



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“CARACTERIZACIÓN DE ARENAS SECAS MAL Y BIEN
GRADUADAS BAJO PRUEBAS DE CORTE DIRECTO”**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

JONATÁN MARIO CORTÉS PATIÑO

DIRECTOR DE TESIS:

ING. HÉCTOR ALFREDO LEGORRETA CUEVAS

MÉXICO D.F. 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Me encantaría escribir muchas cosas para mi mamá, mi papá y mi hermano, sólo lo resumiré en estas palabras, que han sido y serán la parte más importante de mi vida, estaré con ustedes siempre y espero nunca defraudarlos.

A mis amigos y gente que he conocido muchas gracias por estar ahí, saben que yo siempre he estado apoyándolos en cualquier cosa que ha estado en mis manos.

También quiero agradecer de gran manera al Ing. Héctor Alfredo Legorreta Cuevas ya que con su conocimiento y total ayuda en la realización de esta tesis así como en las pruebas realizadas estuvo desglosando cada tarea realizada durante este tiempo, también quiero agradecer a todos los que conformaban el laboratorio de Geotecnia “Francisco Zamora Millán” de la Facultad de Ingeniería entre ellos, M. I. Juan Luis Umaña Romero, M. I. Enrique Elizalde Romero, y al laboratorista Sr. Oscar Díaz Silva que estuvieron ahí dándome consejos útiles para la vida profesional.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por darme la oportunidad de formar parte de su comunidad.

A la Facultad de Ingeniería por la formación profesional recibida a lo largo de todo este tiempo.

Gracias a todos

Jonatán Mario Cortés Patiño

ÍNDICE	
INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVO	6
CAPÍTULO I RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE LOS SUELOS	7
1.1 ANTECEDENTES	7
1.1.1 SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS	7
1.1.2 CLASIFICACIÓN MEDIANTE EL SUCS	9
1.1.3 GRANULOMETRÍA	19
1.1.4 DENSIDAD RELATIVA Y LÍMITES DE CONSISTENCIA	24
1.2 RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE LOS SUELOS	30
1.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RESISTENCIA DE SUELOS GRUESOS Y FINOS	32
CAPÍTULO II EQUIPOS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE EN LABORATORIO	38
2.1 TORCÓMETRO, PENETRÓMETRO Y MICRO-VELETA	38
2.2 EQUIPO TRIAXIAL	42
2.2.1 GENERALIDADES	42
2.2.2 EQUIPO EXISTENTE	44
2.2.3 TIPOS DE PRUEBAS	46
2.2.4 RESULTADOS GENERALES OBTENIDOS	49
2.3 EQUIPO DE CORTE DIRECTO	53
2.3.1 GENERALIDADES	53
2.3.2 CLASIFICACIÓN DE ENSAYOS	53
2.3.3 ANÁLISIS DEL ENSAYE. LEY DE COULOMB. ECUACIÓN DE RESISTENCIA	55
2.3.4 COMPONENTES DE LA RESISTENCIA AL CORTE	57
2.3.5 ENSAYE DE CORTE DIRECTO	58
CAPÍTULO III MATERIAL UTILIZADO	72
3.1 MATERIALES UTILIZADOS	72
3.2 GRANULOMETRÍA	73
3.3 CLASIFICACIÓN SUCS	82
3.4 PROPIEDADES ÍNDICE	84
CAPÍTULO IV ENSAYES REALIZADOS	113
4.1 ESTADO SUELTO	113
4.2 ESTADO DENSO	118
CAPÍTULO V PROCESO DE RESULTADOS	122

CAPÍTULO VI ANÁLISIS DE RESULTADOS	187
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	213
BIBLIOGRAFÍA.....	217
ANEXO	219

Introducción

Durante la historia se ha necesitado hacer un constante estudio del suelo como parte de la expansión de la población mundial y la mejora del bienestar social. Como consecuencia inmediata, surge la necesidad de investigar el comportamiento del suelo para ser usado como material de construcción o base de sustentación para las obras de ingeniería.

La importancia de los estudios de la mecánica de suelos radica en el hecho de que si se sobrepasa los límites de la capacidad resistente del suelo o si, aún sin llegar a esta, las deformaciones son considerables, se pueden producir esfuerzos secundarios en los miembros estructurales, quizás no tomados en consideración en el diseño, produciendo a su vez deformaciones importantes, fisuras, grietas, alabeo o desplomes que pueden producir, en casos extremos, el colapso de la obra o su inutilización y abandono.

En consecuencia, las condiciones del suelo como elemento de sustentación, construcción y las del cimiento como dispositivo de transición entre este y la estructura, han de ser siempre observadas, aunque esto se haga en proyectos pequeños fundados sobre suelos normales a la vista de datos estadísticos y experiencias locales, y en proyectos de mediana a gran importancia o en suelos dudosos, infaliblemente, a través de una correcta investigación geotécnica.

Así podemos llegar a que la ingeniería geotécnica se interesa por la estabilidad del suelo, por su deformación y por el flujo de agua, hacia su interior, hacia el exterior y a través de su masa, tomando en cuenta que resulte económicamente factible usarlo como material de construcción.

Por lo tanto a nosotros como profesionistas nos interesa identificar y determinar la conveniencia de usar el suelo como material para construir rellenos en caminos, canales de conducción y distribución de los sistemas de riego, obras hidráulicas, aeropuertos, edificios, presas, entre otros.

Para esto es necesario obtener muestras representativas del suelo que se someten a pruebas de laboratorio, tomando en cuenta que los ensayos se realizan sobre pequeñas muestras de todo el país, es necesario emplear algún método estadístico para estimar la viabilidad técnica de los resultados.

También un ingeniero determinara a corto, mediano y largo plazo las características de carga-deformación de rellenos naturales o compactados, que soportan cualquier construcción o como estructura de suelo, con ello el constante incremento de los niveles de seguridad requeridos en las distintas obras civiles y las implicaciones financieras que conlleva, han creado la necesidad de observar el desempeño del suelo para las estructuras frente a las acciones o cargas cotidianas y frente a eventos extraordinarios tales como sismos, huracanes, inundaciones, etc.

La implementación de mas estudios de suelo se ha convertido en una alternativa práctica en la evaluación continua del rendimiento de las obras de infraestructura, además de complementar eficientemente la inspección visual de las mismas ya que los beneficios que se obtienen; esencialmente en materia de seguridad y economía son cada vez más necesarios.

No obstante, convertir grandes volúmenes de información resultado de los estudios realizados en información útil, representa un gran reto que necesita la aplicación de técnicas especiales de procesamiento de datos. En este campo se ha concentrado las investigaciones en diversas partes del mundo en las últimas décadas.

A través de seis capítulos se explica de forma clara y sencilla los conceptos necesarios para el análisis de la resistencia del suelo en materiales arenosos. Se busca que en el transcurso de la lectura se adquieran las habilidades necesarias para formar una visión clara en su aplicación en el campo real.

Para ello, en el primer capítulo se expone de manera general el tema de resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, y dentro de sus antecedentes se mencionan las herramientas para clasificar un suelo, por ejemplo, los diferentes tamaños de granos y que conforme a los análisis granulométricos se puede identificar si es una grava, arena, limo o arcilla, posteriormente existen Sistemas de Clasificación como AASHTO y el ocupado en este trabajo de tesis, el Sistema USCS (por sus siglas en inglés Unified Soil Classification System) o usualmente conocido como Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) , así como los límites de consistencia. Además se mencionan los factores físicos que existen en las partículas que influyen en la resistencia de suelos tanto de suelos gruesos como de suelos finos y como todos estos factores son importantes como parte determinante de un buen estudio para saber el comportamiento del suelo.

En el segundo capítulo se consideran los equipos que se ocupan para determinar la resistencia al esfuerzo cortante en laboratorio, posteriormente se hace un enfoque de los pasos a seguir en el equipo triaxial para determinar esfuerzos principales en una muestra cilíndrica donde se somete a presión de confinamiento en todas de sus caras, así como los diferentes pruebas CD, CU y UU. En el equipo de corte directo se hace mención sobre las deformaciones en el suelo que pueden ocurrir de tres maneras, por deformación elástica de las partículas, por cambio de volumen en el suelo como consecuencia de la evaluación del líquido existente en los vacíos entre las partículas y por el deslizamiento de las partículas, que pueden conducir al deslizamiento de una gran masa de suelo; se menciona la aplicación de la Ley de Coulomb para ambos equipos y los parámetros obtenidos.

En el capítulo tres se presentan las cuatro muestras de suelo utilizados durante esta tesis, así como las propiedades índice y las actividades adicionales realizadas para la determinación de dichas propiedades desde la preparación del material, la calibración de matraces para generar la curva de calibración así como los pasos correspondientes para el análisis granulométrico y la clasificación con respecto al tema uno pero de las cuatro muestras ensayadas, además de ayudar a la correcta interpretación de resultados.

El capítulo cuatro, por su parte, entra de lleno a la aplicación de la metodología del equipo de corte directo para las cuatro muestras ensayadas, en el estado suelto y el estado denso. Se exponen de forma práctica los pasos a seguir en el modelado de series de datos con las consideraciones más importantes que se deben tomar en cuenta.

En el capítulo cinco, se presentan todos los resultados de las pruebas realizadas en el laboratorio con el equipo de corte directo, ya presentados de forma adecuada y con la cual se podrá observar de manera más clara lo sucedido.

En el capítulo seis, utilizan los resultados ya presentados en el capítulo cinco considerando a detalle cada dato obtenido ya sea en tabla, curvas y acompañadas de los primeros temas se hace una consideración de cada muestra de suelo.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas del desarrollo de este trabajo escrito referentes a la aplicación durante los ensayos realizados en el equipo de corte directo.

Objetivo

El objetivo del presente trabajo es llevar a cabo la caracterización de suelos granulares bajo la acción de una carga normal y horizontal, produciendo deformaciones en ambas direcciones y determinar así la resistencia al esfuerzo cortante. Los resultados obtenidos servirán para proponer o estimar el comportamiento de otros materiales granulares, para llevar a cabo esta investigación se utilizó el aparato de corte directo, ubicado en el Laboratorio de Geotecnia de la Facultad de Ingeniería, UNAM.

I

Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos

1.1 Antecedentes

1.1.1 Sistemas de clasificación de los suelos

En cualquier suelo los tamaños de los granos varían dependiendo de su origen geológico. Para clasificar apropiadamente un suelo se debe conocer su distribución granulométrica. La distribución de suelo grueso es generalmente determinada mediante análisis granulométrico por mallas. Para un suelo fino, se pueden utilizar estas mismas, pero el tamaño de partícula es tan pequeño que es necesario el uso del hidrómetro.

Un análisis granulométrico se efectúa tomando una cantidad medida de suelo seco, bien disgregado y haciéndolo pasar por una serie de mallas con aberturas cada vez más pequeñas y con una charola en el fondo y tapa en la superior las cuales no debemos olvidar y evitar pérdidas de material. La cantidad de suelo retenido en cada una de ellas se pesa y el por ciento acumulado de suelo que pasa a través es determinado. Este porcentaje es generalmente denominado el “porcentaje que pasa”.

Diversas organizaciones que estudian aspectos relacionados con el suelo han elaborado sistemas de clasificación para identificar el tamaño de las partículas de un suelo para sus propósitos específicos. En la tabla 1.1 se muestran algunos de los sistemas más conocidos empleados por estas organizaciones para identificar las partículas del suelo.

Por lo tanto de acuerdo al tamaño predominante de partículas que contenga el suelo, los suelos generalmente son llamados: grava, arena, limo, arcilla o una mezcla de ellos:

NOMBRE DE LA ORGANIZACIÓN	TAMAÑO DE PARTÍCULAS en mm			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Massachusetts Institute of Tecnology (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	< 0.002
U.S. Department of Agriculture (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	< 0.003
American Association of State Highway and Transportation (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	< 0.004
Unified Soil Clasificación System (USCS)	75 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (limos y arcillas) <0.075	

Tabla 1.1 Sistemas para identificar el tamaño de partículas del suelo (Das, 1998).

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) ha sido adoptado como el estándar por la ASTM (American Society for Testing and Materials) y el reglamento que esta sociedad ha desarrollado para el análisis y estudio del suelo es aceptado a nivel internacional.

Debido a la gran variedad de suelos que pueden encontrarse en la corteza terrestre se han desarrollado varios sistemas de clasificación, elaborados de acuerdo a la aplicación que se les da a los mismos. El clasificar un suelo consiste en agrupar al mismo en grupos y/o subgrupos de suelos que presentan un comportamiento semejante con propiedades ingenieriles similares.

En el siguiente subcapítulo se analizarán el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), pero también existe el sistema de clasificación AASHTO, que son los sistemas de clasificación más utilizados por la mayor parte de los ingenieros de todo el mundo.

El sistema de clasificación AASHTO está especialmente hecho para la construcción de carreteras, en cambio el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS, no está limitado a ninguna clase de proyectos en particular y es usado para toda la gama de obras civiles. Tanto el SUCS como el AASHTO consideran como suelo (conjunto de partículas sólidas, con líquido y agua en sus poros) a la parte que pasa por malla o tamiz de 3" (76.2 mm), ya que las partículas más grandes a este diámetro son consideradas como partículas aisladas que ya no forman parte del suelo.

1.1.2 Clasificación mediante el SUCS

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS (USCS por sus siglas en inglés Unified Soil Classification System), designación ASTM D-2487, originalmente fue desarrollado por A. Casagrande (1948) para la construcción de aeródromos durante la segunda guerra mundial. Este sistema de clasificación fue posteriormente modificado en 1952 por el mismo autor y el cuerpo de ingenieros de la armada de los Estados Unidos quienes hicieron que este sistema sea más aplicable a los propósitos ingenieriles, es decir, ya no fue solo aplicable al campo de la aviación. Este sistema de clasificación actualmente goza de amplia aceptación y es el preferido por la mayor parte de los ingenieros en todo el mundo.

El sistema de clasificación SUCS está basado en la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad. Este sistema de clasificación también se basa en la gráfica de plasticidad, que fue obtenida por medio de investigaciones realizadas en laboratorio por A. Casagrande (1932).

El SUCS clasifica en cuatro principales categorías, cada una de estas categorías usa un símbolo que define la naturaleza del suelo:

- **Suelos de grano grueso.** Son de naturaleza tipo grava y arena con menos del 50% pasando por el tamiz N° 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo G para la grava o suelo con grava del inglés —Gravel y S para la arena o suelo arenoso del inglés —Sand .
- **Suelos de grano fino.** Son aquellos que tienen 50% o más pasando por el tamiz N° 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M para limo inorgánico del sueco —"mo y mjala", C para arcilla inorgánica del inglés—Clay .
- **Suelos orgánicos.** Son limos y arcillas que contienen materia orgánica importante, a estos se los denomina con el prefijo O del inglés —Organic .
- **Turbas.** El símbolo Pt se usa para turbas del inglés "peat", lodos y otros suelos altamente orgánicos.

Presenta las siguientes definiciones, según el tamaño y naturaleza de las partículas del suelo:

- **Cantos rodados.** Partículas de roca que no pasan una malla con abertura cuadrada de 12" (300 mm).
- **Guijarros.** Partículas de roca que pasan una malla con abertura cuadrada de 12" (300 mm) y quedan retenidas en un tamiz de 3" (76.20 mm).
- **Grava.** Partículas de roca que pasan el tamiz de 3" (76.20 mm) y quedan retenidas en el tamiz N° 4 (4.75 mm), con las siguientes subdivisiones:
 - **Gruesa.** Partículas que pasan el tamiz de 3" (76.20 mm) y quedan retenidas en el tamiz de ¾" (19 mm.).

- **Fina.** Partículas que pasan el tamiz de $\frac{3}{4}$ " (19 mm) y quedan retenidas en el tamiz N° 4 (4.75 mm).
- **Arena.** Partículas de roca que pasan el tamiz N° 4 (4.75 mm) y son retenidas en el tamiz N° 200 (0.075mm), con las siguientes subdivisiones:
 - **Gruesa.** Partículas que pasan el tamiz N° 4 (4.75 mm) y son retenidas en el tamiz N°10 (2 mm).
 - **Media.** Partículas que pasan al tamiz N° 10 (2 mm) y son retenidas en el tamiz N° 40 (0.425 mm).
 - **Fina.** Partículas que pasan el tamiz N° 40 (0.425 mm) y son retenidas en el tamiz N° 200 (0.075 mm).
- **Arcilla.** Suelo que pasa por el tamiz N° 200 (0.075 mm), el cual exhibe plasticidad dentro de un cierto intervalo de humedad, pero que muestra considerable resistencia cuando se seca al aire. Para su clasificación, una arcilla es un suelo de grano fino, o la porción fina de un determinado suelo, con propiedades plásticas.
- **Limo.** Suelo que pasa el tamiz N° 200 (0.075 mm), de naturaleza no-plástica o ligeramente plástica y que exhibe poca o ninguna resistencia cuando se seca al aire. Para su clasificación, un limo es un suelo de grano fino o la porción fina de un determinado suelo, con ninguna o muy poca plasticidad.
- **Arcilla Orgánica.** Es una arcilla con suficiente contenido de materia orgánica como para influir en las propiedades del suelo. Para su clasificación, una arcilla orgánica es un suelo que es clasificado como arcilla, excepto que el valor de su límite líquido después de secado en el horno es menor que el 75% de este valor antes de ser secado.
- **Limo Orgánico.** Es un limo con suficiente contenido de materia orgánica como para influir en las propiedades del suelo. Para su clasificación, un limo orgánico es un suelo que es clasificado como limo, excepto que el valor de su límite líquido después de secado en el horno es menor que el 75% de este valor antes de ser secado.
- **Turba.** Es un suelo compuesto principalmente de materia vegetal en diferentes estados de descomposición, usualmente con olor orgánico, color entre marrón oscuro a negro, consistencia esponjosa, y textura que varía de fibrosa hasta amorfa.

Para este sistema de clasificación son también usados sufijos que identifican algunas características particulares del suelo:

W. Bien gradado del inglés —Well graded

P. Mal gradado del inglés —Poorly graded

L. Baja plasticidad, límite líquido menor a 50%, del inglés —Low plasticity

H. Alta plasticidad, límite líquido mayor o igual a 50%, del inglés —High plasticity

Con los prefijos y sufijos anteriormente mencionados se pueden hacer combinaciones que ayudan a describir de mejor manera el suelo en cuestión, por ejemplo a una arena S, si tuviera la característica de estar bien graduada será SW, de la misma manera un limo M, con una alta plasticidad se tendrá un símbolo MH.

Un símbolo doble

Corresponde a dos símbolos separados por un guión, GP-GM, SW-SC, CL-ML, los cuales se usan para indicar que el suelo tiene propiedades de dos grupos. Estos se obtienen cuando el suelo tiene finos entre 5 y 12% o cuando las coordenadas del límite líquido y el índice de plasticidad caen en el área sombreada CL-ML de la carta de plasticidad. La primera parte del doble símbolo indica si la fracción gruesa es pobremente o bien gradada. La segunda parte describe la naturaleza de los finos. Por ejemplo un suelo clasificado como un SP-SM significa que se trata de una arena pobremente gradada con finos limosos entre 5 y 12%. Similarmente un GW-GC es una grava bien gradada con algo de finos arcillosos que caen encima la línea A.

Un símbolo de frontera

Corresponde a dos símbolos separados por el símbolo divisorio (/) y deberá usarse para indicar que el suelo cae muy cerca de la línea de división entre dos símbolos de grupo. En estos casos es aceptable el uso de ambos símbolos en la clasificación, con el símbolo de grupo “correcto” por delante seguido del símbolo de grupo “casi correcto”. Por ejemplo, una combinación de arena – arcilla con ligeramente un poco menos del 50% de arcilla podría ser identificada como SC/CL, de la misma manera pasa con otros tipos de suelos como por ejemplo CL/CH, GM/SM.

Carta de plasticidad. Línea “U”

Mostrada en la figura 1.1 ha sido determinada empíricamente en base a análisis de suelos extremos, para ser el —límite superior de suelos naturales, por lo que no deberían obtenerse resultados por encima de esta línea. Esta línea es una buena manera de comprobar que los datos no sean erróneos y algunos resultados de ensayos que caigan arriba o a la izquierda deben ser verificados. La ecuación de la línea U es:

$$IP = 0.9 \cdot (LL - 8) \dots\dots\dots [1.1]$$

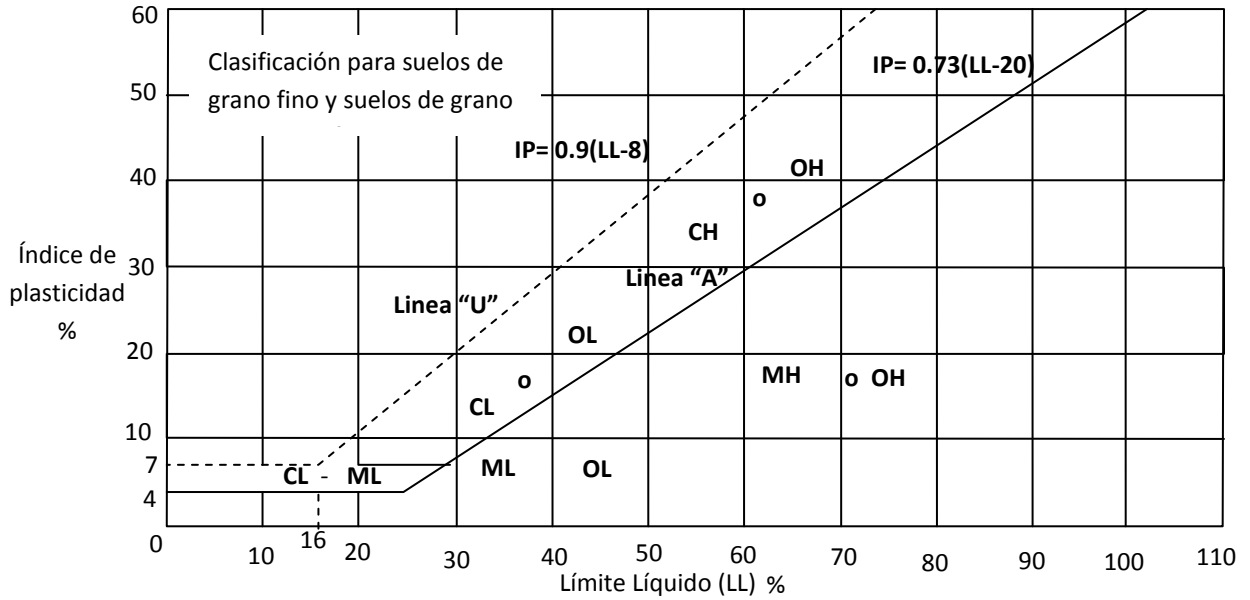


Figura 1.1 Carta de plasticidad. (Norma ASTM, 2003).

- En casos donde el límite líquido excede de 110% o el índice de plasticidad excede de 60%, la gráfica de plasticidad puede ser expandida pero manteniendo igual escala en ambos ejes y extendiendo la línea —A con la misma pendiente, ver figura 1.1. La ecuación de la línea A es:

$$IP = (0.73) (LL - 20) \dots\dots\dots [1.1]$$

- Este sistema de clasificación solo considera la porción que pasa a través del tamiz de 3" (75 mm) para la realización de los ensayos de clasificación en laboratorio. Las partículas mayores a este diámetro deberán ser retiradas de la muestra a ensayar en laboratorio, pero el porcentaje de estas partículas debe ser anotado y colocado en los resultados finales de la clasificación.
- El índice de plasticidad y el límite líquido son determinados con material que pasa el tamiz de No. 40 (0.425 mm).
- La línea de división entre el bajo y alto límite líquido es tomada arbitrariamente como 50%, ver figura 1.1.
- Puede ser necesario una extrapolación lineal en la curva de distribución de tamaño de partículas para obtener el diámetro efectivo, D_{10} .

Procedimiento para la clasificación de suelos

Para clasificar un suelo por el sistema unificado se tiene que proceder de la siguiente manera:

1. Determinar si el suelo es altamente orgánico (turba), en tal caso es clasificado por inspección visual como Pt (tabla 2.1). Este tipo de suelo trae muchos problemas a los ingenieros, por su alta compresibilidad y muy baja resistencia al corte, pero es muy fácil de identificar según a sus siguientes características notorias:
 - Compuesto principalmente de material orgánico (material fibroso).
 - Color café oscuro, gris oscuro, o color negro.
 - Olor orgánico, especialmente cuando esta húmedo.
 - Consistencia suave.

Para todos los demás suelos se procede de la siguiente manera:

2. Determinar los ensayos en laboratorio de tamizado, límite líquido e índice de plasticidad.
3. Del análisis granulométrico se debe determinar el porcentaje que pasa por los tamices de 3" (76.2 mm), No. 4 (4.75 mm) y No. 200 (0.075 mm).
4. A partir de los porcentajes que pasan por los tamices, se puede hallar el porcentaje retenido en cada tamiz de la siguiente manera:

$$R_{200} = 100 - F_{200}$$

$$R_4 = 100 - F_4$$

$$R_{3''} = 100 - F_{3''}$$

5. Si el 100% del total de la muestra pasa por el tamiz de 3" (76.2 mm), ir al paso 6, caso contrario calcular el porcentaje de material retenido o con diámetro mayor a este tamiz y al final del ensayo de clasificación anotar junto al resultado el porcentaje de este material retenido (cantos rodados y/o guijarros) incluyendo el tamaño máximo de partícula.
6. Determinar si el peso retenido en el tamiz No. 200 (R_{200}) es mayor, menor o igual al 50% del peso total de la muestra seca:

Si:

$R_{200} > 50$ Entonces se tiene un suelo de grano grueso, ir al paso 7.

$R_{200} \leq 50$ Entonces se tiene un suelo de grano fino, ir al paso 9.

7. Si el suelo es de grano grueso, se debe determinar si la relación entre el porcentaje de suelo retenido en el tamiz No.4 y el tamiz No. 200 es mayor, menor o igual a 0.5:

Si:

$$\frac{R_4}{R_{200}} > 0.5 \quad \text{El suelo con grava}$$

$$\frac{R_4}{R_{200}} \leq 0.5 \quad \text{El suelo con arena}$$

A partir de los resultados de laboratorio se determinan todos los valores de los parámetros requeridos en la tabla 1.2 para poder clasificar el suelo, como por ejemplo el coeficiente de gradación o curvatura, coeficiente de uniformidad, límite líquido e índice de plasticidad y en el suelo que se ajuste a todos los criterios es el símbolo de grupo correcto.

Si el suelo es de grano fino a partir de los resultados en laboratorio del límite líquido e índice de plasticidad se procede a clasificar el suelo según la tabla 1.2 y en el suelo que se ajuste a todos los criterios es el símbolo de grupo correcto.

La designación ASTM D-2487 además creó un sistema para asignar *nombres de grupo* a los suelos, esto con el fin de dar una identificación más precisa a los suelos clasificados.

Estos nombres de grupo están reunidos en las tablas 1.4, 1.5, 1.6, 1.7 y son explicadas a continuación:

- Para suelos con grava, ir a la tabla 1.3 para encontrar el nombre de grupo.

Donde:

$$SF = \text{fracción de arena} = R_{200} - GF$$

$$GF = \text{fracción de grava} = R_4$$

- Para suelos con arena, ir a la tabla 1.4 para encontrar el nombre de grupo.
- Para suelos finos inorgánicos, ir a la tabla 1.5 para encontrar el nombre de grupo.
- Para suelos finos orgánicos, ir a la tabla 1.6 para encontrar el nombre de grupo.

Una vez ya clasificado el suelo, es decir ya hallado el símbolo y nombre de grupo adecuados, el reporte debe incluir el nombre de grupo, símbolo de grupo y los resultados de los ensayos de laboratorio. En la distribución del tamaño de partículas deben estar los porcentajes de grava, arena y finos. El informe se coloca de la siguiente manera; primero se pone el símbolo de grupo correspondiente al suelo entre de la paréntesis, seguido del nombre de grupo y demás resultados, como por ejemplo para un suelo clasificado con un símbolo de grupo GC, y un nombre de grupo, grava arcillosa con arena, pero con una considerable cantidad de guijarros en la muestra de suelo inicial, se escribirá de la siguiente manera:

Suelo (GC)Grava arcillosa con arena y guijarros.

División Principal	Criterios	Símbolo de Grupo
Suelo de grano grueso, $R_{200} > 50$		
Suelo con grava $R_4 > 0.5 R_{200}$	$F_{200} < 5, C_U \geq 4, 1 \leq C_z \leq 3$	GW
	$F_{200} < 5, C_U < 4$ y/o C_z no entre 1 y 3.	GP
	$F_{200} > 12, IP < 4$, o Límites de Atterberg debajo de la línea A (Figura 1.1)	GM
	$F_{200} > 12, IP > 7$, y Límites de Atterberg en o arriba de la línea A (Figura 1.1)	GC
	$F_{200} > 12, LL < 50, 4 \leq IP \leq 7$ y Límites de Atterberg en o arriba de la línea A (Figura 1.1)	GC-GM ^a
	$5 \leq F_{200} \leq 12$; cumple los criterios de gradación de GW y los criterios de plasticidad de GM.	GW-GM ^a
	$5 \leq F_{200} \leq 12$; cumple los criterios de gradación de GW y los criterios de plasticidad de GC.	GW-GC ^a
Suelo arenoso, $R_4 \leq 0.5 R_{200}$	$F_{200} < 5, C_U \geq 6, 1 \leq C_z \leq 3$	SW
	$F_{200} < 5, C_U \geq 4$ y/o C_z no entre 1 y 3.	SP
	$F_{200} > 12, IP < 4$, o Límites de Atterberg debajo de la línea A (Figura 2.1)	SM
	$F_{200} > 12, IP > 7$, y Límites de Atterberg en o arriba de la línea A (Figura 1.1)	SC
	$F_{200} > 12, LL < 50, 4 \leq IP \leq 7$ y Límites de Atterberg en o arriba de la línea A.	SC-SM ^a
	$5 \leq F_{200} \leq 12$; cumple los criterios de gradación de SW y los criterios de plasticidad de SM.	SW-SM ^a
	$5 \leq F_{200} \leq 12$; cumple los criterios de gradación de SW y los criterios de plasticidad de SC.	SW-SC ^a
Suelo limoso y arcilloso, $LL < 50$	$IP < 4$, o Límites de Atterberg debajo de la línea A (Figura 1.1)	ML
	$IP > 7$, y Límites de Atterberg en o arriba de la línea A (Figura 1.1)	CL
	$4 \leq IP \leq 7$ y Límites de Atterberg arriba de la línea A (Figura 1.1)	CL-ML ^a
Suelo limoso y arcilloso, $LL \geq 50$	Límites de Atterberg debajo de la línea A (Figura 1.1)	MH
	Límites de Atterberg en o arriba de la línea A (Figura 1.1)	CH
Suelo de grano fino (orgánico)		
Limo orgánico y arcilla, $LL < 50$	$\frac{LL_{\text{no secado en horno}}}{LL} < 0.75$	OL
	$\frac{LL_{\text{secado en horno}}}{LL} < 0.75$	OH
Limo orgánico y arcilla, $LL \geq 50$	$\frac{LL_{\text{no secado en horno}}}{LL} < 0.75$	OH
	$\frac{LL_{\text{secado en horno}}}{LL} < 0.75$	Pt
Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos.		

Nota: F_{200} = Por ciento que pasa por el tamiz N° 200; R_{200} = Por ciento retenido en el tamiz N° 200 ($R_{200} = 100 - F_{200}$); R_4 = Por ciento retenido en el tamiz N° 4 ($R_4 = 100 - F_4$); C_U = Coeficiente de uniformidad (D_{60} / D_{10}); C_z = Coeficiente de gradación ($D_{30}^2 / D_{60} \cdot D_{10}$); LL = Límite líquido; IP = Índice de plasticidad ($IP = LL - LP$), LP = Límite plástico.

a: Casos de frontera y de clasificación doble.

Tabla 1.2. Símbolos de grupo para la clasificación de suelos según el sistema Unificado

Símbolo de grupo	Criterio SF (%)	Nombre de grupo
GW	< 15	Grava bien gradada
	≥ 15	Grava bien gradada con arena
GP	< 15	Grava pobremente gradada
	≥ 15	Grava pobremente gradada con arena
GM	< 15	Grava limosa
	≥ 15	Grava limosa con arena
GC	< 15	Grava arcillosa
	≥ 15	Grava arcillosa con arena
GC-GM	< 15	Grava limo arcillosa
	≥ 15	Grava limo arcillosa con arena
GW-GM	< 15	Grava bien gradada con limo
	≥ 15	Grava bien gradada con limo y arena
GW-GC	< 15	Grava bien gradada con arcilla
	≥ 15	Grava bien gradada con arcilla y arena
GP-GM	< 15	Grava pobremente gradada con limo
	≥ 15	Grava pobremente gradada con limo y arena
GP-GC	< 15	Grava pobremente gradada con arcilla
	≥ 15	Grava pobremente gradada con arcilla y arena

Nota: Fracción de arena = porcentaje del suelo que pasa el tamiz No. 4 pero es retenido por el tamiz No. 200 = $R_{200} - R_4$;
fracción de grava = porcentaje de suelo que pasa el tamiz de 3 [in]. Pero es retenido por el tamiz No. 4 = R_4 .

Tabla 1.3 Nombres de grupo para gravas

Símbolo de grupo	Criterio GF (%)	Nombre de grupo
SW	< 15	Arena bien gradada
	≥ 15	Arena bien gradada con grava
SP	< 15	Arena pobremente gradada
	≥ 15	Arena pobremente gradada con grava
SM	< 15	Arena limosa
	≥ 15	Arena limosa con grava
SC	< 15	Arena arcillosa
	≥ 15	Arena arcillosa con grava
SM-SC	< 15	Arena limosa arcillosa
	≥ 15	Arena limosa arcillosa con grava
SW-SM	< 15	Arena bien gradada con limo
	≥ 15	Arena bien gradada con limo y grava
SW-SC	< 15	Arena bien gradada con arcilla
	≥ 15	Arena bien gradada con arcilla y grava
SP-SM	< 15	Arena pobremente gradada con limo
	≥ 15	Arena pobremente gradada con limo y grava
SP-SC	< 15	Arena pobremente gradada con arcilla
	≥ 15	Arena pobremente gradada con arcilla y grava

Tabla 1.4 Nombres de grupo para suelos arenosos

Símbolo de Grupo	R₂₀₀	SF/GF	GF SF	Nombre de Grupo
CL	15 a 29	≥1		Arcilla magra
		<1		Arcilla magra con arena
	≥30	≥1	<15	Arcilla magra con grava
		≥1	≥15	Arcilla magra arenosa
		<1	<15	Arcilla magra arenosa con grava
		<1	≥15	Arcilla magra gravosa
ML	<15			Limo
	15 a 29	≥1		Limo con arena
		<1		Limo con grava
	≥30	≥1	<15	Limo arenoso
		≥1	≥15	Limo arenoso con grava
		<1	<15	Limo con grava
<1		≥15	Limo con grava con arena	
CL-ML	<15			Arcilla limosa
	15 a 29	≥1		Arcilla limosa con arena
		<1		Arcilla limosa con grava
	≥30	≥1	<15	Arcilla limosa arenosa
		≥1	≥15	Arcilla limosa arenosa con grava
		<1	<15	Arcilla limosa gravosa
<1		≥15	Arcilla limosa gravosa con arena	
CH	<15			Arcilla grasa
	15 a 29	≥1		Arcilla grasa con arena
		<1		Arcilla grasa con grava
	≥30	≥1	<15	Arcilla grasa arenosa
		≥1	≥15	Arcilla grasa arenosa con grava
		<1	<15	Arcilla grasa gravosa
<1		≥15	Arcilla grasa gravosa con arena	
MH	<15			Limo elástico
	15 a 29	≥1		Limo elástico con arena
		<1		Limo elástico con grava
	≥30	≥1	<15	Limo elástico arenoso
		≥1	≥15	Limo elástico arenoso con grava
		<1	<15	Limo elástico con grava
<1		≥15	Limo elástico con grava con arena	

Nota: R₂₀₀ = porcentaje de suelo retenido sobre el tamiz No. 200; fracción de arena = porcentaje del suelo que pasa el tamiz No. 4 pero retenidos sobre el tamiz No. 200 = R₂₀₀ - R₄; fracción de grava = porcentaje del suelo que pasa el tamiz de 3" pero retenido sobre el tamiz No. 4 = R₄.

Tabla 1.5 Nombres de grupo para suelos finos inorgánicos

Criterio							
Símbolo de grupo	Plasticidad	R ₂₀₀	SF / GF	GF (%)	SF (%)	Nombre de Grupo	
OL	IP _{NOD} ≥ 4	<15				Arcilla orgánica	
		15 a 29	≥1			Arcilla orgánica con arena	
	IP _{NOD} ≥ 0.73x (LL _{NOD} - 20)	<15		<1			Arcilla orgánica con grava
		15 a 29	≥1	<15			Arcilla orgánica arenosa
		15 a 29	≥1	≥15			Arcilla orgánica arenosa con grava
		15 a 29	≥1	<15	<15		Arcilla orgánica gravosa
		15 a 29	≥1	≥15	<15		Arcilla orgánica gravosa con arena
		15 a 29	≥1	<15	≥15		
OL	IP _{NOD} < 4	<15				Limo orgánico	
		15 a 29	≥1			Limo orgánico con arena	
	IP _{NOD} < 0.73x (LL _{NOD} - 20)	<15		<1			Limo orgánico con grava
		15 a 29	≥1	<15			Limo orgánico arenoso
		15 a 29	≥1	≥15			Limo orgánico arenoso con grava
		15 a 29	≥1	<15	<15		Limo orgánico con grava
		15 a 29	≥1	≥15	<15		Limo orgánico con grava y arena
		15 a 29	≥1	<15	≥15		
OH	IP _{NOD} ≥ 0.73x (LL _{NOD} - 20)	<15				Arcilla orgánica	
		15 a 29	≥1			Arcilla orgánica con arena	
	IP _{NOD} ≥ 0.73x (LL _{NOD} - 20)	<15		<1			Arcilla orgánica con grava
		15 a 29	≥1	<15			Arcilla orgánica arenosa
		15 a 29	≥1	≥15			Arcilla orgánica arenosa con grava
		15 a 29	≥1	<15	<15		Arcilla orgánica gravosa
		15 a 29	≥1	≥15	<15		Arcilla orgánica gravosa con arena
		15 a 29	≥1	<15	≥15		
OH	IP _{NOD} < 0.73x (LL _{NOD} - 20)	<15				Limo orgánico	
		15 a 29	≥1			Limo orgánico con arena	
	IP _{NOD} < 0.73x (LL _{NOD} - 20)	<15		<1			Limo orgánico con grava
		15 a 29	≥1	<15			Limo orgánico arenoso
		15 a 29	≥1	≥15			Limo orgánico arenoso con grava
		15 a 29	≥1	<15	<15		Limo orgánico con grava
		15 a 29	≥1	≥15	<15		Limo orgánico con grava y arena
		15 a 29	≥1	<15	≥15		

El subíndice NOD significa —no secado .

Tabla 1.6 Nombres de grupo para suelos finos orgánicos

1.1.3 Granulometría

El análisis granulométrico tiene como objetivo determinar la proporción de los diferentes tamaños que presenta un suelo, es decir, mediante este análisis sabemos qué cantidad de suelo comprende cada intervalo granulométrico. Para realizar este ensayo tomamos la muestra inicial y la separamos de los finos que pasan por la malla No. 200 (0.074mm), de los gruesos se hace el análisis de los granos que pasan la malla No. 4 (4.76 mm) y quedan retenidos en la malla No. 200. Antes la muestra se lava para eliminar las partículas más finas que pueden quedar adheridas en la superficie de los granos esto con el fin de eliminar todos los finos que contienen por origen cada muestra de arena y así poder obtener una curva granulométrica bien definida. Después de haber obtenido las arenas libres de finos, se procede a realizar la granulometría de cada una de ellas tomando primeramente el peso de cada muestra que se va a cribar. La muestra se hace pasar por cada malla iniciando con la No. 4 (correspondientes para arenas) terminando con la charola realizando movimientos circulares en un tiempo de 15 minutos como mínimo para obtener un buen cribado.

Al terminar el cribado se procede a obtener el peso de la muestra que quedó retenida en cada malla, para determinar el porcentaje que pasa en cada una de ellas. Una vez conocida la cantidad de suelo (en peso) que cae en cada intervalo granulométrico, es decir la cantidad de suelo retenida por cada malla, se hace una gráfica donde representamos la cantidad de suelo que pasa en cada malla respecto al tamaño de grano lo que nos da una curva aproximadamente recta en función de las características del suelo. De esta forma suelos con curvas similares tendrán un comportamiento granulométrico similar. La graduación, determinada mediante análisis granulométricos, permite definir a los suelos como: bien o mal graduados, uniformes y de granulometría discontinua.

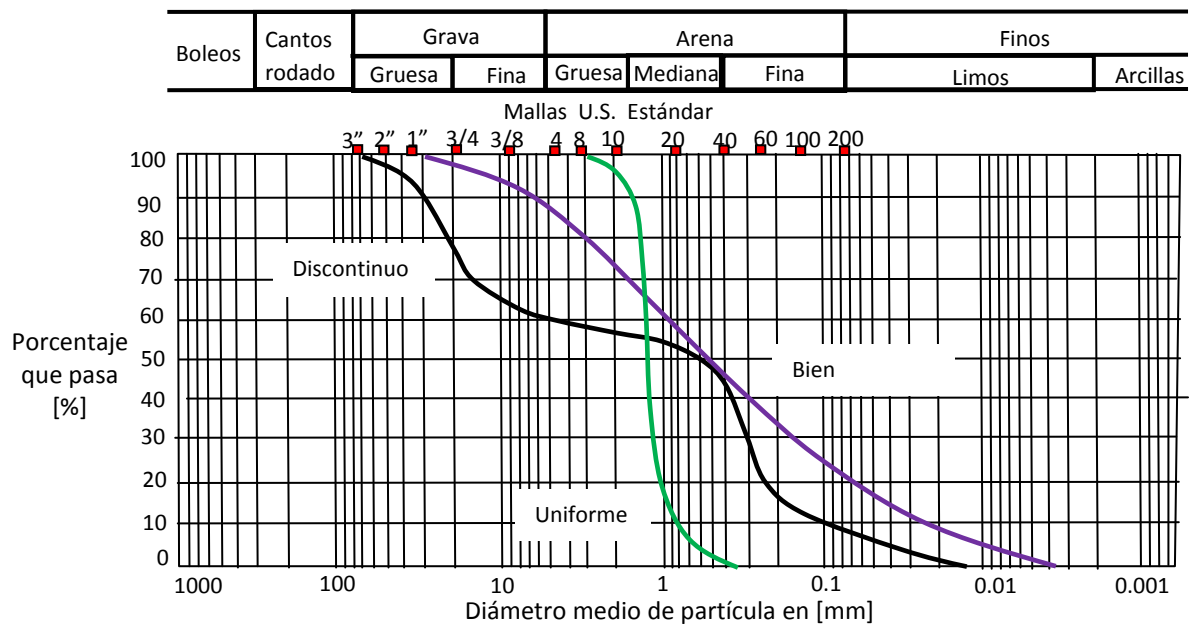


Figura 1.2 Gráfico para la representación de las curvas granulométricas (Fuente: Normas ASTM)

En base a todo lo visto hasta ahora, y en forma sintética se puede decir que tienen dos grupos de suelos:

- Suelos gruesos
- Suelos finos

En lo referente a la graduación, se puede presentar:

- Buena graduación: curva suave
- Graduación discontinua: curva irregular
- Graduación pobre (uniforme): curva discontinua o vertical

Curva de distribución del tamaño de partículas

La muestra de suelo debe ser cribada por lo menos 15 minutos, donde cada tamiz retendrá una fracción de masa de suelo y el plato inferior retendrá las partículas más finas del suelo menores a 0.074 mm para otros propósitos.

De la masa total de suelo una fracción de masa (M_i) será retenida en cada tamiz obteniendo:

$M_1, M_2, M_3, \dots, M_i$.

La masa de la fracción fina de suelo en la charola será: M_c .

El total de la masa de suelo será:

$$M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_i + M_c = \sum M$$

Se determina la masa acumulada de suelo retenida para cada tamiz, para un tamiz i será:

$$M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_i$$

Se determina la masa de suelo que deja pasar cada tamiz. La masa de suelo que deja pasar el tamiz i será:

$$\sum M - (M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_i)$$

Se determina el porcentaje de suelo que deja pasar cada tamiz. El porcentaje de suelo que pasar el tamiz i será:

$$P(\%)_i = \frac{\sum M - (M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_i)}{\sum M} * 100$$

Todos los resultados son registrados ordenadamente en una tabla con los valores del tamaño de las aberturas del tamiz en milímetros ubicados en orden inverso en el eje de las abscisas en escala logarítmica y el porcentaje de la masa de suelo que pasa ubicada en el eje de las ordenadas, se traza la curva de distribución del tamaño de partículas como se muestra en la figura 1.3 y 1.4

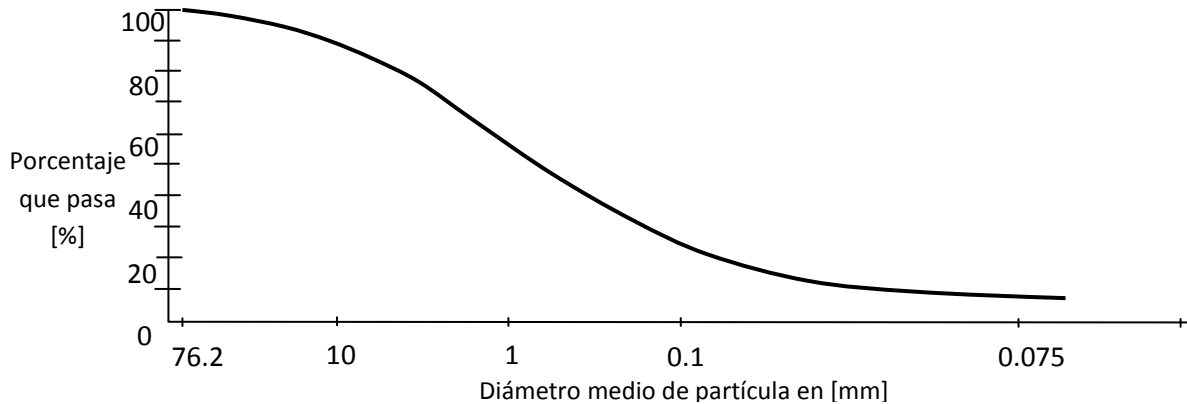


Figura 1.3 Curva de distribución del tamaño de partículas

Parámetros de la Curva de distribución del tamaño de partículas

A partir de la curva de distribución del tamaño de partículas, se puede obtener cantidades en porcentaje de un tamaño de partículas especial que contenga el suelo. El diámetro de la partícula (D_i) se refiere al tamaño del grano aparente de una partícula de suelo y el subíndice que lo acompaña indica la cantidad de partículas en porcentaje más pequeñas que esta. Por ejemplo: $D_{10} = 2$ mm, significa que el 10% de los granos de la muestra son menores de 2 mm. El D_{10} es llamado tamaño efectivo del suelo, este al igual que: D_{60} , D_{30} , D_{25} y D_{75} , son tamaños especiales de las partículas que contiene el suelo para evaluar la distribución del tamaño de partículas del suelo.

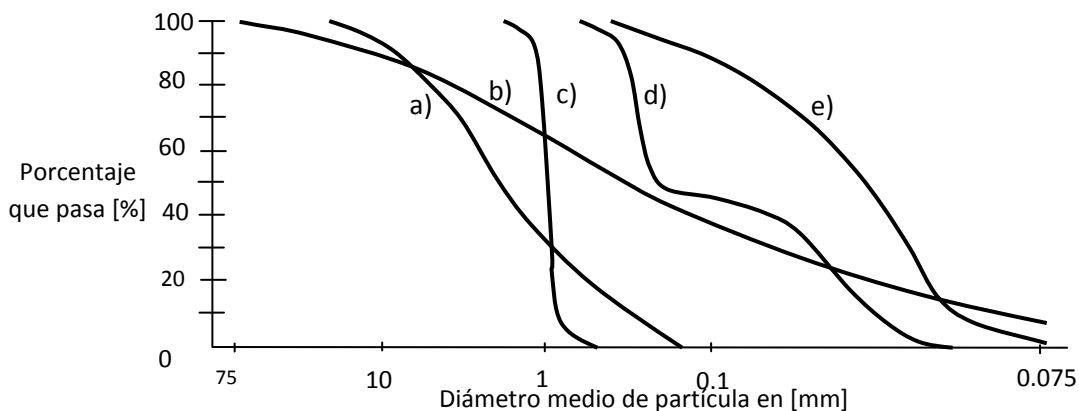


Figura 1.4 Curvas de distribución del tamaño de partículas de cinco suelos (Coduto, 1999). (a) Suelo de grano grueso (grava y arena). (b) Suelo bien gradado con una amplia variedad de tamaños de partícula. (c) Suelo de grano grueso con una reducida variedad de tamaños de partícula. (d) Suelo con tonalidad o gradación hueca, no contiene un cierto rango de tamaños de partícula. (e) Suelo compuesto de partículas finas (limo y arcilla).

a) Coeficiente de uniformidad (C_U).

Este parámetro evalúa el grado de similitud en tamaño de las partículas del suelo, que será:

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Un valor grande de este parámetro indica que las partículas entre D_{60} y D_{10} difieren en gran manera de tamaño, lo que indica desigualdad en relación al tamaño. Un suelo con una distribución uniforme hará que la curva de distribución tienda a ser vertical como en la figura 1.4c, mientras que la desigualdad la hará más horizontal como en la figura 1.4b.

b) Coeficiente de gradación o curvatura (C_C).

Este parámetro evalúa la progresión de la variación en tamaño de las partículas del suelo, que será:

$$C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Los valores de C_C muy alejados a la unidad indican la falta o la poca cantidad de una serie de tamaños de partículas. Una distribución bien gradada hará que la curva de distribución se asemeje a una recta (figura 1.4a, b) y una mala gradación la hará sinuosa o uniforme (figura 1.4c y d).

Símbolo de grupo	Características De compactación	Compresión y expansión	Drenaje y conductividad hidráulica	Valor como material de relleno	Valor como un pavimento, subrasante cuando no hay heladas	Valor como una base granular para pavimento
GW	Bueno	Casi nada	Buen drenaje; permeable	Muy estable	Excelente	Bueno
GP	Bueno	Casi nada	Buen drenaje; permeable	Razonablemente estable	Excelente a bueno	Pobre a regular
GM	Bueno	Pequeño	Pobre drenaje, semipermeable	Razonablemente estable	Excelente a bueno	Regular a pobre
GC	Bueno a regular	Pequeño	Pobre drenaje, semipermeable	Razonablemente estable	Bueno	Bueno a regular No conveniente si está sujeto a heladas
SW	Bueno	Casi nada	Buen drenaje; permeable	Muy estable	Bueno	Regular a pobre
SP	Bueno	Casi nada	Buen drenaje; permeable	Razonablemente estable cuando denso	Bueno a regular	Pobre
SM	Bueno	Pequeño	Poco drenaje; impermeable	Razonablemente estable cuando denso	Bueno a regular	Pobre
SC	Bueno a regular	Pequeño a mediano	Poco drenaje; impermeable	Razonablemente estable	Bueno a regular	Regular a pobre No conveniente si está sujeto a heladas
ML	Bueno a pobre	Pequeño a mediano	Poco drenaje; impermeable	Estabilidad regular Se requiere buena compactación	Regular a pobre	No conveniente
CL	Bueno a regular	Mediano	No hay drenaje; impermeable	Estabilidad buena	Regular a pobre	No conveniente
OL	Bueno a pobre	Mediano a alto	Poco drenaje; impermeable	Inestable No se debería usar	Pobre, no conveniente	No conveniente
MH	Regular a pobre	Alto	Poco drenaje; impermeable	Estabilidad de regular a pobre Se requiere buena compactación	Pobre	No conveniente
CH	Regular a pobre	Muy alto	No hay drenaje; impermeable	Estabilidad regular Expansiones, debilitamientos, contracciones, roturas	Pobre a muy pobre	No conveniente
OH	Regular a pobre	Alto	No hay drenaje; impermeable	Inestable No debería ser usado	Muy pobre	No conveniente
Pt	No conveniente	Muy alto	Regular a pobre drenaje	No debería ser usado	No conveniente	No conveniente

Tabla 1.7 Evaluación de las propiedades del suelo en base al símbolo de grupo. (Coduto, 1999)

1.1.4 Densidad Relativa y Límites de consistencia

La consistencia se define como la firmeza o solidez que presenta una porción del suelo, esta característica particular del suelo está estrechamente relacionada a las estructuras que las partículas del suelo forman entre sí. Para el caso de suelos de grano grueso la textura y la forma de ubicación de las partículas dentro la masa de suelo determina la consistencia, mientras que en los suelos finos el contenido de agua define la consistencia ya que el agua contribuye a la cohesión, debido a las propiedades eléctricas de los minerales de arcilla.

Densidad Relativa (D_r)

Debido a la variedad de formas que tienen las partículas de textura granular en suelos de grano grueso, estas pueden acomodarse de diversas maneras en la masa de suelo, donde para cada caso variará el índice de vacíos. La figura 1.5 muestra una porción de suelo con diferentes formas de reacomodo de sus partículas.

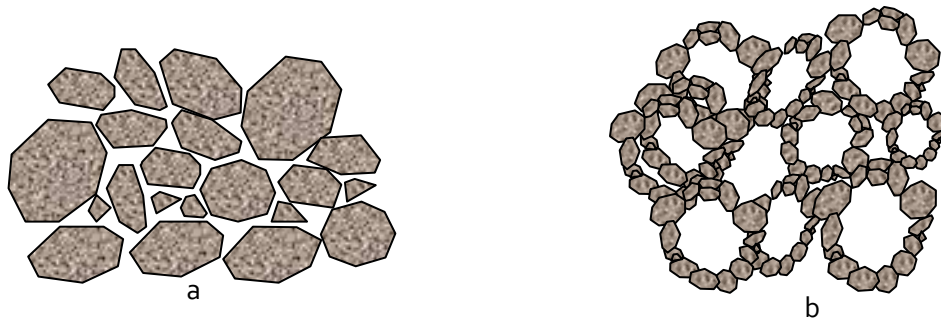


Figura 1.5 Forma de reacomodo de las partículas del suelo (Das, 1998). (a) Densa. (b) Suelta.

En la figura 1.5a las partículas están acomodadas de tal manera que la cantidad de vacíos es mínima, a diferencia de la forma de empaquetamiento en la figura 1.5b que tiene una mayor cantidad de vacíos. Se llama compacidad a la forma de empaquetamiento que tienen las partículas del suelo dentro su masa lo cual determinará el índice de vacíos del suelo, este concepto de compacidad solo será aplicable a suelos con partículas de textura granular.

Cada suelo tiene una compacidad de tal manera que el índice de vacíos sea el mínimo, logrando un suelo denso (figura 1.5a) o caso contrario un suelo suelto que tendrá un índice de vacíos máximo (figura 1.5b). La compacidad de un suelo es medida con la densidad relativa, que evalúa el grado de empaquetamiento de las partículas del suelo in situ de acuerdo al índice de vacíos máximo y mínimo que permita el suelo, que se calcula por medio de densidad relativa del suelo (D_r).

Este valor generalmente es expresado en porcentaje y varía de 0% para muy suelto a un máximo de 100% para muy denso, sin embargo in situ la densidad relativa comúnmente varía de 20 a 85%. La tabla 1.8 muestra valores característicos de la densidad relativa para evaluar el grado de empaquetamiento de las partículas del suelo.

<i>Dr (%)</i>	<i>Descripción</i>
0 - 15	Muy suelto
15 - 50	Suelto
50 - 70	Media
70 - 85	Denso
85 - 100	Muy denso

Tabla 1.8 Descripción del suelo según la densidad relativa (Lambe & Whitman, 1969).

Para explicar algunas cosas se necesita saber que es la porosidad y esta se puede determinar en función del índice de vacíos, ambos valores evalúan la misma propiedad del suelo (el volumen relativo de vacíos) y por tanto pueden usarse indistintamente, aunque sus valores no coinciden. El índice de vacíos es relativo al volumen de sólidos, lo que facilita el cálculo de sus variaciones al producirse cambios de volumen del suelo. Sin embargo, es más cómodo referirse a la porosidad para determinar el volumen de agua almacenado en un volumen de suelo.

La porosidad se escribe así:

$$n = \frac{V_v}{V_M} \dots\dots\dots [1.1]$$

Se ocupará volumen de la muestra, por lo tanto:

$$V_M = V_a + V_w + V_s \dots\dots\dots [1.2]$$

El volumen de vacíos (V_v) que contiene tanto agua como aire, será:

$$V_v = V_a + V_w \dots\dots\dots [1.3]$$

La relación de vacíos, se define como la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de sólidos del suelo, que es:

$$e = \frac{V_v}{V_s} \dots\dots\dots [1.4]$$

Con base en operaciones de las ecuaciones [1.1], [1.2] y [1.3], se puede determinar la equivalencia entre la porosidad y la relación de vacíos que será:

$$n = \frac{e}{1+e} \dots\dots\dots [1.5]$$

Análogamente se puede despejar la relación de vacíos de la ecuación [1.5] en función a la porosidad, que será:

$$e = \frac{n}{1+n} \dots\dots\dots [1.6]$$

La densidad relativa es expresada en función a la porosidad, que será:

$$Dr = \frac{(1 - n_{\min}) * (n_{\max} - n)}{(n_{\max} - n_{\min}) * (1 - n)} \dots\dots\dots[1.7]$$

Donde:

- Dr = Densidad relativa del suelo.
- n_{\max} = Porosidad máxima permitida por el suelo.
- n_{\min} = Porosidad mínima permitida por el suelo.
- n = Porosidad actual del suelo.

La norma ASTM D2049 sugiere un procedimiento para determinar la densidad relativa de un suelo de grano grueso en campo utilizando un molde, mediante la ecuación [1.8] que está en función al peso unitario seco máximo, mínimo y el actual del suelo, que será:

$$Dr = \frac{(\gamma_d - \gamma_{d\min}) * \gamma_{d\max}}{(\gamma_{d\max} - \gamma_{d\min}) * \gamma_d} \dots\dots\dots[1.8]$$

Para la determinación del peso unitario mínimo, el suelo luego de ser secado en horno es enfriado y vaciado con un embudo al molde cuidadosamente hasta el tope, teniendo el volumen que ocupa este se determina la masa del suelo. Para determinar el peso unitario máximo se aplica una carga al suelo en la parte superior del molde lleno de suelo y se somete todo el conjunto a vibración por un tiempo, con la masa del suelo y el volumen que ocupa este en el molde se determina el peso unitario máximo. Para obtener más detalles acerca de este ensayo puede consultarse a un manual de laboratorio especializado. Youd en 1973 elaboró un ábaco que se muestra en la figura 1.6 para determinar los valores de: e_{\max} y e_{\min} del suelo, en base a la angularidad de las partículas y el coeficiente de uniformidad del suelo.

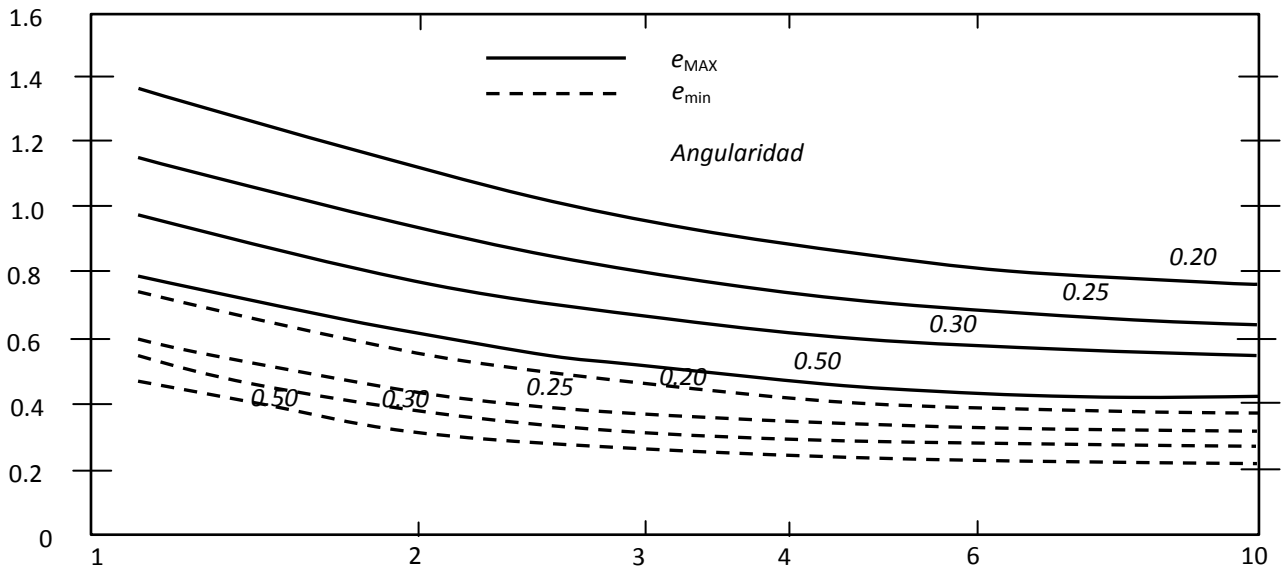


Figura 1.6 Variación de e_{\max} y e_{\min} respecto a la angularidad y Coeficiente de Uniformidad C_u (Youd, 1973).

La figura 1.7 muestra una relación aproximada entre la densidad relativa, el índice de vacíos actual y el peso unitario seco del suelo.

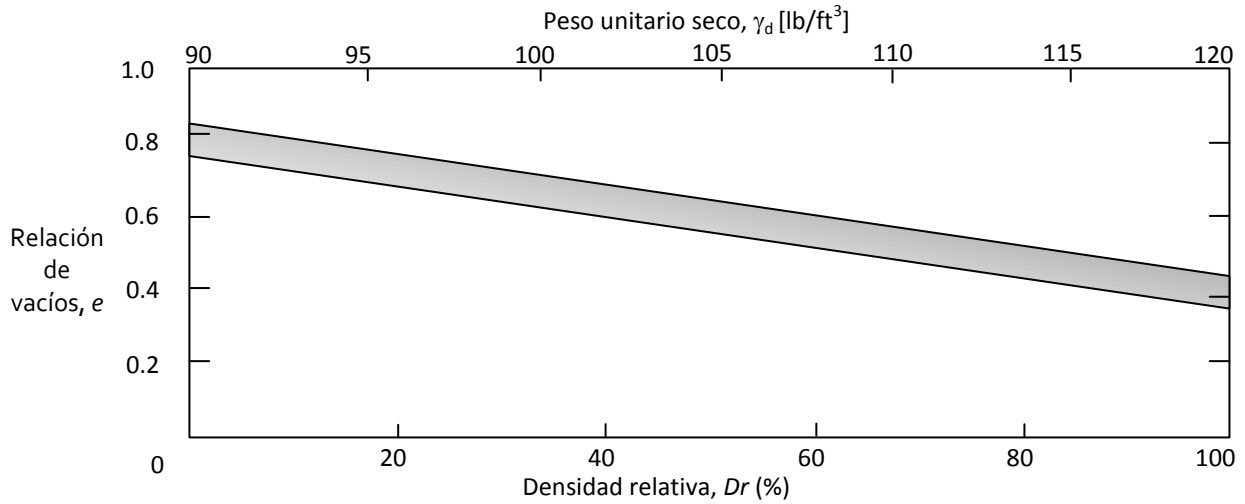


Figura 1.7 Relación aproximada de γ_d , e y D_r para suelos de grano grueso (Das, 1998).

Límites de Consistencia (Límites de Atterberg)

Atterberg (1911) realizó una serie de experimentos con suelos finos haciendo variar su contenido de agua, con el objetivo de encontrar la relación que existe entre el contenido de agua y la consistencia del suelo. Este investigador observó que para ciertos contenidos de humedad el suelo presentaba uno de los cuatro estados distintos de consistencia, que son: sólido, semisólido, plástico y líquido.

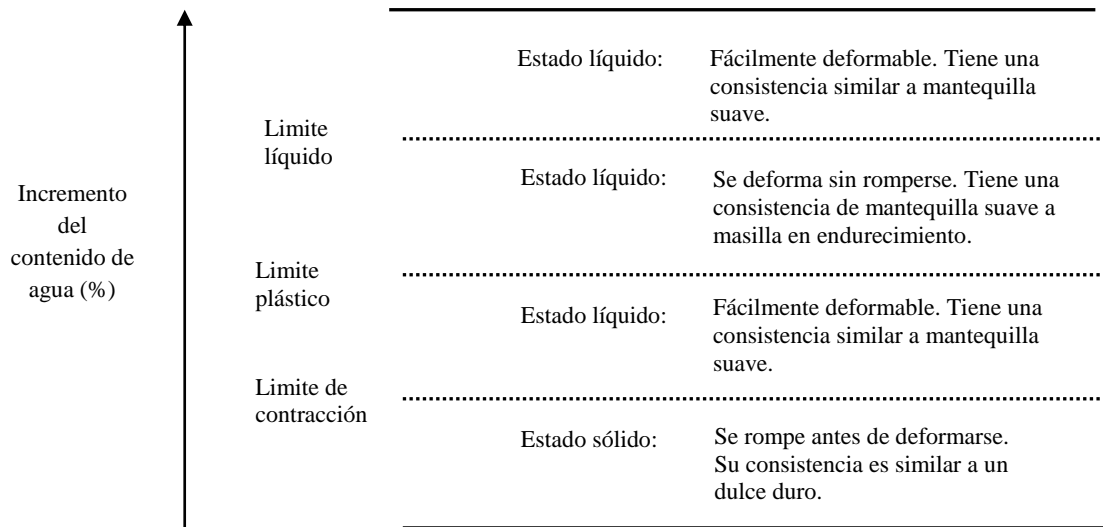


Figura 1.8 Consistencia del suelo según al contenido de agua (Coduto, 1999).

Posteriormente Terzaghi y Casagrande idearon métodos para determinar estos contenidos de humedad específicos para los distintos estados de consistencia, descritos en la norma ASTM D427 y D4318, en la actualidad a estos contenidos de humedad especiales se los conoce como *límites de Atterberg* o de consistencia. Puede hablarse de los límites de Atterberg en suelos que tienen un tamaño de partículas que pasan por el tamiz o malla No. 40. Para un bajo contenido de agua, el suelo tendrá una consistencia sólida a semisólida, a medida que se va incrementando el contenido de agua, el suelo progresivamente tomará una consistencia plástica y finalmente para un contenido de agua muy alto el suelo tendrá una consistencia líquida. La figura 1.8 muestra las diferentes consistencias del suelo en función al incremento del contenido de agua.

Los límites de Atterberg son contenidos de humedad específicos en los cuales el suelo se encuentra en etapa de transición, de un estado de una consistencia a otro.

Se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido. La arcilla, por ejemplo al agregarle agua, pasa gradualmente del estado sólido al estado plástico y finalmente al estado líquido.

El contenido de agua con que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el intervalo de humedad, para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad), es decir, la propiedad que presenta los suelos hasta cierto límite sin romperse.

El método usado para medir estos límites de humedad fue ideado por Atterberg a principios de siglo a través de dos ensayos que definen los límites del estado plástico.

Los límites de Atterberg son propiedades índices de los suelos, con que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo.

Plasticidad y Límites de Consistencia

Plasticidad es la propiedad que tienen algunos suelos de deformarse sin agrietarse, ni producir rebote elástico. Los suelos plásticos cambian su consistencia al variar su contenido de agua. De ahí que se puedan determinar sus estados de consistencia al variar si se conoce las fronteras entre ellas. Los estados de consistencia de una masa de suelo plástico en función del cambio de humedad son sólidos, semisólido, líquido y plástico. Estos cambios se dan cuando la humedad en las masas de suelo varía. Para definir las fronteras en esos estados se han realizado muchas investigaciones, siendo las más conocidas las de Terzaghi y Atterberg. Para calcular los límites de Atterberg el suelo se tamiza por la malla No.40 y la porción retenida es descartada.

La frontera convencional entre los estados semisólido y líquido se llama límite plástico, que se determina alternativamente presionando y enrollando una pequeña porción de suelo hasta un diámetro al cual el pequeño cilindro se desmorona, y no puede continuar siendo presionado ni enrollado. El contenido de agua a que se encuentra se anota como límite plástico.

Los granos que son gruesos en los suelos predomina las fuerzas de gravitación fuertemente sobre cualquiera otra fuerza; por ello, todas las partículas gruesas tienen un comportamiento similar.

En los suelos de granos muy finos, fuerzas de otros tipos ejercen acción importantísima; ello es debido a que en estos granos, la relación de área a volumen alcanza valores de consideración y fuerzas electromagnéticas desarrolladas en la superficie de los compuestos minerales cobran significación. En general, se estima que esta actividad en la superficie de la partícula individual es fundamental para tamaños menores que dos micras (0.002 mm) .

Relación entre las fases sólidas y líquidas en una arcilla

Durante mucho tiempo se creyó que los minerales de las arcillas eran de naturaleza amorfa, pero todas las investigaciones de detalle realizadas hasta ahora han demostrado, que son cristalinos y altamente estructurados.

Existen suelos que al ser remoldeados, cambiando su contenido de agua, si es necesario, adoptan una consistencia característica que se ha denominado plástica. Estos suelos han sido llamados arcillas originalmente por los hombres dedicados a la cerámica; la palabra pasó a la mecánica de suelos, en épocas más recientes, con idénticos significados. La plasticidad es en este sentido, una propiedad tan evidente que ha servido de antaño para clasificar suelos en forma puramente descriptiva. Pronto se reconoció que existía una relación específica entre la plasticidad y las propiedades físico - químicas determinantes del comportamiento mecánico de las arcillas. Las investigaciones han probado que la plasticidad de un suelo es debida a su contenido de partículas más finas de forma laminar ya que esta ejerce una influencia importante en la compresibilidad del suelo, mientras que el pequeño tamaño propio de esas partículas hace que la permeabilidad del conjunto sea muy baja. Otras ramas de la ingeniería han desarrollado otra interpretación del concepto de plasticidad, como es el caso del esfuerzo-deformación de los materiales.

Al tratar de definir en términos simples la plasticidad de un suelo, no resulta suficiente decir que un suelo plástico puede deformarse y remoldearse sin agrietamiento, pues una arena fina y húmeda tiene esas características cuando la deformación se produce lentamente y, sin embargo, no es plástica en un sentido más amplio de la palabra; hay entre el comportamiento de la arcilla y el de la arena en cuestión una importante diferencia: el volumen de la arcilla permanece constante durante la deformación, mientras que el de la arena varía; además, la arena se desmorona en deformación rápida. Por lo tanto, en mecánica de suelos podemos definir la plasticidad como la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse.

1.2 Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos

Los suelos como cualquier material bajo ciertas sollicitaciones, se comportarán como materiales elásticos, pero muchas veces tendrá deformaciones mayores de las normales, por lo que será un factor predominante el considerar la plasticidad del suelo.

El suelo puede presentar diversos tipos de fallas tales como: disgregamiento, deslizamiento en líneas de rotura o fluencia plástica.

La resistencia al esfuerzo cortante está representada por la ecuación de Coulomb.

$$\tau = c + \sigma_0 \tan \phi \dots\dots\dots [1.9]$$

En la que:

τ = Resistencia al corte del suelo.

c = Cohesión del suelo.

σ_0 = Esfuerzo normal intergranular.

ϕ = Ángulo de fricción interna del suelo, el cual se supone que es constante.

La cohesión puede ser definida como la adherencia entre las partículas del suelo debida a la atracción entre ellas, producidas por sus fuerzas intergranulares. El ángulo de fricción interna es función de la uniformidad de las partículas del suelo, del tamaño y la forma de los granos y de la presión normal.

La utilización de la ecuación de Coulomb no condujo siempre a diseños satisfactorios de estructuras de suelo. La razón para ello no se hizo evidente hasta que Terzaghi publicó el principio de esfuerzos efectivos $\sigma = \sigma' + u$. Pudo apreciarse entonces que, dado que el agua no puede soportar esfuerzos cortantes sustanciales, la resistencia al corte de un suelo debe ser resultado únicamente de la resistencia a la fricción que se produce en los puntos de contacto entre partículas; la magnitud de ésta depende sólo de la magnitud de esfuerzos efectivos que soporta el esqueleto de suelo.

Por tanto, cuanto más grande sea el esfuerzo efectivo normal a un plano de falla potencial, mayor será la resistencia al corte de dicho plano. Entonces si se expresa la ecuación de Coulomb en términos de esfuerzos efectivos, se tiene:

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi' \dots\dots\dots [1.10]$$

En la cual los parámetros c' y ϕ' son propiedades del esqueleto del suelo, denominadas cohesión efectiva y ángulo de fricción efectiva, respectivamente.

Puesto que la resistencia al corte depende de los esfuerzos efectivos del suelo, los análisis de estabilidad se harán entonces en términos de esfuerzos efectivos. Sin embargo, en ciertas circunstancias el análisis puede hacerse en términos de esfuerzos totales y por lo tanto, en general, se necesitará determinar los parámetros de resistencia al corte del suelo en esfuerzos efectivos y en esfuerzos totales. Es decir, los valores de c' , ϕ' y c , ϕ . Estos se obtienen, a menudo en ensayos de

laboratorio realizados sobre muestras de suelo representativas mediante ensayo de corte directo (ASTM D-3080-72) o el ensayo de compresión triaxial (ASTM D-2850-70). Desde el punto de vista de la relación esfuerzo-deformación, debemos tener en cuenta dos tipos de resistencia.

Resistencia máxima o resistencia pico

Es la resistencia al corte máxima que posee el material que no ha sido fallado previamente, la cual corresponde al punto más alto de la curva esfuerzo-deformación. La utilización de la resistencia pico en el análisis de estabilidad asume que la resistencia pico se obtiene simultáneamente a lo largo de toda la superficie de falla. Sin embargo, algunos puntos en la superficie de falla han alcanzado deformaciones mayores que en otros, en un fenómeno de falla progresiva y asumir que la resistencia pico actúa simultáneamente en toda la superficie de falla puede producir errores en el análisis.

Resistencia residual

Es la resistencia al corte que posee el material después de haber ocurrido la falla y Skempton (1964) observó que en las arcillas preconsolidadas, la resistencia calculada del análisis de deslizamientos después de ocurridos, correspondía al valor de resistencia residual y recomendó utilizar para el cálculo de factores de seguridad, los valores de los parámetros obtenidos para la resistencia residual (ϕ_r y c_r). Sin embargo, en los suelos residuales la resistencia pico tiende a ser generalmente, muy similar a la resistencia residual.

Otro factor que determinan las diferencias entre la resistencia pico y la residual es la sensibilidad, la cual está relacionada con la pérdida de resistencia por remoldeo o la reorientación de las partículas de arcilla.

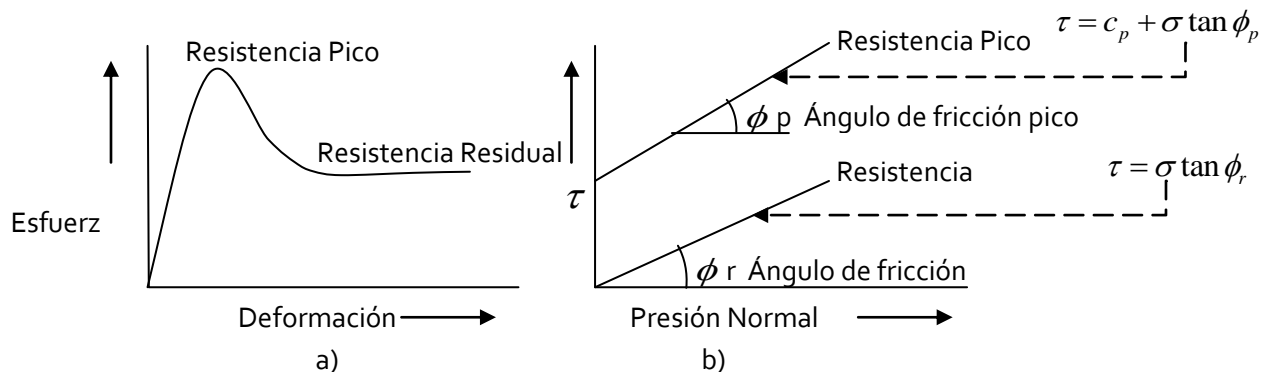


Figura 1.9 a) Gráfica esfuerzo deformación y b) Ángulo de fricción

1.3 Factores que influyen en la resistencia de suelos gruesos y finos

Conforme a lo que se conoce se puede observar los tipos de suelo así:

- **Suelos no cohesivos:** Las partículas de suelo no tienden a juntarse ni a adherirse, sus partículas son relativamente grandes, también llamados suelos granulares o friccionantes. (Gravas, arenas, limos)
- **Suelos cohesivos:** Partículas muy pequeñas, predominan los efectos electroquímicos superficiales. Las partículas tienden a juntarse (interacción agua partícula). Suelos finos o plásticos. (Arcillas)
- **Suelos orgánicos:** Suelos esponjosos, con grumos, compresibles. Prohidos para soporte de estructuras de ingeniería. (turba)

La estructura de un suelo es la distribución y ordenamiento geométrico de las partículas o granos minerales, el aire y el agua presentes de un material, como consecuencia de las características propias de este, e influenciados por las fuerzas que actúan sobre las partículas.

Las características para tener en cuenta para saber los factores que influyen en la resistencia de los suelos son:

- Tamaño
- Distribución de tamaños
- Angulosidad, textura
- Forma de las partículas
- Agentes ligantes

También se deberá tener en cuenta que tipo y magnitud de fuerzas que actúan sobre las partículas.

Suelo Grueso

Un suelo sin cohesión tiende a formar su estructura, originalmente de granos aislados, debido a las fuerzas gravitatorias actuantes en una estructura granular simple donde cada partícula toca a otras formando un esqueleto granular estable aunque no haya fuerzas de adherencia entre ellas o la forma como se estructura el suelo es función de las características propias del suelo antes mencionadas.

Por ejemplo en arenas gravosas el tamaño de las partículas de este tipo de suelos hace que las fuerzas gravitatorias actuantes sobre cada partícula superen las fuerzas iónicas entre partículas.

Cohesión aparente

En los suelos granulares no se generan fuerzas intermoleculares, pero en arenas se desarrolla un fenómeno llamado cohesión aparente, el cual se desarrolla cuando el suelo está parcialmente

saturado (ni en estado seco, ni totalmente saturado), y es debido a las fuerzas de tensión superficial desarrolladas por el agua que restringen el movimiento de partículas pequeñas (0.05mm - 5mm)

La forma de las partículas gruesas de un suelo influye en la compacidad y estabilidad del depósito en su conjunto. Se describe con los términos redondeada, subredondeada, angulosa y subangulosa como se observa en la figura 1.10 dependiendo de la agudeza de sus aristas y vértices.

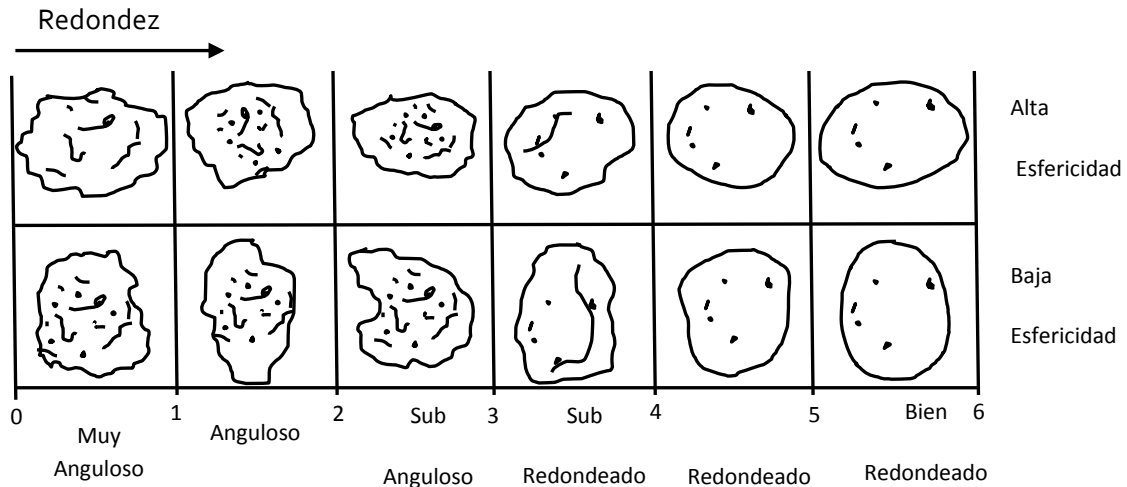


Figura. 1.10 Gráficas visuales para determinación de esfericidad y redondez. Powers (1953)

Microestructura y textura

En Mecánica de Suelos, el término estructura o microestructura, se usa para describir la geometría del arreglo partícula-poro de un suelo.

La variedad de texturas va a depender de:

- La forma de los granos
- Fuerza entre las partículas
- Génesis del suelo

Los suelos gruesos (no cohesivos/friccionantes) están compuestos por granos, que pueden ser representados por esferas o poliedros regulares. La estructura más simple es la de cada grano en contacto con sus vecinos, tanto en la horizontal como en la vertical.

Según sea la posición de los granos, variará la relación de vacíos, se colocan granos redondeados unos sobre otros, donde cada esfera está inmediatamente al costado y arriba de su vecina, genera una relación de vacíos grande. En cambio si colocamos las esferas en forma desfasada, donde la fila de encima ocupa el espacio entre las dos de abajo, es decir dejando muy poco espacio entre esferas la

relación de vacíos es mínima. Por lo tanto cuando tenemos esa estructura en comparación de una relación de vacíos grande, tenemos un material suelto, en cambio, ese mismo material si presenta una relación de vacíos mínima, tenemos un material compacto. Es así que se manejan los conceptos de e_{\max} y e_{\min} .

Densidad Relativa: Es la relación entre la Relación de Vacíos que tiene un suelo y sus e_{\max} y e_{\min} y se trabaja con la siguiente fórmula:

$$D_r[\%] = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} * 100 \dots\dots\dots[1.11]$$

Donde:

D_r = Densidad relativa del suelo, en porcentaje

e_{\max} = Índice de vacíos máximo permitido por el suelo.

e_{\min} = Índice de vacíos mínimo permitido por el suelo.

e = Índice de vacíos actual del suelo.

Un suelo natural es suelto si su D_r es menor que 30% y compacto si es mayor que 85%.

La e_{\min} de un suelo se logra compactándolo, por apisonado o vibración, esto se debe hacer con control para no romper los granos del suelo.

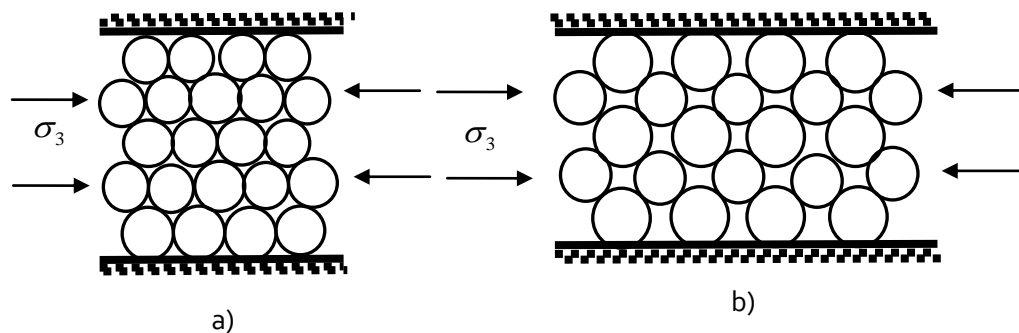


Figura 1.11 a) Agrupación inicialmente compacta, b) Estado más suelto posible

En el caso de la curva de la arena suelta como se observa en la figura 1.12 tanto el esfuerzo como la deformación aumentan hasta un valor de esfuerzo que se mantiene prácticamente constante mientras la deformación sigue creciendo.

Puede decirse en términos sencillos, que si tiende a ocurrir un desplazamiento a lo largo de un plano interno de la masa de arena suelta, las partículas no se traban entre sí, ni se bloquean por lo que la resistencia a la deformación es sólo fricción. La deformación por sollicitación de corte produce un acomodamiento de las partículas de suelo, produciendo una disminución de volumen, el cual tiende a un valor constante cuando la tensión tiende también a ser constante.

La muestra de arena densa presenta un comportamiento diferente a la de la arena suelta, la curva esfuerzo-deformación crece hasta un punto máximo de esfuerzo σ_{dmax} a partir del cual la misma disminuye mientras que la deformación aumenta.

El esfuerzo máximo en la arena densa para la misma presión σ_3 , es mayor a la de la arena suelta, pero al crecer la deformación el esfuerzo último tiende a un valor similar en ambas, para el mismo σ_3 . En la arena densa la deformación implica un movimiento de las partículas que se encontraban originalmente bien empaquetadas y se produce un aumento del volumen necesario para romper la trabazón inicial de partículas en los puntos de contacto intergranular. La figura 1.12 muestra las curvas esfuerzo-deformación características obtenidas de un ensayo triaxial para dos muestras de una misma arena, una en estado suelta y otra densa.

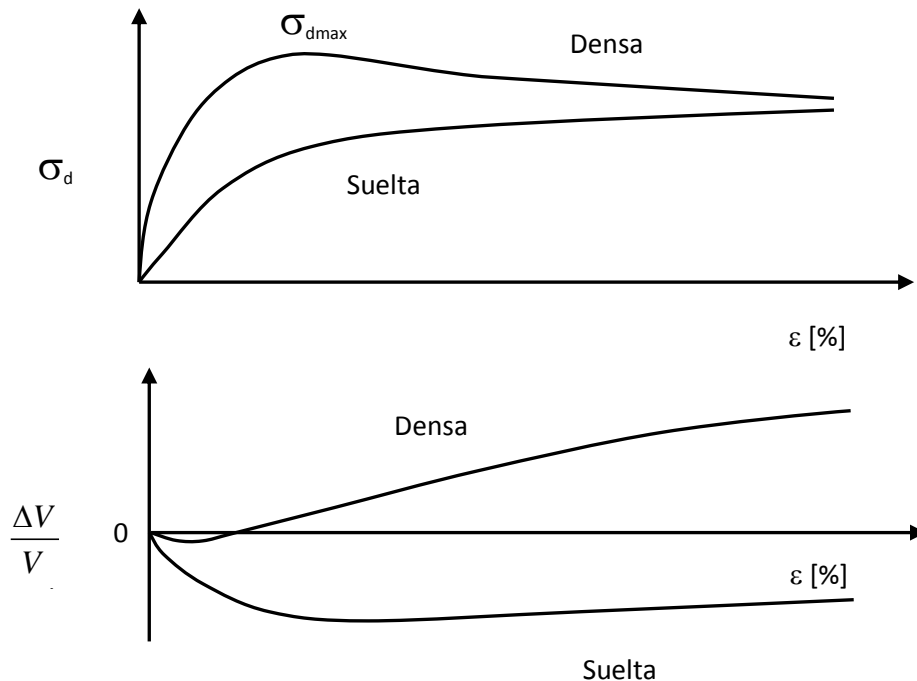


Figura. 1.12 Curvas características de ensayos en arenas

Suelo Fino

En un suelo con cohesión la estructura que se forma, es debida principalmente a las fuerzas iónicas actuantes entre las partículas del suelo. El tamaño de las partículas de este tipo de suelos hace que las fuerzas intermoleculares o electromagnéticas actuantes superen las fuerzas gravitatorias sobre cada partícula. A este tipo de partículas se les llama coloide.

Como característica, la partículas constitutivas son alargadas (largo \gg ancho \gg espesor), en forma de escamas o láminas, o de de forma cilíndrica o prismática.

Fuerzas entre partículas

Son debidas a:

- Enlaces iónicos
- Fuerzas de Van der Waals
- Enlaces de hidrógeno
- Atracción gravitacional entre dos cuerpos
- Cementante

Teóricamente una partícula de suelo posee carga eléctrica en su superficie, la cual puede ser positiva o negativa, pero experimentalmente solo se han medido cargas negativas.

La carga negativa de una partícula es posiblemente debida por:

- Sustitución isomorfa (más importante donde, isomorfa: Igual forma)
- Disociación superficial de los iones hidroxilo
- Ausencia de cationes en la estructura cristalina
- Adsorción de aniones
- Presencia de materia orgánica

La magnitud de la carga negativa de las partículas ésta en relación directa con el área de la partícula, su indicador es la superficie específica.

Se ha visto la influencia de estas fuerzas en el valor de la carga de preconsolidación, obtenida de una prueba de consolidación, dicho valor indica el esfuerzo máximo efectivo al cual ha estado sujeto el suelo en su historia geológica, la influencia de este valor para determinar la resistencia al esfuerzo cortante es determinante, tendiendo un suelo puramente friccionante o cohesivo-friccionante al aplicar esfuerzos de confinamiento o prueba por debajo o encima de este valor se expone las figuras 1.13, 1.14 y 1.15 como ejemplos del reacomodo de las partículas del suelo y como se forman estructuras.

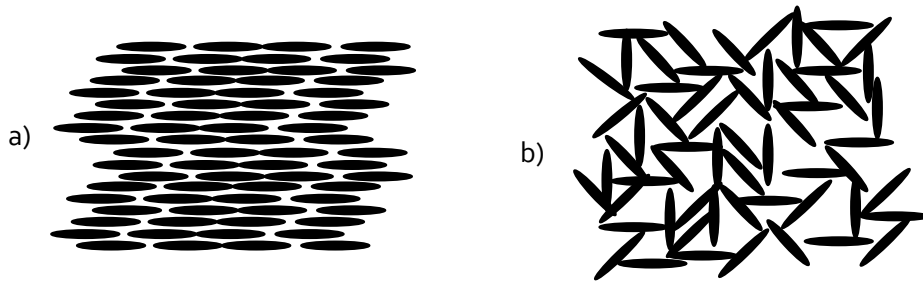


Figura 1.13 Estructuras típicas de suelos cohesivos, a) Estructura paralela (dispersa) y b) Estructura panal (floculada) en láminas de arcilla

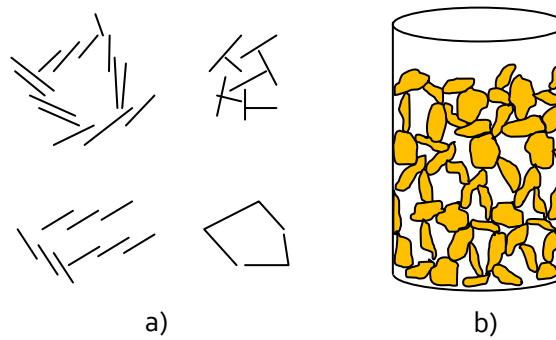


Figura 1.14 Estructuras típicas de suelos cohesivos a) Formas de floculación b) Estructuras en medio acuosos

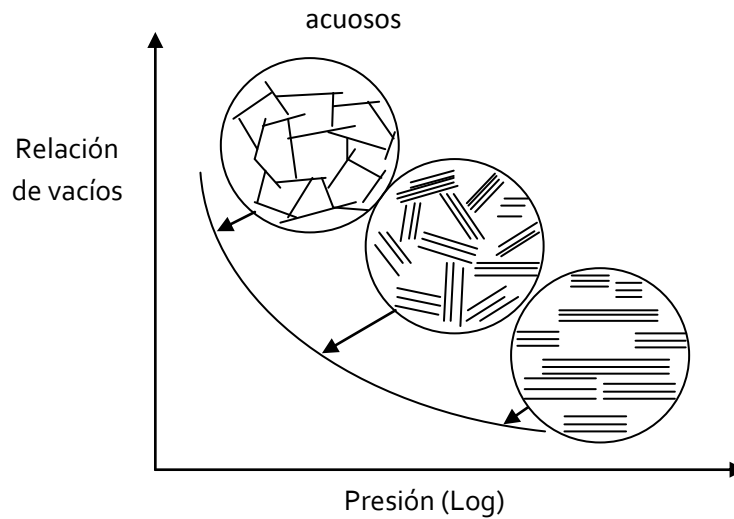


Figura 1.15 Rama de compresión noval, reordenamiento de partículas e relación de vacíos en función de la presión de consolidación (Bennett y Hulbert, 1986)

II

Equipos para determinar la resistencia al esfuerzo cortante en laboratorio

2.1 Torcómetro, Penetrómetro y Micro-veleta

Para estimar de manera expedita la resistencia al esfuerzo cortante no drenada de suelos arcillosos, ya sea en el laboratorio o en el campo se utilizan varios equipos.

TORCÓMETRO

Así tenemos el torcómetro manual, figura 2.1, o de banco; en ambos casos se trata de un dispositivo provisto de un juego de navajas, que por el momento torsionante aplicado manualmente provocan la falla del suelo en la superficie que generan las orillas de las navajas. El torcómetro está equipado con un resorte calibrado y una manecilla, con la que se mide y señala directamente la resistencia no drenada; el intervalo de medición es de 0 a 1 kg/cm².

El torcómetro se emplea profusamente en el campo; con él se estima la resistencia en los extremos de muestras arcillosas saturadas contenidas en tubos Shelby, en muestras cúbicas o en las paredes de una zanja o pozo a cielo abierto. En el laboratorio se usa frecuentemente para medir la resistencia en los extremos de los segmentos de tubos Shelby.

Para hacer una medición primeramente se debe enrasar la superficie de la muestra, teniendo cuidado de no inducir perturbación por el corte y enrase; siempre es deseable producir la superficie plana por corte con un alambre tenso (arco).

A continuación se hinca cuidadosamente el torcómetro, de tal forma que éste quede perpendicular a la superficie del suelo. Enseguida, se ejerce una presión normal y uniforme, se gira lentamente su maneral con una velocidad constante. La velocidad de rotación recomendada para alcanzar la falla del suelo es de $360^\circ/\text{min}$. Al ocurrir la falla del suelo y disiparse el par torsionante, la manecilla indicadora conserva la lectura máxima, la que corresponde directamente a la resistencia no drenada ($\tau=c_u$) en kg/cm^2 .

Parece haber evidencia de la similitud de resultados con torcómetro y con ensayos triaxiales no drenados; sin embargo debe tenerse presente que la medición con torcómetro generalmente subestima la resistencia por los siguientes factores:

Se trata de una medición muy cercana a la superficie, en la que por la acción del corte y enrase se tiene material remoldeado. Al problema de perturbación anterior se agrega que el torcómetro disponible en el mercado posee navajas de espesor excesivo y sin filo en sus orillas.

La velocidad aplicada de deformación y la orientación de los planos de falla son factores adicionales a los señalados, que llevan a concluir que esta medición proporciona un valor aproximado de la resistencia, y que es deseable comparar los resultados con los de otros ensayos in situ o en laboratorio, a fin de seleccionar los valores de c_u más apropiados a considerar en un análisis geotécnico.

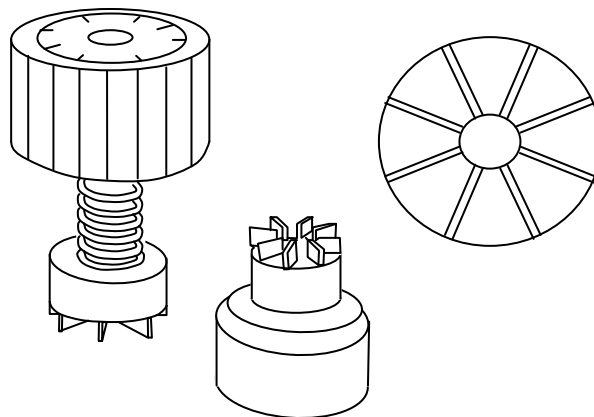


Figura 2.1 Torcómetro, utilizado para suelos finos

PENETRÓMETRO

La figura 2.2 muestra un penetrómetro de bolsillo, que es un instrumento de laboratorio utilizado para determinar el esfuerzo de compresión no confinada q_u en laboratorio o en campo. Para lo cual se traza un círculo con su centro en el suelo, entonces se ubica verticalmente el penetrómetro directamente contra el suelo y se presiona para comprimir hacia el suelo alrededor del círculo y en el centro. Los valores registrados del penetrómetro se evalúan mediante una tabla proporcionada por el fabricante, el valor promedio de las lecturas realizadas con el penetrómetro será q_u , con el cual puede trazarse la envolvente de falla y obtener la resistencia al corte como $\tau=c_u=q_u/2$, en kg/cm^2 .

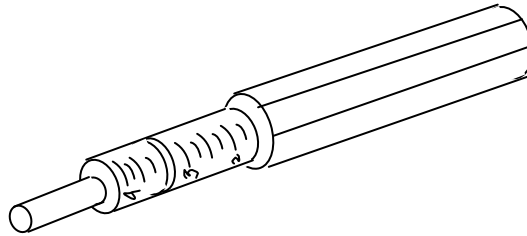


Figura 2.2 Penetrómetro, pieza completa

VELETA

La veleta es un instrumento de laboratorio utilizado para determinar el parámetro de resistencia al corte no drenado c_u de un suelo, tiene la ventaja de poder ser aplicado directamente en campo lo cual evita el transporte una muestra de suelo. En el caso de suelos compuestos de limo y arcilla en especial los de alta sensibilidad, el efecto de las alteraciones durante el ensayo pueden ser bastante considerables en lo que respecta a la confiabilidad de los resultados medidos en el laboratorio, por lo cual este instrumento proporciona información bastante aproximada.

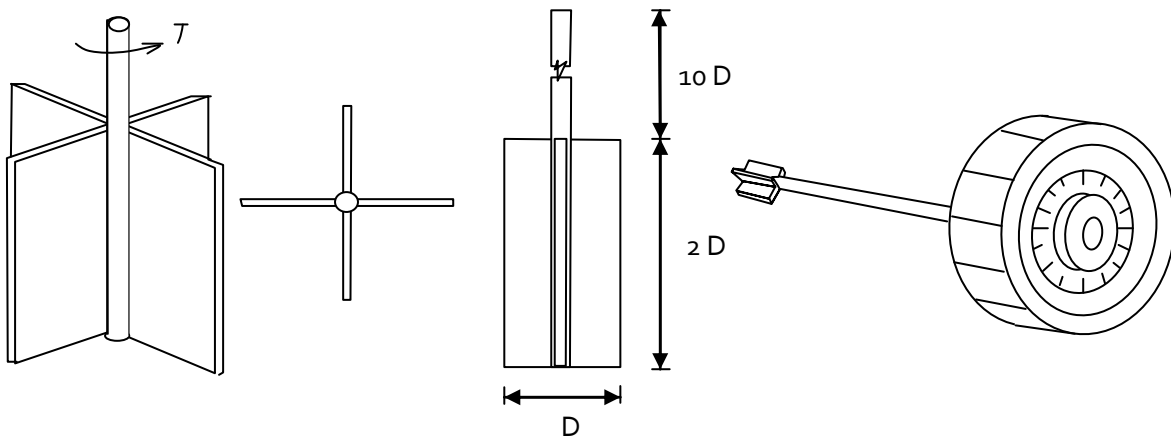


Figura 2.3 Extremo inferior de la veleta y dimensiones estándar y micro veleta para laboratorio

El ensayo con la veleta de corte es ideal para el caso de suelos compuestos de arcillas saturadas sin fisuras y limos saturados. No es tan confiable para suelos fisurados o secuencias de microestratos. Básicamente el extremo inferior de la veleta consiste en cuatro aspas montadas en el extremo de una barra de acero. Después de hincar la veleta en el suelo, se hace girar aplicando un par torsionante en el extremo libre de la varilla. Se gira primero la veleta entre 6° y 12° por minuto para determinar el parámetro de resistencia al corte sin perturbación y a continuación se mide la resistencia remoldeada haciendo girar con rapidez la veleta. La superficie afectada constituye el perímetro y los extremos de un cilindro. La figura 2.3 muestra las dimensiones estándar de la veleta con respecto al diámetro que genera. La veleta es instalada en el suelo con ayuda de otro accesorio donde es ensamblada con todos sus accesorios, la figura 2.4 muestra gráficamente los pasos para el ensamblado de la veleta. El parámetro de resistencia al corte no drenado se obtiene igualando el valor del momento de torsión con el momento de la fuerza cortante, por lo que se tendrá la expresión:

$$c_u = \frac{T}{\frac{1}{2} * \pi * D^2 \left(h + \frac{1}{3} * D \right)} \dots\dots\dots[2.1]$$

Donde:

c_u = Parámetro de resistencia al corte no drenada.

T = Momento torsionante de la veleta.

h = Altura de las aspas de la veleta.

D = Diámetro de la circunferencia que genera la veleta al girar.

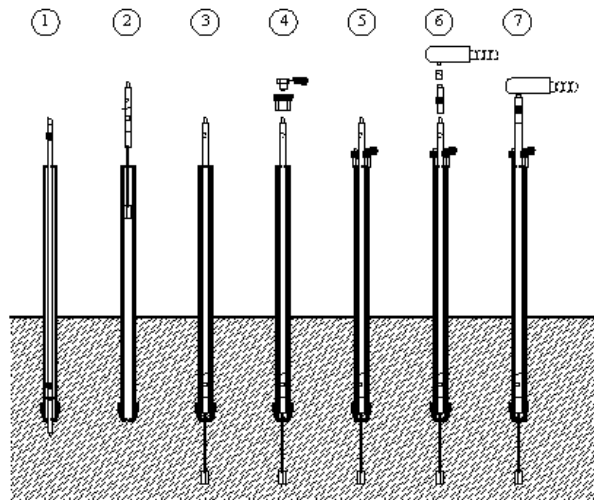


Figura 2.4 Ensamblado de la veleta en campo (U.S. Navy, 1982).

