábricas. El primer paso es colocar una membrana de látex en la celda donde irá la probeta, después se coloca un molde con dos entradas de aire alrededor de la membrana. Una vez hecho esto se procede a sellar el molde con huincha aisladora con excepción de las dos entradas de aire para después aplicar un vacío de $0.4 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$ a través de estas entradas. Una vez que el vacío se comienza a aplicar a la probeta, se coloca el geotextil inferior y se comienza a compactar el suelo en 10 capas de igual peso y espesor dentro de la probeta. Después de compactar la última capa, se coloca el geotextil y cap superior, se deja de aplicar vacío por fuera, se cierran las válvulas y se aplica vacío por dentro de la probeta mediante succión. Después se procede a retirar el molde, instalar la cámara de la celda y llenar ésta de agua. En la Figura 3.10 se muestra el molde sellado antes de que se le aplique vacío y una probeta ya compactada después de retirado el molde.



Figura 3.10: Confección probeta para triaxial de bajas presiones

Una vez llenada la cámara, se procede a aplicar una presión de cámara de aproximadamente $0.3 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$, después se hace pasar CO_2 desde la base hasta la parte superior de la probeta por 30 minutos, para remover el aire que se encuentra dentro de ella. Una vez transcurrido este tiempo se procede a saturar la probeta, haciendo pasar agua desde abajo hacia arriba para asegurar una buena saturación, hasta que se registre una salida de 100 [ml] de agua de la probeta.

Después de acabar con el proceso de saturación, se coloca la celda en el aparato triaxial y se conectan las mangueras de presión de cámara, contrapresión y otra para la medición de presión de poros, después se procede a aumentar gradualmente la presión de cámara y contrapresión, cuidando que la primera siempre sea mayor a la segunda en a lo menos $0.10 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$. Para la verificación de la saturación se calcula el parámetro de Skempton (B) aplicando un aumento de presión de cámara $\Delta\sigma$ y midiendo el correspondiente incremento de presión de poros Δu . Se consideró saturada la probeta al obtener un B mayor a 0.95.

Una vez verificada la saturación se procede a abrir las válvulas de drenaje para consolidar la probeta procurando que ésta se encuentre bajo el confinamiento efectivo requerido antes de comenzar el drenaje.

- *Probetas de diámetro 5 [cm] y altura de 10 [cm] ensayadas en el equipo triaxial de altas presiones*

La confección de estas probetas es muy similar a las utilizadas en el equipo triaxial de bajas presiones, salvo que este proceso ocurre directamente en el triaxial y no en una celda externa, por lo que se utilizó otro molde que permite el armado de la probeta sobre el cap inferior del aparato triaxial. Además debido a las altas presiones de confinamiento, se colocan dos membranas de látex adicionales para evitar posibles filtraciones de agua dentro de la probeta. En la Figura 3.11 se muestra una probeta confeccionada en este triaxial después de haber retirado el molde.



Figura 3.11: Confección probeta para triaxial de altas presiones

La circulación de CO_2 a través de la probeta y su saturación se realizan de igual manera que para el triaxial de bajas presiones, sin embargo la consolidación difiere, ya que en este caso las presiones de cámara son tan altas que se prefiere realizar la consolidación gradualmente para evitar problemas en la probeta. Además como en este equipo el pistón se encuentra atornillado al cap superior, movimientos del pistón ocasionados por la presión de cámara pueden producir esfuerzos sobre la probeta, por lo que es necesario corregir la altura del pistón por cada incremento de presión de confinamiento.

3.3.3 Proceso de corte

Todos los ensayos de esta investigación corresponden a ensayos drenados, por lo que la etapa de aplicación de corte se realizó con las válvulas de drenaje abiertas, permitiendo que la probeta cambiara de volumen.

Como los ensayos en el triaxial de gran escala se realizaron bajo carga controlada, fue necesario realizar una estimación de la velocidad de aplicación de estas cargas para poder utilizarla en los ensayos realizados en los triaxiales de altas y bajas presiones, ya que éstos funcionan bajo deformación controlada. Mediante mediciones durante los ensayos se estimó una velocidad de aplicación de carga entre los 0.09 y 0.10 [%/min] (en donde el signo % se refiere al porcentaje de la altura de la probeta), con la que no se toma en cuenta el tiempo de estabilización entre cargas. En base a esto, los ensayos en el triaxial de bajas presiones se realizaron a una velocidad de 0.10 [%/min] y los del triaxial de altas presiones a una velocidad de 0.13 [%/min], ya que es la menor velocidad posible de utilizar en este equipo.

3.3.4 Medición de índices de vacíos

Para obtener el índice de vacíos para las probetas ensayadas en los triaxiales de altas y bajas presiones, se utilizó el procedimiento propuesto por Verdugo (1992) el cual consiste en los siguientes pasos:

- Cerrar las válvulas de drenaje de la celda triaxial una vez finalizado el ensayo.
- Se libera el back pressure o contrapresión y se aumenta al máximo posible la presión de cámara.
- Se registra el volumen de agua dentro de la bureta que se encuentra conectada con la probeta como V_i .
- Se abren las válvulas de drenaje.
- Se aplica una carga cíclica a la probeta. Para los equipos triaxiales que funcionan a deformación controlada se procede a contraer y extender la probeta teniendo cuidado de no sobrepasar la tensión máxima admisible del transductor de carga.
- Una vez que no se obtengan cambios volumétricos importantes con cada ciclo, se procede a cerrar las válvulas de drenaje y se registra el volumen de agua dentro de la bureta como V_f .
- Se libera la presión de cámara y se desmonta la celda triaxial del marco de carga. Como la presión de cámara se liberó con los drenajes de la probeta cerrados, dentro de ésta se produce una presión negativa que permite una mayor estabilidad al momento de desarmarla, facilitando su manipulación.
- Se calcula la humedad de la probeta (ω) y el índice de vacíos mediante la siguiente fórmula, en donde W_d corresponde al peso del suelo seco:

$$e_{final} = \frac{(|V_i - V_f| + \omega W_d)}{W_d} G_s$$

$$\gamma_{d,final} = \frac{G_s}{e_{final} + 1}$$

Para estimar el índice de vacíos previo al ensayo (o post consolidación) se realizó el siguiente procedimiento:

- A partir de la densidad seca final y la cantidad de material ensayado (dato conocido) se calcula el Volumen total final (V'_f)

- Asumiendo que la probeta está completamente saturada, el cambio volumétrico total de la probeta corresponde al cambio volumétrico de agua producido durante la etapa de corte (ΔV_w), por lo que el Volumen total post consolidación (V'_i) de la probeta se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$V'_i = V'_f + \Delta V_w$$

- Con el Volumen post consolidación de la probeta y la cantidad de material ensayado se obtiene la densidad seca y el índice de vacíos post consolidación.

Para estimar el índice de vacíos previo a la consolidación se repite el mismo proceso utilizado para obtener el índice de vacíos post consolidación, pero utilizando el cambio volumétrico producido durante la consolidación. El valor obtenido en general debiese ser mayor al valor nominal utilizado al momento de armar la probeta, ya que durante el proceso de confección se tiende a manipular la probeta, lo que resulta en una densificación de ésta.

La Figura 3.12 se creó a partir de 18 ensayos realizados a distintas densidades, en los cuales se estimó su densidad relativa de confección de acuerdo al procedimiento indicado anteriormente (eje de las ordenadas) y se comparó con la densidad relativa nominal con la que fueron confeccionados (eje de las abscisas), la cual es calculada con el peso del material ensayado y el volumen medido del molde donde la probeta fue armada.

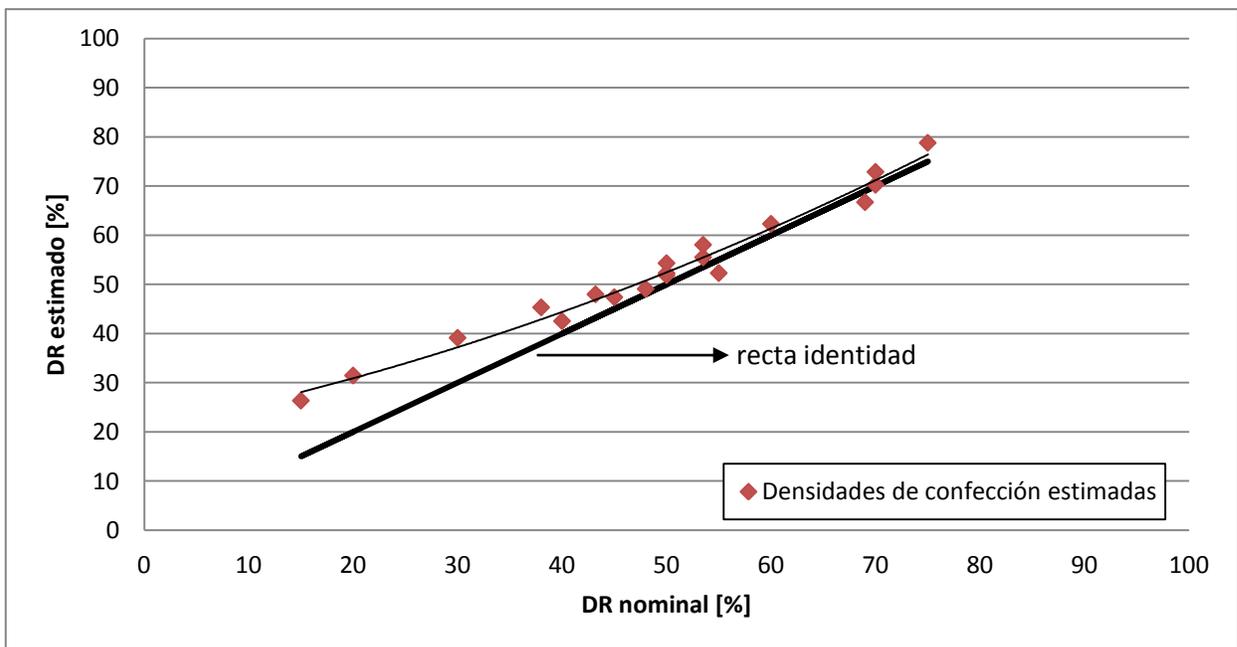


Figura 3.12: Densidades de confección

Mediante el método propuesto previamente en general se obtienen densidades mayores que las nominales, ya que si fuesen iguales estarían en la recta identidad de la figura, además esta diferencia es mayor a medida que la densidad de confección es menor, lo cual es consistente con el hecho de que las probetas más sueltas tienden a verse más afectadas por la manipulación producida previa a la consolidación.

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Se realizaron triaxiales CID en los equipos pertenecientes al Laboratorio de Sólidos y Medios Particulados de la Universidad de Chile (sección 3.1) a presiones de confinamiento de 0.5, 2, 5, 10 y 20 [kgf/cm²] y con densidades relativas de confección desde 20% hasta 75% para la muestra escalada H-3. En la tabla 4.1 se resumen los ensayos utilizados en este capítulo. El objetivo de dichos triaxiales fue replicar la resistencia peak que se obtuvo en los triaxiales de gran escala perteneciente a IDIEM, y además de conocer los parámetros de resistencia de la muestra escalada a bajos confinamientos.

Tabla 4.1: Resumen ensayos triaxiales

Ensayo	σ'_c [kgf/cm ²]	DR _{confección} nominal [%]	DR _{confección} estimada (*) [%]	DR _{post-} consolidación [%]	DR _{final} [%]	ϕ_{peak} [°]
1	0,5	70	71,5	72,9	61,2	48,4
2	2	68	68,4	73,2	74	44,4
3	5	43.2	48	58.9	76,9	39,1
4	5	48	49.1	61.4	77,7	39,4
5	5	53.5	55.5	66.3	79,8	40,2
6	5	69	66.7	74.4	80,3	41,0
7	5	75	78.8	83.9	85,8	43,5
8	10	20	31.5	60.5	81,1	38,7
9	10	30	39.2	62.8	82,4	38,8
10	10	38	45.3	66.0	83,1	39,2
11	10	50	54.3	72.7	86,1	39,3
12	20	40	42.6	70.2	86,1	35,1
13	20	45	47.4	74.7	92,2	37,3
14	20	50	51.9	77.9	92,1	38,9
15	20	50	52.3	78.7	93,7	38,8

(*): Las densidades de confección estimadas corresponden a las calculadas mediante el método discutido en la sección 3.3.4

Se utilizaron los resultados de cinco ensayos triaxiales realizados por IDIEM al material cortado bajo 7° , con las siguientes características:

- Ensayos consolidados, isotrópicos y drenados (CID).
- 2 ensayos monotónicos con confinamientos de 5 y 20 [kgf/cm²].
- 3 ensayos de carga-descarga con confinamientos de 5, 10 y 20 [kgf/cm²].
- Densidad seca de confección: 2.1 [tonf/m³]
- Humedad de confección: 0.09 [%]
- Contrapresión: 2 [kgf/cm²].
- D_{\max} : 177.8 mm (7°).
- D_{50} : 39.67 mm.

Las conclusiones basadas en la comparación entre ensayos de probetas macro con muestras homotéticas son complementadas con los resultados obtenidos por Gesche (2002), De La Hoz (2007) y Dorador (2010), quienes también lograron replicar resistencias peak de ensayos, pero con confinamientos y razón entre los valores D_{50} de los suelos diferentes a los de esta investigación.

Es importante mencionar que el parámetro utilizado para analizar las resistencias peak fue el del máximo ángulo de fricción movilizado (ϕ_{peak}).

4.1 **RESULTADOS DE ENSAYOS TRIAXIALES CID**

4.1.1 Ensayos triaxiales CID a muestra cortada Macro

A continuación se presentan los resultados de los ensayos realizados por IDIEM a la muestra Macro. La preparación y realización de estos ensayos es descrita en mayor detalle en el capítulo 3. En la figura 4.1 se presenta el esfuerzo desviador aplicado a las probetas vs la deformación, mientras que en la figura 4.2 se presentan los cambios volumétricos medidos durante la aplicación la etapa de corte.

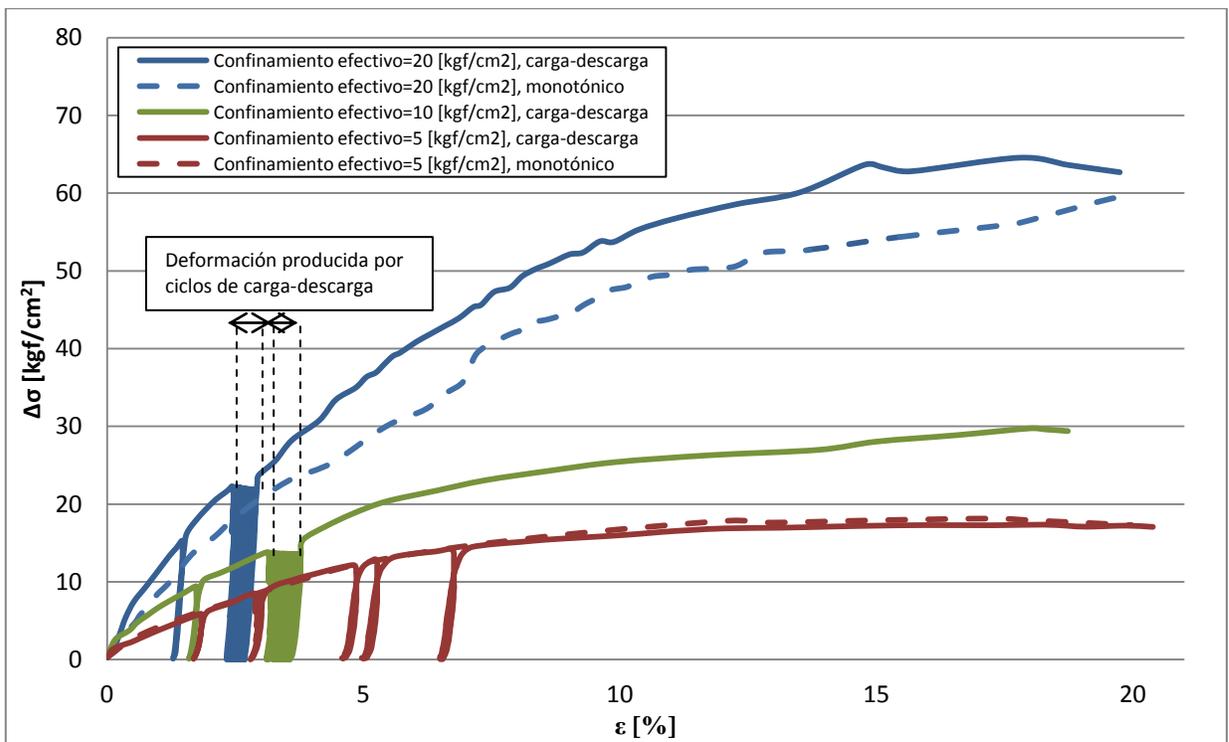


Figura 4.1: Esfuerzo desviador vs deformación unitaria, triaxiales de gran escala

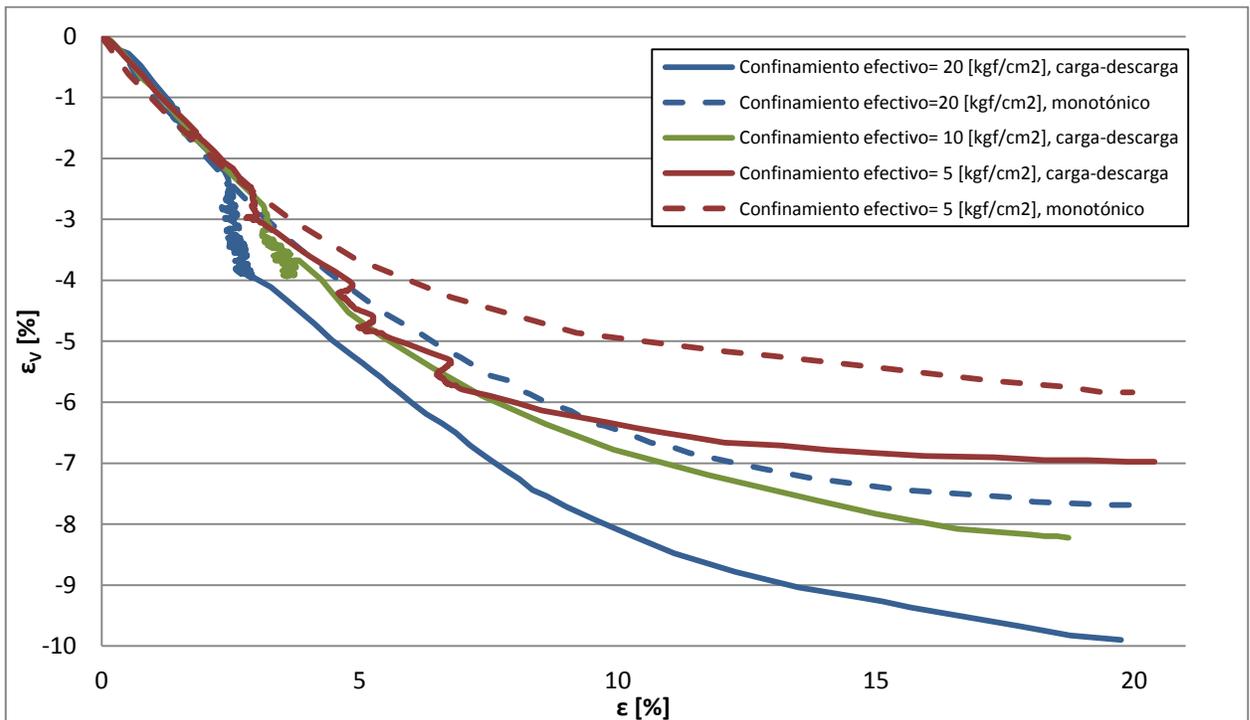


Figura 4.2: Deformación volumétrica unitaria vs deformación unitaria, triaxiales de gran escala

En la figura 4.1 se puede observar que la respuesta del ensayo monotónico a 20 [kgf/cm²] puede haber tenido problemas durante la aplicación del esfuerzo desviador, por lo que este ensayo no será considerado para los análisis de esta investigación. Para el confinamiento efectivo de 5 [kgf/cm²], el efecto de la carga y descarga en la resistencia desarrollada por el suelo no es importante, ya que se nota que el comportamiento del material bajo carga monotónica es el mismo que bajo carga-descarga. Sin embargo para los ensayos a confinamientos mayores la deformación producida por estos ciclos es más importante (aproximadamente 0.5%), por lo que podría haber algún efecto asociado al tipo de ensayo. En cuanto a los cambios volumétricos, al comparar los dos ensayos a 5 [kgf/cm²] de confinamiento se puede observar que los ensayos de carga-descarga desarrollan una mayor compresión o salida de agua que los ensayos monotónicos (figura 4.2).

Los índices de vacíos, densidades secas y relativas para las etapas de confección y de ensayo (o post-consolidación) y los ángulos de fricción peak se resumen en la tabla 4.2:

Tabla 4.2: Índices de vacío y densidades para las etapas de confección y de ensayo, triaxiales de gran escala

Tipo ensayo	σ'_c [kgf/cm ²]	$\gamma_{d,conf}$ [tonf/m ³]	e_{conf}	DR _{conf} [%]	$\gamma_{d,ens}$ [tonf/m ³]	e_{ens}	DR _{ens} [%]	ϕ_{peak} [°]
Monotónico	5	2.1	0.293	57.9	2.15	0.263	71.5	39.7
Carga- descarga	5	2.1	0.293	57.9	2.16	0.257	74.2	39.0
Carga- descarga	10	2.1	0.293	57.9	2.2	0.234	84.5	35.7
Monotónico	20	2.1	0.293	57.9	2.25	0.207	97	36,7
Carga- descarga	20	2.1	0.293	57.9	2.29	0.186	106.5	36.9

En la tabla 4.2 se puede observar que, producto de los distintos niveles de confinamiento utilizados, las densidades post consolidación (o de ensayo) resultaron ser bastante diferentes entre ellas, aún cuando todas las probetas fueron confeccionadas bajo las mismas condiciones y densidad. Este es un hecho que se debe tener presente al comparar los resultados entre estos ensayos, ya que cada uno se realizó a un índice de vacíos diferente inicial.

Cabe mencionar que por la naturaleza del ensayo triaxial de carga controlada (sección 3.3.3), la resistencia residual de las muestras no puede ser determinada, por lo que se considera válido como resultado sólo hasta la resistencia máxima de las probetas, no siendo posible concluir mas allá de esta resistencia. Además, debido a que el equipo no es capaz de registrar la caída de resistencia post peak, no se puede conocer con precisión el nivel de deformaciones en donde se produce esta resistencia máxima, por lo que se asumirá que ésta se desarrolla a la misma deformación en donde el ensayo al material escalado logra replicar esta resistencia.

4.1.2 Ensayos triaxiales CID a muestra homotética H-3

A continuación se presentan los resultados de los ensayos realizados a 5, 10 y 20 [kgf/cm²] en el Laboratorio de Sólidos y Medios Particulados de la Universidad de Chile.

4.1.2.1 Ensayos a confinamiento de 5 [kgf/cm²]

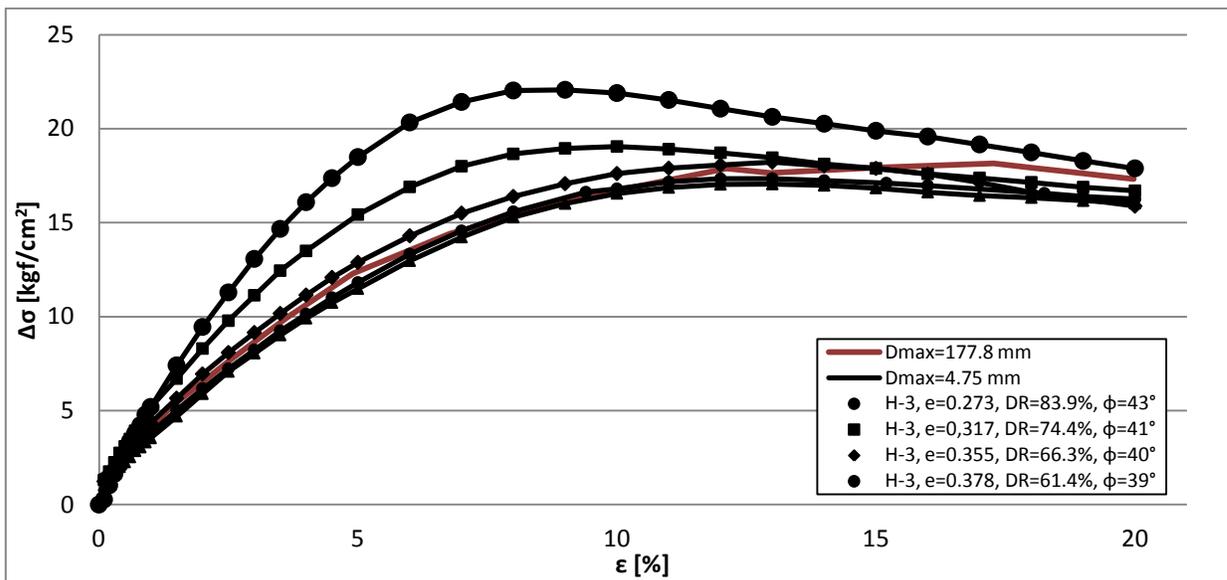


Figura 4.3: Gráfico tensión vs deformación unitaria, $\sigma'_c=5$ [kgf/cm²]

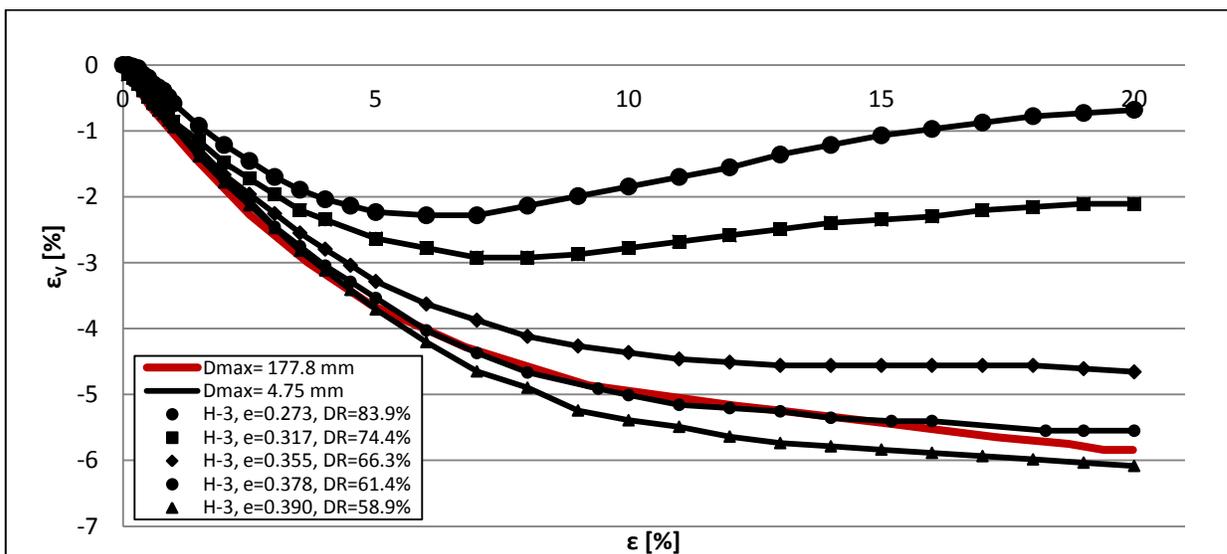


Figura 4.4: Gráfico deformación volumétrica unitaria vs deformación unitaria, $\sigma'_c=5$ [kgf/cm²]

Con la probeta homotética ensayada a 61% de densidad relativa de ensayo se logró replicar la resistencia máxima de la muestra Macro y también su respuesta volumétrica, obteniéndose curvas semejantes para todos los niveles de deformación analizados, lo que indica que con el método de las curvas homotéticas se obtuvo esencialmente el mismo comportamiento de la muestra Macro en probetas pequeñas.

En general se puede observar que al aumentar la densidad se obtienen rigideces y resistencias máximas mayores, mientras que los cambios volumétricos son menores. En particular, para el ensayo más denso presentado en la figura 4.4 ($DR_{ensayo}=84\%$), se observa una tendencia a la dilatancia a partir de un 6% o 7% de deformación unitaria, sin embargo no llega a obtener un volumen mayor que el inicial. Las resistencias máximas obtenidas se desarrollan en un nivel de deformaciones que es menor mientras mayor sea la densidad de ensayo, en particular para este confinamiento las resistencias máximas se desarrollan entre un 8% y un 13% de deformaciones. Con los ensayos a 5 [kgf/cm²] de confinamiento fue posible obtener una resistencia residual para un nivel de deformaciones del 20% de aproximadamente 16 [kgf/cm²] (esfuerzo desviador), salvo la probeta ensayada más densa, la cual aún tenía una resistencia levemente superior a la residual en ese nivel de deformaciones, sin embargo su tendencia indica que a una mayor deformación debería haber alcanzado la misma resistencia residual.

4.1.2.2 Ensayos a confinamiento de 10 [kgf/cm²]

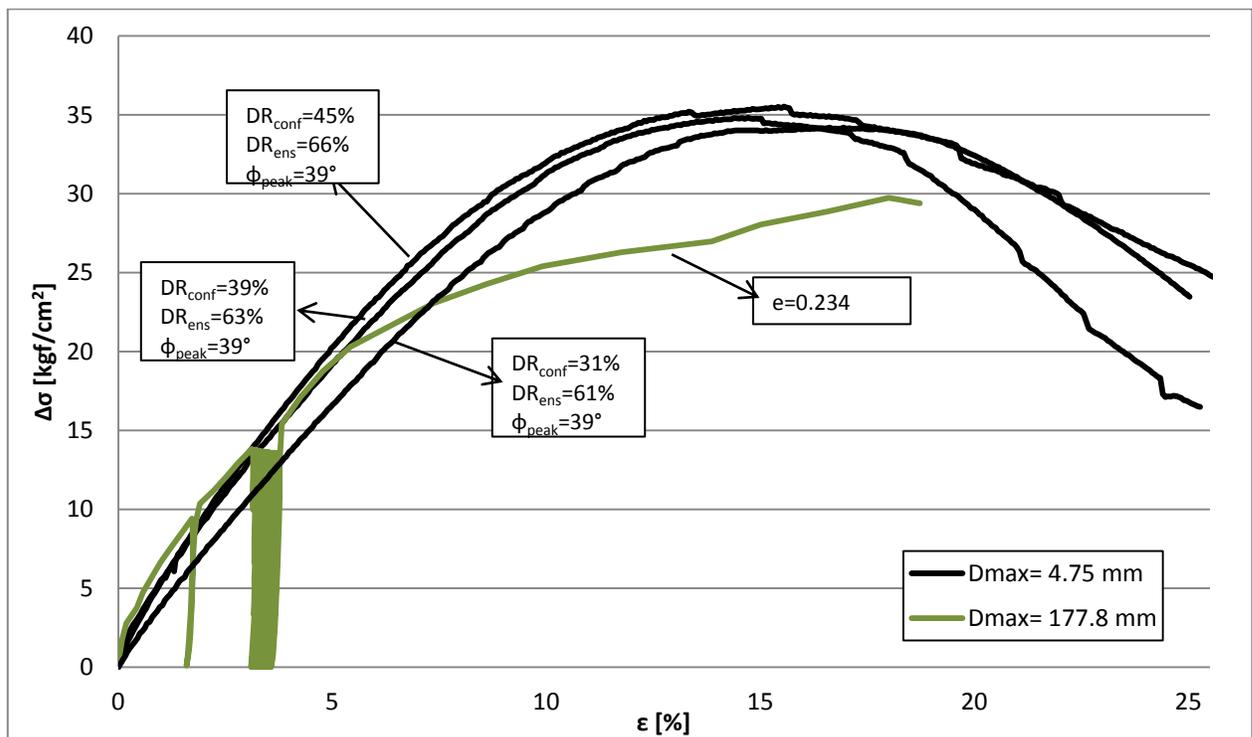


Figura 4.5: Gráfico tensión vs deformación unitaria, $\sigma'_c=10$ [kgf/cm²]

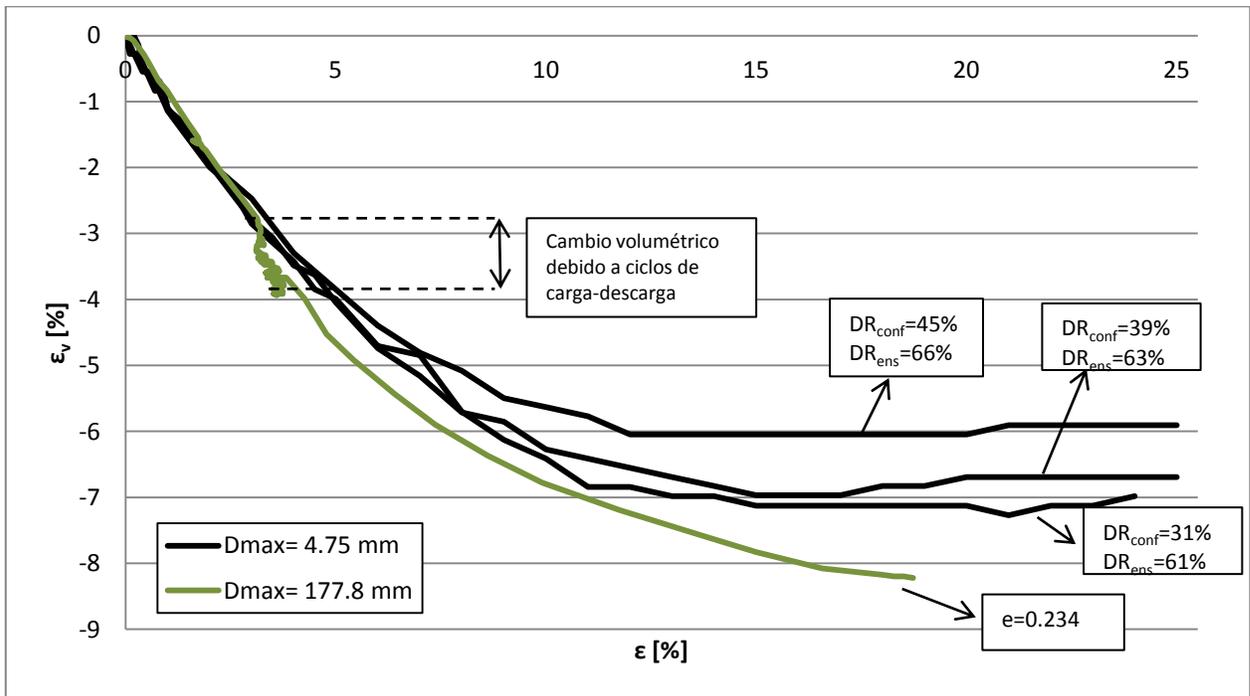


Figura 4.6: Gráfico deformación volumétrica unitaria vs deformación unitaria, $\sigma'_c = 10$ [kgf/cm²]

Para los ensayos realizados al material escalado bajo este confinamiento se obtiene que un aumento en la densidad inicial produce cambios volumétricos menores, y al mismo tiempo resistencias y rigideces mayores. No se observa una tendencia a dilatar en ninguno de los ensayos realizados a 10 [kgf/cm²] de confinamiento, lo cual era esperable ya que son ensayos realizados a menor densidad y mayor confinamiento que los ensayos que tendieron a dilatar a un confinamiento de 5 [kgf/cm²] (figuras 4.3 y 4.4). Además se puede observar que a partir de un 12% a 14% de deformaciones las probetas se estabilizan y prácticamente dejan de cambiar volumétricamente.

Para los ensayos monotónicos a 10 [kgf/cm²] de confinamiento no fue posible replicar la resistencia máxima, ya que incluso para ensayos confeccionados muy sueltos ($DR = 20\%$), la resistencia desarrollada por el suelo H-3 fue superior a la desarrollada por el material original. Una explicación posible de esto es que el ensayo realizado al material original haya tenido problemas, ya que en la figura 4.5 se observa que a partir del 5% de deformación el comportamiento resistente cambia bruscamente al tener un cambio en la rigidez, lo cual se refleja en una pérdida de resistencia.

El cambio volumétrico no pudo ser replicado para los ensayos a confinamiento de 10 [kgf/cm²], ya que el ensayo macro fue sometido a cargas y descargas, las cuales ocasionaron un escape de agua adicional (aproximadamente 0.7% en deformación volumétrica). Sin embargo la tendencia del cambio volumétrico después de los ciclos es similar a la obtenida en los ensayos de la muestra homotética.

De acuerdo con la figura 4.5, las resistencias máximas se desarrollan entre un 14% y un 16% de deformación unitaria, el cual corresponde a un rango mayor de deformación que el obtenido para los ensayos a confinamiento de 5 [kgf/cm²]. Una consecuencia de esto podría ser que con estos ensayos no se lograra llegar con claridad a una resistencia residual definida, ya que las probetas necesitan deformarse más para poder desarrollar toda la caída de resistencia post peak, lo que en este caso no se logra aún cuando se haya llegado al 25% de deformación unitaria.

4.1.2.3 Ensayos a confinamiento de 20 [kgf/cm²]

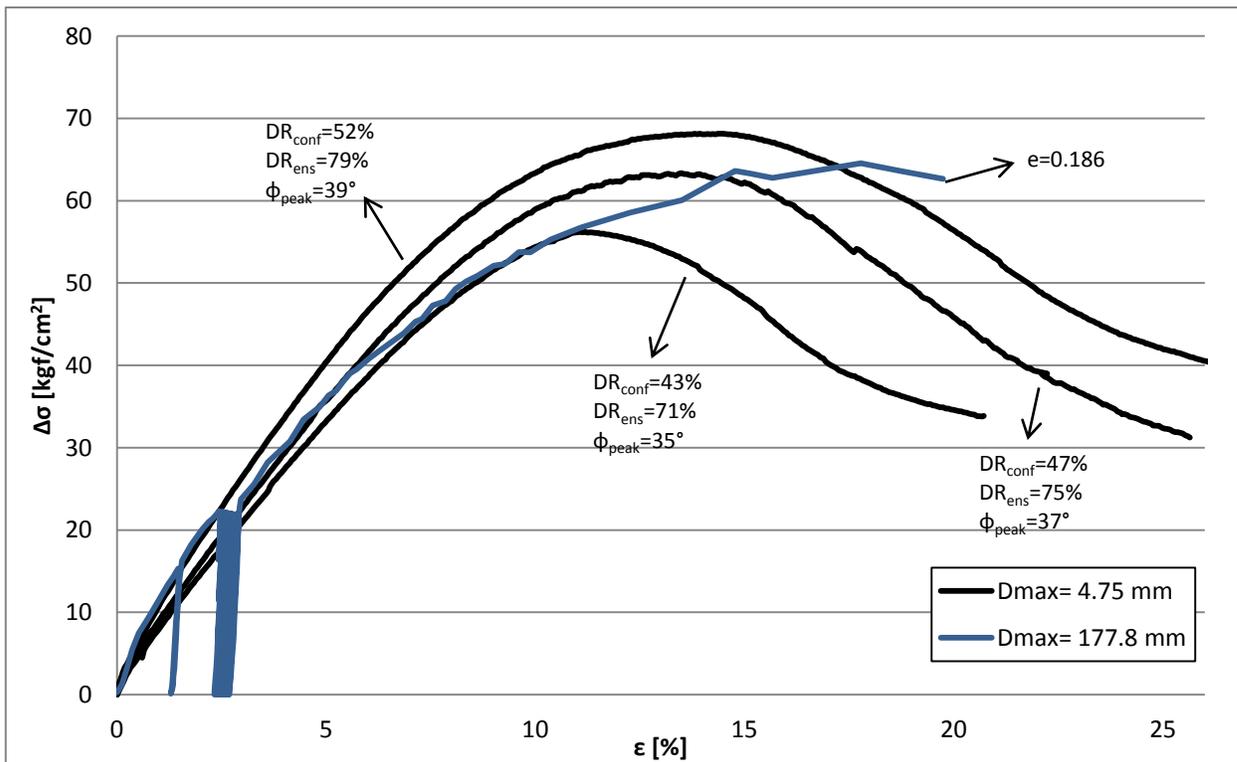


Figura 4.7: Gráfico tensión vs deformación unitaria, $\sigma'_c=20$ [kgf/cm²]

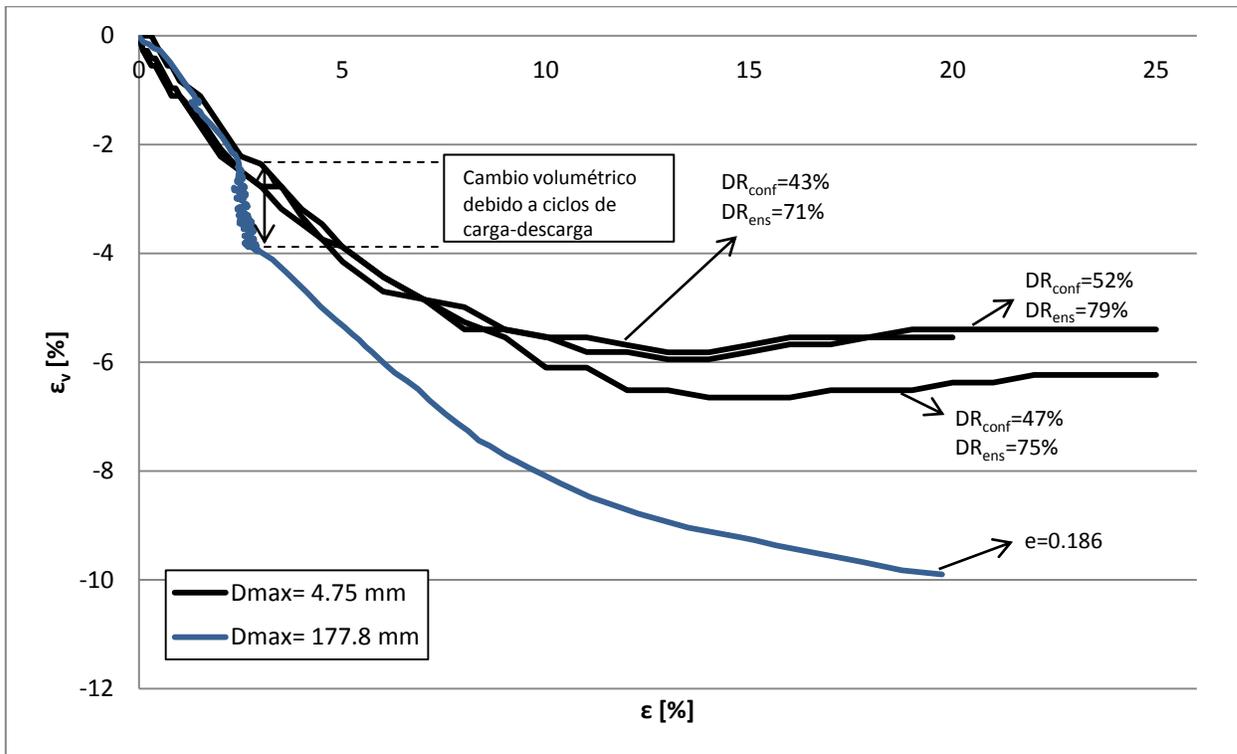


Figura 4.8: Gráfico de deformación volumétrica unitaria vs deformación unitaria, $\sigma'_c=20$ [kgf/cm²]

Para los ensayos monotónicos a 20 [kgf/cm²] de confinamiento fue posible replicar la resistencia máxima de la probeta macro con una probeta del material escalado ensayado a una densidad relativa de 75%, sin embargo estas resistencias se desarrollan a niveles de deformación diferente, ya que con el material macro y escalado se obtienen las resistencias máximas para deformaciones de 17% y 13% respectivamente.

Al igual que para los ensayos a 10 [kgf/cm²] de confinamiento, en estos ensayos el cambio volumétrico tampoco pudo ser replicado. En este caso el cambio volumétrico debido a los ciclos de carga-descarga corresponde a aproximadamente 1.6% de deformación volumétrica (figura 4.8). También en estos ensayos se tienen tendencias similares después de los ciclos de carga-descarga.

En cuanto a las resistencias residuales, se obtuvieron resultados similares a los de los ensayos a confinamiento de 10 [kgf/cm²], ya que a pesar de llegar a un 25% de deformación unitaria no se pudo obtener una resistencia residual bien definida, aunque las tendencias indican que ésta se encontraría alrededor de los 30 [kgf/cm²] (figura 4.7).

