

Instalación, verificación de la calibración y aplicación del Ensayo Triaxial del CIVCO utilizando diferentes tipos de suelo



Abstract

The main goal of this project is to coordinate the installation, check the calibration, and utilize the triaxial apparatus from CIVCO. The triaxial test is the most sophisticated of the soil shear strength tests.

This test consists of reproducing the confinement in which a section of soil in situ. A specimen of soil in the shape of a cylinder is placed inside a sealed chamber. Then, under an uniformed pressure, a load is applied by means of a piston and a load frame until the specimen fails.

Three types of specimens were taken from Cartago and San José proper characterization and classification. Type triaxial testing UU and CU was performed an automatic equipment for data acquisition.

The results were use to design a mat foundation for each studied soil.

The CIVCO triaxial machine is one of the very few ones existing in Costa Rica; therefore, it is of great importance its habilitation.

Resumen

Los objetivos de este proyecto son coordinar la instalación, verificar la calibración y aplicar los ensayos triaxiales del CIVCO. El ensayo triaxial es el más sofisticado de los ensayos de resistencia cortante del suelo.

Se trata de reproducir las condiciones de confinamiento en las que se encuentra una porción de suelo in-situ. En una cámara sellada se coloca un cilindro de suelo al cual se le aplica una presión uniforme a su alrededor. Luego se aplica una carga por medio de un pistón y un marco de carga hasta que la probeta falle.

Se tomaron muestras de tres tipos de suelo en Cartago y en San José y se hizo la debida caracterización y clasificación. Se realizaron ensayos del tipo UU y CU y se recopilaron los resultados por medio de un equipo automatizado de adquisición de datos.

Los resultados se utilizaron para diseñar una losa de cimentación para cada suelo en estudio.

La máquina triaxial del CIVCO es de las pocas que existen en Costa Rica, por lo tanto es de gran importancia su habilitación.

Instalación, verificación de la calibración y aplicación del Ensayo Triaxial del CIVCO utilizando diferentes tipos de suelo

Instalación, verificación de la calibración y aplicación del Ensayo Triaxial del CIVCO utilizando diferentes tipos de suelo

RUY EDUARDO DOTTI SANABRIA

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Diciembre del 2008

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio.....	1
Resumen ejecutivo	2
Introducción	6
El ensayo de compresión Triaxial.....	8
La máquina Triaxial del CIVCO	13
Metodología	21
Resultados.....	31
Análisis de los resultados	45
Referencias.....	50
Apéndices	51
Anexos	74

Prefacio

En la actualidad la prueba triaxial es de las mejores para obtener los parámetros de resistencia cortante de suelos porque es la que mejor representa las condiciones en el sitio. Éstos son vitales en el diseño de estructuras civiles. Contar con el adecuado funcionamiento de una máquina capaz de obtener estos parámetros con precisión será de mucho beneficio para la enseñanza, investigación y práctica profesional en el país, sobretodo por la escasez de oferta de esta prueba en el mercado costarricense. La adecuada calibración del equipo es de suma importancia ya que a partir de ésta se harán los ensayos sobre diferentes tipos de suelos con comportamientos distintos, tal y como se espera en proyectos reales.

Se espera, además de la aplicación académica, la comercialización de la prueba y posteriormente su acreditación. De ahí que se esperen resultados satisfactorios de los ensayos de este proyecto.

La finalidad de esta investigación es la de poner en funcionamiento el ensayo triaxial, además de verificar que todos sus componentes se encuentren debidamente calibrados. Luego obtener parámetros de resistencia en dos diferentes tipos de pruebas para poder aplicarlos a problemas hipotéticos.

Agradezco a todas las personas que de muchas maneras colaboraron a lo largo de todo este proyecto, pero en especial a Ana Isabel, mi madre, la responsable de que todo fuera posible. A los compañeros de laboratorio Juan Carlos, Eduardo y Heiner, los cuales brindaron una ayuda indispensable. A los Ingenieros Sergio Fernández y Gustavo Rojas que siempre estuvieron anuentes a las necesidades del proyecto. Al Ingeniero Rafael Baltodano, quien me ha apoyado en mis inicios en la geotecnia. A mi amiga y compañera de toda la carrera, Carolina Gómez por el apoyo brindado durante

nuestro trabajo, y en general a todo el personal de la Escuela de Ingeniería en Construcción, y el CIVCO que tuvo participación en este trabajo.

Resumen ejecutivo

Este proyecto es de gran importancia para la escuela de Ingeniería en Construcción ya que, una vez finalizado, el laboratorio de suelos del CIVCO contará con uno de los ensayos más importantes y sofisticados de resistencia cortante que existen.

Los objetivos generales se resumen en: verificar la calibración del Ensayo Triaxial del CIVCO utilizando tres diferentes tipos de suelos y recomendar parámetros de resistencia cortante obtenidos a partir del ensayo triaxial del CIVCO.

Los objetivos específicos son:

- Juzgar la calibración de los diferentes componentes del ensayo triaxial tales como celda de carga, transductores, panel de aplicación de presión
- Automatizar la recolección de datos obtenidos del Ensayo Triaxial
- Determinar las propiedades, índices y clasificación de los suelos utilizados en esta investigación.
- Estimar los parámetros de resistencia cortante del suelo utilizado en esta investigación mediante ensayos triaxiales del tipo UU y CU
- Diseñar una losa de cimentación para una estructura hipotética con el fin de aplicar los parámetros de resistencia obtenidos a un problema ingenieril.

El ensayo triaxial es el ensayo más representativo que existe para determinar los parámetros de resistencia de un suelo. Consiste básicamente en recrear las condiciones más reales a las que puede ser sometida una muestra. Se debe suponer que para una partícula cualquiera del suelo, se ejerce una presión uniforme a su alrededor. Lo siguiente es simular la carga que proporcionaría cualquier estructura sobre el suelo.

Se creó la mejor forma de confinar una muestra de suelo y es por medio de una cámara hermética, la cual se llena con agua, aplicándole presión por medio de aire comprimido. Los esfuerzos ejercidos por el confinamiento y la carga axial se muestran en la figura A.

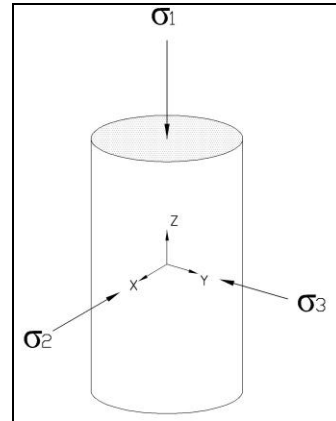


Figura A. Representación de esfuerzos para un ensayo triaxial.

El ensayo triaxial del CIVCO utiliza varios aparatos que podrían tener una función individual pero que integradas conforman una de las pruebas más complejas del laboratorio de suelos.

Los componentes básicos del conjunto se pueden clasificar de la siguiente manera (ver figura B):

1. Panel de Control
2. Celda Triaxial
3. Marco de Carga
4. Transductores
5. Equipo de Adquisición de datos
6. Equipo misceláneo



Figura B. Máquina Triaxial del CIVCO

Para la instalación fue necesario el adecuado ensamble de las piezas y los siguientes procedimientos:

- Conectar un compresor de aire.
- Conectar una bomba de vacío.
- Construir una estructura rígida para colocar un tanque.
- Purgar totalmente, el sistema de tubería del panel de control
- Instalar los transductores de medición.
- Crear un molde para muestras

Se utilizó un software para la adquisición de datos (DADU o Dialog Acquisition Data Unit). Cada uno de los transductores conectados cuenta con un canal de acceso a la computadora, los cuales poseen una configuración individual, que permite variar las constantes de calibración (Cuadro A) de los diferentes dispositivos conectados.

CUADRO A. CONSTANTES DE AJUSTE PARA CADA TRANSDUCTOR		
Canal	Transductor	Constante de ajuste, A1
17	Presión Poros Inferior	0,5328
18	Presión Poros Superior	0,5336
19	Presión Lateral	0,5330
20	Deformación	0,0125
21	Carga Axial	2,890272

Los materiales que se usaron para las pruebas triaxiales son:

- Panel de Control TRI-FLEX2
- Celda triaxial
- Marco de carga
- Compresor de aire
- Bomba de Vacío
- Tanque elevado de agua
- Molde para compactación de 72 mm de diámetro
- Molde de compactación Proctor de 101.6 mm
- Mazo de compactación de 2.5 kg
- Bandejas para contenido de humedad
- Bureta graduada
- Espátula

- Cuchillo
- Membrana de hule
- Filtros (figura 21-A)
- Anillos de empaque "O rings" (figura 21-C)
- Piedras porosas
- Horno
- Bandejas
- Extractor Hidráulico de muestras

Según las normas ASTM - D 4767 y D 2850, se requiere de un espécimen cilíndrico, con una altura dos veces mayor a su diámetro. Tanto en la base inferior, como en la superior, se debe colocar papel de filtro y por último, una piedra porosa del diámetro de la probeta.

Luego de esto, se procede al ensayo de compresión triaxial. Tanto para las pruebas tipo UU como para las CU y CD, se tiene en común el siguiente procedimiento:

Una vez lista la cámara, con las debidas líneas conectadas al panel principal y con los cinco transductores funcionando con el adquisidor de datos, se procede a cargar la probeta por medio del marco de carga, así como el pistón que se encuentra aferrado a él. Antes de correr la prueba desde el panel de carga, se debe asegurar que el pistón entre en contacto con la base superior pero sin que se exceda la fuerza con el que éste lo cargue. Esto se logra, subiendo la cámara triaxial poco a poco por medio del panel digital de carga y leyendo directamente de la computadora; también hay que verificar que la carga no exceda un 5% del total de la carga máxima estimada.

Para un ensayo Consolidado, ya sea CD o CU, se debe saturar completamente la probeta y aplicar presión de poros con ambas buretas, siendo ésta, la misma, tanto para la línea superior, como para la inferior. Se deja estabilizar por unos 15 minutos, y se cierran las válvulas frontales en la celda, las de presión de poros.

Las buretas deben estar a medio llenar, o más abajo, para permitir la entrada de agua que sale de la muestra.

Lentamente, se incrementa la presión de celda, al punto, que la diferencia entre ésta y la presión de poros, sea la presión de consolidación deseada.

Si se desea medir la presión de poros, se debe hacer con los transductores de presión. Justo antes de empezar con la falla de la probeta, hay que cerrar las válvulas de la cámara, para que la presión cambie, conforme se comprime el agua dentro de la muestra.

Para este proyecto, se decidió que la forma más adecuada de probar, era utilizando tres diferentes tipos de suelo con diferente consistencia y trabajabilidad. Para lo cual, se extrajeron muestras de tres diferentes lugares del país como lo muestra el cuadro B

CUADRO B. LUGAR DE EXTRACCIÓN DE LAS MUESTRAS	
Muestra	Ubicación
Suelo 1	Pozos de Santa Ana, San José
Suelo 2	Tajo las Cóncavas, Cartago
Suelo 3	Planta de Holcim, Cartago

Se realizó una granulometría para los 3 tipos de suelo, basada en la norma ASTM D-422.

Luego se determinó el límite líquido y el límite plástico y de esta manera, encontrar el índice de plasticidad. Para estas pruebas, se utilizó la norma D 4318-00. Se clasificaron los suelos de la siguiente manera:

CUADRO C. CLASIFICACIÓN DE SUELOS	
Muestra	Clasificación
Suelo 1	Arena arcillosa
Suelo 2	Arena limosa
Suelo 3	Arcilla de media, baja plasticidad

Los resultados para la compactación estándar (ASTM D698) del suelo 1 son:

- Densidad máxima = 1,74 g/cm³
- Porcentaje de humedad óptimo = 16,8%

La figura C muestra la curva de compactación.

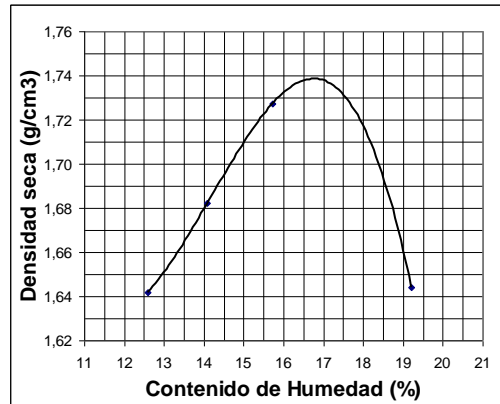


Figura C. Curva de Compactación Proctor Estándar para el suelo 1

El ensayo UU para el suelo 1 compactado según el Proctor Estándar, dio como resultado los gráficos de las figuras D y E.

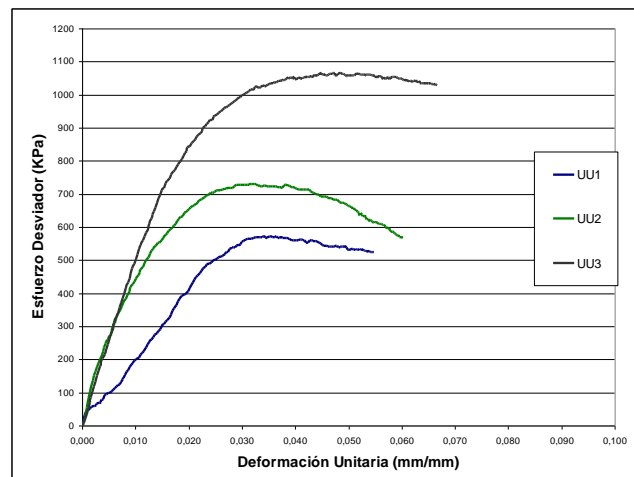


Figura D. Gráficos Esfuerzo-Deformación para el suelo 1.

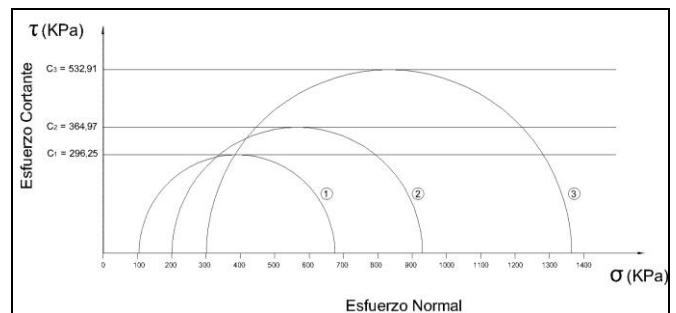


Figura E. Estados de esfuerzos para suelo 1.

Por lo tanto, se obtuvieron los valores de cohesión para cada círculo, mostrados en la cuadro D

Cuadro D. Valores de Cohesión - Suelo 1

Ensayo	Cu (kPa)
1	296
2	365
3	533

Los resultados de la prueba CU para el suelo 1, se presentan a continuación. La figura F muestra la falla de la única probeta en este tipo de prueba.

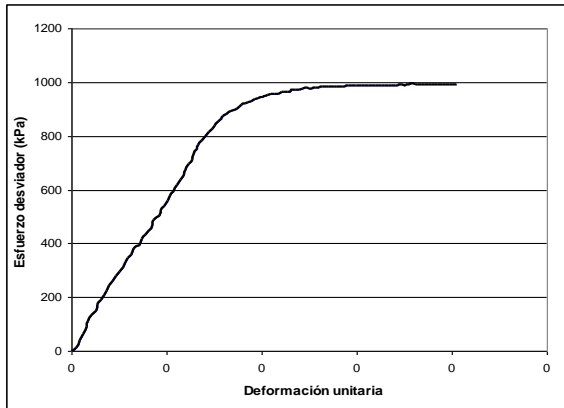


Figura F. Gráfico de esfuerzo deformación de la prueba CU para el suelo 1.

Para los ensayos UU el cambio en el tamaño de los diámetros, se da porque la probeta no está completamente saturada y por lo tanto, al aplicarle la presión de confinamiento, el agua es capaz de acomodarse en los poros, y se produce una consolidación que varía los estados de esfuerzo, lo suficiente para que la resistencia al corte aumente.

Para el ensayo CU, se demuestra que la máquina triaxial mide correctamente las presiones de poro. La figura G muestra un gráfico típico para una arcilla sobreconsolidada (suelo compactado), tal y como debería verse, en el cual las presiones de poro para cada medición aumentan al principio, lo que produce que el esfuerzo efectivo disminuya poco a poco, hasta llegar a la falla donde aumenta de nuevo.

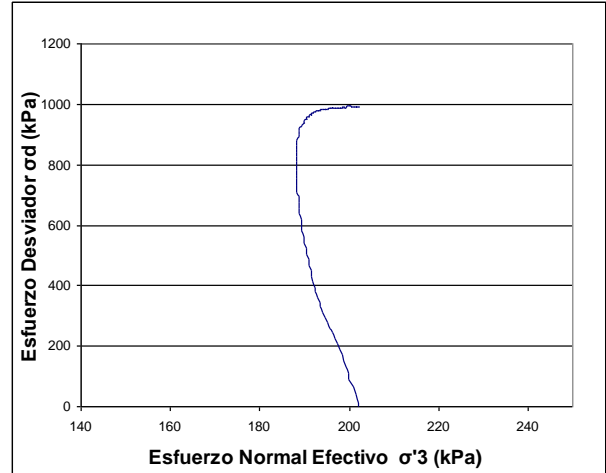


Figura G. Gráfico de esfuerzo normal efectivo versus Esfuerzo desviador para el suelo 1.

Se concluye que la máquina triaxial del laboratorio de suelos del CIVCO, se encuentra habilitada para realizar cualquier tipo de prueba triaxial. Se confirmó que la adquisición de datos por medio del computador, es la mejor opción para realizar ensayos triaxiales precisos y completos.

Se debe contar de inmediato con la reparación y construcción de las líneas de aire a presión, de agua a presión y de vacío, debido al equipo obsoleto que existe.

Con las primeras pruebas triaxiales, se dejó claro que la máquina es capaz de tomar mediciones precisas y a su vez, se logró determinar con éxito parámetros de resistencia al cortante.

Se logró realizar una prueba Consolidada No drenada, sin embargo, a causa de la desconexión inesperada de la fuente de aire comprimido, la probeta fue alterada durante la prueba, pero se logró medir exitosamente la presión de poros.

Se recomienda la compra de los dispositivos originales, para el óptimo funcionamiento del ensayo triaxial, pues algunos de ellos fueron reemplazados por otros. A saber: celda de carga, transductor de deformación y equipo de adquisición de datos de última generación.

Introducción

"Una máquina puede hacer el trabajo de 50 hombres corrientes. Pero no existe ninguna máquina que pueda hacer el trabajo de un hombre extraordinario."

Elbert Hubbard

La instalación y verificación de la calibración de fábrica de las partes de la máquina triaxial del CIVCO por medio de un proyecto es la base del siguiente documento y pretende que el lector o el usuario del ensayo de compresión triaxial lo tome como referencia importante para la aplicación de la prueba.

Los objetivos son claros y concisos: por un lado, coordinar la instalación y verificar la calibración, y por el otro, recomendar parámetros de resistencia de diferentes suelos, valiéndose de los resultados de las pruebas triaxiales.

La ejecución de estos complejos ensayos resulta de gran interés para la comunidad universitaria debido a que brinda los valores más reales que describen la resistencia de una muestra de suelo, imita lo más fiel posible las condiciones en las que se encuentra una porción de un material bajo las profundidades confinadas de un terreno el cual probablemente va a ser utilizado para construir un rascacielos o un aeropuerto, una carretera o un estadio de fútbol. Para cualquier obra de ingeniería, es necesario optimizar los costos y el sobre-diseño no es una opción viable. Si se cuenta con parámetros precisos a los que se verá sometido un suelo difícil por la sollicitación de una estructura importante, es probable que se pueda reducir al máximo la cantidad de materiales de las cimentaciones.

Para obtener los éxitos deseados en las pruebas de laboratorio, hay que tomar en cuenta dos aspectos fundamentales: la uniformidad del

estrato natural y la experiencia y habilidad del ingeniero

En general las pruebas de laboratorio sirven para ilustrar los principios sobre los cuales un juicio puede ser basado, o para establecer el comportamiento probable del suelo. En muchos casos, sin embargo, la complejidad geológica o la importancia del proyecto, justificará un análisis más exhaustivo.

Por eso, es necesario tener en cuenta 3 clases de problemas muy evidentes en la aplicación de parámetros de resistencia:

1. El diseño de las estructuras de retención de agua, tales como diques de tierra y embalses, donde la falla podría tener resultados catastróficos (pues un sobre-diseño es muy costoso).
2. La revisión de la estabilidad de taludes naturales por períodos prolongados, donde los movimientos de tierra a gran escala pueden involucrar trabajos y obras de ingeniería importantes.
3. Las fundaciones de obras de ingeniería sobre estratos profundamente arcillosos.¹

En Costa Rica, al parecer, este tipo de proyectos no son muy comunes, o su realización está a cargo de pocas instituciones nacionales y empresas extranjeras, lo cual restringe en gran medida la comercialización de pruebas complejas, como la triaxial.

También es práctica común obtener los parámetros de resistencia del suelo, basados en correlaciones empíricas, usualmente relacionando los valores de pruebas SPT con valores de ángulo de fricción interna del suelo y cohesión. Si bien es cierto, estas correlaciones

¹ Bishop y Henkel, The measurement of soil properties in the triaxial test, 1957.

han probado ser valiosas, sobretodo para proyectos de poca magnitud y bajo presupuesto, es obligación de la academia instruir a los profesionales sobre la importancia de pruebas más sofisticadas, cuando el proyecto así lo amerite. Sin embargo, el alto costo y la poca disponibilidad de la prueba triaxial en el mercado costarricense, hacen que el ingeniero, en la práctica, prescinda de su uso.

Para crear consciencia en los ingenieros, es necesario enseñar esta prueba durante su formación en la universidad y hacer conciencia de la importancia e interpretación correcta de los resultados. Para esto es necesario contar con el equipo necesario, la calibración adecuada y el personal idóneo.

La habilitación del ensayo triaxial brindará a profesionales, estudiantes y técnicos la oportunidad de aprender más sobre el comportamiento de los suelos. Además abrirá las puertas de una investigación más exhaustiva por medio de la modernización del equipo de laboratorio del CIVCO.

NOTA: Todos los gráficos de dispersión presentes en este trabajo fueron creados en el programa MS Excel 2003.

El ensayo de compresión Triaxial

Generalidades

La prueba triaxial es el ensayo más representativo que existe para determinar los parámetros de resistencia de un suelo, entre ellos la cohesión y la fricción. Consiste básicamente en recrear las condiciones más reales a las que puede ser sometida una porción del material en estudio, por lo tanto, se debe suponer que para una partícula cualquiera del suelo, se ejerce una presión uniforme a su alrededor. Lo siguiente es simular la carga que proporcionaría cualquier estructura sobre el suelo.

Para que esto sea posible en un laboratorio, se creó la mejor forma de confinar una muestra de suelo y es por medio de una cámara hermética, la cual se llena con algún fluido, aplicándole presión por medio de aire comprimido.

La muestra es una probeta cilíndrica, para asegurar una presión uniforme.

La carga axial a la cual se somete la probeta es llamada Esfuerzo Desviador (σ_d) y debe ser aplicada perpendicularmente por medio de un pistón hasta que disminuya con respecto a la deformación del espécimen, o sea, hasta que falle. Por otro lado, si la falla es provocada por el aumento de la presión lateral, se considera entonces que se produjo un ensayo de extensión triaxial.

Se debe medir tanto la carga axial, como la deformación en altura que presenta el cilindro y la deformación unitaria se determina de la siguiente manera:

$$\varepsilon = \Delta H / H_0$$

Donde ε es la deformación unitaria, ΔH es la variación en altura y H_0 la altura inicial del cilindro. Luego para cada punto de medición de la prueba, se debe hacer una corrección del área de la sección de la probeta:

$$A_c = A / (1 - \varepsilon)$$

Para calcular el esfuerzo desviador, simplemente se divide cada valor de carga axial entre el área corregida, para cada una de las mediciones.

Con todo, la idea es obtener un gráfico de esfuerzo-deformación (figura 1), del cual se toma el valor más grande de esfuerzo desviador.

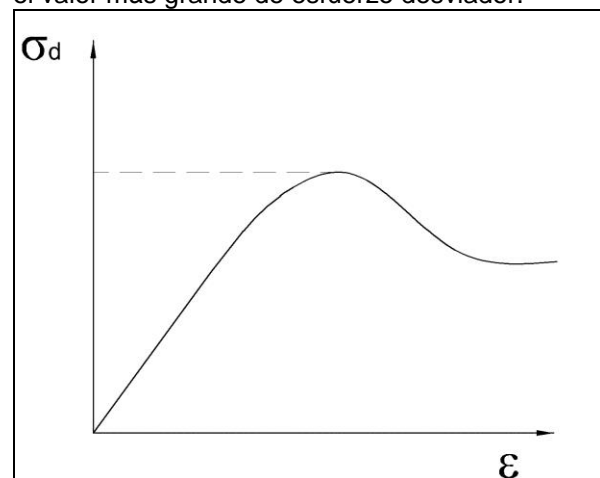


Figura 1. Diagrama típico de esfuerzo desviador versus deformación unitaria.

Las presiones de confinamiento se llaman σ_2 y σ_3 . Ambas son iguales en magnitud, ya que es el esfuerzo aplicado por la presión en la cámara al inicio y en dirección corresponden a los ejes X, Y de un campo tridimensional, como se muestra en la figura 2. Así se puede asumir que:

$$\sigma_3 = \sigma_2$$

El esfuerzo normal al cilindro se llama σ_1 y corresponde solamente a la dirección Z. Debido a que los esfuerzos σ_2 y σ_3 son uniformes alrededor de todo el espécimen, σ_1 se define como la suma de σ_3 y el esfuerzo desviador (σ_d) aplicado durante la segunda parte de la prueba:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_d$$

El esfuerzo desviador es el resultado de dividir la carga aplicada entre el área de aplicación o en otras palabras, el área de la sección transversal del cilindro.

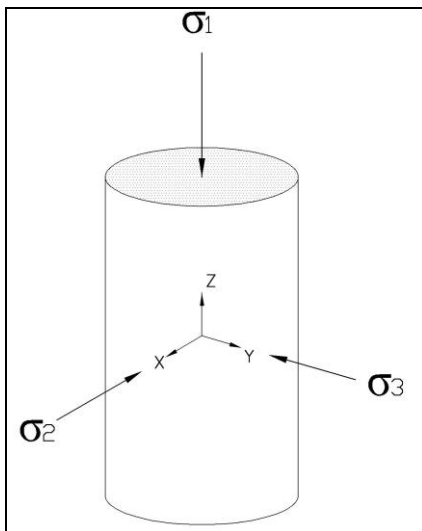


Figura 2. Representación de esfuerzos para un ensayo triaxial.

Como se mencionó antes, la prueba consiste en dos etapas: la fase de confinamiento y la etapa de falla, que es cuando se aplica la carga axial al espécimen. Según el tipo de prueba triaxial, estas etapas varían tanto en las condiciones de saturación y consolidación. De los tipos de ensayo triaxial se hablará más adelante en este trabajo.

La Resistencia al Cortante del suelo

Se define como resistencia al cortante del suelo al esfuerzo que se ejerce a lo largo de una superficie de ruptura al momento en el que se alcanza la falla. Esta situación es representada

matemáticamente por medio de la ecuación de Mohr-Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

para esfuerzos totales, y:

$$\tau = \bar{c} + \bar{\sigma} \tan \bar{\phi}$$

para esfuerzos efectivos.

Donde σ es el esfuerzo normal, τ el esfuerzo cortante, ambas variables. El parámetro de cohesión (c) y el ángulo de fricción (Φ) definen la envolvente de falla de Mohr-Coulomb que se muestra en la figura 2.

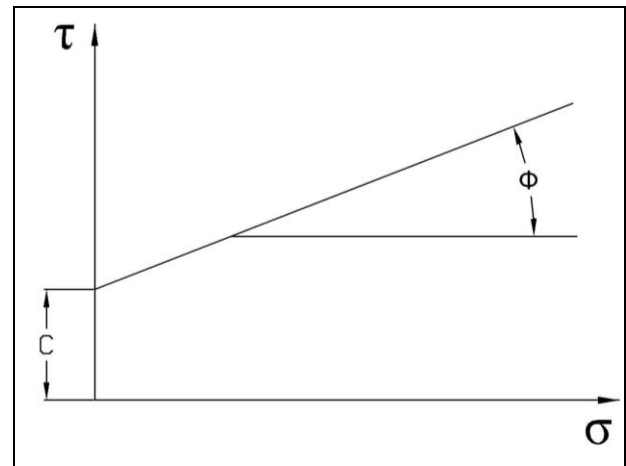


Figura 3. Envolvente de falla para determinar c y Φ

En un ensayo triaxial el objetivo primordial es encontrar dichos valores. La idea es que para un suelo se realicen dos o más ensayos triaxiales, cada uno con diferentes presiones de confinamiento o de cámara.

Un ensayo triaxial en realidad permite conocer la geometría de un círculo, conocido como círculo de Mohr, donde se representan gráficamente los estados de esfuerzos, como se muestra en la figura 4.

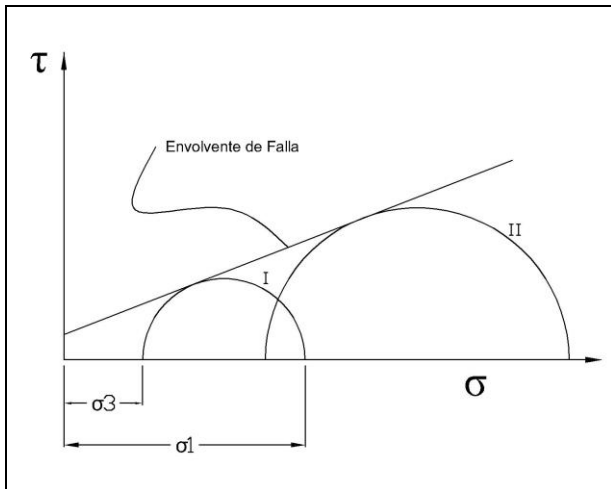


Figura 4. Círculos de Mohr para obtener la envolvente de falla

Esfuerzos efectivos y condiciones de drenaje

Los esfuerzos que se han analizado hasta ahora son los esfuerzos totales desarrollados gracias a la acción de la combinación de los esfuerzos geoestáticos y los esfuerzos inducidos. El esfuerzo efectivo es la presión ejercida por las partículas del material sin tomar en cuenta la presión de poros de agua la cual puede ser medida en laboratorio. La siguiente ecuación resume lo anterior:

$$\sigma_3' = \sigma_3 - u$$

donde σ_3' es el esfuerzo efectivo y “u” es la presión de poros ejercida por el agua intersticial.

Cuando una muestra está completamente saturada y se le aplica carga de compresión, el agua inmediatamente busca resistir la presión que se ejerce contra el suelo, sin embargo la única resistencia al esfuerzo cortante lo hace el material sólido. Por lo tanto, cuando existe alguna fuerza que, además de confinar las partículas, intenta cortarlas, lo único que se interpone, es el esfuerzo efectivo. De ahí, la importancia del cálculo de las presiones de poro, ejercidas por el agua en los vacíos, de otra manera solo se conocerá los esfuerzos totales.