2.2 Equipo Triaxial

2.2.1 Generalidades

Los aparatos triaxiales tienen como común el que aplican sobre el contorno de la muestra, solamente esfuerzos normales, es decir esfuerzos principales. Entre ellos destaca el que comúnmente se designa con el nombre de aparato triaxial, que realmente es un aparato de compresión cilíndrica, pues permite aplicar una compresión sobre todo el contorno lateral del cilindro y otra distinta, según su eje. El ensayo triaxial constituye un método en el estudio de las propiedades esfuerzo-deformación. Con este ensayo es posible obtener una gran variedad de estados reales de carga. Son ensayos donde se pueden variar las presiones actuantes en tres direcciones ortogonales sobre un espécimen de suelo. Para simplificar los ensayos, dos de las tres tensiones actuantes ($\sigma_2 = \sigma_3$) son iguales si la probeta a ensayar es cilíndrica (simétrica).

Una muestra cilíndrica de un suelo es sometida a una presión de confinamiento en todas sus caras y después se incrementa el esfuerzo axial hasta que la muestra se rompe. Como no existen esfuerzos tangenciales sobre las caras de la muestra cilíndrica, el esfuerzo axial y la presión de confinamiento, son los esfuerzos principal mayor y principal menor respectivamente. Al incremento de esfuerzo axial, se denomina esfuerzo desviador.

La prueba se considera confiable por las siguientes razones:

1. Proporciona información sobre el comportamiento esfuerzo-deformación axial unitaria del suelo.
2. Proporciona condiciones más uniformes de esfuerzo que la prueba de corte directo con sus concentraciones de esfuerzos a lo largo del plano de falla.
3. Proporciona más flexibilidad en términos de trayectoria de carga.

Esfuerzos principales

En una prueba de compresión cilíndrica la falla ocurre debido al corte, por ello es necesario considerar la relación entre la resistencia al corte y el esfuerzo normal que actúa sobre cualquier plano dentro del cuerpo a compresión.

En una prueba de compresión, una muestra de suelo está sujeta a fuerzas compresivas que actúa en tres direcciones, en ángulos rectos entre sí, respectivamente; uno en la dirección longitudinal, los otros dos lateralmente. Los tres planos perpendiculares sobre los cuales estos esfuerzos actúan, son conocidos como los planos principales y los esfuerzos como los esfuerzos principales.

Muchos de los problemas de mecánica de suelos son considerados en dos dimensiones, y solo son usados los esfuerzos principales mayor y menor. A la influencia del esfuerzo principal intermedia se le resta importancia.

Esfuerzo desviador

Cuando una probeta cilíndrica de longitud L y diámetro D, se somete a una prueba de compresión triaxial, será cargada en dos etapas:

1. Se aplica la presión completa (alrededor de la muestra) denotada por σ_3 (figura 2.5). Esta actúa igualmente en todas las direcciones, así los esfuerzos radial y axial serán igual a σ_3 .
2. Una carga axial P se aplicará desde afuera de la cámara y es progresivamente incrementada. La esfuerzo adicional causada por P, es solamente en la dirección axial y es igual a P/A.

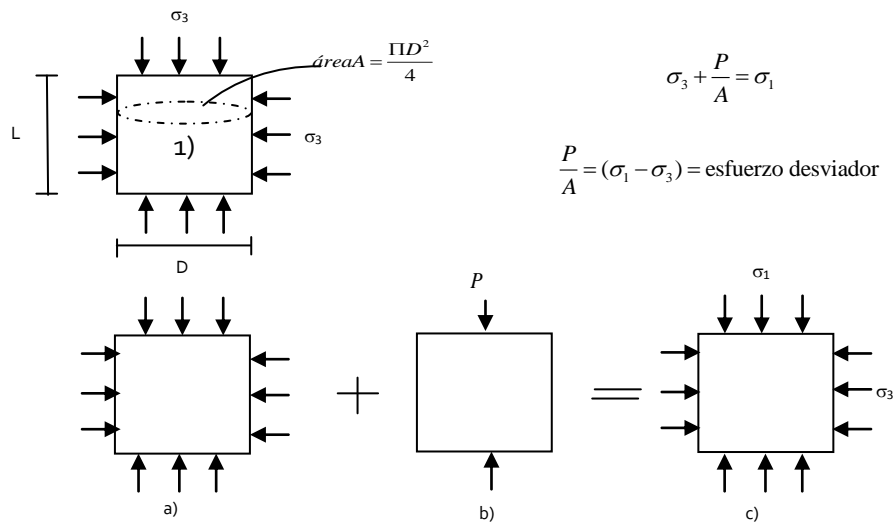


Figura 2.5 Esfuerzo desviador. (a) espécimen cilíndrico, sujeto a compresión Triaxial. (b) Aplicación de cargas separadas en dos componentes

Finalmente el esfuerzo axial total, denotado por σ_1 , es igual a $(\sigma_3 + P/A)$, es decir:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \frac{P}{A} \dots\dots\dots [2.2]$$

Esta ecuación puede ser ordenada de la siguiente manera:

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{P}{A} \dots\dots\dots [2.3]$$

La diferencia de los esfuerzos principales $(\sigma_1 - \sigma_3)$ se conoce con el nombre de esfuerzo desviador. En una prueba la presión de la cámara σ_3 , es mantenida constante a un valor dado, mientras que el esfuerzo desviador es gradualmente incrementado. Generalmente esfuerzo de falla estará representado por el máximo de esfuerzo desviador.

Ventajas del ensaye

Algunas ventajas de los ensayos de compresión Triaxial son:

- La muestra no es forzada a inducir la falla sobre una superficie determinada.
- Consecuentemente, una prueba de compresión puede revelar una superficie débil relacionada a alguna característica natural de la estructura del suelo.
- Los esfuerzos aplicados en pruebas de compresión en laboratorio, son una aproximación de aquellas que ocurren en situ.
- Los esfuerzos aplicados son los esfuerzos principales y es posible realizar un estrecho control sobre los esfuerzos y las deformaciones.
- Las condiciones de drenaje pueden ser controladas y es posible una gran variedad de condiciones de prueba.

Limitaciones del ensaye

Algunas limitaciones de los ensayos de compresión Triaxial son:

- En algunos casos de arcilla el tamaño de la muestra puede tener importantes efectos sobre la resistencia medida.
- Se deben confeccionar o tomar muestras de diámetros que representen adecuadamente grietas y discontinuidades en una muestra de suelo.

2.2.2 Equipo Existente

El aparato consta, en primer lugar, de una estructura metálica conocido como marco triaxial y de dos cámaras de camisa de lucita (figura 2.6a). Las bases de la camisa de lucita están conformadas por dos placas circulares las que quedaran unidas a la base de la cámara por medio de cuatro barras de sujeción. La pieza base inferior es de acero inoxidable para poder resistir los ensayos.

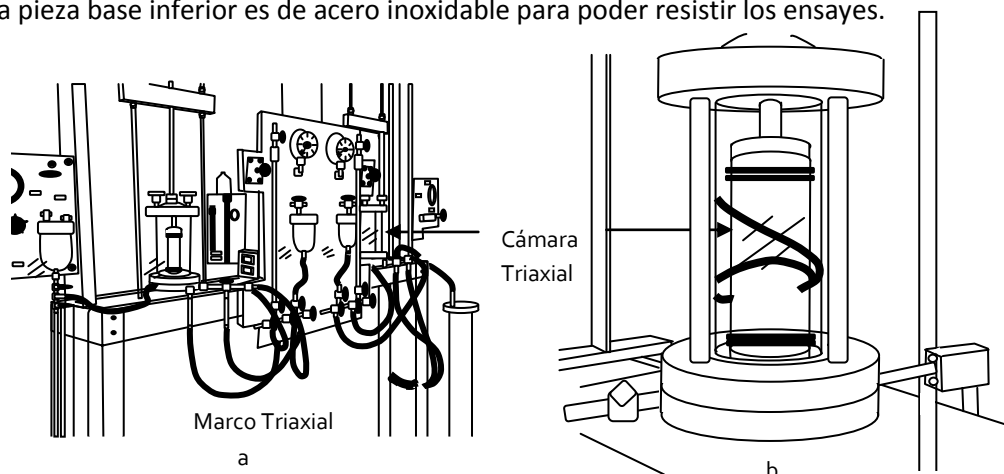


Figura 2.6 Cámara Triaxial del Laboratorio de Geotecnia “Francisco Zamora Millán”, Facultad de Ingeniería, UNAM

El elemento fundamental de un aparato triaxial es la cámara, constituida de cilindro de lucita de 10 cm de diámetro exterior y 7 mm de espesor de su pared como lo muestra la figura 2.6b, donde se produce la consolidación y rotura de la muestra de suelo. En ella puede verse la muestra de suelo cilíndrica, con dos placas porosas (figura 2.7) arriba y abajo que sirven de base y cabezal del cuerpo de prueba y envuelta en una membrana de látex.

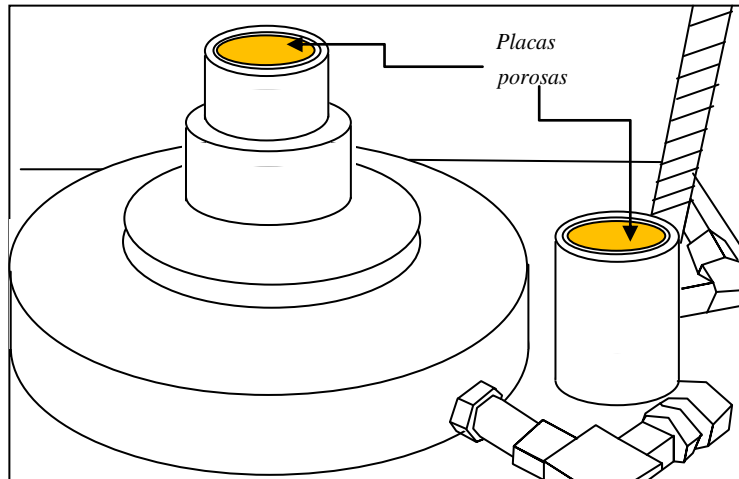


Figura 2.7 Placas porosas

La transmisión de carga hacia el cuerpo de prueba se logra mediante el contacto del vástago con la cámara cuya sección superior del cuerpo, entra en contacto con él (figura 2.8). Un micrómetro medirá las deformaciones ocasionadas por las cargas actuantes correspondientes. La velocidad de carga se medirá con un cronómetro digital. El tablero también consta de un sistema de saturación. Para aplicar la presión de cámara en torno a la muestra, el agua será el fluido ideal, ya que este no ataca a la membrana de látex.

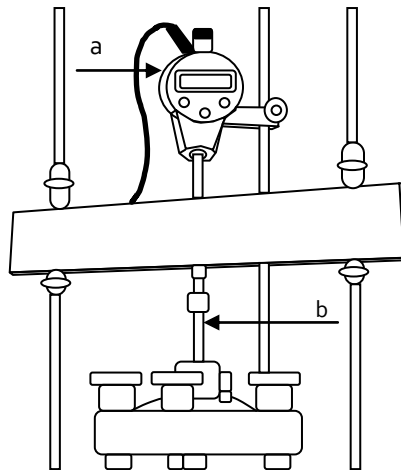


Figura 2.8 Preparación del equipo para la falla a) Micrómetro b) Vástago

2.2.3 Tipos de Pruebas

Según las condiciones que se produce el drenaje de la muestra se distinguen los tres mismos tipos de ensaye que vimos al hablar de la máquina de corte directo, con la sola diferencia de que en este caso la presión lateral toma el lugar de la carga vertical y el desviador sustituye al esfuerzo de corte.

A continuación vamos a describir con detalle cada uno de estos ensayos.

Prueba consolidada-drenada. CD

En la prueba consolidada-drenada, el espécimen se somete primero a una presión de confinamiento σ_3 a todo su alrededor mediante compresión del fluido de la cámara (figura 2.9a). Conforme se aplica la presión de confinamiento, la presión de poro del agua del espécimen se incrementa en la cantidad ΔU ; dicho aumento de la presión de poro del agua se expresa en forma de un parámetro adimensional:

$$B = \frac{\Delta U}{\Delta \sigma_c} \quad ; \quad \Delta \sigma_c = \sigma_3 \dots\dots\dots [2.4]$$

Donde B = parámetro de la presión de poro de Skempton (Skempton, 1954).

Para suelos blandos saturados, B es aproximadamente igual a 1. Black y Lee (1973) dieron valores teóricos de B para varios suelos completamente saturados, los cuales se dan en la tabla 2.1

Tipo de suelo	Valor teórico
Arcilla blanda normalmente consolidada	0.9998
Arcillas blandas ligeramente consolidadas y limos	0.9988
Arcillas firmes preconsolidadas y arenas	0.9877
Arenas muy densas y arcillas muy firmes bajo altas presiones de confinamiento	0.9130

Tabla 2.1 Valores teóricos de B con saturación completa

Cuando la conexión al drenaje se mantiene abierta, tiene lugar la disipación del exceso de presión de poro, y por consiguiente la consolidación. Con el tiempo, ΔU se volverá igual a 0. En suelo saturado, el cambio de volumen del espécimen que tiene lugar durante la consolidación se obtiene del volumen de agua de poro drenada. El esfuerzo desviador $\Delta \sigma_d$ sobre el espécimen entonces es incrementado a una velocidad muy pequeña. La conexión al drenaje se mantiene abierta y la lenta velocidad de aplicación del esfuerzo desviador permite la completa disipación de cualquier presión de poro del agua que se desarrolle como consecuencia ($\Delta U=0$).

Como la presión de poro del agua desarrollada durante la prueba es completamente disipada, tenemos:

- Esfuerzo de confinamiento total y efectivo = $\sigma_3 = \sigma_3'$
- Esfuerzo axial total y efectivo en la falla = $\sigma_3 + (\Delta\sigma_d)_f = \sigma_1 = \sigma_1'$

Varias pruebas sobre especímenes similares se conducen variando la presión de confinamiento. Con los esfuerzos principales mayor y menor en la falla para cada prueba, se dibujan los círculos de Mohr-Coulomb y se obtienen la envolvente de falla.

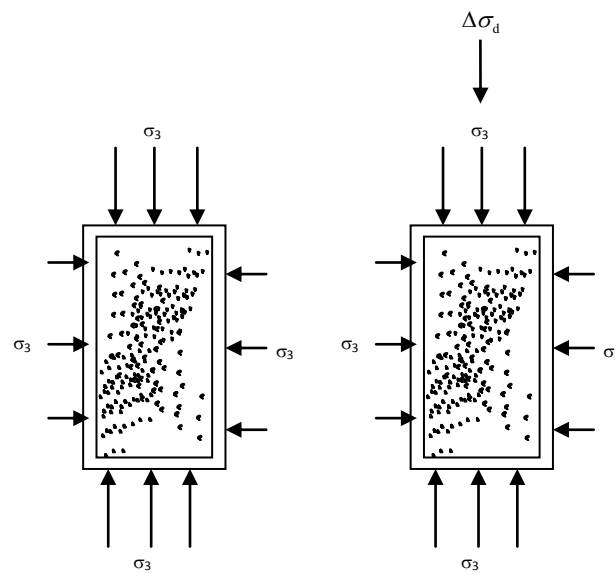


Figura 2.9 Prueba triaxial consolidada drenada: (a) espécimen bajo presión de confinamiento en la cámara; (b) aplicación del esfuerzo desviador

Prueba consolidada-no drenada. CU

La prueba consolidada-no drenada es el tipo más común de prueba triaxial. En ésta, el espécimen de suelo saturado es primero consolidado por una presión en todo su alrededor σ_3 del fluido en la cámara, que resulta en drenaje. Después que la presión de poro del agua generada por la aplicación de la presión de confinamiento es completamente disipada, el esfuerzo desviador $\Delta\sigma_d$ sobre el espécimen se incrementa para causar la falla cortante. Durante esta fase, la línea de drenaje desde el espécimen se mantiene cerrada. Como el drenaje no se permite, la presión de poro del agua ΔU_d crecerá. En arena densa, la presión de poro del agua aumenta con la deformación unitaria hasta cierto límite, más allá del cual decrece y se vuelve negativa (con respecto a la presión atmosférica), este comportamiento se debe a que el suelo tiene una tendencia a dilatarse.

A diferencia de la prueba consolidada-drenada, los esfuerzos totales y efectivo principal no son iguales en la prueba consolidada-no drenada. Como en esta prueba se mide la presión de poro en la falla, los esfuerzos principales se analizan como sigue:

Esfuerzo principal mayor en la falla (total):

$$\sigma_3 + (\Delta\sigma_d)_f = \sigma_1$$

Esfuerzo principal mayor en la falla (efectivo):

$$\sigma_1 - (u_1 + u_2) = \sigma_1'$$

$$\sigma_1 - U = \sigma_1'$$

Esfuerzo principal menor en la falla (total):

$$\sigma_3 = \sigma_c$$

Esfuerzo principal menor en la falla (efectivo):

$$\sigma_c - U = \sigma_3'$$

Donde

U: presión de poro del agua.

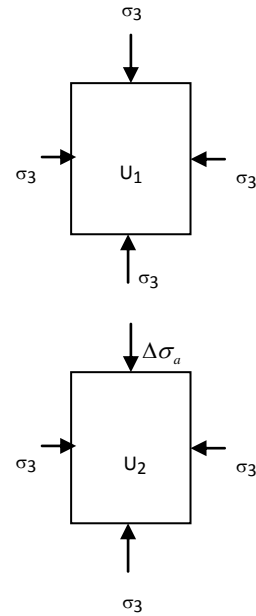


Figura 2.10 Esfuerzos principales

Las derivaciones precedentes muestran que

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_1' - \sigma_3'$$

Pruebas sobre varios especímenes similares con diferentes presiones de confinamiento se efectúan para determinar los parámetros de resistencia cortante.

La envolvente de falla, como se explicó anteriormente, se aproxima a una línea recta que pasa por el origen y se expresa por la ecuación 2.5:

$$\tau_f = \sigma \tan \phi_{cu} \dots \dots \dots [2.5]$$

Donde:

σ = esfuerzo total

ϕ_{cu} = ángulo que forma la envolvente de falla del esfuerzo total con el eje del esfuerzo normal, también conocido como ángulo de resistencia cortante consolidada-no drenada.

Prueba no consolidada- no drenada. UU

En las pruebas no consolidadas- no drenadas, el drenaje del espécimen de suelo no se permite durante la aplicación de la presión de la cámara σ_3 . El espécimen de prueba es cortado a la falla por la aplicación del esfuerzo desviador $\Delta\sigma_d$, sin permitirse el drenaje. Como el drenaje no se permite en ninguna etapa, la prueba se lleva a cabo muy rápidamente. Debido a la aplicación de la presión de confinamiento en la cámara σ_3 , la presión de poro del agua en el espécimen de suelo se incrementará una cantidad u_c . Habrá un aumento adicional en la presión de poro Δu_d , debido a la aplicación del esfuerzo desviador. Por consiguiente, la presión de poro del agua total u en el espécimen en cualquier etapa de la aplicación del esfuerzo desviador se da como:

$$u = u_c + \Delta u_d \dots \dots \dots [2.6]$$

La envolvente de falla para los círculos de Mohr-Coulomb del esfuerzo total se vuelve una línea horizontal y por consiguiente se llama una condición de $\phi = 0$, y

$$\tau_f = c_u \dots \dots \dots [2.7]$$

Donde c_u es la resistencia cortante no drenada y es igual al radio de los círculos de Mohr-Coulomb.

2.2.4 Resultados Generales Obtenidos

Primeramente se obtienen los datos generales de la probeta como son; diámetros (superior, medio e inferior), altura (1, 2 y 3) y peso de la probeta w_0 .

Para calcular la B de Skempton, la cual indica si la probeta está totalmente saturada, se realizará de acuerdo al formato 1.

Incremento Esfuerzo Confinante	Esfuerzo Confinante	Contra Presión		Esfuerzo Confinante Efectivo	Incremento de la Presión de Poro	B de Skempton $B = \frac{\Delta U}{\Delta \sigma_c}$
		SUELO	EQUIPO			
$\Delta\sigma_c$ [Kg/cm ²]	σ_c [Kg/cm ²]	σ_{cp} [Kg/cm ²]	σ_{cp} [Kg/cm ²]	σ'_c [Kg/cm ²]	ΔU [Kg/cm ²]	

Tabla 2.2 Formato 1, saturación del espécimen

Para cada una de las probetas en las pruebas CD y CU, se deberán obtener los siguientes datos durante la realización de la consolidación de la probeta, formato

Tomar datos de tiempo (cronómetro), deformación volumétrica (bureta) y axial (micrómetro). Duración para suelos gruesos de 5 a 10 min. Se toman lecturas iniciales y finales del micrómetro y bureta para calcular altura y área consolidada.

Esfuerzo Confinante Efectivo σ'_c [kg/cm ²]	Consolidación	
	Lectura micrómetro mm L _{mi} = L _{mf} =	Lectura Bureta cm L _{Bi} = L _{Bf} =

Tabla 2.3 Formato 2, consolidación del espécimen

Durante la realización de la prueba CD, se tomaron los datos de tiempo, carga, deformación axial, deformación volumétrica y presión de poro. Los datos se registraron en el formato 3:

TIEMPO [min]	ΔP [kg]	P [kg]	LECTURA DEL MICRO [mm]	LECTURA BURETA [cm]	PRESIÓN DE PORO [kg/cm ²]
CD	CD	CD	CD		
CU	CU	CU	CU	CD	CU
UU	UU	UU	UU		

Tabla 2.4 Formato 3, registro de datos durante el ensaye

Lo mismo se hizo para la prueba CU, sólo que en este tipo de prueba no se tomó la deformación volumétrica. Para la prueba UU no se tomó la presión de poro y tampoco la deformación volumétrica.

Los resultados obtenidos de las pruebas se registraron en el siguiente formato:

PROYECTO : TESIS DE LICENCIATURA LOCALIZACIÓN : FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.								
SONDEO : B - 1 MUESTRA : PROFUNDIDAD : N/D								
PRUEBA TRIAXIAL : $\sigma_c =$ kg/cm² U = 0.00 kg/cm² $\sigma_c' =$ kg/cm²								
DATOS GENERALES:								
$D_s =$	cm	$D_o =$	cm	$Vol)cons =$	cm ³	$H)cons =$	mm	
$D_m =$	cm	$H_o =$	cm	$A_o =$	cm ²	$H_c =$	cm	
$D_i =$	cm	$\gamma_m =$	t/m ³	$\omega)j_i =$	%	$A_c =$	cm ²	
$H_1 =$	cm	$k_b =$	cm ²	$\Delta Bureta =$	cm	$\omega)j_f =$	%	
$H_2 =$	cm							
$H_3 =$	cm							
$W_o =$	gr							
P	P_{total}	MICRO	δ_{total}	BURETA	Vol	ϵ	A_{cor}	σ_{des}
kg	kg	mm	mm	cm	cm ³	%	cm ²	kg/cm ²

Tabla 2.5 Formato 4 de registro

PROYECTO : TESIS DE LICENCIATURA LOCALIZACIÓN : FACULTAD DE INGENIERÍA						
SONDEO : B - 1 MUESTRA : PROFUNDIDAD : N/D						
PRUEBA TRIAXIAL : UU $\sigma_c =$ kg/cm²						
DATOS GENERALES:						
$D_s =$	cm	$D_o =$	cm			
$D_m =$	cm	$H_o =$	cm			
$D_i =$	cm	$A_o =$	cm ²			
$H_1 =$	cm	$\gamma_m =$	t/m ³			
$H_2 =$	cm	$\omega =$	%			
$H_3 =$	cm					
$W_o =$	gr					
P	P_{total}	MICRO	δ_{total}	ϵ	A_{cor}	σ_{des}
kg	kg	mm	mm	%	cm ²	kg/cm ²

Tabla 2.6 Formato 5, prueba triaxial UU

Las celdas que están después de los datos generales, son las que se utilizarán para registrar los datos obtenidos en la prueba.

Por lo tanto podemos observar que el ensayo de compresión triaxial es el más usado para determinar las características de esfuerzo-deformación y de resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. El ensayo consiste en aplicar esfuerzos laterales y verticales diferentes, a probetas cilíndricas de suelo y estudiar su comportamiento.

Su principal finalidad es obtener parámetros del suelo y la relación esfuerzo- deformación a través de la determinación del esfuerzo cortante. Es un ensayo complejo, pero la información que entrega es la más representativa del esfuerzo cortante que sufre una masa de suelo al ser cargada.

Consiste en colocar una muestra cilíndrica de suelo dentro de una membrana de caucho o goma, que se introduce en una cámara especial y se le aplica una presión igual en todo sentido y dirección. Alcanzado ese estado de equilibrio, se aumenta la presión normal ó axial (σ_1), sin modificar la presión lateral aplicada (σ_3), hasta que se produzca la falla.

Realizando por lo menos 3 pruebas, con presiones laterales diferentes, en un gráfico se dibujan los círculos de Mohr que representan los esfuerzos de falla de cada muestra y trazando una tangente o envolvente a éstos, se determinan los parámetros ϕ y c del suelo. Dependiendo del tipo de suelo y las condiciones en que este trabajará, las alternativas para realizar el ensayo será consolidado no drenado (CU), no consolidado no drenado (UU) o consolidado drenado (CD).

2.3 Equipo De Corte Directo

2.3.1 Generalidades

Cuando una estructura se apoya en la tierra, transmite los esfuerzos al suelo por medio de la cimentación. Estos esfuerzos producen deformaciones en el suelo que pueden ocurrir de tres maneras:

- Por deformación elástica de las partículas.
- Por cambio de volumen en el suelo como consecuencia de la evacuación del líquido existente en los vacíos (huecos) entre las partículas.
- Por deslizamiento de las partículas, que pueden conducir al deslizamiento de una gran masa de suelo.

El primer caso es despreciable para la mayoría de los suelos, en los niveles de esfuerzo que ocurren en la práctica. El segundo caso corresponde al fenómeno de la consolidación. El tercer caso, corresponde a fallas del tipo catastróficos y para evitarla se debe hacer un análisis de estabilidad, que requiere del conocimiento de la resistencia al corte de suelo. El análisis debe asegurar, que los esfuerzos de corte solicitantes sean menores que la resistencia al corte, con un margen adecuado para lograr una obra segura, económica, funcional y factible para llevarla a cabo.

Vemos que es absolutamente imposible independizar el comportamiento de la estructura y el del suelo. Por tanto el problema de la determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos puede decirse que constituye uno de los puntos fundamentales de toda la Mecánica de Suelos y así una valoración correcta de este concepto constituye un paso previo imprescindible al análisis de la estabilidad de las obras civiles.

2.3.2 Clasificación De Ensayos

Los ensayos de corte directo en laboratorio se pueden clasificar en tres tipos según exista drenaje y/o consolidación de la muestra, por lo tanto los valores de c y ϕ dependen esencialmente de la velocidad del ensayo y de la permeabilidad del suelo.

Ensayo no consolidado no drenado (UU)

Es un ensayo rápido, donde el corte se inicia antes de consolidarla muestra bajo la carga normal; si el suelo es cohesivo y saturado, se desarrollará exceso de presión de poros. Generalmente la recta intrínseca en el diagrama de τ contra σ es horizontal, donde $\tau = c_u$. No se permite el drenaje de la muestra en todo el ensayo.

Ensayo Consolidado no drenado (CU)

En este ensayo se permite que la muestra drene ó se consolide durante la aplicación de la carga vertical, de modo que en el momento de aplicar el esfuerzo de corte las presiones intersticiales sean nulas, pero no durante la aplicación del esfuerzo cortante. La tensión de corte es rápida lo cual evita que la presión de poro se pueda disipar durante el ensaye, estos ensayos no se usan frecuentemente en suelos permeables. Siempre se debe medir los desplazamientos verticales ya sea durante la consolidación y/o la falla.

Por lo tanto, la ecuación de Coulomb se transforma en:

$$\tau = c_{CU} + \sigma \tan(\phi_{CU}) = c_{CU} + (\sigma - U) \tan(\phi_{CU}) \dots\dots\dots[2.8]$$

Ensayo Consolidado drenado (CD)

La velocidad de corte es lenta, se permite el drenaje de la muestra durante todo el ensayo siendo las presiones intersticiales nulas durante la aplicación del esfuerzo cortante ($u=0$), esto implica que:

Por otro lado, según la forma en que se aplica el esfuerzo horizontal, los ensayos de corte se pueden clasificar en dos tipos:

- Ensayos de carga cortante controlada, se aplica el esfuerzo horizontal y se miden las deformaciones hasta que estas se estabilizan o son ínfimas sus variaciones con el tiempo, luego se aumenta la fuerza horizontal y así sucesivamente, hasta que llega el momento en que las deformaciones no se estabilizan, lo que nos indica que hemos sobrepasado la carga de falla.
- Ensayos de deformación controlada. La mitad móvil de la caja se desplaza a una velocidad determinada; los esfuerzos horizontales se van midiendo con un anillo dinamométrico conectado en serie con la fuerza horizontal (figura 2.11).

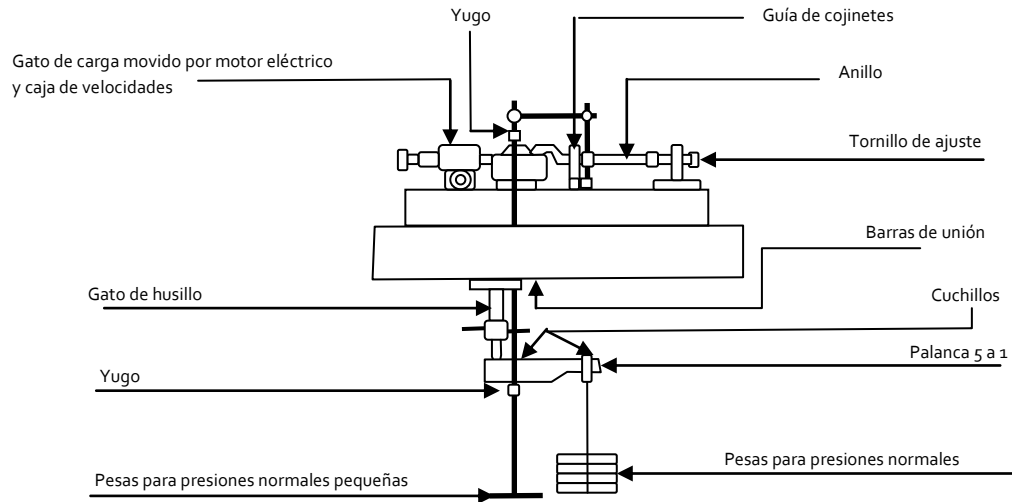


Figura 2.11 Corte Directo de deformación controlada (Geotecnia y Cimientos, Volumen 1, 1975)

2.3.3 Análisis del Ensayo. Ley De Coulomb. Ecuación De Resistencia

El ensayo de corte directo impone sobre un suelo las condiciones idealizadas del ensayo. O sea, induce la ocurrencia de una falla a través de un plano de localización predeterminedo. Sobre este plano actúan dos fuerzas (o esfuerzos): un esfuerzo normal debido a una carga vertical (P_v) aplicada externamente y un esfuerzo cortante debido a la aplicación de una carga horizontal (P_h). Estos esfuerzos se calculan simplemente como:

$$\sigma_n = \frac{P_v}{A} \quad \text{y} \quad \tau_f = \frac{P_h}{A} \dots\dots\dots[2.9]$$

Donde A es el área nominal de la muestra (o de la caja de corte) y usualmente no se corrige para tener en cuenta el cambio de área causada por el desplazamiento lateral de la muestra (P_h). La relación entre los esfuerzos de corte de falla (τ_f) y los esfuerzos normales (σ_n) en suelos, se muestra en la figura 2.12 y puede representarse por la ecuación siguiente:

$$\tau_f = c + \sigma_n * \tan \phi \dots\dots\dots[2.10]$$

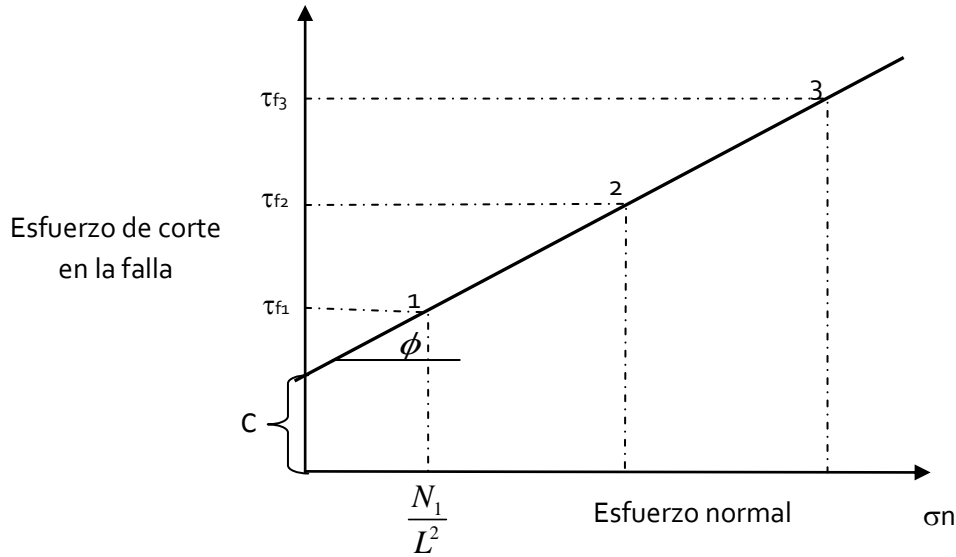


Figura. 2.12 Relación entre los esfuerzos de corte máximo y los esfuerzos normales. La línea recta obtenida se conoce como envolvente de falla

En 1776 Coulomb observó que si el empuje que produce un suelo contra un muro de contención produce un ligero movimiento del muro, en el suelo que está retenido se forma un plano de deslizamiento esencialmente recto. El postuló que la máxima resistencia al corte τ, en el plano de falla está dada por:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots [2.11]$$

Donde:

σ: es el esfuerzo normal total en el plano de falla

φ: es el ángulo de fricción del suelo

c: es la cohesión del suelo

La utilización de la ecuación de Coulomb no condujo siempre a diseños satisfactorios de estructuras de suelo. La razón para ello no se hizo evidente hasta que Terzaghi publicó el principio de esfuerzos efectivos.

$$\sigma = \sigma' + u \dots\dots\dots [2.12]$$

Donde:

u : presión intersticial

σ': esfuerzo efectivo

Con la corrección propuesta por Terzaghi y dado que el agua no puede soportar esfuerzos cortantes substanciales, la resistencia al corte de un suelo debe ser el resultado únicamente de la resistencia a la fricción que se produce en los puntos de contacto entre partículas; la magnitud de ésta depende solo de la magnitud de los esfuerzos efectivos que soporta el esqueleto de suelo. Por tanto, cuanto más grande sea el esfuerzo efectivo normal a un plano de falla potencial, mayor será la resistencia al corte en dicho plano. Entonces, si se expresa la ecuación de Coulomb en términos de esfuerzos efectivos, se tiene:

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi' \dots\dots\dots [2.13]$$

En la cual los parámetros c' y ϕ' son propiedad del esqueleto de suelo, denominadas cohesión efectiva y ángulo de fricción efectiva, respectivamente.

Puesto que la resistencia al corte depende de los esfuerzos efectivos en el suelo, los análisis de estabilidad se harán entonces, en términos de esfuerzos efectivos.

Sin embargo, en ciertas circunstancias el análisis puede hacerse en términos de esfuerzos totales y por tanto, en general, se necesitará determinar los parámetros de resistencia al corte del suelo en esfuerzos efectivos y en esfuerzos totales. Es decir, los valores de c' , ϕ' y c , ϕ . Estos se obtienen, a menudo en ensayos de laboratorio realizados sobre muestras de suelo representativas mediante el ensayo de corte directo (ASTM D-3080-72) o el ensayo de compresión Triaxial (ASTM D-2805-70).

2.3.4 Componentes De La Resistencia Al Corte

De la ley de Coulomb se desprende que la resistencia al corte de suelos en términos generales tiene dos componentes:

- a) Fricción ($\tan \phi$) que se debe a la trabazón entre partículas y al roce entre ellas cuando están sometidas a esfuerzos normales.
- b) Cohesión (c) que se debe a fuerzas internas que mantienen unidas a las partículas en una masa.

Como en la ecuación " $\tau_\phi = c + \sigma_n * \tan \phi$ " existen dos cantidades desconocidas (c y ϕ), se requiere obtener dos valores, como mínimo de esfuerzo normal y esfuerzo cortante para obtener una solución.

Como el esfuerzo cortante τ y el esfuerzo normal σ_n tienen el mismo significado dado en la construcción del círculo de Mohr, en lugar de resolver una serie de ecuaciones simultáneas para c y para $\tan \phi$, es posible dibujar en un plano de ejes coordenados los valores de τ contra σ_n para los diferentes ensayos (generalmente con τ como ordenada), dibujar una línea a través del lugar geométrico de los puntos, y establecer la pendiente de la línea como el ángulo y la intersección con el eje τ como la cohesión c .

Para materiales no cohesivos, la cohesión debería ser cero por definición y la ecuación de Coulomb se convierte en:

$$\tau_f = \sigma_n * \tan \phi \dots\dots\dots [2.14]$$

Esta relación también puede ser escrita de la forma siguiente:

$$T = N \tan \phi \dots\dots\dots [2.15]$$

Siendo N la fuerza vertical que actúa sobre el cuerpo, la fuerza horizontal necesaria (T) para hacer deslizar el cuerpo, debe ser superior a N, siendo el coeficiente de fricción entre los dos materiales siendo ϕ , el ángulo de roce o ángulo formado por la resultante de las dos fuerzas con la fuerza normal. La resistencia al deslizamiento es proporcional a la presión normal y puede ser representada por la figura 2.13.

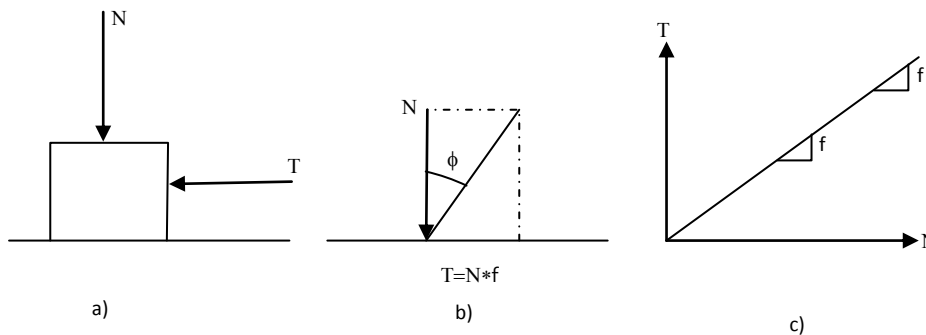


Figura 2.13 Mecanismos de los fenómenos de fricción

2.3.5 Ensayo De Corte Directo

El ensayo de corte directo consiste en hacer deslizar una porción de suelo, respecto a otra a lo largo de un plano de falla predeterminado mediante la acción de una fuerza de corte horizontal incrementada, mientras se aplica una carga normal al plano del movimiento en el equipo de corte directo representado en la figura 2.14.

Los aspectos del corte pueden dividirse en cuatro categorías:

- Resistencia al corte de un suelo no cohesivo (arenas y gravas) que es prácticamente independiente del tiempo.
- Resistencia al corte drenado para suelos cohesivos, en que el desplazamiento debe ser muy lento para permitir el drenaje durante el ensayo.
- Resistencia al corte residual, drenado, para suelos tales como arcillas en las que se refieren desplazamientos muy lentos y deformaciones muy grandes.
- Resistencia al corte para suelos muy finos bajo condiciones no drenadas en que el corte es aplicado en forma rápida.

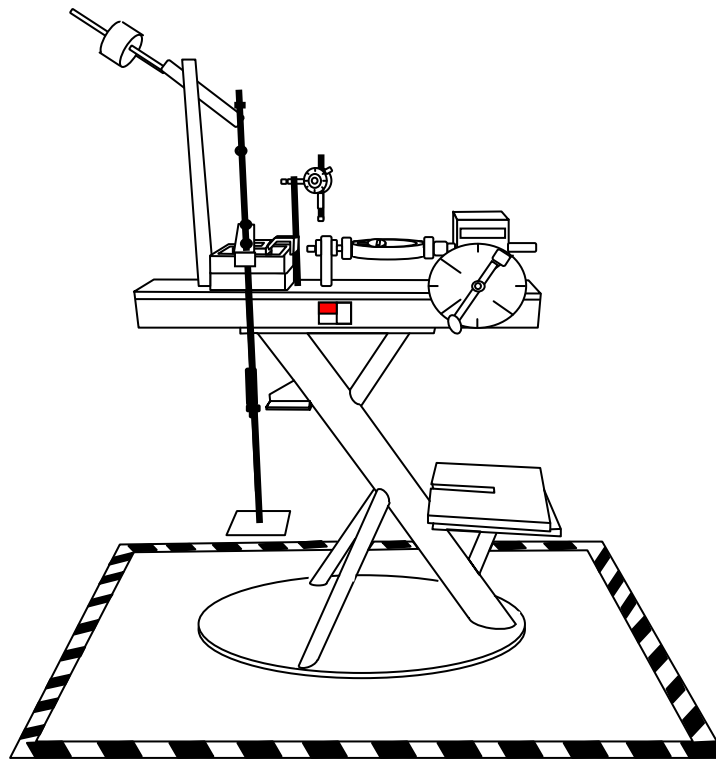


Figura 2.14 Equipo de corte directo, *Laboratorio de Geotecnia “Francisco Zamora Millán”, Facultad de Ingeniería, UNAM*

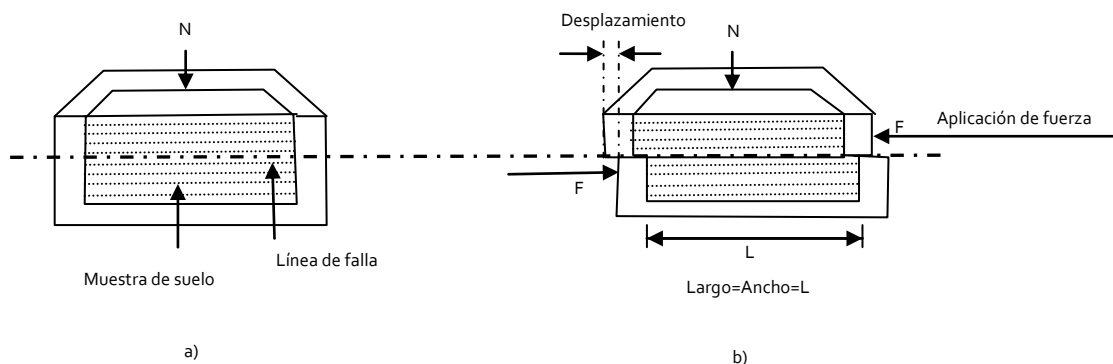


Figura 2.15 Principales detalles del equipo de corte directo

La figura 2.15 muestra los principales detalles del aparato de corte directo, en el cual la muestra de suelo se introduce en un molde dividido horizontalmente en dos mitades. Se aplica luego a la muestra una fuerza normal N mediante una placa de carga, y luego de fijar la mitad superior del molde, se corta la muestra en un plano horizontal mediante la aplicación de una fuerza cortante τ .

El diseño del molde no permite el control del drenaje de la muestra. Esta no es una limitante en el caso de arenas y gravas, que son materiales de drenaje libre y por lo general fallan en condiciones completamente drenadas. Sin embargo, en depósitos de arcilla un elemento de suelo en el campo puede fallar sin ningún drenaje, con drenaje parcial, o drenaje completo. La falta de control del drenaje hace obvio que exista una incertidumbre sobre si este valor representa o no la verdadera resistencia no drenada. Por esta razón, la resistencia al corte no drenado de un suelo arcilloso a menudo se mide en una cámara Triaxial, la cual permite el completo control del drenaje de la muestra. Sin embargo, el ensayo de corte directo puede utilizarse para medir la resistencia drenada de los suelos arcillosos si primero se consolida por completo la muestra bajo la carga normal y luego se corta la muestra a una velocidad suficientemente lenta para asegurarse de la disipación inmediata del exceso de presión intersticial que se produce durante el corte. En la tabla 2.7 se muestran algunos valores típicos de ϕ para algunos suelos granulares.

Tipo de suelo	ϕ (grados)
<i>Arena: granos redondeados</i>	
Suelta	27-30
Media	30-35
Densa	35-38
<i>Arena: granos angulares</i>	
Suelta	30-35
Media	35-40
Densa	40-45
<i>Grava con algo de arena</i>	34-48
Limos	26-35

Tabla 2.7 Valores típicos del ángulo de fricción drenado para arenas y limos

Los cambios de volumen tienen una influencia fundamental en el valor de la resistencia al corte de los suelos. Tales efectos se reflejan empíricamente en el valor ϕ en la ecuación de Coulomb. Sin embargo, un tratamiento detallado requiere un estudio del comportamiento de las partículas del suelo para separar el componente de la resistencia debido a la estructura de partículas, de aquel que corresponde a la fricción entre partículas.

Ventajas del ensaye

- El ensaye es relativamente rápido y fácil de llevar a cabo.
- El principio básico es fácilmente comprensible.
- La preparación de la muestra no es complicada.
- El principio puede aplicarse a suelos granulares y otros materiales que contienen grandes partículas que serían muy caras de ensayar por otros medios.
- Puede medirse el ángulo de fricción entre suelo y roca, o entre suelo y otros materiales.
- El tamaño de las muestras hace que efectuar ensayos consolidados no drenados y consolidados drenados no requiere demasiado tiempo, pues el tiempo de drenaje es bastante corto aún para materiales con bajo coeficiente de permeabilidad, debido a que el camino de drenaje es muy pequeño.
- La máquina de corte directo es mucho más adaptable a los equipos electrónicos de medición, de forma que no se requiera la presencia continua de un operario para efectuar ensayos consolidados- drenados, que puedan durar varios días.
- Se ha encontrado que los parámetros de suelo τ y c obtenidos por el método de corte directo son casi tan confiables como los valores triaxiales (probablemente esto se debe más a problemas del operador que al hecho de que los equipos tengan igual capacidad de comportamiento). Lo anterior no quiere indicar que el ensayo triaxial sea indeseable; sino que, si se desean únicamente los parámetros de suelo, los valores que brinda el ensayo de corte directo se han encontrado usualmente bastante aceptables.

Limitaciones del ensaye

- La muestra está obligada a fallar en un plano predeterminado.
- La distribución de esfuerzos en ésta superficie no es uniforme.
- No es posible controlar el drenaje de la muestra, sólo se puede variar la velocidad de desplazamiento.
- No puede medirse la presión de poros.
- Las deformaciones aplicadas están limitadas por recorrido máximo de la caja.
- El área de contacto entre las dos mitades de la muestra disminuye a medida que se realiza el ensayo. Pero como afecta a τ y a σ en la misma proporción, el efecto en la envolvente de Coulomb es despreciable.
- El ensayo usa una muestra muy pequeña, con el consiguiente resultado de que los errores de preparación son relativamente importantes.

Preparación de la muestra

El procedimiento depende del tipo de suelo y de las condiciones en que será ensayado.

Arena Seca

Se ensaya generalmente a una densidad predeterminada, la muestra se prepara colocando el material en la caja de corte y compactándola en ella, el peso de la muestra se calcula por diferencia

entre el peso de la caja con muestra y el peso de la caja vacía. El nivel a que se coloca es del orden de 5 mm por debajo del nivel superior. Coloque la placa ranurada, en la superficie de la muestra con las ranuras en dirección perpendicular al movimiento. Mida la distancia entre el borde superior de la caja y la superficie de la placa, en las cuatro esquinas o en el centro de los cuatro lados, el promedio de estos valores será el que se tomará.

Arena seca densa

Se recomienda vibrar la muestra al interior de la caja.

Arena seca suelta

Dejar caer la muestra desde una pequeña altura en el interior de la caja. Evite golpear la caja al instalarla, puesto que la arena suelta es muy sensible a los golpes.

Arena saturada suelta

Dejar caer la muestra desde una pequeña altura en el interior de la caja. Evite golpear la caja al instalarla, puesto que la arena suelta es muy sensible a los golpes.

Arena saturada densa

En estas condiciones agregue agua a la muestra y colóquela en la caja. No se debe obtener densidades bajas, sólo densidades medias o altas.

Procedimiento de ensaye

Los ensayes que se llevaron a cabo en este trabajo para cada una de las muestras de arena elegidas se realizaron de la siguiente manera:

Suelo no cohesivo

- 1) Pesar un plato grande de arena seca (o mojada con el contenido de agua conocido con exactitud) con suficiente material para hacer por lo menos tres ensayos a la misma densidad.
- 2) Ensamblar cuidadosamente la caja de corte (retroceder cualquier separación existente entre las partes de la caja y los tornillos de empalme) y fijar la caja en posición. Obtener la sección transversal de la muestra.
- 3) Pesar el recipiente de la arena para determinar el peso exacto del material utilizado en la muestra. Obtener a continuación una referencia del espesor de la muestra de suelo marcando en varios puntos el borde del pistón o bloque de carga alrededor del perímetro con respecto a la altura de la caja de corte.

- 4) Para evitar que se mueva la caja y donde se hará el corte de la muestra de suelo, colocar los tornillos de empalme o de fijación que se encuentran en la parte superior de la caja.
- 5) Posteriormente colocar cuidadosamente la arena en la caja de corte con ayuda de un embudo cerca de 5 mm del borde y dependiendo de la altura de caída que haya presentado dicho material ya sea para un estado suelto o estado denso.
- 6) Tener algún tipo de superficie plana para poder verificar que al vaciar el material haya quedado totalmente bien distribuido y medir las alturas correspondientes en cada pared de la caja y con ella se podría considerar un porcentaje de error.
- 7) Colocar la tapa del molde (la pequeña placa con bordes estriados y piedra porosa) sobre la superficie del suelo y colocar balín.
- 8) Inmediatamente después se baja la barra de carga en donde se ha colocado anteriormente un balín (figura 2.16) para que sea uniforme la aplicación de la carga para las diferentes pruebas de corte directo; en este momento de carga se encuentran actuando sobre la muestra de suelo y esa será la lectura inicial.
- 9) Verificar la nivelación de los deformímetros para que pueda leer la lectura correctamente, del deformímetro horizontal, así como del deformímetro vertical.
- 10) Aplicar la carga normal P_v deseada y colocar el dial para deformímetro análogo para determinar el desplazamiento vertical (con precisión de 0.01 mm por división y en digital se propone una lectura inicial consecuentemente se lee tal cual aparece dicho número).
- 11) Ajustar el deformímetro de carátula (0.01 mm/división) para medir el desplazamiento en cortante. En caso de ocupar deformímetros digitales, sólo es cuestión de conectar los cables y observar que este en una lectura inicial para que se pueda medir dichas deformaciones.
- 12) Para ensayos saturados, saturar la muestra llenando la caja de muestra y permitiendo transcurrir suficiente tiempo para que tenga lugar la saturación.
- 13) Asegurarse de que las piedra porosas que se encuentran en la caja de corte estén saturadas si el suelo al ensayarse contiene alguna humedad.
- 14) Comenzar la carga horizontal (cortante) y tomar lecturas del deformímetro de carga, del deformímetro de desplazamiento cortante, y del deformímetro vertical (cambio de volumen). Si el ensayo es de tipo deformación unitaria controlada, se deben tomar esas lecturas a desplazamientos horizontales de: 5, 10, y cada 10 ó 20 unidades de desplazamiento horizontal. Utilizar una tasa de deformación unitaria del orden de 0,5 a no más de 2 mm/min. No utilizar tasas de deformación unitaria más rápidas, pues existe el peligro de que se presente el pico de carga cortante entre dos lecturas. La tasa de deformación unitaria debería ser tal que la muestra “falle” entre 3 y 5 min.

15) Retirar la arena de la caja de corte y repetir los pasos 1 a 14. Asegurarse de que la arena ocupe el mismo volumen utilizando las marcas de referencia del paso N° 3.

16) En el paso anterior usar un valor diferente de P_v para cada ensayo

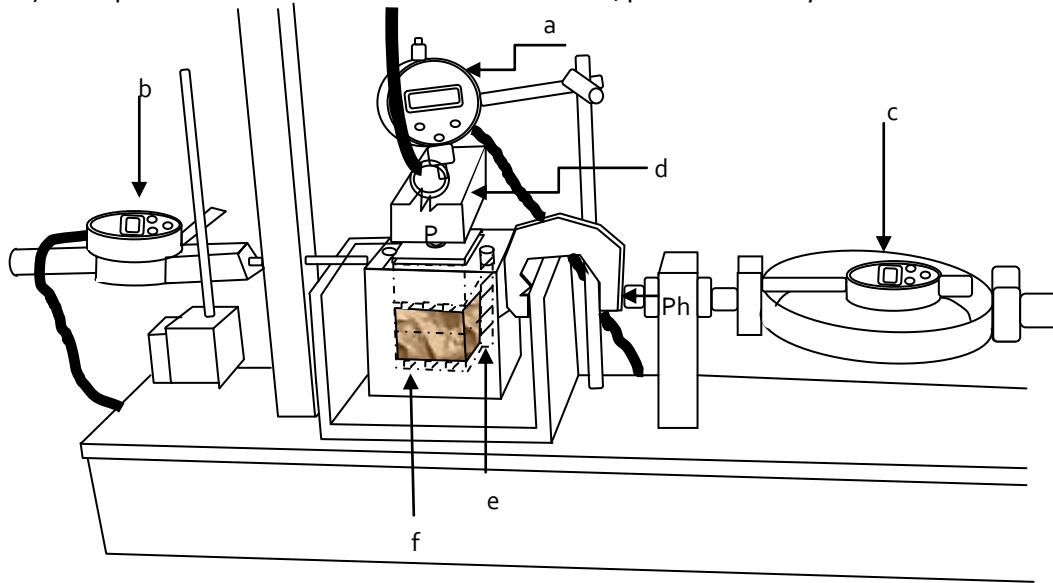


Figura 2.15 Se aprecian los siguientes componentes: a) Deformímetro para medir desplazamientos verticales b) Deformímetro horizontal c) Anillo d) Barra de carga e) Pasadores o tornillos de alineación f) Bordes estriados para retener la muestra

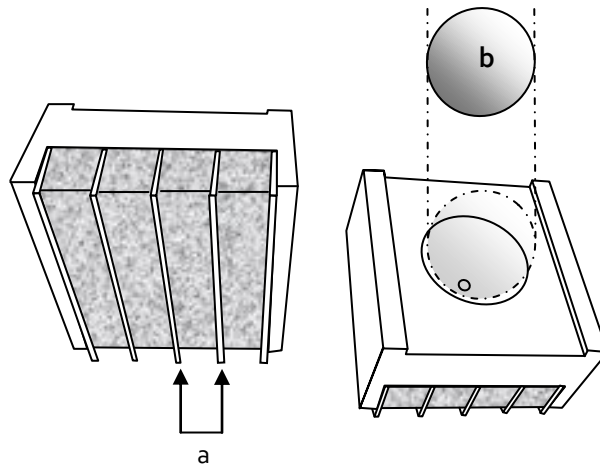


Figura 2.16 Tapa de caja de corte a) Bordes estriados b) Balín

2.3.6 Norma ASTM



Designation: D 3080 – 03

Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions¹

This standard is issued under the fixed designation D 3080; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope*

1.1 This test method covers the determination of the consolidated drained shear strength of a soil material in direct shear. The test is performed by deforming a specimen at a controlled strain rate on or near a single shear plane determined by the configuration of the apparatus. Generally, three or more specimens are tested, each under a different normal load, to determine the effects upon shear resistance and displacement, and strength properties such as Mohr strength envelopes.

1.2 Shear stresses and displacements are nonuniformly distributed within the specimen. An appropriate height cannot be defined for calculation of shear strains. Therefore, stress-strain relationships or any associated quantity such as modulus, cannot be determined from this test.

1.3 The determination of strength envelopes and the development of criteria to interpret and evaluate test results are left to the engineer or office requesting the test.

1.4 The results of the test may be affected by the presence of soil or rock particles, or both, (see Section 7).

1.5 Test conditions including normal stress and moisture environment are selected which represent the field conditions being investigated. The rate of shearing should be slow enough to ensure drained conditions.

1.6 There may be instances when the gap between the plates should be increased to accommodate sand sizes greater than the specified gap. Presently there is insufficient information available for specifying gap dimension based on particle size distribution.

1.7 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. Within this test method the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of each other.

1.8 All observed and calculated values shall conform to the guidelines for significant digits and rounding established in Practice D 6026.

1.8.1 The method used to specify how data are collected, calculated, or recorded in this standard is not directly related to the accuracy to which the data can be applied in design or other uses, or both. How one applies the results obtained using this standard is beyond its scope.

1.9 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 422 Method for Particle-Size Analysis of Soils²
- D 653 Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids²
- D 698 Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft)²
- D 1557 Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56 000 ft-lbf/ft)²
- D 1587 Practice for Thin-Walled Geotechnical Tube Sampling of Soils²
- D 2216 Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock²
- D 2435 Test Method for One Dimensional Consolidation Properties of Soils²
- D 2487 Test Method for Classification of Soils for Engineering Purposes²
- D 2488 Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure)²
- D 3740 Practice for Minimum Requirements for Agencies Engaged in the Testing and/or Inspection of Soil and Rock²
- D 4220 Practices for Preserving and Transporting Soil Samples²
- D 4318 Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils²
- D 4753 Specifications for Evaluating, Selecting, and Specifying Balances and Scales for Use in Soil Rock and

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D18 on Soil and Rock and is the direct responsibility of Subcommittee D18.05 on Structural Properties of Soils.

Current edition approved Feb. 10, 2003. Published April 2003. Originally approved in 1972. Last previous edition approved in 1998 as D 3080 – 98.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.



Construction Materials Testing²
 D 6026 Practice for Using Significant Digits in Geotechnical Data³

3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in this test method, refer to Terminology D 653.

3.2 *Description of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *Relative Lateral Displacement*—The horizontal displacement of the top and bottom shear box halves.

3.2.2 *Failure*—The stress condition at failure for a test specimen. Failure is often taken to correspond to the maximum shear stress attained, or the shear stress at 15 to 20 percent relative lateral displacement. Depending on soil behavior and field application, other suitable criteria may be defined.

4. Summary of Test Method

4.1 This test method consists of placing the test specimen in the direct shear device, applying a predetermined normal stress, providing for wetting or draining of the test specimen, or both, consolidating the specimen under the normal stress, unlocking the frames that hold the test specimen, and displacing one frame horizontally with respect to the other at a constant rate of shearing deformation and measuring the shearing force and horizontal displacements as the specimen is sheared (Fig. 1).

5. Significance and Use

5.1 The direct shear test is suited to the relatively rapid determination of consolidated drained strength properties because the drainage paths through the test specimen are short, thereby allowing excess pore pressure to be dissipated more rapidly than with other drained stress tests. The test can be made on all soil materials and undisturbed, remolded or compacted materials. There is however, a limitation on maximum particle size (see 7.2).

5.2 The test results are applicable to assessing strength in a field situation where complete consolidation has occurred under the existing normal stresses. Failure is reached slowly under drained conditions so that excess pore pressures are dissipated. The results from several tests may be used to express the relationship between consolidation stress and drained shear strength.

5.3 During the direct shear test, there is rotation of principal stresses, which may or may not model field conditions. Moreover, failure may not occur on the weak plane since failure is forced to occur on or near a horizontal plane at the

middle of the specimen. The fixed location of the plane in the test can be an advantage in determining the shear resistance along recognizable weak planes within the soil material and for testing interfaces between dissimilar materials.

5.4 Shear stresses and displacements are nonuniformly distributed within the specimen, and an appropriate height is not defined for calculating shear strains or any associated engineering quantity. The slow rate of displacement provides for dissipation of excess pore pressures, but it also permits plastic flow of soft cohesive soils. Care should be taken to ensure that the testing conditions represent those conditions being investigated.

5.5 The range in normal stresses, rate of shearing, and general test conditions should be selected to approximate the specific soil conditions being investigated.

NOTE 1—Notwithstanding the statement on precision and bias contained in this standard: The precision of this test method is dependent on the competence of the personnel performing the test and the suitability of the equipment and facilities used. Agencies which meet the criteria of Practice D 3740 are generally considered capable of competent and objective testing. Users of this test method are cautioned that compliance with Practice D 3740 does not in itself assure reliable testing. Reliable testing depends on several factors; Practice D 3740 provides a means of evaluating some of these factors.

6. Apparatus

6.1 *Shear Device*—A device to hold the specimen securely between two porous inserts in such a way that torque is not applied to the specimen. The shear device shall provide a means of applying a normal stress to the faces of the specimen, for measuring change in thickness of the specimen, for permitting drainage of water through the porous inserts at the top and bottom boundaries of the specimen, and for submerging the specimen in water. The device shall be capable of applying a shear force to the specimen in water. The device shall be capable of applying a shear force to the specimen along a predetermined shear plane (single shear) parallel to the faces of the specimen. The frames that hold the specimen shall be sufficiently rigid to prevent their distortion during shearing. The various parts of the shear device shall be made of material not subject to corrosion by moisture or substances within the soil, for example, stainless steel, bronze, or aluminum, etc. Dissimilar metals, which may cause galvanic action, are not permitted.

6.2 *Shear Box*, a shear box, either circular or square, made of stainless steel, bronze, or aluminum, with provisions for drainage through the top and bottom. The box is divided vertically by a horizontal plane into two halves of equal thickness which are fitted together with alignment screws. The shear box is also fitted with gap screws, which control the space (gap) between the top and bottom halves of the shear box.

6.3 *Porous Inserts*, Porous inserts function to allow drainage from the soil specimen along the top and bottom boundaries. They also function to transfer horizontal shear stress from the insert to the top and bottom boundaries of the specimen. Porous inserts shall consist of silicon carbide, aluminum oxide, or metal which is not subject to corrosion by soil substances or soil moisture. The proper grade of insert

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.09.

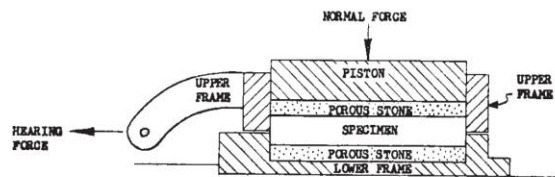



FIG. 1 Test Specimens in (a) Single and (b) Double Shear


D 3080 – 03

depends on the soil being tested. The permeability of the insert should be substantially greater than that of the soil, but should be textured fine enough to prevent excessive intrusion of the soil into the pores of the insert. The diameter or width of the top porous insert or plate shall be 0.01 to 0.02 in. (0.2 to 0.5 mm) less than that of the inside of the ring. If the insert functions to transfer the horizontal stress to the soil, it must be sufficiently coarse to develop interlock. Sandblasting or tooling the insert may help, but the surface of the insert should not be so irregular as to cause substantial stress concentrations in the soil.

NOTE 2—Exact criteria for insert texture and permeability have not been established. For normal soil testing, medium grade inserts with a permeability of about 0.5 to 1.0×10^3 ft/yr (5.0×10^{-4} to 1.0×10^{-3} cm/s) are appropriate for testing silts and clays, and coarse grade inserts with a permeability of about 0.5 to 1.0×10^5 ft/yr (0.05 to 0.10 cm/s) are appropriate for sands. It is important that the permeability of the porous insert is not reduced by the collection of soil particles in the pores of the insert; hence frequent checking and cleaning (by flushing and boiling, or by ultrasonic cleaning) are required to ensure the necessary permeability.

6.4 Loading Devices:

6.4.1 Device for Applying and Measuring the Normal Force—The normal force is applied by a lever loading yoke which is activated by dead weights (masses) or by a pneumatic loading device. The device shall be capable of maintaining the normal force to within ± 1 percent of the specified force quickly without exceeding it.

6.4.2 Device for Shearing the Specimen—The device shall be capable of shearing the specimen at a uniform rate of displacement, with less than ± 5 percent deviation, and should permit adjustment of the rate of displacement from 0.0001 to 0.04 in./min (.0025 to 1.0 mm/min). The rate to be applied depends upon the consolidation characteristics of the soils (see 9.12.1). The rate is usually maintained with an electric motor and gear box arrangement and the shear force is determined by a load indicating device such as a proving ring or load cell.

6.4.3 The weight of the top shear box shall be less than 1 percent of the applied normal force: this will most likely require that the top shear box be supported by counter force and might require modifications to the equipment.

NOTE 3—Shearing the test specimen at a rate greater than specified may produce partially drained shear results that will differ from the drained strength of the material.

6.5 Shear Force Measurement Device—A proving ring or load cell accurate to 0.5 lbf (2.5 N), or 1 percent of the shear force at failure, whichever is greater.

6.6 Shear Box Bowl—A metallic box which supports the shear box and provides either a reaction against which one half of the shear box is restrained, or a solid base with provisions for aligning one half of the shear box, which is free to move coincident with applied shear force in a horizontal plane.

6.7 Controlled High Humidity Room, if required, for preparing specimens, such that water content gain or loss during specimen preparation is minimized.

6.8 Trimmer or Cutting Ring, for trimming oversized samples to the inside dimensions of the shear box with a minimum of disturbance. An exterior jig may be needed to maintain the shear box alignment.

6.9 Balances—a balance or scale conforming to the requirements of Specification D 4753 readable (with no estimate) to 0.1% or better.

6.10 Deformation Indicators—Either dial gages or displacement transformers capable of measuring the change in thickness of the specimen, with a sensitivity of at least 0.0001 in. (0.0025 mm) and to measure horizontal displacement with sensitivity of at least 0.001 in. (0.025 mm).

6.11 Apparatus for Determination of Water Content, as specified in Test Method D 2216.

6.12 Equipment for Remolding or Compacting Specimens, if applicable.

6.13 Miscellaneous Equipment, including timing device with a second hand, distilled or demineralized water, spatulas, knives, straightedge, wire saws, etc., used in preparing the specimen.

7. Test Specimen

7.1 The sample used for specimen preparation should be sufficiently large so that a minimum of three similar specimens can be prepared. Prepare the specimens in a controlled temperature and humidity environment to minimize moisture loss or gain.

7.1.1 Extreme care shall be taken in preparing undisturbed specimens of sensitive soils to prevent disturbance to the natural soil structure. Determine the initial mass of the wet specimen for use in calculating the initial water content and unit weight of the specimen.

7.2 The minimum specimen diameter for circular specimens, or width for square specimens, shall be 2.0 in. (50 mm), or not less than 10 times the maximum particle size diameter, whichever is larger, and conform to the width to thickness ratio specified in 7.4.

7.3 The minimum initial specimen thickness shall be 0.5 in. (12 mm), but not less than six times the maximum particle diameter.

7.4 The minimum specimen diameter to thickness or width to thickness ratio shall be 2:1.

NOTE 4—If large soil particles are found in the soil after testing, a particle size analysis should be performed in accordance with Method D 422 to confirm the visual observations, and the result should be provided with the test report.

7.5 Specimen Preparation:

7.5.1 Undisturbed Specimens—Prepare undisturbed specimens from large undisturbed samples or from samples secured in accordance with Practice D 1587, or other undisturbed tube sampling procedures. Undisturbed samples shall be preserved and transported as outlined for Group C or D samples in Practice D 4220. Handle specimens carefully to minimize disturbance, changes in cross section, or loss of water content. If compression or any type of noticeable disturbance would be caused by the extrusion device, split the sample tube lengthwise or cut it off in small sections to facilitate removal of the specimen with minimum disturbance. Prepare trimmed specimens, whenever possible, in an environment which will minimize the gain or loss of specimen moisture.

NOTE 5—A controlled high-humidity room is desirable for this purpose.

 **D 3080 – 03**

7.5.2 Compacted Specimens—Specimens shall be prepared using the compaction method, water content, and unit weight prescribed by the individual assigning the test. Assemble and secure the shear box. Place a moist porous insert in the bottom of the shear box. Specimens may be molded by either kneading or tamping each layer until the accumulative mass of the soil placed in the shear box is compacted to a known volume, or by adjusting the number of layers, the number of tamps per layer, and the force per tamp. The top of each layer shall be scarified prior to the addition of material for the next layer. The compacted layer boundaries shall be positioned so they are not coincident with the shear plane defined by the shear box halves, unless this is the stated purpose for a particular test. The tamper used to compact the material shall have an area in contact with the soil equal to or less than $\frac{1}{2}$ the area of the mold. Determine the mass of wet soil required for a single compacted lift and place it in the shear box. Compact the soil until the desired unit weight is obtained. Continue placing and compacting soil until the entire specimen is compacted.

NOTE 6—A light coating of grease applied to the inside of the shear box may be used to reduce friction between the specimen and shear box during consolidation. However, the upper ring in some shear devices requires friction to support the ring after the shear plates have been gapped. A light coating of grease applied between the halves of the shear box may be used to reduce friction between the halves of the shear box during shear. TFE-fluorocarbon coating may also be used on these surfaces instead of grease to reduce friction.

NOTE 7—The required thickness of the compacted lift may be determined by directly measuring the thickness of the lift, or from the marks on the tamping rod which correspond to the thickness of the lift being placed.

NOTE 8—The decision to dampen the porous inserts by inundating the shear box before applying the normal force depends on the problem under study. For undisturbed samples obtained below the water table, the porous inserts are usually dampened. For swelling soils, the sequence of consolidation, wetting, and shearing should model field conditions. Determine the compacted mass of the specimen from either the measured mass placed and compacted in the mold, or the difference between the mass of the shear box and compacted specimen and the tare mass of the shear box.

7.6 Material required for the specimen shall be batched by thoroughly mixing soil with sufficient water to produce the desired water content. Allow the specimen to stand prior to compaction in accordance with the following guide:

Classification D 2487	Minimum Standing Time, h
SW, SP	No Requirement
M	3
SC, ML, CL	18
MH, CH	36

7.7 Compacted specimens may also be prepared by compacting soil using the procedures and equipment used to determine moisture-density relationships of soils (Test Methods D 698 or D 1557), and trimming the direct shear test specimen from the larger test specimen as though it were an undisturbed specimen.

8. Calibration

8.1 The calibration is to determine the deformation of the apparatus when subject to the consolidation load, so that for each normal consolidation load the apparatus deflection may be

subtracted from the observed deformations. Therefore, only deformation due to sample consolidation will be reported for complete tests. Calibration for the equipment load-deformation characteristics need to be performed on the apparatus when first placed in service, or when apparatus parts are changed.

8.2 Assemble the direct-shear device with a metal calibration disk or plate of a thickness approximately equal to the desired test specimen and up to $\frac{1}{4}$ in. (5 mm) smaller in diameter or width of the shear box.

8.3 Position the normal displacement indicator. Adjust this indicator so that it can be used to measure either consolidation or swell from the calibration disk or plate reading. Record the zero or “no load” reading.

8.4 Apply increments of normal force up to the equipment limitations, and record the normal displacement indicator reading and normal force. Remove the applied normal force in reverse sequence of the applied force, and record the normal displacement indicator readings and normal force. Average the values and plot the load deformation of the apparatus as a function of normal load. Retain the results for future reference in determining the thickness of the test specimen and compression within the test apparatus itself.

8.5 Remove the calibration disk or plate.

NOTE 9—Other methods of proven accuracy for calibrating the apparatus are acceptable.

9. Procedures

9.1 Assemble the shear box.

9.1.1 Undisturbed Specimen—Place moist porous inserts over the exposed ends of the specimen in the shear box; place the shear box containing the undisturbed specimen and porous inserts into the shear box bowl and attach the shear box.

NOTE 10—For some apparatus, the top half of the shear box is held in place by a notched rod which fits into a receptacle in the top half of the shear box. The bottom half of the shear box is held in place in the shear box bowl retaining bolts. For some apparatus, the top half of the shear box is held in place by an anchor plate.

9.1.2 Compacted Specimen—Place the shear box containing the compacted specimen and porous inserts into the shear box bowl and attach the shear box.

9.2 Connect and adjust the shear force loading system so that no force is imposed on the load measuring device.

9.3 Properly position and adjust the horizontal displacement measurement device used to measure shear displacement. Obtain an initial reading or set the measurement device to indicate zero displacement.

9.4 Place a moist porous insert and load transfer plate on the top of the specimen in the shear box.

9.5 Place the normal force loading yoke into position and adjust it so the loading bar is horizontal. For dead load lever loading systems, level the lever. For pneumatic loading systems, adjust the yoke until it sits snugly against the recess in the load transfer plate, or place a ball bearing on the load transfer plate and adjust the yoke until the contact is snug.

9.6 Apply a small normal load to the specimen. Verify that all components of the loading system are seated and aligned. The top porous insert and load transfer plate must be aligned so


D 3080 – 03

that the movement of the load transfer plate into the shear box is not inhibited. Record the applied vertical load and horizontal load on the system.

NOTE 11—The normal stress applied to the specimen should be approximately 1 lbf/in.² (7 kPa).

9.7 Attach and adjust the vertical displacement measurement device. Obtain initial reading for the vertical measurement device and a reading for the horizontal displacement measurement device.

9.8 If required, fill the shear box with water, and keep it full for the duration of the test.

9.9 Calculate and record the normal force required to achieve the desired normal stress or increment thereof. Apply the desired normal stress by adding the appropriate mass to the lever arm hanger, or by increasing the pneumatic pressure.

NOTE 12—The normal force used for the specimen will depend upon the data required. Application of the normal force in one increment may be appropriate for relatively firm soils. For relatively soft soils, application of the normal force in several increments may be necessary to prevent damage to the specimen.

9.10 Apply the desired normal load or increments thereof to the specimen and begin recording the normal deformation readings against elapsed time. For all load increments, verify completion of primary consolidation before proceeding (see Test Method D 2435). Plot the normal displacement versus either log of time or square root of time (in min).

9.11 After primary consolidation is completed, remove the alignment screws or pins from the shear box. Open the gap between the shear box halves to approximately 0.025 in. (0.64 mm) using the gap screws. Back out the gap screws.

9.12 Shear the specimen.

9.12.1 Select the appropriate displacement rate. Shear the specimen at a relatively slow rate so that no excess pore pressure would exist at failure. The following equation shall be used as a guide to determine the estimated minimum time required from the start of the test to failure:

$$t_f = 50t_{50}$$

where:

t_f = total estimated elapsed time to failure, min,
 t_{50} = time required for the specimen to achieve 50 percent consolidation under the specified normal stress (or increments thereof), min.

NOTE 13—If the normal displacement versus square root of time used, t_{50} can be calculated from the time to complete 90 % consolidation using the following expression:

$$t_{50} = \frac{t_{90}}{4.28}$$

where:

t_{90} = time required for the specimen to achieve 90 percent consolidation under the specified normal stress (or increment thereof), min.

4.28 = constant, relates displacement and time factors at 50 and 90 percent consolidation.

NOTE 14—If the material exhibits a tendency to swell, the soil must be inundated with water and must be permitted to achieve equilibrium under an increment of normal stress large enough to counteract the swell

tendency before the minimum time to failure can be determined. The time-consolidation curve for subsequent normal stress increments are then valid for use in determining t_f .

NOTE 15—Some soils, such as dense sands and over consolidated clays, may not exhibit well defined time-settlement curves. Consequently, the calculation of t_f may produce an inappropriate estimate of the time required to fail the specimen under drained conditions. For over consolidated clays which are tested under normal stresses less than the soil's pre-consolidation pressure, it is suggested that a time to failure be estimated using a value of t_{50} equivalent to one obtained from normal consolidation time-settlement behavior. For clean dense sands which drain quickly, a value of 10 min may be used for t_f for dense sands with more than 5 % fines, a value of 60 min may be used for t_f . If an alternative value of t_f is selected, the rationale for the selection shall be explained with the test results.

9.13 Determine the appropriate displacement from the following equation:

$$d_r = d_f / t_f$$

where:

d_r = displacement rate (in./min, mm/min),
 d_f = estimated horizontal displacement at failure (in., mm),
 t_f = total estimate elapsed time to failure, min.

NOTE 16—The magnitude of the estimated displacement at failure is dependent on many factors including the type and the stress history of the soil. As a guide, use $d_f = 0.5$ in. (12 mm) if the material is normally or lightly over consolidated fine-grained soil, otherwise use $d_f = 0.2$ in. (5 mm).

9.13.1 *Select and Set the Displacement Rate*—For some types of apparatus, the displacement rate is achieved using combinations of gear wheels and gear lever positions. For other types the displacement rate is achieved by adjusting the motor speed.

9.13.2 Record the initial time, vertical and horizontal displacements, and normal and shear forces.

9.13.3 Start the apparatus and initiate shear.

9.13.4 Obtain data readings of time, vertical and horizontal displacement, and shear force at desired interval of displacement. Data readings should be taken at displacement intervals equal to 2 percent of the specimen diameter or width to accurately define a shear stress-displacement curve.

NOTE 17—Additional readings may be helpful in identifying the value of peak shear stress of over consolidated or brittle material.

NOTE 18—It may be necessary to stop the test and re-gap the shear box halves to maintain clearance between the shear box halves.

9.13.5 After reaching failure, stop the test apparatus. This displacement may range from 10 to 20 percent of the specimen's original diameter or length.

9.13.6 Remove the normal force from the specimen by removing the mass from the lever and hanger, or by releasing the pressure.

9.14 For cohesive test specimens, separate the shear box halves with a sliding motion along the failure plane. Do not pull the shear box halves apart perpendicularly to the failure surface, since it would damage the specimen. Photograph, sketch, or describe in writing the failure surface. This procedure is not applicable to cohesionless specimens.

9.15 Remove the specimen from the shear box and determine its water content according to Test Method D 2216.

9.16 *Calculate and Plot the Following:*

 **D 3080 – 03**

9.16.1 Nominal shear stress versus relative lateral displacement.

10. Calculation

10.1 Calculate the following:

10.1.1 Nominal shear stress, acting on the specimen is,

$$\tau = \frac{F}{A}$$

where:

τ = nominal shear stress (lbf/in.², kPa),

F = shear force (lbf, N),

A = initial area of the specimen (in.², mm²).

10.1.2 Normal stress acting on the specimen is,

$$n = \frac{N}{A}$$

where:

n = normal stress (lbf/in.², kPa),

N = normal vertical force acting on the specimen (lbf, N).

NOTE 19—Factors which incorporate assumptions regarding the actual specimen surface area over which the shear and normal forces are measured can be applied to the calculated values of shear or normal stress, or both. If a correction(s) is made, the factor(s) and rationale for using the correction shall be explained with the test results.

10.1.3 *Displacement Rate*—Calculate the actual displacement rate by dividing the relative lateral displacement by the elapsed time, or report the rate used for the test.

$$d_r = d_h / t_e$$

where:

d_r = displacement rate (in./min, mm/min),

d_h = relative lateral displacement (in.,mm),

t_e = elapsed time of test (min).

10.1.4 *Percent Relative Lateral Displacement*—Calculate the percent relative lateral displacement for each shear force reading.

$$d_p = d_i / d_h$$

where:

d_p = percent relative lateral displacement (%),

d_i = incremental displacement (in.,mm),

10.1.5 Compute the initial void ratio, dry unit weight and degree of saturation based on the specific gravity, initial water content, mass and volume of the total specimen. Specimen

volume is determined by measurements of the shear box lengths or diameter and of the measured thickness of the specimen.

11. Report: Test Data Sheet(s)/Form(s)

11.1 The methodology used to specify how data are recorded on the data sheet(s)/form(s), as given below is covered in 1.8

11.2 Record as a minimum the following general information (data):

11.2.1 Sample identification, project and location.

11.2.2 Description of type of shear device used in test.

11.2.3 Description of appearance of the specimen, based on Practice D 2488 (Test Method D 2487 may be used as an alternative), Atterberg limits (Test Method D 4318), and grain size data (Method D 422), if obtained (see 7.4).

11.2.4 Description of soil structure, that is whether the specimen is undisturbed, remolded, compacted, or otherwise prepared.

11.2.5 Initial and final water content.

11.2.6 Dry mass and initial and final wet unit weight.

11.2.7 Initial and final dry unit weight.

11.2.8 Initial thickness and diameter (width for square shear boxes).

11.2.9 Normal stress, rate of deformation, shear displacement, and corresponding nominal shear stress values and specimen thickness changes.

11.2.10 Plot of log of time or square root of time versus deformation of those load increments where t_{50} was determined.

11.2.11 Plot of nominal shear stress versus percent relative lateral displacement.

11.2.12 Departure from the procedure outlines, such as special loading sequences or special wetting requirements.

12. Precision and Bias

12.1 *Precision*—Data are being evaluated to determine the precision of this test method. In addition, Subcommittee D18.05 is seeking pertinent data from users of the test method.

12.2 *Bias*—There is no accepted reference value for this test method, therefore, bias cannot be determined.

13. Keywords

13.1 compacted specimens; consolidated; direct-shear test; drained test conditions; Mohr strength envelope; shear strength; undisturbed



SUMMARY OF CHANGES

In accordance with Committee D18 policy, this section identifies the location of changes to this standard to the last edition (D 3080–98) that may impact the use of this standard.

- | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> (1) New Sections 1.8 and 1.8.1 were added to address significant digits. (2) Previous section 1.7 was renumbered to 1.8. (3) D854 was removed from Referenced Document section as the standard does not appear in the text. (4) Practice D 6026 was added to the Referenced Document section. (5) An editorial correction was made to 6.4.3. (6) Permissive language was eliminated in sections 6.4.3, 7.1.1, and 7.5.2 (“should” was changed to “shall”). (7) Wording in section 6.9 was changed concerning balances. | <ul style="list-style-type: none"> (8) An editorial correction (grammatical) was made to 9.14 — “described” was changed to “describe”. (9) Add calculation equation for percent relative placement in section 10.1.4, and renumbered following. (10) Note 13 was moved to the Scope section and all sections were renumbered. (11) Requirements for the calibration disk were changed in Section 8.2. (12) Section 11 was reformatted. (13) A note was moved to the Scope section as follows. (14) A grammatical correction was made to section 10.1.4. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

III

Material Utilizado

3.1 Materiales Utilizados

Dentro de las pruebas que se ensayaron durante esta tesis podremos observar los materiales que se ocuparon y se seleccionaron 4 muestras de arena de diferentes orígenes. Como se indicará más adelante, las arenas que se ensayaron son dos de tipo uniforme y dos bien graduadas, cada una de ellas tienen diferente granulometría o tamaños de partículas.

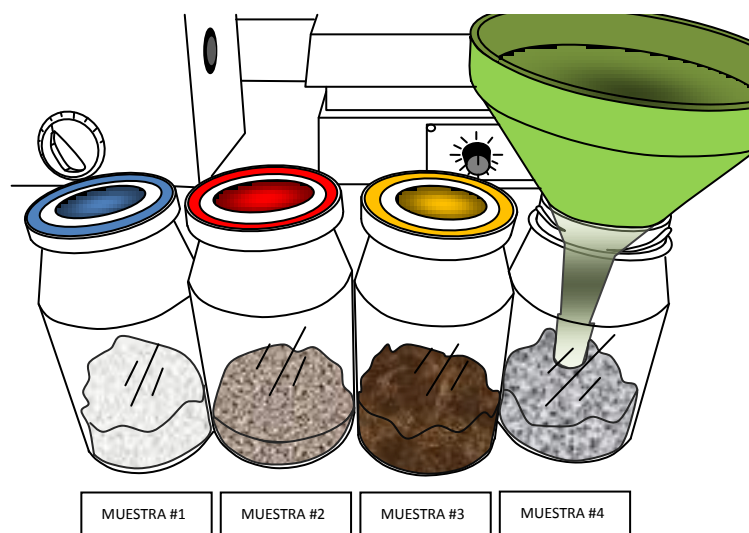


Figura 3.1 Muestras de arena uniformes (1 y 2) y bien graduado (3 y 4)

3.2 Granulometría

Como ya se mencionó la granulometría la finalidad es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. El ensayo es importante, ya que gran parte de los criterios de aceptación de suelos para ser utilizados en bases o sub-bases de carreteras, presas de tierra o diques, drenajes, etc., depende de este análisis.

Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente.

Equipo necesario

- Un juego de tamices normalizados.
- Dependiendo el total de la muestra se necesitará de balanzas con capacidades superiores a estas y precisiones de 1 gr y 0.1 [g].
- Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable
- Un vibrador mecánico, o en su defecto se procederá hacerse manual.
- Herramientas y accesorios. Bandeja metálica, recipientes plásticos y escobilla, cepillos.

Procedimiento

El procedimiento es fácil ya que se homogeniza cuidadosamente el total de la muestra en estado natural (desmenuzándola con un mazo o con la mano), tratando de evitar romper sus partículas individuales, especialmente si se trata de un material blando, piedra arenosa u otro similar. Después de esto:

1. Se lava todo el material de suelo con el que se cuente. Se lavó a mano cada muestra de suelo con agua para darle un carácter de suelo ideal sin contaminantes, ya sea por partículas orgánicas o simplemente para quitar los suelos finos que no nos interesarían para las pruebas que se realizaran en esta tesis.



Figura 3.19 Lavado del material con abundante agua

2. Se necesitará estar cambiando el agua dependiendo mucho en qué condiciones se encontró puesto que la suciedad del suelo puede ser causada simplemente porque la precipitación varía de zona a zona, podría ser lluvia ácida como sucede en las ciudades etc. , los vientos que llevan partículas, el simple hecho de tener desechos es decir, materia orgánica, se trató de quitar en lo sumo posible considerando que solo se hizo en este trabajo en relación en muestras de arena la fracción que se ocupará será la retenida en el tamiz o malla 3/8" ASTM (9.52 mm), pero con el fin de eliminar todo el material fino menor a 0.074 mm que corresponde a la malla No.200 que ya son suelos finos.



Figura 3.20 Revisión para que la muestra de suelo quede totalmente limpio

- 2.1 Se lavó el material con agua, se hizo de manera manual al estar moviendo el material constantemente para que las partículas no deseadas como suelos finos no estuvieran presentes, así como partículas como ramas o pequeñas partículas de restos de mar como conchas.
- 2.2 Se lavó el material con un jabón para quitar los posibles rastros de grasa presente en los materiales a considerar.
3. El material se deposita en una charola entonces se secará ya sea al aire a temperatura ambiente el tiempo necesario, o bien dentro de un horno a una temperatura inferior a 60° [C] donde se dejará durante 24 horas. Cumplido el tiempo de secado se espera a que este fría cada muestra.
4. Considerando el material ya limpio y que se tiene todo el juego de tamices, entonces se procederá a depositar el material en la malla o tamiz superior en los que deberán encontrarse limpios y ordenados en forma decreciente hasta la malla 3/8". El juego deberá contar de una tapa en la parte superior y una bandeja de residuos en la inferior.
 4. a Para las pruebas de esta tesis fue la limpieza de las mallas que eran necesarias para sacar las curvas granulométricas las cuales nos dirían que clase de material tendríamos y cuales podríamos usar para realizar pruebas de corte directo.

Al seleccionar las mallas en el laboratorio empezamos a ordenar las mallas por medio de la abertura de cada una y al tenerlas ya seleccionadas se procedió a marcar las mallas para que siempre se ocuparan las mismas ya para nuestras muestras, se colocó sobre ellas cinta adhesiva en un costado posteriormente se seleccionaron las mallas:

Malla No.	Abertura mm
3/8"	9.520
5/16"	8.000
1/4"	6.300
No 4	4.760
5	4.000
6	3.030
8	2.380
10	1.680
14	1.350
16	1.190
18	1.000
20	0.840
30	0.590
35	0.500
40	0.420
50	0.297
80	0.177
120	0.125
180	0.083
200	0.074
325	0.044
CHAROLA	



Figura 3.21 Colocación de todas las mallas ocupadas durante las pruebas y vaciado de material

5. Se hace vibrar manualmente el conjunto durante 5 a 10 minutos y dependiendo de tamaño de partícula de cada muestra y dependiendo en que malla se pudiera quedar más material y así obstruir el paso de partículas más pequeñas, tiempo después del cual se retira del vibrador y se registra el peso del material retenido en cada tamiz.

Cálculos:

De acuerdo a los valores de los pesos retenidos en cada malla, se debe registrar los siguientes datos en la hoja de cálculo en las columnas correspondientes con las fórmulas tomadas en el subtema 1.1.3 Granulometría.

Se verán 2 curvas en la gráfica, una que es la granulometría original del total de la muestra y la otra será la curva idealizada del material. Así como tablas donde se puede observar los valores de ambas.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO M-1

Malla No.	Abertura mm	Peso ret g	Ret parcial %	Ret acumulado %	% Q PASA	Peso ret g	Ret parcial %	Ret acumulado %	% Q PASA
3/8"	9.520	0.00	0.00	0.00	100.00				
5/16"	8.000	0.00	0.00	0.00	100.00				
1/4"	6.300	0.00	0.00	0.00	100.00				
No 4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00				
5	4.000	0.00	0.00	0.00	100.00				
6	3.030	0.00	0.00	0.00	100.00				
8	2.380	0.00	0.00	0.00	100.00				
10	1.680	0.11	0.01	0.01	99.99				
14	1.350	0.13	0.01	0.01	99.99				
16	1.190	0.02	0.00	0.01	99.99				
18	1.000	0.28	0.01	0.03	99.97				
20	0.840	0.73	0.04	0.06	99.94	0.00	0.00	0.00	100.00
30	0.590	1198.97	60.55	60.62	39.38	96.00	60.00	60.00	40.00
35	0.500	121.38	6.13	66.75	33.25	28.00	17.50	77.50	22.50
40	0.420	472.14	23.85	90.59	9.41	20.94	13.09	90.59	9.41
50	0.297	121.23	6.12	96.72	3.28	9.81	6.13	96.72	3.28
80	0.177	49.37	2.49	99.21	0.79	3.98	2.49	99.21	0.79
120	0.125	10.07	0.51	99.72	0.28	0.82	0.51	99.72	0.28
180	0.083	3.96	0.20	99.92	0.08	0.45	0.28	100.00	0.00
200	0.074	0.12	0.01	99.92	0.08	0.00	0.00	100.00	
325	0.044	1.46	0.07	100.00	0.00				
CHAROLA	0.000	0.04	0.00	100.00	0.00				

$W_m = 1980.01$ [g]

$W_{probeta} = 160.00$ [g]

Tabla 3.6 Análisis Granulométrico Muestra 1

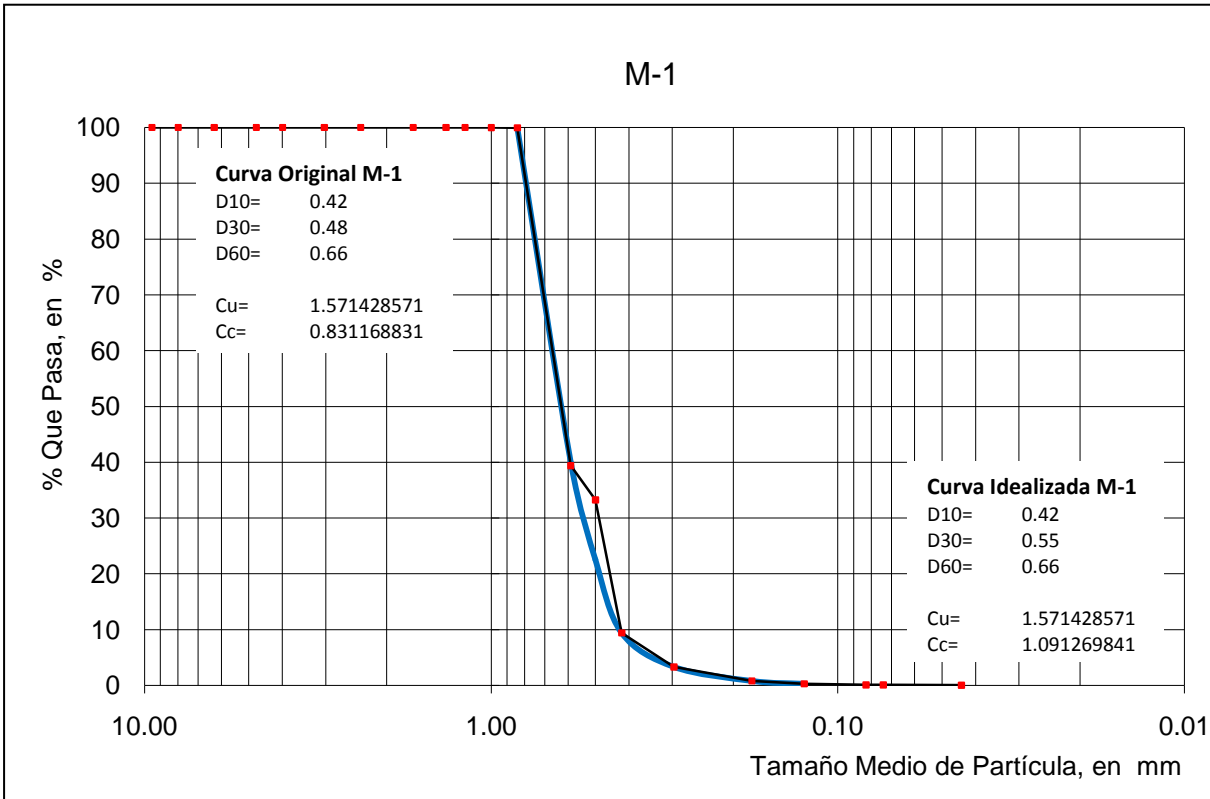


Figura 3.22 Curvas granulométricas para la muestra M-1

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO M-2

Malla No.	Abertura mm	Peso ret g	Ret parcial %	Ret acumulado %	% Q PASA	Peso ret g	Ret parcial %	Ret acumulado %	% Q PASA
3/8"	9.520	0.00	0.00	0.00	100.00				
5/16"	8.000	0.00	0.00	0.00	100.00				
1/4"	6.300	0.00	0.00	0.00	100.00				
No 4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00				
5	4.000	0.53	0.01	0.01	99.99				
6	3.030	5.06	0.12	0.13	99.87	0.00	0.00	0.00	100.00
8	2.380	5.42	0.13	0.26	99.74	0.42	0.26	0.26	99.74
10	1.680	91.13	2.16	2.42	97.58	3.46	2.16	2.42	97.58
14	1.350	384.03	9.11	11.53	88.47	7.33	4.58	7.00	93.00
16	1.190	67.69	1.61	13.14	86.86	9.82	6.14	13.14	86.86
18	1.000	1283.08	30.44	43.58	56.42	48.70	30.44	43.58	56.42
20	0.840	368.79	8.75	52.32	47.68	50.27	31.42	75.00	25.00
30	0.590	1862.86	44.19	96.51	3.49	29.60	18.50	93.50	6.50
35	0.500	75.12	1.78	98.30	1.70	5.60	3.50	97.00	3.00
40	0.420	61.44	1.46	99.75	0.25	2.40	1.50	98.50	1.50
50	0.297	8.25	0.20	99.95	0.05	2.32	1.45	99.95	0.05
80	0.177	1.76	0.04	99.99	0.01	0.08	0.05	100.00	
120	0.125	0.25	0.01	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
180	0.083	0.08	0.00	100.00	0.00				
200	0.074	0.00	0.00	100.00	0.00				
325	0.044	0.08	0.00	100.00	0.00				
CHAROLA	0.000	0.00	0.00	100.00	0.00				

W_m = 4215.57 [g]

W_{probeta} = 160.00 [g]

Tabla 3.7 Análisis Granulométrico Muestra 2

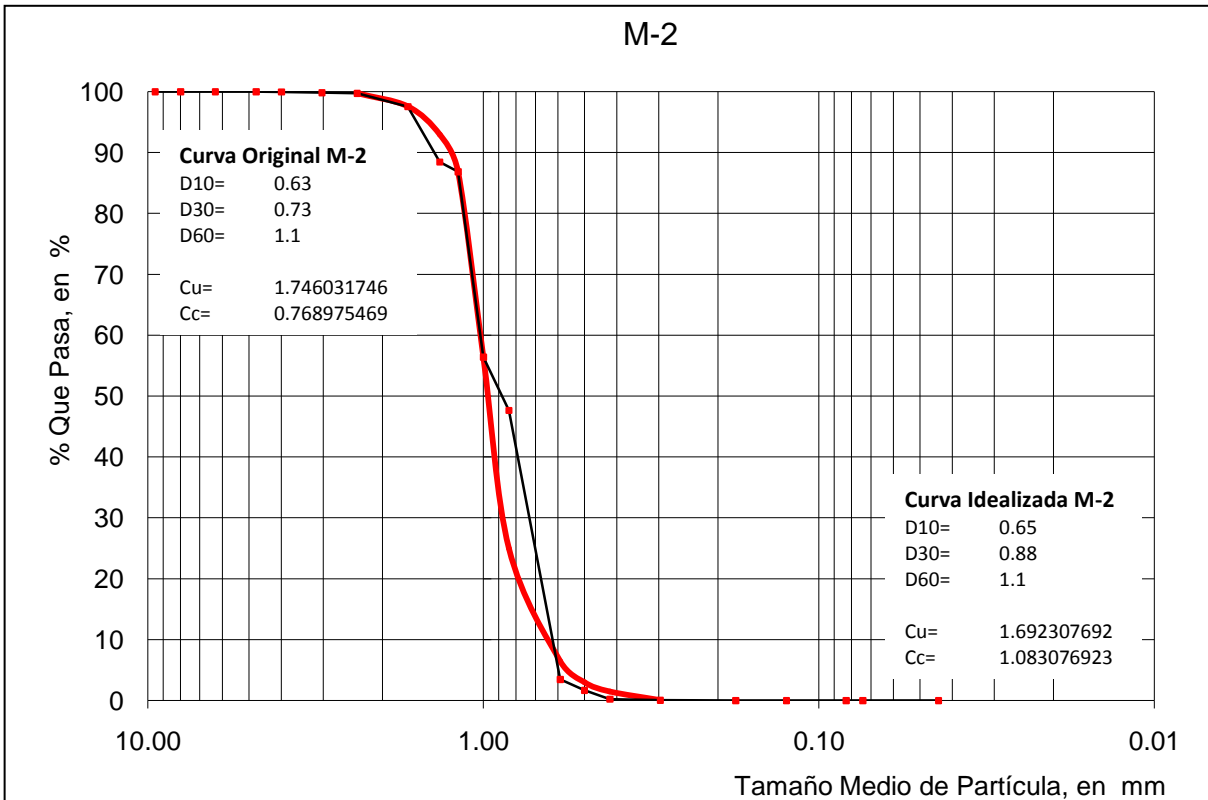


Figura 3.23 Curvas granulométricas para la muestra M-2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO M-3

Malla No.	Abertura mm	Peso ret g	Ret parcial %	Ret acumulado %	% Q PASA	Peso ret g	Ret parcial %	Ret acumulado %	% Q PASA
3/8"	9.520	3.12	0.50	0.50	99.50				
5/16"	8.000	1.81	0.29	0.79	99.21				
1/4"	6.300	1.02	0.16	0.95	99.05				
No 4	4.760	2.35	0.37	1.32	98.68	0.00	0.00	0.00	100.00
5	4.000	8.21	1.31	2.63	97.37	3.20	2.00	2.00	98.00
6	3.030	12.55	2.00	4.63	95.37	4.21	2.63	4.63	95.37
8	2.380	9.71	1.55	6.18	93.82	6.99	4.37	9.00	91.00
10	1.680	98.08	15.63	21.81	78.19	17.60	11.00	20.00	80.00
14	1.350	228.35	36.40	58.21	41.79	16.00	10.00	30.00	70.00
16	1.190	9.14	1.46	59.67	40.33	16.00	10.00	40.00	60.00
18	1.000	176.97	28.21	87.88	12.12	28.80	18.00	58.00	42.00
20	0.840	5.53	0.88	88.76	11.24	20.80	13.00	71.00	29.00
30	0.590	4.96	0.79	89.55	10.45	14.40	9.00	80.00	20.00
35	0.500	0.36	0.06	89.61	10.39	3.68	2.30	82.30	17.70
40	0.420	0.56	0.09	89.70	10.30	2.72	1.70	84.00	16.00
50	0.297	6.49	1.03	90.73	9.27	4.80	3.00	87.00	13.00
80	0.177	26.80	4.27	95.01	4.99	5.60	3.50	90.50	9.50
120	0.125	11.13	1.77	96.78	3.22	4.00	2.50	93.00	7.00
180	0.083	10.75	1.71	98.49	1.51	4.80	3.00	96.00	4.00
200	0.074	1.19	0.19	98.68	1.32	1.28	0.80	96.80	3.20
325	0.044	7.31	1.17	99.85	0.15	4.32	2.70	99.50	0.50
CHAROLA	0.000	0.95	0.15	100.00	0.00	0.80	0.50	100.00	

$W_m = 627.34$ [g]

$W_{probeta} = 160.00$ [g]

Tabla 3.8 Análisis Granulométrico Muestra 3

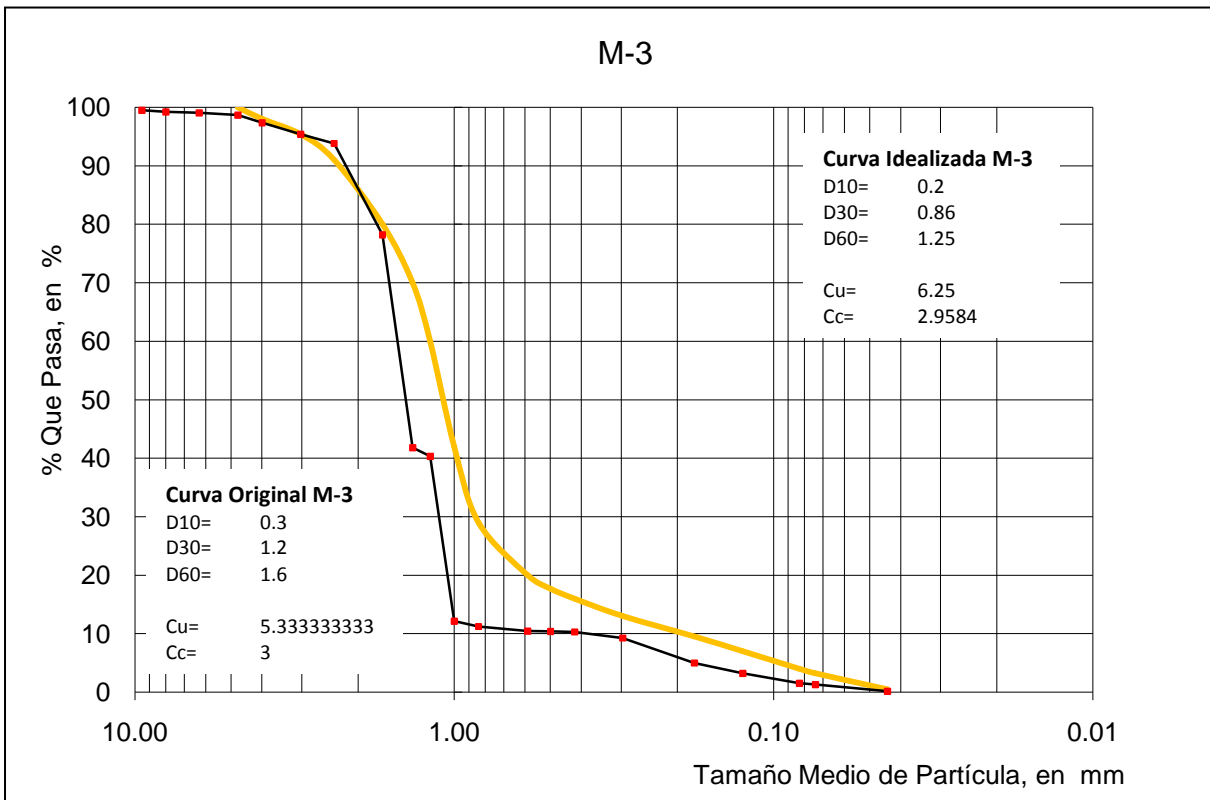


Figura 3.24 Curvas granulométricas para la muestra M-3

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO M-4

Malla No.	Abertura mm	Peso ret g	Ret parcial %	Ret acumulado %	% Q PASA	Peso ret g	Ret parcial %	Ret acumulado %	% Q PASA
3/8"	9.520	0.00	0.00	0.00	100.00				
5/16"	8.000	0.00	0.00	0.00	100.00				
1/4"	6.300	0.00	0.00	0.00	100.00				
No 4	4.760	19.71	2.11	2.11	97.89	0.00	0.00	0.00	100.00
5	4.000	148.88	15.95	18.06	81.94	11.20	7.00	7.00	93.00
6	3.030	243.11	26.05	44.11	55.89	28.80	18.00	25.00	75.00
8	2.380	127.11	13.62	57.72	42.28	24.00	15.00	40.00	60.00
10	1.680	57.49	6.16	63.88	36.12	25.60	16.00	56.00	44.00
14	1.350	27.13	2.91	66.79	33.21	12.80	8.00	64.00	36.00
16	1.190	3.29	0.35	67.14	32.86	5.02	3.14	67.14	32.86
18	1.000	30.03	3.22	70.36	29.64	6.98	4.36	71.50	28.50
20	0.840	6.55	0.70	71.06	28.94	5.60	3.50	75.00	25.00
30	0.590	79.74	8.54	79.60	20.40	9.60	6.00	81.00	19.00
35	0.500	19.15	2.05	81.66	18.34	4.80	3.00	84.00	16.00
40	0.420	46.36	4.97	86.62	13.38	4.19	2.62	86.62	13.38
50	0.297	51.91	5.56	92.18	7.82	8.90	5.56	92.18	7.82
80	0.177	56.20	6.02	98.21	1.79	9.65	6.03	98.21	1.79
120	0.125	12.89	1.38	99.59	0.41	2.21	1.38	99.59	0.41
180	0.083	2.54	0.27	99.86	0.14	0.43	0.27	99.86	0.14
200	0.074	0.15	0.02	99.87	0.13	0.02	0.01	99.87	0.13
325	0.044	0.74	0.08	99.95	0.05	0.21	0.13	100.00	
CHAROLA	0.000	0.43	0.05	100.00	0.00				

W_m = 933.41 [g]

W_{probeta} = 160.00 [g]

Tabla 3.9 Análisis Granulométrico Muestra 4

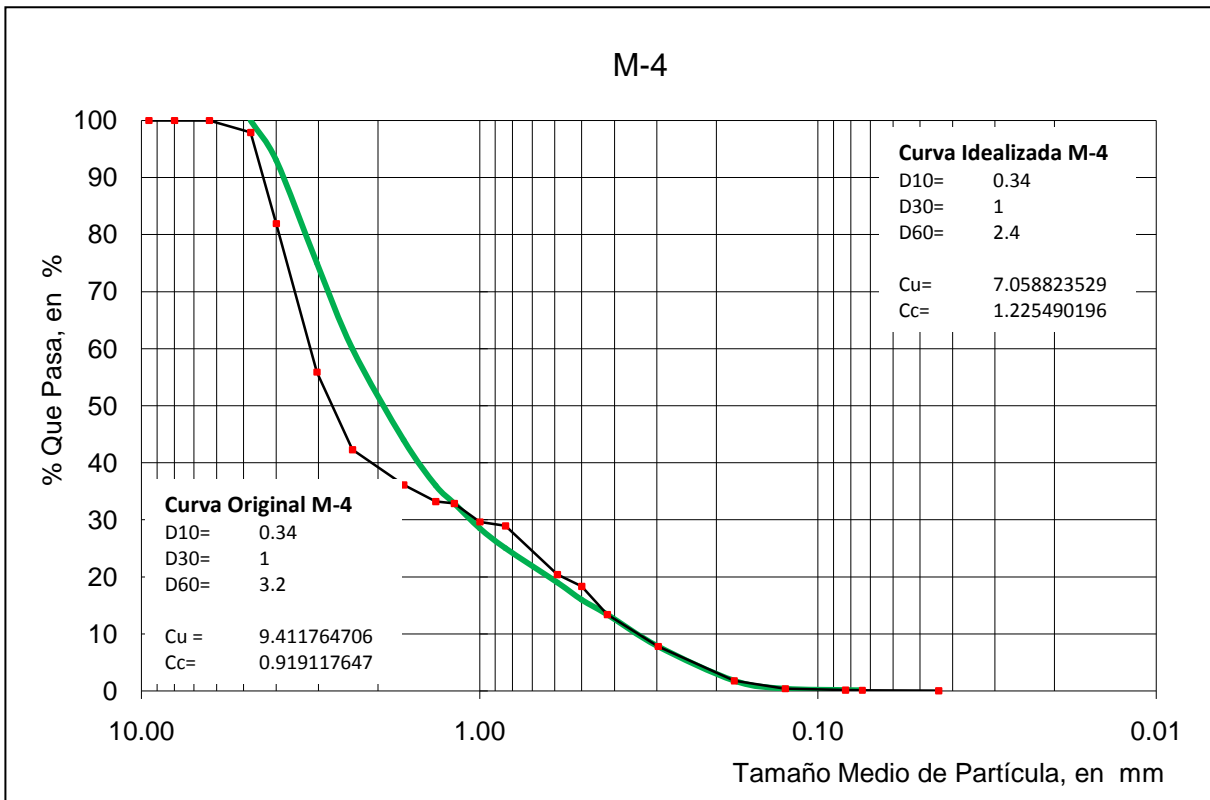


Figura 3.25 Curvas granulométricas para la muestra M-4

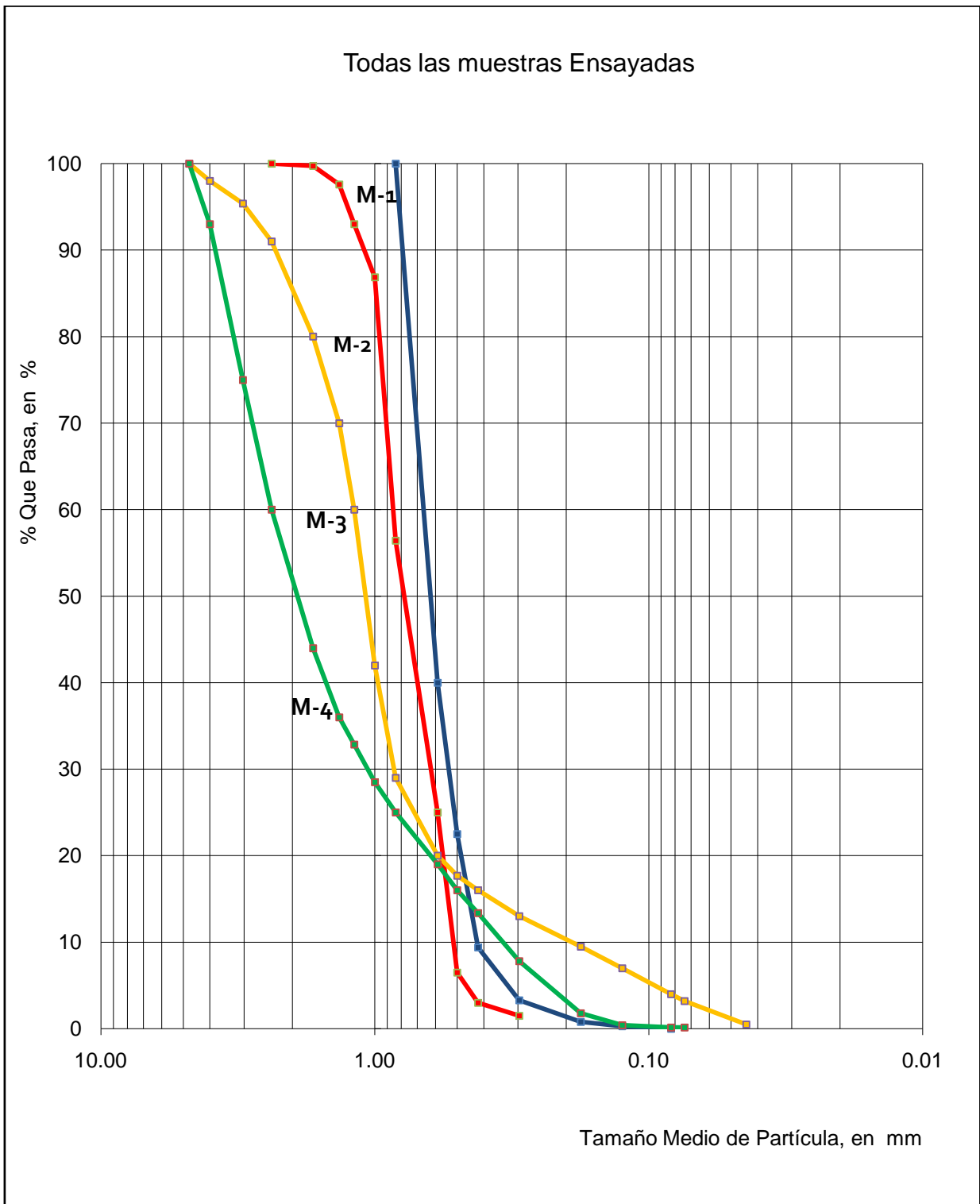


Figura 3.26 Curvas granulométricas de todas las muestras que se ocuparon

3.3 Clasificación SUCS

Con relación a las curvas granulométricas obtenidas para cada una de las muestras y mediante el Sistema de clasificación de suelos (SUCS), se obtiene los siguientes parámetros con los cuales se podrá definir qué tipo de suelo es.

