



UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación N°. 8727-15

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN MARCO
TRIAxIAL PARA DETERMINAR PARÁMETROS DE
RESISTENCIA AL CORTE EN SUELOS PARA “EL
LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.”**

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero civil

Presenta:

Sergio Sáenz Bravo

Asesor: M. I. Esteban Brito Chávez.

Uruapan, Michoacán. 2008.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.

| | |
|-------------------------------------|---|
| Antecedentes. | 1 |
| Planteamiento. | 2 |
| Objetivo. | 3 |
| Pregunta de investigación | 3 |
| Justificación | 4 |
| Delimitación | 5 |
| Marco de referencia. | 6 |

Capítulo 1.- PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL.

| | |
|---|----|
| 1.1 Concepto de Compresión Triaxial. | 7 |
| 1.2 Criterio de Mohr-Coulomb en la teoría de esfuerzo cortante. | 9 |
| 1.3 Ensayo de compresión triaxial. | 11 |
| 1.4 Variantes de la prueba. | 12 |
| 1.5 Interpretación de Resultados. | 17 |

Capítulo 2.- MARCO TRIAXIAL.

| | |
|--|----|
| 2.1 Concepto de marco triaxial. | 21 |
| 2.2 Componentes de una marco triaxial. | 23 |
| 2.3 Usos de los marcos triaxiales. | 29 |
| 2.4 Proveedores de marcos triaxiales. | 32 |

Capítulo 3.- DISEÑO DEL MARCO TRIAXIAL.

| | |
|---|----|
| 3.1 Parámetros de diseño electromecánico. | 34 |
| 3.2 Elementos que componen el marco triaxial. | 41 |
| 3.3 Datos de diseño constructivo | 42 |
| 3.4 Puesta en marcha y operación. | 45 |
| 3.5 Medidas de seguridad. | 51 |
| 3.5 Calibración. | 52 |

Capítulo 4.- METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.

| | |
|--|----|
| 4.1 Método empleado. | 55 |
| 4.2 Enfoque de la investigación. | 57 |
| 4.3 Alcance de la investigación. | 57 |
| 4.4 Diseño de la investigación. | 59 |
| 4.5 Instrumentos de recopilación de datos. | 59 |

Capítulo 5.- CÁLCULO, ANÁLISIS E INTEPRETACIÓN DE DATOS.

| | |
|--|----|
| 5.1 Pruebas de calibración del marco triaxial MT-420 | 63 |
| 5.2 Análisis de los resultados de calibración. | 63 |
| 5.3 Comparación de los resultados de calibración de ambos equipos. | 70 |
| 5.4 Determinación de parámetros de resistencia al esfuerzo cortante en pruebas realizadas en suelos. | 72 |

| | |
|--|-----------|
| 5.4.1 Obtención de la muestra de suelo | 73 |
| 5.4.2 Labrado de probetas. | 73 |
| 5.4.3 Ensaye de compresión triaxial. | 74 |
| 5.4.4 Determinación de los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante del suelo en estudio. | 82 |
| Conclusiones. | 88 |
| Bibliografía. | 91 |

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN MARCO TRIAXIAL PARA
DETERMINAR PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE EN SUELOS PARA
“EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.”**

Objetivo.

La presente investigación estará regida por el siguiente objetivo, crear un marco triaxial para determinar las características mecánicas de los suelos mediante la aplicación de cargas a una muestra de suelo y así determinar los parámetros de la resistencia al corte de estos; aunado a esto el marco estará calibrado para que las cargas aplicadas sean iguales a las consideradas analíticamente en la prueba y, por lo tanto, sean aplicables las teorías de la resistencia al corte de suelos implementadas por la mecánica de suelos; obteniendo resultados verídicos y confiables en un equipo funcional y fácil de operar.

Este trabajo de investigación, presentan primeramente una descripción de lo que es la prueba de compresión triaxial, para así, de esta manera identificar las variables que se deben considerar dentro del procedimiento de prueba, posteriormente se presenta los parámetros de diseño que se consideraron para la construcción del marco triaxial, así como la secuencia de pasos a seguir para operar el marco triaxial construido.

El diseño, la construcción y operación del marco triaxial que se plantea en este trabajo de investigación se realizó en la ciudad de Uruapan, en el Estado de Michoacán; que se localiza en la porción Centro -Oeste de la República Mexicana.

La metodología que se siguió para la realización de este trabajo de investigación, se basa en la aplicación del método científico; para así garantizar que la investigación tiene un sustento en la ciencia y por lo tanto se puede considerar fiable y verídica.