Dicho esfuerzo de cortante, se puede dar bajo condiciones drenadas y no drenadas. Bajo condiciones drenadas, llamada de corte lento

también, el incremento en la presión de poros es cero y en condiciones no drenadas, o de corte rápido, no permite el escape del agua intersticial, comprime la muestra, pero limitando las condiciones de drenaje. En esta última condición, el confinamiento del agua dentro de la muestra, permite el incremento de la presión del agua en los poros y por lo tanto la medición de ésta.

El esfuerzo desviador aplicado, no solo es el responsable del estado de esfuerzos de una muestra de suelo, sino también la condición primaria de consolidación es importante. Se pueden considerar dos casos a los que un espécimen puede estar sometido: la consolidación completa, inducida por el sistema de presión al cual es sujeto, o la consolidación parcial, en la que se pueda encontrar.

Combinando las dos condiciones de consolidación, con las de drenaje, mencionadas anteriormente, se pueden obtener tres tipos de prueba:

1. Ensayo Consolidado Drenado (CD) llamado también S por “Slow”(lento)
2. Ensayo Consolidado No Drenado (CU) llamado consolidado, R.
3. Ensayo No Consolidado No Drenado (UU) llamado rápido o Q por “Quick”²

Ensayo Consolidado Drenado (CD)

En este ensayo, la muestra debe ser consolidada, y en la etapa de confinamiento la presión de poros posee un valor que no se conoce. En la etapa de aplicación de carga axial, el cambio en la presión ejercida por el agua es cero, y por lo tanto, la presión total es igual en el estado inicial y en la etapa de carga.

La figura 5 muestra las etapas del ensayo, tanto los esfuerzos iniciales, como el confinamiento, y la aplicación de carga axial.

² Bowles, J. **ENGINEERING PROPERTIES OF SOILS AND THEIR MEASUREMENT.** 1987.

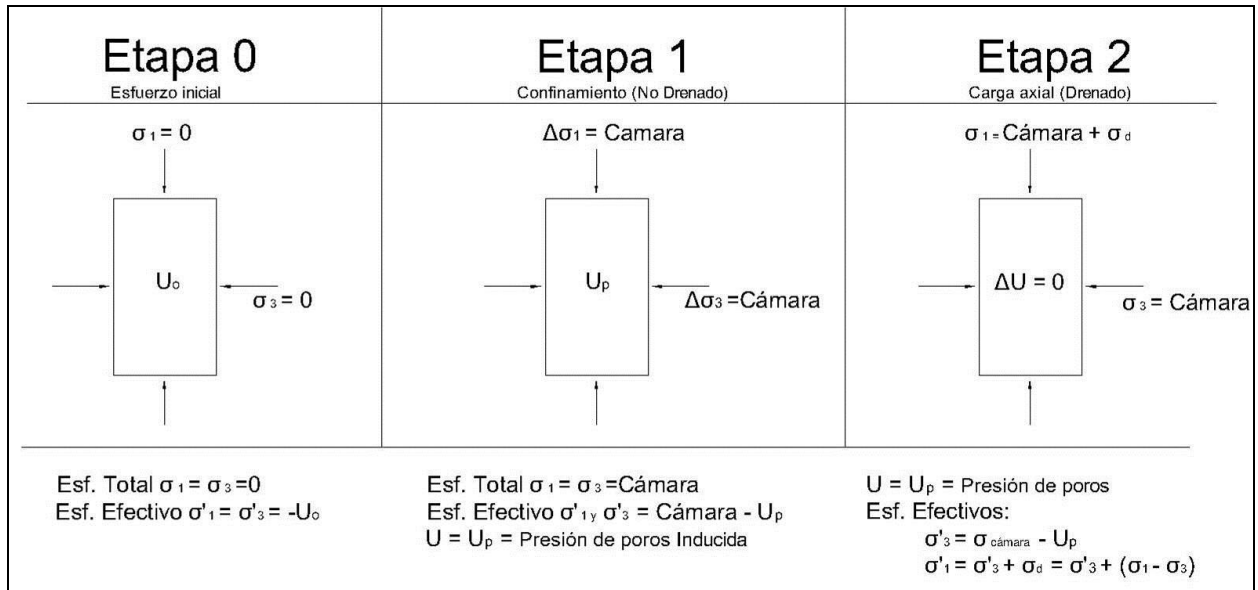


Figura 5. Diagrama de esfuerzos para las dos etapas de un ensayo CD

Ensayo Consolidado No Drenado (CU)

En este ensayo no se permite el drenaje durante la falla. En la primera parte, la probeta se consolida con la presión de la celda, pero con el drenaje abierto para que exista una disipación de la sobre-presión de poros. Una vez consolidado, se cierra la válvula de drenaje para empezar la etapa de carga axial. En esta etapa, la presión de

poros empieza a crecer conforme se incrementa el esfuerzo desviador, por lo tanto, se conoce el valor de u durante toda la etapa (Ensayo CU con medición de presión de poros) y los esfuerzos efectivos. Para un ensayo CU se pueden calcular dos envolventes de Mohr, uno para los esfuerzos totales y otro para los esfuerzos efectivos. La figura 6 muestra las dos etapas del ensayo: el confinamiento y consolidación, y la aplicación de la carga axial. La figura 6 muestra las etapas para un ensayo CU.

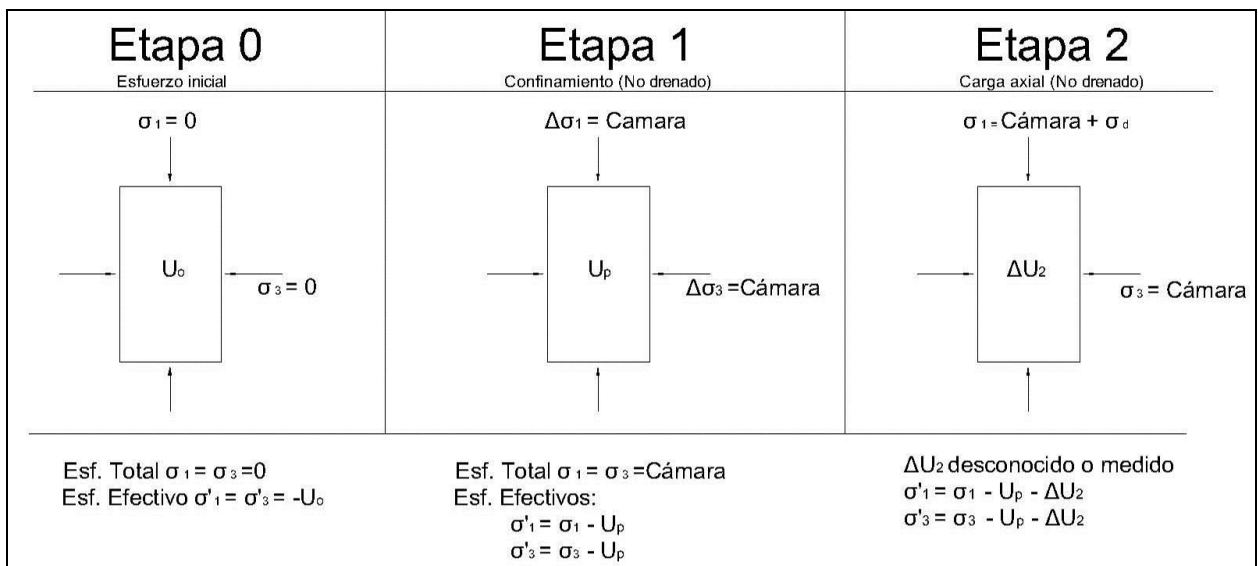


Figura 6. Diagrama de esfuerzos para las dos etapas de un ensayo CU

Ensayo No Consolidado No Drenado (UU)

En la primera etapa no se presenta la consolidación, a diferencia de los otros dos tipos de ensayo. Por lo tanto, si la probeta no está completamente saturada a la hora de aplicar la presión de celda, el espécimen puede variar su estado de esfuerzos, reduciendo su relación de vacíos, ya que el agua tiene espacio donde correr, a pesar de ser una prueba no drenada. Este ensayo se realiza generalmente sobre suelos cohesivos saturados en donde cada estado de esfuerzos representado por un círculo

de Mohr tiene el mismo diámetro en cada círculo. De tal forma, la envolvente es una horizontal que suministra el valor de cohesión.

En este tipo de ensayos, en ningún momento se conocen los valores de presión de poros y por consiguiente, no se conocen nunca los esfuerzos efectivos. En ese caso la presión de los poros tomará la totalidad del esfuerzo aplicado por la cámara, y el cambio en el esfuerzo efectivo será igual a cero. La figura 7 ilustra los estados de esfuerzo para un ensayo UU con muestras saturadas. La figura 8 muestra las etapas para el ensayo UU.

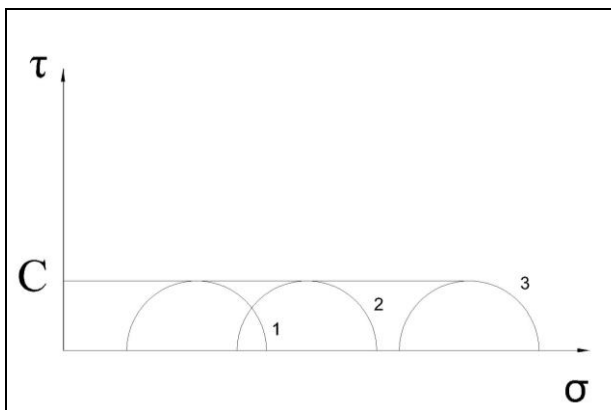


Figura 7. Círculos de Mohr para obtener la envolvente de falla en un ensayo UU con $S = 100\%$.

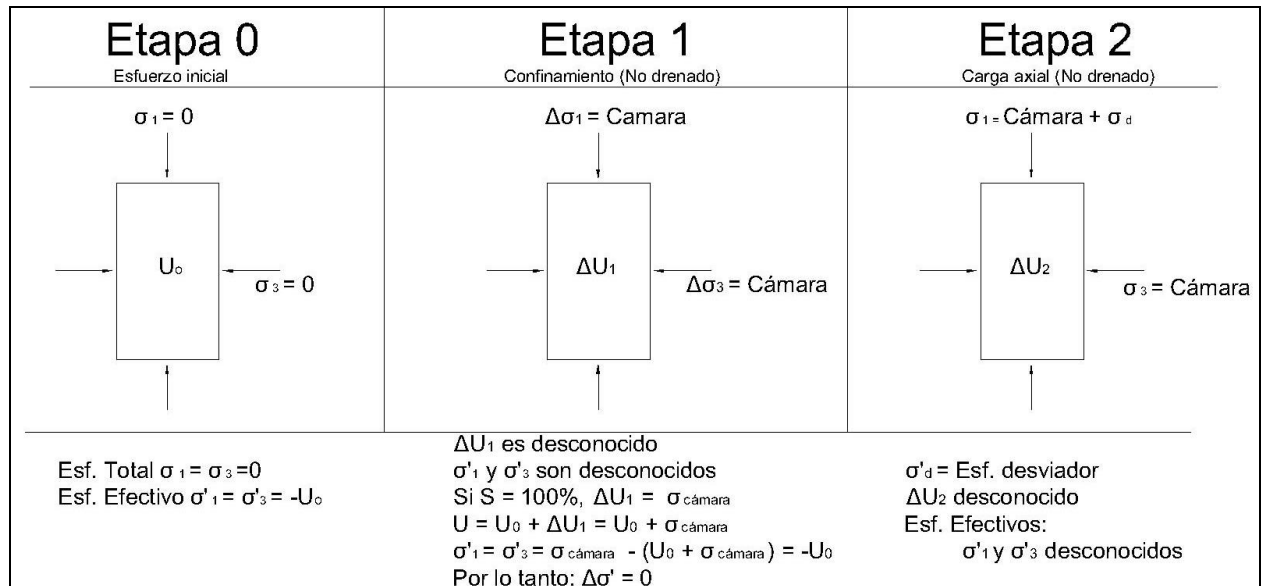


Figura 8. Diagrama de esfuerzos para las dos etapas de un ensayo UU

La máquina Triaxial del CIVCO

El ensayo triaxial utiliza varios aparatos que podrían tener una función individual pero que integradas conforman una de las pruebas más complejas del laboratorio de suelos.

Los componentes básicos del conjunto se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. Panel de Control
2. Celda Triaxial
3. Marco de Carga
4. Transductores
5. Equipo de Adquisición de datos
6. Equipo misceláneo

Panel de Control

Es el panel principal desde donde se controla y se regula cualquier presión en la prueba triaxial. El equipo cuenta con entradas para agua desaerada, aire comprimido, vacío y otras, como entrada de tanque a presión y conexión a panel auxiliar.

En el frente del panel, se encuentran las tres salidas de presión que alimentan la cámara triaxial. Son tres buretas en las que se puede regular el paso del agua individualmente, lo que permite tener tres diferentes mediciones en una misma prueba. La figuras 9 y 10, ilustran el panel principal, posteriormente se presenta un esquema detallado de cada una de las partes que lo componen.



Figura 9. Panel de Control visto de frente.



Figura 10. Parte trasera del panel de control

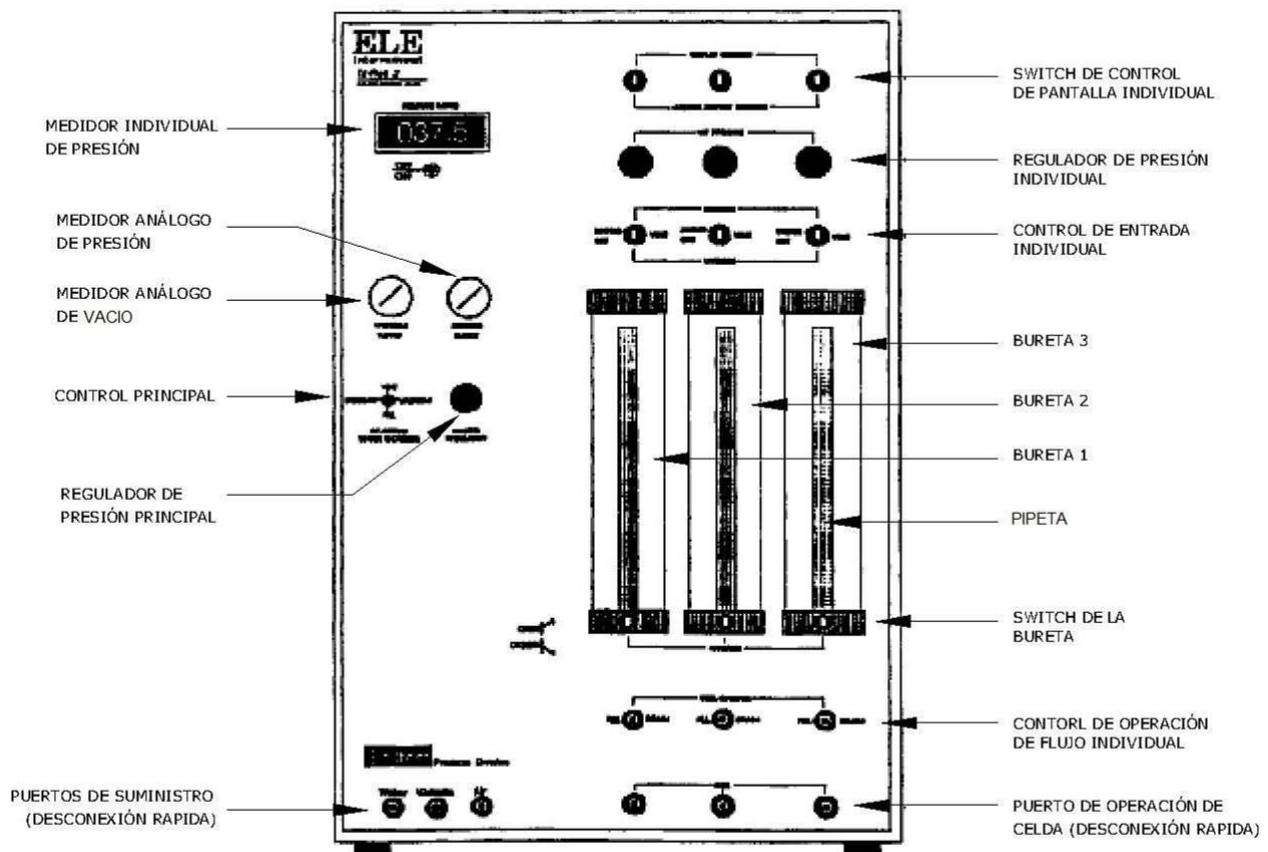


Figura 11. Esquema del Panel de control de la máquina triaxial. (Basado en la figura 2 del Manual de operación TRI-FLEX 2, pag. 10)

El control principal define las funciones generales del panel en cuatro estados básicos en los que pueden o no estar las líneas: presión, vacío, llenado o drenaje de las buretas y presión atmosférica.

Los indicadores de presión y de vacío análogos y digital presentan los valores de presión, tanto general, como a nivel de bureta individual.

Se cuenta también con un sistema individual para cada línea con su respectiva bureta, como lo es: la activación o cancelación del medidor digital en pantalla, el control de entrada con su respectivo regulador, el switch de abertura de las buretas graduadas interiores, un control de flujo de agua, con su respectivo puerto dirigido hacia la celda triaxial.

Uno de los elementos que puede ser de mucha utilidad, sobre todo en labores misceláneas, es el puerto de suministro. Existe uno para aire a presión, vacío y agua.

Celda Triaxial

Es quizá, el elemento más importante y representativo de un ensayo triaxial, ya que dentro de ella es donde se lleva a cabo el confinamiento y la falla del espécimen de suelo. Consta básicamente de una base, diferentes válvulas de entrada y salida de agua, una cámara de pared de lucita y un pistón para la aplicación de la carga axial. La figura 12 muestra, esquemáticamente, las partes de la cámara.

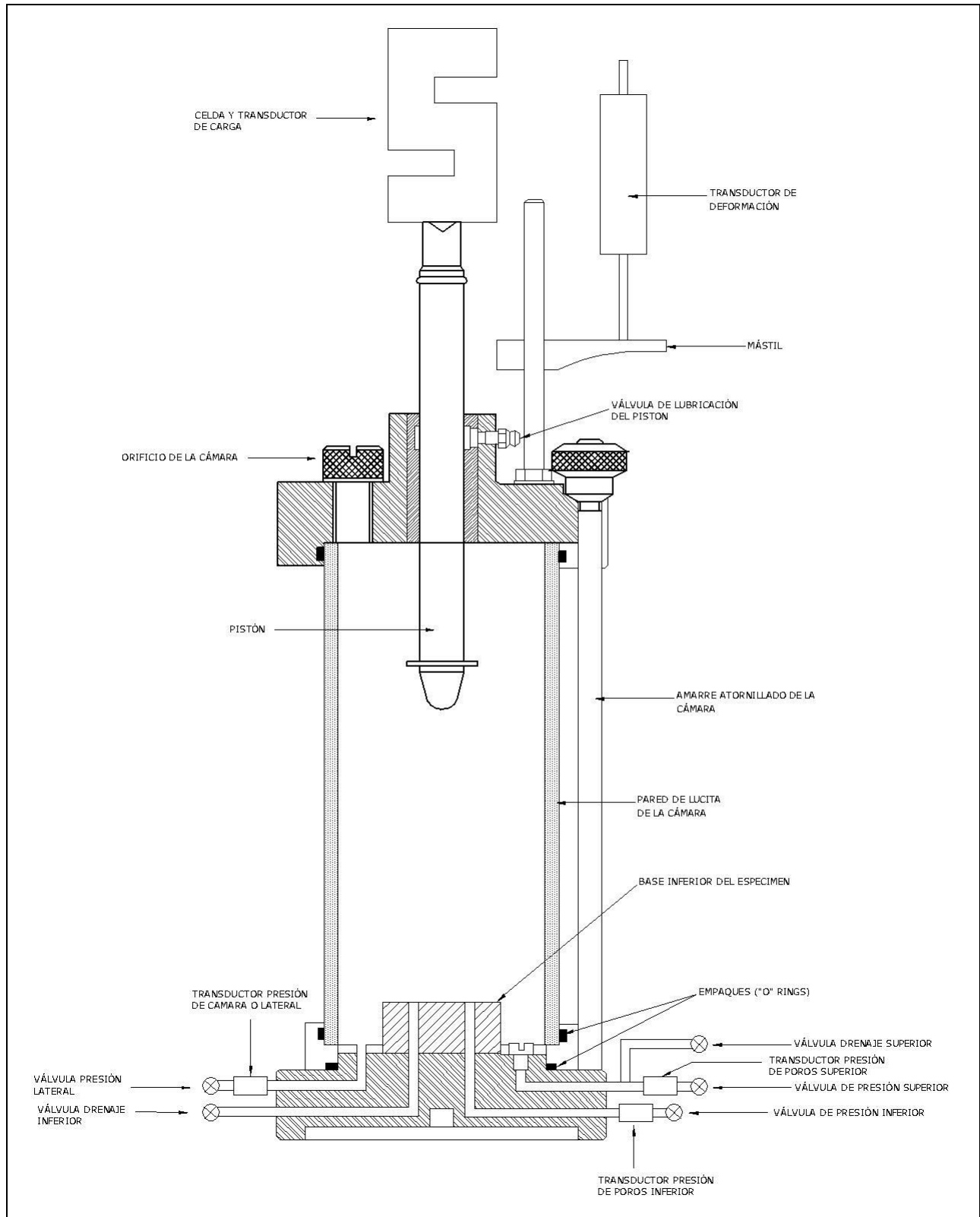


Figura 12. Esquema de la cámara triaxial (Basado en la figura 3 del Manual de operación TRI-FLEX 2, pag. 14).

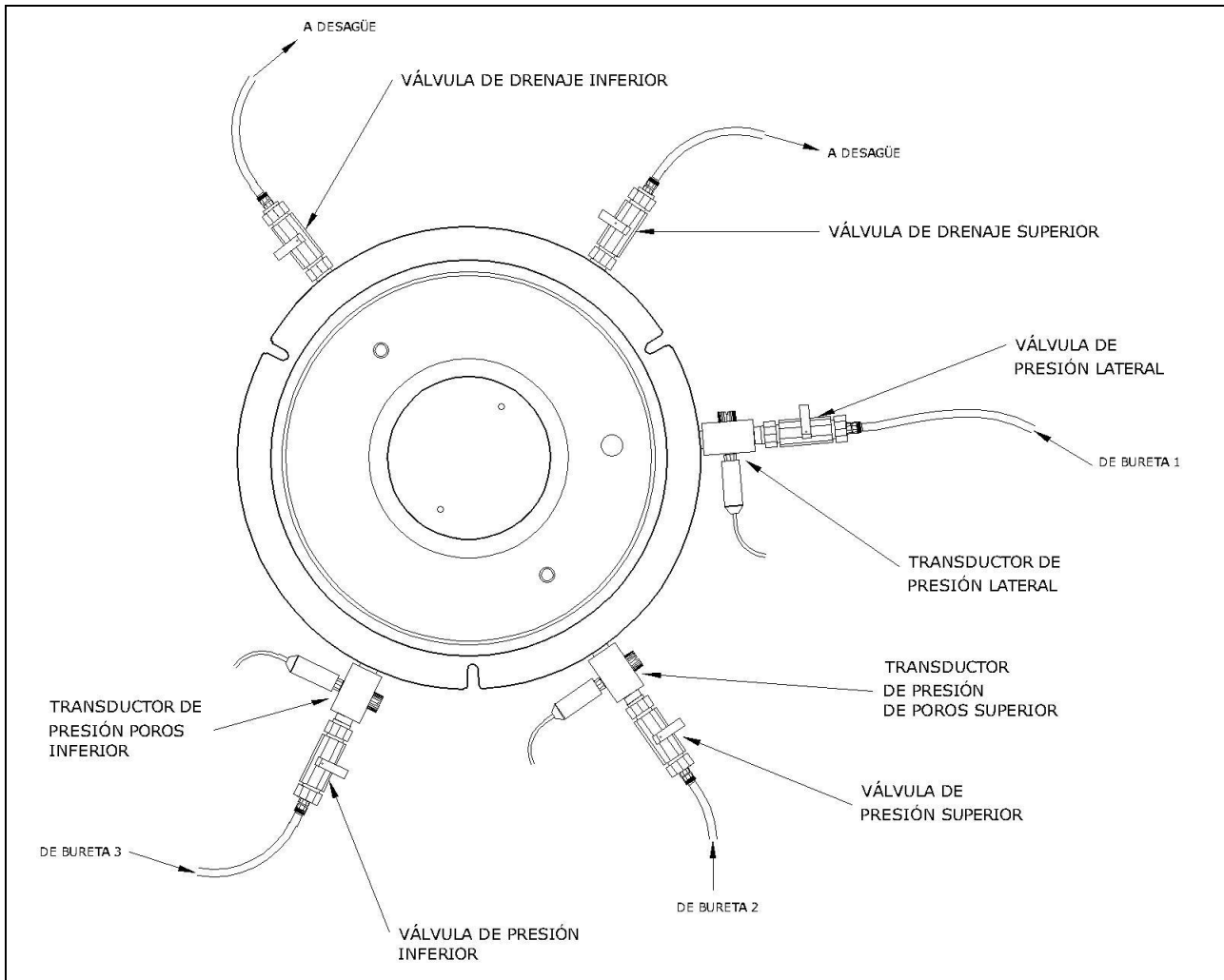


Figura 13. Base de la cámara triaxial.

La figura 13 muestra las conexiones que debe tener cada válvula con la bureta correspondiente, o con el desagüe. En el caso de las líneas de presión de cámara y de presión de poros superior e inferior, se cuenta con un transductor que está conectado al adquisidor de datos digital, que se encarga de recolectar los datos de presión, durante la etapa de falla de un ensayo. Las líneas de drenaje, tanto superior como inferior, se dirigen a un recipiente adecuado.



Figura 14. Base de la celda vista desde el frente.

Marco de Carga

Se trata de un marco de acero con un dispositivo electrónico de empuje en la base de la cámara triaxial, de esa manera, es la celda la que se mueve hacia arriba contra el marco, tal como se muestra en la figura 15.

El panel digital tiene la capacidad de controlar la tasa de deformación de la prueba, así como de programar automáticamente el ensayo, en un tiempo determinado.



Figura 15. Marco de carga y base de la cámara triaxial.

Transductores

Son los dispositivos encargados de transmitir los datos de las mediciones electrónicamente hacia el computador. Existe uno para medir la

deformación, uno para la carga axial y tres para la medición de presión.

Transductor de Deformación

Consiste básicamente en una celda, con un pequeño pistón interno que se desplaza verticalmente. Se debe instalar de manera que la parte exterior se ancle a un marco de referencia y el émbolo de desplazamiento entre en contacto con el mástil de la cámara triaxial, que es la que se mueve en forma vertical. Para los ensayos de este proyecto, se utilizó una prensa para fijar el transductor.



Figura 16. Colocación del transductor de deformación.

Transductor de Carga

Debido a que la máquina triaxial no contaba con un transductor de carga original, se recurrió a utilizar una celda de carga existente en el laboratorio de suelos del CIVCO. Es una celda con capacidad de medición de hasta 5 toneladas. Consiste en un transductor que mide la deformación de una resistencia de un material conocido y cuya contracción y elongación son directamente proporcionales al peso que se le suministre con el empuje vertical.

La celda se encuentra unida al marco de carga por arriba y a un pistón externo por abajo, el cual entra en contacto directo con el pistón interior de la cámara triaxial.



Figura 17. Celda de carga utilizada.

Transductores de Presión

El equipo cuenta con tres transductores de este tipo, uno para la medición de la presión lateral en la muestra, y dos para la medición de la presión intersticial del agua. Al igual que los otros transductores, el funcionamiento de este dispositivo consiste en la deformación de un material conocido. Cuando el fluido comprime la



Figura 18. Transductor de Presión.

resistencia interna, el sensor manda señales de cambio de voltaje que lee inmediatamente el adquirente de datos y éste, los transforma a su vez, en información útil.

El transductor se coloca necesariamente, entre la entrada de la celda triaxial, y la válvula de cierre.

También se cuenta con un tornillo que se remueve y permite purgar el sistema del transductor, para evitar las burbujas de aire encerradas.

Equipo de Adquisición de datos

Está compuesto por todos los dispositivos físicos (figura 19) y de software, que reciben las señales originales de los transductores y las convierten en datos útiles y manejables. El equipo cuenta con un adquirente de datos o "data logger", y un computador que procesa los datos y los convierte por medio de un programa predeterminado llamado DADU (Dialog Acquisition Data Unit)



Figura 19. Equipo de adquisición de datos.

Hoy día, se considera que dicho sistema es antiguo pero no obsoleto, pues cuenta con lo básico. Sería deseable que el software fuera más flexible y compatible con los sistemas operativos de las computadoras actuales.

El sistema que utiliza el Software, es el ambiente DOS, por lo tanto, para llamar el programa es necesario utilizar la línea de comandos:

C:\DIALOG\

y ejecutar el programa digitando "DADU" en la línea de comando.

El sistema es simple, pero con muchas funciones, que para efectos del ensayo triaxial, no son necesarias. A continuación se detallará acerca de las tareas más importantes dentro del programa.

Configuración del sistema de datos

Existen configuraciones predefinidas o creadas por otros usuarios, a las cuales se puede acceder por medio del programa y evita así tener que configurar de nuevo cada vez que se requiera ejecutar una prueba. Para cargar una configuración, se ingresa al menú "CONFIGURE" y "LOAD FILE", ahí se debe encontrar el archivo deseado. Para ello se digita en la línea de comando:

* *
.

La configuración predeterminada para las pruebas triaxiales se encuentra en el archivo TRI2.CFG.

Creación y edición de canales

Los canales son como los puertos de entrada digital de los datos brutos, que envían los transductores. Se debe configurar uno por cada instrumento de transducción que se posea. Para configurar un canal, se debe acceder a "CONFIGURE" y luego a la opción "CHANNEL". En el menú desplegado, acceder a la opción "EDIT CHANNELS INDIVIDUALLY". La figura 20 muestra la interfaz de edición. Una vez abierta la ventana de edición, se selecciona el canal deseado. Los canales utilizados para el tipo de transductor con que se cuenta van del 17 al 32. En la configuración de la prueba triaxial, están ocupados los canales 17 para presión de poros inferior, 18 para presión de poros superior, 19 para presión lateral, 20 para deformación y 21 para carga axial.

Lo más importante a la hora de configurar un canal, es la debida colocación de las constantes de ajuste A0 y A1. En el capítulo de Metodología, se especifica sobre los valores indicados para estas constantes. El valor de "Gain" o ganancia, debe ir, cero para deformación, 6 para presión y 8 para carga pues así lo dispone el manual del software para dichos transductores. En el caso de canales abiertos para carga la opción de "Filter", debe estar activada.

