

123
291



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

ADECUACION DE UN MARCO Y EQUIPO
TRIAxIAL PARA PRUEBAS DE
INVESTIGACION CON ESFUERZO
CONTROLADO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
SUSANA VELASCO MATIAS



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Ciudad Universitaria



1997



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-059/95

Señorita
SUSANA VELASCO MATIAS
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. HECTOR ALFREDO LEGORRETA CUEVAS, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**ADECUACION DE UN MARCO Y EQUIPO TRIAXIAL PARA PRUEBAS DE
INVESTIGACION CON ESFUERZO CONTROLADO**

- I. INTRODUCCION
- II. MARCOS TRIAXIALES DE ESFUERZO CONTROLADO
- III. CAMARAS TRIAXIALES
- IV. FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO
- V. PROCEDIMIENTOS DE ENSAYES TRIAXIALES
- VI. PRUEBAS PRELIMINARES
- VI. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 11 de julio de 1995.
EL DIRECTOR

ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/GMP*nl

A mis padres:

*Javier Velasco N.
Hortensia Matías de V.*

*Por la comprensión y cariño que me han brindado
a lo largo de mi vida haciendo posible con ello el logro
de mis metas.*

A mis hermanos:

*H. Javier Velasco M.
Gabriel Velasco M.*

Por sus consejos y apoyo incondicional.

A mis amigos:

*Agustín López C.
Victor M. Rodríguez J.
Gerardo Reyes A.
Marco A. Rodríguez J.
Alfredo Salas R.
Jesus Granados J.*

*Por compartir conmigo conocimientos, experiencias
y buenos momentos.*

A mi amiga:

Angélica Garrido J.

*Por estar a mi lado en los momentos
que más la he necesitado.*

*Agradeco a todo el personal del laboratorio de Mecánica de Fluidos
de la Facultad de Ingeniería su ayuda prestada durante la
elaboración de este trabajo.*

INDICE

- I INTRODUCCION
 - I.1 Antecedentes.
 - I.2 Objetivos.
- II MARCOS TRAXIALES DE ESFUERZO CONTROLADO
 - II.1 Descripción del Equipo.
 - II.2 Modificaciones Realizadas.
- III CAMARAS TRAXIALES
 - III.1 Descripción del Equipo.
 - III.2 Modificaciones Realizadas.
- IV FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO
 - IV.1 Sistema Mecánico.
 - IV.2 Sistema Neumático (Medición de presión confinante).
 - IV.3 Sistema de Vacío.
 - IV.4 Sistema de cambios volumétricos.
 - IV.5 Sistema eléctrico (Medición de presión de poro)
- V PROCEDIMIENTO DE ENSAYES TRIAXIALES
 - V.1 Saturación del equipo.
 - V.2 Montaje.
 - V.2.1 En arena.
 - V.2.2 En arcilla.
 - V.3 Saturación de la probeta.
 - V.4 Etapa de consolidación.
 - V.5 Etapa de falla.
 - V.6 Desmontaje
- VI PRUEBAS PRELIMINARES
 - VI.1 Información obtenida de la prueba.
 - VI.2 Procesamiento de la información
 - VI.3 Interpretación de resultados
- VII CONCLUSIONES

Referencias

Bibliografía

I INTRODUCCIÓN

I.1 ANTECEDENTES

Los ensayos en compresión triaxial son, en la actualidad, uno de los mejores procedimientos para determinar las características esfuerzo-deformación y la ley de resistencia al esfuerzo cortante de los suelos en el laboratorio. Existen dos tipos de ensaye triaxial, el primero de ellos es el de prueba triaxial mediante el esfuerzo controlado; en la cual se tiene dominio sobre las cargas que se le aplican a la muestra de suelo, para así poder conocer siempre el esfuerzo durante toda la prueba, y el segundo tipo de prueba es el de deformación controlada, que consiste en conocer durante toda la prueba los cambios de altura que va teniendo la muestra de suelo. En este trabajo se describe y analiza las pruebas triaxiales de esfuerzo controlado.

Para obtener las características esfuerzo-deformación, se utiliza una cámara triaxial donde se ensayan probetas de forma cilíndrica, las cuales pueden ser o no sometidas a un esfuerzo confinante isotrópico constante producido por un fluido, posteriormente se aplica un esfuerzo axial progresivamente creciente aplicado por un dispositivo de carga.

En el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería se cuenta con un marco triaxial en operación y éste se utiliza para que los alumnos de la Facultad realicen sus prácticas y para que los profesores de tiempo completo lleven a cabo algunos ensayos. El equipo con el que cuenta la Facultad tiene muchas carencias, ya que, aunque los resultados que se obtienen de las pruebas realizadas son aceptables, el problema radica en el procedimiento para llevar a cabo ciertas etapas en un ensaye triaxial, incomodidad para realizar las pruebas de larga duración y de algunos elementos que alteran de cierta forma las pruebas que se realizan. Lo anterior nos conduce a una falta de funcionalidad en las instalaciones y a un mayor ordenamiento en los elementos que conforman el marco triaxial existente, con el objeto de realizar pruebas de tipo académico, de investigación y para obtener mayor precisión en los resultados obtenidos.

Observando las carencias antes mencionadas, surge la inquietud de querer adecuar un segundo marco y equipo triaxial con el que se cuenta en la Facultad y que es motivo de este trabajo escrito, el cual se divide principalmente en tres partes:

La primera parte da un conocimiento general del equipo actual con el que cuenta el laboratorio, explicando cada una de sus partes y haciendo notar sus carencias.

La segunda parte comprende los trabajos que se realizaron en el marco triaxial, las modificaciones en el equipo triaxial y la fabricación de piezas nuevas explicando cada una de ellas, así como las ventajas que se tienen al utilizar el equipo.

La última parte abarca el funcionamiento del nuevo equipo triaxial y la ejecución de pruebas triaxiales piloto procesando la información obtenida e interpretando sus resultados.

1.2 OBJETIVO.

El objeto de este trabajo, es fundamentalmente mejorar y aumentar el número de marcos triaxiales y por lo tanto el número de cámaras triaxiales en funcionamiento con que cuenta el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería, atendiendo a las carencias de funcionalidad del marco y cámaras triaxiales que se operan actualmente y tener con el equipo nuevo un mejor control sobre las variables que actúan en las pruebas que se llevan a cabo.

Este trabajo va dirigido a los alumnos de la carrera de Ingeniería civil y a los maestros de el área de Geotécnia para proporcionar una idea más amplia de las partes que forman el marco triaxial, la función de cada una de ellas y los procesos de la información, que en la mayoría de las veces no se imparten en el salón de clase, pero que son de gran importancia para la formación del ingeniero.

Se espera sea de gran ayuda para quienes deseen conocer sobre las pruebas de laboratorio, ya que este trabajo puede ser utilizado como: manual para desarrollar pruebas triaxiales, guía de construcción y manual de manejo del marco triaxial para las empresas dedicadas a esta rama de la Ingeniería Civil.

Se aspira a que una persona que no se dedique a ésta rama de la ingeniería pueda encontrar material que le sea de utilidad.

II. MARCOS TRIAXIALES DE ESFUERZO CONTROLADO

II.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO ORIGINAL

El marco triaxial, hecho de ángulo de acero de 1.66 X 2.18 m posee diferentes partes que constituyen los sistemas que se utilizan en una prueba triaxial. A continuación se enlistan las partes más importantes del marco triaxial que se encuentra en el laboratorio de Mecánica de Suelos:

- Una estructura metálica
- Portapesas, marco de carga, contrapeso y poleas
- Bureta para medir deformaciones volumétricas.
- Vaso de policarbonato donde se aplica la presión confinante que se transmite a la cámara.
- Tanque con agua para abastecer a las cámaras de fluido confinante, introduciendo presión al tanque para que el agua pueda subir.
- Manómetro que mide la presión en el tanque con agua.
- Columna de mercurio para medir la presión confinante.
- Manómetro que mide la presión confinante con su regulador de presión.
- Sistema de válvulas para mandar el agua del tanque al vaso y a la cámara triaxial para posteriormente comunicar únicamente el vaso y la cámara triaxial.
- Manómetro y regulador que mide y controla respectivamente la contrapresión que se introduce en la bureta.
- Todas las conexiones están hechas con tubo de plástico que soportan una presión de 10 kg/cm².

INSTALACIONES

- Instalación hidráulica.
- Instalación de aire a presión.

El marco triaxial de esfuerzo controlado consta de los siguientes sistemas:

- Sistema de drenaje y contrapresión.
- Sistema de aplicación de cargas.
- Sistema de aplicación de esfuerzo confinante.

SISTEMA DE DRENAJE Y CONTRAPRESIÓN

El sistema de drenaje consta de dos válvulas y una bureta. A través de las válvulas y la bureta se hace llegar agua a la muestra de suelo y saturarla solo por capilaridad, así mismo este sistema sirve posteriormente para captar el agua expulsada por el fenómeno de consolidación.

En lo que respecta al sistema de contrapresión, éste consta de un regulador con su manómetro que registra la presión que se le aplica al agua de la bureta que esta en contacto con el agua de la muestra de suelo, esta presión está en función de la profundidad a la que se encuentra el suelo, a la ubicación del NAF y debe ser menor al esfuerzo confinante.

Las desventajas que se tienen en este sistema son:

- Dificultad en la lectura de las mediciones en la bureta, ya que éstas se realizan a través de una cinta métrica que se encuentra colocada en el bastidor que sostiene también a la bureta, en donde los ejes de la cinta y la bureta no coinciden, por lo que es difícil leerla.
- El sistema trabaja con agua corriente directa de la instalación lo que ocasiona que la muestra saturada tenga grandes cantidades de aire.
- Al usarse agua corriente, que posee sales propias, se contamina a la muestra de suelo.
- La falta de funcionalidad en el llenado de las buretas es otro problema de este sistema ya que el acceso para controlar la válvula de llenado se encuentra en la parte inferior del bastidor y hay que atravesar parte del equipo para llegar a ella.

- No se tiene un completo control en el llenado y desalojo del agua en la muestra de suelo, es decir, la capacidad de almacenamiento de la bureta es poca cuando se trata de saturar la probeta, lo que hace necesario el uso de un depósito con mayor capacidad, este último no presente en la instalación.
- No es posible circular agua para saturar la probeta.
- No es posible manejar agua destilada y desaireada.
- Dificultad para controlar la contrapresión por la ubicación del manómetro y el regulador.
- Falta funcionalidad en el proceso de saturación del sistema.

SISTEMA DE APLICACIÓN DE LA CARGA

El sistema consta de un portapesas, marco de carga, contrapeso, y poleas. El sistema se encuentra en equilibrio, por lo tanto, al colocar peso alguno en el portapesas, a cualquier altura el marco de carga permanecerá en esa posición sin moverse.

El vástago que transmite la carga hacia la muestra de suelo, también se encuentra en equilibrio, puede ser considerado o no dentro de este sistema ya que transmite la carga a la muestra de suelo, pero se encuentra dentro de los elementos de la cámara triaxial.

La deformación que sufre el espécimen debido al peso que se le va proporcionando, se mide colocando un micrómetro sobre el marco de carga.

SISTEMA DE APLICACIÓN DE ESFUERZO CONFINANTE

A este sistema lo forman; un vaso de policarbonato y dos válvulas de paso hacia la cámara, además de un regulador con su manómetro que permite medir la presión que se aplica a las cámaras.

El sistema funciona de la siguiente manera; se mantienen cerradas las válvulas del vaso de policarbonato y la del llenado de la cámara triaxial, se aplica una presión de 2 kg/cm² al tanque de agua, se abre la válvula (1) que se encuentra

entre el tanque y el vaso, posteriormente se abre la válvula (2) que está en la parte inferior del vaso para que se llene a un nivel tal que coincida con el punto medio de la altura de la probeta, se cierra la válvula (2) y se abre la válvula (3) que corresponde al llenado de la cámara triaxial, una vez llena se cierran las válvulas (3) y (1) y se coloca el pivote de la cámara. Se busca ajustar la presión con el regulador al ir observando el manómetro y se aplica el esfuerzo confinante a la probeta con su respectivo peso en el portapesas, abriendo las válvulas (2) y (3). Fig. II.1a y II.1b.

Las desventajas son:

- Los elementos que conforman el sistema no se encuentran de manera organizada y dificulta su manejo de todas las partes.
- Por falta de organización de los elementos no se hace un adecuado aprovechamiento de las instalaciones.
- Dificultad para realizar alguna reparación en la instalación de aire a presión o del agua por estar en un lugar poco accesible.
- Se utiliza equipo de más (Manómetros y válvulas).

II.2 MODIFICACIONES REALIZADAS

A continuación se presenta una relación de las modificaciones que se realizaron en el nuevo marco triaxial con respecto al que se tiene en operación, después se explicará cada una de estas modificaciones. Es importante hacer mención que para la construcción del marco triaxial, se contaba únicamente con la estructura metálica, en donde se encontraba instalado el marco de carga, contrapesas y poleas. Fig. II.2a.

- Las instalaciones del aire, agua y vacío antes de que lleguen al marco triaxial.
- Un tablero central de mayores dimensiones, donde se controla la saturación, el drenaje de las muestras y la contrapresión.
- Tableros laterales donde se controla el llenado de las cámaras, así como la presión confinante.
- Se colocó en la parte superior del tablero central un garrfón de vidrio con agua destilada y desaireada para la saturación del sistema y de las probetas.

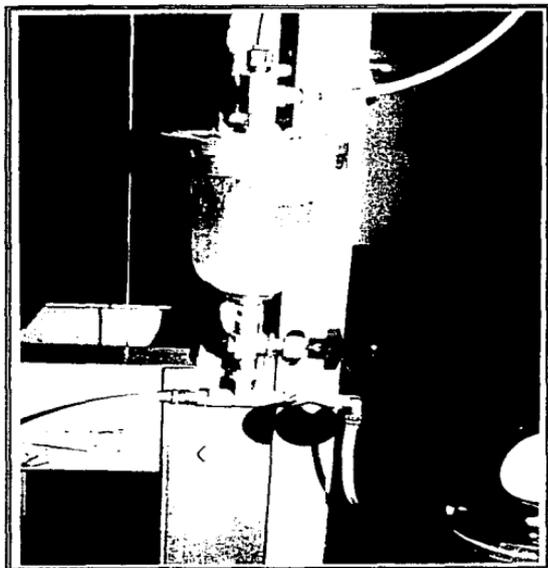


Fig. II.1a

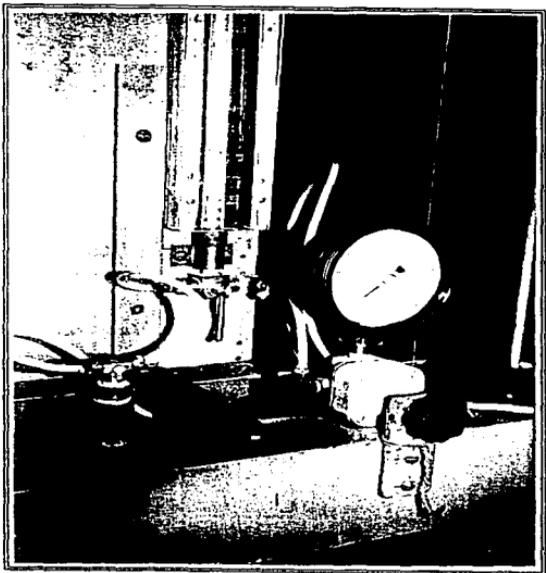


Fig. II.1b

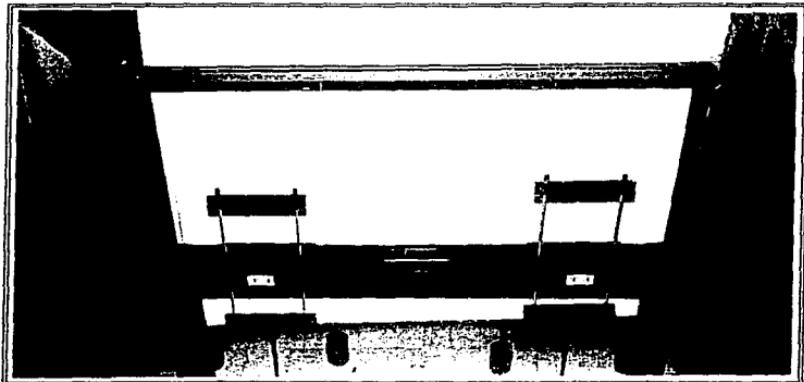


Fig. II.2a

- Se hizo llegar una línea para el agua hasta donde se encuentran los tanques facilitando el cambio del agua en cada uno de ellos con su respectiva toma para el llenado de los mismos.
- Distribución del aire a presión a todos los tableros.
- Se colocaron vacuómetros de manera provisional.
- Se eliminó el manómetro y el pivote de los tanques con agua para el llenado de las cámaras.

A continuación se explica cada una de las modificaciones realizadas:

INSTALACIONES DE AGUA, AIRE A PRESIÓN Y VACÍO ANTES DE LLEGAR AL MARCO TRIAXIAL

Este fue uno de los primeros pasos que se dieron para la elaboración de este trabajo. Se adquirieron tubos de cobre, válvulas, codos, abrazaderas conectores y tuercas unión; todos ellos de 1/2" de diámetro para hacer la instalación hidráulica, de aire a presión y de vacío. Una vez soldados todos los tubos se procedió a pintarlos de acuerdo a la convención; blanco para vacío; verde para aire a presión y azul para agua, se colocaron a lo largo de la pared y del techo hasta quedar exactamente arriba del marco para después hacer llegar los fluidos al marco por medio de mangueras.

TABLERO CENTRAL DONDE SE CONTROLA EL DRENAJE DE LA MUESTRA Y LA CONTRAPRESIÓN

El tablero es de madera, en éste se encuentra el sistema de cambios volumétricos y contrapresión.

Para el sistema de drenaje se adquirieron dos buretas de caldera de 1/2" de diámetro las cuales soportan 10 kg/cm² de presión interna, 14 válvulas con sus respectivas conexiones, dos manómetros, dos reguladores y dos vasos de policarbonato.

El aire a presión entra a este sistema a través de una "T" que lo distribuye a cada uno de los reguladores; mediante una manguera flexible de 1/4", una vez que llega al regulador, éste lo distribuye con la presión deseada al manómetro; que sirve

para medir la presión aplicada a la buteta y al vaso de policarbonato. Fig. 1, II.2b, II.2c y II.2d.

TABLEROS LATERALES DONDE SE CONTROLA EL LLENADO DE LAS CÁMARAS Y LA PRESIÓN CONFINANTE

Estos tableros son de dimensiones más pequeñas que el central y cada uno de ellos se localiza en cada costado del marco. En estos tableros se localiza el sistema de presión confinante y además se controla el llenado de agua para las cámaras triaxiales.

En este sistema, a diferencia del equipo original, sus elementos ya se encuentran organizados en un mismo lugar, lo que garantiza un mejor manejo y aprovechamiento de las instalaciones. Cada tablero lo componen un regulador, un manómetro, un vaso de policarbonato y una válvula.

El aire a presión entra al regulador y que lo envía a través de un tubo plástico de $\frac{1}{4}$ " , a la válvula que lo distribuye hacia el vaso de policarbonato, cámara triaxial o al tanque de agua, según la operación a realizar. Fig. 2 y II.2e.

ELIMINACIÓN DE MANÓMETRO Y PIVOTE DE LOS TANQUES CON AGUA PARA EL LLENADO DE LAS CÁMARAS

El funcionamiento del tanque original es de la siguiente manera:

Se utiliza una manguera, conectada a la línea de presión, para aplicar ésta al tanque mediante un conector rápido y un pivote en el tanque. El manómetro en los tanques nos indica la cantidad de presión aplicada a cada uno de ellos. El manejo de la manguera es estorboso y en ocasiones la conexión rápida no es muy segura, ya que se ejerce presión para evitar fugas.