Se ocupará:

Coefficiente de uniformidad (C_U)

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \dots\dots\dots [3.11]$$

Coefficiente de gradación (C_C)

$$C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \dots\dots\dots [3.12]$$

Como dato la granulometría de las partículas al tener los coeficientes de uniformidad y curvatura que se utilizan para determinar si un suelo grueso (Grava [G] y/o Arena [S]) está bien o mal graduado. Para las gravas el valor de $C_U \geq 4$ y en arenas el valor de $C_U \geq 6$, para ambos suelos gruesos el valor de C_C debe quedar comprendido entre: $1 \leq C_C \leq 3$.

Para la muestra **M-1**

$D_{10} = 0.42$

$D_{30} = 0.55$

$D_{60} = 0.66$

$$C_U = \frac{0.66}{0.42}$$

$$C_C = \frac{(0.55)^2}{0.42 * 0.66}$$

$C_U = 1.5714$
 $C_C = 1.0912$

Para la muestra **M-2**

$D_{10} = 0.65$

$D_{30} = 0.88$

$D_{60} = 1.1$

$$C_U = \frac{1.1}{0.65}$$

$$C_C = \frac{(0.88)^2}{0.65 * 1.1}$$

$C_U = 1.6923$

$$C_c = 1.0830$$

Para la muestra **M-3**

$$D_{10} = 0.2$$

$$D_{30} = 0.86$$

$$D_{60} = 1.25$$

$$C_u = \frac{1.25}{0.2}$$

$$C_c = \frac{(0.86)^2}{0.2 * 1.25}$$

$$C_u = 6.2500$$

$$C_c = 2.9584$$

Para la muestra **M-4**

$$D_{10} = 0.34$$

$$D_{30} = 1.0$$

$$D_{60} = 2.4$$

$$C_u = \frac{2.4}{0.34}$$

$$C_c = \frac{(1)^2}{0.34 * 2.4}$$

$$C_u = 7.0588$$

$$C_c = 1.2254$$

MUESTRA		C_u		C_c		SIMBOLOGÍA
M-1		1.5714		1.0912		SP
M-2		1.6923		1.0830		SP
M-3		6.5000		2.9584		SW
M-4		7.0580		1.2254		SW

Tabla 3.10 Clasificación del suelo ensayado en esta tesis conforme al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS por sus siglas en Inglés).

Tiene como parámetros:

Que más del 50 % de la fracción retenida hasta la malla No. 200 pasa la malla No. 4 obteniéndose un suelo grueso, arena (S). Como la arena es limpia se tiene 0% de finos

Así que como se observa en la tabla 3.10 y de acuerdo al SUCS, establece que para un suelo bien graduado se deben cumplir para las arenas las siguientes condiciones:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \quad 1 \leq C_c \leq 3$$

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad C_u \geq 6$$

Donde:

C_u : coeficiente de uniformidad

C_c : coeficiente de curvatura

Por lo tanto para la muestra **M-1** y **M-2** como no se cumplen las dos condiciones, entonces se obtiene una arena limpia mal graduada **SP** (uniforme y la P viene del Inglés donde significa Poorly Grade) donde existe un predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios.

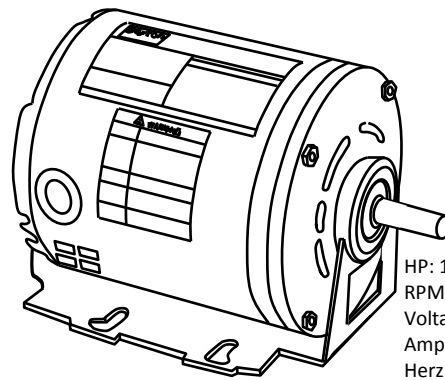
Por lo tanto para la muestra **M-3** y **M-4** como se cumplen las dos condiciones ensayadas, entonces se obtiene una arena limpia bien graduada **SW** (Well Grade Sand) donde tiene una amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios.

3.4 Propiedades Índice

En el siguiente subtema se presentará la relación de vacíos en estado suelto y denso, la densidad de sólidos correspondientes a las muestras que se ensayaron en la prueba de corte directo.

Densidad de sólidos

La calibración de matraces se hizo para saber la densidad de sólidos de las muestras de suelo a considerar. Se ocupó motor Daytona de correa de distribución, de fase dividida (fase única de 3 cables), soporte de montaje, aislamiento clase B con las siguientes especificaciones:



HP: 1/3
RPM: 1725
Voltaje: 115
Ampere: 6,6
Herz: 60
Factor de Servicio: 1.35
Temperatura Máxima: 40 [°C]

Figura 3.7 Motor Daytona para bomba de vacío

Limpieza material

La limpieza de la calibración es muy importante ya que se debe tomar en cuenta que no debe de quedar residuo alguno de grasa para poder efectuar las pruebas con los matraces. Por ello se necesitará limpieza en:

- Cuatro matraces seleccionados.
- Tapones de hule
- Vaso de precipitados
- Baño maría
- Charola redonda de metal
- Charolas rectangulares de metal
- Termómetro
- Pipeta
- Embudo de vidrio
- Embudo de plástico
- Recipiente para colocación de hielo
- Cápsulas de vidrio

Al estar lavando los matraces se ocupó jabón y simplemente se estuvo enjuagando con agua limpia dicho matraz hasta quedar sin residuos de jabón alguno. Se limpió todo en la tarja y luego se procedió a dejarlos secar.

Para que no se tenga contacto con el matraz se utilizó guantes para evitar el contacto y dejar un poco de grasa y que interfiere en las pruebas, ya que se busca algo sin alteración y controlado.

Se limpiaron posteriormente con alcohol en interior y exterior, por adentro se virtió un poco y se agitó el matraz para que llegara a todas las paredes de este; para la parte exterior con ayuda de papel absorbente se aplicó alcohol y así limpiarlo.

Se ocupó un vaso de precipitados de capacidad de 1000[ml] para llenar los matraces aforados, la calibración se hizo con agua de garrafón para minimizar que tuviera partículas que pudieran afectar a los resultados directamente, como sales.

Teniendo en cuenta que el llenado de agua en el matraz debe ser de antes de que llegue a la marca de aforo, para que haya espacio suficiente para que cuando se meta a baño maría el agua tenga movilidad y se desaire.

Considerando que ya se tenía todas herramientas para estas pruebas de calibración, se conectó aparato de baño maría a una temperatura no mayor de 40 [°C] ya que la capacidad de los matraces aforados no llega a más de esa cantidad y por ende se romperían.

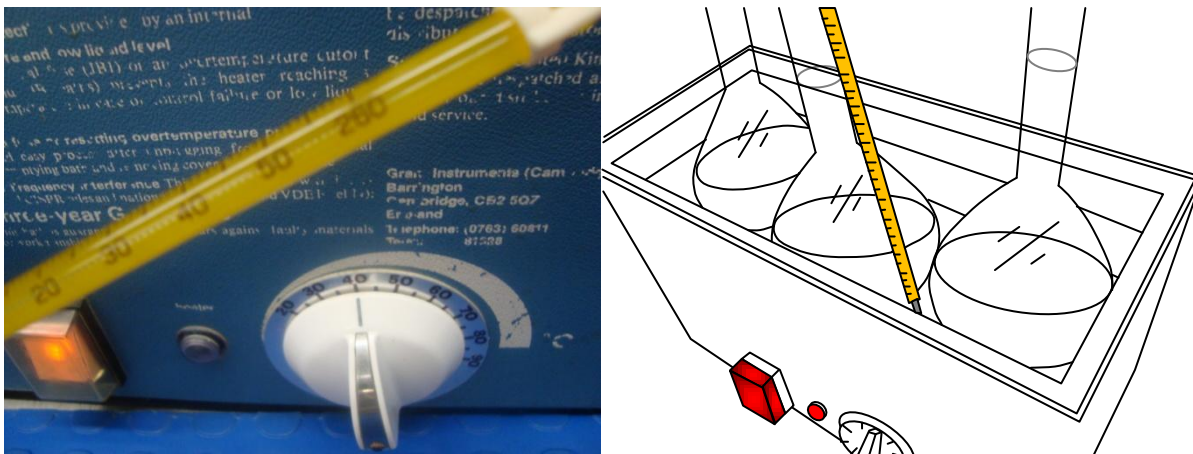


Figura 3.8 Baño maría con los matraces aforados

Se pusieron sobre la máquina 3 matraces ya que solo se podía poner en estos y al tenerlos con agua con un volumen menor al marcado de capacidad se colocó los tapones de hule, y para la calibración necesitaba uno más para rellenar hasta la marca de aforo a estos 3.

Este último matraz aforado se calentó en un baño maría en una parrilla y con ayuda de una charola con agua se hizo un improvisado baño maría.

Los tapones están conectados a la bomba de vacío para desairar dichos matraces, se procedió a colocarlos en los 3 matraces, al estar conectados se prendió la bomba de vacío y la máquina de baño maría ya con la temperatura de no más de 40 [°C].

Se tenía que estar agitando los matraces cada cierto tiempo y fuera del baño maría para poder hacerlo circularmente para ayudar a desairar más rápido, todo con ayuda de guantes para no tocar las paredes externas del matraz y así proponer un ambiente controlado en las pruebas sin que altere el resultado al final, y en la acción de estar con la bomba de vacío se formaban burbujas que nos indicaban que poco a poco el aire iba saliendo del agua, gracias a la ayuda de la temperatura y presión existentes en el matraz.

Se repitió muchas veces y cada matraz, hasta alcanzar un tiempo de 1 hora al considerar que en ese tiempo ya no existía rastro alguno de aire en el matraz con agua y por lo tanto listo para la siguiente parte del procedimiento.

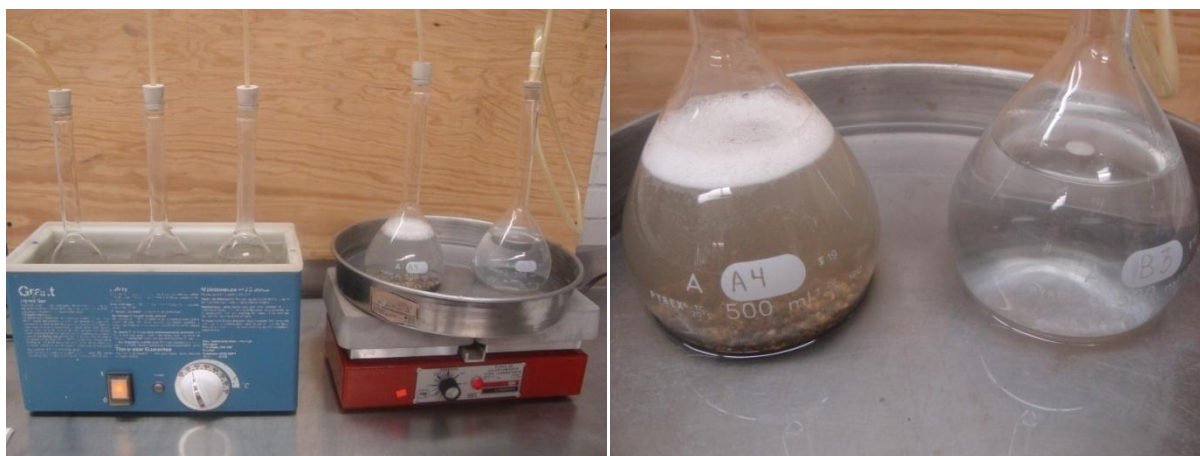


Figura 3.9 Matraces en baño maría en proceso de ser desaireados

Ya teniendo los matraces desaireados, se procedió a llevarlos hasta la marca de Aforo, la cual se debe tomar bien la lectura, ya que la calibración de los matraces está directamente relacionada con la temperatura y la masa o peso del matraz, así que se llenaron hasta la marca de aforo pero se hizo de la siguiente manera.

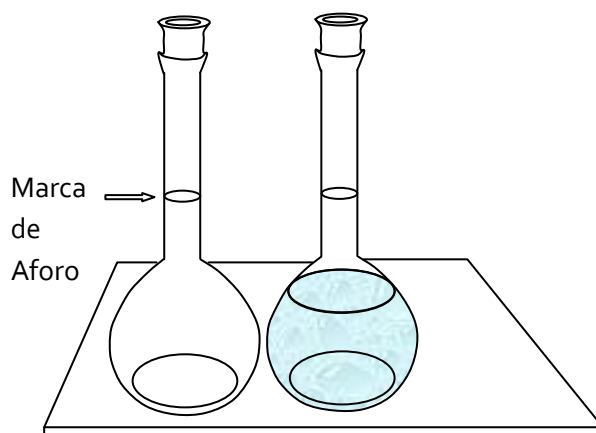


Figura 3.10 Matraces aforados

Para aforar:

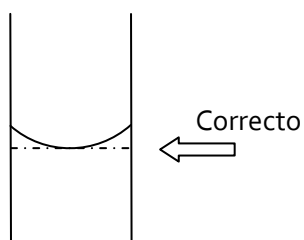


Figura 3.11 Marca de aforo y correcta medición

Primero se agitó el agua con ayuda del termómetro para homogenizar la temperatura dentro del matraz ya que para la calibración se necesita tomar 3 lecturas:

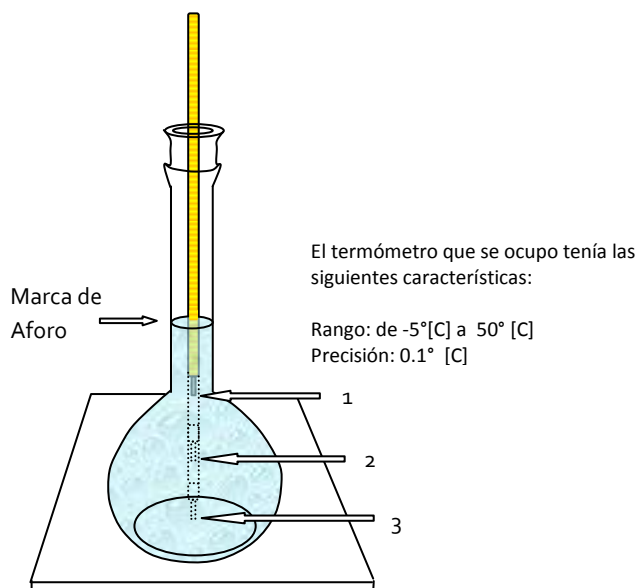


Figura 3.12 Lecturas 1) Temperatura Superior, 2) Temperatura Intermedia 3) Temperatura Inferior

La norma marca que no deben variar estas tres lecturas a no más de 0.1 [°C], por lo tanto era importante tomarlas bien, así que al homogeneizarlas se buscaba tener un mayor control sobre la temperatura superior, intermedia e inferior, por ende una óptima lectura. Al introducir el termómetro en el matraz se debía tener cuidado con no tocar las paredes internas ya que la temperatura de las paredes al estar contacto con el ambiente es diferente al del agua en estas tres alturas del matraz.

Luego antes de aforarlos fue con el matraz que nos serviría sólo para llevar a los otros 3 a la marca visible del matraz, se inclinaron los matraces y muy cuidadosamente se vertió agua sobre el que se iba a calibrar, así con mucho cuidado de no meter burbujas de aire al salpicar y por ende hacer una mala prueba de calibración.

La siguiente parte de llenarlos hasta la marca señalada de la capacidad de estos y como se rellenó con agua del otro matraz, las paredes de la marca de aforo hasta la boquilla estaba con gotas de agua, entonces se secaba con ayuda de una servitoalla para así poder tener una buena lectura de la masa de este matraz con agua.

Al tener los matraces totalmente listos para que solo haya agua hasta la marca de aforo y por ende ninguna gota de agua en ninguna parte, en ese momento era el indicado para pesarlos.

Anteriormente se había tomado las tres temperaturas dentro del matraz con agua desairada, así que solo se anotaban en una tabla datos de temperaturas y el peso que daba a esa temperatura con el termómetro, luego procedemos a tomar en cuenta que un matraz aforado se emplea para medir con exactitud un volumen determinado de líquido, para estas pruebas será para calibrar los matraces y así proceder a calcular la densidad de sólidos. La marca de graduación rodea todo el cuello de vidrio, por lo cual es fácil determinar con precisión cuándo el líquido llega hasta la marca pero la forma correcta de medir volúmenes es llevar el líquido hasta que la parte inferior del menisco sea tangente a la marca. El hecho de que el cuello del matraz sea estrecho es para aumentar la exactitud, de esta forma un cambio pequeño en el volumen se traduce en un aumento considerable de la altura del líquido del matraz aforado.

CALIBRACIÓN

Teniendo ya los matraces aforados y desaireados, se tiene que hacer una curva de calibración que consiste en tener como variable a Temperatura [°C] vs Masa del matraz con agua [g], se va formando de la siguiente manera:

1. Tomar la primer temperatura que salió del baño maría agitar el agua para homogenizar el agua, y llevar a la marca de aforo, secar excedentes y llevar a la báscula. En este punto se tendrá un punto en la gráfica, por tener una temperatura y una masa del matraz con agua.
2. Se irá bajando la temperatura para obtener la curva de calibración para que con esta al meter un suelo nos de la densidad del suelo a considerar.
3. Entonces se considera un rango de temperaturas como temperatura máxima superior tenemos 40[°C] ya que es la temperatura máxima de los matraces aforados y acercarse a temperaturas hacia el 0[°C]
4. Entonces se puso a congelar agua en una bolsa para luego poder ocupar este hielo para bajar la temperatura del agua dentro del matraz.

Para esto se tenían moldes grandes de plástico para poner dentro de ella agua a diferentes temperaturas con ayuda del hielo se introdujo en cada molde.

La temperatura bajaría de forma natural, pero no llegaría a cubrir los puntos necesarios para poder aplicarla la densidad de un suelo en cualquier temperatura, así que en cada molde había una temperatura diferente.

Para la obtención del segundo punto a considerar de la curva buscada, cada vez que se metía el matraz un molde, se agregaba agua con ayuda de la pipeta y se esperaba hasta que bajara de temperatura, se volvía agitar para homogenizar el agua, se aforaba y por último se limpiaba el exceso de agua en las paredes arriba de la marca de aforo con ayuda de papel absorbente; después de esto el matraz estaba listo para volver a ser pesado en la báscula, por ende nos daba el siguiente punto.

Así que al final de la obtención de las lecturas en comparación de la primera lectura con respecto de la última se verá que el matraz con agua pesa más al estar a temperaturas bajas acercándose a 0[°C] que con 40[°C]

Después de esta operación eran las mismas acciones que se necesitarían para obtener el siguiente punto, como en el matraz "B5" se hicieron 9 mediciones de Temperatura [°C] y de Peso del matraz con agua[g] lo cual entre más puntos se obtenga realmente en laboratorio, se obtendrá una curva de calibración más precisa al sacar la línea de tendencia con ayuda de Excel, por ende menos porcentaje de error.

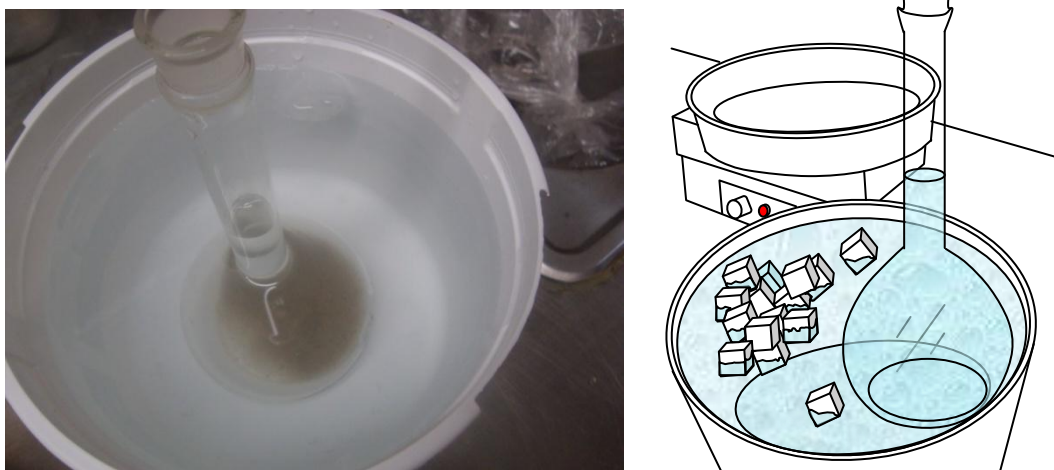


Figura 3.13 Colocación del matraz aforado en recipiente con hielo y agua

Para no realizar una medición incorrecta

Al realizar una medición con instrumental de laboratorio se puede incurrir en dos tipos de errores, errores por exceso y errores por defecto indefectiblemente.

Los errores en las mediciones se pueden minimizar aumentando la apreciación de los instrumentos de medición

En el laboratorio como regla general se realizan mediciones por exceso, para asegurar que exista la cantidad suficiente de muestra para el experimento.

La técnica correcta para medir un líquido a excepción del mercurio líquido, es hacer coincidir el valle del menisco del líquido con la línea de aforo (medición por exceso) y nunca las crestas del menisco del líquido con la línea de aforo (medición por defecto).



Figura 3.14 Utilización de guantes para evitar cualquier rastro de grasa durante la manipulación de las pruebas aforo de matraz y secado de las paredes del mismo para ser pesado

Datos Obtenidos de la calibración:

Matraz No	Temperatura °C	Temperatura promedio °C	W matraz + Agua g	Temperatura °C	Temperatura promedio °C	W matraz + Agua g
A1	46.50	46.50	653.72	15.30	15.30	658
	46.50			15.30		
	46.50			15.30		
	35.80	35.83	655.62	10.90	10.90	658.28
	35.90			10.90		
	35.80			10.90		
	27.50	27.50	656.93			
	27.50					
	27.50					

Tabla 3.1 Datos obtenidos MATRAZ A1

CALIBRACIÓN MATRAZ A1

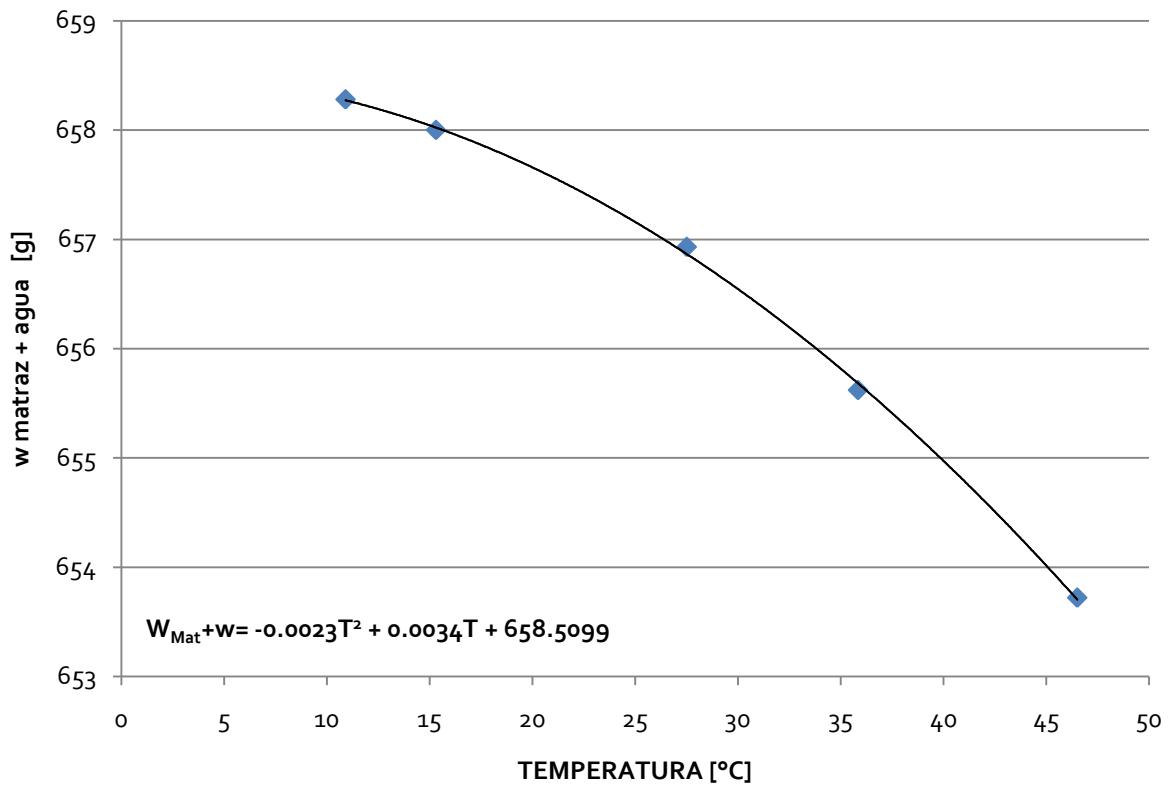


Figura 3.15 Curva de calibración MATRAZ A1

Matraz No	Temperatura °C	Temperatura promedio °C	W matraz + Agua g	Temperatura °C	Temperatura promedio °C	W matraz + Agua g
A4	43.40	43.40	652.7	10.50	10.50	657.24
	43.40			10.50		
	43.40			10.50		
	35.50	35.50	654.13			
	35.50					
	35.50					
	24.10	24.10	655.75			
	24.10					
	24.10					
	16.60	16.60	656.71			
	16.60					
	16.60					

Tabla 3.2 Datos obtenidos MATRAZ A4

CALIBRACIÓN MATRAZ A4

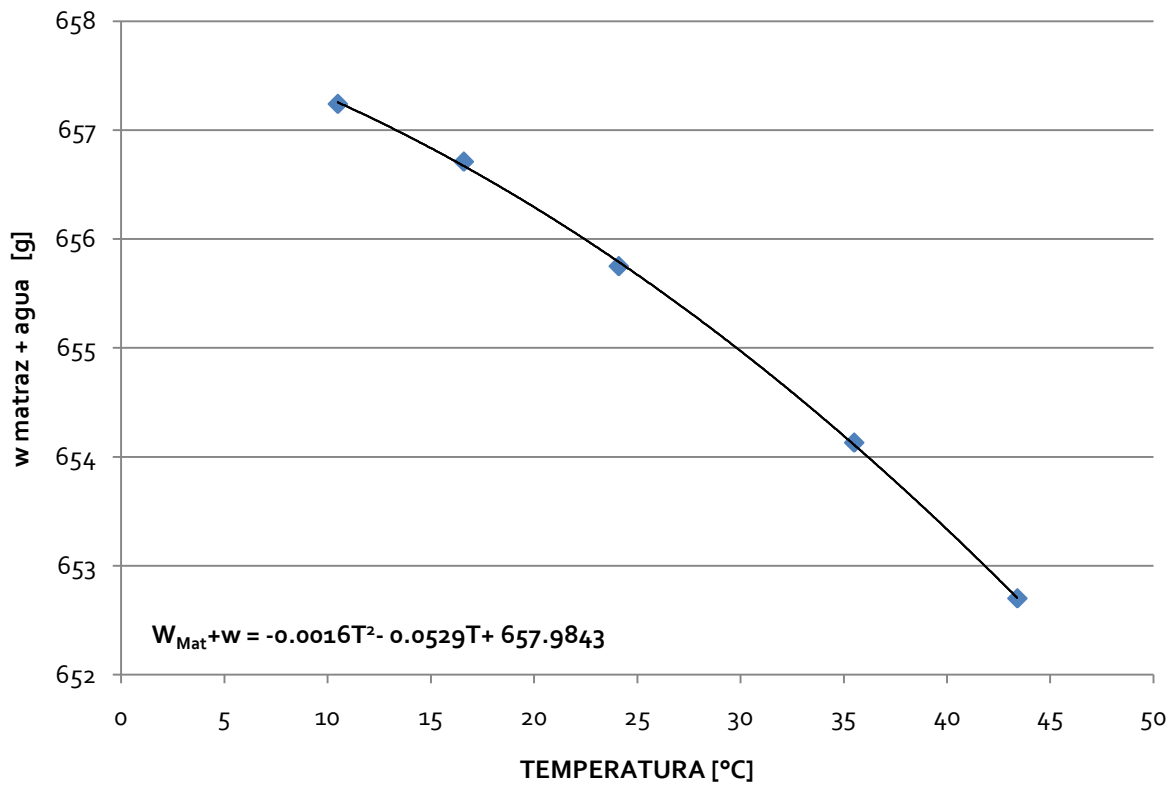


Figura 3.16 Curva de calibración MATRAZ A4

Matraz No	Temperatura °C	Temperatura promedio °C	W matraz + Agua g	Temperatura °C	Temperatura promedio °C	W matraz + Agua g
B4	40.90	40.93	654.50	20.50	20.53	657.40
	41.00			20.60		
	40.90			20.50		
	30.60	30.57	656.43	14.60	14.53	658.23
	30.50			14.50		
	30.60			14.50		
	26.20	26.13	656.95	8.00	8.00	658.48
	26.10			8.00		
	26.10			8.00		
	24.00	24.00	657.18			
	24.00					
	24.00					

Tabla 3.3 Datos obtenidos MATRAZ B4

CALIBRACIÓN MATRAZ B4

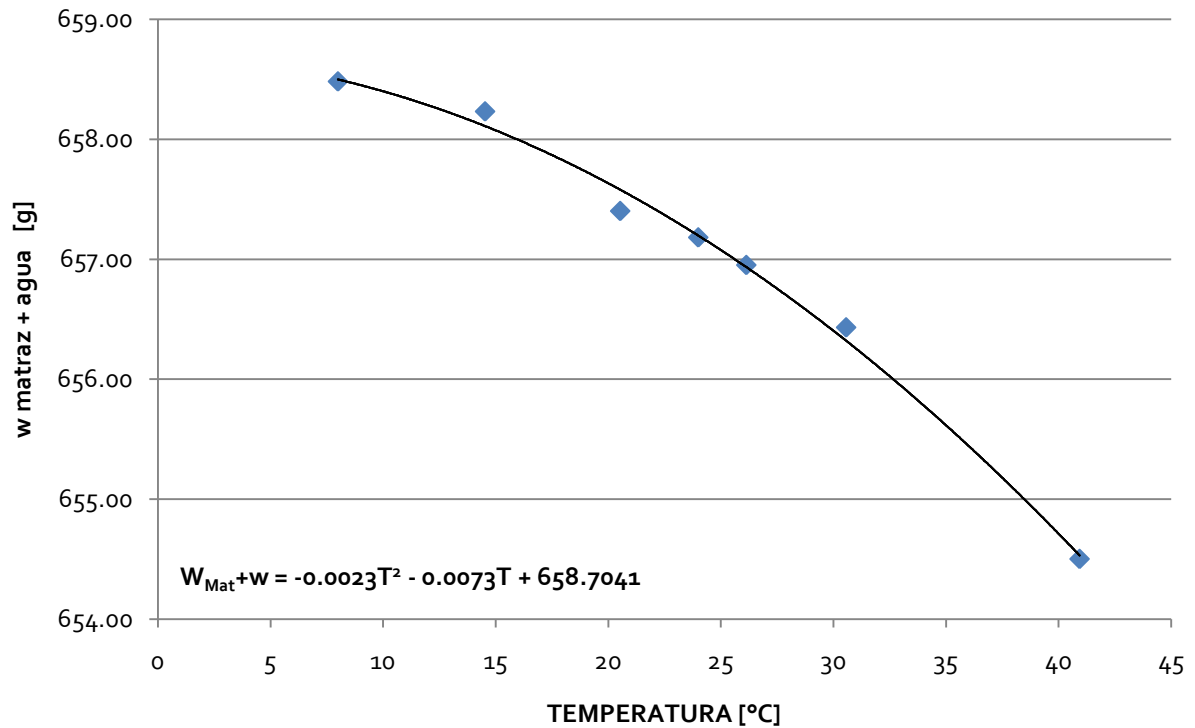


Figura 3.17 Curva de calibración MATRAZ B4

Matraz No	Temperatura °C	Temperatura promedio °C	W matraz + Agua g	Temperatura °C	Temperatura promedio °C	W matraz + Agua g
B5	42.30	42.33	651.88	18.90	18.87	655.37
	42.30					
	42.40					
	40.40	40.40	652.16	14.00	14.00	655.69
	40.40					
	40.40					
	28.00	27.97	654.13	9.40	9.40	656.00
	28.00					
	27.90					
	26.20	26.13	654.59	7.80	7.80	656.09
	26.10					
	26.10					
	20.50	20.50	655.11			
	20.50					
	20.50					

Tabla 3.4 Datos obtenidos MATRAZ B5

CALIBRACIÓN MATRAZ B5

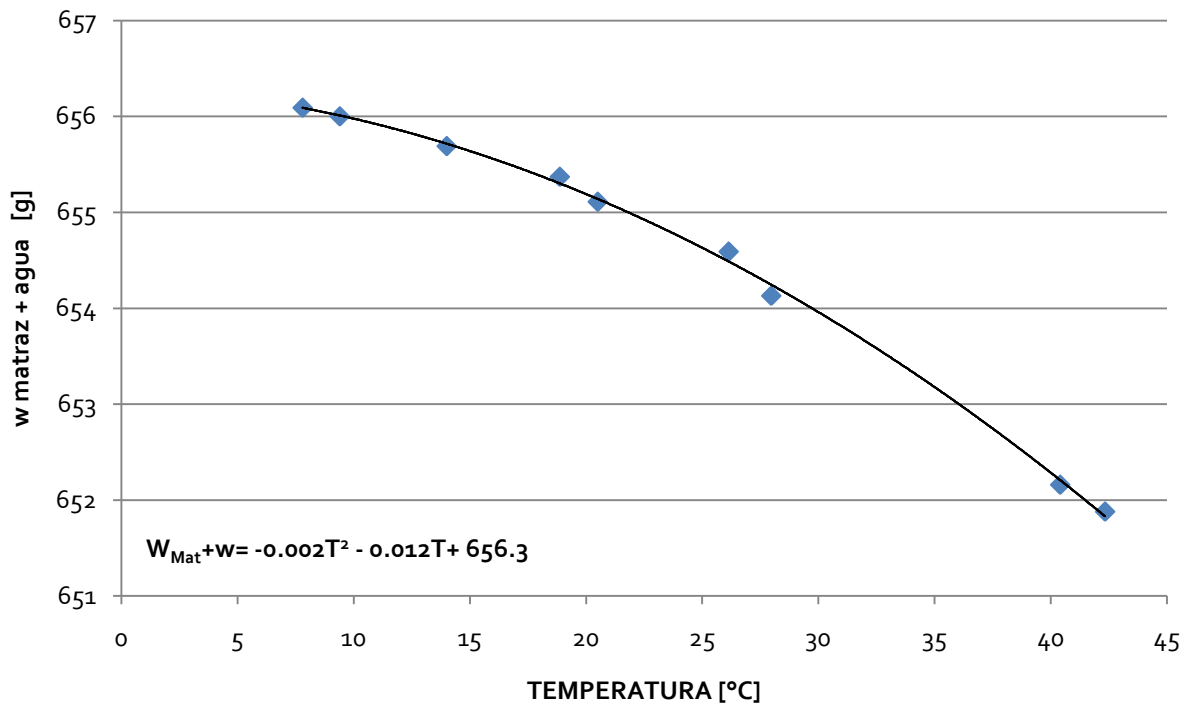


Figura 3.18 Curva de calibración MATRAZ B5

Resultados de Densidad Relativa de los suelos:

Matraz	Muestra	T1 [°C]	T2 [°C]	T3 [°C]	Tprom [°C]	mmatraz+agua+suelo[g]	mcap [g]	mmw [g]	mcap+suelo [g]	mss [g]	Gs
B4	1	46.40	46.40	46.50	46.43	703.50	117.63	653.41	197.38	79.75	2.69
B4	1	36.10	36.00	36.10	36.07	705.45	116.28	655.45	196.01	79.73	2.68
B4	1	42.40	42.40	42.40	42.40	754.14		654.26		159.45	2.68
B4	1	37.00	37.00	37.00	37.00	755.00		655.29		159.45	2.67
B4	1	33.30	33.30	33.30	33.30	755.46		655.91		159.45	2.66
B5	2	36.40	36.40	36.40	36.40	703.68	110.75	653.21	190.67	79.92	2.71
A1	2	39.50	39.60	39.60	39.57	705.44	111.41	655.04	190.81	79.40	2.74
B5	2	41.30	41.30	41.30	41.30	752.94		652.39		159.28	2.71
B5	2	35.30	35.30	35.30	35.30	753.70		653.38		159.28	2.70
B5	2	32.70	32.70	32.70	32.70	754.21		653.77		159.28	2.71
B5	3	40.20	40.20	40.20	40.20	702.45	525.46	652.59	605.43	79.97	2.66
A1	3	40.10	40.00	40.00	40.03	704.15	495.44	654.96	573.76	78.32	2.69
A4	3	41.30	41.30	41.30	41.30	752.57		653.07		158.21	2.69
A4	3	37.00	37.00	37.00	37.00	753.41		653.84		158.21	2.70
A4	4	40.00	40.00	40.00	40.00	702.94	109.62	653.31	189.38	79.76	2.60
B4	4	40.00	39.90	40.00	39.97	703.22	525.33	654.74	604.06	78.73	2.60
A1	4	41.20	41.20	41.20	41.20	752.04		654.75		158.46	2.59
A1	4	37.00	37.00	37.00	37.00	753.01		655.49		158.46	2.60

Tabla 3.5 Resultados de las muestras ensayadas en matraces para conocer la densidad relativa

$$G_s = \frac{m_{ss} [g]}{m_{mw} [g] + m_{ss} [g] - (m_{matraz+agua+suelo} [g])}$$

Se ocupan las líneas de tendencia de la calibración y estas son las expresiones utilizadas:

$$A1 \quad W_{Mat} + w = -0.0023 T^2 + 0.0034 T + 658.5099$$

$$A4 \quad W_{Mat} + w = -0.0016 T^2 - 0.0529 T + 657.9843$$

$$B4 \quad W_{Mat} + w = -0.0023 T^2 - 0.0073 T + 658.7041$$

$$B5 \quad W_{Mat} + w = -0.002 T^2 - 0.012 T + 656.3$$

MUESTRA	Gs
M-1	2.68
M-2	2.71
M-3	2.68
M-4	2.60

Obtención del valor de e_{max} y e_{min} considerando la densidad de sólidos y el mínimo de material

De la expresión:

$$S_s = \frac{W_s}{V_s * \gamma_w} \dots\dots\dots [3.1]$$

Despejamos ya que nos falta el Volumen de sólidos y nos queda la expresión:

$$V_s = \frac{W_s}{S_s * \gamma_w} \dots\dots\dots [3.2]$$

Pasos a seguir para determinar la cantidad de material a utilizar en el molde del equipo de corte directo para los ensayos del material en estado suelto y denso.

MUESTRA # 1

$S_s = 2.6758$

$\gamma_w \text{ [g/cm}^3\text{]} = 1$

Ws [g]	=	134.18
Mínimo		
Vsmin [cm ³]	=	50.14601756

de propuesta #1

Ws [g]	=	146.46
Máximo		
Vsmax [cm ³]	=	54.7353237

Luego de la expresión de Volumen de la muestra:

$$V_m = V_s + V_v \dots\dots\dots [3.3]$$

$V_m \text{ [cm}^3\text{]} =$ volumen del molde cilíndrico

$V_m \text{ [cm}^3\text{]} = \pi * (d/2)^2 * h$

$V_m \text{ [cm}^3\text{]} = 3.141592654 * 3.48 * 9.01$

$V_m \text{ [cm}^3\text{]} = 85.69848812$

Despejamos de 3.3:

$$V_v = V_m - V_s \dots\dots\dots [3.4]$$

Por lo tanto:

$$V_{Vmin} [cm^3] = 35.55247056 \qquad V_{Vmax} [cm^3] = 30.9631644$$

Así sustituimos en la fórmula de e_{min} o e_{max} :

$$e = \frac{V_v}{V_s} \dots\dots\dots [3.5]$$

Sustituyendo:

$V_{Vmin} [cm^3]$	=	35.55247056
$V_{smin} [cm^3]$	=	50.14601756
e_{max}	=	0.708978944

$V_{Vmax} [cm^3]$	=	30.9631644
$V_{smax} [cm^3]$	=	54.7353237
e_{min}	=	0.56568889

Se necesita saber V_s [g] por lo tanto se ocupa la expresión 3.3:

Datos del molde del equipo de corte $\rightarrow V_m = V_s + V_v$

Pero sólo tenemos "Volumen del molde" y el valor de "e"

$$V_m [cm^3] = \text{volumen del molde}$$

$$V_m [cm^3] = 5.0600 * 5.05875 * 2$$

$$V_m [cm^3] = 51.19455$$

ancho	ancho abajo
5.06	5.07
5.06	5.06
5.05	5.07
5.05	5.06

prom ancho= 5.06

largo	largo abajo
5.06	5.06
5.05	5.05
5.06	5.06
5.07	5.06

prom largo= 5.05875

De la ecuación 3.5:

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Despejamos Volumen de vacíos

$$V_v = e * V_s \dots\dots\dots [3.6]$$

La expresión queda al sustituir 3.6 en 3.3:

$$V_m = V_s + eV_s \dots\dots\dots [3.7]$$

Factorizando:

$$V_m = (1 + e)V_s \dots\dots\dots [3.8]$$

Se tiene Volumen del molde por lo tanto despejamos Volumen de sólidos, es decir:

$$V_s = \frac{V_m}{(1 + e)} \dots\dots\dots [3.9]$$

Dando como resultado:

V _m [cm ³]	=	51.19455
e _{max}	=	0.708978944
V _{Smin} [cm ³]	=	29.95622046

V _m [cm ³]	=	51.19455
e _{min}	=	0.56568889
V _{Smax} [cm ³]	=	32.6977795

Ahora volvemos con la expresión 3.1:

$$S_s = \frac{W_s}{V_s * \gamma_w}$$

Despejamos W_s:

$$W_s = S_s * V_s * \gamma_w \dots\dots\dots [3.10]$$

Resultandos:**MUESTRA # 1**

Ss	=	2.68
e _{max}	=	0.708978944
Vs [g]	=	29.95622046
γw [g/cm ³]	=	1
W _{Ssuelta} [g]	=	80.15642831

Ss	=	2.68
e _{min}	=	0.56568889
Vs [g]	=	32.6977795
γw [g/cm ³]	=	1
W _{Sdensa} [g]	=	87.4922529

Para las demás muestras, se hará lo mismo y por lo tanto los resultados son:

MUESTRA # 2

Ss	=	2.71
e _{max}	=	0.689361005
Vs [g]	=	30.30409121
γw [g/cm ³]	=	1
W _{Ssuelta} [g]	=	82.25323158

Ss	=	2.71
e _{min}	=	0.59912084
Vs [g]	=	32.0141848
γw [g/cm ³]	=	1
W _{Sdensa} [g]	=	86.894873

MUESTRA # 3

Ss	=	2.60
e _{max}	=	0.686104454
Vs [g]	=	30.3626207
γw [g/cm ³]	=	1
W _{Ssuelta} [g]	=	78.89595682

Ss	=	2.60
e _{min}	=	0.61259914
Vs [g]	=	31.7466063
γw [g/cm ³]	=	1
W _{Sdensa} [g]	=	82.4921835

MUESTRA # 4

Ss	=	2.68
e _{max}	=	0.781023085
Vs [g]	=	28.74446179
γw [g/cm ³]	=	1
W _{Ssuelta} [g]	=	77.16355526

Ss	=	2.68
e _{min}	=	0.73051566
Vs [g]	=	29.5834075
γw [g/cm ³]	=	1
W _{Sdensa} [g]	=	79.4156773

Relación de vacíos

Para la realización de la relación de vacíos (e_{max} y e_{min}) se necesitaba tener los frascos con las muestras formadas por los materiales retenidos en las mallas de acuerdo al tipo de material propuesto, bien o mal graduado. Durante el ensayo de la relación de vacíos se consideró que si el material alcanzaba sólo para un frasco que fueron los elementos de almacenamiento se tendría que trabajar con uno solo para todas las pruebas necesarias para corte directo, pero en caso de obtener más frascos de cada muestra ésta sería la mejor opción ya que se podrá trabajar de forma independiente sin perder mucho material en cada prueba, ya que al no contar con mas muestras de suelo se necesitará calcular el mínimo de cada una, así que se empezará con algo físico que tiene que ver cuánto material hay en e_{max} que es el estado más suelto, por lo tanto tiene menos material y por ende pesa menos y contrariamente en e_{min} es mas material y más pesado por el reacomodo de las partículas.

- **OBTENCIÓN DE e_{max}**

Considerando que e_{max} estado más suelto se necesita para esto sacar del molde sin collarín:

- 1.- Diámetros y alturas
- 2.- Muestra total de suelo en estado limpio (sin materia orgánica, grasa etc.)

Se utilizará un embudo pero este dependerá del tamaño de grano que se va a pasar, a través de él, puede de ser de vidrio o de plástico, entonces era a elegir dependiendo del material.

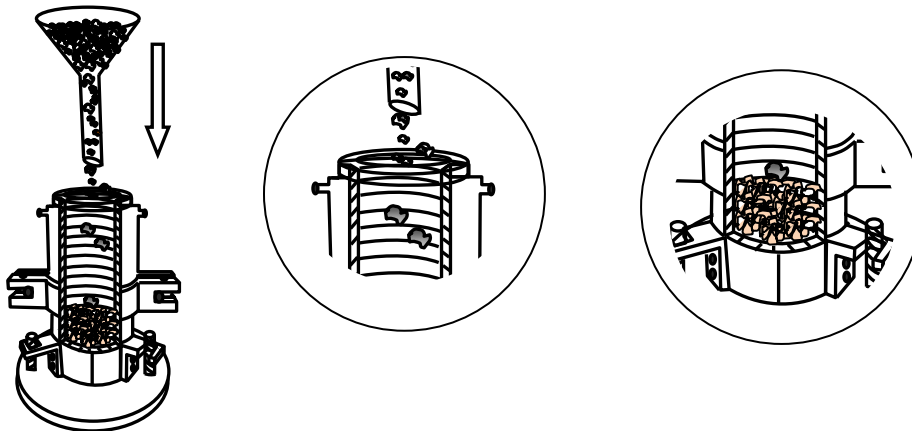


Figura 3.2 Embudo y vaciado de material en el molde ocupado para e_{max} y e_{min}

Al estar llenando el molde se debe conservar la altura de caída es decir que sea constante y hacerlo con movimiento circular para distribuir el material.

Para obtener cual es la altura conveniente se tiene que probar con varias opciones, por lo que se consideraron para este trabajo las siguientes:

hcaída [cm]	0.50	1.00	1.50	2.00	3.00
-------------	------	------	------	------	------

Para ocupar el mínimo material dada la falta de frascos en muestras de suelo bien graduado, no se obtendrá directamente e_{max} como tal, sino más bien estará en relación a que se conoce lo siguiente:

- Cuando se tiene la relación de vacíos e_{max} se tiene en un molde constante una menor cantidad de suelo contenido.
- Cuando se tiene la relación de vacíos e_{min} se tiene en un molde constante una mayor cantidad de suelo contenido, porque quiere decir que los espacios entre partícula y partícula son mínimos al estar ordenados y por ende se tendrá más material contenido en un molde.

Comparación de conceptos:

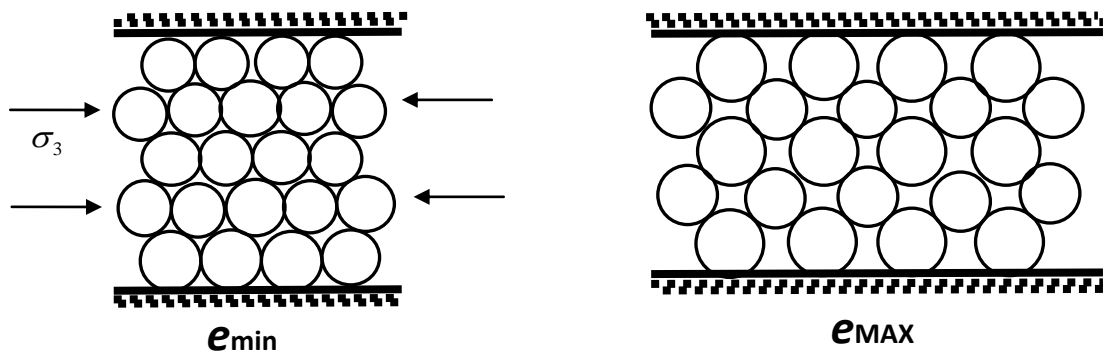


Figura 3.3 Relación de vacíos físicamente

Por lo tanto para cada material se obtendrá su altura de caída, para saberlo se tendrá que hacer con las alturas propuestas ya definidas y esto se hará dependiendo si se observa un cambio significativo con respecto a la masa tomada en la báscula.

Los datos arrojaron lo siguiente:

- Para obtener dato de cuánto vale " e_{max} "
Se necesita $W_s[g]$ min: **Peso de sólidos mínimo**

MUESTRA # 1

hcaída [cm]	0.50	1.00	1.50	2.00	3.00
Ws [g]	136.11	136.32	140.30	138.02	138.74
Ws [g]	134.18	136.15	138.33	138.64	140.68
Ws [g]	135.72	137.26	138.57	139.58	141.59
Ws [g]	134.57				
Ws [g]	134.68				
Ws [g]	135.11				
Ws [g]	135.81				
Ws [g]	134.82				

hcaída [cm] = 0.50

ÓPTIMA

Ws [g] = 134.18

Mínimo

MUESTRA # 2

hcaída [cm]	0.50	1.00	1.50	2.00	3.00
Ws [g]	142.16	142.33	140.07	140.14	142.22
Ws [g]	139.13	141.25	142.47	141.02	141.78
Ws [g]	139.56	139.07	141.23	143.20	141.28
Ws [g]	140.92	139.68	141.33		
Ws [g]	139.01	139.39			
Ws [g]	140.16	141.56			
Ws [g]	139.11	141.13			
Ws [g]	137.69	141.12			
Ws [g]	140.70	141.65			
Ws [g]	140.03	140.67			

hcaída [cm] = 0.50

ÓPTIMA

Ws [g] = 137.69

Mínimo

MUESTRA # 3

hcaída [cm]	0.50	1.00	1.50	2.00	3.00
Ws [g]	134.23	134.12	135.81	135.82	138.28
Ws [g]	134.34	132.57	135.04	135.31	136.81
Ws [g]	134.06	134.54	135.16	134.94	133.76
Ws [g]	132.07				133.34
Ws [g]	133.68				134.17
Ws [g]	134.12				136.94
Ws [g]	133.98				
Ws [g]	132.72				

hcaída [cm] = 0.50

ÓPTIMA

Ws [g] = 132.07

Mínimo

MUESTRA # 4

hcaída [cm]	0.50	1.00	1.50	2.00	3.00
Ws [g]	130.68	130.92	128.42	129.17	129.27
Ws [g]	130.07	130.05	130.02	129.98	129.68
Ws [g]	130.45	131.20	131.60	131.01	132.50
Ws [g]				129.40	131.43
Ws [g]				129.98	134.61
Ws [g]				130.83	
Ws [g]				132.40	
Ws [g]				132.28	
Ws [g]				129.47	

hcaída [cm] = 2.00

ÓPTIMA

Ws [g] = 129.17

Mínimo

- **OBTENCIÓN DE e_{min}**

Para la prueba de relación de poro mínima (e_{min}), se expondrán dos propuestas:

PRUEBA #1

Para encontrar el e_{min} se dividió el material en 3 partes iguales de un total de 160 [g], de 53.3 gramos para un suelo uniforme y un suelo bien graduado (muestras #1 y muestra #3 respectivamente) y para lograr el estado más denso se ocupó un grabadora Dremel para vibrar el molde y que haya más material en el molde que en estado suelto por el reacomodo de partículas y por ende la relación de poro e_{min} .

Las especificaciones técnicas de la grabadora Dremel son:

Número de modelo: 290

Amperaje: 0.2

Descripción: Grabadora

Hertz : 60

Velocidad : 7,200

Voltaje: 115 V AC, 60Hz

Peso (lb): 0.75

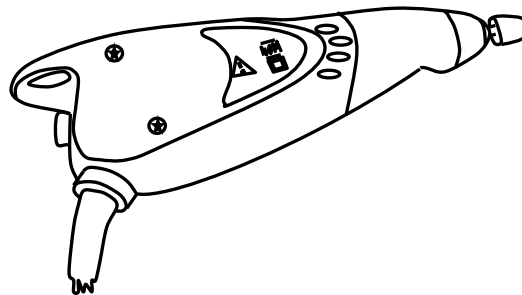


Figura 3.4 Grabadora Dremel

Para esta prueba se consideró hacerlo sin efecto de carga muerta y una carga muerta de 2 [Kg], para esta última se ocupó dos pesas de 1 [Kg], junto con un pedazo de madera de masa despreciable para limitar o controlar el movimiento de las partículas al estar expuestas a vibración.

También se consideró dos tiempos para esta prueba, se escogió:

- 30[s] de vibrar molde por cada capa
- 45[s] de vibrar molde por cada capa

Por lo que en total sería un tiempo:

Capa	Tiempo [s]
1	30
2	30
3	30
Total [s]	90

Capa	Tiempo [s]
1	45
2	45
3	45
Total [s]	135

Se fabricaron de forma sencilla varios testigos con el objeto de ayudarnos a tener una marca de referencia con respecto de la capa anterior para considerar si hubo un cambio significativo al estudiar la propuesta #1 con respecto de la propuesta #2 que en esta última solo se hace vibrar el molde echando todo el materia(160 gramos).

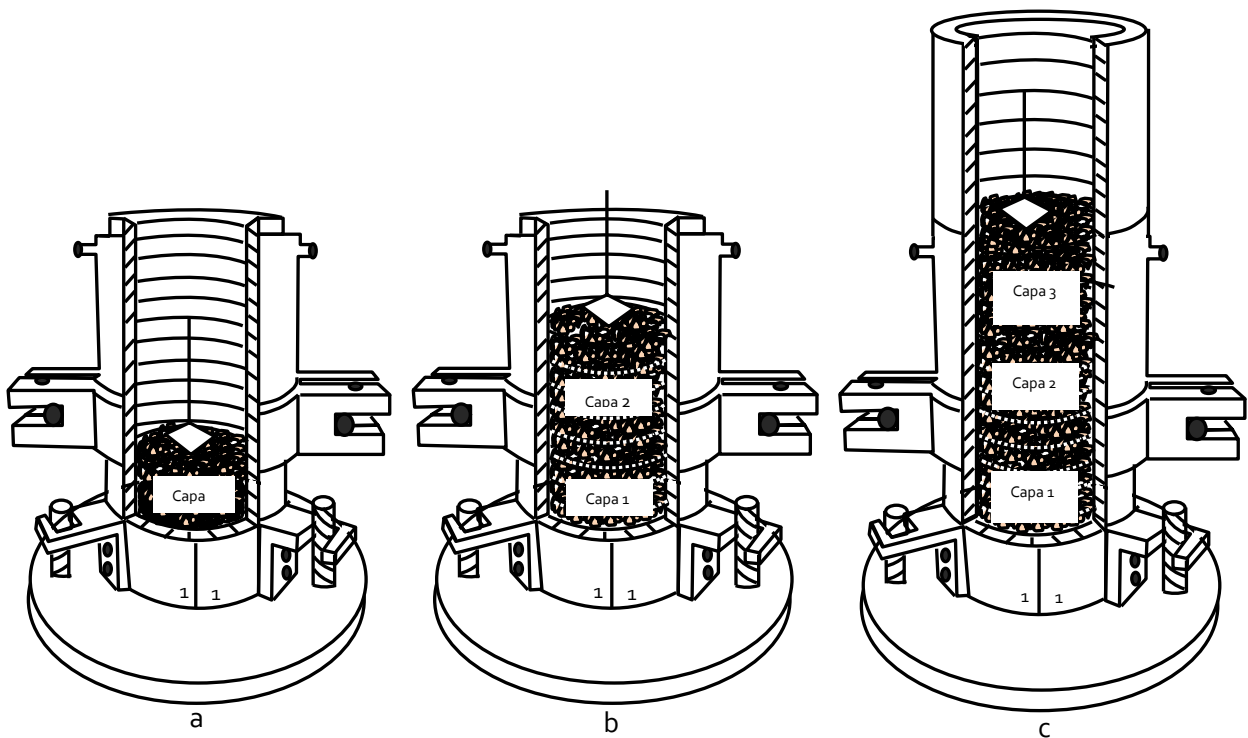


Figura 3.5 Pasos a seguir al encontrar e_{min} usando el método por capas

Para comparar el proceso de llenado del molde, por capas o en una sola, se hicieron simulacros donde se colocaron testigos apoyados en diferentes capas y tomando lecturas con respecto a un plano de referencia para verificar si existen movimientos del material al colocar la segunda y tercera capa.

Se obtuvo los siguientes resultados:

MUESTRA # 1 UNIFORME

Número de capas = 3

W cada capa [g] = 53.33

Wmuerto [g] = 0

t[s] = **30**

Testigo en Capa de apoyo	Lectura de referencia a la Capa [mm]			Movimiento por capa		
	1	2	3	1 a 2	2 a 3	1 a 3
1	14.70	14.70	14.70	0.00	0.00	0.00
2		3.80	3.80		0.00	

Ws [g]= 153.26

Número de capas = 3

W cada capa [g] = 53.33

Wmuerto [g] = 0

t[s] = **45**

Testigo en Capa de apoyo	Lectura de referencia a la Capa [mm]			Movimiento por capa		
	1	2	3	1 a 2	2 a 3	1 a 3
1	14.90	15.00	14.90	0.10	0.10	0.00
2		5.70	7.00		1.30	

Ws [g]= 153.29

MUESTRA # 1 UNIFORME

Número de capas = 3

W cada capa [g] = 53.33

Wmuerto [Kg] = 2

t[s] = 45

Testigo en Capa de apoyo	Lectura de referencia a la Capa [mm]			Movimiento por capa		
	1	2	3	1 a 2	2 a 3	1 a 3
1	16.60	16.60	16.60	0.00	0.00	0.00
2		4.00	4.00		0.00	

Ws [g]= 146.46

MUESTRA # 3 BIEN GRADUADA

Número de capas = 3

W cada capa [g] = 53.33

Wmuerto [g] = 0

t[s] = 30

Testigo en Capa de apoyo	Lectura de referencia a la Capa [mm]			Movimiento por capa		
	1	2	3	1 a 2	2 a 3	1 a 3
1	18.50	18.20	18.30	0.30	0.10	0.20
2		0.00	0.10		0.10	

Ws [g]= 144.62

MUESTRA # 3 BIEN GRADUADA

Número de capas = 3

W cada capa [g] = 53.33

W_{muerto} [g] = 0**t[s]** = **45**

Testigo en Capa de apoyo	Lectura de referencia a la Capa [mm]			Movimiento por capa		
	1	2	3	1 a 2	2 a 3	1 a 3
1	18.30	18.30	18.30	0.00	0.00	0.00
2		0.00	0.10		0.10	

Ws [g]= 144.62

MUESTRA # 4 BIEN GRADUADA

Número de capas = 3

W cada capa [g] = 53.33

W_{muerto} [Kg] = 2**t[s]** = **45**

Testigo en Capa de apoyo	Lectura de referencia a la Capa [mm]			Movimiento por capa		
	1	2	3	1 a 2	2 a 3	1 a 3
1	19.50	18.70	18.70	0.80	0.00	0.80
2		2.40	2.20		0.20	

Ws [g]= 137.15

PRUEBA #2

Para encontrar el e_{min} en esta segunda prueba se vació toda la muestra en el molde, los 160 [g], aquí se hará vibrar todo el molde colocando un peso muerto en la parte superior se propusieron para todas las muestras:

- 2[Kg]
- 3[Kg]
- 5[Kg]

Se colocó un pedazo de madera para limitar el movimiento de las partículas y sobre ella se puso la carga muerta antes mencionada.

El vibrar el molde se hizo con el grabador Dremel con las especificaciones antes mencionadas, pero la punta modificada y cubierta con material plástico. El tiempo fueron de:

- 01:30 minutos
- 02:15 minutos

Se consideró 1:30 [min], porque en la propuesta #1 por cada capa eran 30 segundos y así se consideró para 2:15[min] con respecto a 45 segundos, la variable del tiempo de vibrado se mantuvo constante.

Para obtener dato de cuánto vale " e_{min} "

Se necesita W_s [g] MÁXIMO: **Peso de sólidos Máximo**

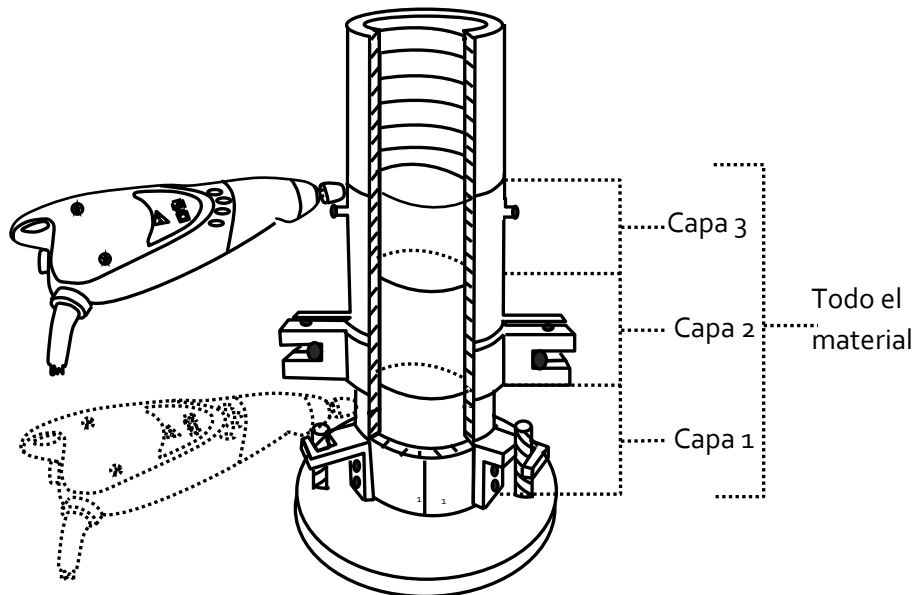


Figura 3.6 Molde con el total de material para pruebas, y se muestra como es el mismo que en la prueba #1(3 capas) y se vibra el molde con ayuda del grabador Dremel por todo este, para uniformizar

Se obtuvieron los siguientes resultados:

MUESTRA # 1

t[min]= 01:30			
	W _{muerto} [Kg]		
Ws [g]	2.00	3.00	5.00
	141.18	140.87	141.60
	141.15	141.00	141.51
W _{muerto} [Kg] ideal	=	5.00	
Ws [g] Máximo	=	141.60	

t[min]= 02:15			
	W _{muerto} [Kg]		
Ws [g]	2.00	3.00	5.00
	141.53	143.13	141.88
	141.50	143.18	141.82
W _{muerto} [Kg] ideal	=	3.00	
Ws [g] Máximo	=	143.18	

MUESTRA # 2

t[min]= 01:30			
	W _{muerto} [Kg]		
Ws [g]	2.00	3.00	5.00
	144.03	142.95	141.80
	144.00	142.83	141.81
W _{muerto} [Kg] ideal	=	2.00	
Ws [g] Máximo	=	144.03	

t[min]= 02:15			
	W _{muerto} [Kg]		
Ws [g]	2.00	3.00	5.00
	145.46	142.68	143.60
	145.44	142.65	143.59
W _{muerto} [Kg] ideal	=	2.00	
Ws [g] Máximo	=	145.46	

MUESTRA # 3

t[min]= 01:30			
	W _{muerto} [Kg]		
Ws [g]	2.00	3.00	5.00
	135.44	134.76	133.96
	135.40	134.73	133.94
W _{muerto} [Kg] = 2.00 ideal			
Ws [g] = 135.44 Máximo			

t[min]= 02:15			
	W _{muerto} [Kg]		
Ws [g]	2.00	3.00	5.00
	138.09	136.71	135.76
	138.08	136.71	135.75
W _{muerto} [Kg] = 2.00 ideal			
Ws [g] = 138.09 Máximo			

MUESTRA # 4

t[min]= 01:30			
	W _{muerto} [Kg]		
Ws [g]	2.00	3.00	5.00
	132.28	130.44	129.76
	132.25	130.42	129.76
W _{muerto} [Kg] = 2.00 ideal			
Ws [g] = 132.28 Máximo			

t[min]= 02:15			
	W _{muerto} [Kg]		
Ws [g]	2.00	3.00	5.00
	132.11	127.77	132.94
	132.10	127.75	132.92
W _{muerto} [Kg] = 5.00 ideal			
Ws [g] = 132.94 Máximo			

Como resultado la mejor forma de obtener e_{\min} para cada muestra se da a 2[kg] de carga muerta y el tiempo no es una variable que afecte considerablemente..

IV

Ensayes Realizados

La densidad con la que se realizaron los ensayos en las cuatro muestras, teniendo control sobre la granulometría y el tamaño de partícula, fueron las condiciones extremas:

- **Estado Suelto**
- **Estado Denso**

4.1 Estado Suelto

Los ensayos en estado suelto que se llevaron a cabo para cada una de las muestras de arena elegidas se realizaron de la siguiente manera así como se explicó en capítulos anteriores:

- 1) Pesar la cantidad de material calculado en el subcapítulo 3.2) para realizar los ensayos en el molde del equipo de corte directo.
- 2) Ensamblar la caja de corte haciendo retroceder la manivela así se podrá colocar cuidadosamente y los tornillos de empalme que se encuentran en la parte superior de la caja para evitar que se mueva al vaciar el material.

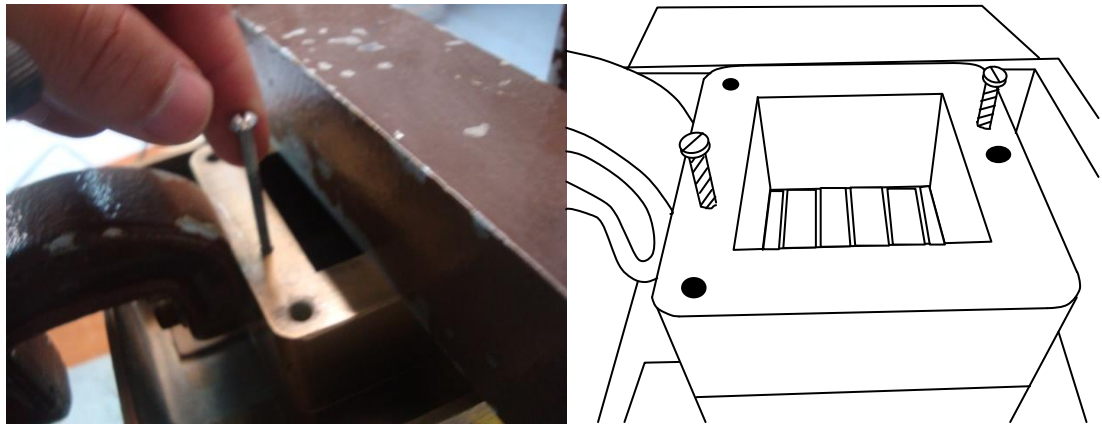


Figura 4.1 Colocación de los tornillos de empalme

- 3) Posteriormente colocar cuidadosamente la arena en la caja de corte con ayuda de un embudo colocado cerca del borde, para iniciar el vaciado de material y dependiendo de la altura de caída que haya presentado dicho material para un estado suelto.

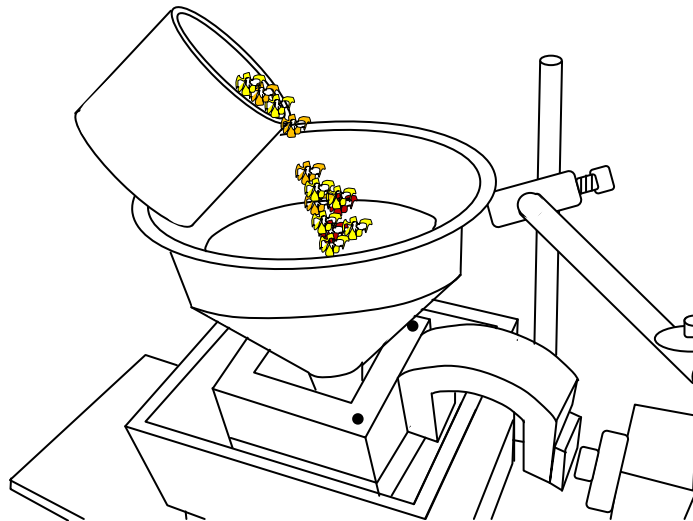


Figura 4.2 Paso 3 del ensayo, vaciado de la muestra de arena en la caja de corte directo.

- 4) Tener una pequeña espátula para poder verificar que al vaciar el material haya quedado totalmente bien distribuido y medir las alturas correspondientes en cada pared de la caja.
- 5) Colocar la tapa del molde sobre la superficie del suelo colocando los bordes o navajas en sentido perpendicular a la dirección de la carga cortante donde posteriormente se colocará un balín.

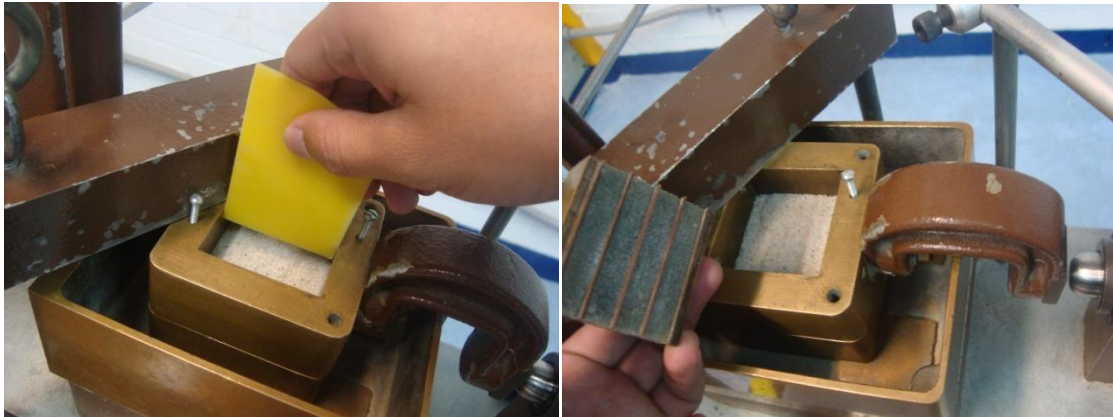


Figura 4.3 Paso 4 para uniformizar muestra y paso 5 colocación tapa del molde

- 6) Inmediatamente después se baja la barra de carga, para ponerla en contacto con el balín colocado en el paso anterior, el marco de carga se encuentra en equilibrio, por lo tanto, para garantizar el contacto se coloca una pesa de 50 gramos en el portapesas, posteriormente se colocaran todos los deformímetros.
- 7) Verificar la nivelación y funcionamiento de los deformímetros, son tres; anillo de carga, y los que van en contacto con la caja donde se encuentra la muestra de suelo, siempre con la finalidad de tomar las lecturas de manera correcta, en sentido horizontal y vertical.
- 8) Aplicar la carga normal P_v deseada y colocar deformímetro digital en el cual se propone una lectura inicial.

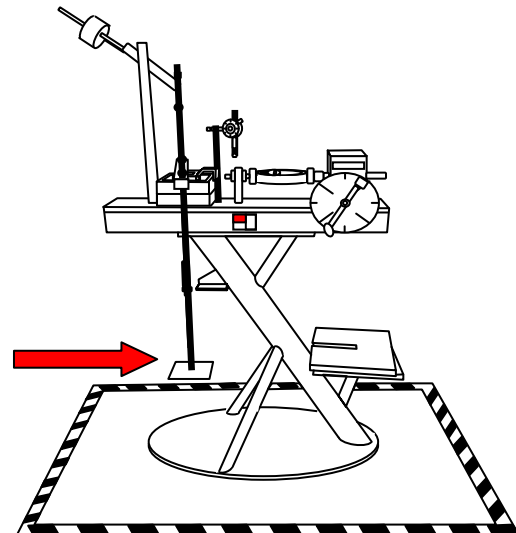
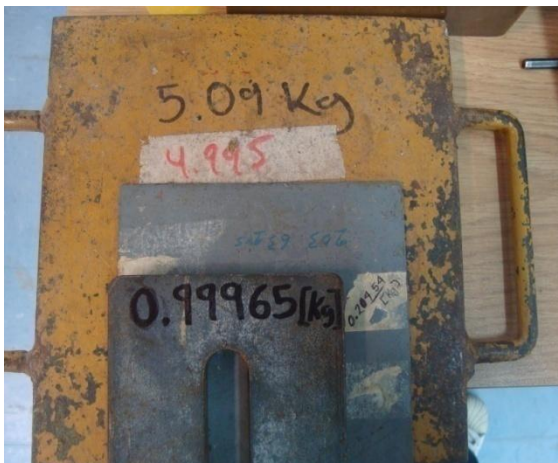


Figura 4.4 Algunas pesas ocupadas durante las pruebas así como ubicación de estas en la barra de carga del equipo de corte directo

- 9) Colocar los demás deformímetros digitales, sólo es cuestión de conectar los cables y observar que este en una lectura inicial para que se pueda medir dichas deformaciones.

- 10) Comenzar la carga horizontal (cortante) y tomar lecturas del deformímetro de carga, del deformímetro de desplazamiento cortante, y del deformímetro vertical (cambio de volumen). Las lecturas se harán en intervalos de tiempo preestablecidos, y girando la manivela de forma constante para obtener las curvas correspondientes.
- 11) Retirar la muestra de arena de la caja de corte y repetir los pasos 1 a 10.
- 12) En el paso 8 usar un valor diferente de P_v para cada ensayo

Una vez colocada la muestra y el equipo complementario se llevó a cabo una de las cargas normal aplicadas (P_v), se mantendrá un ritmo en la manivela constante para que los datos arrojados en los micrómetros digitales se vayan directamente a hojas de resultados como esta:

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	
LOCALIZACIÓN :	
SONDEO :	
MUESTRA :	M-1 DENSO
PROFUNDIDAD :	

DATOS GENERALES:			
Dimensiones de la caja o probeta		H_0 [cm]=	
Largo [cm]=		A_0 [cm]=	
Ancho [cm]=		γ_m [t/m^3]=	
		W_m [g]=	
		$[t/m^3]$ =	
		$[kg/cm^3]$ =	
		σ_N [kg/cm^2]=	0.025
		Micrometro v [mm]	
		L_0 =	
		L_f =	
		Δh_{cons} [mm]=	
		H_c [mm]=	

	$H_{s/sueto}$ [cm]	$H_{c/sueto}$ [cm]	
1			
2			
3			
4			
Promedio			
k_{areo} [kg/mm]=	60.3379		



TIEMPO	LECTURA	MICRO _h	MICRO _v	TIEMPO	LECTURA	MICRO _h	MICRO _v
hh:mm:ss	ANILLO	[mm]	[mm]	hh:mm:ss	ANILLO	[mm]	[mm]
00:00:00				00:05:45			
00:00:05				00:06:00			
00:00:10				00:06:15			
00:00:15				00:06:30			
00:00:20				00:06:45			
00:00:25				00:07:00			
00:00:30				00:07:15			
00:00:40				00:07:30			
00:00:50				00:07:45			
00:01:00				00:08:00			
00:01:10				00:08:15			
00:01:20				00:08:30			
00:01:30				00:08:45			
00:01:45				00:09:00			
00:02:00				00:09:15			
00:02:15				00:09:30			
00:02:30				00:09:45			
00:02:45				00:10:00			
00:03:00				00:11:00			
00:03:15				00:12:00			
00:03:30				00:13:00			
00:03:45				00:14:00			
00:04:00				00:15:00			
00:04:15				00:16:00			
00:04:30				00:17:00			
00:04:45				00:18:00			
00:05:00				00:19:00			
00:05:15				00:20:00			
00:05:30							

Tabla 4.1 Datos arrojados de los tres micrómetros a diferentes intervalos de tiempo

Donde se obtienen 2 tipos de curvas para cada prueba de cada muestra:

- 1.- Curva Esfuerzo Cortante Desviador τ en $[\text{kg}/\text{cm}^2]$ contra Deformación Angular γ en $[\%]$
- 2.- Deformación Vertical (+) Expansión (-) Compresión, en $[\text{mm}]$ contra Deformación Angular γ , en $[\%]$

En el capítulo 5 se podrán observar los resultados de dichas pruebas y en el 6 en el análisis de resultados.

Después de analizar las curvas de resistencia bajo criterio cinemático o dinámico, se eligió el esfuerzo cortante máximo para obtener la tabla 4.1. Considerando la Teoría de Mohr-Coulomb para determinar la envolvente de falla y los parámetros de resistencia, figura 4.5.

σ_N $[\text{kg}/\text{cm}^2]$	τ $[\text{kg}/\text{cm}^2]$
0.25	
0.50	
1.00	
1.50	

Tabla 4.2 Esfuerzo Cortante Desviador (τ) vs Esfuerzo Normal σ_N que nos ayudará a buscar la curva y por lo tanto la ecuación.

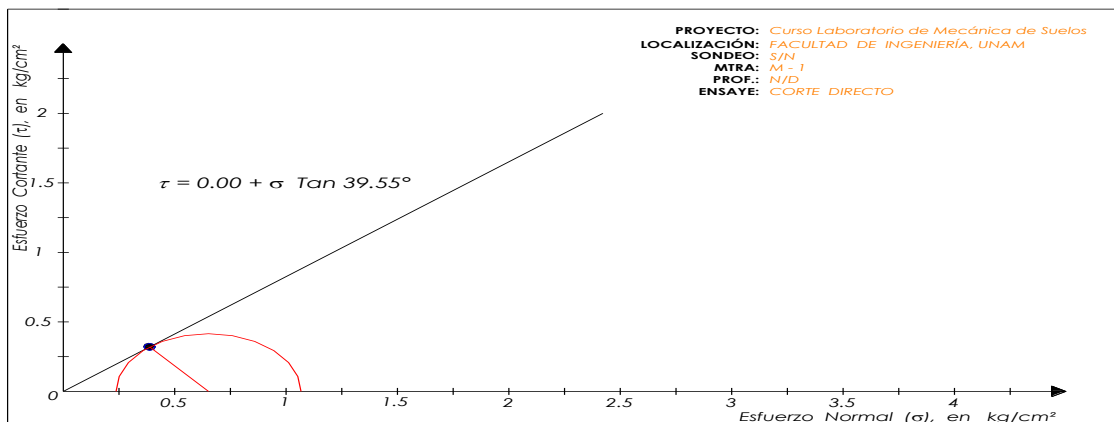
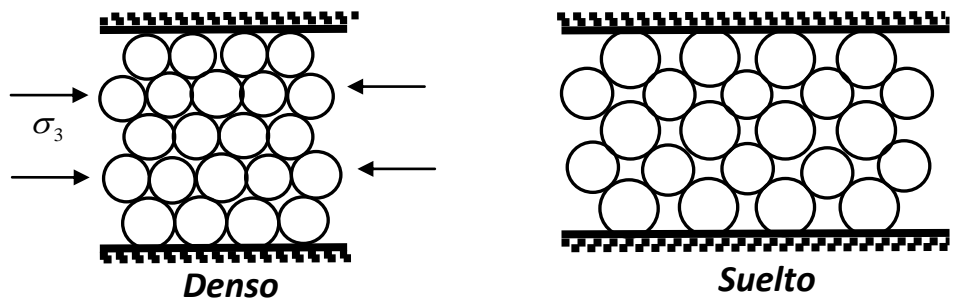


Figura 4.5 Ejemplo deberá llevar cuatro puntos con los Esfuerzos Cortantes Máximos de cada muestra con ayuda de la tabla 4.2 y posteriormente así sacar su ecuación

4.2 Estado Denso

Los ensayos en estado denso que se llevaron a cabo para cada una de las muestras de arena elegidas es muy parecida a las que se realizaron en el estado suelto, y de hecho el procedimiento de falla es idéntica en ambos estados, suelto y denso, esto se debe porque la falla sigue el mismo intervalo de tiempo, la velocidad de deformación y al estar observando la figura 3.3 aquí citada podemos observar de manera la diferencia de ambos estados:



- 1) Pesar el contenido conocido (con la cantidad calculada en el subcapítulo 3.2) para realizar los ensayos en el mismo molde.
- 2) Ensamblar la caja de corte haciendo retroceder la manivela así se podrá colocar cuidadosamente y los tornillos de empalme que se encuentran en la parte superior de la caja para evitar que se mueva al vaciar el material.
- 3) Posteriormente colocar la arena en la caja de corte con ayuda de un embudo.
- 4) Aquí es donde cambia con respecto a los pasos durante los ensayos del estado suelto, donde se colocará un cubo de madera después de vaciar el material en el molde.

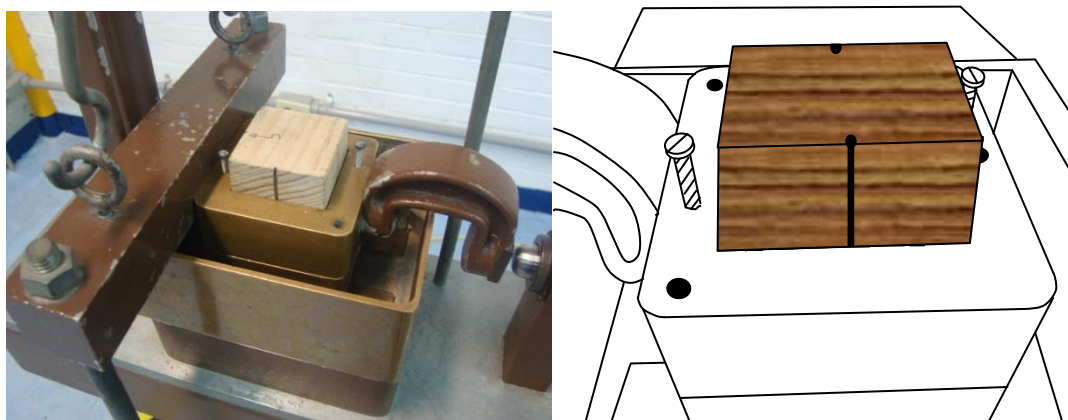


Figura 4.6 Muestra de suelo ya en el molde y colocación de cubo de madera para vibrado

- 5) Después de hacer el paso 4, se procederá a ponerle una pequeña carga muerta de 2[kg] , con el cual ayudará a tener un confinamiento.

- 6) Teniendo estos pasos listos se debe considerar que para llegar al estado denso se debe hacer vibrar el molde con la muestra por medio de la grabadora Dremel (figura 3.4).

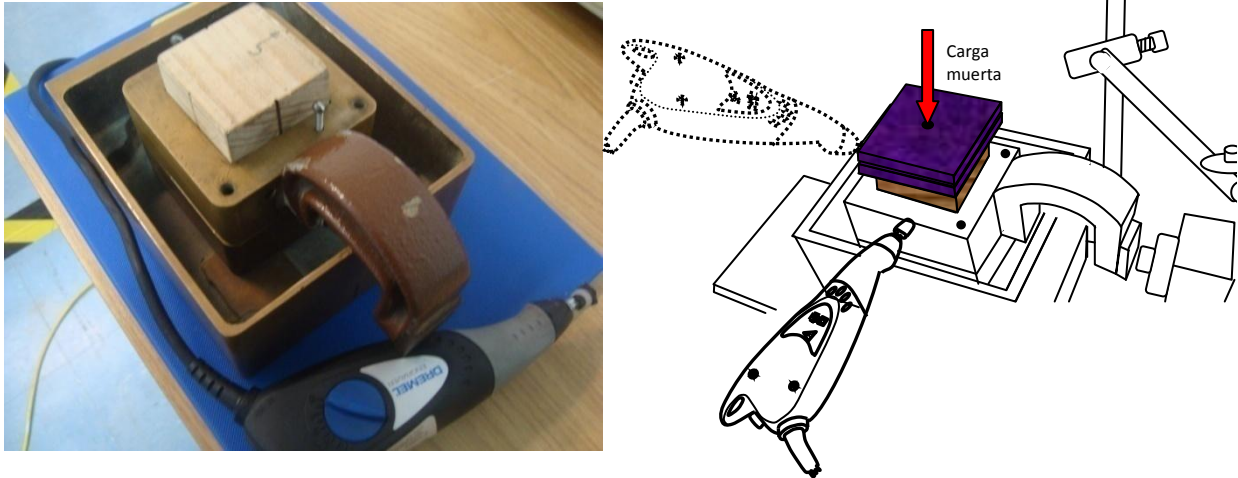


Figura 4.7 Colocación de un pequeño cubo de madera para limitar la vibración de las diferentes partículas y colocación de una pequeña carga muerta.

- 7) Se vuelve a tener las mismas consideraciones que en el estado suelto, así que se coloca la tapa del molde (la pequeña placa con bordes estriados y piedra porosa) sobre la superficie del suelo y colocar balín.
- 8) Inmediatamente después se baja la barra de carga en donde se ha colocado anteriormente un balín (figura 2.2.5b) para que sea uniforme la aplicación de la carga para las diferentes pruebas de corte directo; en este momento se encuentran actuando sobre la muestra de suelo y esa será la lectura inicial de carga.
- 9) Se vuelve a verificar la nivelación de los deformímetros para que pueda leer la lectura correctamente, del deformímetro horizontal, así como del deformímetro vertical. Aplicar la carga normal P_v deseada y colocar deformímetro digital en el cual se propone una lectura inicial (figura 4.4)
- 10) Colocar los demás deformímetros digitales, sólo es cuestión de conectar los cables y observar que este en una lectura inicial para que se pueda medir dichas deformaciones.

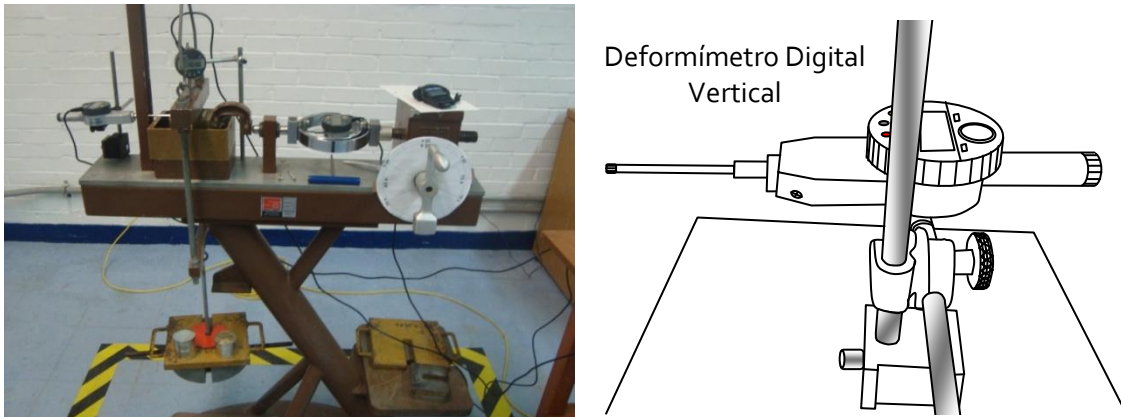


Figura 4.8 Colocación de los deformímetros digitales y con esto se tiene el equipo de corte listo para las pruebas

- 11) Comenzar la carga horizontal (cortante) y tomar lecturas del deformímetro de carga, del deformímetro de desplazamiento cortante, y del deformímetro vertical para el cambio de volumen. Las lecturas se harán en intervalos de tiempo preestablecidos, y girando la manivela de forma constante para obtener las curvas correspondientes.

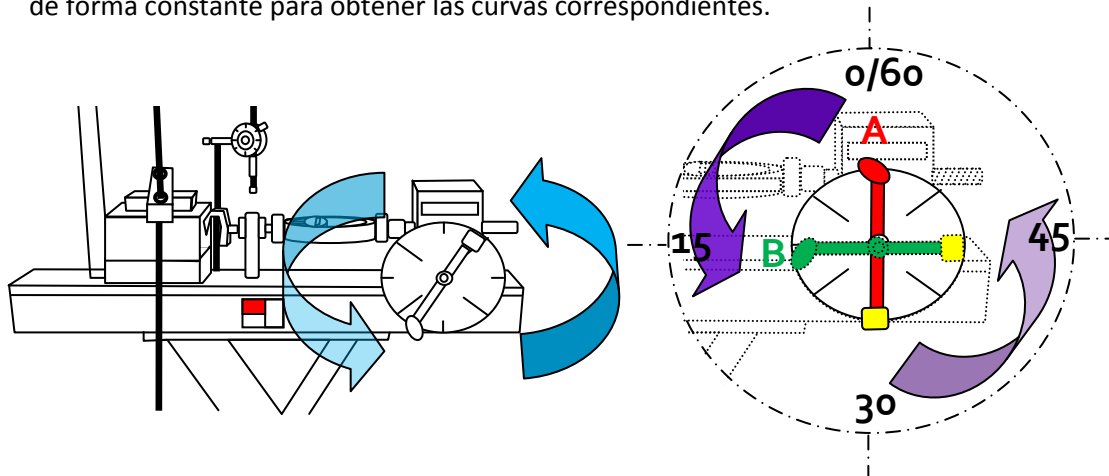


Figura 4.9 Manejo de la manivela para comenzar carga horizontal y vista del movimiento de la manivela el cual debe ser de manera constante para poder obtener datos correctos en **A** marca el inicio en cero segundos, en **B** marca un tiempo de quince segundos, como base de que es una revolución por minuto para nuestras pruebas con el equipo de corte directo.