Crear un equipo funcional para el Laboratorio de La Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco A.C., para realizar pruebas de compresión simple y triaxial en suelos, con fines académicos será ideal para desarrollar una idea clara en los alumnos del funcionamiento del modelo y del análisis de los resultados que de él se obtengan.

Así pues, con esta investigación podemos decir que los elementos que se deben integrar en un equipo de laboratorio, para verdaderamente igualar las condiciones en que un suelo se comporta en su entorno natural ante la aplicación de cargas, quedaron integrados en el marco triaxial construido, elementos de gran precisión, lo cual respalda la fiabilidad y veracidad de los resultados que se obtiene de su operación.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.

Se considera como compresión triaxial, a la aplicación de fuerzas en dirección x, y, z, sobre un espécimen de suelo con geometría cilíndrica, estas fuerzas aplicadas además de darle confinamiento al espécimen lo someten a esfuerzos cortantes, que permitirán obtener los parámetros que determinan las propiedades de esfuerzo/deformación de un suelo a través del esfuerzo cortante del suelo en estudio.

“Los primeros estudios donde seriamente se trató de explicar la génesis de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos fueron debidos al conocido físico e ingeniero francés A. C. Coulomb en el año de 1776” (Juárez Badillo; 2005; 374), quien manejó en un principio la hipótesis de que la resistencia que presentaba una muestra de suelo a ser deformada ante la aplicación de una fuerza externa, era causada principalmente por dos fuerzas internas en la muestra de suelo, la primera es la fricción entre las partículas de la muestra de suelo que representan una fuerza que limita la deformación de un suelo y la segunda es la cohesión que puede estar o no presente, que también limita la deformación del suelo.

Una de las formas de explicar las propiedades esfuerzo/deformación de los suelos, es mediante la idea de la existencia de una fuerza de cohesión actuando entre las partículas, la cual puede ser de dos tipos, la cohesión real c' producida por cementación natural o artificial entre las partículas de una masa de suelo; y la

cohesión aparente c_{ap} , producida por la tensión capilar del agua en los poros ó de succión.

En base a lo anterior, se han desarrollado equipos que permiten definir las propiedades esfuerzo/deformación de los suelos.

Planteamiento del problema.

EL objetivo principal del presente trabajo de investigación, es el diseño, construcción y puesta en operación de un marco triaxial electromecánico, óptimo y funcional para que se tenga un equipo en el laboratorio de mecánica de suelos, de La Escuela de Ingeniería Civil, de La Universidad Don Vasco A.C. y así poder realizar pruebas de compresión simple y triaxial, bajo la aplicación de las teorías que permiten determinar los parámetros de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, como son la cohesión (c), el ángulo de fricción interna del suelo (ϕ), y el esfuerzo cortante del suelo (τ); y de ésta manera contar con un equipo lo más moderno posible, para que los estudios de Geotecnia realizados dentro del laboratorio de mecánica de suelos, de nuestra universidad, sean lo más confiables posibles, puesto que estos resultados son parte principal de la determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y por ende de su capacidad de carga; con la cual se diseñarán los elementos de la estructura de cualquier edificación.

Objetivo.

La presente investigación estará regida por el siguiente objetivo, crear un marco triaxial para determinar las características mecánicas de los suelos mediante la aplicación de cargas a una muestra de suelo y así determinar los parámetros de la resistencia al corte de estos; aunado a esto el marco estará calibrado para que las cargas aplicadas sean iguales a las consideradas analíticamente en la prueba y, por lo tanto, sean aplicables las teorías de la resistencia al corte de suelos implementadas por la mecánica de suelos; obteniendo resultados verídicos y confiables en un equipo funcional y fácil de operar.

La aplicación de los conocimientos de ingeniería para lograr crear un modelo que represente a escala en el laboratorio lo que realmente sucede en el subsuelo, al aplicarle una carga, es una tarea que debe cumplirse por medio de este trabajo de investigación de tesis.

Pregunta de investigación.

Desde que se ha estudiado el comportamiento de los suelos, ante la aplicación de cargas, se han creado equipos de laboratorio para tratar de determinar los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante, semejando a escala, las condiciones en que un suelo se comporta en su entorno natural. Pero ¿qué elementos se deben integrar en un equipo de laboratorio, para verdaderamente igualar las condiciones en que un suelo se comporta en su entorno natural?, considerando

elementos económicos, funcionales y de alta precisión para determinar los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante de los suelos.