Ahora con el nuevo equipo se eliminó el pivote ya que la conexión del aire a presión al tanque es permanente y se le proporciona a través de los tableros laterales con solo operar el regulador a la presión que se desea y después girar la

TABLERO CENTRAL

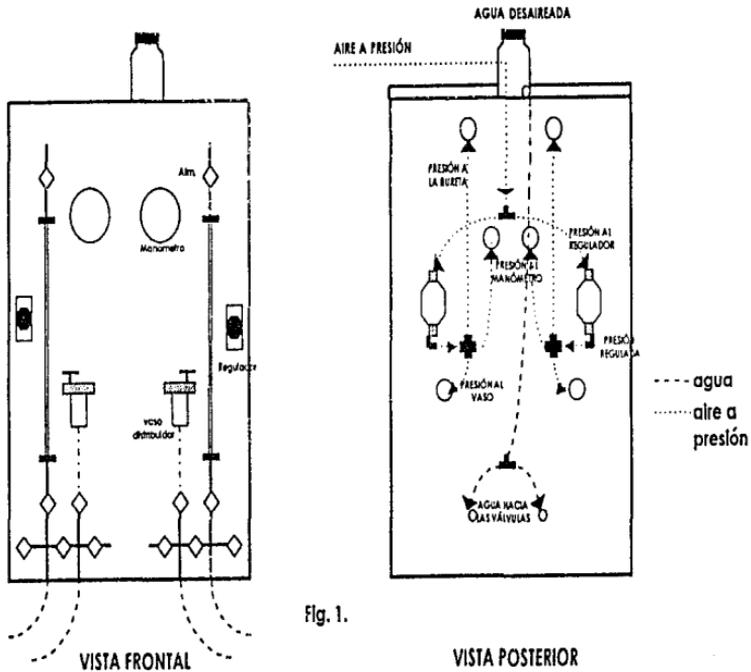


Fig. 1.

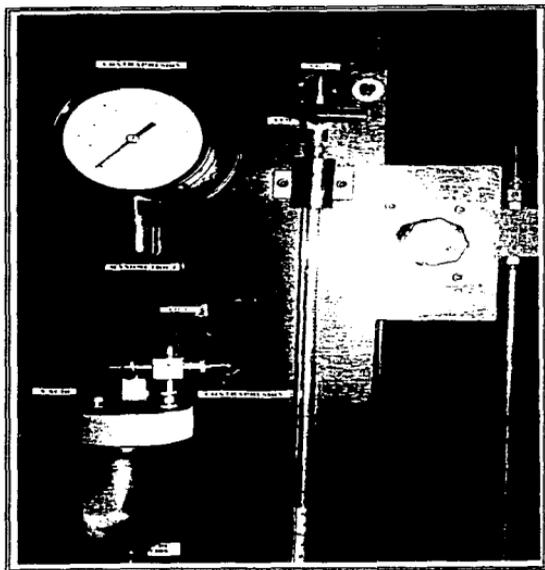


Fig. II.2b

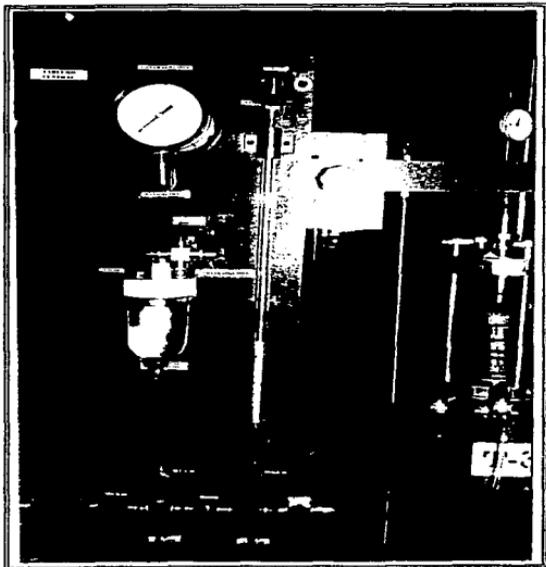


Fig. II.2c

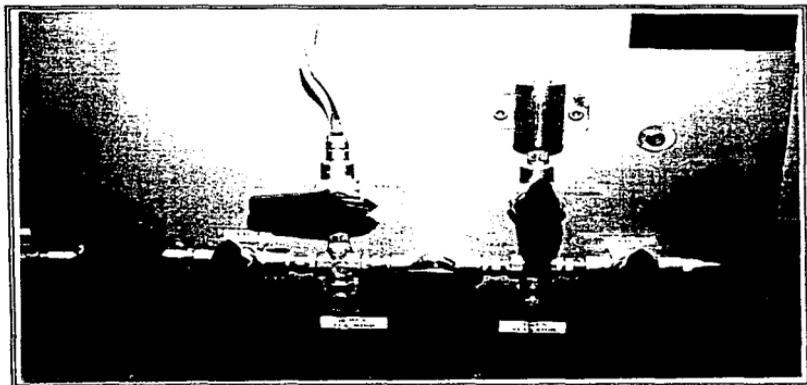


Fig. II.2d

TABLERO LATERAL

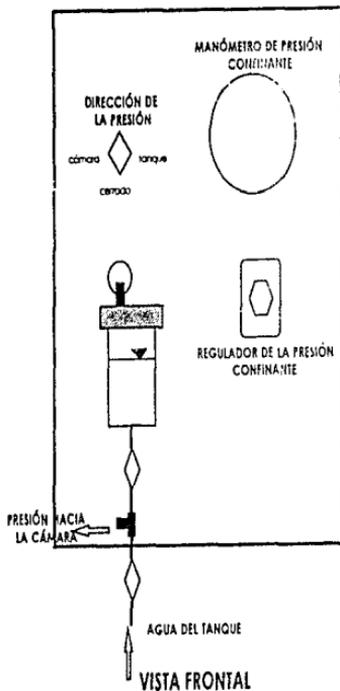
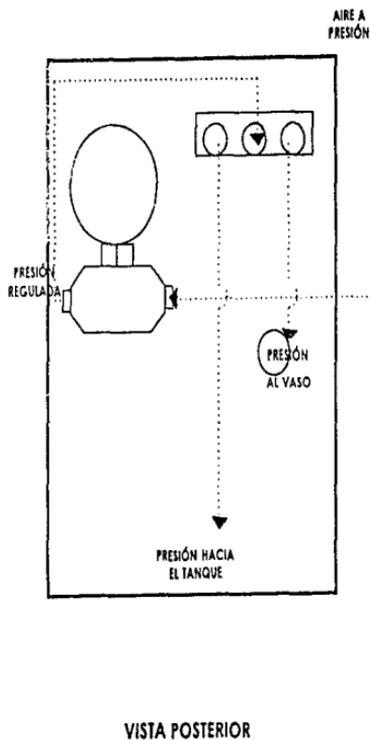


Fig 2.



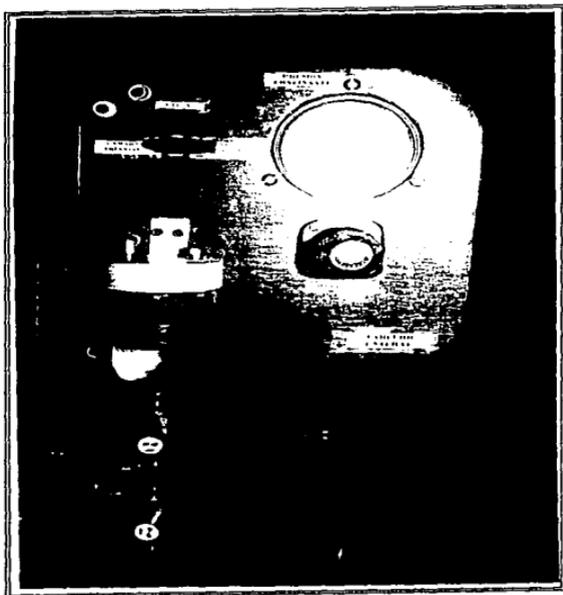


Fig. II.2e

válvula del tablero a la dirección del tanque de agua, la presión es aplicada al agua y ésta sube llenando la cámara y/o el vaso de policarbonato.

GARRAFÓN DE VIDRIO

En la parte superior del tablero central, se colocó un garrafón de vidrio, el equipo original no posee este elemento. El garrafón se llena con agua destilada y desaireada, tiene la función de almacenar agua para saturar la probeta, con el fin de eliminar las burbujas de aire que hubiese dentro de ella y también en todo el conjunto de válvulas que sirven para realizar la circulación de agua respectiva. Fig. II.2f.

VACUÓMETROS Y VÁLVULAS

Se adquirieron tres vacuómetros, uno de ellos se colocó al inicio de la instalación, próximo a la bomba de vacío y los otros dos se utilizan de manera provisional en un tablero auxiliar.

La conexión de la instalación de vacío a los vacuómetros con sus válvulas es a través de tubo plástico de 1/4". este tablero es provisional porque se utiliza únicamente para la elaboración de probetas de arena. La conexión del vacío hacia el molde partido es a través de un pivote que posee el mismo molde y hacia la probeta de arena la conexión es por el vaso de policarbonato del tablero central.

TOMA DE AGUA PARA EL LLENADO DE LOS TANQUES

De la instalación de agua, se realizó una derivación únicamente para el llenado de los tanques, esta derivación se realizó con tubo flexible, y se hizo con el objeto de poder cambiar el agua de los tanques con mayor frecuencia y facilidad. En el equipo original existe dificultad para cambiar el agua de los tanques por lo que no es muy frecuente esta actividad, en consecuencia el agua que se utiliza para dar confinamiento es turbia, lo que dificulta la visibilidad de la muestra y observar el comportamiento durante la etapa de falla.

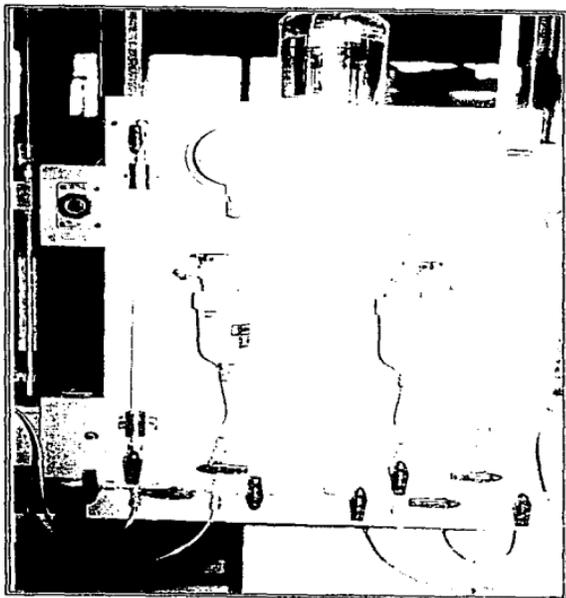


Fig. II.2f

III CÁMARAS TRIAXIALES

III.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO ORIGINAL

El equipo triaxial consta de:

- Válvula que controla el agua que se introduce a la cámara, (válvula de llenado).
- Base y tapa de la cámara
- Cilindro de lucita
- Cabezal superior e inferior, con sus respectivas piedras porosas, (dren superior e inferior).
- Válvulas que controlan los drenes superior e inferior.
- Vástago de transmisión de cargas.
- Válvula de alivio.
- Molde partido para elaborar las probetas de arena.

Esta cámara está constituida por un cilindro de lucita de 10 cm de diámetro exterior y 6 mm de espesor, una base y una tapa circulares de aluminio. La tapa y el cilindro de lucita se encuentran unidos. Esta cámara se cierra a través de cuatro tornillos que unen la tapa, la base y el cilindro. En la base se encuentra un pedestal cilíndrico de aluminio con una piedra porosa dentro de él, aquí es donde se apoya la muestra de suelo y en la parte superior de la muestra se coloca un cilindro de lucita, con una piedra porosa dentro, que funciona como cabezal superior de la muestra y posteriormente el vástago que transmite la carga a la muestra de suelo localizado en la tapa de la cámara.

La base de la cámara tiene varias perforaciones que sirven; para llenar la cámara con agua y para comunicar los drenes, superior e inferior, al sistema de cambios volumétricos. Se recuerda que el pedestal y el cabezal superior se les denominará dren inferior y superior respectivamente.

El vástago que transmite la carga a la muestra pasa por la tapa de la cámara a través de un buje y hace contacto con el cabezal de lucita, colocando entre ambos un balín.

Las desventajas del sistema son las siguientes:

- Al colocar el cabezal en la probeta montada, éste no queda alineado, es decir los ejes verticales del cabezal y la probeta no coinciden, lo que ocasiona que la carga aplicada llegue a provocar una falla con desplazamiento lateral.
- Cuando se montan probetas de arena, no se sabe cuanta tensión se le esta aplicando ya que no se cuenta con vacuómetros para medirla.
- El molde de acero con el cual se construyen las probetas de arena, en el momento de realizarla, no tiene ningún soporte ni protección alguna, lo que con cualquier descuido o movimiento sobre el molde lo podría tirar y hechar a perder la muestra.
- El diseño del molde provoca un gran distensión en las membranas lo que ocasiona que se rompan al igual que los o-ring.

III.2 MODIFICACIONES REALIZADAS

En el laboratorio ya se contaba con los cilindros de lucita , la base metálica, tornillos , empaques, cabezal inferior y superior con su piedra porosa. Partes que componen una cámara triaxial.

A continuación se presenta una relación de las piezas que se mandaron hacer para utilizarse en la cámara triaxial y también las piezas que ayudarán en la formación de probetas de arena.

- Nuevo cabezal
- Nuevo vástago
- Estrella de sujeción
- Barras de soporte
- Molde partido

NUEVO CABEZAL

Sustituye al cabezal de lucita, éste tenía la desventaja de que no quedaba fijo ni perfectamente centrado y en el momento de transmitir la carga con el vástago, y la probeta falla antes de desarrollar toda su resistencia.

El nuevo tiene la ventaja de que se le puede atornillar el vástago y así formar una sola pieza. Este cabezal es de acero inoxidable, con un hueco para colocar la piedra porosa, este hueco es de 2.6 cm de diámetro por .5 cm de altura, el cabezal cuenta además con una cuerda lateral donde se adaptará una conexión de latón con manguera de 1/8" que funcionará como dren superior de la probeta. De esta manera al consolidar una probeta se podrá llevar un registro de deformación axial y volumétrica; cuando antes, con el equipo original, sólo se podía hacer de manera volumétrica y si el suelo se encontraba saturado. Fig. 3 y III.2a.

VÁSTAGO DE CARGA

Se mandaron construir dos vástagos de carga , uno para cada cámara, con las siguientes características:

Poseen una endidura de .6 cm de diámetro para que ahí sea colocado el balín que comunica el marco de carga con el vástago, a éste se les construyó una muesca para poder ajustar el vástago al marco de carga y a la probeta con una llave de 3/8"; esta muesca es de aproximadamente .97 cm. de espesor.

La altura total del vástago es de 15.97 cm y en la parte inferior del vástago está la cuerda que se introducirá al cabezal, con el fin de que el vástago y el cabezal ajusten perfectamente y no exista movimiento en el momento de aplicar la carga, lo que permitirá una buena transmisión de ésta y un alineamiento de los ejes. Fig. 4 y 4a.

Se debe tener cuidado al atornillar las piezas ya que de no hacerlo se corre el peligro de aplicar una ligera torsión a la probeta. Problema que se disminuye al tener la menor fricción del buje con el vástago y así tener mayor sensibilidad. Fig. III.2b y III.2c.

ESTRELLA DE SUJECIÓN

Este elemento se usa para elaborar las probetas de arena ya que funciona como soporte y protección para el molde partido, así como para colocar el cabezal de la probeta sin aplicar algún tipo de vibración. La pieza se sujeta por medio de las

CABEZAL DE LA PROBETA

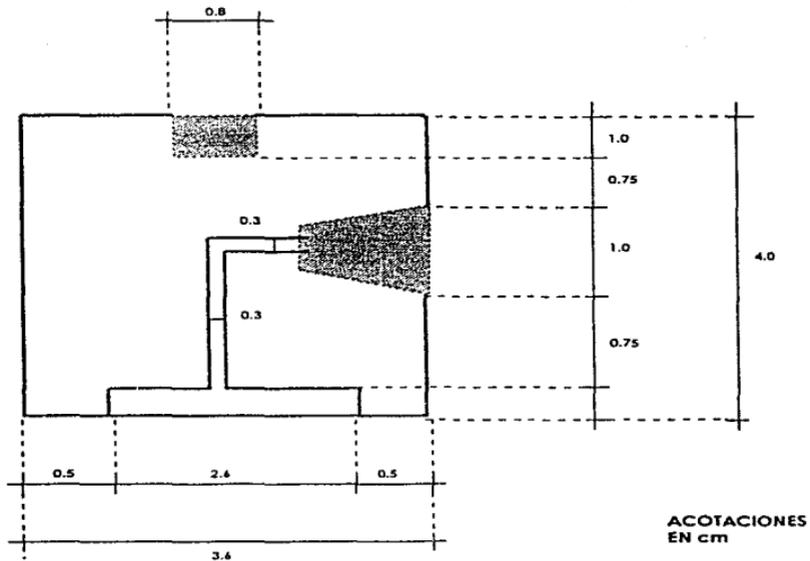


Fig. 3

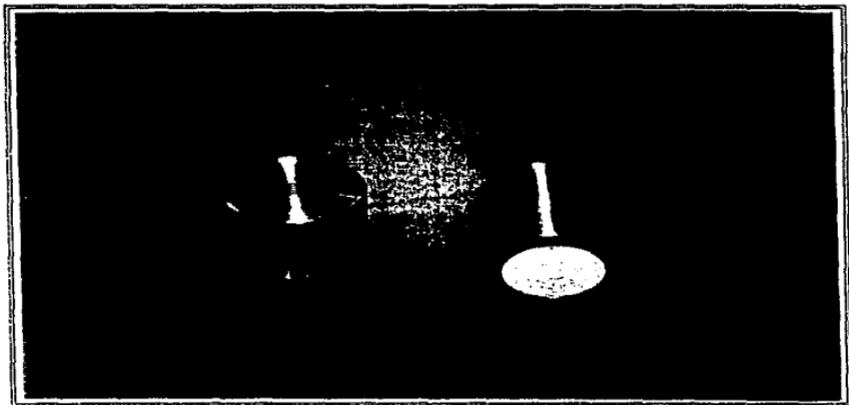


Fig. III.2a

VASTAGO DE CARGA DE LA CÁMARA TRIAXIAL N°3

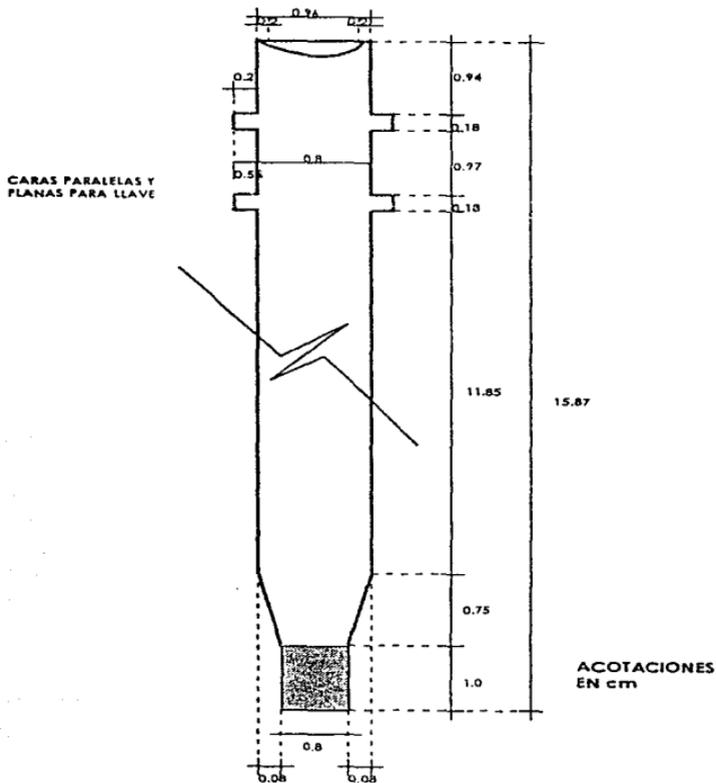


Fig. 4.