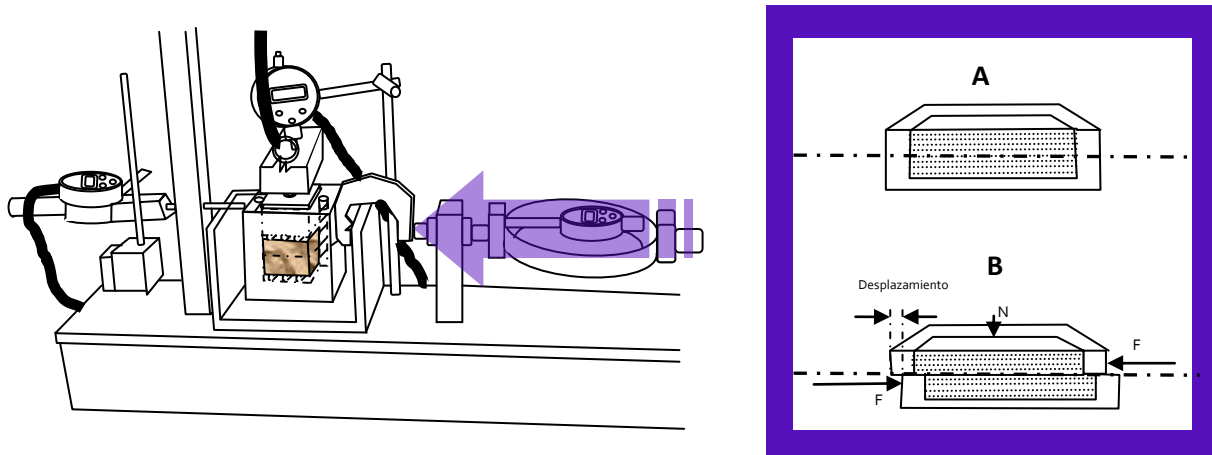


Figura 4.10 Empuje de la manivela con la caja del equipo de corte directo y el efecto que se busca en **A** y **B** (mencionada en figura 2.15)

12) Retirar la muestra de arena de la caja de corte y repetir los pasos 1 a 12.



Figura 4.11 Limpieza en la caja de corte con alguna brocha y cepillo, para recuperar el material de la muestra, limpiando al fondo la placa porosa.

13) En el paso 9 usar un valor diferente de P_v para cada ensayo

Posteriormente también se hará lo mismo en el estado denso lo mencionado desde la **tabla 4.1**, **tabla 4.2** y **figura 4.5**.

V

Proceso de Resultados

Traté que el proceso de análisis fuera una combinación única de tablas, gráficas y demás herramientas, en los diversos métodos ocupados para poder comparar diferencias entre las partículas de las cuatro muestras de suelo dándome un resultado medible. A lo largo de este capítulo se mostrarán las tablas con los datos arrojados de los ensayos con las muestras de arena ya sea suelta o en su estado denso.

En la siguiente tabla se tendrá de manera sintetizada los resultados expuestos:

Muestra	Estado	Esfuerzo Normal σ_N [Kg/cm ²]	Ensayes	Tablas	Figuras
1	Suelto	0.25,0.5,1.0 y 1.5	4	5.1 a 5.4	5.1 a 5.8
	Denso	0.25,0.5,1.0 y 1.5	4	5.5 a 5.8	5.9 a 5.16
2	Suelto	0.25,0.5,1.0 y 1.5	4	5.9 a 5.12	5.17 a 5.24
	Denso	0.25,0.5,1.0 y 1.5	4	5.13 a 5.16	5.25 a 5.32
3	Suelto	0.25,0.5,1.0 y 1.5	4	5.17 a 5.20	5.33 a 5.40
	Denso	0.25,0.5,1.0 y 1.5	4	5.21 a 5.24	5.41 a 5.48
4	Suelto	0.25,0.5,1.0 y 1.5	4	5.25 a 5.28	5.49 a 5.56
	Denso	0.25,0.5,1.0 y 1.5	4	5.29 a 5.32	5.57 a 5.64
Total			32		



UNAM
FACULTAD DE
INGENIERÍA

LABORATORIO DE
GEOTÉCNIA
"FZM"

Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-1 suelto
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:	
Dimensiones de la caja o probeta	
Largo [cm]=	5.060
Ancho [cm]=	5.059
H_0 [cm]=	1.8670
A_0 [cm]=	25.5973
Wm [g]=	80.1560
γ_m [t/m ³]=	1.6773
<hr/>	
P [kg]=	6.3993
σ_N [kg/cm ²]=	0.2500
MICRO_v [mm]	
Lo=	4.9890
Lf=	4.9820
Δh_{cons} [mm]=	0.0070
Hc[mm]=	1.8663
<hr/>	
$H_{t/suelto}$ [cm]	$H_{c/suelto}$ [cm]
1	4.007 2.14
2	4.009 2.14
3	4.006 2.14
4	4.006 2.14
Promedio	4.007 2.140
k_{anillo} [kg/mm]=	60.3379

TIEMPO	LECTURA	T _{total}	MICRO _h	$\delta_{total-h}$	MICRO _v	$\delta_{total-v}$	γ	τ_{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.013	0.000	7.253	0.000	4.893	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.022	0.543	7.255	0.002	4.891	-0.002	0.011	0.021
00:00:10	0.034	1.267	7.265	0.012	4.888	-0.005	0.064	0.050
00:00:15	0.041	1.689	7.276	0.023	4.884	-0.009	0.123	0.066
00:00:20	0.047	2.051	7.306	0.053	4.878	-0.015	0.284	0.080
00:00:25	0.052	2.353	7.338	0.085	4.872	-0.021	0.455	0.092
00:00:30	0.053	2.414	7.353	0.100	4.870	-0.023	0.536	0.094
00:00:40	0.054	2.474	7.387	0.134	4.862	-0.031	0.718	0.097
00:00:50	0.056	2.595	7.444	0.191	4.851	-0.042	1.023	0.101
00:01:00	0.058	2.715	7.497	0.244	4.842	-0.051	1.307	0.106
00:01:10	0.059	2.776	7.553	0.300	4.836	-0.057	1.607	0.108
00:01:20	0.061	2.896	7.611	0.358	4.828	-0.065	1.918	0.113
00:01:30	0.063	3.017	7.674	0.421	4.821	-0.072	2.256	0.118
00:01:45	0.065	3.138	7.746	0.493	4.817	-0.076	2.642	0.123
00:02:00	0.067	3.258	7.825	0.572	4.812	-0.081	3.065	0.127
00:02:15	0.068	3.319	7.909	0.656	4.807	-0.086	3.515	0.130
00:02:30	0.069	3.379	8.007	0.754	4.802	-0.091	4.040	0.132
00:02:45	0.070	3.439	8.083	0.830	4.799	-0.094	4.447	0.134
00:03:00	0.071	3.500	8.169	0.916	4.793	-0.100	4.908	0.137
00:03:15	0.072	3.560	8.244	0.991	4.791	-0.102	5.310	0.139
00:03:30	0.073	3.620	8.340	1.087	4.787	-0.106	5.824	0.141
00:03:45	0.074	3.681	8.420	1.167	4.785	-0.108	6.253	0.144
00:04:00	0.074	3.681	8.493	1.240	4.785	-0.108	6.644	0.144
00:04:15	0.075	3.741	8.576	1.323	4.784	-0.109	7.089	0.146
00:04:30	0.077	3.862	8.669	1.416	4.783	-0.110	7.587	0.151
00:04:45	0.077	3.862	8.741	1.488	4.781	-0.112	7.973	0.151
00:05:00	0.077	3.862	8.822	1.569	4.781	-0.112	8.407	0.151
00:05:15	0.079	3.982	8.909	1.656	4.781	-0.112	8.873	0.156
00:05:30	0.079	3.982	8.985	1.732	4.781	-0.112	9.280	0.156
00:05:45	0.080	4.043	9.067	1.814	4.781	-0.112	9.720	0.158
00:06:00	0.080	4.043	9.152	1.899	4.781	-0.112	10.175	0.158
00:06:15	0.081	4.103	9.232	1.979	4.781	-0.112	10.604	0.160
00:06:30	0.080	4.043	9.322	2.069	4.781	-0.112	11.086	0.158
00:06:45	0.080	4.043	9.398	2.145	4.781	-0.112	11.493	0.158
00:07:00	0.080	4.043	9.485	2.232	4.781	-0.112	11.959	0.158
00:07:15	0.080	4.043	9.572	2.319	4.781	-0.112	12.426	0.158
00:07:30	0.081	4.103	9.651	2.398	4.781	-0.112	12.849	0.160
00:07:45	0.081	4.103	9.739	2.486	4.781	-0.112	13.320	0.160
00:08:00	0.081	4.103	9.825	2.572	4.781	-0.112	13.781	0.160
00:08:15	0.082	4.163	9.918	2.665	4.781	-0.112	14.280	0.163
00:08:30	0.082	4.163	10.000	2.747	4.781	-0.112	14.719	0.163
00:08:45	0.082	4.163	10.076	2.823	4.781	-0.112	15.126	0.163
00:09:00	0.082	4.163	10.166	2.913	4.781	-0.112	15.608	0.163
00:09:15	0.082	4.163	10.249	2.996	4.781	-0.112	16.053	0.163
00:09:30	0.082	4.163	10.339	3.086	4.781	-0.112	16.535	0.163
00:09:45	0.082	4.163	10.415	3.162	4.781	-0.112	16.943	0.163
00:10:00	0.082	4.163	10.500	3.247	4.781	-0.112	17.398	0.163
00:11:00	0.083	4.224	10.827	3.574	4.781	-0.112	19.150	0.165
00:12:00	0.083	4.224	11.154	3.901	4.781	-0.112	20.902	0.165
00:13:00	0.081	4.103	11.500	4.247	4.781	-0.112	22.756	0.160
00:14:00	0.081	4.103	11.848	4.595	4.781	-0.112	24.621	0.160
00:15:00	0.081	4.103	12.180	4.927	4.794	-0.099	26.400	0.160
00:16:00	0.082	4.163	12.521	5.268	4.801	-0.092	28.227	0.163
00:17:00	0.080	4.043	12.855	5.602	4.802	-0.091	30.017	0.158
00:18:00	0.081	4.103	13.191	5.938	4.802	-0.091	31.817	0.160
00:19:00	0.081	4.103	13.520	6.267	4.802	-0.091	33.580	0.160
00:20:00	0.084	4.284	13.850	6.597	4.802	-0.091	35.348	0.167

Tabla 5.1 Muestra M-1, estado suelto, arena mal graduada o uniforme $\sigma_N=0.25$

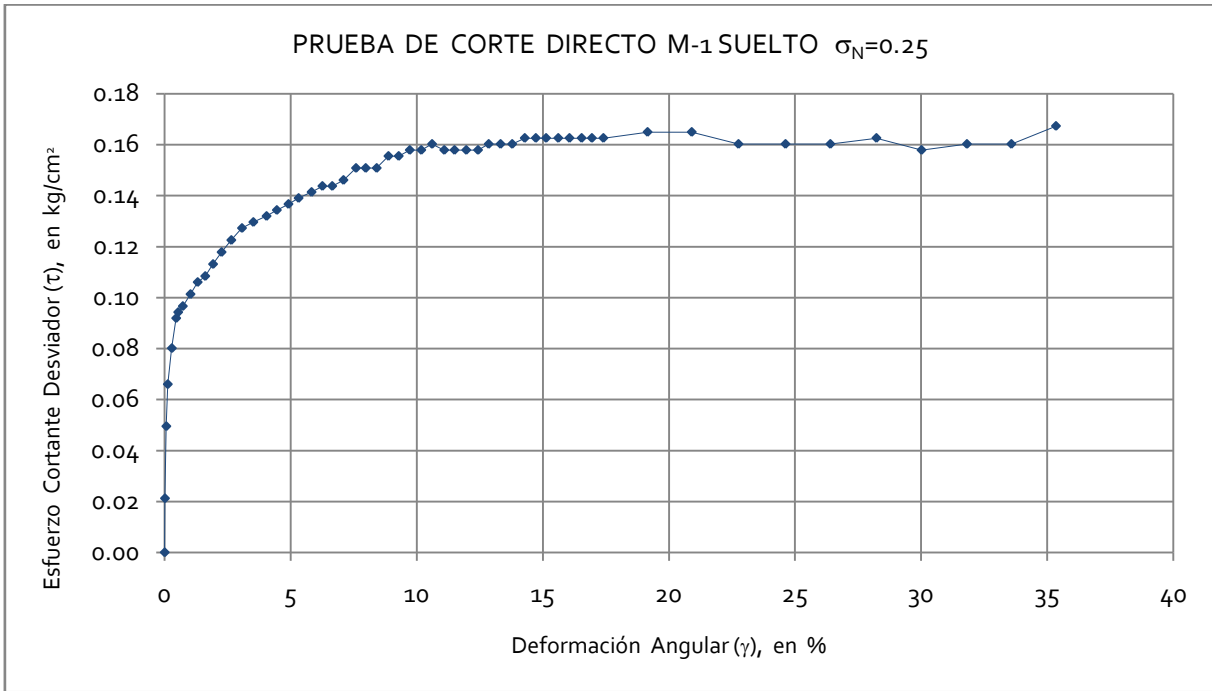


Figura 5.1 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-1 Estado Suelto $\sigma_N=0.25$

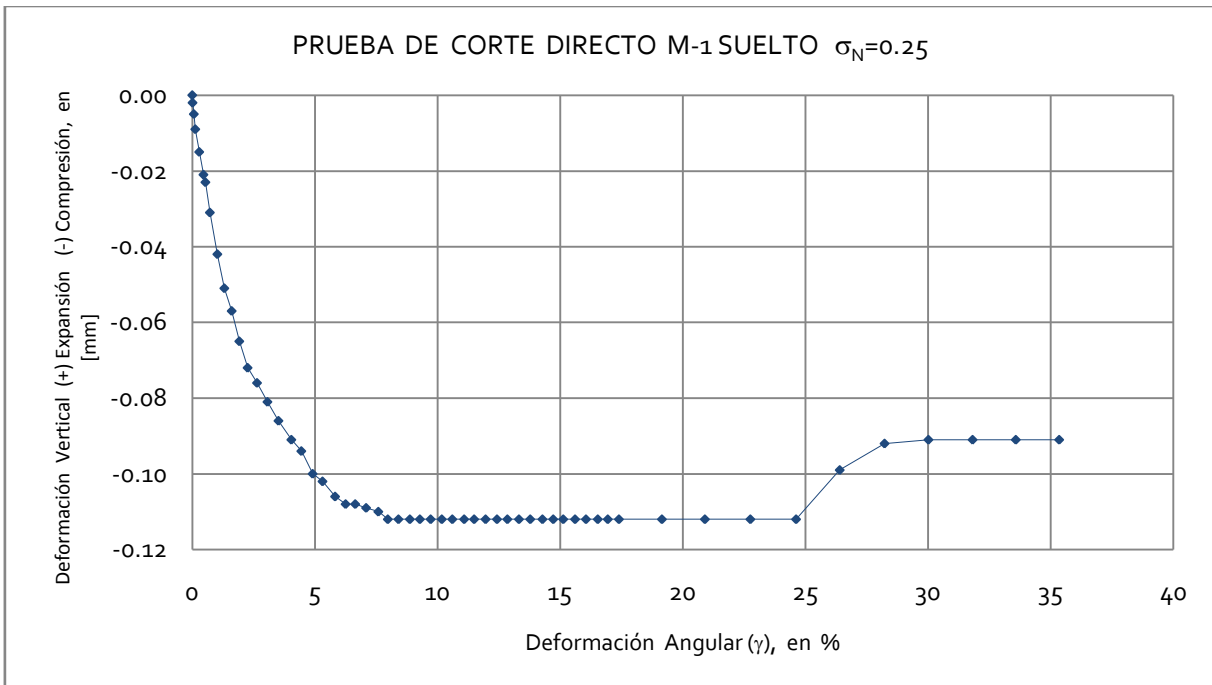


Figura 5.2 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-1 Estado Suelto $\sigma_N=0.25$



FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"

Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO : TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN : FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :
MUESTRA : M-1 suelto
PROFUNDIDAD : N/D

DATOS GENERALES:

Dimensiones de la caja o probeta	H_0 [cm]=	1.9970
Largo [cm]=	A_0 [cm]=	25.5973
Ancho [cm]=	W_m [g]=	80.1560
	γ_m [t/m ³]=	1.5681
	P [kg]=	12.7986
	σ_N [kg/cm ²]=	0.5000
	MICRO_v [mm]	
	Lo =	4.9890
	Lf =	4.9820
	Δh_{cons} [mm]=	0.0070
	H_c [mm]=	1.9963

	$H_{s/suelto}$ [cm]	$H_{r/suelto}$ [cm]
1	4.007	2.01
2	4.009	2.01
3	4.006	2.01
4	4.006	2.01
Promedio	4.007	2.010

k_{anillo} [kg/mm]= 60.3379

TIEMPO	LECTURA	T_{total}	MICRO_h	$\delta_{total-h}$	MICRO_v	$\delta_{total-v}$	γ	τ_{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.013	0.000	5.125	0.000	4.735	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.039	1.569	5.129	0.004	4.731	-0.004	0.020	0.061
00:00:10	0.054	2.474	5.141	0.016	4.729	-0.006	0.080	0.097
00:00:15	0.06	2.836	5.148	0.023	4.727	-0.008	0.115	0.111
00:00:20	0.073	3.620	5.162	0.037	4.725	-0.010	0.185	0.141
00:00:25	0.079	3.982	5.184	0.059	4.723	-0.012	0.296	0.156
00:00:30	0.087	4.465	5.205	0.080	4.72	-0.015	0.401	0.174
00:00:40	0.093	4.827	5.247	0.122	4.713	-0.022	0.611	0.189
00:00:50	0.098	5.129	5.306	0.181	4.704	-0.031	0.907	0.200
00:01:00	0.102	5.370	5.354	0.229	4.697	-0.038	1.147	0.210
00:01:10	0.104	5.491	5.399	0.274	4.692	-0.043	1.373	0.215
00:01:20	0.107	5.672	5.454	0.329	4.686	-0.049	1.648	0.222
00:01:30	0.112	5.973	5.502	0.377	4.681	-0.054	1.888	0.233
00:01:45	0.116	6.215	5.581	0.456	4.673	-0.062	2.284	0.243
00:02:00	0.117	6.275	5.659	0.534	4.669	-0.066	2.675	0.245
00:02:15	0.116	6.215	5.744	0.619	4.663	-0.072	3.101	0.243
00:02:30	0.119	6.396	5.812	0.687	4.66	-0.075	3.441	0.250
00:02:45	0.122	6.577	5.903	0.778	4.652	-0.083	3.897	0.257
00:03:00	0.125	6.758	5.98	0.855	4.648	-0.087	4.283	0.264
00:03:15	0.127	6.879	6.063	0.938	4.642	-0.093	4.699	0.269
00:03:30	0.127	6.879	6.148	1.023	4.639	-0.096	5.124	0.269
00:03:45	0.13	7.060	6.229	1.104	4.636	-0.099	5.530	0.276
00:04:00	0.13	7.060	6.303	1.178	4.635	-0.100	5.901	0.276
00:04:15	0.131	7.120	6.396	1.271	4.635	-0.100	6.367	0.278
00:04:30	0.132	7.180	6.479	1.354	4.635	-0.100	6.783	0.281
00:04:45	0.131	7.120	6.568	1.443	4.635	-0.100	7.228	0.278
00:05:00	0.134	7.301	6.654	1.529	4.635	-0.100	7.659	0.285
00:05:15	0.133	7.241	6.727	1.602	4.635	-0.100	8.025	0.283
00:05:30	0.135	7.361	6.819	1.694	4.635	-0.100	8.486	0.288
00:05:45	0.136	7.422	6.888	1.763	4.635	-0.100	8.831	0.290
00:06:00	0.133	7.241	6.971	1.846	4.635	-0.100	9.247	0.283
00:06:15	0.134	7.301	7.019	1.894	4.635	-0.100	9.488	0.285
00:06:30	0.133	7.241	7.137	2.012	4.635	-0.100	10.079	0.283
00:06:45	0.133	7.241	7.249	2.124	4.635	-0.100	10.640	0.283
00:07:00	0.133	7.241	7.314	2.189	4.635	-0.100	10.965	0.283
00:07:15	0.134	7.301	7.379	2.254	4.635	-0.100	11.291	0.285
00:07:30	0.134	7.301	7.47	2.345	4.635	-0.100	11.747	0.285
00:07:45	0.133	7.241	7.564	2.439	4.635	-0.100	12.218	0.283
00:08:00	0.134	7.301	7.638	2.513	4.635	-0.100	12.588	0.285
00:08:15	0.135	7.361	7.714	2.589	4.635	-0.100	12.969	0.288
00:08:30	0.137	7.482	7.79	2.665	4.635	-0.100	13.350	0.292
00:08:45	0.135	7.361	7.882	2.757	4.635	-0.100	13.811	0.288
00:09:00	0.136	7.422	7.966	2.841	4.635	-0.100	14.231	0.290
00:09:15	0.137	7.482	8.046	2.921	4.635	-0.100	14.632	0.292
00:09:30	0.136	7.422	8.135	3.010	4.635	-0.100	15.078	0.290
00:09:45	0.138	7.542	8.227	3.102	4.634	-0.101	15.539	0.295
00:10:00	0.137	7.482	8.303	3.178	4.634	-0.101	15.919	0.292
00:11:00	0.136	7.422	8.635	3.510	4.634	-0.101	17.583	0.290
00:12:00	0.135	7.361	8.972	3.847	4.634	-0.101	19.271	0.288
00:13:00	0.136	7.422	9.303	4.178	4.634	-0.101	20.929	0.290
00:14:00	0.135	7.361	9.651	4.526	4.634	-0.101	22.672	0.288
00:15:00	0.132	7.180	9.98	4.855	4.634	-0.101	24.320	0.281
00:16:00	0.136	7.422	10.318	5.193	4.634	-0.101	26.013	0.290
00:17:00	0.137	7.482	10.642	5.517	4.634	-0.101	27.636	0.292
00:18:00	0.137	7.482	10.99	5.865	4.634	-0.101	29.379	0.292
00:19:00	0.134	7.301	11.328	6.203	4.634	-0.101	31.072	0.285
00:20:00	0.135	7.361	11.651	6.526	4.63	-0.105	32.690	0.288

Tabla 5.2 Muestra M-1, estado suelto, arena mal graduada o uniforme $\sigma_N=0.5$

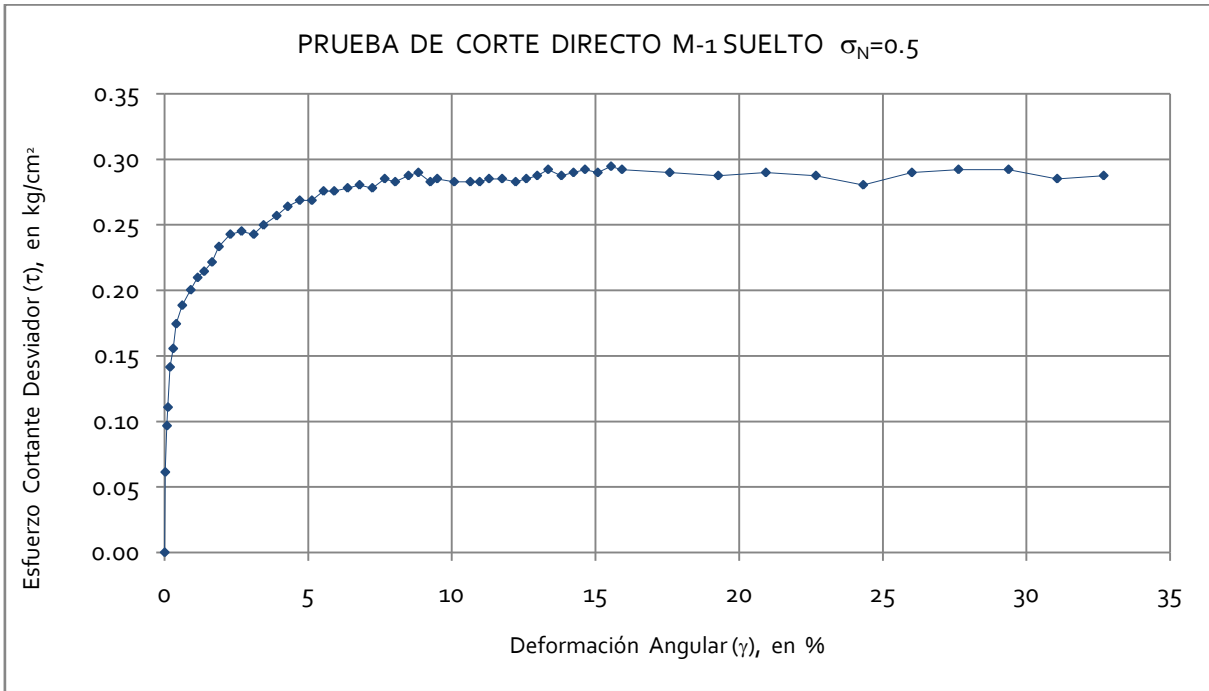


Figura 5.3 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-1 Estado Suelto $\sigma_N=0.5$

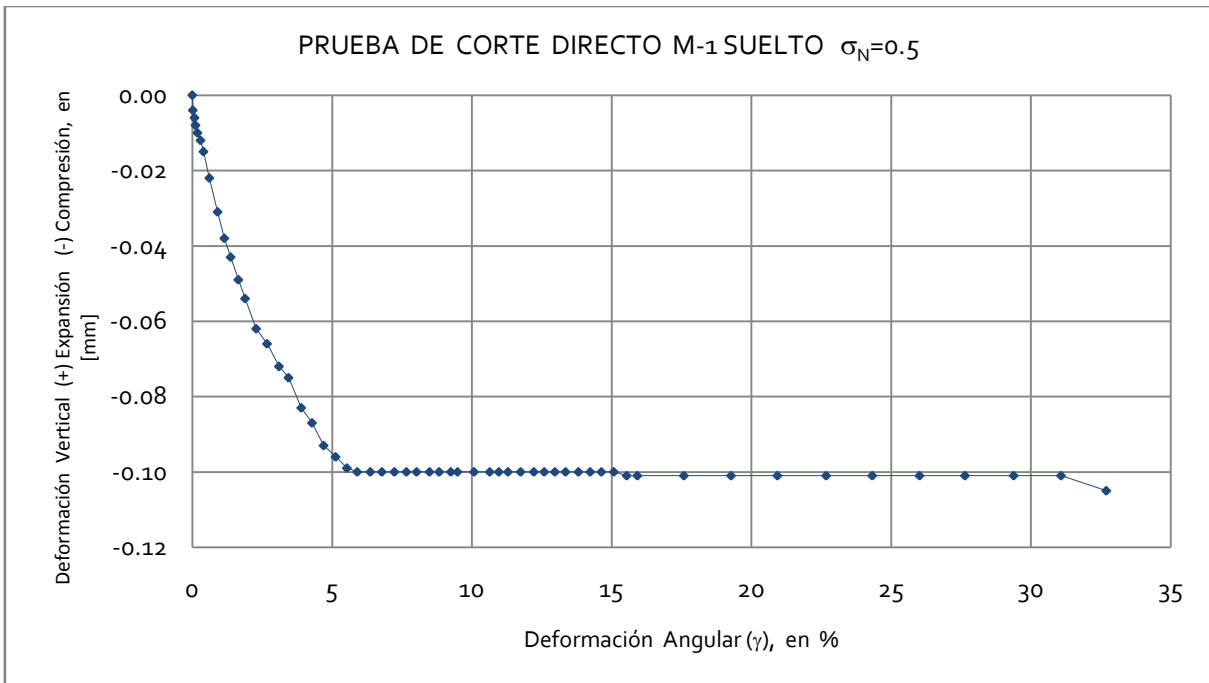


Figura 5.4 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-1 Estado Suelto $\sigma_N=0.5$



UNAM
FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"

Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-1 suelto
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:		H_0 [cm]=	1.9970
Dimensiones de la caja o probeta		A_N [cm]=	25.5973
Largo [cm]=	5.060	Wm [g]=	80.1560
Ancho [cm]=	5.059	γ_m [t/m ³]=	1.5681
		P [kg]=	25.5972
		σ_N [kg/cm ²]=	1.0000
		Micro_v [mm]	
		Lo=	4.9890
		Lf=	4.9820
		Δh_{cons} [mm]=	0.0070
		Hc [mm]=	1.9963

	$H_{s/suelo}$ [cm]	$H_{c/suelo}$ [cm]
1	4.007	2.01
2	4.009	2.01
3	4.006	2.01
4	4.006	2.01
Promedio	4.007	2.010
k_{anillo} [kg/mm]=	60.3379	

TIEMPO	LECTURA	T _{total}	MICRO _h	$\delta_{total-h}$	MICRO _v	$\delta_{total-v}$	γ	τ_{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.021	0.000	4.953	0.000	4.573	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.026	0.302	4.953	0.000	4.573	0.000	0.000	0.012
00:00:10	0.050	1.750	4.953	0.000	4.573	0.000	0.000	0.068
00:00:15	0.070	2.957	4.957	0.004	4.573	0.000	0.020	0.116
00:00:20	0.083	3.741	4.963	0.010	4.573	0.000	0.050	0.146
00:00:25	0.095	4.465	4.969	0.016	4.573	0.000	0.080	0.174
00:00:30	0.105	5.068	4.980	0.027	4.569	-0.004	0.135	0.198
00:00:40	0.125	6.275	5.025	0.072	4.564	-0.009	0.361	0.245
00:00:50	0.138	7.060	5.074	0.121	4.559	-0.014	0.606	0.276
00:01:00	0.143	7.361	5.109	0.156	4.554	-0.019	0.781	0.288
00:01:10	0.150	7.784	5.153	0.200	4.549	-0.024	1.002	0.304
00:01:20	0.156	8.146	5.200	0.247	4.540	-0.033	1.237	0.318
00:01:30	0.161	8.447	5.252	0.299	4.535	-0.038	1.498	0.330
00:01:45	0.170	8.990	5.318	0.365	4.525	-0.048	1.828	0.351
00:02:00	0.180	9.594	5.386	0.433	4.517	-0.056	2.169	0.375
00:02:15	0.191	10.257	5.466	0.513	4.506	-0.067	2.570	0.401
00:02:30	0.194	10.438	5.537	0.584	4.500	-0.073	2.925	0.408
00:02:45	0.202	10.921	5.617	0.664	4.493	-0.080	3.326	0.427
00:03:00	0.208	11.283	5.689	0.736	4.485	-0.088	3.687	0.441
00:03:15	0.211	11.464	5.766	0.813	4.478	-0.095	4.073	0.448
00:03:30	0.218	11.887	5.856	0.903	4.469	-0.104	4.523	0.464
00:03:45	0.219	11.947	5.929	0.976	4.464	-0.109	4.889	0.467
00:04:00	0.222	12.128	6.006	1.053	4.455	-0.118	5.275	0.474
00:04:15	0.225	12.309	6.075	1.122	4.446	-0.127	5.620	0.481
00:04:30	0.227	12.430	6.163	1.210	4.437	-0.136	6.061	0.486
00:04:45	0.229	12.550	6.255	1.302	4.431	-0.142	6.522	0.490
00:05:00	0.234	12.852	6.320	1.367	4.427	-0.146	6.848	0.502
00:05:15	0.239	13.154	6.398	1.445	4.425	-0.148	7.238	0.514
00:05:30	0.240	13.214	6.485	1.532	4.425	-0.148	7.674	0.516
00:05:45	0.241	13.274	6.558	1.605	4.425	-0.148	8.040	0.519
00:06:00	0.242	13.335	6.648	1.695	4.425	-0.148	8.491	0.521
00:06:15	0.244	13.455	6.721	1.768	4.425	-0.148	8.856	0.526
00:06:30	0.246	13.576	6.812	1.859	4.425	-0.148	9.312	0.530
00:06:45	0.249	13.757	6.888	1.935	4.425	-0.148	9.693	0.537
00:07:00	0.252	13.938	6.974	2.021	4.425	-0.148	10.124	0.545
00:07:15	0.248	13.697	7.053	2.100	4.425	-0.148	10.519	0.535
00:07:30	0.251	13.878	7.145	2.192	4.426	-0.147	10.980	0.542
00:07:45	0.253	13.998	7.228	2.275	4.430	-0.143	11.396	0.547
00:08:00	0.252	13.938	7.308	2.355	4.432	-0.141	11.797	0.545
00:08:15	0.247	13.636	7.394	2.441	4.433	-0.140	12.228	0.533
00:08:30	0.251	13.878	7.478	2.525	4.433	-0.140	12.648	0.542
00:08:45	0.254	14.059	7.562	2.609	4.433	-0.140	13.069	0.549
00:09:00	0.254	14.059	7.643	2.690	4.433	-0.140	13.475	0.549
00:09:15	0.254	14.059	7.724	2.771	4.433	-0.140	13.881	0.549
00:09:30	0.253	13.998	7.805	2.852	4.433	-0.140	14.286	0.547
00:09:45	0.253	13.998	7.892	2.939	4.433	-0.140	14.722	0.547
00:10:00	0.251	13.878	7.979	3.026	4.433	-0.140	15.158	0.542
00:11:00	0.255	14.119	8.311	3.358	4.426	-0.147	16.821	0.552
00:12:00	0.257	14.240	8.647	3.694	4.437	-0.136	18.504	0.556
00:13:00	0.253	13.998	8.974	4.021	4.452	-0.121	20.142	0.547
00:14:00	0.248	13.697	9.319	4.366	4.458	-0.115	21.870	0.535
00:15:00	0.258	14.300	9.643	4.690	4.458	-0.115	23.493	0.559
00:16:00	0.255	14.119	9.981	5.028	4.458	-0.115	25.187	0.552
00:17:00	0.257	14.240	10.319	5.366	4.458	-0.115	26.880	0.556
00:18:00	0.256	14.179	10.654	5.701	4.458	-0.115	28.558	0.554
00:19:00	0.253	13.998	11.001	6.048	4.458	-0.115	30.296	0.547
00:20:00	0.248	13.697	11.321	6.368	4.458	-0.115	31.899	0.535

Tabla 5.3 Muestra M-1, estado suelto, arena mal graduada o uniforme $\sigma_N=1$

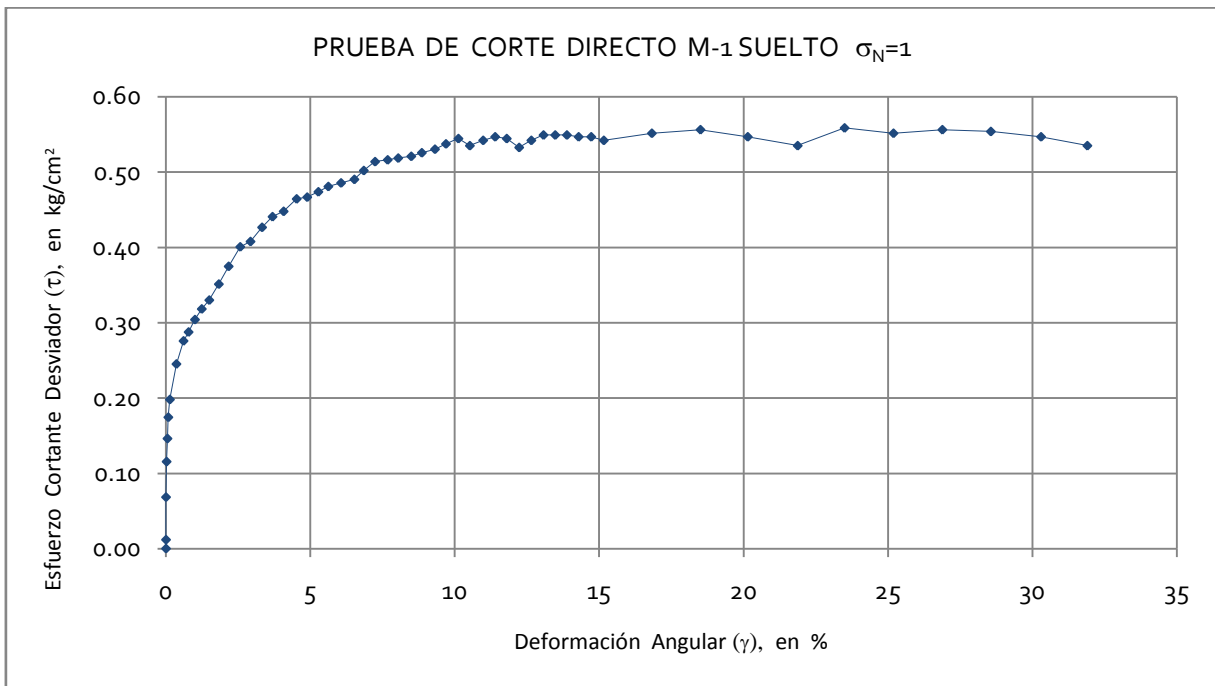


Figura 5.5 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-1 Estado Suelto $\sigma_N=1$

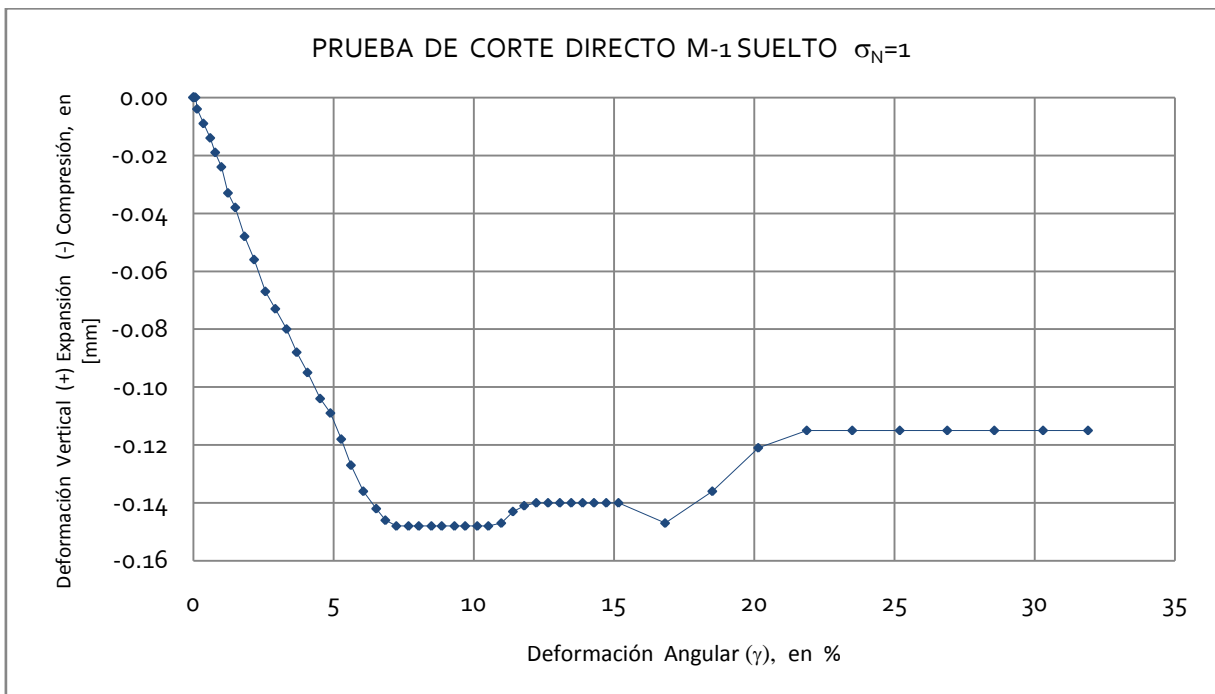


Figura 5.6 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-1 Estado Suelto $\sigma_N=1$

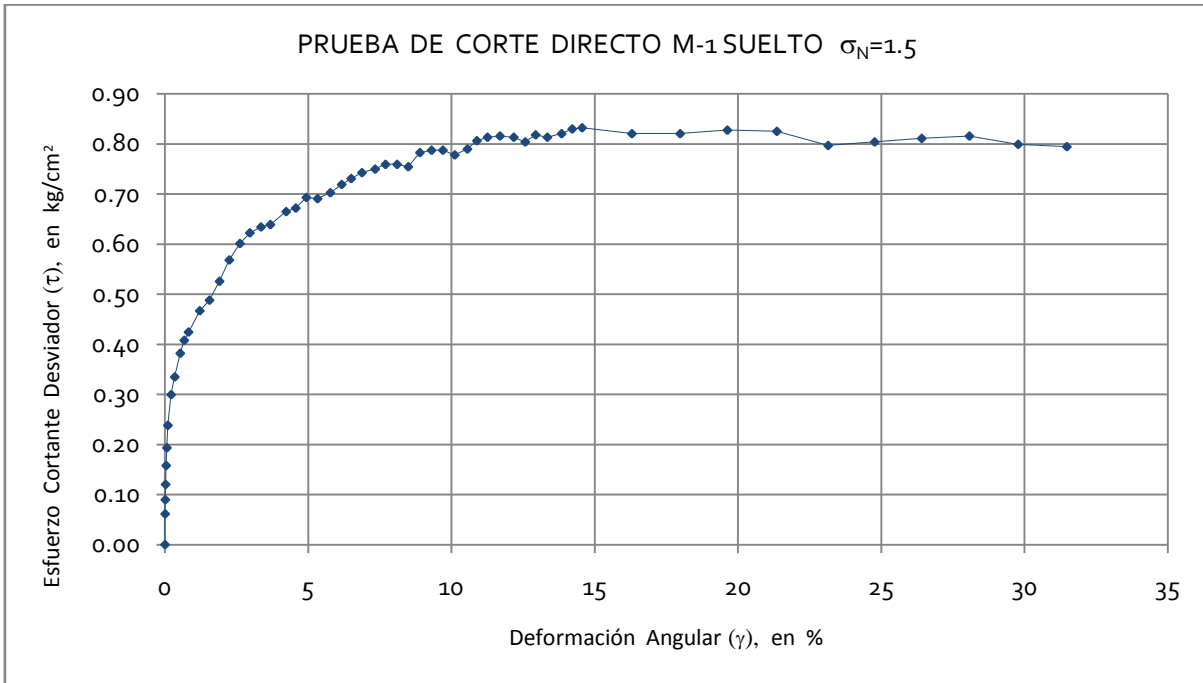


Figura 5.7 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-1 Estado Suelto $\sigma_N=1.5$

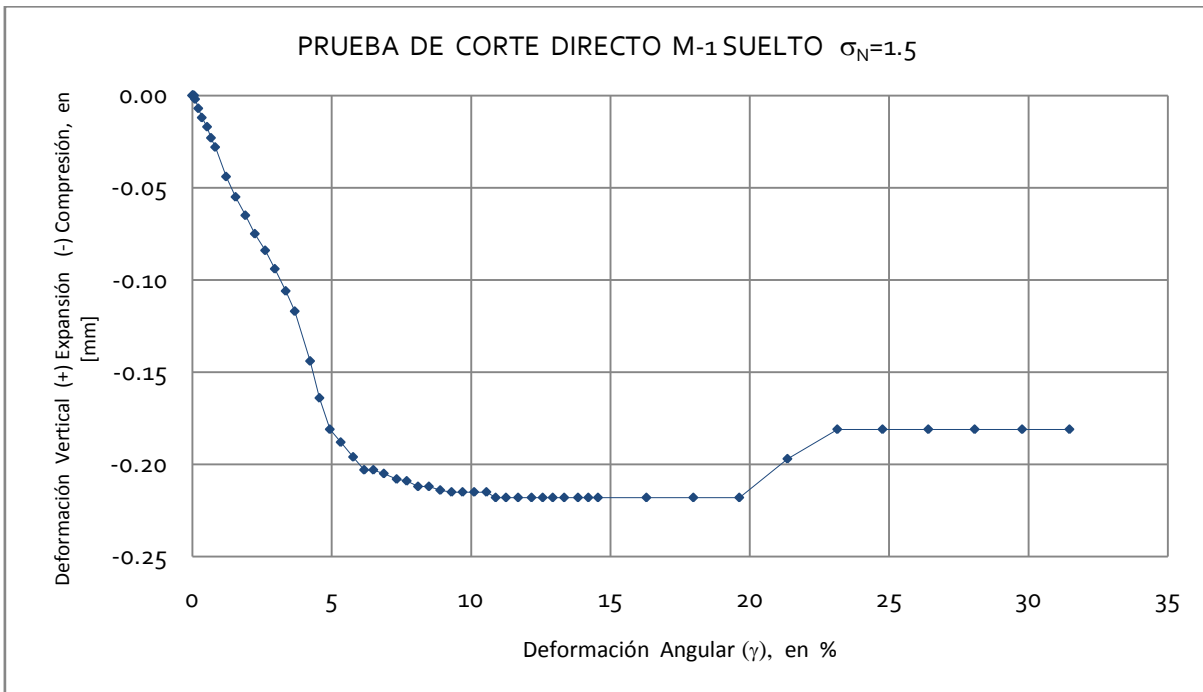


Figura 5.8 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-1 Estado Suelto $\sigma_N=1.5$



UNAM
FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"

Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO : TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN : FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :
MUESTRA : M-1 DENSO
PROFUNDIDAD : N/D

DATOS GENERALES:

Dimensiones de la caja o probeta		H_0 [cm]=	1.9270
Largo [cm]=	5.060	A_0 [cm]=	25.5973
Ancho [cm]=	5.059	W_m [g]=	87.4922
		γ_m [t/m ³]=	1.7738
		P [kg]=	6.3993
		σ_N [kg/cm ²]=	0.2500
		MICRO_v [mm]	
		Lo =	5.1960
		lf =	5.3430
		Δh_{cons} [mm]=	-0.1470
		Hc [mm]=	1.9417

	$H_{s/suelo}$ [cm]	$H_{c/suelo}$ [cm]
1	4.007	2.08
2	4.009	2.08
3	4.006	2.08
4	4.006	2.08
Promedio	4.007	2.080

k_{anillo} [kg/mm]= 60.3379

TIEMPO	LECTURA	T_{total}	MICRO _h	$\delta_{total-h}$	MICRO _v	$\delta_{total-v}$	γ	τ_{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.028	0.000	4.876	0.000	5.343	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.034	0.362	4.885	0.009	5.343	0.000	0.046	0.014
00:00:10	0.039	0.664	4.901	0.025	5.343	0.000	0.129	0.026
00:00:15	0.042	0.845	4.949	0.073	5.343	0.000	0.376	0.033
00:00:20	0.047	1.146	4.940	0.064	5.343	0.000	0.330	0.045
00:00:25	0.049	1.267	4.960	0.084	5.343	0.000	0.433	0.050
00:00:30	0.057	1.750	4.985	0.109	5.343	0.000	0.561	0.068
00:00:40	0.064	2.172	5.028	0.152	5.343	0.000	0.783	0.085
00:00:50	0.069	2.474	5.081	0.205	5.343	0.000	1.056	0.097
00:01:00	0.075	2.836	5.131	0.255	5.343	0.000	1.313	0.111
00:01:10	0.081	3.198	5.175	0.299	5.343	0.000	1.540	0.125
00:01:20	0.086	3.500	5.226	0.350	5.343	0.000	1.803	0.137
00:01:30	0.091	3.801	5.279	0.403	5.343	0.000	2.076	0.149
00:01:45	0.091	3.801	5.356	0.480	5.343	0.000	2.472	0.149
00:02:00	0.096	4.103	5.435	0.559	5.343	0.000	2.879	0.160
00:02:15	0.101	4.405	5.517	0.641	5.343	0.000	3.301	0.172
00:02:30	0.104	4.586	5.605	0.729	5.351	0.008	3.754	0.179
00:02:45	0.107	4.767	5.688	0.812	5.362	0.019	4.182	0.186
00:03:00	0.109	4.887	5.764	0.888	5.373	0.030	4.573	0.191
00:03:15	0.110	4.948	5.838	0.962	5.389	0.046	4.954	0.193
00:03:30	0.111	5.008	5.926	1.050	5.408	0.065	5.408	0.196
00:03:45	0.111	5.008	6.005	1.129	5.425	0.082	5.814	0.196
00:04:00	0.111	5.008	6.092	1.216	5.448	0.105	6.263	0.196
00:04:15	0.111	5.008	6.163	1.287	5.466	0.123	6.628	0.196
00:04:30	0.111	5.008	6.248	1.372	5.487	0.144	7.066	0.196
00:04:45	0.110	4.948	6.335	1.459	5.507	0.164	7.514	0.193
00:05:00	0.111	5.008	6.417	1.541	5.524	0.181	7.936	0.196
00:05:15	0.109	4.887	6.494	1.618	5.541	0.198	8.333	0.191
00:05:30	0.106	4.706	6.583	1.707	5.560	0.217	8.791	0.184
00:05:45	0.106	4.706	6.656	1.780	5.575	0.232	9.167	0.184
00:06:00	0.104	4.586	6.746	1.870	5.592	0.249	9.631	0.179
00:06:15	0.105	4.646	6.818	1.942	5.607	0.264	10.002	0.182
00:06:30	0.103	4.525	6.914	2.038	5.624	0.281	10.496	0.177
00:06:45	0.102	4.465	6.997	2.121	5.639	0.296	10.923	0.174
00:07:00	0.101	4.405	7.091	2.215	5.654	0.311	11.408	0.172
00:07:15	0.101	4.405	7.171	2.295	5.666	0.323	11.820	0.172
00:07:30	0.100	4.344	7.255	2.379	5.677	0.334	12.252	0.170
00:07:45	0.098	4.224	7.342	2.466	5.688	0.345	12.700	0.165
00:08:00	0.098	4.224	7.437	2.561	5.699	0.356	13.189	0.165
00:08:15	0.096	4.103	7.520	2.644	5.708	0.365	13.617	0.160
00:08:30	0.094	3.982	7.606	2.730	5.716	0.373	14.060	0.156
00:08:45	0.090	3.741	7.783	2.907	5.730	0.387	14.971	0.146
00:09:00	0.088	3.620	7.865	2.989	5.735	0.392	15.394	0.141
00:09:15	0.090	3.741	7.938	3.062	5.740	0.397	15.770	0.146
00:09:30	0.088	3.620	8.031	3.155	5.747	0.404	16.249	0.141
00:09:45	0.087	3.560	8.113	3.237	5.753	0.410	16.671	0.139
00:10:00	0.087	3.560	8.194	3.318	5.757	0.414	17.088	0.139
00:11:00	0.087	3.560	8.448	3.572	5.767	0.424	18.396	0.139
00:12:00	0.087	3.560	8.788	3.912	5.777	0.434	20.147	0.139
00:13:00	0.088	3.620	9.113	4.237	5.778	0.435	21.821	0.141
00:14:00	0.085	3.439	9.451	4.575	5.785	0.442	23.562	0.134
00:15:00	0.081	3.198	9.794	4.918	5.785	0.442	25.328	0.125
00:16:00	0.078	3.017	10.148	5.272	5.785	0.442	27.151	0.118
00:17:00	0.077	2.957	10.480	5.604	5.785	0.442	28.861	0.116
00:18:00	0.072	2.655	10.812	5.936	5.785	0.442	30.571	0.104
00:19:00	0.083	3.319	11.141	6.265	5.785	0.442	32.266	0.130
00:20:00	0.084	3.379	11.478	6.602	5.785	0.442	34.001	0.132

Tabla 5.5 Muestra M-1, estado denso, arena mal graduada o uniforme $\sigma_N=0.25$

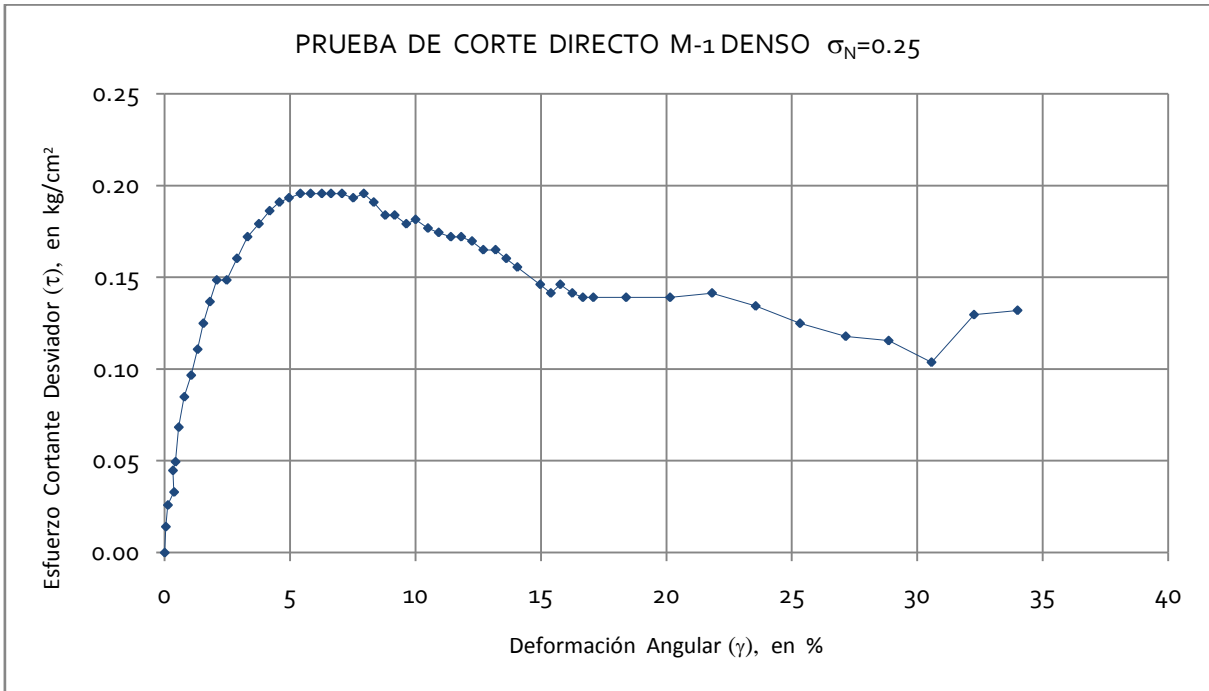


Figura 5.9 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-1 Estado Denso $\sigma_N=0.25$

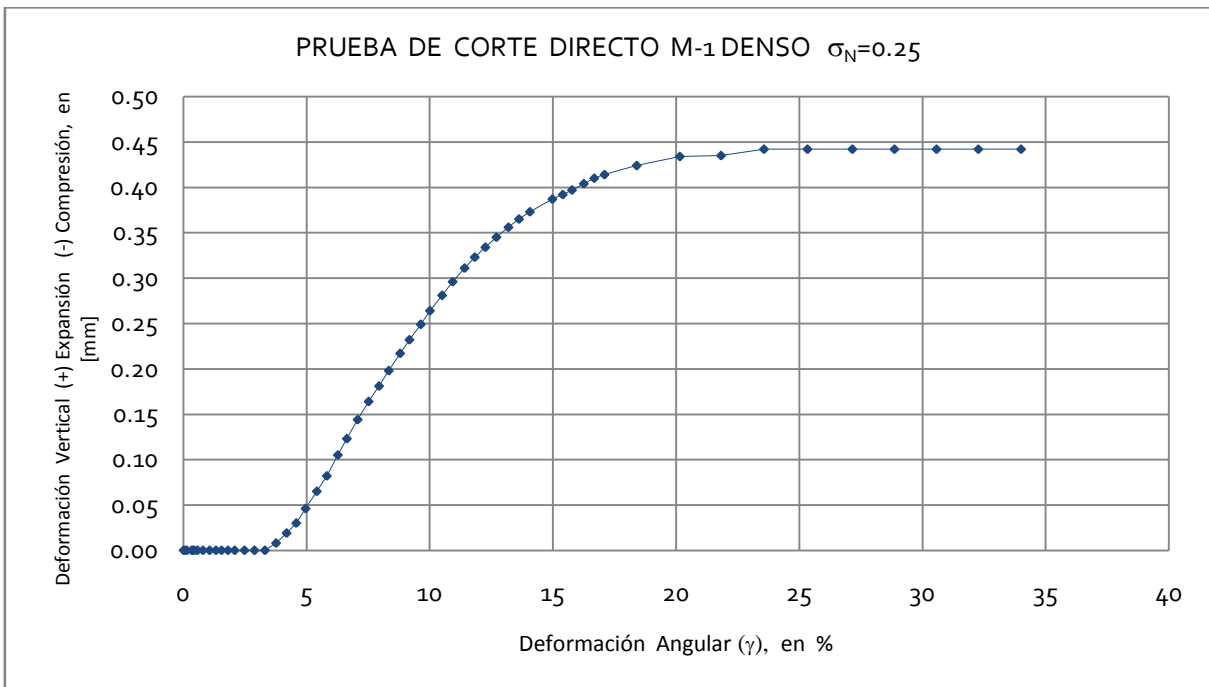


Figura 5.10 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-1 Estado Denso $\sigma_N=0.25$



UNAM
FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"

Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-1 DENSO
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:		H_0 [cm]=	2.0070
Dimensiones de la caja o probeta		A_0 [cm]=	25.5973
Largo [cm]=	5.060	W_m [g]=	87.4922
Ancho [cm]=	5.059	γ_m [t/m ³]=	1.7031
		P [kg]=	12.7986
		σ_N [kg/cm ²]=	0.5000
		Micro_v [mm]	
		Lo=	5.0230
		Lf=	4.8370
		Δh_{cons} [mm]=	0.1860
		H_c [mm]=	1.9884

	$H_{s/suelo}$ [cm]	$H_{c/suelo}$ [cm]
1	4.007	2.000
2	4.009	2.000
3	4.006	2.000
4	4.006	2.000
Promedio	4.007	2.000

k_{anillo} [kg/mm]= 60.3379

TIEMPO	LECTURA	T_{total}	MICRO _h	$\delta_{total-h}$	MICRO _v	$\delta_{total-v}$	γ	τ_{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.013	0.000	5.057	0.000	4.837	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.031	1.086	5.062	0.005	4.837	0.000	0.025	0.042
00:00:10	0.042	1.750	5.074	0.017	4.837	0.000	0.085	0.068
00:00:15	0.051	2.293	5.089	0.032	4.837	0.000	0.161	0.090
00:00:20	0.059	2.776	5.106	0.049	4.837	0.000	0.246	0.108
00:00:25	0.065	3.138	5.123	0.066	4.837	0.000	0.332	0.123
00:00:30	0.072	3.560	5.146	0.089	4.830	-0.007	0.448	0.139
00:00:40	0.087	4.465	5.185	0.128	4.821	-0.016	0.644	0.174
00:00:50	0.100	5.249	5.225	0.168	4.814	-0.023	0.845	0.205
00:01:00	0.111	5.913	5.262	0.205	4.809	-0.028	1.031	0.231
00:01:10	0.120	6.456	5.313	0.256	4.800	-0.037	1.287	0.252
00:01:20	0.126	6.818	5.359	0.302	4.792	-0.045	1.519	0.266
00:01:30	0.134	7.301	5.404	0.347	4.782	-0.055	1.745	0.285
00:01:45	0.143	7.844	5.474	0.417	4.763	-0.074	2.097	0.306
00:02:00	0.152	8.387	5.545	0.488	4.749	-0.088	2.454	0.328
00:02:15	0.159	8.809	5.627	0.570	4.749	-0.088	2.867	0.344
00:02:30	0.163	9.051	5.700	0.643	4.749	-0.088	3.234	0.354
00:02:45	0.167	9.292	5.777	0.720	4.749	-0.088	3.621	0.363
00:03:00	0.171	9.533	5.860	0.803	4.758	-0.079	4.038	0.372
00:03:15	0.173	9.654	5.939	0.882	4.771	-0.066	4.436	0.377
00:03:30	0.174	9.714	6.022	0.965	4.784	-0.053	4.853	0.380
00:03:45	0.178	9.944	6.104	1.047	4.796	-0.041	5.266	0.388
00:04:00	0.177	9.895	6.188	1.131	4.813	-0.024	5.688	0.387
00:04:15	0.177	9.895	6.264	1.207	4.826	-0.011	6.070	0.387
00:04:30	0.179	10.016	6.347	1.290	4.840	0.003	6.488	0.391
00:04:45	0.178	9.956	6.433	1.376	4.853	0.016	6.920	0.389
00:05:00	0.177	9.895	6.511	1.454	4.867	0.030	7.312	0.387
00:05:15	0.176	9.835	6.594	1.537	4.880	0.043	7.730	0.384
00:05:30	0.175	9.775	6.676	1.619	4.893	0.056	8.142	0.382
00:05:45	0.175	9.775	6.744	1.687	4.903	0.066	8.484	0.382
00:06:00	0.173	9.654	6.836	1.779	4.918	0.081	8.947	0.377
00:06:15	0.172	9.594	6.928	1.871	4.931	0.094	9.410	0.375
00:06:30	0.171	9.533	7.004	1.947	4.943	0.106	9.792	0.372
00:06:45	0.170	9.473	7.090	2.033	4.956	0.119	10.224	0.370
00:07:00	0.169	9.413	7.170	2.113	4.969	0.132	10.627	0.368
00:07:15	0.167	9.292	7.256	2.199	4.980	0.143	11.059	0.363
00:07:30	0.167	9.292	7.337	2.280	4.991	0.154	11.467	0.363
00:07:45	0.166	9.232	7.430	2.373	5.003	0.166	11.934	0.361
00:08:00	0.165	9.171	7.509	2.452	5.012	0.175	12.332	0.358
00:08:15	0.163	9.051	7.602	2.545	5.025	0.188	12.799	0.354
00:08:30	0.160	8.870	7.682	2.625	5.033	0.196	13.202	0.347
00:08:45	0.161	8.930	7.768	2.711	5.044	0.207	13.634	0.349
00:09:00	0.159	8.809	7.848	2.791	5.053	0.216	14.036	0.344
00:09:15	0.158	8.749	7.936	2.879	5.063	0.226	14.479	0.342
00:09:30	0.155	8.568	8.016	2.959	5.071	0.234	14.881	0.335
00:09:45	0.155	8.568	8.107	3.050	5.078	0.241	15.339	0.335
00:10:00	0.154	8.508	8.196	3.139	5.084	0.247	15.787	0.332
00:11:00	0.146	8.025	8.535	3.478	5.114	0.277	17.491	0.314
00:12:00	0.144	7.904	8.871	3.814	5.136	0.299	19.181	0.309
00:13:00	0.146	8.025	9.202	4.145	5.153	0.316	20.846	0.314
00:14:00	0.140	7.663	9.538	4.481	5.193	0.356	22.536	0.299
00:15:00	0.136	7.422	9.891	4.834	5.221	0.384	24.311	0.290
00:16:00	0.135	7.361	10.237	5.180	5.223	0.386	26.051	0.288
00:17:00	0.136	7.422	10.565	5.508	5.223	0.386	27.701	0.290
00:18:00	0.135	7.361	10.906	5.849	5.238	0.401	29.416	0.288
00:19:00	0.136	7.422	11.238	6.181	5.248	0.411	31.085	0.290
00:20:00	0.135	7.361	11.569	6.512	5.257	0.420	32.750	0.288

Tabla 5.6 Muestra M-1, estado denso, arena mal graduada o uniforme $\sigma_N=0.5$

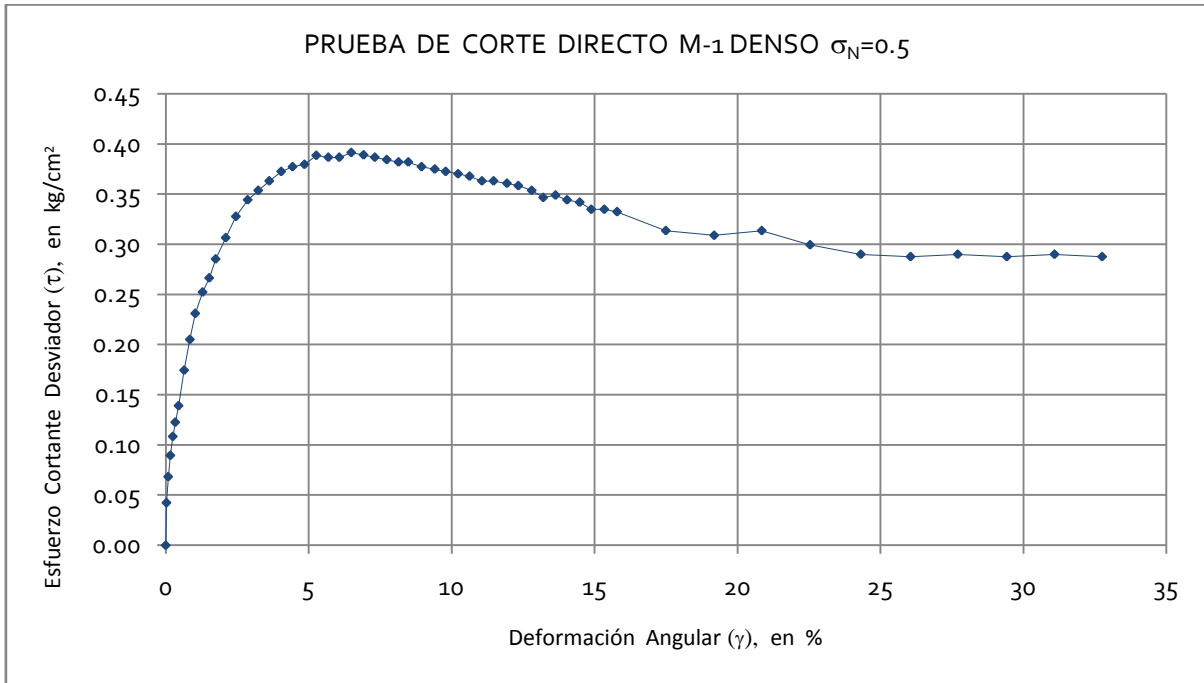


Figura 5.11 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-1 Estado Denso $\sigma_N=0.5$

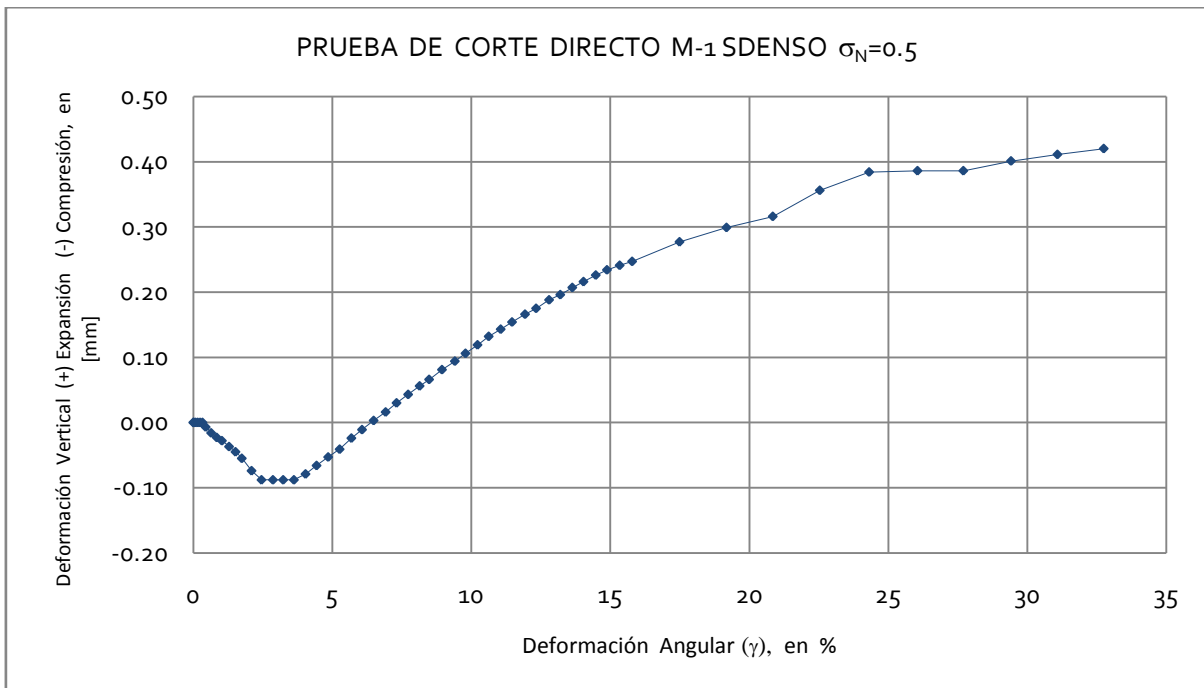


Figura 5.12 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-1 Estado Denso $\sigma_N=0.5$



UNAM
FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"
Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-1 DENSO
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:			
Dimensiones de la caja o probeta		H_0 [cm]=	2.0070
Largo [cm]=	5.060	A_v [cm]=	25.5973
Ancho [cm]=	5.059	W_m [g]=	87.4922
		γ_m [t/m ³]=	1.7031
		P [kg]=	25.5972
		σ_N [kg/cm ²]=	1.0000
		MICRO_v [mm]	
		Lo =	5.2930
		Lf =	5.1160
		Δh_{cons} [mm]=	0.1770
		Hc [mm]=	1.9893
		k_{anillo} [kg/mm]=	60.3379

TIEMPO	LECTURA	T_{total}	MICRO _h	$\delta_{total-h}$	MICRO _v	$\delta_{total-v}$	γ	τ_{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.020	0.000	5.076	0.000	5.116	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.024	0.241	5.076	0.000	5.116	0.000	0.000	0.009
00:00:10	0.044	1.448	5.076	0.000	5.116	0.000	0.000	0.057
00:00:15	0.059	2.353	5.078	0.002	5.116	0.000	0.010	0.092
00:00:20	0.073	3.198	5.082	0.006	5.116	0.000	0.030	0.125
00:00:25	0.089	4.163	5.088	0.012	5.116	0.000	0.060	0.163
00:00:30	0.106	5.189	5.098	0.022	5.116	0.000	0.111	0.203
00:00:40	0.135	6.939	5.122	0.046	5.116	0.000	0.231	0.271
00:00:50	0.158	8.327	5.145	0.069	5.116	0.000	0.347	0.325
00:01:00	0.184	9.895	5.175	0.099	5.116	0.000	0.498	0.387
00:01:10	0.205	11.163	5.206	0.130	5.116	0.000	0.653	0.436
00:01:20	0.221	12.128	5.233	0.157	5.116	0.000	0.789	0.474
00:01:30	0.235	12.973	5.277	0.201	5.116	0.000	1.010	0.507
00:01:45	0.258	14.360	5.328	0.252	5.116	0.000	1.267	0.561
00:02:00	0.284	15.929	5.390	0.314	5.116	0.000	1.578	0.622
00:02:15	0.297	16.714	5.449	0.373	5.116	0.000	1.875	0.653
00:02:30	0.314	17.739	5.521	0.445	5.125	0.009	2.237	0.693
00:02:45	0.322	18.222	5.594	0.518	5.139	0.023	2.604	0.712
00:03:00	0.332	18.825	5.661	0.585	5.153	0.037	2.941	0.735
00:03:15	0.338	19.187	5.727	0.651	5.167	0.051	3.273	0.750
00:03:30	0.341	19.368	5.803	0.727	5.180	0.064	3.655	0.757
00:03:45	0.342	19.429	5.893	0.817	5.201	0.085	4.107	0.759
00:04:00	0.340	19.308	5.979	0.903	5.218	0.102	4.539	0.754
00:04:15	0.339	19.248	6.052	0.976	5.232	0.116	4.906	0.752
00:04:30	0.334	18.946	6.135	1.059	5.249	0.133	5.323	0.740
00:04:45	0.332	18.825	6.222	1.146	5.266	0.150	5.761	0.735
00:05:00	0.332	18.825	6.308	1.232	5.282	0.166	6.193	0.735
00:05:15	0.328	18.584	6.390	1.314	5.293	0.177	6.605	0.726
00:05:30	0.325	18.403	6.477	1.401	5.308	0.192	7.043	0.719
00:05:45	0.322	18.222	6.559	1.483	5.323	0.207	7.455	0.712
00:06:00	0.314	17.739	6.655	1.579	5.338	0.222	7.937	0.693
00:06:15	0.312	17.619	6.722	1.646	5.348	0.232	8.274	0.688
00:06:30	0.309	17.438	6.825	1.749	5.359	0.243	8.792	0.681
00:06:45	0.306	17.257	6.907	1.831	5.364	0.248	9.204	0.674
00:07:00	0.302	17.015	7.002	1.926	5.368	0.252	9.682	0.665
00:07:15	0.299	16.834	7.075	1.999	5.377	0.261	10.049	0.658
00:07:30	0.293	16.472	7.173	2.097	5.392	0.276	10.541	0.644
00:07:45	0.296	16.653	7.255	2.179	5.404	0.288	10.954	0.651
00:08:00	0.288	16.171	7.354	2.278	5.417	0.301	11.451	0.632
00:08:15	0.282	15.809	7.437	2.361	5.425	0.309	11.868	0.618
00:08:30	0.282	15.809	7.527	2.451	5.433	0.317	12.321	0.618
00:08:45	0.280	15.688	7.610	2.534	5.438	0.322	12.738	0.613
00:09:00	0.277	15.507	7.702	2.626	5.449	0.333	13.201	0.606
00:09:15	0.275	15.386	7.783	2.707	5.468	0.352	13.608	0.601
00:09:30	0.272	15.205	7.884	2.808	5.486	0.370	14.116	0.594
00:09:45	0.268	14.964	7.961	2.885	5.496	0.380	14.503	0.585
00:10:00	0.264	14.722	8.048	2.972	5.505	0.389	14.940	0.575
00:11:00	0.258	14.360	8.389	3.313	5.523	0.407	16.654	0.561
00:12:00	0.250	13.878	8.724	3.648	5.528	0.412	18.338	0.542
00:13:00	0.242	13.395	9.068	3.992	5.528	0.412	20.067	0.523
00:14:00	0.245	13.576	9.395	4.319	5.540	0.424	21.711	0.530
00:15:00	0.252	13.998	9.724	4.648	5.550	0.434	23.365	0.547
00:16:00	0.252	13.998	10.070	4.994	5.555	0.439	25.104	0.547
00:17:00	0.249	13.817	10.413	5.337	5.555	0.439	26.829	0.540
00:18:00	0.243	13.455	10.753	5.677	5.560	0.444	28.538	0.526
00:19:00	0.231	12.731	11.098	6.022	5.562	0.446	30.272	0.497
00:20:00	0.241	13.335	11.419	6.343	5.562	0.446	31.886	0.521

Tabla 5.7 Muestra M-1, estado denso, arena mal graduada o uniforme $\sigma_N=1$

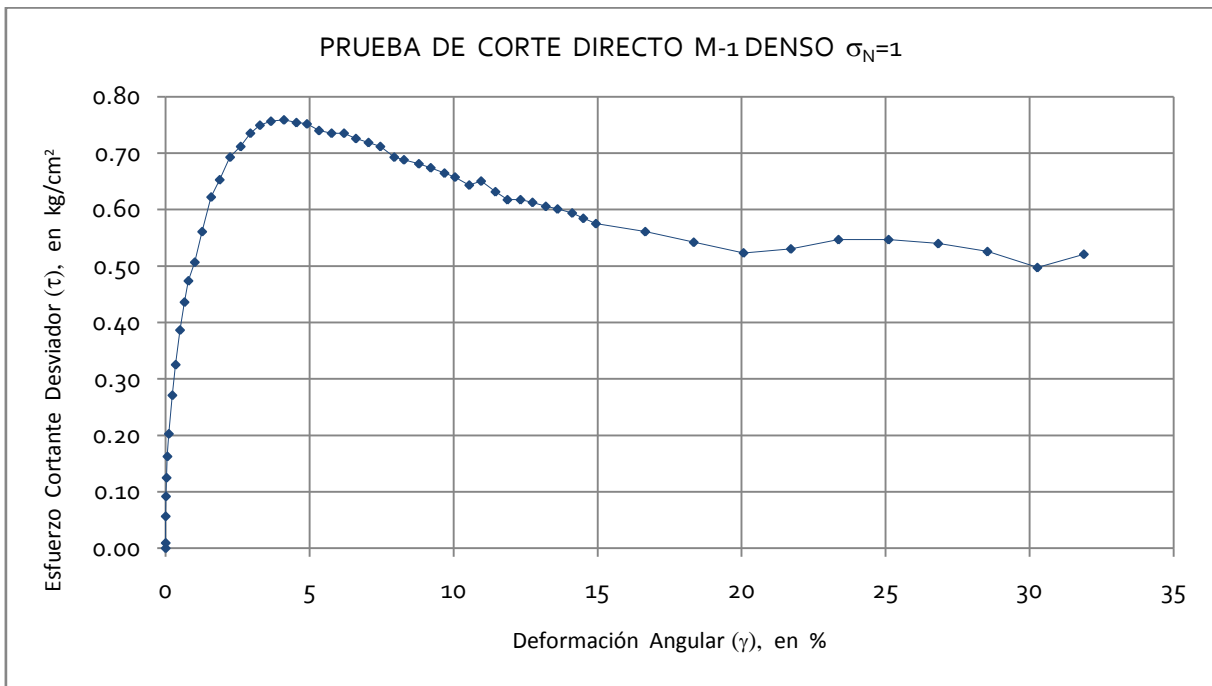


Figura 5.13 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-1 Estado Denso $\sigma_N=1$

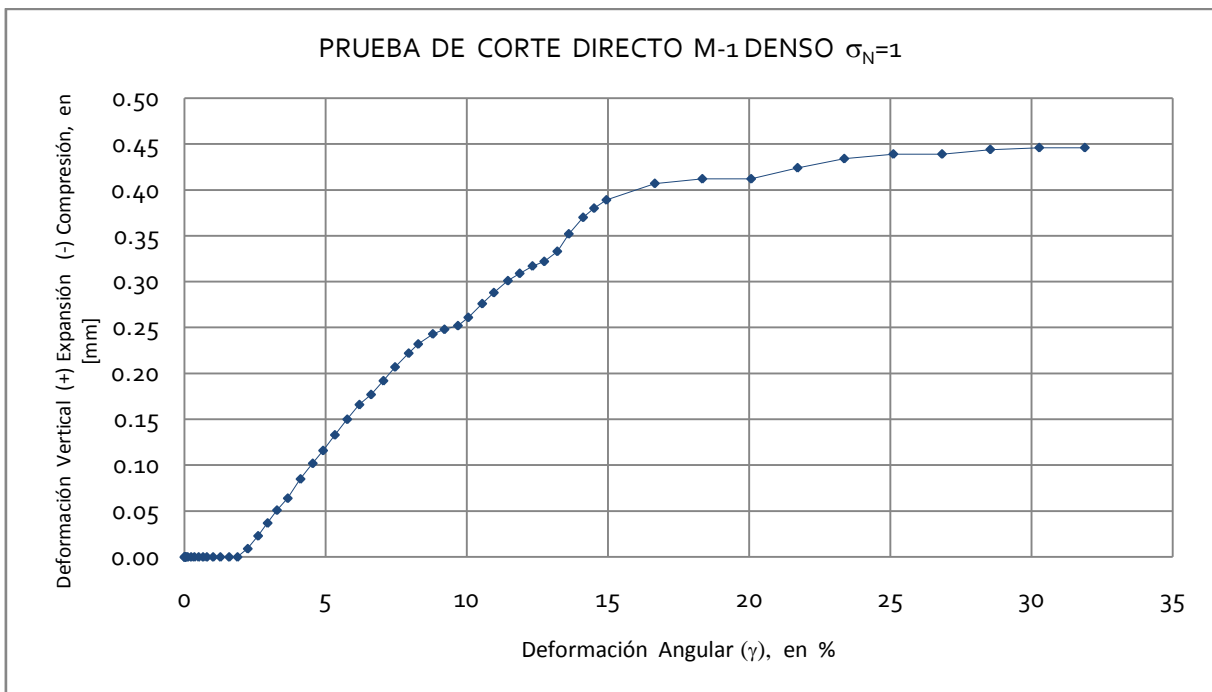


Figura 5.14 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-1 Estado Denso $\sigma_N=1$



FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"

Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-1 DENSO
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:	
Dimensiones de la caja o probeta	
Largo [cm]=	5.060
Ancho [cm]=	5.059
H_n [cm]=	2.0070
A_n [cm]=	25.5973
W_m [g]=	87.4922
γ_m [t/m ³]=	1.7031
P [kg]=	38.3958
σ_N [kg/cm ²]=	1.5000
MICRO_v [mm]	
Lo=	5.0460
Lf=	4.6310
Δh_{cons} [mm]=	0.4150
Hc [mm]=	1.9655

	$H_{c/suelo}$ [cm]	$H_{c/suelo}$ [cm]
1	4.007	2.000
2	4.009	2.000
3	4.006	2.000
4	4.006	2.000
Promedio	4.007	2.000

k_{anillo} [kg/mm]= 60.3379

TIEMPO	LECTURA	T_{total}	MICRO _h	$\delta_{total-h}$	MICRO _v	$\delta_{total-v}$	γ	τ_{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.018	0.000	5.759	0.000	4.631	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.040	1.327	5.759	0.000	4.631	0.000	0.000	0.052
00:00:10	0.060	2.534	5.761	0.002	4.631	0.000	0.010	0.099
00:00:15	0.080	3.741	5.764	0.005	4.631	0.000	0.025	0.146
00:00:20	0.097	4.767	5.766	0.007	4.631	0.000	0.036	0.186
00:00:25	0.116	5.913	5.770	0.011	4.631	0.000	0.056	0.231
00:00:30	0.137	7.180	5.775	0.016	4.631	0.000	0.081	0.281
00:00:40	0.179	9.714	5.786	0.027	4.631	0.000	0.137	0.380
00:00:50	0.217	12.007	5.798	0.039	4.631	0.000	0.198	0.469
00:01:00	0.251	14.059	5.812	0.053	4.631	0.000	0.270	0.549
00:01:10	0.287	16.231	5.827	0.068	4.631	0.000	0.346	0.634
00:01:20	0.332	18.946	5.846	0.087	4.631	0.000	0.443	0.740
00:01:30	0.351	20.093	5.865	0.106	4.631	0.000	0.539	0.785
00:01:45	0.393	22.627	5.900	0.141	4.631	0.000	0.717	0.884
00:02:00	0.425	24.558	5.948	0.189	4.631	0.000	0.962	0.959
00:02:15	0.443	25.644	6.003	0.244	4.646	0.015	1.241	1.002
00:02:30	0.449	26.006	6.079	0.320	4.661	0.030	1.628	1.016
00:02:45	0.458	26.549	6.147	0.388	4.672	0.041	1.974	1.037
00:03:00	0.456	26.428	6.231	0.472	4.687	0.056	2.401	1.032
00:03:15	0.461	26.730	6.307	0.548	4.700	0.069	2.788	1.044
00:03:30	0.463	26.850	6.392	0.633	4.714	0.083	3.221	1.049
00:03:45	0.460	26.669	6.483	0.724	4.728	0.097	3.684	1.042
00:04:00	0.459	26.609	6.558	0.799	4.738	0.107	4.065	1.040
00:04:15	0.457	26.488	6.637	0.878	4.748	0.117	4.467	1.035
00:04:30	0.450	26.066	6.731	0.972	4.761	0.130	4.945	1.018
00:04:45	0.449	26.006	6.810	1.051	4.774	0.143	5.347	1.016
00:05:00	0.448	25.945	6.894	1.135	4.787	0.156	5.775	1.014
00:05:15	0.444	25.704	6.976	1.217	4.802	0.171	6.192	1.004
00:05:30	0.436	25.221	7.071	1.312	4.818	0.187	6.675	0.985
00:05:45	0.435	25.161	7.158	1.399	4.832	0.201	7.118	0.983
00:06:00	0.433	25.040	7.234	1.475	4.845	0.214	7.504	0.978
00:06:15	0.431	24.920	7.317	1.558	4.859	0.228	7.927	0.974
00:06:30	0.429	24.799	7.429	1.670	4.874	0.243	8.497	0.969
00:06:45	0.427	24.678	7.487	1.728	4.881	0.250	8.792	0.964
00:07:00	0.425	24.558	7.594	1.835	4.894	0.263	9.336	0.959
00:07:15	0.422	24.377	7.662	1.903	4.902	0.271	9.682	0.952
00:07:30	0.417	24.075	7.769	2.010	4.914	0.283	10.226	0.941
00:07:45	0.413	23.833	7.839	2.080	4.921	0.290	10.583	0.931
00:08:00	0.409	23.592	7.946	2.187	4.931	0.300	11.127	0.922
00:08:15	0.406	23.411	8.013	2.254	4.937	0.306	11.468	0.915
00:08:30	0.404	23.290	8.116	2.357	4.945	0.314	11.992	0.910
00:08:45	0.403	23.230	8.188	2.429	4.950	0.319	12.358	0.908
00:09:00	0.400	23.049	8.271	2.512	4.953	0.322	12.780	0.900
00:09:15	0.400	23.049	8.348	2.589	4.961	0.330	13.172	0.900
00:09:30	0.396	22.808	8.434	2.675	4.967	0.336	13.610	0.891
00:09:45	0.392	22.566	8.528	2.769	4.973	0.342	14.088	0.882
00:10:00	0.381	21.903	8.632	2.873	4.977	0.346	14.617	0.856
00:11:00	0.369	21.179	8.974	3.215	4.988	0.357	16.357	0.827
00:12:00	0.369	21.179	9.307	3.548	5.002	0.371	18.051	0.827
00:13:00	0.363	20.817	9.654	3.895	5.014	0.383	19.817	0.813
00:14:00	0.355	20.334	9.996	4.237	5.019	0.388	21.557	0.794
00:15:00	0.354	20.274	10.355	4.596	5.020	0.389	23.383	0.792
00:16:00	0.354	20.274	10.672	4.913	5.020	0.389	24.996	0.792
00:17:00	0.354	20.274	11.012	5.253	5.020	0.389	26.726	0.792
00:18:00	0.361	20.696	11.340	5.581	5.020	0.389	28.395	0.809
00:19:00	0.364	20.877	11.671	5.912	5.020	0.389	30.079	0.816
00:20:00	0.349	19.972	12.023	6.264	5.020	0.389	31.870	0.780

Tabla 5.8 Muestra M-1, estado denso, arena mal graduada o uniforme $\sigma_N=1.5$

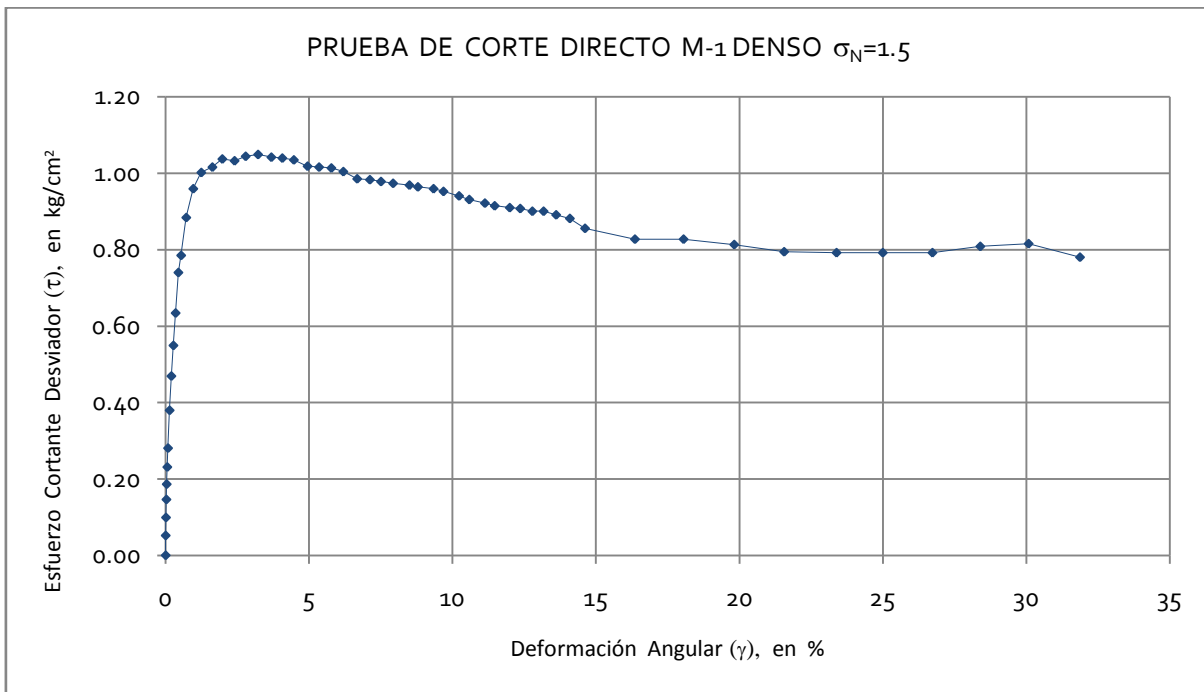


Figura 5.16 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-1 Estado Suelto $\sigma_N=1.5$

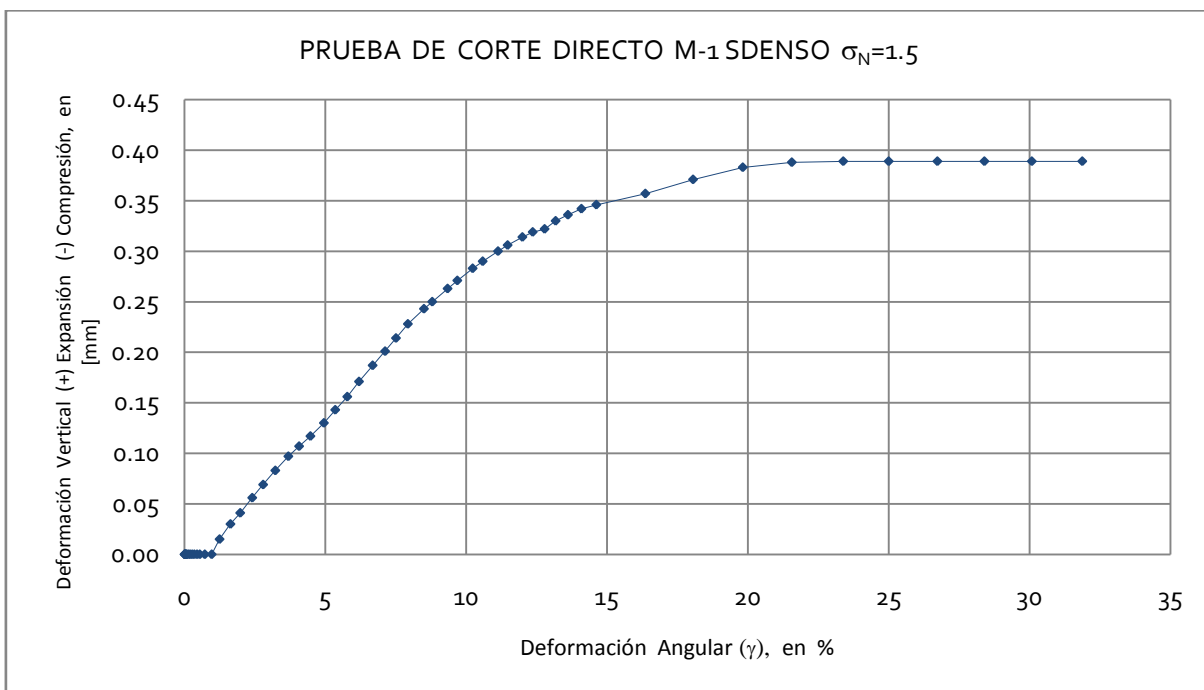


Figura 5.17 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-1 Estado Suelto $\sigma_N=1.5$



UNAM

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"

Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-2 suelto
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:	
Dimensiones de la caja o probeta	H_0 [cm]= 1.9070
Largo [cm]= 5.060	A_0 [cm ²]= 25.5973
Ancho [cm]= 5.059	Wm [g]= 82.2532
	γ_m [t/m ³]= 1.6850
	P [kg]= 6.3993
	σ_N [kg/cm ²]= 0.2500
	Micro ν [mm]
	Lo= 5.0500
	Lf= 4.8840
	Δh_{cons} [mm]= 0.1660
	Hc [mm]= 1.8904

	$H_{e/suelto}$ [cm]	$H_{c/suelto}$ [cm]
1	4.007	2.1
2	4.009	2.1
3	4.006	2.1
4	4.006	2.1
Promedio	4.007	2.100
k_{anillo} [kg/mm]=	60.3379	

TIEMPO	LECTURA	T _{total}	MICRO _h	$\delta_{total-h}$	MICRO _v	$\delta_{total-v}$	γ	T _{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.010	0.000	5.065	0.000	4.846	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.026	0.965	5.065	0.000	4.846	0.000	0.000	0.038
00:00:10	0.031	1.267	5.071	0.006	4.846	0.000	0.032	0.050
00:00:15	0.036	1.569	5.090	0.025	4.846	0.000	0.132	0.061
00:00:20	0.041	1.870	5.108	0.043	4.846	0.000	0.227	0.073
00:00:25	0.045	2.112	5.133	0.068	4.844	-0.002	0.360	0.083
00:00:30	0.048	2.293	5.146	0.081	4.842	-0.004	0.428	0.090
00:00:40	0.054	2.655	5.186	0.121	4.840	-0.006	0.640	0.104
00:00:50	0.058	2.896	5.245	0.180	4.838	-0.008	0.952	0.113
00:01:00	0.061	3.077	5.295	0.230	4.836	-0.010	1.217	0.120
00:01:10	0.065	3.319	5.346	0.281	4.833	-0.013	1.486	0.130
00:01:20	0.068	3.500	5.397	0.332	4.830	-0.016	1.756	0.137
00:01:30	0.070	3.620	5.446	0.381	4.828	-0.018	2.015	0.141
00:01:45	0.073	3.801	5.532	0.467	4.824	-0.022	2.470	0.149
00:02:00	0.077	4.043	5.621	0.556	4.821	-0.025	2.941	0.158
00:02:15	0.078	4.103	5.697	0.632	4.819	-0.027	3.343	0.160
00:02:30	0.080	4.224	5.784	0.719	4.818	-0.028	3.803	0.165
00:02:45	0.083	4.405	5.861	0.796	4.816	-0.030	4.211	0.172
00:03:00	0.086	4.586	5.955	0.890	4.815	-0.031	4.708	0.179
00:03:15	0.086	4.586	6.035	0.970	4.815	-0.031	5.131	0.179
00:03:30	0.087	4.646	6.122	1.057	4.815	-0.031	5.591	0.182
00:03:45	0.087	4.646	6.196	1.131	4.815	-0.031	5.983	0.182
00:04:00	0.088	4.706	6.280	1.215	4.815	-0.031	6.427	0.184
00:04:15	0.088	4.706	6.357	1.292	4.815	-0.031	6.835	0.184
00:04:30	0.087	4.646	6.445	1.380	4.815	-0.031	7.300	0.182
00:04:45	0.086	4.586	6.523	1.458	4.819	-0.027	7.713	0.179
00:05:00	0.087	4.646	6.611	1.546	4.825	-0.021	8.178	0.182
00:05:15	0.088	4.706	6.699	1.634	4.830	-0.016	8.644	0.184
00:05:30	0.088	4.706	6.780	1.715	4.835	-0.011	9.072	0.184
00:05:45	0.089	4.767	6.810	1.745	4.839	-0.007	9.231	0.186
00:06:00	0.088	4.706	6.946	1.881	4.843	-0.003	9.950	0.184
00:06:15	0.088	4.706	7.017	1.952	4.847	0.001	10.326	0.184
00:06:30	0.089	4.767	7.102	2.037	4.850	0.004	10.775	0.186
00:06:45	0.090	4.827	7.187	2.122	4.853	0.007	11.225	0.189
00:07:00	0.089	4.767	7.275	2.210	4.857	0.011	11.691	0.186
00:07:15	0.088	4.706	7.357	2.292	4.860	0.014	12.124	0.184
00:07:30	0.091	4.887	7.437	2.372	4.862	0.016	12.548	0.191
00:07:45	0.091	4.887	7.522	2.457	4.865	0.019	12.997	0.191
00:08:00	0.090	4.827	7.619	2.554	4.867	0.021	13.510	0.189
00:08:15	0.092	4.948	7.695	2.630	4.867	0.021	13.912	0.193
00:08:30	0.093	5.008	7.776	2.711	4.870	0.024	14.341	0.196
00:08:45	0.094	5.068	7.864	2.799	4.873	0.027	14.806	0.198
00:09:00	0.096	5.189	7.950	2.885	4.876	0.030	15.261	0.203
00:09:15	0.096	5.189	8.038	2.973	4.879	0.033	15.727	0.203
00:09:30	0.097	5.249	8.122	3.057	4.885	0.039	16.171	0.205
00:09:45	0.097	5.249	8.199	3.134	4.891	0.045	16.579	0.205
00:10:00	0.098	5.310	8.293	3.228	4.896	0.050	17.076	0.207
00:11:00	0.099	5.370	8.625	3.560	4.917	0.071	18.832	0.210
00:12:00	0.097	5.249	8.951	3.886	4.931	0.085	20.556	0.205
00:13:00	0.098	5.310	9.286	4.221	4.936	0.090	22.329	0.207
00:14:00	0.097	5.249	9.626	4.561	4.945	0.099	24.127	0.205
00:15:00	0.100	5.430	9.945	4.880	4.957	0.111	25.815	0.212
00:16:00	0.099	5.370	10.310	5.245	4.971	0.125	27.745	0.210
00:17:00	0.099	5.370	10.633	5.568	4.975	0.129	29.454	0.210
00:18:00	0.099	5.370	10.968	5.903	4.979	0.133	31.226	0.210
00:19:00	0.101	5.491	11.308	6.243	5.002	0.156	33.025	0.215
00:20:00	0.096	5.189	11.660	6.595	5.024	0.178	34.887	0.203

Tabla 5.9 Muestra M-2, estado suelto, arena mal graduada o uniforme $\sigma_N=0.25$

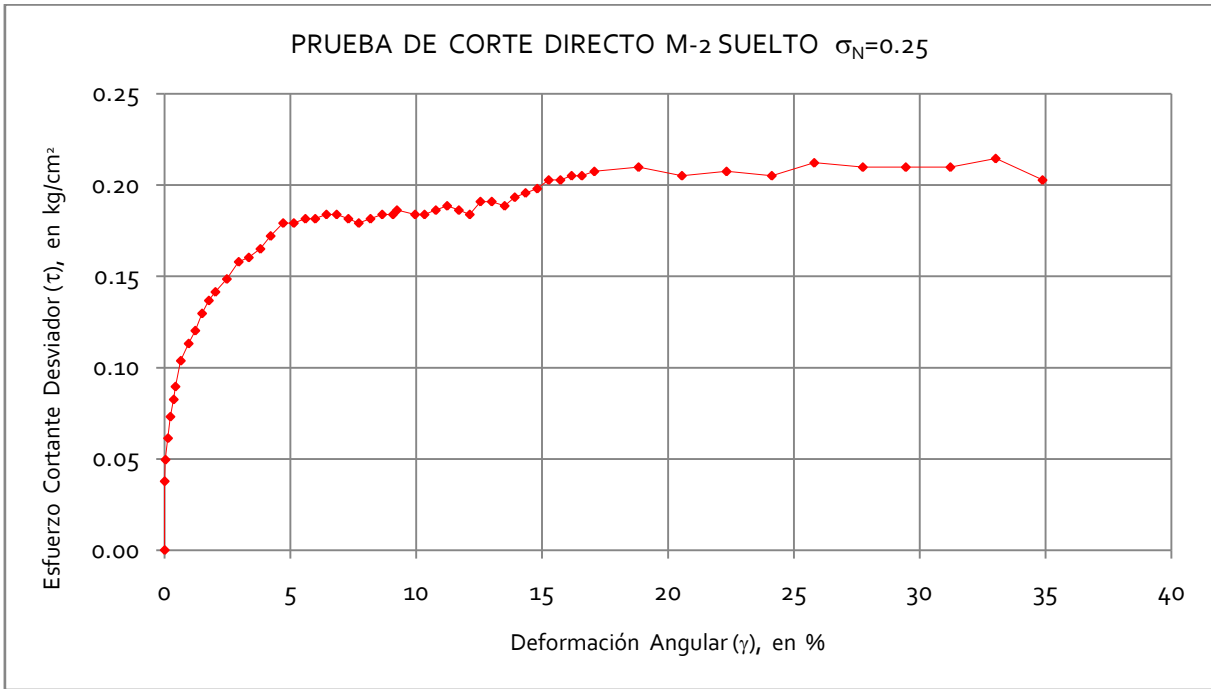


Figura 5.17 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-2 Estado Suelto $\sigma_N=0.25$