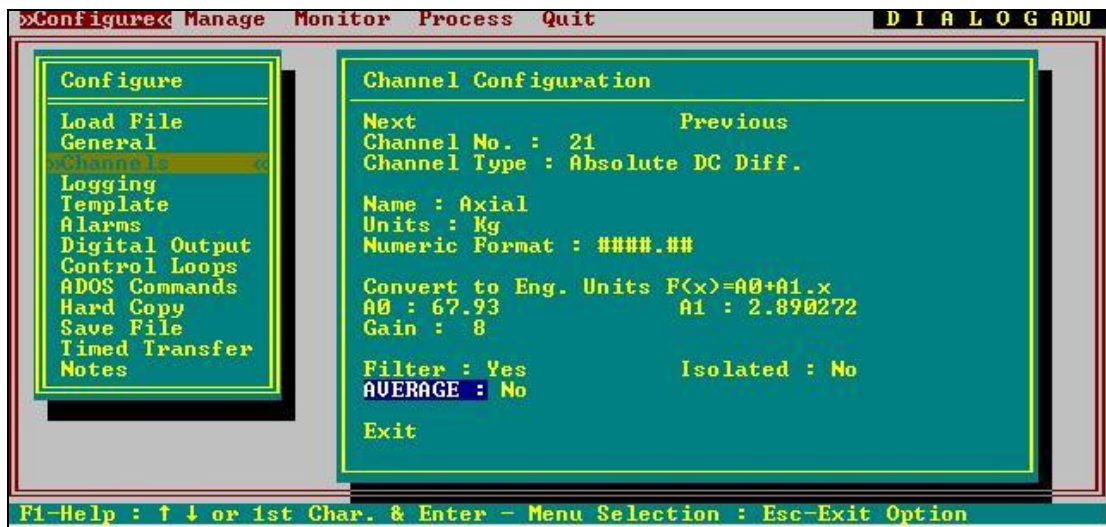


Figura 20. Pantalla de edición del canal de carga axial del DADU.

Parámetros de la prueba

Es importante ordenarle al programa, la cantidad de mediciones y los intervalos de tiempo. Para esto, el programa en la opción "LOGGING", permite configurar dichos valores. En la casilla TASK No CHANNELS, se debe escribir los canales a usar en la adquisición de datos, separados por un espacio (por ejemplo: 17 18 19 20 21). Se anota el número de mediciones y se definen los intervalos. En el caso de las pruebas realizadas en este proyecto se utilizaron intervalos de tiempo de 1 segundo y un total de 6000 mediciones para asegurar que el ensayo terminara con lecturas de sobra.

Ejecución y finalización de la prueba

En el menú "MANAGE", se debe acceder a la opción "INITIALISE". Se confirma la petición y se lleva a cabo las mediciones correspondientes.

Una vez finalizada la prueba, se procede a finalizar la toma de datos. En este mismo menú, se accede a la opción "FINISH" y se confirma la petición.

Monitoreo de las mediciones

Una de las ventajas de este software es que se pueden observar los datos que va obteniendo el data logger en tiempo real durante la ejecución de una prueba. Para esto, se va al menú "MONITOR", se accede a la opción "ANALOG DISPLAY". Las lecturas se mostrarán en pantalla, y en tiempo real, para los canales configurados anteriormente.

Equipo misceláneo

Se refiere al equipo de preparación de las muestras y a los insumos que se utilizan durante los ensayos triaxiales. Los equipos requeridos se enlistan a continuación:

Molde para compactación de 72 mm de diámetro (figura 21-B)

Molde de compactación Proctor de 101.6 mm

Mazo de compactación de 2.5 kg

Bandejas para contenido de humedad
Bureta graduada
Espátula
Cuchillo
Membrana de hule
Filtros (figura 21-A)
Anillos de empaque "O rings" (figura 21-C)
Piedras porosas
Horno
Bandejas
Extractor Hidráulico de muestras

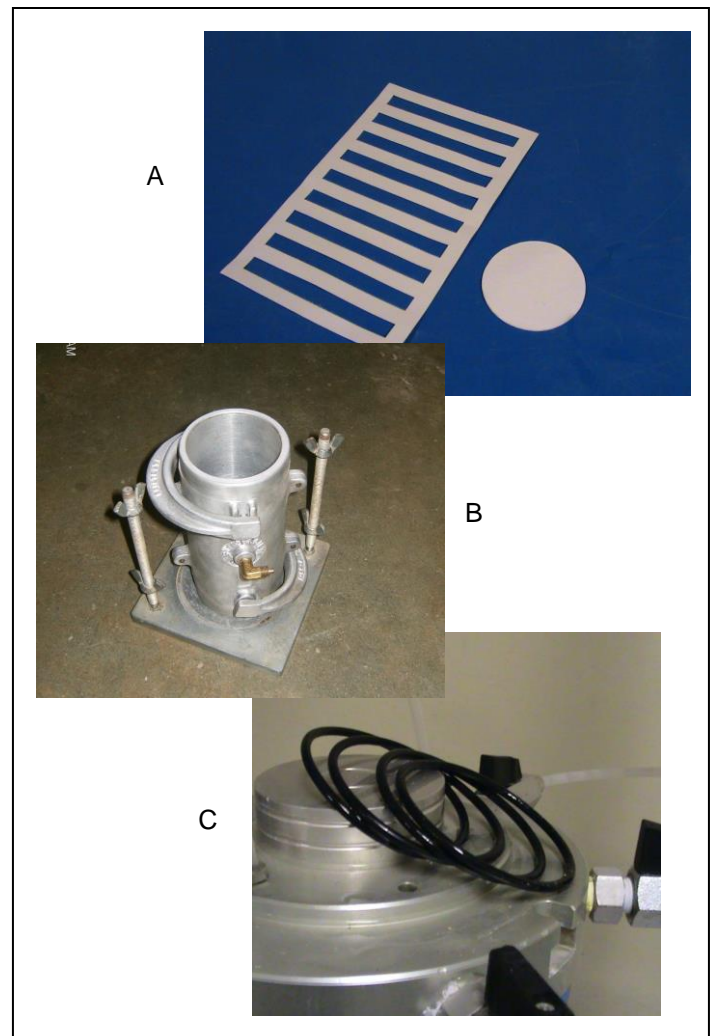


Figura 21. Filtros, moldes y empaques utilizados.

Metodología

Instalación de la máquina Triaxial

Para completar con éxito la instalación fue necesario el adecuado ensamble de las piezas tanto del marco de carga como de la cámara de presión, así como conexiones de todas las líneas en el panel principal. Así se tuvo que:

- Conectar un compresor para suplir el aire a presión que requiere el panel de control.
- Conectar una bomba de vacío a la respectiva entrada llamada "VACUUM", en el panel de control.
- Construir una estructura rígida para colocar un tanque, que suministre el agua por gravedad al panel principal de la máquina. Lo anterior se logra conectando dichas líneas a la parte trasera del panel como lo muestra la figura 22.
- Purgar totalmente, el sistema de tubería del panel de control por medio de la desconexión y llenado de todas las mangueras.
- Instalar los dispositivos de medición de la etapa de falla: celda de carga, transductor de deformación, transductores de presión.
- Modificar un molde para probetas existente cuyas dimensiones no se adaptaban a las estándar en la base de la celda triaxial actual.

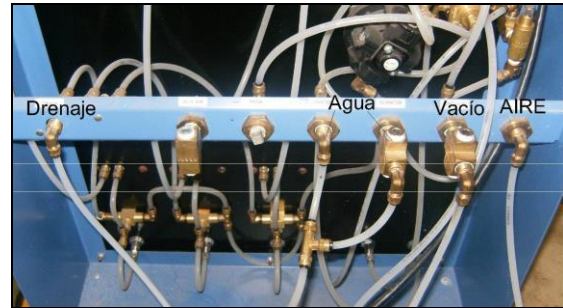


Figura 22. Entrada de líneas de agua, aire y vacío.

Data Logger o convertidor de información digital

El software utilizado para la adquisición de datos es DADU (o Dialog Acquisition Data Unit). Cada uno de los transductores conectados, cuenta con un canal de acceso a la computadora, los cuales poseen una configuración individual, que permite variar las constantes de calibración de los diferentes dispositivos conectados, como lo son la celda de carga, los transductores de presión y el de deformación. En resumen, las señales que llegan al adquisidor de datos o data logger, son en realidad cambios de voltaje diferentes para cada tipo de transductor. La traducción de estos datos se logra por medio de una ecuación de ajuste para cada medición:

$$Y = A0 + A1 * X$$

Donde X, es la lectura transmitida del transductor, A1 es la constante de ajuste y A0, el valor para poner en cero la medición.

La posición de cada transductor en los canales se detalla en el cuadro 1.

CUADRO 1. POSICIÓN DE LOS TRANSDUCTORES EN CADA CANAL DEL DATA LOGGER.				
Canal	Tipo	Nombre	Unidades	Descripción
0	Digital	Time	s	Medida del Tiempo
17	Diferencia Voltaje Absoluta	Lateral	kPa	Presión de Cámara
18	Diferencia Voltaje Absoluta	Poros inf	kPa	Presión de Poros de la parte inferior de la probeta
19	Diferencia Voltaje Absoluta	Poros sup	kPa	Presión de Poros de la parte superior de la probeta
20	Diferencia Voltaje Absoluta	DEF	mm	Medida de la deformación axial de la probeta
21	Diferencia Voltaje Absoluta	Axial	kg	Carga axial aplicada a la probeta

La figura 23 muestra como se conectan las terminales de los transductores al adquisidor de datos o "Data Logger"

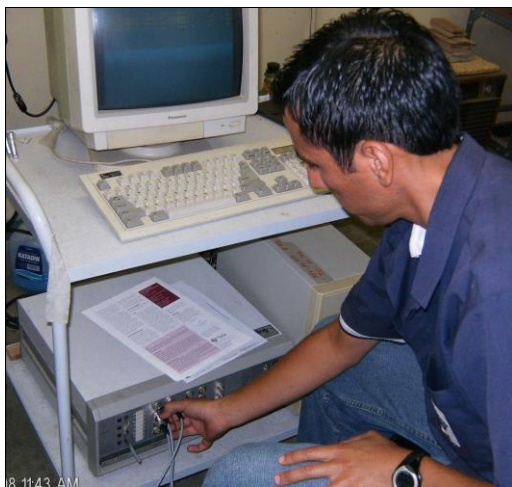


Figura 23. Conexión del sistema de adquisición de datos.

De esta manera se ajustaron cada uno de los dispositivos que se detallan a continuación.

Verificación de la Calibración

Celda de carga

Debido a que el paquete de la máquina no incluía un transductor de carga original, se recurrió al equipo disponible en el CIVCO. Como se mencionó anteriormente, se utilizó una celda de carga con capacidad para 5 toneladas, con una incertidumbre de ± 1 kg. Cabe destacar que la mayoría de los equipos se encuentran

debidamente calibrados, por lo tanto, simplemente se utilizó la curva de calibración para obtener el valor de la constante de ajuste del software del adquisidor de datos. El valor proporcionado por los técnicos del laboratorio de acuerdo a su manual de constantes de equipo es de:

$$A1 = 2,890272$$

Medidor de presión del panel

El panel incluye un manómetro con sistema de visualización digital, con una precisión de $\pm 0,25$ % de la lectura. Este sistema viene con calibración de fábrica.

Transductores de presión

Estos dispositivos fueron verificados correctamente, comparando cada una de las lecturas en el software de adquisición de datos, con distintas presiones medidas en el visualizador digital del panel de control. Lo único que se tuvo que ajustar fue las constantes de ajuste, las cuales se resumen en el cuadro 2.

CUADRO 2. CONSTANTES DE AJUSTE PARA CADA TRANSDUCTOR DE PRESIÓN.	
Transductor	Constante de ajuste, A1
Presión Poros Inferior	0,5328
Presión Poros Superior	0,5336
Presión Lateral	0,5330



Figura 24. Transductores de Presión.

Transductor de medición de deformación

Al igual que la celda de carga mencionada anteriormente, este dispositivo no se incluía con el resto de la máquina triaxial y el transductor de deformación que se usó ya tenía su curva de calibración. Sin embargo, se verificó repetidas veces, utilizando un simple procedimiento: comprobar con un calibrador de vernier que la distancia que se prolonga el émbolo es igual a la suministrada por el software de adquisición de datos. Al igual que con los otros transductores se obtuvo (por medio de los técnicos del laboratorio) el valor de la constante de ajuste para el programa de adquisición de datos y es la siguiente:

$$A1 = 0,0125$$

Caracterización Geotécnica del material

El suelo en estudio

Para este proyecto se decidió que la forma más adecuada de probar, era utilizando tres diferentes tipos de suelos cohesivos con diferente consistencia y trabajabilidad. Para lo cual, se extrajeron muestras de tres diferentes lugares del país. La denominación de cada muestra responde al orden cronológico de extracción del

material. El cuadro 3 resume la ubicación de cada tipo de suelo.

CUADRO 3. LUGAR DE EXTRACCIÓN DE LAS MUESTRAS	
Muestra	Ubicación
Suelo 1	Pozos de Santa Ana, San José
Suelo 2	Tajo las Cóncavas, Cartago
Suelo 3	Planta de Holcim, Cartago

Análisis Granulométrico

Se realizó una granulometría para los 3 tipos de suelo, basada en la norma ASTM D-422.

Para efectos de este trabajo las muestras que se utilizaron correspondían a material pasando la malla #4, esto para efectos de afinar las probetas de las pruebas triaxiales. Se tomó aproximadamente 3 kg de material y se tamizó por las mallas 4, 8, 50, 100 y 200. Con los pesos del suelo, pasando las mallas, se determinó la curva granulométrica.

Determinación de Límites de consistencia

Para estas pruebas, se utilizó la norma D 4318-00. Así como lo indica el procedimiento de la norma, lo que se hizo fue determinar el límite líquido y el límite plástico y de esta manera, encontrar el índice de plasticidad.

Clasificación del suelo SUCS

De acuerdo con la granulometría y los límites de consistencia, se determinó el tipo de suelo de las muestras. Con dichos datos, se especifica si el suelo está bien o mal graduado, si es material granular o fino. Con la carta de plasticidad (ver anexo) se determina si presenta limo o arcilla, además de su compresibilidad. Por último, se clasifica el suelo.

Determinación de la compactación de las probetas

Para que las diferentes pruebas de un ensayo triaxial No Consolidado No Drenado, produzcan una fricción igual a cero, los especímenes deben tener los mismos estados de esfuerzo. Esto es, contar con la misma densidad y contenido de humedad, para garantizar una similitud en relación de vacíos y saturación de la muestra.

Se decidió determinar la densidad y la humedad óptima por medio de pruebas de compactación Protor Estándar, según como lo indica la norma ASTM D698, y reproducir dichas condiciones para los especímenes preparados en el laboratorio.

Se realizó el procedimiento A de la norma, ya que menos de 20% de la muestra es retenido en la malla #4. Este procedimiento implica hacer la compactación en tres capas, utilizar un molde de 101,6 mm de diámetro, y con un mazo de 2,5 kg suministrar 25 golpes a la muestra desde una altura de 30 cm aproximadamente.

Una vez determinados 5 puntos de esta prueba, se construye una gráfica de porcentaje de humedad versus densidad seca y se aproxima una curva, la cual proporcionará el valor de la densidad máxima. Estos parámetros definen la preparación de los especímenes del ensayo triaxial.

Preparación de los especímenes

Para un ensayo triaxial, no importa de qué tipo, se requiere la configuración adecuada del equipo, con respecto a la muestra de suelo que se vaya a usar. Para esto, y según las normas ASTM - D 4767 y D 2850, se requiere de un espécimen

cilíndrico, con una altura dos veces mayor a su diámetro. Tanto en la base inferior, como en la superior, se debe colocar papel de filtro y por último, una piedra porosa del diámetro de la probeta.

Lo más común en este tipo de ensayos es obtener la muestra inalterada del sitio en estudio. Para esto se utiliza un tubo para muestreo "Shelby" el cual es empujado en el terreno de manera cuidadosa. El material obtenido debe ser cuidadosamente protegido y envuelto, con el propósito de evitar la pérdida de humedad natural, ya que con este tipo de espécimen se pretende recrear las condiciones originales de densidad y saturación que posee el suelo.

Debido a que el laboratorio de suelos del CIVCO, no cuenta con el equipo de extracción de muestras inalteradas, se tomó la decisión de compactar las muestras en laboratorio, imitando las condiciones naturales de la mejor manera posible, según lo indica la norma ASTM D2850-03ª, en la sección 6.3.

Lo primero que se debe hacer, es alistar la muestra de suelo suelto, añadiendo el agua deseada, para alcanzar el contenido de humedad esperado. Se recomienda extraer de 2000 a 2500 gramos de material para cada probeta, lo suficiente para repartir unos 500 gramos de contenido de humedad y el resto para el proceso de compactación. La mezcla del material con el agua debe ser intensa, para procurar que no queden grumos, ni material seco en los bordes de la bandeja. La muestra debe dejarse reposando durante 18 horas como mínimo y si es posible, en la cámara húmeda, para evitar posibles pérdidas de humedad.

La compactación del material, de cumplir con la norma ASTM 2850 – 03ª, el número de capas a usar en la compactación del espécimen debe ser al menos 6 y justo, después de compactar cada capa, se debe escarificar con una espátula, para asegurar la adherencia entre una capa y otra.

La cantidad de golpes se debe determinar experimentalmente, pues no hay una teoría concreta acerca de energía de compactación a utilizar. Se recomienda

determinarla, relacionando la densidad del material con el número de golpes, como lo muestra la figura 25.

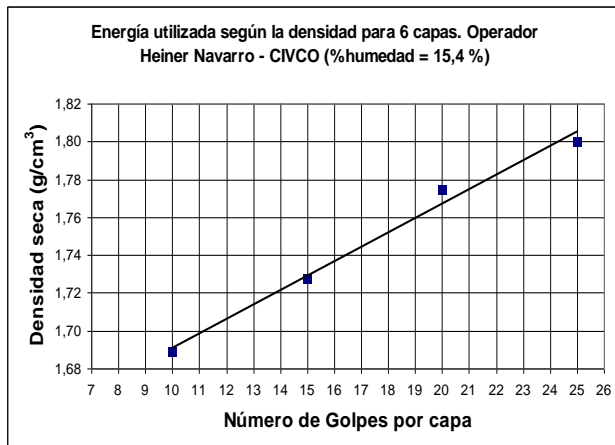


Figura 25. Gráfico para determinar el número de golpes para una densidad seca específica.

Así por ejemplo, si se quiere compactar una probeta con una densidad de 1,76 g/cm³, se le debe aplicar 19 golpes a cada capa

La preparación de las probetas de suelo que se utilizan en el ensayo triaxial, es una de las tareas más delicadas a la hora de hacer estas pruebas. De esto depende la variabilidad de las condiciones específicas de las muestras. Esto es importante, pues es requerimiento estricto que para una serie de ensayos (generalmente tres probetas por ensayo triaxial), los cilindros preparados deben estar en igualdad de condiciones, tanto en humedad y saturación, como en densidad.

Para este proyecto se utilizaron dos métodos de preparación: uno, utilizando el convencional equipo de proctor estándar y el otro, usando un molde modificado, para fines del ensayo triaxial. Ambos métodos presentan ventajas e inconvenientes, que llevarán al lector de este documento a juzgar por sí mismo en la elección del método.

Método A

Equipo

Recipiente de aluminio para contenido de agua
 Horno
 Balanza Digital con incertidumbre de $\pm 0,01$ g
 Molde para Proctor de 101,6 mm de diámetro
 Martillo para Proctor de 2,5 kg
 Bureta graduada
 Extractor hidráulico de muestras cilíndricas
 Enrazador
 Cuchillo
 Espátula
 Cucharas



Figura 26. Equipo de compactación utilizado en la preparación del espécimen del ensayo triaxial.

Procedimiento

Al realizar una prueba proctor, se desea llevar el volumen de material al ras del molde sin el anillo. La altura que tiene este molde es de 116,4 mm. Sin embargo, y como se mencionó antes, las probetas del ensayo triaxial deben tener una relación altura/diámetro igual o mayor a 2. Una probeta hecha a partir del núcleo extraído de la proctor no cumpliría con dicha condición, ya que las piedras porosas más pequeñas, utilizadas en este proyecto, poseen un diámetro de 62,5 mm. Por lo tanto, se requiere de un núcleo de material más alto. Para esto, se utilizó el anillo, como parte del volumen total del núcleo a extraer con el

gato hidráulico. Con todo esto, no es necesario llevar las seis o más capas hasta el borde del anillo del molde, sino lo suficiente para alcanzar la relación altura/diámetro adecuada.

Lo siguiente es extraer el núcleo con cuidado de sostener las dos partes del molde para evitar que se parta. Se pesa y se mide con precisión la altura, para determinar el peso volumétrico del cilindro.

Luego se debe tallar la probeta, con ayuda del cuchillo y la espátula, como se muestra en la figura 27, basándose en un diámetro patrón (en este caso la piedra porosa). Se debe cortar a una altura dos veces mayor al diámetro. Todo el proceso de talla y corte debe realizarse con la manipulación mínima del espécimen.



Figura 27. Etapa de talle y corte de un espécimen remoldeado.

El principal objetivo de este método es el de obtener especímenes de diámetros con los que no se cuente, con moldes especializados. Estos fueron usados en varias de las pruebas realizadas en este proyecto, pues no se contaba con las piedras porosas de 70 mm de diámetro. Por tal razón fue necesario adaptar un molde. El método B se refiere precisamente a la utilización de este molde.

Método B

Equipo

Recipiente de aluminio para contenido de agua
Horno
Balanza Digital con incertidumbre de $\pm 0,01$ g
Molde partido de 72 mm de diámetro
Martillo para Proctor de 2,5 kg
Bureta graduada
Enrasador
Cuchillo
Espátula
Cucharas

Procedimiento

Para este procedimiento, se tuvo que modificar un molde existente en el laboratorio de suelos, al parecer parte de la máquina triaxial antigua.

La idea es contar con un molde adaptado, para no manipular la probeta en exceso, como se hacía en el método anterior, ya que al tallarla, se pierde humedad y se puede alterar la densidad.

El molde tiene una altura de 147,16 mm y un volumen total de $593,85 \text{ cm}^3$. Posee prensas que unen firmemente las dos partes del cilindro metálico como se muestra en la figura 28. Cuenta además, con un sistema de introducción de aire, para facilitar la extracción.

Se debe conectar a este sistema la línea de desconexión rápida de suministro de aire que está en el panel de control, ubicado en la esquina inferior izquierda. No se debe exceder el tiempo de exposición al aire a presión, ya que puede secar una parte de la superficie de la probeta.

Se compacta el suelo con al menos 6 capas y con la energía aplicada con el mazo de 2,5 kg, suficiente para alcanzar la densidad deseada. Al llegar a la última capa, se deben dar con cuidado los últimos golpes y enrasar la superficie, pues este molde carece de un anillo removible.



Figura 28. Molde partido de 72 mm para probetas triaxiales.

Como se puede notar, la gran diferencia entre los dos procedimientos es la extracción de la probeta para el ensayo definitivo. Para este caso específico, el molde permite la remoción del cilindro, partiéndose en dos segmentos. Un problema común, es la gran adherencia que siempre tiene la muestra con las paredes del molde y aunque el equipo cuenta con la ayuda de la tubería para introducir aire a presión, se debe tener cuidado, pues se corre el peligro del corte a lo largo del plano longitudinal del cilindro. Por tal razón una espátula es siempre una buena ayuda, para inducir el desprendimiento, del espécimen del interior del cilindro metálico.

Colocación del espécimen

Una vez preparado el espécimen, se procede a montarlo en la base de la cámara triaxial.

Lo primero que se debe de hacer, es colocar los discos de papel de filtro, uno en cada extremo de la probeta, seguido de las piedras porosas. Cabe destacar que para una prueba donde se necesita la saturación completa, es recomendable poner a saturar las dos piedras porosas, el día anterior. Se coloca el filtro lateral, alrededor del cilindro, para acelerar el proceso de saturación. Luego se coloca la base superior, la cual va a ser el único contacto con el pistón de carga axial.

Después se procede a colocar la membrana de hule. Para ello se utiliza el emplazador de membrana (figura 29), que es básicamente un tubo PVC con un orificio lateral. Se coloca cuidando que, tanto el exceso superior y el inferior, sean similares afuera del tubo.



Figura 29. Colocación de la membrana de hule utilizando el emplazador de PVC.

Se le conecta la línea de desconexión rápida de vacío (ubicada en la parte inferior izquierda del panel de control), y la membrana se comienza a expandir por la pared interior del cilindro. Esto ayuda a introducir la probeta de suelo a través de la membrana así como se muestra en la figura 29. Una vez, realizado tal procedimiento, se remueve el cilindro de plástico y se coloca todo el conjunto sobre la base inferior de la cámara triaxial, como se muestra en la figura 30. Se debe ajustar los anillos de hule (“O” rings) en las ranuras, que surcan tanto la base inferior como la superior, y así crear un sello entre el espécimen y el agua a presión de la cámara. La figura 30 muestra uno de los especímenes para una prueba CU debidamente colocado en la base de la celda triaxial.

Se conectan las líneas que se encuentran dentro de la cámara a la base superior, y se procede a colocar la celda de pared de lucita, con el cuidado poner en su posición el empaque de hule que hay alrededor de la base. Se colocan los amarres laterales, con el cuidado de atornillar con fuerza, para evitar cualquier fuga de agua.



Figura 30. Probeta colocada en la base de la cámara triaxial.

Llenado de las buretas

El orden con el que se deben llenar las buretas, es de izquierda a derecha. Las cinco válvulas de la celda deben estar cerradas, el control principal del panel, debe estar en la posición de “Presión” y el control de entrada de la bureta, en la posición “VENT”. El switch de la bureta graduada debe estar abierto.

Para llenar la bureta, lentamente gire el control de operación de flujo individual, en la posición “FILL”. Una vez hecho esto, coloque dicho control en la posición “CELL OPERATE”, para detener el flujo a través de la bureta al nivel deseado. No se debe llenar en exceso los cilindros, pues se puede escapar el agua. Se debe repetir estos pasos, si se desea llenar las otras buretas.

Una vez llenado, se coloca el control de entrada de la bureta en la posición “VACUUM”, para quitar el aire atrapado en la bureta. Este

proceso dura de 5 a 10 minutos, hasta notar la disminución de burbujas de aire.

Procedimiento para las pruebas triaxiales

Como se describió anteriormente, existen tres tipos de prueba triaxial: Consolidada Drenada, Consolidada No drenada y No consolidada No drenada. Para las tres se tiene en común la etapa previa de llenado de cámara y aplicación de presión lateral que se describe a continuación:

Llenado de la cámara triaxial

Para esto, se usa la línea de presión lateral que va directamente a la válvula en la cámara. Se conecta al puerto de suministro de desconexión rápida que supe agua, ubicado en la parte inferior izquierda. Se abre la válvula de la cámara, y se deja llenar hasta que alcance el tope. Luego se cierra la válvula, y se vuelve a conectar dicha línea al puerto de operación de celda, en la posición de la bureta 1.

Aplicación de presión lateral

Asegurándose de que la línea de presión lateral, se encuentre debidamente conectada tanto en el panel (puerto de operación de celda de la bureta 1), como en la celda (en la válvula de presión lateral), que el control de operación de flujo individual se encuentre en la posición “CELL OPERATE”, y que el control de entrada de la bureta esté en la posición “PRESSURE”, se debe aplicar presión por medio del regulador individual, hasta alcanzar la presión de confinamiento, deseada. Se debe dejar equilibrar la presión de

cámara por al menos 10 minutos, antes de la siguiente etapa.

Si la muestra requiere de saturación, se procede de la siguiente manera:

Saturación del espécimen

Bajo condiciones naturales, muchas veces el suelo no se encuentra saturado al ciento por ciento, es por eso que este proceso se puede simular en la maquina triaxial. La idea es, por un lado eliminar los espacios vacíos y el aire por medio de vacío, y por otro lado introducir agua a presión poco a poco hasta llenar todos los poros. Para esto, primero se debe conectar la bomba de vacío, y poner el control de entrada de la bureta 2 (Poros Superior) en la posición "VACUUM". Se debe regular el vacío al punto deseado. El switch de la bureta graduada, debe estar cerrado.

Luego se aplica presión desde la bureta 3 (Poros Inferior), y se regula a una presión igual o superior al vacío que ejerce la línea de presión de poros superior. Este proceso puede tardar mucho tiempo, dependiendo del suelo.

Es importante aclarar que siempre, y para cualquier ensayo que se realice, la presión de celda debe ser mayor a la presión de poros, ya que de lo contrario la probeta llegaría a arruinarse, pues sus poros se aumentarían exageradamente.

Para verificar que la probeta está totalmente saturada, se debe calcular el valor B de Skempton y comprobar que sea cercano a la unidad: se apaga el vacío y se cierra la válvula en la celda de la línea de presión de poros superior. En la bureta de presión de poros inferior, se cierra el switch de la bureta graduada y se drena un poco de agua hasta que los meniscos, tanto de la bureta graduada como de la bureta exterior, estén a diferente nivel. Se toma la lectura de volumen, y se procede a incrementar la presión de celda por lo menos en 30 kPa. El agua empezará a subir por la bureta, entonces, con el regulador individual, se debe incrementar la presión, procurando que el nivel se mantenga en la lectura tomada anteriormente. Este proceso tarda de 10 a 15 minutos, hasta que se estabilice el agua en las buretas. El valor B es el resultado

de dividir el incremento en la presión de poros entre el incremento en la presión de cámara:

$$B = \frac{\Delta \text{Presión Poros}}{\Delta \text{Presión Cámara}}$$

Prueba No consolidada No drenada (UU)

Para crear una prueba rápida como ésta es importante tener en cuenta que bajo ninguna circunstancia, se debe permitir el drenaje del agua durante las etapas del ensayo. Por consiguiente, se debe asegurar que las líneas de drenaje de la presión de poros, estén cerradas.

Una vez lista la cámara, con las debidas líneas conectadas al panel principal y con los cinco transductores funcionando con el adquirente de datos, se procede a cargar la probeta por medio del marco de carga, así como el pistón que se encuentra aferrado a él. Antes de correr la prueba desde el panel de carga, se debe asegurar que el pistón entre en contacto con la base superior pero sin que se exceda la fuerza con el que éste lo cargue. Esto se logra, subiendo la cámara triaxial poco a poco por medio del panel digital de carga y leyendo directamente de la computadora; también hay que verificar que la carga no exceda un 5% del total de la carga máxima estimada.

Se ajusta el transductor de deformación, de manera que entre en contacto con el mástil o cualquier otro lugar de la cámara triaxial. No es necesario que el valor inicial de éste dispositivo leído en la pantalla, sea cero.

En el panel de carga se debe configurar la velocidad de deformación. Para una prueba triaxial, la norma dice que debe ser 1% por minuto, de la altura total de la probeta.

Con las debidas configuraciones, especificadas anteriormente, se procede a inicializar la toma de datos en el computador.

Lo siguiente es poner a correr la prueba desde el panel de carga, oprimiendo el botón "RUN"

Se debe monitorear constantemente la prueba y comprobar que las mediciones cambien, según lo esperado.

Prueba Consolidada No drenada (CU)

Tanto para esta prueba como para la Consolidada Drenada se debe llevar la muestra a la consolidación primaria, basándose en los siguientes pasos:

Una vez saturada completamente la probeta se procede a aplicar presión de poros con ambas buretas, siendo ésta la misma, tanto para la línea superior, como para la inferior. Esto se logra poniendo el control de la bureta de presión superior, en "PRESSURE" y la de presión inferior, en "BRIDGE LEFT". Se deja estabilizar por unos 15 minutos, y se cierran las válvulas frontales en la celda, las de presión de poros.