VASTAGO DE CARGA DE LA CÁMARA TRIAXIAL N°4

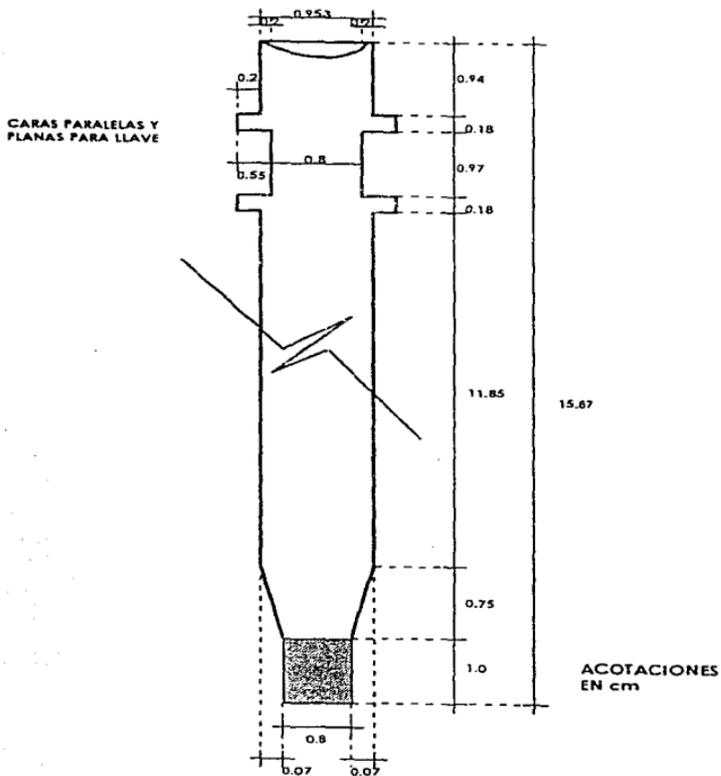


Fig. 4a

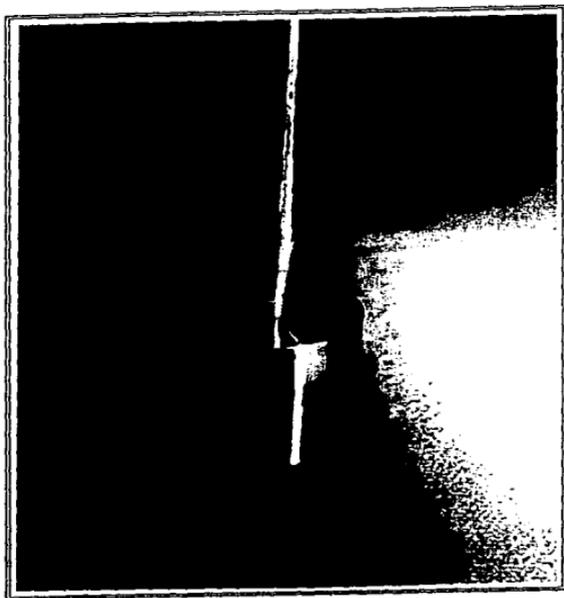


Fig. III.2b

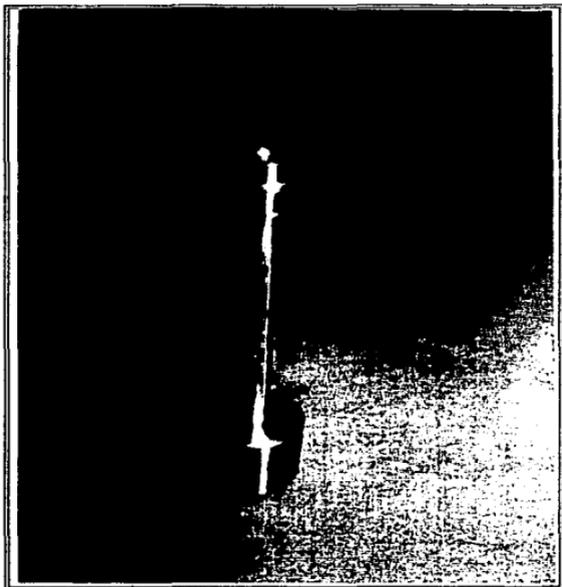


Fig. III.2c

barras de soporte, a través de unos tornillos que hacen presión en las barras. Consta de un anillo de 11.2 cm de diámetro exterior y 1 cm de espesor, con 4 tornillos de 1/4"X2"; estos tornillos sirven para sujetar el molde de arena. Posee 4 tornillos de 1/4"X3/4" y 4 ángulos, uno para cada tornillo, que funcionan para abrazar a las barras de soporte. Las medidas de los ángulos son de 1.5x2x.5 cm. Fig 5 y III.2d.

BARRAS DE SOPORTE

Se mandaron hacer 4 barras, éstas pueden sostener dos estrellas de sujeción, una para el molde partido y otra para el dren superior. Cada una de estas barras mide 22 cm de altura; con su extremo superior redondeado y en el inferior tiene una cuerda de 2.7 cm de altura, esta se ajusta a la base de las cámaras y queda totalmente fija. De la parte inferior a los 5.5 cm se le construyó una muesca de 7cm para que se pueda apretar con una llave de 3/8". Fig. 6, III.2e y III 2f.

MOLDE PARTIDO PARA ELABORAR PROBETAS DE ARENA

El molde se mandó hacer con las siguientes características:

El material es de acero inoxidable, su altura total es de 11.7 cm, el diámetro interior es de 3.6 cm. En la parte superior consta de un pequeño escalón de .3 mm en donde embonará el cabezal una vez que se haya elaborado la probeta de arena. En la parte superior externa se le formó un cuello para facilitar el manejo de la membrana de látex, este cuello es de 1/8" de espesor, la transición del cuello al cuerpo del molde es de 5 mm de altura por 3mm de longitud. El espesor de las paredes del cuerpo del molde es de 1/4". A los 70 mm de altura del molde partiendo de su base se encuentra un pivote donde se colocará la conexión de vacío. En la parte inferior del molde, a 8 mm antes de llegar a su base, se encuentra un hueco rectangular que sirve para alojar a los o-ring, que sostendrán la membrana de látex. Este hueco es de 8mm de altura y de 1/8" de profundidad.

En toda el área interna del molde tiene un gravado en espiral, éste tiene la función de escape para el aire atrapado entre la membrana de látex y el molde en el momento de aplicar el vacío. El molde partido se une con 4 tornillos tipo allen. Fig. 7, 7a, III.2g y III.2h.

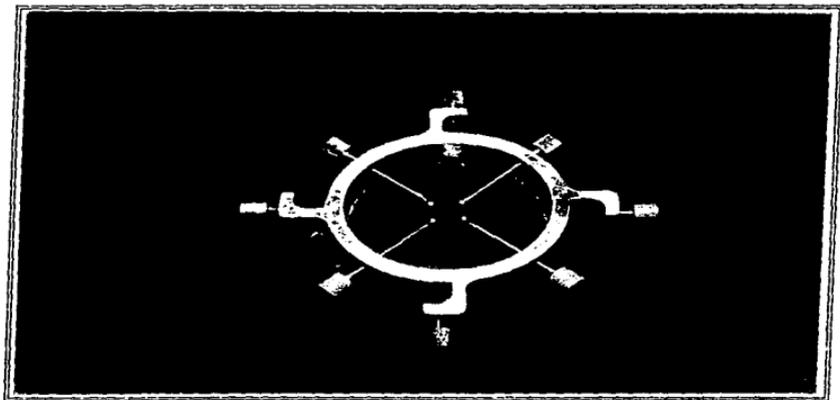


Fig. III.2d

BARRA DE SOPORTE

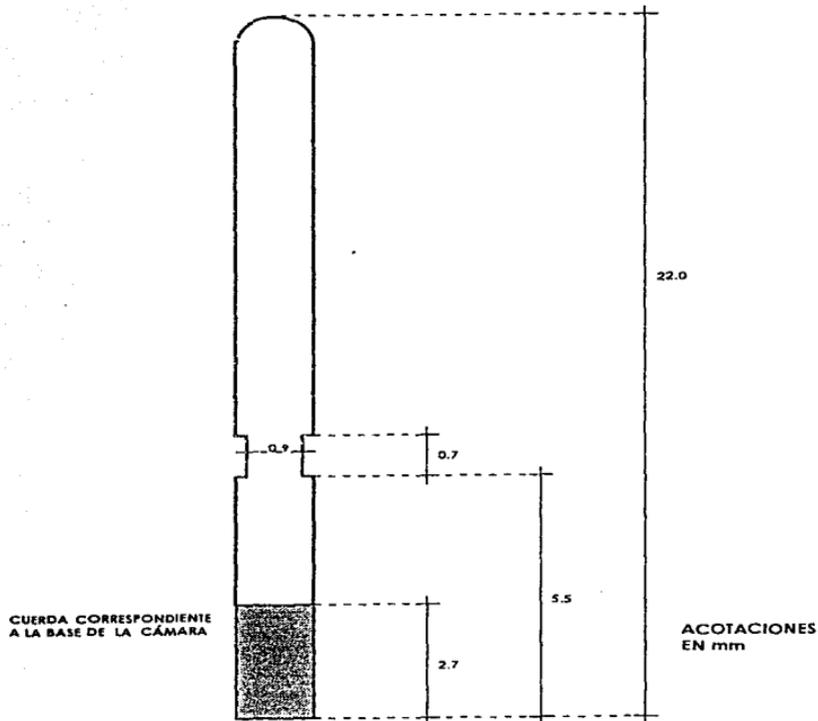


Fig. 6

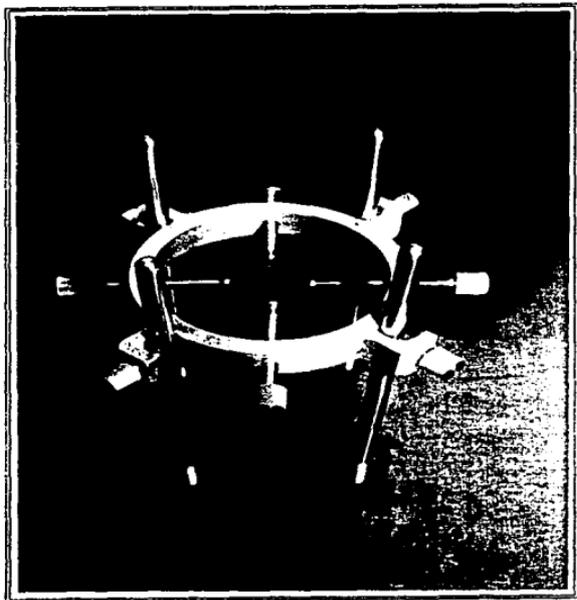


Fig. III.2e

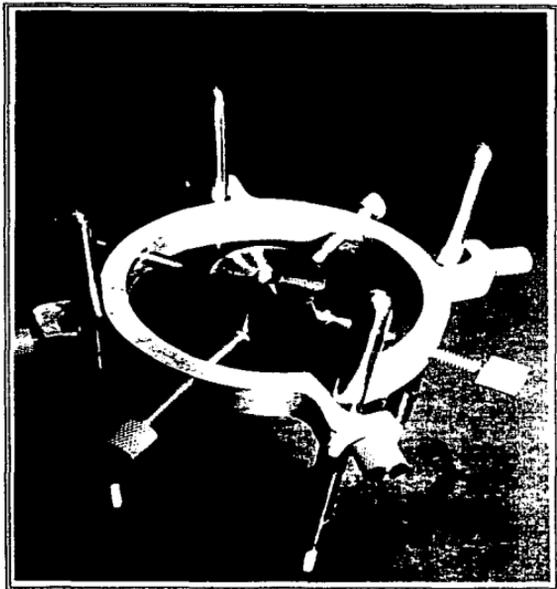


Fig. III.2f

MOLDE PARTIDO PARA FORMAR PROBETAS DE ARENA

CORTE A-A'

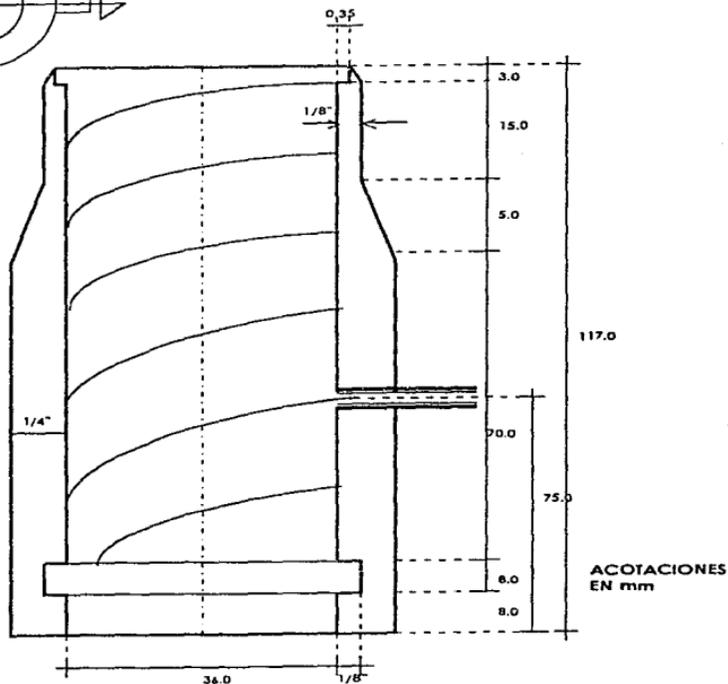
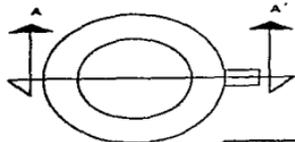


Fig. 7.

MOLDE PARTIDO PARA FORMAR
PROBETAS DE ARENA
CORTE B-B'

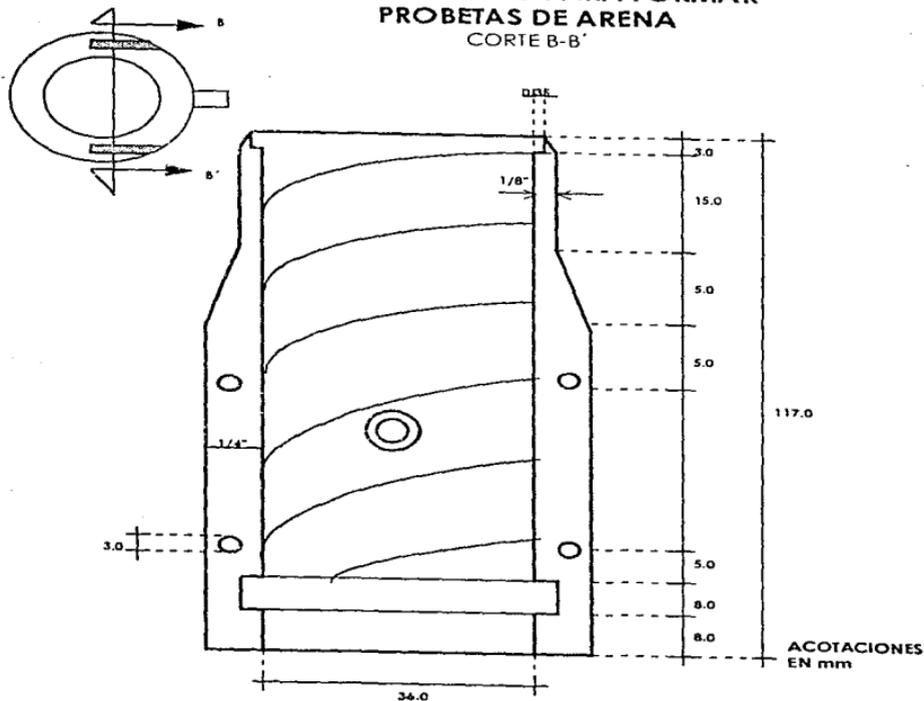


Fig. 7a.



Fig. III.2g



Fig. III.2h

IV FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO NUEVO

IV. 1 SISTEMA MECÁNICO Y DE APLICACIÓN DE CARGA

A este sistema lo conforman un contrapeso, poleas, marco de carga, portapesas y el vástago que se encuentra en la cámara; éste es el encargado de transmitir la carga a la probeta. El sistema de aplicación de cargas se encuentra en equilibrio como se explicó anteriormente. Una vez que se han puesto en contacto todas las partes se aplica una carga en el portapesas de 50 g, este peso rompe el equilibrio del sistema y se garantiza el contacto del marco de carga y el vástago que puede estar atornillado o apoyado en el cabezal. Es importante mencionar que existe una pequeña fricción por lo que la carga no es neta.

En la parte superior del marco de carga se encuentra un micrómetro que se coloca para medir los cambios de altura que va teniendo la muestra de suelo a lo largo de toda la prueba, y que son en función de la etapa de consolidación o de falla.

IV. 2 SISTEMA NEUMÁTICO

El sistema neumático del marco triaxial lo forman un regulador con su manómetro, válvula de 3 posiciones que controla la dirección del aire, vaso de policarbonato y el tanque con agua para el llenado de las cámaras. Sus funciones son: dar presión confinante a la muestra de suelo a través de aplicarle presión al vaso. La otra función es el aplicarle presión al tanque con agua para que ésta pueda subir y surtir de agua a la cámara triaxial y al vaso de policarbonato. Estas funciones son controladas en los tableros laterales del marco donde se encuentra este sistema.

El aire a presión se envía a estos tableros mediante una manguera de 1/4" hacia el regulador, esto es la presión de alimentación, con el regulador se obtiene la presión deseada, esta presión se va hacia la válvula de tres posiciones que controla la dirección del aire, en este caso se dirige la presión al tanque de agua, y esta pueda subir abriendo para ello las válvulas correspondientes y el agua entre a la

cámara y al vaso de policarbonato, logrando lo anterior se regresa la válvula a la posición neutral y se baja la presión del regulador a cero.

Para aplicar la presión confinante, se regula nuevamente la presión deseada, esta se va a la válvula de tres posiciones y se dirige al vaso de policarbonato, que sirve de interfase entre aire a presión y agua, abriendo las válvulas indicadas, la presión del vaso se aplicará a la muestra que se encuentra en la cámara triaxial mediante el fluido confinante.

IV 3 SISTEMA DE VACÍO

Este sistema esta formado por una bomba de vacío, los ductos para hacer llegar la presión negativa hasta la cámara y los vacuómetros para medir la cantidad de vacío que se le aplica al sistema. El sistema esta montado en un pequeño tablero provisional, por la poca frecuencia del uso de éste. Cabe hacer mención de que el equipo antes mencionado es muy difícil de encontrar.