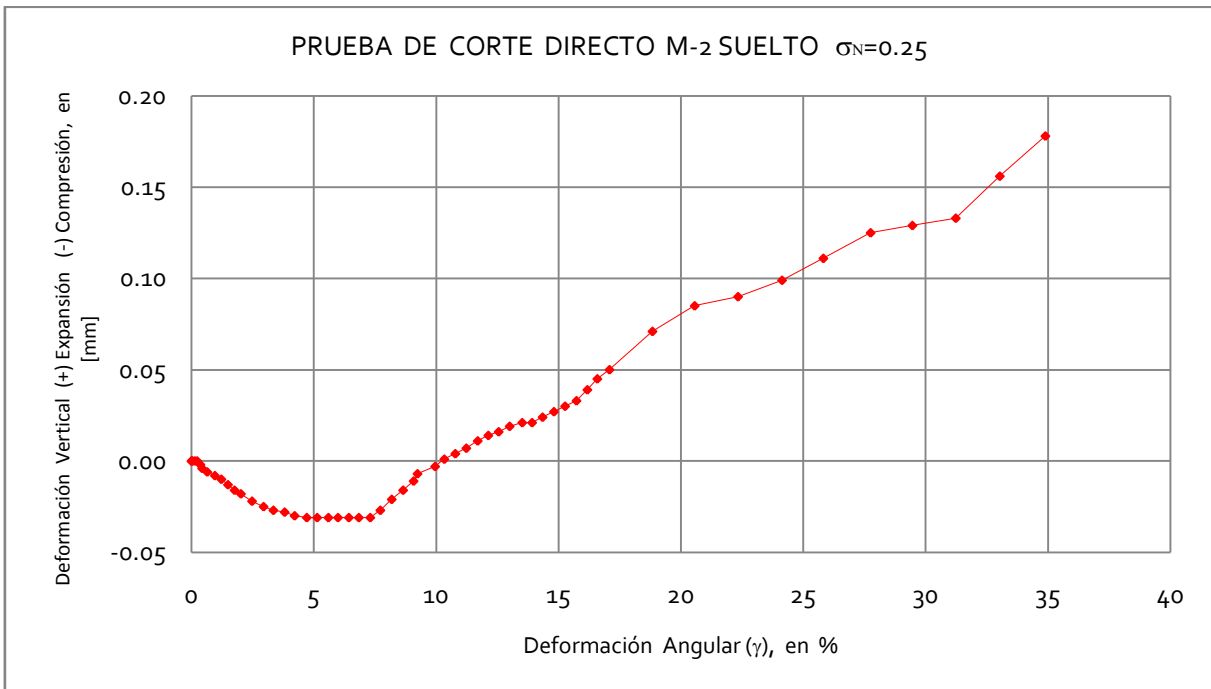


Figura 5.18 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-2 Estado Suelto $\sigma_N=0.25$



UNAM
FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"
Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-2 suelto
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:			
Dimensiones de la caja o probeta		H_0 [cm]=	2.0070
Largo [cm]=	5.060	A_0 [cm ²]=	25.5973
Ancho [cm]=	5.059	W_m [g]=	82.2532
		γ_m [t/m ³]=	1.6011
		P [kg]=	12.7986
		σ_N [kg/cm ²]=	0.5000
		Micro_v [mm]	
		Lo=	5.0330
		Lf=	4.8650
		Δh_{cons} [mm]=	0.1680
		H_c [mm]=	1.9902
		k_{anillo} [kg/mm]=	60.3379

TIEMPO	LECTURA	T_{total}	MICRO _h	$\delta_{total-h}$	MICRO _v	$\delta_{total-v}$	γ	T_{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.009	0.000	4.972	0.000	4.865	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.040	1.870	4.975	0.003	4.865	0.000	0.015	0.073
00:00:10	0.049	2.414	4.977	0.005	4.865	0.000	0.025	0.094
00:00:15	0.058	2.957	4.984	0.012	4.862	-0.003	0.060	0.116
00:00:20	0.065	3.379	4.999	0.027	4.859	-0.006	0.136	0.132
00:00:25	0.072	3.801	5.019	0.047	4.856	-0.009	0.236	0.149
00:00:30	0.080	4.284	5.047	0.075	4.853	-0.012	0.377	0.167
00:00:40	0.087	4.706	5.087	0.115	4.850	-0.015	0.578	0.184
00:00:50	0.097	5.310	5.134	0.162	4.846	-0.019	0.814	0.207
00:01:00	0.103	5.672	5.181	0.209	4.840	-0.025	1.050	0.222
00:01:10	0.109	6.034	5.228	0.256	4.834	-0.031	1.286	0.236
00:01:20	0.119	6.637	5.262	0.290	4.829	-0.036	1.457	0.259
00:01:30	0.128	7.180	5.320	0.348	4.825	-0.040	1.749	0.281
00:01:45	0.133	7.482	5.407	0.435	4.817	-0.048	2.186	0.292
00:02:00	0.136	7.663	5.484	0.512	4.813	-0.052	2.573	0.299
00:02:15	0.140	7.904	5.555	0.583	4.812	-0.053	2.929	0.309
00:02:30	0.143	8.085	5.634	0.662	4.810	-0.055	3.326	0.316
00:02:45	0.146	8.266	5.722	0.750	4.808	-0.057	3.768	0.323
00:03:00	0.149	8.447	5.788	0.816	4.808	-0.057	4.100	0.330
00:03:15	0.152	8.628	5.868	0.896	4.808	-0.057	4.502	0.337
00:03:30	0.156	8.870	5.947	0.975	4.805	-0.060	4.899	0.347
00:03:45	0.158	8.990	6.036	1.064	4.804	-0.061	5.346	0.351
00:04:00	0.159	9.051	6.106	1.134	4.804	-0.061	5.698	0.354
00:04:15	0.159	9.051	6.199	1.227	4.804	-0.061	6.165	0.354
00:04:30	0.160	9.111	6.276	1.304	4.804	-0.061	6.552	0.356
00:04:45	0.159	9.051	6.369	1.397	4.804	-0.061	7.019	0.354
00:05:00	0.161	9.171	6.444	1.472	4.804	-0.061	7.396	0.358
00:05:15	0.161	9.171	6.525	1.553	4.804	-0.061	7.803	0.358
00:05:30	0.162	9.232	6.608	1.636	4.808	-0.057	8.220	0.361
00:05:45	0.165	9.413	6.689	1.717	4.812	-0.053	8.627	0.368
00:06:00	0.161	9.171	6.782	1.810	4.817	-0.048	9.095	0.358
00:06:15	0.161	9.171	6.873	1.901	4.819	-0.046	9.552	0.358
00:06:30	0.165	9.413	6.948	1.976	4.819	-0.046	9.929	0.368
00:06:45	0.165	9.413	7.025	2.053	4.822	-0.043	10.316	0.368
00:07:00	0.167	9.533	7.113	2.141	4.826	-0.039	10.758	0.372
00:07:15	0.168	9.594	7.213	2.241	4.831	-0.034	11.260	0.375
00:07:30	0.169	9.654	7.286	2.314	4.833	-0.032	11.627	0.377
00:07:45	0.171	9.775	7.364	2.392	4.836	-0.029	12.019	0.382
00:08:00	0.171	9.775	7.439	2.467	4.840	-0.025	12.396	0.382
00:08:15	0.175	10.016	7.526	2.554	4.843	-0.022	12.833	0.391
00:08:30	0.175	10.016	7.606	2.634	4.848	-0.017	13.235	0.391
00:08:45	0.173	9.895	7.702	2.730	4.853	-0.012	13.717	0.387
00:09:00	0.175	10.016	7.779	2.807	4.854	-0.011	14.104	0.391
00:09:15	0.177	10.137	7.865	2.893	4.857	-0.008	14.536	0.396
00:09:30	0.174	9.956	7.946	2.974	4.861	-0.004	14.943	0.389
00:09:45	0.177	10.137	8.037	3.065	4.865	0.000	15.400	0.396
00:10:00	0.178	10.197	8.107	3.135	4.869	0.004	15.752	0.398
00:11:00	0.174	9.956	8.431	3.459	4.887	0.022	17.380	0.389
00:12:00	0.176	10.076	8.769	3.797	4.909	0.044	19.078	0.394
00:13:00	0.175	10.016	9.113	4.141	4.926	0.061	20.807	0.391
00:14:00	0.175	10.016	9.447	4.475	4.940	0.075	22.485	0.391
00:15:00	0.175	10.016	9.790	4.818	4.955	0.090	24.209	0.391
00:16:00	0.172	9.835	10.114	5.142	4.969	0.104	25.837	0.384
00:17:00	0.170	9.714	10.455	5.483	4.979	0.114	27.550	0.380
00:18:00	0.171	9.775	10.806	5.834	4.980	0.115	29.314	0.382
00:19:00	0.169	9.654	11.132	6.160	4.980	0.115	30.952	0.377
00:20:00	0.169	9.654	11.483	6.511	4.980	0.115	32.715	0.377

Tabla 5.10 Muestra M-2, estado suelto, arena mal graduada o uniforme $\sigma_N=0.5$

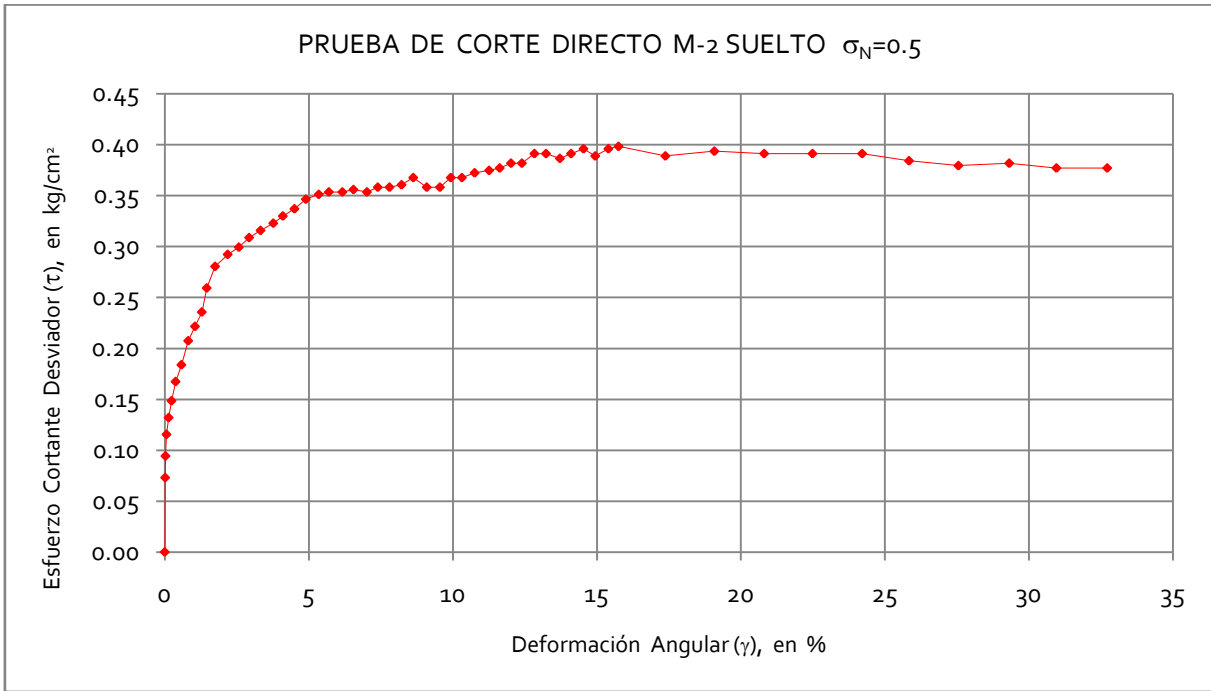


Figura 5.19 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-2 Estado Suelto $\sigma_N=0.5$

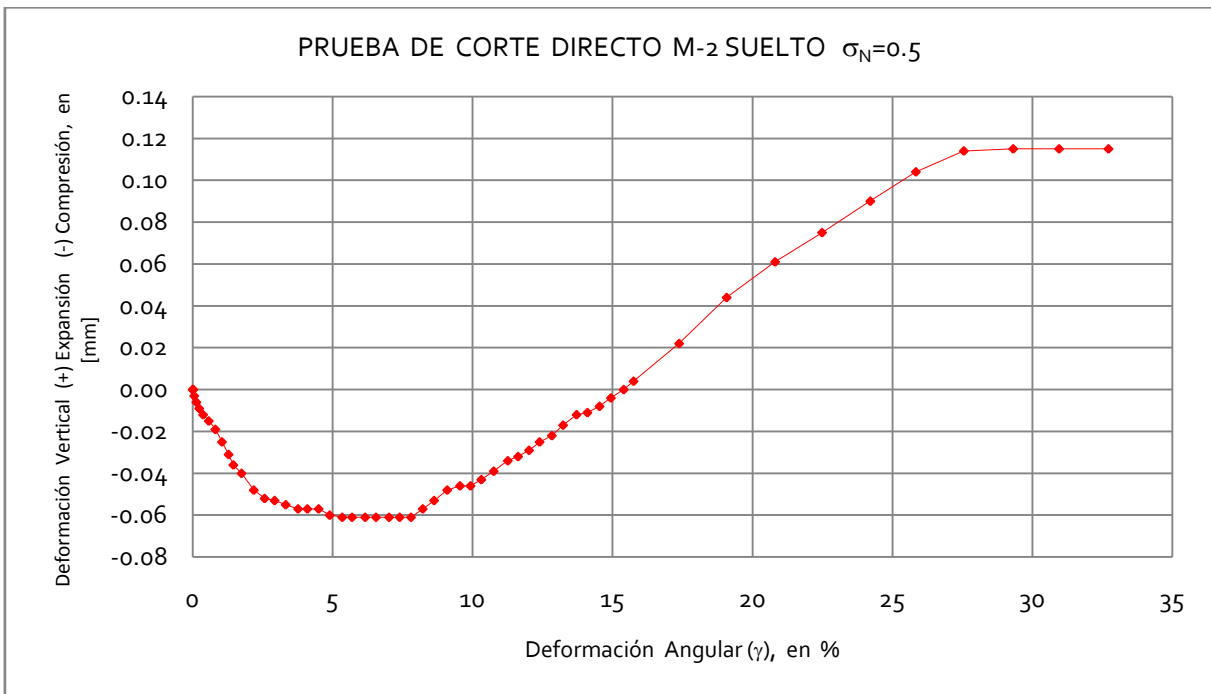


Figura 5.20 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-2 Estado Suelto $\sigma_N=0.5$



UNAM
FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"

Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-2 suelto
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:		H_0 [cm]=	2.1270
Dimensiones de la caja o probeta		A_0 [cm ²]=	25.5973
Largo [cm]=	5.060	W_m [g]=	82.2532
Ancho [cm]=	5.059	γ_m [t/m ³]=	1.5107
		P [kg]=	25.5972
		σ_N [kg/cm ²]=	1.0000
		MICRO_v [mm]	
		Lo=	5.1930
		Lf=	5.0140
		Δh_{cons} [mm]=	0.1790
		H_c [mm]=	2.1091
		$k_{sanillo}$ [kg/mm]=	60.3379

TIEMPO	LECTURA	T _{total}	MICRO _h	$\delta_{total-h}$	MICRO _v	$\delta_{total-v}$	γ	τ_{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.011	0.000	5.049	0.000	5.014	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.034	1.388	5.051	0.002	5.014	0.000	0.009	0.054
00:00:10	0.051	2.414	5.054	0.005	5.010	-0.004	0.024	0.094
00:00:15	0.074	3.801	5.066	0.017	5.006	-0.008	0.081	0.149
00:00:20	0.083	4.344	5.080	0.031	5.002	-0.012	0.147	0.170
00:00:25	0.092	4.887	5.091	0.042	4.998	-0.016	0.199	0.191
00:00:30	0.100	5.370	5.103	0.054	4.994	-0.020	0.256	0.210
00:00:40	0.117	6.396	5.137	0.088	4.990	-0.024	0.417	0.250
00:00:50	0.137	7.603	5.182	0.133	4.982	-0.032	0.631	0.297
00:01:00	0.148	8.266	5.218	0.169	4.972	-0.042	0.801	0.323
00:01:10	0.158	8.870	5.264	0.215	4.962	-0.052	1.019	0.347
00:01:20	0.171	9.654	5.302	0.253	4.953	-0.061	1.200	0.377
00:01:30	0.180	10.197	5.342	0.293	4.947	-0.067	1.389	0.398
00:01:45	0.188	10.680	5.397	0.348	4.939	-0.075	1.650	0.417
00:02:00	0.202	11.525	5.483	0.434	4.926	-0.088	2.058	0.450
00:02:15	0.208	11.887	5.540	0.491	4.918	-0.096	2.328	0.464
00:02:30	0.222	12.731	5.625	0.576	4.912	-0.102	2.731	0.497
00:02:45	0.231	13.274	5.702	0.653	4.907	-0.107	3.096	0.519
00:03:00	0.240	13.817	5.771	0.722	4.905	-0.109	3.423	0.540
00:03:15	0.241	13.878	5.847	0.798	4.902	-0.112	3.784	0.542
00:03:30	0.246	14.179	5.925	0.876	4.897	-0.117	4.153	0.554
00:03:45	0.255	14.722	6.006	0.957	4.893	-0.121	4.537	0.575
00:04:00	0.262	15.145	6.083	1.034	4.891	-0.123	4.903	0.592
00:04:15	0.268	15.507	6.153	1.104	4.890	-0.124	5.234	0.606
00:04:30	0.272	15.748	6.230	1.181	4.889	-0.125	5.600	0.615
00:04:45	0.277	16.050	6.321	1.272	4.888	-0.126	6.031	0.627
00:05:00	0.282	16.352	6.397	1.348	4.887	-0.127	6.391	0.639
00:05:15	0.284	16.472	6.475	1.426	4.885	-0.129	6.761	0.644
00:05:30	0.286	16.593	6.553	1.504	4.884	-0.130	7.131	0.648
00:05:45	0.289	16.774	6.649	1.600	4.884	-0.130	7.586	0.655
00:06:00	0.291	16.895	6.719	1.670	4.884	-0.130	7.918	0.660
00:06:15	0.296	17.196	6.782	1.733	4.884	-0.130	8.217	0.672
00:06:30	0.296	17.196	6.882	1.833	4.884	-0.130	8.691	0.672
00:06:45	0.295	17.136	6.964	1.915	4.884	-0.130	9.080	0.669
00:07:00	0.296	17.196	7.050	2.001	4.884	-0.130	9.487	0.672
00:07:15	0.299	17.377	7.117	2.068	4.884	-0.130	9.805	0.679
00:07:30	0.298	17.317	7.223	2.174	4.884	-0.130	10.308	0.677
00:07:45	0.296	17.196	7.313	2.264	4.884	-0.130	10.734	0.672
00:08:00	0.295	17.136	7.391	2.342	4.884	-0.130	11.104	0.669
00:08:15	0.296	17.196	7.461	2.412	4.884	-0.130	11.436	0.672
00:08:30	0.300	17.438	7.548	2.499	4.884	-0.130	11.849	0.681
00:08:45	0.302	17.558	7.628	2.579	4.884	-0.130	12.228	0.686
00:09:00	0.303	17.619	7.709	2.660	4.884	-0.130	12.612	0.688
00:09:15	0.302	17.558	7.776	2.727	4.884	-0.130	12.930	0.686
00:09:30	0.301	17.498	7.870	2.821	4.884	-0.130	13.375	0.684
00:09:45	0.297	17.257	7.970	2.921	4.884	-0.130	13.850	0.674
00:10:00	0.297	17.257	8.034	2.985	4.884	-0.130	14.153	0.674
00:11:00	0.297	17.257	8.350	3.301	4.885	-0.129	15.651	0.674
00:12:00	0.294	17.076	8.694	3.645	4.901	-0.113	17.282	0.667
00:13:00	0.299	17.377	9.007	3.958	4.935	-0.079	18.766	0.679
00:14:00	0.303	17.619	9.344	4.295	4.965	-0.049	20.364	0.688
00:15:00	0.308	17.920	9.670	4.621	4.981	-0.033	21.910	0.700
00:16:00	0.310	18.041	10.011	4.962	4.984	-0.030	23.527	0.705
00:17:00	0.314	18.282	10.344	5.295	4.997	-0.017	25.105	0.714
00:18:00	0.308	17.920	10.687	5.638	5.011	-0.003	26.732	0.700
00:19:00	0.308	17.920	11.023	5.974	5.019	0.005	28.325	0.700
00:20:00	0.304	17.679	11.383	6.334	5.025	0.011	30.032	0.691

Tabla 5.11 Muestra M-2, estado suelto, arena mal graduada o uniforme $\sigma_N=1$

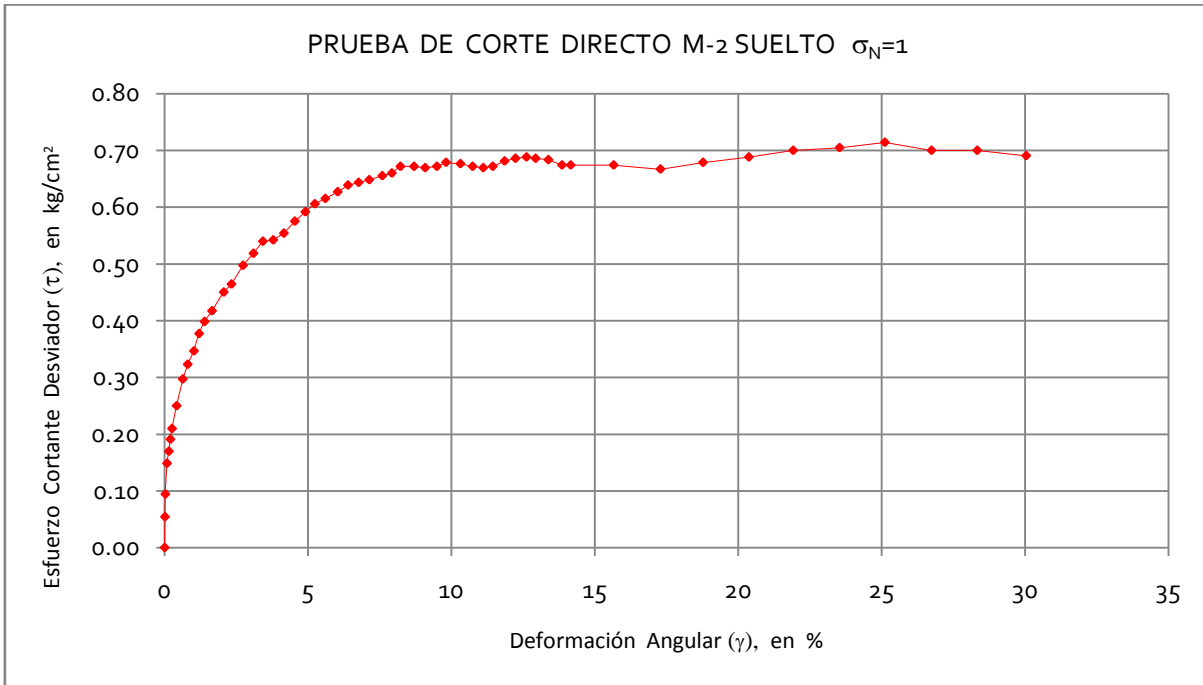


Figura 5.21 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-2 Estado Suelto $\sigma_N=1$

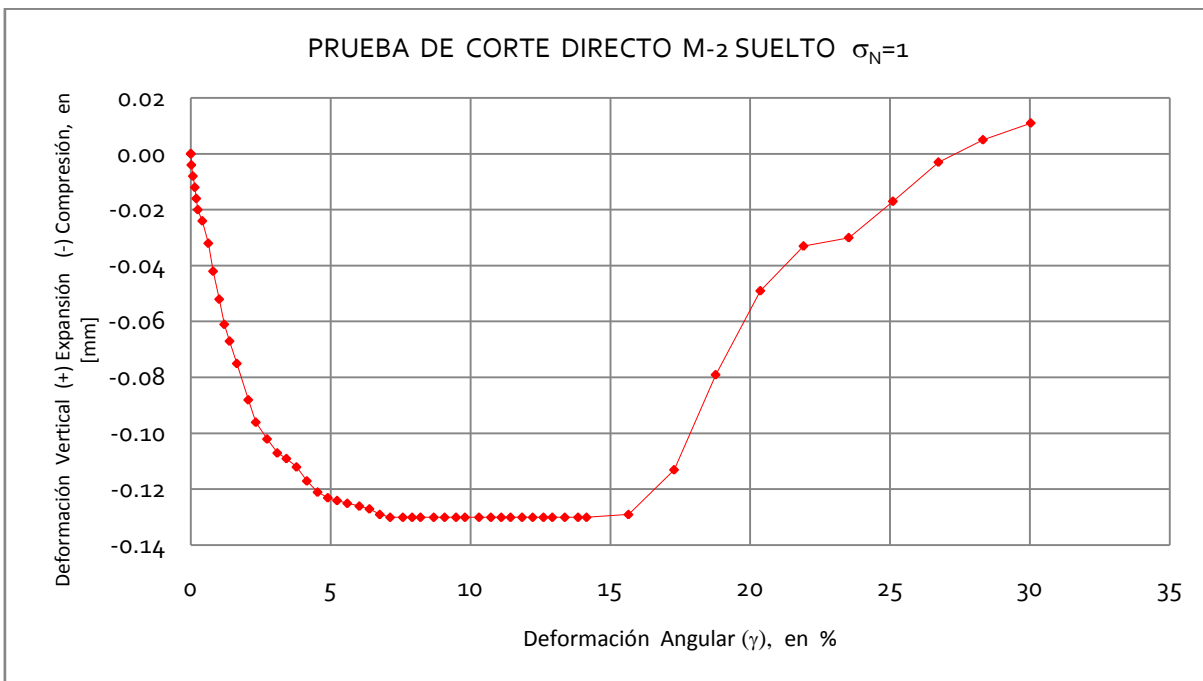


Figura 5.22 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-2 Estado Suelto $\sigma_N=1$



UNAM
FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"
 Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO : TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN : FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :
MUESTRA : M-2 suelto
PROFUNDIDAD : N/D

DATOS GENERALES:

Dimensiones de la caja o probeta		H_0 [cm]=	2.1070
Largo [cm]=	5.060	A_0 [cm ²]=	25.5973
Ancho [cm]=	5.059	W_m [g]=	82.2532
		γ_m [t/m ³]=	1.5251
		P [kg]=	38.3958
		σ_N [kg/cm ²]=	1.5000
		MICRO_v [mm]	
		Lo =	4.0780
		Lf =	3.6620
		Δh_{cons} [mm]=	0.4160
		Hc [mm]=	2.0654

	$H_s/suelto$ [cm]	$H_c/suelto$ [cm]
1	4.007	1.9
2	4.009	1.9
3	4.006	1.9
4	4.006	1.9
Promedio	4.007	1.900
k_{anillo} [kg/mm]=	60.3379	

TIEMPO	LECTURA	T_{total}	MICRO _h	$\delta_{total-h}$	MICRO _v	$\delta_{total-v}$	γ	τ_{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.011	0.000	4.858	0.000	3.662	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.029	1.086	4.858	0.000	3.662	0.000	0.000	0.042
00:00:10	0.044	1.991	4.858	0.000	3.662	0.000	0.000	0.078
00:00:15	0.063	3.138	4.859	0.001	3.662	0.000	0.005	0.123
00:00:20	0.085	4.465	4.862	0.004	3.662	0.000	0.019	0.174
00:00:25	0.104	5.611	4.866	0.008	3.662	0.000	0.039	0.219
00:00:30	0.119	6.516	4.873	0.015	3.662	0.000	0.073	0.255
00:00:40	0.139	7.723	4.891	0.033	3.662	0.000	0.160	0.302
00:00:50	0.169	9.533	4.924	0.066	3.642	-0.020	0.320	0.372
00:01:00	0.184	10.438	4.968	0.110	3.630	-0.032	0.533	0.408
00:01:10	0.197	11.223	5.005	0.147	3.625	-0.037	0.712	0.438
00:01:20	0.211	12.068	5.045	0.187	3.605	-0.057	0.905	0.471
00:01:30	0.227	13.033	5.088	0.230	3.590	-0.072	1.114	0.509
00:01:45	0.243	13.998	5.153	0.295	3.570	-0.092	1.428	0.547
00:02:00	0.262	15.145	5.210	0.352	3.556	-0.106	1.704	0.592
00:02:15	0.285	16.533	5.286	0.428	3.538	-0.124	2.072	0.646
00:02:30	0.295	17.136	5.352	0.494	3.519	-0.143	2.392	0.669
00:02:45	0.304	17.679	5.415	0.557	3.502	-0.160	2.697	0.691
00:03:00	0.319	18.584	5.477	0.619	3.482	-0.180	2.997	0.726
00:03:15	0.330	19.248	5.537	0.679	3.472	-0.190	3.287	0.752
00:03:30	0.338	19.730	5.628	0.770	3.459	-0.203	3.728	0.771
00:03:45	0.353	20.636	5.693	0.835	3.455	-0.207	4.043	0.806
00:04:00	0.364	21.299	5.769	0.911	3.447	-0.215	4.411	0.832
00:04:15	0.372	21.782	5.841	0.983	3.443	-0.219	4.759	0.851
00:04:30	0.378	22.144	5.923	1.065	3.440	-0.222	5.156	0.865
00:04:45	0.380	22.265	6.005	1.147	3.439	-0.223	5.553	0.870
00:05:00	0.385	22.566	6.069	1.211	3.437	-0.225	5.863	0.882
00:05:15	0.389	22.808	6.145	1.287	3.436	-0.226	6.231	0.891
00:05:30	0.393	23.049	6.233	1.375	3.431	-0.231	6.657	0.900
00:05:45	0.399	23.411	6.305	1.447	3.434	-0.228	7.006	0.915
00:06:00	0.401	23.532	6.391	1.533	3.434	-0.228	7.422	0.919
00:06:15	0.405	23.773	6.476	1.618	3.434	-0.228	7.834	0.929
00:06:30	0.408	23.954	6.538	1.680	3.433	-0.229	8.134	0.936
00:06:45	0.410	24.075	6.619	1.761	3.433	-0.229	8.526	0.941
00:07:00	0.412	24.195	6.704	1.846	3.433	-0.229	8.938	0.945
00:07:15	0.417	24.497	6.776	1.918	3.433	-0.229	9.286	0.957
00:07:30	0.420	24.678	6.860	2.002	3.433	-0.229	9.693	0.964
00:07:45	0.421	24.739	6.942	2.084	3.433	-0.229	10.090	0.966
00:08:00	0.419	24.618	7.032	2.174	3.433	-0.229	10.526	0.962
00:08:15	0.421	24.739	7.102	2.244	3.433	-0.229	10.865	0.966
00:08:30	0.426	25.040	7.187	2.329	3.433	-0.229	11.276	0.978
00:08:45	0.431	25.342	7.268	2.410	3.433	-0.229	11.668	0.990
00:09:00	0.424	24.920	7.357	2.499	3.433	-0.229	12.099	0.974
00:09:15	0.437	25.704	7.428	2.570	3.433	-0.229	12.443	1.004
00:09:30	0.435	25.583	7.509	2.651	3.433	-0.229	12.835	0.999
00:09:45	0.438	25.764	7.580	2.722	3.433	-0.229	13.179	1.007
00:10:00	0.440	25.885	7.664	2.806	3.433	-0.229	13.586	1.011
00:11:00	0.445	26.187	8.012	3.154	3.433	-0.229	15.271	1.023
00:12:00	0.451	26.549	8.307	3.449	3.433	-0.229	16.699	1.037
00:13:00	0.452	26.609	8.643	3.785	3.450	-0.212	18.326	1.040
00:14:00	0.454	26.730	8.969	4.111	3.500	-0.162	19.904	1.044
00:15:00	0.448	26.368	9.317	4.459	3.533	-0.129	21.589	1.030
00:16:00	0.452	26.609	9.651	4.793	3.550	-0.112	23.206	1.040
00:17:00	0.445	26.187	10.002	5.144	3.563	-0.099	24.906	1.023
00:18:00	0.449	26.428	10.332	5.474	3.576	-0.086	26.503	1.032
00:19:00	0.442	26.006	10.673	5.815	3.587	-0.075	28.154	1.016
00:20:00	0.444	26.126	11.015	6.157	3.594	-0.068	29.810	1.021

Tabla 5.12 Muestra M-2, estado suelto, arena mal graduada o uniforme $\sigma_N=1.5$

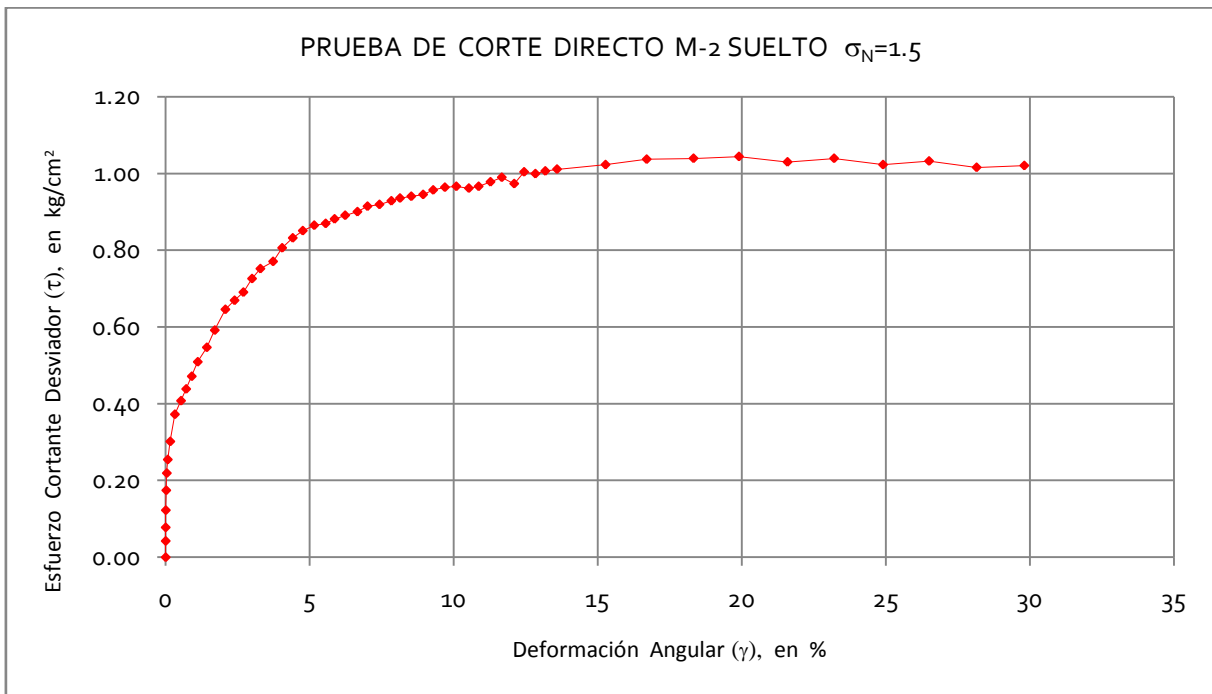


Figura 5.23 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-2 Estado Suelto $\sigma_N=1.5$

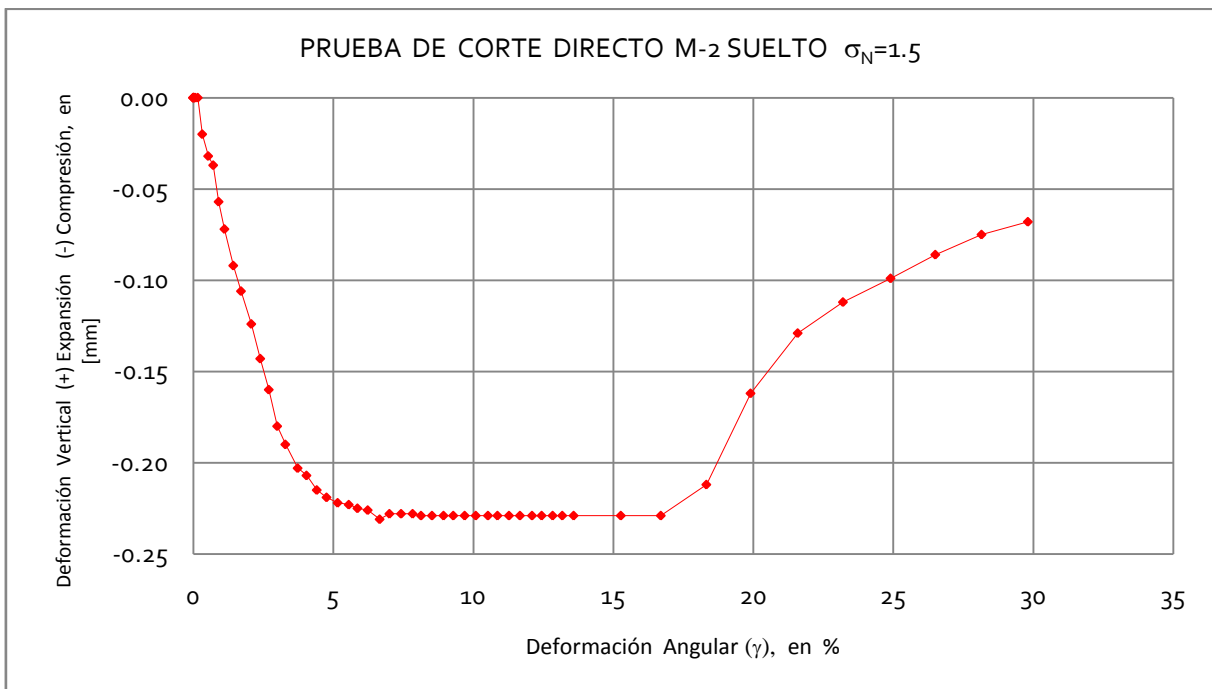


Figura 5.24 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-2 Estado Suelto $\sigma_N=1.5$



UNAM
FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"

Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-2 DENSO
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:			
Dimensiones de la caja o probeta		H_c [cm]=	2.0070
Largo [cm]=	5.060	A_v [cm ²]=	25.5973
Ancho [cm]=	5.059	W_m [g]=	86.8948
		γ_m [t/m ³]=	1.6914
		P [kg]=	6.3993
		σ_N [kg/cm ²]=	0.2500
		Micro_v [mm]	
		Lo=	5.0680
		Lf=	4.9150
		Δh_{cons} [mm]=	0.1530
		H_c [mm]=	1.9917

	$H_s/suelo$ [cm]	$H_c/suelo$ [cm]
1	4.007	2
2	4.009	2
3	4.006	2
4	4.006	2
Promedio	4.007	2.000
k_{anillo} [kg/mm]=	60.3379	

TIEMPO	LECTURA	T_{total}	MICRO _h	$\delta_{total-h}$	MICRO _v	$\delta_{total-v}$	γ	τ_{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.020	0.000	5.110	0.000	4.915	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.031	0.664	5.122	0.012	4.915	0.000	0.060	0.026
00:00:10	0.038	1.086	5.139	0.029	4.915	0.000	0.146	0.042
00:00:15	0.043	1.388	5.157	0.047	4.915	0.000	0.236	0.054
00:00:20	0.050	1.810	5.178	0.068	4.915	0.000	0.341	0.071
00:00:25	0.056	2.172	5.205	0.095	4.906	-0.009	0.477	0.085
00:00:30	0.061	2.474	5.228	0.118	4.901	-0.014	0.592	0.097
00:00:40	0.067	2.836	5.283	0.173	4.901	-0.014	0.869	0.111
00:00:50	0.073	3.198	5.332	0.222	4.896	-0.019	1.115	0.125
00:01:00	0.078	3.500	5.375	0.265	4.896	-0.019	1.331	0.137
00:01:10	0.087	4.043	5.418	0.308	4.896	-0.019	1.546	0.158
00:01:20	0.095	4.525	5.464	0.354	4.896	-0.019	1.777	0.177
00:01:30	0.103	5.008	5.515	0.405	4.896	-0.019	2.033	0.196
00:01:45	0.114	5.672	5.588	0.478	4.896	-0.019	2.400	0.222
00:02:00	0.125	6.335	5.661	0.551	4.896	-0.019	2.766	0.248
00:02:15	0.130	6.637	5.727	0.617	4.896	-0.019	3.098	0.259
00:02:30	0.137	7.060	5.807	0.697	4.908	-0.007	3.500	0.276
00:02:45	0.142	7.361	5.882	0.772	4.926	0.011	3.876	0.288
00:03:00	0.144	7.482	5.953	0.843	4.945	0.030	4.233	0.292
00:03:15	0.147	7.663	6.029	0.919	4.964	0.049	4.614	0.299
00:03:30	0.150	7.844	6.124	1.014	4.991	0.076	5.091	0.306
00:03:45	0.151	7.904	6.198	1.088	5.013	0.098	5.463	0.309
00:04:00	0.153	8.025	6.273	1.163	5.035	0.120	5.839	0.314
00:04:15	0.153	8.025	6.348	1.238	5.060	0.145	6.216	0.314
00:04:30	0.153	8.025	6.429	1.319	5.084	0.169	6.622	0.314
00:04:45	0.155	8.146	6.509	1.399	5.109	0.194	7.024	0.318
00:05:00	0.154	8.085	6.588	1.478	5.135	0.220	7.421	0.316
00:05:15	0.154	8.085	6.668	1.558	5.160	0.245	7.822	0.316
00:05:30	0.153	8.025	6.751	1.641	5.186	0.271	8.239	0.314
00:05:45	0.151	7.904	6.840	1.730	5.212	0.297	8.686	0.309
00:06:00	0.149	7.784	6.927	1.817	5.235	0.320	9.123	0.304
00:06:15	0.149	7.784	7.007	1.897	5.260	0.345	9.525	0.304
00:06:30	0.148	7.723	7.096	1.986	5.285	0.370	9.971	0.302
00:06:45	0.149	7.784	7.180	2.070	5.310	0.395	10.393	0.304
00:07:00	0.145	7.542	7.261	2.151	5.333	0.418	10.800	0.295
00:07:15	0.146	7.603	7.334	2.224	5.356	0.441	11.166	0.297
00:07:30	0.145	7.542	7.422	2.312	5.380	0.465	11.608	0.295
00:07:45	0.142	7.361	7.510	2.400	5.404	0.489	12.050	0.288
00:08:00	0.137	7.060	7.596	2.486	5.424	0.509	12.482	0.276
00:08:15	0.137	7.060	7.674	2.564	5.444	0.529	12.873	0.276
00:08:30	0.136	6.999	7.757	2.647	5.461	0.546	13.290	0.273
00:08:45	0.135	6.939	7.842	2.732	5.480	0.565	13.717	0.271
00:09:00	0.133	6.818	7.930	2.820	5.496	0.581	14.159	0.266
00:09:15	0.130	6.637	8.012	2.902	5.513	0.598	14.570	0.259
00:09:30	0.128	6.516	8.102	2.992	5.531	0.616	15.022	0.255
00:09:45	0.122	6.154	8.183	3.073	5.541	0.626	15.429	0.240
00:10:00	0.121	6.094	8.268	3.158	5.551	0.636	15.856	0.238
00:11:00	0.121	6.094	8.607	3.497	5.601	0.686	17.558	0.238
00:12:00	0.113	5.611	8.942	3.832	5.649	0.734	19.240	0.219
00:13:00	0.110	5.430	9.282	4.172	5.688	0.773	20.947	0.212
00:14:00	0.103	5.008	9.626	4.516	5.712	0.797	22.674	0.196
00:15:00	0.105	5.129	9.962	4.852	5.726	0.811	24.361	0.200
00:16:00	0.098	4.706	10.310	5.200	5.747	0.832	26.108	0.184
00:17:00	0.101	4.887	10.634	5.524	5.759	0.844	27.735	0.191
00:18:00	0.102	4.948	10.976	5.866	5.774	0.859	29.452	0.193
00:19:00	0.098	4.706	11.328	6.218	5.789	0.874	31.220	0.184
00:20:00	0.105	5.129	11.657	6.547	5.789	0.874	32.871	0.200

Tabla 5.13 Muestra M-2, estado denso, arena mal graduada o uniforme $\sigma_N=0.25$

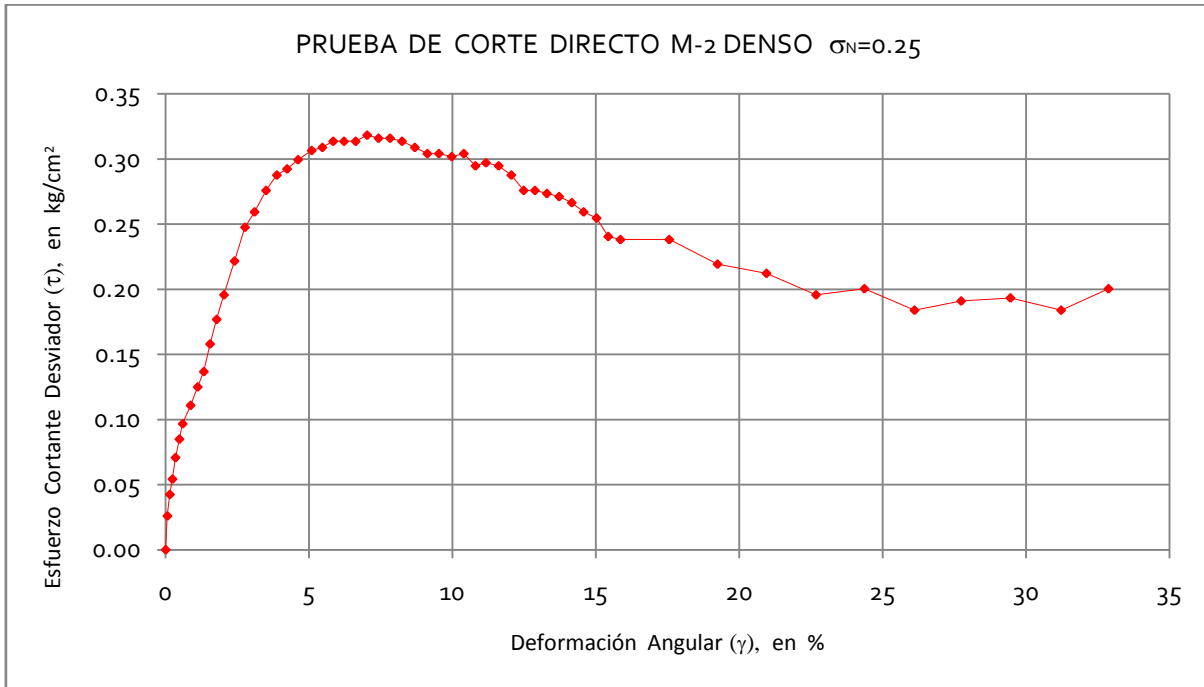


Figura 5.25 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-2 Estado Denso $\sigma_N=0.25$

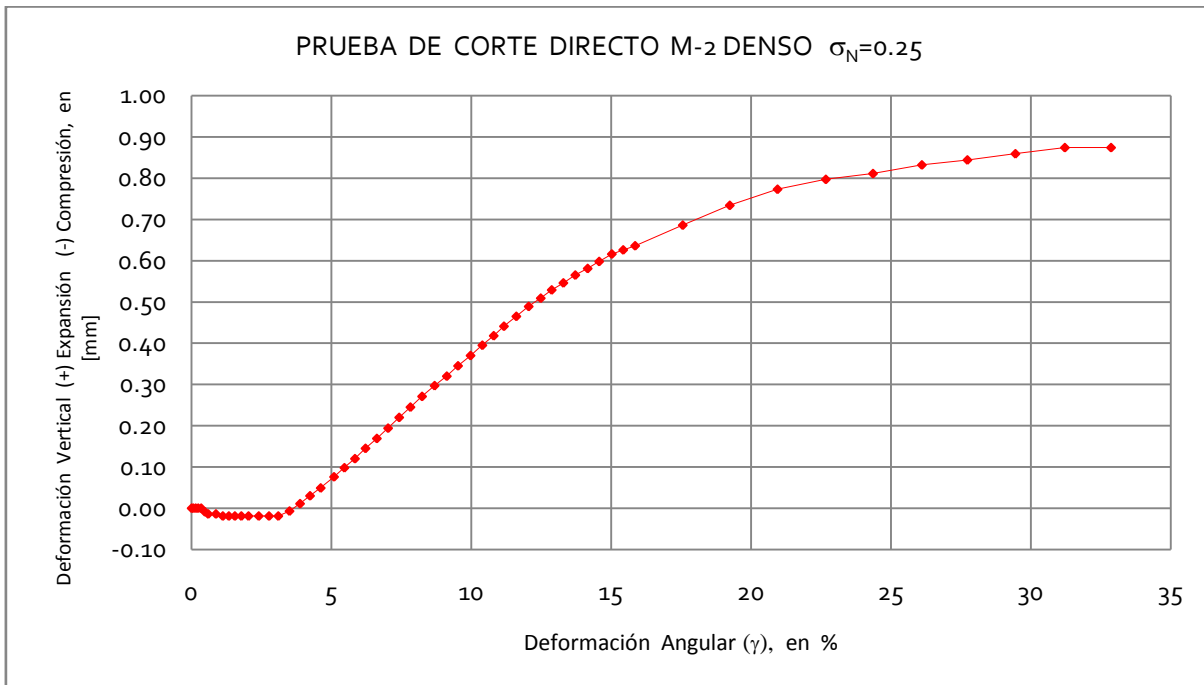


Figura 5.26 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-2 Estado Denso $\sigma_N=0.25$



UNAM
FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"
Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-2 DENSO
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:	
Dimensiones de la caja o probeta	
Largo [cm]=	5.060
Ancho [cm]=	5.059
H_0 [cm]=	2.0170
A_0 [cm ²]=	25.5973
W_m [g]=	86.8948
γ_m [t/m ³]=	1.6830
P [kg]=	12.7986
σ_N [kg/cm ²]=	0.5000
Micro_v [mm]	
Lo=	5.3250
Lf=	5.2910
Δh_{cons} [mm]=	0.0340
H_c [mm]=	2.0136

	$H_{z/suelo}$ [cm]	$H_{c/suelo}$ [cm]
1	4.007	1.990
2	4.009	1.990
3	4.006	1.990
4	4.006	1.990
Promedio	4.007	1.990

k_{anillo} [kg/mm]=	60.3379
-----------------------	---------

TIEMPO	LECTURA	T _{total}	MICRO _h	$\delta_{total-h}$	MICRO _v	$\delta_{total-v}$	γ	τ_{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.017	0.000	5.042	0.000	5.278	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.028	0.664	5.042	0.000	5.275	-0.003	0.000	0.026
00:00:10	0.044	1.629	5.045	0.003	5.272	-0.006	0.015	0.064
00:00:15	0.053	2.172	5.056	0.014	5.269	-0.009	0.070	0.085
00:00:20	0.061	2.655	5.069	0.027	5.266	-0.012	0.134	0.104
00:00:25	0.068	3.077	5.086	0.044	5.263	-0.015	0.219	0.120
00:00:30	0.079	3.741	5.106	0.064	5.260	-0.018	0.318	0.146
00:00:40	0.087	4.224	5.150	0.108	5.257	-0.021	0.536	0.165
00:00:50	0.103	5.189	5.189	0.147	5.254	-0.024	0.730	0.203
00:01:00	0.116	5.973	5.231	0.189	5.251	-0.027	0.939	0.233
00:01:10	0.127	6.637	5.267	0.225	5.248	-0.030	1.117	0.259
00:01:20	0.143	7.603	5.311	0.269	5.245	-0.033	1.336	0.297
00:01:30	0.153	8.206	5.350	0.308	5.242	-0.036	1.530	0.321
00:01:45	0.172	9.352	5.409	0.367	5.239	-0.039	1.823	0.365
00:02:00	0.188	10.318	5.476	0.434	5.236	-0.042	2.155	0.403
00:02:15	0.200	11.042	5.541	0.499	5.234	-0.044	2.478	0.431
00:02:30	0.209	11.585	5.609	0.567	5.234	-0.044	2.816	0.453
00:02:45	0.217	12.068	5.671	0.629	5.234	-0.044	3.124	0.471
00:03:00	0.224	12.490	5.742	0.700	5.234	-0.044	3.476	0.488
00:03:15	0.232	12.973	5.818	0.776	5.234	-0.044	3.854	0.507
00:03:30	0.237	13.274	5.898	0.856	5.240	-0.038	4.251	0.519
00:03:45	0.243	13.636	5.963	0.921	5.265	-0.013	4.574	0.533
00:04:00	0.244	13.697	6.045	1.003	5.292	0.014	4.981	0.535
00:04:15	0.249	13.998	6.114	1.072	5.322	0.044	5.324	0.547
00:04:30	0.250	14.059	6.194	1.152	5.350	0.072	5.721	0.549
00:04:45	0.251	14.119	6.264	1.222	5.398	0.120	6.069	0.552
00:05:00	0.246	13.817	6.357	1.315	5.420	0.142	6.531	0.540
00:05:15	0.251	14.119	6.430	1.388	5.448	0.170	6.893	0.552
00:05:30	0.249	13.998	6.508	1.466	5.476	0.198	7.280	0.547
00:05:45	0.244	13.697	6.600	1.558	5.504	0.226	7.737	0.535
00:06:00	0.243	13.636	6.673	1.631	5.519	0.241	8.100	0.533
00:06:15	0.242	13.576	6.746	1.704	5.534	0.256	8.462	0.530
00:06:30	0.237	13.274	6.837	1.795	5.554	0.276	8.914	0.519
00:06:45	0.241	13.516	6.911	1.869	5.575	0.297	9.282	0.528
00:07:00	0.239	13.395	6.993	1.951	5.595	0.317	9.689	0.523
00:07:15	0.227	12.671	7.092	2.050	5.600	0.322	10.181	0.495
00:07:30	0.232	12.973	7.163	2.121	5.608	0.330	10.533	0.507
00:07:45	0.226	12.611	7.252	2.210	5.621	0.343	10.975	0.493
00:08:00	0.224	12.490	7.335	2.293	5.635	0.357	11.388	0.488
00:08:15	0.224	12.490	7.420	2.378	5.656	0.378	11.810	0.488
00:08:30	0.219	12.188	7.506	2.464	5.676	0.398	12.237	0.476
00:08:45	0.217	12.068	7.583	2.541	5.691	0.413	12.619	0.471
00:09:00	0.209	11.585	7.680	2.638	5.708	0.430	13.101	0.453
00:09:15	0.212	11.766	7.764	2.722	5.739	0.461	13.518	0.460
00:09:30	0.208	11.525	7.848	2.806	5.770	0.492	13.935	0.450
00:09:45	0.207	11.464	7.931	2.889	5.799	0.521	14.347	0.448
00:10:00	0.202	11.163	8.014	2.972	5.822	0.544	14.760	0.436
00:11:00	0.188	10.318	8.357	3.315	5.885	0.607	16.463	0.403
00:12:00	0.177	9.654	8.703	3.661	5.927	0.649	18.181	0.377
00:13:00	0.172	9.352	9.046	4.004	5.951	0.673	19.885	0.365
00:14:00	0.173	9.413	9.385	4.343	5.969	0.691	21.568	0.368
00:15:00	0.171	9.292	9.722	4.680	5.979	0.701	23.242	0.363
00:16:00	0.161	8.689	10.073	5.031	5.980	0.702	24.985	0.339
00:17:00	0.162	8.749	10.420	5.378	5.980	0.702	26.708	0.342
00:18:00	0.161	8.689	10.751	5.709	5.980	0.702	28.352	0.339
00:19:00	0.163	8.809	11.080	6.038	5.980	0.702	29.986	0.344
00:20:00	0.166	8.990	11.414	6.372	5.980	0.702	31.645	0.351

Tabla 5.14 Muestra M-2, estado denso, arena mal graduada o uniforme $\sigma_N=0.5$

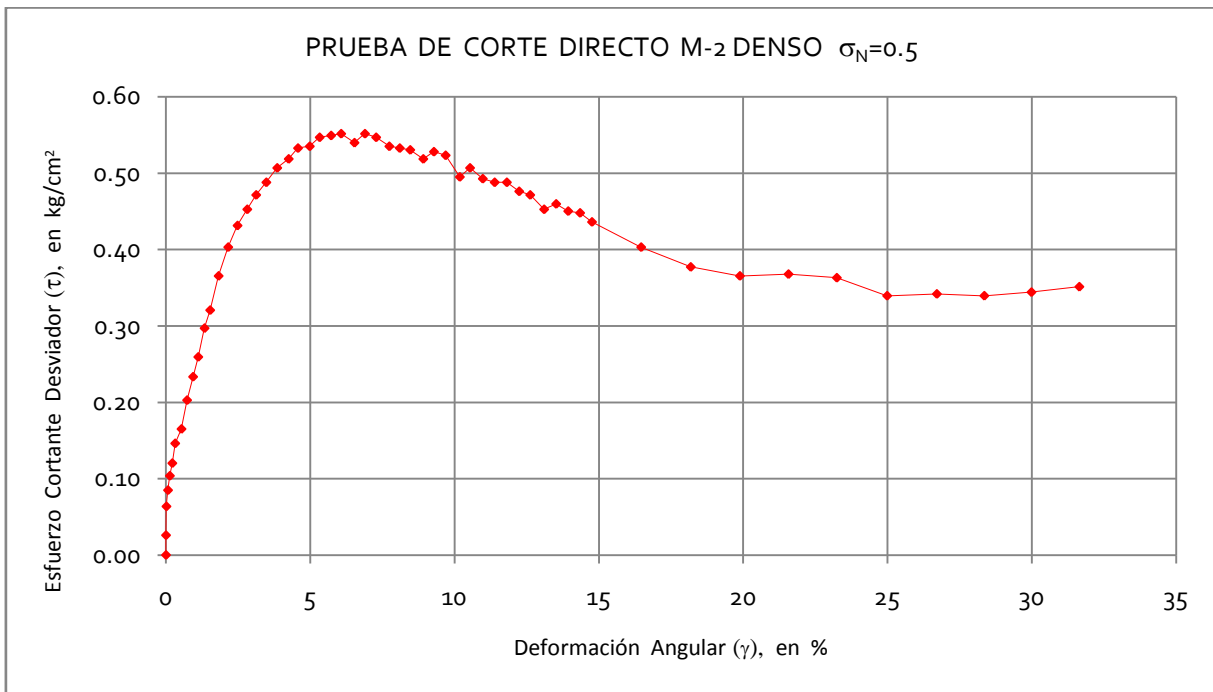


Figura 5.27 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-2 Estado Denso $\sigma_N=0.5$

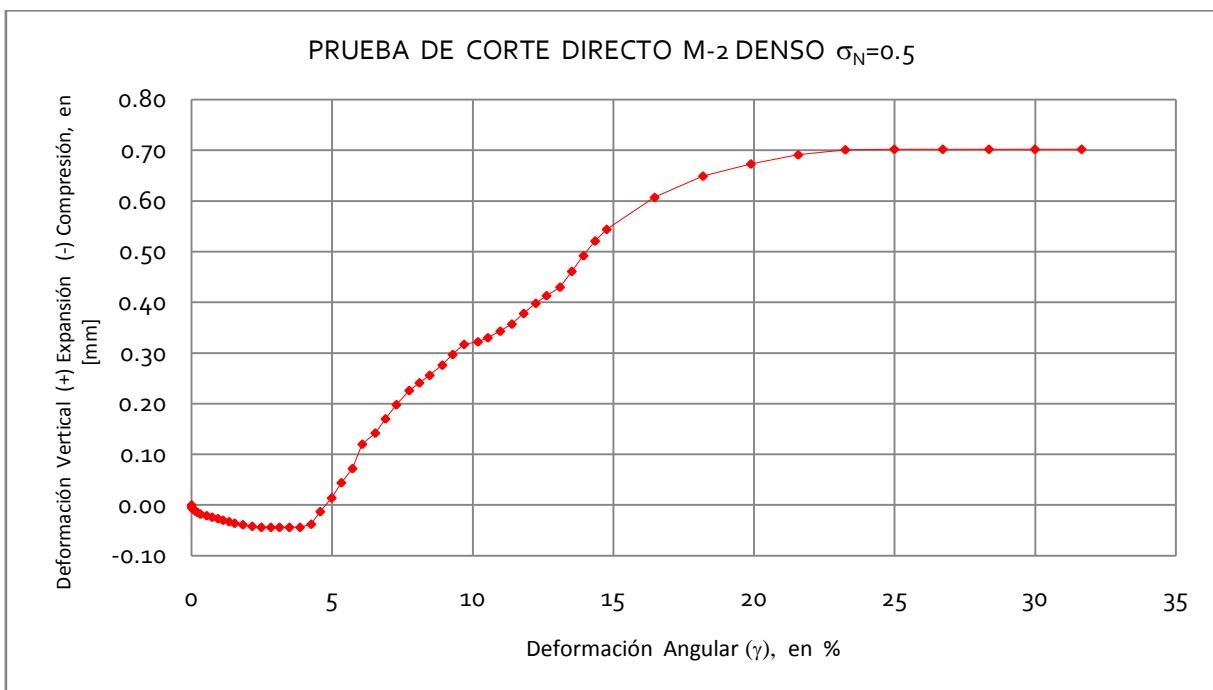


Figura 5.28 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-2 Estado Denso $\sigma_N=0.5$



UNAM
FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"
Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-2 DENSO
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:			
Dimensiones de la caja o probeta		H_0 [cm]=	2.0070
Largo [cm]=	5.060	A_0 [cm ²]=	25.5973
Ancho [cm]=	5.059	W_m [g]=	86.8948
		γ_m [t/m ³]=	1.6914
		P [kg]=	25.5972
		σ_N [kg/cm ²]=	1.0000
		MICRO_v [mm]	
		Lo =	5.1730
		Lf =	5.0230
		Δh_{cons} [mm]=	0.1500
		Hc [mm]=	1.9920
		k_{anillo} [kg/mm]=	60.3379

	$H_{v/suelo}$ [cm]	$H_c/suelo$ [cm]
1	4.007	2.000
2	4.009	2.000
3	4.006	2.000
4	4.006	2.000
Promedio	4.007	2.000

TIEMPO	LECTURA	T_{total}	MICRO _h	$\delta_{total-h}$	MICRO _v	$\delta_{total-v}$	γ	τ_{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.023	0.000	5.112	0.000	5.023	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.025	0.121	5.112	0.000	5.023	0.000	0.000	0.005
00:00:10	0.039	0.965	5.112	0.000	5.023	0.000	0.000	0.038
00:00:15	0.055	1.931	5.119	0.007	5.023	0.000	0.035	0.075
00:00:20	0.067	2.655	5.127	0.015	5.023	0.000	0.075	0.104
00:00:25	0.078	3.319	5.138	0.026	5.023	0.000	0.131	0.130
00:00:30	0.080	3.439	5.150	0.038	5.023	0.000	0.191	0.134
00:00:40	0.117	5.672	5.178	0.066	5.023	0.000	0.331	0.222
00:00:50	0.141	7.120	5.205	0.093	5.023	0.000	0.467	0.278
00:01:00	0.164	8.508	5.229	0.117	5.023	0.000	0.587	0.332
00:01:10	0.185	9.775	5.251	0.139	5.020	-0.003	0.698	0.382
00:01:20	0.211	11.344	5.277	0.165	5.019	-0.004	0.828	0.443
00:01:30	0.238	12.973	5.306	0.194	5.019	-0.004	0.974	0.507
00:01:45	0.270	14.903	5.350	0.238	5.019	-0.004	1.195	0.582
00:02:00	0.302	16.834	5.391	0.279	5.019	-0.004	1.401	0.658
00:02:15	0.333	18.705	5.434	0.322	5.019	-0.004	1.616	0.731
00:02:30	0.356	20.093	5.488	0.376	5.019	-0.004	1.888	0.785
00:02:45	0.379	21.480	5.537	0.425	5.019	-0.004	2.134	0.839
00:03:00	0.401	22.808	5.594	0.482	5.019	-0.004	2.420	0.891
00:03:15	0.417	23.773	5.652	0.540	5.033	0.010	2.711	0.929
00:03:30	0.433	24.739	5.713	0.601	5.046	0.023	3.017	0.966
00:03:45	0.443	25.342	5.774	0.662	5.061	0.038	3.323	0.990
00:04:00	0.454	26.006	5.849	0.737	5.080	0.057	3.700	1.016
00:04:15	0.464	26.609	5.924	0.812	5.102	0.079	4.076	1.040
00:04:30	0.465	26.669	5.999	0.887	5.124	0.101	4.453	1.042
00:04:45	0.470	26.971	6.083	0.971	5.148	0.125	4.874	1.054
00:05:00	0.474	27.212	6.151	1.039	5.169	0.146	5.216	1.063
00:05:15	0.472	27.092	6.233	1.121	5.197	0.174	5.628	1.058
00:05:30	0.477	27.393	6.302	1.190	5.218	0.195	5.974	1.070
00:05:45	0.474	27.212	6.387	1.275	5.248	0.225	6.401	1.063
00:06:00	0.474	27.212	6.471	1.359	5.274	0.251	6.822	1.063
00:06:15	0.475	27.273	6.544	1.432	5.297	0.274	7.189	1.065
00:06:30	0.461	26.428	6.636	1.524	5.324	0.301	7.651	1.032
00:06:45	0.449	25.704	6.736	1.624	5.353	0.330	8.153	1.004
00:07:00	0.447	25.583	6.820	1.708	5.370	0.347	8.574	0.999
00:07:15	0.442	25.282	6.899	1.787	5.394	0.371	8.971	0.988
00:07:30	0.440	25.161	6.982	1.870	5.418	0.395	9.388	0.983
00:07:45	0.431	24.618	7.085	1.973	5.447	0.424	9.905	0.962
00:08:00	0.424	24.195	7.167	2.055	5.469	0.446	10.316	0.945
00:08:15	0.413	23.532	7.262	2.150	5.492	0.469	10.793	0.919
00:08:30	0.409	23.290	7.332	2.220	5.510	0.487	11.145	0.910
00:08:45	0.415	23.652	7.415	2.303	5.531	0.508	11.561	0.924
00:09:00	0.402	22.868	7.508	2.396	5.548	0.525	12.028	0.893
00:09:15	0.395	22.446	7.594	2.482	5.574	0.551	12.460	0.877
00:09:30	0.384	21.782	7.690	2.578	5.603	0.580	12.942	0.851
00:09:45	0.388	22.023	7.771	2.659	5.624	0.601	13.348	0.860
00:10:00	0.371	20.998	7.867	2.755	5.649	0.626	13.830	0.820
00:11:00	0.354	19.972	8.215	3.103	5.710	0.687	15.577	0.780
00:12:00	0.333	18.705	8.570	3.458	5.755	0.732	17.359	0.731
00:13:00	0.326	18.282	8.913	3.801	5.781	0.758	19.081	0.714
00:14:00	0.313	17.498	9.264	4.152	5.811	0.788	20.843	0.684
00:15:00	0.299	16.653	9.608	4.496	5.829	0.806	22.570	0.651
00:16:00	0.299	16.653	9.941	4.829	5.834	0.811	24.242	0.651
00:17:00	0.294	16.352	10.277	5.165	5.834	0.811	25.929	0.639
00:18:00	0.292	16.231	10.622	5.510	5.834	0.811	27.661	0.634
00:19:00	0.301	16.774	10.951	5.839	5.834	0.811	29.312	0.655
00:20:00	0.300	16.714	11.292	6.180	5.834	0.811	31.024	0.653

Tabla 5.15 Muestra M-2, estado denso, arena mal graduada o uniforme $\sigma_N=1$

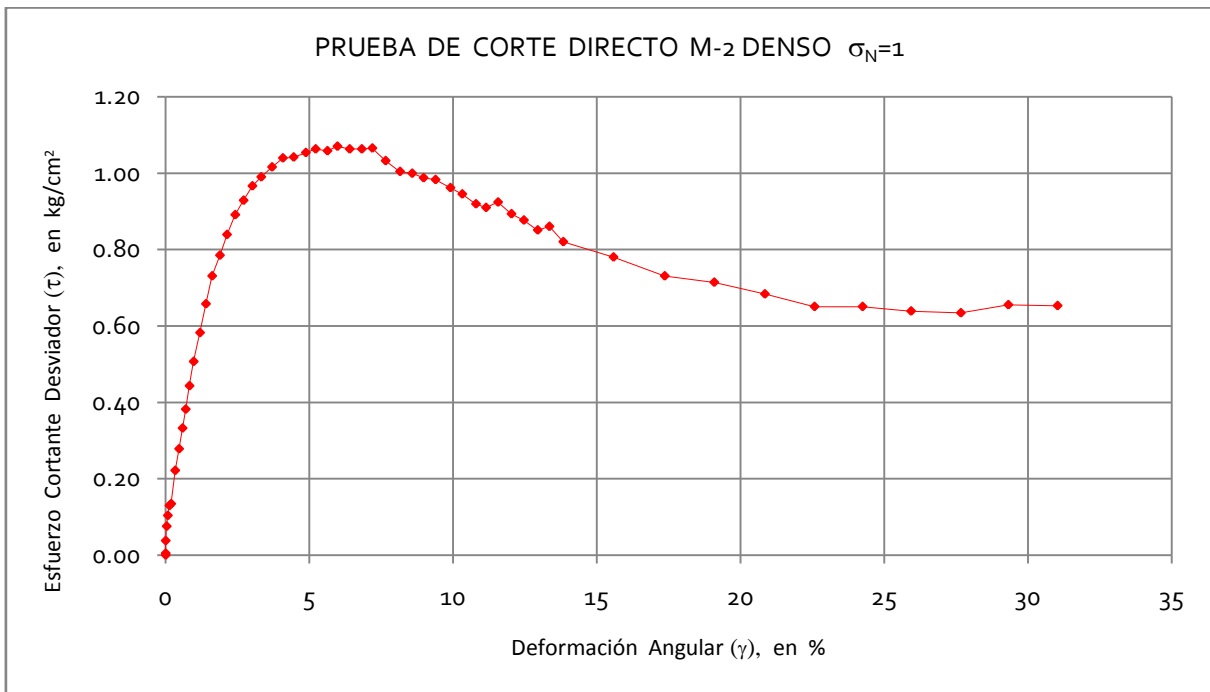


Figura 5.29 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-2 Estado Denso $\sigma_N=1$

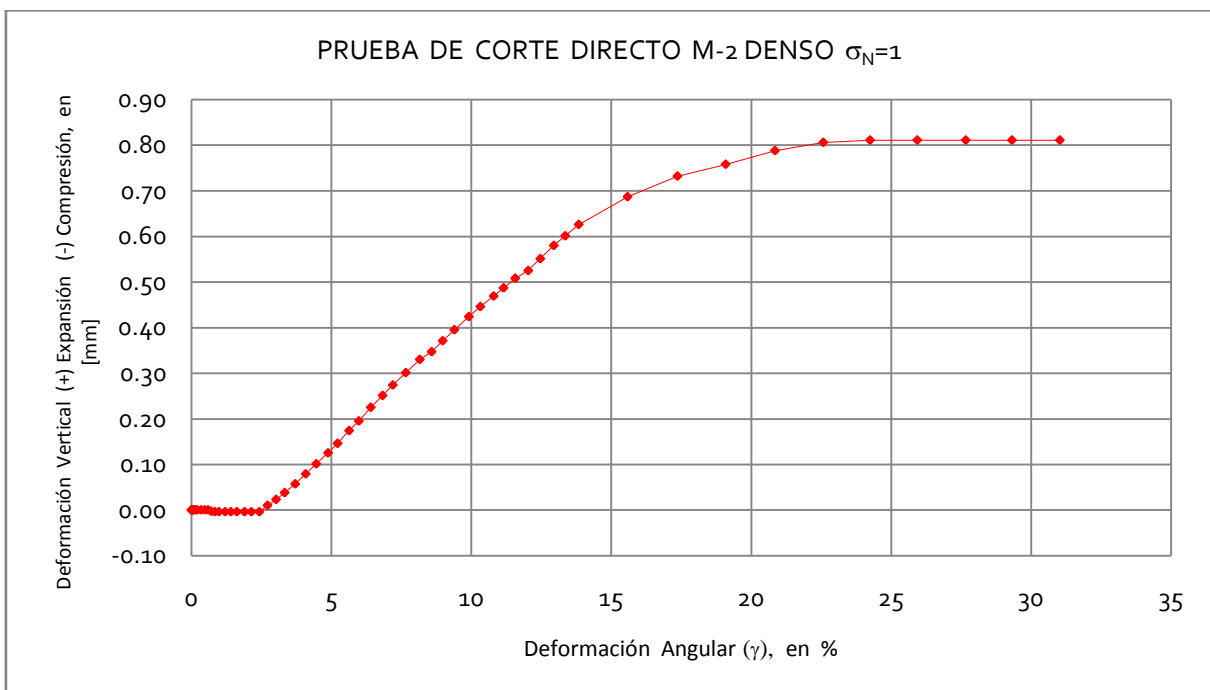


Figura 5.30 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-2 Estado Denso $\sigma_N=1$



UNAM
FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE GEOTÉCNICA "FZM"

Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :		
MUESTRA :	M-2	DENSO
PROFUNDIDAD :	N/D	

DATOS GENERALES:			
Dimensiones de la caja o probeta		H ₀ [cm]=	1.9070
Largo [cm]=	5.060	A ₀ [cm ²]=	25.5973
Ancho [cm]=	5.059	W _m [g]=	86.8948
		γ _m [t/m ³]=	1.7801
		P [kg]=	38.3958
		σ _N [kg/cm ²]=	1.5000
		Micro_v [mm]	
		Lo=	5.3340
		Lf=	5.1180
		Δh _{cons} [mm]=	0.2160
		Hc [mm]=	1.8854

	H _{s/suelo} [cm]	H _{c/suelo} [cm]
1	4.007	2.100
2	4.009	2.100
3	4.006	2.100
4	4.006	2.100
Promedio	4.007	2.100

k _{anillo} [kg/mm]=	60.3379
------------------------------	---------

TIEMPO	LECTURA	T _{total}	MICRO _h	Δ _{total-h}	MICRO _v	Δ _{total-v}	γ	T _{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.022	0.000	5.122	0.000	5.118	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.042	1.207	5.124	0.002	5.118	0.000	0.011	0.047
00:00:10	0.058	2.172	5.127	0.005	5.116	-0.002	0.027	0.085
00:00:15	0.072	3.017	5.132	0.010	5.114	-0.004	0.053	0.118
00:00:20	0.089	4.043	5.139	0.017	5.112	-0.006	0.090	0.158
00:00:25	0.106	5.068	5.146	0.024	5.110	-0.008	0.127	0.198
00:00:30	0.122	6.034	5.154	0.032	5.108	-0.010	0.170	0.236
00:00:40	0.145	7.422	5.180	0.058	5.106	-0.012	0.308	0.290
00:00:50	0.176	9.292	5.199	0.077	5.104	-0.014	0.408	0.363
00:01:00	0.207	11.163	5.218	0.096	5.102	-0.016	0.509	0.436
00:01:10	0.231	12.611	5.236	0.114	5.100	-0.018	0.605	0.493
00:01:20	0.257	14.179	5.253	0.131	5.095	-0.023	0.695	0.554
00:01:30	0.288	16.050	5.276	0.154	5.090	-0.028	0.817	0.627
00:01:45	0.328	18.463	5.306	0.184	5.085	-0.033	0.976	0.721
00:02:00	0.363	20.575	5.340	0.218	5.080	-0.038	1.156	0.804
00:02:15	0.398	22.687	5.377	0.255	5.075	-0.043	1.352	0.886
00:02:30	0.434	24.859	5.422	0.300	5.070	-0.048	1.591	0.971
00:02:45	0.466	26.790	5.463	0.341	5.067	-0.051	1.809	1.047
00:03:00	0.493	28.419	5.517	0.395	5.067	-0.051	2.095	1.110
00:03:15	0.517	29.867	5.566	0.444	5.067	-0.051	2.355	1.167
00:03:30	0.543	31.436	5.628	0.506	5.067	-0.051	2.684	1.228
00:03:45	0.551	31.919	5.688	0.566	5.068	-0.050	3.002	1.247
00:04:00	0.560	32.462	5.755	0.633	5.082	-0.036	3.357	1.268
00:04:15	0.566	32.824	5.824	0.702	5.093	-0.025	3.723	1.282
00:04:30	0.572	33.186	5.897	0.775	5.107	-0.011	4.111	1.296
00:04:45	0.577	33.488	5.969	0.847	5.122	0.004	4.492	1.308
00:05:00	0.583	33.850	6.043	0.921	5.141	0.023	4.885	1.322
00:05:15	0.585	33.970	6.116	0.994	5.162	0.044	5.272	1.327
00:05:30	0.586	34.031	6.199	1.077	5.182	0.064	5.712	1.329
00:05:45	0.588	34.151	6.277	1.155	5.203	0.085	6.126	1.334
00:06:00	0.591	34.332	6.348	1.226	5.222	0.104	6.503	1.341
00:06:15	0.587	34.091	6.426	1.304	5.244	0.126	6.916	1.332
00:06:30	0.587	34.091	6.504	1.382	5.265	0.147	7.330	1.332
00:06:45	0.589	34.212	6.582	1.460	5.288	0.170	7.744	1.337
00:07:00	0.582	33.789	6.679	1.557	5.315	0.197	8.258	1.320
00:07:15	0.585	33.970	6.745	1.623	5.332	0.214	8.608	1.327
00:07:30	0.581	33.729	6.840	1.718	5.359	0.241	9.112	1.318
00:07:45	0.583	33.850	6.908	1.786	5.379	0.261	9.473	1.322
00:08:00	0.579	33.608	6.996	1.874	5.403	0.285	9.940	1.313
00:08:15	0.581	33.729	7.067	1.945	5.425	0.307	10.316	1.318
00:08:30	0.577	33.488	7.169	2.047	5.453	0.335	10.857	1.308
00:08:45	0.569	33.005	7.247	2.125	5.474	0.356	11.271	1.289
00:09:00	0.568	32.944	7.333	2.211	5.494	0.376	11.727	1.287
00:09:15	0.566	32.824	7.417	2.295	5.515	0.397	12.172	1.282
00:09:30	0.561	32.522	7.503	2.381	5.536	0.418	12.629	1.271
00:09:45	0.552	31.979	7.591	2.469	5.555	0.437	13.095	1.249
00:10:00	0.551	31.919	7.683	2.561	5.574	0.456	13.583	1.247
00:11:00	0.514	29.686	8.064	2.942	5.620	0.502	15.604	1.160
00:12:00	0.494	28.479	8.414	3.292	5.643	0.525	17.460	1.113
00:13:00	0.494	28.479	8.756	3.634	5.689	0.571	19.274	1.113
00:14:00	0.485	27.936	9.117	3.995	5.718	0.600	21.189	1.091
00:15:00	0.455	26.126	9.459	4.337	5.738	0.620	23.003	1.021
00:16:00	0.455	26.126	9.826	4.704	5.752	0.634	24.950	1.021
00:17:00	0.440	25.221	10.145	5.023	5.758	0.640	26.642	0.985
00:18:00	0.458	26.307	10.474	5.352	5.803	0.685	28.387	1.028
00:19:00	0.461	26.488	10.795	5.673	5.824	0.706	30.089	1.035
00:20:00	0.487	28.057	11.162	6.040	5.826	0.708	32.036	1.096

Tabla 5.16 Muestra M-2, estado denso, arena mal graduada o uniforme σ_N=1.5

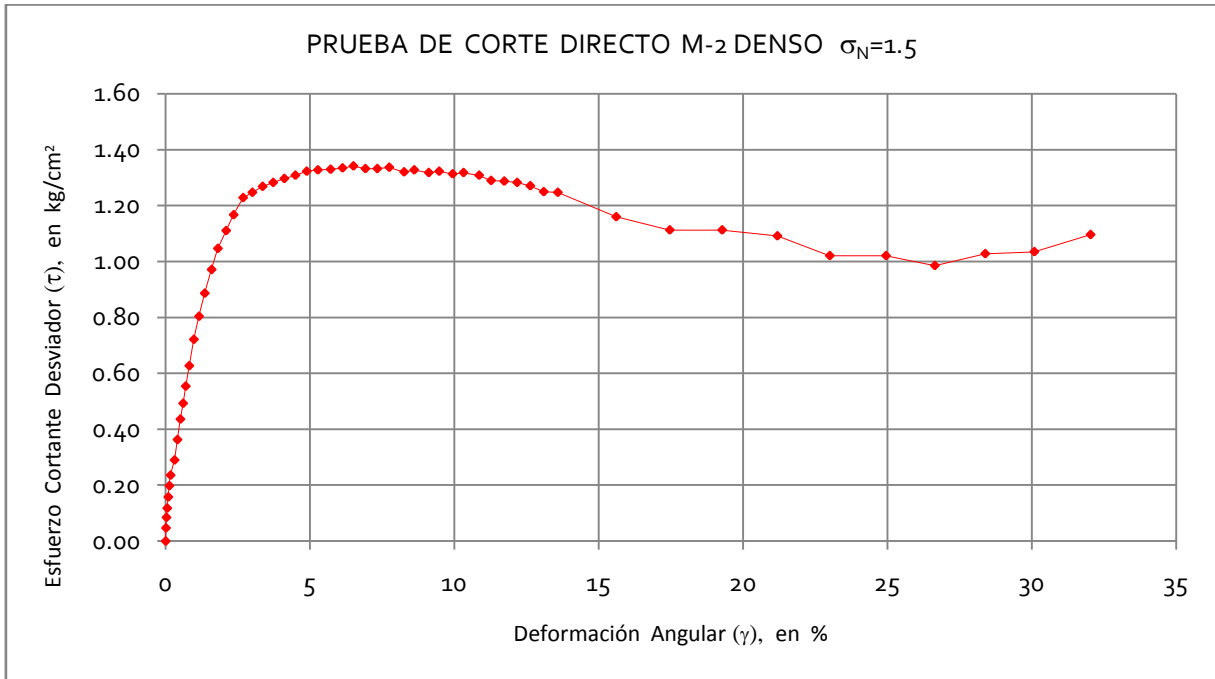


Figura 5.31 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-2 Estado Denso $\sigma_N=1.5$

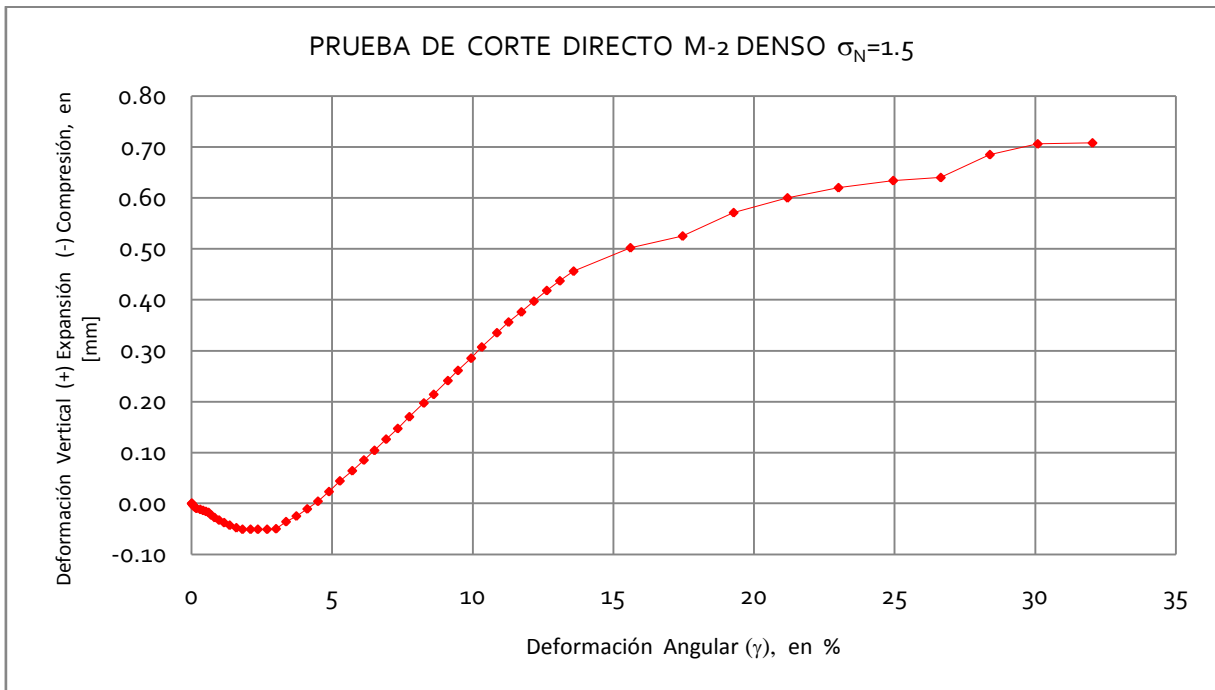


Figura 5.32 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-2 Estado Denso $\sigma_N=1.5$

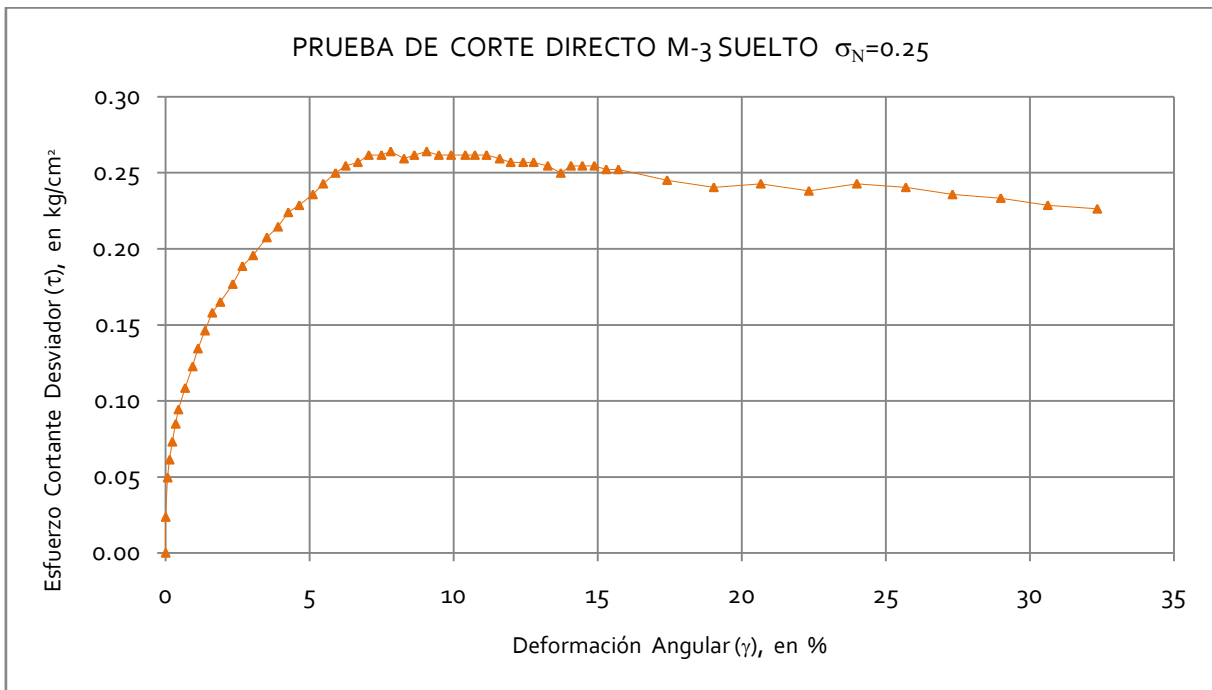


Figura 5.33 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-3 Estado Suelto $\sigma_N=0.25$

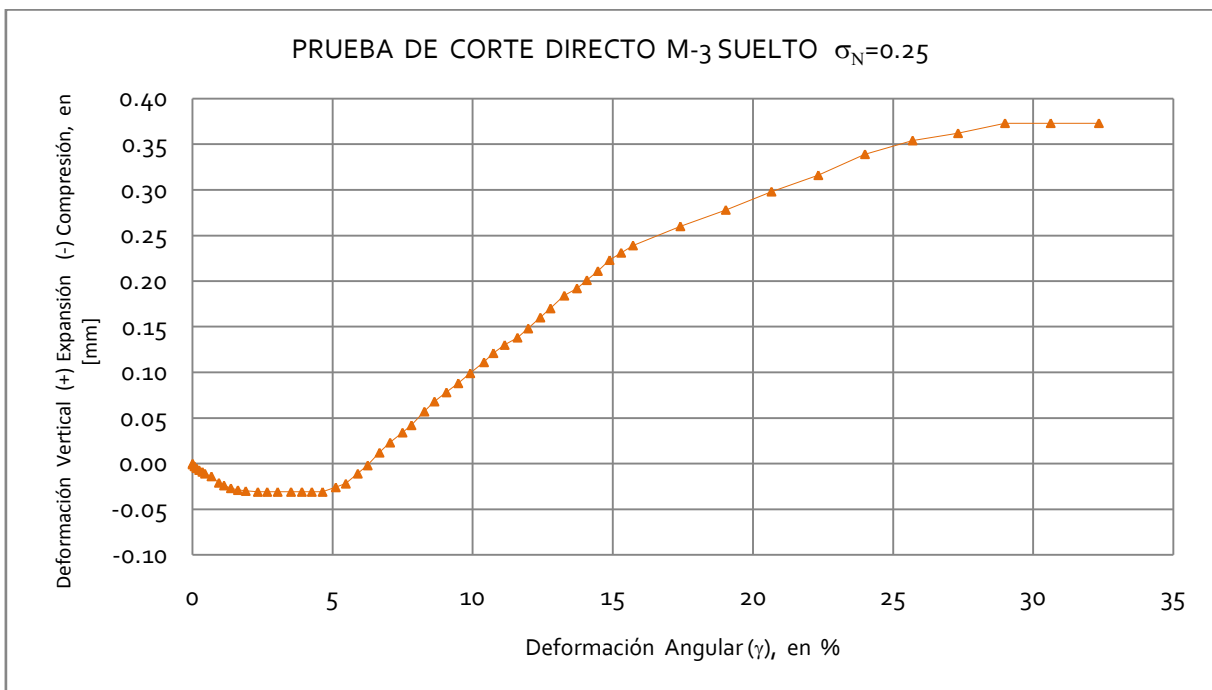


Figura 5.34 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-3 Estado Suelto $\sigma_N=0.25$



UNAM

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"

Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-3 suelto
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:	
Dimensiones de la caja o probeta	
Largo [cm]=	5.060
Ancho [cm]=	5.059
H_0 [cm]=	2.1270
A_0 [cm ²]=	25.5973
W_m [g]=	78.8959
γ_m [t/m ³]=	1.4491
P [kg]=	12.7986
σ_N [kg/cm ²]=	0.5000
Micro_v [mm]	
Lo=	5.4610
Lf=	4.9530
Δh_{cons} [mm]=	0.5080
H_c [mm]=	2.0762

	$H_{s/suelto}$ [cm]	$H_{r/suelto}$ [cm]
1	4.007	1.880
2	4.009	1.880
3	4.006	1.880
4	4.006	1.880
Promedio	4.007	1.880
k_{anillo} [kg/mm]=	60.3379	

TIEMPO	LECTURA	T_{total}	MICRO _h	$\delta_{total-h}$	MICRO _v	$\delta_{total-v}$	γ	τ_{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.013	0.000	5.022	0.000	4.953	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.033	1.207	5.022	0.000	4.951	-0.002	0.000	0.047
00:00:10	0.046	1.991	5.029	0.007	4.950	-0.003	0.034	0.078
00:00:15	0.056	2.595	5.044	0.022	4.948	-0.005	0.106	0.101
00:00:20	0.062	2.957	5.064	0.042	4.942	-0.011	0.202	0.116
00:00:25	0.068	3.319	5.080	0.058	4.936	-0.017	0.279	0.130
00:00:30	0.074	3.681	5.105	0.083	4.926	-0.027	0.400	0.144
00:00:40	0.083	4.224	5.154	0.132	4.907	-0.046	0.636	0.165
00:00:50	0.091	4.706	5.199	0.177	4.895	-0.058	0.853	0.184
00:01:00	0.096	5.008	5.243	0.221	4.883	-0.070	1.064	0.196
00:01:10	0.103	5.430	5.284	0.262	4.874	-0.079	1.262	0.212
00:01:20	0.111	5.913	5.332	0.310	4.864	-0.089	1.493	0.231
00:01:30	0.119	6.396	5.387	0.365	4.853	-0.100	1.758	0.250
00:01:45	0.127	6.879	5.450	0.428	4.844	-0.109	2.061	0.269
00:02:00	0.134	7.301	5.528	0.506	4.836	-0.117	2.437	0.285
00:02:15	0.141	7.723	5.604	0.582	4.827	-0.126	2.803	0.302
00:02:30	0.145	7.965	5.684	0.662	4.818	-0.135	3.189	0.311
00:02:45	0.151	8.327	5.757	0.735	4.811	-0.142	3.540	0.325
00:03:00	0.151	8.327	5.838	0.816	4.798	-0.155	3.930	0.325
00:03:15	0.160	8.870	5.908	0.886	4.795	-0.158	4.267	0.347
00:03:30	0.166	9.232	5.985	0.963	4.791	-0.162	4.638	0.361
00:03:45	0.168	9.352	6.065	1.043	4.787	-0.166	5.024	0.365
00:04:00	0.175	9.775	6.148	1.126	4.786	-0.167	5.423	0.382
00:04:15	0.181	10.137	6.220	1.198	4.786	-0.167	5.770	0.396
00:04:30	0.183	10.257	6.307	1.285	4.786	-0.167	6.189	0.401
00:04:45	0.185	10.378	6.387	1.365	4.786	-0.167	6.575	0.405
00:05:00	0.190	10.680	6.468	1.446	4.786	-0.167	6.965	0.417
00:05:15	0.192	10.800	6.546	1.524	4.786	-0.167	7.340	0.422
00:05:30	0.195	10.981	6.631	1.609	4.786	-0.167	7.750	0.429
00:05:45	0.196	11.042	6.715	1.693	4.786	-0.167	8.154	0.431
00:06:00	0.197	11.102	6.806	1.784	4.786	-0.167	8.593	0.434
00:06:15	0.199	11.223	6.879	1.857	4.786	-0.167	8.944	0.438
00:06:30	0.201	11.344	6.972	1.950	4.792	-0.161	9.392	0.443
00:06:45	0.201	11.344	7.042	2.020	4.796	-0.157	9.729	0.443
00:07:00	0.203	11.464	7.125	2.103	4.801	-0.152	10.129	0.448
00:07:15	0.204	11.525	7.202	2.180	4.805	-0.148	10.500	0.450
00:07:30	0.205	11.585	7.287	2.265	4.810	-0.143	10.909	0.453
00:07:45	0.203	11.464	7.370	2.348	4.811	-0.142	11.309	0.448
00:08:00	0.205	11.585	7.454	2.432	4.811	-0.142	11.714	0.453
00:08:15	0.206	11.645	7.538	2.516	4.812	-0.141	12.118	0.455
00:08:30	0.206	11.645	7.620	2.598	4.815	-0.138	12.513	0.455
00:08:45	0.208	11.766	7.698	2.676	4.820	-0.133	12.889	0.460
00:09:00	0.208	11.766	7.785	2.763	4.823	-0.130	13.308	0.460
00:09:15	0.207	11.706	7.865	2.843	4.828	-0.125	13.693	0.457
00:09:30	0.206	11.645	7.954	2.932	4.830	-0.123	14.122	0.455
00:09:45	0.207	11.706	8.027	3.005	4.833	-0.120	14.474	0.457
00:10:00	0.208	11.766	8.125	3.103	4.842	-0.111	14.946	0.460
00:11:00	0.205	11.585	8.458	3.436	4.869	-0.084	16.549	0.453
00:12:00	0.205	11.585	8.792	3.770	4.897	-0.056	18.158	0.453
00:13:00	0.203	11.464	9.129	4.107	4.919	-0.034	19.781	0.448
00:14:00	0.198	11.163	9.468	4.446	4.926	-0.027	21.414	0.436
00:15:00	0.190	10.680	9.908	4.886	4.936	-0.017	23.533	0.417
00:16:00	0.195	10.981	10.127	5.105	4.946	-0.007	24.588	0.429
00:17:00	0.191	10.740	10.476	5.454	4.961	0.008	26.269	0.420
00:18:00	0.190	10.680	10.820	5.798	4.968	0.015	27.926	0.417
00:19:00	0.192	10.800	11.153	6.131	4.974	0.021	29.530	0.422
00:20:00	0.190	10.680	11.474	6.452	4.976	0.023	31.076	0.417

Tabla 5.18 Muestra M-3, estado suelto, arena bien graduada $\sigma_N=0.5$

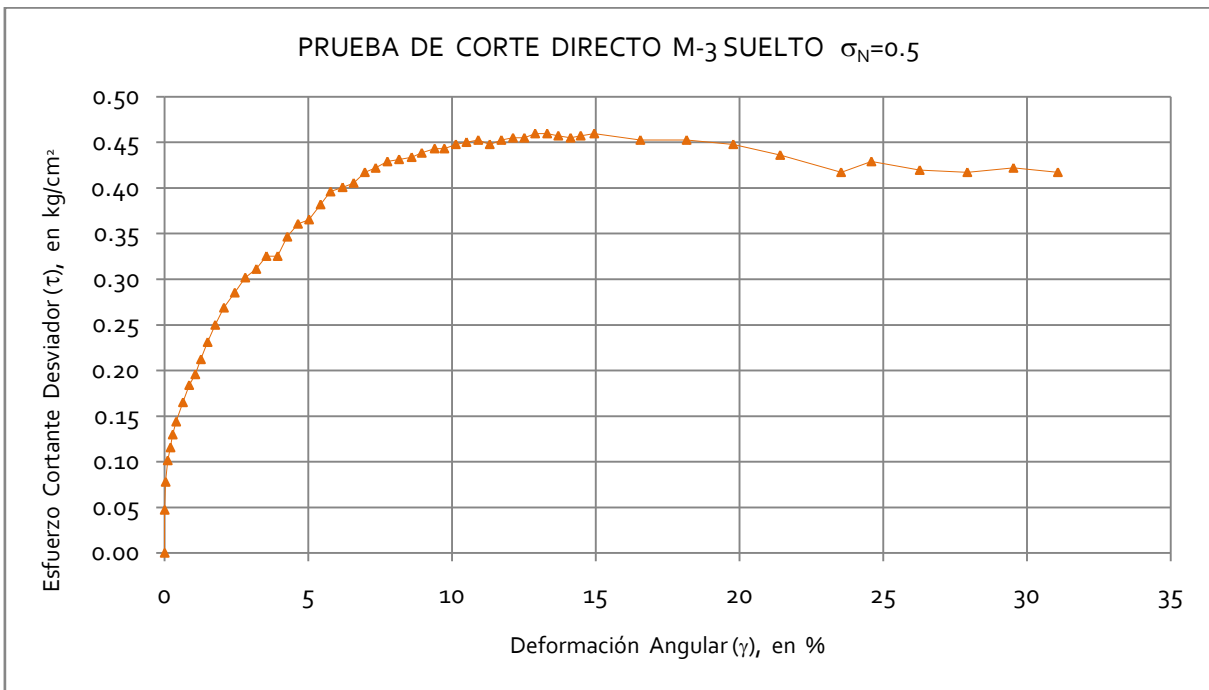


Figura 5.35 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-3 Estado Suelto $\sigma_N=0.5$

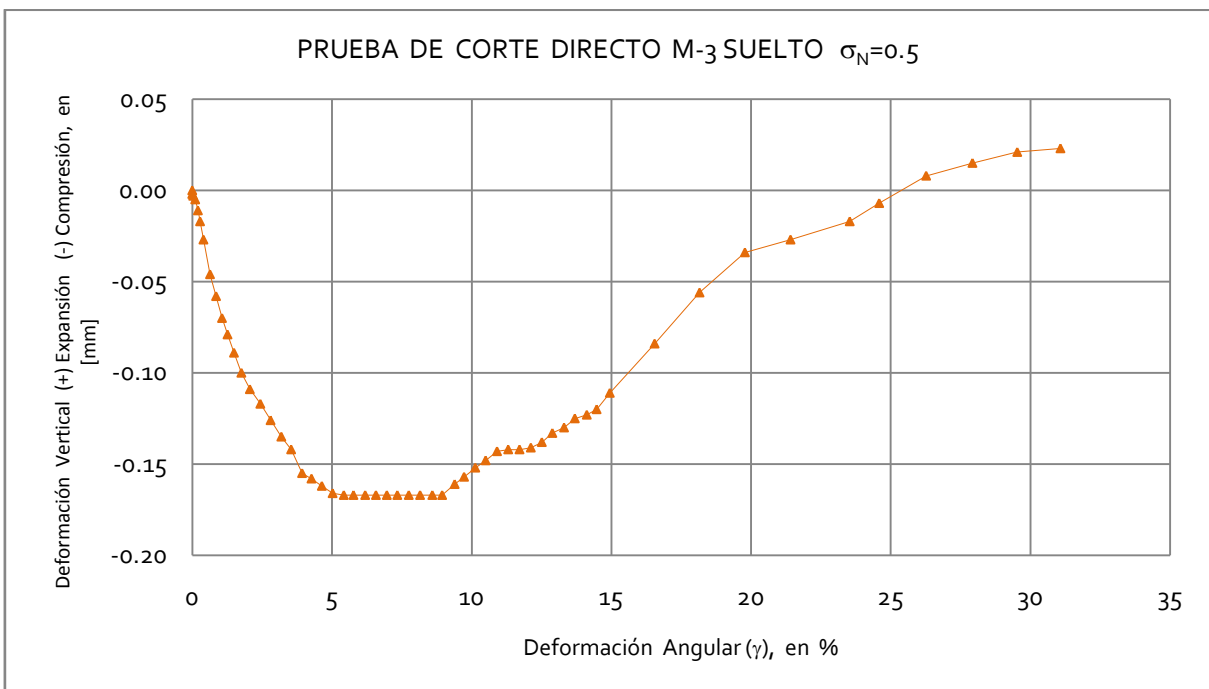


Figura 5.36 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-3 Estado Suelto $\sigma_N=0.5$