Comparando los ensayos bajo los tres confinamientos estudiados, sólo se observa una tendencia a dilatar en las 2 probetas más densas ensayadas a 5 [kgf/cm²] de confinamiento, mientras que en el resto sólo se observa un comportamiento contractivo. Esto es consistente ya que un mayor confinamiento disminuye el encaje entre partículas, y por ende la tendencia a dilatar del suelo (Lambe y Whitman, 1969), por lo que si esta tendencia dilatante aparece para densidades relativas de ensayo del orden de 70% a 5 [kgf/cm²] de confinamiento, no hay forma que aparezca en los ensayos a 10 [kgf/cm²], ya que todos ellos tienen densidades relativas de ensayo menores a 70%; y a pesar de que hay un ensayo a 20 [kgf/cm²] de confinamiento con una DR de 79%, la disminución del encaje entre las partículas debido al confinamiento impide la posibilidad de dilatancia.

4.2 MÓDULO DE DEFORMACIÓN SECANTE

Se calculó el módulo de deformación E₅₀ (definido por el punto donde se encuentra la mitad de la tensión máxima desarrollada durante el ensayo) para los ensayos triaxiales mostrados en la sección 4.1, de manera de poder estudiar la variación de la rigidez para los confinamientos de 5, 10 y 20 [kgf/cm²]. Los valores obtenidos se resumen en las tablas 4.3 y 4.4 y se presentan en la figura 4.9:

Tabla 4.3: Módulos de deformación para material H-3 (escalado)

σ_c [kgf/cm ²]	DR _{ens}	e _{ens}	$\Delta\sigma_{E50}$ [kgf/cm ²]	ϵ_{E50} [%]	E ₅₀ [kgf/cm ²]
5	58.9	0.391	8.5	3.24	262.8
	61.4	0.379	8.7	3.21	269.8
	66.3	0.356	9.1	2.98	305.7
	74.4	0.318	9.5	2.41	394.8
	83.9	0.274	11.0	2.43	454.0
10	61	0.381	17.1	5.18	330.4
	63	0.372	17.4	4.44	392.1
	66	0.358	17.8	4.25	418.0
	72.7	0.326	17.7	3.70	477.3
20	70	0.334	28.1	4.12	681.9
	75	0.315	31.7	4.36	725.9
	78	0.301	34.5	4.14	832.6
	79	0.297	34.1	4.06	838.8

Tabla 4.4: Módulos de deformación para el material Macro (cortado bajo 7'')

σ_c [kgf/cm ²]	e_{ens}	$\Delta\sigma_{E50}$ [kgf/cm ²]	ε_{E50} [%]	E50 [kgf/cm ²]
5	0.263	9.1	3.21	283.3
10	0.234	14.9	3.81	390.5
20	0.186	32.3	4.32	747.4

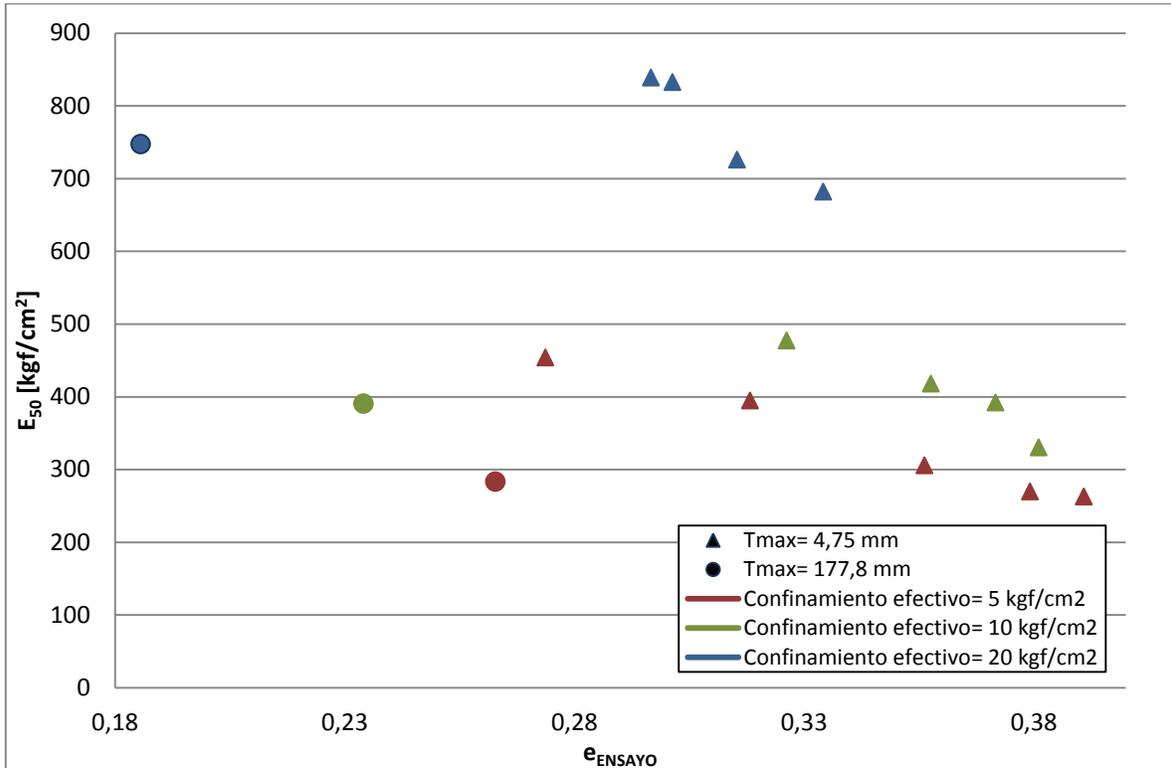


Figura 4.9: Módulos de deformación vs índice de vacíos

En la figura 4.9 se confirma la tendencia esperada de que la rigidez aumente a medida que el índice de vacíos disminuye. Es interesante notar que para los confinamientos de 5 y 20 [kgf/cm²], los ensayos realizados al material escalado que logran replicar el módulo de deformación de los ensayos macro son los mismos que logran replicar el ángulo de fricción peak respectivo. Esto podría resultar particularmente útil para los ensayos a 10 [kgf/cm²] de confinamiento, ya que se podrían utilizar los módulos de deformación para estimar bajo que densidad de ensayo se podría lograr un match con los ángulos de fricción peak entre ambos suelos, lo que de acuerdo con esta figura se logra con la probeta ensayada a 63% de densidad relativa, tal como se muestra en la tabla 4.3. Lo anterior es válido ya que todos los módulos de deformación se calculan con resistencias desarrolladas a deformaciones menores al 5%, el cual es un rango donde el ensayo de gran escala a 10 [kgf/cm²] de confinamiento entregó resultados coherentes.

4.3 RESISTENCIA DE LAS PARTÍCULAS

Para estudiar si el escalamiento afectó a la resistencia de las partículas se realizaron ensayos de carga puntual a partículas de tamaños nominales de 4.75, 9.53 y 25.4 [mm] gracias a la ayuda de IDIEM. Además se cuenta con los datos de ensayos de compresión uniaxial a 8 testigos extraídos de la roca que dio origen a este material (mármol negro), los cuales fueron realizados por GOLDER ASSOCIATES PERÚ S.A. Para comparar ambos parámetros se utilizó una correlación lineal confeccionada a partir de los resultados de Broch y Franklin (1972), D'Andrea et al. (1965) y Bieniawski (1974). Es importante mencionar que los ensayos de carga puntual se realizaron sólo para el marco de esta investigación, ya que no cumplen con la norma ASTM D5731-08, al ser las partículas ensayadas de menor tamaño que las admisibles.

En la tabla 4.5 se resumen los resultados obtenidos de los ensayos de compresión uniaxial:

Tabla 4.5: Ensayos de compresión uniaxial

Testigo	Diámetro [cm]	Longitud [cm]	Esbeltez	Factor de corrección	Carga [kgf]	UCS [kgf/cm ²]
1	4.5	9.0	2.00	1	8580	539
2	4.5	9.05	2.01	1	17590	1106
3	4.5	9.05	2.01	1	17140	1078
4	4.5	9.01	2.00	1	20880	1313
5	4.55	9.1	2.00	1	9020	555
6	4.55	9.15	2.01	1	10110	622
7	4.55	9.15	2.01	1	22470	1382
8	4.55	9.2	2.02	1	21820	1342

La media de estos ensayos es de 992 [kgf/cm²]. Los resultados promedio de los ensayos de carga puntual se presentan a continuación (los detalles de estos ensayos se encuentran en el anexo C):

Tabla 4.6: Ensayos de carga puntual, IDIEM

Tamaño medio [mm]	Índice de Carga Puntual (Is) [MPa]	Is ₅₀ [MPa]	UCS _{ESTIMADO} (24*Is ₅₀) [kgf/cm ²]
25,4	6,79	4,7	1128
9,53	5,20	3,33	799,2
4,75	9,02	2,51	602,4

Se puede observar que para los 3 tamaños de partículas se obtienen UCS estimados muy cercanos al promedio de las compresiones uniaxiales realizadas a los testigos de la roca intacta, por lo que la resistencia promedio de las partículas no se ve muy afectada por el escalamiento, sin embargo hay que considerar que con los ensayos de compresión uniaxial no es factible analizar la influencia de los planos de debilidad, fracturamiento y microfisuras del macizo rocoso, de manera que no se puede concluir con estos resultados que la resistencia de las partículas será similar para los ensayos del suelo original y del escalado. A continuación, de la figuras 4.10 a la figura 4.16 se presentan fotografías de los testigos ensayados para los ensayos de compresión uniaxial y de las muestras utilizadas para los ensayos de carga puntual.



Figura 4.10: Testigos para ensayos de compresión uniaxial



Figura 4.11: Roca (mármol negro perforada con diamantina) para ensayo de compresión uniaxial



Figura 4.12: Equipo para ensayos de compresión uniaxial



Figura 4.13: Testigos luego de ensayo de compresión uniaxial



Figura 4.14: Fotografías antes y después de ensayo de carga puntual, partículas de 25.4 mm



Figura 4.15: Fotografías antes y después de ensayo de carga puntual, partículas de 9.53 mm



Figura 4.16: Fotografías antes y después de ensayo de carga puntual, partículas de 4.75 mm

4.4 FORMA DE PARTÍCULAS

Para analizar si la forma general de las partículas se vio afectada por las consolidaciones y aplicación de corte inherentes a los ensayos triaxiales, se realizó una comparación entre partículas no ensayadas con partículas obtenidas después de la realización de un ensayo triaxial. El procedimiento consistió en tamizar cada muestra para obtener partículas de distintos tamaños y tomarles fotografías, las cuales dependiendo del tamaño de partículas fueron tomadas mediante una cámara convencional o con un microscopio electrónico. Las muestras post ensayo se obtuvieron a partir de las probetas ensayadas a un confinamiento de 20 [kgf/cm²], ya que fueron las que sufrieron mayor rotura de partículas (figuras 5.3 y 5.4). Las fotografías de las partículas se presentan a continuación en las figuras 4.17 a 4.22:



Figura 4.17: Partículas de material no ensayado, material H-3 post ensayo $\sigma'_c=20$ [kgf/cm²] y material macro post ensayo $\sigma'_c=20$ [kgf/cm²] entre mallas #4 y #10

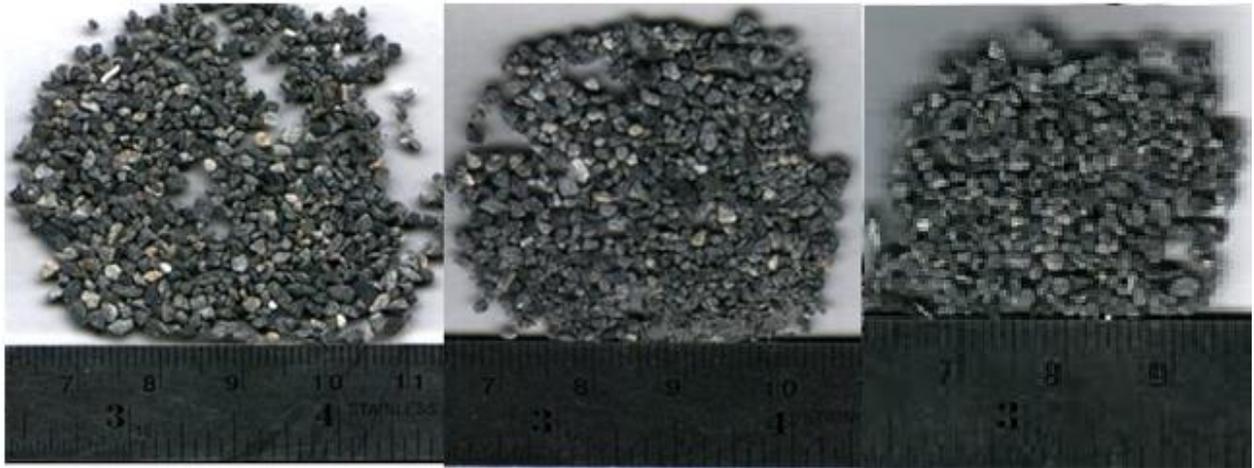


Figura 4.18: Partículas de material no ensayado, material H-3 post ensayo $\sigma'c=20$ [kgf/cm²] y material macro post ensayo $\sigma'c=20$ [kgf/cm²] entre mallas #10 y #20



Figura 4.19: Partículas de material no ensayado, material H-3 post ensayo $\sigma'c=20$ [kgf/cm²] y material macro post ensayo $\sigma'c=20$ [kgf/cm²] entre mallas #20 y #40

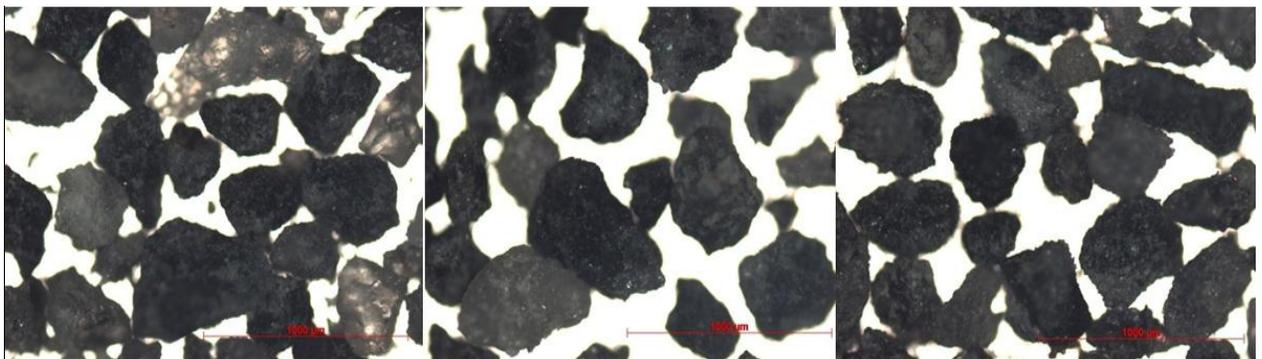


Figura 4.20: Partículas de material no ensayado, material H-3 post ensayo $\sigma'c=20$ [kgf/cm²] y material macro post ensayo $\sigma'c=20$ [kgf/cm²] entre mallas #40 y #60

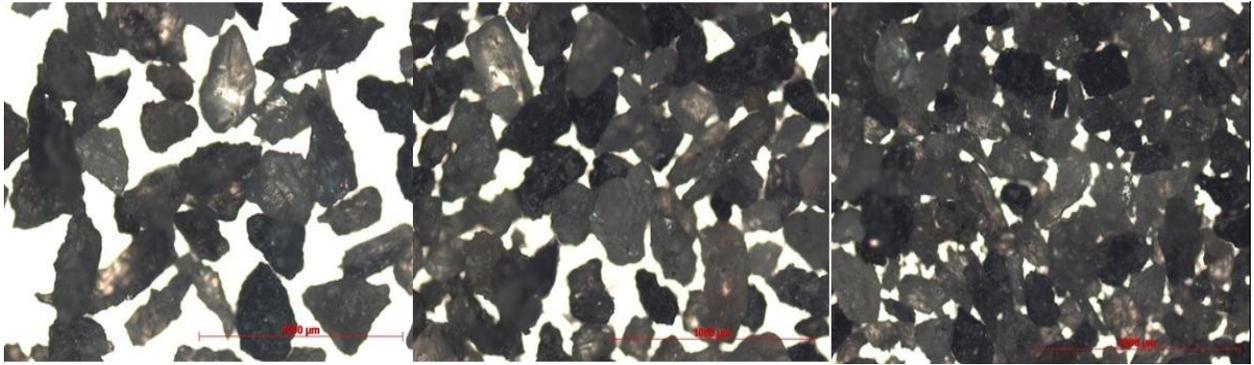


Figura 4.21: Partículas de material no ensayado, material H-3 post ensayo $\sigma'_c=20$ [kgf/cm²] y material macro post ensayo $\sigma'_c=20$ [kgf/cm²] entre mallas #60 y #140



Figura 4.22: Partículas de material no ensayado, material H-3 post ensayo $\sigma'_c=20$ [kgf/cm²] y material macro post ensayo $\sigma'_c=20$ [kgf/cm²] entre mallas #140 y #200

Se puede observar que la forma original angulosa de las partículas se mantuvo después de los ensayos a 20 [kgf/cm²] y no se observa un cambio geométrico importante, por lo que el cambio de la forma de las partículas no debería tener un efecto importante en los resultados obtenidos de esta investigación.

4.5 *ÁNGULO DE FRICCIÓN PEAK*

A continuación se presenta la variación del ángulo de fricción peak en función de la densidad relativa de ensayo para los distintos confinamientos. Los resultados obtenidos confirman la tendencia de la disminución del ángulo de fricción a medida que aumenta el confinamiento y también cuando disminuye la densidad.

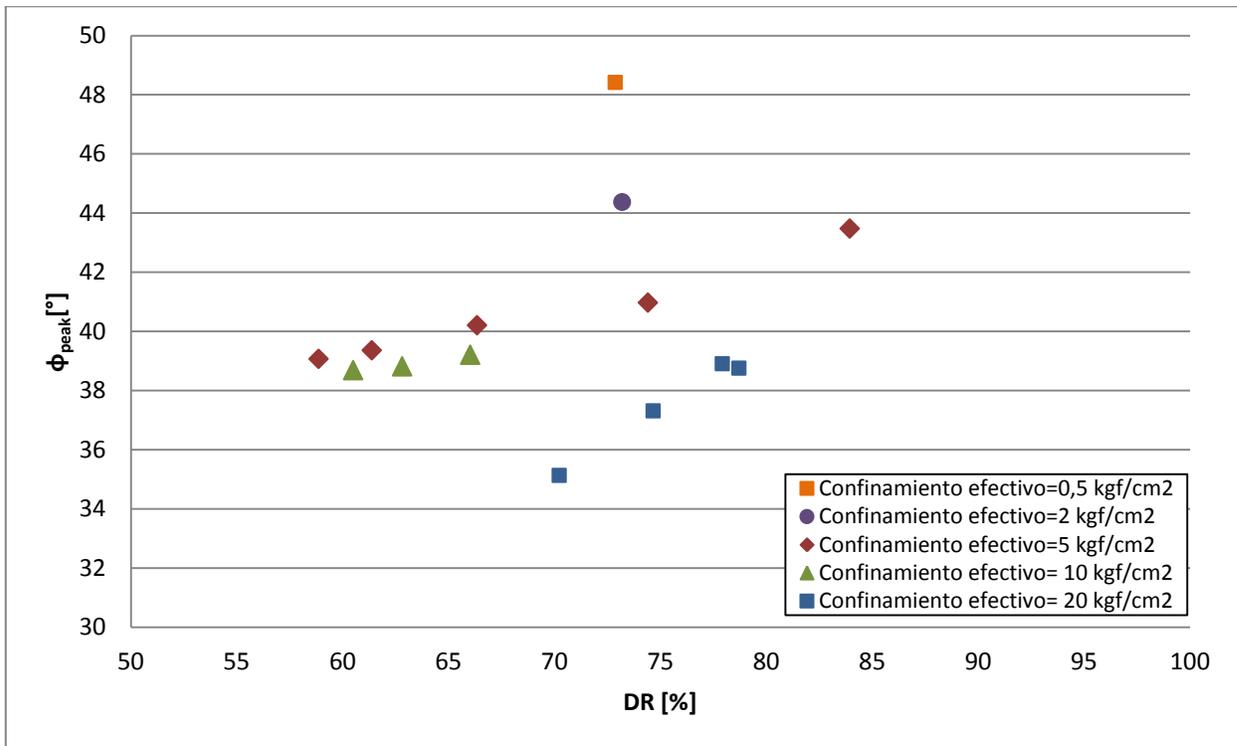


Figura 4.23: Ángulos de fricción peak vs densidad relativa de ensayo

Se puede observar que para los ensayos a 5 y 10 [kgf/cm²] de confinamiento los ángulos de fricción peak obtenidos son prácticamente iguales, cosa que no ocurre con los obtenidos a 20 [kgf/cm²] de confinamiento. Lo anterior podría atribuirse a que los ensayos a 10 y 20 [kgf/cm²] se realizaron en un equipo triaxial distinto a los realizados a 0,5, 2 y 5 [kgf/cm²] (sección 3.1), por lo que lo observado en la figura 4.23 puede ser efecto del traslape entre los resultados obtenidos por estos equipos.

4.6 *PRESIÓN DE CONFINAMIENTO*

Para analizar la influencia que tiene la presión de confinamiento en la resistencia obtenida para ambos suelos (original y escalado), se compararon sus resistencias normalizadas con sus respectivos confinamientos en la siguiente figura:

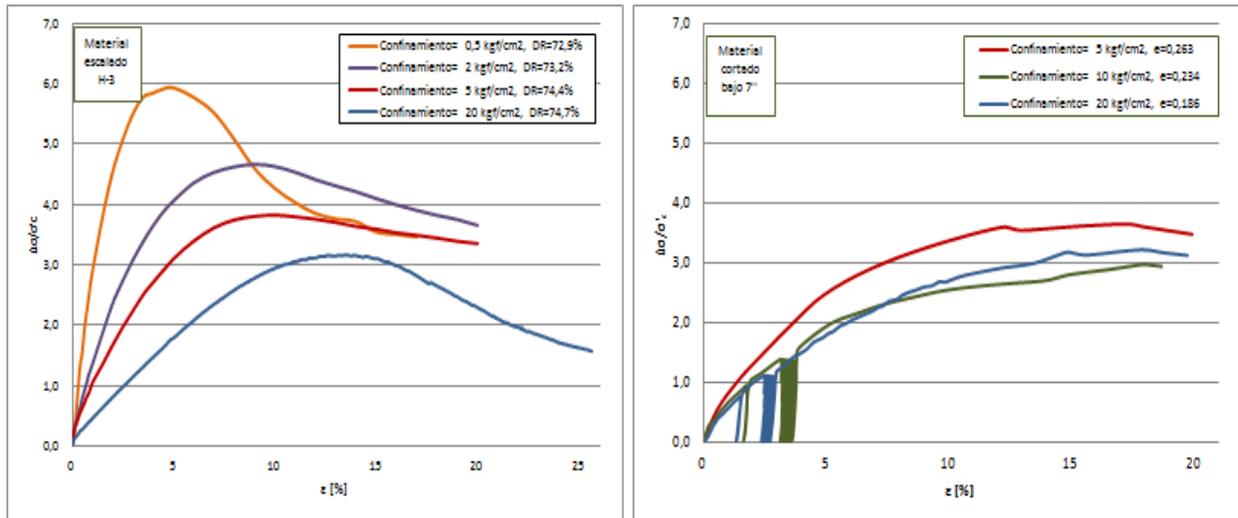


Figura 4.24: Esfuerzo desviador normalizado con la presión de confinamiento vs deformación unitaria

En la figura 4.24 se puede observar que la resistencia máxima normalizada disminuye con el aumento del confinamiento para ambas muestras, salvo para el ensayo a gran escala a 10 [kgf/cm²] de confinamiento, en donde esta tendencia se mantiene hasta aproximadamente un nivel de deformaciones del 5%, después se produce una baja en la resistencia la cual se atribuye a problemas en el ensayo (sección 4.1). La razón de que la resistencia normalizada disminuya al aumentar el confinamiento es debido a la reducción del encaje entre las partículas, ya que un mayor confinamiento produce más aplastamientos en los puntos de contacto, mayor rotura de los bordes agudos y en general más rompimiento de partículas (Lambe y Whitman, 1969). Si las partículas de estos materiales fueran infinitamente rígidas, entonces las curvas obtenidas en la figura 4.24 deberían ser las mismas.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 *ÁNGULO DE FRICCIÓN PEAK*

Las probetas confeccionadas con el material escalado, que fueron ensayadas en los equipos triaxiales a deformación controlada y bajo condición de corte drenado, en general presentaron comportamientos de tensión-deformación que se caracterizaron por tener un valor máximo de resistencia al corte seguido por un decaimiento de la resistencia hasta llegar o tender a un valor residual (sección 4.1.2). Este tipo de comportamiento no se presenta en los ensayos realizados al material cortado bajo 7° (Macro), debido a que fueron realizados en un aparato triaxial a carga controlada, en donde no se puede medir el decaimiento de la resistencia al corte una vez desarrollada la máxima resistencia, ya que la carga vertical es aplicada mediante estados de carga independientes de la deformación medida. Debido a lo anterior, existe cierta dificultad para definir con precisión a que deformación se desarrolla la resistencia máxima en ensayos realizados

bajo carga controlada. En base a esta problemática, se consideró razonable asumir que para un mismo confinamiento, si un ensayo realizado al material escalado bajo deformación controlada, replica la resistencia máxima de un ensayo realizado con el material Macro, entonces ambas resistencias se desarrollan a similar deformación vertical unitaria. Se asumió con cierto criterio del investigador, que los ángulos de fricción peak obtenidos utilizando la suposición anterior, son los correspondientes a los de la muestra Macro.

Los ensayos realizados al material escalado y Macro que desarrollaron similares resistencias máximas se presentan en la tabla 5.1. Estos resultados se obtuvieron mediante un proceso de estimaciones e iteraciones de ensayos a la muestra escalada, que permitieron obtener los índices de vacío requeridos para desarrollar las resistencias máximas deseadas. Se puede apreciar que para los confinamientos de 5 y 20 [kgf/cm²], los ángulos de fricción peak obtenidos con la muestra escalada son prácticamente iguales a los desarrollados en las probetas macro, sin embargo esta similitud no se logra con los ensayos a 10 [kgf/cm²] de confinamiento al obtenerse una diferencia de 3.5°, diferencia atribuida a errores de ensayo de la probeta macro (mayor discusión es presentada en sección 4.1.2.2).

Tabla 5.1: Resumen ensayos con igual resistencia peak

σ'_c [kgf/cm ²]	T_{max} [mm]	e_{ensayo}	$e_{escalado}/e_{cortado}$	E_{50} [kgf/cm ²]	ϕ_{peak} [°]
5	4,74	0,379	1,44	269,8	39,4
	177,8	0,263		283,3	39,7
10	4,74	0,372	1,59	392,1	38,8
	177,8	0,234		390,5	35,7
20	4,74	0,316	1,7	725,9	37,3
	177,8	0,186		747,4	36,9

En sus investigaciones, Gesche (2002), De La Hoz (2007) y Dorador (2010) lograron resistencias máximas similares en muestras homotéticas confeccionadas a la misma densidad relativa (todas mayores a 70%), utilizando densidades límites (máxima y mínima) obtenidas de laboratorio para cada una de sus muestras (mayor detalle de estas investigaciones se puede encontrar en la sección 2.3). En cambio, en la presente investigación no fue posible realizar ensayos de densidades límites para la muestra Macro debido a su gran tamaño de partículas, por lo que estos ensayos se analizaron en base a sus índices de vacío.

En la figura 5.1 se presentan las muestras homotéticas de Gesche (2002), De La Hoz (2007) y la presente investigación que en condiciones densas desarrollan la misma resistencia máxima, representada mediante el ángulo de fricción peak. Además, se incluyen ensayos de similar densidad post consolidación realizados a la muestra escalada del material M.N. (mármol negro) para analizar su variación con la presión de confinamiento (para mayor detalle de estos ensayos

ver tabla 4.1). Como se puede observar en esta figura, las diferencias de los ángulos de fricción para cada material en general son menores a 1° , lo que indica que es posible replicar la resistencia máxima con el método de las curvas homotéticas para un amplio rango de confinamientos, sin embargo esto no siempre se puede lograr utilizando la misma densidad en las probetas (tema discutido con mayor profundidad en sección 5.5).

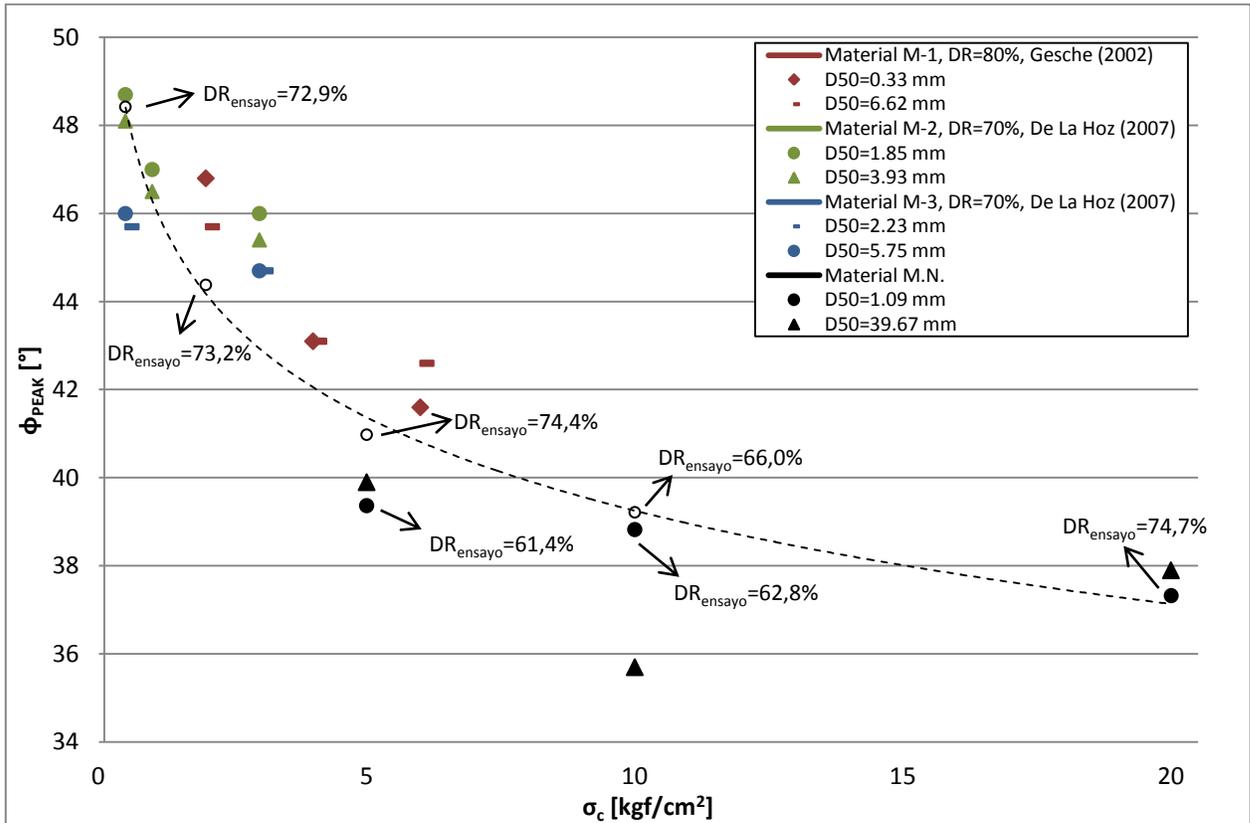


Figura 5.1: ángulos de fricción peak vs confinamiento

Todos los materiales mostrados en la Figura 5.1 corresponden a probetas medias a densas con tendencias a presentar una disminución del ángulo de fricción peak con el aumento del confinamiento. Ahora bien, no todas las tendencias de reducción del ángulo peak son similares entre materiales, observándose que el material M-1 presenta una disminución de su ángulo de fricción peak similar a la del material M.N., a diferencia de las muestras M-2 y M-3. Estos distintos comportamientos podrían relacionarse con las distintas formas de las partículas de los materiales, ya que las muestras de los materiales M.N. y M-1 contienen partículas angulosas, mientras que en las muestras M-2 y M-3 predominan las de forma redondeada. Lee y Seed (1967), estudiando el comportamiento drenado de arenas densas, asociaron estas distintas caídas de ángulos de fricción peak con las diferentes resistencias a la rotura de las partículas presentes en cada suelo.

5.2 *MÓDULO DE DEFORMACIÓN*

Para representar la rigidez a medianas deformaciones se utilizó el módulo de deformación E_{50} , el cual es medido a un 50% de la tensión desviadora máxima desarrollada. Al comparar este parámetro entre los ensayos del material M.N. que desarrollaron la misma resistencia máxima (ver tabla 5.1), se puede notar que la rigidez a bajas deformaciones también es replicada. Esto indica que mediante el método de las curvas homotéticas se pudo replicar correctamente el comportamiento general de tensión-deformación de la muestra Macro para los tres confinamientos comunes, al menos hasta alcanzar las máximas resistencias.

En la figura 5.2 se presentan los ensayos comentados en la tabla 5.1 junto con resultados similares obtenidos en las investigaciones de Gesche (2002), De La Hoz (2007) y Dorador (2010). Se puede observar que para todos los materiales el módulo de deformación aumenta con la presión de confinamiento, además de observarse que no existe una dependencia clara de la rigidez de estos materiales con la forma ni con el tamaño de sus partículas. Al comparar este parámetro entre los distintos materiales, se puede observar que los menores E_{50} se obtienen para los materiales E.R. y M.N., lo que podría atribuirse a la baja resistencia de las partículas debido a los procesos de voladura con los que estos materiales fueron obtenidos. En la figura 5.2 se presenta además una correlación realizada a ensayos del material M.N. con similar densidad post consolidación, los que se encuentran resumidos en la tabla 4.1. Esta correlación da cuenta de que la tasa de aumento del E_{50} decrece a medida que aumenta la presión de confinamiento. Correlaciones similares obtenidas por Gesche (2002), De La Hoz (2007) y Dorador (2010), al confeccionar probetas a la misma densidad relativa, dan cuenta de que es posible estimar el valor del E_{50} utilizando extrapolaciones de ensayos a un mismo material para un amplio rango de confinamientos, tamaños y formas de partículas.

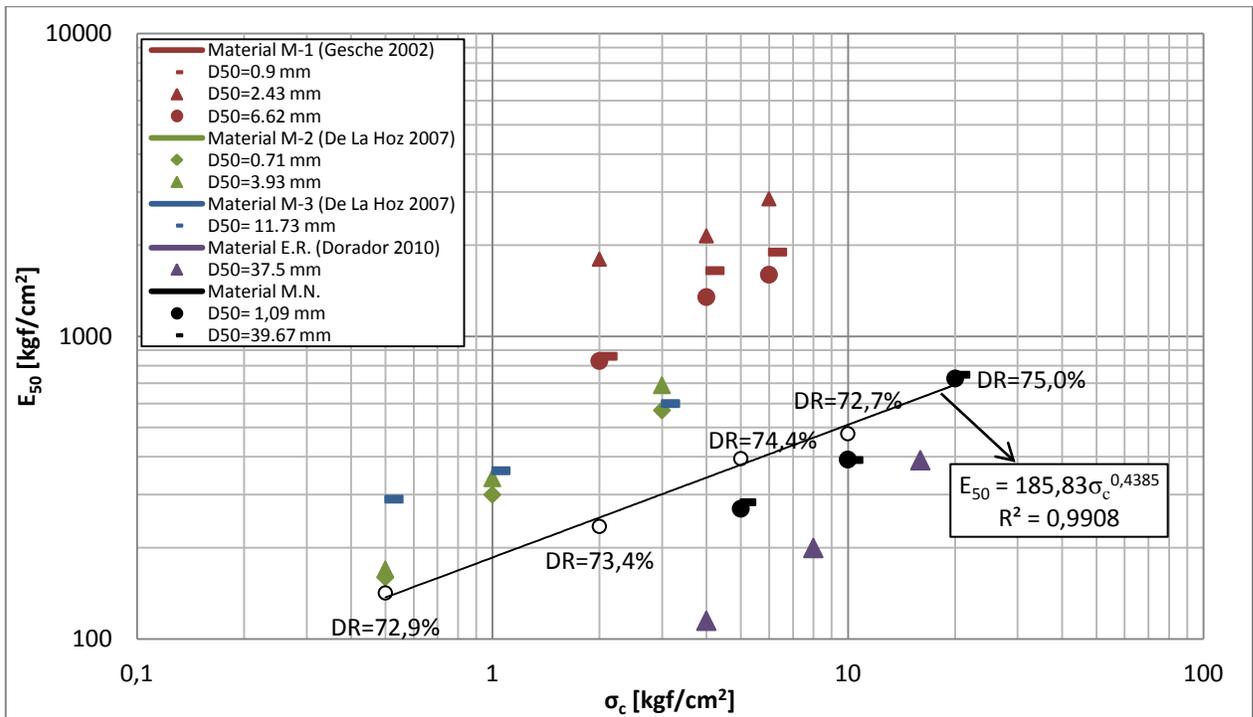


Figura 5.2: Módulos de deformación E_{50} vs confinamiento

5.3 ROTURA DE PARTÍCULAS

Ensayos granulométricos fueron realizados a las muestras del material M.N. que desarrollaron la misma resistencia máxima para los confinamientos de 5, 10 y 20 [kgf/cm^2]. Las curvas granulométricas antes y después de los ensayos triaxiales descritos se presentan en la figura 5.3.

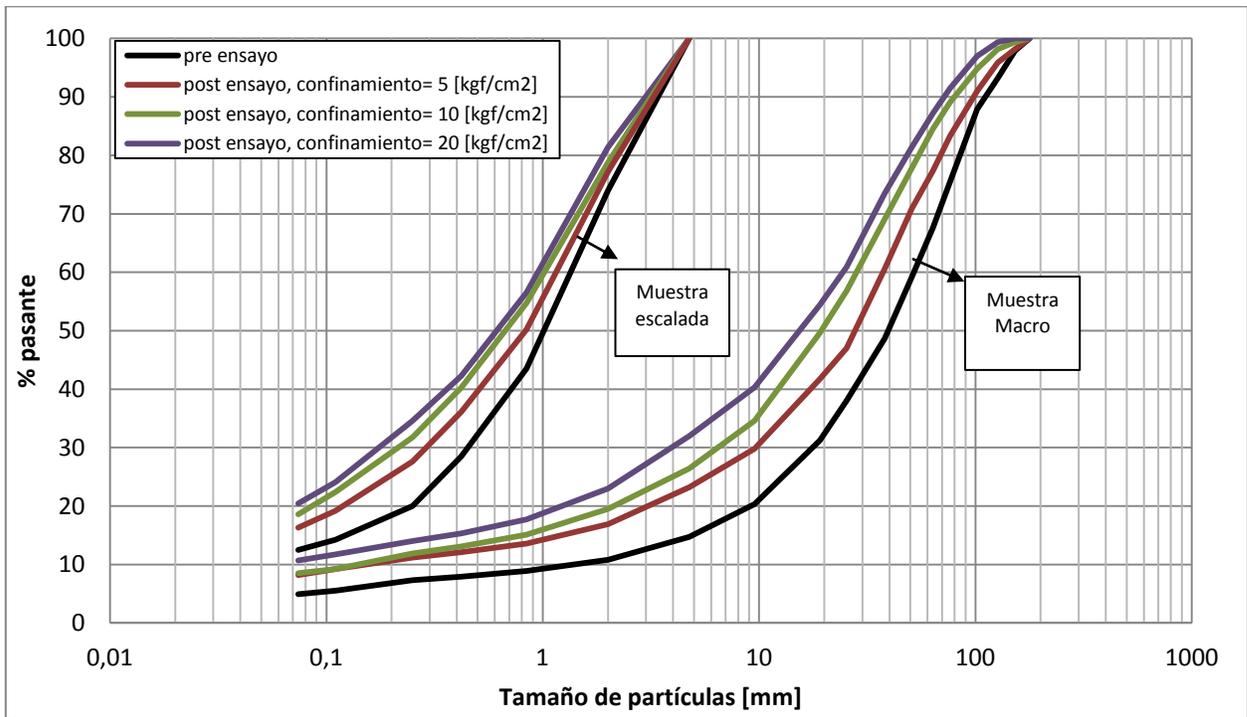


Figura 5.3: Granulometrías pre y post ensayo

Según la figura 5.3, una mayor presión de confinamiento en los ensayos produce un mayor cambio en la curva granulométrica del material, tendencia independiente del tamaño de partículas, ya que se presenta tanto en los ensayos de la muestra Macro como en los de la muestra escalada. Es interesante notar que similares porcentaje de rotura se producen para las porciones de arena fina y finos para las muestras escalada y macro, pero los mayores niveles de rotura de la muestra Macro se produce en las partículas clasificadas como gravas y arenas gruesas (entre 1 a 180 [mm]).

Para cuantificar la rotura de partículas producida durante los ensayos triaxiales, se utilizó el parámetro B_g propuesto por Marsal (1969), el cual se describe con mayor detalle en la sección 2.2.2.4. Los valores de B_g obtenidos para estos ensayos se presentan en la tabla 5.2 junto a los resultados obtenidos de las investigaciones de Gesche (2002), De La Hoz (2007) y Dorador (2010). En los valores de la tabla 5.2 no se aprecia una influencia clara de la forma de partículas en la rotura, pero sí del confinamiento y tamaño medio de partículas. Maureira (2012) concluye que partículas de mayor tamaño tienden a experimentar mayor quiebre, ya que tienen una mayor probabilidad de tener planos de falla y microfisuras.

Tabla 5.2: Resumen de valores B_g obtenidos

Material	Forma predominante	σ'_c [kgf/cm ²]	D_{50} [mm]	Φ_{peak}	B_g [%]
M-1	Angulosa	2	6,62	45,7	13
		2	0,33	46,8	6,9
M-2	Redondeada	3	3,93	45,4	16
		3	0,71	46,3	3
M-3	Redondeada	3	5,75	44,7	11
		3	2,23	44,7	8,2
ER	Angulosa	6	2,6	36,8	11
		6	1,03	37,2	6,3
		6	0,49	35,1	2,5
M.N.	Angulosa	5	1,09	39,4	7,64
		5	39,67	39,7	13,4
		10	1,09	39	11,76
		10	39,67	35,7	20,4
		20	1,09	37	14,6
		20	39,67	36,7	25,1

En la figura 5.4 se representa la rotura en los materiales M-1, M-2, M-3, E.R. y M.N., al graficar los ensayos donde se midió rotura con sus respectivos confinamientos. Al comparar los niveles de rotura entre las muestras del material M.N., se obtiene que la muestra Macro presentó aproximadamente el doble de rotura que la muestra escalada para los tres confinamientos comunes, sin observarse diferencias importantes entre los ensayos monotónicos con los realizados bajo ciclos de cargas y descargas. Los resultados de la figura 5.4 evidencian una problemática inherente al método de las curvas homotéticas, ya que al comparar muestras con gradaciones paralelas, necesariamente una de ellas tendrá partículas de mayor tamaño, por lo que seguramente existirá una diferencia en los niveles de rotura de partículas, lo que podría repercutir en las resistencias máximas desarrolladas.