El sistema comienza con la activación de la bomba, la presión negativa llega al vacuómetro. El vacío viaja a través de la instalación llegando a una derivación que divide el vacío para cada una de las dos cámaras. Antes de que el vacío llegue a las cámaras se encuentra un vacuómetro y una válvula de paso para regular el vacío que se necesite. Este sistema cumple las siguientes funciones:

- Para saturar el sistema de cambios volumétricos, es circulando agua en todo el sistema.
- Mantener unida la membrana de látex al molde partido en el momento de montar la las probetas de arena.
- Mantener la verticalidad de la muestra de arena en el momento de quitar el molde y conservar la compacidad relativa de la muestra.
- Armar todo el equipo hasta el momento de aplicar un pequeño esfuerzo confinante

Las funciones anteriores se realizan solo al ensayar probetas de arena ya que sólo éstas requieren éste sistema. La forma en como se llevan a cabo las funciones anteriores se explica en el capítulo posterior referente al montaje de las probetas.

IV.4 SISTEMA DE CAMBIOS VOLUMÉTRICOS Y SATURACIÓN DE LA PROBETA

Este sistema nos proporciona la deformación volumétrica que esta sufriendo la muestra de suelo en el transcurso de la prueba por consolidación y en la etapa de falla. Está formado por un depósito de agua desaireada, un regulador de presión, un manómetro, un conjunto de válvulas y hace uso del sistema de vacío.

La deformación volumétrica que sufre una muestra de suelo se registra en el tablero central mediante la bureta, la cual esta comunicada a un sistema de válvulas a las que están conectadas dos mangueras que establecen comunicación con los drenes inferior y superior de la probeta de suelo.

Los niveles de agua se leen a través de una cinta métrica que se encuentra detrás de la bureta, aquí se facilita la lectura ya que los ejes verticales de la bureta y la cinta coinciden. También en el tablero central se encuentra el sistema de válvulas que tienen la función de controlar la cantidad de agua que viene del garrafón hacia la probeta para que la sature, con el fin de eliminar aire atrapado dentro de la probeta o en el sistema de válvulas, esto se logra a través de los depósitos de circulación que se tienen destinados para cada una de las cámaras triaxiales. Fig. IV.4a.

IV. 5 SISTEMA ELÉCTRICO

Al sistema lo componen, dos transductores y una consola. Este sistema nos proporciona el valor de la presión confinante y el de la presión de poro que se genera en la muestra de suelo a lo largo de toda la prueba. Esta presión la capta el transductor y a través de una señal eléctrica que llega a la consola y la transforma a unidades de presión.

Este sistema se encuentra totalmente fuera del marco ya que se colocará cuando las pruebas que ahí se realizan lo requieran. Para que el transductor pueda registrar la presión de poro, éste se coloca en el dren inferior de la muestra de suelo.

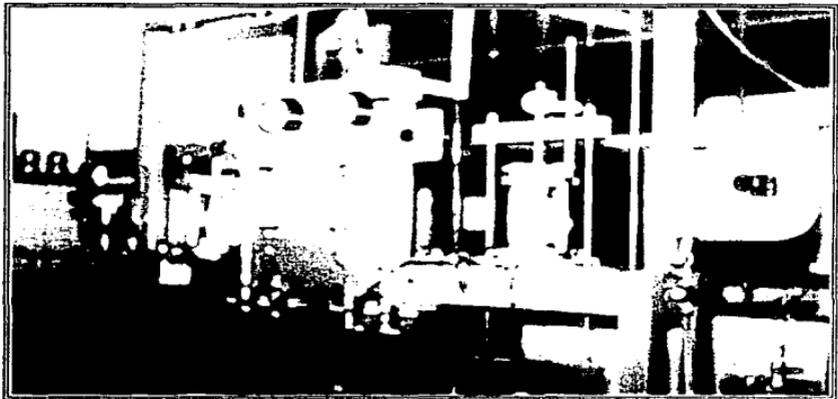


Fig. IV.4a

Para poder comprobar que la lectura que nos da el sistema es correcta , éstos se calibran con ayuda de una columna de mercurio. El procedimiento de calibración es el siguiente:

En el laboratorio contamos con un manómetro diferencial abierto, que es un tubo transparente en forma de U parcialmente lleno de mercurio, en uno de los extremos se conecta simultáneamente al manómetro con su regulador y al transductor para que la presión que se aplique se lea en la consola y en la columna de mercurio. Fig. IV.5a.

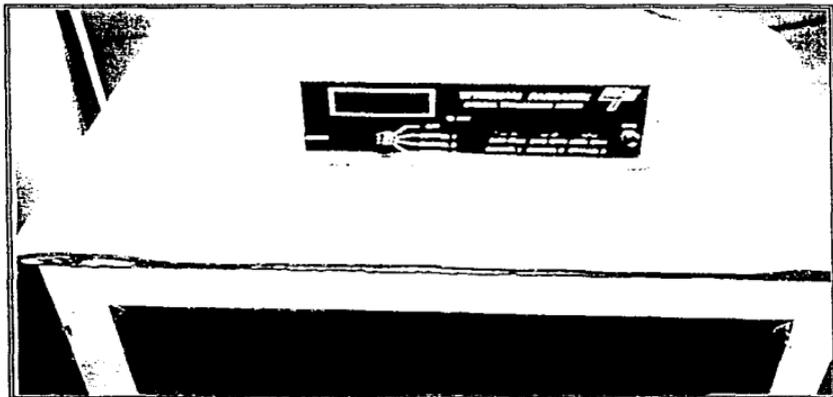


Fig. IV.5a

V PROCEDIMIENTO DE ENSAYES TRIAXIALES

V. 1 SATURACIÓN DEL EQUIPO

En un suelo con alto grado de saturación, cualquier tendencia de incremento de la presión de poro será mayor que un suelo con bajo grado de saturación. Por lo anterior es necesario que todas las líneas de tubería, válvulas y piedras porosas del conjunto deben llenarse con agua desaireada y destilada antes de comenzar la prueba, para impedir el paso del aire hacia la muestra de suelo, el procedimiento anterior se conoce como saturación del equipo. Para lograr esto se procede de la siguiente manera:

1. Revisar que todas las válvulas estén cerradas y que no exista ninguna presión o vacío en el sistema.
2. Se llena el depósito con agua destilada y desaireada, éste se encuentra ubicado en la parte superior del tablero central.
3. Se gira la válvula VTC-E para que el agua, por gravedad, empiece a circular por las mangueras hasta llegar al conjunto de válvulas.
4. Abrir la válvula VTC-D para que el agua llegue al depósito de circulación, verificando que la válvula VTC-F se encuentre abierta hacia la atmósfera (vacío), una vez lleno el depósito se cierra la válvula VTC-D.
5. Abrir la válvula VTC-G a la atmósfera y las válvulas VTC-C y VTC-B para que el agua llegue a la bureta hasta llenarla posteriormente cerrar las últimas dos válvulas.
6. Con los pasos anteriores, cierta cantidad de aire queda atrapado en el sistema donde esta ubicada la válvula VTC-A, para eliminarlo; se abre esta válvula y se cierra una vez que el aire ha salido.
7. Colocar una membrana corta de látex, con una altura de 2 cm en la base de la cámara, asegurándola con 1 o-ring.
8. Con el regulador 2 incrementar la presión a un valor de 2 kg/cm² para circular el agua hacia los drenes.
9. Dirigir la válvula VTC-F hacia la contrapresión y abrir las válvulas VTC-D y VCT-B para que el agua circule hacia al dren inferior. Ya que salió cierta cantidad de agua, se cierran las válvulas VCT-B y VTC-D, la válvula VTC-F se gira a posición neutral, se conecta el sistema de vacío y se aplica éste al depósito de circulación, después las válvulas VTC-D y VCT-B se abren para que cambie el sentido de la circulación del agua. Este ciclo se repite en varias ocasiones con el fin de eliminar el aire dentro de este ducto.

10. Para saturar el dren superior, los pasos a seguir son iguales que en el dren inferior, corrigiendo algunas válvulas, en el paso 9 abrir VTC-D, VTC-C en vez de VTC-B y VCT-D, el procedimiento se repite varias veces al igual que en el dren inferior.
11. Para eliminar el aire atrapado entre el depósito de circulación y la bureta, se aplica presión al depósito de circulación girando la válvula VTC-F, se abren las válvulas VTC-D, VTC-C y VTC-B hasta casi llenar la bureta, se cierra la válvula VTC-C, se libera la presión del vaso girando al lado contrario la válvula VTC-F, la válvula VTC-G se gira para que la presión entre a la bureta, se abre la válvula VTC-C para que el agua circule al lado contrario. Este ciclo se repite varias veces hasta que las burbujas que salgan del sistema y sean nulas.

V.2 MONTAJE

V. 2. 1 EN ARENA.

MUESTRA SATURADA

Para el estudio de suelos granulares, existe el problema de la obtención de muestras representativas con las condiciones de campo, por lo que la formación de muestras se lleva a cabo en el laboratorio, a este tipo de muestras se les llama reconsituadas. Estas muestras presentan la dificultad de reproducir sus características como compacidad relativa, uniformidad, historia de cargas, etc. Para las muestras formadas en el laboratorio solo es posible tener un cierto control en la estructura (compacidad) y la uniformidad (tamaño de las partículas).

El material necesario para la elaboración de las probetas es el siguiente:

- Membrana de látex
 - 4 o-rings
 - Bernier
 - Filtros
 - Báscula.
 - Arena
 - Bomba de vacío
 - Matraz de bola.
 - Agua destilada
- Fig. V.2a.

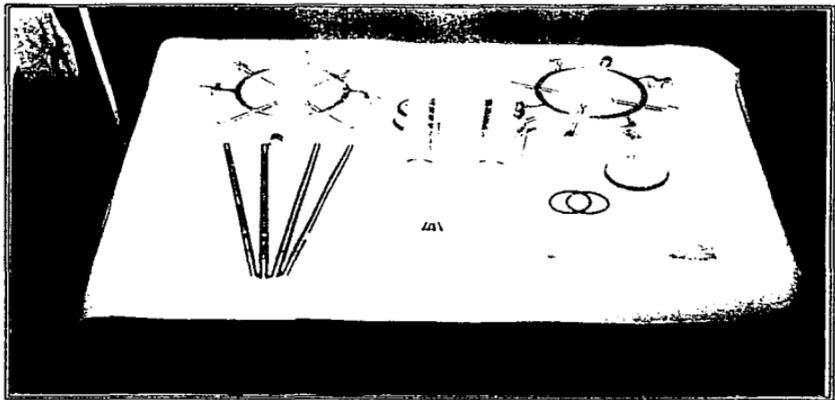


Fig. V.2a

El procedimiento que se sigue para elaborar y montar las probetas de arena se describe a continuación:

- Tomar cierta cantidad del material colocarlo en un matraz de bola con agua destilada y desairearlo. Fig. V.2b.
- Colocar en la base de la probeta una membrana de látex asegurándolo con 2 o-ring. Fig.V.2c.
- Colocar el molde partido envolviendo a la membrana y colocar 2 o-ring en la parte superior del molde.
- Se colocan las barras de soporte y la estrella de sujeción para darle verticalidad al molde y extremo superior de la membrana se dobla hacia afuera sobre el filo del borde superior del molde.
- Aplicar vacío constante en el pivote del molde para que la membrana se adhiera a éste.
- Se coloca un círculo de papel filtro en el dren inferior.
- Verificar que todas las válvulas del sistema de cambios volumétricos y las de la cámara triaxial estén cerradas.
- El molde se llena con agua desaireada y destilada abriendo las siguientes válvulas VTC-E y la del dren inferior localizada en la cámara triaxial.
- Una vez lleno se cierran las válvulas anteriores.
- Colocar el material en el molde hasta la marca donde irá el cabezal y buscar la compacidad relativa mediante la aplicación de vibración o golpes laterales en el molde por medio de una pieza de hule. Fig.V.2d.
- Una vez colocado el material en el molde colocar un papel filtro en la parte superior de la probeta antes de colocar el cabezal superior.
- Se coloca el cabezal dentro de la muestra, se deshace el doblez que se le hizo a la membrana y se asegura ésta al cabezal con 2 o-ring. Fig. V.2e.
- Se aplica tensión a la probeta mediante la abertura de la válvula VCT-E para después retirar el molde, con esto se logra la verticalidad de la probeta.
- Se retira la estrella de sujeción, las barras de soporte y por último el molde.
- Una vez que se obtiene la probeta, tomar las medidas de los 3 diámetros (superior, medio e inferior) y sus 3 alturas a cada 120°.
- Colocar la camisa de la cámara (lucita, tapa de la cámara, vástago y tornillos), el vástago se introduce en la cámara y se atornilla al cabezal al igual que se ajustan los tornillos a la base inferior de la cámara. Fig. V.2f.
- Se introduce agua a la cámara hasta que se llene en su totalidad y el vaso hasta la mitad de la altura de la probeta, esto se logra de la siguiente manera:

-Con todas las válvulas cerradas, en el tablero lateral se acciona el regulador hasta obtener 2 kg/cm² de presión.

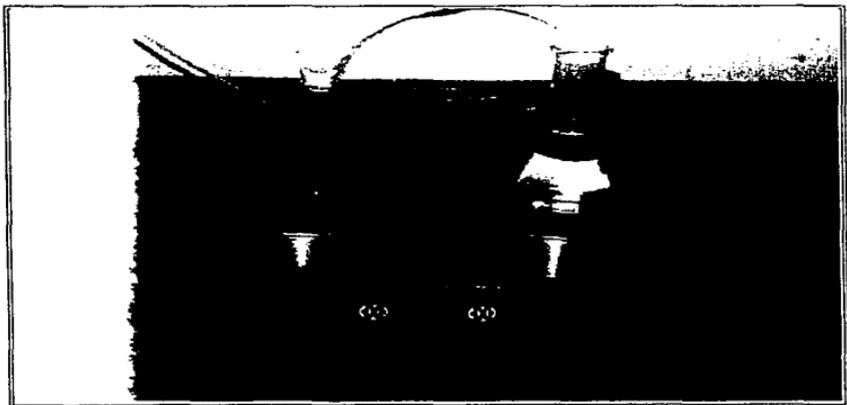


Fig. V.2b



Fig. V.2c



Fig. V.2d



Fig. V.2e

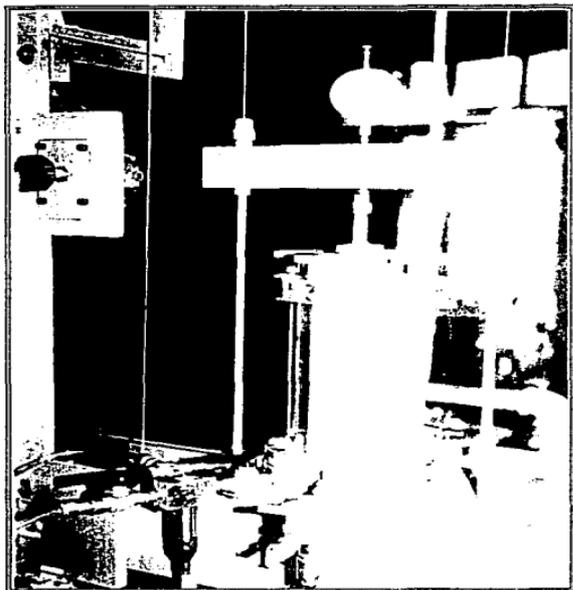


Fig. V.2f

- La válvula VTL-A se abre en dirección del tanque y la presión entra a éste.
- Se abren las válvulas VTL-C y VTL-B para llenar el vaso hasta la mitad de la probeta. después se cierra la válvula VTL-B.
- Se gira la válvula VTL-A hasta cerrarla, se baja la presión y se gira hacia la indicación de cámara triaxial.
- La válvula VCT-C se abre para llenar la cámara, una vez logrado esto se cierra esa válvula y se coloca el pivote en la parte superior de la cámara.
- Se cierra la válvula VTL-C y se abre la válvula del tanque a la atmósfera.

- Se aplica un esfuerzo confinante de 0.1 kg/cm^2 para sostener la probeta.
- Se cierra la válvula del dren inferior que conecta el vacío a la probeta.
- Se pesa el material que sobró dentro del matraz.

MUESTRA SECA.

El material necesario para la elaboración de las probetas es el siguiente:

- Membrana de látex
- 4 o-rings
- Bernier
- 2 Filtros
- Báscula
- Arena secada al horno
- Bomba de vacío
- Embudo

Para realizar las probetas de arena seca se sigue el siguiente procedimiento:

- Obtener en peso la cantidad suficiente de arena, secada al horno, para realizar la probeta.
- Colocar el extremo de una membrana cilíndrica abrazando al cabezal inferior y se fija con 2 o-ring.
- Colocar el molde partido en torno a la membrana, así como sus barras de soporte y la estrella de sujeción.
- Se colocan 2 o-ring que rodeen al molde y el extremo superior de la membrana se dobla hacia afuera sobre el filo del borde superior del molde.
- Aplicar vacío entre la membrana y el molde.
- Llenar el molde con el material de 8 a 10 capas aproximadamente compactando cada una de ellas con un pisón dejándolo caer desde una altura variable en

función de la compacidad relativa deseada y después de haber hecho algunas probetas de prueba.

- La última capa, después de ser compactada debe quedar al ras de la marca donde va el cabezal, se coloca el cabezal y se deshace el doblez de la membrana colocando después los dos o-ring abrazando la membrana y el cabezal.
- Se aplica tensión a la probeta en uno de sus drenes para mantener la verticalidad de la muestra.
- Quitar la estrella de sujeción, las barras de soporte y el molde partido para tomar las medidas de la probeta, sus 3 diámetros (superior, medio e inferior) y 3 alturas a cada 120°.
- Colocar la camisa de la cámara (lucita, base superior y tornillos de la cámara), el vástago se introduce en la cámara y se atornilla al cabezal al igual que se ajustan los tornillos a la base inferior de la cámara.
- Se introduce agua a la cámara hasta que se llene en su totalidad y el vaso hasta la mitad de la altura de la probeta, esto se logra siguiendo los pasos señalados en el caso de una probeta saturada.
- Se aplica un esfuerzo confinante de 0.1 kg/cm² para sostener la probeta
- Se cierran la válvula del dren inferior que conecta el vacío a la probeta.
- Se pesa el material que sobró.

V. 2. 2. EN ARCILLA

El material a utilizar es:

- Membrana de látex
- 4 o-ring
- Bernier
- Filtros
- Rejilla de papel filtro.
- Báscula
- Cilindro de plástico
- Anillo de plástico

Para la elaboración y montaje de las probetas de arcilla se sigue el procedimiento que a continuación se describe:

- Se prepara todo el material a utilizar, esta preparación se hace con el fin de ahorrar tiempo y que la probeta de suelo pierda la menos humedad posible; y consiste en colocar en el cilindro de plástico de 5cm de diámetro y 10.5 de altura una membrana de látex, con sus extremos doblados hacia afuera, se colocan los 4-oring en los anillos de plástico y se humedecen los filtros y la rejilla.

- Las probetas se obtienen de muestras de suelo que provienen de pozos a cielo abierto, de tubo shelby o de algún otro sistema de muestreo inalterado
- Se corta un fragmento prismático de la muestra de suelo.
- Se labra el fragmento hasta formar un espécimen cilíndrico de 3.5 cm de diámetro y 10 cm de altura aproximadamente.
- Se pesa y se mide su diámetro superior, medio e inferior y tres de sus alturas a cada 120°.
- En el cabezal inferior de la cámara se coloca un papel filtro y encima de éste se coloca la muestra de suelo.
- Se rodea la muestra con una rejilla de papel filtro, esto es para facilitar la saturación y la consolidación de la probeta.
- Se aplica vacío al cilindro de plástico para que la membrana se adhiera a éste y se coloca sobre la muestra de suelo cubriéndolo, se elimina el vacío, con lo que la membrana se aprieta en torno al espécimen, se deshacen sus dobleces y se retira el cilindro.
- Se coloca un papel filtro en la parte superior de la probeta.
- Se colocan 2 o-ring en el cabezal inferior para sujetar la membrana.
- En el extremo superior de la membrana se dobla hacia fuera sobre el espécimen para colocar un filtro y el cabezal superior.
- Se desdobra la membrana y se asegura con 2 o-ring.
- Colocar la camisa de la cámara (lucita, tapa de la cámara, vástago y tornillos), el vástago se introduce en la cámara y se atornilla al cabezal al igual que se ajustan los tornillos a la base inferior de la cámara.
- Se introduce agua a la cámara hasta que se llene en su totalidad y el vaso hasta la mitad de la altura de la probeta, esto se logra como se indicó en el caso de la probeta de arena saturada.
- Se aplica el esfuerzo confinante deseado.