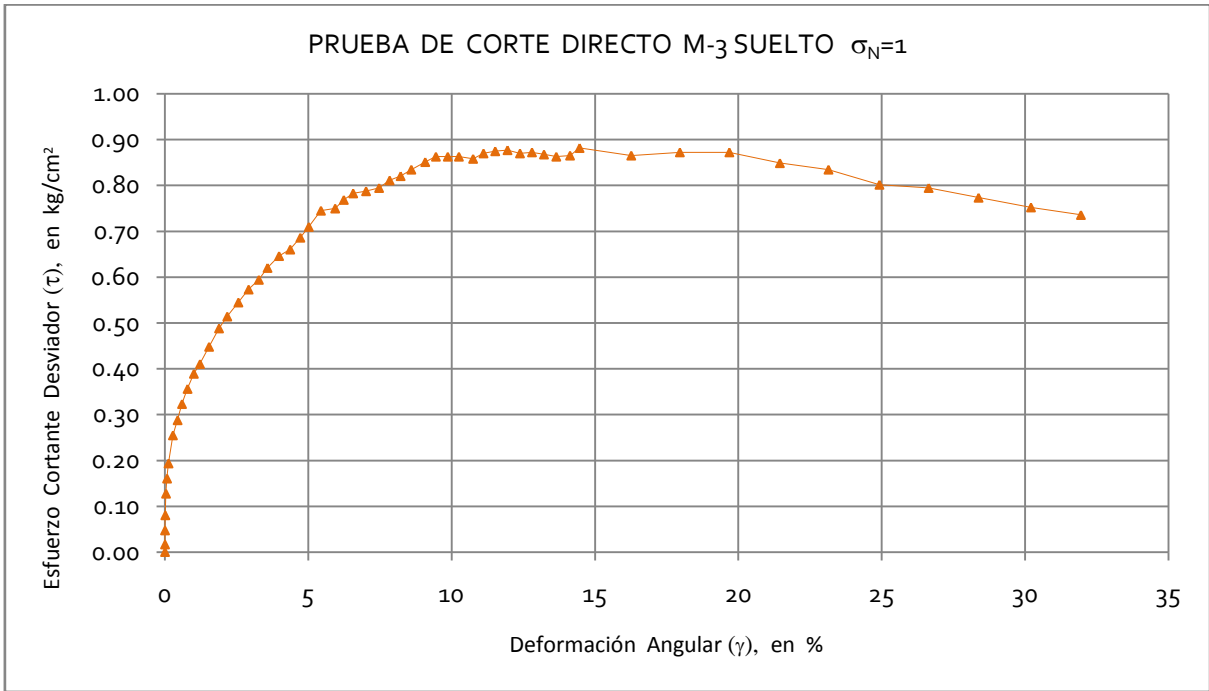


Figura 5.37 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-3 Estado Suelto $\sigma_N=1$

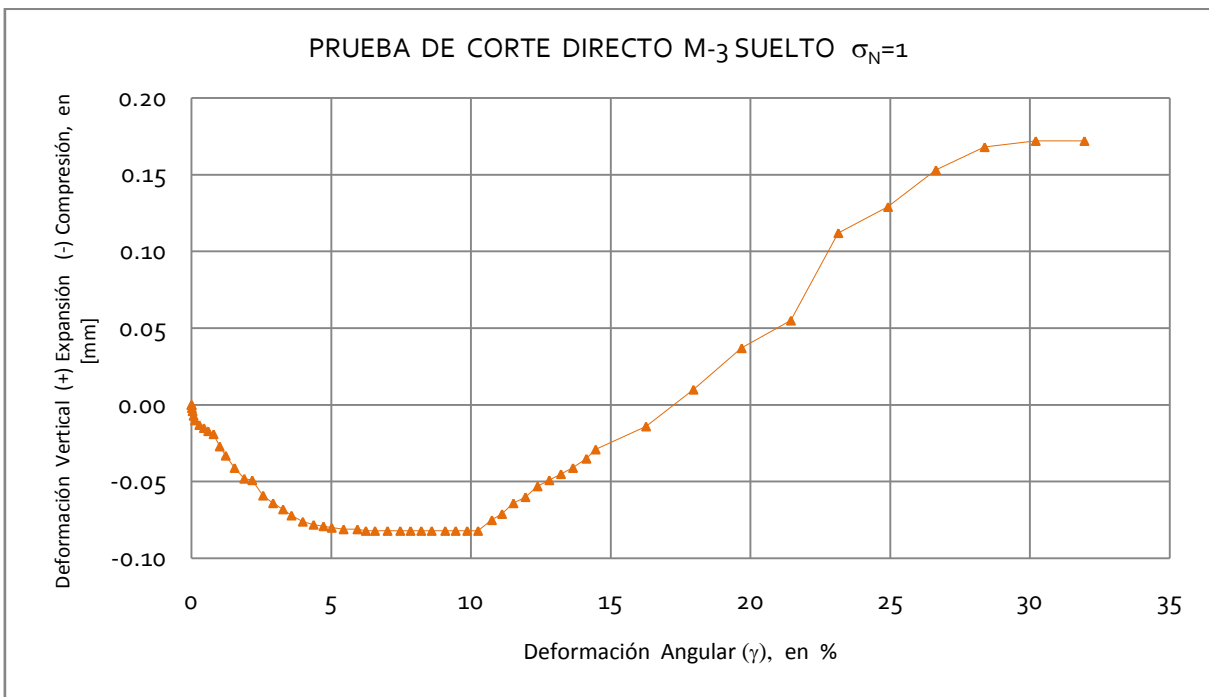


Figura 5.4 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-3 Estado Suelto $\sigma_N=1$



UNAM
FACULTAD DE
INGENIERÍA

LABORATORIO DE
GEOTÉCNIA
"FZM"

Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-3 suelto
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:		
Dimensiones de la caja o probeta		H ₀ [cm]= 2.0670
Largo [cm]= 5.060		A ₀ [cm ²]= 25.5973
Ancho [cm]= 5.059		W _m [g]= 78.8959
		γ _m [t/m ³]= 1.4911
		P [kg]= 38.3958
		σ _N [kg/cm ²]= 1.5000
		MICRO_v [mm]
		Lo= 5.4630
		Lf= 5.1160
		Δh _{cons} [mm]= 0.3470
		Hc[mm]= 2.0323

	H _{s/suelto} [cm]	H _{c/suelto} [cm]
1	4.007	1.940
2	4.009	1.940
3	4.006	1.940
4	4.006	1.940
Promedio	4.007	1.940
K _{sanillo} [kg/mm]=	60.3379	

TIEMPO	LECTURA	T _{total}	MICRO _h	δ _{total-h}	MICRO _v	δ _{total-v}	γ	τ _{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.012	0.000	5.060	0.000	5.116	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.027	0.905	5.060	0.000	5.116	0.000	0.000	0.035
00:00:10	0.044	1.931	5.061	0.001	5.115	-0.001	0.005	0.075
00:00:15	0.061	2.957	5.064	0.004	5.115	-0.001	0.020	0.116
00:00:20	0.079	4.043	5.069	0.009	5.114	-0.002	0.044	0.158
00:00:25	0.094	4.948	5.077	0.017	5.114	-0.002	0.084	0.193
00:00:30	0.105	5.611	5.084	0.024	5.113	-0.003	0.118	0.219
00:00:40	0.122	6.637	5.100	0.040	5.111	-0.005	0.197	0.259
00:00:50	0.152	8.447	5.142	0.082	5.109	-0.007	0.403	0.330
00:01:00	0.168	9.413	5.177	0.117	5.102	-0.014	0.576	0.368
00:01:10	0.186	10.499	5.208	0.148	5.100	-0.016	0.728	0.410
00:01:20	0.201	11.404	5.247	0.187	5.093	-0.023	0.920	0.446
00:01:30	0.217	12.369	5.286	0.226	5.086	-0.030	1.112	0.483
00:01:45	0.238	13.636	5.341	0.281	5.078	-0.038	1.383	0.533
00:02:00	0.257	14.783	5.407	0.347	5.069	-0.047	1.707	0.578
00:02:15	0.276	15.929	5.469	0.409	5.061	-0.055	2.012	0.622
00:02:30	0.294	17.015	5.538	0.478	5.053	-0.063	2.352	0.665
00:02:45	0.309	17.920	5.599	0.539	5.046	-0.070	2.652	0.700
00:03:00	0.326	18.946	5.664	0.604	5.042	-0.074	2.972	0.740
00:03:15	0.346	20.153	5.725	0.665	5.038	-0.078	3.272	0.787
00:03:30	0.362	21.118	5.795	0.735	5.034	-0.082	3.617	0.825
00:03:45	0.378	22.084	5.861	0.801	5.031	-0.085	3.941	0.863
00:04:00	0.392	22.928	5.942	0.882	5.028	-0.088	4.340	0.896
00:04:15	0.410	24.014	6.004	0.944	5.027	-0.089	4.645	0.938
00:04:30	0.420	24.618	6.065	1.005	5.027	-0.089	4.945	0.962
00:04:45	0.430	25.221	6.147	1.087	5.027	-0.089	5.349	0.985
00:05:00	0.443	26.006	6.222	1.162	5.027	-0.089	5.718	1.016
00:05:15	0.452	26.549	6.286	1.226	5.027	-0.089	6.033	1.037
00:05:30	0.457	26.850	6.365	1.305	5.027	-0.089	6.421	1.049
00:05:45	0.465	27.333	6.435	1.375	5.027	-0.089	6.766	1.068
00:06:00	0.473	27.816	6.514	1.454	5.027	-0.089	7.154	1.087
00:06:15	0.480	28.238	6.584	1.524	5.027	-0.089	7.499	1.103
00:06:30	0.484	28.479	6.671	1.611	5.027	-0.089	7.927	1.113
00:06:45	0.493	29.023	6.741	1.681	5.027	-0.089	8.271	1.134
00:07:00	0.496	29.204	6.828	1.768	5.027	-0.089	8.700	1.141
00:07:15	0.505	29.747	6.888	1.828	5.027	-0.089	8.995	1.162
00:07:30	0.505	29.747	6.974	1.914	5.027	-0.089	9.418	1.162
00:07:45	0.511	30.109	7.048	1.988	5.027	-0.089	9.782	1.176
00:08:00	0.511	30.109	7.140	2.080	5.027	-0.089	10.235	1.176
00:08:15	0.519	30.591	7.203	2.143	5.027	-0.089	10.545	1.195
00:08:30	0.519	30.591	7.285	2.225	5.033	-0.083	10.948	1.195
00:08:45	0.522	30.772	7.363	2.303	5.039	-0.077	11.332	1.202
00:09:00	0.526	31.014	7.445	2.385	5.046	-0.070	11.735	1.212
00:09:15	0.531	31.315	7.525	2.465	5.054	-0.062	12.129	1.223
00:09:30	0.522	30.772	7.620	2.560	5.061	-0.055	12.597	1.202
00:09:45	0.525	30.953	7.694	2.634	5.066	-0.050	12.961	1.209
00:10:00	0.519	30.591	7.788	2.728	5.073	-0.043	13.423	1.195
00:11:00	0.521	30.712	8.118	3.058	5.092	-0.024	15.047	1.200
00:12:00	0.526	31.014	8.438	3.378	5.103	-0.013	16.622	1.212
00:13:00	0.531	31.315	8.764	3.704	5.114	-0.002	18.226	1.223
00:14:00	0.514	30.290	9.108	4.048	5.128	0.012	19.918	1.183
00:15:00	0.513	30.229	9.441	4.381	5.144	0.028	21.557	1.181
00:16:00	0.506	29.807	9.776	4.716	5.152	0.036	23.205	1.164
00:17:00	0.500	29.445	10.117	5.057	5.156	0.040	24.883	1.150
00:18:00	0.488	28.721	10.460	5.400	5.156	0.040	26.571	1.122
00:19:00	0.488	28.721	10.799	5.739	5.156	0.040	28.239	1.122
00:20:00	0.492	28.962	11.133	6.073	5.156	0.040	29.882	1.131

Tabla 5.20 Muestra M-3, estado suelto, arena bien graduada σ_N=1.5

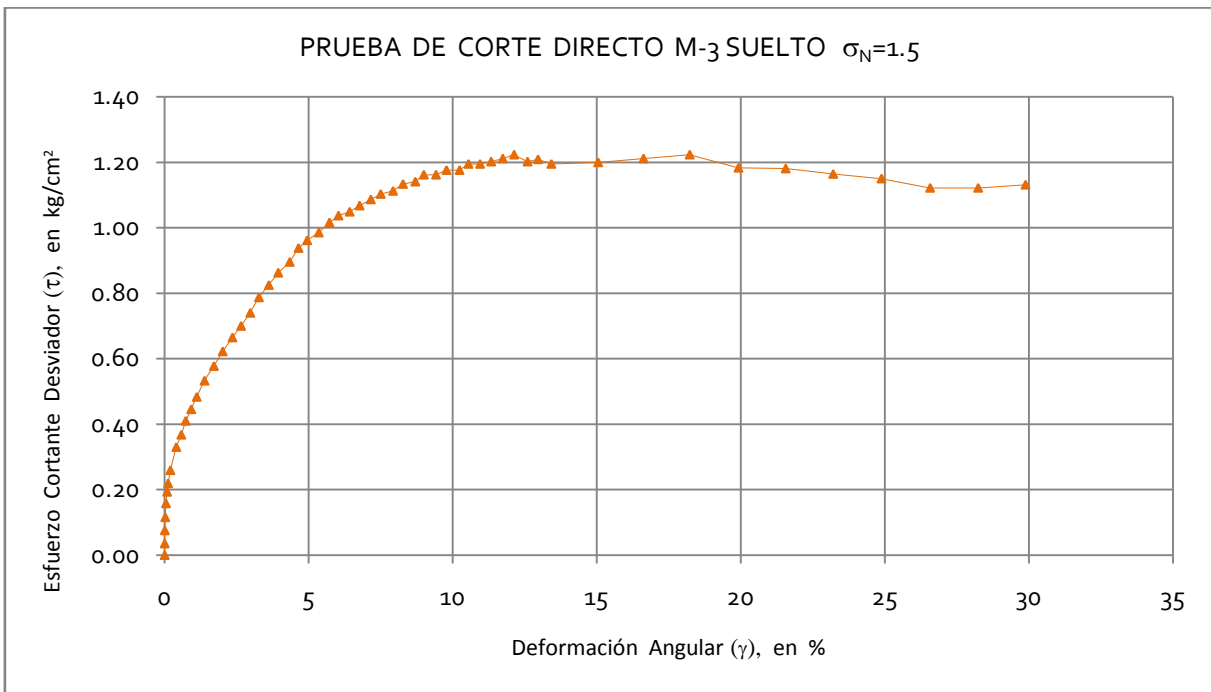


Figura 5.39 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-3 Estado Suelto $\sigma_N=1.5$

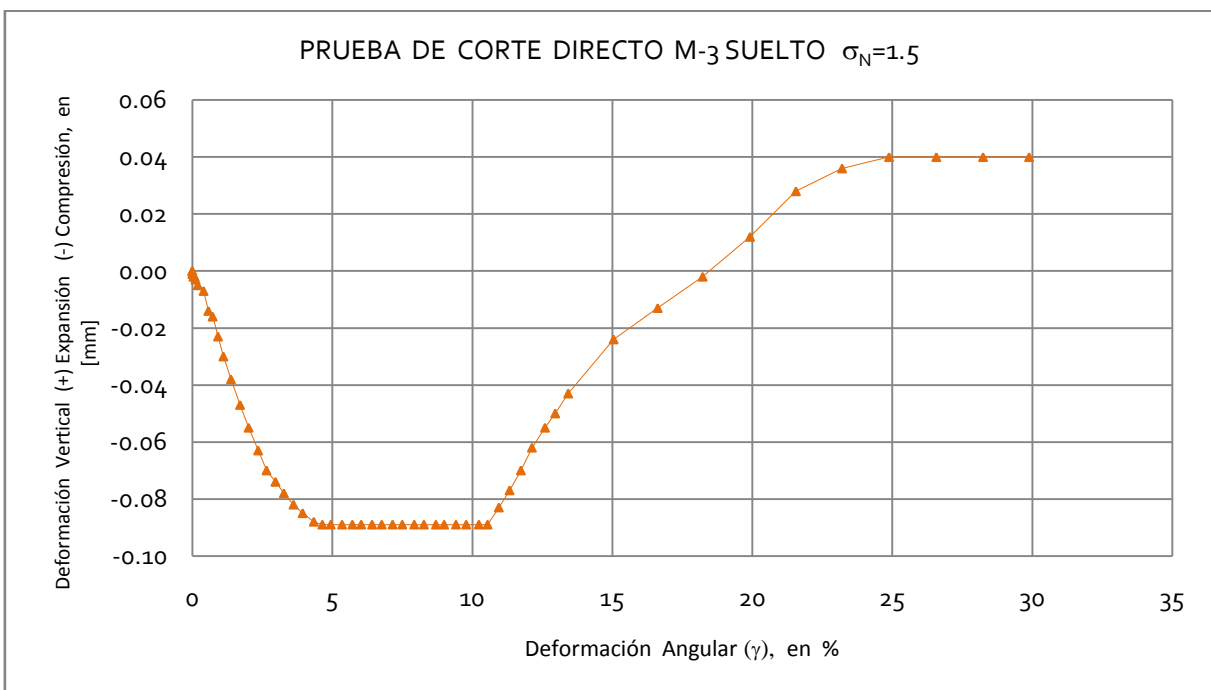


Figura 5.40 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-3 Estado Suelto $\sigma_N=1.5$



UNAM

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"

Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-3 DENSO
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:	
Dimensiones de la caja o probeta	H ₀ [cm]= 1.9070
Largo [cm]= 5.060	A _v [cm ²]= 25.5973
Ancho [cm]= 5.059	Wm [g]= 82.4921
	γm [t/m ³]= 1.6899
	P [kg]= 6.3993
	σ _N [kg/cm ²]= 0.2500
	Micr _v [mm]
	Lo= 5.0890
	Lf= 4.3690
	Δh _{cons} [mm]= 0.7200
	Hc[mm]= 1.8350

	H _{s/suelo} [cm]	H _{c/suelo} [cm]
1	4.007	2.100
2	4.009	2.100
3	4.006	2.100
4	4.006	2.100
Promedio	4.007	2.100
k _{anillo} [kg/mm]	60.3379	

TIEMPO	LECTURA	T _{total}	MICRO _h	δ _{total-h}	MICRO _v	δ _{total-v}	γ	τ _{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.019	0.000	5.461	0.000	4.369	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.041	1.327	5.483	0.022	4.366	-0.003	0.120	0.052
00:00:10	0.052	1.991	5.499	0.038	4.362	-0.007	0.207	0.078
00:00:15	0.059	2.414	5.511	0.050	4.358	-0.011	0.272	0.094
00:00:20	0.068	2.957	5.528	0.067	4.356	-0.013	0.365	0.116
00:00:25	0.071	3.138	5.544	0.083	4.346	-0.023	0.452	0.123
00:00:30	0.082	3.801	5.565	0.104	4.345	-0.024	0.567	0.149
00:00:40	0.094	4.525	5.605	0.144	4.340	-0.029	0.785	0.177
00:00:50	0.105	5.189	5.649	0.188	4.333	-0.036	1.025	0.203
00:01:00	0.114	5.732	5.687	0.226	4.331	-0.038	1.232	0.224
00:01:10	0.121	6.154	5.730	0.269	4.327	-0.042	1.466	0.240
00:01:20	0.129	6.637	5.766	0.305	4.327	-0.042	1.662	0.259
00:01:30	0.137	7.120	5.811	0.350	4.327	-0.042	1.907	0.278
00:01:45	0.147	7.723	5.889	0.428	4.327	-0.042	2.332	0.302
00:02:00	0.153	8.085	5.950	0.489	4.327	-0.042	2.665	0.316
00:02:15	0.159	8.447	6.023	0.562	4.333	-0.036	3.063	0.330
00:02:30	0.164	8.749	6.095	0.634	4.346	-0.023	3.455	0.342
00:02:45	0.169	9.051	6.170	0.709	4.361	-0.008	3.864	0.354
00:03:00	0.171	9.171	6.251	0.790	4.378	0.009	4.305	0.358
00:03:15	0.172	9.232	6.324	0.863	4.399	0.030	4.703	0.361
00:03:30	0.174	9.352	6.404	0.943	4.423	0.054	5.139	0.365
00:03:45	0.175	9.413	6.478	1.017	4.445	0.076	5.542	0.368
00:04:00	0.174	9.352	6.564	1.103	4.472	0.103	6.011	0.365
00:04:15	0.174	9.352	6.648	1.187	4.500	0.131	6.469	0.365
00:04:30	0.174	9.352	6.724	1.263	4.524	0.155	6.883	0.365
00:04:45	0.172	9.232	6.808	1.347	4.550	0.181	7.341	0.361
00:05:00	0.168	8.990	6.898	1.437	4.576	0.207	7.831	0.351
00:05:15	0.167	8.930	6.978	1.517	4.600	0.231	8.267	0.349
00:05:30	0.165	8.809	7.064	1.603	4.626	0.257	8.736	0.344
00:05:45	0.164	8.749	7.160	1.699	4.656	0.287	9.259	0.342
00:06:00	0.161	8.568	7.247	1.786	4.681	0.312	9.733	0.335
00:06:15	0.157	8.327	7.323	1.862	4.704	0.335	10.147	0.325
00:06:30	0.155	8.206	7.416	1.955	4.729	0.360	10.654	0.321
00:06:45	0.151	7.965	7.506	2.045	4.751	0.382	11.144	0.311
00:07:00	0.147	7.723	7.596	2.135	4.776	0.407	11.635	0.302
00:07:15	0.146	7.663	7.680	2.219	4.797	0.428	12.093	0.299
00:07:30	0.144	7.542	7.770	2.309	4.818	0.449	12.583	0.295
00:07:45	0.143	7.482	7.846	2.385	4.834	0.465	12.997	0.292
00:08:00	0.140	7.301	7.934	2.473	4.851	0.482	13.477	0.285
00:08:15	0.137	7.120	8.020	2.559	4.869	0.500	13.946	0.278
00:08:30	0.133	6.879	8.116	2.655	4.884	0.515	14.469	0.269
00:08:45	0.133	6.879	8.193	2.732	4.897	0.528	14.888	0.269
00:09:00	0.130	6.698	8.284	2.823	4.912	0.543	15.384	0.262
00:09:15	0.126	6.456	8.371	2.910	4.919	0.550	15.858	0.252
00:09:30	0.121	6.154	8.462	3.001	4.930	0.561	16.354	0.240
00:09:45	0.120	6.094	8.542	3.081	4.937	0.568	16.790	0.238
00:10:00	0.120	6.094	8.631	3.170	4.947	0.578	17.275	0.238
00:11:00	0.116	5.853	8.976	3.515	4.960	0.591	19.155	0.229
00:12:00	0.114	5.732	9.317	3.856	4.968	0.599	21.014	0.224
00:13:00	0.110	5.491	9.657	4.196	4.972	0.603	22.866	0.215
00:14:00	0.111	5.551	9.997	4.536	4.994	0.625	24.719	0.217
00:15:00	0.110	5.491	10.327	4.866	5.023	0.654	26.518	0.215
00:16:00	0.112	5.611	10.651	5.190	5.046	0.677	28.283	0.219
00:17:00	0.109	5.430	11.002	5.541	5.064	0.695	30.196	0.212
00:18:00	0.106	5.249	11.344	5.883	5.078	0.709	32.060	0.205
00:19:00	0.104	5.129	11.689	6.228	5.082	0.713	33.940	0.200
00:20:00	0.105	5.189	12.032	6.571	5.082	0.713	35.809	0.203

Tabla 5.21 Muestra M-3, estado denso, arena bien graduada σ_N=0.25

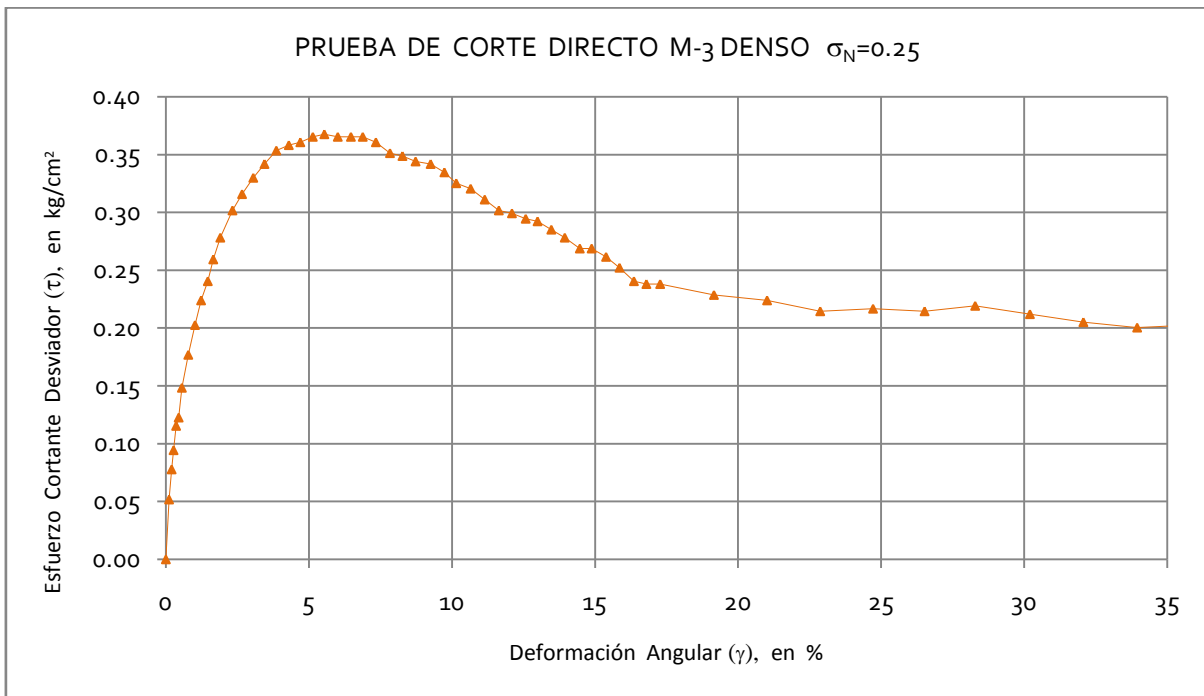


Figura 5.41 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-3 Estado Denso $\sigma_N=0.25$

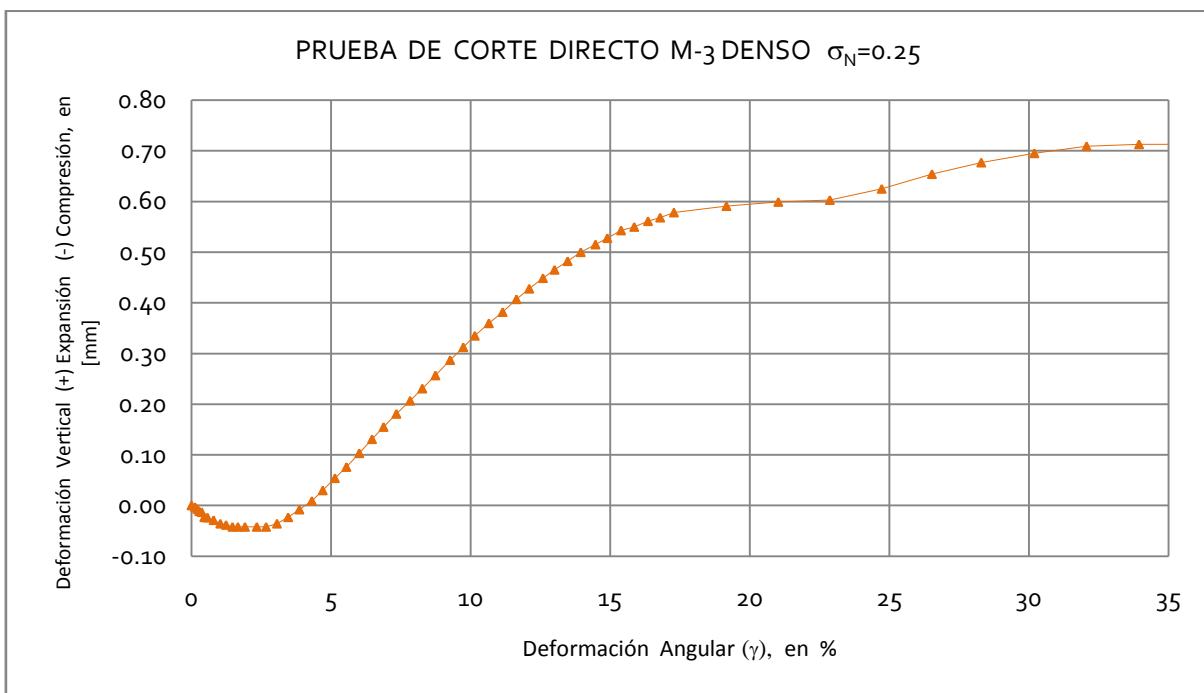


Figura 5.42 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-3 Estado Denso $\sigma_N=0.25$



FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"

Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-3 DENSO
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:	
Dimensiones de la caja o probeta	
Largo [cm]=	5.060
Ancho [cm]=	5.059
H_0 [cm]=	2.0470
A_0 [cm ²]=	25.5973
W_m [g]=	82.4921
γ_m [t/m ³]=	1.5743
P [kg]=	12.7986
σ_N [kg/cm ²]=	0.5000
MICRO_v [mm]	
L_0 =	4.5630
L_f =	4.4980
Δh_{cons} [mm]=	0.0650
H_c [mm]=	2.0405

	$H_{s/\text{suelo}}$ [cm]	$H_{c/\text{suelo}}$ [cm]
1	4.007	1.960
2	4.009	1.960
3	4.006	1.960
4	4.006	1.960
Promedio	4.007	1.960
k_{anillo} [kg/mm]=	60.3379	

TIEMPO	LECTURA	T_{total}	MICRO_h	$\delta_{\text{total-h}}$	MICRO_v	$\delta_{\text{total-v}}$	γ	τ_{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.012	0.000	5.289	0.000	4.498	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.026	0.845	5.291	0.002	4.498	0.000	0.010	0.033
00:00:10	0.038	1.569	5.296	0.007	4.498	0.000	0.034	0.061
00:00:15	0.051	2.353	5.308	0.019	4.498	0.000	0.093	0.092
00:00:20	0.061	2.957	5.319	0.030	4.498	0.000	0.147	0.116
00:00:25	0.072	3.620	5.332	0.043	4.498	0.000	0.211	0.141
00:00:30	0.082	4.224	5.347	0.058	4.498	0.000	0.284	0.165
00:00:40	0.103	5.491	5.379	0.090	4.498	0.000	0.441	0.215
00:00:50	0.121	6.577	5.408	0.119	4.498	0.000	0.583	0.257
00:01:00	0.139	7.663	5.441	0.152	4.498	0.000	0.745	0.299
00:01:10	0.157	8.749	5.474	0.185	4.498	0.000	0.907	0.342
00:01:20	0.174	9.775	5.505	0.216	4.498	0.000	1.059	0.382
00:01:30	0.190	10.740	5.541	0.252	4.498	0.000	1.235	0.420
00:01:45	0.209	11.887	5.597	0.308	4.508	0.010	1.509	0.464
00:02:00	0.226	12.912	5.660	0.371	4.522	0.024	1.818	0.504
00:02:15	0.241	13.817	5.722	0.433	4.535	0.037	2.122	0.540
00:02:30	0.254	14.602	5.800	0.511	4.556	0.058	2.504	0.570
00:02:45	0.261	15.024	5.856	0.567	4.570	0.072	2.779	0.587
00:03:00	0.267	15.386	5.932	0.643	4.592	0.094	3.151	0.601
00:03:15	0.273	15.748	6.007	0.718	4.613	0.115	3.519	0.615
00:03:30	0.277	15.990	6.088	0.799	4.638	0.140	3.916	0.625
00:03:45	0.281	16.231	6.154	0.865	4.658	0.160	4.239	0.634
00:04:00	0.282	16.291	6.230	0.941	4.682	0.184	4.612	0.636
00:04:15	0.282	16.291	6.310	1.021	4.705	0.207	5.004	0.636
00:04:30	0.280	16.171	6.407	1.118	4.732	0.234	5.479	0.632
00:04:45	0.280	16.171	6.477	1.188	4.753	0.255	5.822	0.632
00:05:00	0.279	16.110	6.566	1.277	4.781	0.283	6.258	0.629
00:05:15	0.273	15.748	6.646	1.357	4.805	0.307	6.650	0.615
00:05:30	0.270	15.567	6.742	1.453	4.838	0.340	7.121	0.608
00:05:45	0.261	15.024	6.824	1.535	4.860	0.362	7.523	0.587
00:06:00	0.257	14.783	6.909	1.620	4.885	0.387	7.939	0.578
00:06:15	0.251	14.421	6.997	1.708	4.912	0.414	8.370	0.563
00:06:30	0.248	14.240	7.089	1.800	4.937	0.439	8.821	0.556
00:06:45	0.244	13.998	7.163	1.874	4.956	0.458	9.184	0.547
00:07:00	0.238	13.636	7.258	1.969	4.977	0.479	9.650	0.533
00:07:15	0.234	13.395	7.345	2.056	4.995	0.497	10.076	0.523
00:07:30	0.233	13.335	7.430	2.141	5.012	0.514	10.493	0.521
00:07:45	0.232	13.274	7.508	2.219	5.026	0.528	10.875	0.519
00:08:00	0.231	13.214	7.595	2.306	5.040	0.542	11.301	0.516
00:08:15	0.225	12.852	7.679	2.390	5.054	0.556	11.713	0.502
00:08:30	0.216	12.309	7.774	2.485	5.063	0.565	12.178	0.481
00:08:45	0.217	12.369	7.850	2.561	5.073	0.575	12.551	0.483
00:09:00	0.211	12.007	7.950	2.661	5.077	0.579	13.041	0.469
00:09:15	0.213	12.128	8.029	2.740	5.085	0.587	13.428	0.474
00:09:30	0.211	12.007	8.114	2.825	5.092	0.594	13.845	0.469
00:09:45	0.211	12.007	8.196	2.907	5.100	0.602	14.247	0.469
00:10:00	0.211	12.007	8.282	2.993	5.107	0.609	14.668	0.469
00:11:00	0.209	11.887	8.628	3.339	5.143	0.645	16.364	0.464
00:12:00	0.207	11.766	8.949	3.660	5.159	0.661	17.937	0.460
00:13:00	0.201	11.404	9.285	3.996	5.180	0.682	19.583	0.446
00:14:00	0.206	11.706	9.614	4.325	5.196	0.698	21.196	0.457
00:15:00	0.200	11.344	9.947	4.658	5.218	0.720	22.828	0.443
00:16:00	0.204	11.585	10.304	5.015	5.222	0.724	24.577	0.453
00:17:00	0.208	11.826	10.636	5.347	5.222	0.724	26.204	0.462
00:18:00	0.217	12.369	10.957	5.668	5.222	0.724	27.778	0.483
00:19:00	0.223	12.731	11.293	6.004	5.222	0.724	29.424	0.497
00:20:00	0.224	12.792	11.633	6.344	5.222	0.724	31.090	0.500

Tabla 5.22 Muestra M-3, estado denso, arena bien graduada $\sigma_N=0.5$

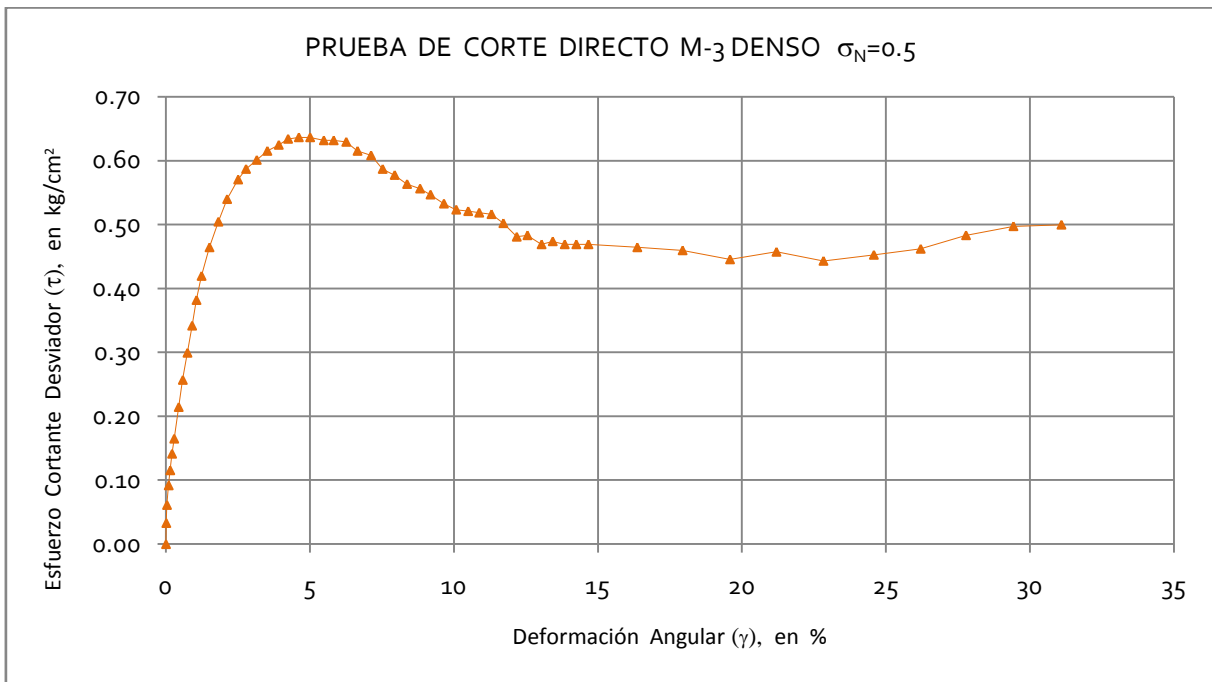


Figura 5.43 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-3 Estado Denso $\sigma_N=0.5$

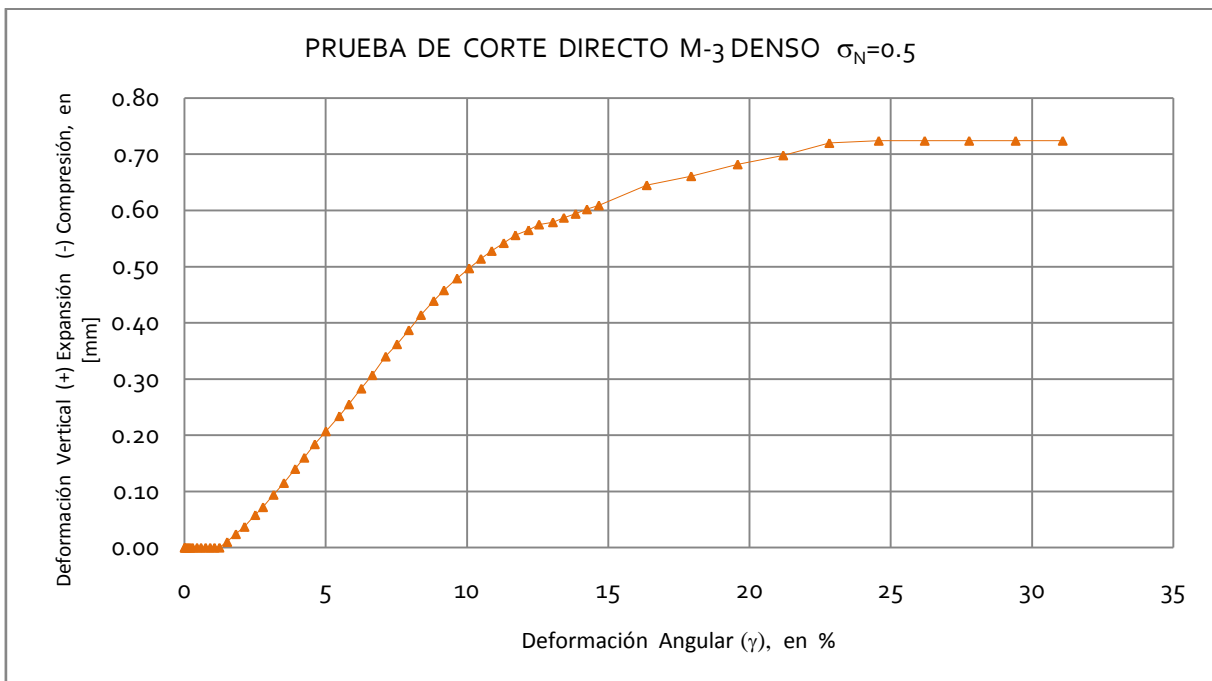


Figura 5.44 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-3 Estado Denso $\sigma_N=0.5$



UNAM
FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"

Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-3 DENSO
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:	
Dimensiones de la caja o probeta	H ₀ [cm]= 2.0470
Largo [cm]= 5.060	A _N [cm ²]= 25.5973
Ancho [cm]= 5.059	Wm [g]= 82.4921
	γm [t/m ³]= 1.5743
	P [kg]= 25.5972
	σ _N [kg/cm ²]= 1.0000
	MICRO _v [mm]
	Lo= 4.8350
	Lf= 3.3910
	Δh _{cons} [mm]= 1.4440
	Hc[mm]= 1.9026

	H _{s/suelo} [cm]	H _{c/suelo} [cm]
1	4.007	1.960
2	4.009	1.960
3	4.006	1.960
4	4.006	1.960
Promedio	4.007	1.960

k_{anillo} [kg/mm]= 60.3379

TIEMPO	LECTURA	T _{total}	MICRO _h	δ _{total-h}	MICRO _v	δ _{total-v}	γ	τ _{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.015	0.000	5.237	0.000	3.391	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.028	0.784	5.238	0.001	3.391	0.000	0.005	0.031
00:00:10	0.047	1.931	5.242	0.005	3.391	0.000	0.026	0.075
00:00:15	0.064	2.957	5.246	0.009	3.391	0.000	0.047	0.116
00:00:20	0.081	3.982	5.254	0.017	3.391	0.000	0.089	0.156
00:00:25	0.097	4.948	5.264	0.027	3.391	0.000	0.142	0.193
00:00:30	0.113	5.913	5.275	0.038	3.391	0.000	0.200	0.231
00:00:40	0.140	7.542	5.302	0.065	3.377	-0.014	0.342	0.295
00:00:50	0.163	8.930	5.330	0.093	3.370	-0.021	0.489	0.349
00:01:00	0.182	10.076	5.359	0.122	3.362	-0.029	0.641	0.394
00:01:10	0.203	11.344	5.390	0.153	3.356	-0.035	0.804	0.443
00:01:20	0.220	12.369	5.425	0.188	3.348	-0.043	0.988	0.483
00:01:30	0.240	13.576	5.463	0.226	3.342	-0.049	1.188	0.530
00:01:45	0.262	14.903	5.523	0.286	3.335	-0.056	1.503	0.582
00:02:00	0.288	16.472	5.573	0.336	3.334	-0.057	1.766	0.644
00:02:15	0.309	17.739	5.623	0.386	3.333	-0.058	2.029	0.693
00:02:30	0.330	19.006	5.679	0.442	3.333	-0.058	2.323	0.743
00:02:45	0.351	20.274	5.737	0.500	3.333	-0.058	2.628	0.792
00:03:00	0.371	21.480	5.799	0.562	3.333	-0.058	2.954	0.839
00:03:15	0.388	22.506	5.854	0.617	3.333	-0.058	3.243	0.879
00:03:30	0.407	23.652	5.907	0.670	3.333	-0.058	3.521	0.924
00:03:45	0.422	24.558	5.977	0.740	3.346	-0.045	3.889	0.959
00:04:00	0.440	25.644	6.030	0.793	3.355	-0.036	4.168	1.002
00:04:15	0.453	26.428	6.100	0.863	3.367	-0.024	4.536	1.032
00:04:30	0.468	27.333	6.166	0.929	3.379	-0.012	4.883	1.068
00:04:45	0.477	27.876	6.233	0.996	3.392	0.001	5.235	1.089
00:05:00	0.486	28.419	6.307	1.070	3.409	0.018	5.624	1.110
00:05:15	0.497	29.083	6.373	1.136	3.424	0.033	5.971	1.136
00:05:30	0.506	29.626	6.447	1.210	3.441	0.050	6.360	1.157
00:05:45	0.512	29.988	6.526	1.289	3.461	0.070	6.775	1.172
00:06:00	0.516	30.229	6.595	1.358	3.475	0.084	7.138	1.181
00:06:15	0.517	30.290	6.675	1.438	3.491	0.100	7.558	1.183
00:06:30	0.518	30.350	6.757	1.520	3.508	0.117	7.989	1.186
00:06:45	0.518	30.350	6.833	1.596	3.524	0.133	8.389	1.186
00:07:00	0.516	30.229	6.921	1.684	3.543	0.152	8.851	1.181
00:07:15	0.519	30.410	6.996	1.759	3.561	0.170	9.245	1.188
00:07:30	0.518	30.350	7.068	1.831	3.576	0.185	9.624	1.186
00:07:45	0.504	29.505	7.180	1.943	3.598	0.207	10.212	1.153
00:08:00	0.504	29.505	7.266	2.029	3.614	0.223	10.664	1.153
00:08:15	0.499	29.204	7.337	2.100	3.626	0.235	11.038	1.141
00:08:30	0.489	28.600	7.434	2.197	3.645	0.254	11.547	1.117
00:08:45	0.485	28.359	7.518	2.281	3.668	0.277	11.989	1.108
00:09:00	0.482	28.178	7.608	2.371	3.694	0.303	12.462	1.101
00:09:15	0.477	27.876	7.704	2.467	3.719	0.328	12.966	1.089
00:09:30	0.471	27.514	7.788	2.551	3.740	0.349	13.408	1.075
00:09:45	0.455	26.549	7.910	2.673	3.760	0.369	14.049	1.037
00:10:00	0.441	25.704	7.966	2.729	3.780	0.389	14.344	1.004
00:11:00	0.437	25.463	8.320	3.083	3.841	0.450	16.204	0.995
00:12:00	0.407	23.652	8.680	3.443	3.879	0.488	18.096	0.924
00:13:00	0.389	22.566	9.042	3.805	3.906	0.515	19.999	0.882
00:14:00	0.373	21.601	9.383	4.146	3.923	0.532	21.791	0.844
00:15:00	0.354	20.455	9.754	4.517	3.939	0.548	23.741	0.799
00:16:00	0.353	20.394	10.086	4.849	3.947	0.556	25.486	0.797
00:17:00	0.346	19.972	10.438	5.201	3.947	0.556	27.336	0.780
00:18:00	0.344	19.851	10.786	5.549	3.947	0.556	29.165	0.776
00:19:00	0.348	20.093	11.109	5.872	3.962	0.571	30.863	0.785
00:20:00	0.345	19.912	11.450	6.213	3.977	0.586	32.655	0.778

Tabla 5.23 Muestra M-3, estado denso, arena bien graduada σ_N=1

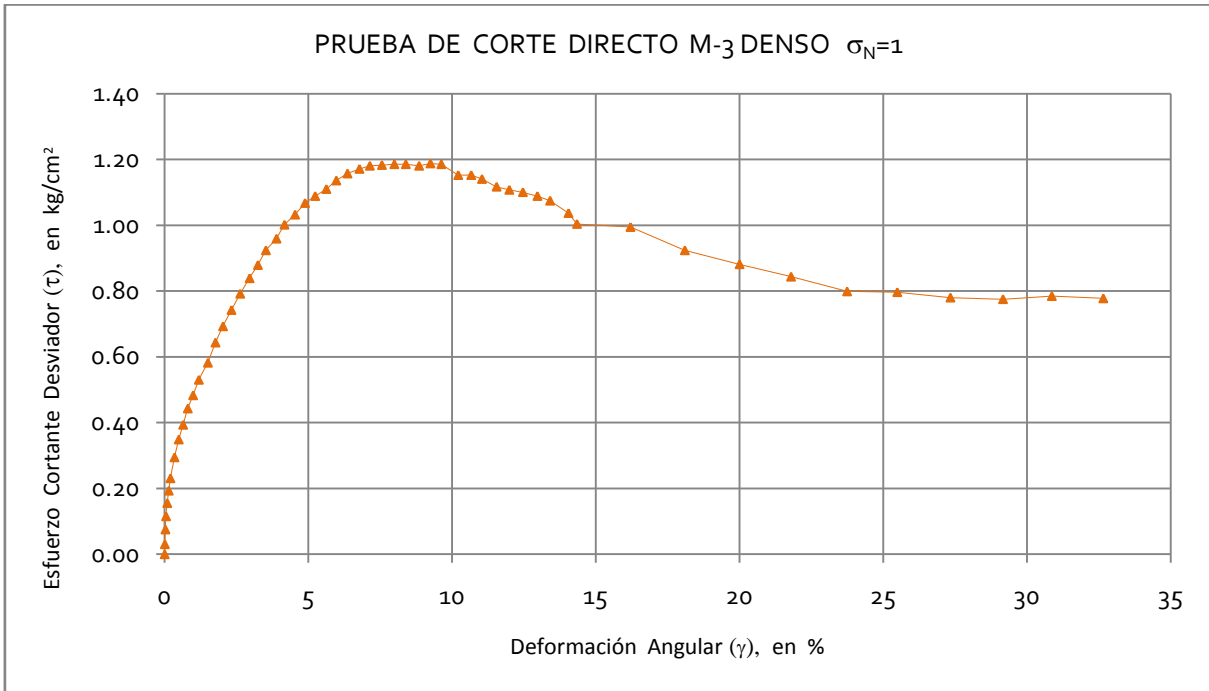


Figura 5.45 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-3 Estado Denso $\sigma_N=1$

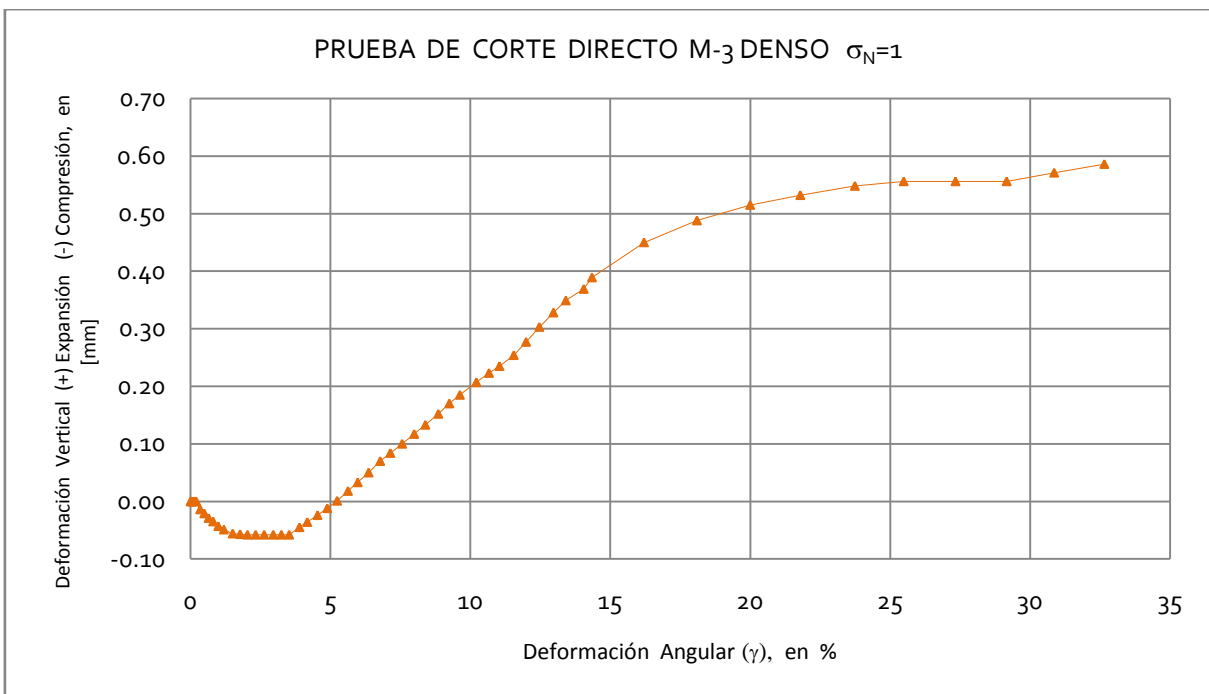


Figura 5.46 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-3 Estado Denso $\sigma_N=1$

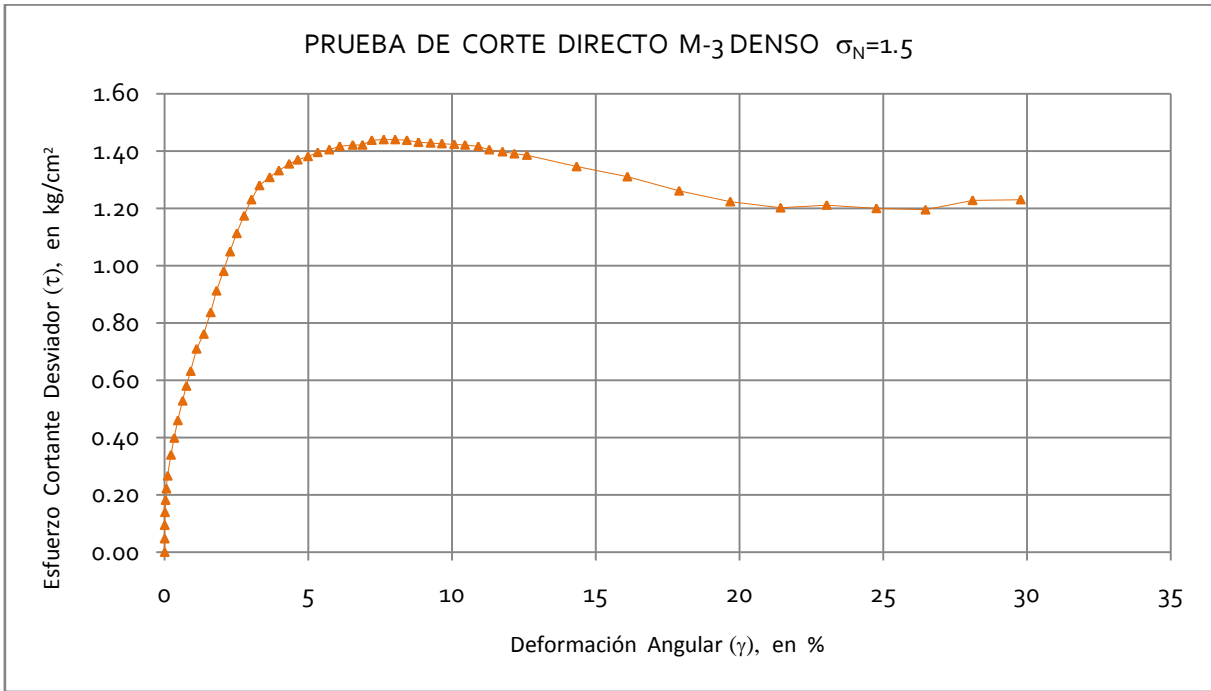


Figura 5.47 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-3 Estado Denso $\sigma_N=1.5$

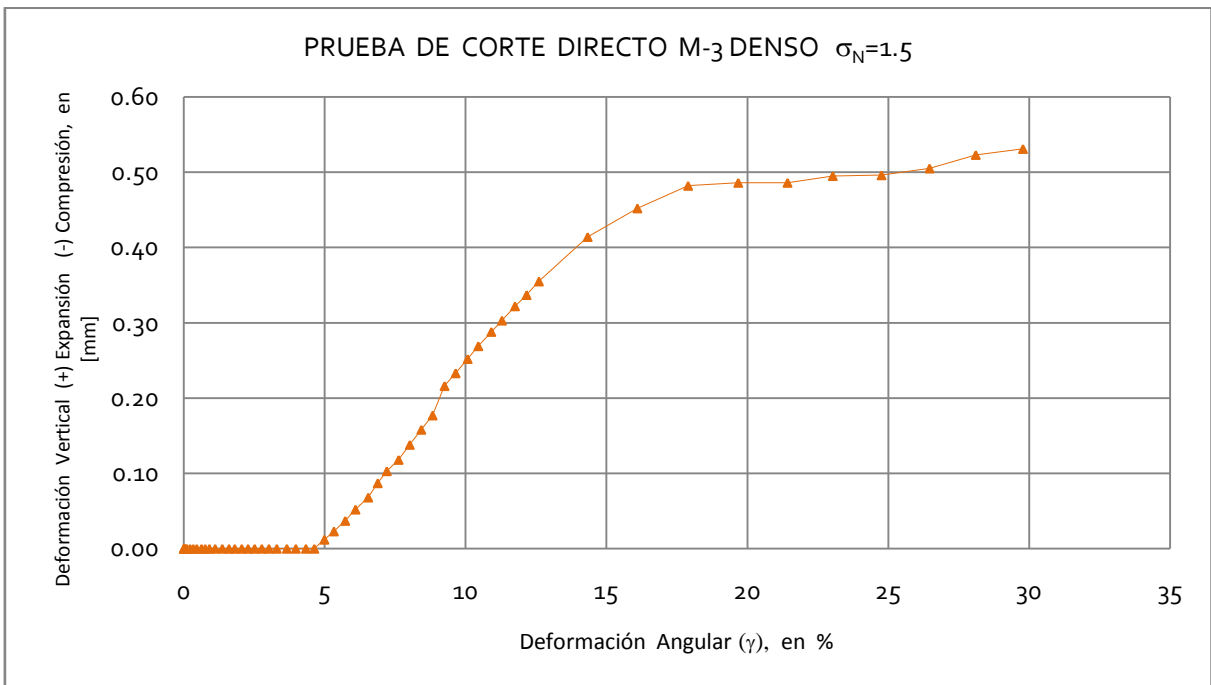


Figura 5.48 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-3 Estado Denso $\sigma_N=1.5$



FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"

Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO : TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN : FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :
MUESTRA : M-4 suelto
PROFUNDIDAD : N/D

DATOS GENERALES:

Dimensiones de la caja o probeta	H_0 [cm]=	2.1070
Largo [cm]=	A_0 [cm ²]=	25.5973
Ancho [cm]=	W_m [g]=	77.1635
	γ_m [t/m ³]=	1.4307
	P [kg]=	6.3993
	σ_N [kg/cm ²]=	0.2500
	MICRO v [mm]	
	L_0 =	5.0770
	L_f =	4.4920
	Δh_{cons} [mm]=	0.5850
	H_c [mm]=	2.0485

	$H_s/suelto$ [cm]	$H_r/suelto$ [cm]
1	4.007	1.900
2	4.009	1.900
3	4.006	1.900
4	4.006	1.900
Promedio	4.007	1.900

k_{anillo} [kg/mm]= 60.3379

TIEMPO	LECTURA	T_{total}	MICRO _h	$\delta_{total-h}$	MICRO _v	$\delta_{total-v}$	γ	τ_{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.014	0.000	5.540	0.000	4.491	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.033	1.146	5.541	0.001	4.491	0.000	0.005	0.045
00:00:10	0.042	1.689	5.546	0.006	4.491	0.000	0.029	0.066
00:00:15	0.055	2.474	5.558	0.018	4.491	0.000	0.088	0.097
00:00:20	0.063	2.957	5.568	0.028	4.491	0.000	0.137	0.116
00:00:25	0.076	3.741	5.585	0.045	4.491	0.000	0.220	0.146
00:00:30	0.087	4.405	5.600	0.060	4.491	0.000	0.293	0.172
00:00:40	0.102	5.310	5.645	0.105	4.491	0.000	0.513	0.207
00:00:50	0.109	5.732	5.688	0.148	4.491	0.000	0.722	0.224
00:01:00	0.115	6.094	5.736	0.196	4.491	0.000	0.957	0.238
00:01:10	0.123	6.577	5.782	0.242	4.491	0.000	1.181	0.257
00:01:20	0.126	6.758	5.822	0.282	4.491	0.000	1.377	0.264
00:01:30	0.130	6.999	5.872	0.332	4.491	0.000	1.621	0.273
00:01:45	0.136	7.361	5.959	0.419	4.491	0.000	2.045	0.288
00:02:00	0.136	7.361	6.034	0.494	4.491	0.000	2.412	0.288
00:02:15	0.142	7.723	6.103	0.563	4.491	0.000	2.748	0.302
00:02:30	0.146	7.965	6.176	0.636	4.497	0.006	3.105	0.311
00:02:45	0.147	8.025	6.266	0.726	4.509	0.018	3.544	0.314
00:03:00	0.153	8.387	6.333	0.793	4.516	0.025	3.871	0.328
00:03:15	0.157	8.628	6.407	0.867	4.530	0.039	4.232	0.337
00:03:30	0.156	8.568	6.485	0.945	4.539	0.048	4.613	0.335
00:03:45	0.158	8.689	6.571	1.031	4.553	0.062	5.033	0.339
00:04:00	0.159	8.749	6.651	1.111	4.569	0.078	5.423	0.342
00:04:15	0.157	8.628	6.725	1.185	4.584	0.093	5.785	0.337
00:04:30	0.158	8.689	6.826	1.286	4.596	0.105	6.278	0.339
00:04:45	0.158	8.689	6.926	1.386	4.608	0.117	6.766	0.339
00:05:00	0.158	8.689	7.010	1.470	4.620	0.129	7.176	0.339
00:05:15	0.162	8.930	7.089	1.549	4.636	0.145	7.562	0.349
00:05:30	0.162	8.930	7.163	1.623	4.649	0.158	7.923	0.349
00:05:45	0.159	8.749	7.257	1.717	4.658	0.167	8.382	0.342
00:06:00	0.160	8.809	7.335	1.795	4.672	0.181	8.763	0.344
00:06:15	0.157	8.628	7.433	1.893	4.679	0.188	9.241	0.337
00:06:30	0.153	8.387	7.527	1.987	4.688	0.197	9.700	0.328
00:06:45	0.152	8.327	7.631	2.091	4.692	0.201	10.207	0.325
00:07:00	0.153	8.387	7.707	2.167	4.696	0.205	10.578	0.328
00:07:15	0.159	8.749	7.815	2.275	4.700	0.209	11.106	0.342
00:07:30	0.156	8.568	7.869	2.329	4.704	0.213	11.369	0.335
00:07:45	0.156	8.568	7.967	2.427	4.708	0.217	11.848	0.335
00:08:00	0.159	8.749	8.048	2.508	4.712	0.221	12.243	0.342
00:08:15	0.160	8.809	8.125	2.585	4.716	0.225	12.619	0.344
00:08:30	0.157	8.628	8.224	2.684	4.720	0.229	13.102	0.337
00:08:45	0.155	8.508	8.331	2.791	4.725	0.234	13.625	0.332
00:09:00	0.156	8.568	8.421	2.881	4.731	0.240	14.064	0.335
00:09:15	0.153	8.387	8.523	2.983	4.740	0.249	14.562	0.328
00:09:30	0.154	8.447	8.617	3.077	4.745	0.254	15.021	0.330
00:09:45	0.153	8.387	8.725	3.185	4.750	0.259	15.548	0.328
00:10:00	0.148	8.085	8.824	3.284	4.753	0.262	16.031	0.316
00:11:00	0.136	7.361	9.199	3.659	4.761	0.270	17.862	0.288
00:12:00	0.129	6.939	9.530	3.990	4.770	0.279	19.478	0.271
00:13:00	0.131	7.060	9.865	4.325	4.781	0.290	21.113	0.276
00:14:00	0.132	7.120	10.199	4.659	4.781	0.290	22.743	0.278
00:15:00	0.130	6.999	10.534	4.994	4.790	0.299	24.379	0.273
00:16:00	0.130	6.999	10.869	5.329	4.807	0.316	26.014	0.273
00:17:00	0.132	7.120	11.217	5.677	4.819	0.328	27.713	0.278
00:18:00	0.130	6.999	11.578	6.038	4.826	0.335	29.475	0.273
00:19:00	0.125	6.698	11.932	6.392	4.841	0.350	31.203	0.262
00:20:00	0.132	7.120	12.262	6.722	4.852	0.361	32.814	0.278

Tabla 5.25 Muestra M-4, estado suelto, arena bien graduada $\sigma_N=0.25$

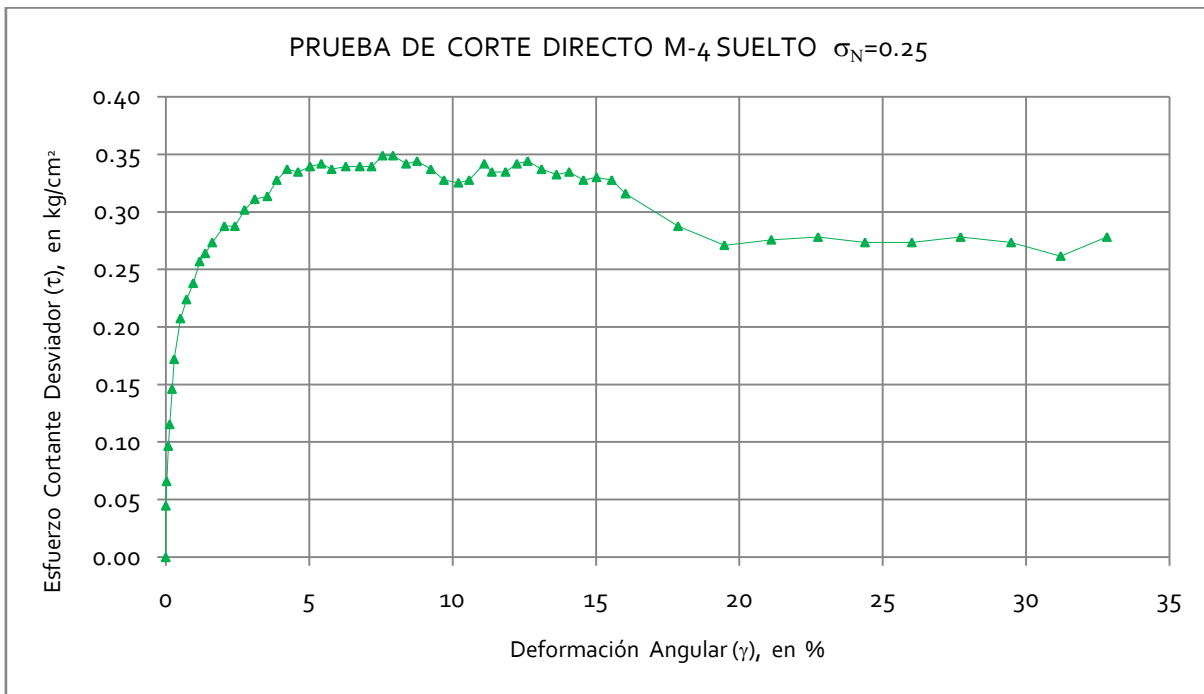


Figura 5.49 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-4 Estado Suelto $\sigma_N=0.25$

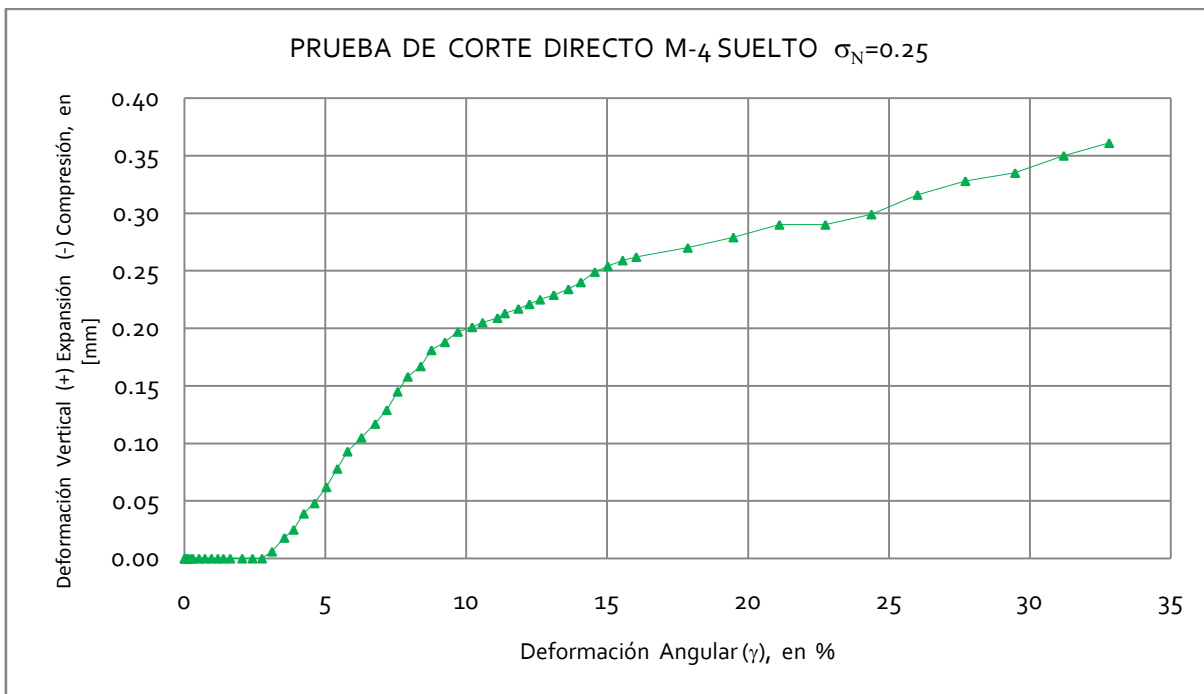


Figura 5.50 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-4 Estado Suelto $\sigma_N=0.25$



UNAM
FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"
 Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-4 suelto
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:		H_0 [cm]=	2.1070
Dimensiones de la caja o probeta		A_0 [cm ²]=	25.5973
Largo [cm]=	5.060	W_m [g]=	77.1635
Ancho [cm]=	5.059	γ_m [t/m ³]=	1.4307
		P [kg]=	12.7986
		σ_N [kg/cm ²]=	0.5000
		MICRO_v [mm]	
		Lo =	5.0630
		Lf =	4.0560
		Δh_{cons} [mm]=	1.0070
		H_c [mm]=	2.0063
k_{anillo} [kg/mm]=	60.3379		

	$H_{s/suelto}$ [cm]	$H_{r/suelto}$ [cm]
1	4.007	1.900
2	4.009	1.900
3	4.006	1.900
4	4.006	1.900
Promedio	4.007	1.900

TIEMPO	LECTURA	T_{total}	MICRO_h	$\delta_{total-h}$	MICRO_v	$\delta_{total-v}$	γ	τ_{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.013	0.000	5.06	0.000	4.056	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.024	0.664	5.062	0.002	4.056	0.000	0.010	0.026
00:00:10	0.037	1.448	5.072	0.012	4.056	0.000	0.060	0.057
00:00:15	0.046	1.991	5.082	0.022	4.056	0.000	0.110	0.078
00:00:20	0.054	2.474	5.097	0.037	4.042	-0.014	0.184	0.097
00:00:25	0.065	3.138	5.115	0.055	4.037	-0.019	0.274	0.123
00:00:30	0.073	3.620	5.131	0.071	4.034	-0.022	0.354	0.141
00:00:40	0.089	4.586	5.176	0.116	4.025	-0.031	0.578	0.179
00:00:50	0.098	5.129	5.21	0.150	4.022	-0.034	0.748	0.200
00:01:00	0.114	6.094	5.255	0.195	4.013	-0.043	0.972	0.238
00:01:10	0.124	6.698	5.302	0.242	4.007	-0.049	1.206	0.262
00:01:20	0.135	7.361	5.343	0.283	4.006	-0.050	1.411	0.288
00:01:30	0.144	7.904	5.384	0.324	3.995	-0.061	1.615	0.309
00:01:45	0.159	8.809	5.452	0.392	3.984	-0.072	1.954	0.344
00:02:00	0.171	9.533	5.521	0.461	3.977	-0.079	2.298	0.372
00:02:15	0.184	10.318	5.566	0.506	3.976	-0.080	2.522	0.403
00:02:30	0.194	10.921	5.646	0.586	3.969	-0.087	2.921	0.427
00:02:45	0.208	11.766	5.738	0.678	3.963	-0.093	3.379	0.460
00:03:00	0.211	11.947	5.798	0.738	3.963	-0.093	3.678	0.467
00:03:15	0.219	12.430	5.858	0.798	3.963	-0.093	3.977	0.486
00:03:30	0.232	13.214	5.931	0.871	3.963	-0.093	4.341	0.516
00:03:45	0.235	13.395	6.011	0.951	3.963	-0.093	4.740	0.523
00:04:00	0.240	13.697	6.106	1.046	3.963	-0.093	5.214	0.535
00:04:15	0.247	14.119	6.167	1.107	3.963	-0.093	5.518	0.552
00:04:30	0.249	14.240	6.241	1.181	3.971	-0.085	5.886	0.556
00:04:45	0.251	14.360	6.336	1.276	3.983	-0.073	6.360	0.561
00:05:00	0.254	14.541	6.399	1.339	3.995	-0.061	6.674	0.568
00:05:15	0.257	14.722	6.48	1.420	4.01	-0.046	7.078	0.575
00:05:30	0.258	14.783	6.566	1.506	4.028	-0.028	7.506	0.578
00:05:45	0.262	15.024	6.647	1.587	4.046	-0.010	7.910	0.587
00:06:00	0.261	14.964	6.737	1.677	4.057	0.001	8.359	0.585
00:06:15	0.260	14.903	6.811	1.751	4.062	0.006	8.728	0.582
00:06:30	0.258	14.783	6.894	1.834	4.077	0.021	9.141	0.578
00:06:45	0.256	14.662	7.008	1.948	4.091	0.035	9.709	0.573
00:07:00	0.257	14.722	7.076	2.016	4.091	0.035	10.048	0.575
00:07:15	0.254	14.541	7.145	2.085	4.106	0.050	10.392	0.568
00:07:30	0.254	14.541	7.233	2.173	4.124	0.068	10.831	0.568
00:07:45	0.254	14.541	7.324	2.264	4.139	0.083	11.284	0.568
00:08:00	0.254	14.541	7.406	2.346	4.144	0.088	11.693	0.568
00:08:15	0.253	14.481	7.471	2.411	4.156	0.100	12.017	0.566
00:08:30	0.247	14.119	7.571	2.511	4.171	0.115	12.516	0.552
00:08:45	0.240	13.697	7.64	2.580	4.183	0.127	12.859	0.535
00:09:00	0.234	13.335	7.735	2.675	4.197	0.141	13.333	0.521
00:09:15	0.232	13.214	7.816	2.756	4.209	0.153	13.737	0.516
00:09:30	0.230	13.093	7.896	2.836	4.224	0.168	14.135	0.512
00:09:45	0.228	12.973	7.99	2.930	4.229	0.173	14.604	0.507
00:10:00	0.226	12.852	8.071	3.011	4.239	0.183	15.008	0.502
00:11:00	0.224	12.731	8.409	3.349	4.276	0.220	16.692	0.497
00:12:00	0.222	12.611	8.746	3.686	4.288	0.232	18.372	0.493
00:13:00	0.218	12.369	9.092	4.032	4.296	0.240	20.097	0.483
00:14:00	0.221	12.550	9.427	4.367	4.307	0.251	21.766	0.490
00:15:00	0.215	12.188	9.765	4.705	4.319	0.263	23.451	0.476
00:16:00	0.217	12.309	10.099	5.039	4.345	0.289	25.116	0.481
00:17:00	0.224	12.731	10.432	5.372	4.362	0.306	26.776	0.497
00:18:00	0.238	13.576	10.76	5.700	4.379	0.323	28.411	0.530
00:19:00	0.24	13.697	11.097	6.037	4.379	0.323	30.090	0.535
00:20:00	0.226	12.852	11.45	6.390	4.379	0.323	31.850	0.502

Tabla 5.26 Muestra M-4, estado suelto, arena bien graduada $\sigma_N=0.5$

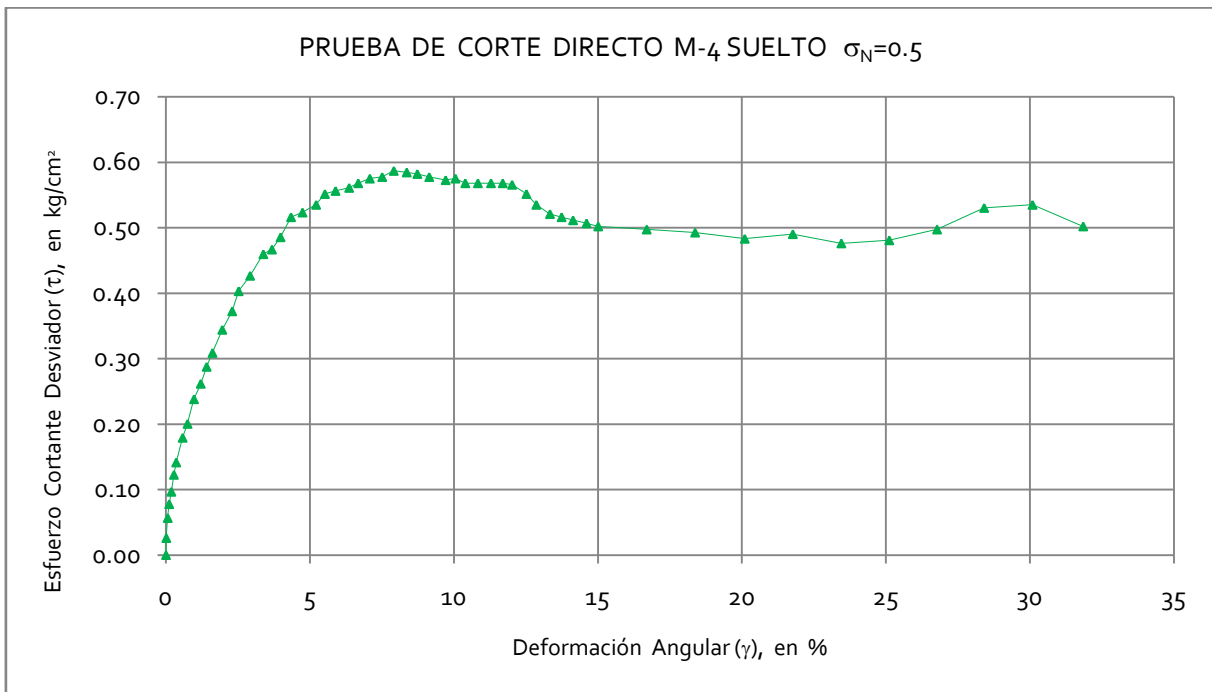


Figura 5.51 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-4 Estado Suelto $\sigma_N=0.5$

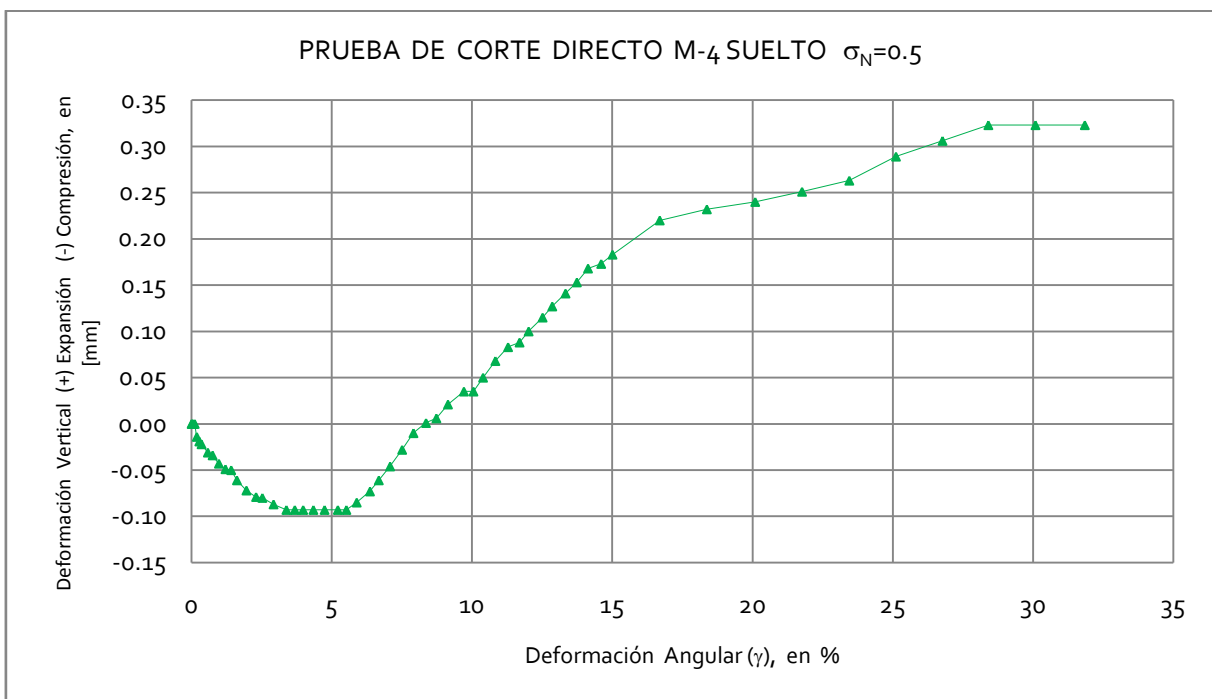


Figura 5.52 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-4 Estado Suelto $\sigma_N=0.5$



FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"

Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-4 suelto
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:		
Dimensiones de la caja o probeta		
Largo [cm]=	5.060	H ₀ [cm]= 2.1470
Ancho [cm]=	5.059	A ₀ [cm ²]= 25.5973
		Wm [g]= 77.1635
		γm [t/m ³]= 1.4041
		P [kg]= 25.5972
		σ _N [kg/cm ²]= 1.0000
		Micr_v [mm]
		Lo= 4.4900
		Lf= 3.8180
		Δh _{cons} [mm]= 0.6720
		Hc[mm]= 2.0798
k _{anillo} [kg/mm]= 60.3379		

	H _{s/suelto} [cm]	H _{c/suelto} [cm]
1	4.007	1.860
2	4.009	1.860
3	4.006	1.860
4	4.006	1.860
Promedio	4.007	1.860

TIEMPO	LECTURA	T _{total}	MICRO _h	δ _{total-h}	MICRO _v	δ _{total-v}	γ	τ _{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.012	0.000	5.012	0.000	3.818	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.019	0.422	5.012	0.000	3.818	0.000	0.000	0.017
00:00:10	0.030	1.086	5.012	0.000	3.818	0.000	0.000	0.042
00:00:15	0.046	2.051	5.016	0.004	3.818	0.000	0.019	0.080
00:00:20	0.059	2.836	5.019	0.007	3.818	0.000	0.034	0.111
00:00:25	0.073	3.681	5.027	0.015	3.818	0.000	0.072	0.144
00:00:30	0.090	4.706	5.041	0.029	3.818	0.000	0.139	0.184
00:00:40	0.117	6.335	5.078	0.066	3.797	-0.021	0.317	0.248
00:00:50	0.130	7.120	5.112	0.100	3.787	-0.031	0.481	0.278
00:01:00	0.140	7.723	5.160	0.148	3.776	-0.042	0.712	0.302
00:01:10	0.158	8.809	5.188	0.176	3.770	-0.048	0.846	0.344
00:01:20	0.174	9.775	5.224	0.212	3.762	-0.056	1.019	0.382
00:01:30	0.191	10.800	5.262	0.250	3.754	-0.064	1.202	0.422
00:01:45	0.211	12.007	5.315	0.303	3.742	-0.076	1.457	0.469
00:02:00	0.234	13.395	5.379	0.367	3.728	-0.090	1.765	0.523
00:02:15	0.251	14.421	5.442	0.430	3.710	-0.108	2.068	0.563
00:02:30	0.269	15.507	5.509	0.497	3.692	-0.126	2.390	0.606
00:02:45	0.284	16.412	5.582	0.570	3.670	-0.148	2.741	0.641
00:03:00	0.298	17.257	5.644	0.632	3.654	-0.164	3.039	0.674
00:03:15	0.307	17.800	5.713	0.701	3.645	-0.173	3.371	0.695
00:03:30	0.321	18.644	5.782	0.770	3.641	-0.177	3.702	0.728
00:03:45	0.327	19.006	5.852	0.840	3.633	-0.185	4.039	0.743
00:04:00	0.339	19.730	5.932	0.920	3.631	-0.187	4.424	0.771
00:04:15	0.343	19.972	5.999	0.987	3.633	-0.185	4.746	0.780
00:04:30	0.353	20.575	6.060	1.048	3.633	-0.185	5.039	0.804
00:04:45	0.359	20.937	6.143	1.131	3.633	-0.185	5.438	0.818
00:05:00	0.369	21.541	6.217	1.205	3.633	-0.185	5.794	0.842
00:05:15	0.377	22.023	6.289	1.277	3.633	-0.185	6.140	0.860
00:05:30	0.380	22.204	6.364	1.352	3.633	-0.185	6.501	0.867
00:05:45	0.382	22.325	6.444	1.432	3.638	-0.180	6.885	0.872
00:06:00	0.386	22.566	6.509	1.497	3.640	-0.178	7.198	0.882
00:06:15	0.394	23.049	6.579	1.567	3.654	-0.164	7.534	0.900
00:06:30	0.398	23.290	6.658	1.646	3.667	-0.151	7.914	0.910
00:06:45	0.399	23.351	6.752	1.740	3.674	-0.144	8.366	0.912
00:07:00	0.400	23.411	6.830	1.818	3.685	-0.133	8.741	0.915
00:07:15	0.404	23.652	6.904	1.892	3.693	-0.125	9.097	0.924
00:07:30	0.411	24.075	6.977	1.965	3.704	-0.114	9.448	0.941
00:07:45	0.410	24.014	7.097	2.085	3.711	-0.107	10.025	0.938
00:08:00	0.409	23.954	7.163	2.151	3.717	-0.101	10.342	0.936
00:08:15	0.405	23.713	7.244	2.232	3.725	-0.093	10.732	0.926
00:08:30	0.407	23.833	7.299	2.287	3.733	-0.085	10.996	0.931
00:08:45	0.412	24.135	7.394	2.382	3.747	-0.071	11.453	0.943
00:09:00	0.415	24.316	7.473	2.461	3.756	-0.062	11.833	0.950
00:09:15	0.414	24.256	7.557	2.545	3.763	-0.055	12.237	0.948
00:09:30	0.424	24.859	7.618	2.606	3.773	-0.045	12.530	0.971
00:09:45	0.422	24.739	7.697	2.685	3.782	-0.036	12.910	0.966
00:10:00	0.425	24.920	7.778	2.766	3.800	-0.018	13.299	0.974
00:11:00	0.420	24.618	8.100	3.088	3.835	0.017	14.848	0.962
00:12:00	0.413	24.195	8.439	3.427	3.874	0.056	16.478	0.945
00:13:00	0.412	24.135	8.719	3.707	3.937	0.119	17.824	0.943
00:14:00	0.411	24.075	9.075	4.063	4.000	0.182	19.536	0.941
00:15:00	0.408	23.894	9.411	4.399	4.036	0.218	21.151	0.933
00:16:00	0.408	23.894	9.735	4.723	4.065	0.247	22.709	0.933
00:17:00	0.408	23.894	10.053	5.041	4.092	0.274	24.238	0.933
00:18:00	0.407	23.833	10.362	5.350	4.131	0.313	25.724	0.931
00:19:00	0.406	23.773	10.726	5.714	4.160	0.342	27.474	0.929
00:20:00	0.406	23.773	11.057	6.045	4.184	0.366	29.065	0.929

Tabla 5.27 Muestra M-4, estado suelto, arena bien graduada σ_N=1

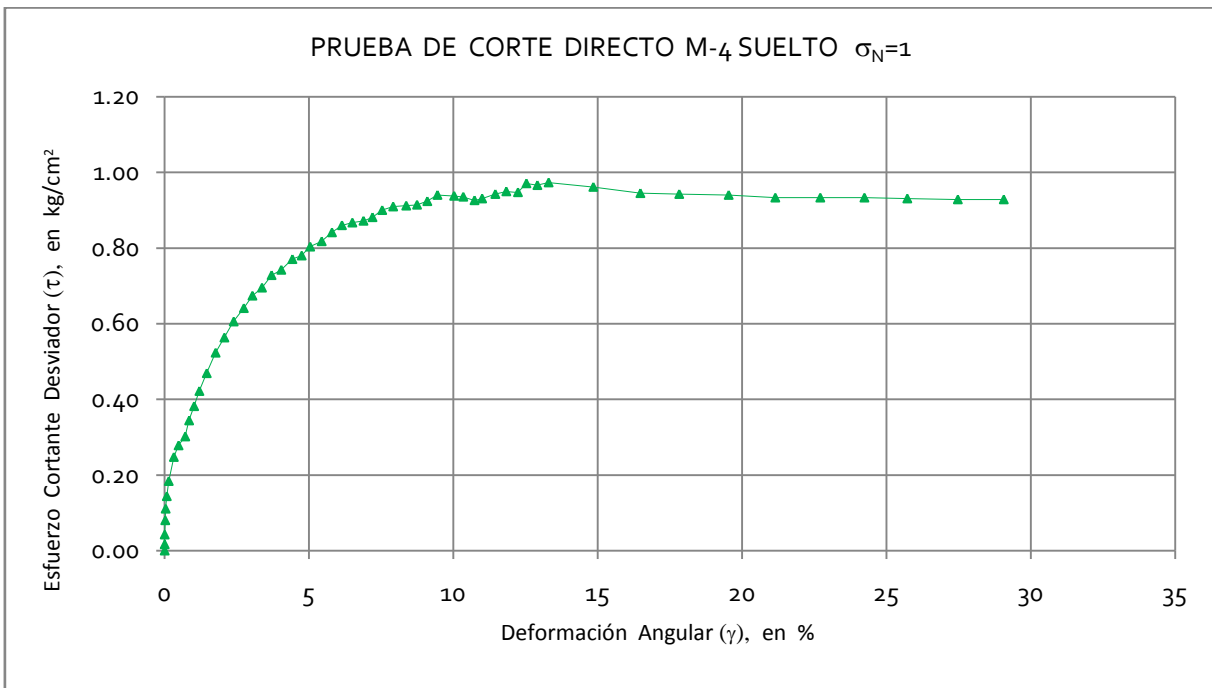


Figura 5.53 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-4 Estado Suelto $\sigma_N=1$

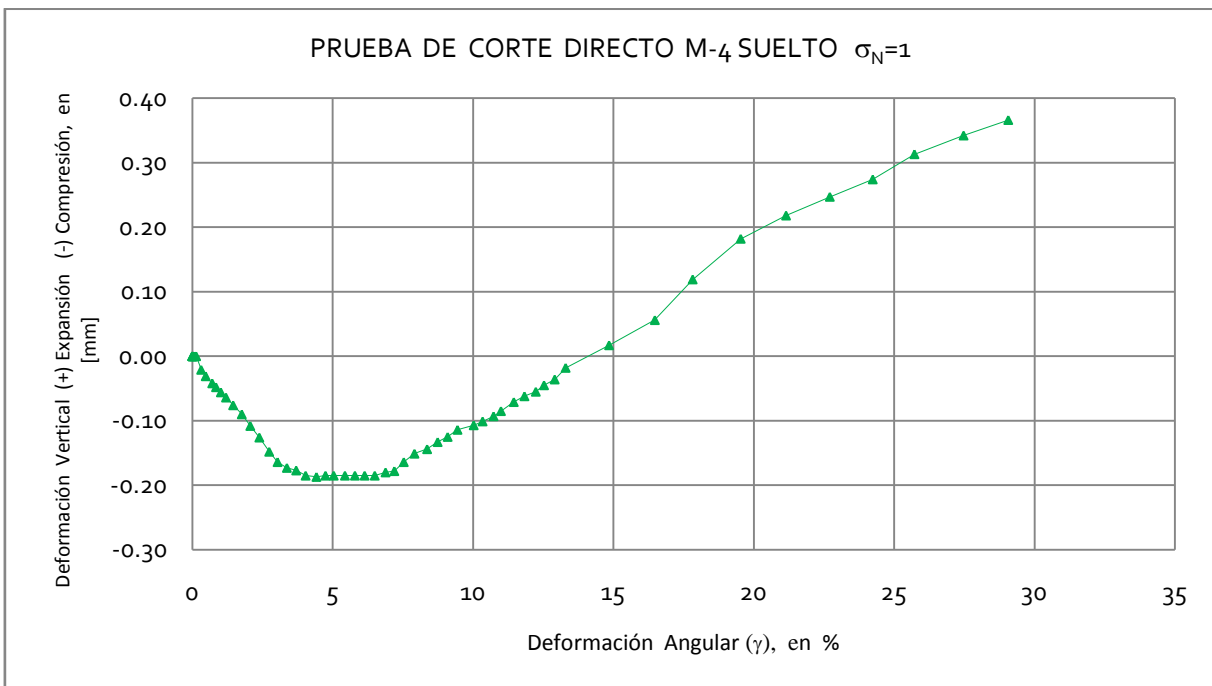


Figura 5.54 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-4 Estado Suelto $\sigma_N=1$



UNAM
FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"

Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-4 suelto
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:		H_0 [cm]=	2.1470
Dimensiones de la caja o probeta		A_0 [cm ²]=	25.5973
Largo [cm]=	5.060	W_m [g]=	77.1635
Ancho [cm]=	5.059	γ_m [t/m ³]=	1.4041
		P [kg]=	38.3958
		σ_N [kg/cm ²]=	1.5000
		Micr_v [mm]	
		Lo =	5.1650
		Lf =	4.2360
		Δh_{cons} [mm]=	0.9290
		Hc [mm]=	2.0541
	$H_{s/suelo}$ [cm]	$H_{e/suelo}$ [cm]	
1	4.007	1.860	
2	4.009	1.860	
3	4.006	1.860	
4	4.006	1.860	
Promedio	4.007	1.860	
k_{anillo} [kg/mm]=		60.3379	

TIEMPO	LECTURA	T_{total}	MICRO _h	$\delta_{total-h}$	MICRO _v	$\delta_{total-v}$	γ	τ_{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.011	0.000	5.016	0.000	4.236	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.026	0.905	5.016	0.000	4.236	0.000	0.000	0.035
00:00:10	0.041	1.810	5.017	0.001	4.236	0.000	0.005	0.071
00:00:15	0.054	2.595	5.019	0.003	4.236	0.000	0.015	0.101
00:00:20	0.072	3.681	5.023	0.007	4.236	0.000	0.034	0.144
00:00:25	0.095	5.068	5.031	0.015	4.236	0.000	0.073	0.198
00:00:30	0.107	5.792	5.037	0.021	4.236	0.000	0.102	0.226
00:00:40	0.139	7.723	5.058	0.042	4.236	0.000	0.204	0.302
00:00:50	0.165	9.292	5.085	0.069	4.236	0.000	0.336	0.363
00:01:00	0.184	10.438	5.116	0.100	4.220	-0.016	0.487	0.408
00:01:10	0.204	11.645	5.146	0.130	4.217	-0.019	0.633	0.455
00:01:20	0.219	12.550	5.181	0.165	4.210	-0.026	0.803	0.490
00:01:30	0.240	13.817	5.222	0.206	4.198	-0.038	1.003	0.540
00:01:45	0.264	15.265	5.267	0.251	4.187	-0.049	1.222	0.596
00:02:00	0.291	16.895	5.320	0.304	4.174	-0.062	1.480	0.660
00:02:15	0.308	17.920	5.386	0.370	4.151	-0.085	1.801	0.700
00:02:30	0.338	19.730	5.441	0.425	4.140	-0.096	2.069	0.771
00:02:45	0.358	20.937	5.511	0.495	4.124	-0.112	2.410	0.818
00:03:00	0.380	22.265	5.564	0.548	4.111	-0.125	2.668	0.870
00:03:15	0.402	23.592	5.622	0.606	4.100	-0.136	2.950	0.922
00:03:30	0.421	24.739	5.711	0.695	4.070	-0.166	3.383	0.966
00:03:45	0.434	25.523	5.774	0.758	4.054	-0.182	3.690	0.997
00:04:00	0.440	25.885	5.836	0.820	4.045	-0.191	3.992	1.011
00:04:15	0.461	27.152	5.896	0.880	4.035	-0.201	4.284	1.061
00:04:30	0.473	27.876	5.959	0.943	4.026	-0.210	4.591	1.089
00:04:45	0.476	28.057	6.035	1.019	4.014	-0.222	4.961	1.096
00:05:00	0.479	28.238	6.109	1.093	3.999	-0.237	5.321	1.103
00:05:15	0.482	28.419	6.164	1.148	3.999	-0.237	5.589	1.110
00:05:30	0.500	29.505	6.202	1.186	3.999	-0.237	5.774	1.153
00:05:45	0.511	30.169	6.265	1.249	3.999	-0.237	6.081	1.179
00:06:00	0.518	30.591	6.335	1.319	3.999	-0.237	6.421	1.195
00:06:15	0.524	30.953	6.403	1.387	3.999	-0.237	6.752	1.209
00:06:30	0.529	31.255	6.487	1.471	3.999	-0.237	7.161	1.221
00:06:45	0.535	31.617	6.576	1.560	3.999	-0.237	7.595	1.235
00:07:00	0.546	32.281	6.677	1.661	3.999	-0.237	8.086	1.261
00:07:15	0.555	32.824	6.727	1.711	3.990	-0.246	8.330	1.282
00:07:30	0.564	33.367	6.797	1.781	3.990	-0.246	8.670	1.304
00:07:45	0.587	34.755	6.892	1.876	3.990	-0.246	9.133	1.358
00:08:00	0.590	34.936	6.967	1.951	3.990	-0.246	9.498	1.365
00:08:15	0.596	35.298	7.037	2.021	3.990	-0.246	9.839	1.379
00:08:30	0.595	35.237	7.125	2.109	3.989	-0.247	10.267	1.377
00:08:45	0.594	35.177	7.216	2.200	3.989	-0.247	10.710	1.374
00:09:00	0.597	35.358	7.299	2.283	3.989	-0.247	11.114	1.381
00:09:15	0.601	35.599	7.366	2.350	3.989	-0.247	11.441	1.391
00:09:30	0.604	35.780	7.447	2.431	3.989	-0.247	11.835	1.398
00:09:45	0.601	35.599	7.544	2.528	3.996	-0.240	12.307	1.391
00:10:00	0.600	35.539	7.617	2.601	3.996	-0.240	12.662	1.388
00:11:00	0.594	35.177	7.955	2.939	4.003	-0.233	14.308	1.374
00:12:00	0.591	34.996	8.292	3.276	4.032	-0.204	15.949	1.367
00:13:00	0.591	34.996	8.617	3.601	4.058	-0.178	17.531	1.367
00:14:00	0.602	35.660	8.927	3.911	4.078	-0.158	19.040	1.393
00:15:00	0.612	36.263	9.253	4.237	4.105	-0.131	20.627	1.417
00:16:00	0.608	36.022	9.587	4.571	4.143	-0.093	22.253	1.407
00:17:00	0.586	34.694	9.950	4.934	4.178	-0.058	24.020	1.355
00:18:00	0.590	34.936	10.285	5.269	4.213	-0.023	25.651	1.365
00:19:00	0.583	34.513	10.631	5.615	4.236	0.000	27.336	1.348
00:20:00	0.558	33.005	11.005	5.989	4.243	0.007	29.156	1.289

Tabla 5.28 Muestra M-4, estado suelto, arena bien graduada $\sigma_N=1.5$

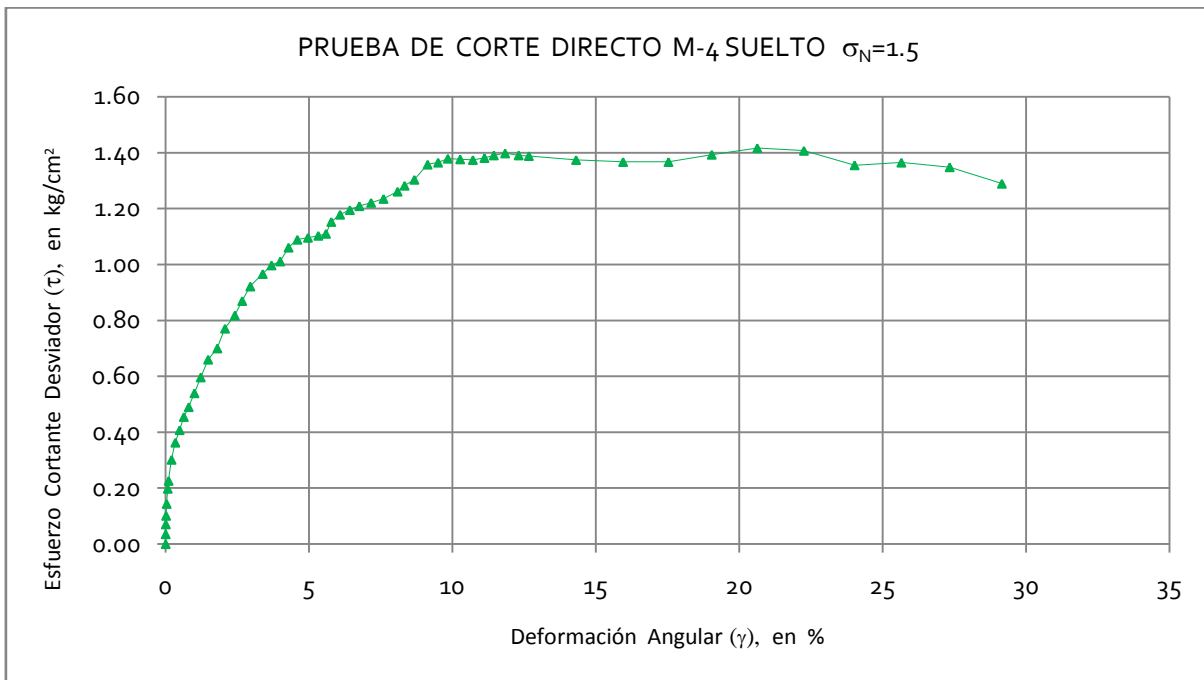


Figura 5.55 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-4 Estado Suelto $\sigma_N=1.5$