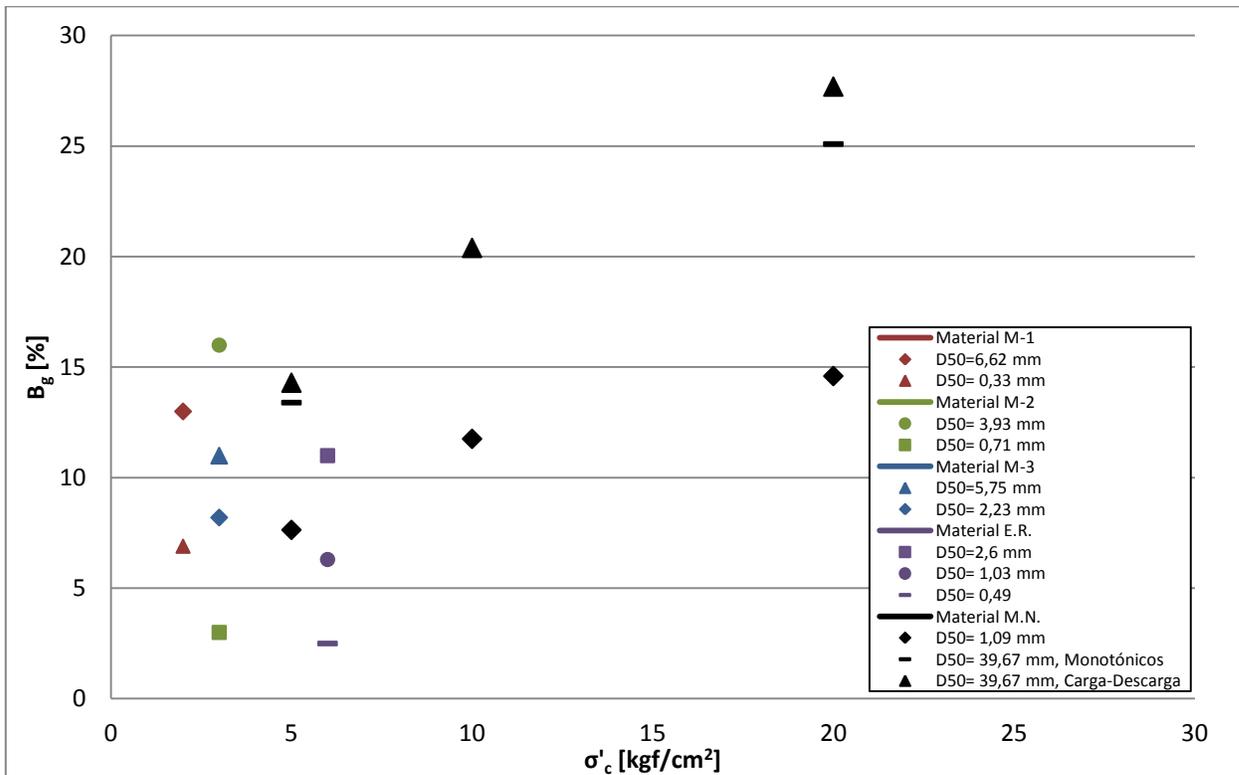


Figura 5.4: Rotura de partículas medidas a ensayos de distintos materiales

5.4 DEFORMACIÓN VOLUMÉTRICA

Tal como se muestra en la sección 4.1, el ensayo monotónico realizado a la muestra Macro a 20 [kgf/cm²] evidencia problemas durante la aplicación del esfuerzo desviador, por lo que para analizar resultados entre las muestras homotéticas a confinamientos de 10 y 20 [kgf/cm²], se utilizan los ensayos de gran escala realizados con ciclos de carga y descarga. Lo anterior presenta una dificultad al comparar los cambios volumétricos desarrollados por las muestras estudiadas, ya que las probetas de gran escala tienen cambios volumétricos ocasionados por los ciclos de carga que no ocurren en las probetas de la muestra escalada. Sin embargo, similares tendencias de deformación volumétrica, al no considerar la parte cíclica, se obtienen entre los ensayos que desarrollan la misma resistencia máxima (ver figuras 4.6 y 4.8). Dicha hipótesis se cumple a lo menos para presiones de confinamiento de 5 [kgf/cm²], donde se puede observar que para los ensayos de gran escala, al sustraer los efectos de los ciclos de carga-descarga se obtienen deformaciones volumétricas similares a las del ensayo monotónico.

En base a lo anterior e hipotetizando para confinamientos mayores, se separaron las deformaciones volumétricas ocasionadas por los ciclos de carga en los ensayos de gran escala para comparar sus comportamientos con los desarrollados por la muestra escalada cargada monótonamente. En la figura 5.5 se muestran estas tendencias, en donde se puede observar que para los tres confinamientos se obtienen comportamientos de deformación volumétrica similares,

al menos hasta el 5% de deformación unitaria. Se puede apreciar que mientras más bajo es el confinamiento, mayor es el rango de deformación unitaria en donde se obtienen comportamientos volumétricos similares, llegando éste incluso hasta 20% para los ensayos confinados a 5 [kgf/cm²]. Comportamientos similares se presentan en los resultados de Gesche (2002) y De La Hoz (2007), ya que se observa similitud en la deformación volumétrica hasta aproximadamente un 5% de deformación vertical unitaria (ver figuras 2.14, 2.16 y 2.17).

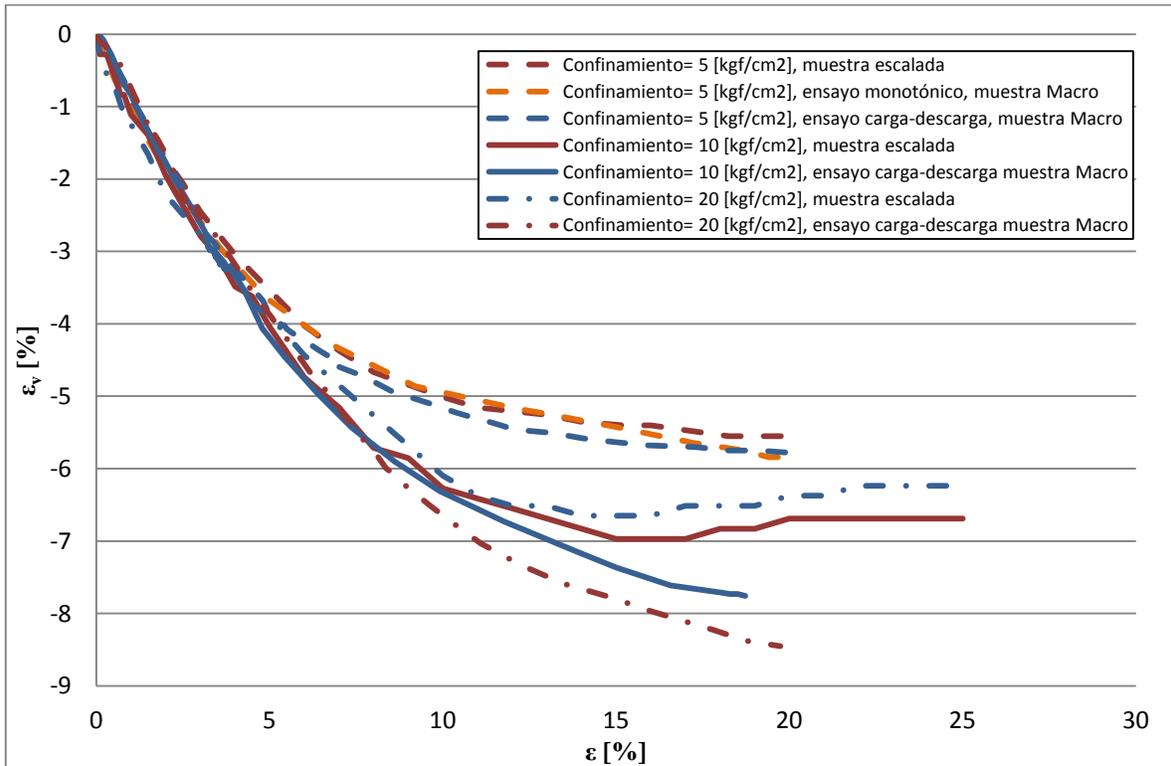


Figura 5.5: Deformación volumétrica entre muestras homotéticas

5.5 ÍNDICES DE VACÍOS DE ENSAYO PARA REPLICAR RESISTENCIA MÁXIMA DE SUELO ORIGINAL

En la tabla 5.3 se presenta un resumen de valores de índices de vacío post consolidación que permitieron obtener la misma resistencia máxima entre muestras homotéticas de las investigaciones de Gesche (2002), De La Hoz (2007), Dorador (2010) y la presente. Además, la Tabla 5.3 indica la razón entre índices de vacíos y tamaño D_{50} entre las probetas homotéticas, conjunto con presiones de confinamiento, forma de partículas y ángulo peak promedio entre probetas.

Tabla 5.3: Resumen de ensayos que replican resistencia peak para muestras con gradaciones paralelas

Material	Forma partículas	Razón entre los D_{50}	σ'_c [kgf/cm ²]	ϕ_{peak} promedio [°]	$e_{\text{SUELO ORIGINAL}}$	$e_{\text{SUELO ESCALADO}}$	Razón índices de vacío
Río Aconcagua	Redondeada	25,5	2	54	0,250	0,379	1,52
			4	51	0,247	0,373	1,51
Río Maipo	Angulosa	20,1	2	46	0,398	0,459	1,15
			5	42	0,380	0,458	1,21
M-2	Redondeada	5,5	0,5	49	0,336	0,388	1,16
			1	47	0,330	0,387	1,17
			3	46	0,330	0,375	1,14
		2,1	0,5	48	0,336	0,353	1,05
			1	47	0,330	0,349	1,06
			3	46	0,330	0,347	1,05
M-3	Redondeada	5,3	0,5	48	0,325	0,352	1,08
			1	46	0,314	0,350	1,12
			3	45	0,311	0,333	1,07
		2,0	0,5	48	0,325	0,379	1,17
			1	46	0,314	0,375	1,20
			3	45	0,311	0,356	1,15
E.R.	Angulosa	2,5	3	38	0,512	0,507	0,99
			6	37	0,509	0,471	0,93
M.N.	Angulosa	36,4	5	40	0,262	0,355	1,36
			10	38	0,233	0,372	1,60
			20	38	0,185	0,316	1,71

De acuerdo con la tabla 5.3, el rango de confinamientos analizado abarca desde los 0.5 hasta los 20 [kgf/cm²], mientras que los escalamientos corresponden a razones de tamaño medio de partículas entre 2 y 36. Además, las variaciones de los ángulos de fricción peak con respecto al valor promedio en general no superan a 1° (exceptuando las probetas del material M.N. a 10 [kgf/cm²] que difirieron en 3,5°).

En la figura 5.6 se muestra la relación entre el índice de vacíos para la muestra escalada versus la muestra macro. En la figura además se denotan como líneas segmentadas, la razón entre índices de vacíos de 1:1, 1,2:1, 1,4:1 y 1,6:1.

De la figura 5.6 se obtiene que al comparar ensayos realizados bajo el mismo escalamiento (mismo material) no se aprecian diferencias importantes en cuanto al confinamiento, a excepción del material M.N., en donde la razón entre índices de vacíos es mayor mientras más alto sea el confinamiento, pasando de ser 1.4 a 1.7 para los ensayos de 5 y 20 [kgf/cm²], respectivamente. Esto se podría relacionar al hecho de que en este material fue necesario variar la densidad en cada confinamiento para que los ensayos de la muestra escalada lograran replicar la resistencia máxima de la muestra Macro, ya que este fenómeno no se aprecia en los ensayos de los otros materiales, que fueron ensayados a la misma densidad relativa. Esto evidencia otra problemática al utilizar escalamientos altos en muestras homotéticas, ya que para replicar la resistencia máxima es necesario que los índices de vacíos de las muestras difieran en una proporción que será mayor mientras más alto sea el confinamiento utilizado.

En base a lo anterior, se identifica que al replicar ángulos de fricción peak con el método de las curvas homotéticas, el índice de vacíos de la muestra escalada será mayor o igual que el de la muestra original debido a los distintos efectos que pueden producir el escalamiento y el confinamiento sobre ambas probetas. Considerando los materiales analizados en este capítulo, el índice de vacíos de la muestra escalada llegó a ser hasta un 71% mayor que el de la muestra original para el caso en que el escalamiento y confinamiento fueron elevados (36 y 20 [kgf/cm²] respectivamente).

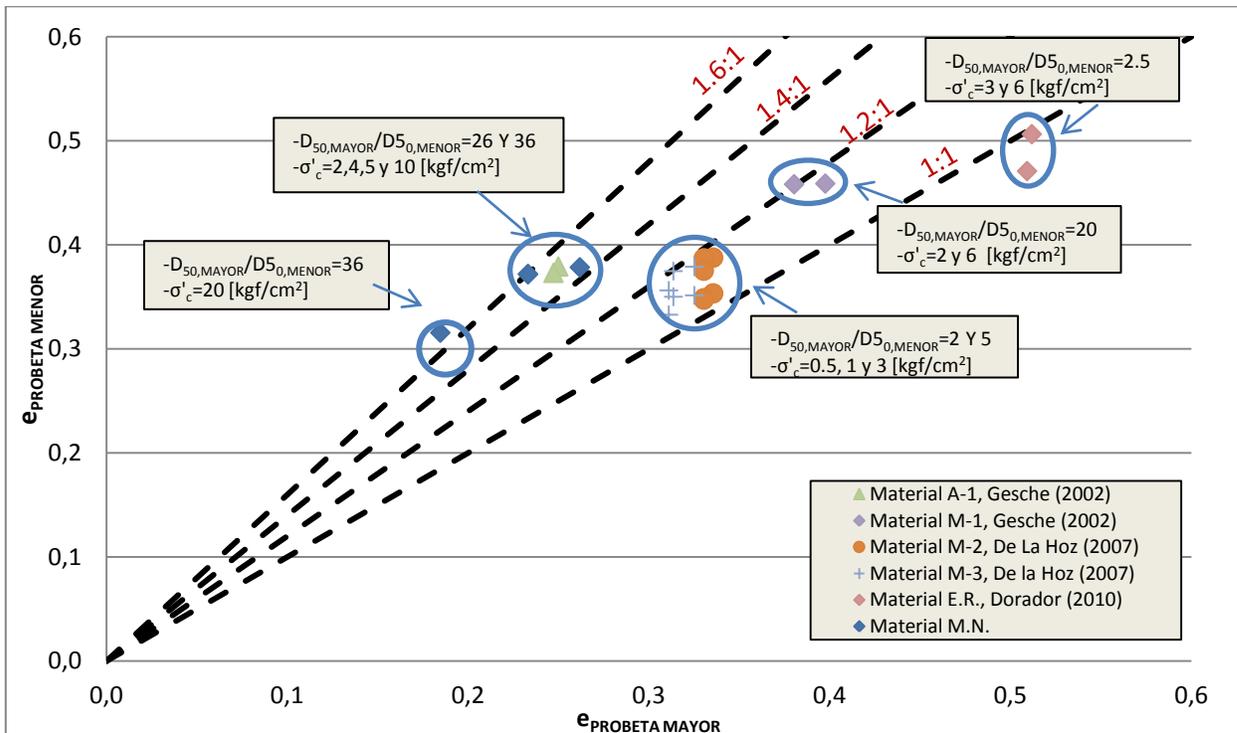


Figura 5.6: Estimación de índice de vacíos de ensayo utilizando gradaciones paralelas

De la figura 5.6 se observa que para razones de escalamiento de tamaño medio de partículas mayores a 26 y presiones de confinamiento entre 2 y 20 [kgf/cm²], la razón entre índices de vacíos está comprendida entre 1,4 y 1,6. Para razones de escalamiento de tamaño medio de partículas entre 2 y 20, y presiones de confinamiento entre 0,5 y 6 [kgf/cm²], la razón entre índices de vacíos está comprendida entre 1,2 y 1. Lo anterior podría sugerir que a lo menos diferencias sobre un 20% entre índices de vacíos de probetas homotéticas se deben generar para que muestras con escalamientos superiores a 25 posean igualdad en su resistencia peak, independiente de la presión de confinamiento, forma y resistencia de partícula. De todas formas, dicha conclusión necesita ser validada con mayor investigación.

Utilizando la figura 5.6 es posible estimar el índice de vacíos post consolidación que se requiere para desarrollar una determinada resistencia peak con una muestra homotética, sin embargo en la práctica no es simple obtener con precisión un determinado índice de vacíos post consolidación en un ensayo triaxial, ya que sólo se puede controlar con facilidad la densidad inicial previa a la etapa de consolidación. En base a lo anterior, es importante tener algún grado de conocimiento sobre cuánto podría influir la obtención de un índice de vacíos post consolidación diferente al deseado en la resistencia peak que se intenta estimar. En la figura 5.7 se presentan los ensayos realizados al material M.N. a 5 y 20 [kgf/cm²] que desarrollan la misma resistencia peak (presentes en la figura 5.6), junto con ensayos realizados a la muestra H-3 que al ser consolidados a distintas densidades, desarrollan resistencias peak con diferencias de hasta 2° con respecto a los de la muestra Macro. Mediante figuras como ésta es posible estimar el error inducido si es que no se logra consolidar una probeta a la densidad o índice de vacíos deseada.

Los índices de vacío y ángulos de fricción peak de los ensayos adicionales utilizados en la figura 5.7 se resumen en la tabla 5.4.

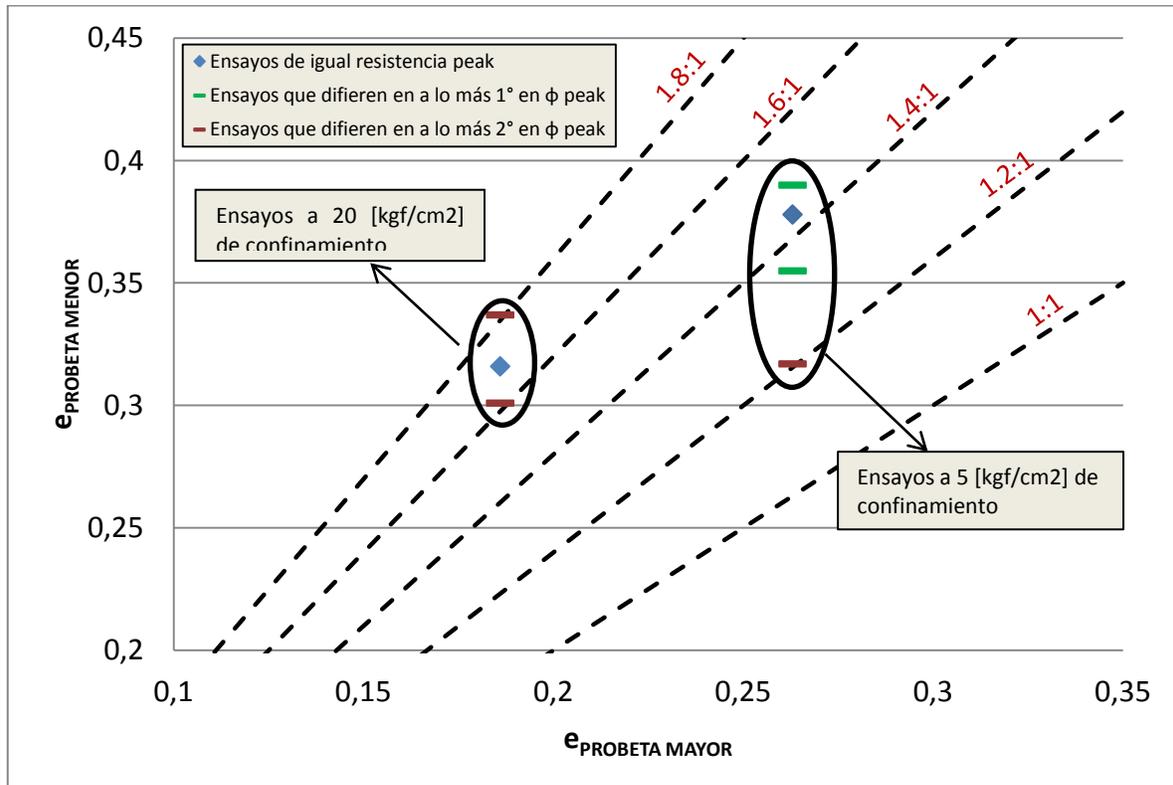


Figura 5.7: Influencia del índice de vacíos post consolidación en la estimación de la resistencia peak

Tabla 5.4: Resumen ensayos utilizados en análisis de sensibilidad de resistencia peak

Muestra	σ'_c [kgf/cm ²]	$e_{\text{post-consolidación}}$	DR _{post-consolidación} [%]	ϕ_{peak} [°]	$\Delta\phi_{\text{peak}}$ c/r a probeta Macro
H-3	5	0,39	58.9	39,1	< 1°
		0,355	66.3	40,2	< 1°
		0,317	74.4	41,0	< 2°
	20	0,337	70.2	35,1	< 2°
		0,301	77.9	38,9	< 2°

En la figura 5.7 se puede notar que similares diferencias de índices de vacío tienen distintos efectos en las resistencias peak desarrolladas, obteniéndose mejores estimaciones para los ensayos a 5 [kgf/cm²]. Esto implica que en este material mientras mayor sea el confinamiento, mayor debe ser la precisión requerida en la obtención del índice de vacíos post consolidación para obtener una correcta estimación del ángulo de fricción peak utilizando este método.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones generales

- A pesar del ensayo a 10 [kgf/cm²], fue posible replicar la resistencia máxima desarrollada en los ensayos triaxiales de gran escala mediante el método de las curvas homotéticas.
- La igualdad de resistencias máximas entre curvas homotéticas no se obtuvo al crear muestras con similar índice de vacíos, siendo necesario variar este parámetro en los ensayos realizados a la muestra escalada hasta lograr la resistencia máxima deseada.

6.2 Conclusiones particulares

- Al replicar la resistencia máxima entre curvas homotéticas, también se lograron valores comparables de módulos de deformación E_{50} .
- El comportamiento de deformación volumétrica bajo carga monótona fue similar entre las muestras homotéticas para los tres confinamientos estudiados, al menos hasta aproximadamente un 5% de deformación vertical unitaria.
- Similitud en la deformación volumétrica durante la totalidad de la deformación vertical unitaria sólo se logró para la muestra ensayada a la menor presión de ensayo estudiada (5 [kgf/cm²]).
- Muestras homotéticas del material M.N. mostraron un incremento de valores de B_g con el nivel de confinamiento, siendo estos valores más grandes para la muestra con mayor tamaño de partículas.
- En la figura 5.2 se puede apreciar que en general, para todos los materiales y para un amplio rango de confinamientos, es posible obtener buenas correlaciones del E_{50} , lo que indica que este parámetro puede ser estimado mediante una extrapolación con razonable precisión. Esto

último podría resultar bastante útil para casos en que se desee conocer el E_{50} para confinamientos que no puedan ser alcanzados con aparatos triaxiales disponibles.

- Al incorporar resultados de investigaciones anteriores (Gesche, De La Hoz y Dorador) se obtuvo un gráfico que permite realizar una estimación del índice de vacíos requerido para replicar la resistencia máxima de un suelo utilizando las curvas homotéticas (figura 5.6). A pesar de que en esta figura no aparecen explícitas variables como la forma, dureza o contenido de finos, se debe tener en cuenta que los datos utilizados pertenecen a investigaciones en donde estas variables si fueron controladas.
- En particular, se obtuvo que para confinamientos menores a $6 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$ y para materiales con partículas medias hasta 20 veces menores que las del original, el índice de vacíos de ensayo de la muestra escalada no superó en más de un 20% al del suelo original para desarrollar su misma resistencia máxima. Además, la máxima razón obtenida entre índices de vacío de probetas con gradaciones paralelas fue de 1.71, la cual fue obtenida para el material M.N. cuando el escalamiento y confinamiento fueron de 36 y $20 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$ respectivamente. Considerando que ambos efectos fueron muy altos para este caso, se puede utilizar este valor como una cota superior razonable para cuando se requiera replicar la resistencia máxima de algún material utilizando el método de las curvas homotéticas.
- Es de opinión del autor que la diferencia de rotura de partículas entre muestras de gradación paralela debe ser considerada al usar el método de las curvas homotéticas en algún proyecto de ingeniería, quedando a criterio del ingeniero si es necesario o no reducir esta diferencia, lo que puede ser logrado, por ejemplo, en ensayos con confinamientos o escalamientos bajos, entendiendo que factores como la forma y dureza de partículas en la práctica son difíciles de controlar.
- No se recomienda utilizar el método de las curvas homotéticas para escalamientos tan altos en la práctica, ya que al hacerlo se debe lidiar con la dificultad de encontrar la densidad de ensayo que permite replicar la resistencia máxima. Además, mientras mayor sea el escalamiento, más difícil puede ser satisfacer las condiciones necesarias para utilizar correctamente el método de las curvas homotéticas, ya que es más probable encontrar diferencias en la resistencia de partículas, forma, etc. Sin embargo, resulta interesante estudiar la efectividad de este método en condiciones como ésta, ya que permite definir con mayor precisión su rango de aplicabilidad.

6.3 *Recomendaciones*

- Sería interesante agregar más ensayos realizados a muestras homotéticas a la figura 5.6, de manera de conocer mejor el desempeño de este método. En particular se podrían estudiar muestras homotéticas confeccionadas con un alto factor de escalamiento y sometidas a bajas presiones de confinamiento, o muestras levemente escaladas ensayadas a altas presiones de confinamiento.

7. REFERENCIAS

1. AL-HUSSAINI, M (1983). Effect of particle size and strain conditions on the strength of crushed basalt. *Canadian Geotechnical Journal*, 20(4): 706-717.
2. BARD, E.; Campaña, J.; Anabalón, M. E. y APABLAZA, R. (2007). Comportamiento de lastre ROM sometido a altas presiones. Libro de resúmenes, VI Congreso Chileno de Geotecnia, Valparaíso Chile.
3. BISHOP, A.W. (1966). The strength of soils as engineering materials. Sixth Rankine Lecture. *Géotechnique*, 16(2): 91-128.
4. DE LA HOZ, K. (2007). Estimación de los parámetros de resistencia al corte en suelos granulares gruesos. Tesis de Ingeniero Civil y Magister. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
5. DORADOR, L. (2010). Análisis experimental de las metodologías de curvas homotéticas y corte en la evaluación de propiedades geotécnicas de suelos gruesos. Tesis de Ingeniero Civil y Magister. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
6. DUNCAN, M. (2004). Friction angles for sand, gravel and rockfill. Kenneth L. Lee Memorial Seminar. Long Beach, California, April 28.
7. GESCHE, R. (2002). Metodología de evaluación de parámetros de resistencia al corte de suelos granulares gruesos. Tesis de Ingeniero Civil. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
8. HARDIN, B. (1985). Crushing of soil particles. *Journal of Geotechnical Engineering*, 111(10):1177-1192, October.
9. INDRARATNA, B. y SALIM, W. (2002). Modelling of particle breakage of coarse aggregates incorporating strength and dilatancy. Faculty of Engineering, University of Wollongong, Research Online.
10. KEAREY, PHILIP (2001). *Dictionary of Geology*, Penguin Group, London and New York, p. 163.
11. KOERNER, R. M. (1969). Effect of particle characteristics on soil strength. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, 96(4): 1221-1234, October.

12. KRUMBEIN, W. y SLOSS, L. (1963). Stratigraphy and sedimentation. San Francisco, W.H. Freeman, 497 p.
13. LAMBE, R. y WHITMAN, R. (1969). Mecánica de Suelos.
14. LADE P. V.; YAMAMURO, J. A. y BOPP, P. (1996). Significance of particle crushing in granular materials. *Journal of Geotechnical Engineering*, 122(4): 309-316, April.
15. LEE, K. y FARHOOMAND, I. (1967). Compressibility and crushing of granular soil in anisotropic triaxial compression. *Canadian Geotechnical Journal*, 4(1): 68-86.
16. LEE, K. Y SEED, H. B. (1967). Drained strength characteristics of sands. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, 93(6): 117-141, November.
17. LELEU, S. L. y VALDES, J. R. (2007). Experimental study of the influence of mineral composition on sand crushing. *Géotechnique* 57, No. 3, 313-317.
18. MAUREIRA, S. (2012). Respuesta cíclica de arena de relaves en un amplio rango de presiones. Tesis de Ingeniero Civil y Magister. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
19. PALMA, C; LINERO, S y APABLAZA, REINALDO. (2009). Caracterización geotécnica de materiales de lastre en botaderos de gran altura mediante ensayos triaxiales y odométricos de gran tamaño. III Conferencia Sudamericana de Ingenieros Geotécnicos, Córdoba, Argentina.
20. ROWE, P. W. (1962). The stress-dilatancy relation for static equilibrium of an assembly of particles in contact. *Proc. Of Royal Society of London*, 269 (Serie A):500-527.
21. SEIF EL DINE, BASSEL.; DUPLA, J. C.; FRANK, R.; CANOU, J. y KAZAN, Y. (2010). Mechanical characterization of matrix coarse-grained soils with a large-sized triaxial device. *Canadian Geotechnical Journal*, 47(4): 425-438.
22. SOLANS, D (2010). Equipo triaxial monótono y cíclico de altas presiones y su aplicación en arenas de relaves. Tesis de Ingeniero Civil y Magister. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
23. VARADARAJAN, A.; SHARMA, K. G.; VENKATACHALAM, K. y GUPTA, A. K. (2003). Testing and modeling two rockfill materials. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 129(3):206-218, March.
24. VERDUGO, R. y DE LA HOZ, K. (2006). Caracterización geomecánica de suelos granulares gruesos. *Rev. Int. De Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*. Vol. 6(2) 199.
25. VESIC, A. Y CLOUGH, W. (1968). Behavior of granular materials under high stresses. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, 94(3): 661-688, May.

8. ANEXOS

8.1 ANEXO A: GRANULOMETRÍAS

8.1.1 Material original

Tamiz	Tamaño [mm]	%pasante
23"	584,2	100
22"	558,8	98,4
19"	482,6	97,5
18"	457,2	94,5
16"	406,4	92,8
15"	381	92
14"	355,6	88,7
13"	330,2	87,6
12"	304,8	86,7
11"	279,4	84,4
10"	254	78,7
9"	228,6	76,2
8"	203,2	70,6
7"	177,8	65,9
6"	152,4	62
5"	127	55,6
4"	101,6	49,1
3	76,2	41,3
2 1/2"	63,5	37,3
2"	50,8	35,1
1 1/2"	38,1	29,9
1"	25,4	24,5
3/4"	19,05	20,4
1/2"	12,7	16,1
3/8"	9,525	14,2
N4	4,75	10,6
N10	2	8
N20	0,84	6,5
N30	0,595	6,1
N40	0,42	5,8
N60	0,25	5,3
N100	0,149	4,6
N200	0,074	3,4

8.1.2 Material cortado y muestras homotéticas

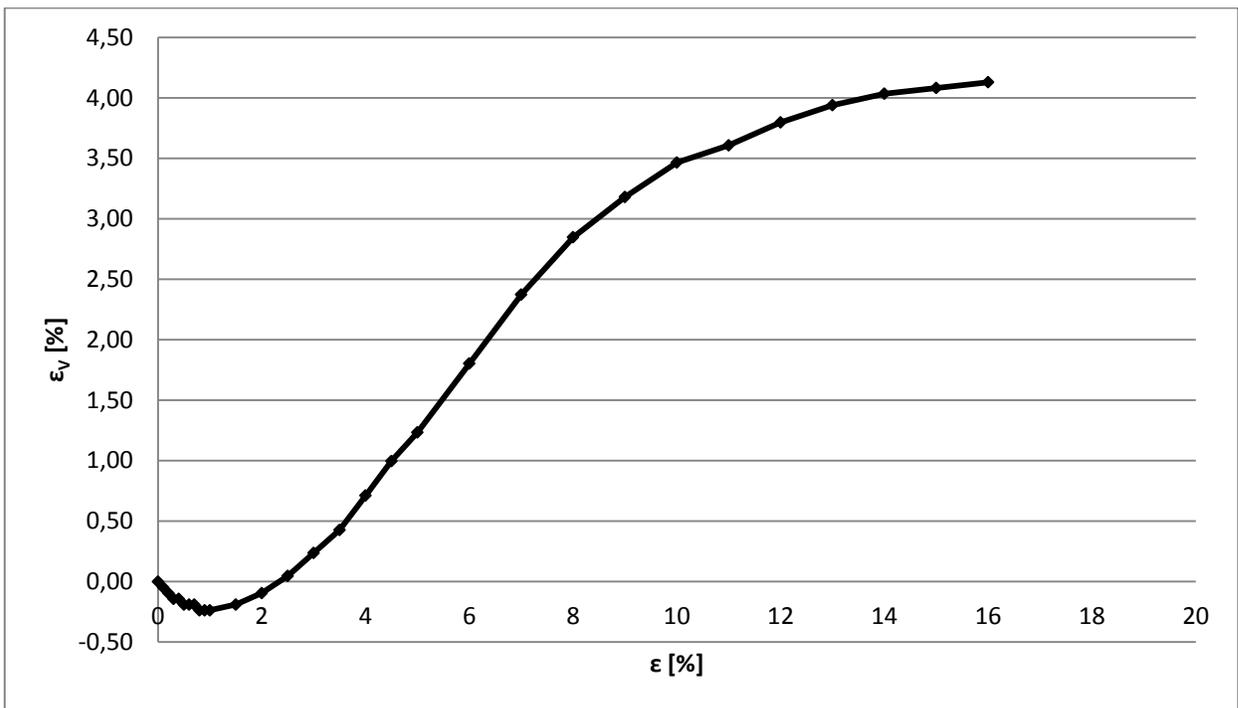
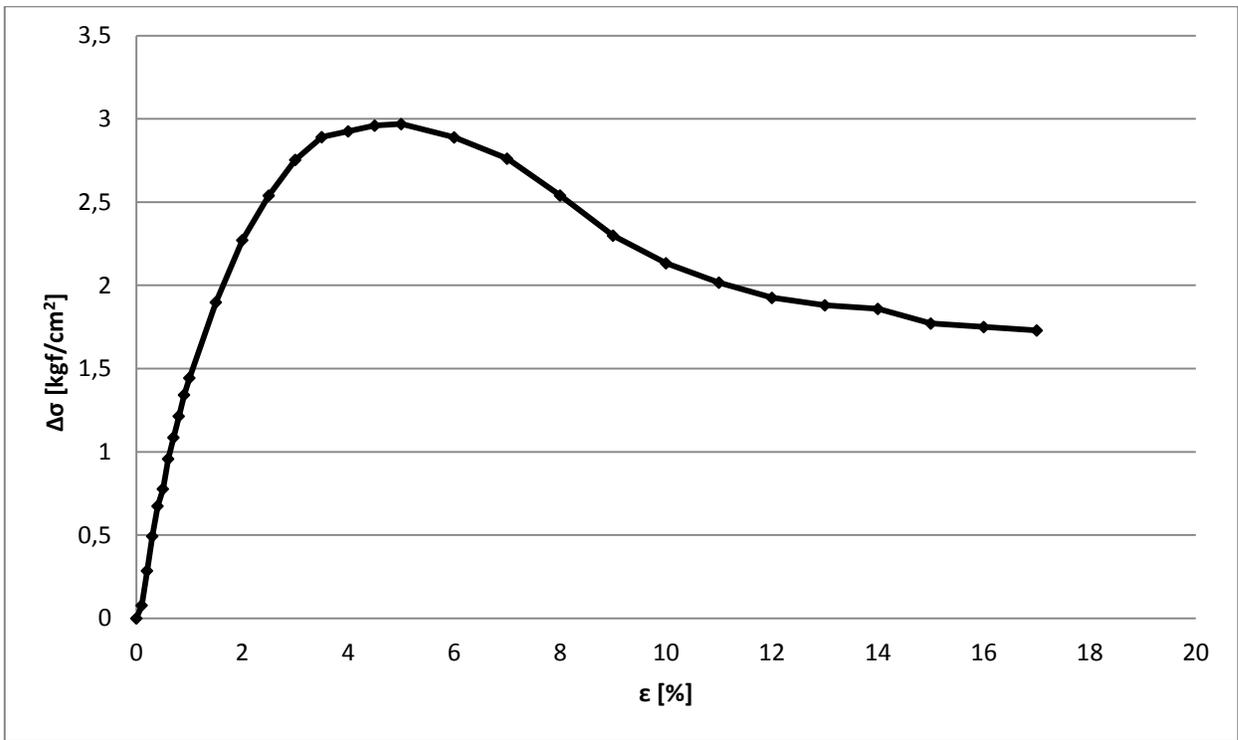
		% pasante			
Tamiz	Tamaño [mm]	Cortado	H-1	H-2	H-3
7"	177,8	100	100	100	100
6"	152,4	97,9	100	100	100
5"	127	93,2	100	100	100
4"	101,6	87,9	100	100	100
3"	76,2	75,5	100	100	100
2.5"	63,5	67,6	100	100	100
2"	50,8	59,2	100	100	100
1 1/2"	38,1	48,7	100	100	100
1"	25,4	38	100	100	100
3/4"	19,05	31,2	95	100	100
3/8"	9,525	20,3	73	100	100
N4	4,75	14,7	48	81	100
N10	2	10,8	26,5	52	74
N20	0,84	8,9	17	28,5	43,5
N40	0,42	7,9	13	18,7	28,5
N60	0,25	7,3	10,5	14,5	20
N140	0,11	5,5	9	11,7	14,2
N200	0,074	4,9	8,5	10	12,5

8.2 *ANEXO B: ENSAYOS TRIAXIALES CID*

8.2.1 RESUMEN ENSAYOS EN EQUIPO TRIAXIAL DE BAJAS PRESIONES

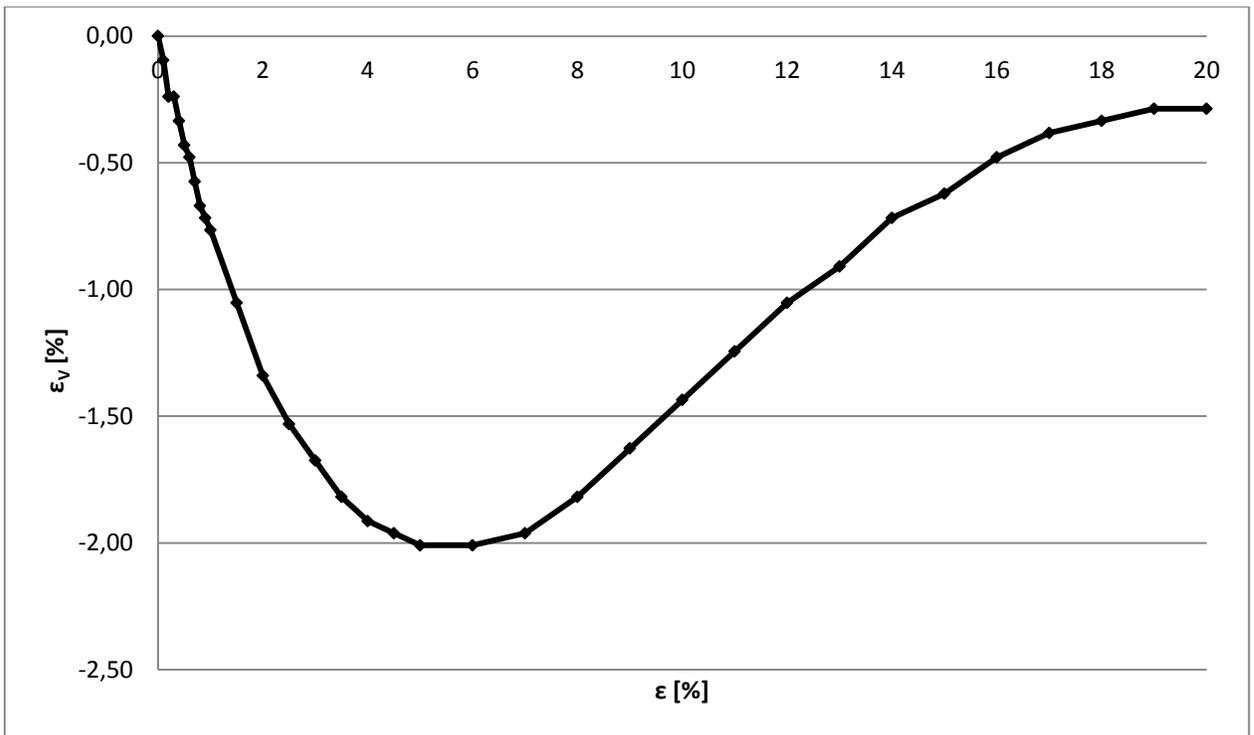
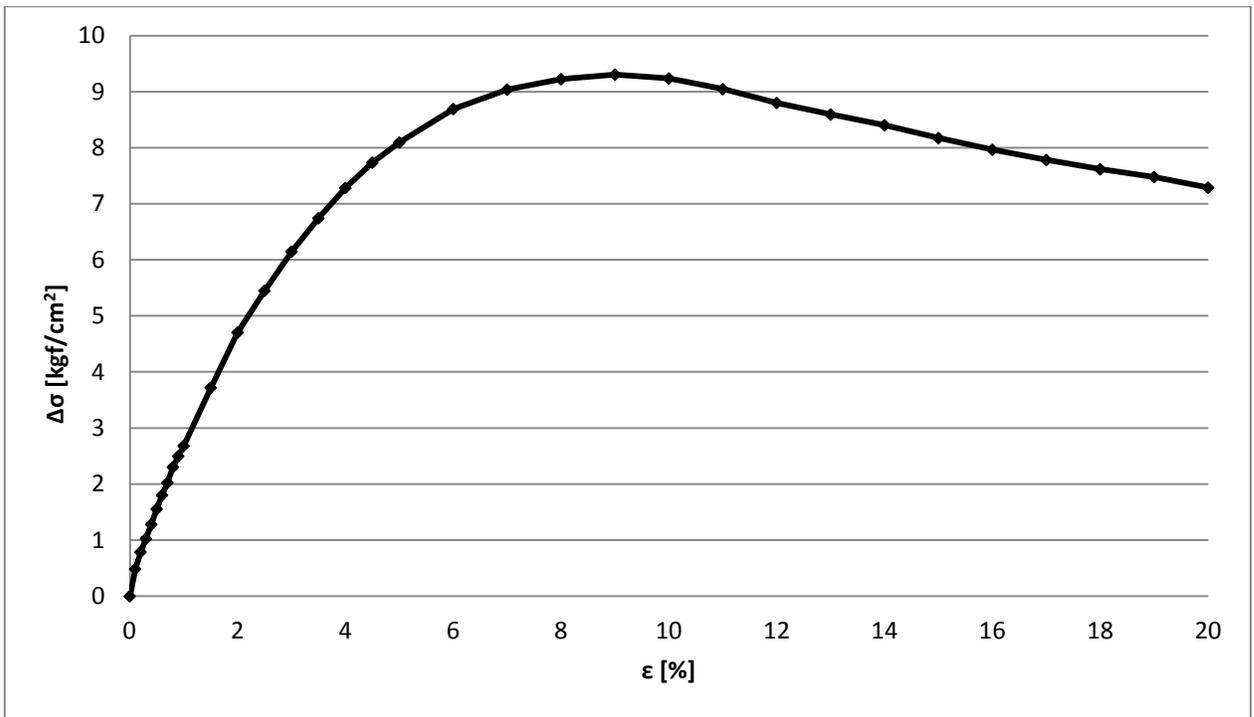
Altura inicial probeta [cm]	10,86
Diámetro inicial probeta [cm]	4,99
Tamaño máximo de partículas [mm]	4,75
Humedad confección probeta [%]	0,09
Back pressure [kgf/cm ²]	3
Densidad seca de confección [gr/cm ³]	2,039
Densidad relativa de confección [%]	71,53
Δv por consolidación [cm ³]	1
Densidad seca post consolidación [gr/cm ³]	2,048
Densidad relativa post consolidación [%]	72,87
Presión de confinamiento efectivo [kgf/cm ²]	0,5

ϵ [%]	$A_{\text{corregida}}$ [cm ²]	Carga [kgf]	ϵ_v [%]	e	$\Delta\sigma$ [kgf/cm ²]	p [kgf/cm ²]	q [kgf/cm ²]	ϕ_{MOV} [°]
0	19,54	0,000	0,00	0,324	0,000	0,500	0	0,00
0,1	19,56	1,527	-0,05	0,324	0,078	0,539	0,039	4,15
0,2	19,58	5,600	-0,09	0,323	0,286	0,643	0,143	12,85
0,3	19,60	9,673	-0,14	0,323	0,493	0,747	0,247	19,29
0,4	19,62	13,236	-0,14	0,323	0,675	0,837	0,337	23,75
0,5	19,64	15,272	-0,19	0,322	0,778	0,889	0,389	25,94
0,6	19,66	18,836	-0,19	0,322	0,958	0,979	0,479	29,29
0,7	19,68	21,381	-0,19	0,322	1,086	1,043	0,543	31,38
0,8	19,70	23,927	-0,24	0,321	1,214	1,107	0,607	33,26
0,9	19,72	26,472	-0,24	0,321	1,342	1,171	0,671	34,96
1	19,74	28,508	-0,24	0,321	1,444	1,222	0,722	36,22
1,5	19,84	37,672	-0,19	0,322	1,899	1,449	0,949	40,92
2	19,94	45,308	-0,09	0,323	2,272	1,636	1,136	43,98
2,5	20,05	50,908	0,05	0,325	2,540	1,770	1,270	45,85
3	20,15	55,490	0,24	0,328	2,754	1,877	1,377	47,19
3,5	20,25	58,544	0,43	0,330	2,891	1,945	1,445	47,99
4	20,36	59,562	0,71	0,334	2,926	1,963	1,463	48,18
4,5	20,47	60,581	1,00	0,338	2,960	1,980	1,480	48,37
5	20,57	61,090	1,23	0,341	2,969	1,985	1,485	48,42
6	20,79	60,071	1,80	0,348	2,889	1,945	1,445	47,98
7	21,02	58,035	2,37	0,356	2,762	1,881	1,381	47,24
8	21,24	53,962	2,85	0,362	2,540	1,770	1,270	45,85
9	21,48	49,381	3,18	0,367	2,299	1,650	1,150	44,18
10	21,72	46,326	3,46	0,370	2,133	1,567	1,067	42,91
11	21,96	44,290	3,61	0,372	2,017	1,508	1,008	41,95
12	22,21	42,763	3,80	0,375	1,925	1,463	0,963	41,16
13	22,46	42,254	3,94	0,377	1,881	1,440	0,940	40,76
14	22,73	42,254	4,03	0,378	1,859	1,430	0,930	40,56
15	22,99	40,726	4,08	0,378	1,771	1,386	0,886	39,73
16	23,27	40,726	4,13	0,379	1,750	1,375	0,875	39,53
17	23,55	40,726	4,13	0,379	1,730	1,365	0,865	39,32