V.3 SATURACIÓN DE LA PROBETA

Una vez montado el espécimen de suelo por saturar, sea arcilla o arena, se debe de circular agua para eliminar el aire atrapado por la muestra y por el procedimiento de montaje. En ambos casos, sea arcilla o arena, se aplica un esfuerzo confinante de .2Kg/cm², para ello se procede de la siguiente forma:

- Con el regulador uno se aplica la presión de .2 Kg/cm², se gira la válvula VTL-A hacia la posición de la cámara triaxial, se abre la válvula VTL-B y la válvula VCT-C para aplicar dicho esfuerzo a la probeta.

- Se aplica una presión de .1 Kg/cm² al depósito de circulación, se abre la válvula VTC-D y la válvula VCT-B para que el agua entre por el dren inferior.
- Verificar que la válvula VTC-C esté cerrada para hacer independientes los drenes.
- Se abren las válvulas en el siguiente orden; VCT-A y VTC-A. Se observa un ligero goteo, que es el agua que circula a través de la muestra.

Para observar el grado de saturación que la muestra de suelo ha alcanzado al ir circulando el agua, se procede de la siguiente manera:

- Se cierra la válvula VCT-C.
- Se incrementa la presión confinante de .1 Kg/cm² a .3 Kg/cm² o bien otro valor , según el criterio del operador.
- Se cierran los drenes superior e inferior, válvulas VCT-B y VCT-A.
- Se abre la válvula VCT-C y se mide el cambio de la presión de poro, dato registrado en el transductor de presión.
- Al conocer $\Delta\sigma_c$ y ΔU se puede medir el B de Skempton como sigue:

$$B = \Delta\sigma_c / \Delta U$$

- El valor óptimo de B deberá de ser de .97 a 1.
- Una vez logrado lo anterior se procede a consolidar la probeta.

V. 4 ETAPA DE CONSOLIDACIÓN

Una vez saturada la muestra se procede a consolidarla isotrópica o anisotrópicamente, según la investigación que se desee desarrollar. Para lograr lo anterior, se aplica un esfuerzo confinante, en el caso isotrópico y en el caso anisotrópico se le agrega una carga axial. Una vez aplicados los esfuerzos deseados se abre el drenaje para que la muestra de suelo pueda consolidarse.

El fluido desalojado de la muestra será únicamente agua, midiendo este volumen en una bureta se puede cuantificar el cambio volumétrico debido a la consolidación, y la deformación axial con ayuda del micrómetro.

El procedimiento para realizar la consolidación es el siguiente:

- Una vez que se ha saturado la probeta y teniendo todas las válvulas cerradas se aplica el confinamiento efectivo deseado bajo el cual el suelo se consolidará.
- Se cierran las válvulas del tablero central VTC-B, VTC-C y VTC-D.
- Se cierran las válvulas de la cámara triaxial VCT-A, VCT-B y VCT-C.
- Con el regulador uno se obtiene el incremento de presión necesario para alcanzar el esfuerzo confinante de consolidación, este incremento se verifica con el transductor de presión y/o con la columna de mercurio.
- Aplicar este incremento de presión a la probeta abriendo la válvula VCT-C y tener el último registro del B de Skempton, si es necesario se aplica un peso en el portapesas.
- Registrar el incremento de presión de pozo y calcular B.
- Abrir las válvulas VCT-A , VCT-B y la válvula VTC-C.
- Se toman las lecturas iniciales de la bureta y del micrómetro.
- Con cronómetro en mano, se arranca para llevar al tiempo de consolidación, y se abre la válvula VTC-B.
- Con los datos obtenidos anteriormente se pueden obtener las gráficas en escala semilogarítmica de las lecturas del micrómetro contra tiempo ($\delta - t$) y deformación volumétrica contra tiempo ($\Delta V - t$).
- Se tomarán lecturas del micrómetro y de la bureta a los tiempos acostumbrados para obtener una curva de consolidación.
- A partir de las curvas de consolidación se determina el pasar o no a la etapa de falla.
- En la mayoría de los casos se busca el tener el 100% de la consolidación primaria.

V. 5 ETAPA DE FALLA.

El procedimiento para llevar a la falla es el siguiente:

- Se deberán de adecuar las válvulas de drenaje de acuerdo a las condiciones de la prueba, drenada o no drenada.
- Se asegura el contacto entre el espécimen y el marco de carga.
- Se aplica el primer incremento de carga al mismo tiempo que empieza a correr el cronómetro antes de aplicar el siguiente incremento de carga se registran las

lecturas de el micrómetro, bureta y transductor de presión de poro según sea el tipo de prueba que se esté realizando.

- Conforme la muestra se acerque a la falla se observarán sus deformaciones, grietas o planos de falla, para disminuir la magnitud del incremento de carga.
- La prueba se da por terminada cuando la muestra falla bruscamente (falla frágil), o cuando la deformación unitaria es del orden del 20%.
- Hacer un esquema de la falla de la muestra, midiendo el ángulo del plano de falla en el caso de que éste se presente.
- Obtener el contenido de agua final de la muestra.

V. 6 DESMONTAJE

Una vez que se llevó a cabo la falla del material se procede a desmontar el aparato y la muestra de suelo como se explica a continuación:

- Verificar que los drenes estén cerrados.
- Quitar las cargas de falla.
- Con el regulador 1 quitar la presión confinante y la contrapresión de la misma si fue necesaria.
- Las válvulas VTL-C y VCT-C se abren al igual que el pivote que se encuentra en la parte superior de la cámara, esto es para desalojar el agua del vaso y de la cámara.
- Se quita micrómetro y se levanta el marco de carga.
- Una vez que la cámara ya no contenga agua se procede a liberar los tornillos de las bases de la cámara para poder quitar la camisa y realizar el esquema del espécimen fallado y medir su plano de falla si es que existe.
- Se quita el cabezal superior deslizando los o-ring hacia arriba para perder la menor cantidad de material posible.
- Con mucho cuidado se jala hacia arriba la membrana con la muestra y se empujan los 2 o-ring del dren inferior.
- Se retira la membrana y los papeles filtros (superior, inferior y rejilla).
- Se obtiene el peso final de la muestra, se seca al horno para obtener el peso sólido y el contenido de agua.

VI PRUEBAS PRELIMINARES

Hay tres tipos de pruebas triaxiales que se realizan con este equipo y éstas son:

Prueba UU: Prueba no drenada y no consolidada. A este tipo de prueba no se le permite consolidación alguna a la muestra, es decir las válvulas que comunican a la bureta con la muestra permanecen cerradas, impidiendo el drenaje de la probeta.

Una vez montada la muestra se le aplica la presión confinante y se le hace fallar aplicándole carga.

Prueba CU: Prueba consolidada no drenada, la característica de esta prueba es que se satura, se deja consolidar y se lleva a la falla aplicando la carga de manera rápida. El conjunto de válvulas que comunican la bureta y los drenes de la muestra se abren después de haber aplicado el esfuerzo confinante para que la probeta se consolide, y se cierra antes de comenzar la etapa de falla.

Prueba CD: Prueba consolidada drenada, también denominada prueba lenta. En este tipo de prueba, la muestra se satura, se consolida y se lleva a la falla de manera lenta. El sistema de válvulas que comunica los drenes a la bureta se mantiene abierta durante toda la prueba.

Los tiempos de consolidación varían según el material que se utilice, estos tiempos son de 24 horas para las arcillas y 2 horas para las arenas. Los incrementos de carga se aplicarán cada vez que se observe una mínima variación en los lecturas de la bureta lo que indica una disipación del exceso de la presión de poro en el interior de la probeta, generada por cada incremento de carga.

Prueba de compresión simple: Esta prueba no se clasifica como una triaxial, pero se puede realizar en el equipo. El esfuerzo confinante es nulo, únicamente se carga y se lleva a la falla.

Los tipos de prueba que se eligieron para mostrar el funcionamiento del equipo fueron la prueba CD (Consolidada Drenada) y CU (Consolidada no Drenada), esto es a que estas pruebas son las más completas, se obtienen más características del suelo y se aplican todas las ventajas que se obtienen con el nuevo marco triaxial.

VI.1 INFORMACIÓN OBTENIDA DE LA PRUEBA

Los datos se obtienen en cinco etapas:

- ◆ Montaje de la probeta.
- ◆ Saturación de la probeta.
- ◆ Consolidación de la muestra.
- ◆ Aplicación de la carga.
- ◆ Falla de la muestra de suelo.

MONTAJE DE LA PROBETA

Esta primera etapa abarca desde el labrado de la de la muestra hasta el llenado de la cámara con agua, durante este tiempo los datos que se obtienen son los siguientes:

- Diámetro superior de la probeta ϕ_s .
- Diámetro inferior de la probeta ϕ_i .
- Diámetro medio de la probeta ϕ_m .
- Tres alturas de la probeta medidas a cada 120° h_1, h_2, h_3 .
- Peso de la probeta W_m .
- Constante de la bureta K_b .

SATURACIÓN DE LA PROBETA

Esta etapa abarca la de circulación de agua en la muestra de suelo, en este lapso se obtiene los siguientes datos:

- ◆ Esfuerzo confinante inicial σ_{ci} .
- ◆ Presión de poro inicial ΔU_i .
- ◆ Esfuerzo confinante final σ_{cf} .
- ◆ Presión de poro final ΔU_f .

CONSOLIDACIÓN DE LA MUESTRA

Este lapso comprende desde la aplicación del esfuerzo confinante hasta antes de llevar a la falla el material. La información que se obtiene es la siguiente:

- Lectura inicial de la bureta B_i .
- Lectura inicial del micrómetro L_i .
- Lectura final de la bureta B_f .
- Lectura final del micrómetro L_f .
- Lecturas de ambos sistemas de medición para formar las curvas de consolidación.

APLICACIÓN DE LA CARGA

En la etapa de aplicación del esfuerzo desviador la información que se obtiene se organiza en una hoja de cálculo, con la siguiente información.

- ◆ Registro del tiempo: Nos indica en que momento se aplica cada incremento de carga, se expresa en minutos.
- ◆ Incremento de carga (ΔP): El valor de cada incremento de carga que se aplica a la muestra de suelo, se expresa en Kg.
- ◆ Lectura del micrómetro: Esta información se obtiene 5 segundos antes de aplicar cada incremento de carga y nos indica el cambio de altura que va teniendo la muestra de suelo.
- ◆ Lectura de la bureta: Se obtiene, al igual que la lectura del micrómetro, segundos antes de aplicar el incremento de carga. Esta lectura nos da información del cambio de volumen que va teniendo la probeta a lo largo de toda la prueba.

FALLA DE LA MUESTRA DE SUELO

En esta etapa se realiza un esquema de la muestra ya fallada, se mide el plano de falla, si es que hubo tal y se anotan las observaciones.

Todos los datos antes mencionados se resumen en la siguiente hoja de registro.

VI.2 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Los datos obtenidos anteriormente se procesan para obtener mayor información de la muestra de suelo en estudio y así obtener su ley de resistencia.

Del primer bloque de datos al procesarlos se obtiene la siguiente información:

- ◆ Diámetro promedio ϕ_{prom} (cm).
- ◆ Altura media h_{prom} (cm).
- ◆ Área de la muestra A_o (cm²).
- ◆ Peso volumétrico del material γ_m (T/m³).
- ◆ Peso de la muestra W_m .

Esta información se obtiene con las siguientes expresiones:

$$\phi_m = (\phi_i + 4\phi_m + \phi_s) / 6$$

$$h_m = (h_1 + h_2 + h_3) / 3$$

$$A_o = (\pi \times \phi_m^2) / 4$$

$$\gamma_m = W_o / (A_o \times h_m)$$

Del segundo bloque el corresponde a la saturación de la muestra, el dato a obtener es la llamada B de Skempton, que se calcula con la siguiente expresión:

$$B = (\sigma_{cf} - \sigma_{ci}) / (U_r - U_i)$$

Del tercer bloque que corresponde a la consolidación, los datos que se obtienen son los siguientes:

- ◆ Dif. bureta (cm).
- ◆ Altura que disminuye la probeta después de consolidarla Δh (cm).
- ◆ Volumen que disminuye la probeta después de consolidarla ΔV (cm³).
- ◆ Altura consolidada h_c (cm).

La información se obtiene con las siguientes expresiones:

$$\text{Dif. bureta} = B_f - B_i$$

$$\Delta h = (L_s - L_d) / 10$$

$$\Delta V = (B_r - B_i) \cdot K_b$$

$$h_c = h_m - \Delta h$$

La información que se obtiene durante la aplicación del esfuerzo desviador se procesa en forma tabular usando la hoja de cálculo mostrada anteriormente, esta información es la que a continuación se presenta:

- Deformación total (mm).
- Deformación unitaria ϵ (%).
- Deformación volumétrica ΔV (cm³).
- Área corregida A_{cor} . (cm²).
- Esfuerzo desviador σ (Kg/cm²).
- $n=1, 2, 3, \dots$

Aplicando las siguientes expresiones:

$$\text{Def. total} = L_1 - L_n$$

$$\epsilon(\%) = (L_{\text{microm}} / (10 \cdot hc)) \cdot 100$$

$$\Delta V = (B_n - B) \cdot K_b$$

$$A_{cor} = (A_c - (\Delta V_n / hc)) / (1 - \epsilon_n)$$

$$\sigma = P_n / A_{cor}$$

VI.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se realizaron tres series de pruebas en compresión organizadas de la forma siguiente, ensaye CD en arena de Ottawa, CD en arcilla y CU en arcilla, obteniéndose los siguientes resultados, con sus respectivas gráficas y círculos de Mohr.

Para cada ensaye se desarrolló el siguiente procedimiento:

- Saturación del equipo
- Montaje
- Saturación de la probeta
- Consolidómetro
- Falla

El registro y la información procesada de la prueba CD en arena se encuentran en las tablas I, II y III. Las curvas esfuerzo-deformación, se encuentran en la gráfica 1, en la gráfica 2 se encuentran los círculos de Mohr.

El registro y la información procesada para la prueba CD en arcilla se encuentra en las tablas IV, V y VI. Las curvas esfuerzo-deformación se encuentran en la gráfica 3. Las curvas de la etapa de consolidación en las gráficas 4, 5 y 6. Las curvas de la etapa de falla en la gráfica 7 y en la gráfica 8 los círculos de Mohr.

Para la prueba CU en arcilla, en las tablas VII, VIII y IX se encuentra el registro y la información procesada. Las curvas esfuerzo-deformación en la gráfica 9. Las curvas de consolidación en las gráficas 10, 11 y 12. Las curvas de falla en la gráfica 13 y en la gráfica 14 los círculos de Mohr.

NOTACIÓN

ESF_e	Esfuerzo confinante efectivo.
D_s	Diámetro superior de la muestra.
D_m	Diámetro medio de la muestra.
D_i	Diámetro inferior de la muestra.
W_m	Peso de la muestra.
h_1, h_2, h_3	Alturas de la probeta medidas a cada 120°.
D_{prom}	Diámetro promedio de la probeta.
h_{prom}	Altura promedio de la probeta.
A_o	Area inicial de la muestra.
Δb_{bureta}	Incremento del nivel de agua en la bureta.
K_b	Area constante de la bureta.
γ_m	Peso volumétrico de la muestra.
ESF_e	Esfuerzo confinante total.
ESF_{cp}	Esfuerzo de contrapresión.
B	B de Skempton, mide el grado de saturación de la muestra.
L_i	Lectura del micrómetro antes de la consolidación.
L_f	Lectura del micrómetro al final de la consolidación.
B_i	Lectura de la bureta antes de la consolidación.
B_f	Lectura de la bureta después de la consolidación.
Δvol	Incremento de volumen en la muestra de suelo, después de la consolidación.
ΔH	Incremento en la altura de la probeta después de la consolidación.
h_c	Altura de la probeta después de la consolidación.
A_c	Area de la muestra después de la consolidación.
ϵ	Deformación de la muestra después de la consolidación.

REGISTRO DE INFORMACIÓN PARA LA PRUEBA
CONSOLIDADA DRENADA EN ARENA DE OTTAWA (CD)

TABLA I

DATOS GENERALES	
Loc:	Profundidad:
Muestra:	Proyecto:
Sondeo:	ESF _g (kg/cm ²) 0.25
Prueba:	CD

DIMENSIONES DE LA MUESTRA	
D _o (cm) =	h ₁ (cm) = 9.34
D _m (cm) =	h ₂ (cm) = 9.33
D _i (cm) =	h ₃ (cm) = 9.34
V _m (g) =	95.38

DATOS OBTENIDOS			
D _{prom} (cm) =	3.8	γ _{sat} (kN/m ³) =	2.22000
H _{prom} (cm) =	9.337	ESF _g (kg/cm ²) =	0.75
A _o (cm ²) =	10.1788	ESF _g (kg/cm ²) =	0.5
Δb _{ureta} (cm) =	0.525	B _u	0.96
K _s (cm ²) =	0.3318		

CONSOLIDACIÓN			
L _u	19.546	B _u	140.500
L _m	19.549	B _m	141.025

DATOS DESPUÉS DE LA CONSOLIDACIÓN			
ΔV _{ol} (cm ³) =	0.1742	h ₂ (cm) =	9.34
ΔV _h (cm ³) =	-0.0001	A ₂ (cm ²) =	10.2
e _s	0.09307		

N° de Incremento	ΔP Kg	P Kg	Lec. de micrón. mm	Deformación Total en mm	Deformación unitaria axial %	BURETA cm	Deformación Volumétrica ΔV	Area Corregida cm ²	Esfuerzo Desviador Kg/cm ²
1	0	0	19.549	0.000	0.0000	141.025	0.16000	10.16000	0.00000
2	1	1	19.531	0.018	0.0193	141.100	0.02949	10.15933	0.09843
3	1	2	19.511	0.038	0.0407	141.150	0.0415	10.1597	0.19686
4	1	3	19.488	0.061	0.0653	141.200	0.0581	10.1604	0.29528
5	1	4	19.456	0.090	0.0964	141.295	0.0864	10.1627	0.39360
6	1	5	19.428	0.121	0.1296	141.275	0.0830	10.1643	0.49192
7	0.5	5.5	19.400	0.149	0.1556	141.300	0.0913	10.1665	0.54120
8	0.5	6	19.348	0.201	0.2153	141.325	0.0995	10.1717	0.58990
9	0.5	6.5	19.257	0.292	0.3220	141.325	0.0995	10.1621	0.63850
10	0.5	7	19.107	0.442	0.4734	141.350	0.29581	10.2021	0.68613
11	0.25	7.25	18.715	0.639	0.6986	140.970	0.1510	10.2084	0.70625
12	0.25	7.5	18.000	0.549	0.6111	140.970	0.1510	10.2183	0.70900

REGISTRO DE INFORMACIÓN PARA LA PRUEBA
CONSOLIDADA ORENADA EN ARENA DE OTTAWA (CD)
TABLA II

DATOS GENERALES

Loc:	Profundidad:
Muestra:	Proyecto:
Bande:	ESF _c (kg/cm ²): 0.5
Proble:	CO

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Ds (cm)	3.6	h1 (cm)	9.35
Dm (cm)	3.6	h2 (cm)	9.35
Dl (cm)	3.6	h3 (cm)	9.35
W _m (g)	91.96		