Las buretas deben estar a medio llenar, o más abajo, para permitir la entrada de agua que sale de la muestra.

Lentamente, se incrementa la presión de celda, al punto, que la diferencia entre ésta y la presión de poros, sea la presión de consolidación deseada.

Se abren las válvulas de las líneas de presión de poros de la celda, y se toman mediciones de volumen en ambas buretas. Se puede llevar este control en rango de tiempos similares a los de una prueba de consolidación (0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15, 30 min, 1, 2, 4, 8, 16, 24, 48 horas, etc), hasta que el cambio de volumen sea cero.

Medición de presión de poros

Si se desea para esta prueba, se puede ejecutar la prueba midiendo al mismo tiempo la presión

intersticial para el cálculo de los esfuerzos efectivos.

La medición se debe hacer con los transductores de presión de poros. Justo antes de empezar con la falla de la probeta, hay que cerrar las válvulas de la cámara, para que la presión cambie, conforme se comprime el agua dentro de la muestra.

Al igual que con los otros transductores, se abre un canal para los dos de presión de poros y luego asegurarse que estén marcando correctamente.

Resultados

Caracterización Geotécnica del material

Para comprender más acerca del comportamiento de los diferentes tipos de suelo, en este estudio se hizo tanto la granulometría, como el análisis de consistencia y así poder clasificar el suelo, de manera apropiada. Para todo, los suelos que se utilizaron pasan la malla N° 4 en un cien por ciento.

Suelo 1

Análisis Granulométrico

La granulometría realizada arrojó los resultados mostrados en el cuadro 4:

CUADRO 4. Granulometría Suelo 1	
Malla N°	Porcentaje Pasando (%)
10	81,5
20	65,6
40	54,2
100	42,3
200	42,3

Según el tamaño de la abertura de las mallas, se obtuvo la curva granulométrica de la figura 31.

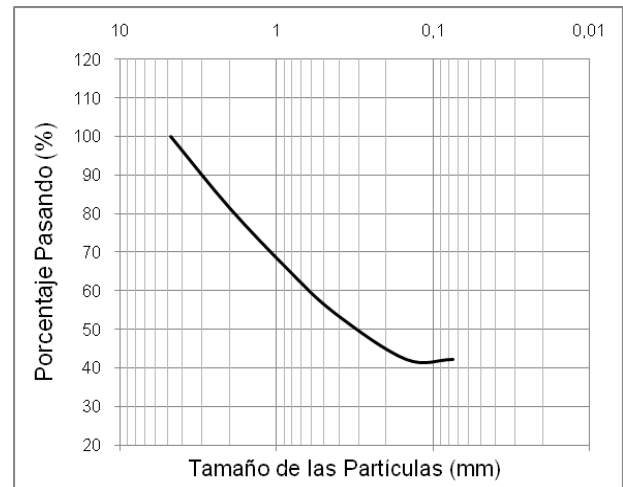


Figura 31. Curva Granulométrica Suelo 1

Límites de consistencia

CUADRO 5. Datos para Límite líquido Suelo 1				
Bandeja N°	Wd (g)	Wh (g)	% Humedad	N° Golpes
7	6,053	8,590	41,91	16
31	7,738	10,898	40,84	21
21	6,421	8,964	39,60	30
35	8,619	11,802	36,93	38

La prueba para límite líquido, se resume en la gráfica de la figura 32.

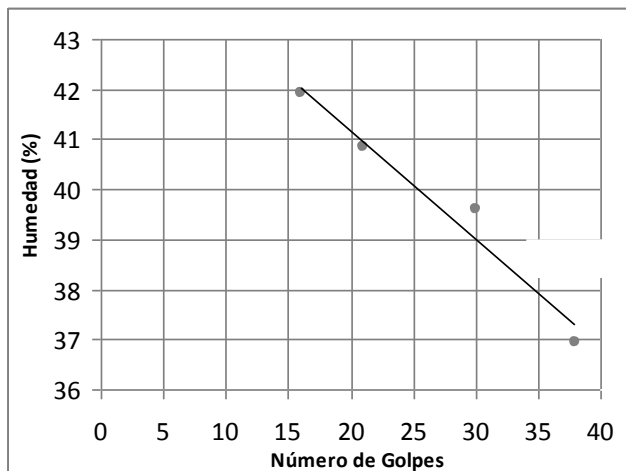


Figura 32. Curva de Fluidez para Suelo 1

Punto	Wd (g)	Wh (g)	% humedad
1	9,040	7,265	24,4%
2	8,164	6,597	23,8%
3	8,516	6,859	24,2%

LL (%)	40
LP (%)	24
IP	16

Clasificación del suelo SUCS

Según el sistema unificado de clasificación de suelos (ver anexo), el suelo es una SC, Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.

Suelo 2

Análisis Granulométrico

La granulometría realizada, arrojó los resultados mostrados en el cuadro 8:

Malla N°	Porcentaje Pasando (%)
10	68,8
20	48,4
40	38,5
100	30,0
200	30,0

Según el tamaño de la abertura de las mallas se obtuvo la curva granulométrica de la figura 33.

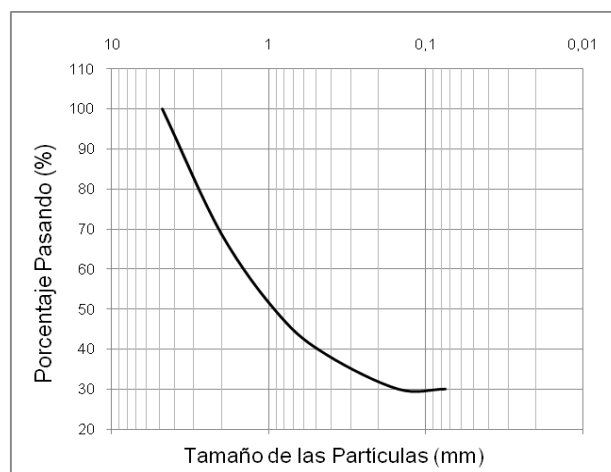


Figura 33. Curva Granulométrica Suelo 2

Límites de consistencia

Bandeja N°	Wd (g)	Wh (g)	% Humedad	N° Golpes
3	11,53	14,84	28,66	16
48	10,88	13,84	27,21	24
87	9,67	12,12	25,29	29
70	10,69	13,21	23,53	38

La prueba para límite líquido, se resume en la gráfica de la figura 34.

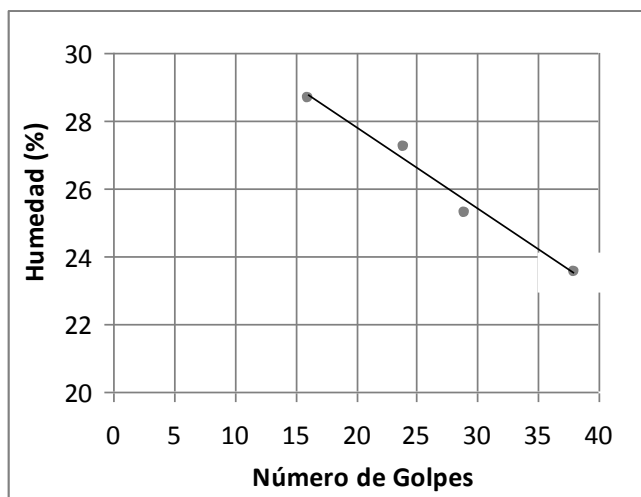


Figura 34. Curva de Fluidez para Suelo 2

CUADRO 10. Datos para Límite Plástico Suelo 2			
Punto	Wd (g)	Wh (g)	% humedad
1	4,258	5,319	24,9
2	4,66	5,952	27,7
3	4,281	5,438	27,0

CUADRO 11. Límites de consistencia Suelo 2	
LL (%)	26
LP (%)	26
IP	No hay plasticidad

Clasificación del suelo SUCS

Según el sistema unificado de clasificación de suelos (ver anexo), el suelo es una SM, Arenas Limosas, mezclas de arena y limo.

Suelo 3

Análisis Granulométrico

La granulometría realizada, arrojó los siguientes resultados:

CUADRO 12. Granulometría Suelo 3	
Malla N°	Porcentaje Pasando (%)
10	99,4
20	98,5
40	95,8
100	84,7
200	84,7

Según el tamaño de la abertura de las mallas, se obtuvo la curva granulométrica de la figura 35.

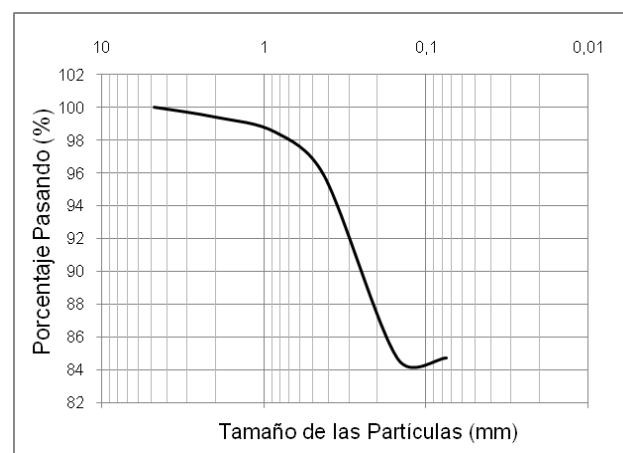


Figura 35. Curva Granulométrica Suelo 3

Límites de consistencia

CUADRO 13. Datos para Límite líquido Suelo 3				
Bandeja N°	Wd (g)	Wh (g)	% Humedad	N° Golpes
62	5,58	8,34	49,39	16
17	6,17	9,10	47,61	21
54	5,65	8,30	47,03	30
13	5,44	7,79	43,13	38

La prueba para límite líquido, se resume en la gráfica de la figura 36.

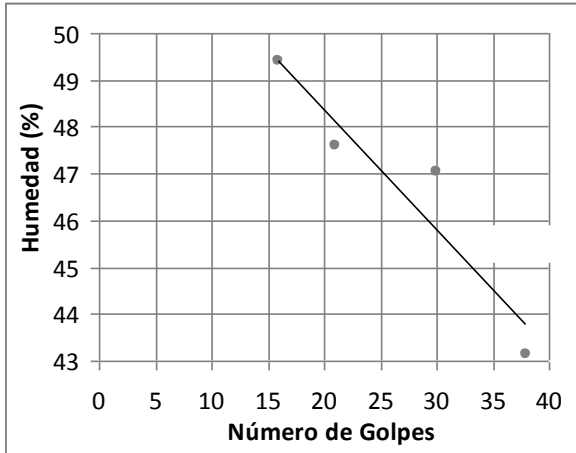


Figura 36. Curva de Fluidez para Suelo 3

CUADRO 14. Datos para Límite Plástico Suelo 3			
Punto	Wd (g)	Wh (g)	% humedad
1	7,766	6,005	29,3%
2	9,857	7,650	28,8%
3	8,629	6,685	29,1%

CUADRO 15. Límites de consistencia Suelo 3	
LL (%)	47
LP (%)	29
IP	18

Clasificación del suelo SUCS

Según el sistema unificado de clasificación de suelos (ver anexo), el suelo es una CL, Arcilla inorgánica de baja o media plasticidad.

Determinación de la compactación y humedad a usar en las probetas

A continuación se detallan los resultados de las pruebas de compactación estándar:

Suelo 1

Cuadro 16. Datos prueba de compactación Proctor Estándar para Suelo 1		
Punto	Contenido de Humedad (%)	Densidad Seca (g/cm ³)
1	12,59	1,64
2	14,09	1,68
3	15,73	1,73
4	19,21	1,64

Los datos anteriores arrojan la curva mostrada en la figura 37.

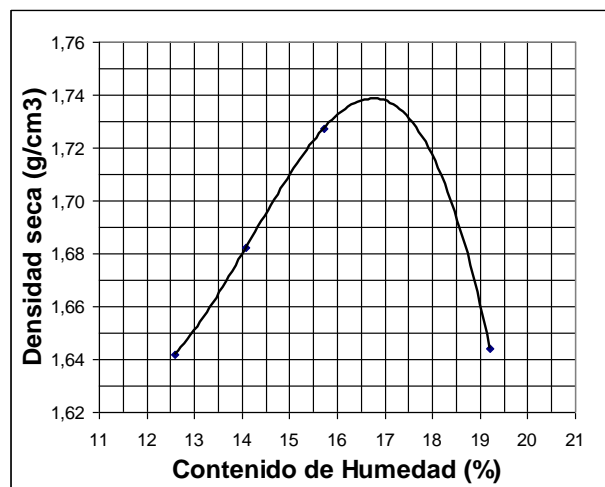


Figura 37. Curva de Compactación Proctor Estándar para el suelo 1

Por consiguiente, se obtienen los siguientes resultados para el suelo 1:

Densidad máxima = **1,74 g/cm³**

Porcentaje de humedad óptimo = **16,8%**

Suelo 2

Punto	Contenido de Humedad (%)	Densidad Seca (g/cm ³)
1	8,95	1,86
2	9,86	1,96
3	11,62	1,99
4	13,82	1,64

Los datos anteriores arrojan la curva mostrada en la figura 8.

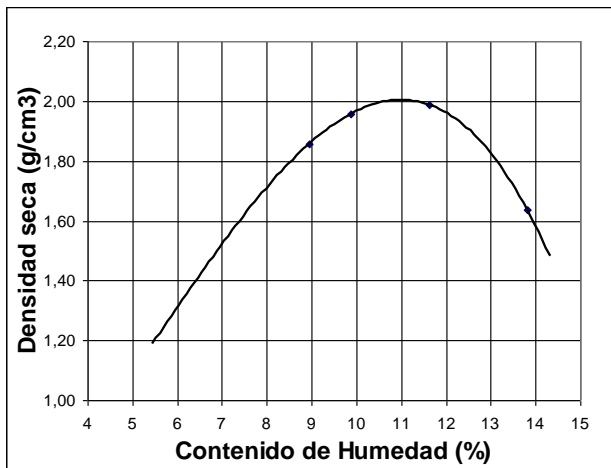


Figura 38. Curva de Compactación Proctor Estándar para el suelo 2

Por lo tanto se obtienen los siguientes resultados para el suelo 2:

Densidad máxima = **2,01 g/cm³**

Porcentaje de humedad óptimo = **11,1%**

Suelo 3

Punto	Contenido de Humedad (%)	Densidad Seca (g/cm ³)
1	21,50	1,56
2	23,95	1,51
3	25,13	1,42
4	19,69	1,54
5	17,28	1,51

Los datos anteriores arrojan la curva mostrada en la figura 39.

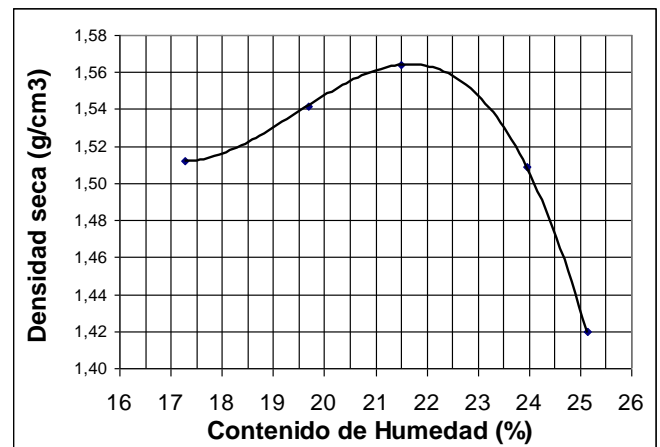


Figura 39. Curva de Compactación Proctor Estándar para el suelo 3

Por lo tanto se obtienen los siguientes resultados para el suelo 3:

Densidad máxima = **1,56 g/cm³**

Porcentaje de humedad óptimo = **21,7%**

Pruebas triaxiales No consolidada No drenada

Suelo 1

A continuación, se presenta un cuadro, resumiendo los principales parámetros de cada cilindro, fallado en la máquina triaxial

Cuadro 19. Características de las probetas falladas - ensayo UU en Suelo 1						
Muestra	% Humedad	Densidad Seca (kg/m ³)	Altura (mm)	Area inicial (m ²)	e	Saturación (%)
1	12,8	1770,6	124,74	0,00311	0,52	66,0%
2	13,5	1778,9	123,41	0,00308	0,52	70,4%
3	12,4	1728,7	133,97	0,00347	0,56	59,6%

Los datos de la etapa de aplicación de carga, se presentan en el apéndice 1. La figura 40 presenta las curvas Esfuerzo deformación para el suelo 1.

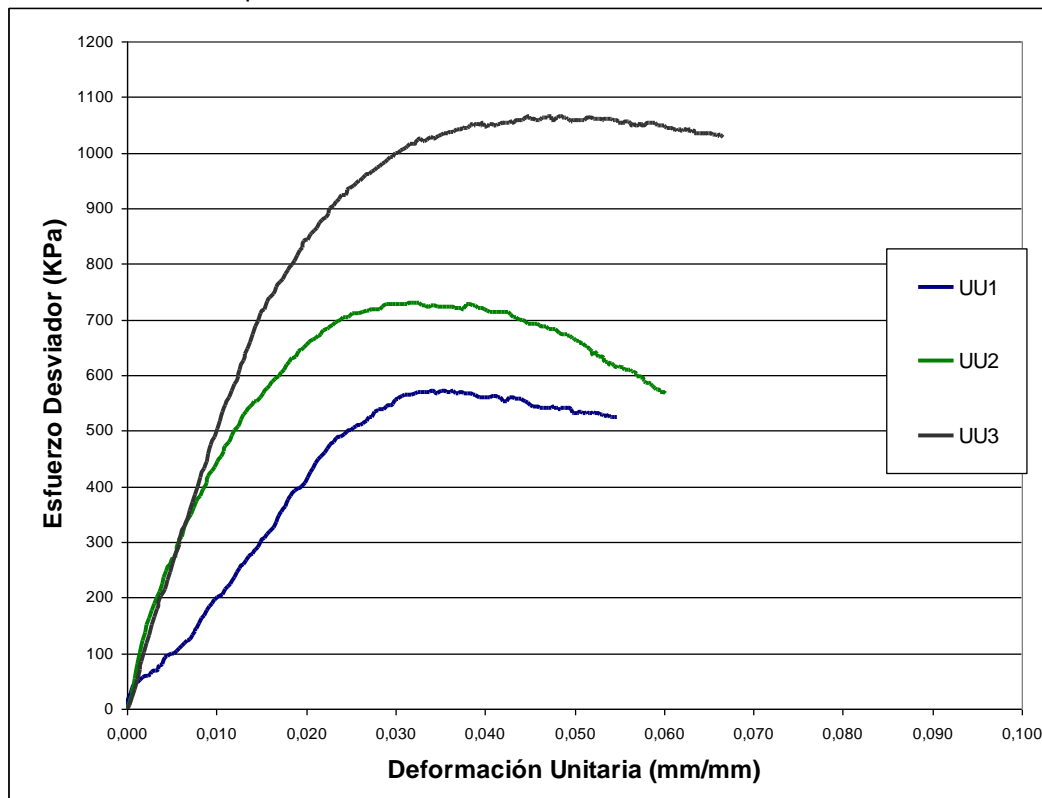


Figura 40. Curva de Esfuerzo Desviador versus Deformación Unitaria del Suelo 1 para los tres ensayos UU.

Se tiene para cada muestra, los siguientes estados de esfuerzo:

Cuadro 20. Valores de Esfuerzo para los ensayos UU – Suelo 1		
Ensayo	σ_1 (kPa)	σ_3 (kPa)
1	676	104
2	931	201
3	1365	300

Los estados de esfuerzos, están representados en los círculos de Mohr, como se muestra en la figura 41.

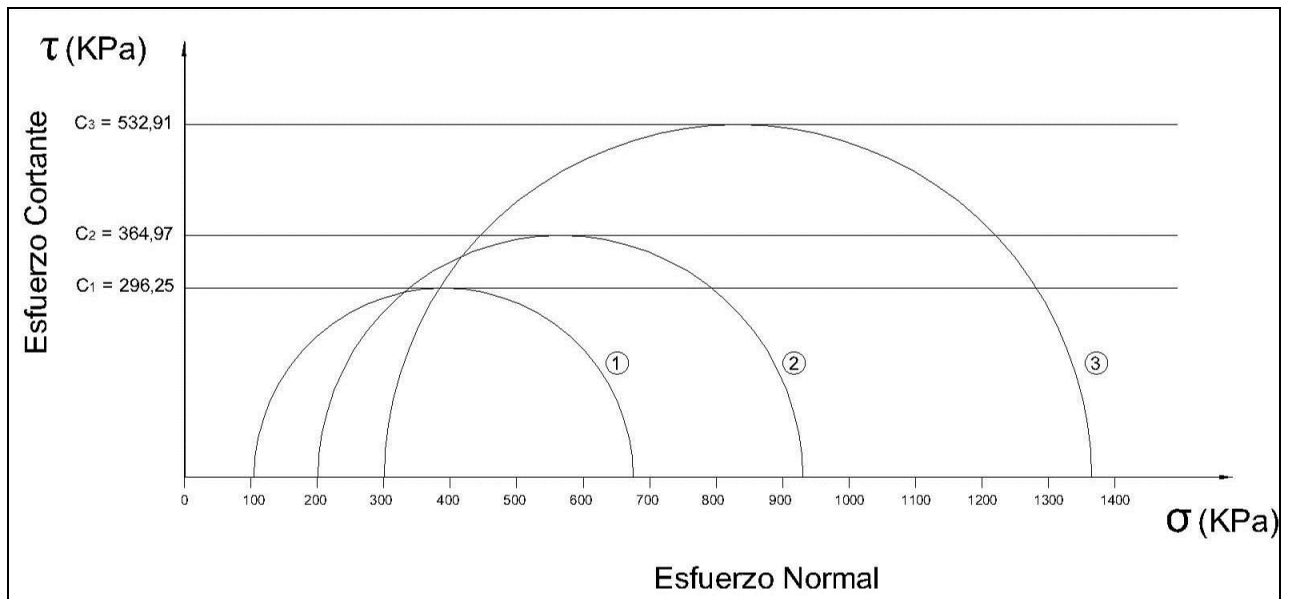


Figura 41. Gráfico de estados de esfuerzo para el suelo 1.

Los valores de Cohesión para el suelo 1 son:

Cuadro 21. Valores de Cohesión - Suelo 1	
Ensayo	C_u (kPa)
1	296
2	365
3	533

Suelo 2

A continuación, se presenta un cuadro, resumiendo los principales parámetros de cada cilindro, fallado en la máquina triaxial:

Cuadro 22. Características de las probetas falladas - ensayo UU en Suelo 2						
Muestra	% Humedad	Densidad Seca (kg/m ³)	Altura (mm)	Area inicial (m ²)	e	Saturación (%)
1	8,9	1994,6	121,06	0,00312	0,35	68,1%
2	8,8	1979,1	128,32	0,00304	0,36	64,8%
3	8,8	1991,9	124,89	0,00311	0,36	66,5%

Los datos de la etapa de aplicación de carga, se presentan en el anexo. La figura 42 presenta las curvas Esfuerzo deformación para el suelo 2:

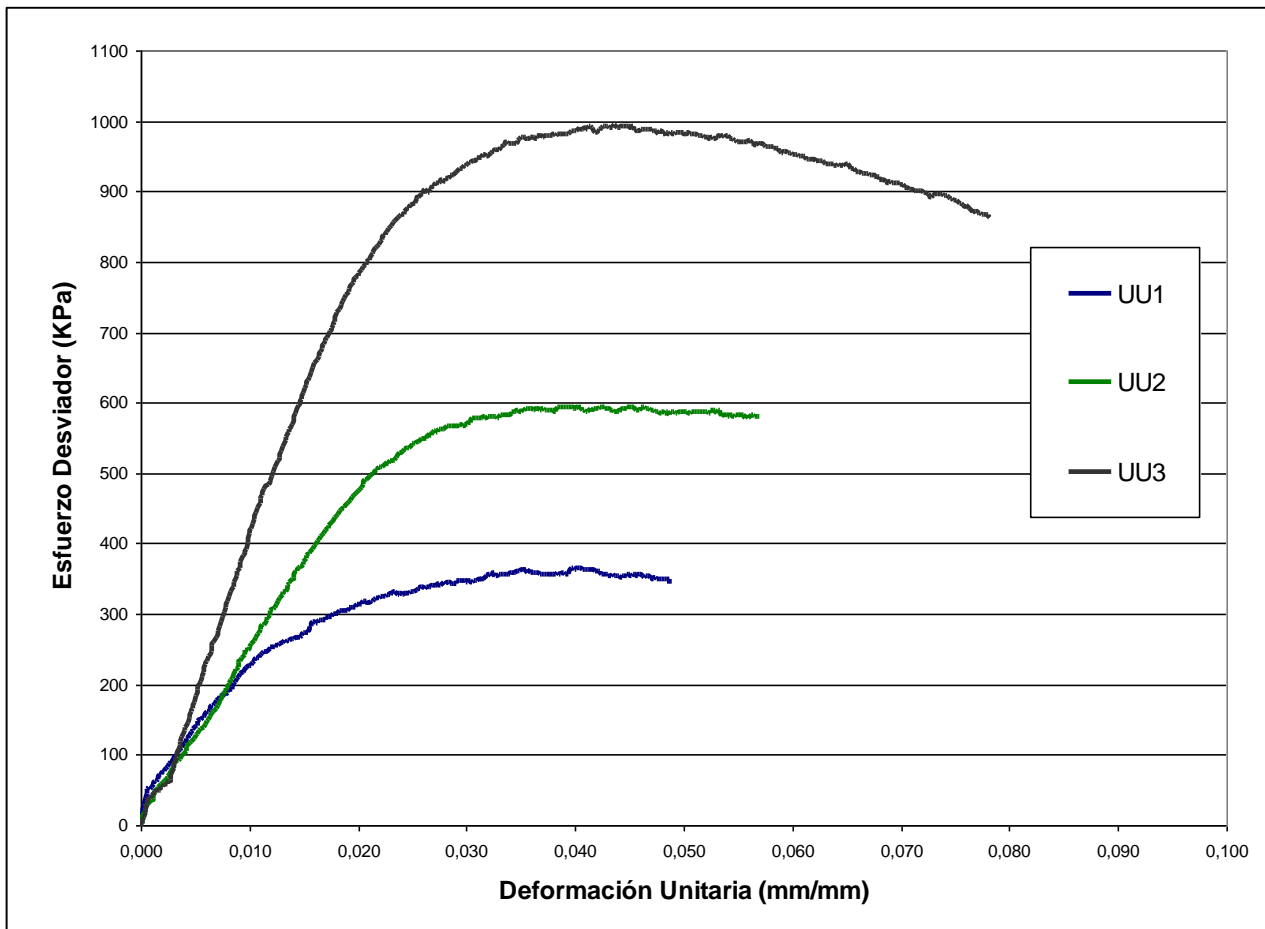


Figura 42. Curva de Esfuerzo Desviador versus Deformación Unitaria del Suelo 2 para los tres ensayos UU.

Se tiene para cada muestra, los siguientes estados de esfuerzo:

Cuadro 23. Valores de Esfuerzo para los ensayos UU – Suelo 2		
Ensayo	σ_1 (kPa)	σ_3 (kPa)
1	464	99
2	792	197
3	1293	299

Los estados de esfuerzos, están representados en los círculos de Mohr, como se muestra en la figura 43.

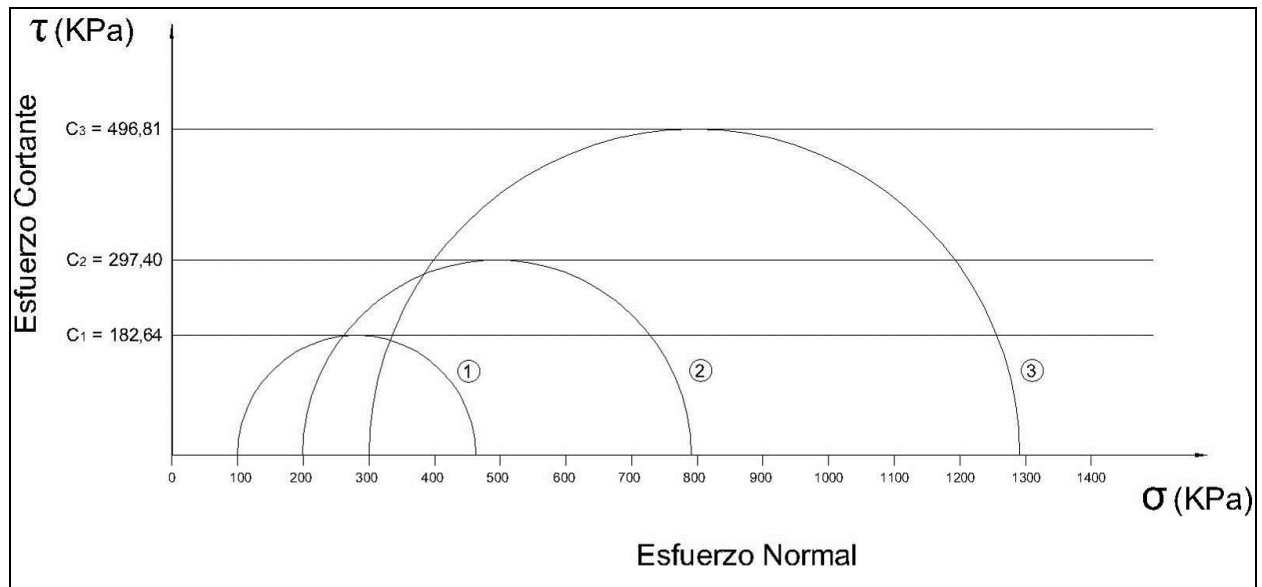


Figura 43. Gráfico de estados de esfuerzo para el suelo 2.