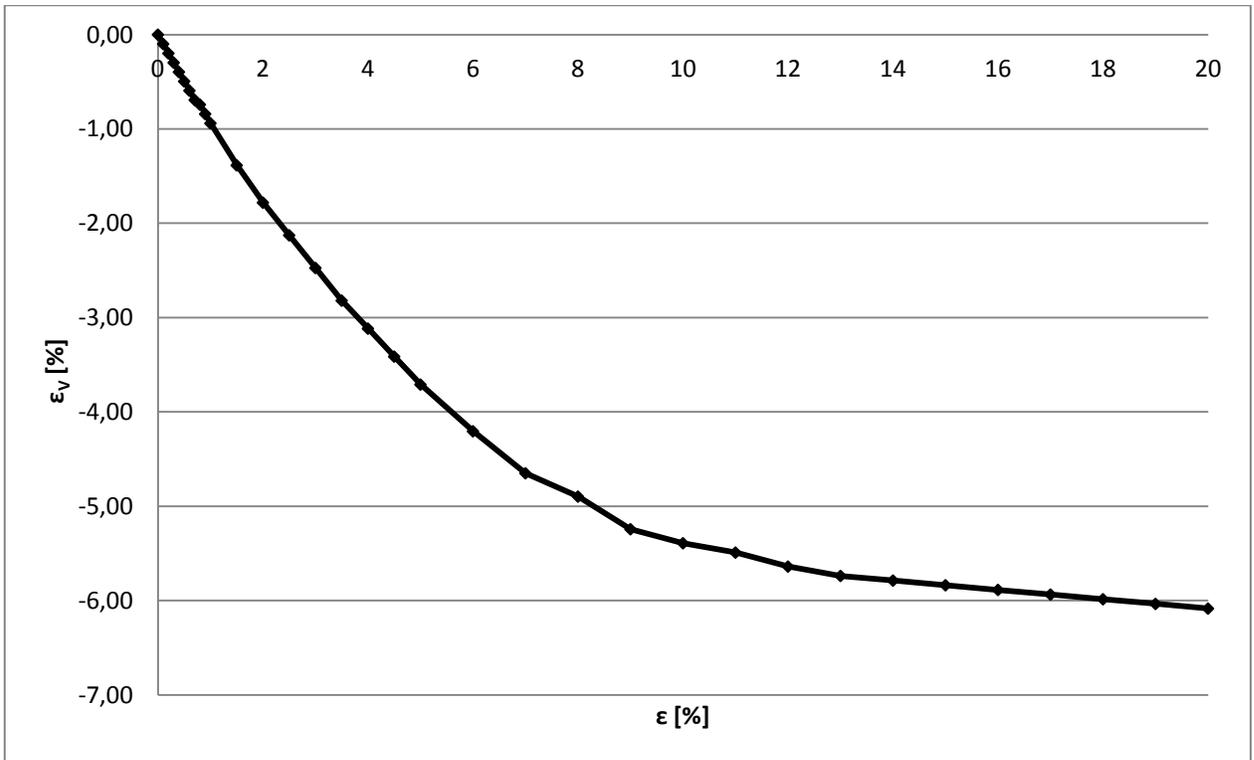
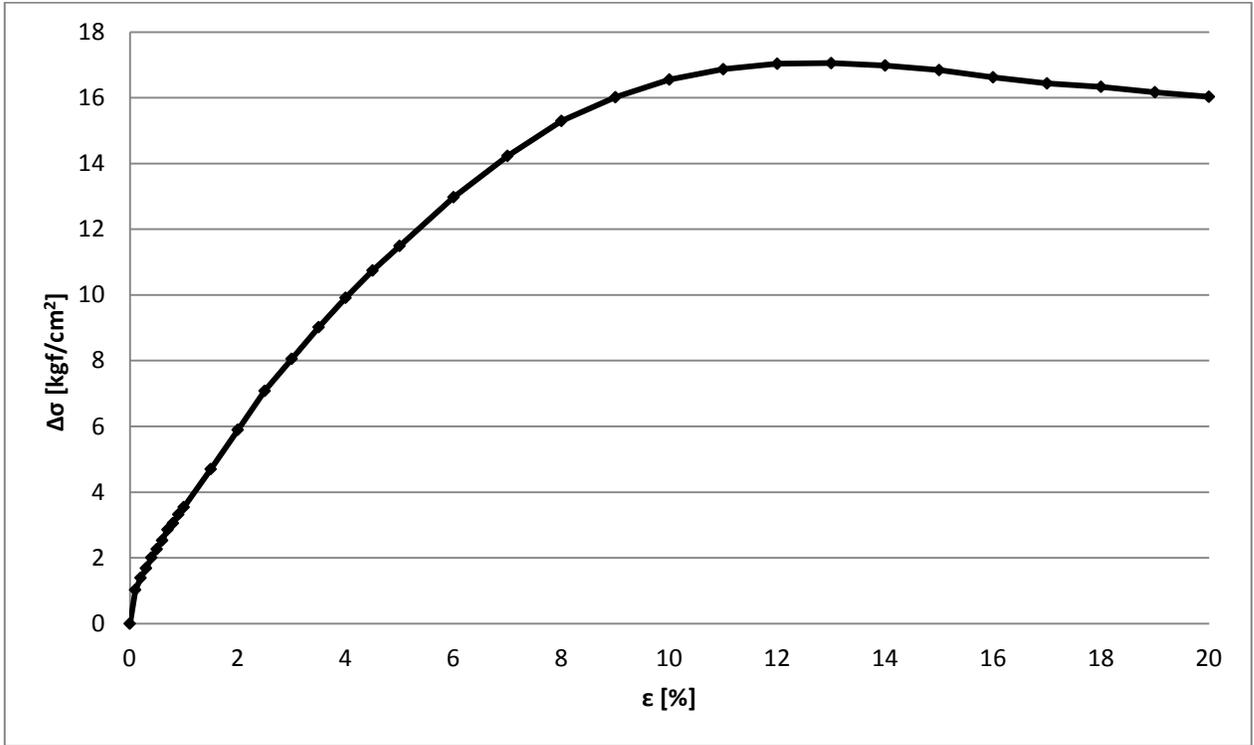
Altura inicial probeta [cm]	10,86
Diámetro inicial probeta [cm]	4,99
Tamaño máximo de partículas [mm]	4,75
Humedad confección probeta [%]	0,09
Back pressure [kgf/cm ²]	2
Densidad seca de confección [gr/cm ³]	2,017
Densidad relativa de confección [%]	68,49
ΔV por consolidación [cm ³]	3,5
Densidad seca post consolidación [gr/cm ³]	2,051
Densidad relativa post consolidación [%]	73,22
Presión de confinamiento efectivo [kgf/cm ²]	2

ϵ [%]	$A_{\text{corregida}}$ [cm ²]	Carga [kgf]	ϵ_v [%]	e	$\Delta\sigma$ [kgf/cm ²]	p [kgf/cm ²]	q [kgf/cm ²]	ϕ_{MOV} [°]
0	19,39	0,000	0,00	0,323	0,000	2,000	0	0,00
0,1	19,41	9,439	-0,10	0,322	0,486	2,243	0,243	6,22
0,2	19,43	15,300	-0,24	0,320	0,787	2,394	0,394	9,47
0,3	19,45	19,970	-0,24	0,320	1,027	2,513	0,513	11,79
0,4	19,47	24,938	-0,33	0,318	1,281	2,640	0,640	14,04
0,5	19,49	30,303	-0,43	0,317	1,555	2,777	0,777	16,26
0,6	19,51	35,171	-0,48	0,316	1,803	2,901	0,901	18,10
0,7	19,53	39,542	-0,57	0,315	2,025	3,012	1,012	19,64
0,8	19,55	45,007	-0,67	0,314	2,302	3,151	1,151	21,43
0,9	19,57	48,882	-0,72	0,313	2,498	3,249	1,249	22,61
1	19,59	52,558	-0,77	0,313	2,683	3,342	1,342	23,67
1,5	19,69	73,223	-1,05	0,309	3,719	3,860	1,860	28,80
2	19,79	93,094	-1,34	0,305	4,705	4,352	2,352	32,72
2,5	19,89	108,394	-1,53	0,303	5,450	4,725	2,725	35,22
3	19,99	122,900	-1,67	0,301	6,148	5,074	3,074	37,29
3,5	20,09	135,517	-1,82	0,299	6,744	5,372	3,372	38,88
4	20,20	147,142	-1,91	0,297	7,285	5,642	3,642	40,21
4,5	20,30	157,077	-1,96	0,297	7,736	5,868	3,868	41,24
5	20,41	165,224	-2,01	0,296	8,095	6,047	4,047	42,01
6	20,63	179,332	-2,01	0,296	8,693	6,347	4,347	43,23
7	20,85	188,473	-1,96	0,297	9,039	6,520	4,520	43,89
8	21,08	194,434	-1,82	0,299	9,225	6,612	4,612	44,23
9	21,31	198,309	-1,63	0,301	9,306	6,653	4,653	44,38
10	21,55	199,004	-1,44	0,304	9,236	6,618	4,618	44,25
11	21,79	197,116	-1,24	0,306	9,047	6,524	4,524	43,90
12	22,04	193,937	-1,05	0,309	8,801	6,401	4,401	43,43
13	22,29	191,553	-0,91	0,311	8,594	6,297	4,297	43,03
14	22,55	189,466	-0,72	0,313	8,403	6,201	4,201	42,65
15	22,81	186,486	-0,62	0,315	8,174	6,087	4,087	42,18
16	23,08	183,902	-0,48	0,316	7,966	5,983	3,983	41,74
17	23,36	181,816	-0,38	0,318	7,782	5,891	3,891	41,34
18	23,65	180,127	-0,33	0,318	7,617	5,809	3,809	40,97
19	23,94	179,034	-0,29	0,319	7,479	5,739	3,739	40,66
20	24,24	176,650	-0,29	0,319	7,288	5,644	3,644	40,21



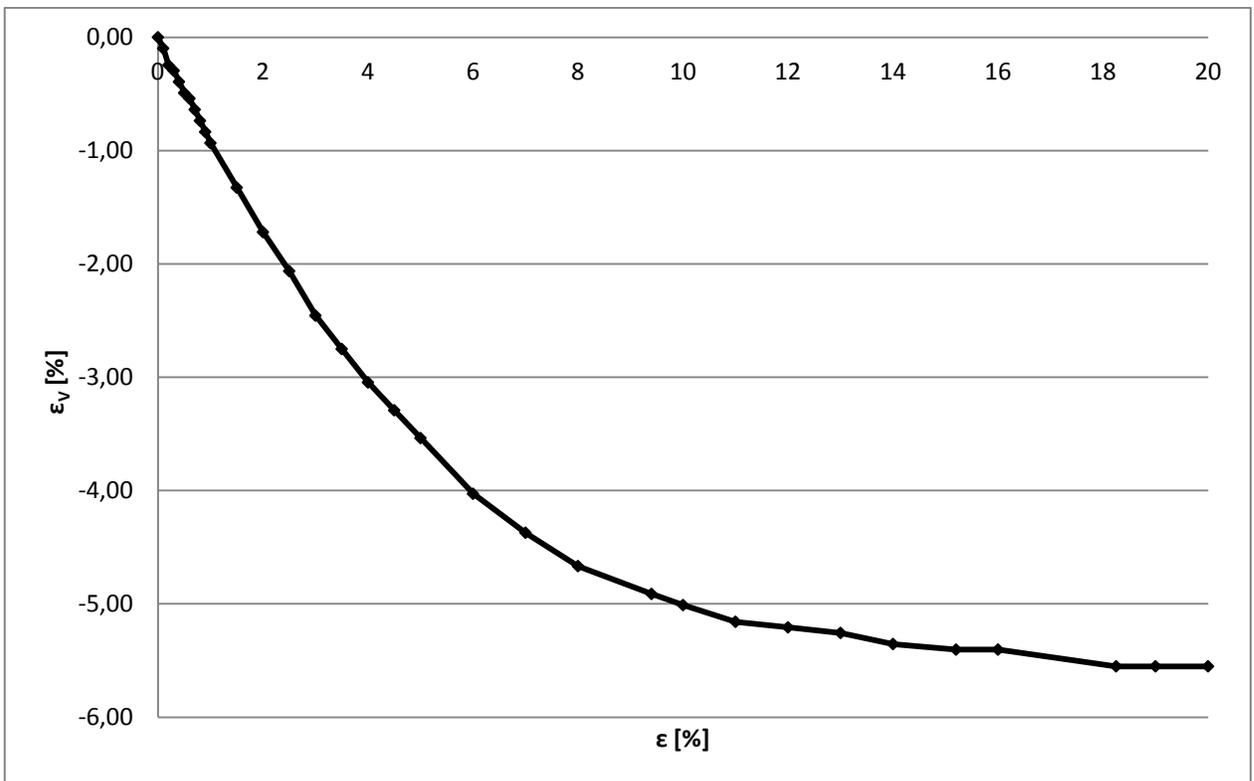
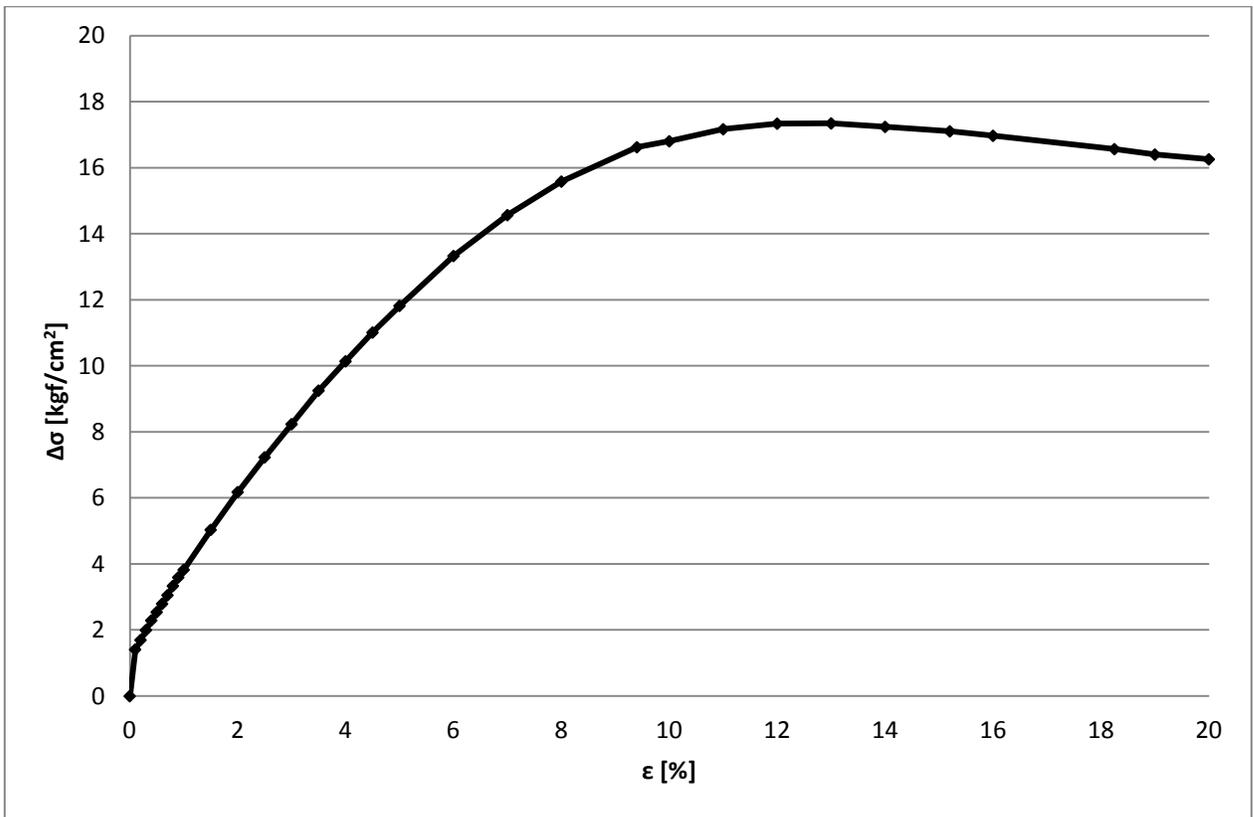
Altura inicial probeta [cm]	10,86
Diámetro inicial probeta [cm]	4,99
Tamaño máximo de partículas [mm]	4,75
Humedad confección probeta [%]	0,09
Back pressure [kgf/cm ²]	2
Densidad seca de confección [gr/cm ³]	1,883
Densidad relativa de confección [%]	48
ΔV por consolidación [cm ³]	7,4
Densidad seca post consolidación [gr/cm ³]	1,952
Densidad relativa post consolidación [%]	58,86
Presión de confinamiento efectivo [kgf/cm ²]	5

ϵ [%]	$A_{\text{corregida}}$ [cm ²]	Carga [kgf]	ϵ_v [%]	e	$\Delta\sigma$ [kgf/cm ²]	p [kgf/cm ²]	q [kgf/cm ²]	ϕ_{MOV} [°]
0	19,15	0,00	0,00	0,390	0,00	5,00	0,00	0,00
0,1	19,17	19,67	-0,10	0,389	1,03	5,51	0,51	5,34
0,2	19,19	26,73	-0,20	0,387	1,39	5,70	0,70	7,02
0,3	19,21	32,39	-0,30	0,386	1,69	5,84	0,84	8,30
0,4	19,23	38,65	-0,40	0,385	2,01	6,00	1,00	9,63
0,5	19,25	43,62	-0,49	0,383	2,27	6,13	1,13	10,64
0,6	19,27	48,78	-0,59	0,382	2,53	6,27	1,27	11,65
0,7	19,29	55,14	-0,69	0,380	2,86	6,43	1,43	12,85
0,8	19,31	59,02	-0,74	0,380	3,06	6,53	1,53	13,54
0,9	19,33	64,18	-0,84	0,378	3,32	6,66	1,66	14,44
1	19,35	68,55	-0,94	0,377	3,54	6,77	1,77	15,17
1,5	19,45	91,40	-1,39	0,371	4,70	7,35	2,35	18,65
2	19,54	115,25	-1,78	0,365	5,90	7,95	2,95	21,77
2,5	19,64	139,09	-2,13	0,360	7,08	8,54	3,54	24,49
3	19,75	159,06	-2,47	0,356	8,06	9,03	4,03	26,50
3,5	19,85	179,03	-2,82	0,351	9,02	9,51	4,51	28,31
4	19,95	197,81	-3,12	0,347	9,91	9,96	4,96	29,86
4,5	20,06	215,50	-3,41	0,343	10,74	10,37	5,37	31,19
5	20,16	231,69	-3,71	0,338	11,49	10,75	5,75	32,32
6	20,38	264,38	-4,20	0,332	12,97	11,49	6,49	34,38
7	20,60	293,09	-4,65	0,325	14,23	12,12	7,12	35,97
8	20,82	318,43	-4,90	0,322	15,29	12,65	7,65	37,20
9	21,05	337,10	-5,24	0,317	16,02	13,01	8,01	38,00
10	21,28	352,31	-5,39	0,315	16,55	13,28	8,28	38,57
11	21,52	363,04	-5,49	0,314	16,87	13,43	8,43	38,89
12	21,77	370,79	-5,64	0,312	17,04	13,52	8,52	39,06
13	22,02	375,45	-5,74	0,310	17,05	13,53	8,53	39,08
14	22,27	378,24	-5,79	0,310	16,98	13,49	8,49	39,01
15	22,53	379,53	-5,84	0,309	16,84	13,42	8,42	38,86
16	22,80	379,03	-5,89	0,308	16,62	13,31	8,31	38,64
17	23,08	379,33	-5,94	0,308	16,44	13,22	8,22	38,44
18	23,36	381,52	-5,99	0,307	16,33	13,17	8,17	38,33
19	23,65	382,31	-6,03	0,306	16,17	13,08	8,08	38,16
20	23,94	383,80	-6,08	0,305	16,03	13,02	8,02	38,01



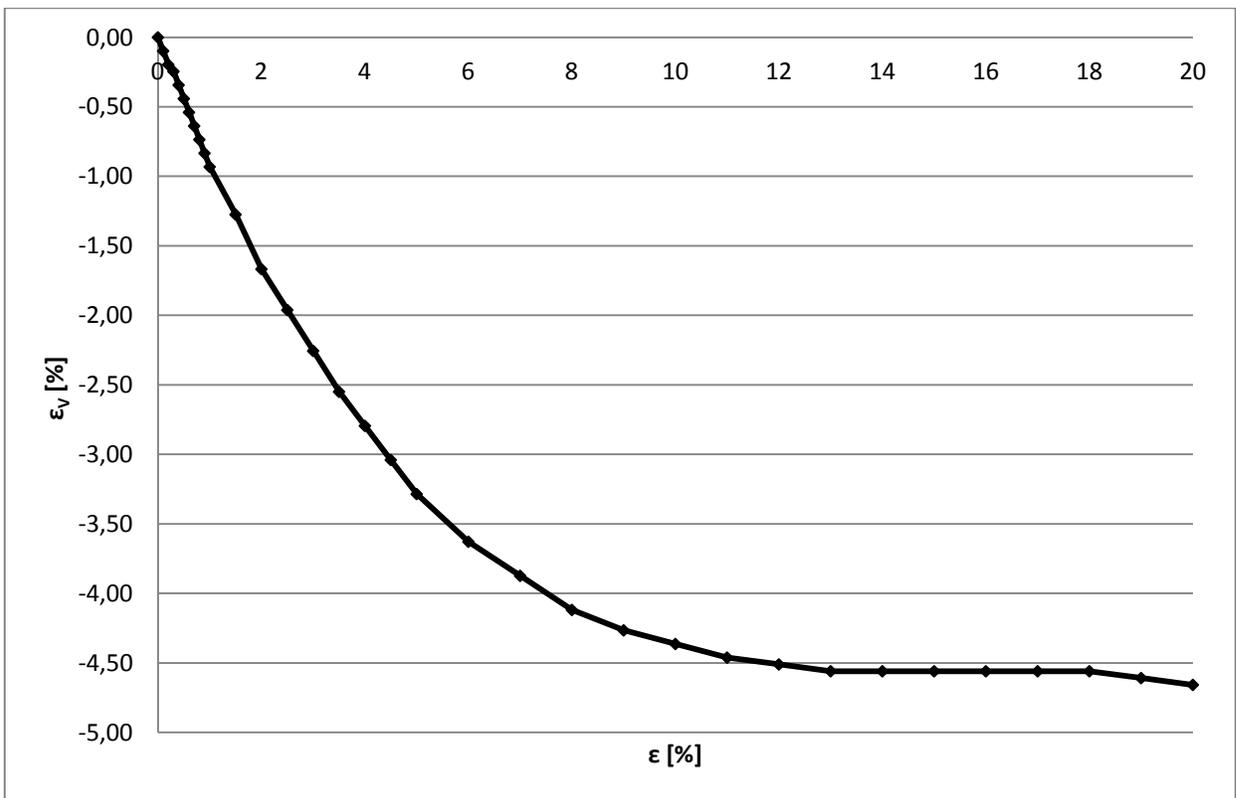
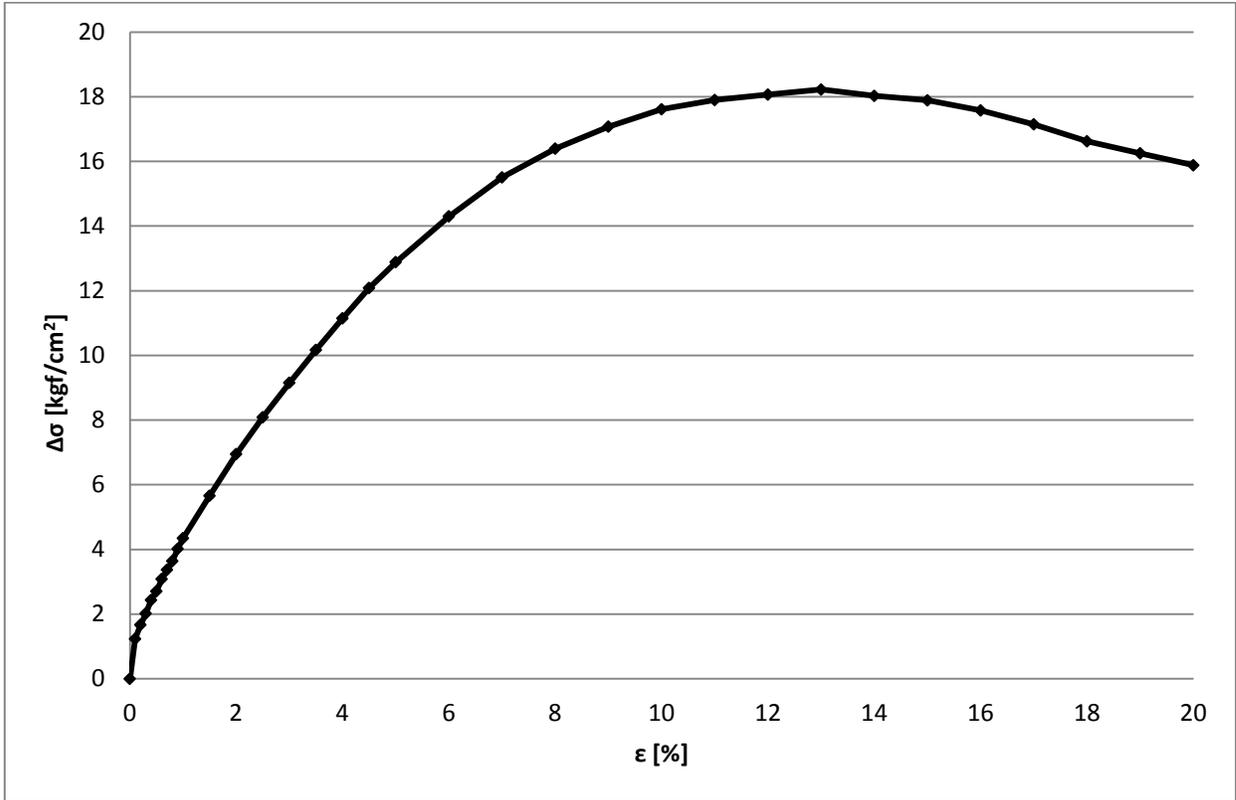
Altura inicial probeta [cm]	10,86
Diámetro inicial probeta [cm]	4,99
Tamaño máximo de partículas [mm]	4,75
Humedad confección probeta [%]	0,09
Back pressure [kgf/cm ²]	2
Densidad seca de confección [gr/cm ³]	1,89
Densidad relativa de confección [%]	41,1
ΔV por consolidación [cm ³]	8,5
Densidad seca post consolidación [gr/cm ³]	1,968
Densidad relativa post consolidación [%]	61,38
Presión de confinamiento efectivo [kgf/cm ²]	5

ϵ [%]	$A_{\text{corregida}}$ [cm ²]	Carga [kgf]	ϵ_v [%]	e	$\Delta\sigma$ [kgf/cm ²]	p [kgf/cm ²]	q [kgf/cm ²]	ϕ_{MOV} [°]
0	19,09	0,00	0,00	0,378	0,00	5,00	0,00	0,00
0,1	19,11	26,92	-0,10	0,377	1,41	5,70	0,70	7,10
0,2	19,13	32,49	-0,25	0,375	1,70	5,85	0,85	8,35
0,3	19,14	38,25	-0,29	0,374	2,00	6,00	1,00	9,59
0,4	19,16	43,91	-0,39	0,373	2,29	6,15	1,15	10,74
0,5	19,18	48,78	-0,49	0,371	2,54	6,27	1,27	11,70
0,6	19,20	53,65	-0,54	0,371	2,79	6,40	1,40	12,61
0,7	19,22	58,72	-0,64	0,369	3,05	6,53	1,53	13,53
0,8	19,24	64,18	-0,74	0,368	3,34	6,67	1,67	14,49
0,9	19,26	69,25	-0,84	0,367	3,60	6,80	1,80	15,33
1	19,28	73,72	-0,93	0,365	3,82	6,91	1,91	16,06
1,5	19,38	97,56	-1,33	0,360	5,03	7,52	2,52	19,57
2	19,48	120,32	-1,72	0,355	6,18	8,09	3,09	22,45
2,5	19,58	141,58	-2,06	0,350	7,23	8,62	3,62	24,81
3	19,68	162,04	-2,46	0,344	8,24	9,12	4,12	26,85
3,5	19,78	183,01	-2,75	0,340	9,25	9,63	4,63	28,72
4	19,88	201,59	-3,05	0,336	10,14	10,07	5,07	30,23
4,5	19,99	220,07	-3,29	0,333	11,01	10,51	5,51	31,60
5	20,09	237,45	-3,54	0,330	11,82	10,91	5,91	32,80
6	20,31	270,64	-4,03	0,323	13,33	11,66	6,66	34,84
7	20,52	298,95	-4,37	0,318	14,57	12,28	7,28	36,37
8	20,75	323,29	-4,67	0,314	15,58	12,79	7,79	37,53
9,4	21,07	350,22	-4,91	0,311	16,62	13,31	8,31	38,64
10	21,21	356,38	-5,01	0,309	16,80	13,40	8,40	38,82
11	21,45	368,20	-5,16	0,307	17,17	13,58	8,58	39,19
12	21,69	376,05	-5,21	0,306	17,34	13,67	8,67	39,36
13	21,94	380,52	-5,26	0,306	17,34	13,67	8,67	39,37
14	22,19	382,61	-5,35	0,304	17,24	13,62	8,62	39,26
15,2	22,51	384,99	-5,40	0,304	17,10	13,55	8,55	39,13
16	22,72	385,59	-5,40	0,304	16,97	13,48	8,48	38,99
18,25	23,35	386,78	-5,55	0,302	16,57	13,28	8,28	38,58
19	23,56	386,48	-5,55	0,302	16,40	13,20	8,20	38,41
20	23,86	387,87	-5,55	0,302	16,26	13,13	8,13	38,25



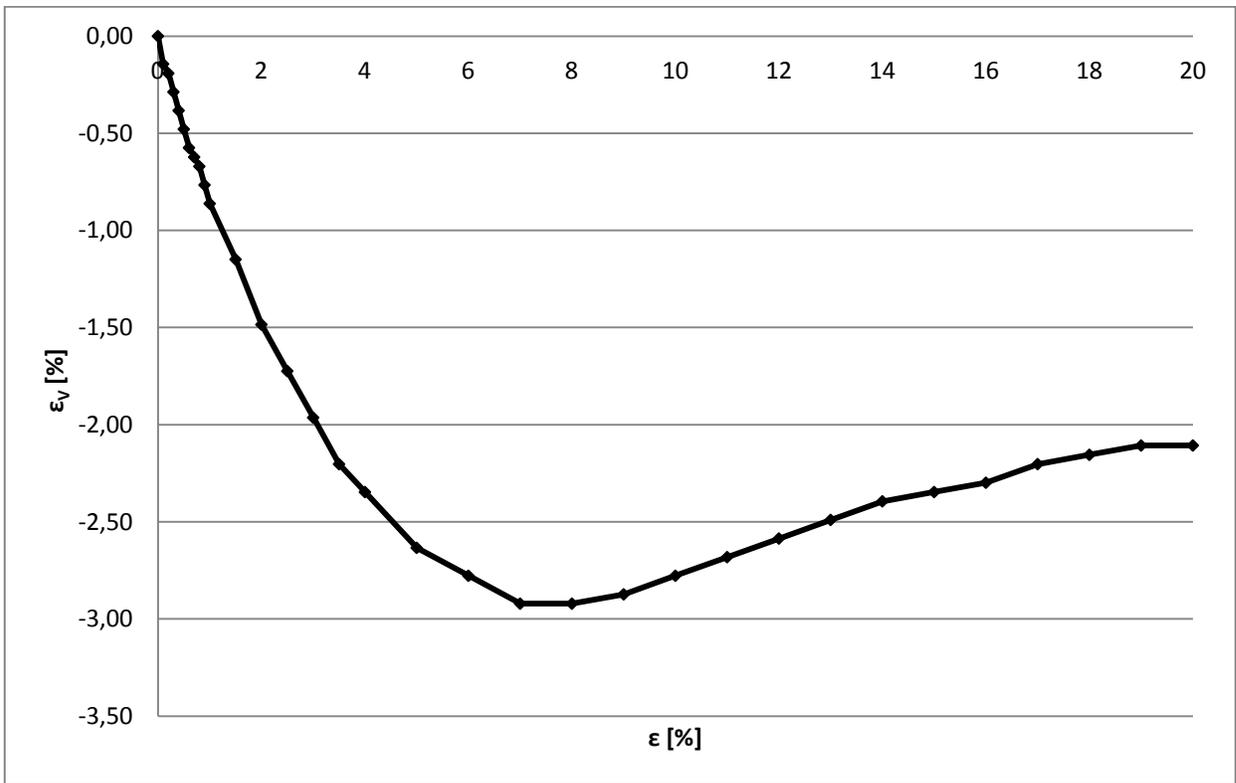
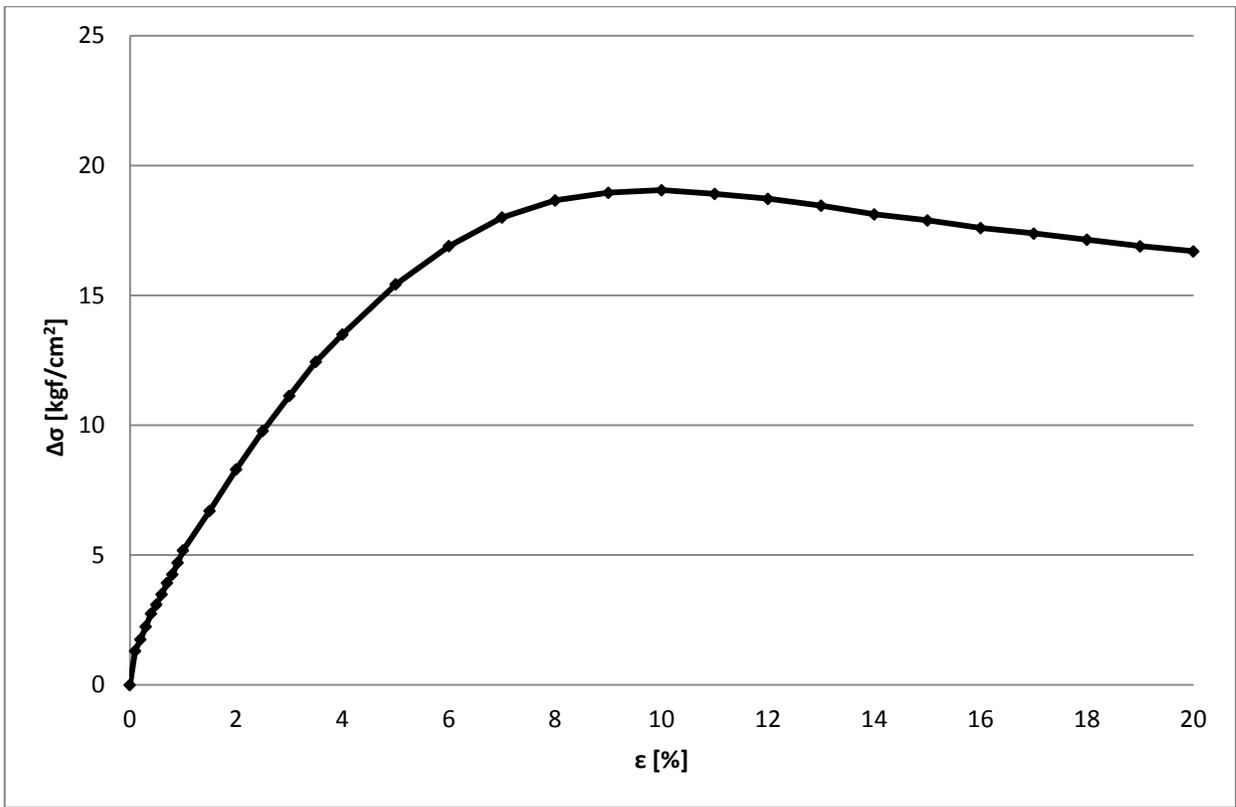
Altura inicial probeta [cm]	10,86
Diámetro inicial probeta [cm]	4,99
Tamaño máximo de partículas [mm]	4,75
Humedad confección probeta [%]	0,09
Back pressure [kgf/cm ²]	2
Densidad seca de confección [gr/cm ³]	1,93
Densidad relativa de confección [%]	55,52
ΔV por consolidación [cm ³]	7,6
Densidad seca post consolidación [gr/cm ³]	2,002
Densidad relativa post consolidación [%]	66,3
Presión de confinamiento efectivo [kgf/cm ²]	5

ϵ [%]	$A_{\text{corregida}}$ [cm ²]	Carga [kgf]	ϵ_v [%]	e	$\Delta\sigma$ [kgf/cm ²]	p [kgf/cm ²]	q [kgf/cm ²]	ϕ_{MOV} [°]
0	19,14	0,00	0,00	0,355	0,00	5,00	0,00	0,00
0,1	19,16	23,65	-0,10	0,354	1,23	5,62	0,62	6,31
0,2	19,18	31,99	-0,20	0,352	1,67	5,83	0,83	8,22
0,3	19,20	38,75	-0,25	0,352	2,02	6,01	1,01	9,67
0,4	19,22	46,80	-0,34	0,350	2,43	6,22	1,22	11,29
0,5	19,24	52,06	-0,44	0,349	2,71	6,35	1,35	12,30
0,6	19,26	59,41	-0,54	0,348	3,09	6,54	1,54	13,64
0,7	19,28	64,98	-0,64	0,346	3,37	6,69	1,69	14,60
0,8	19,30	70,24	-0,74	0,345	3,64	6,82	1,82	15,48
0,9	19,32	77,59	-0,83	0,344	4,02	7,01	2,01	16,65
1	19,33	84,05	-0,93	0,342	4,35	7,17	2,17	17,64
1,5	19,43	109,98	-1,27	0,338	5,66	7,83	2,83	21,19
2	19,53	135,72	-1,67	0,332	6,95	8,47	3,47	24,20
2,5	19,63	158,77	-1,96	0,328	8,09	9,04	4,04	26,56
3	19,73	180,62	-2,26	0,324	9,15	9,58	4,58	28,55
3,5	19,84	201,69	-2,55	0,320	10,17	10,08	5,08	30,28
4	19,94	222,25	-2,79	0,317	11,15	10,57	5,57	31,81
4,5	20,04	242,22	-3,04	0,314	12,08	11,04	6,04	33,18
5	20,15	259,61	-3,28	0,310	12,88	11,44	6,44	34,27
6	20,36	291,20	-3,63	0,306	14,30	12,15	7,15	36,05
7	20,58	319,12	-3,87	0,302	15,50	12,75	7,75	37,44
8	20,81	341,08	-4,12	0,299	16,39	13,20	8,20	38,40
9	21,03	359,16	-4,27	0,297	17,07	13,54	8,54	39,10
10	21,27	374,56	-4,36	0,296	17,61	13,81	8,81	39,63
11	21,51	384,89	-4,46	0,295	17,90	13,95	8,95	39,91
12	21,75	392,94	-4,51	0,294	18,06	14,03	9,03	40,07
13	22,00	400,89	-4,56	0,293	18,22	14,11	9,11	40,21
14	22,26	401,19	-4,56	0,293	18,02	14,01	9,01	40,03
15	22,52	402,78	-4,56	0,293	17,89	13,94	8,94	39,90
16	22,79	400,49	-4,56	0,293	17,57	13,79	8,79	39,59
17	23,06	395,42	-4,56	0,293	17,15	13,57	8,57	39,17
18	23,34	387,97	-4,56	0,293	16,62	13,31	8,31	38,63
19	23,63	384,00	-4,61	0,293	16,25	13,12	8,12	38,25
20	23,93	379,93	-4,66	0,292	15,88	12,94	7,94	37,85



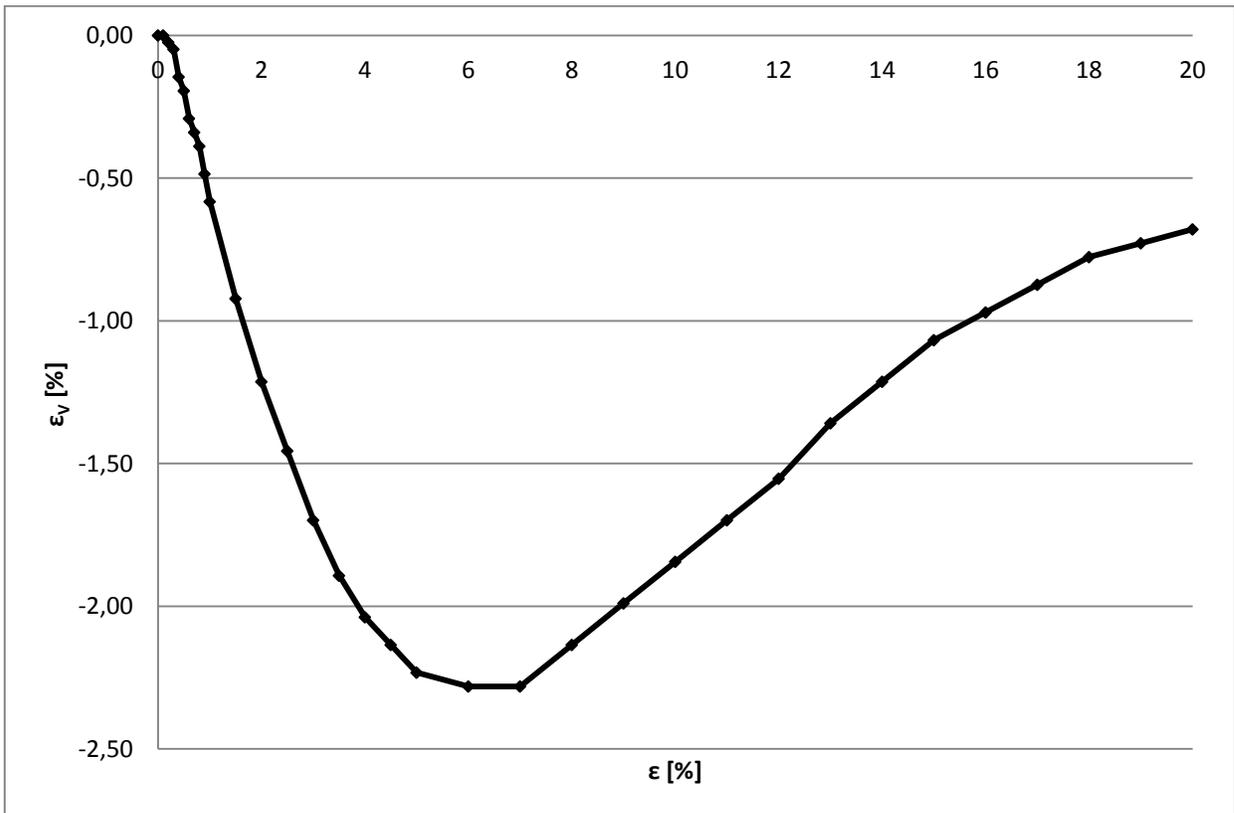
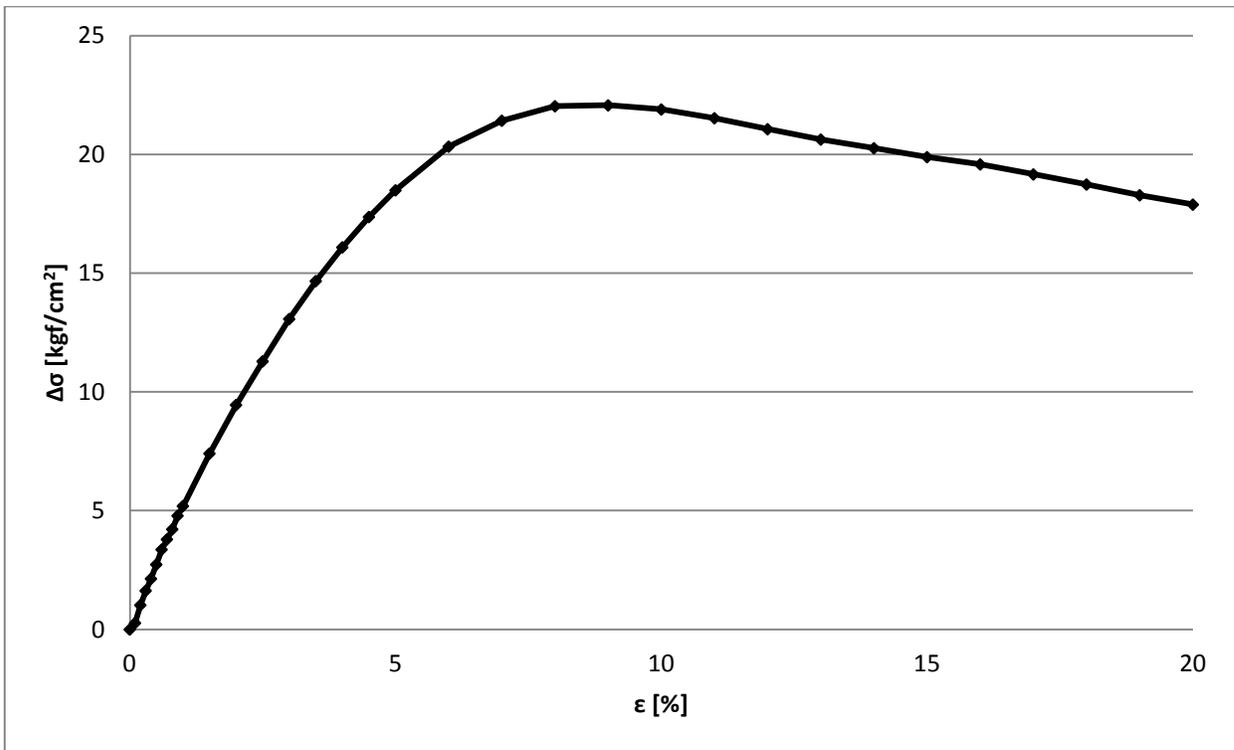
Altura inicial probeta [cm]	10,86
Diámetro inicial probeta [cm]	4,99
Tamaño máximo de partículas [mm]	4,75
Humedad confección probeta [%]	0,09
Back pressure [kgf/cm ²]	2
Densidad seca de confección [gr/cm ³]	2,005
Densidad relativa de confección [%]	66,74
ΔV por consolidación [cm ³]	5,7
Densidad seca post consolidación [gr/cm ³]	2,06
Densidad relativa post consolidación [%]	74,42
Presión de confinamiento efectivo [kgf/cm ²]	5