Justificación.

Se considera de gran importancia crear un modelo para realizar pruebas de compresión simple y triaxial, ya que mediante este tipo de ensaye se determinan los parámetros de la resistencia al corte de los suelos ante la aplicación de una carga; lo que es de gran importancia en la Ingeniería Civil, pues permite comprender de una mejor manera la interacción suelo-estructura. Crear un equipo funcional para el Laboratorio de La Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco A.C., para realizar pruebas de compresión simple y triaxial en suelos, con fines académicos será ideal para desarrollar una idea clara en los alumnos del funcionamiento del modelo y del análisis de los resultados que de él se obtengan.

El hecho que se tenga un modelo funcional y confiable representa un avance en el ámbito universitario ya que sólo algunas industrias se han preocupado por crear modelos funcionales para ingenieros civiles, pero el costo para fines académicos es muy elevado y en nuestro caso no es posible invertir en equipos totalmente ofertados por una empresa de prestigio internacional.

Para la creación de infraestructura como la que se pretende crear con esta investigación los recursos son muy limitados, a pesar de considerar que traerá

consigo un beneficio para mejorar el nivel académico de los alumnos de la Universidad Don Vasco A.C.

Cabe mencionar que la mayoría de los recursos que se destinan para el crecimiento de las instalaciones y la compra de equipo para los laboratorios de La Escuela de Ingeniería Civil, de La Universidad Don Vasco A.C., el Director Técnico de la escuela, Ingeniero Anastasio Blanco Simiano, ha trabajado arduamente para tener equipo funcional y de alta tecnología, pero hace falta coadyuvar los esfuerzos para tener mejores resultados. Es por eso que este trabajo de investigación apoyará los esfuerzos de la Universidad Don Vasco A.C. por mejorar académicamente las instalaciones de la Escuela de Ingeniería Civil.

Delimitación.

Esta investigación se limita a determinar los parámetros de resistencia la corte de los suelos, mediante la creación de un marco triaxial electromecánico funcional y óptimo que sirva para ensayar especímenes de suelo fino que permita determinar dichos parámetros como son: la cohesión (c), el ángulo de fricción interna (ϕ), de las partículas que conforman el suelo y la resistencia al esfuerzo cortante (τ). El modelo que se diseñará será para ensayos que se realicen en el Laboratorio de La Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco A.C. en dónde los alumnos tendrán acceso a operar el equipo, mejorando así el aprendizaje académico, aplicando en la práctica la teoría del esfuerzo cortante, por medio de las pruebas de laboratorio.

Marco de Referencia.

El diseño, la construcción y operación del marco triaxial que se plantea en este trabajo de investigación se realizó en la ciudad de Uruapan, Estado de Michoacán; que se localiza en la porción Centro -Oeste de la República Mexicana, entre las coordenadas, 20°23'27" y 17°53'50" de la latitud Norte y entre 100°03'32" y 103°44'49" la longitud Oeste del meridiano de Greenwich. Michoacán colinda al Norte con los Estados de Jalisco y Guanajuato, al Noroeste con el Estado de Querétaro, al Este con los Estados de México y Guerrero, al Oeste con el Océano Pacífico y los Estados de Colima y Jalisco, al Sur con el Océano Pacífico y el Estado de Guerrero.

Por su extensión territorial ocupa el décimo sexto lugar nacional, con una superficie de 58,836.95 kilómetros cuadrados, que representa el 3.04 % de la extensión del territorio nacional. La entidad cuenta con 213 km. de litoral y 1,490 km. cuadrados de aguas marítimas.

Uruapan, es considerada la segunda ciudad de mayor importancia en el estado de Michoacán, siendo catalogada como la capital mundial del aguacate, además de ser cabecera municipal y una región de gran afluencia turística.

Este trabajo de investigación se realizó para ser punta de lanza para el crecimiento y desarrollo del Laboratorio de Mecánica de Suelos, de La Escuela de Ingeniería Civil, de La Universidad Don Vasco A.C., que a su vez está incorporada a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

CAPÍTULO 1

PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Comúnmente, la prueba de compresión triaxial es la prueba de corte que se le aplica a los suelos para determinar los parámetros de resistencia al corte, ya que por lo general esta prueba es aplicable a todos los tipos de suelos.

Lo que se realiza en este tipo de prueba, es aplicar presión en una muestra de suelo de forma cilíndrica, en relación a las tres direcciones del espacio (x, y, z), donde se condiciona el valor de los esfuerzos en el sentido horizontal ya que estos se igualan, y pasan a tomar el mismo valor.