Los valores de Cohesión para el suelo 2 son:

Cuadro 24. Valores de Cohesión – Suelo 2	
Ensayo	C_u (kPa)
1	183
2	297
3	497

Suelo 3

A continuación, se presenta un cuadro, resumiendo los principales parámetros de cada cilindro, fallado en la máquina triaxial:

Cuadro 25. Características de las probetas falladas - ensayo UU en Suelo 3						
Muestra	% Humedad	Densidad Seca (kg/m³)	Altura (mm)	Area inicial (m²)	e	Saturación (%)
1	19,9	1548,9	122,93	0,00303	0,74	72,4%
2	19,4	1636,2	122,37	0,00293	0,65	80,6%
3	19,2	1606,8	130,83	0,00317	0,68	76,2%

Los datos de la etapa de aplicación de carga se presentan en el anexo. La figura 44 presenta las curvas Esfuerzo deformación para el suelo 3:

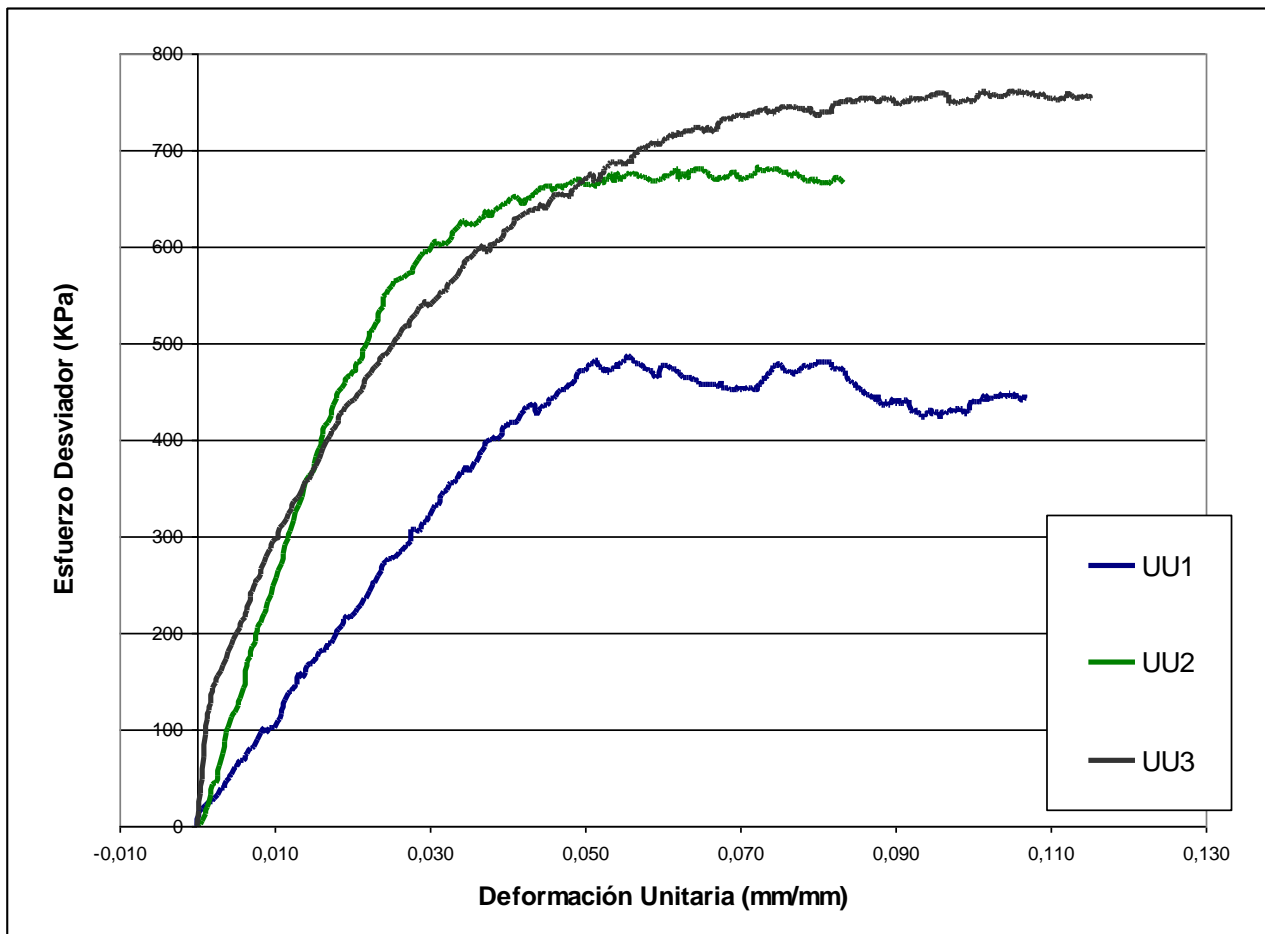


Figura 44. Curva de Esfuerzo Desviador versus Deformación Unitaria del Suelo 3 para los tres ensayos UU.

Se tiene para cada muestra, los siguientes estados de esfuerzo:

Cuadro 26. Valores de Esfuerzo para los ensayos UU – Suelo 3		
Ensayo	σ_1 (kPa)	σ_3 (kPa)
1	676	104
2	931	201
3	1365	300

Los estados de esfuerzos, están representados en los círculos de Mohr como se muestra en la figura 45.

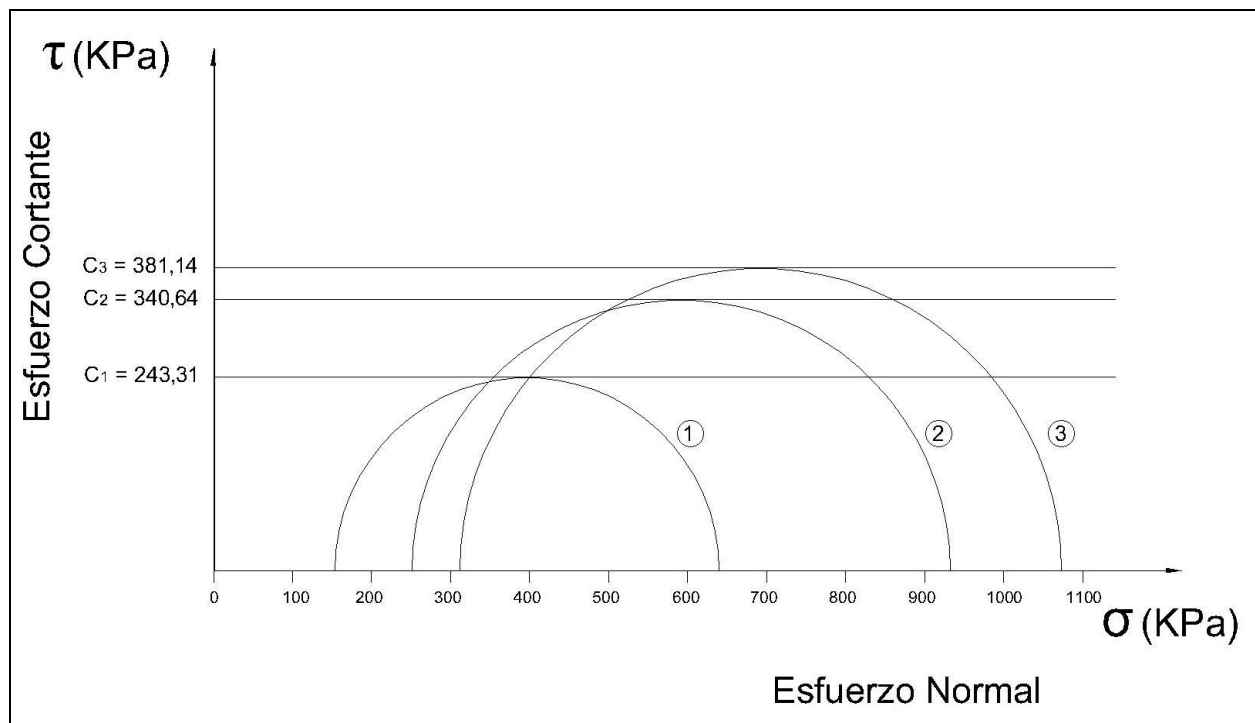


Figura 45. Gráfico de estados de esfuerzo para el suelo 3.

Los valores de Cohesión para el suelo 3 son:

Cuadro 27. Valores de Cohesión – Suelo 3	
Ensayo	C_u (kPa)
1	243
2	341
3	381

Aplicación de los parámetros de resistencia obtenidos

El problema

Se plantea el diseño de una losa de cimentación, para una estructura de un edificio de apartamentos. Se pide este tipo de cimentación (losa), para distribuir mejor las cargas y para controlar los asentamientos. Se requiere conocer la capacidad de carga de la losa plana, con espesor uniforme. El detalle en planta de la estructura, se muestra en la figura 46

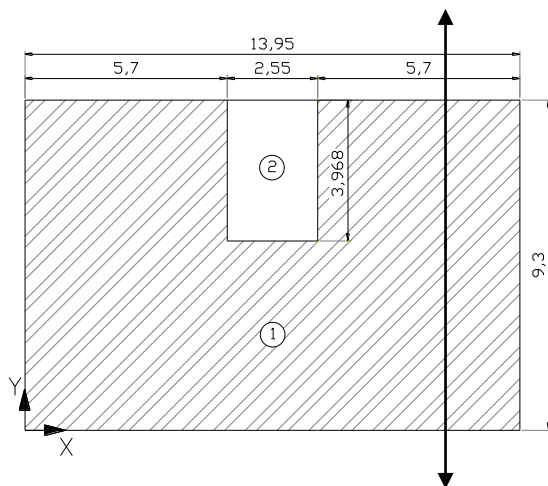


Figura 46. Vista en planta del edificio en estudio (todas las medidas en metros).

El sistema de cimentación se compone de una losa de 15.95 metros de largo por 11.3 metros de ancho, y se encuentra a 2.5 metros de profundidad, con respecto a la superficie. El edificio tiene un peso total de 8874565 kg (8875 Ton).

Los datos que se tienen son:

$$B = 11.3 \text{ m}$$

$$L = 15.95 \text{ m}$$

$$D_f = 2.5 \text{ m}$$

$$Q = 8874565 \text{ kg}$$

Donde B es el ancho, L el largo, D_f es la profundidad de la losa y Q es el peso total del edificio

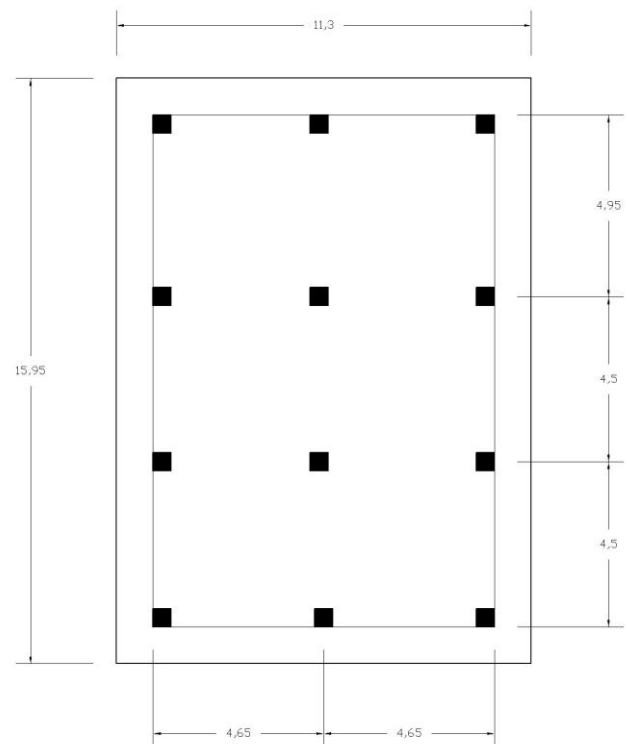


Figura 47. Vista en planta de la losa de cimentación (todas las medidas en metros).

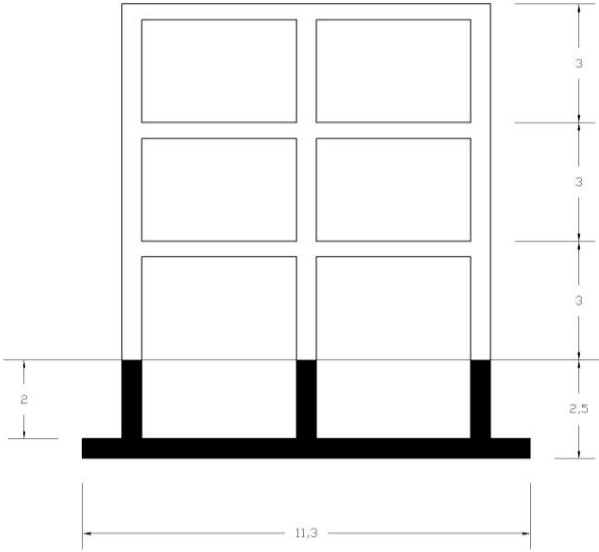


Figura 48. Corte transversal de la estructura y la losa de cimentación (todas las medidas en metros).

Solución utilizando Suelo 1

Analizando solo para una condición a corto plazo, se utilizará:

$$C_u = 296 \text{ kPa}$$

$$\gamma = 1770,6 \text{ kg/m}^3$$

Se calcula el esfuerzo aplicado por el peso del edificio:³

$$q = \frac{Q}{A} - \gamma D_f$$

$$q = \frac{8874565}{11,3 \times 15,95} - 1728,68 \times 2,5 = 44812 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 439 \text{ kPa}$$

Se calcula la capacidad de carga admisible, teniendo que:

$$q_u = 5,14 C_u \left(1 + \frac{0,195 B}{L} \right) \left(1 + 0,4 \frac{D_f}{B} \right) + q$$

³ Formulas obtenidas de Das, Braja. Principios de ingeniería de cimentaciones, 1999

Y como:

$$q_{neta(u)} = q_u - q$$

Entonces:

$$q_{neta(u)} = 5,14 C_u \left(1 + \frac{0,195 B}{L} \right) \left(1 + 0,4 \frac{D_f}{B} \right)$$

Para un Factor de seguridad FS = 3 se tiene que:

$$q_{neta(adm)} = \frac{q_{neta(u)}}{FS} = 1,713 C_u \left(1 + \frac{0,195 B}{L} \right) \left(1 + 0,4 \frac{D_f}{B} \right)$$

$$q_{neta(adm)} = \frac{1886,09}{3} = 628,7 \text{ kPa}$$

Como $q = 439 \text{ kPa} \leq q_{neta(adm)} = 628,7 \text{ kPa}$ la losa es adecuada para el estrato de suelo en estudio.

Solución utilizando Suelo 2

Se utilizará

$$C_u = 183 \text{ kPa}$$

$$\gamma = 1994,58 \text{ kg/m}^3$$

$$q = 44252,4 \text{ kg/m}^2 = 434 \text{ kPa}$$

$$q_{neta(adm)} = 387,6 \text{ kPa}$$

Como $q = 434 \text{ kPa} \geq q_{neta(adm)} = 387,6 \text{ kPa}$ la losa no cumple con las dimensiones mínimas y por lo tanto, no es adecuada para el estrato de suelo en estudio.

Se propone ampliar la losa a 1 metro, tanto en lo ancho, como en lo largo. Las nuevas dimensiones serían 12,3 X 16,95 m.

Se tiene que:

$$q = 37580,47 \text{ kg/m}^2 = 383,1 \text{ kPa}$$

Tambien se tiene que:

$$q_{neta(adm)} = 396,2 \text{ kPa}$$

$$\text{Como } q = 383,19 \text{ kPa} \leq q_{neta(adm)} = 396,2 \text{ kPa}$$

la losa modificada es adecuada para el estrato de suelo 2.

Solución utilizando Suelo 3

Se utilizará

$$C_u = 243 \text{ kPa}$$

$$\gamma = 1548,94 \text{ kg/m}^3$$

$$q = 45366,5 \text{ kg/m}^2 = 444,89 \text{ kPa}$$

$$q_{neta(adm)} = 516,3 \text{ kPa}$$

$$\text{Como } q = 444,9 \text{ kPa} \leq q_{neta(adm)} = 516,3 \text{ kPa}$$

la losa es adecuada para el estrato de suelo en estudio.

Análisis de los resultados

Instalación y Calibración

Como se ha podido notar a lo largo de este trabajo, los resultados de gran parte de la investigación son muy descriptivos, debido a que responden en parte, a la instalación de dispositivos y la verificación de su respectiva calibración. Con respecto a esto, se puede afirmar que una de las tareas más difíciles, fue la de acoplar el sistema de transductores al software de adquisición de datos, aunque los resultados fueron satisfactorios. Una de las causas de error, sin embargo, es la celda de carga, cuyo uso es casi improvisado, ya que no fue fabricada para esto. El problema es que la celda fue hecha para resistir pesos de hasta 5 toneladas, sin embargo en los ensayos triaxiales, no se alcanzó ni la décima parte de esta medida. Esto contribuyó a la oscilación constante al principio de las pruebas, sobre todo con las mediciones más pequeñas. También se notó que muchas de las mediciones se repetían en intervalos de 2 a 3 segundos, esto causado por la velocidad de procesamiento del computador.

Caracterización geotécnica del material

Se detectó, al final de este trabajo, que pruebas de límite plástico para los suelos 1 y 3 dieron resultados altos, ya que los porcentajes que se obtuvieron estuvieron por encima del contenido de humedad óptimo obtenido en las pruebas de compactación estándar. Sin embargo se

considera que al tener mucho contenido de finos dicha plasticidad se justifica en los dos suelos pues por un lado, el suelo 1, posee alto contenido de arcilla, y por el otro, el suelo 3, es en sí un suelo fino.

El suelo 2 por el contrario, y según las pruebas de límite plástico, no posee plasticidad del todo debido a su contenido de arena y limo ligeramente plástico. Lo anterior da cabida a predecir una falla más rápida de este suelo en comparación a los otros, y por lo tanto, que presente valores de cohesión no drenada más bajos.

Resultados de las pruebas UU

Según los datos obtenidos se determinaron tres estados de esfuerzo para el suelo. En un ensayo UU, la envolvente de falla es horizontal y el valor del ángulo de fricción, es cero, sin embargo la tendencia de los círculos para estos resultados, hace creer que existe una envolvente inclinada que pasa tangente a los tres círculos. En realidad el cambio en el tamaño de los diámetros, se da porque la probeta no está completamente saturada y por lo tanto, al aplicarle la presión de confinamiento, el agua es capaz de acomodarse en los poros, y se produce una consolidación que varía los estados de esfuerzo, lo suficiente para que la resistencia al corte aumente. Por esta razón, en los suelos donde había más saturación, se nota menos el cambio de tamaño de los círculos. Si por otro lado, el espécimen se encuentra totalmente saturado, el agua no permitirá que haya cambios internos de volumen entre los poros y por lo tanto, que el tamaño de los círculos no cambie.

En muestras inalteradas, es muy común que suceda una situación semejante a las probetas de este proyecto, pues en muchas ocasiones no están totalmente saturadas. En tales casos, se recomienda usar el valor de cohesión que más convenga para el análisis o diseño que se presente.

Se considera que uno de los focos de error, y de hecho, lo que más dificultad presentaba era controlar y mantener la densidad de las muestras uniforme. El error humano probablemente fue la causa de las inconsistencias en este punto, pues es muy difícil mantener homogénea la energía que se le suministra a una muestra que se está compactando. De alguna u otra manera, se practicaron formas para minimizar esto, como puede ser, el crear las tres probetas de un ensayo de la misma mezcla de agua-suelo para no diferir en la humedad dentro del material. También se puede entrenar o acostumbrar al operador que compacte las muestras, con el fin de mecanizar más el proceso o si se tiene, utilizar una máquina que haga su trabajo. En el campo, es muy difícil extraer tres cilindros iguales en densidad y humedad, pero se trata de hacerlo así. En el laboratorio, se debe de buscar la manera de perfeccionar los métodos de creación de especímenes. Esta fue una de las tareas más grandes de esta investigación.

Aplicación de los Parámetros obtenidos

Se describió básicamente uno de los usos que se le puede dar a los ensayos No consolidados No drenados. Los parámetros de cohesión que se utilizaron, fueron los más pequeños que arrojaron las pruebas, y asegurar de esta forma que para cualquier otro valor, la cimentación soporta las cargas de la estructura.

Se comprobó también, que para un problema como éste, según los valores de cohesión que brindó el ensayo triaxial, el suelo 2 (arena limosa) fue el que presentó menor capacidad de carga y de hecho, no soportó la

estructura. Desde otro punto de vista, este suelo se comportó siempre como el menos resistente al cortante, y se puede comprobar, observando la figura 42 de los resultados. Aunque visualmente también se pudo corroborar, por medio de las grietas de falla de los tres suelos, como se muestra a continuación

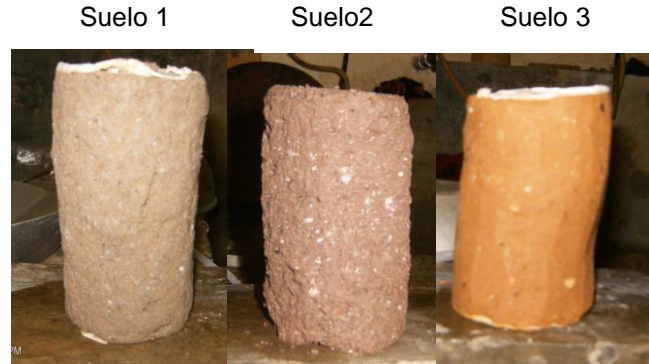


Figura 49. Probetas después de un ensayo triaxial UU.

En la figura, se muestra el punto final de tres de los ensayos rápidos. Nótese la mayor deformación en este punto de las muestras de los suelos 1 y 3 (izquierda y derecha en la fotografía). La probeta de suelo 2 llega a su falla mucho antes que las demás, siendo su deformación poco visible.

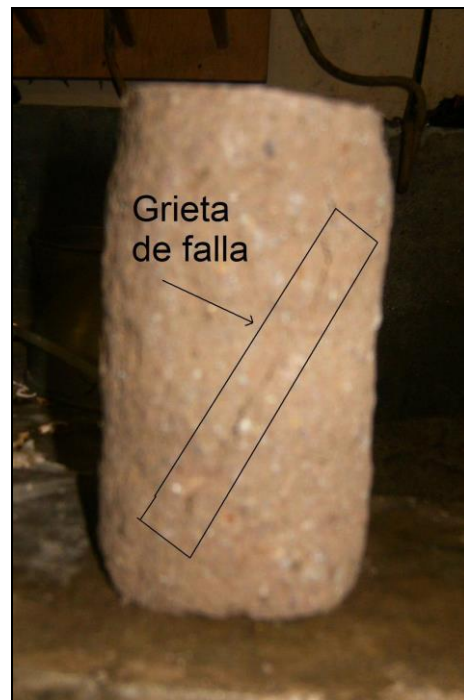


Figura 50. Probeta llevada a la falla del suelo 2.

En la figura 50, se muestra como en realidad al llevar al extremo de la deformación la probeta, se visualiza una grieta a 45 grados.

El ensayo Consolidado No drenado (CU)

Uno de los objetivos de este proyecto era la realización de un ensayo del tipo Consolidado No drenado, sin embargo hubo factores que interrumpieron esta prueba en la mitad de su desarrollo. El espécimen había sido saturado y consolidado con éxito. Se estaba empleando un método en el que el espécimen es reutilizado después de la falla bajo una presión de cámara, de manera que es consolidado nuevamente, ya sea con otra presión lateral o con una presión de poros diferente. En la segunda falla, para determinar el segundo círculo de Mohr, se encontró con que la fuente de aire comprimido, había sido desconectada, por lo tanto el espécimen se volvió a hinchar, al no tener la presión que tenía alrededor. Para seguir con la prueba, se debía dejar el espécimen en la etapa de saturación y consolidación de nuevo, para lo cual no se contaba con tiempo (este proceso pudo durar hasta una semana).

Los resultados de la prueba CU que se realizó, se presentan a continuación. La figura 51 muestra el comportamiento de falla de la probeta consolidada, conforme se le aplicaba carga axial.

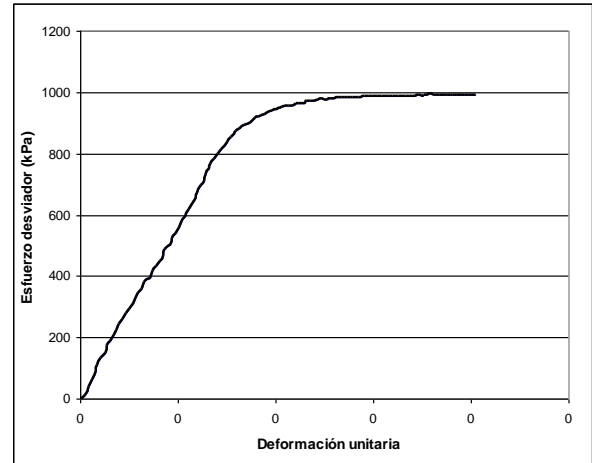


Figura 51. Gráfico de esfuerzo deformación de la prueba CU.

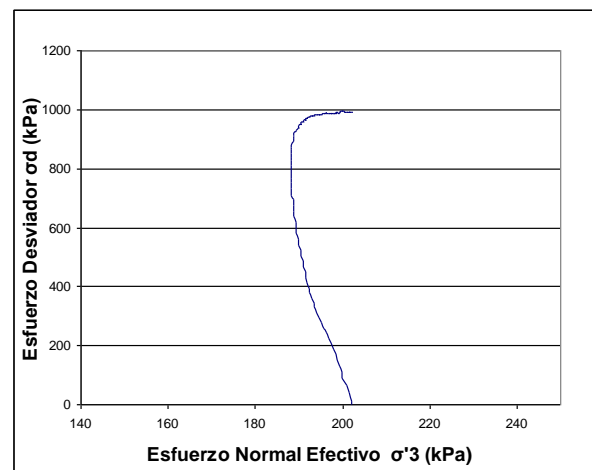


Figura 52. Gráfico de esfuerzo normal efectivo versus Esfuerzo desviador Mohr-Coulomb modificado.

La figura 50 muestra como varía el esfuerzo desviador, contra el esfuerzo efectivo normal (Mohr-Coloumb Modificado), que es la diferencia entre el esfuerzo total de confinamiento y la presión de poros del suelo saturado.

La prueba demuestra que la máquina triaxial mide correctamente las presiones de poro. La figura muestra un gráfico típico para una arcilla sobreconsolidada (suelo compactado), tal y como debería verse, en el cual las presiones de poro para cada medición aumentan al principio, lo que produce que el esfuerzo efectivo disminuya poco a poco, hasta llegar a la falla donde aumenta de nuevo.

Conclusiones

La máquina triaxial del laboratorio de suelos del CIVCO, se encuentra habilitada para realizar cualquier tipo de prueba triaxial. sin embargo, se recomienda la asistencia de un encargado permanente para que pueda seguir en funcionamiento. Esto, debido a que gran parte de la prueba es compleja en todas sus variantes. Es preciso que un profesional, que maneje la teoría de los esfuerzos efectivos y los estados de esfuerzo, tanto en suelos saturados como no saturados, supervise cada prueba y ponga al técnico operador del ensayo al tanto de dichos conocimientos.

Se confirmó que la adquisición de datos por medio del computador, es la mejor opción para realizar ensayos triaxiales precisos y completos. La medición de presión (lateral e intersticial), de carga, y de deformación pueden ser almacenados automáticamente y puestos a la disposición del profesional de inmediato.

La reparación y construcción de las líneas de aire a presión, de agua a presión y de vacío, son necesarias para brindar un funcionamiento óptimo de los ensayos triaxiales. No siempre se podrá contar con compresores de baja capacidad y de bombas de vacío antiguas para realizar pruebas tan completas, tomando en cuenta, que éstas pueden durar días y hasta semanas.

Con las primeras pruebas triaxiales se dejó claro que la máquina es capaz de tomar mediciones precisas, usando dispositivos, aunque no certificados, calibrados y preparados para una futura acreditación.

Se logró determinar con éxito parámetros de resistencia al cortante y se concluye que de los tres, bajo unas condiciones de compactación similares, el suelo 1 posee la cohesión más alta.

Se logró realizar una prueba Consolidada No drenada, sin embargo, a causa de la desconexión inesperada de la fuente de aire comprimido, la probeta fue alterada durante la prueba, pero se logró medir exitosamente la presión de poros en un solo espécimen.

La losa de cimentación propuesta, dio una idea de cómo utilizar los parámetros de cohesión obtenidas por medio del ensayo triaxial No consolidado No drenado (UU).

Recomendaciones

Se recomienda la asistencia de un encargado permanente para que la máquina triaxial pueda seguir en funcionamiento. Esto, debido a que gran parte de la prueba es compleja en todas sus variantes. Es preciso que un profesional, que maneje la teoría de los esfuerzos efectivos y los estados de esfuerzo, tanto en suelos saturados como no saturados, supervise cada prueba y ponga al técnico operador del ensayo al tanto de dichos conocimientos.

Se recomienda la colocación del equipo triaxial en otro lugar, el cual esté acondicionado con una mesa de concreto para reducir vibraciones y sin exposición prolongada a la luz solar.

Se recomienda la compra de los dispositivos originales, que tuvieron que ser reemplazados con otros, para el óptimo funcionamiento del ensayo triaxial. A saber:

- Transductor de carga marca ELE con 1,100 lb. (5 kN) de capacidad,
- Transductor de deformación axial marca ELE ajustable al marco de carga Digital Tritest 50 incluido en el paquete de la máquina triaxial.
- Equipo de adquisición de datos de última generación ADU (8-Channel Data Acquisition Unit) marca ELE.
- Software de procesamiento de datos para pruebas CU/CD (Effective Stress Triaxial Software)

- Transductor de cambio de volumen marca ELE

Referencias

- ASTM International. 2004. Standard Test Method for Consolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils. **D 4767 – 04**. Pensilvania, USA. 13p.
- ASTM International. 2003. Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial compression Test on Cohesive Soils. **D 2850 – 03a**. Pensilvania, USA. 6p.
- ASTM International. 1963. Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. **D-422**. Pensilvania, USA. 8p.
- ASTM International. 2000. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. **D 4318-00**. Pensilvania, USA. 16p.
- ASTM International. 2007. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³)). **D 698-07**. Pensilvania, USA. 13p.
- Benavides R. 1993. **ADQUISICIÓN AUTOMÁTICA DE DATOS EN ENSAYOS TRIAXIALES**. Informe proyecto final de graduación. Facultad de Ingeniería, Universidad de Costa Rica. 100 p.
- Berry, P. 1997. **MECANICA DE SUELOS**. Colombia. Editorial Limusa
- Bishop, A, Henkel D. J. 1957. **THE MEASUREMENT OF SOIL PROPERTIES IN THE TRIAXIAL TEST**. London: Edgard Arnold Publishers, 219p.
- Bowles, J. 1987. **ENGINEERING PROPERTIES OF SOILS AND THEIR MEASUREMENT**. Massachusetts: McGraw-Hill, 193p.
- Das, B. 2001. **FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA**. Australia: Editorial Internacional Thompson, 135p.
- Das, B. 1999. **PRINCIPIOS DE INGENIERÍA DE CIMENTACIONES**. México: Editorial Internacional Thompson, 862p.
- ELE INTERNATIONAL. 1996. *Operating Instruccions TRI-FLEX 2 TRIAXIAL TEST SYSTEM*. Manual de operación. 50 p.
- Rendon O., 2008. **PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA UN ENSAYO TRIAXIAL**. Cartago ITCR. Comunicación personal.
- Rivera C. 1995. **AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL**. Informe de trabajo de graduación. Facultad de Ingeniería, Universidad de Costa Rica. 88 p.