ϵ [%]	$A_{\text{corregida}}$ [cm ²]	Carga [kgf]	ϵ_v [%]	e	$\Delta\sigma$ [kgf/cm ²]	p [kgf/cm ²]	q [kgf/cm ²]	ϕ_{MOV} [°]
0	19,26	0,00	0,00	0,317	0,00	5,00	0,00	0,00
0,1	19,28	25,24	-0,14	0,315	1,31	5,65	0,65	6,65
0,2	19,30	33,88	-0,19	0,315	1,76	5,88	0,88	8,59
0,3	19,31	43,42	-0,29	0,313	2,25	6,12	1,12	10,58
0,4	19,33	53,15	-0,38	0,312	2,75	6,37	1,37	12,45
0,5	19,35	59,91	-0,48	0,311	3,10	6,55	1,55	13,67
0,6	19,37	67,66	-0,57	0,310	3,49	6,75	1,75	15,00
0,7	19,39	76,20	-0,62	0,309	3,93	6,96	1,96	16,39
0,8	19,41	82,66	-0,67	0,308	4,26	7,13	2,13	17,38
0,9	19,43	91,50	-0,77	0,307	4,71	7,35	2,35	18,67
1	19,45	100,84	-0,86	0,306	5,18	7,59	2,59	19,96
1,5	19,55	131,05	-1,15	0,302	6,70	8,35	3,35	23,66
2	19,65	163,14	-1,48	0,298	8,30	9,15	4,15	26,98
2,5	19,75	193,24	-1,72	0,294	9,78	9,89	4,89	29,64
3	19,85	221,06	-1,96	0,291	11,14	10,57	5,57	31,79
3,5	19,96	248,38	-2,20	0,288	12,45	11,22	6,22	33,68
4	20,06	270,74	-2,35	0,286	13,50	11,75	6,75	35,06
5	20,27	312,76	-2,63	0,282	15,43	12,71	7,71	37,36
6	20,49	346,25	-2,78	0,281	16,90	13,45	8,45	38,92
7	20,71	372,77	-2,92	0,279	18,00	14,00	9,00	40,01
8	20,93	390,56	-2,92	0,279	18,66	14,33	9,33	40,62
9	21,16	401,09	-2,87	0,279	18,95	14,48	9,48	40,89
10	21,40	407,65	-2,78	0,281	19,05	14,53	9,53	40,98
11	21,64	409,14	-2,68	0,282	18,91	14,45	9,45	40,85
12	21,88	409,63	-2,59	0,283	18,72	14,36	9,36	40,68
13	22,13	408,54	-2,49	0,284	18,46	14,23	9,23	40,44
14	22,39	405,76	-2,39	0,286	18,12	14,06	9,06	40,12
15	22,66	405,26	-2,35	0,286	17,89	13,94	8,94	39,90
16	22,93	403,37	-2,30	0,287	17,60	13,80	8,80	39,61
17	23,20	403,27	-2,20	0,288	17,38	13,69	8,69	39,40
18	23,48	402,68	-2,15	0,289	17,15	13,57	8,57	39,17
19	23,77	401,58	-2,11	0,289	16,89	13,45	8,45	38,91
20	24,07	401,88	-2,11	0,289	16,70	13,35	8,35	38,71



Altura inicial probeta [cm]	10,86
Diámetro inicial probeta [cm]	4,99
Tamaño máximo de partículas [mm]	4,75
Humedad confección probeta [%]	0,09
Back pressure [kgf/cm ²]	2
Densidad seca de confección [gr/cm ³]	2,092
Densidad relativa de confección [%]	78,8
ΔV por consolidación [cm ³]	3,9
Densidad seca post consolidación [gr/cm ³]	2,132
Densidad relativa post consolidación [%]	83,94
Presión de confinamiento efectivo [kgf/cm ²]	5

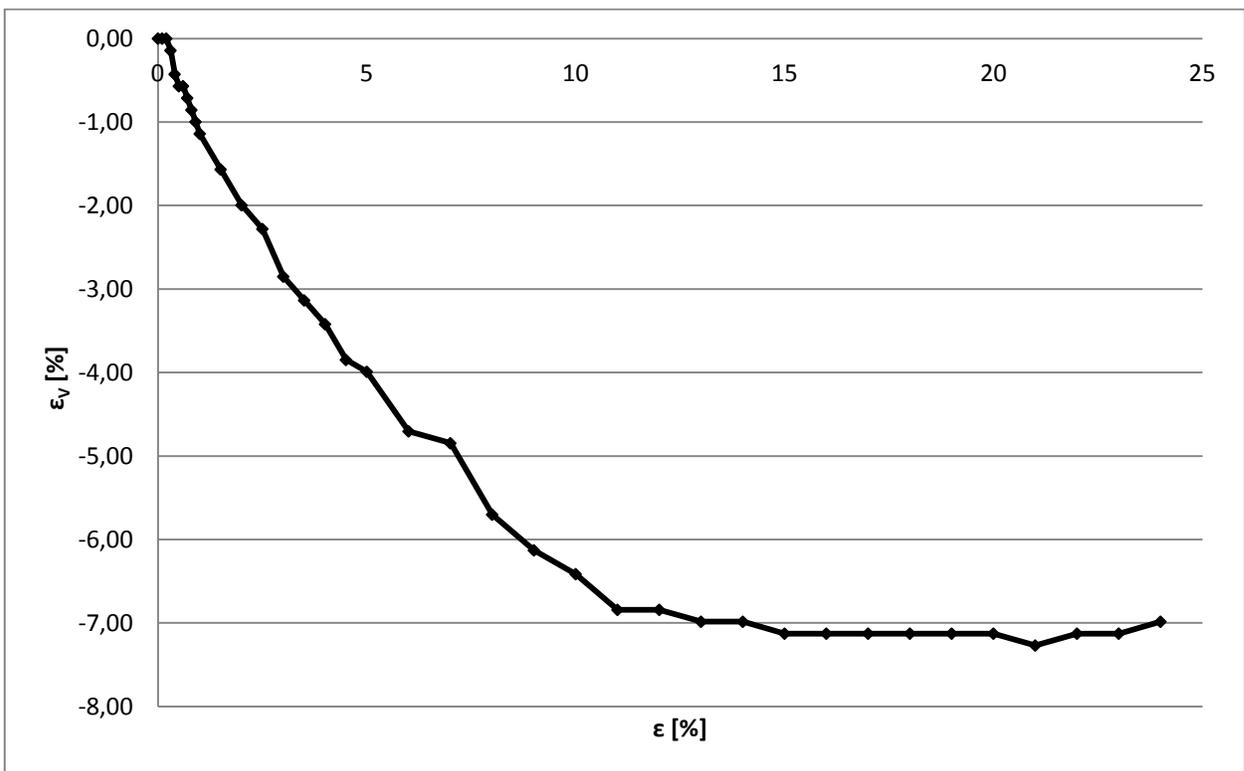
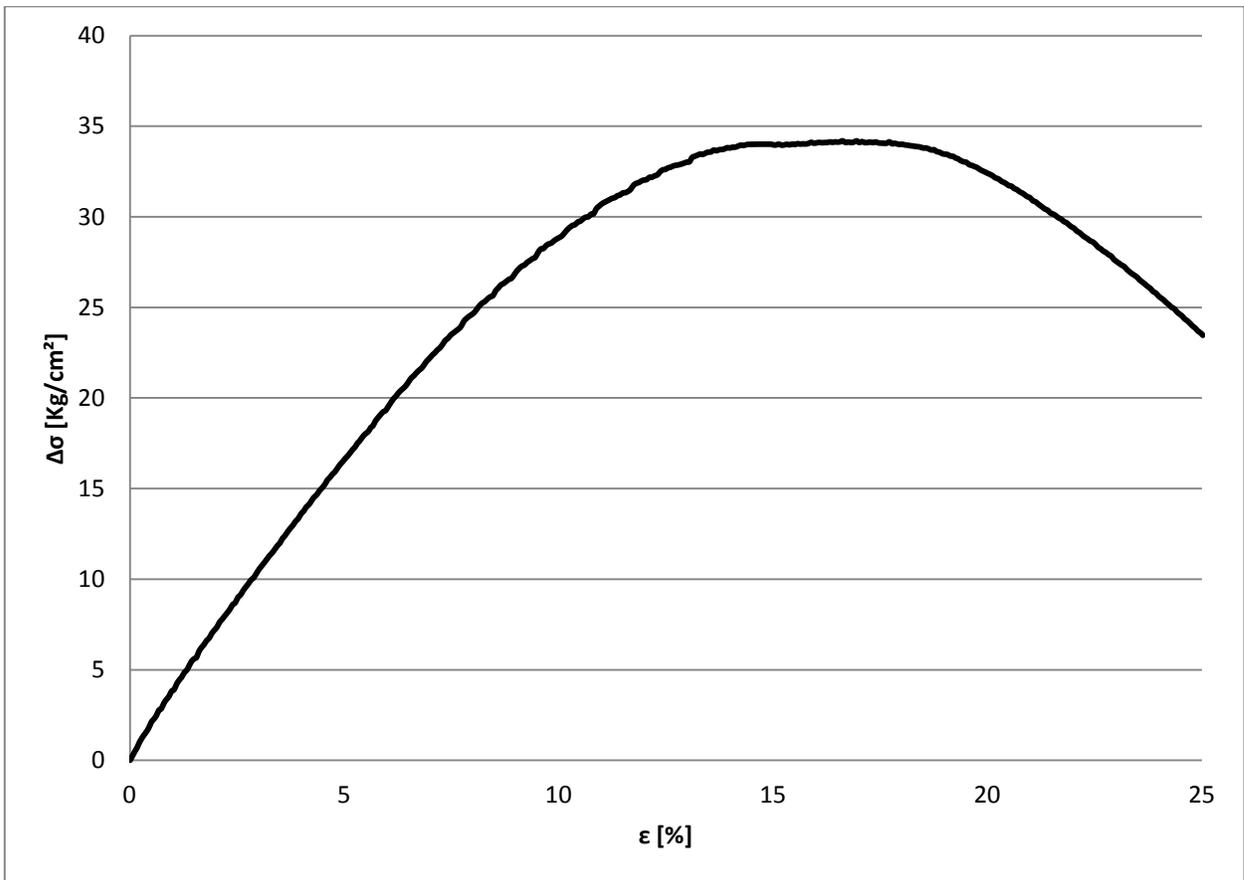
ϵ [%]	$A_{\text{corregida}}$ [cm ²]	Carga [kgf]	ϵ_v [%]	e	$\Delta\sigma$ [kgf/cm ²]	p [kgf/cm ²]	q [kgf/cm ²]	ϕ_{MOV} [°]
0	19,37	0	0,00	0,273	0,00	5,00	0,00	0,00
0,1	19,39	5,27	0,00	0,273	0,27	5,14	0,14	1,52
0,2	19,41	19,87	-0,02	0,272	1,02	5,51	0,51	5,33
0,3	19,43	31,69	-0,05	0,272	1,63	5,82	0,82	8,06
0,4	19,44	41,53	-0,15	0,271	2,14	6,07	1,07	10,14
0,5	19,46	53,25	-0,19	0,270	2,74	6,37	1,37	12,41
0,6	19,48	65,57	-0,29	0,269	3,37	6,68	1,68	14,58
0,7	19,50	74,02	-0,34	0,268	3,80	6,90	1,90	15,97
0,8	19,52	82,36	-0,39	0,268	4,22	7,11	2,11	17,26
0,9	19,54	93,59	-0,49	0,266	4,79	7,39	2,39	18,89
1	19,56	101,64	-0,58	0,265	5,20	7,60	2,60	19,99
1,5	19,66	145,65	-0,92	0,261	7,41	8,70	3,70	25,19
2	19,76	186,78	-1,21	0,257	9,45	9,73	4,73	29,07
2,5	19,86	224,24	-1,46	0,254	11,29	10,64	5,64	32,02
3	19,97	261,00	-1,70	0,251	13,07	11,54	6,54	34,51
3,5	20,07	294,38	-1,89	0,248	14,67	12,33	7,33	36,49
4	20,17	324,59	-2,04	0,247	16,09	13,04	8,04	38,08
4,5	20,28	352,21	-2,14	0,245	17,37	13,68	8,68	39,39
5	20,39	376,95	-2,23	0,244	18,49	14,25	9,25	40,47
6	20,60	418,87	-2,28	0,244	20,33	15,17	10,17	42,09
7	20,82	446,09	-2,28	0,244	21,42	15,71	10,71	42,98
8	21,05	463,78	-2,14	0,245	22,03	16,02	11,02	43,46
9	21,28	469,64	-1,99	0,247	22,07	16,03	11,03	43,48
10	21,52	471,13	-1,84	0,249	21,89	15,95	10,95	43,35
11	21,76	468,45	-1,70	0,251	21,53	15,76	10,76	43,06
12	22,01	463,58	-1,55	0,253	21,06	15,53	10,53	42,69
13	22,26	459,21	-1,36	0,255	20,63	15,31	10,31	42,34
14	22,52	456,33	-1,21	0,257	20,26	15,13	10,13	42,03
15	22,78	453,15	-1,07	0,259	19,89	14,94	9,94	41,71
16	23,06	451,46	-0,97	0,260	19,58	14,79	9,79	41,45
17	23,33	447,09	-0,87	0,261	19,16	14,58	9,58	41,08
18	23,62	442,52	-0,78	0,263	18,74	14,37	9,37	40,69
19	23,91	437,15	-0,73	0,263	18,28	14,14	9,14	40,27
20	24,21	433,08	-0,68	0,264	17,89	13,94	8,94	39,90



8.2.2 RESUMEN ENSAYOS EN EQUIPO TRIAXIAL DE ALTAS PRESIONES

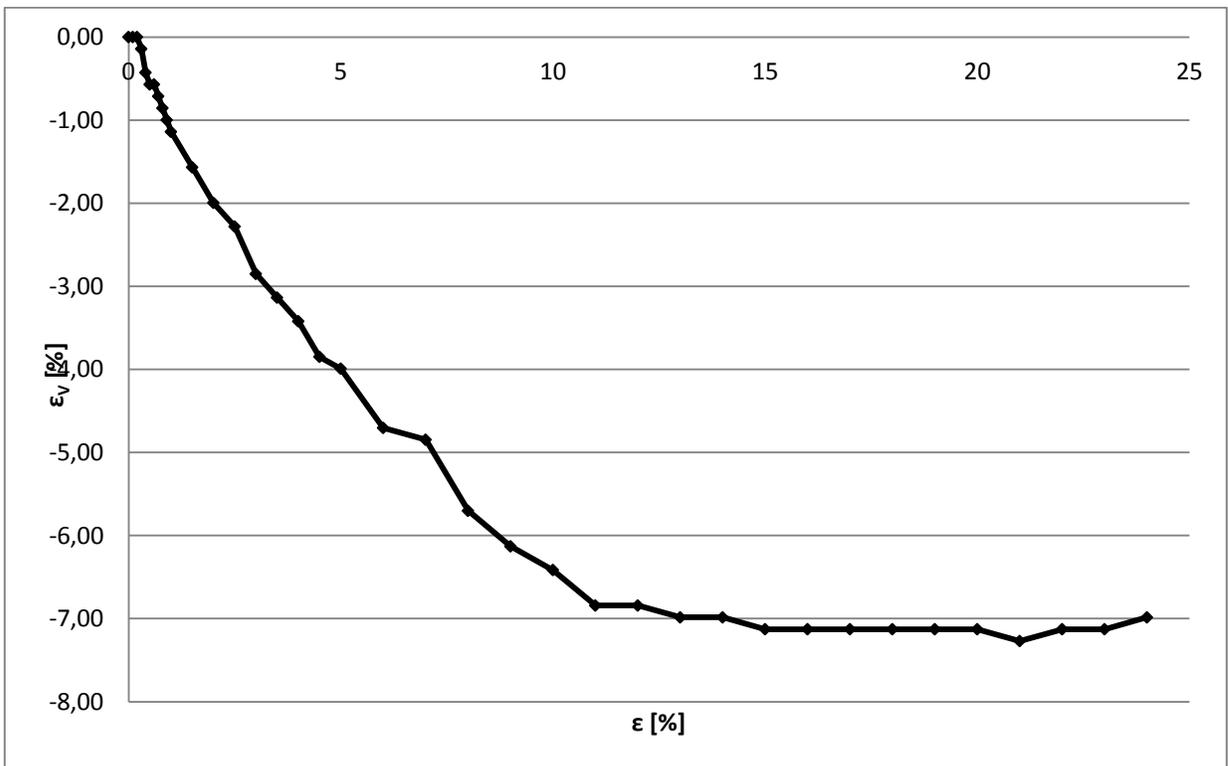
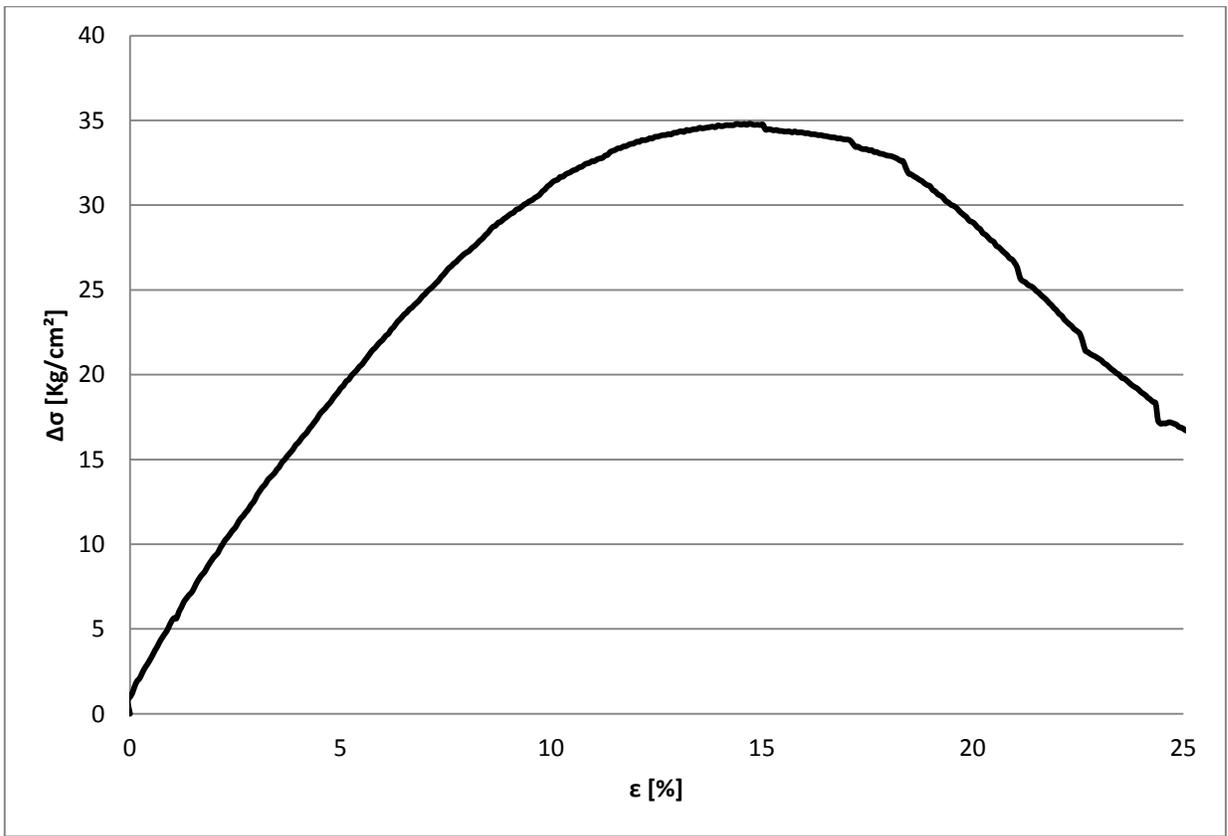
Altura inicial probeta [cm]	10,13
Diámetro inicial probeta [cm]	5,01
Tamaño máximo de partículas [mm]	4,75
Humedad confección probeta [%]	0,09
Back pressure [kgf/cm ²]	2
Densidad seca de confección [gr/cm ³]	1,787
Densidad relativa de confección [%]	31,48
ΔV por consolidación [cm ³]	17,25
Densidad seca post consolidación [gr/cm ³]	1,963
Densidad relativa post consolidación [%]	60,5
Presión de confinamiento efectivo [kgf/cm ²]	10

ϵ [%]	$A_{\text{corregida}}$ [cm ²]	Carga [kgf]	ϵ_v [%]	e	$\Delta\sigma$ [kgf/cm ²]	p [kgf/cm ²]	q [kgf/cm ²]	ϕ_{MOV} [°]
0	18,85	42,35	0	0,382	0	10,23	0	0
1	19,04	116,84	-1,14	0,367	3,91	12,33	1,96	9,13
2	19,23	183,81	-2	0,355	7,35	13,99	3,68	15,24
3	19,43	246,94	-2,85	0,343	10,53	15,56	5,26	19,78
4	19,63	309,68	-3,42	0,335	13,62	17,14	6,81	23,41
5	19,84	372,75	-3,99	0,327	16,65	18,58	8,33	26,62
6	20,05	433,6	-4,7	0,317	19,51	19,94	9,75	29,29
7	20,27	492,23	-4,85	0,315	22,2	21,41	11,1	31,22
8	20,49	548,93	-5,7	0,304	24,72	22,59	12,36	33,16
9	20,71	601,78	-6,13	0,298	27	23,88	13,5	34,44
10	20,94	646,77	-6,41	0,294	28,86	24,65	14,43	35,83
11	21,18	692,64	-6,84	0,288	30,71	25,7	15,35	36,69
12	21,42	728,32	-6,84	0,288	32,03	26,28	16,02	37,55
13	21,66	757,6	-6,98	0,286	33,02	26,73	16,51	38,15
14	21,92	782,99	-6,98	0,286	33,8	27,12	16,9	38,54
15	22,17	811,89	-7,13	0,284	33,97	27,28	16,99	38,52
16	22,44	823,67	-7,13	0,284	34,08	27,31	17,04	38,61
17	22,71	833,6	-7,13	0,284	34,11	27,3	17,05	38,65
18	22,98	840,97	-7,13	0,284	34,01	27,26	17,01	38,6
19	23,27	837,73	-7,13	0,284	33,46	26,98	16,73	38,32
20	23,56	822,21	-7,13	0,284	32,4	26,45	16,2	37,77
21	23,86	799,17	-7,27	0,282	31,06	25,82	15,53	36,97
22	24,16	767,73	-7,13	0,284	29,38	24,99	14,69	36
23	24,48	731,05	-7,13	0,284	27,54	24,07	13,77	34,89
24	24,8	691,44	-6,98	0,286	25,63	23,14	12,81	33,62



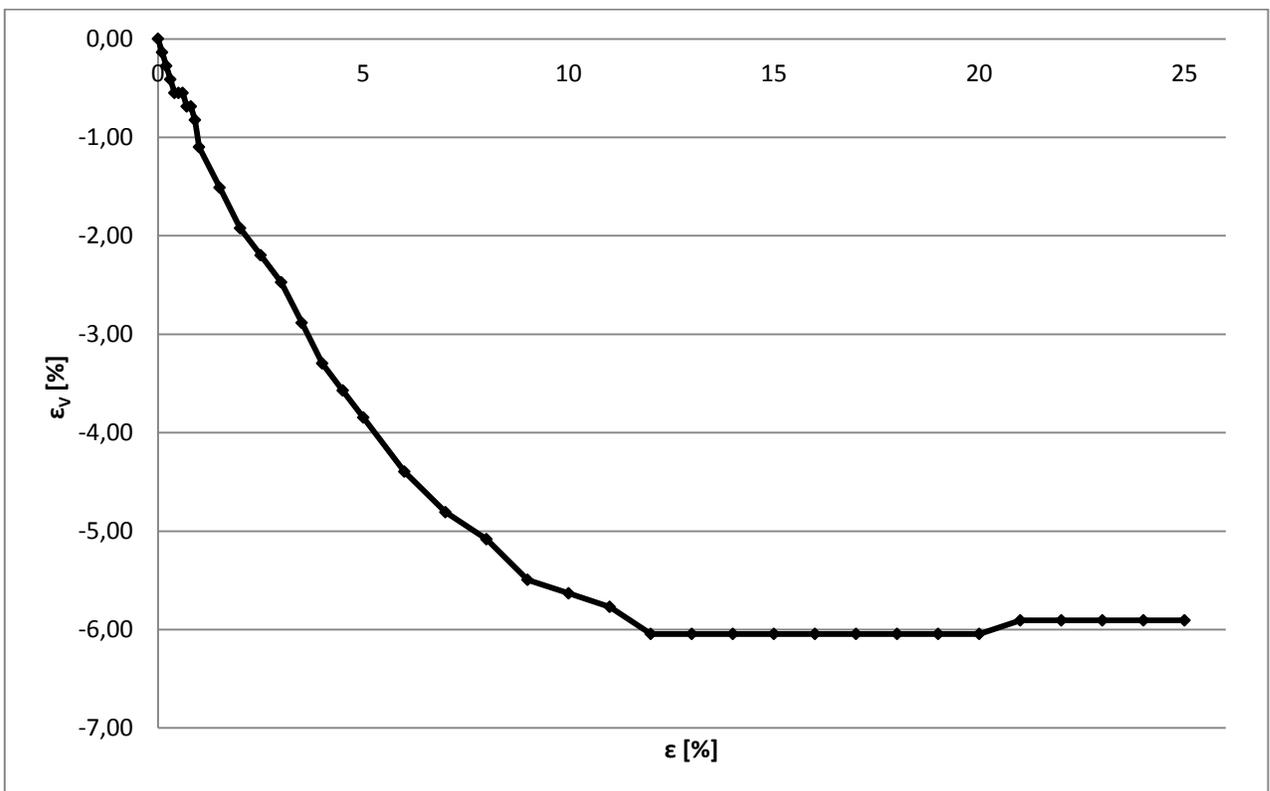
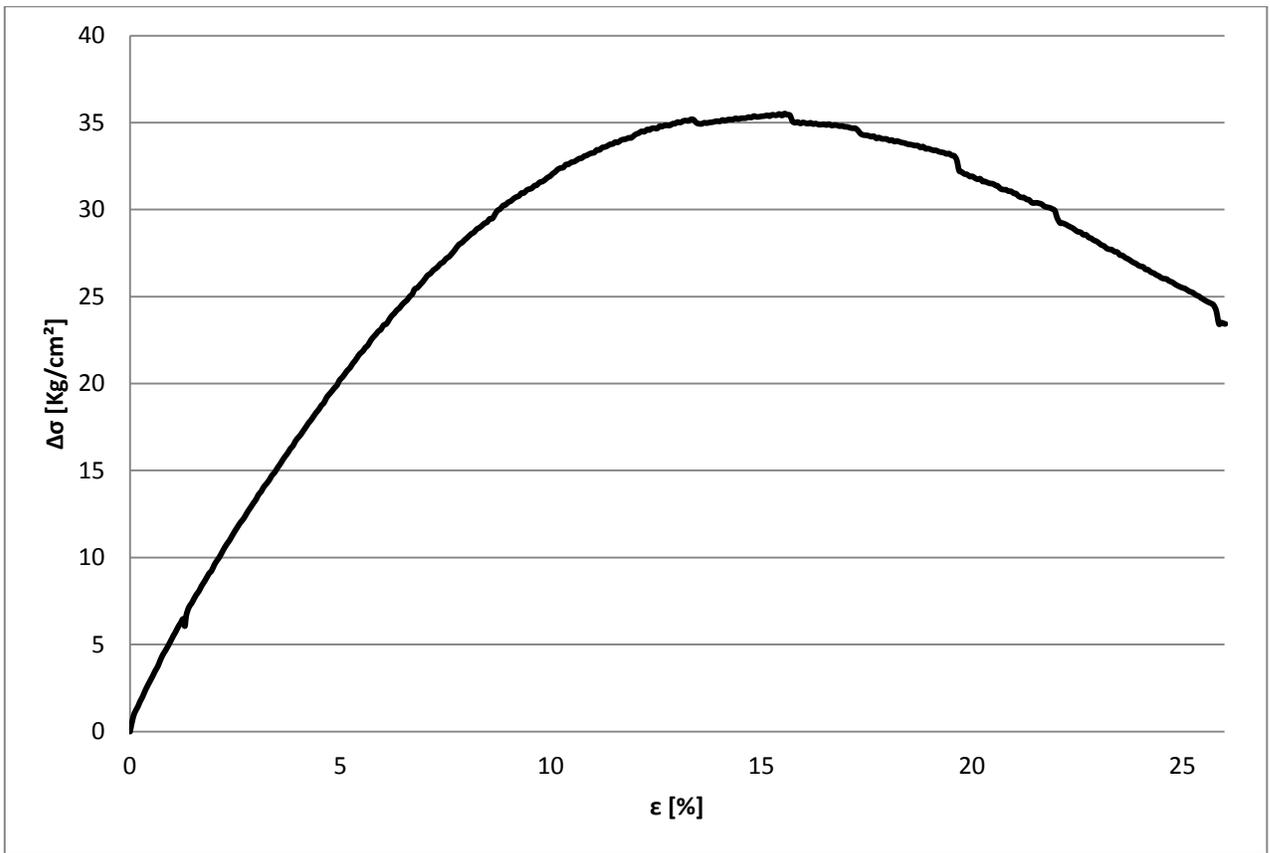
Altura inicial probeta [cm]	10,13
Diámetro inicial probeta [cm]	5,01
Tamaño máximo de partículas [mm]	4,75
Humedad confección probeta [%]	0,09
Back pressure [kgf/cm ²]	2
Densidad seca de confección [gr/cm ³]	1,83
Densidad relativa de confección [%]	39,15
ΔV por consolidación [cm ³]	14,5
Densidad seca post consolidación [gr/cm ³]	1,978
Densidad relativa post consolidación [%]	62,82
Presión de confinamiento efectivo [kgf/cm ²]	10

ϵ [%]	$A_{\text{Corregida}}$ [cm ²]	Carga [kgf]	ϵ_v [%]	e	$\Delta\sigma$ [kgf/cm ²]	p [kgf/cm ²]	q [kgf/cm ²]	ϕ_{Mov} [°]
0	18,75	36,15	0	0,372	0	10,22	0	0
1	18,94	140,17	-1,12	0,356	5,49	12,8	2,75	12,39
2	19,13	213,81	-1,95	0,345	9,28	15,02	4,64	18,01
3	19,33	286,02	-2,79	0,333	12,92	16,86	6,46	22,53
4	19,53	348,63	-3,48	0,324	16	18,37	8	25,81
5	19,74	415,17	-4,04	0,316	19,2	19,97	9,6	28,74
6	19,95	476,53	-4,74	0,307	22,08	21,3	11,04	31,21
7	20,16	535,29	-5,16	0,301	24,76	22,63	12,38	33,15
8	20,38	581,96	-5,71	0,293	26,84	23,72	13,42	34,45
9	20,61	641,75	-5,85	0,291	29,39	25,02	14,7	35,97
10	20,83	689,72	-6,27	0,286	31,36	26,03	15,68	37,04
11	21,07	723,02	-6,41	0,284	32,59	26,57	16,3	37,83
12	21,31	755,36	-6,55	0,282	33,74	27,2	16,87	38,34
13	21,55	776,28	-6,69	0,28	34,33	27,49	17,17	38,64
14	21,8	791,98	-6,83	0,278	34,66	27,71	17,33	38,72
15	22,06	803,07	-6,97	0,276	34,76	27,75	17,38	38,77
16	22,32	800,65	-6,97	0,276	34,24	27,47	17,12	38,54
17	22,59	801,12	-6,97	0,276	33,87	27,39	16,94	38,19
18	22,87	788,72	-6,83	0,278	32,92	26,86	16,46	37,79
19	23,15	756,47	-6,83	0,278	31,12	25,84	15,56	37,03
20	23,44	715,73	-6,69	0,28	28,99	24,85	14,5	35,69
21	23,74	666,99	-6,69	0,28	26,58	23,77	13,29	34
22	24,04	608,47	-6,69	0,28	23,81	22,31	11,91	32,25
23	24,35	546,45	-6,69	0,28	20,96	20,77	10,48	30,3
24	24,67	505,2	-6,69	0,28	19,02	19,92	9,51	28,52
25	25	455,47	-6,69	0,28	16,77	18,69	8,38	26,65



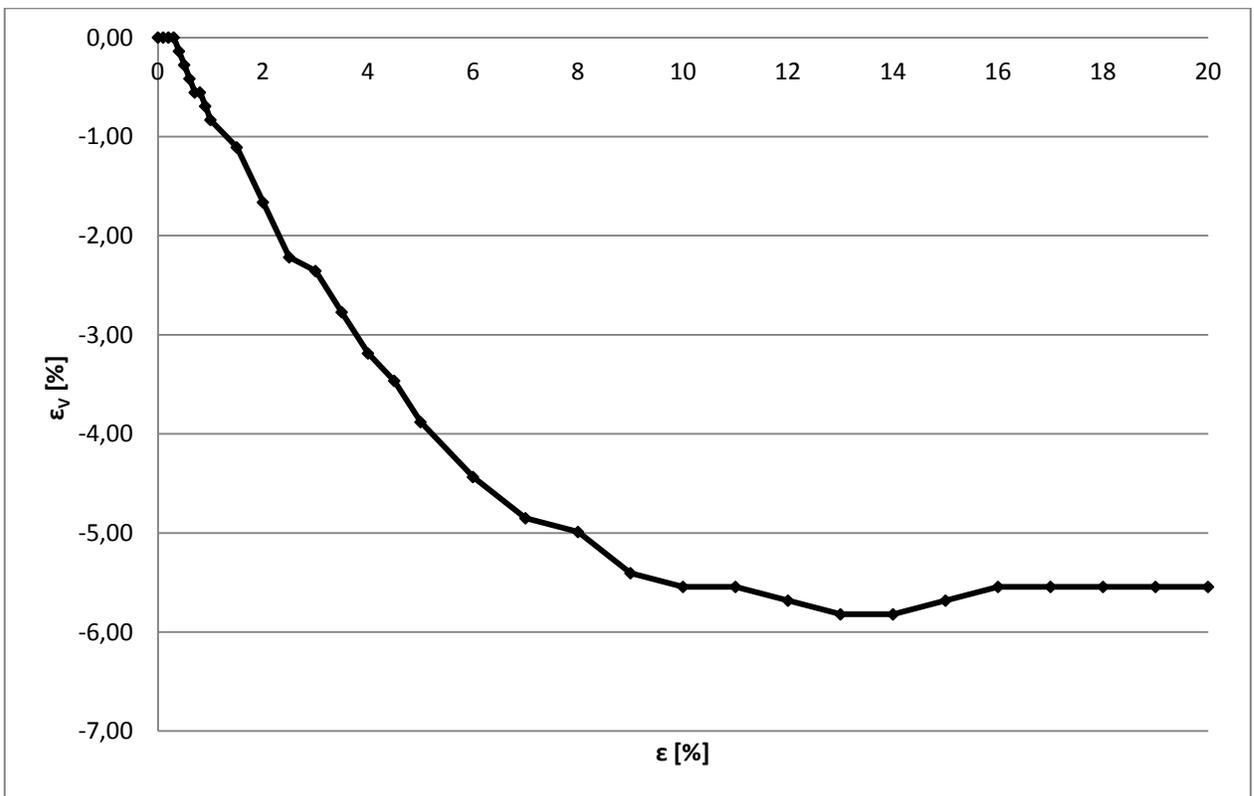
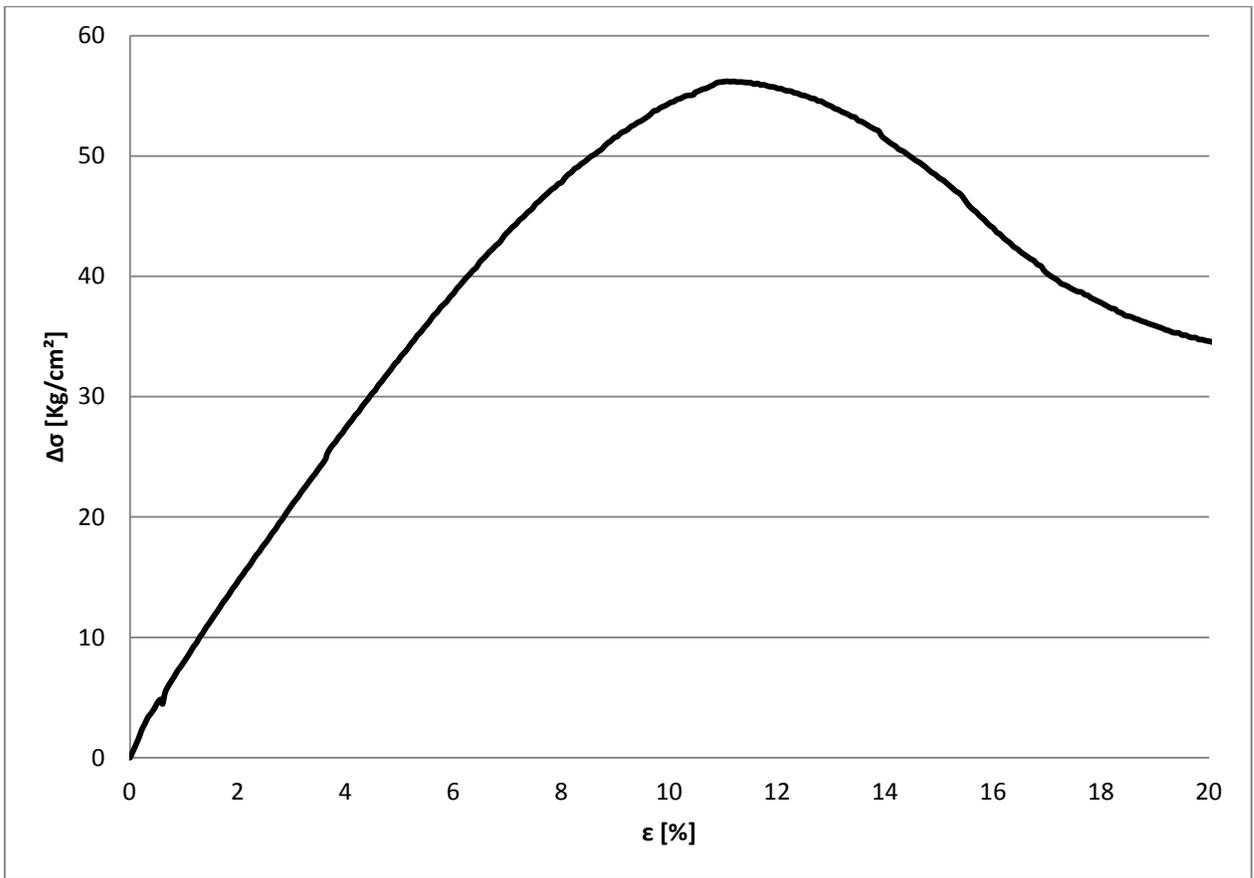
Altura inicial probeta [cm]	10,13
Diámetro inicial probeta [cm]	5,01
Tamaño máximo de partículas [mm]	4,75
Humedad confección probeta [%]	0,09
Back pressure [kgf/cm ²]	2
Densidad seca de confección [gr/cm ³]	1,867
Densidad relativa de confección [%]	45,34
ΔV por consolidación [cm ³]	13
Densidad seca post consolidación [gr/cm ³]	2,00
Densidad relativa post consolidación [%]	66,02
Presión de confinamiento efectivo [kgf/cm ²]	10

ϵ [%]	$A_{\text{corregida}}$ [cm ²]	Carga [kgf]	ϵ_v [%]	e	$\Delta\sigma$ [kgf/cm ²]	p [kgf/cm ²]	q [kgf/cm ²]	ϕ_{Mov} [°]
0	18,85	36,33	0	0,356	0	10,27	0	0
1	19,04	140,56	-1,1	0,342	5,47	13,04	2,74	12,12
2	19,23	224,85	-1,92	0,33	9,8	15,09	4,9	18,94
3	19,43	301,2	-2,47	0,323	13,62	17,02	6,81	23,59
4	19,63	368	-3,3	0,312	16,89	18,66	8,45	26,92
5	19,84	440,44	-3,85	0,304	20,36	20,49	10,18	29,79
6	20,05	504,68	-4,4	0,297	23,35	21,92	11,68	32,18
7	20,27	564,21	-4,81	0,291	26,04	23,41	13,02	33,8
8	20,49	617,63	-5,08	0,288	28,37	24,5	14,19	35,39
9	20,71	666,23	-5,5	0,282	30,42	25,54	15,21	36,56
10	20,94	704,6	-5,63	0,28	31,92	26,24	15,96	37,46
11	21,18	741,22	-5,77	0,278	33,28	26,91	16,64	38,18
12	21,42	772,09	-6,04	0,274	34,34	27,5	17,17	38,64
13	21,66	795,24	-6,04	0,274	35,03	27,89	17,51	38,9
14	21,92	804,85	-6,04	0,274	35,06	27,78	17,53	39,13
15	22,17	820,53	-6,04	0,274	35,36	28,03	17,68	39,1
16	22,44	821,69	-6,04	0,274	35,01	27,73	17,5	39,13
17	22,71	825,34	-6,04	0,274	34,76	27,75	17,38	38,77
18	22,98	818,82	-6,04	0,274	34,05	27,4	17,03	38,42
19	23,27	814,88	-6,04	0,274	33,45	27,25	16,72	37,86
20	23,56	788,19	-6,04	0,274	31,91	26,2	15,95	37,51
21	23,86	774,2	-5,91	0,276	30,93	25,85	15,47	36,75
22	24,16	749,94	-5,91	0,276	29,52	24,94	14,76	36,3
23	24,48	723,25	-5,91	0,276	28,06	24,33	14,03	35,21
24	24,8	699,45	-5,91	0,276	26,74	23,79	13,37	34,18
25	25,13	677,32	-5,91	0,276	25,51	23,31	12,76	33,18