Así, en este capítulo se definirá lo que es compresión triaxial, las teorías en que se basa esta prueba, la realización de ensayos, los tipos de pruebas que se practican en compresión triaxial, así como la forma de interpretar los resultados que arroja la prueba y de esta manera, identificar los tipos de fallas que se presentan en los especímenes y los parámetros de resistencia al corte ya mencionados.

1.1 Concepto de compresión triaxial.

La compresión triaxial se define como “la aplicación de esfuerzos a una muestra cilíndrica de suelo según las tres direcciones espaciales.” (Juárez Badillo; 2004; 495). El espécimen que se desea ensayar es sometido primeramente a una presión de confinamiento σ_c , en todas las aristas de la muestra, posteriormente se

aplica e incrementa paulatinamente una carga axial, hasta llevar a la falla a la muestra; debido a que no se presentan esfuerzos tangenciales sobre las aristas de espécimen, el esfuerzo axial $\sigma_c + \Delta\sigma_a$ y la presión de confinamiento σ_c , se consideran como esfuerzo principal mayor (σ_c) y menor (σ_a) respectivamente.

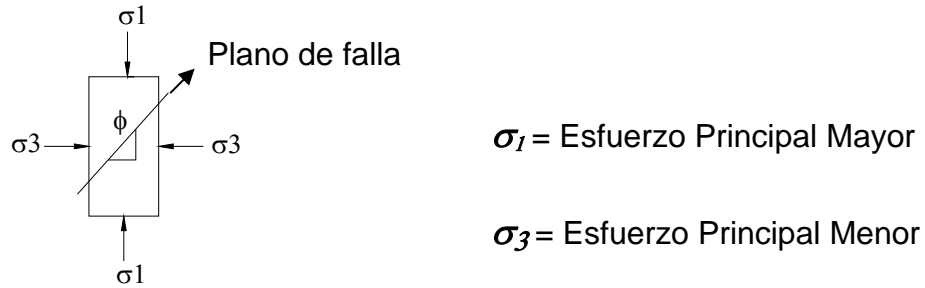


Figura 1.1 Esfuerzos de falla.

La prueba de compresión triaxial representa simplemente una variante especial de la prueba de compresión axial usada para determinar las propiedades mecánicas de varios materiales diferentes al suelo.

Las deformaciones que presenta un elemento de suelo, “son el resultado de la deformaciones internas, los movimientos relativos de la deformaciones internas y los movimientos relativos entre las numerosas partículas que componen dicho elemento.” (Lambe; 1994; 137)

La manera para entender de forma clara y precisa el comportamiento esfuerzo/deformación como lo plantea Lambe (1994; 142) “será por medio de la definición de tres fases en el proceso de deformación, las cuales son:

- A. La fase inicial en la que las deformaciones son muy pequeñas.
- B. Durante un intervalo que comienza cuando la muestra empieza a ceder, incluyendo el máximo esfuerzo y la disminución gradual de la resistencia hasta la falla de la muestra.
- C. Una fase final en la que la resistencia es constante aunque continúe la deformación, este fase se denomina estado final, último o residual.”(Lambe 1994; 142).

1.2 Criterio de Mohr-Coulomb en la teoría del esfuerzo cortante.

En 1777 el físico e ingeniero francés Coulomb, propone un mecanismo para estudiar la resistencia del suelo, que consiste en aceptar que dicho suelo falla por un esfuerzo cortante a lo largo de un plano de desplazamiento; Coulomb observó que en el plano de deslizamiento del suelo el esfuerzo cortante “ \mathbf{S} ”, de cierto tipo de suelos, resultaba ser proporcional al esfuerzo normal actuante σ , ($\mathbf{S} \cong \sigma$).

Coulomb con la finalidad de quitar el signo de proporcionalidad introdujo el coeficiente “tan ϕ ”, donde ϕ , representa una constante del material conocida como ángulo de fricción interna del material. Coulomb estableció que otro tipo de suelos como las arcillas saturadas, parecían tener una resistencia el esfuerzo cortante constante “ \mathbf{c} ”, independiente del esfuerzo normal aplicado.