Apéndices

Apéndice 1

Cuadros con resultados experimentales de las primeras pruebas UU realizadas en la máquina triaxial para el suelo 1 (arena arcillosa)

Cuadro 28. Datos obtenidos en ensayos UU – Suelo 1 / Muestra 1

Datos corregidos							
Tiempo	Presión Cámara	Deformación	Carga Axial	ϵ	Área Corregida	$\sigma_1 - \sigma_3$	
						Esfuerzo desviador	
s	kPa	mm	Kg	mm/mm	m2	Kg/m2	kPa
0	102,918	0	0,2860032	0,0000000	0,0031093	91,98	0,93193673
2	103,451	0,0125	5,4884928	0,0001002	0,0031096	1764,99	17,8823716
4	103,984	0,05	8,667792	0,0004008	0,0031106	2786,55	28,2325369
6	105,05	0,075	11,558064	0,0006013	0,0031112	3714,98	37,6391177
8	105,05	0,1125	13,5812544	0,0009019	0,0031121	4363,96	44,2143827
10	105,05	0,15	14,448336	0,0012025	0,0031131	4641,18	47,0230524
12	104,517	0,1875	15,893472	0,0015031	0,0031140	5103,85	51,7107728
14	103,984	0,225	17,338608	0,0018038	0,0031150	5566,25	56,395662
16	103,451	0,2875	17,9166624	0,0023048	0,0031165	5748,94	58,2465939
18	102,385	0,325	18,783744	0,0026054	0,0031175	6025,34	61,0470529
20	102,385	0,35	20,22888	0,0028058	0,0031181	6487,60	65,7305255
22	101,852	0,4	20,8069344	0,0032067	0,0031193	6670,31	67,5816451
24	101,319	0,4375	21,674016	0,0035073	0,0031203	6946,18	70,3767247
26	101,852	0,4625	23,6972064	0,0037077	0,0031209	7593,06	76,9306599
28	100,786	0,5	24,564288	0,0040083	0,0031218	7868,51	79,7214927
30	103,984	0,525	28,0326144	0,0042088	0,0031225	8977,69	90,9593703
32	103,984	0,5625	29,4777504	0,0045094	0,0031234	9437,66	95,6196275
34	103,451	0,6125	30,9228864	0,0049102	0,0031247	9896,35	100,266956
36	102,385	0,65	30,9228864	0,0052108	0,0031256	9893,36	100,236665
38	102,385	0,6875	32,3680224	0,0055115	0,0031266	10352,58	104,889372
40	101,852	0,725	33,8131584	0,0058121	0,0031275	10811,52	109,539248
42	101,319	0,7625	34,68024	0,0061127	0,0031285	11085,41	112,314226
44	100,786	0,8	36,125376	0,0064133	0,0031294	11543,85	116,959005
46	100,786	0,8375	38,1485664	0,0067140	0,0031304	12186,68	123,471888
48	100,253	0,875	39,015648	0,0070146	0,0031313	12459,89	126,240071
50	101,319	0,9125	41,0388384	0,0073152	0,0031322	13102,05	132,746159
52	102,385	0,95	43,351056	0,0076158	0,0031332	13836,05	140,182901
54	101,852	0,975	44,796192	0,0078163	0,0031338	14294,40	144,826736
56	102,918	1,0125	47,686464	0,0081169	0,0031348	15212,07	154,124314
58	103,451	1,05	50,576736	0,0084175	0,0031357	16129,18	163,41623
60	104,517	1,075	52,021872	0,0086179	0,0031364	16586,69	168,051571
62	104,517	1,1125	54,912144	0,0089186	0,0031373	17502,92	177,334521
64	105,05	1,15	56,9353344	0,0092192	0,0031383	18142,29	183,812485
66	103,451	1,1875	58,3804704	0,0095198	0,0031392	18597,14	188,420836
68	102,918	1,225	60,692688	0,0098204	0,0031402	19327,83	195,82398
70	102,918	1,2625	62,137824	0,0101211	0,0031411	19782,03	200,425819
72	102,918	1,325	63,58296	0,0106221	0,0031427	20231,85	204,983303
74	102,918	1,3625	66,473232	0,0109227	0,0031437	21145,10	214,236053
76	102,918	1,4125	68,4964224	0,0113236	0,0031449	21779,84	220,667114
78	102,385	1,45	69,9415584	0,0116242	0,0031459	22232,59	225,25423
80	104,517	1,5	73,698912	0,0120250	0,0031472	23417,46	237,258928
82	104,517	1,5375	76,589184	0,0123256	0,0031481	24328,42	246,488556
84	104,517	1,575	78,6123744	0,0126263	0,0031491	24963,48	252,922825
86	104,517	1,625	80,924592	0,0130271	0,0031504	25687,30	260,256321
88	104,517	1,6625	82,9477824	0,0133277	0,0031513	26321,49	266,681718
90	103,984	1,7	85,26	0,0136283	0,0031523	27046,97	274,032106
92	103,451	1,75	86,705136	0,0140292	0,0031536	27494,23	278,563637
94	103,451	1,7875	89,0173536	0,0143298	0,0031545	28218,83	285,90506
96	102,918	1,825	90,4624896	0,0146304	0,0031555	28668,20	290,457918
98	102,385	1,8625	93,3527616	0,0149311	0,0031565	29575,12	299,646587
100	101,319	1,9125	95,375952	0,0153319	0,0031577	30203,79	306,016115
102	101,319	1,95	97,6881696	0,0156325	0,0031587	30926,58	313,339229
104	100,786	1,9875	99,71136	0,0159331	0,0031597	31557,45	319,731028
106	101,319	2,0375	102,023578	0,0163340	0,0031610	32276,09	327,012052
108	101,852	2,075	104,91385	0,0166346	0,0031619	33180,31	336,173352

Cuadro 28 (Continuación). Datos obtenidos en ensayos UU – Suelo 1 / Muestra 1							
Datos corregidos						$\sigma_1 - \sigma_3$	
Tiempo	Presión Cámara	Deformación	Carga Axial	ϵ	Área Corregida	Esfuerzo desviador	
s	kPa	mm	Kg	mm/mm	m2	Kg/m2	kPa
110	102,385	2,1125	108,382176	0,0169352	0,0031629	34266,73	347,180672
112	101,852	2,1625	110,694394	0,0173361	0,0031642	34983,51	354,44282
114	102,918	2,2125	113,584666	0,0177369	0,0031655	35882,30	363,549101
116	103,451	2,25	117,052992	0,0180375	0,0031664	36966,65	374,535469
118	103,984	2,2875	119,36521	0,0183381	0,0031674	37685,33	381,816963
120	104,517	2,3375	122,833536	0,0187390	0,0031687	38764,50	392,750766
122	105,05	2,3875	124,278672	0,0191398	0,0031700	39204,54	397,209155
124	102,385	2,425	125,145754	0,0194404	0,0031710	39465,97	399,857859
126	102,385	2,475	127,168944	0,0198413	0,0031723	40087,61	406,156133
128	102,385	2,5125	130,059216	0,0201419	0,0031732	40986,14	415,25977
130	103,451	2,55	132,949488	0,0204425	0,0031742	41884,11	424,357744
132	103,984	2,6	135,83976	0,0208434	0,0031755	42777,14	433,405701
134	103,984	2,6375	138,151978	0,0211440	0,0031765	43491,92	440,647652
136	105,05	2,6625	141,04225	0,0213444	0,0031771	44392,72	449,774316
138	105,05	2,7	142,487386	0,0216450	0,0031781	44833,80	454,24318
140	105,583	2,75	144,510576	0,0220459	0,0031794	45451,77	460,50427
142	105,05	2,7875	146,822794	0,0223465	0,0031804	46164,82	467,728668
144	105,583	2,8375	148,845984	0,0227473	0,0031817	46781,77	473,979471
146	105,05	2,8875	150,29112	0,0231481	0,0031830	47216,60	478,38501
148	105,583	2,925	152,603338	0,0234488	0,0031840	47928,27	485,59544
150	105,583	2,975	154,048474	0,0238496	0,0031853	48362,29	489,992769
152	104,517	3,025	155,49361	0,0242504	0,0031866	48795,93	494,386322
154	103,451	3,075	156,938746	0,0246513	0,0031879	49229,20	498,776101
156	103,451	3,125	157,5168	0,0250521	0,0031892	49390,22	500,407515
158	103,451	3,1625	158,961936	0,0253527	0,0031902	49827,98	504,842781
160	101,852	3,2	159,829018	0,0256534	0,0031912	50084,32	507,439956
162	101,852	3,25	160,407072	0,0260542	0,0031925	50244,79	509,065707
164	100,786	3,2875	161,852208	0,0263548	0,0031935	50681,80	513,493423
166	101,319	3,3375	163,297344	0,0267557	0,0031948	51113,27	517,864987
168	102,385	3,3875	165,609562	0,0271565	0,0031961	51815,67	524,98142
170	102,385	3,4125	165,609562	0,0273569	0,0031968	51804,99	524,873268
172	103,984	3,45	168,499834	0,0276575	0,0031978	52692,82	533,868468
174	103,984	3,5	169,077888	0,0280584	0,0031991	52851,79	535,479119
176	102,918	3,5125	169,94497	0,0281586	0,0031994	53117,35	538,169723
178	102,385	3,55	169,94497	0,0284592	0,0032004	53100,92	538,003248
180	101,852	3,5875	170,523024	0,0287598	0,0032014	53265,05	539,666182
182	101,852	3,625	171,390106	0,0290604	0,0032024	53519,33	542,242406
184	102,385	3,675	172,835242	0,0294613	0,0032037	53948,31	546,588771
186	103,451	3,7125	173,413296	0,0297619	0,0032047	54111,98	548,246987
188	103,984	3,75	175,725514	0,0300625	0,0032057	54816,49	555,384937
190	104,517	3,7875	176,303568	0,0303632	0,0032067	54979,77	557,039188
192	105,583	3,8375	177,748704	0,0307640	0,0032080	55407,52	561,373002
194	106,116	3,875	178,615786	0,0310646	0,0032090	55660,53	563,936485
196	106,116	3,9125	178,615786	0,0313652	0,0032100	55643,26	563,761516
198	105,05	3,9625	179,19384	0,0317661	0,0032113	55800,24	565,351971
200	105,583	4,0125	180,060922	0,0321669	0,0032127	56047,03	567,852411
202	105,583	4,05	180,638976	0,0324675	0,0032137	56209,50	569,498453
204	105,583	4,0875	180,638976	0,0327682	0,0032147	56192,03	569,321502
206	105,05	4,1375	180,638976	0,0331690	0,0032160	56168,75	569,085567
208	105,05	4,175	180,638976	0,0334696	0,0032170	56151,28	568,908617
210	105,05	4,2125	180,638976	0,0337702	0,0032180	56133,82	568,731666
212	105,05	4,25	181,506058	0,0340709	0,0032190	56385,71	571,283823
214	104,517	4,3	180,638976	0,0344717	0,0032203	56093,06	568,318781
216	103,451	4,3375	180,060922	0,0347723	0,0032213	55896,15	566,323745
218	106,649	4,375	182,084112	0,0350730	0,0032224	56506,61	572,508674
220	106,649	4,4125	182,084112	0,0353736	0,0032234	56489,00	572,330308

Cuadro 28 (Continuación). Datos obtenidos en ensayos UU – Suelo 1 / Muestra 1

Datos corregidos						$\sigma_1 - \sigma_3$	
Tiempo	Presión Cámara	Deformación	Carga Axial	ϵ	Área Corregida	Esfuerzo desviador	
s	kPa	mm	Kg	mm/mm	m ²	Kg/m ²	kPa
222	105,583	4,4625	181,506058	0,0357744	0,0032247	56286,27	570,276289
224	105,583	4,5125	181,506058	0,0361752	0,0032260	56262,87	570,039222
226	104,517	4,55	182,084112	0,0364759	0,0032270	56424,45	571,676297
228	104,517	4,5875	180,638976	0,0367765	0,0032280	55959,16	566,962158
230	104,517	4,625	180,638976	0,0370771	0,0032291	55941,70	566,785207
232	105,05	4,6625	181,506058	0,0373777	0,0032301	56192,68	569,328021
234	104,517	4,7	180,638976	0,0376784	0,0032311	55906,77	566,431305
236	104,517	4,75	180,638976	0,0380792	0,0032324	55883,48	566,195371
238	104,517	4,7875	180,638976	0,0383798	0,0032334	55866,02	566,01842
240	103,984	4,825	180,060922	0,0386805	0,0032344	55669,83	564,030746
242	103,451	4,8625	180,060922	0,0389811	0,0032355	55652,43	563,854362
244	102,918	4,9125	179,19384	0,0393819	0,0032368	55361,33	560,90508
246	102,385	4,95	178,615786	0,0396825	0,0032378	55165,47	558,920709
248	102,385	4,9875	178,615786	0,0399832	0,0032388	55148,20	558,74574
250	103,984	5,025	179,19384	0,0402838	0,0032398	55309,36	560,378474
252	103,984	5,0625	179,19384	0,0405844	0,0032409	55292,03	560,202939
254	106,116	5,1125	180,060922	0,0409852	0,0032422	55536,36	562,678465
256	106,649	5,1375	180,060922	0,0411857	0,0032429	55524,76	562,560875
258	105,05	5,175	179,19384	0,0414863	0,0032439	55240,05	559,676334
260	105,05	5,2125	179,19384	0,0417869	0,0032449	55222,73	559,500798
262	102,918	5,25	177,17065	0,0420875	0,0032459	54582,11	553,010194
264	102,918	5,2875	177,17065	0,0423882	0,0032470	54564,98	552,836641
266	106,116	5,325	179,19384	0,0426888	0,0032480	55170,75	558,974193
268	105,583	5,375	179,19384	0,0430896	0,0032493	55147,65	558,740146
270	105,583	5,4125	178,615786	0,0433903	0,0032504	54952,48	556,762759
272	105,583	5,4625	178,615786	0,0437911	0,0032517	54929,46	556,529467
274	106,116	5,5	178,615786	0,0440917	0,0032528	54912,19	556,354498
276	104,517	5,55	177,748704	0,0444925	0,0032541	54622,71	553,421543
278	103,984	5,5875	177,17065	0,0447932	0,0032551	54427,94	551,448214
280	102,918	5,625	175,725514	0,0450938	0,0032562	53966,99	546,778054
282	101,852	5,6625	174,858432	0,0453944	0,0032572	53683,80	543,908801
284	102,385	5,7125	174,858432	0,0457953	0,0032586	53661,26	543,680417
286	102,918	5,75	174,280378	0,0460959	0,0032596	53467,01	541,712373
288	102,918	5,7875	174,280378	0,0463965	0,0032606	53450,16	541,541651
290	102,918	5,8125	174,280378	0,0465969	0,0032613	53438,93	541,427836
292	103,984	5,85	174,280378	0,0468975	0,0032623	53422,08	541,257114
294	103,451	5,8875	174,280378	0,0471982	0,0032634	53405,23	541,086392
296	103,451	5,9125	174,280378	0,0473986	0,0032640	53393,99	540,972577
298	103,984	5,95	174,858432	0,0476992	0,0032651	53554,18	542,595591
300	103,984	5,9625	174,280378	0,0477994	0,0032654	53371,53	540,744948
302	103,984	5,9875	174,280378	0,0479998	0,0032661	53360,29	540,631133
304	103,984	6	174,280378	0,0481000	0,0032664	53354,68	540,574226
306	103,984	6,0125	173,413296	0,0482003	0,0032668	53083,64	537,828131
308	104,517	6,0375	173,413296	0,0484007	0,0032675	53072,46	537,714883
310	104,517	6,05	174,280378	0,0485009	0,0032678	53332,21	540,346597
312	103,984	6,075	174,280378	0,0487013	0,0032685	53320,98	540,232782
314	105,05	6,1	174,280378	0,0489017	0,0032692	53309,74	540,118967
316	105,05	6,1125	174,280378	0,0490019	0,0032695	53304,13	540,06206
318	105,583	6,125	174,280378	0,0491021	0,0032699	53298,51	540,005153
320	106,116	6,15	174,280378	0,0493025	0,0032706	53287,28	539,891338
322	106,116	6,1625	174,280378	0,0494028	0,0032709	53281,66	539,834431
324	106,116	6,1875	174,280378	0,0496032	0,0032716	53270,42	539,720616
326	103,451	6,2125	171,96816	0,0498036	0,0032723	52552,59	532,447714
328	103,451	6,225	171,96816	0,0499038	0,0032727	52547,05	532,391562
330	103,451	6,25	171,96816	0,0501042	0,0032733	52535,96	532,279257
332	103,984	6,275	171,96816	0,0503046	0,0032740	52524,88	532,166953

Cuadro 28 (Continuación). Datos obtenidos en ensayos UU – Suelo 1 / Muestra 1							
Datos corregidos						$\sigma_1 - \sigma_3$	
Tiempo	Presión Cámara	Deformación	Carga Axial	ϵ	Área Corregida	Esfuerzo desviador	
s	kPa	mm	Kg	mm/mm	m ²	Kg/m ²	kPa
334	103,984	6,3	171,96816	0,0505051	0,0032747	52513,79	532,054648
336	103,984	6,3125	172,835242	0,0506053	0,0032751	52773,00	534,680888
338	104,517	6,3375	172,835242	0,0508057	0,0032758	52761,86	534,568017
340	104,517	6,3625	171,96816	0,0510061	0,0032765	52486,08	531,773886
342	105,05	6,3875	171,96816	0,0512065	0,0032771	52475,00	531,661582
344	105,05	6,4125	172,835242	0,0514069	0,0032778	52728,44	534,229405
346	105,583	6,425	171,96816	0,0515071	0,0032782	52458,37	531,493125
348	105,583	6,45	171,96816	0,0517076	0,0032789	52447,29	531,38082
350	106,116	6,475	171,96816	0,0519080	0,0032796	52436,20	531,268515
352	106,116	6,5	172,835242	0,0521084	0,0032803	52689,45	533,834356
354	106,116	6,525	171,96816	0,0523088	0,0032810	52414,03	531,043906
356	105,583	6,55	171,96816	0,0525092	0,0032817	52402,95	530,931601
358	105,05	6,5625	171,96816	0,0526094	0,0032820	52397,41	530,875449
360	104,517	6,5875	171,390106	0,0528098	0,0032827	52210,23	528,979035
362	104,517	6,6125	171,390106	0,0530103	0,0032834	52199,18	528,867108
364	103,984	6,625	171,390106	0,0531105	0,0032837	52193,66	528,811144
366	103,451	6,65	170,523024	0,0533109	0,0032844	51918,62	526,024469
368	102,918	6,6625	170,523024	0,0534111	0,0032848	51913,12	525,968789
370	102,918	6,675	170,523024	0,0535113	0,0032851	51907,62	525,913108
372	102,918	6,7	170,523024	0,0537117	0,0032858	51896,63	525,801747
374	103,451	6,7125	171,390106	0,0538119	0,0032862	52154,99	528,419399
376	102,918	6,7375	169,94497	0,0540123	0,0032869	51704,28	523,852862
378	102,918	6,7625	170,523024	0,0542128	0,0032876	51869,15	525,523345
380	102,385	6,775	170,523024	0,0543130	0,0032879	51863,66	525,467664
382	102,385	6,8	170,523024	0,0545134	0,0032886	51852,67	525,356303
384	102,385	6,825	170,523024	0,0547138	0,0032893	51841,68	525,244943

Cuadro 29. Datos obtenidos en ensayos UU – Suelo 1 / Muestra 2							
Datos corregidos						$\sigma_1 - \sigma_3$	
Tiempo	Presión Cámara	Deformación	Carga Axial	ϵ	Area	Esfuerzo desviador	
s	kPa	mm	Kg	mm/mm	m ²	Kg/m ²	Kpa
2	200,725	0	0,2860032	0,0000000	0,0030804	92,85	0,94068727
4	200,725	0,0375	3,4653024	0,0003039	0,0030813	1124,61	11,3941919
6	200,192	0,075	7,8007104	0,0006077	0,0030823	2530,82	25,6415645
8	200,725	0,1	16,4715264	0,0008103	0,0030829	5342,85	54,1322619
10	200,192	0,15	24,564288	0,0012154	0,0030842	7964,67	80,6956972
12	200,725	0,1875	30,9228864	0,0015193	0,0030851	10023,31	101,553309
14	200,725	0,2125	37,570512	0,0017219	0,0030857	12175,60	123,359627
16	200,725	0,25	41,90592	0,0020257	0,0030867	13576,45	137,552695
18	200,725	0,275	46,241328	0,0022283	0,0030873	14977,97	151,752502
20	200,725	0,3125	49,7096544	0,0025321	0,0030882	16096,49	163,085003
22	200,192	0,35	54,0450624	0,0028360	0,0030892	17495,01	177,254385
24	200,192	0,375	57,802416	0,0030386	0,0030898	18707,51	189,539059
26	199,126	0,4125	61,2707424	0,0033424	0,0030907	19823,97	200,850763
28	199,126	0,45	64,1610144	0,0036463	0,0030917	20752,78	210,2612
30	199,126	0,4875	68,4964224	0,0039501	0,0030926	22148,30	224,400252
32	198,06	0,5125	72,253776	0,0041527	0,0030933	23358,49	236,661529
34	196,994	0,55	75,7221024	0,0044566	0,0030942	24472,28	247,94608
36	197,527	0,5875	79,479456	0,0047604	0,0030951	25678,76	260,169807
38	196,994	0,625	82,9477824	0,0050643	0,0030961	26791,15	271,440205
40	197,527	0,675	82,9477824	0,0054694	0,0030974	26780,24	271,329673

Cuadro 29 (Continuación). Datos obtenidos en ensayos UU – Suelo 1 / Muestra 2

Datos corregidos				ε	Area	σ ₁ - σ ₃	
Tiempo	Presión Cámara	Deformación	Carga Axial			Esfuerzo desviador	
s	kPa	mm	Kg	mm/mm	m2	Kg/m2	Kpa
42	197,527	0,7125	91,040544	0,0057733	0,0030983	29384,06	297,710839
44	198,06	0,75	94,7978976	0,0060771	0,0030992	30587,42	309,902984
46	200,725	0,8	100,578442	0,0064823	0,0031005	32439,34	328,666085
48	200,192	0,8375	103,468714	0,0067861	0,0031015	33361,33	338,007389
50	200,725	0,8875	106,93704	0,0071913	0,0031027	34465,55	349,195078
52	200,725	0,925	110,694394	0,0074951	0,0031037	35665,62	361,353812
54	200,725	0,9625	114,16272	0,0077990	0,0031046	36771,85	372,561817
56	200,725	1,0125	117,052992	0,0082041	0,0031059	37687,41	381,838033
58	200,192	1,05	120,810346	0,0085080	0,0031068	38885,25	393,97414
60	200,725	1,1	124,278672	0,0089131	0,0031081	39985,25	405,119078
62	200,725	1,125	128,036026	0,0091157	0,0031087	41185,72	417,281855
64	200,725	1,175	130,926298	0,0095209	0,0031100	42098,22	426,527067
66	201,258	1,2125	133,81657	0,0098247	0,0031110	43014,36	435,809156
68	200,725	1,25	136,706842	0,0101286	0,0031119	43929,94	445,085467
70	200,192	1,3	139,597114	0,0105337	0,0031132	44840,35	454,309496
72	200,192	1,3375	142,487386	0,0108376	0,0031142	45754,68	463,57329
74	199,659	1,3625	145,377658	0,0110401	0,0031148	46673,23	472,879738
76	199,659	1,4125	147,400848	0,0114453	0,0031161	47303,39	479,264288
78	199,659	1,4375	151,158202	0,0116479	0,0031167	48499,24	491,380367
80	199,659	1,475	154,048474	0,0119517	0,0031177	49411,39	500,622015
82	199,659	1,5375	156,071664	0,0124581	0,0031193	50034,68	506,936951
84	199,659	1,575	159,829018	0,0127620	0,0031202	51223,47	518,981491
86	200,192	1,6125	162,71929	0,0130658	0,0031212	52133,72	528,203882
88	200,192	1,65	164,74248	0,0133697	0,0031222	52765,68	534,606725
90	200,725	1,7	167,632752	0,0137748	0,0031234	53669,37	543,762585
92	200,725	1,75	170,523024	0,0141800	0,0031247	54572,29	552,910741
94	197,527	1,7875	170,523024	0,0144838	0,0031257	54555,47	552,740318
96	197,527	1,8375	172,835242	0,0148890	0,0031270	55272,49	560,004924
98	198,06	1,875	174,858432	0,0151928	0,0031279	55902,25	566,385525
100	198,06	1,925	177,748704	0,0155980	0,0031292	56802,89	575,510573
102	198,593	1,9625	179,19384	0,0159018	0,0031302	57247,04	580,010513
104	198,06	2	181,506058	0,0162057	0,0031312	57967,82	587,313247
106	198,593	2,05	183,529248	0,0166108	0,0031324	58589,83	593,61528
108	198,06	2,0875	184,974384	0,0169147	0,0031334	59032,93	598,104627
110	198,06	2,125	187,286602	0,0172186	0,0031344	59752,38	605,393881
112	198,06	2,175	188,731738	0,0176237	0,0031357	60188,61	609,813712
114	198,593	2,2	191,62201	0,0178263	0,0031363	61097,75	619,024837
116	198,593	2,2375	193,067146	0,0181301	0,0031373	61539,48	623,50032
118	198,593	2,275	195,090336	0,0184340	0,0031383	62165,12	629,839133
120	199,126	2,325	196,535472	0,0188391	0,0031396	62599,76	634,242788
122	199,659	2,3625	199,425744	0,0191430	0,0031405	63500,69	643,370723
124	199,659	2,4	200,292826	0,0194468	0,0031415	63757,03	645,967855
126	199,659	2,4375	201,737962	0,0197507	0,0031425	64197,14	650,426969
128	199,126	2,475	203,183098	0,0200546	0,0031435	64636,97	654,883195
130	198,593	2,5125	204,628234	0,0203584	0,0031444	65076,52	659,336532
132	199,126	2,5625	206,07337	0,0207636	0,0031457	65509,00	663,71833
134	198,593	2,6	206,651424	0,0210674	0,0031467	65672,37	665,37359

Cuadro 29 (Continuación). Datos obtenidos en ensayos UU – Suelo 1 / Muestra 2							
Datos corregidos				ε	Area	σ ₁ - σ ₃	
Tiempo	Presión Cámara	Deformación	Carga Axial			Esfuerzo desviador	
s	kPa	mm	Kg	mm/mm	m ²	Kg/m ²	Kpa
136	198,593	2,6375	208,09656	0,0213713	0,0031477	66111,10	669,818647
138	198,593	2,675	209,541696	0,0216751	0,0031487	66549,54	674,260815
140	199,126	2,7125	211,853914	0,0219790	0,0031496	67263,00	681,489313
142	198,06	2,7625	212,431968	0,0223841	0,0031509	67418,59	683,065716
144	197,527	2,7875	213,29905	0,0225867	0,0031516	67679,74	685,711664
146	197,527	2,8375	214,744186	0,0229918	0,0031529	68110,04	690,071316
148	197,527	2,875	216,189322	0,0232957	0,0031539	68547,06	694,499138
150	198,06	2,9125	216,767376	0,0235996	0,0031549	68708,97	696,139474
152	198,06	2,9375	217,634458	0,0238021	0,0031555	68969,49	698,779066
154	198,06	2,975	219,079594	0,0241060	0,0031565	69405,85	703,200148
156	198,06	3,0125	219,657648	0,0244098	0,0031575	69567,32	704,836055
158	198,06	3,05	219,657648	0,0247137	0,0031585	69545,65	704,616527
160	197,527	3,075	220,52473	0,0249163	0,0031591	69805,68	707,251017
162	197,527	3,1125	221,969866	0,0252201	0,0031601	70241,23	711,663914
164	197,527	3,15	221,969866	0,0255240	0,0031611	70219,33	711,442075
166	196,994	3,2	221,969866	0,0259291	0,0031624	70190,14	711,14629
168	196,994	3,25	222,54792	0,0263343	0,0031637	70343,66	712,701703
170	196,994	3,3	223,415002	0,0267394	0,0031650	70588,34	715,18079
172	196,994	3,3375	223,993056	0,0270433	0,0031660	70748,89	716,807357
174	197,527	3,3875	224,860138	0,0274484	0,0031673	70993,18	719,282496
176	197,527	3,4375	224,860138	0,0278536	0,0031687	70963,61	718,98286
178	197,527	3,4875	224,860138	0,0282587	0,0031700	70934,03	718,683223
180	198,06	3,525	226,305274	0,0285626	0,0031710	71367,59	723,0759
182	199,659	3,575	227,75041	0,0289677	0,0031723	71793,37	727,389817
184	199,659	3,6125	227,75041	0,0292716	0,0031733	71770,91	727,162201
186	199,659	3,6625	228,328464	0,0296767	0,0031746	71923,04	728,703557
188	199,126	3,7	227,75041	0,0299806	0,0031756	71718,49	726,631097
190	199,126	3,7625	228,328464	0,0304870	0,0031773	71862,98	728,09504
192	198,593	3,8	228,328464	0,0307908	0,0031783	71840,46	727,866847
194	199,126	3,8375	228,328464	0,0310947	0,0031793	71817,94	727,638653
196	199,126	3,875	228,328464	0,0313986	0,0031803	71795,41	727,410459
198	199,126	3,9125	229,195546	0,0317024	0,0031813	72045,45	729,943754
200	198,593	3,95	229,195546	0,0320063	0,0031823	72022,84	729,714693
202	198,593	3,9875	229,195546	0,0323101	0,0031833	72000,23	729,485633
204	199,126	4,025	229,195546	0,0326140	0,0031843	71977,62	729,256573
206	198,593	4,0625	228,328464	0,0329178	0,0031853	71682,80	726,269491
208	198,593	4,1125	228,328464	0,0333230	0,0031866	71652,77	725,965233
210	198,06	4,15	227,75041	0,0336268	0,0031876	71448,90	723,899706
212	197,527	4,1875	228,328464	0,0339307	0,0031886	71607,72	725,508845
214	197,527	4,225	228,328464	0,0342346	0,0031896	71585,20	725,280651
216	196,994	4,275	227,75041	0,0346397	0,0031909	71374,02	723,140986
218	196,994	4,3125	227,75041	0,0349436	0,0031919	71351,55	722,91337
220	197,527	4,3625	227,75041	0,0353487	0,0031933	71321,60	722,609882
222	196,994	4,4	227,75041	0,0356525	0,0031943	71299,13	722,382266
224	197,527	4,45	227,75041	0,0360577	0,0031956	71269,18	722,078778
226	197,527	4,4875	227,75041	0,0363615	0,0031966	71246,71	721,851162
228	197,527	4,525	227,75041	0,0366654	0,0031977	71224,24	721,623546