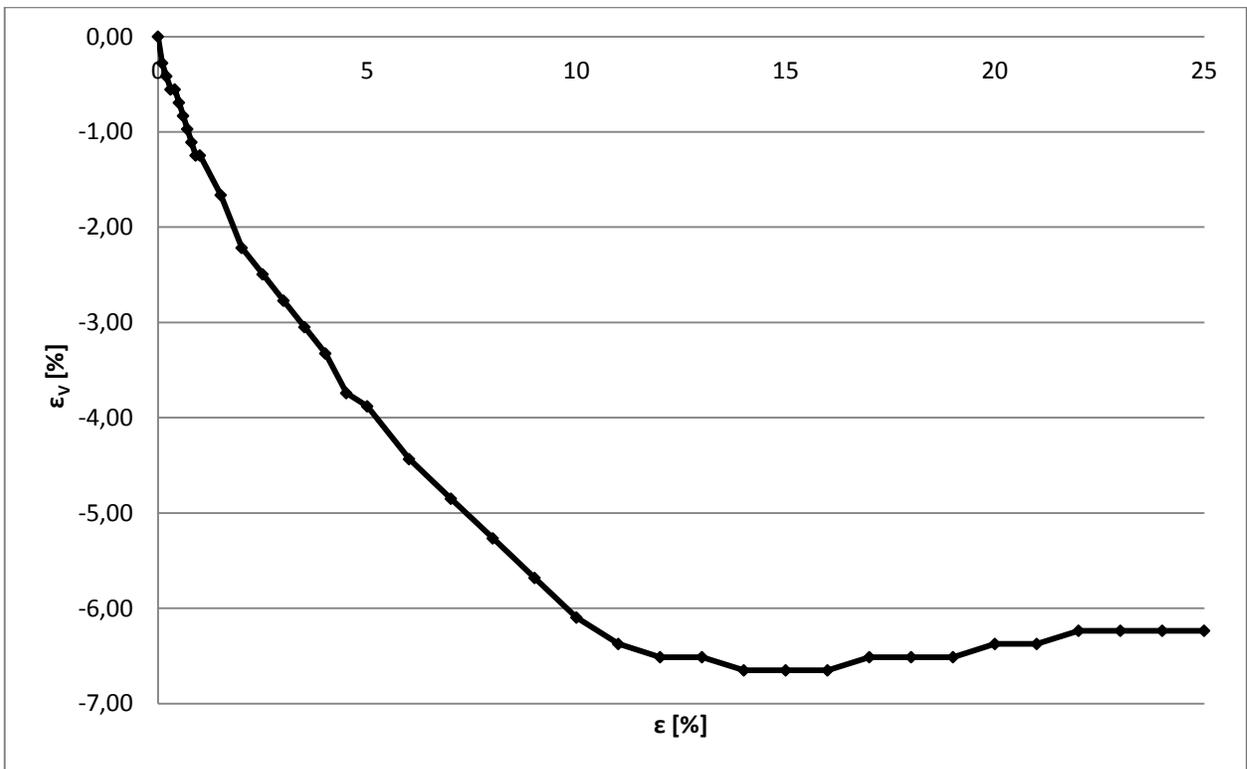
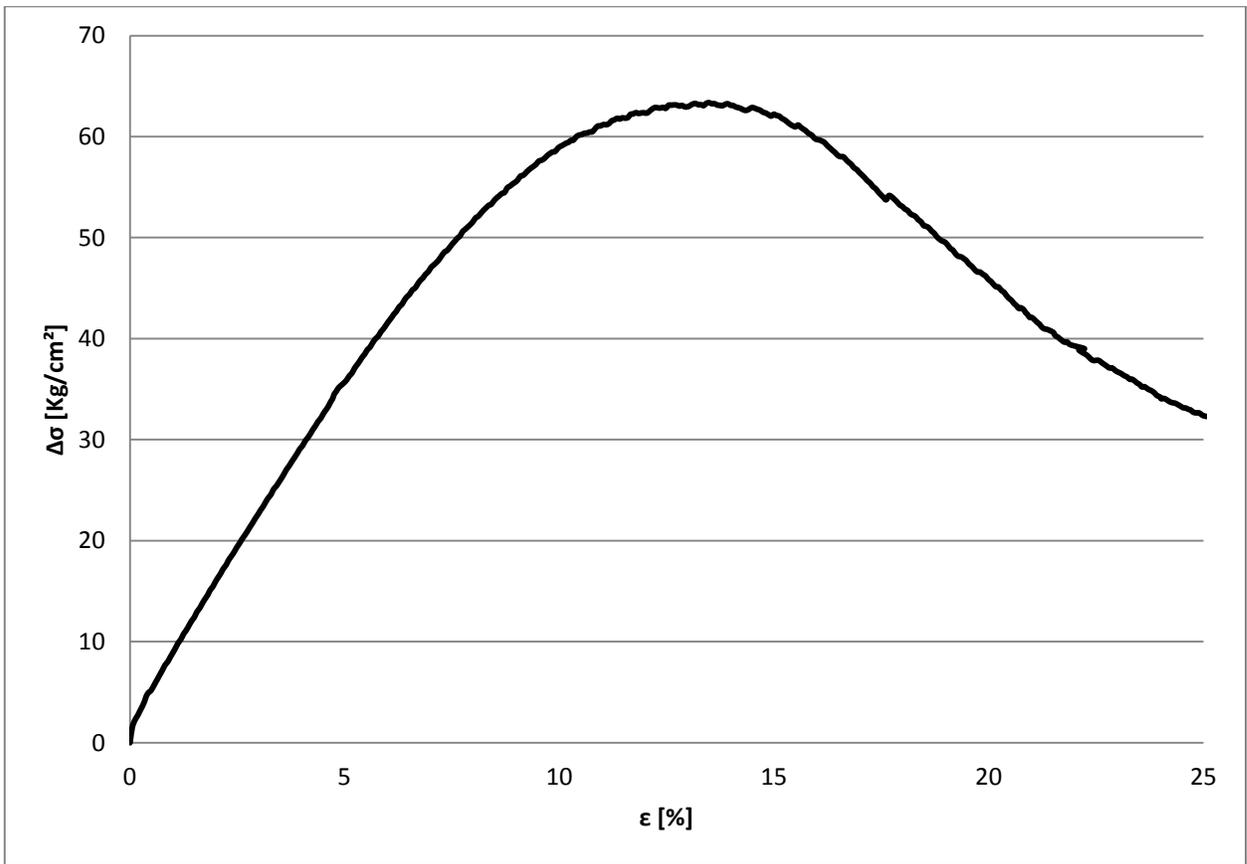
Altura inicial probeta [cm]	10,13
Diámetro inicial probeta [cm]	5,01
Tamaño máximo de partículas [mm]	4,75
Humedad confección probeta [%]	0,09
Back pressure [kgf/cm ²]	2
Densidad seca de confección [gr/cm ³]	1,85
Densidad relativa de confección [%]	42,55
ΔV por consolidación [cm ³]	17,5
Densidad seca post consolidación [gr/cm ³]	2,029
Densidad relativa post consolidación [%]	70,23
Presión de confinamiento efectivo [kgf/cm ²]	20

ϵ [%]	$A_{\text{corregida}}$ [cm ²]	Carga [kgf]	ϵ_v [%]	e	$\Delta\sigma$ [kgf/cm ²]	p [kgf/cm ²]	q [kgf/cm ²]	ϕ_{Mov} [°]
0	18,56	36,58	0	0,337	0	20,59	0	0
1	18,75	185,26	-0,83	0,326	7,932	24,62	3,97	9,27
2	18,94	317,91	-1,66	0,315	14,852	27,89	7,43	15,44
3	19,13	438,46	-2,36	0,305	21,005	31,03	10,5	19,78
4	19,33	565,54	-3,19	0,294	27,364	34,33	13,68	23,49
5	19,54	688,81	-3,88	0,285	33,378	37,26	16,69	26,61
6	19,74	797,66	-4,44	0,278	38,552	39,83	19,28	28,94
7	19,96	910,83	-4,85	0,272	43,797	42,59	21,9	30,94
8	20,17	1000,93	-4,99	0,27	47,806	44,44	23,9	32,54
9	20,39	1086,77	-5,41	0,265	51,51	46,41	25,75	33,71
10	20,62	1159,23	-5,54	0,263	54,434	47,85	27,22	34,67
11	20,85	1207,94	-5,54	0,263	56,17	48,81	28,08	35,12
12	21,09	1209,25	-5,68	0,261	55,604	48,51	27,8	34,97
13	21,33	1191,11	-5,82	0,259	54,124	47,8	27,06	34,49
14	21,58	1145,55	-5,82	0,259	51,389	46,33	25,69	33,69
15	21,83	1088,12	-5,68	0,261	48,163	44,83	24,08	32,49
16	22,09	1008,84	-5,54	0,263	44,005	42,68	22	31,03
17	22,36	935,58	-5,54	0,263	40,203	40,73	20,1	29,57
18	22,63	891,97	-5,54	0,263	37,793	39,6	18,9	28,5
19	22,91	858,9	-5,54	0,263	35,89	38,67	17,94	27,65
20	23,2	839,38	-5,54	0,263	34,608	38,03	17,3	27,06



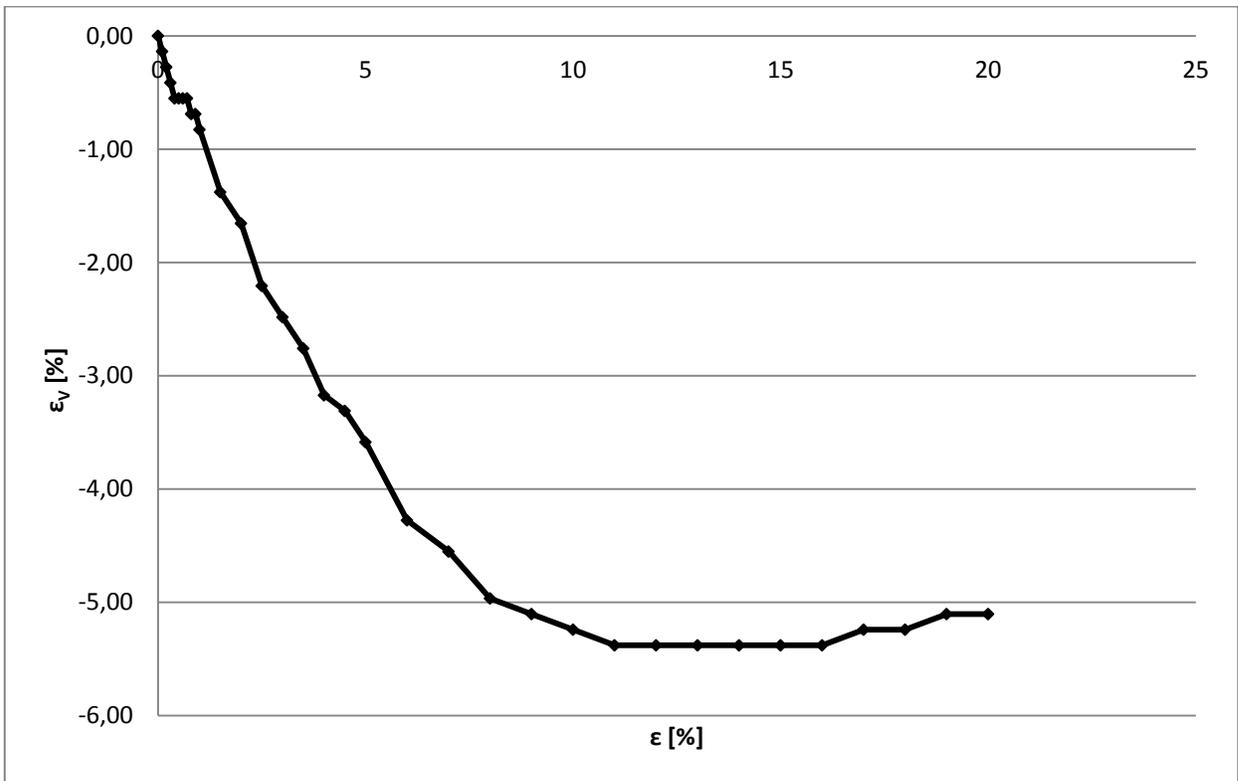
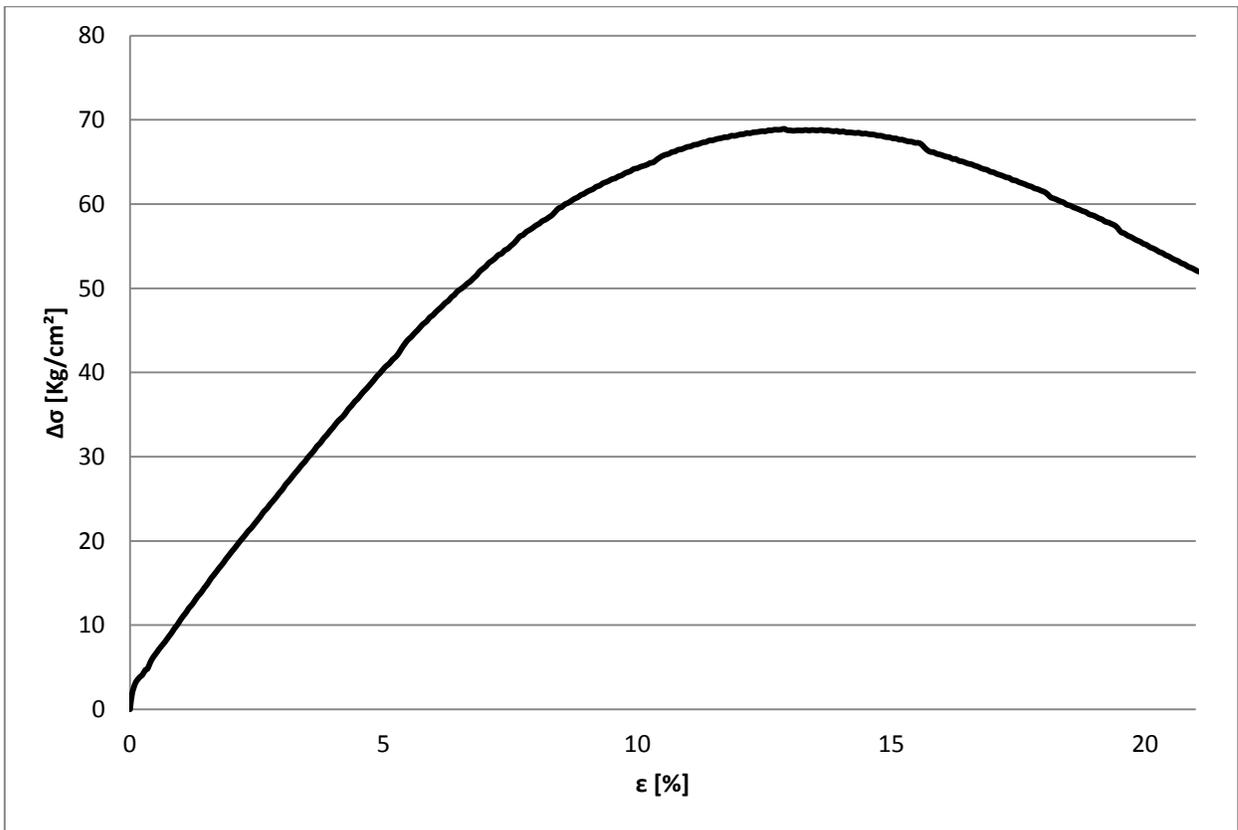
Altura inicial probeta [cm]	10,13
Diámetro inicial probeta [cm]	5,01
Tamaño máximo de partículas [mm]	4,75
Humedad confección probeta [%]	0,09
Back pressure [kgf/cm ²]	2
Densidad seca de confección [gr/cm ³]	1,879
Densidad relativa de confección [%]	47,41
ΔV por consolidación [cm ³]	17,5
Densidad seca post consolidación [gr/cm ³]	2,061
Densidad relativa post consolidación [%]	74,66
Presión de confinamiento efectivo [kgf/cm ²]	20

ϵ [%]	$A_{\text{corregida}}$ [cm ²]	Carga [kgf]	ϵ_v [%]	e	$\Delta\sigma$ [kgf/cm ²]	p [kgf/cm ²]	q [kgf/cm ²]	ϕ_{MOV} [°]
0	18,53	41,72	0	0,316	0	20,58	0	0
1	18,71	208,77	-1,11	0,301	8,93	25,07	4,46	10,25
2	18,91	343,16	-2,22	0,287	15,95	28,49	7,97	16,25
3	19,1	473,07	-2,77	0,28	22,59	31,85	11,29	20,77
4	19,3	609,34	-3,33	0,272	29,41	35,31	14,7	24,61
5	19,5	734,84	-3,88	0,265	35,55	38,47	17,78	27,52
6	19,71	863,98	-4,43	0,258	41,71	41,55	20,85	30,13
7	19,92	978,79	-4,85	0,252	47,03	44,15	23,52	32,19
8	20,14	1080,29	-5,27	0,247	51,58	46,49	25,79	33,69
9	20,36	1171,06	-5,68	0,243	55,49	48,27	27,74	35,08
10	20,59	1256,87	-6,1	0,236	59,02	50,18	29,51	36,02
11	20,82	1315,87	-6,37	0,236	61,19	51,16	30,59	36,72
12	21,05	1354,17	-6,51	0,23	62,36	51,64	31,18	37,14
13	21,3	1382,1	-6,51	0,23	62,95	51,92	31,47	37,32
14	21,54	1400,8	-6,65	0,228	63,1	52,16	31,55	37,22
15	21,8	1397,72	-6,65	0,228	62,21	51,78	31,11	36,92
16	22,06	1358,47	-6,65	0,228	59,7	50,36	29,85	36,36
17	22,32	1301,33	-6,51	0,23	56,44	48,68	28,22	35,42
18	22,59	1240,97	-6,51	0,23	53,09	47,16	26,54	34,25
19	22,87	1174,89	-6,51	0,23	49,55	45,43	24,78	33,05
20	23,16	1104,26	-6,37	0,232	45,89	43,56	22,94	31,78
21	23,45	1029,01	-6,37	0,232	42,09	41,72	21,05	30,3
22	23,75	975,89	-6,24	0,234	39,37	40,33	19,68	29,22
23	24,06	925,08	-6,24	0,234	36,71	38,97	18,36	28,1
24	24,38	876,35	-6,24	0,234	34,24	37,61	17,12	27,08
25	24,7	842,73	-6,24	0,234	32,44	36,81	16,22	26,14



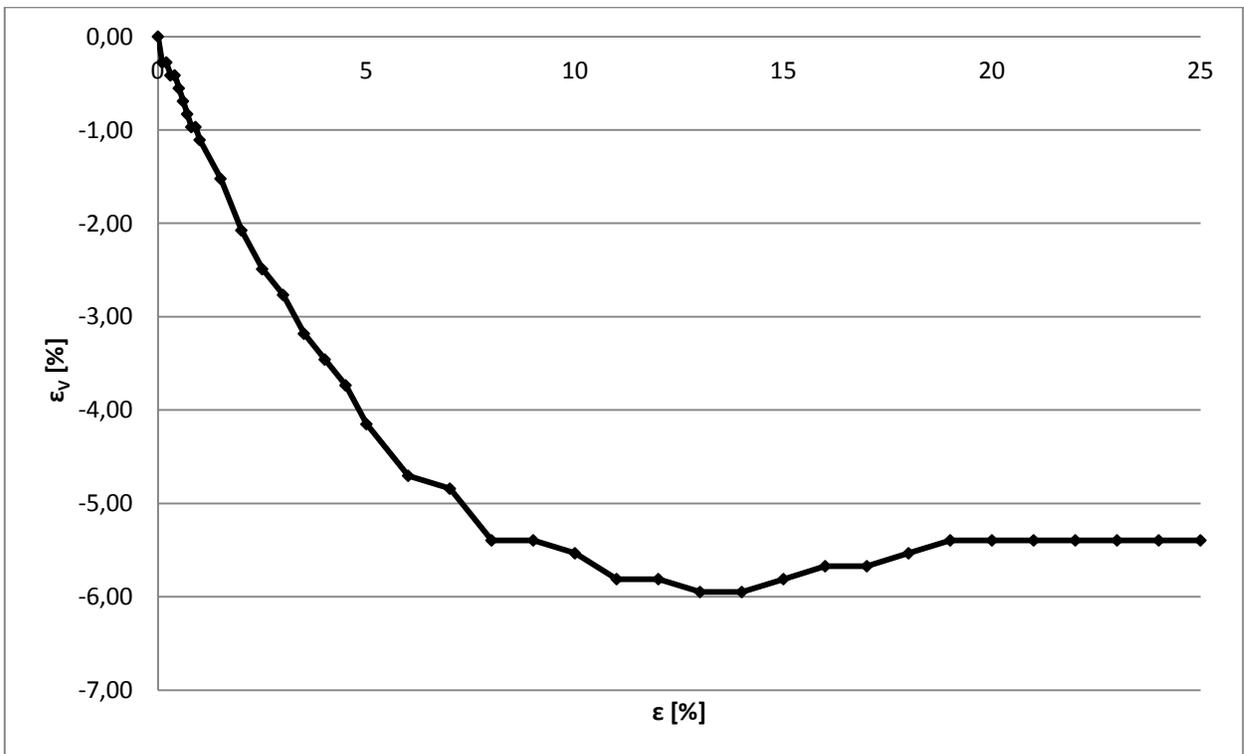
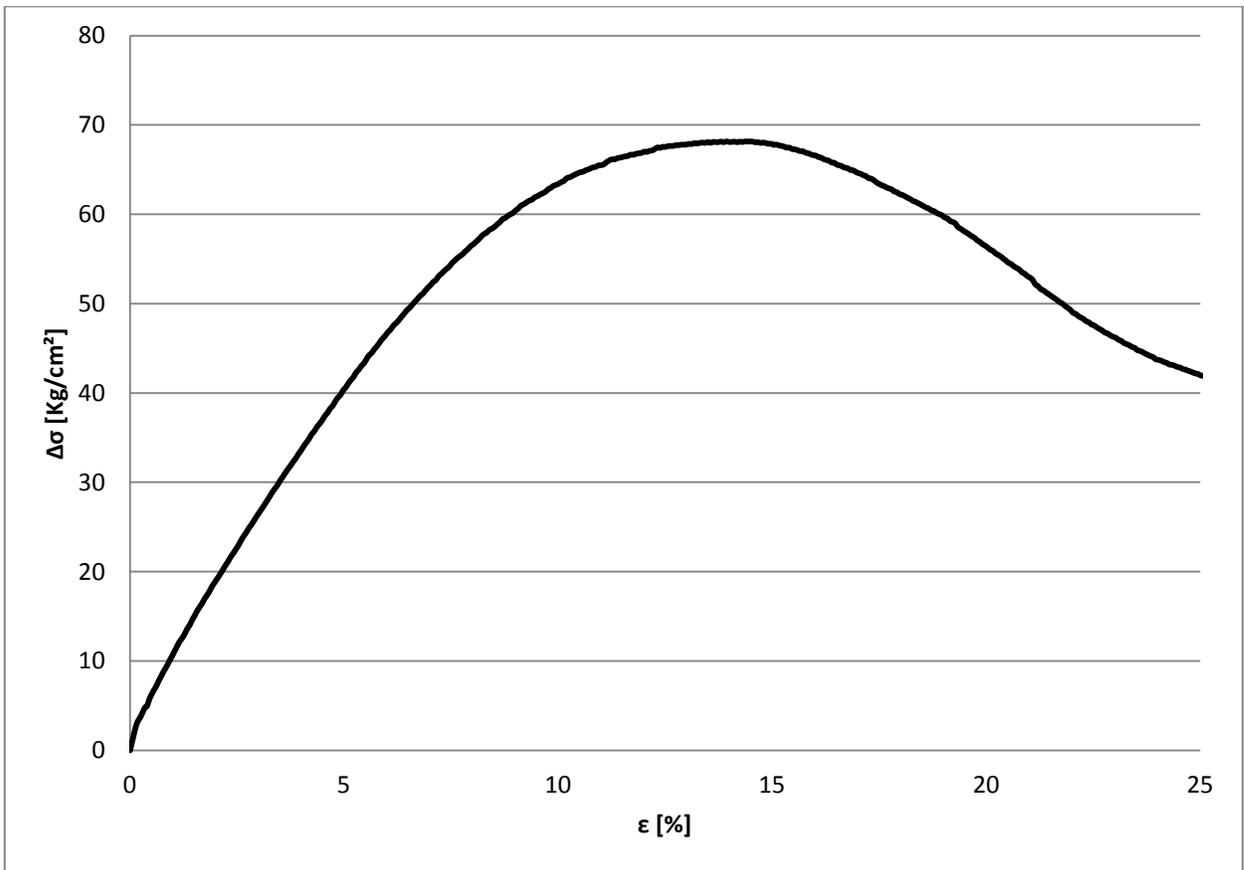
Altura inicial probeta [cm]	10,13
Diámetro inicial probeta [cm]	5,01
Tamaño máximo de partículas [mm]	4,75
Humedad confección probeta [%]	0,09
Back pressure [kgf/cm ²]	2
Densidad seca de confección [gr/cm ³]	1,907
Densidad relativa de confección [%]	51,89
ΔV por consolidación [cm ³]	17
Densidad seca post consolidación [gr/cm ³]	2,086
Densidad relativa post consolidación [%]	77,93
Presión de confinamiento efectivo [kgf/cm ²]	20

ϵ [%]	$A_{\text{corregida}}$ [cm ²]	Carga [kgf]	ϵ_v [%]	e	$\Delta\sigma$ [kgf/cm ²]	p [kgf/cm ²]	q [kgf/cm ²]	ϕ_{Mov} [°]
0	18,59	36,52	0	0,301	0	20,32	0	0
1	18,78	234,89	-0,83	0,29	10,57	25,6	5,28	11,91
2	18,97	392,56	-1,66	0,279	18,77	29,68	9,38	18,43
3	19,17	538,04	-2,48	0,268	26,17	33,39	13,08	23,07
4	19,37	684,91	-3,17	0,259	33,48	37,07	16,74	26,84
5	19,57	825,82	-3,59	0,254	40,34	40,64	20,17	29,76
6	19,78	970	-4,28	0,245	47,19	44,07	23,59	32,37
7	19,99	1088,31	-4,55	0,242	52,61	46,7	26,3	34,28
8	20,21	1197,95	-4,97	0,236	57,47	49,13	28,74	35,8
9	20,43	1292	-5,1	0,234	61,45	51,09	30,73	36,97
10	20,66	1363,16	-5,24	0,233	64,23	52,48	32,12	37,73
11	20,89	1431,3	-5,38	0,231	66,78	53,78	33,39	38,38
12	21,13	1476,5	-5,38	0,231	68,18	54,51	34,09	38,71
13	21,37	1505,74	-5,38	0,231	68,75	54,78	34,37	38,87
14	21,62	1518,24	-5,38	0,231	68,56	54,7	34,28	38,81
15	21,87	1521,36	-5,38	0,231	67,91	54,37	33,96	38,65
16	22,13	1492,06	-5,38	0,231	65,75	53,26	32,88	38,12
17	22,4	1464,95	-5,24	0,233	63,76	52,25	31,88	37,6
18	22,67	1429,35	-5,24	0,233	61,42	51,15	30,71	36,9
19	22,95	1380,16	-5,1	0,234	58,53	49,68	29,26	36,08
20	23,24	1318,79	-5,1	0,234	55,16	48,03	27,58	35,04



Altura inicial probeta [cm]	10,13
Diámetro inicial probeta [cm]	5,01
Tamaño máximo de partículas [mm]	4,75
Humedad confección probeta [%]	0,09
Back pressure [kgf/cm ²]	2
Densidad seca de confección [gr/cm ³]	1,909
Densidad relativa de confección [%]	52,29
ΔV por consolidación [cm ³]	17,25
Densidad seca post consolidación [gr/cm ³]	2,092
Densidad relativa post consolidación [%]	78,72
Presión de confinamiento efectivo [kgf/cm ²]	20

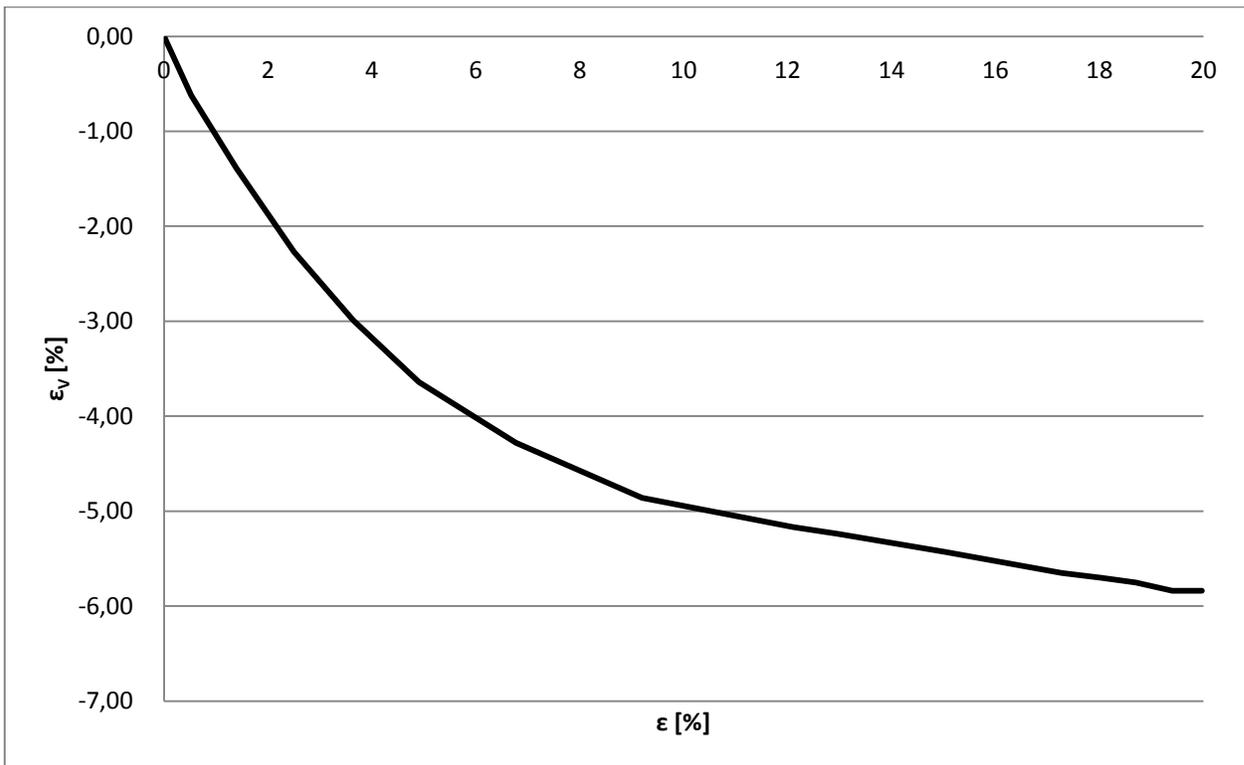
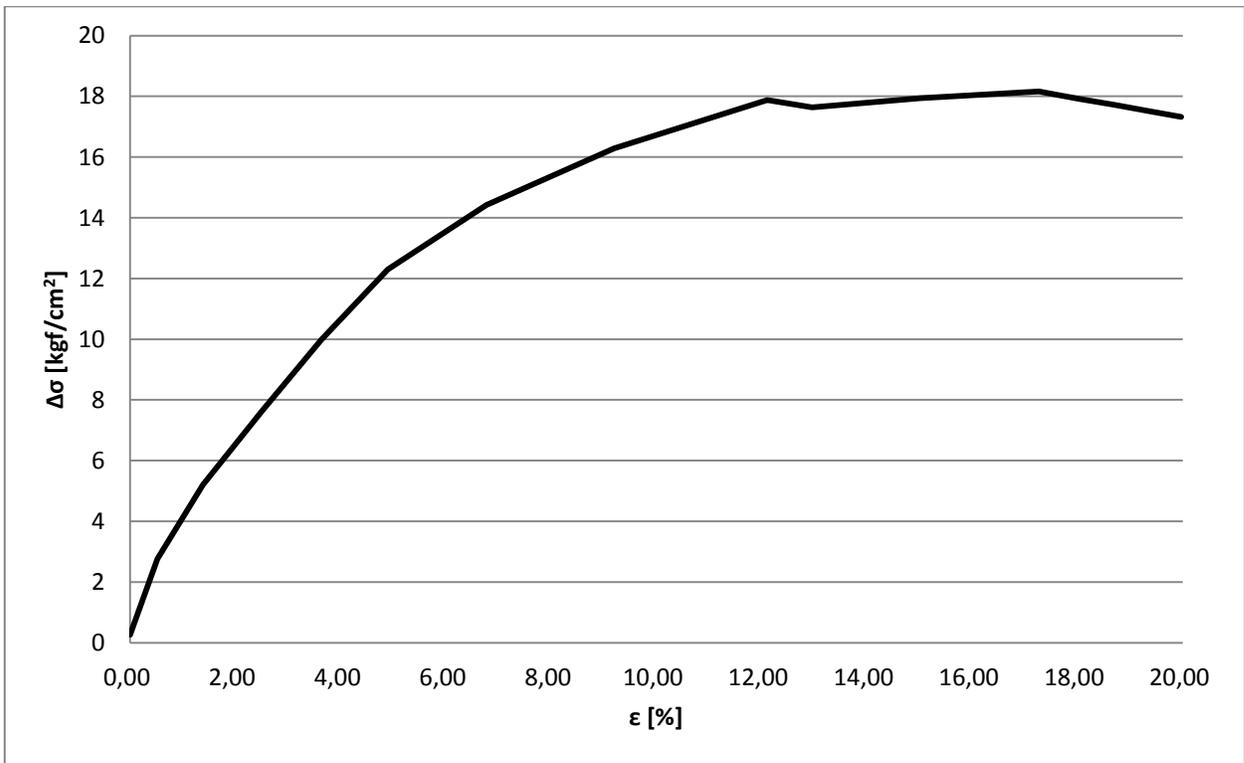
ϵ [%]	$A_{\text{corregida}}$ [cm ²]	Carga [kgf]	ϵ_v [%]	e	$\Delta\sigma$ [kgf/cm ²]	p [kgf/cm ²]	q [kgf/cm ²]	ϕ_{MOV} [°]
0	18,57	34,31	0	0,297	0	20,27	0	0
1	18,76	234,06	-1,11	0,283	10,65	25,63	5,32	11,99
2	18,95	390,91	-2,08	0,27	18,82	29,66	9,41	18,49
3	19,15	544,41	-2,77	0,261	26,63	33,62	13,32	23,33
4	19,35	684,49	-3,46	0,252	33,6	37,15	16,8	26,88
5	19,55	821,64	-4,15	0,243	40,28	40,5	20,14	29,82
6	19,76	958,42	-4,7	0,236	46,76	43,67	23,38	32,37
7	19,97	1074,81	-4,84	0,234	52,08	46,4	26,04	34,14
8	20,19	1178,14	-5,4	0,227	56,64	48,67	28,32	35,58
9	20,41	1268,26	-5,4	0,227	60,44	50,57	30,22	36,7
10	20,64	1343,74	-5,53	0,225	63,43	52,07	31,71	37,52
11	20,87	1401,12	-5,81	0,222	65,48	53,05	32,74	38,11
12	21,11	1448,64	-5,81	0,222	67	53,83	33,5	38,48
13	21,35	1481,8	-5,95	0,22	67,8	54,26	33,9	38,66
14	21,6	1504,68	-5,95	0,22	68,08	54,4	34,04	38,74
15	21,85	1517,41	-5,81	0,222	67,88	54,35	33,94	38,64
16	22,11	1506,48	-5,67	0,223	66,56	53,69	33,28	38,3
17	22,38	1480,16	-5,67	0,223	64,6	52,76	32,3	37,75
18	22,65	1443,96	-5,53	0,225	62,25	51,55	31,12	37,14
19	22,93	1406,54	-5,4	0,227	59,86	50,44	29,93	36,4
20	23,22	1345,11	-5,4	0,227	56,47	48,64	28,23	35,48
21	23,51	1278,66	-5,4	0,227	52,91	46,95	26,45	34,29
22	23,81	1207,75	-5,4	0,227	49,29	44,97	24,65	33,24
23	24,12	1150,32	-5,4	0,227	46,28	43,5	23,14	32,14
24	24,44	1102,68	-5,4	0,227	43,7	42,27	21,85	31,13
25	24,77	1073,66	-5,4	0,227	41,96	41,44	20,98	30,41



8.2.3 RESUMEN ENSAYOS EN EQUIPO TRIAXIAL DE GRAN ESCALA, IDIEM

Altura Inicial de Confección [cm]	180,00
Diámetro Inicial de Confección [cm]	100,00
ΔV por consolidación [cm ³]	34670,00
Densidad seca de confección [gr/cm ³]	2,10
Humedad confección probeta [%]	0,09
Back pressure [kgf/cm ²]	2,00
Presión de confinamiento efectivo [kgf/cm ²]	5,00

ϵ [%]	ϵ_v [%]	p [kgf/cm ²]	q [kgf/cm ²]	ϕ_{MOV} [°]	$\Delta\sigma$ [kgf/cm ²]
0,00	0,00	5,13	0,13	1,45	0,26
0,52	-0,62	6,38	1,38	12,49	2,76
1,39	-1,39	7,60	2,60	20,01	5,2
2,50	-2,27	8,81	3,81	25,62	7,62
3,64	-2,99	9,99	4,99	29,97	9,98
4,90	-3,64	11,15	6,15	33,47	12,3
6,77	-4,28	12,21	7,21	36,19	14,42
9,20	-4,86	13,14	8,14	38,28	16,28
12,11	-5,17	13,94	8,94	39,89	17,88
12,96	-5,24	13,82	8,82	39,66	17,64
15,03	-5,43	13,97	8,97	39,95	17,94
17,27	-5,65	14,08	9,08	40,16	18,16
18,02	-5,70	13,96	8,96	39,93	17,92
18,70	-5,75	13,86	8,86	39,74	17,72
19,40	-5,84	13,75	8,75	39,52	17,5
19,97	-5,84	13,66	8,66	39,34	17,32



Altura Inicial de Confección [cm]	180,00
Diámetro Inicial de Confección [cm]	100,00
ΔV por consolidación [cm ³]	41604,00
Densidad seca de confección [gr/cm ³]	2,10
Humedad confección probeta [%]	0,09
Back pressure [kgf/cm ²]	2,00
Presión de confinamiento efectivo [kgf/cm ²]	5,00

ϵ [%]	ϵ_v [%]	p [kgf/cm ²]	q [kgf/cm ²]	ϕ_{Mov} [°]	$\Delta\sigma$ [kgf/cm ²]
0,00	0,00	5,13	0,13	1,5	0,27
0,05	0,00	5,38	0,38	4,1	0,77
0,09	-0,02	5,63	0,63	6,5	1,27
0,23	-0,12	5,87	0,87	8,5	1,73
0,45	-0,34	6,10	1,10	10,4	2,21
0,62	-0,48	6,34	1,34	12,2	2,68
0,78	-0,63	6,58	1,58	13,9	3,16
0,94	-0,79	6,81	1,81	15,4	3,63
1,11	-0,96	7,04	2,04	16,8	4,07
1,29	-1,11	7,27	2,27	18,2	4,54
1,46	-1,25	7,50	2,50	19,5	5,00
1,64	-1,40	7,73	2,73	20,7	5,45
1,83	-1,56	7,95	2,95	21,8	5,91
1,84	-1,59	7,71	2,71	20,6	5,41
1,84	-1,59	7,46	2,46	19,3	4,92
1,84	-1,59	7,22	2,22	17,9	4,43
1,83	-1,59	6,97	1,97	16,4	3,94
1,83	-1,59	6,74	1,74	15,0	3,48
1,82	-1,56	6,50	1,50	13,3	2,99
1,81	-1,59	6,25	1,25	11,5	2,50
1,80	-1,59	6,01	1,01	9,6	2,01
1,78	-1,59	5,76	0,76	7,6	1,53
1,75	-1,59	5,53	0,53	5,5	1,06
1,73	-1,59	5,29	0,29	3,1	0,58
1,68	-1,59	5,04	0,04	0,5	0,09
1,72	-1,61	5,29	0,29	3,1	0,58
1,75	-1,59	5,53	0,53	5,5	1,06
1,77	-1,59	5,76	0,76	7,6	1,53
1,79	-1,59	6,01	1,01	9,7	2,01
1,80	-1,61	6,25	1,25	11,5	2,50
1,81	-1,61	6,50	1,50	13,3	2,99
1,83	-1,61	6,74	1,74	15,0	3,48
1,84	-1,64	6,97	1,97	16,4	3,94
1,85	-1,61	7,22	2,22	17,9	4,43
1,87	-1,64	7,46	2,46	19,2	4,92
1,88	-1,64	7,70	2,70	20,5	5,40
1,92	-1,68	7,94	2,94	21,7	5,88
1,99	-1,73	8,17	3,17	22,8	6,33
2,17	-1,88	8,39	3,39	23,8	6,78
2,38	-2,07	8,61	3,61	24,8	7,22
2,54	-2,17	8,83	3,83	25,7	7,67
2,66	-2,31	9,05	4,05	26,6	8,09
2,86	-2,45	9,26	4,26	27,4	8,52
2,89	-2,48	9,02	4,02	26,5	8,04
2,89	-2,50	8,79	3,79	25,5	7,58

2,89	-2,50	8,55	3,55	24,5	7,10
2,89	-2,48	8,31	3,31	23,5	6,62
2,89	-2,50	8,07	3,07	22,4	6,14
2,89	-2,53	8,31	3,31	23,5	6,62
2,89	-2,53	8,55	3,55	24,5	7,10
2,90	-2,55	8,79	3,79	25,5	7,57
2,92	-2,57	9,01	4,01	26,4	8,02
2,93	-2,60	9,25	4,25	27,3	8,50
2,94	-2,60	9,01	4,01	26,4	8,02
2,94	-2,60	8,78	3,78	25,5	7,56
2,94	-2,60	8,54	3,54	24,5	7,08
2,94	-2,62	8,30	3,30	23,4	6,60
2,94	-2,60	8,06	3,06	22,3	6,12
2,94	-2,62	7,83	2,83	21,2	5,67
2,93	-2,62	7,59	2,59	20,0	5,19
2,93	-2,65	7,35	2,35	18,7	4,71
2,92	-2,65	7,12	2,12	17,3	4,23
2,92	-2,65	7,35	2,35	18,7	4,71
2,92	-2,67	7,59	2,59	20,0	5,19
2,92	-2,67	7,83	2,83	21,2	5,67
2,93	-2,67	8,06	3,06	22,3	6,12
2,93	-2,69	8,30	3,30	23,4	6,60
2,94	-2,69	8,54	3,54	24,5	7,08
2,95	-2,69	8,78	3,78	25,5	7,55
2,96	-2,72	9,00	4,00	26,4	8,00
2,97	-2,72	9,24	4,24	27,3	8,48
2,97	-2,72	9,00	4,00	26,4	8,00
2,97	-2,74	8,77	3,77	25,5	7,55
2,97	-2,74	8,53	3,53	24,5	7,07
2,97	-2,74	8,29	3,29	23,4	6,59
2,97	-2,74	8,05	3,05	22,3	6,11
2,97	-2,77	7,83	2,83	21,2	5,65
2,96	-2,74	7,59	2,59	19,9	5,18
2,96	-2,77	7,35	2,35	18,6	4,70
2,95	-2,77	7,11	2,11	17,3	4,22
2,94	-2,77	6,87	1,87	15,8	3,74
2,93	-2,77	6,65	1,65	14,3	3,29
2,91	-2,77	6,41	1,41	12,7	2,81
2,91	-2,77	6,17	1,17	10,9	2,34
2,91	-2,79	6,41	1,41	12,7	2,81
2,92	-2,79	6,65	1,65	14,3	3,29
2,93	-2,81	6,87	1,87	15,8	3,74
2,93	-2,81	7,11	2,11	17,3	4,22
2,94	-2,81	7,35	2,35	18,6	4,70
2,95	-2,84	7,59	2,59	19,9	5,18
2,96	-2,84	7,83	2,83	21,2	5,65
2,96	-2,86	8,05	3,05	22,3	6,10
2,97	-2,84	8,29	3,29	23,4	6,58
2,97	-2,86	8,53	3,53	24,4	7,06
2,98	-2,89	8,77	3,77	25,4	7,53
2,99	-2,89	8,99	3,99	26,4	7,99
3,01	-2,91	9,23	4,23	27,3	8,46
3,01	-2,91	8,99	3,99	26,3	7,98
3,01	-2,91	8,76	3,76	25,4	7,53
3,02	-2,91	8,52	3,52	24,4	7,05
3,01	-2,93	8,28	3,28	23,4	6,57