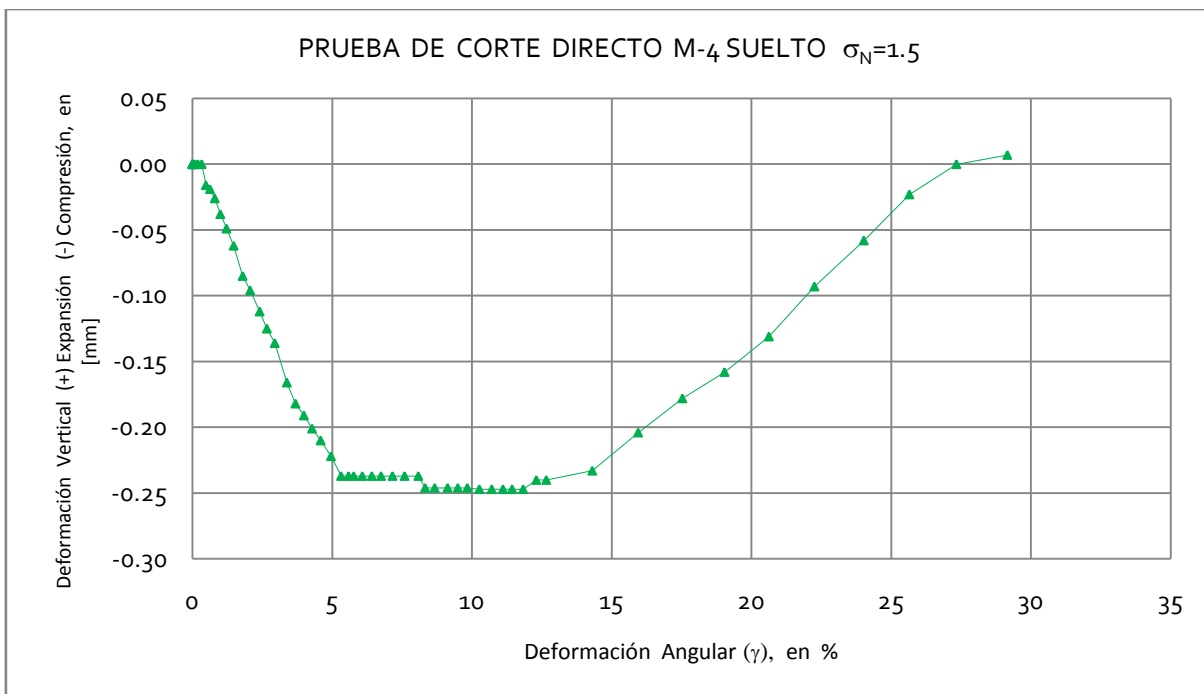


Figura 5.56 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-4 Estado Suelto $\sigma_N=1.5$



FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"

Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-4 DENSO
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:

Dimensiones de la caja o probeta		H _n [cm]=	2.0070
Largo [cm]=	5.060	A _n [cm ²]=	25.5973
Ancho [cm]=	5.059	Wm [g]=	79.4156
		γm [t/m ³]=	1.5458
		P [kg]=	6.3993
		σ _N [kg/cm ²]=	0.2500
		Micr _v [mm]	
		Lo=	5.3510
		Lf=	5.2350
		Δh _{cons} [mm]=	0.1160
		Hc[mm]=	1.9954

	H _{s/suelo} [cm]	H _{r/suelo} [cm]
1	4.007	2.000
2	4.009	2.000
3	4.006	2.000
4	4.006	2.000
Promedio	4.007	2.000

k_{anillo} [kg/mm]= 60.3379

TIEMPO	LECTURA	T _{total}	MICRO _h	δ _{total-h}	MICRO _v	δ _{total-v}	γ	τ _{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.018	0.000	5.333	0.000	5.237	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.036	1.086	5.342	0.009	5.237	0.000	0.045	0.042
00:00:10	0.044	1.569	5.354	0.021	5.233	-0.004	0.105	0.061
00:00:15	0.053	2.112	5.372	0.039	5.229	-0.008	0.195	0.083
00:00:20	0.059	2.474	5.390	0.057	5.225	-0.012	0.286	0.097
00:00:25	0.068	3.017	5.408	0.075	5.221	-0.016	0.376	0.118
00:00:30	0.077	3.560	5.429	0.096	5.217	-0.020	0.481	0.139
00:00:40	0.094	4.586	5.472	0.139	5.217	-0.020	0.697	0.179
00:00:50	0.106	5.310	5.507	0.174	5.221	-0.016	0.872	0.207
00:01:00	0.118	6.034	5.547	0.214	5.224	-0.013	1.072	0.236
00:01:10	0.129	6.698	5.586	0.253	5.228	-0.009	1.268	0.262
00:01:20	0.139	7.301	5.623	0.290	5.230	-0.007	1.453	0.285
00:01:30	0.148	7.844	5.665	0.332	5.235	-0.002	1.664	0.306
00:01:45	0.160	8.568	5.728	0.395	5.246	0.009	1.980	0.335
00:02:00	0.169	9.111	5.800	0.467	5.267	0.030	2.340	0.356
00:02:15	0.179	9.714	5.864	0.531	5.288	0.051	2.661	0.380
00:02:30	0.190	10.378	5.930	0.597	5.309	0.072	2.992	0.405
00:02:45	0.196	10.740	6.003	0.670	5.331	0.094	3.358	0.420
00:03:00	0.205	11.283	6.073	0.740	5.358	0.121	3.709	0.441
00:03:15	0.210	11.585	6.144	0.811	5.384	0.147	4.064	0.453
00:03:30	0.211	11.645	6.220	0.887	5.418	0.181	4.445	0.455
00:03:45	0.217	12.007	6.284	0.951	5.447	0.210	4.766	0.469
00:04:00	0.219	12.128	6.366	1.033	5.478	0.241	5.177	0.474
00:04:15	0.222	12.309	6.445	1.112	5.515	0.278	5.573	0.481
00:04:30	0.222	12.309	6.517	1.184	5.546	0.309	5.934	0.481
00:04:45	0.224	12.430	6.592	1.259	5.571	0.334	6.310	0.486
00:05:00	0.225	12.490	6.675	1.342	5.607	0.370	6.725	0.488
00:05:15	0.225	12.490	6.753	1.420	5.632	0.395	7.116	0.488
00:05:30	0.225	12.490	6.826	1.493	5.657	0.420	7.482	0.488
00:05:45	0.221	12.249	6.906	1.573	5.687	0.450	7.883	0.479
00:06:00	0.214	11.826	6.998	1.665	5.719	0.482	8.344	0.462
00:06:15	0.209	11.525	7.089	1.756	5.742	0.505	8.800	0.450
00:06:30	0.200	10.981	7.174	1.841	5.759	0.522	9.226	0.429
00:06:45	0.203	11.163	7.249	1.916	5.772	0.535	9.602	0.436
00:07:00	0.193	10.559	7.353	2.020	5.792	0.555	10.123	0.413
00:07:15	0.193	10.559	7.437	2.104	5.802	0.565	10.544	0.413
00:07:30	0.192	10.499	7.513	2.180	5.810	0.573	10.925	0.410
00:07:45	0.186	10.137	7.613	2.280	5.830	0.593	11.426	0.396
00:08:00	0.179	9.714	7.703	2.370	5.835	0.598	11.877	0.380
00:08:15	0.173	9.352	7.795	2.462	5.836	0.599	12.338	0.365
00:08:30	0.181	9.835	7.869	2.536	5.836	0.599	12.709	0.384
00:08:45	0.181	9.835	7.956	2.623	5.849	0.612	13.145	0.384
00:09:00	0.175	9.473	8.041	2.708	5.849	0.612	13.571	0.370
00:09:15	0.169	9.111	8.129	2.796	5.849	0.612	14.012	0.356
00:09:30	0.164	8.809	8.223	2.890	5.858	0.621	14.483	0.344
00:09:45	0.168	9.051	8.311	2.978	5.867	0.630	14.924	0.354
00:10:00	0.163	8.749	8.393	3.060	5.867	0.630	15.335	0.342
00:11:00	0.162	8.689	8.725	3.392	5.868	0.631	16.999	0.339
00:12:00	0.158	8.447	9.078	3.745	5.869	0.632	18.768	0.330
00:13:00	0.154	8.206	9.414	4.081	5.869	0.632	20.452	0.321
00:14:00	0.153	8.146	9.760	4.427	5.891	0.654	22.186	0.318
00:15:00	0.147	7.784	10.099	4.766	5.909	0.672	23.885	0.304
00:16:00	0.150	7.965	10.425	5.092	5.944	0.707	25.519	0.311
00:17:00	0.134	6.999	10.790	5.457	5.966	0.729	27.348	0.273
00:18:00	0.143	7.542	11.103	5.770	5.980	0.743	28.917	0.295
00:19:00	0.152	8.085	11.427	6.094	6.007	0.770	30.540	0.316
00:20:00	0.158	8.447	11.757	6.424	6.056	0.819	32.194	0.330

Tabla 5.29 Muestra M-4, estado denso, arena bien graduada σ_N=0.25

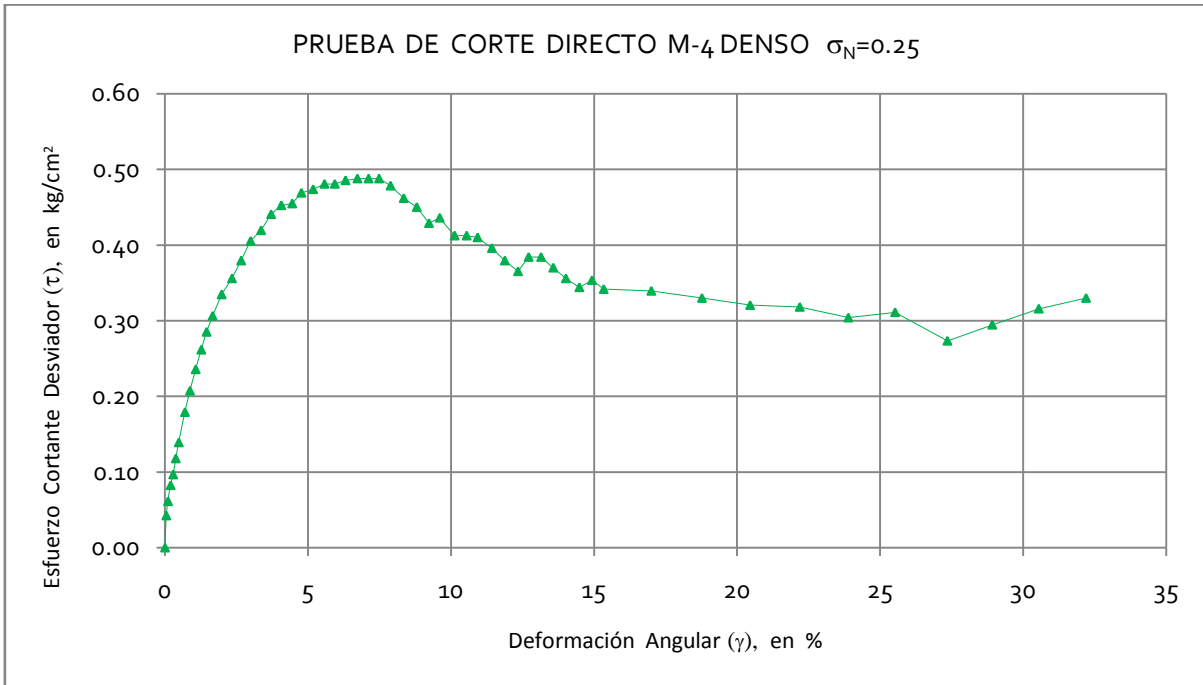


Figura 5.57 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-4 Estado Denso $\sigma_N=0.25$

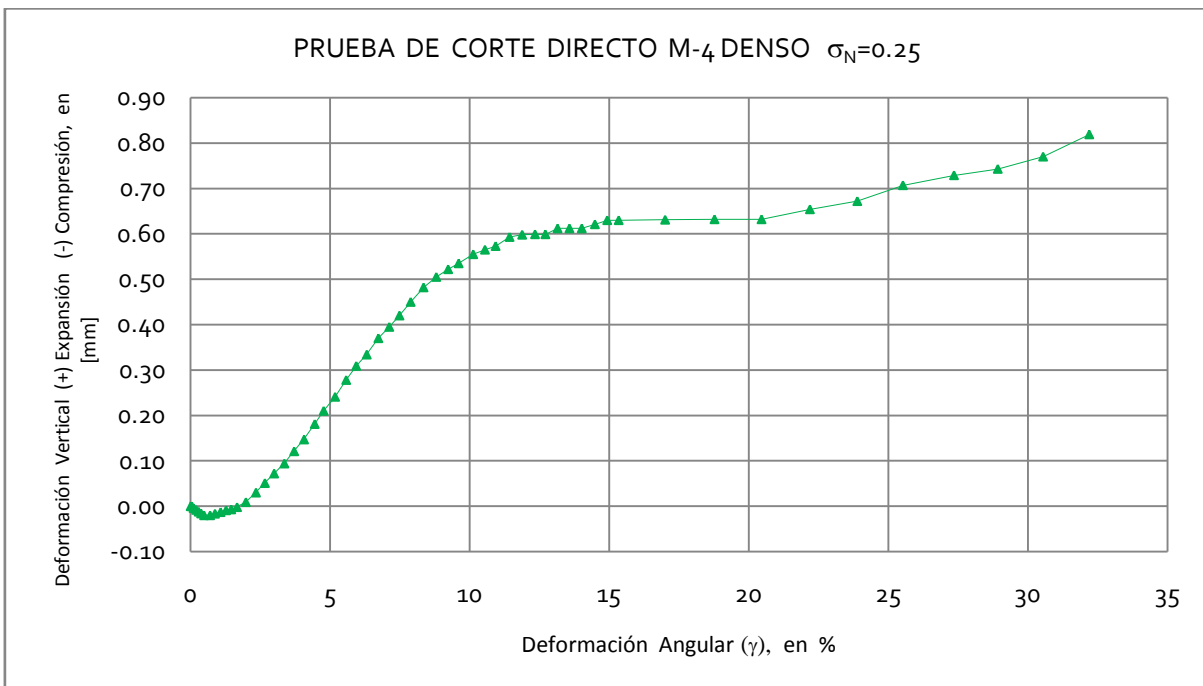


Figura 5.58 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-4 Estado Denso $\sigma_N=0.25$



FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"

Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-4 DENSO
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:			
Dimensiones de la caja o probeta		H ₀ [cm]=	2.0270
Largo [cm]=	5.060	A ₀ [cm ²]=	25.5973
Ancho [cm]=	5.059	Wm [g]=	79.4156
		γm [t/m ³]=	1.5306
		P [kg]=	12.7986
		σN [kg/cm ²]=	0.5000
		MICRO _v [mm]	
		Lo=	5.0380
		Lf=	4.6700
		Δh _{cons} [mm]=	0.3680
		Hc[mm]=	1.9902

	H _{c/suelo} [cm]	H _{c/suelo} [cm]
1	4.007	1.980
2	4.009	1.980
3	4.006	1.980
4	4.006	1.980
Promedio	4.007	1.980
K _{anillo} [kg/mm]=	60.3379	

TIEMPO	LECTURA	T _{total}	MICRO _h	δ _{total-h}	MICRO _v	δ _{total-v}	γ	τ _{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.016	0.000	5.058	0.000	4.670	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.032	0.965	5.059	0.001	4.670	0.000	0.005	0.038
00:00:10	0.052	2.172	5.068	0.010	4.670	0.000	0.050	0.085
00:00:15	0.061	2.715	5.080	0.022	4.670	0.000	0.111	0.106
00:00:20	0.067	3.077	5.094	0.036	4.670	0.000	0.181	0.120
00:00:25	0.075	3.560	5.109	0.051	4.670	0.000	0.256	0.139
00:00:30	0.083	4.043	5.130	0.072	4.662	-0.008	0.362	0.158
00:00:40	0.098	4.948	5.176	0.118	4.651	-0.019	0.593	0.193
00:00:50	0.110	5.672	5.225	0.167	4.636	-0.034	0.839	0.222
00:01:00	0.120	6.275	5.265	0.207	4.626	-0.044	1.040	0.245
00:01:10	0.129	6.818	5.303	0.245	4.620	-0.050	1.231	0.266
00:01:20	0.139	7.422	5.342	0.284	4.613	-0.057	1.427	0.290
00:01:30	0.150	8.085	5.391	0.333	4.607	-0.063	1.673	0.316
00:01:45	0.163	8.870	5.453	0.395	4.601	-0.069	1.985	0.347
00:02:00	0.175	9.594	5.519	0.461	4.586	-0.084	2.316	0.375
00:02:15	0.185	10.197	5.588	0.530	4.575	-0.095	2.663	0.398
00:02:30	0.193	10.680	5.665	0.607	4.563	-0.107	3.050	0.417
00:02:45	0.208	11.585	5.729	0.671	4.559	-0.111	3.372	0.453
00:03:00	0.224	12.550	5.801	0.743	4.559	-0.111	3.733	0.490
00:03:15	0.229	12.852	5.878	0.820	4.555	-0.115	4.120	0.502
00:03:30	0.244	13.757	5.949	0.891	4.555	-0.115	4.477	0.537
00:03:45	0.251	14.179	6.023	0.965	4.555	-0.115	4.849	0.554
00:04:00	0.262	14.843	6.098	1.040	4.555	-0.115	5.226	0.580
00:04:15	0.267	15.145	6.175	1.117	4.555	-0.115	5.613	0.592
00:04:30	0.267	15.145	6.282	1.224	4.555	-0.115	6.150	0.592
00:04:45	0.268	15.205	6.342	1.284	4.555	-0.115	6.452	0.594
00:05:00	0.270	15.326	6.426	1.368	4.555	-0.115	6.874	0.599
00:05:15	0.268	15.205	6.525	1.467	4.568	-0.102	7.371	0.594
00:05:30	0.274	15.567	6.591	1.533	4.575	-0.095	7.703	0.608
00:05:45	0.285	16.231	6.668	1.610	4.590	-0.080	8.090	0.634
00:06:00	0.283	16.110	6.755	1.697	4.599	-0.071	8.527	0.629
00:06:15	0.286	16.291	6.831	1.773	4.600	-0.070	8.909	0.636
00:06:30	0.285	16.231	6.913	1.855	4.608	-0.062	9.321	0.634
00:06:45	0.280	15.929	7.019	1.961	4.618	-0.052	9.853	0.622
00:07:00	0.273	15.507	7.104	2.046	4.618	-0.052	10.280	0.606
00:07:15	0.271	15.386	7.179	2.121	4.618	-0.052	10.657	0.601
00:07:30	0.270	15.326	7.246	2.188	4.618	-0.052	10.994	0.599
00:07:45	0.268	15.205	7.349	2.291	4.629	-0.041	11.511	0.594
00:08:00	0.274	15.567	7.424	2.366	4.633	-0.037	11.888	0.608
00:08:15	0.279	15.869	7.498	2.440	4.649	-0.021	12.260	0.620
00:08:30	0.284	16.171	7.575	2.517	4.664	-0.006	12.647	0.632
00:08:45	0.284	16.171	7.654	2.596	4.676	0.006	13.044	0.632
00:09:00	0.282	16.050	7.738	2.680	4.690	0.020	13.466	0.627
00:09:15	0.285	16.231	7.813	2.755	4.706	0.036	13.843	0.634
00:09:30	0.290	16.533	7.888	2.830	4.715	0.045	14.220	0.646
00:09:45	0.297	16.955	7.958	2.900	4.722	0.052	14.571	0.662
00:10:00	0.294	16.774	8.054	2.996	4.736	0.066	15.054	0.655
00:11:00	0.289	16.472	8.395	3.337	4.755	0.085	16.767	0.644
00:12:00	0.279	15.869	8.774	3.716	4.803	0.133	18.671	0.620
00:13:00	0.270	15.326	9.085	4.027	4.835	0.165	20.234	0.599
00:14:00	0.264	14.964	9.428	4.370	4.849	0.179	21.958	0.585
00:15:00	0.258	14.602	9.756	4.698	4.862	0.192	23.606	0.570
00:16:00	0.243	13.697	10.108	5.050	4.885	0.215	25.374	0.535
00:17:00	0.243	13.697	10.452	5.394	4.897	0.227	27.103	0.535
00:18:00	0.235	13.214	10.800	5.742	4.910	0.240	28.851	0.516
00:19:00	0.241	13.576	11.127	6.069	4.944	0.274	30.494	0.530
00:20:00	0.233	13.093	11.469	6.411	4.972	0.302	32.213	0.512

Tabla 5.30 Muestra M-4, estado denso, arena bien graduada σ_N=0.5

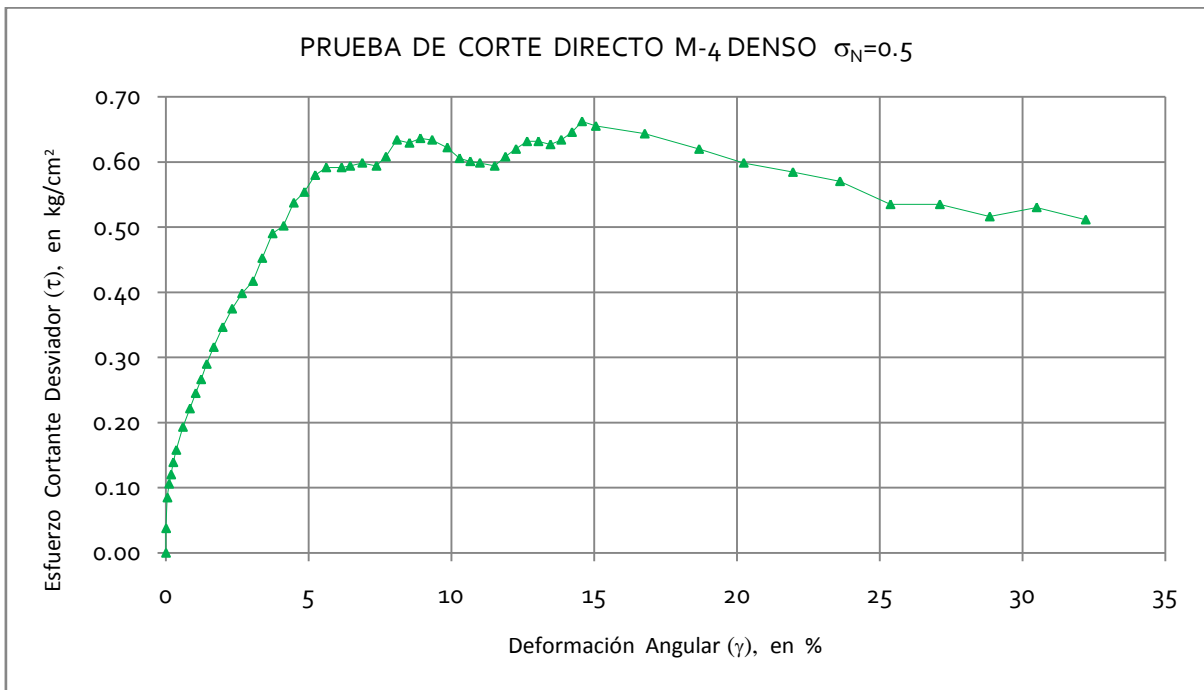


Figura 5.59 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-4 Estado Denso $\sigma_N=0.5$

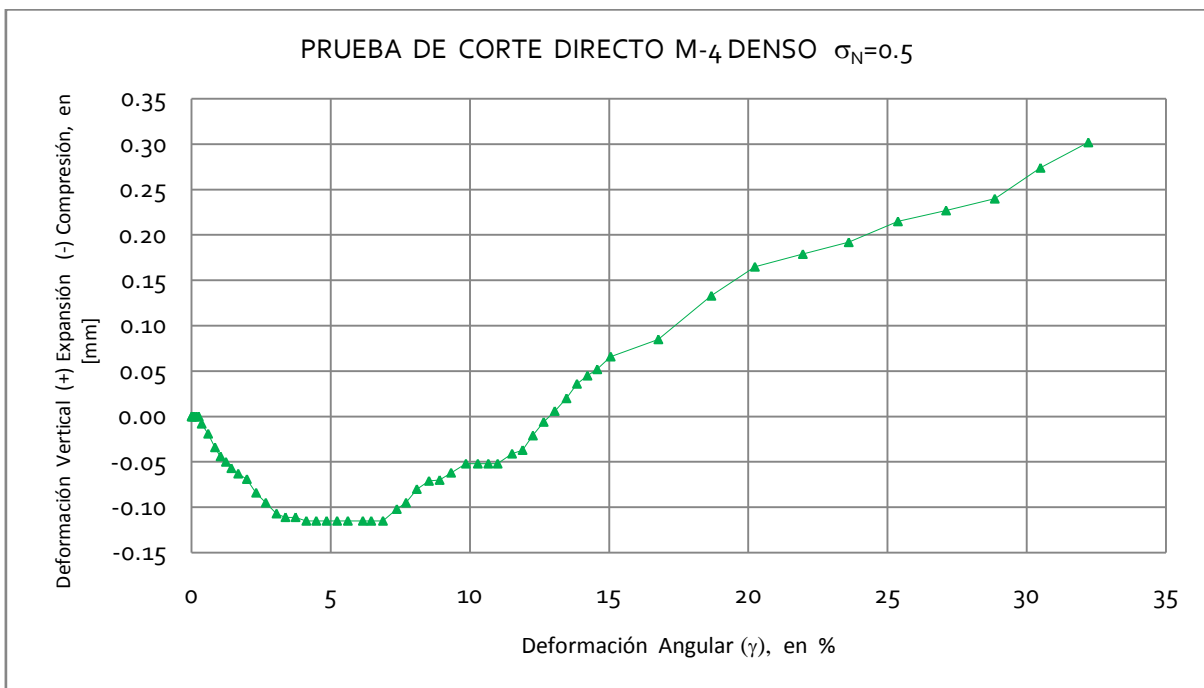


Figura 5.60 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-4 Estado Denso $\sigma_N=0.5$



FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"

Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-4 DENSO
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:

Dimensiones de la caja o probeta		H_0 [cm]=	2.0270
Largo [cm]=	5.060	A_0 [cm ²]=	25.5973
Ancho [cm]=	5.059	W_m [g]=	79.4156
		γ_m [t/m ³]=	1.5306
		P [kg]=	25.5972
		σ_N [kg/cm ²]=	1.0000
		Micro_v [mm]	
		Lo=	5.6120
		Lf=	5.3540
		Δh_{cons} [mm]=	0.2580
		H_c [mm]=	2.0012

	$H_{s/suelo}$ [cm]	$H_{c/suelo}$ [cm]
1	4.007	1.980
2	4.009	1.980
3	4.006	1.980
4	4.006	1.980
Promedio	4.007	1.980
k_{anillo} [kg/mm]=	60.3379	

TIEMPO	LECTURA	T_{total}	MICRO _h	$\delta_{total-h}$	MICRO _v	$\delta_{total-v}$	γ	τ_{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.021	0.000	5.126	0.000	5.354	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.037	0.965	5.127	0.001	5.354	0.000	0.005	0.038
00:00:10	0.057	2.172	5.133	0.007	5.354	0.000	0.035	0.085
00:00:15	0.072	3.077	5.140	0.014	5.354	0.000	0.070	0.120
00:00:20	0.085	3.862	5.149	0.023	5.354	0.000	0.115	0.151
00:00:25	0.096	4.525	5.159	0.033	5.354	0.000	0.165	0.177
00:00:30	0.109	5.310	5.173	0.047	5.354	0.000	0.235	0.207
00:00:40	0.127	6.396	5.202	0.076	5.341	-0.013	0.380	0.250
00:00:50	0.148	7.663	5.233	0.107	5.331	-0.023	0.535	0.299
00:01:00	0.170	8.990	5.260	0.134	5.320	-0.034	0.670	0.351
00:01:10	0.191	10.257	5.287	0.161	5.314	-0.040	0.805	0.401
00:01:20	0.209	11.344	5.318	0.192	5.308	-0.046	0.959	0.443
00:01:30	0.230	12.611	5.349	0.223	5.304	-0.050	1.114	0.493
00:01:45	0.258	14.300	5.397	0.271	5.296	-0.058	1.354	0.559
00:02:00	0.287	16.050	5.440	0.314	5.290	-0.064	1.569	0.627
00:02:15	0.320	18.041	5.487	0.361	5.287	-0.067	1.804	0.705
00:02:30	0.348	19.730	5.544	0.418	5.284	-0.070	2.089	0.771
00:02:45	0.372	21.179	5.589	0.463	5.281	-0.073	2.314	0.827
00:03:00	0.396	22.627	5.649	0.523	5.281	-0.073	2.613	0.884
00:03:15	0.419	24.014	5.700	0.574	5.281	-0.073	2.868	0.938
00:03:30	0.443	25.463	5.762	0.636	5.281	-0.073	3.178	0.995
00:03:45	0.464	26.730	5.820	0.694	5.281	-0.073	3.468	1.044
00:04:00	0.484	27.936	5.883	0.757	5.281	-0.073	3.783	1.091
00:04:15	0.503	29.083	5.941	0.815	5.281	-0.073	4.073	1.136
00:04:30	0.516	29.867	6.011	0.885	5.281	-0.073	4.422	1.167
00:04:45	0.537	31.134	6.062	0.936	5.281	-0.073	4.677	1.216
00:05:00	0.549	31.858	6.135	1.009	5.295	-0.059	5.042	1.245
00:05:15	0.557	32.341	6.207	1.081	5.307	-0.047	5.402	1.263
00:05:30	0.561	32.582	6.260	1.134	5.323	-0.031	5.667	1.273
00:05:45	0.566	32.884	6.285	1.159	5.333	-0.021	5.792	1.285
00:06:00	0.569	33.065	6.428	1.302	5.370	0.016	6.506	1.292
00:06:15	0.566	32.884	6.504	1.378	5.387	0.033	6.886	1.285
00:06:30	0.567	32.944	6.591	1.465	5.399	0.045	7.321	1.287
00:06:45	0.565	32.824	6.668	1.542	5.417	0.063	7.705	1.282
00:07:00	0.566	32.884	6.758	1.632	5.434	0.080	8.155	1.285
00:07:15	0.564	32.763	6.829	1.703	5.455	0.101	8.510	1.280
00:07:30	0.561	32.582	6.914	1.788	5.473	0.119	8.935	1.273
00:07:45	0.557	32.341	6.997	1.871	5.490	0.136	9.349	1.263
00:08:00	0.561	32.582	7.082	1.956	5.504	0.150	9.774	1.273
00:08:15	0.560	32.522	7.166	2.040	5.517	0.163	10.194	1.271
00:08:30	0.550	31.919	7.238	2.112	5.522	0.168	10.554	1.247
00:08:45	0.549	31.858	7.325	2.199	5.531	0.177	10.988	1.245
00:09:00	0.542	31.436	7.420	2.294	5.552	0.198	11.463	1.228
00:09:15	0.535	31.014	7.517	2.391	5.558	0.204	11.948	1.212
00:09:30	0.533	30.893	7.598	2.472	5.574	0.220	12.353	1.207
00:09:45	0.521	30.169	7.675	2.549	5.591	0.237	12.737	1.179
00:10:00	0.479	27.635	7.779	2.653	5.612	0.258	13.257	1.080
00:11:00	0.433	24.859	8.160	3.034	5.651	0.297	15.161	0.971
00:12:00	0.423	24.256	8.555	3.429	5.668	0.314	17.135	0.948
00:13:00	0.416	23.833	8.595	3.469	5.668	0.314	17.335	0.931
00:14:00	0.423	24.256	9.234	4.108	5.668	0.314	20.528	0.948
00:15:00	0.438	25.161	9.561	4.435	5.668	0.314	22.162	0.983
00:16:00	0.431	24.739	9.877	4.751	5.680	0.326	23.741	0.966
00:17:00	0.435	24.980	10.222	5.096	5.691	0.337	25.465	0.976
00:18:00	0.421	24.135	10.563	5.437	5.708	0.354	27.169	0.943
00:19:00	0.415	23.773	10.915	5.789	5.710	0.356	28.928	0.929
00:20:00	0.408	23.351	11.262	6.136	5.714	0.360	30.662	0.912

Tabla 5.31 Muestra M-4, estado denso, arena bien graduada $\sigma_N=1$

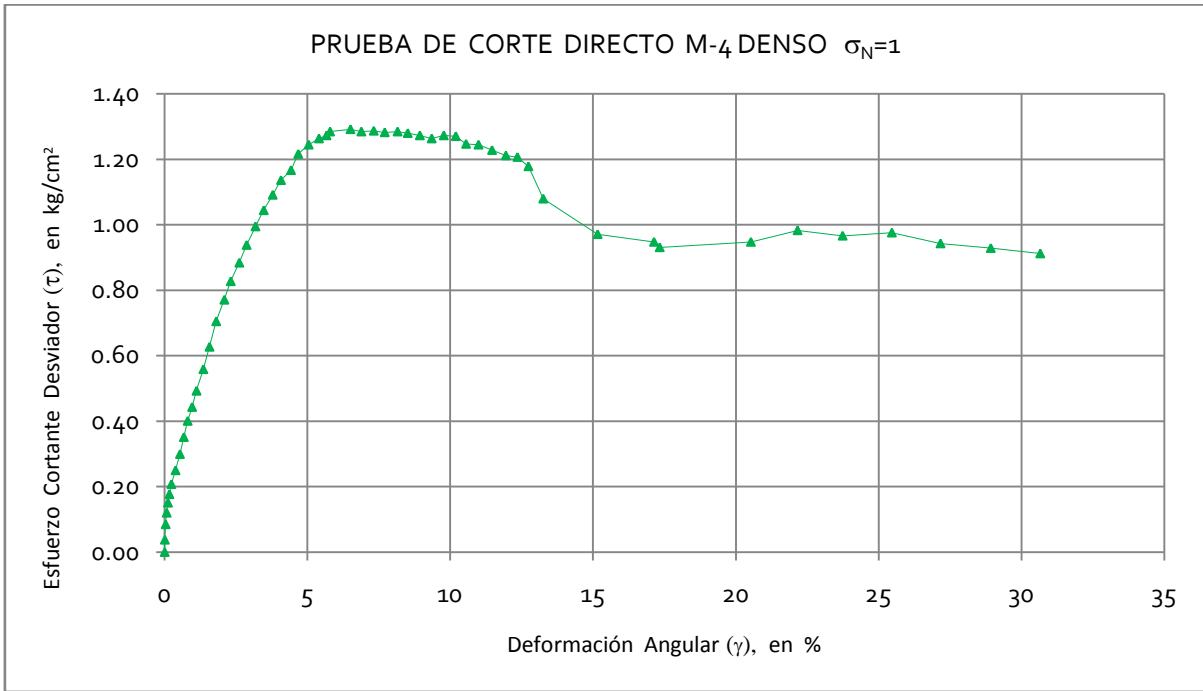


Figura 5.61 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-4 Estado Denso $\sigma_N=1$

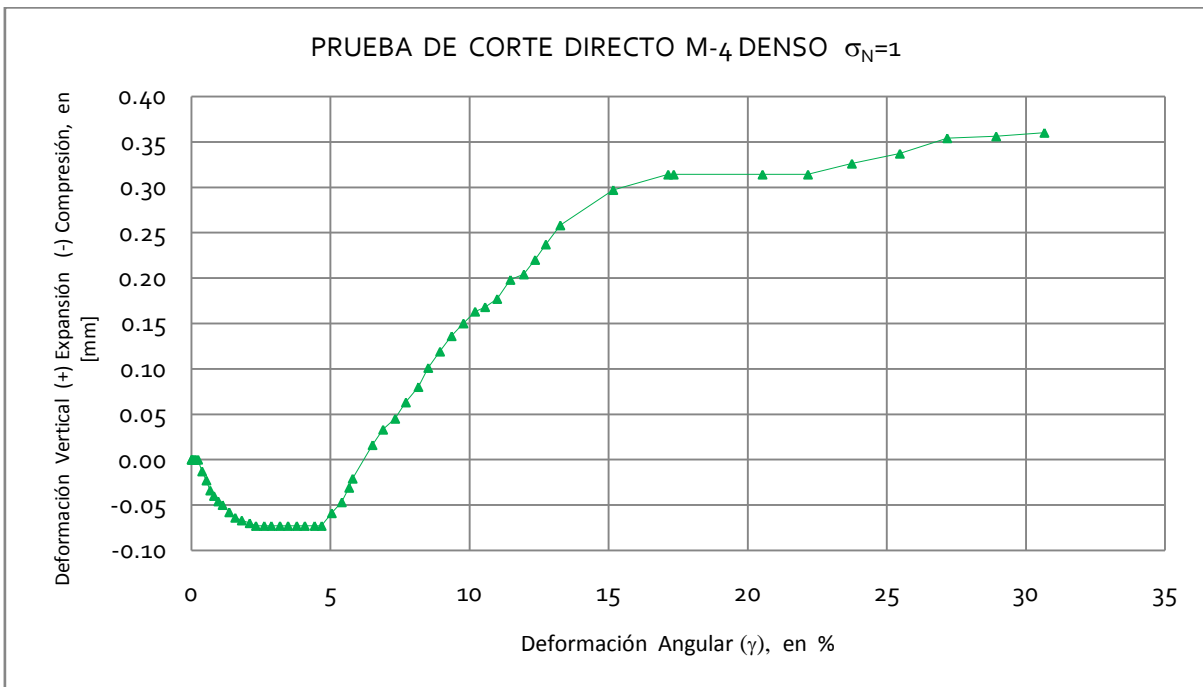


Figura 5.62 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-4 Estado Denso $\sigma_N=1$



FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE GEOTÉCNIA "FZM"

Francisco Zamora Millán

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

PROYECTO :	TESIS DE LICENCIATURA
LOCALIZACIÓN :	FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.

SONDEO :	
MUESTRA :	M-4 DENSO
PROFUNDIDAD :	N/D

DATOS GENERALES:		
Dimensiones de la caja o probeta		
Largo [cm]=	5.060	H_0 [cm]= 2.0870
Ancho [cm]=	5.059	A_0 [cm ²]= 25.5973
		Wm [g]= 79.4156
		γ_m [t/m ³]= 1.4866
		P [kg]= 38.3958
		σ_N [kg/cm ²]= 1.5000
		Micro_v [mm]
		Lo= 5.2350
		Lf= 4.6270
		Δh_{cons} [mm]= 0.6080
		Hc[mm]= 2.0262

	H _{s/suelo} [cm]	H _{c/suelo} [cm]
1	4.007	1.920
2	4.009	1.920
3	4.006	1.920
4	4.006	1.920
Promedio	4.007	1.920

k _{anillo} [kg/mm]=	60.3379
------------------------------	---------

TIEMPO	LECTURA	T _{total}	MICRO _h	$\delta_{total-h}$	MICRO _v	$\delta_{total-v}$	γ	τ_{des}
00:mm:ss	ANILLO	[kg]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	%	[kg/cm ²]
00:00:00	0.015	0.000	5.059	0.000	4.627	0.000	0.000	0.000
00:00:05	0.028	0.784	5.059	0.000	4.626	-0.001	0.000	0.031
00:00:10	0.048	1.991	5.060	0.001	4.625	-0.002	0.005	0.078
00:00:15	0.066	3.077	5.062	0.003	4.624	-0.003	0.015	0.120
00:00:20	0.084	4.163	5.065	0.006	4.623	-0.004	0.030	0.163
00:00:25	0.104	5.370	5.072	0.013	4.622	-0.005	0.064	0.210
00:00:30	0.116	6.094	5.079	0.020	4.621	-0.006	0.099	0.238
00:00:40	0.142	7.663	5.101	0.042	4.611	-0.016	0.207	0.299
00:00:50	0.169	9.292	5.130	0.071	4.608	-0.019	0.350	0.363
00:01:00	0.192	10.680	5.160	0.101	4.606	-0.021	0.498	0.417
00:01:10	0.207	11.585	5.201	0.142	4.600	-0.027	0.701	0.453
00:01:20	0.223	12.550	5.233	0.174	4.600	-0.027	0.859	0.490
00:01:30	0.248	14.059	5.262	0.203	4.585	-0.042	1.002	0.549
00:01:45	0.274	15.628	5.314	0.255	4.583	-0.044	1.259	0.611
00:02:00	0.307	17.619	5.361	0.302	4.574	-0.053	1.490	0.688
00:02:15	0.337	19.429	5.409	0.350	4.562	-0.065	1.727	0.759
00:02:30	0.364	21.058	5.462	0.403	4.561	-0.066	1.989	0.823
00:02:45	0.391	22.687	5.516	0.457	4.552	-0.075	2.255	0.886
00:03:00	0.423	24.618	5.564	0.505	4.551	-0.076	2.492	0.962
00:03:15	0.447	26.066	5.625	0.566	4.545	-0.082	2.793	1.018
00:03:30	0.472	27.574	5.678	0.619	4.540	-0.087	3.055	1.077
00:03:45	0.497	29.083	5.735	0.676	4.537	-0.090	3.336	1.136
00:04:00	0.524	30.712	5.800	0.741	4.534	-0.093	3.657	1.200
00:04:15	0.540	31.677	5.857	0.798	4.530	-0.097	3.938	1.238
00:04:30	0.562	33.005	5.915	0.856	4.527	-0.100	4.225	1.289
00:04:45	0.575	33.789	5.985	0.926	4.526	-0.101	4.570	1.320
00:05:00	0.588	34.574	6.049	0.990	4.526	-0.101	4.886	1.351
00:05:15	0.599	35.237	6.111	1.052	4.526	-0.101	5.192	1.377
00:05:30	0.609	35.841	6.117	1.058	4.526	-0.101	5.222	1.400
00:05:45	0.615	36.203	6.252	1.193	4.534	-0.093	5.888	1.414
00:06:00	0.624	36.746	6.324	1.265	4.544	-0.083	6.243	1.436
00:06:15	0.625	36.806	6.398	1.339	4.551	-0.076	6.608	1.438
00:06:30	0.630	37.108	6.478	1.419	4.563	-0.064	7.003	1.450
00:06:45	0.630	37.108	6.556	1.497	4.572	-0.055	7.388	1.450
00:07:00	0.634	37.349	6.631	1.572	4.587	-0.040	7.758	1.459
00:07:15	0.639	37.651	6.699	1.640	4.595	-0.032	8.094	1.471
00:07:30	0.643	37.892	6.782	1.723	4.615	-0.012	8.504	1.480
00:07:45	0.638	37.591	6.868	1.809	4.631	0.004	8.928	1.469
00:08:00	0.639	37.651	6.949	1.890	4.646	0.019	9.328	1.471
00:08:15	0.640	37.711	7.018	1.959	4.657	0.030	9.668	1.473
00:08:30	0.637	37.530	7.105	2.046	4.672	0.045	10.098	1.466
00:08:45	0.631	37.168	7.191	2.132	4.680	0.053	10.522	1.452
00:09:00	0.632	37.228	7.271	2.212	4.680	0.053	10.917	1.454
00:09:15	0.632	37.228	7.350	2.291	4.690	0.063	11.307	1.454
00:09:30	0.625	36.806	7.442	2.383	4.705	0.078	11.761	1.438
00:09:45	0.622	36.625	7.527	2.468	4.713	0.086	12.180	1.431
00:10:00	0.619	36.444	7.610	2.551	4.723	0.096	12.590	1.424
00:11:00	0.609	35.841	7.953	2.894	4.762	0.135	14.283	1.400
00:12:00	0.587	34.513	8.314	3.255	4.785	0.158	16.065	1.348
00:13:00	0.578	33.970	8.655	3.596	4.820	0.193	17.748	1.327
00:14:00	0.567	33.307	9.007	3.948	4.863	0.236	19.485	1.301
00:15:00	0.567	33.307	9.331	4.272	4.875	0.248	21.084	1.301
00:16:00	0.561	32.944	9.681	4.622	4.888	0.261	22.811	1.287
00:17:00	0.573	33.669	9.999	4.940	4.900	0.273	24.381	1.315
00:18:00	0.559	32.824	10.358	5.299	4.915	0.288	26.152	1.282
00:19:00	0.544	31.919	10.710	5.651	4.922	0.295	27.890	1.247
00:20:00	0.544	31.919	11.042	5.983	4.926	0.299	29.528	1.247

Tabla 5.32 Muestra M-4, estado denso, arena bien graduada $\sigma_N=1.5$

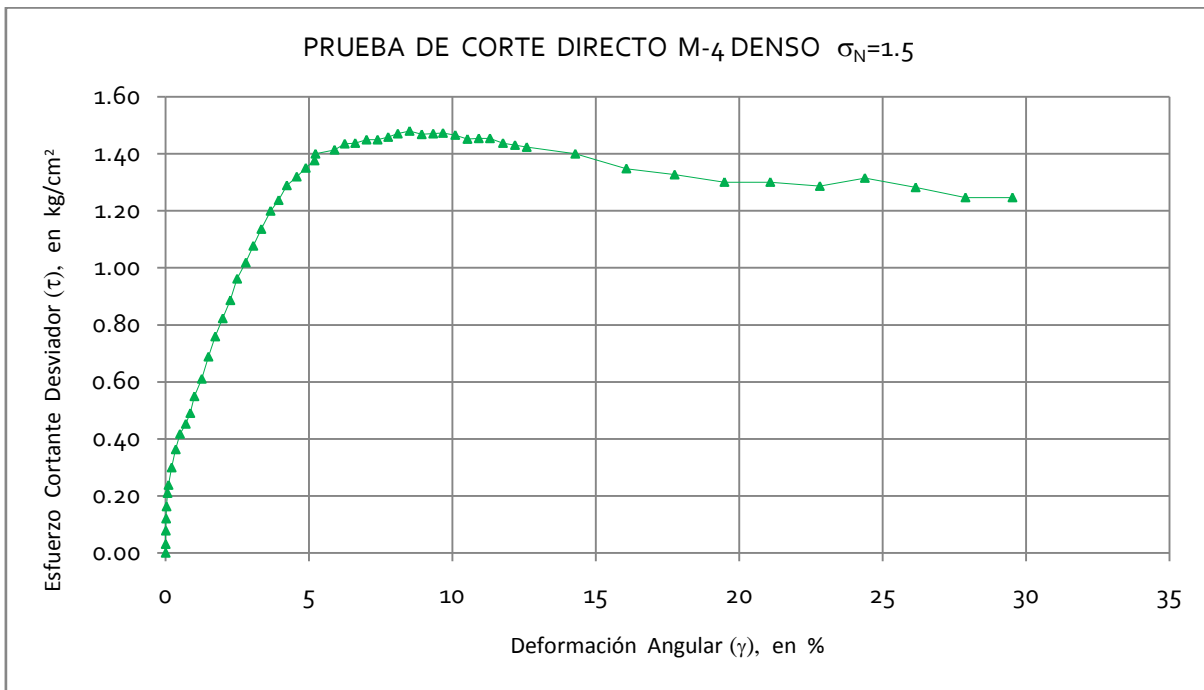


Figura 5.63 Curva Deformación Angular, Esfuerzo Cortante Desviador de la M-4 Estado Denso $\sigma_N=1.5$

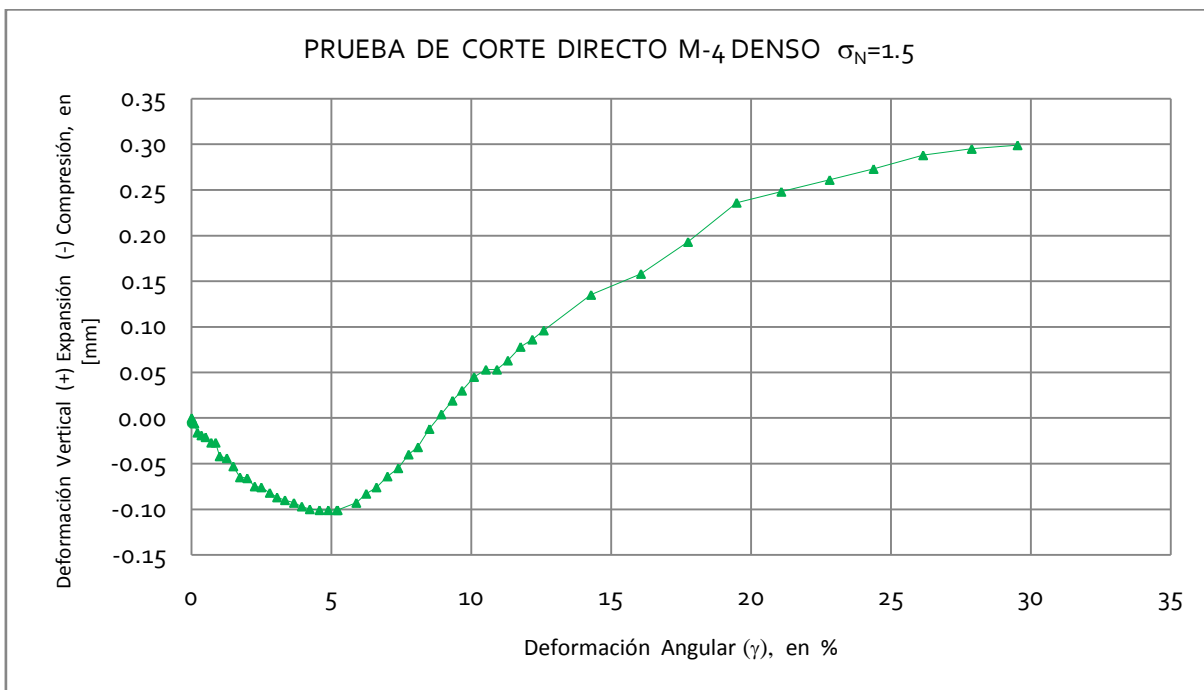


Figura 5.64 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-4 Estado Denso $\sigma_N=1.5$

VI

Análisis de Resultados

Considerando los datos obtenidos del capítulo anterior (proceso de resultados) se comienza el análisis separando cada material y se podrá observar la variación que existe entre ellos físicamente con ayuda de tablas, y también en este capítulo se podrá conocer su relación directa con el ángulo de fricción interna de manera atenta en curvas Esfuerzo Cortante Desviador τ , en kg/cm^2 contra Deformación Angular γ , en porcentaje %.

Y se podrá observar cómo cambia de expresión para las curvas en estado denso y se hace una modificación para encontrar la curva que defina mejor lo que pasa en cada muestra, con ayuda del programa CurveExpert se podrá poner los datos que se obtuvieron de esfuerzo Cortante Desviador (τ) en relación con el Esfuerzo Normal σ_N con el cual se podrá elegir un modelo matemático y se mostrara al final del capítulo desarrollado en cuestión.

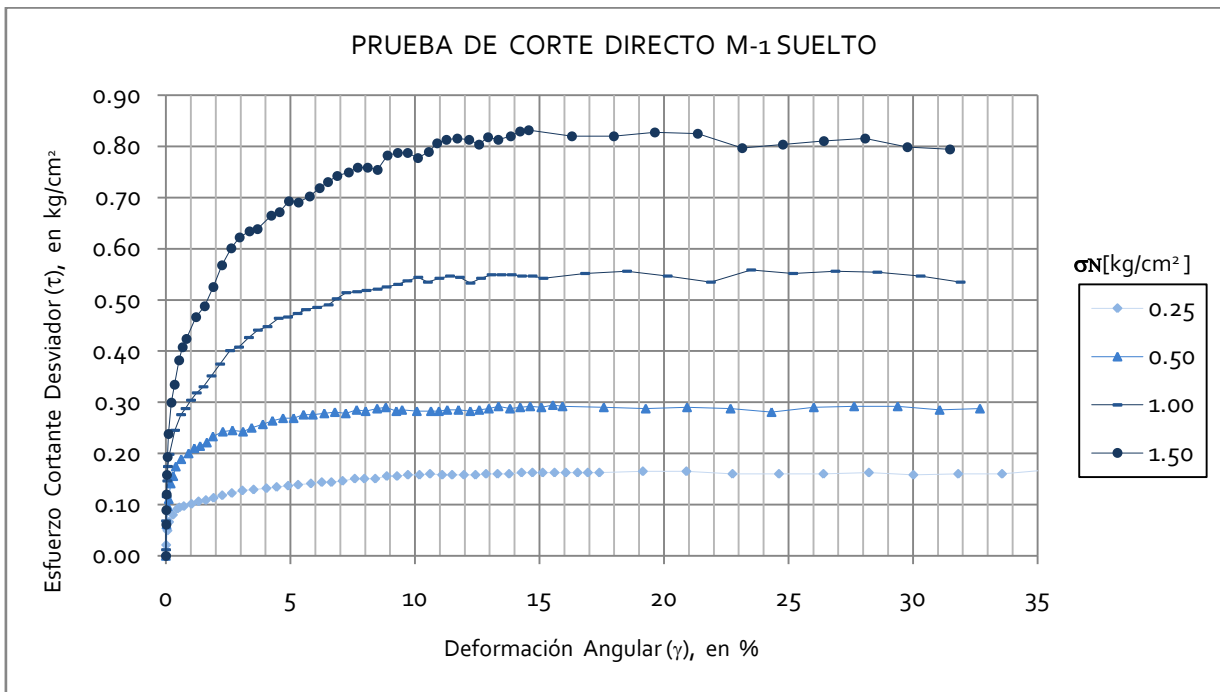


Figura 6.1 Curva de la Muestra M-1 Deformación Angular (γ) en porcentaje, contra Esfuerzo Cortante Desviador (τ), en [kg/cm^2].

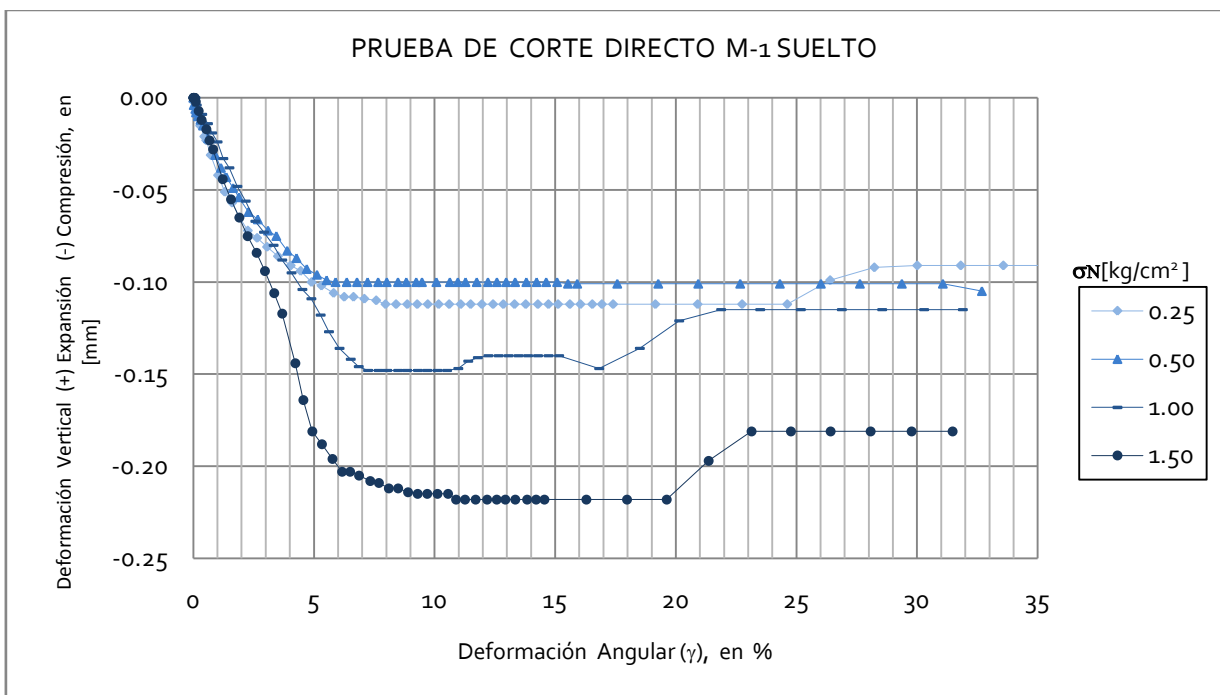


Figura 6.2 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-1 Estado Suelto

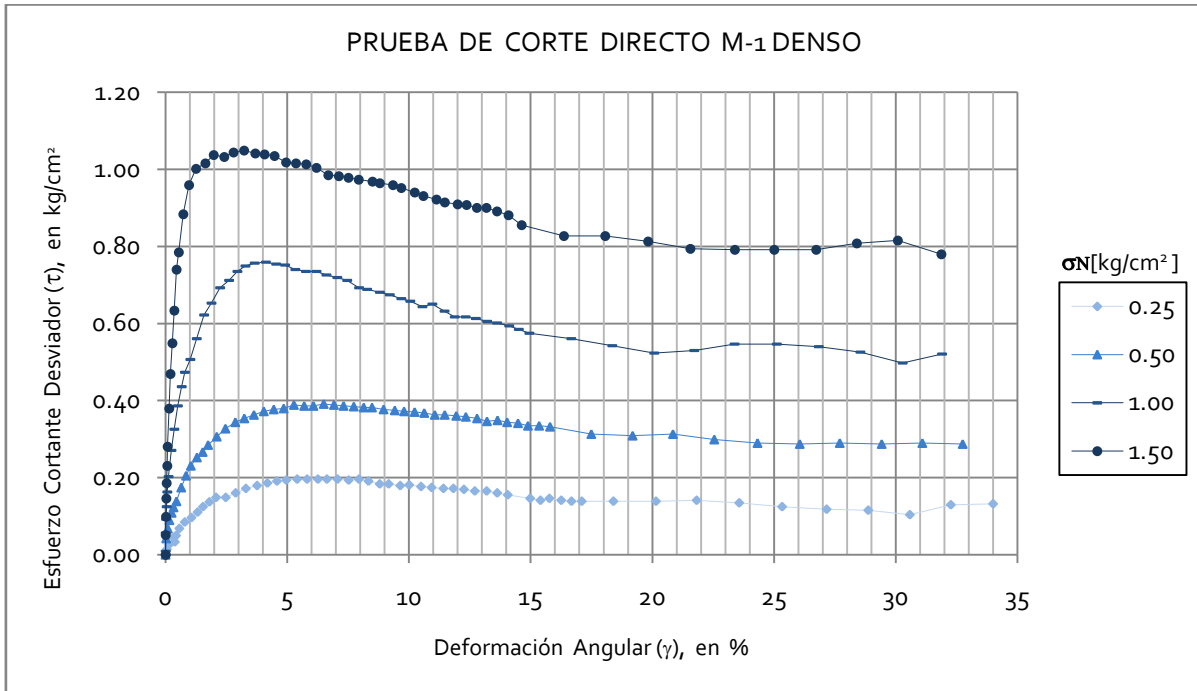


Figura 6.3 Curva de la Muestra M-1 Deformación Angular (γ) en porcentaje, contra Esfuerzo Cortante Desviador (τ), en $[\text{kg/cm}^2]$.

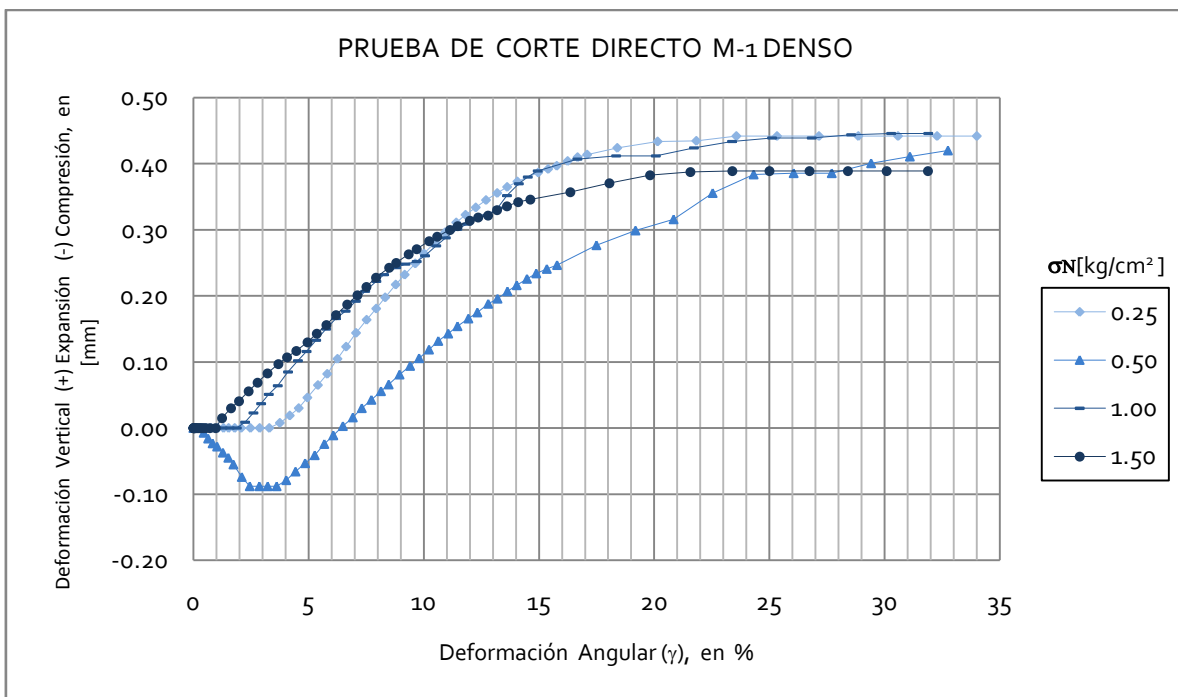


Figura 6.4 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-1 Estado Denso

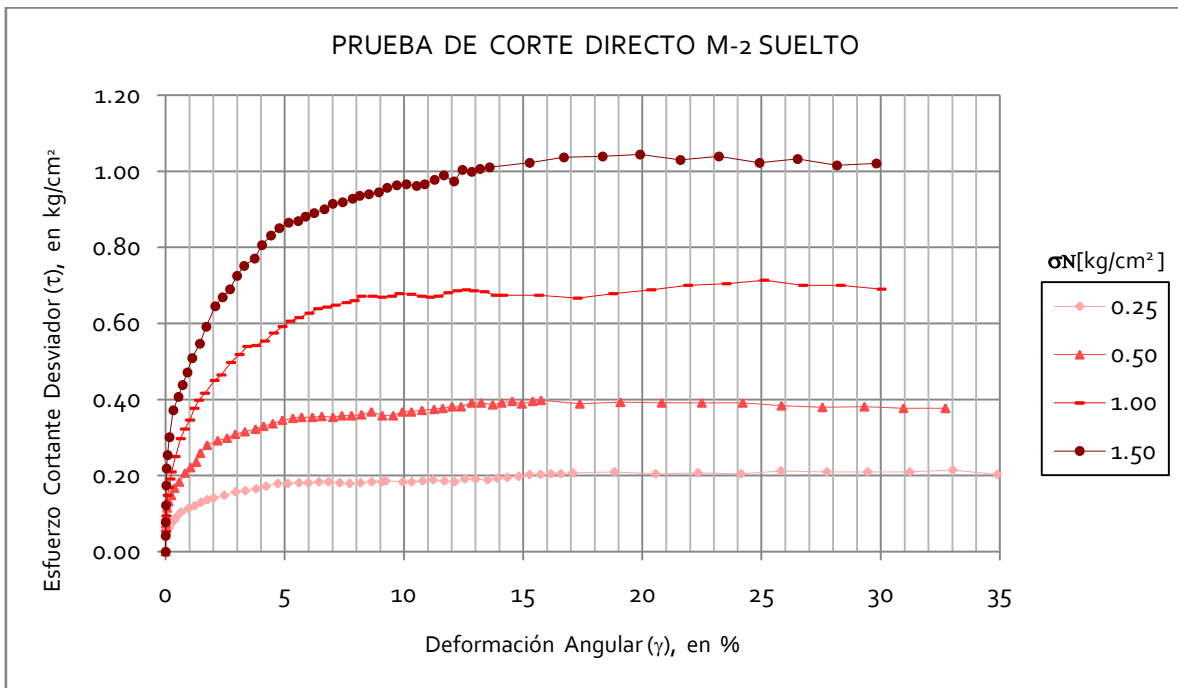


Figura 6.5 Curva de la Muestra M-2 Deformación Angular (γ) en porcentaje, contra Esfuerzo Cortante Desviador (τ), en $[\text{kg/cm}^2]$.

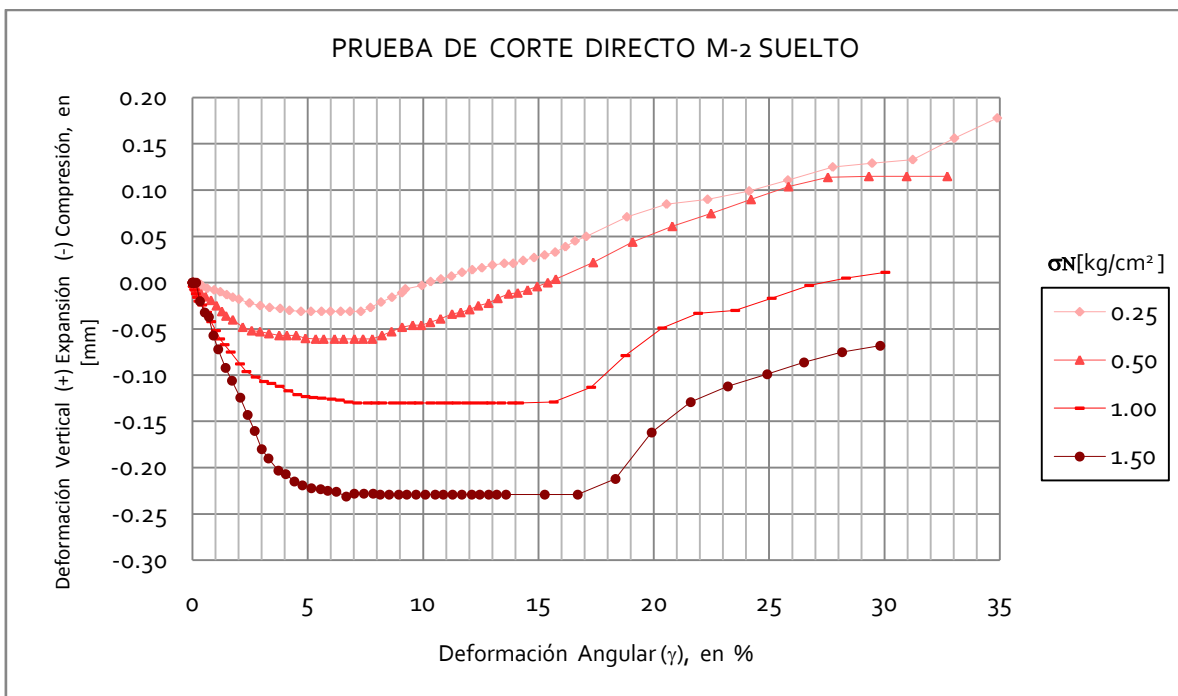


Figura 6.6 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-2 Estado Suelto

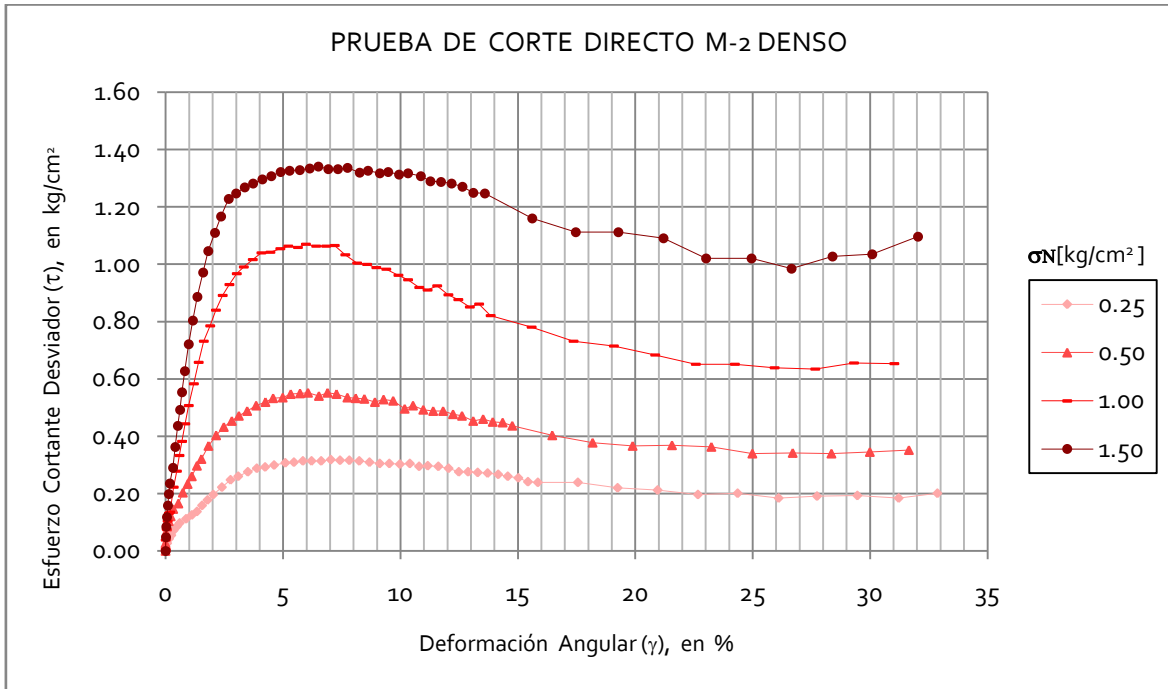


Figura 6.7 Curva de la Muestra M-2 Deformación Angular (γ) en porcentaje, contra Esfuerzo Cortante Desviador (τ), en $[\text{kg/cm}^2]$.

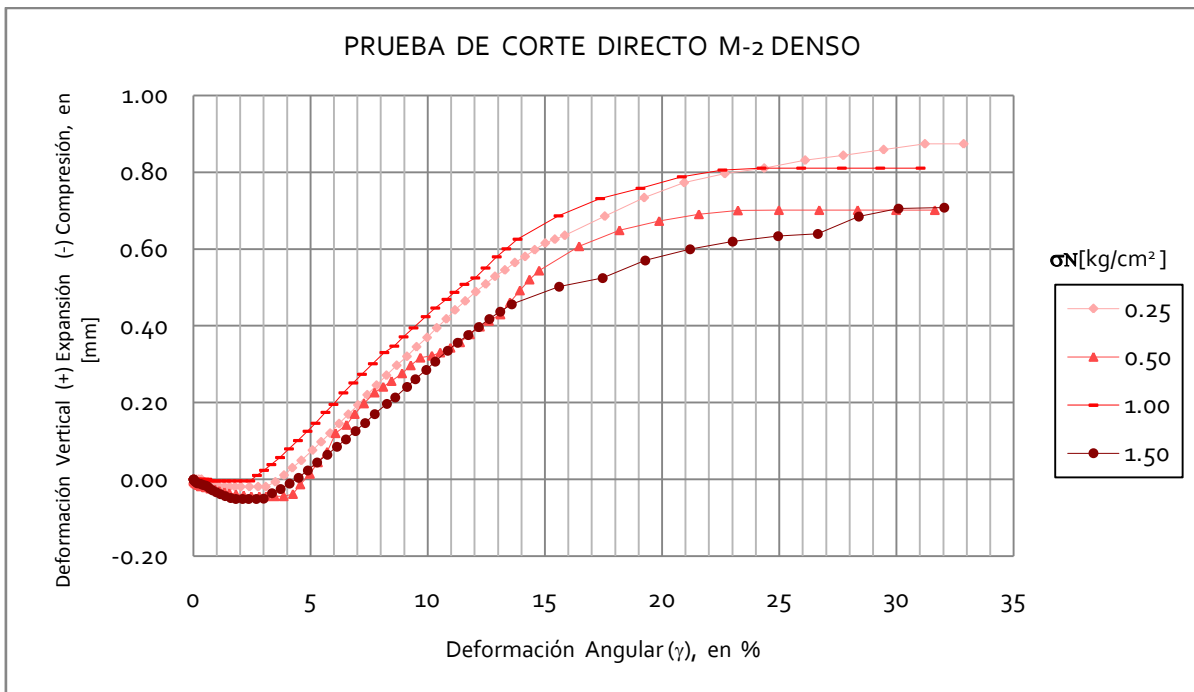


Figura 6.8 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-2 Estado Denso

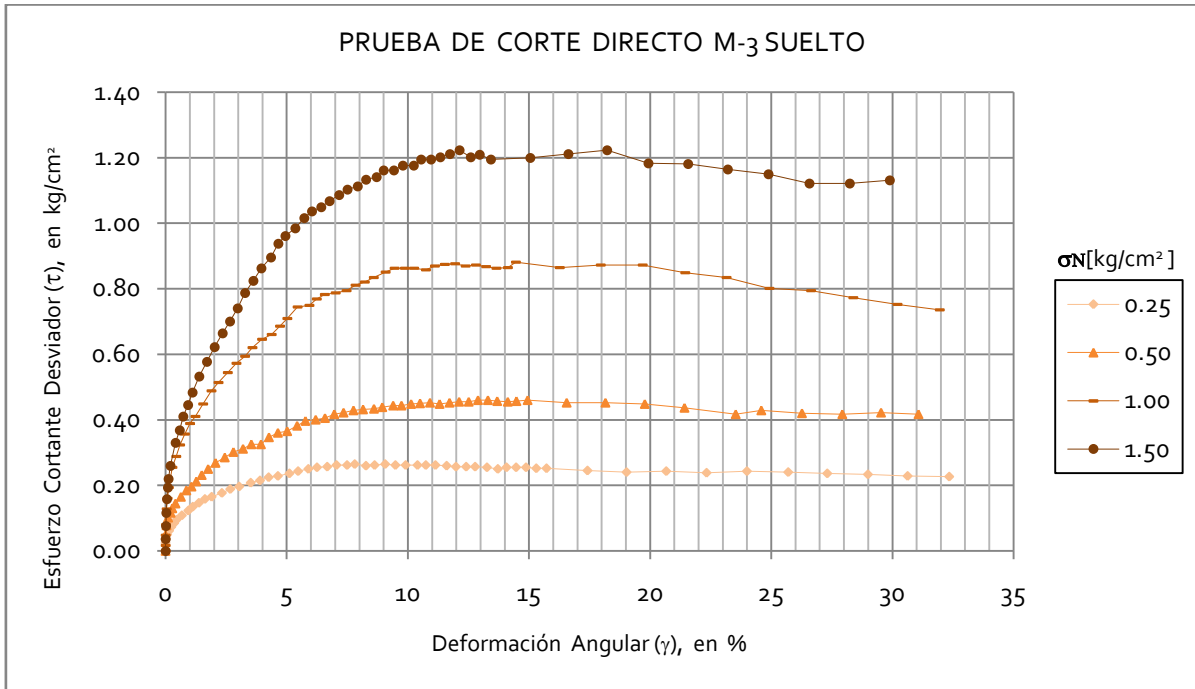


Figura 6.9 Curva de la Muestra M-3 Deformación Angular (γ) en porcentaje, contra Esfuerzo Cortante Desviador (τ), en $[\text{kg/cm}^2]$.

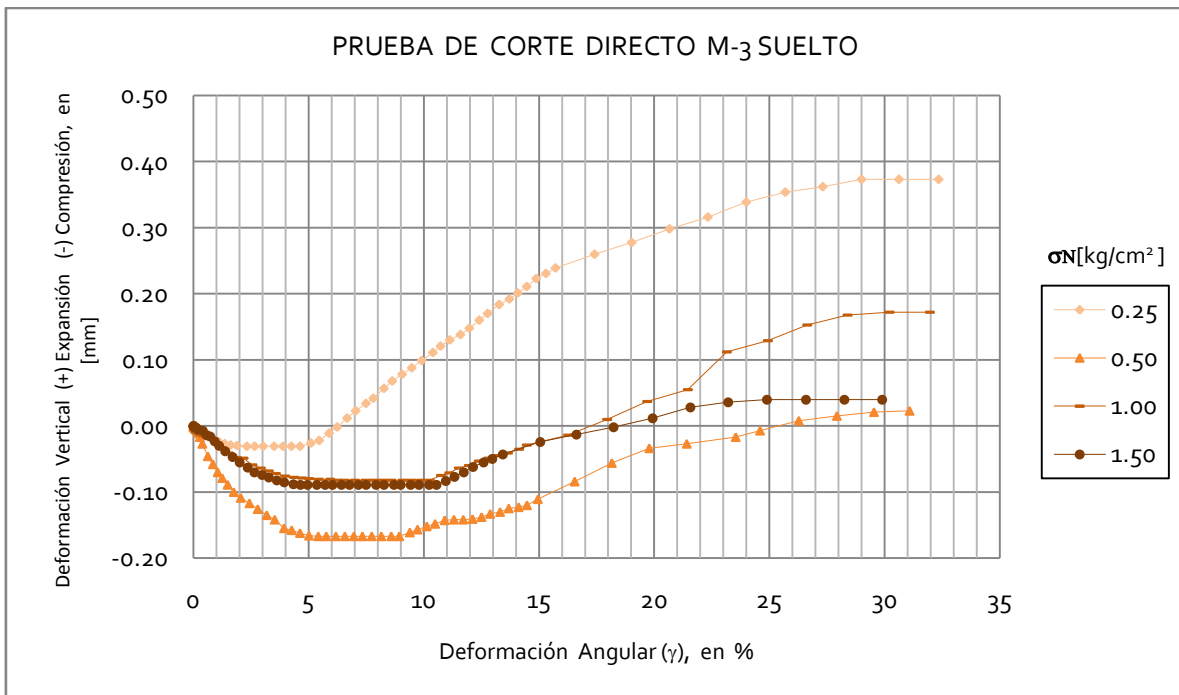


Figura 6.10 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-3 Estado Suelto

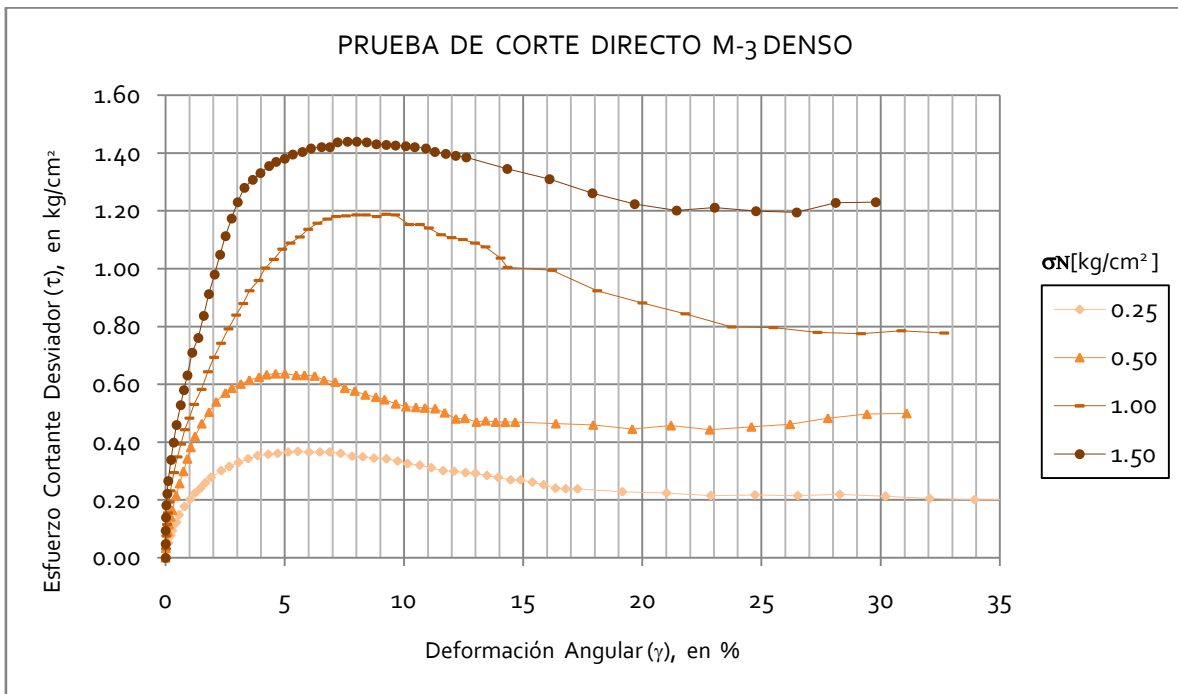


Figura 6.11 Curva de la Muestra M-3 Deformación Angular (γ) en porcentaje, contra Esfuerzo Cortante Desviador (τ), en $[\text{kg}/\text{cm}^2]$.

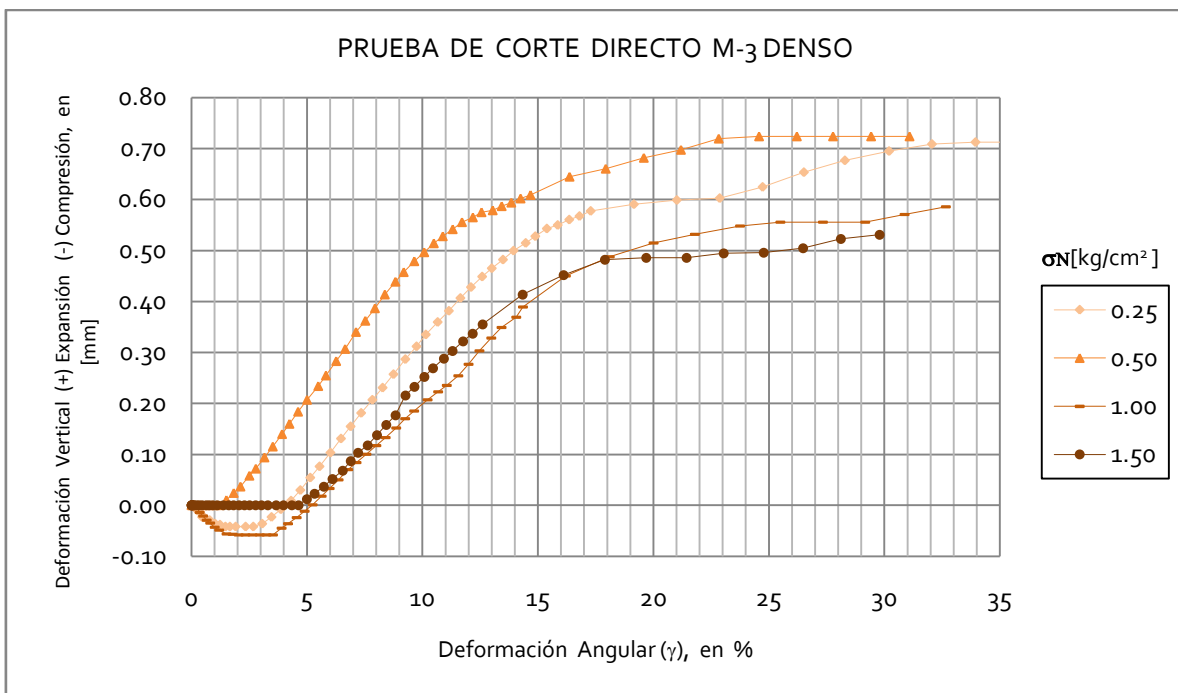


Figura 6.12 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-3 Estado Denso

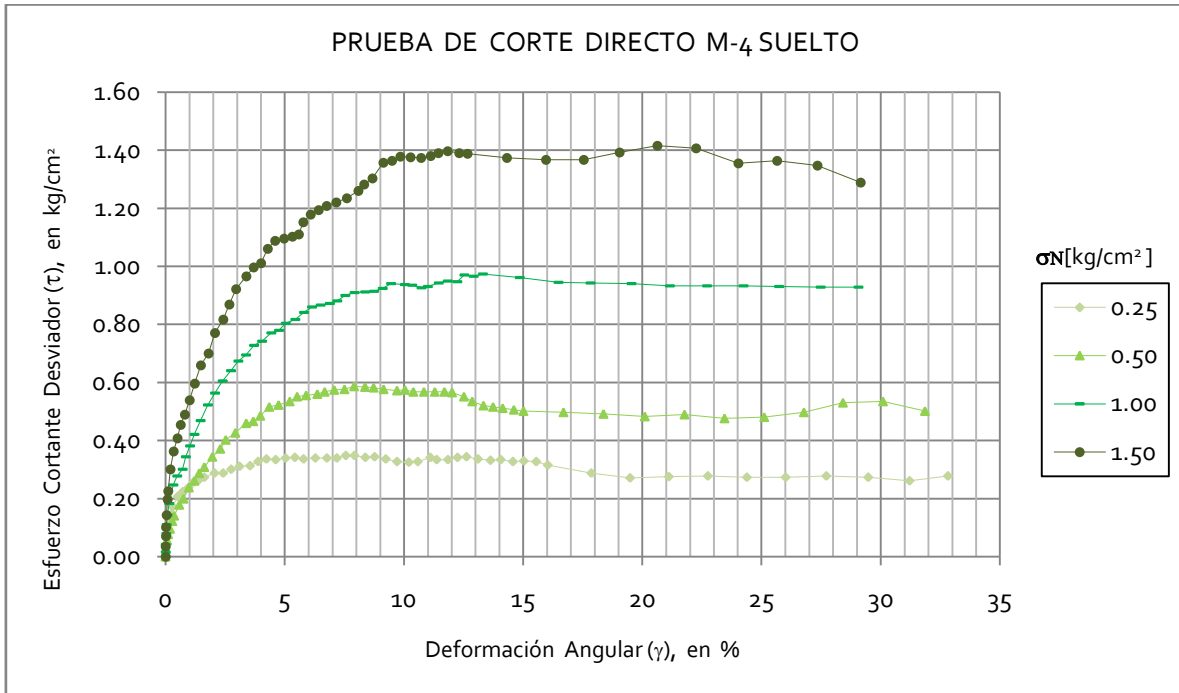


Figura 6.11 Curva de la Muestra M-4 Deformación Angular (γ) en porcentaje, contra Esfuerzo Cortante Desviador (τ), en [kg/cm^2].

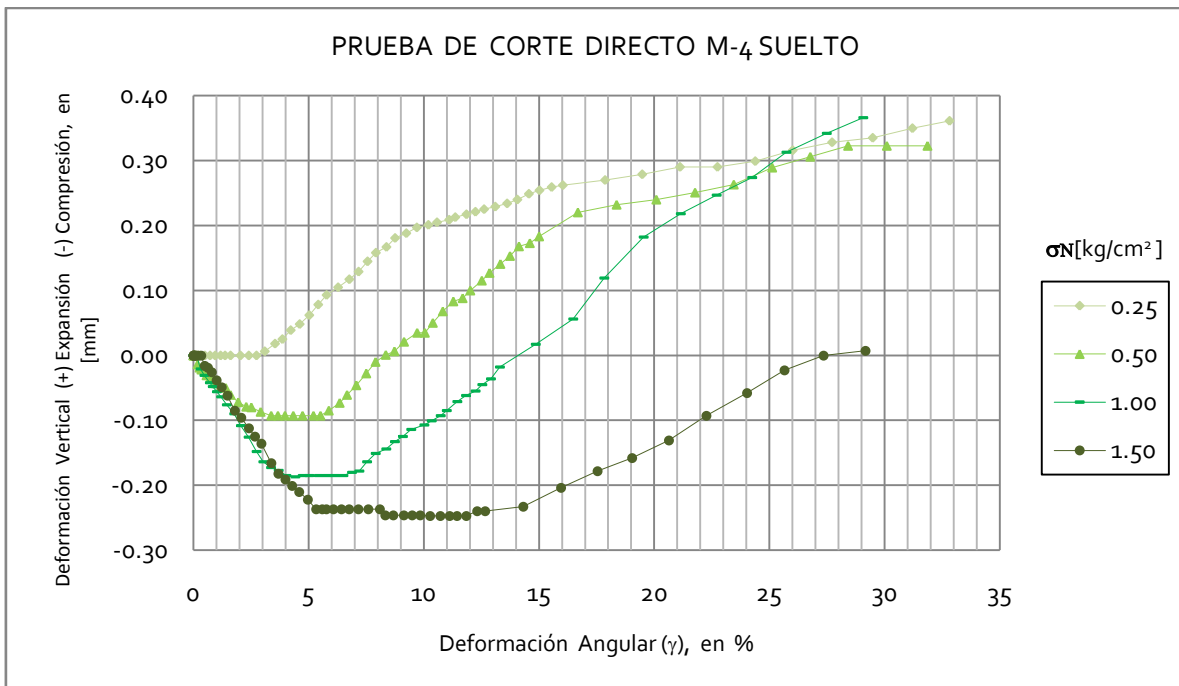


Figura 6.12 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-4 Estado Suelto

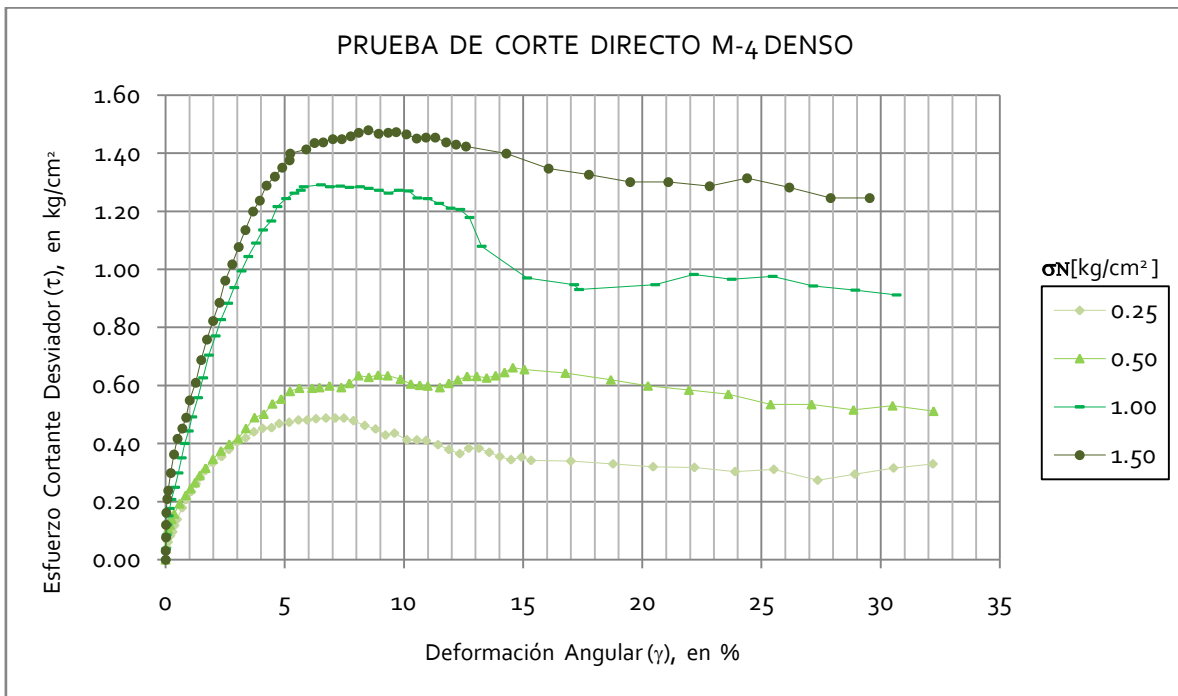


Figura 6.13 Curva de la Muestra M-4 Deformación Angular (γ) en porcentaje, contra Esfuerzo Cortante Desviador (τ), en $[\text{kg/cm}^2]$.