DATOS OBTENIDOS

Dprom (cm)	3.6	γ _{ps} (g/cm ³)	1.96000
h _{prom} (cm)	9.357	ESF _c (kg/cm ²)	1.0
A _g (cm ²)	10.1768	ESF _g (kg/cm ²)	0.5
S _{aurate} (cm)	2.1	a _s	0.975
H _g (cm)	0.3318		

CONSOLIDACION

L _a	18.908	B _a	143.33
L _m	18.899	B _m	145.50
DATOS DESPUES DE LA CONSOLIDACION			
ΔVol (cm ³)	0.0968	V _g (cm ³)	9.36
Δh (cm)	0.0009	A _c (cm ²)	10.1
C _s	0.000096		

Nº de Incremento	ΔP Kg	P Kg	Lec. de micróm. mm	Deformación		SURETA cm	Deformación		Area Corregida cm ²	Esfuerzo Desviador kg/cm ²
				Total en mm	axial %		Volumétrica ΔV	cm ³		
1	0	0	18.899	0.000	0.0000	145.430	0.0000	10.1053	0.94008	
2	1	1	18.883	0.016	0.0171	145.450	0.0196	10.1035	0.93638	
3	1	2	18.869	0.030	0.0371	145.475	0.0246	10.1026	0.93297	
4	1	3	18.855	0.044	0.0470	145.500	0.0332	10.1018	0.92988	
5	1	4	18.839	0.060	0.0641	145.525	0.0415	10.1009	0.92621	
6	1	5	18.822	0.077	0.0823	145.550	0.0498	10.1000	0.92265	
7	1	6	18.805	0.094	0.1005	145.575	0.0581	10.0991	0.91941	
8	1	7	18.788	0.111	0.1185	145.600	0.0664	10.0982	0.91619	
9	1	8	18.755	0.134	0.1432	145.625	0.0747	10.0973	0.91299	
10	1	9	18.728	0.16	0.1710	145.625	0.0747	10.0973	0.91033	
11	1	10	18.710	0.189	0.2020	145.600	0.0664	10.0962	0.90708	
12	1	11	18.653	0.246	0.2529	145.500	0.0664	10.0962	1.08903	
13	1	12	18.500	0.359	0.4255	145.525	0.0415	10.1064	1.18922	
14	1	13	18.113	0.786	0.8421	140.450	0.0196	10.1235	1.26648	
15	1	14	12.969	3.928	6.3447	142.900	0.4250	10.2000	1.37255	
16	1	15	7.530	11.369	12.152	141.400	1.2272	10.2478	1.46102	

REGISTRO DE INFORMACIÓN PARA LA PRUEBA
CONSOLIDADA DRENADA EN ARENA DE OTTAWA (CD)

TABLA III

DATOS GENERALES

Loc:	Profundidad:
Muestra:	Proyecto:
Soledad:	ESF _c (kg/cm ²): 0.75
Prueba:	CD

DIMENSIONES DE LA MUESTRA

D _h (cm):	3.0	H(cm):	9.37
D _m (cm):	3.6	H ₂ (cm):	9.36
D _o (cm):	3.6	H ₁ (cm):	9.36
W _h (g):	95.38		

DATOS OBTENIDOS

Oprom.(cm):	3.0	γ _{sat} (kN/m ³):	2.0110
h _{prom} (cm):	9.363	ESF _c (kg/cm ²):	1.25
A _u (cm ²):	10.1768	ESF _{cg} (kg/cm ²):	0.5
Δb _{oreta} (cm):	2.2	B _u :	0.954
K _s (cm ² /s):	0.3312		

CONSOLIDACIÓN

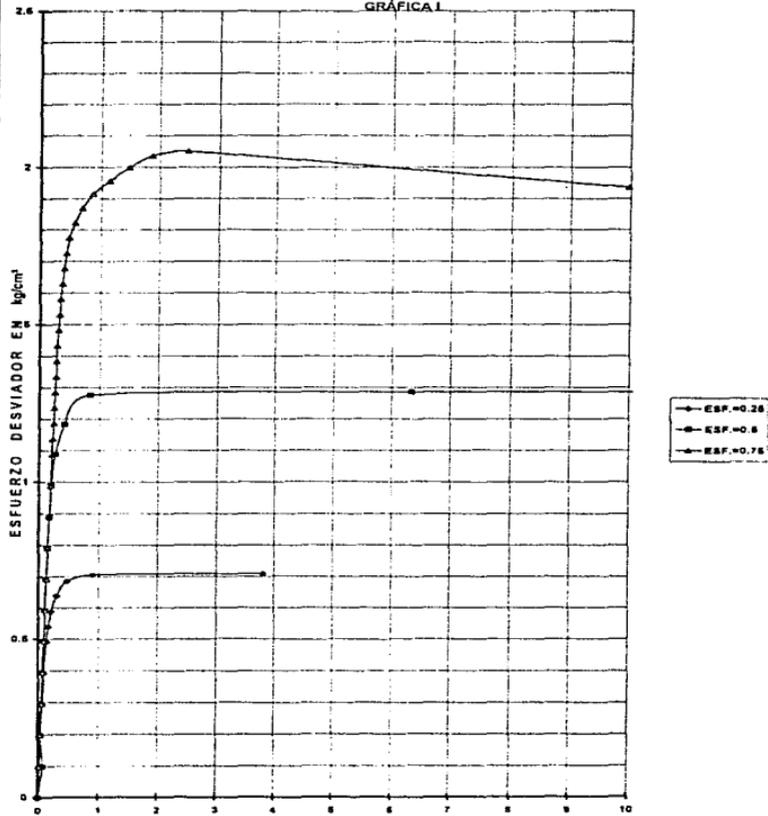
L _u :	18.11	B _u :	140.5
L _m :	18.11	B _m :	142.7

DATOS DESPUÉS DE LA CONSOLIDACION

ΔVol. (cm ³):	0.73	H _{edem} :	9.36
U _h (cm):	0.007	A _{edem} :	10.5

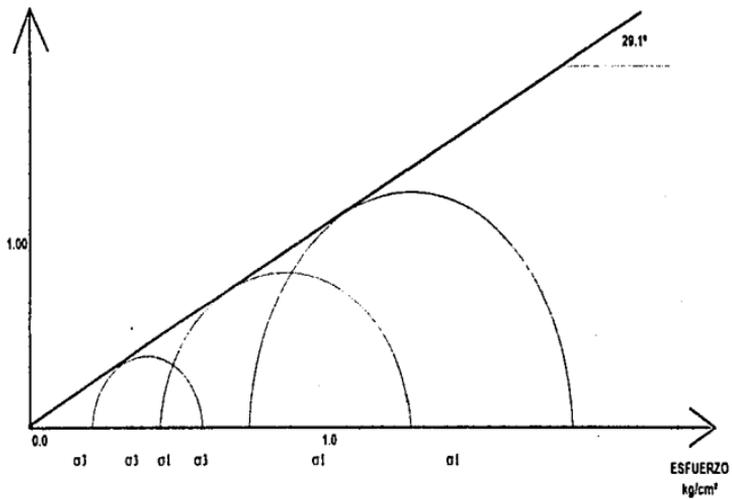
N° de Incremento	ΔP Kg	P Kg	Lee. de micróm. mm	Deformación Total en mm	Deformación unitaria axial %	BURETA cm	Deformación Volumétrica ΔV	Área Cortada cm ²	Esfuerzo Drenador Kg/cm ²
1	0	0	18.111	0.000	0.000	142.736	0.000	10.1630	0.0000
2	1	1	18.098	0.013	0.013	142.725	0.003	10.1623	0.0959
3	1	2	18.086	0.021	0.031	142.765	0.016	10.1606	0.1933
4	1	3	18.067	0.040	0.053	142.775	0.024	10.1566	0.2906
5	1	4	18.042	0.069	0.077	142.875	0.045	10.1500	0.3280
6	1	5	18.026	0.085	0.090	142.875	0.051	10.1600	0.4678
7	1	6	18.010	0.101	0.107	142.900	0.064	10.1508	0.5936
8	1	7	17.989	0.122	0.130	142.925	0.074	10.1602	0.6925
9	1	8	17.973	0.138	0.147	142.950	0.080	10.1600	0.7813
10	1	9	17.955	0.156	0.166	142.975	0.092	10.1101	0.8600
11	1	10	17.924	0.177	0.181	143.000	0.095	10.1115	0.9489
12	1	11	17.919	0.192	0.205	143.000	0.095	10.1131	1.0670
13	0.5	11.5	17.910	0.201	0.214	143.000	0.095	10.1141	1.1103
14	0.5	12	17.890	0.221	0.236	143.000	0.095	10.1157	1.1621
15	0.5	12.5	17.885	0.231	0.248	143.000	0.095	10.1173	1.2250
16	0.5	13	17.873	0.238	0.254	143.000	0.095	10.1181	1.2945
17	0.5	13.5	17.859	0.252	0.269	143.000	0.095	10.1196	1.3746
18	0.5	14	17.850	0.261	0.278	143.000	0.095	10.1206	1.4332
19	0.5	14.5	17.840	0.271	0.285	143.000	0.095	10.1217	1.4323
20	0.5	15	17.823	0.288	0.307	143.000	0.095	10.1225	1.4810
21	0.5	15.5	17.809	0.302	0.328	143.000	0.095	10.1250	1.5306
22	0.5	16	17.790	0.321	0.349	143.000	0.095	10.1271	1.5792
23	0.5	16.5	17.768	0.343	0.364	143.000	0.095	10.1295	1.6281
24	0.5	17	17.740	0.371	0.383	143.000	0.095	10.1325	1.6777
25	0.5	17.5	17.725	0.406	0.437	143.000	0.095	10.1363	1.7266
26	0.5	18	17.662	0.449	0.476	143.000	0.095	10.1410	1.7747
27	0.5	18.5	17.580	0.531	0.567	142.960	0.080	10.1517	1.8223
28	0.5	19	17.468	0.689	0.718	142.875	0.051	10.1666	1.8686
29	0.5	19.5	17.310	0.801	0.857	142.800	0.032	10.1866	1.9178
30	0.5	20	17.056	1.025	1.120	142.600	-0.032	10.2117	1.9661
31	0.5	20.5	16.730	1.381	1.452	142.500	-0.064	10.2675	1.9976
32	0.5	21	16.360	1.746	1.863	142.300	-0.165	10.3134	2.0361
33	0.5	21.5	15.956	2.113	2.476	139.200	-1.151	10.4961	2.0503
34	0.5	22	8.780	9.331	9.9676	139.100	-1.945	11.3632	1.9503

CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN
PRUEBA CD EN ARENA
GRÁFICA I



CÍRCULOS DE MOHR DE LAS PRUEBAS CD
EN ARENA DE OTTAWA
GRÁFICA 2

DEFORMACIÓN (%)



REGISTRO DE INFORMACIÓN PARA LA PRUEBA
CONSOLIDADA DRENADA EN ARCILLA (CD)

TABLA IV

DATOS GENERALES	
Loc:	Profundidad:
Muestra:	Proyecto:
Bombas:	ESF: (kg/cm ²): 0.5
Prueba:	CD

DIMENSIONES DE LA MUESTRA		
D ₁ (cm)	3.58	H ₁ (cm) 8.420
D ₂ (cm)	3.59	H ₂ (cm) 8.430
D ₃ (cm)	3.58	H ₃ (cm) 8.425
M ₁ (g)	128.45	

DATOS OBTENIDOS		
D _{prom} (cm)	3.567	V _{nom} (m ³) 1.27423
H _{prom} (cm)	8.425	ESF ₁ (kg/cm ²) 2.00
A ₁ (cm ²)	10.1037	ESF ₂ (kg/cm ²) 1.50
V ₁ (m ³)	13.55	B ₁ 0.95
V ₂ (cm ³)	0.3318	

CONSOLIDACION		
L ₁	18.6	B ₁ 0.950
L ₂	13.655	B ₂ 10

DATOS DESPUES DE LA CONSOLIDACION		
V ₁ (cm ³)	3.524	H ₂ (cm) 8.33
V ₂ (cm ³)	0.0925	A ₂ (cm ²) 9.54
C _u	0.0111	

Nº de Incremento	ΔP Kg	P Kg	Loc. de micrón. mm	Deformación Total en mm	Deformación unitaria axial %	BURETA cm	Deformación Volumétrica ΔV	Area Corregida cm ²	Esfuerzo Desviador Kg/cm ²
1	0	0	17.655	0.000	0.0000	0.0000	0.6653	0.0000	0.0000
2	1	1	17.470	0.195	0.2341	10.500	0.1559	0.6681	0.10222
3	1	2	17.218	0.447	0.5365	10.950	0.3152	0.6695	0.22970
4	1	3	16.840	0.825	0.9502	11.550	0.5143	0.7198	0.35685
5	0.5	3.5	16.581	1.084	1.3011	12.250	0.7468	0.7222	0.36900
6	0.5	4	16.385	1.280	1.5263	12.900	0.8296	0.7353	0.41088
7	0.5	4.5	16.187	1.473	1.7680	13.000	0.8955	0.7380	0.46211
8	0.5	5	15.827	1.728	2.0741	13.500	1.1814	0.7481	0.51292
9	0.5	5.5	15.609	2.056	2.4677	14.150	1.3771	0.7658	0.56347
10	0.5	6	15.355	2.310	2.7728	14.800	1.5254	0.7731	0.61393
11	0.5	6.5	15.025	2.630	3.1567	15.130	1.7023	0.7900	0.66354
12	0.5	7	14.686	2.967	3.5812	15.850	1.8748	0.8296	0.71250
13	0.5	7.5	14.327	3.329	3.9945	16.300	2.0605	0.8262	0.76321
14	0.5	8	13.810	3.855	4.6270	17.200	2.3892	0.8545	0.81181
15	0.5	8.5	13.322	4.332	5.2057	17.950	2.6380	0.8828	0.86059
16	0.5	9	12.858	5.010	6.0133	19.100	3.0197	0.9193	0.90712
17	0.5	9.5	11.870	5.895	6.8325	20.150	3.3681	0.9620	0.95367
18	0.5	10	11.020	6.815	7.8367	21.950	3.8325	10.0029	0.99791
19	0.5	10.5	9.987	7.818	9.2156	22.500	4.1479	10.7921	1.02954
20	0.5	11	8.745	9.420	11.3965	23.000	4.3038	10.3367	1.06472
21	0.5	11.5	3.000	14.685	17.6019	25.000	4.9775	11.0292	1.04268

REGISTRO DE INFORMACIÓN PARA LA PRUEBA
CONSOLIDADA DRENADA EN ARCILLA [CD]
TABLA V

DATOS GENERALES

Loc:	Profundidad
Muestra:	Proyecto
Sondeo:	Est. (kg/cm ²) 1.0
Prueba:	CD

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

D _{max} #	3.535	H ₁ (cm) ³	8.390
D _{max} #	3.543	H ₂ (cm) ³	8.395
D _{max} #	3.540	H ₃ (cm) ³	8.385
W _o (g) #	103.18		

DATOS OBTENIDOS

D _{max} (cm) ³	3.532	W _{adm} (%)	1.744
W _{adm} (cm) ³	8.390	ESP ₁₀ (g/cm ³)	2.5
A _g (cm ²)	9.8378	ESP ₂₀ (g/cm ³)	1.5
(A _o relac) ₁₀	26.85	W _o	0.967
(A _o relac) ₂₀	0.3318		

CONSOLIDACIÓN

L ₁₀	23.76	W ₁₀	22.85
L ₂₀	20.23	W ₂₀	4.00
DATOS DESPUÉS DE LA CONSOLIDACIÓN			
A _o relac ₁₀ (cm ²)	8.9096	A _o relac ₂₀ (cm ²)	8.08
W ₁₀ (cm ³)	0.3065	A _o relac ₂₀ (cm ³)	8.78
e ₁₀	0.0361		

Nº de Incremento	AP Kg	P Kg	Loc. de micrón. mm	Deformación Total en mm	Deformación unitaria axial %	BURETA cm	Deformación Volumétrica ΔV	Area Corregida cm ²	Esfuerzo Desviador Kg/cm ²
1	0	1	20.740	0.000	0.0000	4.730	0.000	8.774	0.0000
2	1	1	19.996	0.121	0.521	4.442	0.193	8.776	0.1138
3	1	2	19.822	0.378	0.4676	4.458	0.231	8.783	0.2735
4	1	3	19.531	0.896	0.864	5.470	0.446	8.787	0.3420
5	1	4	19.103	1.137	1.324	6.200	0.680	8.779	0.4532
6	1	5	18.537	1.463	2.094	7.000	0.966	8.841	0.9654
7	1	6	17.862	2.210	2.9319	8.100	1.3626	8.879	1.6763
8	1	7	16.991	3.229	4.9063	9.500	1.8251	8.9194	3.1890
9	1	8	16.000	4.290	5.2379	11.150	2.3728	8.9542	4.8344
10	1	9	14.920	5.310	6.5683	12.670	2.9633	9.0053	6.9941
11	1	10	13.740	6.520	8.0658	14.750	3.6172	9.0633	11.2562
12	1	11	12.720	7.510	9.2963	16.220	4.3483	9.1262	17.2633
13	1	12	11.560	8.610	10.7296	17.630	4.9124	9.1947	25.3510
14	1	13	10.440	9.750	12.1111	19.532	5.1523	9.2636	37.4036
15	1	14	9.340	10.881	13.4628	21.000	5.4411	9.3362	54.6921
16	1	15	8.294	11.936	14.7659	22.450	6.1223	9.4114	82.5461
17	1	16	7.300	12.921	15.9844	23.740	6.5371	9.4868	124.6665
18	1	17	6.310	13.919	17.2178	25.540	6.744	9.5632	187.750
19	1	18	5.420	14.826	18.3151	26.140	7.1314	9.6369	281.762
20	1	19	4.470	15.732	19.4031	27.240	7.2546	9.7141	414.750
21	0.5	20	3.600	16.623	20.5041	28.560	8.1732	9.7966	604.750
22	0.5	21	2.726	17.506	21.6552	29.900	8.4719	9.8775	871.461
23	0.5	22	1.820	18.420	23.0490	31.300	8.7417	10.0334	1247.9

REGISTRO DE INFORMACIÓN PARA LA PRUEBA
CONSOLIDADA DRENADA EN ARCILLA (CD)
TABLA VI

DATOS GENERALES	
Loc:	Profundidad:
Muestra:	Proyecto:
Sondeo:	ESF _g (kg/cm ²): 1.5
Prueba:	CD