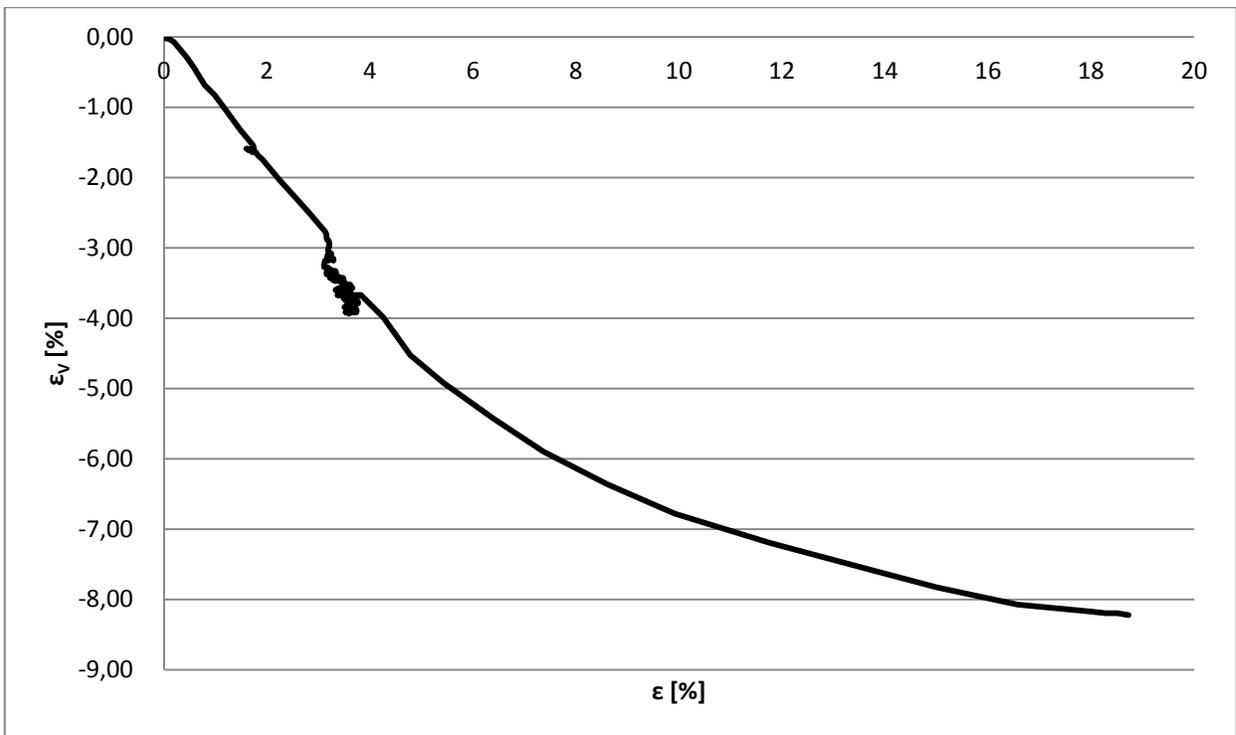
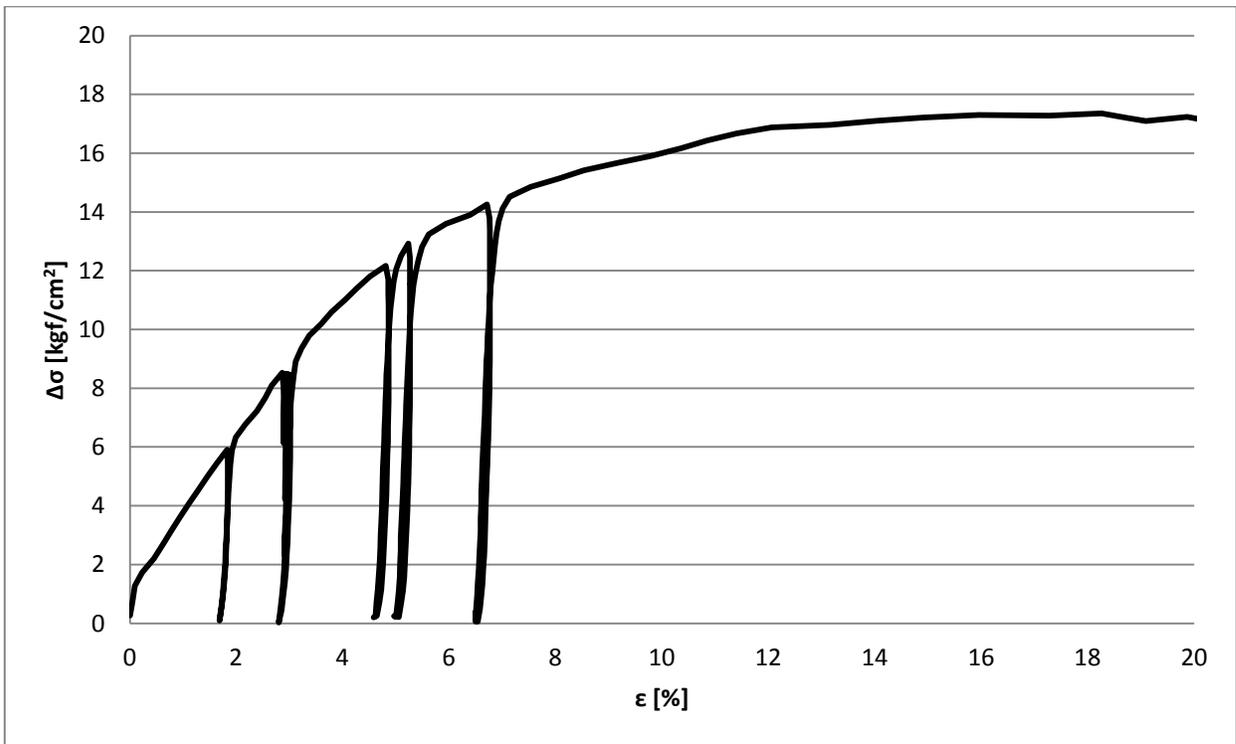
3,01	-2,93	8,05	3,05	22,2	6,09
3,01	-2,93	7,82	2,82	21,1	5,64
3,01	-2,93	7,58	2,58	19,9	5,16
3,00	-2,93	7,34	2,34	18,6	4,68
2,99	-2,93	7,10	2,10	17,2	4,21
2,98	-2,96	6,87	1,87	15,8	3,73
2,97	-2,96	6,64	1,64	14,3	3,28
2,96	-2,96	6,40	1,40	12,6	2,80
2,95	-2,96	6,16	1,16	10,9	2,33
2,93	-2,96	5,92	0,92	9,0	1,85
2,91	-2,96	5,69	0,69	6,9	1,37
2,88	-2,96	5,46	0,46	4,9	0,92
2,85	-2,96	5,22	0,22	2,5	0,45
2,79	-2,98	5,01	0,01	0,1	0,02
2,83	-2,96	5,23	0,23	2,5	0,45
2,86	-2,98	5,46	0,46	4,9	0,93
2,88	-2,98	5,69	0,69	7,0	1,38
2,90	-2,98	5,93	0,93	9,0	1,85
2,91	-2,98	6,16	1,16	10,9	2,33
2,92	-3,01	6,40	1,40	12,7	2,81
2,93	-2,98	6,64	1,64	14,3	3,28
2,94	-3,01	6,87	1,87	15,8	3,73
2,95	-2,98	7,11	2,11	17,2	4,21
2,96	-3,01	7,34	2,34	18,6	4,69
2,97	-3,01	7,58	2,58	19,9	5,16
2,98	-3,01	7,82	2,82	21,1	5,64
2,99	-3,01	8,05	3,05	22,2	6,09
3,00	-3,01	8,28	3,28	23,4	6,57
3,01	-3,01	8,52	3,52	24,4	7,04
3,02	-3,01	8,76	3,76	25,4	7,52
3,05	-3,03	8,98	3,98	26,3	7,96
3,08	-3,06	9,22	4,22	27,2	8,43
3,12	-3,06	9,45	4,45	28,1	8,90
3,22	-3,13	9,68	4,68	28,9	9,35
3,37	-3,20	9,90	4,90	29,7	9,79
3,59	-3,34	10,09	5,09	30,3	10,18
3,79	-3,46	10,30	5,30	31,0	10,60
4,04	-3,61	10,50	5,50	31,6	11,00
4,27	-3,73	10,70	5,70	32,2	11,41
4,51	-3,85	10,90	5,90	32,8	11,81
4,81	-4,02	11,08	6,08	33,3	12,16
4,85	-4,07	10,85	5,85	32,6	11,70
4,85	-4,07	10,62	5,62	32,0	11,24
4,86	-4,07	10,39	5,39	31,2	10,78
4,86	-4,07	10,16	5,16	30,5	10,31
4,86	-4,07	9,92	4,92	29,7	9,85
4,86	-4,07	9,70	4,70	29,0	9,41
4,86	-4,07	9,47	4,47	28,2	8,95
4,86	-4,09	9,24	4,24	27,3	8,48
4,86	-4,09	9,01	4,01	26,4	8,02
4,86	-4,09	8,78	3,78	25,5	7,55
4,85	-4,11	8,56	3,56	24,6	7,11
4,85	-4,11	8,33	3,33	23,5	6,65
4,85	-4,11	8,09	3,09	22,5	6,19
4,84	-4,11	7,86	2,86	21,4	5,73
4,83	-4,11	7,64	2,64	20,2	5,29

4,82	-4,11	7,41	2,41	19,0	4,82
4,82	-4,11	7,18	2,18	17,7	4,36
4,81	-4,14	6,95	1,95	16,3	3,90
4,80	-4,14	6,72	1,72	14,8	3,44
4,78	-4,16	6,50	1,50	13,3	3,00
4,77	-4,16	6,27	1,27	11,7	2,54
4,76	-4,16	6,04	1,04	9,9	2,07
4,74	-4,19	5,81	0,81	8,0	1,61
4,72	-4,16	5,58	0,58	5,9	1,15
4,69	-4,19	5,36	0,36	3,8	0,71
4,64	-4,19	5,13	0,13	1,4	0,26
4,58	-4,21	5,10	0,10	1,1	0,20
4,61	-4,23	5,13	0,13	1,4	0,26
4,63	-4,26	5,36	0,36	3,9	0,72
4,66	-4,28	5,58	0,58	6,0	1,16
4,68	-4,28	5,81	0,81	8,0	1,62
4,70	-4,28	6,04	1,04	9,9	2,08
4,71	-4,31	6,27	1,27	11,7	2,54
4,71	-4,28	6,50	1,50	13,4	3,00
4,72	-4,31	6,72	1,72	14,8	3,44
4,74	-4,31	6,95	1,95	16,3	3,90
4,74	-4,33	7,18	2,18	17,7	4,36
4,75	-4,33	7,41	2,41	19,0	4,83
4,75	-4,33	7,64	2,64	20,2	5,29
4,77	-4,33	7,86	2,86	21,4	5,73
4,78	-4,35	8,09	3,09	22,5	6,19
4,78	-4,35	8,32	3,32	23,5	6,65
4,80	-4,38	8,55	3,55	24,5	7,11
4,80	-4,38	8,77	3,77	25,5	7,54
4,81	-4,38	9,00	4,00	26,4	8,00
4,82	-4,40	9,23	4,23	27,3	8,46
4,84	-4,40	9,46	4,46	28,1	8,92
4,85	-4,40	9,69	4,69	28,9	9,38
4,86	-4,43	9,91	4,91	29,7	9,82
4,88	-4,43	10,14	5,14	30,4	10,27
4,89	-4,45	10,36	5,36	31,2	10,73
4,92	-4,47	10,59	5,59	31,9	11,18
4,96	-4,47	10,82	5,82	32,5	11,63
5,01	-4,50	11,03	6,03	33,1	12,06
5,09	-4,52	11,25	6,25	33,7	12,50
5,23	-4,57	11,46	6,46	34,3	12,92
5,26	-4,59	11,22	6,22	33,7	12,45
5,26	-4,62	10,99	5,99	33,0	11,99
5,26	-4,62	10,78	5,78	32,4	11,55
5,26	-4,62	10,55	5,55	31,7	11,09
5,26	-4,62	10,32	5,32	31,0	10,63
5,26	-4,64	10,09	5,09	30,3	10,17
5,26	-4,64	9,86	4,86	29,5	9,71
5,26	-4,67	9,64	4,64	28,8	9,27
5,26	-4,67	9,41	4,41	27,9	8,82
5,26	-4,67	9,18	4,18	27,1	8,36
5,26	-4,67	8,95	3,95	26,2	7,90
5,26	-4,67	8,72	3,72	25,3	7,44
5,26	-4,67	8,50	3,50	24,3	7,00
5,25	-4,69	8,27	3,27	23,3	6,54
5,25	-4,67	8,04	3,04	22,2	6,09

5,24	-4,67	7,82	2,82	21,1	5,63
5,24	-4,67	7,60	2,60	20,0	5,20
5,23	-4,69	7,37	2,37	18,7	4,74
5,22	-4,69	7,14	2,14	17,4	4,28
5,21	-4,69	6,91	1,91	16,1	3,82
5,20	-4,72	6,68	1,68	14,6	3,36
5,19	-4,69	6,46	1,46	13,1	2,93
5,18	-4,72	6,24	1,24	11,4	2,47
5,16	-4,72	6,01	1,01	9,6	2,01
5,15	-4,72	5,78	0,78	7,7	1,56
5,13	-4,74	5,55	0,55	5,7	1,10
5,09	-4,74	5,33	0,33	3,6	0,67
5,05	-4,76	5,11	0,11	1,2	0,21
4,97	-4,76	5,12	0,12	1,3	0,24
5,00	-4,79	5,11	0,11	1,2	0,22
5,03	-4,79	5,34	0,34	3,6	0,67
5,05	-4,79	5,55	0,55	5,7	1,11
5,07	-4,79	5,78	0,78	7,8	1,56
5,08	-4,79	6,01	1,01	9,7	2,02
5,09	-4,79	6,24	1,24	11,5	2,48
5,09	-4,81	6,47	1,47	13,1	2,94
5,10	-4,81	6,69	1,69	14,6	3,37
5,11	-4,84	6,92	1,92	16,1	3,83
5,12	-4,84	7,14	2,14	17,5	4,29
5,14	-4,84	7,37	2,37	18,8	4,74
5,14	-4,81	7,60	2,60	20,0	5,20
5,15	-4,84	7,82	2,82	21,1	5,64
5,16	-4,81	8,05	3,05	22,3	6,09
5,17	-4,81	8,28	3,28	23,3	6,55
5,18	-4,81	8,50	3,50	24,3	7,01
5,19	-4,84	8,72	3,72	25,3	7,44
5,20	-4,84	8,95	3,95	26,2	7,90
5,21	-4,84	9,18	4,18	27,1	8,35
5,22	-4,84	9,40	4,40	27,9	8,81
5,24	-4,84	9,63	4,63	28,7	9,27
5,25	-4,84	9,85	4,85	29,5	9,70
5,26	-4,84	10,08	5,08	30,3	10,15
5,28	-4,84	10,30	5,30	31,0	10,61
5,31	-4,84	10,53	5,53	31,7	11,06
5,33	-4,86	10,75	5,75	32,4	11,51
5,37	-4,86	10,97	5,97	33,0	11,94
5,42	-4,86	11,19	6,19	33,6	12,38
5,49	-4,91	11,41	6,41	34,2	12,82
5,62	-4,96	11,62	6,62	34,7	13,24
5,94	-5,05	11,80	6,80	35,2	13,60
6,39	-5,20	11,95	6,95	35,6	13,90
6,71	-5,29	12,13	7,13	36,0	14,26
6,76	-5,32	11,90	6,90	35,4	13,79
6,76	-5,32	11,68	6,68	34,9	13,36
6,76	-5,34	11,46	6,46	34,3	12,91
6,76	-5,34	11,23	6,23	33,7	12,46
6,76	-5,34	11,01	6,01	33,1	12,02
6,76	-5,36	10,78	5,78	32,4	11,56
6,76	-5,36	10,57	5,57	31,8	11,14
6,76	-5,36	10,34	5,34	31,1	10,69
6,76	-5,34	10,12	5,12	30,4	10,24

6,76	-5,36	9,90	4,90	29,7	9,79
6,77	-5,36	9,67	4,67	28,9	9,34
6,76	-5,36	9,46	4,46	28,1	8,92
6,76	-5,36	9,23	4,23	27,3	8,47
6,76	-5,36	9,01	4,01	26,4	8,02
6,75	-5,36	8,79	3,79	25,5	7,57
6,74	-5,36	8,56	3,56	24,6	7,13
6,74	-5,36	8,35	3,35	23,7	6,70
6,73	-5,36	8,13	3,13	22,6	6,25
6,72	-5,39	7,90	2,90	21,5	5,80
6,72	-5,39	7,68	2,68	20,4	5,36
6,71	-5,39	7,47	2,47	19,3	4,93
6,70	-5,41	7,24	2,24	18,0	4,48
6,69	-5,41	7,02	2,02	16,7	4,04
6,68	-5,41	6,79	1,79	15,3	3,59
6,67	-5,41	6,57	1,57	13,8	3,14
6,67	-5,44	6,36	1,36	12,3	2,72
6,65	-5,44	6,13	1,13	10,7	2,27
6,64	-5,44	5,91	0,91	8,9	1,82
6,63	-5,46	5,69	0,69	6,9	1,37
6,60	-5,46	5,46	0,46	4,9	0,93
6,58	-5,49	5,25	0,25	2,7	0,50
6,54	-5,49	5,03	0,03	0,3	0,06
6,49	-5,53	5,19	0,19	2,1	0,39
6,49	-5,56	5,03	0,03	0,4	0,06
6,51	-5,56	5,26	0,26	2,8	0,51
6,53	-5,58	5,47	0,47	4,9	0,93
6,54	-5,58	5,69	0,69	7,0	1,38
6,55	-5,56	5,91	0,91	8,9	1,83
6,57	-5,61	6,14	1,14	10,7	2,28
6,58	-5,61	6,36	1,36	12,4	2,72
6,59	-5,61	6,57	1,57	13,8	3,15
6,59	-5,61	6,80	1,80	15,3	3,59
6,60	-5,61	7,02	2,02	16,7	4,04
6,60	-5,61	7,24	2,24	18,0	4,49
6,62	-5,61	7,47	2,47	19,3	4,94
6,62	-5,63	7,68	2,68	20,4	5,36
6,63	-5,63	7,90	2,90	21,6	5,81
6,64	-5,65	8,13	3,13	22,6	6,25
6,65	-5,65	8,35	3,35	23,6	6,70
6,67	-5,68	8,56	3,56	24,6	7,12
6,67	-5,68	8,78	3,78	25,5	7,57
6,68	-5,68	9,01	4,01	26,4	8,01
6,69	-5,70	9,23	4,23	27,3	8,45
6,70	-5,68	9,45	4,45	28,10	8,90
6,72	-5,70	9,66	4,66	28,85	9,32
6,72	-5,70	9,88	4,88	29,61	9,77
6,74	-5,70	10,11	5,11	30,35	10,21
6,75	-5,70	10,33	5,33	31,06	10,66
6,77	-5,73	10,55	5,55	31,74	11,10
6,78	-5,73	10,76	5,76	32,36	11,52
6,81	-5,73	10,98	5,98	33,00	11,96
6,83	-5,73	11,20	6,20	33,61	12,40
6,86	-5,73	11,42	6,42	34,21	12,84
6,89	-5,75	11,64	6,64	34,78	13,28
6,93	-5,77	11,84	6,84	35,30	13,69

7,00	-5,80	12,06	7,06	35,82	14,11
7,14	-5,82	12,26	7,26	36,31	14,52
7,53	-5,89	12,43	7,43	36,70	14,85
8,06	-6,01	12,57	7,57	37,03	15,14
8,53	-6,13	12,71	7,71	37,33	15,41
9,15	-6,23	12,83	7,83	37,61	15,66
9,79	-6,33	12,95	7,95	37,88	15,91
10,35	-6,42	13,08	8,08	38,15	16,16
10,85	-6,50	13,22	8,22	38,44	16,44
11,40	-6,57	13,33	8,33	38,68	16,67
12,06	-6,66	13,44	8,44	38,90	16,88
13,16	-6,71	13,48	8,48	38,99	16,96
14,05	-6,78	13,55	8,55	39,12	17,10
14,91	-6,83	13,61	8,61	39,24	17,22
15,95	-6,88	13,65	8,65	39,32	17,30
17,28	-6,90	13,64	8,64	39,30	17,28
18,26	-6,95	13,68	8,68	39,38	17,35
18,73	-6,95	13,60	8,60	39,23	17,21
19,09	-6,95	13,55	8,55	39,12	17,09
19,87	-6,98	13,61	8,61	39,25	17,23
20,39	-6,98	13,53	8,53	39,09	17,06



Altura Inicial de Confección [cm]	180,00
Diámetro Inicial de Confección [cm]	100,00
ΔV por consolidación [cm ³]	65378,00
Densidad seca de confección [gr/cm ³]	2,10
Humedad confección probeta [%]	0,09
Back pressure [kgf/cm ²]	2,00
Presión de confinamiento efectivo [kgf/cm ²]	10,00

ε [%]	ε_v [%]	p [kgf/cm ²]	q [kgf/cm ²]	φ_{Mov} [°]	$\Delta\sigma$ [kgf/cm ²]
0,00	0,00	10,13	0,13	0,76	0,268
0,04	-0,02	10,39	0,39	2,14	0,776
0,09	-0,02	10,88	0,88	4,66	1,769
0,19	-0,07	11,39	1,39	7,01	2,779
0,44	-0,29	11,88	1,88	9,10	3,758
0,58	-0,44	12,36	2,36	11,01	4,723
0,79	-0,69	12,85	2,85	12,80	5,691
0,99	-0,83	13,32	3,32	14,42	6,632
1,23	-1,08	13,79	3,79	15,95	7,577
1,48	-1,32	14,24	4,24	17,33	8,487
1,72	-1,54	14,71	4,71	18,67	9,414
1,74	-1,57	14,46	4,46	17,96	8,913
1,74	-1,59	13,97	3,97	16,51	7,943
1,74	-1,59	13,48	3,48	14,95	6,951
1,74	-1,59	12,99	2,99	13,32	5,984
1,73	-1,62	12,50	2,50	11,52	4,993
1,72	-1,59	12,00	2,00	9,60	4,004
1,70	-1,62	11,52	1,52	7,58	3,039
1,68	-1,59	11,02	1,02	5,33	2,050
1,65	-1,62	10,54	0,54	2,95	1,085
1,59	-1,59	10,05	0,05	0,28	0,099
1,62	-1,59	10,30	0,30	1,65	0,593
1,65	-1,62	10,78	0,78	4,14	1,557
1,67	-1,62	11,27	1,27	6,49	2,547
1,69	-1,62	11,71	1,71	8,38	3,412
1,71	-1,64	12,25	2,25	10,58	4,500
1,72	-1,64	12,74	2,74	12,44	5,489
1,74	-1,64	13,23	3,23	14,12	6,453
1,76	-1,64	13,72	3,72	15,73	7,441
1,78	-1,64	14,20	4,20	17,21	8,402
1,82	-1,69	14,69	4,69	18,62	9,381
1,91	-1,74	15,17	5,17	19,94	10,348
2,23	-2,03	15,60	5,60	21,05	11,209
2,53	-2,28	16,05	6,05	22,14	12,094
2,80	-2,50	16,48	6,48	23,15	12,955
3,12	-2,77	16,91	6,91	24,11	13,813
3,15	-2,81	16,66	6,66	23,56	13,316
3,15	-2,81	16,19	6,19	22,47	12,374
3,15	-2,81	15,70	5,70	21,30	11,408
3,15	-2,84	15,22	5,22	20,06	10,440
3,15	-2,84	14,99	4,99	19,45	9,981
3,15	-2,86	15,22	5,22	20,05	10,438
3,15	-2,86	15,70	5,70	21,29	11,403
3,16	-2,89	16,18	6,18	22,46	12,363
3,18	-2,89	16,65	6,65	23,54	13,299
3,21	-2,91	16,89	6,89	24,07	13,773
3,21	-2,94	16,64	6,64	23,52	13,286
3,21	-2,96	16,17	6,17	22,43	12,343
3,21	-2,96	15,69	5,69	21,26	11,379

3,21	-2,96	15,21	5,21	20,03	10,415
3,21	-2,99	14,74	4,74	18,75	9,473
3,20	-2,99	14,26	4,26	17,37	8,512
3,19	-3,01	13,79	3,79	15,94	7,573
3,19	-3,03	13,54	3,54	15,17	7,089
3,18	-3,03	13,30	3,30	14,38	6,608
3,18	-3,03	13,55	3,55	15,17	7,090
3,18	-3,03	14,01	4,01	16,65	8,029
3,19	-3,06	14,49	4,49	18,07	8,990
3,19	-3,06	14,98	4,98	19,41	9,952
3,21	-3,06	15,44	5,44	20,64	10,888
3,21	-3,06	15,92	5,92	21,84	11,850
3,22	-3,08	16,39	6,39	22,95	12,783
3,23	-3,08	16,63	6,63	23,50	13,263
3,24	-3,08	16,87	6,87	24,03	13,741
3,25	-3,08	16,63	6,63	23,49	13,259
3,25	-3,11	16,16	6,16	22,40	12,317
3,25	-3,11	15,68	5,68	21,23	11,355
3,25	-3,11	15,20	5,20	20,00	10,393
3,24	-3,08	14,73	4,73	18,73	9,458
3,24	-3,11	14,25	4,25	17,34	8,494
3,23	-3,11	13,78	3,78	15,92	7,558
3,22	-3,11	13,30	3,30	14,36	6,598
3,21	-3,11	12,83	2,83	12,74	5,661
3,19	-3,13	12,35	2,35	10,97	4,699
3,18	-3,13	11,87	1,87	9,06	3,739
3,17	-3,11	11,64	1,64	8,11	3,283
3,17	-3,13	11,87	1,87	9,06	3,740
3,18	-3,13	12,35	2,35	10,97	4,702
3,18	-3,13	12,83	2,83	12,75	5,664
3,19	-3,13	13,30	3,30	14,37	6,600
3,21	-3,13	13,78	3,78	15,92	7,560
3,22	-3,16	14,25	4,25	17,34	8,494
3,22	-3,16	14,73	4,73	18,72	9,455
3,23	-3,16	15,20	5,20	19,99	10,391
3,24	-3,16	15,68	5,68	21,23	11,351
3,25	-3,16	16,16	6,16	22,40	12,310
3,26	-3,16	16,62	6,62	23,48	13,245
3,28	-3,18	16,86	6,86	24,01	13,718
3,29	-3,18	16,62	6,62	23,47	13,236
3,29	-3,18	16,15	6,15	22,38	12,299
3,29	-3,16	15,19	5,19	19,98	10,380
3,27	-3,16	14,24	4,24	17,33	8,484
3,26	-3,16	13,29	3,29	14,35	6,587
3,23	-3,16	12,35	2,35	10,96	4,693
3,19	-3,18	11,40	1,40	7,05	2,797
3,15	-3,18	10,45	0,45	2,47	0,902
3,12	-3,18	10,21	0,21	1,19	0,424
3,10	-3,25	10,00	0,00	0,00	0,000
3,11	-3,28	10,21	0,21	1,19	0,424
3,13	-3,28	10,68	0,68	3,65	1,360
3,18	-3,28	11,64	1,64	8,09	3,277
3,21	-3,30	12,58	2,58	11,85	5,169
3,23	-3,30	13,53	3,53	15,13	7,063
3,25	-3,33	14,48	4,48	18,02	8,955
3,27	-3,33	15,42	5,42	20,59	10,846
3,30	-3,33	16,37	6,37	22,89	12,735
3,32	-3,33	16,60	6,60	23,44	13,209
3,34	-3,35	16,84	6,84	23,97	13,681
3,34	-3,35	16,60	6,60	23,43	13,202
3,34	-3,35	16,13	6,13	22,34	12,267

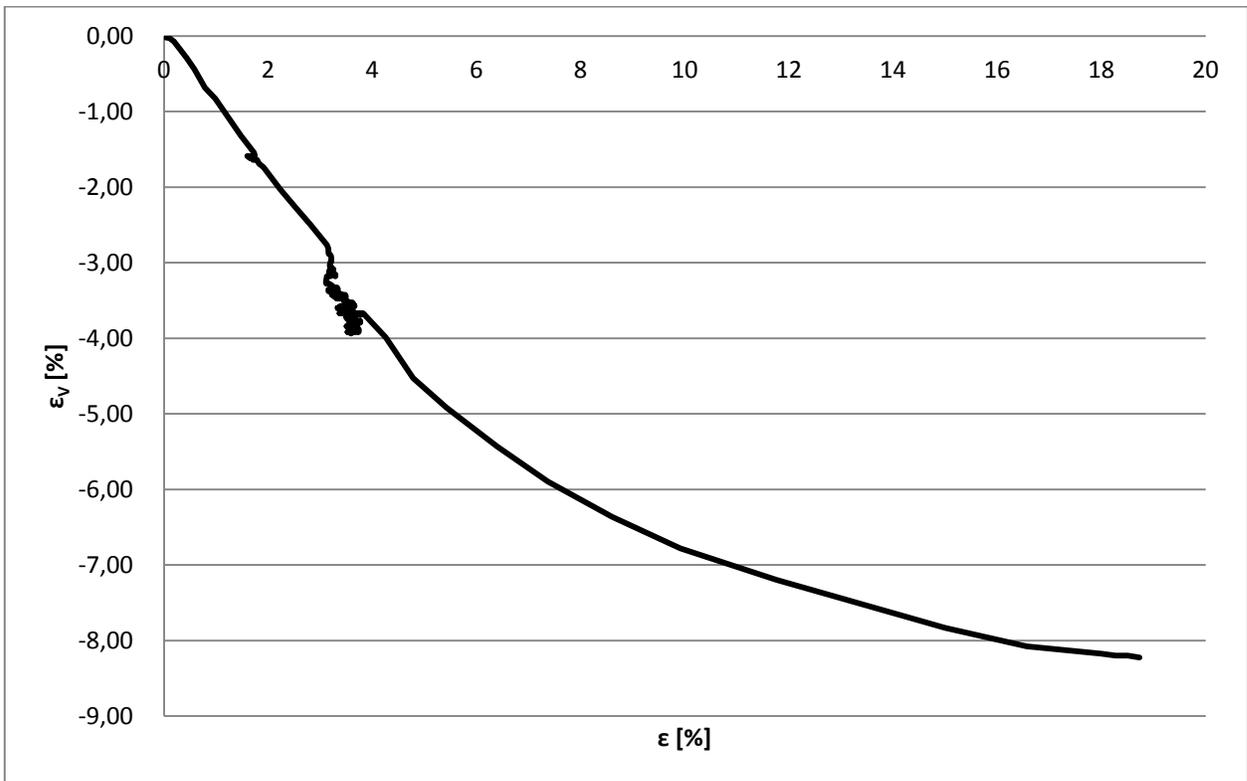
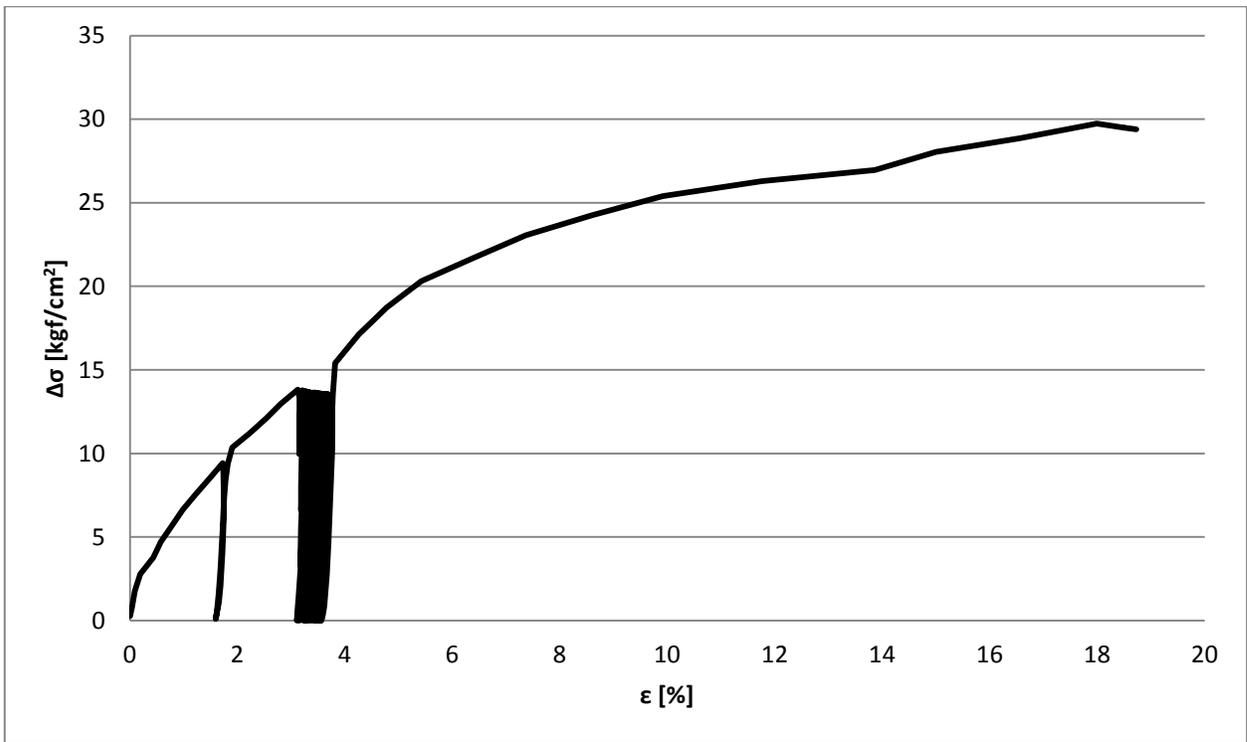
3,34	-3,35	15,17	5,17	19,94	10,349
3,33	-3,35	14,23	4,23	17,29	8,457
3,31	-3,35	13,28	3,28	14,31	6,567
3,29	-3,35	12,34	2,34	10,92	4,675
3,25	-3,35	11,39	1,39	7,02	2,785
3,21	-3,35	10,45	0,45	2,45	0,894
3,18	-3,35	10,21	0,21	1,17	0,417
3,15	-3,35	10,00	0,00	0,00	0,000
3,15	-3,38	10,21	0,21	1,18	0,420
3,18	-3,38	10,68	0,68	3,63	1,353
3,22	-3,40	11,63	1,63	8,07	3,267
3,25	-3,43	12,58	2,58	11,83	5,157
3,28	-3,40	13,52	3,52	15,10	7,048
3,31	-3,40	14,47	4,47	17,99	8,937
3,34	-3,40	15,41	5,41	20,56	10,824
3,37	-3,40	16,35	6,35	22,86	12,709
3,39	-3,43	16,59	6,59	23,41	13,181
3,41	-3,43	16,83	6,83	23,94	13,656
3,41	-3,45	16,59	6,59	23,40	13,174
3,41	-3,45	16,12	6,12	22,31	12,240
3,41	-3,45	15,16	5,16	19,91	10,325
3,39	-3,45	14,22	4,22	17,26	8,437
3,37	-3,45	13,27	3,27	14,28	6,550
3,35	-3,45	12,33	2,33	10,90	4,662
3,31	-3,45	11,39	1,39	7,00	2,774
3,26	-3,43	10,44	0,44	2,43	0,887
3,24	-3,43	10,21	0,21	1,15	0,410
3,22	-3,43	10,00	0,00	0,00	0,000
3,23	-3,43	10,21	0,21	1,15	0,411
3,25	-3,43	10,67	0,67	3,61	1,344
3,29	-3,43	11,63	1,63	8,05	3,257
3,32	-3,43	12,57	2,57	11,81	5,146
3,35	-3,43	13,52	3,52	15,08	7,034
3,36	-3,43	14,46	4,46	17,97	8,923
3,39	-3,43	15,41	5,41	20,54	10,810
3,42	-3,43	16,35	6,35	22,85	12,695
3,43	-3,45	16,58	6,58	23,39	13,168
3,45	-3,45	16,82	6,82	23,92	13,642
3,45	-3,45	16,58	6,58	23,39	13,164
3,45	-3,45	16,12	6,12	22,30	12,231
3,45	-3,47	15,16	5,16	19,89	10,314
3,44	-3,47	14,21	4,21	17,24	8,427
3,42	-3,47	13,27	3,27	14,27	6,540
3,39	-3,45	12,33	2,33	10,88	4,655
3,35	-3,45	11,38	1,38	6,98	2,769
3,31	-3,45	10,44	0,44	2,42	0,882
3,29	-3,45	10,20	0,20	1,14	0,405
3,26	-3,45	10,00	0,00	0,00	0,000
3,27	-3,43	10,20	0,20	1,14	0,407
3,29	-3,43	10,67	0,67	3,60	1,339
3,34	-3,43	11,63	1,63	8,04	3,251
3,36	-3,43	12,57	2,57	11,80	5,139
3,39	-3,43	13,51	3,51	15,07	7,027
3,41	-3,43	14,46	4,46	17,96	8,914
3,44	-3,43	15,40	5,40	20,53	10,800
3,46	-3,43	16,34	6,34	22,84	12,684
3,48	-3,43	16,58	6,58	23,38	13,160
3,49	-3,45	16,82	6,82	23,91	13,632
3,49	-3,45	16,58	6,58	23,38	13,154
3,49	-3,45	16,11	6,11	22,29	12,221
3,49	-3,45	15,15	5,15	19,88	10,308

3,47	-3,45	14,21	4,21	17,24	8,422
3,45	-3,45	13,27	3,27	14,26	6,537
3,43	-3,45	12,32	2,32	10,87	4,649
3,39	-3,45	11,38	1,38	6,97	2,763
3,34	-3,45	10,44	0,44	2,41	0,878
3,33	-3,45	10,20	0,20	1,12	0,400
3,29	-3,45	10,00	0,00	0,00	0,000
3,31	-3,47	10,20	0,20	1,13	0,403
3,34	-3,47	10,67	0,67	3,58	1,334
3,37	-3,47	11,62	1,62	8,02	3,245
3,40	-3,47	12,57	2,57	11,78	5,131
3,42	-3,47	13,51	3,51	15,05	7,018
3,45	-3,47	14,45	4,45	17,94	8,903
3,47	-3,50	15,39	5,39	20,51	10,785
3,50	-3,52	16,33	6,33	22,81	12,664
3,51	-3,52	16,57	6,57	23,36	13,139
3,52	-3,55	16,81	6,81	23,89	13,611
3,52	-3,55	16,57	6,57	23,35	13,133
3,52	-3,55	16,10	6,10	22,27	12,202
3,52	-3,55	15,15	5,15	19,86	10,291
3,51	-3,57	14,20	4,20	17,21	8,406
3,48	-3,57	13,26	3,26	14,24	6,523
3,46	-3,57	12,32	2,32	10,85	4,638
3,43	-3,57	11,38	1,38	6,96	2,756
3,39	-3,57	10,44	0,44	2,39	0,872
3,36	-3,60	10,20	0,20	1,11	0,396
3,34	-3,60	10,00	0,00	0,00	0,000
3,34	-3,60	10,20	0,20	1,12	0,399
3,37	-3,62	10,66	0,66	3,57	1,328
3,41	-3,62	11,62	1,62	8,00	3,235
3,44	-3,62	12,56	2,56	11,76	5,118
3,46	-3,62	13,50	3,50	15,03	7,000
3,49	-3,62	14,44	4,44	17,91	8,882
3,51	-3,62	15,38	5,38	20,48	10,764
3,54	-3,65	16,32	6,32	22,78	12,641
3,54	-3,65	16,56	6,56	23,33	13,116
3,55	-3,67	16,79	6,79	23,86	13,588
3,56	-3,67	16,55	6,55	23,32	13,109
3,56	-3,70	16,09	6,09	22,24	12,176
3,56	-3,70	15,13	5,13	19,83	10,269
3,55	-3,67	14,19	4,19	17,19	8,390
3,52	-3,67	13,25	3,25	14,21	6,510
3,50	-3,67	12,31	2,31	10,83	4,629
3,47	-3,67	11,37	1,37	6,94	2,748
3,42	-3,67	10,43	0,43	2,38	0,868
3,40	-3,67	10,20	0,20	1,10	0,392
3,37	-3,67	10,00	0,00	0,00	0,000
3,38	-3,67	10,20	0,20	1,11	0,395
3,40	-3,67	10,66	0,66	3,56	1,324
3,44	-3,67	11,61	1,61	7,99	3,229
3,47	-3,67	12,56	2,56	11,74	5,111
3,49	-3,67	13,50	3,50	15,01	6,992
3,52	-3,65	14,44	4,44	17,90	8,873
3,55	-3,67	15,38	5,38	20,46	10,751
3,58	-3,65	16,32	6,32	22,77	12,631
3,59	-3,65	16,55	6,55	23,32	13,105
3,60	-3,65	16,79	6,79	23,85	13,579
3,60	-3,65	16,55	6,55	23,32	13,102
3,60	-3,65	16,09	6,09	22,23	12,173
3,60	-3,65	15,13	5,13	19,83	10,265
3,58	-3,65	14,19	4,19	17,18	8,385

3,56	-3,62	13,25	3,25	14,21	6,507
3,54	-3,62	12,31	2,31	10,83	4,626
3,51	-3,62	11,37	1,37	6,93	2,744
3,46	-3,60	10,43	0,43	2,37	0,863
3,44	-3,60	10,19	0,19	1,09	0,388
3,42	-3,60	10,00	0,00	0,00	0,000
3,42	-3,60	10,19	0,19	1,10	0,390
3,45	-3,60	10,66	0,66	3,55	1,319
3,48	-3,62	11,61	1,61	7,98	3,225
3,51	-3,62	12,55	2,55	11,74	5,107
3,54	-3,62	13,49	3,49	15,01	6,988
3,56	-3,65	14,43	4,43	17,89	8,867
3,58	-3,65	15,37	5,37	20,46	10,746
3,61	-3,65	16,31	6,31	22,77	12,624
3,62	-3,65	16,55	6,55	23,31	13,098
3,62	-3,65	16,79	6,79	23,85	13,574
3,62	-3,62	16,55	6,55	23,31	13,100
3,62	-3,62	16,09	6,09	22,23	12,170
3,62	-3,62	15,13	5,13	19,82	10,263
3,61	-3,62	14,19	4,19	17,18	8,383
3,59	-3,60	13,25	3,25	14,20	6,502
3,57	-3,57	12,31	2,31	10,82	4,622
3,54	-3,52	11,37	1,37	6,93	2,743
3,49	-3,50	10,43	0,43	2,37	0,861
3,47	-3,50	10,19	0,19	1,08	0,385
3,45	-3,50	10,00	0,00	0,00	0,000
3,45	-3,50	10,19	0,19	1,09	0,387
3,48	-3,50	10,66	0,66	3,54	1,317
3,51	-3,50	11,61	1,61	7,98	3,225
3,54	-3,52	12,55	2,55	11,74	5,107
3,57	-3,52	13,49	3,49	15,01	6,990
3,59	-3,52	14,44	4,44	17,89	8,871
3,61	-3,52	15,38	5,38	20,47	10,752
3,64	-3,55	16,31	6,31	22,77	12,629
3,64	-3,57	16,55	6,55	23,32	13,102
3,65	-3,57	16,79	6,79	23,85	13,576
3,65	-3,57	16,55	6,55	23,31	13,099
3,65	-3,57	16,08	6,08	22,23	12,169
3,65	-3,57	15,13	5,13	19,82	10,261
3,64	-3,57	14,19	4,19	17,18	8,381
3,61	-3,60	13,25	3,25	14,20	6,499
3,59	-3,60	12,31	2,31	10,81	4,619
3,56	-3,60	11,37	1,37	6,92	2,738
3,52	-3,60	10,43	0,43	2,36	0,857
3,49	-3,60	10,19	0,19	1,08	0,383
3,46	-3,60	10,00	0,00	0,00	0,000
3,47	-3,62	10,19	0,19	1,08	0,385
3,50	-3,62	10,66	0,66	3,53	1,313
3,54	-3,62	11,61	1,61	7,97	3,218
3,57	-3,65	12,55	2,55	11,72	5,097
3,59	-3,65	13,49	3,49	14,99	6,977
3,61	-3,65	14,43	4,43	17,87	8,856
3,64	-3,67	15,37	5,37	20,44	10,732
3,66	-3,67	16,30	6,30	22,75	12,609
3,67	-3,67	16,54	6,54	23,30	13,084
3,68	-3,70	16,78	6,78	23,83	13,554
3,68	-3,70	16,54	6,54	23,29	13,078
3,68	-3,70	16,07	6,07	22,20	12,149
3,68	-3,72	15,12	5,12	19,80	10,242
3,66	-3,72	14,18	4,18	17,15	8,365
3,64	-3,72	13,24	3,24	14,18	6,488