Cuadro 29 (Continuación). Datos obtenidos en ensayos UU – Suelo 1 / Muestra 2

Datos corregidos				ε	Area	σ ₁ - σ ₃	
Tiempo	Presión Cámara	Deformación	Carga Axial			Esfuerzo desviador	
s	kPa	mm	Kg	mm/mm	m ²	Kg/m ²	Kpa
230	197,527	4,5625	227,75041	0,0369693	0,0031987	71201,78	721,39593
232	197,527	4,6	227,75041	0,0372731	0,0031997	71179,31	721,168314
234	197,527	4,65	226,883328	0,0376783	0,0032010	70878,48	718,12038
236	201,791	4,6875	229,7736	0,0379821	0,0032020	71758,74	727,038895
238	201,258	4,725	229,7736	0,0382860	0,0032030	71736,07	726,809257
240	201,258	4,7625	229,195546	0,0385898	0,0032041	71532,99	724,751721
242	201,258	4,8	229,195546	0,0388937	0,0032051	71510,39	724,522661
244	199,659	4,85	227,75041	0,0392988	0,0032064	71029,54	719,650874
246	200,192	4,8875	227,75041	0,0396027	0,0032074	71007,08	719,423258
248	199,659	4,9375	227,75041	0,0400078	0,0032088	70977,12	719,11977
250	199,659	4,975	226,883328	0,0403117	0,0032098	70684,52	716,155219
252	199,126	5,0125	226,305274	0,0406155	0,0032108	70482,11	714,104424
254	199,126	5,05	226,305274	0,0409194	0,0032118	70459,78	713,878252
256	199,659	5,1	226,305274	0,0413245	0,0032132	70430,02	713,57669
258	200,192	5,125	226,305274	0,0415271	0,0032139	70415,14	713,425909
260	201,258	5,175	226,305274	0,0419323	0,0032152	70385,37	713,124346
262	201,258	5,2125	226,305274	0,0422361	0,0032163	70363,05	712,898175
264	201,258	5,25	226,305274	0,0425400	0,0032173	70340,73	712,672003
266	200,725	5,3	225,438192	0,0429451	0,0032186	70041,57	709,641016
268	200,725	5,3375	223,993056	0,0432490	0,0032197	69570,48	704,868113
270	200,192	5,375	223,993056	0,0435528	0,0032207	69548,39	704,644252
272	199,126	5,4125	222,54792	0,0438567	0,0032217	69077,73	699,875682
274	199,126	5,45	222,54792	0,0441605	0,0032227	69055,78	699,653266
276	199,126	5,5	221,969866	0,0445657	0,0032241	68847,22	697,540175
278	198,593	5,5375	220,52473	0,0448695	0,0032251	68377,23	692,778441
280	198,593	5,575	220,52473	0,0451734	0,0032261	68355,48	692,558046
282	199,659	5,6125	220,52473	0,0454773	0,0032272	68333,73	692,337652
284	199,126	5,65	220,52473	0,0457811	0,0032282	68311,97	692,117257
286	199,126	5,6875	219,657648	0,0460850	0,0032292	68021,71	689,176392
288	199,659	5,7375	219,079594	0,0464901	0,0032306	67813,89	687,070811
290	199,126	5,7875	219,079594	0,0468953	0,0032320	67785,08	686,778878
292	199,126	5,825	218,212512	0,0471991	0,0032330	67495,27	683,842634
294	199,659	5,875	217,634458	0,0476043	0,0032344	67287,85	681,741098
296	199,126	5,9125	217,634458	0,0479081	0,0032354	67266,38	681,523592
298	199,659	5,9625	216,189322	0,0483133	0,0032368	66791,28	676,710057
300	200,192	6,0125	215,32224	0,0487184	0,0032382	66495,08	673,709015
301	200,192	6,0375	215,32224	0,0489210	0,0032389	66480,92	673,565551
302	200,725	6,0625	215,32224	0,0491235	0,0032395	66466,76	673,422088
303	200,725	6,075	214,744186	0,0492248	0,0032399	66281,26	671,542679
304	201,258	6,1	214,744186	0,0494274	0,0032406	66267,14	671,399601
305	201,258	6,125	213,877104	0,0496300	0,0032413	65985,51	668,546162
306	200,725	6,15	213,29905	0,0498325	0,0032420	65793,14	666,597139
307	201,258	6,1625	213,29905	0,0499338	0,0032423	65786,12	666,526081
308	200,725	6,1875	212,431968	0,0501364	0,0032430	65504,73	663,67505
309	201,258	6,2	211,853914	0,0502377	0,0032433	65319,51	661,798529
310	201,258	6,225	211,853914	0,0504403	0,0032440	65305,58	661,657377
311	200,725	6,2375	210,986832	0,0505415	0,0032444	65031,36	658,87904

Cuadro 29 (Continuación). Datos obtenidos en ensayos UU – Suelo 1 / Muestra 2							
Datos corregidos				ε	Area	σ ₁ - σ ₃	
Tiempo	Presión Cámara	Deformación	Carga Axial			Esfuerzo desviador	
s	kPa	mm	Kg	mm/mm	m ²	Kg/m ²	Kpa
312	200,725	6,2625	210,408778	0,0507441	0,0032451	64839,35	656,933676
313	200,725	6,275	209,541696	0,0508454	0,0032454	64565,26	654,156687
314	200,725	6,2875	210,408778	0,0509467	0,0032458	64825,52	656,793486
315	200,725	6,325	208,963642	0,0512505	0,0032468	64359,67	652,073637
316	200,725	6,3375	208,963642	0,0513518	0,0032472	64352,80	652,004023
317	200,725	6,35	208,09656	0,0514531	0,0032475	64078,93	649,229249
318	201,258	6,375	207,518506	0,0516557	0,0032482	63887,28	647,287544
319	200,725	6,3875	206,651424	0,0517570	0,0032485	63613,54	644,514117
320	200,725	6,4125	206,07337	0,0519595	0,0032492	63422,05	642,573953
321	196,461	6,425	203,761152	0,0520608	0,0032496	62703,73	635,296161
322	200,192	6,45	206,07337	0,0522634	0,0032503	63401,72	642,368001
323	200,725	6,4625	205,206288	0,0523647	0,0032506	63128,20	639,596789
324	200,192	6,4875	204,628234	0,0525673	0,0032513	62936,92	637,658743
325	199,659	6,5125	203,183098	0,0527698	0,0032520	62479,08	633,020062
326	199,659	6,5375	203,183098	0,0529724	0,0032527	62465,72	632,884686
327	199,659	6,55	203,183098	0,0530737	0,0032531	62459,04	632,816999
328	199,659	6,575	202,316016	0,0532763	0,0032538	62179,19	629,981661
329	197,527	6,5875	200,292826	0,0533775	0,0032541	61550,80	623,615026
330	197,527	6,625	200,292826	0,0536814	0,0032552	61531,05	623,414851
331	197,527	6,65	199,425744	0,0538840	0,0032558	61251,56	620,583173
332	198,06	6,6625	198,84769	0,0539853	0,0032562	61067,48	618,71811
333	198,06	6,6875	199,425744	0,0541878	0,0032569	61231,89	620,383865
334	198,06	6,7125	198,84769	0,0543904	0,0032576	61041,32	618,453136
335	198,06	6,725	197,980608	0,0544917	0,0032579	60768,64	615,690398
336	198,06	6,75	197,402554	0,0546943	0,0032586	60578,23	613,76121
337	199,126	6,775	197,980608	0,0548968	0,0032593	60742,60	615,426579
338	198,593	6,8	197,402554	0,0550994	0,0032600	60552,27	613,498162
339	199,126	6,825	197,402554	0,0553020	0,0032607	60539,29	613,366638
340	199,659	6,85	197,402554	0,0555045	0,0032614	60526,31	613,235114
341	199,659	6,8625	196,535472	0,0556058	0,0032618	60253,98	610,476034
342	199,659	6,8875	196,535472	0,0558084	0,0032625	60241,06	610,345087
343	200,192	6,9125	196,535472	0,0560110	0,0032632	60228,14	610,214141
344	200,725	6,9375	195,957418	0,0562135	0,0032639	60038,11	608,288805
345	201,791	6,95	195,957418	0,0563148	0,0032642	60031,66	608,223524
346	201,258	6,975	195,957418	0,0565174	0,0032649	60018,78	608,092963
347	201,791	6,9875	195,090336	0,0566187	0,0032653	59746,79	605,337253
348	200,725	7,025	194,512282	0,0569225	0,0032663	59550,57	603,349236
349	200,192	7,0375	193,067146	0,0570238	0,0032667	59101,79	598,802313
350	200,192	7,0625	193,067146	0,0572264	0,0032674	59089,09	598,673678
351	199,659	7,075	192,200064	0,0573277	0,0032677	58817,40	595,920953
352	199,659	7,1	192,200064	0,0575303	0,0032684	58804,76	595,792895
353	199,659	7,1125	191,62201	0,0576315	0,0032688	58621,60	593,937172
354	199,659	7,125	191,62201	0,0577328	0,0032691	58615,30	593,873336
355	199,659	7,1375	190,754928	0,0578341	0,0032695	58343,79	591,122536
356	199,659	7,1375	190,176874	0,0578341	0,0032695	58166,99	589,331228
357	199,126	7,1625	189,309792	0,0580367	0,0032702	57889,34	586,518132
358	199,126	7,1875	189,309792	0,0582393	0,0032709	57876,89	586,392

Cuadro 29 (Continuación). Datos obtenidos en ensayos UU – Suelo 1 / Muestra 2							
Datos corregidos				ϵ	Area	$\sigma_1 - \sigma_3$	
Tiempo	Presión Cámara	Deformación	Carga Axial			Esfuerzo desviador	
s	kPa	mm	Kg	mm/mm	m2	Kg/m2	Kpa
359	199,126	7,2125	188,731738	0,0584418	0,0032716	57687,75	584,475715
360	198,593	7,225	188,731738	0,0585431	0,0032720	57681,55	584,412841
361	198,593	7,25	187,864656	0,0587457	0,0032727	57404,19	581,602731
362	198,593	7,2625	187,286602	0,0588470	0,0032730	57221,40	579,750763
363	198,06	7,2875	186,41952	0,0590495	0,0032737	56944,22	576,942482
364	198,06	7,3	185,841466	0,0591508	0,0032741	56761,54	575,091574
365	197,527	7,325	185,841466	0,0593534	0,0032748	56749,32	574,967753
366	196,994	7,35	184,974384	0,0595560	0,0032755	56472,38	572,161879
367	196,994	7,3625	184,39633	0,0596572	0,0032758	56289,84	570,312415
368	197,527	7,4	184,39633	0,0599611	0,0032769	56271,65	570,128127
369	196,994	7,4125	184,39633	0,0600624	0,0032772	56265,58	570,066698
370	196,461	7,425	183,529248	0,0601637	0,0032776	55994,97	567,324949

Cuadro 30. Datos obtenidos en ensayos UU – Suelo 1 / Muestra 3							
Datos corregidos				ϵ	Area	$\sigma_1 - \sigma_3$	
Tiempo	Presión Cámara	Deformación	Carga Axial			Esfuerzo desviador	
s	kPa	mm	Kg	mm/mm	m2	Kg/m2	kpa
0	299,062	0,000	0,00	0,00000	0,00347	0,00	0,00
2	298,529	0,037	2,31	0,00028	0,00347	665,81	6,75
4	299,062	0,088	7,23	0,00065	0,00347	2079,87	21,07
6	298,529	0,125	12,43	0,00093	0,00348	3576,37	36,23
8	299,062	0,163	18,21	0,00121	0,00348	5238,33	53,07
10	299,062	0,188	23,99	0,00140	0,00348	6900,01	69,91
12	299,062	0,225	28,90	0,00168	0,00348	8310,93	84,20
14	299,062	0,262	34,68	0,00196	0,00348	9970,32	101,02
16	298,529	0,300	40,46	0,00224	0,00348	11628,78	117,82
18	299,062	0,338	45,67	0,00252	0,00348	13120,23	132,93
20	299,062	0,375	52,02	0,00280	0,00348	14942,90	151,40
22	299,062	0,413	57,23	0,00308	0,00348	16432,58	166,49
24	299,062	0,450	61,56	0,00336	0,00348	17672,51	179,05
26	300,661	0,512	69,66	0,00383	0,00349	19986,29	202,50
28	300,128	0,563	73,99	0,00420	0,00349	21222,30	215,02
30	300,128	0,600	79,77	0,00448	0,00349	22873,86	231,75
32	299,595	0,650	84,68	0,00485	0,00349	24273,65	245,93
34	300,128	0,688	90,47	0,00513	0,00349	25923,26	262,65
36	300,128	0,725	96,25	0,00541	0,00349	27571,94	279,35
38	300,128	0,775	102,03	0,00578	0,00349	29216,95	296,02
40	300,661	0,813	107,23	0,00606	0,00349	30698,12	311,02
42	300,128	0,863	113,01	0,00644	0,00349	32340,86	327,67
44	300,128	0,900	117,35	0,00672	0,00350	33572,09	340,14
46	299,595	0,938	123,13	0,00700	0,00350	35215,96	356,80
48	299,595	0,975	128,04	0,00728	0,00350	36610,97	370,93
50	299,062	1,025	133,24	0,00765	0,00350	38084,23	385,86
52	299,062	1,063	138,16	0,00793	0,00350	39477,50	399,97
54	299,062	1,100	143,94	0,00821	0,00350	41117,67	416,59
56	298,529	1,150	149,14	0,00858	0,00350	42587,82	431,49
58	298,529	1,188	153,47	0,00886	0,00350	43813,47	443,91
60	299,062	1,225	158,39	0,00914	0,00350	45203,39	457,99
62	299,062	1,263	164,17	0,00942	0,00350	46839,91	474,57
64	299,062	1,313	169,37	0,00980	0,00351	48306,07	489,42
66	299,062	1,350	174,28	0,01008	0,00351	49693,39	503,48
68	299,595	1,400	179,49	0,01045	0,00351	51157,48	518,31

Cuadro 30 (Continuación). Datos obtenidos en ensayos UU – Suelo 1 / Muestra 3

Datos corregidos				ϵ	Area	$\sigma_1 - \sigma_3$	
Tiempo	Presión Cámara	Deformación	Carga Axial			Esfuerzo desviador	
s	kPa	mm	Kg	mm/mm	m2	Kg/m2	kpa
70	299,595	1,438	185,27	0,01073	0,00351	52790,13	534,85
72	300,128	1,475	188,73	0,01101	0,00351	53763,18	544,71
74	299,062	1,525	193,94	0,01138	0,00351	55224,32	559,52
76	298,529	1,563	198,27	0,01166	0,00351	56442,86	571,86
78	298,529	1,613	202,61	0,01204	0,00351	57655,25	584,15
80	299,062	1,663	207,52	0,01241	0,00352	59031,14	598,09
82	299,062	1,688	211,28	0,01260	0,00352	60088,60	608,80
84	299,595	1,738	217,06	0,01297	0,00352	61709,28	625,22
86	299,595	1,775	221,39	0,01325	0,00352	62923,97	637,53
88	299,595	1,813	224,86	0,01353	0,00352	63891,59	647,33
90	299,595	1,850	229,20	0,01381	0,00352	65104,96	659,62
92	299,595	1,888	234,40	0,01409	0,00352	66563,85	674,41
94	300,128	1,925	238,74	0,01437	0,00352	67775,75	686,68
96	300,661	1,963	242,20	0,01465	0,00352	68740,86	696,46
98	301,194	2,000	247,41	0,01493	0,00352	70197,44	711,22
100	300,661	2,050	250,30	0,01530	0,00353	70990,60	719,26
102	300,128	2,100	254,63	0,01567	0,00353	72192,86	731,44
104	299,595	2,138	257,52	0,01595	0,00353	72991,54	739,53
106	299,595	2,188	260,41	0,01633	0,00353	73782,76	747,55
108	299,595	2,238	263,88	0,01670	0,00353	74737,07	757,21
110	299,595	2,288	267,64	0,01707	0,00353	75772,46	767,70
112	299,595	2,338	269,66	0,01745	0,00353	76316,27	773,21
114	299,062	2,375	272,55	0,01773	0,00353	77112,26	781,28
116	299,062	2,413	275,44	0,01801	0,00354	77907,79	789,34
118	299,062	2,463	278,33	0,01838	0,00354	78695,37	797,32
120	299,062	2,513	281,22	0,01875	0,00354	79482,33	805,29
122	299,595	2,550	284,98	0,01903	0,00354	80521,29	815,82
124	299,595	2,588	287,87	0,01931	0,00354	81314,73	823,86
126	299,595	2,625	289,89	0,01959	0,00354	81862,85	829,41
128	299,595	2,650	293,65	0,01978	0,00354	82908,10	840,00
130	299,062	2,700	295,10	0,02015	0,00354	83284,39	843,81
132	299,062	2,738	297,99	0,02043	0,00354	84076,08	851,83
134	299,062	2,775	299,43	0,02071	0,00355	84459,68	855,72
136	298,529	2,813	300,88	0,02099	0,00355	84843,05	859,61
138	298,529	2,850	302,90	0,02127	0,00355	85389,14	865,14
140	299,062	2,888	305,79	0,02155	0,00355	86179,26	873,14
142	299,062	2,925	308,10	0,02183	0,00355	86806,06	879,49
144	299,595	2,975	309,55	0,02221	0,00355	87179,95	883,28
146	299,595	3,013	312,44	0,02249	0,00355	87968,76	891,27
148	300,128	3,050	315,33	0,02277	0,00355	88757,11	899,26
150	300,128	3,100	317,35	0,02314	0,00355	89292,47	904,69
152	300,128	3,138	319,66	0,02342	0,00356	89917,28	911,02
154	300,128	3,188	321,69	0,02379	0,00356	90451,80	916,43
156	300,128	3,225	324,00	0,02407	0,00356	91075,83	922,75
158	300,661	3,275	324,58	0,02445	0,00356	91203,43	924,05
160	300,128	3,300	327,47	0,02463	0,00356	91997,97	932,10
162	300,128	3,338	328,33	0,02491	0,00356	92215,09	934,30
164	300,661	3,388	330,36	0,02528	0,00356	92747,81	939,69
166	300,661	3,425	332,67	0,02556	0,00356	93370,14	946,00
168	300,661	3,463	334,12	0,02584	0,00356	93748,81	949,84
170	298,529	3,500	334,12	0,02612	0,00356	93721,87	949,56
172	298,529	3,538	335,56	0,02640	0,00357	94100,19	953,40
174	298,529	3,575	337,58	0,02668	0,00357	94640,33	958,87
176	299,062	3,625	338,45	0,02706	0,00357	94847,03	960,96
178	299,595	3,675	340,47	0,02743	0,00357	95377,41	966,34

Cuadro 30 (Continuación). Datos obtenidos en ensayos UU – Suelo 1 / Muestra 3

Datos corregidos				ϵ	Area	$\sigma_1 - \sigma_3$	
Tiempo	Presión Cámara	Deformación	Carga Axial			Esfuerzo desviador	
s	kPa	mm	Kg	mm/mm	m2	Kg/m2	kpa
180	299,062	3,713	341,34	0,02771	0,00357	95592,78	968,52
182	299,595	3,750	343,36	0,02799	0,00357	96131,69	973,98
184	299,062	3,788	344,23	0,02827	0,00357	96346,70	976,16
186	298,529	3,825	345,68	0,02855	0,00357	96723,31	979,97
188	298,529	3,863	347,12	0,02883	0,00357	97099,68	983,79
190	299,062	3,900	348,57	0,02911	0,00358	97475,83	987,60
192	299,062	3,950	350,01	0,02948	0,00358	97842,33	991,31
194	299,595	3,988	350,59	0,02976	0,00358	97975,65	992,66
196	299,595	4,013	352,90	0,02995	0,00358	98602,86	999,02
198	300,128	4,063	353,48	0,03032	0,00358	98726,37	1000,27
200	300,128	4,100	354,93	0,03060	0,00358	99101,38	1004,07
202	300,128	4,138	355,79	0,03088	0,00358	99314,80	1006,23
204	300,128	4,175	356,37	0,03116	0,00358	99447,43	1007,57
206	300,128	4,200	357,82	0,03135	0,00358	99831,47	1011,46
208	300,661	4,238	359,26	0,03163	0,00359	100205,70	1015,26
210	300,128	4,288	359,26	0,03200	0,00359	100167,08	1014,86
212	301,194	4,325	360,71	0,03228	0,00359	100540,92	1018,65
214	300,661	4,350	362,15	0,03247	0,00359	100924,27	1022,54
216	300,661	4,388	363,02	0,03275	0,00359	101136,64	1024,69
218	299,595	4,425	361,57	0,03303	0,00359	100704,87	1020,31
220	299,062	4,463	362,15	0,03331	0,00359	100836,68	1021,65
222	299,595	4,500	363,02	0,03359	0,00359	101048,84	1023,80
224	299,595	4,550	364,46	0,03396	0,00359	101411,92	1027,48
226	299,062	4,588	363,60	0,03424	0,00359	101141,34	1024,73
228	299,062	4,638	364,46	0,03462	0,00360	101343,36	1026,78
230	299,062	4,675	365,91	0,03490	0,00360	101715,70	1030,55
232	299,595	4,713	366,49	0,03517	0,00360	101846,84	1031,88
234	300,128	4,750	367,35	0,03545	0,00360	102058,19	1034,02
236	300,128	4,800	367,35	0,03583	0,00360	102018,70	1033,62
238	300,128	4,838	368,80	0,03611	0,00360	102390,30	1037,39
240	300,128	4,875	368,80	0,03639	0,00360	102360,56	1037,09
242	300,661	4,913	369,38	0,03667	0,00360	102491,22	1038,41
244	300,661	4,950	370,82	0,03695	0,00361	102862,31	1042,17
246	300,661	4,988	370,82	0,03723	0,00361	102832,41	1041,87
247	300,661	5,013	371,69	0,03741	0,00361	103052,88	1044,10
248	300,661	5,025	372,27	0,03751	0,00361	103203,15	1045,62
249	300,661	5,038	371,69	0,03760	0,00361	103032,91	1043,90
250	301,194	5,063	371,69	0,03779	0,00361	103012,93	1043,70
251	300,661	5,088	372,27	0,03797	0,00361	103153,13	1045,12
252	300,661	5,100	372,27	0,03807	0,00361	103143,12	1045,02
253	300,661	5,113	373,13	0,03816	0,00361	103373,34	1047,35
254	300,661	5,138	373,71	0,03835	0,00361	103513,39	1048,77
255	300,661	5,163	373,71	0,03853	0,00361	103493,31	1048,56
256	300,661	5,175	374,58	0,03863	0,00361	103723,36	1050,90
257	300,661	5,200	373,71	0,03881	0,00361	103463,18	1048,26
258	300,661	5,225	373,71	0,03900	0,00361	103443,09	1048,06
259	300,661	5,238	374,58	0,03909	0,00361	103673,03	1050,39
260	300,661	5,263	374,58	0,03928	0,00361	103652,90	1050,18
261	300,661	5,288	374,58	0,03947	0,00361	103632,77	1049,98
262	300,661	5,300	374,58	0,03956	0,00361	103622,70	1049,88
263	300,661	5,313	375,16	0,03965	0,00362	103772,53	1051,39
264	300,661	5,338	376,02	0,03984	0,00362	103992,16	1053,62
265	298,529	5,363	373,71	0,04003	0,00362	103332,62	1046,94
266	299,062	5,388	374,58	0,04021	0,00362	103552,23	1049,16
267	299,062	5,400	374,58	0,04031	0,00362	103542,17	1049,06

Cuadro 30 (Continuación). Datos obtenidos en ensayos UU – Suelo 1 / Muestra 3

Datos corregidos				ϵ	Area	$\sigma_1 - \sigma_3$	
Tiempo	Presión Cámara	Deformación	Carga Axial			Esfuerzo desviador	
s	kPa	mm	Kg	mm/mm	m2	Kg/m2	kpa
268	299,062	5,425	374,58	0,04049	0,00362	103522,04	1048,86
269	298,529	5,438	375,16	0,04059	0,00362	103671,71	1050,37
270	299,062	5,463	375,16	0,04077	0,00362	103651,55	1050,17
271	298,529	5,488	375,16	0,04096	0,00362	103631,38	1049,96
272	298,529	5,500	375,16	0,04105	0,00362	103621,30	1049,86
273	298,529	5,525	375,16	0,04124	0,00362	103601,14	1049,66
274	298,529	5,550	376,02	0,04143	0,00362	103820,37	1051,88
275	298,529	5,575	376,02	0,04161	0,00362	103800,16	1051,67
276	298,529	5,600	376,02	0,04180	0,00362	103779,95	1051,47
277	298,529	5,625	376,60	0,04199	0,00362	103919,25	1052,88
278	298,529	5,638	376,60	0,04208	0,00362	103909,13	1052,78
279	298,529	5,675	376,60	0,04236	0,00363	103878,77	1052,47
280	299,062	5,688	376,60	0,04245	0,00363	103868,65	1052,37
281	299,062	5,713	377,47	0,04264	0,00363	104087,50	1054,58
282	299,062	5,738	377,47	0,04283	0,00363	104067,21	1054,38
283	298,529	5,763	378,05	0,04301	0,00363	104206,26	1055,79
284	299,062	5,775	377,47	0,04311	0,00363	104036,78	1054,07
285	299,062	5,800	378,05	0,04329	0,00363	104175,78	1055,48
286	299,062	5,813	378,05	0,04339	0,00363	104165,62	1055,38
287	299,062	5,838	378,91	0,04357	0,00363	104384,17	1057,59
288	299,062	5,850	378,91	0,04367	0,00363	104373,99	1057,49
289	299,595	5,875	378,91	0,04385	0,00363	104353,62	1057,28
290	299,595	5,888	378,91	0,04395	0,00363	104343,44	1057,18
291	299,595	5,913	379,49	0,04413	0,00363	104482,22	1058,58
292	300,128	5,925	379,49	0,04423	0,00363	104472,02	1058,48
293	300,661	5,938	380,36	0,04432	0,00363	104700,50	1060,80
294	300,661	5,975	380,94	0,04460	0,00363	104828,91	1062,10
295	300,661	5,988	380,94	0,04469	0,00363	104818,67	1061,99
296	300,128	6,013	381,80	0,04488	0,00363	105036,74	1064,20
297	299,595	6,025	381,80	0,04497	0,00364	105026,48	1064,10
298	299,595	6,050	380,94	0,04516	0,00364	104767,49	1061,47
299	299,062	6,075	380,94	0,04534	0,00364	104747,01	1061,27
300	299,062	6,088	380,94	0,04544	0,00364	104736,78	1061,16
301	299,062	6,113	380,36	0,04562	0,00364	104557,40	1059,35
302	298,529	6,138	380,36	0,04581	0,00364	104536,96	1059,14
303	298,529	6,163	380,36	0,04600	0,00364	104516,51	1058,93
304	299,062	6,175	380,36	0,04609	0,00364	104506,29	1058,83
305	299,595	6,200	380,94	0,04628	0,00364	104644,64	1060,23
306	299,595	6,213	381,80	0,04637	0,00364	104872,57	1062,54
307	299,595	6,238	381,80	0,04656	0,00364	104852,05	1062,33
308	300,128	6,263	381,80	0,04674	0,00364	104831,53	1062,12
309	300,128	6,288	381,80	0,04693	0,00364	104811,00	1061,91
310	300,661	6,300	383,25	0,04702	0,00364	105197,42	1065,83
311	300,661	6,325	383,25	0,04721	0,00364	105176,82	1065,62
312	300,661	6,350	383,25	0,04740	0,00364	105156,22	1065,41
313	299,062	6,363	380,94	0,04749	0,00364	104511,55	1058,88
314	299,595	6,388	380,94	0,04768	0,00365	104491,08	1058,67
315	299,595	6,400	380,94	0,04777	0,00365	104480,84	1058,57
316	299,595	6,425	382,38	0,04796	0,00365	104856,65	1062,38
317	300,128	6,438	382,38	0,04805	0,00365	104846,38	1062,27
318	300,128	6,463	382,38	0,04824	0,00365	104825,82	1062,07
319	300,661	6,488	383,25	0,04842	0,00365	105042,92	1064,26
320	300,661	6,513	383,25	0,04861	0,00365	105022,33	1064,06
321	300,128	6,525	383,25	0,04870	0,00365	105012,03	1063,95
322	300,128	6,550	383,25	0,04889	0,00365	104991,43	1063,74

Cuadro 30 (Continuación). Datos obtenidos en ensayos UU – Suelo 1 / Muestra 3

Datos corregidos				ϵ	Area	$\sigma_1 - \sigma_3$	
Tiempo	Presión Cámara	Deformación	Carga Axial			Esfuerzo desviador	
s	kPa	mm	Kg	mm/mm	m2	Kg/m2	kpa
323	299,595	6,563	383,25	0,04898	0,00365	104981,13	1063,64
324	299,595	6,588	382,38	0,04917	0,00365	104723,06	1061,02
325	299,062	6,613	382,38	0,04936	0,00365	104702,51	1060,82
326	298,529	6,625	381,80	0,04945	0,00365	104533,97	1059,11
327	298,529	6,650	380,94	0,04964	0,00365	104276,10	1056,50
328	299,062	6,663	380,94	0,04973	0,00365	104265,86	1056,39
329	299,062	6,688	381,80	0,04992	0,00365	104482,66	1058,59
330	299,062	6,700	381,80	0,05001	0,00365	104472,40	1058,48
331	299,595	6,725	381,80	0,05020	0,00366	104451,88	1058,28
332	299,595	6,738	381,80	0,05029	0,00366	104441,62	1058,17
333	300,128	6,763	381,80	0,05048	0,00366	104421,10	1057,96
334	299,595	6,788	381,80	0,05066	0,00366	104400,58	1057,76
335	300,128	6,800	382,38	0,05076	0,00366	104548,37	1059,25
336	300,128	6,825	382,38	0,05094	0,00366	104527,81	1059,05
337	300,128	6,838	382,38	0,05104	0,00366	104517,54	1058,94
338	300,661	6,863	383,25	0,05122	0,00366	104733,94	1061,13
339	300,128	6,875	383,25	0,05132	0,00366	104723,64	1061,03
340	300,661	6,900	383,83	0,05150	0,00366	104860,96	1062,42
341	300,661	6,925	383,25	0,05169	0,00366	104682,44	1060,61
342	300,661	6,950	383,83	0,05188	0,00366	104819,70	1062,00
343	300,661	6,975	383,83	0,05206	0,00366	104799,07	1061,79
344	300,661	7,000	383,83	0,05225	0,00366	104778,44	1061,59
345	300,661	7,025	383,83	0,05244	0,00366	104757,81	1061,38
346	300,128	7,038	383,83	0,05253	0,00366	104747,50	1061,27
347	300,128	7,063	383,83	0,05272	0,00367	104726,87	1061,06
348	300,128	7,088	383,83	0,05290	0,00367	104706,24	1060,85
349	300,128	7,113	383,25	0,05309	0,00367	104527,95	1059,05
350	300,128	7,138	383,25	0,05328	0,00367	104507,35	1058,84
351	300,128	7,163	383,83	0,05346	0,00367	104644,35	1060,23
352	300,128	7,175	383,83	0,05356	0,00367	104634,03	1060,12
353	300,128	7,200	383,83	0,05374	0,00367	104613,40	1059,91
354	300,128	7,225	383,83	0,05393	0,00367	104592,77	1059,70
355	300,661	7,238	383,83	0,05402	0,00367	104582,46	1059,60
356	300,661	7,250	383,83	0,05412	0,00367	104572,14	1059,49
357	300,661	7,275	383,83	0,05430	0,00367	104551,51	1059,29
358	300,128	7,300	383,83	0,05449	0,00367	104530,88	1059,08
359	300,661	7,325	383,83	0,05468	0,00367	104510,25	1058,87
360	300,128	7,350	383,25	0,05486	0,00367	104332,26	1057,06
361	299,595	7,363	381,80	0,05495	0,00367	103928,59	1052,97
362	299,595	7,388	382,38	0,05514	0,00367	104065,39	1054,36
363	299,595	7,400	382,38	0,05523	0,00367	104055,11	1054,26
364	299,595	7,425	382,38	0,05542	0,00368	104034,56	1054,05
365	300,128	7,438	382,38	0,05551	0,00368	104024,28	1053,94
366	300,128	7,463	382,38	0,05570	0,00368	104003,73	1053,74
367	300,128	7,475	383,25	0,05579	0,00368	104229,27	1056,02
368	300,128	7,500	383,25	0,05598	0,00368	104208,67	1055,81
369	300,128	7,513	383,25	0,05607	0,00368	104198,37	1055,71
370	300,128	7,525	382,38	0,05617	0,00368	103952,35	1053,22
371	300,128	7,550	381,80	0,05635	0,00368	103774,68	1051,42
372	299,062	7,563	380,94	0,05645	0,00368	103528,77	1048,92
373	299,595	7,588	382,38	0,05663	0,00368	103900,97	1052,69
374	299,595	7,600	381,80	0,05673	0,00368	103733,64	1051,00
375	299,595	7,625	380,94	0,05691	0,00368	103477,58	1048,41
376	299,595	7,650	381,80	0,05710	0,00368	103692,60	1050,58
377	299,595	7,663	381,80	0,05719	0,00368	103682,34	1050,48