En 1882 Otto Mohr, plantea la Teoría General de la Resistencia, que se basa en representar gráficamente en el plano de Mohr, esfuerzo contra la deformación, a lo que llamo estados de esfuerzo en el momento de la falla del material. La curva tangente que representa dicho estado de esfuerzos se le denomina “Envolvente de Mohr”, cuya ecuación puede escribirse de la forma $S = f(\sigma)$. Si la envolvente de falla es una línea recta, se le conoce como Ley de Mohr-Coulomb, representada mediante la ecuación $S = \sigma \tan \phi + C$, donde ϕ es el ángulo de la pendiente de la línea recta y (C) la ordenada en el origen.

Dentro de los estudios de mecánica de suelos, la gran mayoría de los ensayos que se realizan para determinar las características mecánicas de los suelos, se basan en parámetros que se relacionan con el valor y la resistencia límite en la superficie de deslizamiento ideal. Para la interpretación de los resultados del ensaye de la prueba de compresión triaxial, se usará el criterio de falla de Mohr-Coulomb.

El criterio de falla Mohr-Coulomb se ejemplifica mediante los denominados “Círculos de Mohr, para el instante de falla en el caso de la prueba de compresión aumentando el esfuerzo axial.” (Juárez Badillo; 2005; 505).

Generalmente se ensayan tres muestras del mismo suelo en estudio, esto con la finalidad de construir las gráficas que determinan los parámetros de resistencia al corte (C, ϕ, τ) modificando los valores de la presión σ_3 que hay en la cámara, y para cada variación de presión, se obtiene un esfuerzo último de falla, se traza un círculo

de Mohr para cada esfuerzo último de falla, se traza una línea tangente a los tres círculos de falla, considerándose a esta línea tangente como la envolvente de resistencia del suelo o envolvente de falla, así, de esta manera se puede determinar el valor de cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (ϕ), del suelo ensayado.

En la figura 1.2 se muestra la gráfica para obtener la envolvente de falla de acuerdo con el criterio de Mohr-Coulomb.

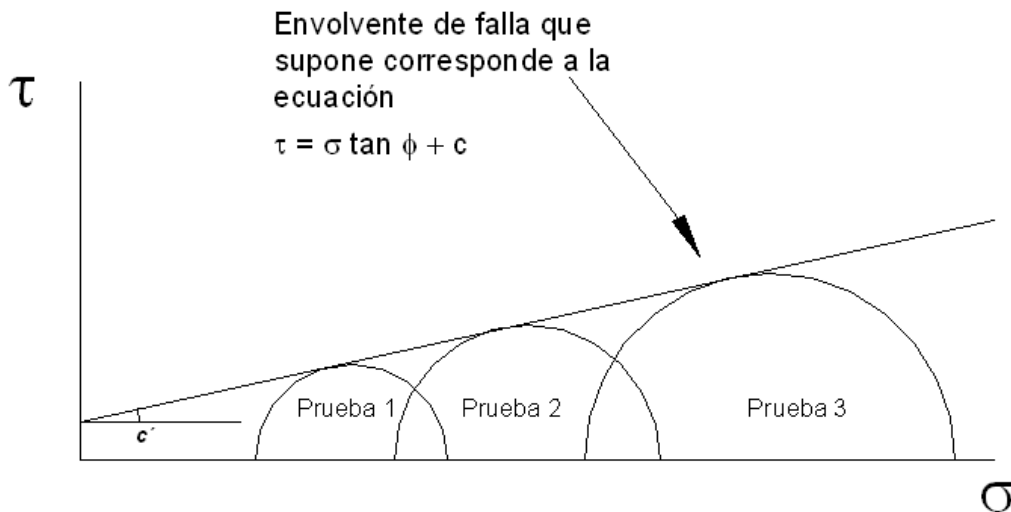


Figura 1.2 Obtención de la envolvente de falla de Mohr-Coulomb.

1.3 Ensayo de compresión triaxial.

Esta prueba se lleva a cabo en un espécimen de suelo de forma cilíndrica, manteniendo una relación de esbeltez entre 3 y 2, de preferencia 2.5, esto con respecto a la altura entre el diámetro, por lo general suele usarse de 9.0 cm de altura por 3.6 cm de diámetro.

Para lograr un espécimen con la geometría especificada, se recurre a un cortador de muestras (torno), además de la experiencia en el labrado de muestras de suelo.

La presión de confinamiento se aplica dentro de una cámara de presión que se compone de un cilindro de plástico, transparente con tapas terminales de metal, posteriormente la muestra se introduce en una membrana flexible con tapas en los extremos, y se coloca dentro del cilindro transparente o cámara triaxial; para aplicar la presión de confinamiento se usa un gas ó un líquido a presión, la membrana plástica que envuelve la muestra, permite que el fluido de confinamiento no penetre en los poros del suelo, modificando su estado natural.