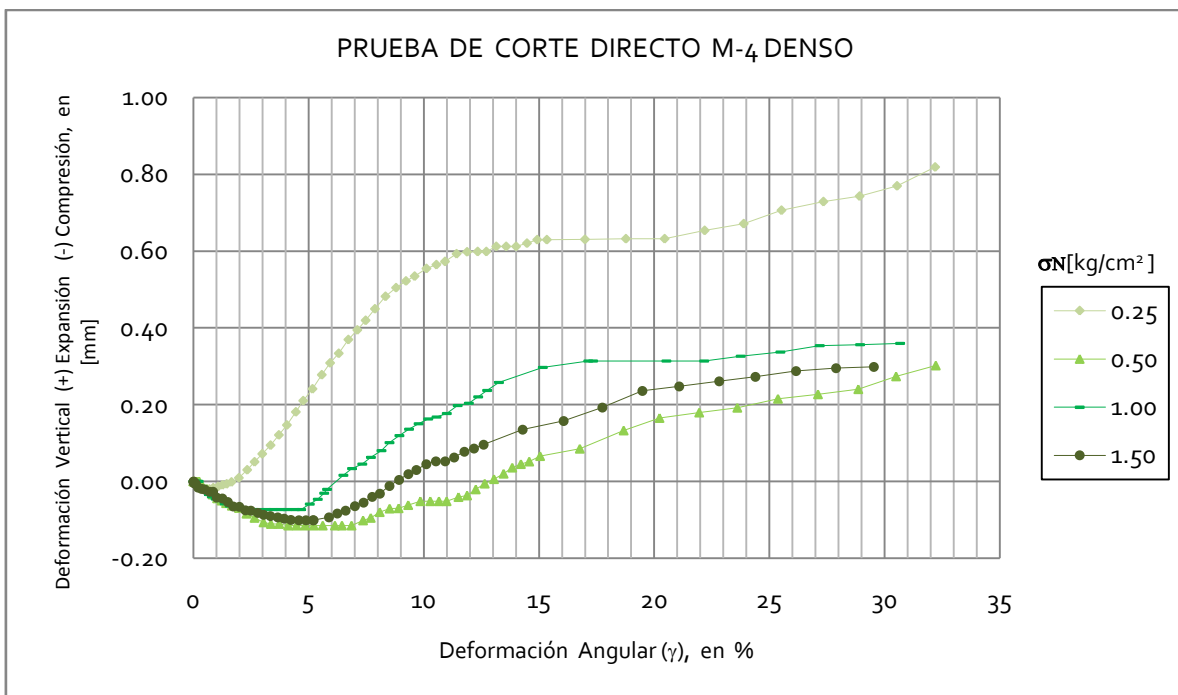


Figura 6.14 Curva Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) de la muestra M-4 Estado Denso

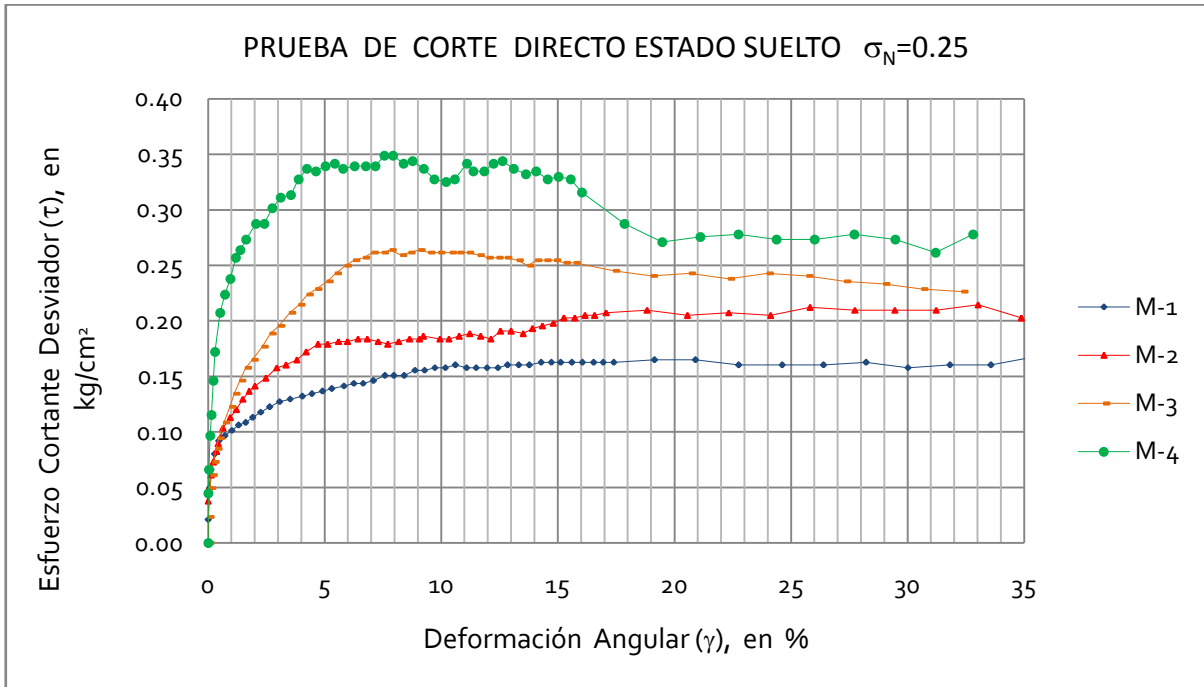


Figura 6.15 Curvas de todas las muestras, Deformación Angular (γ) en porcentaje, contra Esfuerzo Cortante Desviador (τ), en $[\text{kg/cm}^2]$. Con $\sigma_N=0.25$ Estado Suelto

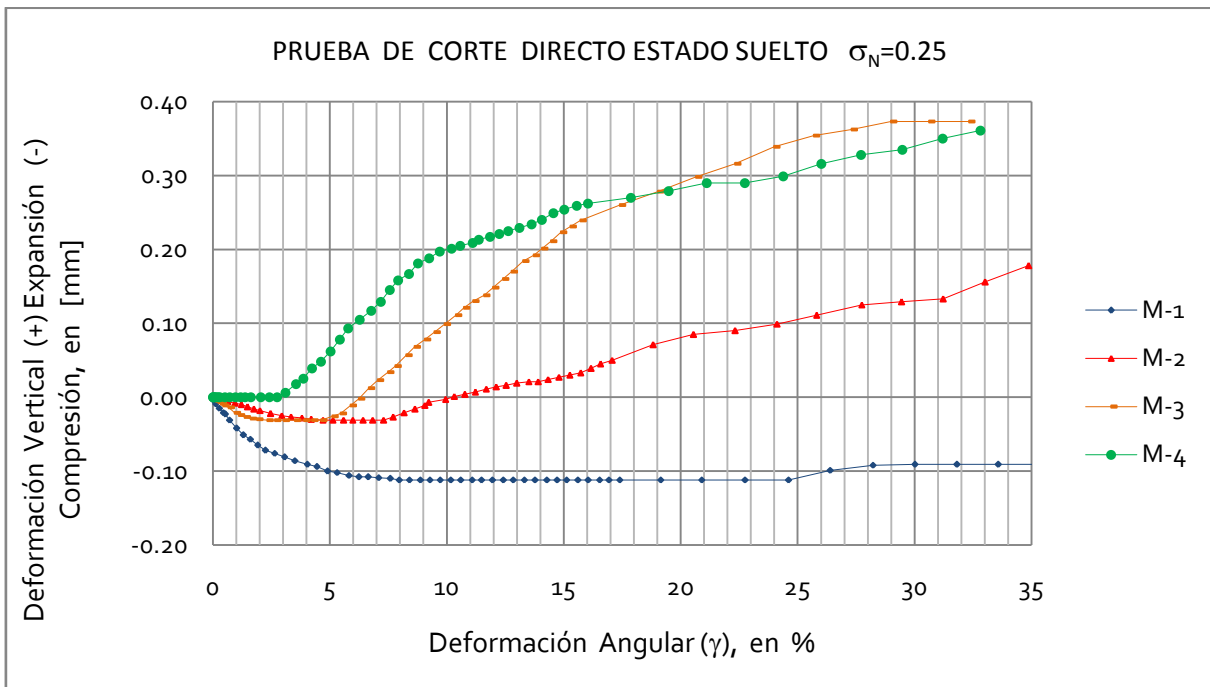


Figura 6.16 Curva de todas las muestras, Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) $\sigma_N=0.25$ Estado Suelto

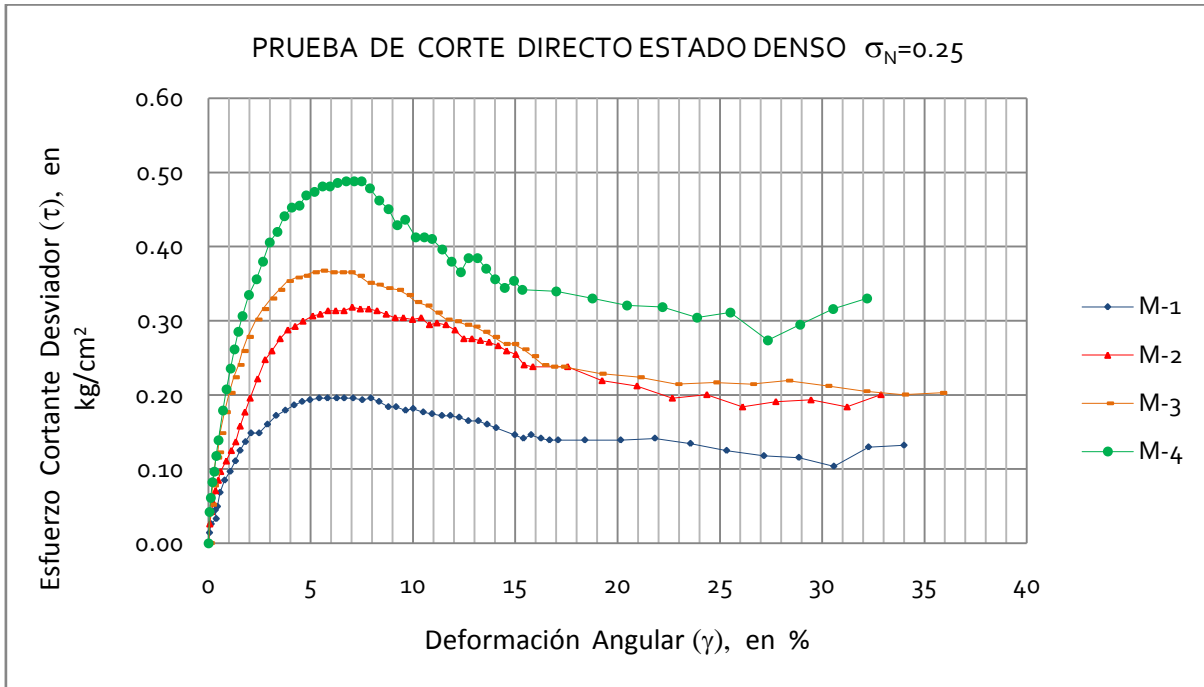


Figura 6.17 Curvas de todas las muestras, Deformación Angular (γ) en porcentaje, contra Esfuerzo Cortante Desviador (τ), en $[\text{kg/cm}^2]$. Con $\sigma_N=0.25$ Estado Denso

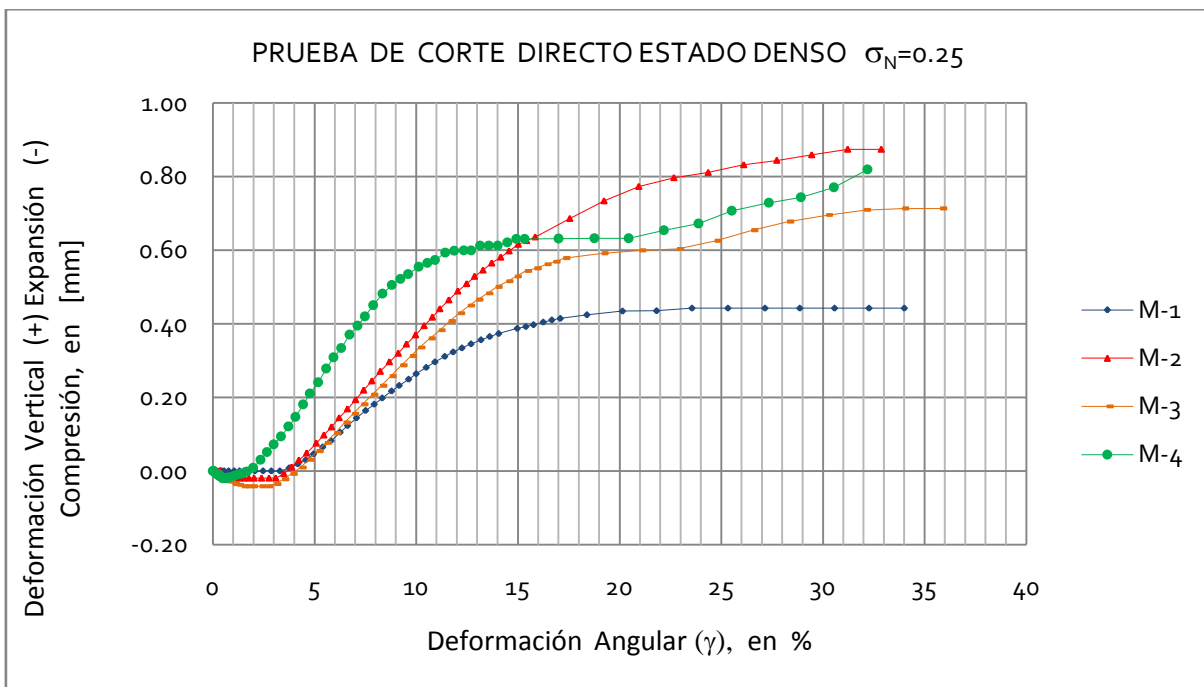


Figura 6.18 Curva de todas las muestras, Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) $\sigma_N=0.25$ Estado Denso

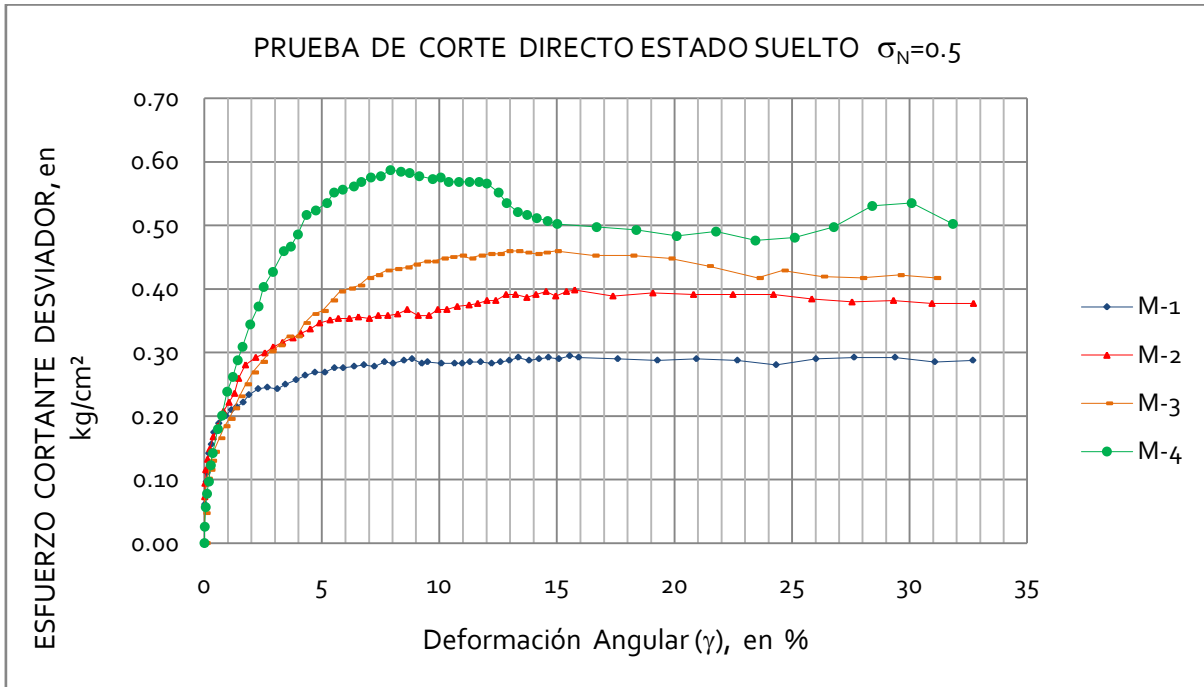


Figura 6.19 Curvas de todas las muestras, Deformación Angular (γ) en porcentaje, contra Esfuerzo Cortante Desviador (τ), en $[\text{kg/cm}^2]$. Con $\sigma_N=0.5$ Estado Suelto

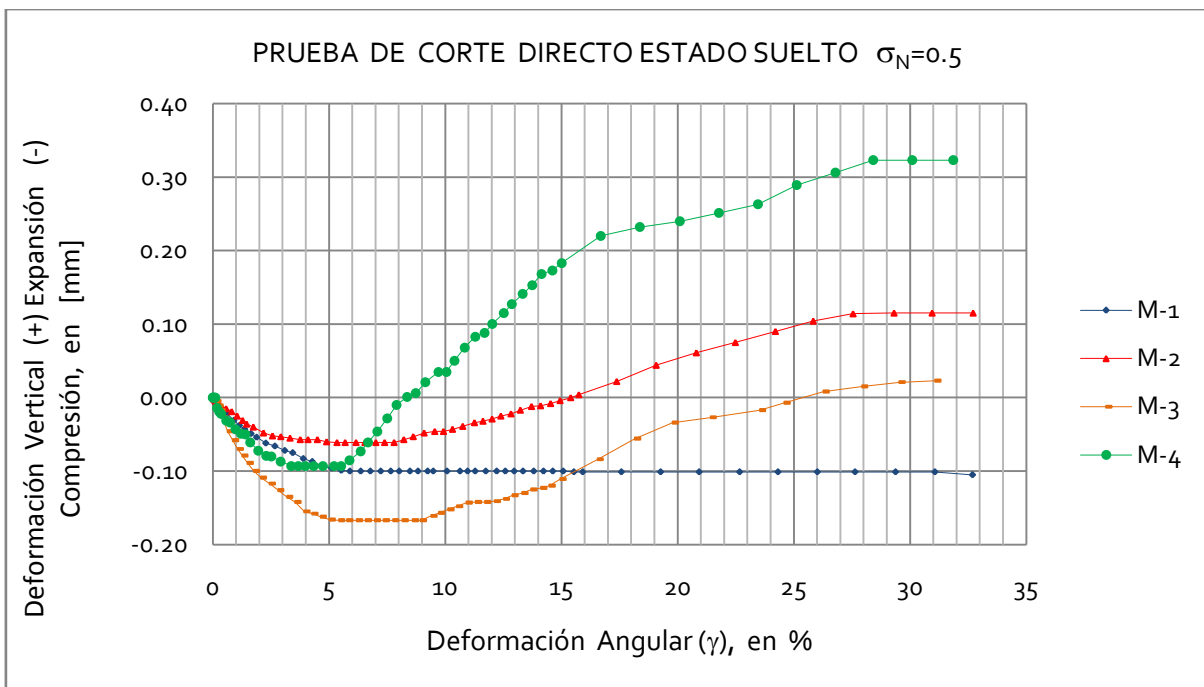


Figura 6.20 Curva de todas las muestras, Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) $\sigma_N=0.5$ Estado Suelto

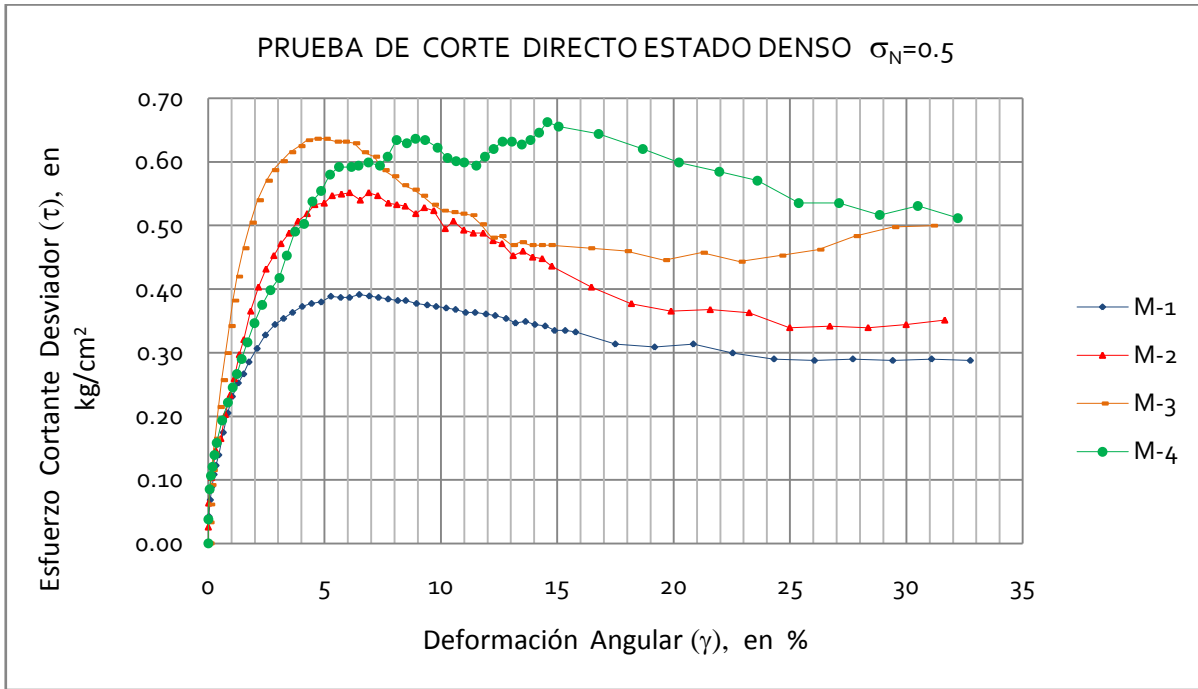


Figura 6.21 Curvas de todas las muestras, Deformación Angular (γ) en porcentaje, contra Esfuerzo Cortante Desviador (τ), en $[\text{kg/cm}^2]$. Con $\sigma_N=0.5$ Estado Denso

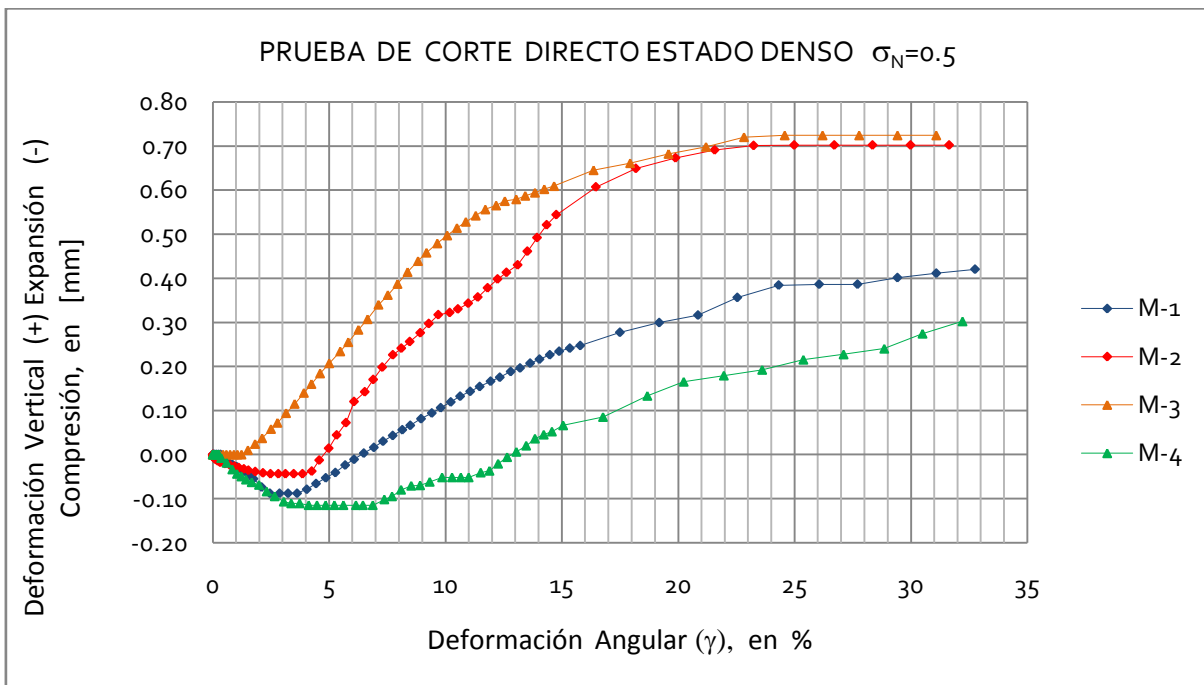


Figura 6.22 Curva de todas las muestras, Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) $\sigma_N=0.5$ Estado Denso

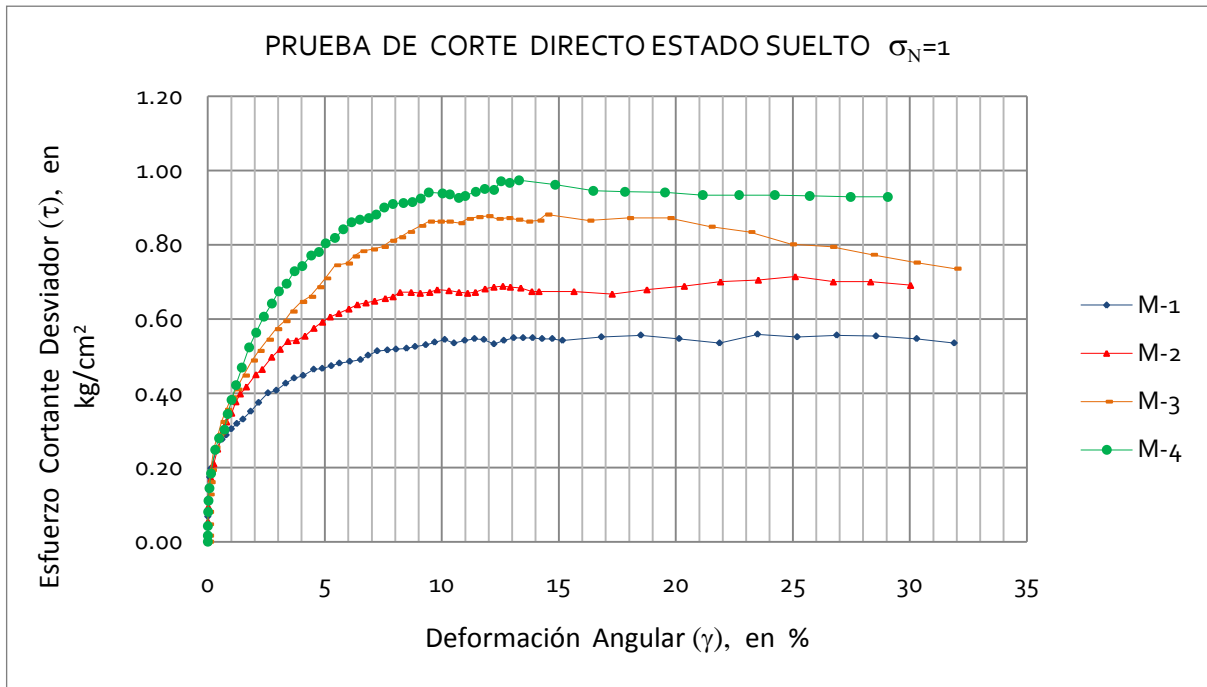


Figura 6.23 Curvas de todas las muestras, Deformación Angular (γ) en porcentaje, contra Esfuerzo Cortante Desviador (τ), en [kg/cm²]. Con $\sigma_N=1$ Estado Suelto

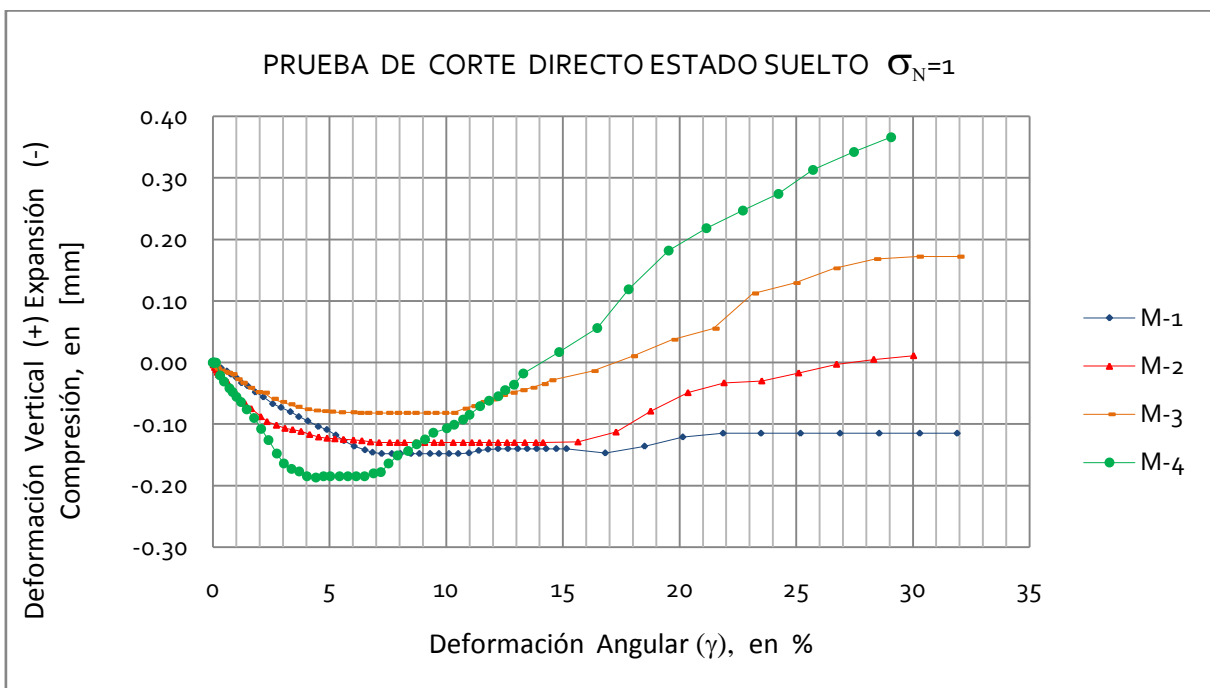


Figura 6.24 Curva de todas las muestras, Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) $\sigma_N=1$ Estado Suelto

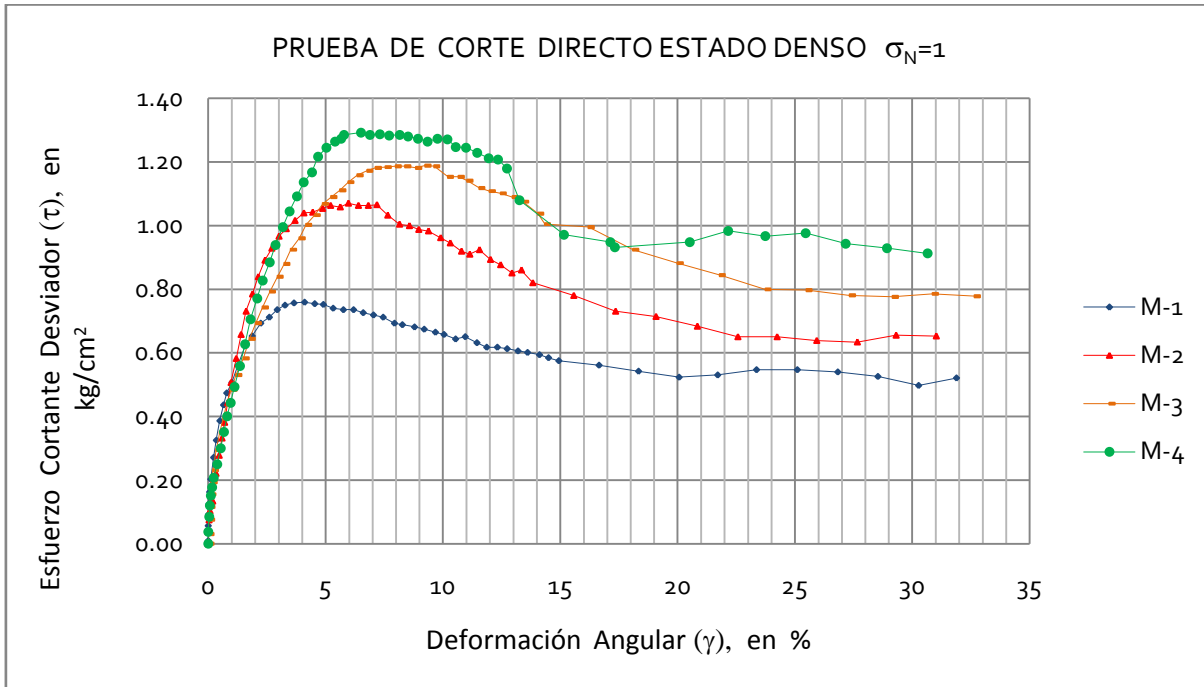


Figura 6.25 Curvas de todas las muestras, Deformación Angular (γ) en porcentaje, contra Esfuerzo Cortante Desviador (τ), en [kg/cm²]. Con $\sigma_N=1$ Estado Denso

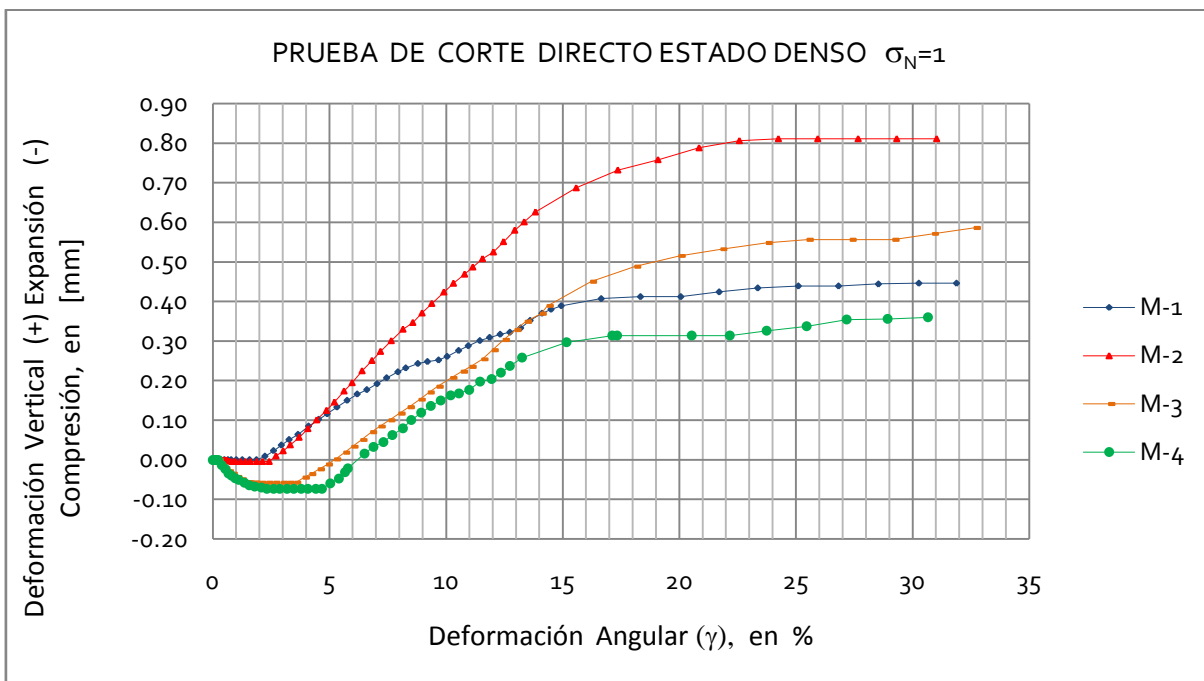


Figura 6.26 Curva de todas las muestras, Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) $\sigma_N=1$ Estado Denso

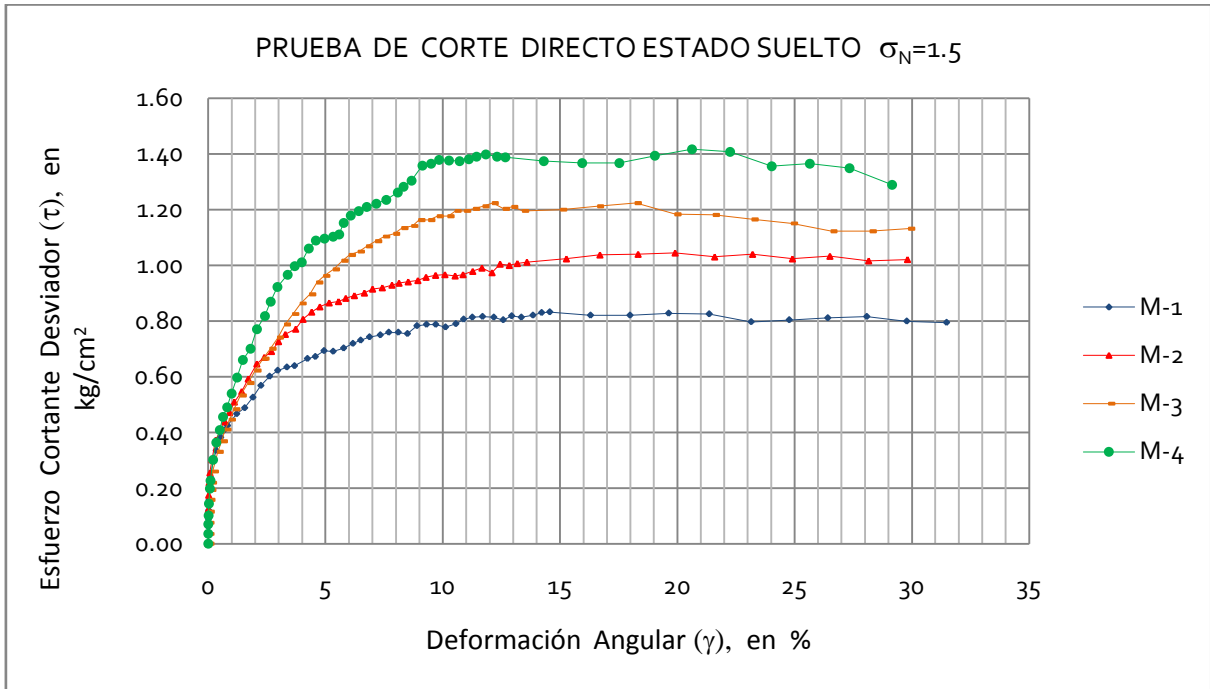


Figura 6.27 Curvas de todas las muestras, Deformación Angular (γ) en porcentaje, contra Esfuerzo Cortante Desviador (τ), en [kg/cm²]. Con $\sigma_N=1.5$ Estado Suelto

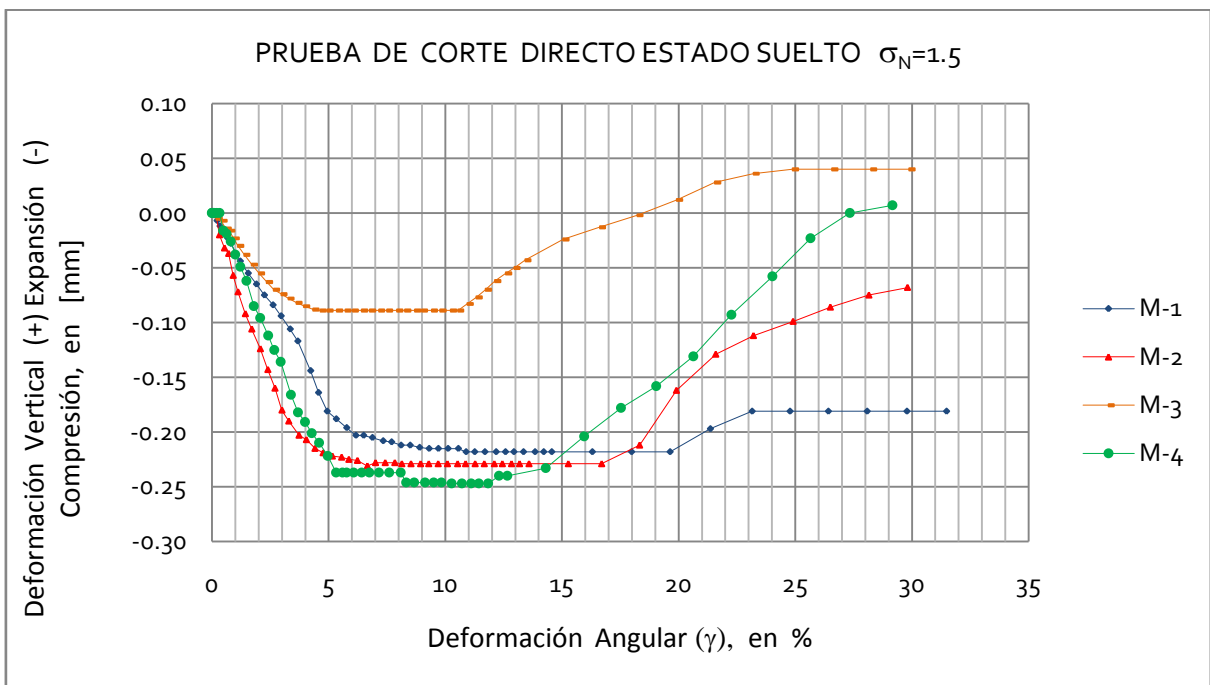


Figura 6.28 Curva de todas las muestras, Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) $\sigma_N=1.5$ Estado Suelto

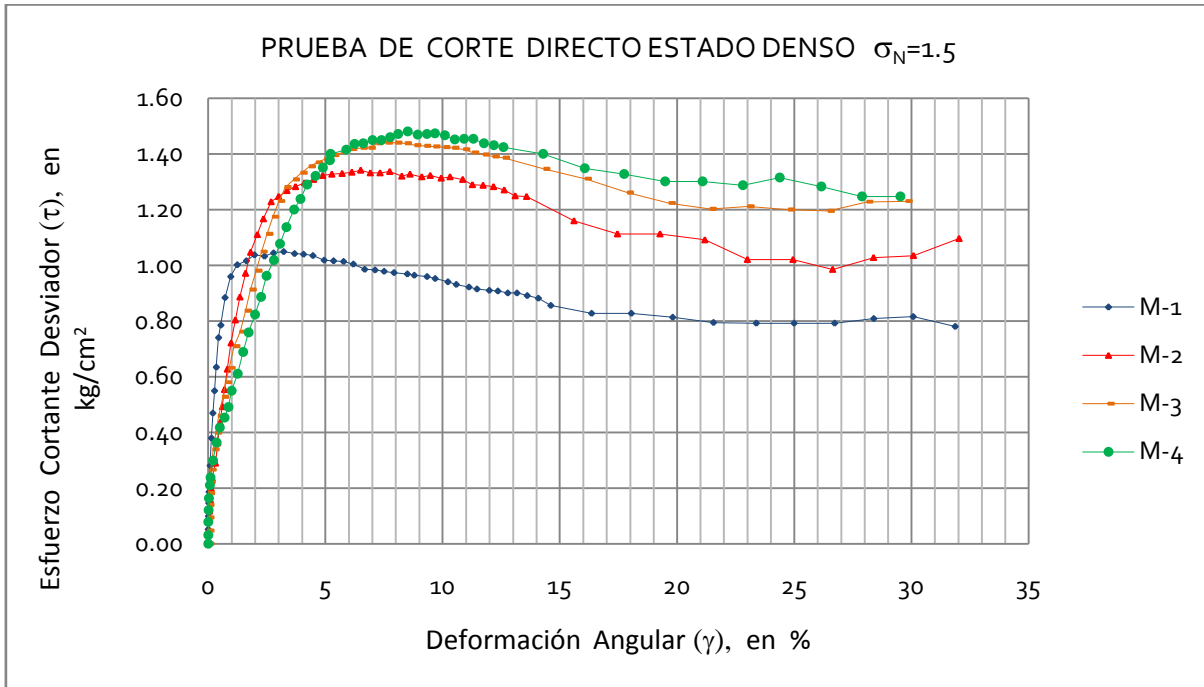


Figura 6.29 Curvas de todas las muestras, Deformación Angular (γ) en porcentaje, contra Esfuerzo Cortante Desviador (τ), en $[\text{kg}/\text{cm}^2]$. Con $\sigma_N=1$ Estado Denso

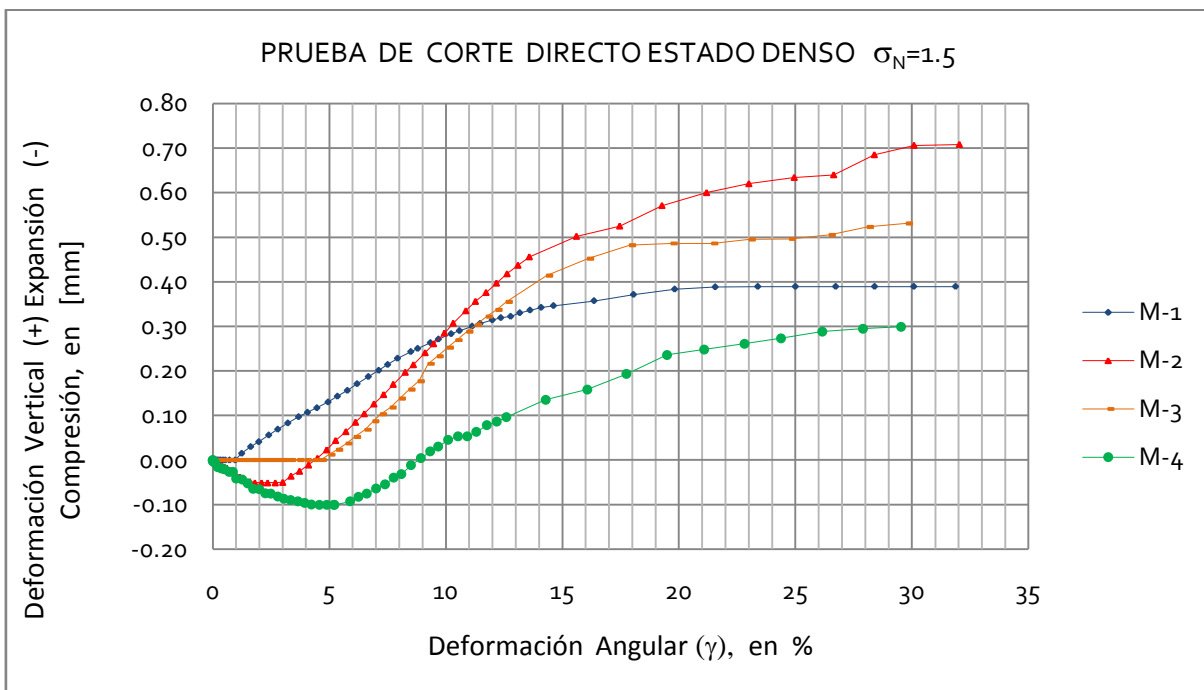


Figura 6.30 Curva de todas las muestras, Deformación Angular, Deformación Vertical (Expansión y Compresión) $\sigma_N=1$ Estado Denso

PARA LA MUESTRA #1

	M-1			
	Estado Suelto		Estado Denso	
	σ_N [kg/cm ²]	τ [kg/cm ²]	σ_N [kg/cm ²]	τ [kg/cm ²]
	0.25	0.100	0.25	0.196
	0.50	0.222	0.50	0.391
	1.00	0.441	1.00	0.759
	1.50	0.639	1.50	1.049
Rango de falla [%]	1 a 3		3 a 7	

Tabla 6.1 Resultados de la muestra M-1 en ambos estados de Esfuerzo Cortante Desviador (τ) vs Esfuerzo Normal σ_N

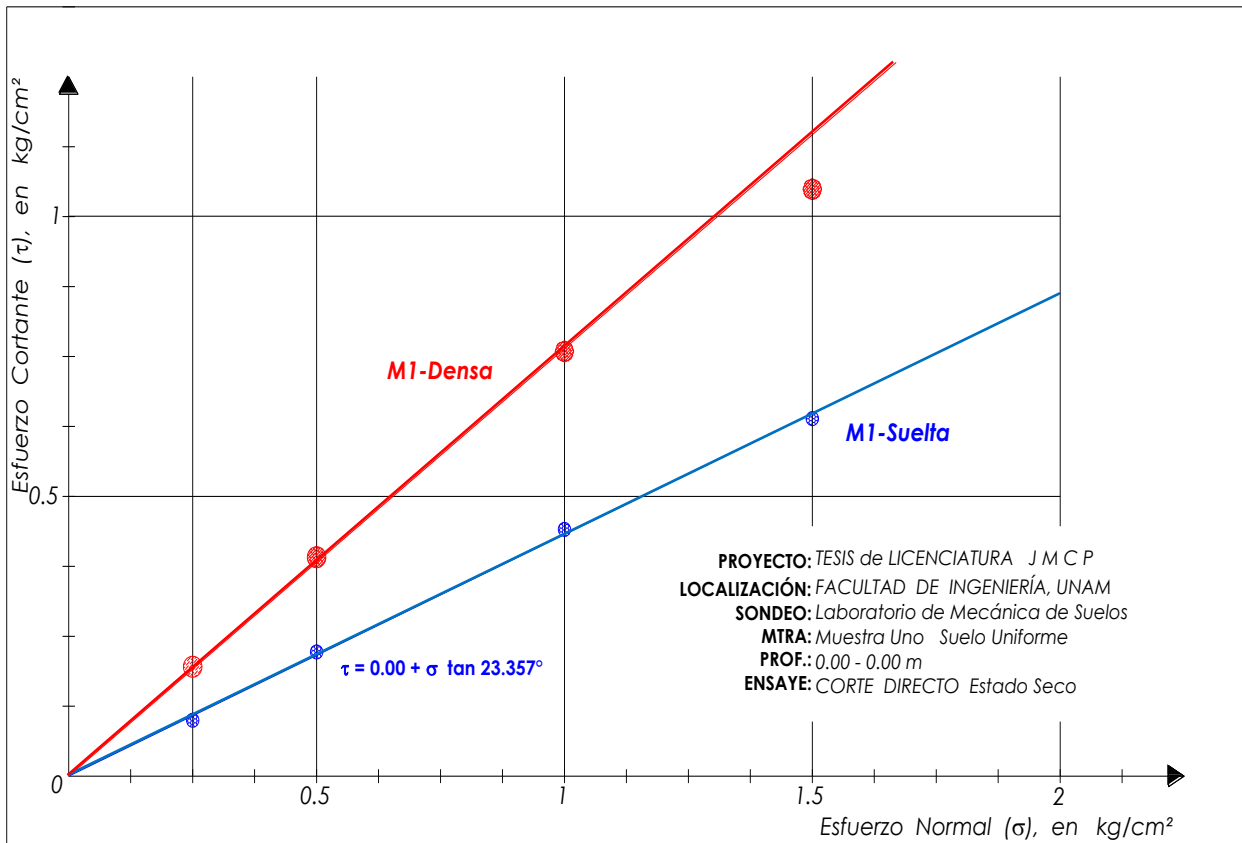


Figura 6.31 Esfuerzo Cortante Desviador (τ) vs Esfuerzo Normal σ_N muestra M-1 Estado suelto y denso.

Su ecuación estará dada por:

$$\tau = \sigma \tan(23.357^\circ) \dots\dots\dots [6.1]$$

Como la recta no se ajusta en los casos de estado denso se procedió a ocupar el programa CurveExpert para ajustar la curva al modelo matemático más cercano.

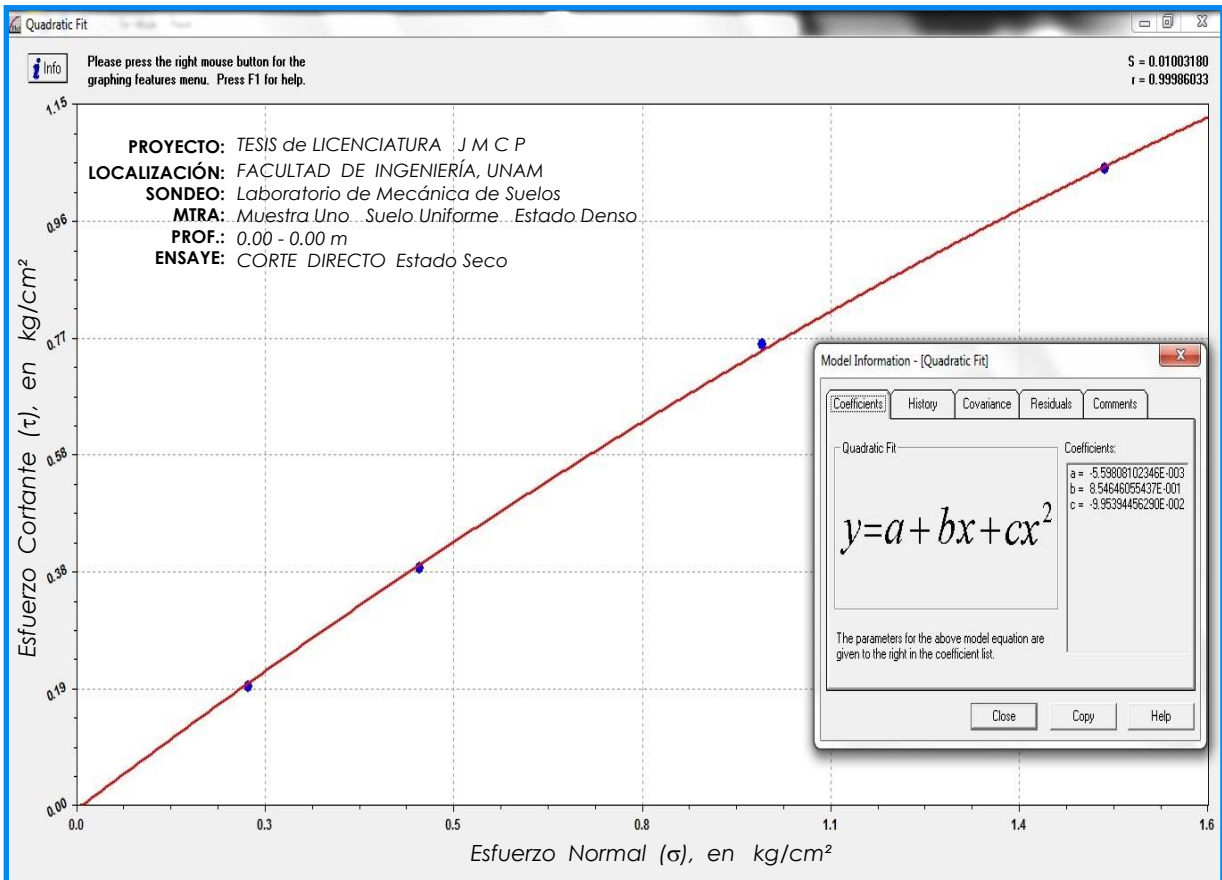


Figura 6.32 Como se puede apreciar se ajusta mejor esta curva en la muestra M-1 Estado Denso

Su ecuación estará dada por:

$$\tau = A\sigma^2 + B\sigma + C \dots\dots\dots [6.2]$$

Coefficientes:

A	-0.0995394
B	0.8546461
C	-0.0055981

PARA LA MUESTRA #2

	M-2			
	Estado Suelto		Estado Denso	
	σ_N [kg/cm ²]	τ [kg/cm ²]	σ_N [kg/cm ²]	τ [kg/cm ²]
	0.25	0.141	0.25	0.318
	0.50	0.281	0.50	0.552
	1.00	0.540	1.00	1.070
	1.50	0.832	1.50	1.337
Rango de falla [%]	1 a 5		5 a 8	

Tabla 6.2 Resultados de la muestra M-2 en ambos estados de Esfuerzo Cortante Desviador (τ) vs Esfuerzo Normal σ_N

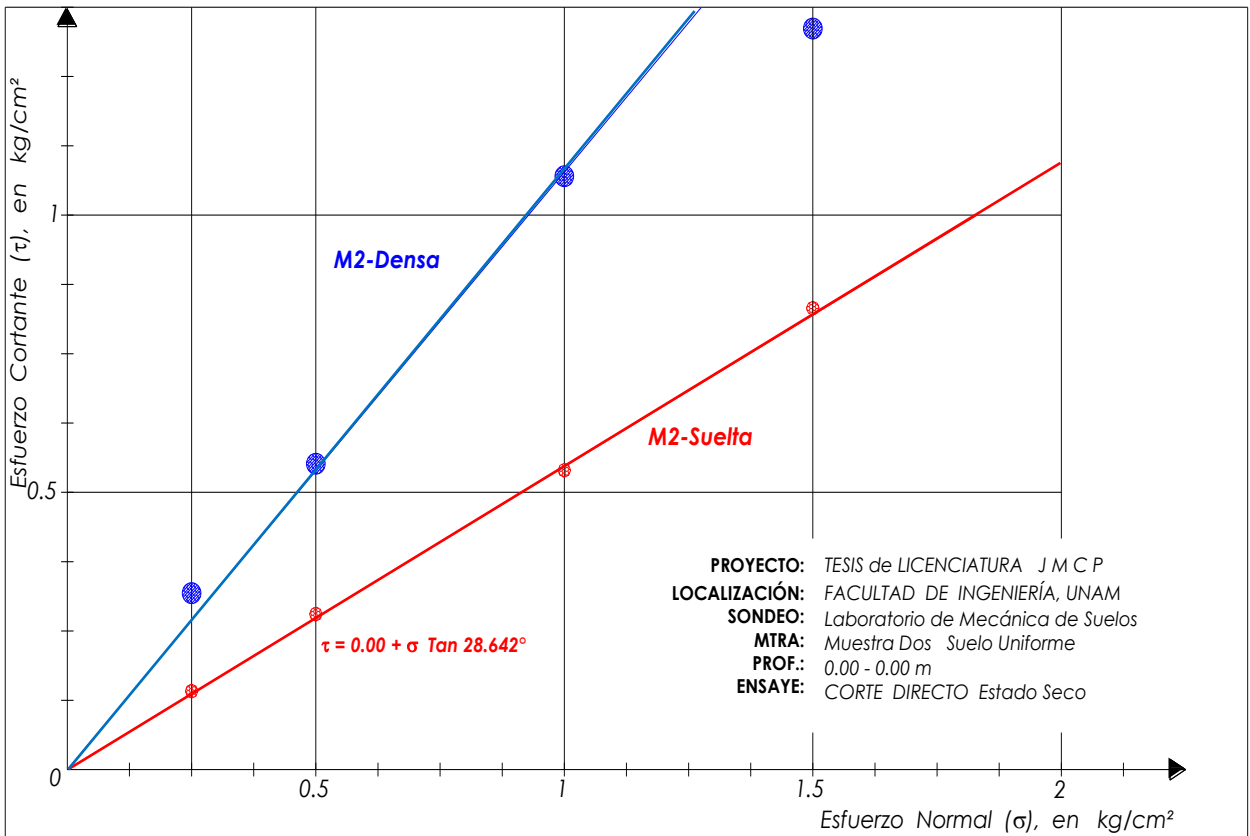


Figura 6.33 Esfuerzo Cortante Desviador (τ) vs Esfuerzo Normal σ_N muestra M-2 Estado suelto y denso.

Su ecuación estará dada por:

$$\tau = \sigma \tan(28.642^\circ) \dots\dots\dots [6.3]$$

Como la recta no se ajusta en los casos de estado denso se procedió a ocupar el programa CurveExpert para ajustar la curva al modelo matemático más cercano.

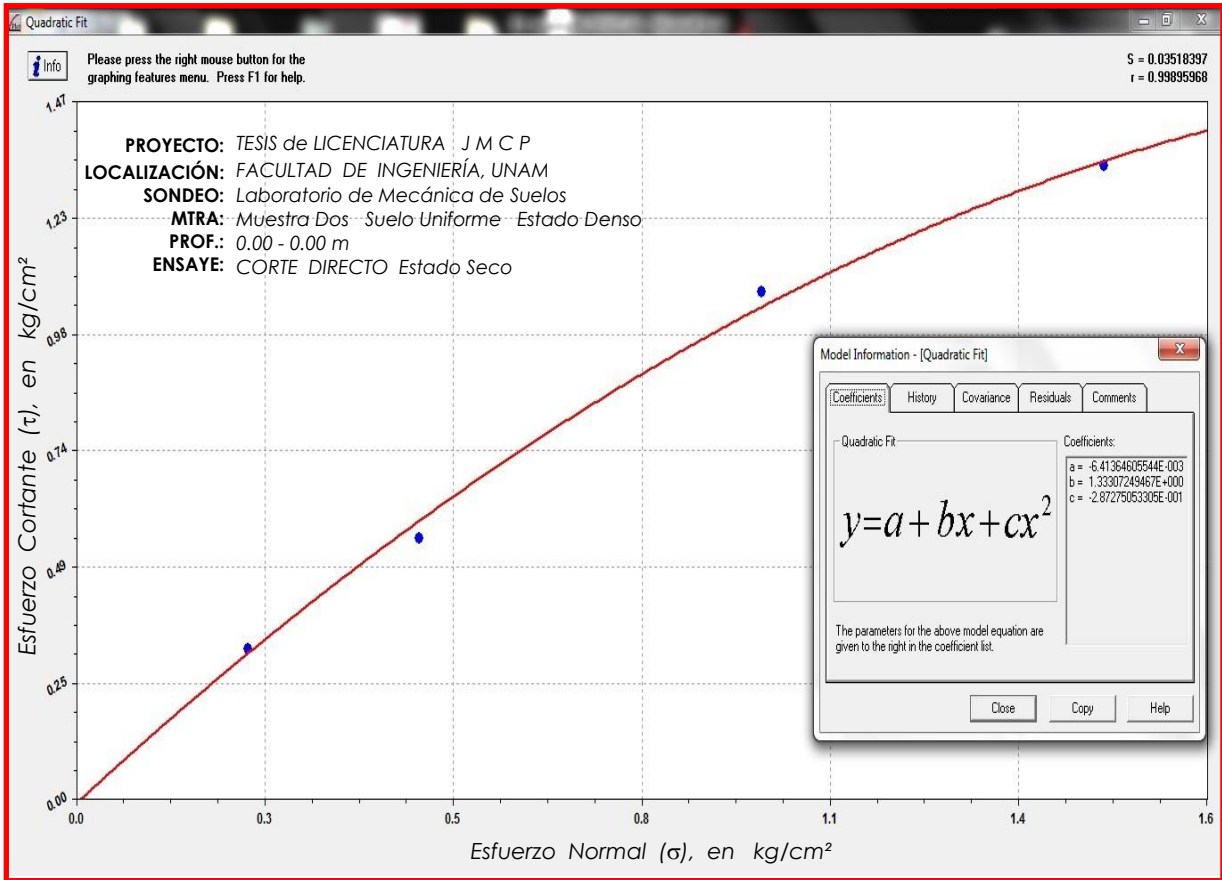


Figura 6.34 Como se puede apreciar se ajusta mejor esta curva en la muestra M-2 Estado Denso

Su ecuación estará dada por:

$$\tau = A\sigma^2 + B\sigma + C \dots\dots\dots [6.4]$$

Coefficientes:

A	-0.2872751
B	1.3330725
C	-0.0064136

PARA LA MUESTRA #3

	M-3			
	Estado Suelto		Estado Denso	
	σ_N [kg/cm ²]	τ [kg/cm ²]	σ_N [kg/cm ²]	τ [kg/cm ²]
	0.25	0.207	0.25	0.368
0.50	0.361	0.50	0.636	
1.00	0.745	1.00	1.188	
1.50	1.141	1.50	1.440	
Rango de falla [%]	3 a 9		5 a 10	

Tabla 6.3 Resultados de la muestra M-3 en ambos estados de Esfuerzo Cortante Desviador (τ) vs Esfuerzo Normal σ_N

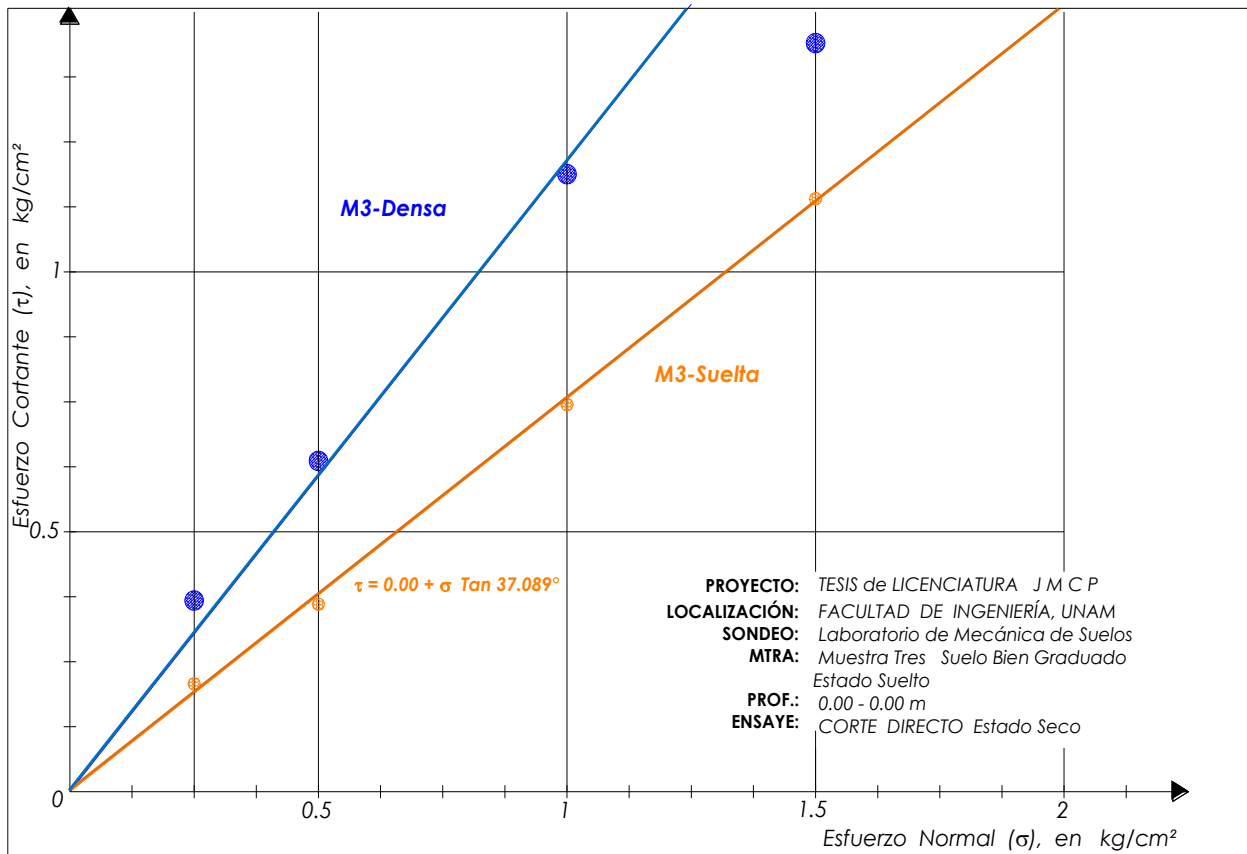


Figura 6.35 Esfuerzo Cortante Desviador (τ) vs Esfuerzo Normal σ_N muestra M-1 Estado suelto y denso.

Su ecuación estará dada por:

$$\tau = \sigma \tan(37.089^\circ) \dots\dots\dots [6.5]$$

Como la recta no se ajusta en los casos de estado denso se procedió a ocupar el programa CurveExpert para ajustar la curva al modelo matemático más cercano.

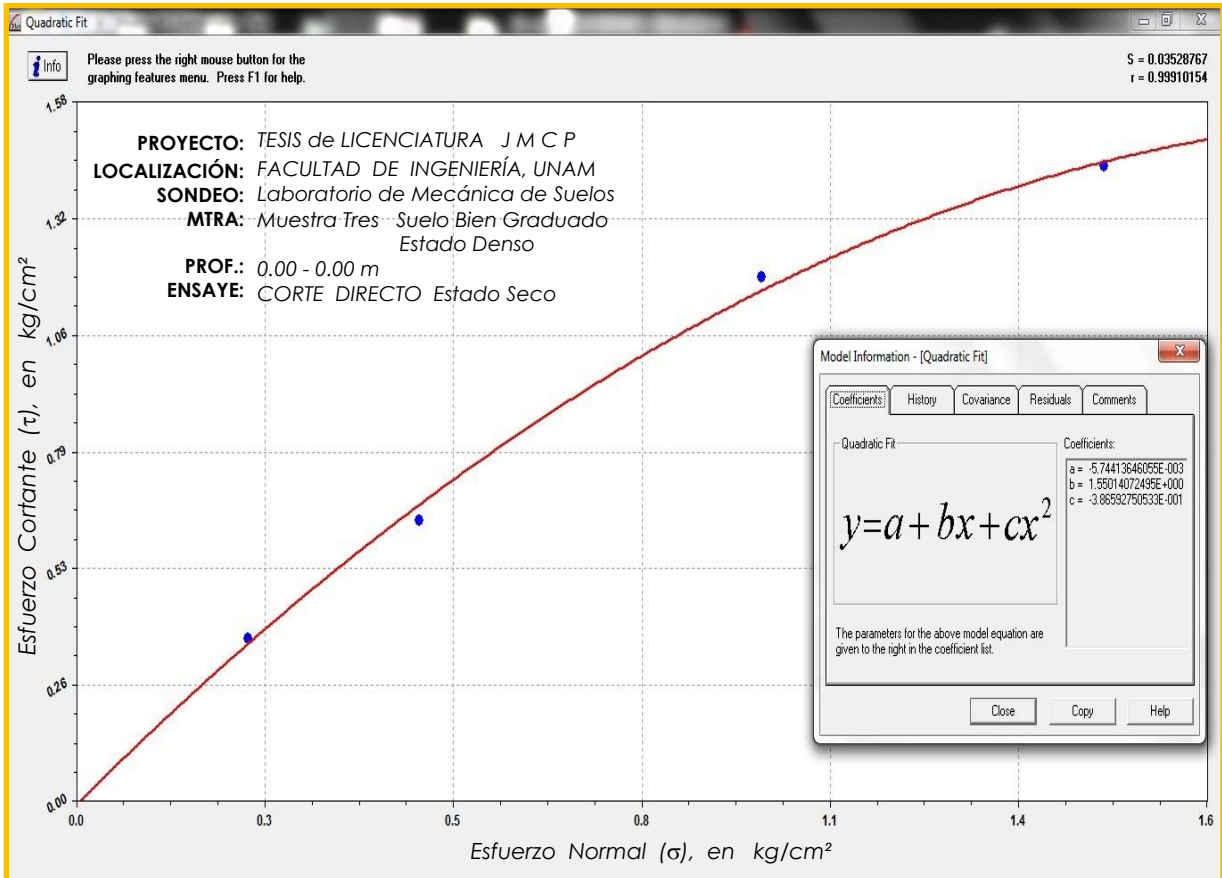


Figura 6.36 Como se puede apreciar se ajusta mejor esta curva en la muestra M-3 Estado Denso

Su ecuación estará dada por:

$$\tau = A\sigma^2 + B\sigma + C \dots\dots\dots [6.6]$$

Coefficientes:

A	-0.3865928
B	1.5501407
C	-0.0057441

PARA LA MUESTRA #4

	M-4			
	Estado Suelto		Estado Denso	
	σ_N [kg/cm ²]	τ [kg/cm ²]	σ_N [kg/cm ²]	τ [kg/cm ²]
	0.25	0.257	0.25	0.488
0.50	0.403	0.50	0.662	
1.00	0.728	1.00	1.292	
1.50	1.089	1.50	1.480	
Rango de falla [%]	1 a 5		5 a 9	

Tabla 6.4 Resultados de la muestra M-4 en ambos estados de Esfuerzo Cortante Desviador (τ) vs Esfuerzo Normal σ_N

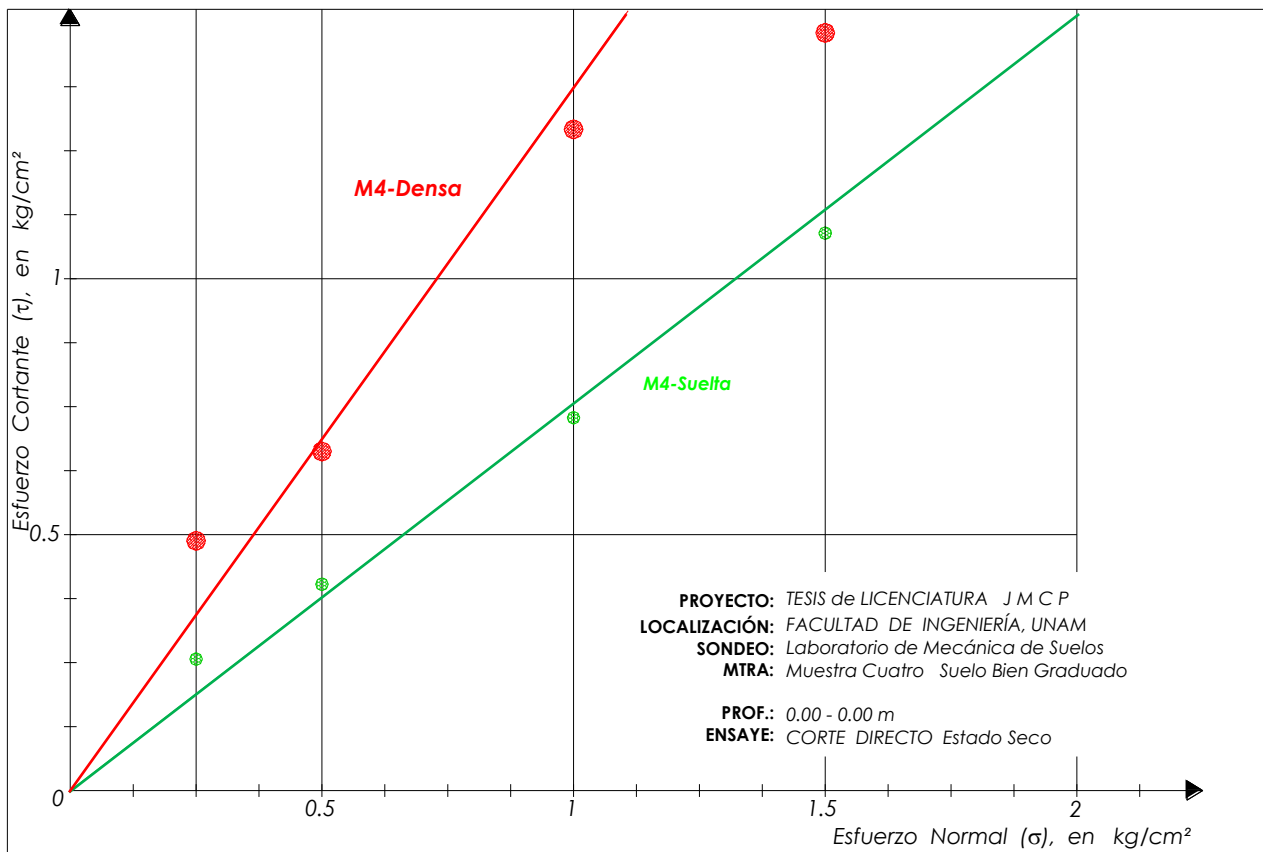


Figura 6.37 Esfuerzo Cortante Desviador (τ) vs Esfuerzo Normal σ_N muestra M-1 Estado suelto y denso

Como no se alinea en la muestra M-4 en el Estado Suelto a los valores obtenidos y se usará también CurveExpert por lo tanto:

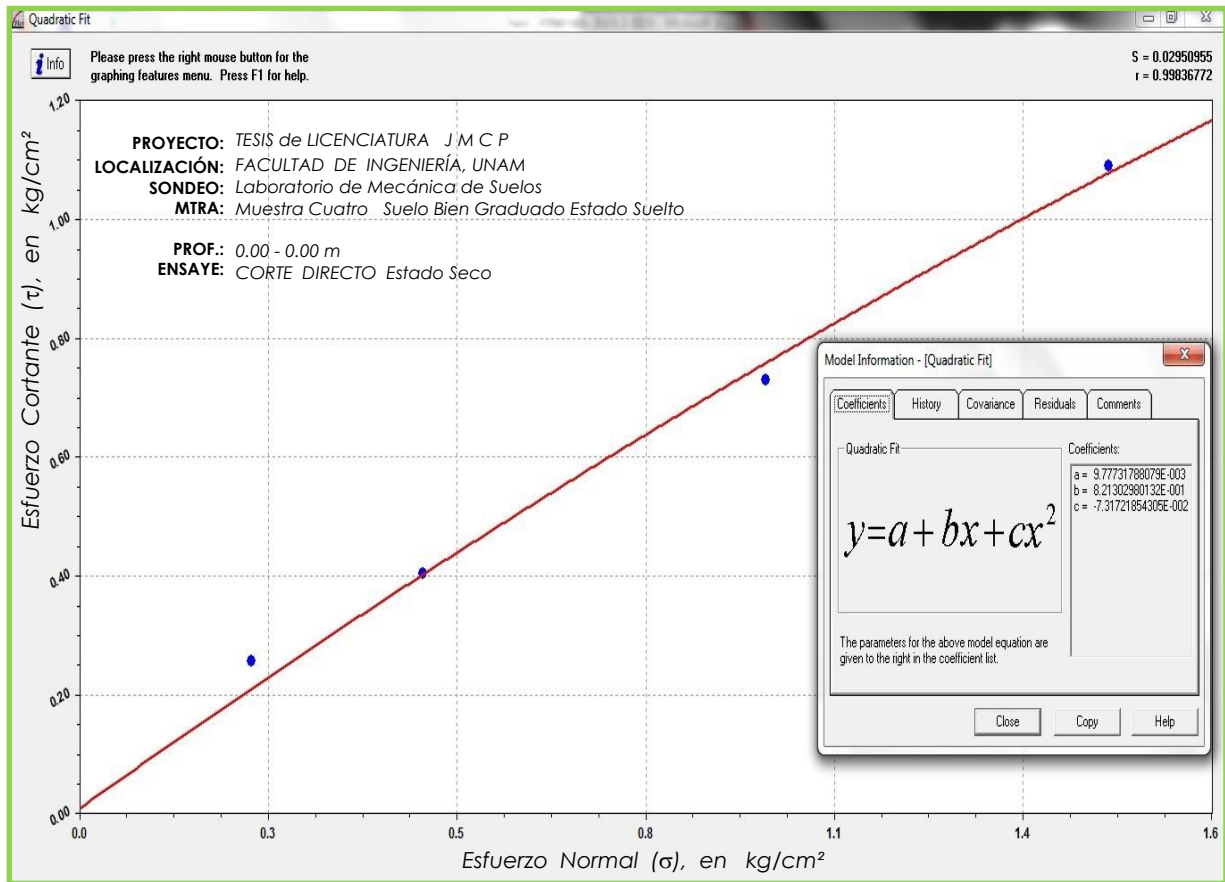


Figura 6.38 Como se puede apreciar se ajusta mejor esta curva en la muestra M-4 Estado Suelto

Su ecuación estará dada por:

$$\tau = A\sigma^2 + B\sigma + C \dots\dots\dots [6.7]$$

Coefficientes:

A	-0.0731722
B	0.8213030
C	0.0097773

Como la recta no se ajusta en los casos de estado denso se procedió a ocupar el programa CurveExpert para ajustar la curva al modelo matemático más cercano.

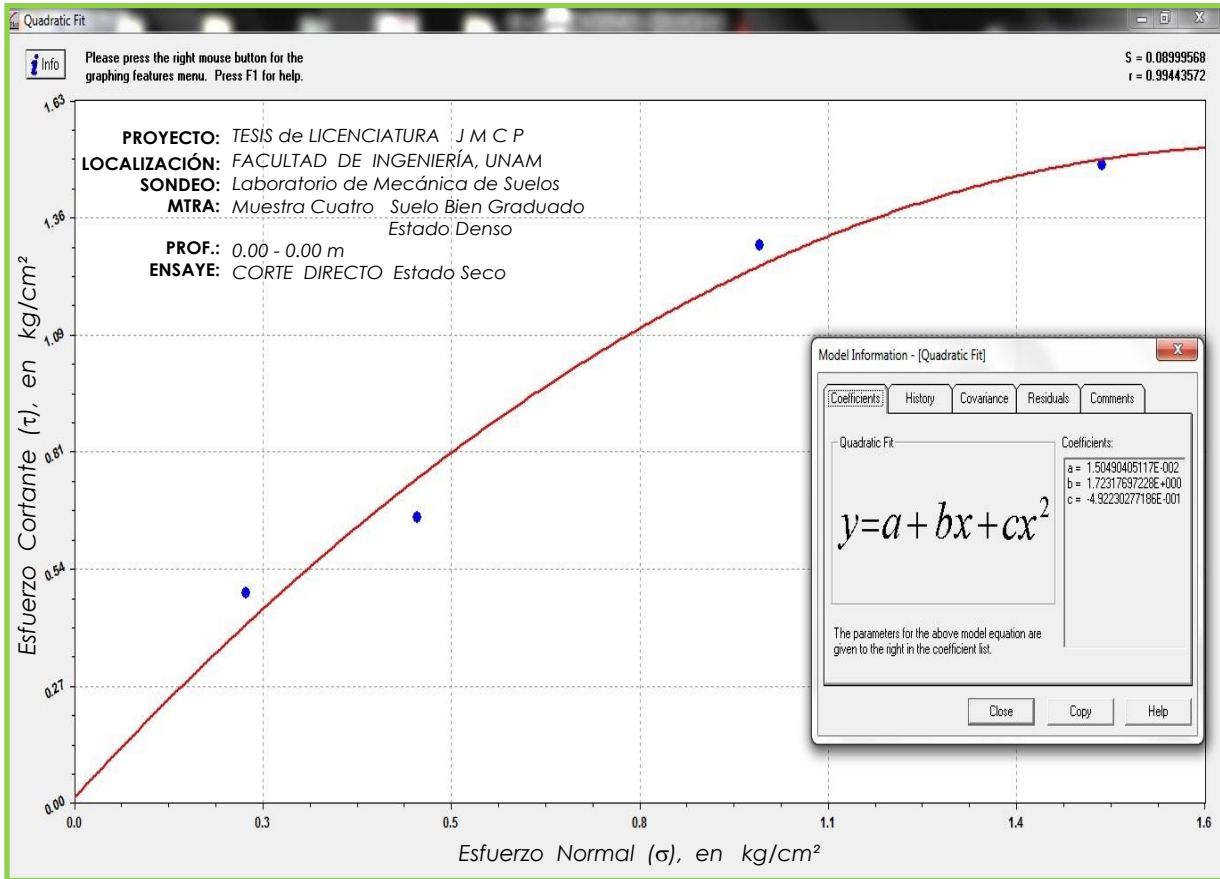



Figura 6.39 Esfuerzo Cortante Desviador (τ) vs Esfuerzo Normal σ_N muestra M-4 Estado Denso

Su ecuación estará dada por:

$$\tau = A\sigma^2 + B\sigma + C \dots\dots\dots [6.8]$$

Coficientes:

A	-0.4922303
B	1.7231770
C	0.0150490



Conclusiones y Recomendaciones

Antes de empezar la fase de experimentación se reafirmaron los conocimientos vistos durante la licenciatura con respecto a la granulometría, la obtención de la relación de vacíos, máxima y mínima; cada material con toda la variabilidad que ello implica.

Durante el análisis de resultados se tuvo que procesar los datos recabados y así se ligó directamente con los objetivos que se mencionan usando el equipo de corte directo, donde observe el comportamiento de cargas aplicadas sobre el suelo en forma horizontal para poder revisar que tanto se deforma dependiendo de la granulometría de cada muestra de suelo.

Así el pequeño modelo en donde observé dichas deformaciones del suelo y con la cual se pretende establecer las bases para pronosticar posibles comportamientos futuros para poder implementar un adecuado plan de acciones preventivas queda expresado en esta tesis.

Se realizó una amplia explicación con respecto al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) utilizado para determinar las características de varias arenas y de ahí seleccionar aquellas que de forma natural cumplieran con los coeficientes de uniformidad y curvatura para tener arenas bien y mal graduadas, en algunos casos se hizo una modificación de la curva para cumplir con diferentes tamaños de partícula y así mostrar diferencias cuando existe alguna carga sobre estos y decidir al hacer una aplicación ya real en alguna obra de ingeniería.

Del punto anterior puede obtener una cantidad aceptable de frascos con los materiales y su granulometría buscada, en otros me encontré con la dificultad de tener suficiente arena para lograr más de un frasco. Lo anterior nos indica de manera muy general que las arenas son principalmente uniformes o sea mal graduadas.

La idea principal al estar formando los frascos con las cantidades específicas era para que la curva granulométrica nos diera una granulometría ideal, lo cual nos permitiera formar al menos 3 frascos con los cuales trabajar en las diferentes pruebas dentro del laboratorio de Geotecnia, que fueron pruebas de:

1. Relación de vacíos mínimo y máximo (e_{\min} y e_{\max})
2. Calibración de matraces
3. Pruebas con el equipo de corte directo

También se presentó el reuso de material lo cual puede influir en los resultados obtenidos.

Posteriormente se tuvo una actividad nueva que fue la calibración de matraces, en donde nos da la curva o una ecuación, aquí se hizo todo el proceso para poder obtener de manera exacta el valor de la Densidad de Sólidos (S_s) el cual es sumamente importante para definir los valores de la relación de vacíos máxima y mínima.

Se puede observar en la tabla 3.10 con ayuda de los Coeficientes C_U y C_C y el resumen del comportamiento de las muestras que vemos desde la figura 3.22 hasta la figura 3.26.

Frascos	MUESTRA		C_U	C_C	SIMBOLOGÍA	Gs	e_{min}	e_{max}	Rango de falla [%]	
									Suelto	Denso
3	M-1		1.5714	1.0912	SP	2.68	0.5657	0.709	1 a 3	3 a 7
3	M-2		1.6923	1.083	SP	2.71	0.5991	0.6893	1 a 5	5 a 8
1	M-3		6.5	2.9584	SW	2.68	0.666	0.7419	3 a 9	5 a 10
1	M-4		7.058	1.2254	SW	2.6	0.6745	0.7234	1 a 5	5 a 9

Para utilizar el equipo de corte directo se recibió la capacitación desde las partes del equipo, montaje, prueba, desmontaje, como las fases principales. Se utilizaron deformímetros digitales, ya que normalmente en clase y otros trabajos se usan mecánicos, los cuales cuentan con una caja registradora con cinta y papel de impresión.

El uso de los tres deformímetros digitales se logro mediante un acomodo físico de las cajas registradoras y en paralelo usar la manivela para aplicar la velocidad de deformación constante (1rev/min), observar el cronómetro para los 3 datos a los tiempos señalados en el registro y con esto se logró después de algunos ensayos logrando éxito por no requerir personal adicional, solo el suscrito. El mantenimiento de la cinta de impresión fue difícil por darle un número alto de reusos, la opción recomendada es obtener la nueva versión de obtención de datos mediante un puerto con conexión USB y software de Mitutoyo conectado a una laptop.

El trabajo de experimentación fue exitoso porque se logró adquirir experiencia en el manejo de equipo y los datos arrojados se muestran en el capítulo de proceso y análisis de resultados, de las muestras se tuvo valores medibles y quedan expresados desde la tabla 5.1 hasta la tabla 5.32 y de las figuras 5.1 hasta 5.64

En el presente trabajo debemos considerar el posible error inherente a una investigación por no haber repetido ningún ensaye, motivado por los tiempos libres del equipo durante el semestre o periodo intersemestral.

En las gráficas resumen de las arenas en estado suelto y denso, se observa un comportamiento esperado en donde al ir aumentando el esfuerzo normal se reportó en el ensaye un aumento en el esfuerzo cortante de falla, en algunas curvas debemos de tomar como límite un porcentaje de deformación angular para determinar la falla y en nuestra prueba estuvo por debajo del 3% y algo residual a partir del 10%, en otras pruebas fue más claro obtener el esfuerzo cortante de falla y el residual por la forma de la curva.

Los resultados obtenidos en el plano de Mohr-Coulomb, al graficar σ vs τ_{\max} obtuve las tendencias correctas en cuanto al valor del ángulo de fricción interno bajo para los materiales sueltos y alto para densos; con ello se puede confirmar que el material tiene más resistencia al Corte conforme se va haciendo más pequeño la relación de vacíos, es decir el reacomodo de las partículas lo hace ser una estructura más sólida, también hay que remarcar que se ve reflejado el tamaño de partícula entre más pequeño menos resistencia.

Por lo tanto hay que considerar que todas las obras de ingeniería civil se apoyan en el suelo, aunque las granulometrías ideales solo existen a nivel teórico y difícilmente se pueden reproducir en la práctica es de bastante ayuda todos los resultados expuestos, por ende su estabilidad y comportamiento estará determinados por el material ocupado y esto impactará en la consideración del diseño en las obras.



Bibliografía

Das Braja M., **Fundamentos De Ingeniería Geotécnica**, Edit. Thomson Learning, 1998.

Das Braja M., **Principles Of Foundation Engineering**, 1999.

Das Braja M., "**Soil Mechanics Laboratory Manual**", 1997.

Donald P. Coduto., **Geotechnical Engineering. Principles And Practices**, 1999.

Roy Whitlow., **Fundamentos De Mecánica De Suelos**, Edit. Compañía editorial continental, 1994 y 1998.

Karl Terzagui & Ralph B. Peck., **Soil Mechanics in Engineering Practice**, 1978.

Karl Terzagui & Ralph B. Peck., **Mecánica De Suelos En La Ingeniería Práctica**, Edit. EL ATENEO, España 1980.

M.H. de Freitas. & F.G.H. Blyth. **Geología Para Ingenieros**, 1989.

Robert D. Holtz & William D. Kobacs., **An Introduction To Geotechnical Engineering**, 1981.

D. W. Taylor. **Fundamentals Of Soil Mechanics**, 1948.

Juarez Badillo & E. Rico Rodríguez. **Mecánica de Suelos**, 1973.

P. L. Berry & D. Reid, D., **Mecánica de Suelos**, 1993.

Peck, Hanson, Thornburn., **Ingeniería de Cimentaciones**, 1998.

Powers, 1953(tomado de R. Scasso & C. Limarino,"**Petrología y Diagénesis de Rocas Clásticas**",1997).

Richard Bennett, Matthew Hulbert & Clinton Bennett, **Clay Microstructure**, 1986.

T.William Lambe & Robert Whitman, **Mecánica de Suelos**, Edit. Limusa, 1969 y 1974.

Ventura Escario & J.L de Justo Alpañes, **Resistencia Al Esfuerzo Cortante De Los Suelos**, Edit. DOSSAT, 1970.

J.A. Jiménez & J.L. de Justo Alpañes, **Geotecnia Y Cimientos**, volumen 1, 1975.

Inmaculado Corrales Zarazua & Juan Rosell Sanuy, **Estratigrafía**, Edit. Rueda, 1977

Víctor Sánchez & Girón Renedo, **Dinámica Y Mecánica De Suelos**, Edit.Ediciones Agrotécnicas, S.L, 1996

George B. Sowers & George F. Sowers, **Introducción A La Mecánica De Suelos Y Cimentaciones**, Edit. Limusa, 1986.

Cursos. Laboratorio De Mecánica De Suelos I, **Densidad Relativa De Los Sólidos Del Suelo**

Ing. Ricardo Rubén Padilla Velázquez

Facultad de ingeniería, UNAM, laboratorio "*Francisco Zamora Millán*".

México 2013

Tesis: **Caracterización De Suelos Granulares Uniformes En Estado Denso**

Por: Jazmín Pérez Cuevas

Director, Ing. Héctor Alfredo Legorreta Cuevas

México, D.F. 2006

Ensayo de la Veleta: Determinar Parámetro Resistencia al Corte No Drenado de un Suelo.

<http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/03/ensayo-de-la-veleta-determinar.html>

Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos

<http://www.arqhys.com/construccion/resistencia-esfuerzo-cortante.html>

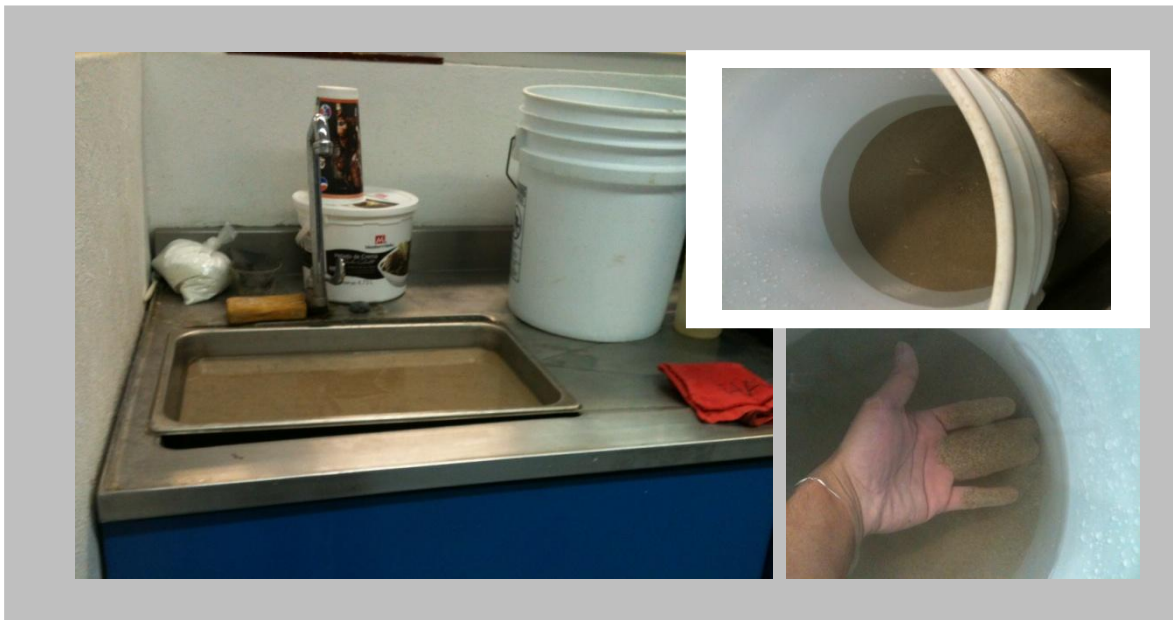


Anexo

La documentación fotográfica nos ayuda a entender o esclarecer lo ya dicho de manera física, así mismo es una valoración de los trabajos realizados en todas las muestras de arena mal graduadas (uniformes) o bien graduadas con sus respectivas pruebas por ello se colocarán las fotos para tratar de cubrir de manera general lo realizado durante este trabajo de tesis con su respectiva referencia, ampliando un poco más en las acciones de manipulación de equipos y herramientas.



Limpiando y buscando las muestras de suelo a ocupar



Lavado de las muestras de arena



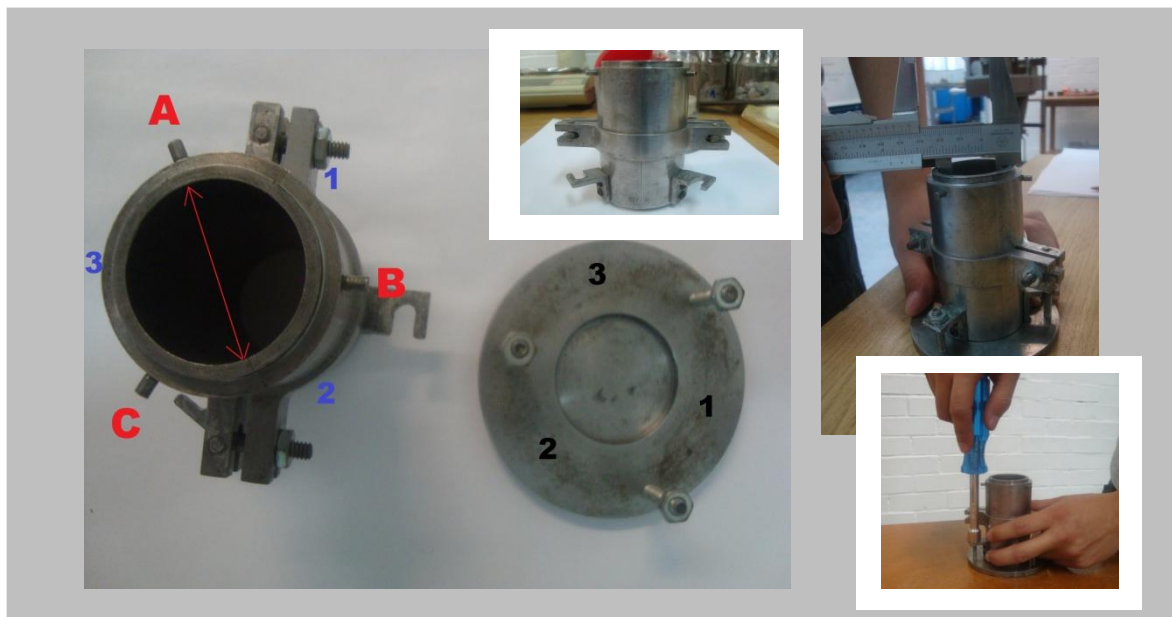
Secado de los frascos donde irán las muestras y colocación de toda la muestra en una charola



Cribado del material para sacar posteriormente nuestras muestras para pruebas



Moldeando los datos después de las curvas granulométricas, pesando lo que se debe tener en cada malla



Medición de molde donde se efectuará pruebas de Relación de Poro con respecto a su peso



Relación de poro con respecto a su peso, enrasado del material y pesándolo varias veces para obtener en este caso el mínimo de material por medio del peso de la muestra de suelo (e_{MAX})



Diferentes cargas pequeñas en la parte superior del molde para vibrar toda la muestra para (e_{min})



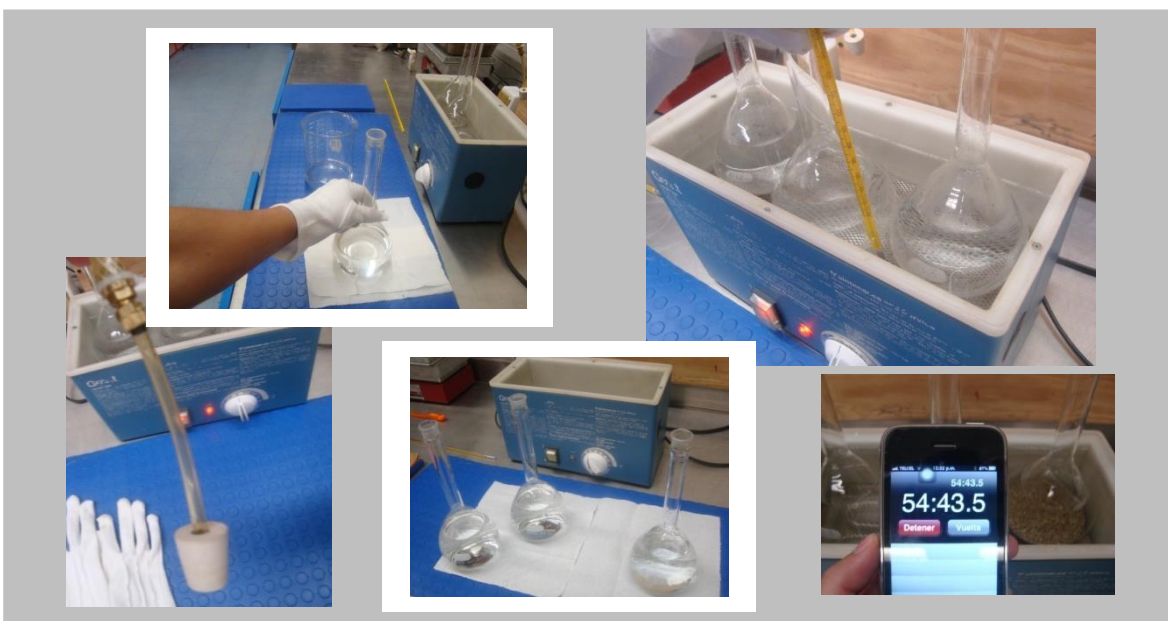
División de la muestra total dentro del molde para obtener una referencia entre los diferentes métodos por medio del peso de la muestra de suelo para tener un reacomodo de las partículas y así tener un máximo de material (emin)



Limpieza del recipiente de baño María, de matraces y conociendo la bomba de vacío para la calibración



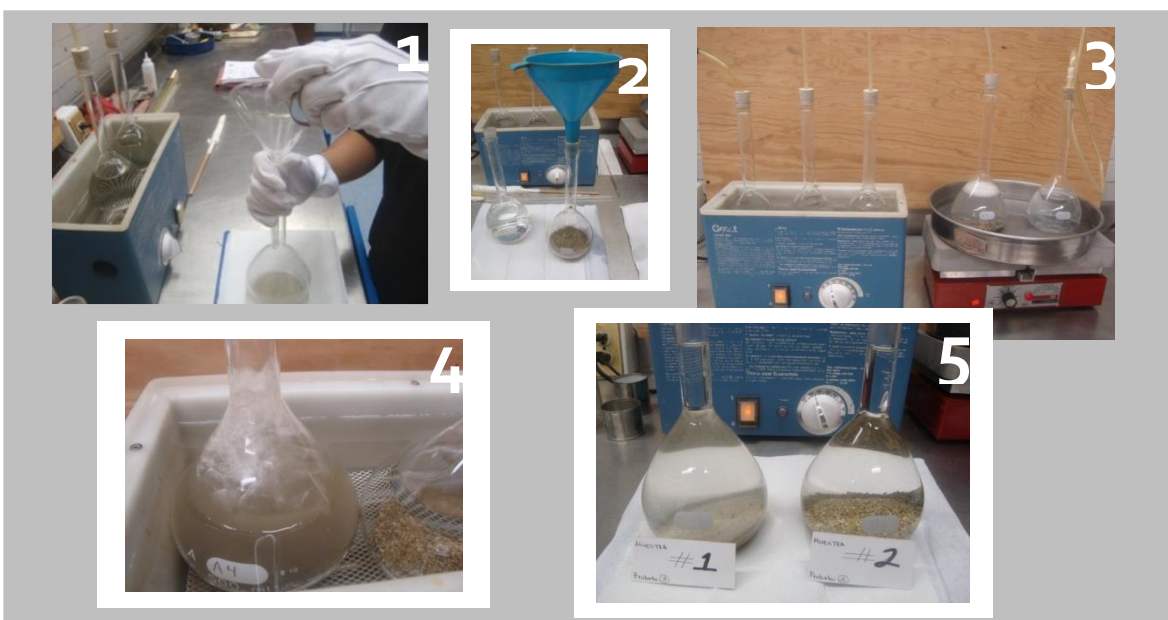
Secado de matraces aforados y posteriormente limpieza con alcohol



Matraces en baño maría en proceso de ser desaireados



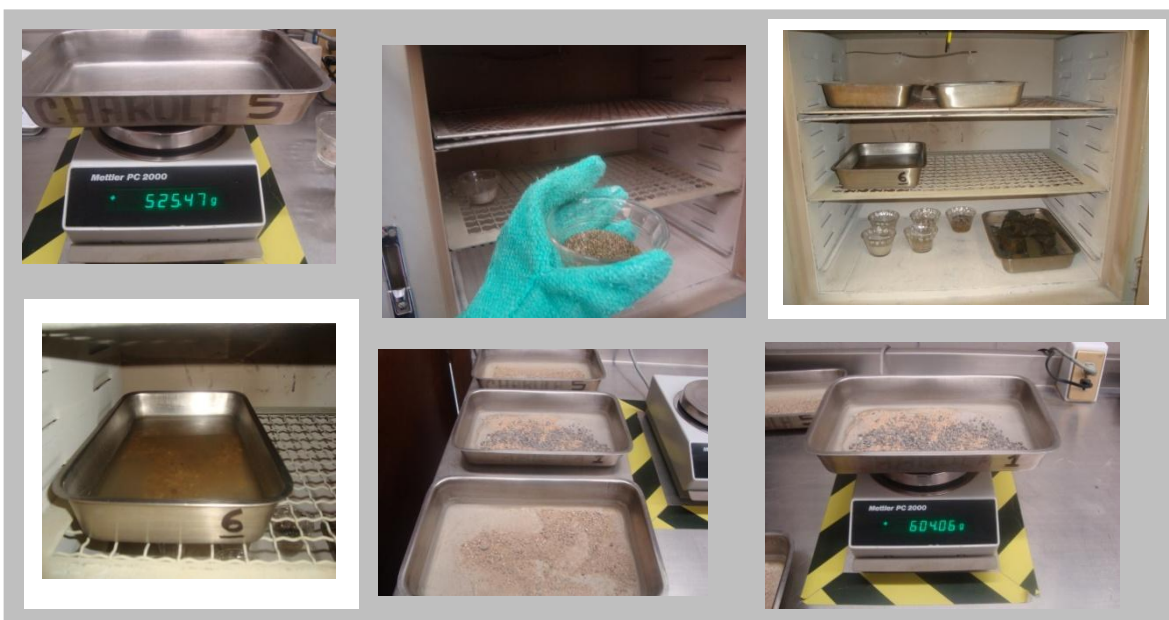
Calibración de los matraces 1) desaireado 2) aforar con pipeta 3) secado de las paredes 4) Peso a esa temperatura 5) y 6) Uso de hielo para bajar la temperatura y obtener la curva de calibración



La densidad de sólidos es el mismo procedimiento de la calibración, 1) y 2) vaciado del material 3) y 4) desaireado 5) se toma temperatura superior, central e inferior y se pesa



Vaciado de material en cápsulas o charolas después de los datos obtenidos para densidad de sólidos



Se pesaron las charolas y cápsulas para colocar las muestras y colocarlas en el horno, para continuar los ensayos con el equipo de Corte Directo



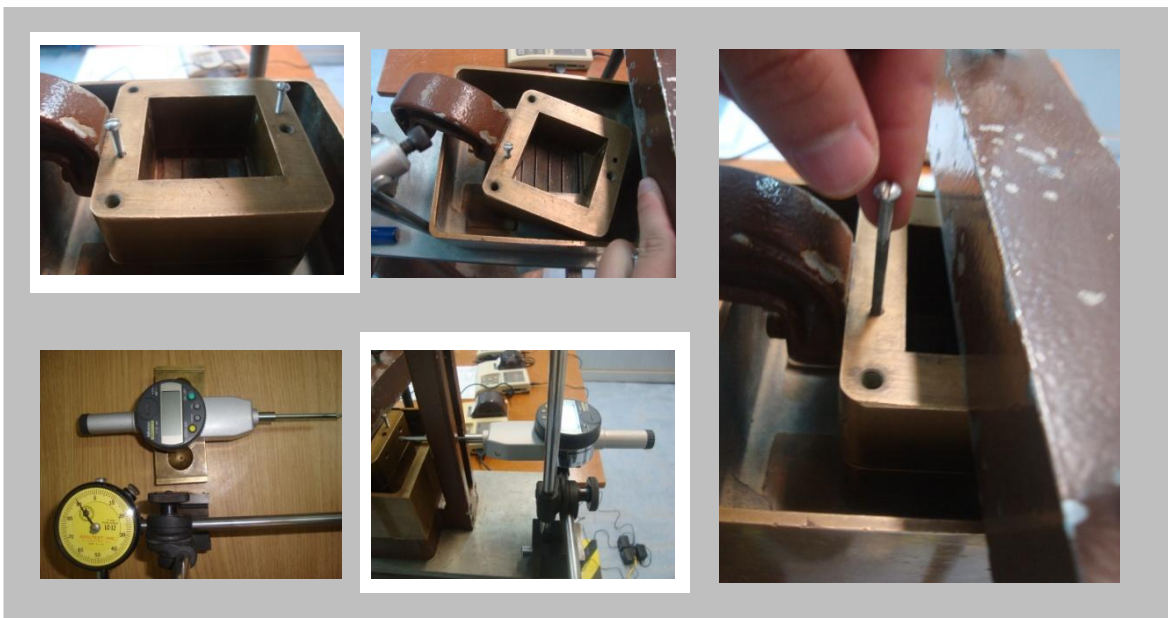
Ya de nuevo teniendo las muestras secas, se vuelven a colocar en su recipiente etiquetado



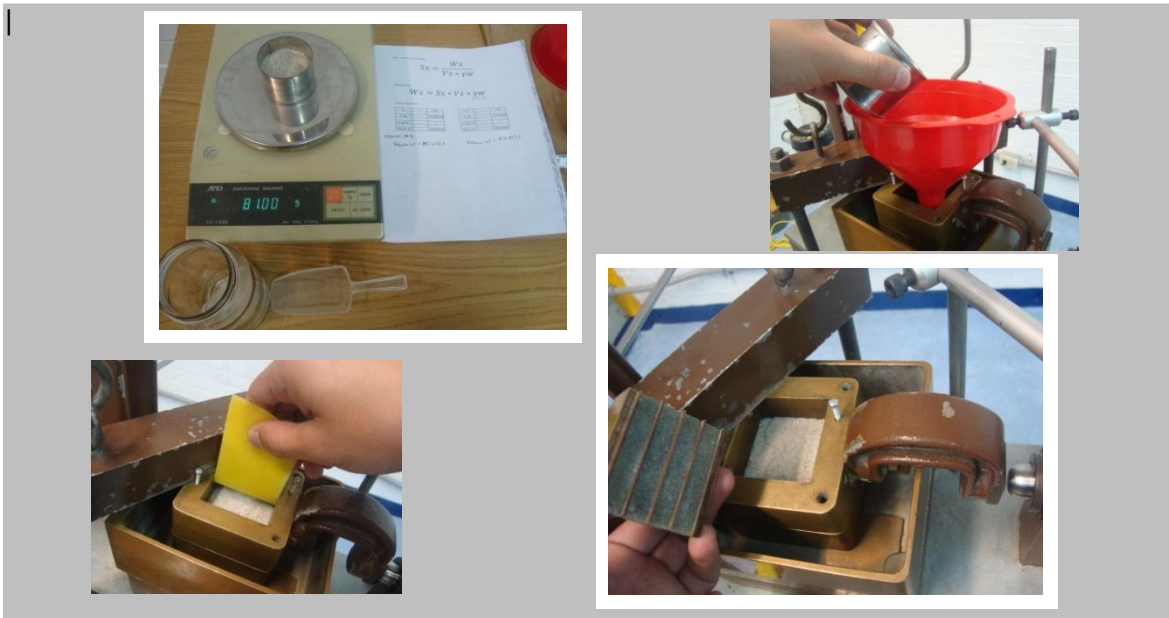
Caja de corte



Colocación de caja de corte y las impresoras de datos que registran los datos arrojados de los micrómetros digitales en el Equipo de Corte Directo



Colocación de la Caja de Corte y tornillos de alineación, así como colocación del deformímetro vertical



Colocación de la muestra de arena, enrasar material para luego poner la tapa de la caja de corte



Colocación de las pesas para la Carga Vertical o Normal aplicada a la Caja de Corte como parte final de tener todo listo para los ensayos de cada material



Colocación de cubo de madera para confinamiento de las partículas al vibrar, colocación de peso muerto y por último limpiar Caja de Corte para realizar el siguiente ensayo