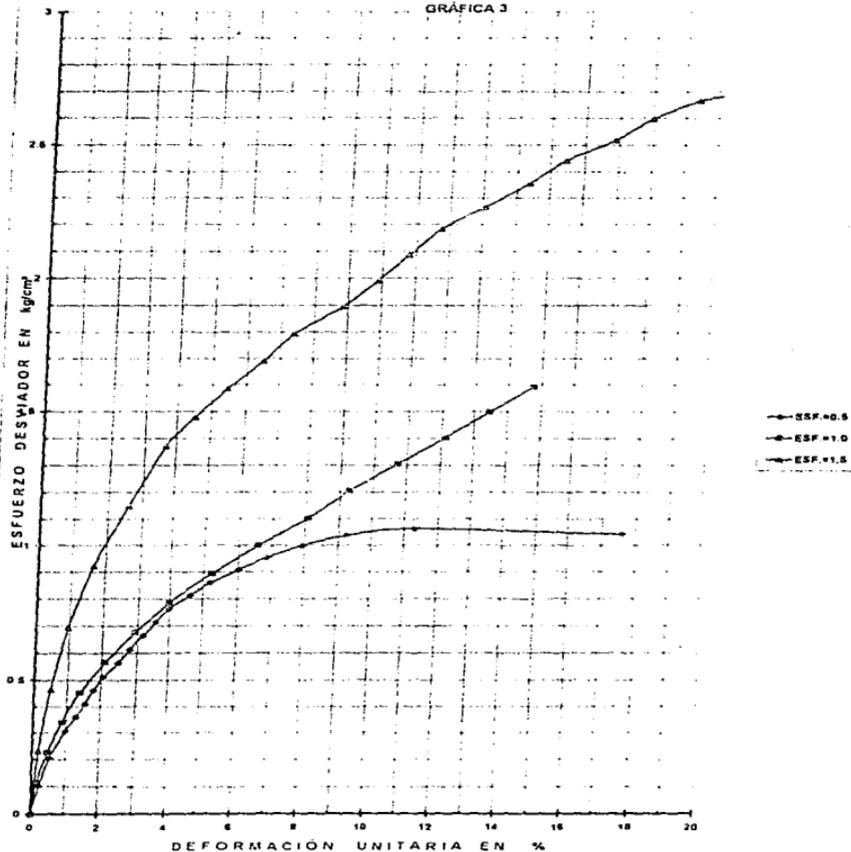
DIMENSIONES DE LA MUESTRA		
D ₁ (cm) =	3.6	M ₁ (cm) = 9.37
D ₂ (cm) =	3.6	M ₂ (cm) = 9.36
D ₃ (cm) =	3.6	M ₃ (cm) = 9.36
W ₀ (g) =	95.36	

DATOS OBTENIDOS			
Oprim. (cm)	3.8	T ₉₀ (cm ² /m ²)	1.00218
Agrom. (cm)	2.363	ESF _g (kg/cm ²)	3.0
A ₀ (cm ²)	10.1768	ESF _g (kg/cm ²)	1.5
Δb ₀ (cm)	7.7	B ₀	0.954
K _g (cm ²) =	0.3313		

CONSOLIDACIÓN			
L ₁₀	18.13	B ₁₀	140.5
L ₂₀	18.11	B ₂₀	142.7
DATOS DESPUÉS DE LA CONSOLIDACIÓN			
ΔV _{ol} (cm ³)	0.73	A ₀ (cm ²)	9.36
ΔH (cm)	0.002	A ₀ (cm ²)	10.1
C _c	0.0214		

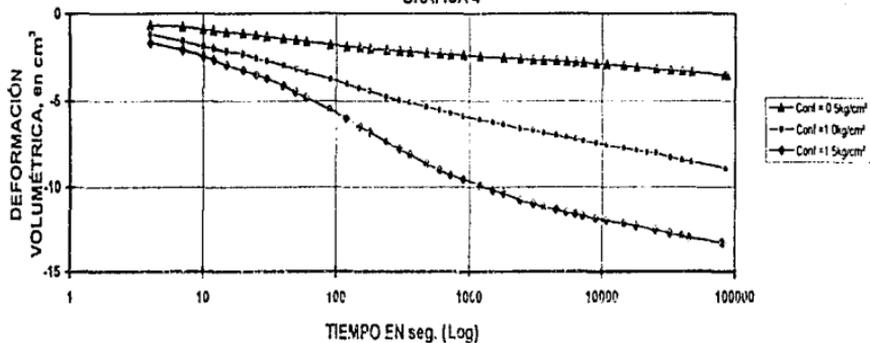
Nº de Incremento	ΔP kg cm ²	P kg	Lec. de máx. cm	Deformación Total en mm	Deformación unitaria axial %	GURETA cm	Deformación Volumétrica ΔV	Área Corregida cm ²	Esfuerzo Desviador kg/cm ²
1	0	0	19.500	0.000	0.0000	4.000	0.0000	8.6192	0.0000
2	7	7	19.349	0.151	0.1872	4.300	0.0995	8.6290	0.27194
3	2	9	19.173	0.327	0.4973	4.650	0.2157	8.6351	0.46322
4	2	6	18.723	0.777	0.9733	5.280	0.4247	8.6502	0.89363
5	2	8	18.180	1.320	1.6535	6.190	0.6968	8.6754	0.92715
6	2	10	17.442	2.098	2.5780	7.250	1.0784	8.7086	1.14829
7	2	12	16.541	2.959	3.7058	8.800	1.5263	8.7524	1.37105
8	1	13	15.861	3.619	4.5324	9.500	1.9248	8.7820	1.47911
9	1	14	15.148	4.362	5.4916	10.530	2.3867	8.8261	1.58588
10	1	15	14.313	5.187	6.4678	11.700	2.9546	8.8759	1.68997
11	1	16	13.578	5.922	7.4183	12.700	3.6667	8.9193	1.79387
12	1	17	12.442	7.068	8.8413	14.480	3.4773	8.9773	1.86366
13	1	18	11.615	7.885	9.9772	15.208	3.7182	9.0473	1.96954
14	1	19	10.880	8.620	10.7979	16.000	3.9967	9.1011	2.08766
15	1	20	10.115	9.365	11.7562	16.950	4.2998	9.1573	2.18399
16	1	21	9.081	10.419	13.0515	17.400	4.4461	9.2124	2.26478
17	1	22	8.022	11.477	14.3768	18.050	4.6036	9.3359	2.35650
18	1	23	7.161	12.339	15.4566	19.950	5.2922	9.4109	2.44398
19	1	24	6.030	13.470	16.8724	20.850	5.5098	9.5263	2.51925
20	1	25	5.125	14.375	18.0070	21.800	5.8397	9.6200	2.58677
21	1	26	3.975	15.525	19.4476	22.350	6.0985	9.7517	2.66619
22	0.5	26.5	3.120	16.380	20.5186	22.950	6.2876	9.8533	2.68944

CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN
PRUEBA CD EN ARCILLA
GRÁFICA 3



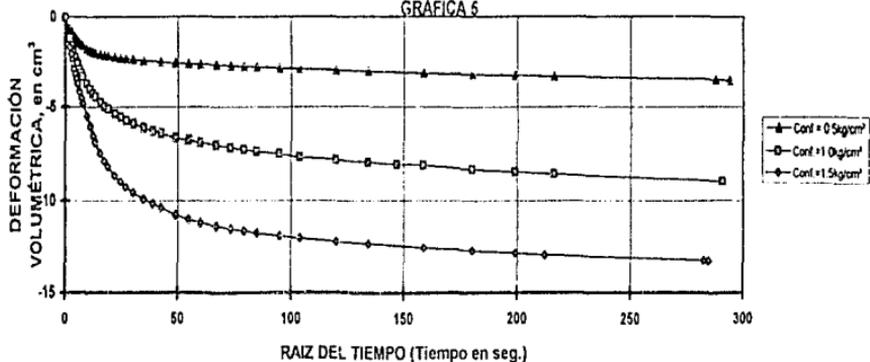
ETAPA DE CONSOLIDACIÓN

GRÁFICA 4



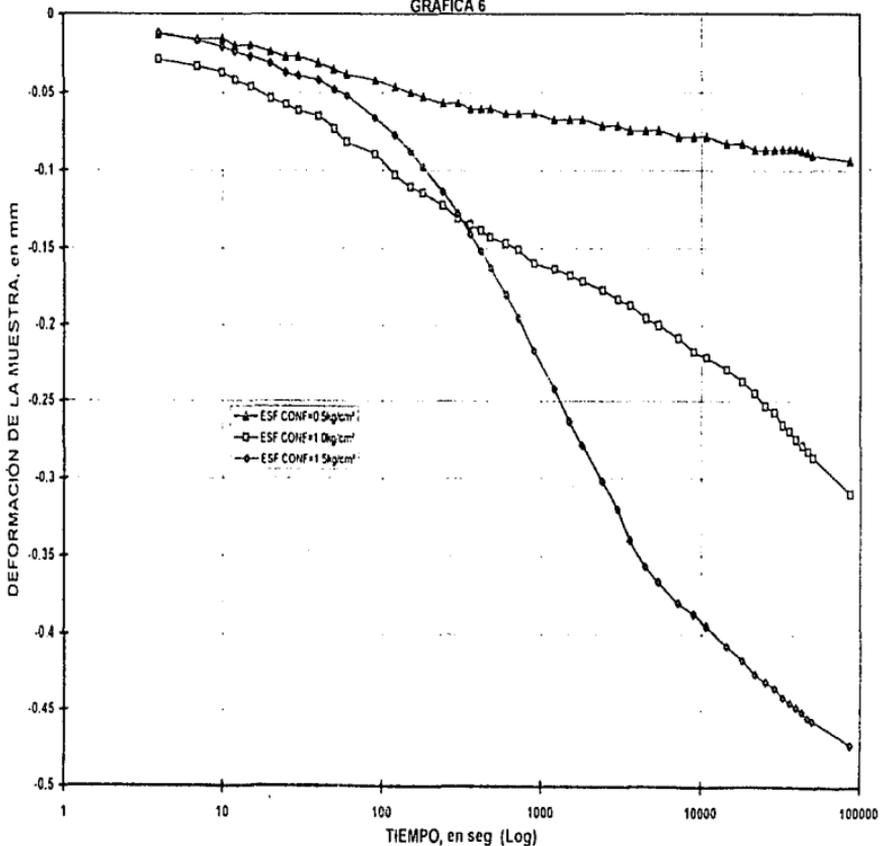
ETAPA DE CONSOLIDACIÓN

GRÁFICA 5



ETAPA DE CONSOLIDACIÓN

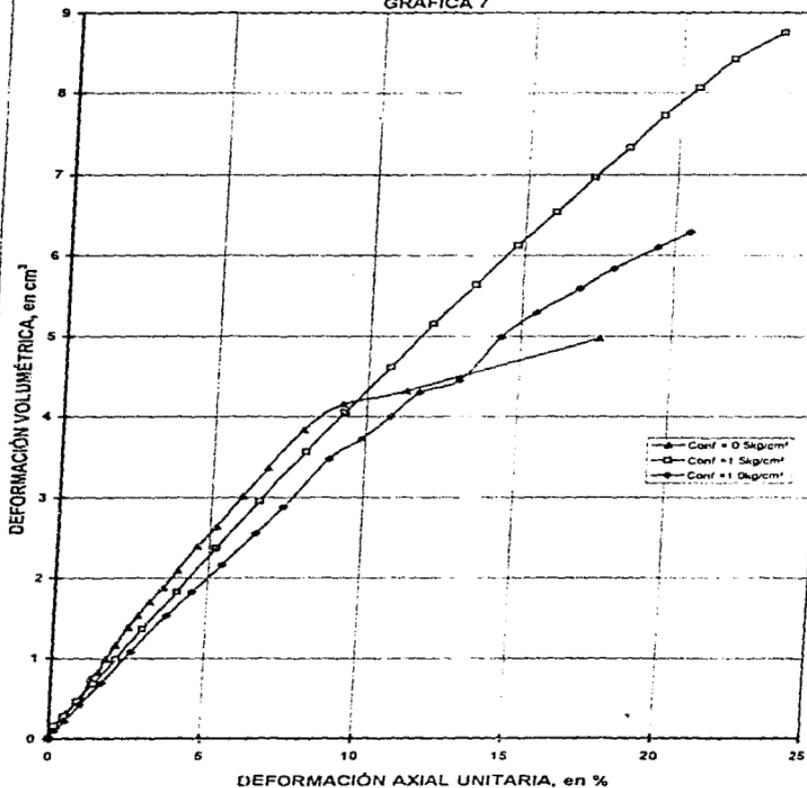
GRÁFICA 6



ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

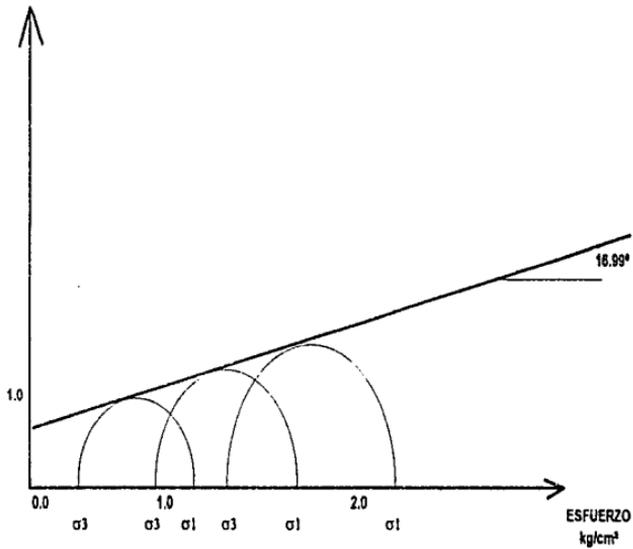
ETAPA DE FALLA

GRÁFICA 7



CÍRCULOS DE MOHR DE LAS PRUEBA
CONSOLIDADA DRENADA EN ARCILLA (CD)
GRÁFICA 8

DEFORMACIÓN (%)



REGISTRO DE INFORMACIÓN PARA LA PRUEBA
CONSOLIDADA NO DRENADA EN ARCILLA (CU)
TABLA VII

DATOS GENERALES	
Loc:	Profundidad:
Muestra:	Proyector:
Sobres:	EMF ₁₀ (g/cm ³): 0.5
Moeda:	CU

DIMENSIONES DE LA MUESTRA			
D ₁ (cm):	3.58	H ₁ (cm):	8.400
D ₂ (cm):	3.57	H ₂ (cm):	8.500
D ₃ (cm):	3.57	H ₃ (cm):	8.49
W ₁ (g):	114.76		

DATOS OBTENIDOS			
D ₁ (cm):	3.5717	H ₁ (cm):	1.34657
H ₁ (cm):	8.4633	EMF ₁₀ (g/cm ³):	2.00
H ₂ (cm):	10.0184	EMF ₁₀ (g/cm ³):	1.50
D ₂ (cm):	9.8	H ₂ :	0.938
H ₃ (cm):	0.3318		

CONSOLIDACION			
L ₁ :	18.4	L ₂ :	17.87
DATOS DESPUES DE LA CONSOLIDACION			
L ₁ (cm):	3.1858	H ₁ (cm):	8.4425
L ₂ (cm):	0.0499	A ₁ (cm):	9.707
E:	0.0059		

N° de Incremento	SP		P	Loc. de micrón.	Deformación Total en mm	Deformación unitaria axial %	Presión de Poro kg/cm ²	Área Corregida cm ²	Esfuerzo Destructor Kg/cm ²
	kg	kg							
1	0	0		17.870	0.000	0.0000	0	9.7012	0.00000
2	0.5	0.5		17.847	0.023	0.0272	0.01	9.7634	0.02153
3	0.5	1		17.785	0.085	0.1007	0.03	9.7099	0.10090
4	0.5	1.5		17.722	0.148	0.1753	0.05	9.7156	0.15439
5	0.5	2		17.652	0.218	0.2587	0.08	9.7224	0.25211
6	0.5	2.5		17.526	0.344	0.4074	0.08	9.7347	0.25681
7	0.5	3		17.402	0.468	0.5643	0.11	9.7468	0.30776
8	0.5	3.5		17.332	0.538	0.6372	0.13	9.7507	0.32684
9	0.5	4		17.193	0.677	0.8018	0.15	9.7573	0.40923
10	0.5	4.5		17.056	0.814	0.9541	0.16	9.7609	0.46308
11	0.5	5		16.935	0.935	1.1074	0.17	9.7628	0.51258
12	0.5	5.5		16.769	1.081	1.2803	0.19	9.8072	0.56081
13	0.5	6		16.635	1.225	1.4673	0.2	9.8225	0.61284
14	0.5	6.5		16.453	1.417	1.6762	0.21	9.8406	0.66653
15	0.5	7		16.260	1.610	1.9058	0.22	9.8599	0.70994
16	0.5	7.5		15.960	1.810	2.2621	0.25	9.8801	0.75833
17	0.5	8		15.555	2.215	2.7418	0.26	9.9211	0.80255
18	0.5	8.5		14.755	3.115	3.6652	0.29	10.0131	0.84589
19	0.5	9		13.850	4.020	4.7811	0.31	10.1015	0.89043
20	0.5	9.5		11.000	6.870	8.1364	0.22	10.4168	0.91199

REGISTRO DE INFORMACIÓN PARA LA PRUEBA
CONSOLIDADA NO DRENADA EN ARCILLA (CU)
TABLA VIII

DATOS GENERALES

Lic	Profundidad
Muestra	Proyecto
Sondeo	ESF ₂ (kg/cm ²) 1.0
Prueba	CD

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

D _z (cm) *	3.59	n ₁ (cm) ²	8.450
D ₁₀ (cm) *	3.500	n ₂ (cm) ²	8.45
D ₆₀ (cm) *	3.560	n ₃ (cm) ²	8.45
W _u (%) *	111.57		

DATOS OBTENIDOS

D _{prom} (cm) *	3.508	n _u (cm) ²	1.3054
h _{prom} (cm) *	8.45	ESF ₂ (kg/cm ²) *	2.5
A _u (cm) ²	10.11	ESF _u (kg/cm ²) *	1.5
h _{bre} (cm) *	26	h _u	0.956
K _g (cm) ²	0.332		

CONSOLIDACIÓN

L _u	18.45	L _u	18.514
DATOS DESPUÉS DE LA CONSOLIDACIÓN			
ΔV _{vol} (cm) ³	8.8276	h _u (cm)	8.2564
ΔH (cm)	0.1938	A _u (cm) ²	8.3049
ε *	0.0729		

1 ^a de Incrementos	AP Kg	P Kg	Lic. de macrom. mm	Deformación Total en mm	Deformación unitaria axial %	Presión de Poro ß (kg/cm ²)	Área Corregida cm ²	Esfuerzo Desviado Kg/cm ²
1	0	0	18.514	0.000	0.0000	0.000	8.3049	0.0000
2	1	1	18.441	0.073	0.0654	0.080	8.3117	0.10730
3	1	2	18.335	0.179	0.2168	0.170	8.3218	0.21456
4	1	3	18.200	0.314	0.3603	0.200	8.3342	0.32140
5	1	4	18.050	0.464	0.5670	0.250	8.3483	0.42789
6	1	5	15.845	0.569	0.8103	0.330	8.3676	0.53376
7	1	6	15.625	0.689	1.0767	0.400	8.3884	0.63809
8	1	7	15.315	1.179	1.4780	0.430	8.4159	0.74342
9	1	8	15.050	1.454	1.7732	0.480	8.4421	0.84715
10	1	9	14.668	1.846	2.2758	0.520	8.4799	0.94938
11	1	10	13.970	2.544	3.0212	0.580	8.5478	1.04796
12	1	11	12.310	4.004	4.8496	0.650	8.8600	1.13484
13	1	12	10.000	6.514	7.8896	0.680	9.9533	1.20564

REGISTRO DE INFORMACIÓN PARA LA PRUEBA
CONSOLIDADA NO DRENADA EN ARCILLA (CU)

TABLA IX

DATOS GENERALES

Loc.:	Profundidad:
Número:	Proyecto:
Sondeo:	Esf. D'arcilla ² 1.5
Proble:	CD

DIMENSIONES DE LA MUESTRA

D ₁ (cm) *	3.58	H ₁ (cm) *	8.45
D ₂ (cm) *	3.59	H ₂ (cm) *	8.45
D ₃ (cm) *	3.58	H ₃ (cm) *	8.45
W _o (%) *	111.57		

DATOS OBTENIDOS

D ₅₀ (cm) *	3.588	f ₂₀ (%) *	1.30564
W ₅₀ (cm) *	8.45	ESF ₅₀ (kg/cm ²) *	3.0
A ₅₀ (cm) *	10.11	ESF ₅₀ (kg/cm ²) *	1.5
W ₅₀ (cm) *	33.9	G ₅₀	0.905
V ₅₀ (cm) *	0.332		