Las Etapas de ensaye son:

- A) Preparación y acomodo de la muestra de suelo.
- B) Colocación de la membrana flexible y sellado de la muestra de suelo.
- C) Aplicación de la presión de confinamiento σ_3 , (Aire o Gas).
- D) Aplicación de carga axial σ_1 , hasta la falla de la muestra.
- E) Cálculo y reporte de los resultados.

1.4 Variantes de la Prueba Triaxial.

Existen variantes de la prueba triaxial, que se aplican para el estudio de los parámetros de resistencia al corte en los suelos, como son: la prueba rápida que es

no consolidada, no drenada (*UU*); la prueba lenta, que es consolidada, no drenada (*CU*); y en un tercer caso, la consolidada y drenada (*CD*); otro tipo de prueba es la que se aplica a los suelos para determinar los valores de los coeficientes de la presión de poro, las pruebas de consolidación isotrópica y por último las pruebas que determinan la trayectoria de los esfuerzos que conducen a la falla.

Para los fines del modelo que se diseñará y construirá para la realización de pruebas de compresión triaxial, para esta investigación, sólo se considerarán pruebas denominadas rápidas sin drenaje, es decir no consolidada, no drenada (*UU*). Ahora bien se hará una breve explicación de las demás modalidades de prueba.

Prueba rápida sin drenado (*UU, Unconfined-Undrained*).

La prueba que determina la resistencia al corte rápido sin drenaje (*UU*), consiste en colocar el espécimen entre dos elementos sólidos de tal forma que se evite el drenaje ó paso del agua a través de la muestra de suelo, posteriormente se aplica la presión de confinamiento en la cámara σ_3 , así de esta manera se procede a incrementar la carga axial, hasta la falla de la muestra. En el procedimiento de prueba cuando se esta incrementando la carga axial o el esfuerzo desviador, se debe hacer de forma rápida para que se pueda despreciar el efecto de la presión de poro y como en este caso es una prueba sin drenaje no se toman mediciones de presión de poro y así los resultados son expresados en términos del esfuerzo total. El tiempo que se considera para este tipo de ensayos es de 10 a 15 minutos

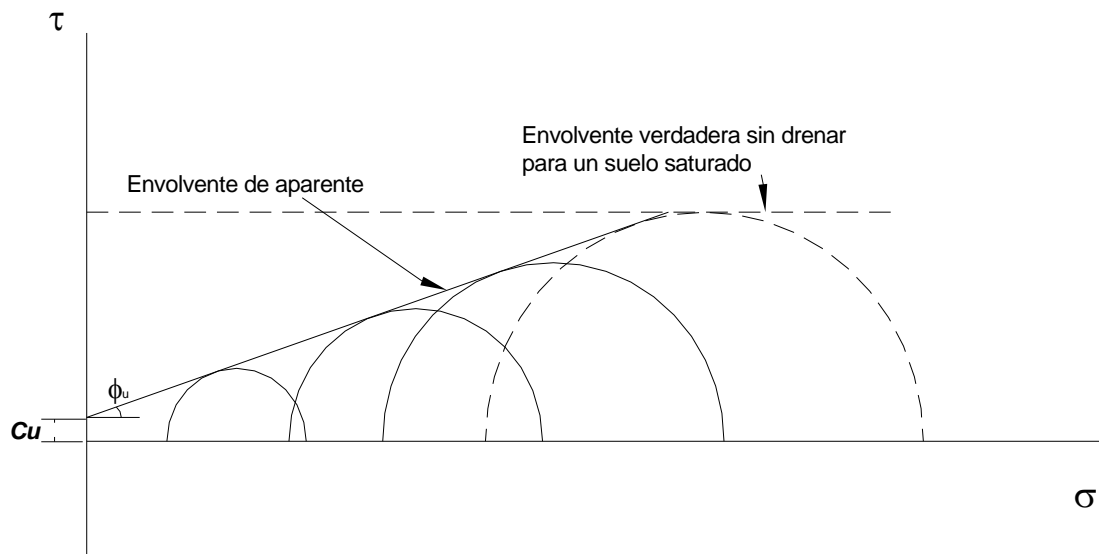


Figura 1.3. Gráfico de Prueba Triaxial UU

Prueba consolidada sin drenaje (CU, Consolidated-Undrained).