3,61	-3,72	12,30	2,30	10,80	4,610
3,58	-3,72	11,37	1,37	6,90	2,732
3,54	-3,72	10,43	0,43	2,35	0,854
3,51	-3,72	10,19	0,19	1,07	0,381
3,49	-3,72	10,00	0,00	0,00	0,000
3,49	-3,72	10,19	0,19	1,08	0,383
3,52	-3,74	10,65	0,65	3,52	1,309
3,56	-3,77	11,60	1,60	7,95	3,210
3,59	-3,77	12,54	2,54	11,70	5,087
3,61	-3,79	13,48	3,48	14,97	6,963
3,64	-3,79	14,42	4,42	17,85	8,839
3,66	-3,79	15,36	5,36	20,42	10,714
3,68	-3,82	16,29	6,29	22,72	12,587
3,69	-3,82	16,53	6,53	23,27	13,060
3,70	-3,82	16,77	6,77	23,80	13,534
3,70	-3,82	16,53	6,53	23,26	13,057
3,70	-3,82	16,06	6,06	22,18	12,130
3,70	-3,82	15,11	5,11	19,78	10,227
3,68	-3,82	14,18	4,18	17,13	8,352
3,66	-3,82	13,24	3,24	14,16	6,478
3,64	-3,82	12,30	2,30	10,78	4,602
3,61	-3,84	11,36	1,36	6,89	2,725
3,56	-3,82	10,43	0,43	2,34	0,851
3,53	-3,84	10,19	0,19	1,06	0,378
3,51	-3,84	10,00	0,00	0,00	0,000
3,52	-3,84	10,19	0,19	1,07	0,379
3,54	-3,84	10,65	0,65	3,51	1,305
3,58	-3,87	11,60	1,60	7,94	3,204
3,61	-3,87	12,54	2,54	11,69	5,080
3,63	-3,87	13,48	3,48	14,95	6,955
3,66	-3,87	14,41	4,41	17,83	8,828
3,68	-3,89	15,35	5,35	20,40	10,699
3,70	-3,89	16,29	6,29	22,70	12,573
3,71	-3,89	16,52	6,52	23,25	13,046
3,72	-3,89	16,76	6,76	23,79	13,519
3,72	-3,92	16,52	6,52	23,25	13,040
3,72	-3,92	16,06	6,06	22,16	12,114
3,72	-3,92	15,11	5,11	19,76	10,214
3,70	-3,92	14,17	4,17	17,12	8,341
3,68	-3,92	13,23	3,23	14,14	6,467
3,66	-3,92	12,30	2,30	10,77	4,594
3,62	-3,92	11,36	1,36	6,88	2,721
3,58	-3,92	10,42	0,42	2,33	0,848
3,52	-3,92	10,19	0,19	1,06	0,378
3,55	-3,92	10,65	0,65	3,51	1,304
3,59	-3,94	11,60	1,60	7,93	3,201
3,62	-3,92	12,54	2,54	11,68	5,076
3,65	-3,92	13,47	3,47	14,94	6,949
3,67	-3,89	14,41	4,41	17,83	8,824
3,70	-3,89	15,35	5,35	20,39	10,695
3,72	-3,89	16,28	6,28	22,70	12,567
3,73	-3,92	16,52	6,52	23,24	13,038
3,74	-3,92	16,76	6,76	23,78	13,511
3,74	-3,89	16,52	6,52	23,24	13,038
3,74	-3,89	16,06	6,06	22,16	12,112
3,74	-3,89	15,11	5,11	19,76	10,213
3,72	-3,87	14,17	4,17	17,12	8,341
3,70	-3,87	13,23	3,23	14,14	6,468
3,68	-3,87	12,30	2,30	10,76	4,593
3,65	-3,87	11,36	1,36	6,87	2,719
3,59	-3,84	10,42	0,42	2,33	0,847

3,58	-3,84	10,19	0,19	1,05	0,373
3,55	-3,82	10,00	0,00	0,00	0,000
3,55	-3,82	10,19	0,19	1,06	0,376
3,58	-3,82	10,65	0,65	3,50	1,301
3,62	-3,79	11,60	1,60	7,93	3,201
3,65	-3,79	12,54	2,54	11,68	5,077
3,67	-3,79	13,48	3,48	14,95	6,953
3,70	-3,79	14,41	4,41	17,83	8,828
3,72	-3,79	15,35	5,35	20,40	10,702
3,74	-3,79	16,29	6,29	22,71	12,575
3,75	-3,79	16,52	6,52	23,25	13,047
3,76	-3,79	16,76	6,76	23,79	13,521
3,77	-3,79	16,52	6,52	23,25	13,045
3,77	-3,79	16,06	6,06	22,17	12,118
3,77	-3,77	15,11	5,11	19,76	10,219
3,74	-3,77	14,17	4,17	17,12	8,345
3,72	-3,77	13,24	3,24	14,15	6,471
3,70	-3,77	12,30	2,30	10,77	4,595
3,67	-3,77	11,36	1,36	6,87	2,720
3,62	-3,74	10,42	0,42	2,32	0,845
3,59	-3,72	10,19	0,19	1,04	0,371
3,57	-3,72	10,00	0,00	0,00	0,000
3,57	-3,70	10,19	0,19	1,05	0,374
3,60	-3,70	10,65	0,65	3,50	1,300
3,64	-3,70	11,60	1,60	7,93	3,201
3,67	-3,72	12,54	2,54	11,68	5,078
3,70	-3,70	13,48	3,48	14,95	6,955
3,71	-3,67	14,42	4,42	17,84	8,835
3,75	-3,67	15,35	5,35	20,41	10,708
3,77	-3,70	16,29	6,29	22,72	12,581
3,77	-3,67	16,53	6,53	23,27	13,059
3,78	-3,67	16,77	6,77	23,80	13,533
3,82	-3,67	17,70	7,70	25,79	15,402
4,26	-3,99	18,55	8,55	27,45	17,105
4,78	-4,53	19,37	9,37	28,93	18,738
5,42	-4,92	20,15	10,15	30,25	20,302
6,40	-5,43	20,85	10,85	31,35	21,695
7,37	-5,90	21,52	11,52	32,37	23,050
8,60	-6,36	22,13	12,13	33,24	24,258
9,91	-6,78	22,70	12,70	34,01	25,394
11,76	-7,19	23,14	13,14	34,60	26,281
13,86	-7,61	23,48	13,48	35,04	26,965
15,00	-7,83	24,02	14,02	35,71	28,036
16,57	-8,08	24,43	14,43	36,21	28,865
18,00	-8,17	24,87	14,87	36,72	29,738
18,27	-8,20	24,80	14,80	36,64	29,603
18,50	-8,20	24,75	14,75	36,58	29,497
18,73	-8,22	24,69	14,69	36,51	0,595



Altura Inicial de Confección [cm]	180,00
Diámetro Inicial de Confección [cm]	100,00
ΔV por consolidación [cm ³]	116227,00
Densidad seca de confección [gr/cm ³]	2,10
Humedad confección probeta [%]	0,09
Back pressure [kgf/cm ²]	2,00
Presión de confinamiento efectivo [kgf/cm ²]	20,00

ϵ [%]	ϵ_v [%]	p [kgf/cm ²]	q [kgf/cm ²]	ϕ_{MOV} [°]	$\Delta\sigma$ [kgf/cm ²]
0,00	0,00	20,13	0,13	0,38	0,270
0,06	-0,08	20,39	0,39	1,11	0,788
0,12	-0,13	20,65	0,65	1,81	1,305
0,24	-0,15	21,67	1,67	4,41	3,331
0,36	-0,23	22,70	2,70	6,83	5,402
0,52	-0,28	23,73	3,73	9,04	7,458
0,76	-0,48	24,71	4,71	10,99	9,424
0,99	-0,74	25,71	5,71	12,83	11,420
1,21	-0,96	26,68	6,68	14,49	13,351
1,34	-1,09	27,16	7,16	15,29	14,328
1,40	-1,17	27,41	7,41	15,68	14,816
1,46	-1,22	27,65	7,65	16,07	15,305
1,46	-1,19	27,40	7,40	15,67	14,796
1,47	-1,24	27,14	7,14	15,25	14,275
1,47	-1,22	26,63	6,63	14,41	13,256
1,46	-1,19	25,63	5,63	12,70	11,267
1,43	-1,19	24,61	4,61	10,80	9,225
1,42	-1,19	23,62	3,62	8,81	7,232
1,39	-1,22	22,59	2,59	6,59	5,187
1,37	-1,22	21,57	1,57	4,18	3,143
1,35	-1,22	21,09	1,09	2,95	2,173
1,34	-1,22	20,58	0,58	1,60	1,150
1,32	-1,24	20,32	0,32	0,90	0,640
1,28	-1,22	20,07	0,07	0,19	0,132
1,30	-1,22	20,32	0,32	0,91	0,642
1,31	-1,24	20,58	0,58	1,61	1,153
1,33	-1,27	21,09	1,09	2,95	2,174
1,36	-1,27	22,08	2,08	5,41	4,167
1,38	-1,32	23,10	3,10	7,72	6,207
1,40	-1,35	24,10	4,10	9,79	8,195
1,43	-1,37	25,12	5,12	11,75	10,231
1,46	-1,37	26,13	6,13	13,57	12,267
1,50	-1,40	27,12	7,12	15,23	14,247
1,55	-1,47	28,13	8,13	16,80	16,262
1,76	-1,62	29,08	9,08	18,20	18,162
2,03	-1,85	30,03	10,03	19,52	20,065
2,19	-2,03	30,49	10,49	20,13	20,988
2,29	-2,16	30,72	10,72	20,42	21,434
2,37	-2,18	30,93	10,93	20,69	21,855
2,44	-2,31	31,15	11,15	20,98	22,306
2,46	-2,36	30,89	10,89	20,65	21,788
2,46	-2,41	30,66	10,66	20,35	21,325
2,46	-2,41	30,16	10,16	19,69	20,324
2,45	-2,41	29,16	9,16	18,31	18,326
2,44	-2,44	28,66	8,66	17,59	17,322
2,44	-2,41	28,41	8,41	17,22	16,828
2,43	-2,41	28,19	8,19	16,89	16,379
2,44	-2,41	28,41	8,41	17,22	16,828
2,44	-2,41	28,66	8,66	17,59	17,328
2,45	-2,44	29,16	9,16	18,31	18,321

2,47	-2,46	30,16	10,16	19,68	20,312
2,49	-2,46	30,65	10,65	20,34	21,307
2,50	-2,46	30,88	10,88	20,63	21,753
2,51	-2,46	31,12	11,12	20,94	22,249
2,51	-2,49	30,87	10,87	20,62	21,743
2,52	-2,51	30,64	10,64	20,32	21,286
2,52	-2,49	30,15	10,15	19,67	20,292
2,50	-2,46	29,15	9,15	18,29	18,301
2,48	-2,51	28,17	8,17	16,87	16,350
2,47	-2,51	27,18	7,18	15,31	14,354
2,46	-2,51	26,68	6,68	14,50	13,357
2,44	-2,56	26,18	6,18	13,65	12,354
2,44	-2,56	25,95	5,95	13,26	11,904
2,44	-2,56	25,70	5,70	12,82	11,405
2,44	-2,56	25,95	5,95	13,26	11,905
2,44	-2,56	26,18	6,18	13,65	12,355
2,44	-2,59	26,67	6,67	14,49	13,350
2,46	-2,56	27,17	7,17	15,31	14,350
2,48	-2,56	28,17	8,17	16,86	16,342
2,50	-2,56	29,14	9,14	18,28	18,285
2,52	-2,56	30,14	10,14	19,66	20,277
2,53	-2,59	30,63	10,63	20,31	21,265
2,54	-2,59	30,86	10,86	20,60	21,712
2,55	-2,59	31,10	11,10	20,92	22,207
2,55	-2,61	30,85	10,85	20,59	21,703
2,55	-2,64	30,62	10,62	20,30	21,249
2,55	-2,64	30,37	10,37	19,97	20,750
2,55	-2,64	29,88	9,88	19,30	19,754
2,53	-2,64	28,88	8,88	17,91	17,762
2,52	-2,64	27,91	7,91	16,46	15,821
2,50	-2,67	26,91	6,91	14,88	13,826
2,48	-2,67	25,94	5,94	13,24	11,884
2,46	-2,64	24,95	4,95	11,44	9,894
2,43	-2,61	23,95	3,95	9,50	7,904
2,43	-2,64	23,48	3,48	8,52	6,954
2,41	-2,67	22,98	2,98	7,45	5,957
2,40	-2,67	22,73	2,73	6,90	5,459
2,40	-2,67	22,98	2,98	7,45	5,958
2,40	-2,67	23,23	3,23	7,99	6,457
2,41	-2,69	23,48	3,48	8,52	6,954
2,41	-2,69	23,95	3,95	9,49	7,902
2,44	-2,69	24,95	4,95	11,44	9,894
2,46	-2,72	25,94	5,94	13,24	11,882
2,48	-2,72	26,91	6,91	14,88	13,824
2,50	-2,72	27,91	7,91	16,46	15,813
2,52	-2,77	28,87	8,87	17,90	17,744
2,55	-2,74	29,87	9,87	19,29	19,735
2,56	-2,77	30,36	10,36	19,95	20,722
2,58	-2,77	30,83	10,83	20,57	21,661
2,59	-2,77	31,08	11,08	20,88	22,157
2,59	-2,79	30,83	10,83	20,56	21,654
2,59	-2,77	30,61	10,61	20,27	21,211
2,58	-2,82	30,10	10,10	19,61	20,207
2,57	-2,82	29,11	9,11	18,24	18,219
2,55	-2,82	28,14	8,14	16,82	16,282
2,53	-2,82	27,15	7,15	15,26	14,295
2,52	-2,82	26,15	6,15	13,61	12,307
2,49	-2,82	25,18	5,18	11,88	10,369
2,47	-2,79	23,94	3,94	9,48	7,883
2,46	-2,82	23,22	3,22	7,97	6,439
2,43	-2,82	22,22	2,22	5,75	4,450

2,40	-2,82	21,23	1,23	3,32	2,459
2,38	-2,82	20,76	0,76	2,09	1,513
2,36	-2,82	20,26	0,26	0,73	0,518
2,33	-2,79	20,01	0,01	0,03	0,022
2,33	-2,82	20,26	0,26	0,74	0,521
2,34	-2,84	20,76	0,76	2,09	1,517
2,37	-2,84	21,73	1,73	4,57	3,459
2,40	-2,84	22,73	2,73	6,89	5,450
2,43	-2,87	24,19	4,19	9,98	8,383
2,47	-2,87	25,68	5,68	12,78	11,365
2,50	-2,89	27,15	7,15	15,26	14,292
2,54	-2,94	28,13	8,13	16,80	16,265
2,56	-2,92	29,10	9,10	18,23	18,205
2,59	-2,92	30,09	10,09	19,60	20,185
2,60	-2,92	30,59	10,59	20,25	21,176
2,61	-2,89	30,81	10,81	20,54	21,625
2,62	-2,92	31,06	11,06	20,86	22,115
2,63	-2,92	30,81	10,81	20,54	21,614
2,62	-2,94	30,33	10,33	19,92	20,666
2,62	-2,92	29,34	9,34	18,57	18,684
2,60	-2,92	28,35	8,35	17,13	16,701
2,58	-3,00	26,88	6,88	14,83	13,763
2,55	-2,97	25,42	5,42	12,31	10,840
2,52	-2,97	23,93	3,93	9,45	7,862
2,49	-3,00	22,96	2,96	7,41	5,925
2,46	-3,00	21,97	1,97	5,14	3,939
2,43	-2,97	21,00	1,00	2,73	2,003
2,41	-3,00	20,50	0,50	1,41	1,009
2,41	-2,97	20,26	0,26	0,72	0,512
2,39	-2,97	20,01	0,01	0,02	0,016
2,39	-3,00	20,26	0,26	0,73	0,514
2,40	-3,00	20,75	0,75	2,08	1,508
2,43	-3,00	21,72	1,72	4,55	3,446
2,46	-3,00	22,72	2,72	6,87	5,433
2,49	-3,02	24,18	4,18	9,95	8,360
2,52	-3,02	25,67	5,67	12,76	11,338
2,56	-3,05	27,13	7,13	15,23	14,257
2,58	-3,07	28,12	8,12	16,78	16,234
2,61	-3,10	29,08	9,08	18,19	18,159
2,63	-3,10	30,07	10,07	19,56	20,137
2,64	-3,10	30,56	10,56	20,22	21,126
2,65	-3,10	30,79	10,79	20,51	21,571
2,66	-3,12	31,03	11,03	20,82	22,057
2,66	-3,15	30,78	10,78	20,50	21,556
2,66	-3,12	30,31	10,31	19,89	20,619
2,65	-3,12	29,32	9,32	18,53	18,639
2,62	-3,12	27,86	7,86	16,39	15,719
2,59	-3,15	26,37	6,37	13,98	12,746
2,56	-3,15	24,91	4,91	11,37	9,825
2,53	-3,15	23,45	3,45	8,46	6,902
2,50	-3,15	21,96	1,96	5,13	3,928
2,47	-3,15	21,00	1,00	2,72	1,995
2,45	-3,17	20,50	0,50	1,40	1,003
2,44	-3,17	20,25	0,25	0,72	0,508
2,42	-3,17	20,01	0,01	0,02	0,013
2,42	-3,20	20,25	0,25	0,72	0,510
2,43	-3,20	20,75	0,75	2,07	1,502
2,46	-3,20	21,72	1,72	4,54	3,436
2,50	-3,22	23,20	3,20	7,94	6,407
2,53	-3,25	24,66	4,66	10,90	9,326
2,56	-3,25	26,12	6,12	13,55	12,245

2,60	-3,25	27,61	7,61	15,99	15,210
2,63	-3,27	29,06	9,06	18,17	18,121
2,65	-3,30	30,05	10,05	19,53	20,090
2,67	-3,30	30,54	10,54	20,19	21,077
2,68	-3,30	30,76	10,76	20,47	21,519
2,68	-3,30	31,01	11,01	20,79	22,012
2,68	-3,30	30,76	10,76	20,47	21,517
2,68	-3,33	30,29	10,29	19,85	20,571
2,67	-3,30	29,30	9,30	18,51	18,600
2,65	-3,30	27,84	7,84	16,36	15,685
2,62	-3,30	26,36	6,36	13,96	12,722
2,59	-3,33	24,90	4,90	11,35	9,802
2,56	-3,30	23,44	3,44	8,45	6,887
2,52	-3,30	21,96	1,96	5,12	3,919
2,49	-3,30	20,99	0,99	2,72	1,989
2,47	-3,33	20,50	0,50	1,40	0,999
2,46	-3,33	20,25	0,25	0,71	0,504
2,44	-3,30	20,01	0,01	0,01	0,010
2,44	-3,30	20,25	0,25	0,72	0,507
2,46	-3,30	20,75	0,75	2,07	1,497
2,49	-3,33	21,71	1,71	4,53	3,427
2,52	-3,33	23,20	3,20	7,92	6,396
2,56	-3,33	24,66	4,66	10,89	9,314
2,58	-3,33	26,12	6,12	13,54	12,232
2,62	-3,33	27,60	7,60	15,98	15,194
2,65	-3,35	29,05	9,05	18,15	18,101
2,68	-3,35	30,04	10,04	19,52	20,073
2,69	-3,35	30,53	10,53	20,18	21,059
2,70	-3,35	30,75	10,75	20,46	21,500
2,71	-3,40	30,99	10,99	20,77	21,982
2,71	-3,38	30,75	10,75	20,46	21,493
2,71	-3,43	30,27	10,27	19,84	20,543
2,69	-3,43	29,29	9,29	18,49	18,570
2,67	-3,43	27,83	7,83	16,34	15,660
2,64	-3,40	26,35	6,35	13,95	12,704
2,62	-3,43	24,89	4,89	11,34	9,787
2,59	-3,43	23,44	3,44	8,43	6,874
2,55	-3,43	21,96	1,96	5,11	3,911
2,52	-3,43	20,99	0,99	2,71	1,984
2,50	-3,40	20,50	0,50	1,39	0,996
2,48	-3,45	20,25	0,25	0,71	0,502
2,47	-3,45	20,00	0,00	0,01	0,008
2,47	-3,43	20,25	0,25	0,71	0,503
2,48	-3,40	20,75	0,75	2,06	1,493
2,50	-3,40	21,71	1,71	4,52	3,422
2,54	-3,40	23,19	3,19	7,92	6,389
2,58	-3,40	24,65	4,65	10,88	9,303
2,61	-3,40	26,11	6,11	13,53	12,217
2,64	-3,40	27,59	7,59	15,97	15,177
2,68	-3,43	29,04	9,04	18,14	18,081
2,70	-3,43	30,03	10,03	19,51	20,051
2,71	-3,43	30,52	10,52	20,16	21,036
2,72	-3,40	30,74	10,74	20,45	21,484
2,72	-3,43	30,99	10,99	20,76	21,971
2,72	-3,43	30,74	10,74	20,45	21,477
2,72	-3,40	30,27	10,27	19,84	20,545
2,71	-3,43	29,28	9,28	18,48	18,567
2,68	-3,43	27,83	7,83	16,34	15,657
2,66	-3,43	26,35	6,35	13,94	12,696
2,63	-3,40	24,89	4,89	11,34	9,787
2,61	-3,40	23,44	3,44	8,43	6,872

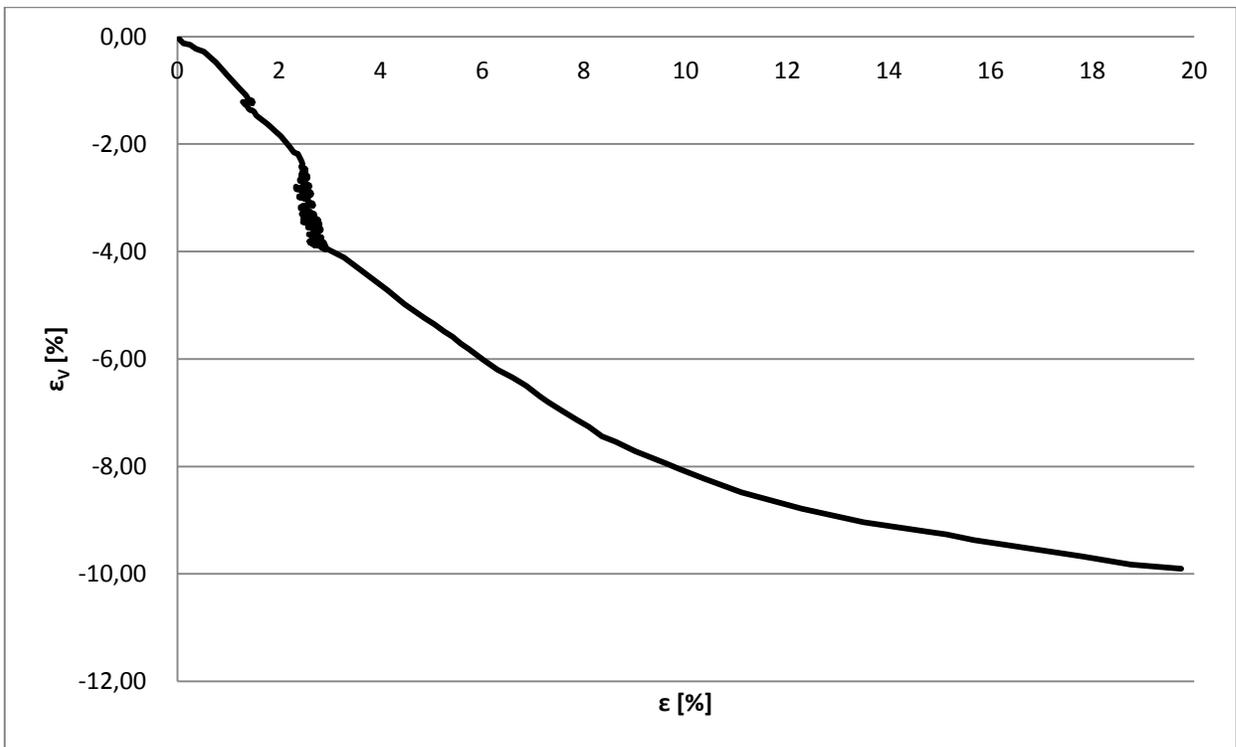
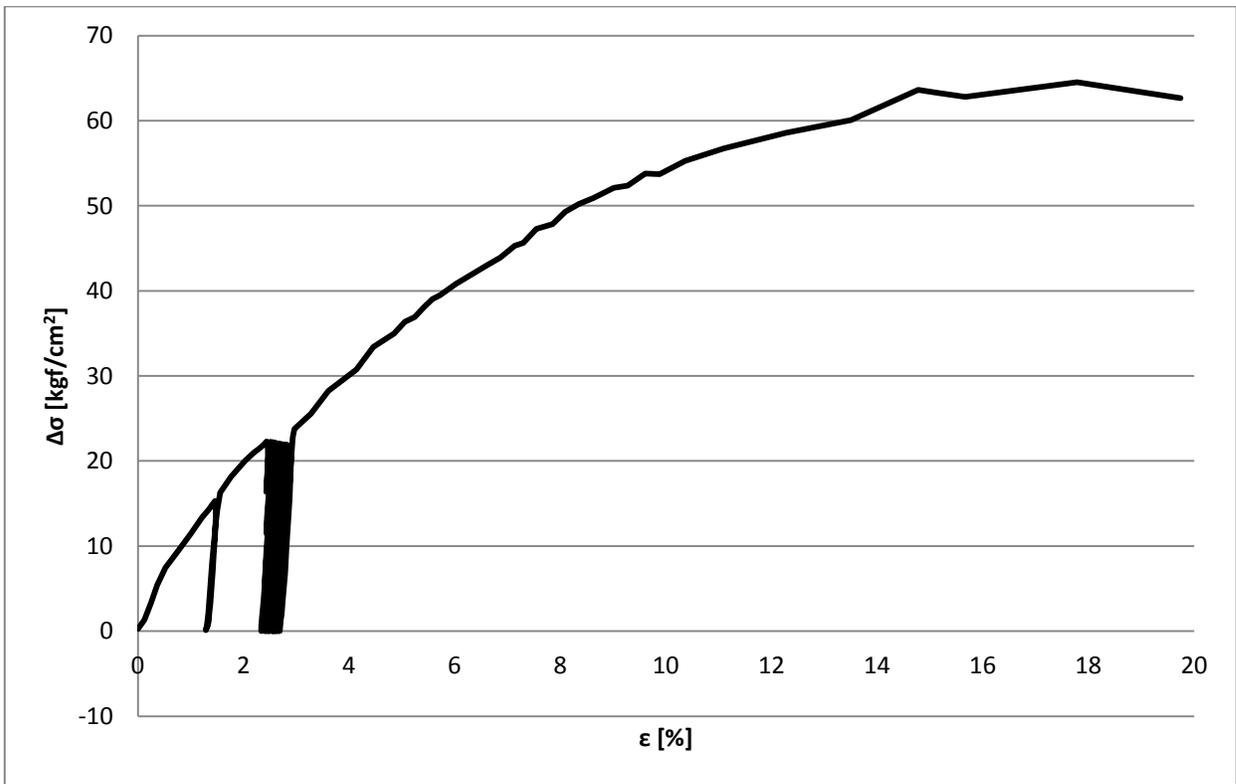
2,56	-3,43	21,95	1,95	5,11	3,909
2,52	-3,40	20,99	0,99	2,71	1,984
2,51	-3,40	20,50	0,50	1,39	0,994
2,50	-3,40	20,25	0,25	0,71	0,500
2,48	-3,38	20,00	0,00	0,01	0,007
2,49	-3,40	20,25	0,25	0,71	0,502
2,50	-3,43	20,75	0,75	2,06	1,491
2,52	-3,40	21,71	1,71	4,52	3,420
2,56	-3,43	23,19	3,19	7,91	6,384
2,59	-3,43	24,65	4,65	10,87	9,297
2,62	-3,43	26,10	6,10	13,52	12,210
2,66	-3,43	27,58	7,58	15,96	15,169
2,69	-3,45	29,04	9,04	18,13	18,073
2,71	-3,43	30,02	10,02	19,50	20,047
2,72	-3,45	30,51	10,51	20,15	21,027
2,73	-3,48	30,73	10,73	20,44	21,464
2,74	-3,48	30,98	10,98	20,75	21,954
2,74	-3,48	30,73	10,73	20,44	21,460
2,74	-3,45	30,26	10,26	19,82	20,527
2,73	-3,45	29,28	9,28	18,47	18,555
2,71	-3,45	27,82	7,82	16,33	15,647
2,68	-3,48	26,34	6,34	13,93	12,684
2,65	-3,45	24,89	4,89	11,33	9,778
2,62	-3,45	23,43	3,43	8,42	6,866
2,58	-3,45	21,95	1,95	5,10	3,905
2,55	-3,45	20,99	0,99	2,70	1,979
2,53	-3,45	20,50	0,50	1,39	0,991
2,52	-3,45	20,25	0,25	0,70	0,497
2,50	-3,45	20,00	0,00	0,01	0,004
2,50	-3,43	20,25	0,25	0,71	0,499
2,52	-3,43	20,74	0,74	2,06	1,489
2,54	-3,45	21,71	1,71	4,51	3,416
2,58	-3,48	23,19	3,19	7,90	6,378
2,61	-3,45	24,65	4,65	10,87	9,292
2,64	-3,45	26,10	6,10	13,52	12,203
2,68	-3,45	27,58	7,58	15,95	15,160
2,71	-3,48	29,03	9,03	18,12	18,062
2,74	-3,40	30,02	10,02	19,50	20,045
2,75	-3,40	30,51	10,51	20,16	21,029
2,75	-3,40	30,74	10,74	20,44	21,472
2,77	-3,43	30,98	10,98	20,76	21,957
2,77	-3,43	30,73	10,73	20,44	21,463
2,77	-3,43	30,26	10,26	19,82	20,525
2,75	-3,40	29,28	9,28	18,48	18,557
2,73	-3,40	27,82	7,82	16,33	15,648
2,71	-3,43	26,34	6,34	13,93	12,685
2,68	-3,40	24,89	4,89	11,33	9,776
2,65	-3,38	23,43	3,43	8,43	6,867
2,61	-3,40	21,95	1,95	5,10	3,902
2,58	-3,40	20,99	0,99	2,70	1,976
2,56	-3,45	20,49	0,49	1,38	0,988
2,55	-3,48	20,25	0,25	0,70	0,495
2,55	-3,48	20,00	0,00	0,00	0,000
2,55	-3,45	20,25	0,25	0,70	0,495
2,55	-3,45	20,74	0,74	2,05	1,484
2,57	-3,45	21,71	1,71	4,51	3,412
2,61	-3,48	23,19	3,19	7,90	6,372
2,65	-3,48	24,64	4,64	10,86	9,282
2,68	-3,48	26,10	6,10	13,51	12,192
2,71	-3,50	27,57	7,57	15,94	15,144
2,74	-3,50	29,02	9,02	18,11	18,049

2,76	-3,48	30,01	10,01	19,49	20,023
2,78	-3,50	30,50	10,50	20,14	20,999
2,78	-3,50	30,72	10,72	20,42	21,442
2,79	-3,50	30,97	10,97	20,74	21,933
2,79	-3,50	30,72	10,72	20,42	21,440
2,79	-3,48	30,25	10,25	19,81	20,507
2,78	-3,50	29,27	9,27	18,46	18,532
2,75	-3,48	27,82	7,82	16,32	15,630
2,73	-3,50	26,34	6,34	13,92	12,670
2,70	-3,50	24,88	4,88	11,31	9,763
2,67	-3,50	23,43	3,43	8,41	6,854
2,63	-3,50	21,95	1,95	5,09	3,896
2,60	-3,53	20,99	0,99	2,69	1,972
2,59	-3,50	20,49	0,49	1,38	0,985
2,58	-3,50	20,25	0,25	0,70	0,491
2,57	-3,53	20,00	0,00	0,00	-0,003
2,57	-3,55	20,25	0,25	0,70	0,492
2,58	-3,55	20,74	0,74	2,04	1,479
2,60	-3,55	21,70	1,70	4,50	3,404
2,64	-3,55	23,18	3,18	7,89	6,363
2,67	-3,55	24,64	4,64	10,85	9,271
2,69	-3,58	26,09	6,09	13,49	12,176
2,73	-3,58	27,56	7,56	15,93	15,128
2,76	-3,58	29,02	9,02	18,10	18,030
2,78	-3,60	30,00	10,00	19,47	19,991
2,80	-3,60	30,49	10,49	20,12	20,973
2,80	-3,60	30,71	10,71	20,41	21,415
2,81	-3,60	30,95	10,95	20,72	21,904
2,81	-3,58	30,71	10,71	20,41	21,416
2,81	-3,58	30,24	10,24	19,79	20,480
2,80	-3,60	29,25	9,25	18,44	18,507
2,78	-3,63	27,80	7,80	16,30	15,601
2,75	-3,63	26,33	6,33	13,90	12,651
2,72	-3,63	24,87	4,87	11,30	9,746
2,69	-3,63	23,42	3,42	8,40	6,842
2,65	-3,66	21,94	1,94	5,08	3,887
2,62	-3,68	20,98	0,98	2,68	1,966
2,61	-3,68	20,49	0,49	1,37	0,981
2,60	-3,68	20,24	0,24	0,69	0,488
2,59	-3,68	20,00	0,00	-0,01	-0,004
2,59	-3,68	20,24	0,24	0,69	0,489
2,61	-3,68	20,74	0,74	2,04	1,474
2,63	-3,68	21,70	1,70	4,49	3,396
2,66	-3,68	23,18	3,18	7,88	6,351
2,69	-3,71	24,63	4,63	10,83	9,254
2,71	-3,71	26,08	6,08	13,48	12,157
2,75	-3,71	27,55	7,55	15,91	15,103
2,78	-3,76	29,00	9,00	18,07	17,993
2,80	-3,73	29,98	9,98	19,44	19,961
2,81	-3,73	30,47	10,47	20,10	20,942
2,82	-3,73	30,69	10,69	20,39	21,383
2,83	-3,76	30,93	10,93	20,70	21,866
2,83	-3,76	30,69	10,69	20,38	21,374
2,83	-3,73	30,22	10,22	19,77	20,446
2,82	-3,78	29,23	9,23	18,41	18,470
2,79	-3,76	27,79	7,79	16,28	15,579
2,76	-3,78	26,31	6,31	13,88	12,629
2,74	-3,78	24,86	4,86	11,28	9,728
2,71	-3,78	23,41	3,41	8,38	6,829
2,67	-3,78	21,94	1,94	5,07	3,880
2,64	-3,81	20,98	0,98	2,68	1,961

2,63	-3,81	20,49	0,49	1,37	0,977
2,61	-3,81	20,24	0,24	0,69	0,486
2,60	-3,81	20,00	0,00	-0,01	-0,005
2,61	-3,81	20,24	0,24	0,69	0,487
2,61	-3,83	20,74	0,74	2,03	1,472
2,64	-3,81	21,70	1,70	4,48	3,391
2,67	-3,83	23,17	3,17	7,86	6,340
2,71	-3,83	24,62	4,62	10,81	9,239
2,73	-3,83	26,07	6,07	13,46	12,138
2,77	-3,83	27,54	7,54	15,89	15,082
2,80	-3,83	28,99	8,99	18,06	17,976
2,82	-3,83	29,97	9,97	19,43	19,936
2,83	-3,83	30,46	10,46	20,08	20,916
2,84	-3,83	30,68	10,68	20,37	21,356
2,84	-3,83	30,92	10,92	20,69	21,846
2,84	-3,83	30,68	10,68	20,37	21,354
2,84	-3,83	30,21	10,21	19,75	20,420
2,84	-3,83	29,23	9,23	18,40	18,455
2,81	-3,83	27,78	7,78	16,26	15,561
2,78	-3,83	26,31	6,31	13,87	12,618
2,76	-3,83	24,86	4,86	11,27	9,720
2,72	-3,83	23,41	3,41	8,38	6,823
2,69	-3,83	21,94	1,94	5,07	3,875
2,65	-3,83	20,98	0,98	2,68	1,959
2,64	-3,81	20,49	0,49	1,36	0,976
2,63	-3,83	20,24	0,24	0,69	0,484
2,62	-3,83	20,00	0,00	-0,01	-0,008
2,62	-3,83	20,24	0,24	0,69	0,485
2,63	-3,83	20,73	0,73	2,03	1,470
2,65	-3,83	21,69	1,69	4,48	3,388
2,69	-3,86	23,17	3,17	7,86	6,336
2,72	-3,86	24,62	4,62	10,81	9,233
2,75	-3,86	26,07	6,07	13,46	12,131
2,78	-3,86	27,54	7,54	15,89	15,075
2,81	-3,86	28,98	8,98	18,06	17,966
2,83	-3,88	29,96	9,96	19,42	19,923
2,85	-3,88	30,45	10,45	20,07	20,900
2,86	-3,88	30,67	10,67	20,36	21,340
2,86	-3,88	30,91	10,91	20,67	21,829
2,86	-3,88	30,67	10,67	20,36	21,338
2,86	-3,88	30,20	10,20	19,74	20,405
2,85	-3,86	29,22	9,22	18,40	18,447
2,83	-3,86	27,78	7,78	16,26	15,554
2,80	-3,86	26,31	6,31	13,87	12,612
2,77	-3,86	24,86	4,86	11,27	9,717
2,74	-3,86	23,41	3,41	8,38	6,820
2,69	-3,86	21,94	1,94	5,06	3,873
2,67	-3,86	20,98	0,98	2,67	1,957
2,65	-3,83	20,49	0,49	1,36	0,974
2,64	-3,86	20,24	0,24	0,68	0,483
2,63	-3,78	20,00	0,00	-0,01	-0,009
2,63	-3,78	20,24	0,24	0,69	0,484
2,64	-3,78	20,73	0,73	2,03	1,470
2,66	-3,76	21,69	1,69	4,48	3,389
2,69	-3,78	23,17	3,17	7,86	6,339
2,73	-3,83	24,62	4,62	10,81	9,234
2,76	-3,83	26,07	6,07	13,46	12,131
2,80	-3,83	27,54	7,54	15,88	15,074
2,83	-3,83	28,98	8,98	18,06	17,967
2,85	-3,83	29,96	9,96	19,42	19,927
2,86	-3,83	30,45	10,45	20,08	20,906

2,87	-3,83	30,67	10,67	20,36	21,345
2,88	-3,86	30,91	10,91	20,67	21,829
2,88	-3,83	30,67	10,67	20,36	21,343
2,88	-3,83	30,20	10,20	19,75	20,409
2,87	-3,86	29,22	9,22	18,39	18,442
2,85	-3,83	27,78	7,78	16,26	15,552
2,82	-3,83	26,30	6,30	13,87	12,609
2,79	-3,81	24,86	4,86	11,27	9,716
2,76	-3,81	23,41	3,41	8,37	6,819
2,72	-3,86	21,93	1,93	5,06	3,869
2,69	-3,88	20,98	0,98	2,67	1,953
2,68	-3,86	20,49	0,49	1,36	0,971
2,67	-3,86	20,24	0,24	0,68	0,479
2,66	-3,86	20,00	0,00	0,00	0,000
2,66	-3,86	20,24	0,24	0,68	0,481
2,67	-3,83	20,73	0,73	2,03	1,465
2,69	-3,83	21,69	1,69	4,47	3,383
2,72	-3,83	23,17	3,17	7,85	6,331
2,76	-3,86	24,61	4,61	10,80	9,226
2,79	-3,86	26,06	6,06	13,45	12,121
2,82	-3,88	27,53	7,53	15,87	15,060
2,86	-3,88	28,97	8,97	18,04	17,950
2,87	-3,88	29,95	9,95	19,41	19,910
2,89	-3,88	30,44	10,44	20,06	20,888
2,89	-3,88	30,66	10,66	20,35	21,328
2,90	-3,91	30,91	10,91	20,66	21,812
2,90	-3,88	30,66	10,66	20,35	21,326
2,90	-3,91	30,19	10,19	19,73	20,388
2,89	-3,91	29,21	9,21	18,38	18,428
2,87	-3,91	27,77	7,77	16,24	15,536
2,84	-3,91	26,30	6,30	13,86	12,596
2,81	-3,88	24,85	4,85	11,26	9,706
2,78	-3,88	23,40	3,40	8,36	6,810
2,74	-3,88	21,93	1,93	5,06	3,866
2,72	-3,86	20,98	0,98	2,67	1,951
2,69	-3,88	20,48	0,48	1,36	0,969
2,69	-3,86	20,24	0,24	0,68	0,478
2,68	-3,88	20,00	0,00	0,00	0,000
2,68	-3,86	20,24	0,24	0,68	0,478
2,69	-3,86	20,73	0,73	2,02	1,462
2,71	-3,88	21,69	1,69	4,47	3,379
2,74	-3,88	23,16	3,16	7,85	6,325
2,78	-3,88	24,61	4,61	10,80	9,220
2,81	-3,91	26,06	6,06	13,44	12,111
2,84	-3,93	27,52	7,52	15,86	15,047
2,87	-3,93	28,97	8,97	18,03	17,936
2,89	-3,96	29,94	9,94	19,40	19,890
2,90	-3,93	30,44	10,44	20,05	20,872
2,91	-3,96	30,65	10,65	20,34	21,307
2,92	-3,93	30,90	10,90	20,66	21,801
2,92	-3,96	31,14	11,14	20,96	22,284
2,93	-3,93	31,39	11,39	21,27	22,779
2,96	-3,96	31,87	11,87	21,87	23,744
3,27	-4,11	32,78	12,78	22,94	25,552
3,60	-4,34	34,12	14,12	24,45	28,239
4,13	-4,72	35,38	15,38	25,77	30,764
4,46	-4,98	36,71	16,71	27,08	33,422
4,85	-5,23	37,49	17,49	27,81	34,972
5,06	-5,36	38,17	18,17	28,43	36,346
5,24	-5,48	38,46	18,46	28,68	36,921
5,41	-5,59	39,01	19,01	29,17	38,027

5,57	-5,71	39,51	19,51	29,59	39,026
5,72	-5,81	39,76	19,76	29,80	39,517
6,02	-6,02	40,41	20,41	30,34	40,826
6,29	-6,19	40,91	20,91	30,74	41,819
6,59	-6,35	41,46	21,46	31,18	42,930
6,86	-6,50	41,96	21,96	31,55	43,912
7,13	-6,70	42,66	22,66	32,08	45,317
7,29	-6,80	42,82	22,82	32,20	45,636
7,54	-6,96	43,64	23,64	32,80	47,284
7,85	-7,13	43,92	23,92	33,00	47,831
8,09	-7,26	44,65	24,65	33,51	49,291
8,35	-7,44	45,11	25,11	33,82	50,212
8,62	-7,54	45,46	25,46	34,06	50,924
9,01	-7,72	46,05	26,05	34,45	52,094
9,28	-7,82	46,18	26,18	34,53	52,351
9,61	-7,95	46,89	26,89	34,99	53,781
9,88	-8,05	46,86	26,86	34,97	53,716
10,36	-8,23	47,65	27,65	35,47	55,292
11,09	-8,48	48,38	28,38	35,91	56,750
12,27	-8,78	49,28	29,28	36,45	58,561
13,50	-9,04	50,03	30,03	36,89	60,066
14,77	-9,22	51,82	31,82	37,88	63,633
15,12	-9,27	51,65	31,65	37,79	63,305
15,67	-9,37	51,39	31,39	37,65	62,786
17,78	-9,67	52,27	32,27	38,12	64,531
18,76	-9,82	51,79	31,79	37,87	63,580
19,74	-9,90	51,33	31,33	37,62	62,666



8.3 ANEXO C: ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL

Muestra	Distancia entre puntas (D) [mm]	Ancho promedio [mm]	Fuerza de ruptura [kN]	De [mm]	Índice de Carga Puntual (Is) [MPa]	Factor de Corrección (F)	Índice de Carga Puntual (Is ₅₀) [MPa]
1 Pulgada	13,9	29,95	4,95	23	9,36	0,71	6,6
	15,9	22,67	2,12	21,4	4,63	0,68	3,16
	18,8	18,51	1,41	21,07	3,19	0,68	2,16
	21,7	21,3	3,54	24,23	6,02	0,72	4,35
	23,2	25,61	4,95	27,5	6,55	0,76	5
	12,2	20,8	3,54	17,96	10,97	0,63	6,92
3/8 Pulgada	10,8	9,15	0,14	11,2	1,13	0,51	0,58
	6,8	7,85	0,57	8,23	8,36	0,44	3,71
	10,2	11,81	0,71	12,36	4,63	0,53	2,47
	8	6,38	0,42	8,08	6,5	0,44	2,86
	8,4	8,08	0,42	9,29	4,91	0,47	2,3
	11,9	11,54	0,99	13,22	5,67	0,55	3,12
Malla #4	3,9	4,73	0,11	4,86	4,79	0,35	1,68
	4,3	4,07	0,14	4,73	6,33	0,35	2,19
	5,9	7,22	0,37	7,34	6,83	0,42	2,88
	7	6,55	0,57	7,66	9,65	0,43	4,15
	3,2	5,44	0,28	4,68	12,9	0,34	4,44
	3,6	4,6	0,28	4,56	13,62	0,34	4,64