Cuadro 30 (Continuación). Datos obtenidos en ensayos UU – Suelo 1 / Muestra 3

Datos corregidos				ϵ	Area	$\sigma_1 - \sigma_3$	
Tiempo	Presión Cámara	Deformación	Carga Axial			Esfuerzo desviador	
s	kPa	mm	Kg	mm/mm	m2	Kg/m2	kpa
378	299,595	7,675	382,38	0,05729	0,00368	103829,03	1051,97
379	300,128	7,700	381,80	0,05747	0,00368	103651,55	1050,17
380	300,128	7,713	382,38	0,05757	0,00368	103798,21	1051,65
381	300,128	7,738	381,80	0,05775	0,00368	103620,77	1049,86
382	300,128	7,763	382,38	0,05794	0,00369	103757,10	1051,24
383	300,128	7,775	382,38	0,05803	0,00369	103746,83	1051,13
384	300,661	7,800	383,25	0,05822	0,00369	103961,48	1053,31
385	300,661	7,825	383,25	0,05841	0,00369	103940,88	1053,10
386	300,661	7,850	383,25	0,05859	0,00369	103920,28	1052,89
387	300,661	7,875	383,25	0,05878	0,00369	103899,68	1052,68
388	300,128	7,900	383,25	0,05897	0,00369	103879,08	1052,47
389	300,128	7,925	383,25	0,05915	0,00369	103858,48	1052,26
390	300,661	7,950	382,38	0,05934	0,00369	103602,96	1049,68
391	299,595	7,963	382,38	0,05943	0,00369	103592,68	1049,57
392	299,595	7,988	382,38	0,05962	0,00369	103572,13	1049,36
393	300,128	8,013	382,38	0,05981	0,00369	103551,58	1049,15
394	299,595	8,038	382,38	0,05999	0,00369	103531,03	1048,95
395	299,595	8,063	381,80	0,06018	0,00369	103353,99	1047,15
396	299,062	8,075	380,94	0,06027	0,00369	103109,04	1044,67
397	299,062	8,113	380,94	0,06055	0,00370	103078,33	1044,36
398	299,062	8,125	380,94	0,06065	0,00370	103068,09	1044,26
399	299,062	8,150	380,94	0,06083	0,00370	103047,62	1044,05
400	298,529	8,175	380,36	0,06102	0,00370	102870,80	1042,26
401	298,529	8,188	380,36	0,06111	0,00370	102860,58	1042,15
402	299,062	8,213	380,36	0,06130	0,00370	102840,14	1041,95
403	299,062	8,238	379,49	0,06149	0,00370	102585,30	1039,36
404	299,062	8,263	380,36	0,06167	0,00370	102799,25	1041,53
405	299,595	8,288	380,36	0,06186	0,00370	102778,81	1041,33
406	299,595	8,300	380,94	0,06195	0,00370	102924,77	1042,80
407	299,062	8,313	379,49	0,06205	0,00370	102524,11	1038,74
408	299,595	8,338	380,36	0,06223	0,00370	102737,92	1040,91
409	299,062	8,350	380,94	0,06233	0,00370	102883,82	1042,39
410	299,062	8,363	380,94	0,06242	0,00370	102873,58	1042,29
411	299,062	8,388	380,36	0,06261	0,00370	102697,03	1040,50
412	299,062	8,413	380,36	0,06279	0,00370	102676,59	1040,29
413	299,062	8,425	380,94	0,06289	0,00370	102822,39	1041,77
414	299,062	8,450	379,49	0,06307	0,00371	102411,93	1037,61
415	298,529	8,475	380,36	0,06326	0,00371	102625,48	1039,77
416	299,062	8,488	379,49	0,06335	0,00371	102381,33	1037,30
417	299,062	8,500	378,91	0,06345	0,00371	102215,20	1035,61
418	299,062	8,525	378,91	0,06363	0,00371	102194,83	1035,41
419	298,529	8,550	378,91	0,06382	0,00371	102174,47	1035,20
420	298,529	8,563	378,91	0,06391	0,00371	102164,28	1035,10
421	299,062	8,588	378,91	0,06410	0,00371	102143,92	1034,89
422	299,062	8,600	378,91	0,06419	0,00371	102133,74	1034,79
423	299,062	8,625	378,91	0,06438	0,00371	102113,37	1034,58
424	299,062	8,638	378,91	0,06447	0,00371	102103,19	1034,48
425	299,595	8,663	378,91	0,06466	0,00371	102082,82	1034,27
426	299,062	8,675	378,91	0,06475	0,00371	102072,64	1034,17
427	299,062	8,700	378,91	0,06494	0,00371	102052,27	1033,96
428	299,595	8,725	378,91	0,06512	0,00371	102031,91	1033,76
429	299,595	8,738	378,91	0,06522	0,00371	102021,72	1033,65
430	299,062	8,763	378,91	0,06540	0,00371	102001,36	1033,45
431	299,595	8,788	378,91	0,06559	0,00372	101980,99	1033,24
432	299,595	8,813	378,91	0,06578	0,00372	101960,63	1033,04

Cuadro 30 (Continuación). Datos obtenidos en ensayos UU – Suelo 1 / Muestra 3							
Datos corregidos				ϵ	Area	$\sigma_1 - \sigma_3$	
Tiempo	Presión Cámara	Deformación	Carga Axial			Esfuerzo desviador	
s	kPa	mm	Kg	mm/mm	m2	Kg/m2	kpa
433	299,595	8,825	378,91	0,06587	0,00372	101950,44	1032,93
434	299,595	8,838	378,05	0,06596	0,00372	101706,99	1030,47
435	299,595	8,863	378,05	0,06615	0,00372	101686,67	1030,26
436	299,062	8,888	378,91	0,06634	0,00372	101899,53	1032,42
437	299,062	8,900	378,05	0,06643	0,00372	101656,19	1029,95
438	299,062	8,925	377,47	0,06662	0,00372	101480,46	1028,17

Nota: los cuadros 28, 29 y 30 son los datos corregidos, adquiridos de los transductores de datos, únicamente para el suelo 1, y sirven de referencia al lector para que se forme una idea de los resultados finales de una prueba No Consolidada No drenada. Los resultados de los otros dos suelos pueden ser revisados en formato digital.

Apéndice 2

Cuadros con resultados experimentales de las primeras pruebas CU realizadas en la máquina triaxial para el suelo 1 (arena arcillosa)

Cuadro 31. Datos obtenidos en ensayos CU – Suelo 1 / Muestra 1

Poro Inf	Presión	Deformación	Carga Axial	ϵ	Area	Esfuerzo desviador	
	Cámara					Kg/m2	kPa
Kpa	Kpa	mm		mm/mm	m2		
99,67	301,73	0,0000	0,0	0,00000	0,00407	0,0	0,00
99,67	301,73	0,0375	5,2	0,00026	0,00407	1277,4	13,02
100,20	301,73	0,0625	15,9	0,00043	0,00407	3902,6	39,78
100,74	301,73	0,0875	25,4	0,00061	0,00407	6243,1	63,64
101,27	301,19	0,1125	35,6	0,00078	0,00407	8724,7	88,94
101,80	301,73	0,1250	44,8	0,00087	0,00408	10993,6	112,06
102,34	301,73	0,1500	52,9	0,00104	0,00408	12977,2	132,29
102,87	301,73	0,1875	60,1	0,00130	0,00408	14746,2	150,32
103,40	301,73	0,2000	68,8	0,00139	0,00408	16871,6	171,98
103,93	301,73	0,2250	76,0	0,00156	0,00408	18640,6	190,02
104,47	301,73	0,2500	83,2	0,00174	0,00408	20409,0	208,04
105,00	301,73	0,2625	90,5	0,00182	0,00408	22178,7	226,08
105,53	301,73	0,2875	97,7	0,00200	0,00408	23946,0	244,10
106,07	301,73	0,3125	103,5	0,00217	0,00408	25358,5	258,50
106,60	301,73	0,3375	112,1	0,00234	0,00408	27478,7	280,11
107,13	301,73	0,3625	117,9	0,00252	0,00408	28890,1	294,50
107,66	301,73	0,3875	124,3	0,00269	0,00408	30442,6	310,32
108,20	301,73	0,4125	132,4	0,00286	0,00408	32419,3	330,47
108,20	301,73	0,4250	138,2	0,00295	0,00408	33832,0	344,87
108,73	301,73	0,4500	143,9	0,00312	0,00408	35241,5	359,24
109,26	301,73	0,4750	152,6	0,00330	0,00408	37357,9	380,81
109,26	301,73	0,5125	158,4	0,00356	0,00409	38762,9	395,14
109,80	301,73	0,5375	166,5	0,00373	0,00409	40736,4	415,25
110,33	301,73	0,5625	172,8	0,00391	0,00409	42284,9	431,04
110,33	301,73	0,5875	180,1	0,00408	0,00409	44045,0	448,98
110,86	301,73	0,6125	187,3	0,00425	0,00409	45804,4	466,92
110,86	301,73	0,6250	195,4	0,00434	0,00409	47779,5	487,05
111,39	301,73	0,6625	201,7	0,00460	0,00409	49321,5	502,77
111,39	301,73	0,6750	209,8	0,00469	0,00409	51295,6	522,89
111,93	301,73	0,7000	216,2	0,00486	0,00409	52840,8	538,64
111,93	301,73	0,7250	224,9	0,00503	0,00409	54950,5	560,15
112,46	301,73	0,7500	233,0	0,00521	0,00409	56918,2	580,21
112,46	301,73	0,7750	239,3	0,00538	0,00409	58461,6	595,94
112,46	301,73	0,8000	248,0	0,00556	0,00409	60569,2	617,42
112,99	301,73	0,8250	256,1	0,00573	0,00409	62534,9	637,46
112,99	301,73	0,8500	263,3	0,00590	0,00410	64288,2	655,33
112,99	301,73	0,8625	271,1	0,00599	0,00410	66187,8	674,70
112,99	301,73	0,8875	279,8	0,00616	0,00410	68292,7	696,15
113,52	301,73	0,9125	285,6	0,00634	0,00410	69691,5	710,41
113,52	301,73	0,9250	294,2	0,00642	0,00410	71801,4	731,92
113,52	301,73	0,9500	302,3	0,00660	0,00410	73763,4	751,92
113,52	301,73	0,9625	308,7	0,00668	0,00410	75308,2	767,67
113,52	301,73	0,9875	314,5	0,00686	0,00410	76705,1	781,91
113,52	301,73	1,0125	321,1	0,00703	0,00410	78312,9	798,30
113,52	301,73	1,0375	326,9	0,00720	0,00410	79708,8	812,53
113,52	301,73	1,0625	332,7	0,00738	0,00410	81104,1	826,75
113,52	301,73	1,0875	337,6	0,00755	0,00410	82287,6	838,81

Cuadro 31 (Continuación). Datos obtenidos en ensayos CU – Suelo 1 / Muestra 1

Poros Inf	Presión Cámara	Deformación	Carga Axial	ϵ	Area	Esfuerzo desviador	
Kpa	Kpa	mm		mm/mm	m2	Kg/m2	kPa
113,52	301,73	1,1125	343,4	0,00773	0,00410	83682,0	853,03
113,52	301,73	1,1375	347,7	0,00790	0,00410	84723,8	863,65
113,52	301,73	1,1500	352,0	0,00799	0,00410	85772,7	874,34
113,52	301,73	1,1750	354,9	0,00816	0,00410	86461,7	881,36
112,99	301,73	1,2125	359,3	0,00842	0,00411	87494,9	891,89
112,99	301,73	1,2500	363,0	0,00868	0,00411	88386,7	900,99
112,99	301,73	1,2750	366,5	0,00885	0,00411	89215,6	909,43
112,99	301,73	1,2875	368,8	0,00894	0,00411	89770,6	915,09
112,99	301,73	1,3125	370,8	0,00911	0,00411	90247,2	919,95
112,46	301,73	1,3375	373,1	0,00929	0,00411	90794,1	925,53
112,46	301,73	1,3625	375,2	0,00946	0,00411	91270,4	930,38
111,93	301,73	1,3875	378,0	0,00964	0,00411	91957,4	937,38
111,93	301,73	1,4125	378,9	0,00981	0,00411	92152,2	939,37
111,93	301,73	1,4500	380,9	0,01007	0,00411	92619,8	944,14
111,39	301,73	1,4625	383,3	0,01016	0,00411	93173,8	949,78
111,39	301,73	1,4875	383,8	0,01033	0,00411	93298,0	951,05
111,39	301,73	1,5125	386,1	0,01050	0,00411	93843,6	956,61
110,86	301,73	1,5375	386,7	0,01068	0,00412	93967,6	957,88
110,86	301,73	1,5625	386,7	0,01085	0,00412	93951,1	957,71
110,86	301,73	1,5875	389,0	0,01102	0,00412	94496,2	963,26
110,33	301,73	1,6125	389,6	0,01120	0,00412	94620,0	964,53
110,33	301,73	1,6375	389,6	0,01137	0,00412	94603,4	964,36
110,33	301,73	1,6625	391,1	0,01155	0,00412	94937,7	967,76
109,80	301,73	1,6750	392,5	0,01163	0,00412	95280,1	971,26
109,80	301,73	1,7000	392,5	0,01181	0,00412	95263,4	971,08
109,26	301,73	1,7250	393,4	0,01198	0,00412	95457,1	973,06
109,26	301,73	1,7500	394,8	0,01215	0,00412	95790,9	976,46
108,73	301,73	1,7750	395,4	0,01233	0,00412	95914,3	977,72
108,73	301,73	1,8000	395,4	0,01250	0,00412	95897,4	977,55
108,73	301,73	1,8250	395,4	0,01267	0,00412	95880,6	977,38
108,20	301,73	1,8500	396,3	0,01285	0,00412	96074,0	979,35
108,20	301,73	1,8750	396,8	0,01302	0,00413	96197,2	980,60
108,20	301,73	1,9000	397,7	0,01319	0,00413	96390,4	982,57
107,66	301,73	1,9250	398,3	0,01337	0,00413	96513,5	983,83
107,66	301,73	1,9500	398,3	0,01354	0,00413	96496,6	983,66
107,13	301,73	1,9750	398,3	0,01372	0,00413	96479,6	983,48
107,13	301,73	1,9875	398,3	0,01380	0,00413	96471,1	983,40
107,13	301,73	2,0125	398,3	0,01398	0,00413	96454,1	983,22
106,60	301,73	2,0500	398,3	0,01424	0,00413	96428,6	982,96
106,60	301,73	2,0750	399,1	0,01441	0,00413	96621,5	984,93
106,07	301,73	2,1000	399,7	0,01458	0,00413	96744,4	986,18
106,07	301,73	2,1250	400,6	0,01476	0,00413	96937,2	988,15
105,53	301,73	2,1500	400,6	0,01493	0,00413	96920,1	987,97
105,53	301,73	2,1625	401,2	0,01502	0,00413	97051,4	989,31
105,53	301,73	2,2000	401,2	0,01528	0,00413	97025,8	989,05
105,00	301,73	2,2250	401,2	0,01545	0,00414	97008,7	988,88
105,00	301,73	2,2500	401,2	0,01563	0,00414	96991,5	988,70
104,47	301,73	2,2750	401,2	0,01580	0,00414	96974,4	988,53
104,47	301,73	2,3000	401,2	0,01597	0,00414	96957,3	988,35

Cuadro 31 (Continuación). Datos obtenidos en ensayos CU – Suelo 1 / Muestra 1							
Poros Inf	Presión Cámara	Deformación	Carga Axial	ϵ	Area	Esfuerzo desviador	
Kpa	Kpa	mm		mm/mm	m ²	Kg/m ²	kPa
104,47	301,73	2,3250	401,2	0,01615	0,00414	96940,2	988,18
103,93	301,73	2,3500	401,2	0,01632	0,00414	96923,1	988,00
103,93	301,73	2,3750	401,2	0,01649	0,00414	96906,0	987,83
103,93	301,73	2,4000	401,2	0,01667	0,00414	96888,9	987,65
103,40	301,73	2,4250	401,2	0,01684	0,00414	96871,8	987,48
103,40	301,73	2,4500	401,2	0,01701	0,00414	96854,7	987,31
102,87	301,73	2,4750	402,0	0,01719	0,00414	97046,9	989,26
102,87	301,73	2,5000	402,6	0,01736	0,00414	97169,3	990,51
102,34	301,73	2,5125	402,0	0,01745	0,00414	97021,2	989,00
102,34	301,73	2,5375	403,5	0,01762	0,00414	97352,7	992,38
102,34	301,73	2,5625	402,6	0,01780	0,00415	97126,3	990,07
101,80	301,73	2,5750	404,1	0,01788	0,00415	97466,4	993,54
101,80	301,73	2,6000	404,1	0,01806	0,00415	97449,1	993,37
101,27	301,73	2,6250	404,1	0,01823	0,00415	97431,9	993,19
101,27	301,73	2,6500	403,5	0,01840	0,00415	97275,3	991,59
101,27	301,73	2,6750	404,1	0,01858	0,00415	97397,4	992,84
100,74	301,73	2,7000	404,1	0,01875	0,00415	97380,2	992,66
100,74	301,73	2,7250	404,1	0,01892	0,00415	97363,0	992,49
100,20	301,73	2,7500	404,1	0,01910	0,00415	97345,7	992,31
100,20	301,73	2,7750	404,1	0,01927	0,00415	97328,5	992,14
100,20	301,73	2,8125	404,1	0,01953	0,00415	97302,7	991,87
100,20	301,73	2,8375	404,1	0,01970	0,00415	97285,4	991,70
99,67	301,73	2,8625	404,1	0,01988	0,00415	97268,2	991,52
99,67	301,73	2,8875	404,1	0,02005	0,00415	97251,0	991,35
99,67	301,73	2,9125	404,1	0,02023	0,00416	97233,8	991,17
99,67	301,73	0,0000	0,0	0,00000	0,00407	0,0	0,00
99,67	301,73	0,0375	5,2	0,00026	0,00407	1277,4	13,02
100,20	301,73	0,0625	15,9	0,00043	0,00407	3902,6	39,78
100,74	301,73	0,0875	25,4	0,00061	0,00407	6243,1	63,64
101,27	301,19	0,1125	35,6	0,00078	0,00407	8724,7	88,94
101,80	301,73	0,1250	44,8	0,00087	0,00408	10993,6	112,06
102,34	301,73	0,1500	52,9	0,00104	0,00408	12977,2	132,29
102,87	301,73	0,1875	60,1	0,00130	0,00408	14746,2	150,32
103,40	301,73	0,2000	68,8	0,00139	0,00408	16871,6	171,98
103,93	301,73	0,2250	76,0	0,00156	0,00408	18640,6	190,02
104,47	301,73	0,2500	83,2	0,00174	0,00408	20409,0	208,04
105,00	301,73	0,2625	90,5	0,00182	0,00408	22178,7	226,08
105,53	301,73	0,2875	97,7	0,00200	0,00408	23946,0	244,10
106,07	301,73	0,3125	103,5	0,00217	0,00408	25358,5	258,50
106,60	301,73	0,3375	112,1	0,00234	0,00408	27478,7	280,11
107,13	301,73	0,3625	117,9	0,00252	0,00408	28890,1	294,50
107,66	301,73	0,3875	124,3	0,00269	0,00408	30442,6	310,32
108,20	301,73	0,4125	132,4	0,00286	0,00408	32419,3	330,47
108,20	301,73	0,4250	138,2	0,00295	0,00408	33832,0	344,87
108,73	301,73	0,4500	143,9	0,00312	0,00408	35241,5	359,24
109,26	301,73	0,4750	152,6	0,00330	0,00408	37357,9	380,81
109,26	301,73	0,5125	158,4	0,00356	0,00409	38762,9	395,14
109,80	301,73	0,5375	166,5	0,00373	0,00409	40736,4	415,25
110,33	301,73	0,5625	172,8	0,00391	0,00409	42284,9	431,04

Cuadro 31 (Continuación). Datos obtenidos en ensayos CU – Suelo 1 / Muestra 1

Poros Inf	Presión Cámara	Deformación	Carga Axial	ϵ	Area	Esfuerzo desviador	
Kpa	Kpa	mm		mm/mm	m2	Kg/m2	kPa
110,33	301,73	0,5875	180,1	0,00408	0,00409	44045,0	448,98
110,86	301,73	0,6125	187,3	0,00425	0,00409	45804,4	466,92
110,86	301,73	0,6250	195,4	0,00434	0,00409	47779,5	487,05
111,39	301,73	0,6625	201,7	0,00460	0,00409	49321,5	502,77
111,39	301,73	0,6750	209,8	0,00469	0,00409	51295,6	522,89
111,93	301,73	0,7000	216,2	0,00486	0,00409	52840,8	538,64
111,93	301,73	0,7250	224,9	0,00503	0,00409	54950,5	560,15
112,46	301,73	0,7500	233,0	0,00521	0,00409	56918,2	580,21
112,46	301,73	0,7750	239,3	0,00538	0,00409	58461,6	595,94
112,46	301,73	0,8000	248,0	0,00556	0,00409	60569,2	617,42
112,99	301,73	0,8250	256,1	0,00573	0,00409	62534,9	637,46
112,99	301,73	0,8500	263,3	0,00590	0,00410	64288,2	655,33
112,99	301,73	0,8625	271,1	0,00599	0,00410	66187,8	674,70
112,99	301,73	0,8875	279,8	0,00616	0,00410	68292,7	696,15
113,52	301,73	0,9125	285,6	0,00634	0,00410	69691,5	710,41
113,52	301,73	0,9250	294,2	0,00642	0,00410	71801,4	731,92
113,52	301,73	0,9500	302,3	0,00660	0,00410	73763,4	751,92
113,52	301,73	0,9625	308,7	0,00668	0,00410	75308,2	767,67
113,52	301,73	0,9875	314,5	0,00686	0,00410	76705,1	781,91
113,52	301,73	1,0125	321,1	0,00703	0,00410	78312,9	798,30
113,52	301,73	1,0375	326,9	0,00720	0,00410	79708,8	812,53
113,52	301,73	1,0625	332,7	0,00738	0,00410	81104,1	826,75
113,52	301,73	1,0875	337,6	0,00755	0,00410	82287,6	838,81
113,52	301,73	1,1125	343,4	0,00773	0,00410	83682,0	853,03
113,52	301,73	1,1375	347,7	0,00790	0,00410	84723,8	863,65
113,52	301,73	1,1500	352,0	0,00799	0,00410	85772,7	874,34
113,52	301,73	1,1750	354,9	0,00816	0,00410	86461,7	881,36
112,99	301,73	1,2125	359,3	0,00842	0,00411	87494,9	891,89
112,99	301,73	1,2500	363,0	0,00868	0,00411	88386,7	900,99
112,99	301,73	1,2750	366,5	0,00885	0,00411	89215,6	909,43
112,99	301,73	1,2875	368,8	0,00894	0,00411	89770,6	915,09
112,99	301,73	1,3125	370,8	0,00911	0,00411	90247,2	919,95
112,46	301,73	1,3375	373,1	0,00929	0,00411	90794,1	925,53
112,46	301,73	1,3625	375,2	0,00946	0,00411	91270,4	930,38
111,93	301,73	1,3875	378,0	0,00964	0,00411	91957,4	937,38
111,93	301,73	1,4125	378,9	0,00981	0,00411	92152,2	939,37
111,93	301,73	1,4500	380,9	0,01007	0,00411	92619,8	944,14
111,39	301,73	1,4625	383,3	0,01016	0,00411	93173,8	949,78
111,39	301,73	1,4875	383,8	0,01033	0,00411	93298,0	951,05
111,39	301,73	1,5125	386,1	0,01050	0,00411	93843,6	956,61
110,86	301,73	1,5375	386,7	0,01068	0,00412	93967,6	957,88
110,86	301,73	1,5625	386,7	0,01085	0,00412	93951,1	957,71
110,86	301,73	1,5875	389,0	0,01102	0,00412	94496,2	963,26
110,33	301,73	1,6125	389,6	0,01120	0,00412	94620,0	964,53
110,33	301,73	1,6375	389,6	0,01137	0,00412	94603,4	964,36
110,33	301,73	1,6625	391,1	0,01155	0,00412	94937,7	967,76
109,80	301,73	1,6750	392,5	0,01163	0,00412	95280,1	971,26
109,80	301,73	1,7000	392,5	0,01181	0,00412	95263,4	971,08
109,26	301,73	1,7250	393,4	0,01198	0,00412	95457,1	973,06

Cuadro 31 (Continuación). Datos obtenidos en ensayos CU – Suelo 1 / Muestra 1							
Poros Inf	Presión Cámara	Deformación	Carga Axial	ϵ	Area	Esfuerzo desviador	
Kpa	Kpa	mm		mm/mm	m2	Kg/m2	kPa
109,26	301,73	1,7500	394,8	0,01215	0,00412	95790,9	976,46
108,73	301,73	1,7750	395,4	0,01233	0,00412	95914,3	977,72
108,73	301,73	1,8000	395,4	0,01250	0,00412	95897,4	977,55
108,73	301,73	1,8250	395,4	0,01267	0,00412	95880,6	977,38
108,20	301,73	1,8500	396,3	0,01285	0,00412	96074,0	979,35
108,20	301,73	1,8750	396,8	0,01302	0,00413	96197,2	980,60
108,20	301,73	1,9000	397,7	0,01319	0,00413	96390,4	982,57
107,66	301,73	1,9250	398,3	0,01337	0,00413	96513,5	983,83
107,66	301,73	1,9500	398,3	0,01354	0,00413	96496,6	983,66
107,13	301,73	1,9750	398,3	0,01372	0,00413	96479,6	983,48
107,13	301,73	1,9875	398,3	0,01380	0,00413	96471,1	983,40
107,13	301,73	2,0125	398,3	0,01398	0,00413	96454,1	983,22
106,60	301,73	2,0500	398,3	0,01424	0,00413	96428,6	982,96
106,60	301,73	2,0750	399,1	0,01441	0,00413	96621,5	984,93
106,07	301,73	2,1000	399,7	0,01458	0,00413	96744,4	986,18
106,07	301,73	2,1250	400,6	0,01476	0,00413	96937,2	988,15
105,53	301,73	2,1500	400,6	0,01493	0,00413	96920,1	987,97
105,53	301,73	2,1625	401,2	0,01502	0,00413	97051,4	989,31
105,53	301,73	2,2000	401,2	0,01528	0,00413	97025,8	989,05
105,00	301,73	2,2250	401,2	0,01545	0,00414	97008,7	988,88
105,00	301,73	2,2500	401,2	0,01563	0,00414	96991,5	988,70
104,47	301,73	2,2750	401,2	0,01580	0,00414	96974,4	988,53
104,47	301,73	2,3000	401,2	0,01597	0,00414	96957,3	988,35
104,47	301,73	2,3250	401,2	0,01615	0,00414	96940,2	988,18
103,93	301,73	2,3500	401,2	0,01632	0,00414	96923,1	988,00
103,93	301,73	2,3750	401,2	0,01649	0,00414	96906,0	987,83
103,93	301,73	2,4000	401,2	0,01667	0,00414	96888,9	987,65
103,40	301,73	2,4250	401,2	0,01684	0,00414	96871,8	987,48
103,40	301,73	2,4500	401,2	0,01701	0,00414	96854,7	987,31
102,87	301,73	2,4750	402,0	0,01719	0,00414	97046,9	989,26
102,87	301,73	2,5000	402,6	0,01736	0,00414	97169,3	990,51
102,34	301,73	2,5125	402,0	0,01745	0,00414	97021,2	989,00
102,34	301,73	2,5375	403,5	0,01762	0,00414	97352,7	992,38
102,34	301,73	2,5625	402,6	0,01780	0,00415	97126,3	990,07
101,80	301,73	2,5750	404,1	0,01788	0,00415	97466,4	993,54
101,80	301,73	2,6000	404,1	0,01806	0,00415	97449,1	993,37
101,27	301,73	2,6250	404,1	0,01823	0,00415	97431,9	993,19
101,27	301,73	2,6500	403,5	0,01840	0,00415	97275,3	991,59
101,27	301,73	2,6750	404,1	0,01858	0,00415	97397,4	992,84
100,74	301,73	2,7000	404,1	0,01875	0,00415	97380,2	992,66
100,74	301,73	2,7250	404,1	0,01892	0,00415	97363,0	992,49
100,20	301,73	2,7500	404,1	0,01910	0,00415	97345,7	992,31
100,20	301,73	2,7750	404,1	0,01927	0,00415	97328,5	992,14
100,20	301,73	2,8125	404,1	0,01953	0,00415	97302,7	991,87
100,20	301,73	2,8375	404,1	0,01970	0,00415	97285,4	991,70
99,67	301,73	2,8625	404,1	0,01988	0,00415	97268,2	991,52
99,67	301,73	2,8875	404,1	0,02005	0,00415	97251,0	991,35
99,67	301,73	2,9125	404,1	0,02023	0,00416	97233,8	991,17

Anexos

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.) INCLUYENDO IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN

DIVISIÓN MAYOR		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO				
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 ⊕	Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE ½ cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	DETERMÍNESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla No. 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE: Menos del 5%-GW,GP,SW,SP; más del 12%: GM,GC,SM,SC. Entre 5% y 12%: Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles **			
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD C_u : mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA C_c : entre 1 y 3. $C_u = D_{60} / D_{10}$ $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$		
			* GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo		d	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.	Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
			u					
			GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla		LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.	No satisfacen todos los requisitos de graduación para GW.	
			ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE ½ cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas		SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	$C_u = D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3.
		ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas		* SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.	Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.	
		ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas		d				
		SP		Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	u	LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.	No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW	
		SC		Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.	Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.		
		* SM		Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	d	LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.	Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.	
		u						
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 ⊕ Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo C – Arcilla, W – Bien Graduada, P – Mal Graduada, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad				
		CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.					
		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.					
	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomeáceos, más elásticos.					
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.					
		OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.					
	P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.						
	CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.)							

** CLASIFICACIÓN DE FRONTERA- LOS SUELOS QUE POSEAN LAS CARACTERÍSTICAS DE DOS GRUPOS SE DESIGNAN CON LA COMBINACIÓN DE LOS DOS SÍMBOLOS; POR EJEMPLO GW-GC, MEZCLA DE ARENA Y GRAVA BIEN GRADUADAS CON CEMENTANTE ARCILLOSO.

⊕ TODOS LOS TAMAÑOS DE LAS MALLAS EN ESTA CARTA SON LOS U.S. STANDARD.

* LA DIVISIÓN DE LOS GRUPOS GM Y SM EN SUBDIVISIONES d Y u SON PARA CAMINOS Y AEROPUERTOS UNICAMENTE, LA SUB-DIVISIÓN ESTA BASADA EN LOS LÍMITES DE ATTERBERG EL SUFIJO d SE USA CUANDO EL L.L. ES DE 28 O MENOS Y EL I.P. ES DE 6 O MENOS. EL SUFIJO u ES USADO CUANDO EL L.L. ES MAYOR QUE 28.