La prueba que determina la resistencia al corte consolidada sin drenaje (CU), consiste primeramente en consolidar el espécimen a una presión de cámara σ_3 ideal, esto para eliminar en su mayoría la presión de poro del espécimen y de esta forma en el estudio considerar la presión de poro como nula, cuando se logra disminuir la presión de poro se cierran la válvulas de drenaje de la cámara y se incrementa la carga axial hasta que se lleva al espécimen a la falla sin drenado. De esta forma se determinan los parámetros de resistencia al corte con respecto al esfuerzo total como al esfuerzo efectivo. El tiempo que se considera para la ejecución de esta prueba en la etapa de consolidación depende del tipo de suelo que se este ensayando por lo

general se consideran 48 horas para esta etapa, para la etapa donde se incrementa la carga axial varía de entre 10 minutos y 2 horas; mediante esta prueba se determinan los parámetros de la cohesión (c') y el ángulo de fricción interna (ϕ') del material mediante los esfuerzos efectivos aplicados, así como los parámetros C_{cu} y ϕ_{cu} sin drenaje.

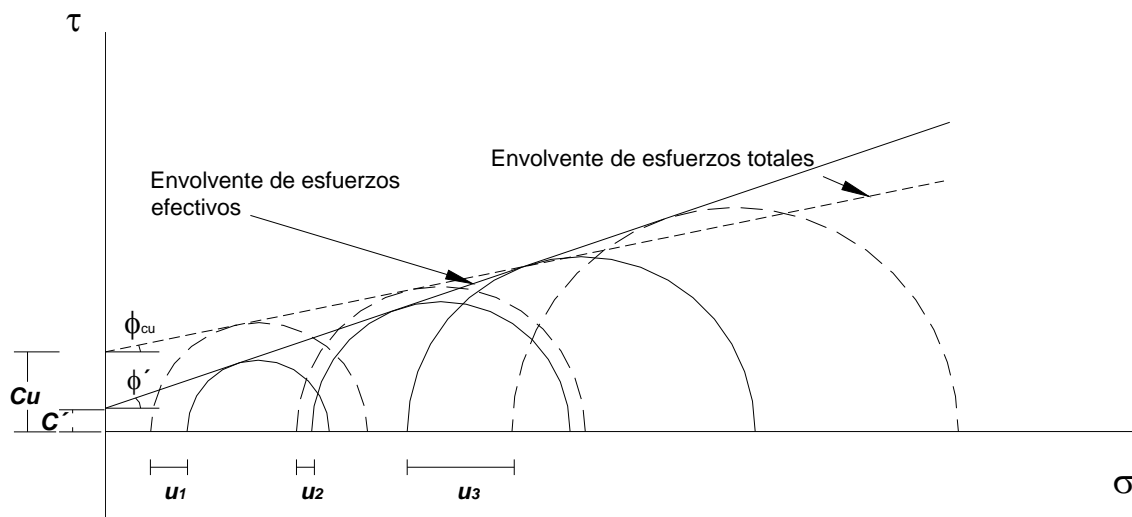


Figura 1.4. Gráfico de Prueba Triaxial CU

Prueba consolidada con drenaje (*Consolidated-Drainaged*).

Por último, se tiene la prueba consolidada drenada, para determinar la resistencia al corte; primero se debe consolidar la muestra con una presión σ_3 ideal en la cámara, posteriormente se somete la muestra a una presión axial con drenaje total y con una velocidad de aplicación de la carga que asegura que dicha carga sea constante, de determina la presión de poro en una de las conexiones de la cámara y en otra de las conexiones de la cámara se miden los cambios volumétricos de la

muestra, mediante esta prueba se determinan los parámetros de c'_d y ϕ'_d de la resistencia al corte.