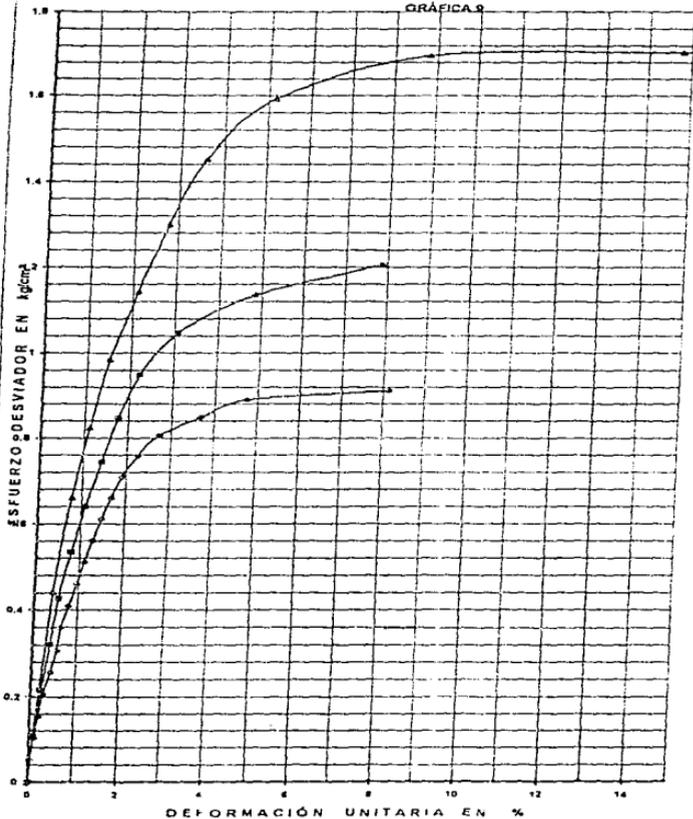
CONSOLIDACIÓN

	Le ₁ 18.3	Le ₂ 18.103	
DATOS DESPUÉS DE LA CONSOLIDACIÓN			
V ₁ (cm) *	11.249	V ₂ (cm) *	8.225
H ₁ (cm) *	0.2146	H ₂ (cm) *	0.921
e _c	0.0256		

Nº de Incremento	ΔF Kg	P Kg	Loc. de macrom. mm	Deformación Total en mm	Deformación unitaria axial %	Presión de Poro kg/cm ²	Área Corregida cm ²	Esfuerzo Desplazador Kg/cm ²
1	0	0	16.103	0.000	0.000	0.000	0.0212	0.0000
2	2	2	15.960	0.143	0.1736	0.150	0.0341	0.27136
3	2	4	15.755	0.348	0.4231	0.290	0.0537	0.44166
4	2	6	15.468	0.635	0.7720	0.446	0.0769	0.66358
5	1.5	7.5	15.162	0.921	1.1197	0.550	0.1051	0.87372
6	1.5	9	14.853	1.250	1.5197	0.656	0.1354	0.96518
7	1.5	10.5	14.349	1.754	2.1324	0.750	0.1823	1.14351
8	1.5	12	13.871	2.280	2.7718	0.840	0.2317	1.29987
9	1.5	13.5	13.140	2.954	3.5913	0.920	0.2956	1.45272
10	1.5	15	11.848	4.255	5.1730	1.000	0.4221	1.59200
11	1.5	16.5	8.845	7.258	8.8759	1.000	0.7272	1.69527
12	1	17.5	3.840	12.183	14.7671	1.070	10.2704	1.70303
13	0.5	18	1.800	14.503	17.9320	1.050	10.5415	1.70592

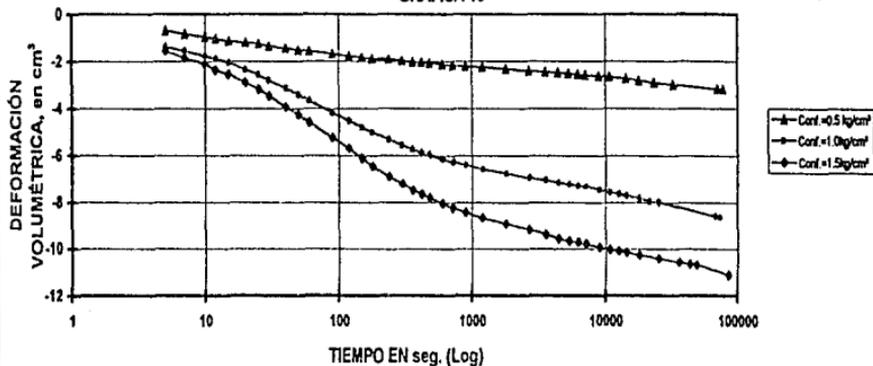
CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN
PRUEBA CD EN ARCILLA

GRÁFICA 2



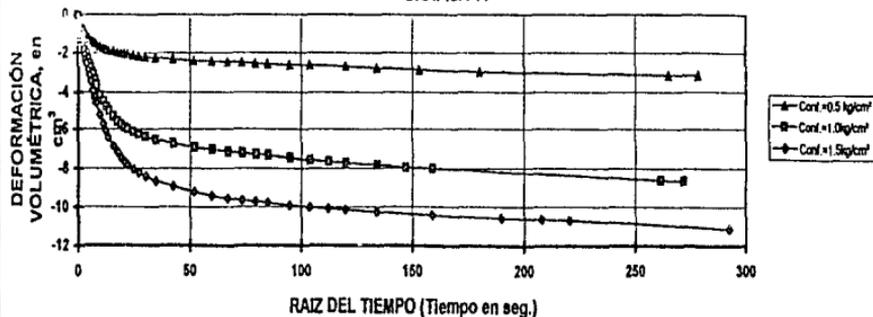
ETAPA DE CONSOLIDACIÓN

GRÁFICA 10



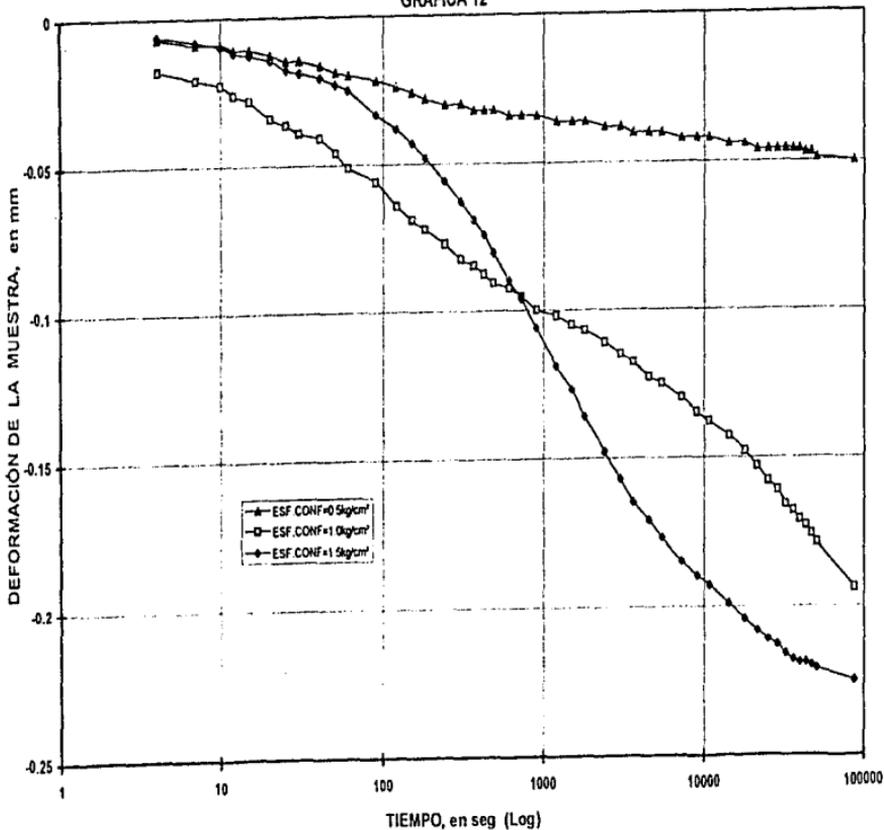
ETAPA DE CONSOLIDACIÓN

GRÁFICA 11



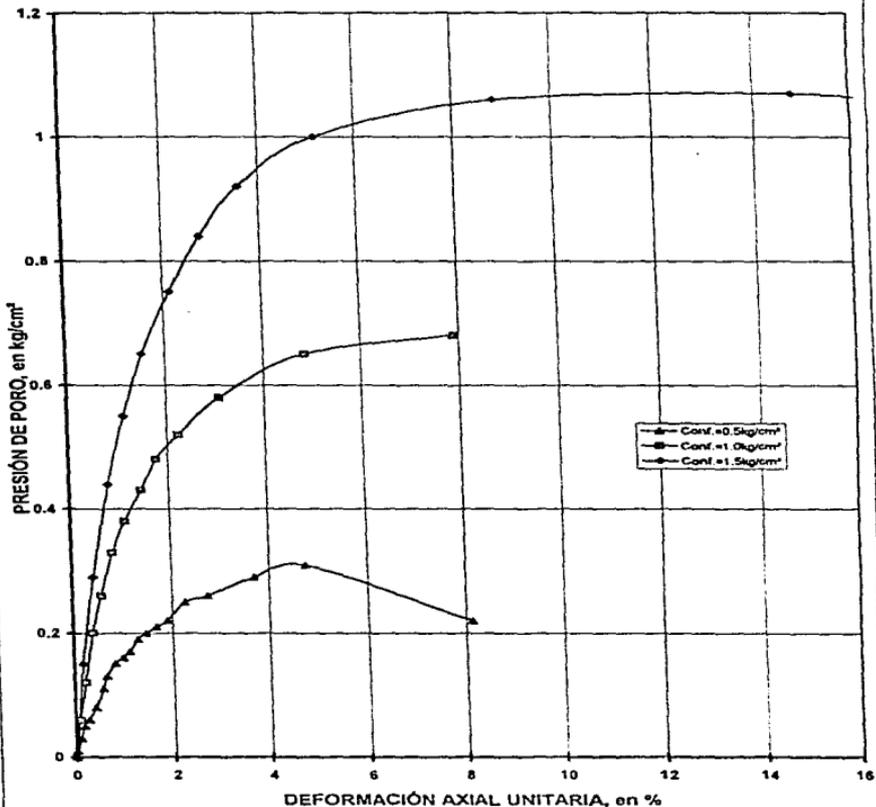
ETAPA DE CONSOLIDACIÓN

GRÁFICA 12

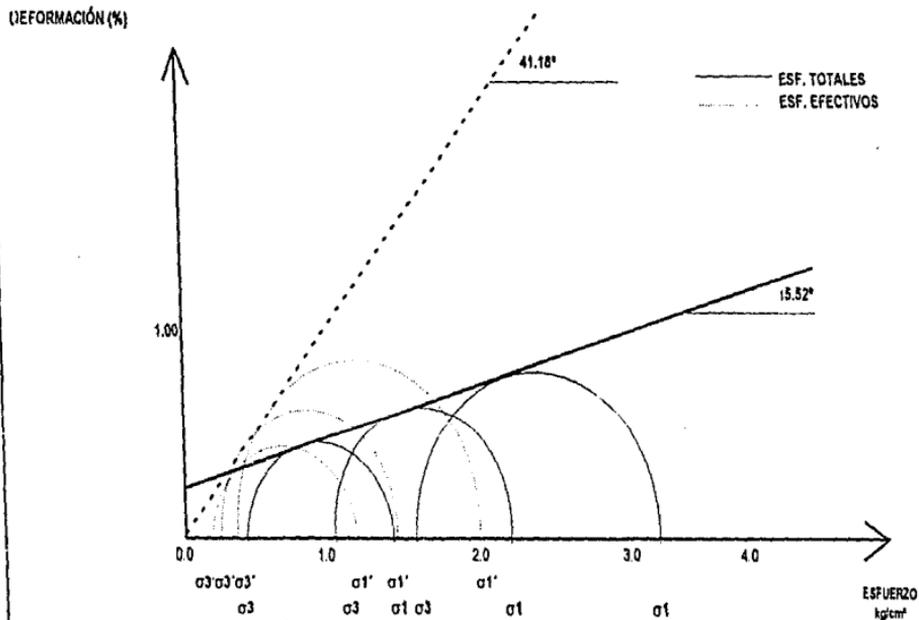


ETAPA DE FALLA

GRÁFICA 13



CÍRCULOS DE MOHR DE LA PRUEBA
 CONSOLIDADA NO DRENADA EN ARCILLA (CU)
 GRÁFICA 14



De los resultados que se obtuvieron de los tres ensayos se obtienen las siguientes observaciones:

Prueba CD en arena: En las curvas esfuerzo-deformación se observan los siguientes aspectos:

- A mayor esfuerzo confinante se obtiene una mayor resistencia en la probeta de suelo.
- Se trata de una arena suelta ya que se observa una falla plástica, al aumentar gradualmente la deformación, el esfuerzo aumenta, teniendo éste un límite que se conserva aunque la deformación siga creciendo hasta valores grandes.
- De los círculos de Mohr se observa que no existe cohesión alguna en el material, por lo que es puramente friccionante, comportándose con la siguiente ley de resistencia:

$$S = \sigma \tan 29.1^\circ$$

Prueba CD en arcilla: Las características observadas son las siguientes:

- En las curvas esfuerzo-deformación se observa que a mayor esfuerzo confinante se obtiene mayor resistencia en la masa de suelo, al mismo tiempo se observa una falla plástica en el material.
- En los círculos de Mohr se obtiene la siguiente ley de resistencia:

$$S = 0.8 + \sigma \tan 16.99^\circ$$
- Durante la etapa de consolidación, se obtiene una curva de deformación y su evolución de ésta con el tiempo, en esta gráfica se observa el 0% y el 100% de la consolidación primaria, cuando las curvas tienden a la horizontalidad, se considera que ha llegado al 100% de la consolidación primaria en la muestra.
- Los valores negativos en el eje de la deformación volumétrica es porque existe expulsión del agua en la muestra de suelo, debido a la disminución de volumen.
- A mayor esfuerzo confinante aumenta la deformación volumétrica.

Prueba CU en arcilla: Las características obtenidas son las siguientes:

- En los círculos de Mohr, obtenemos dos series de círculos, que representan la prueba en términos de esfuerzos efectivos y de esfuerzos totales. El ángulo de fricción interna en términos de esfuerzos efectivos es mayor respecto al de esfuerzos totales, esto debido a que el agua dentro de la muestra soporta una parte del esfuerzo desviador que se aplica a la muestra, obteniendo las siguientes leyes de resistencia:

$$S = 0.2 + \sigma \tan 15.52^\circ \text{ en términos de esfuerzos totales}$$

$$S = \sigma \tan 41.18^\circ \text{ en términos de esfuerzos efectivos.}$$

- Para las curvas esfuerzo-deformación, a mayor esfuerzo confinante se obtiene una mayor resistencia al esfuerzo cortante en la muestra de suelo, se observa con mejor claridad que en la otras pruebas el comportamiento plástico del material.
- En la etapa de consolidación, se observa la disminución del volumen debido a la expulsión del agua. Cuando las curvas se aproximan a la horizontalidad se considera que han llegado al 100% de la consolidación primaria.
- Durante la etapa de falla, en la gráfica de presión de poro-deformación axial, se observa que en las curvas existe cierta proporcionalidad, y que a mayor esfuerzo confinante, aumentan las presiones de poro generadas dentro de la muestra.

FALTA PAGINA

No. 92

del ensaye, la muestra de suelo no presentó ninguna expansión. Estos aspectos son los que caracterizan a los suelos normalmente consolidados y preconsolidados.

El valor del ángulo de fricción interna depende del valor que llegue a alcanzar la presión de poro en el instante de la falla.

Se logró el objetivo de aumentar y mejorar el equipo triaxial en el laboratorio, con el equipo nuevo se logra realizar pruebas, con mayor funcionalidad, evitando un mayor número de errores que con el equipo original.

Se espera que este trabajo sea de utilidad para todos los alumnos de la área de Geotecnia ayudándoles a tener más claros los conceptos adquiridos en clase. Si esto se logra, se habrá cumplido con los objetivos trazados y la satisfacción de haber contribuido con la superación del nivel académico de la Facultad será muy grande.

REFERENCIA I

Relación de piezas adquiridas

TABLERO CENTRAL

Cantidad	Tipo de pieza	Características
10	Válvula	B-43F2
4	Cruz	1/8" NPT hembra
14	Niple	1/8" NPT con hexágono intermedio
8	Niple conector	1/8" NPT a 1/4" manguera
2	Niple codo conector	1/8" NPT a 1/4" manguera
2	Bureta de vidrio	
4	Conector para bureta	1/2" a 1/8" NPT hembra
2	Válvula	B-42F2
2	Vaso de policarbonato	
2	Manómetro	
2	Regulador	
2	Válvula	B-42VF2
11	Niple conector rápido	1/8" NPT macho a 1/4" mangera hembra
1	"T" conector rápido	1/4" manguera hembra

CÁMARAS TRIAXIALES

Cantidad	Tipo de pieza	Características
4	Válvulas	B-42F2
2	Codo 45°	1/8" NPT hembra
2	"T" conector	1/8" NPT hembra
6	Niple conector	1/8" NPT a 1/4 manguera

TABLEROS LATERALES

Cantidad	Tipo de pieza	Características
2	Vaso de	
	policarbonato	
4	Válvula Nupro	1/8" NPT hembra
2	Válvula 3 posiciones	1/8" NPT a 1/4" manguera
2	Codo	
2	Manómetro	
2	Regulador	
2	Válvula	B-42F2
6	Niple conector rápido	1/8 NPT macho a 1/4" manguera hembra

REFERENCIA II

Especificaciones de los elementos que componen el nuevo equipo

Elementos	Marca	Especificaciones
Manómetros	DeWit	Soporta una presión máxima de 10 Kg/cm ²
Válvulas	Whitey	Fabricadas en latón y soportan una presión máxima de 10 Kg/cm ²
Reguladores	Norgren	Soporta una presión máxima de 10 Kg/cm ²
Garrafón	Pyrex	Fabricado en vidrio. Con 2lts. de capacidad.
Manguera que comunica las instalaciones con el equipo.	Nycoil	De 3/8" de diámetro interior, soporta una presión máxima de 10 Kg/cm ²
Manguera de distribución dentro del marco	Nycoil	De 1/4" de diámetro interior y soporta una presión máxima de 10Kg/cm ²
Vaso de policarbonato	Norgren	Soporta una presión máxima de 10 Kg/cm ²
Bureta		Soporta una presión máxima de 10 Kg/cm ²
Conexiones	Swagelok	Soportan una presión máxima de 10 Kg/cm ²
Bomba de vacío	Geosistemas	La presión máxima de vacío que proporciona es de 1mcm.
Compresor	De-Vilbiss	Proporciona una presión máxima de 10 Kg/cm ² , tanque de 70 lts.
Micrómetro	Mitutoyo	División mínima de .01 mm.

BIBLIOGRAFIA

-Juárez, E y Rico, A, Mecánica de Suelos Tomo I México: Limusa, 1990.

-Mendoza, J. Pruebas triaxiales en suelos. Tema para obtener el título de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería. UNAM. México, 1973.

-Lambe, W. Mecánica de Suelos México. Limusa, 1980.

-Jaime, A. y Legorreta, H. "Equipo triaxial cíclico controlado por computadora" informe interno del Instituto de Ingeniería. UNAM. México. 1989.

-Comisión Nacional del Agua. Instructivo para ensayos de suelos. México 1980.

-Braja, D. Advanced soil mechanics. México. Mc Graw-Hill, 1985.