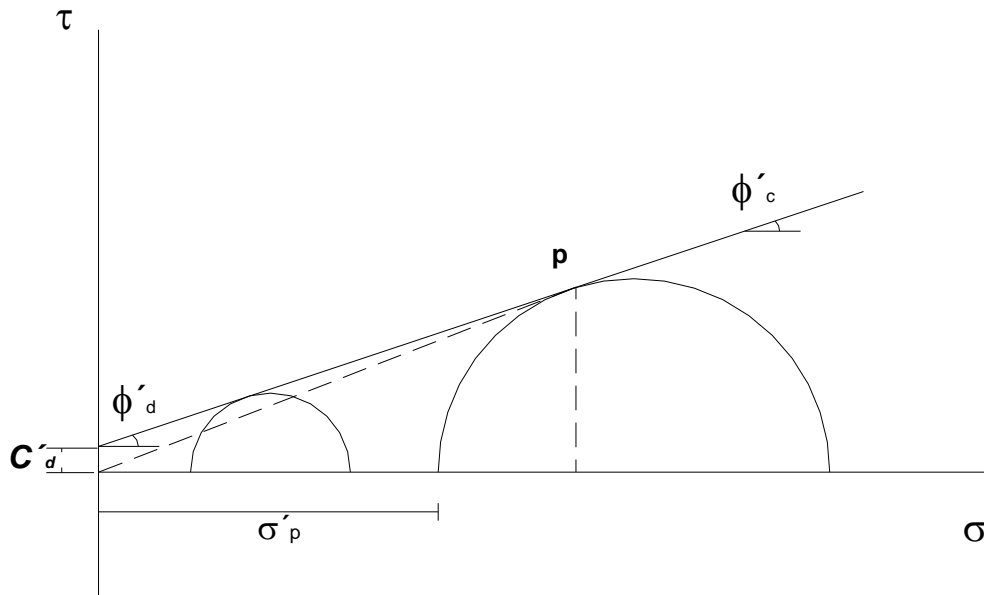


Figura 1.5. Grafico de Prueba Triaxial CD

Existe un caso especial de ensaye de muestras a compresión triaxial, la llamada prueba de compresión sin confinar, “llevada acabo con presión igual a cero en la cámara, esto es $\sigma_3 = 0$, esta prueba sólo se aplica a suelos que se consideran con un $\phi_u = 0$, (Whitlow; 1994; 252) como son las arcillas saturadas. Se muestra en la figura 1.6., la gráfica que representa la prueba de compresión triaxial sin confinar definida como compresión simple axial.

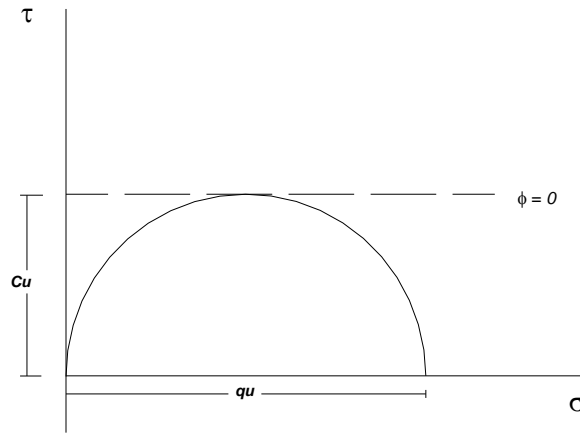


Figura 1.6. Gráfica de Mohr-Coulomb, prueba de compresión sin confinar.

1.5 Interpretación de resultados.

Para poder analizar los resultados obtenidos en el ensaye debido a los tres esfuerzos que se aplican y que están actuando en el espécimen, se suele dividir en etapas; la primera, donde de acuerdo a la presión del agua de la cámara, se aplica un esfuerzo extra de confinamiento σ_3 de tal manera que $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = a$, la presión real que existe dentro de la cámara. Si durante esta etapa no existe drenaje, la presión de poro aumenta hasta U_0 .

Posteriormente se sigue incrementando la carga axial de manera que el esfuerzo de compresión vertical aumente en $\Delta\sigma_1$, que se puede traducir como $\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma_1$. Los esfuerzos que se aplican lateralmente σ_3 permanecen constantes o lo que es, la presión de la cámara no cambia. Cuando se dice que el espécimen ha fallado al corte es cuando se ha aplicado en teoría la carga última, y el esfuerzo de

- a) Deformaciones unitarias principales.
- b) Presión en la cámara únicamente.
- c) Esfuerzos principales en la falla por cortante.

La forma en que se presenta la falla en la muestra que se esta ensayando se puede observar notando un acortamiento en el espécimen (ΔL) conforme se incrementa la carga axial, aumentando su diámetro ($D + \Delta L$).

En suelos densos o que presentan una preconsolidación alta la muestra se corta claramente a lo largo de superficie de falla o deslizamiento al alcanzar el esfuerzo máximo o último, a este tipo de falla se le conoce como falla frágil de deslizamiento.

En otro tipo de suelos que no muestran gran preconsolidación, el corte que se presenta no será tan definido y a este tipo de falla se le conoce como falla parcial al corte. Por último, se tiene que cuando un suelo está suelto, la falla que se presenta se conoce como falla de flexibilidad plástica, sin que se forme una superficie de deslizamiento.

En la gráfica 1.8. se muestran las formas de los tipos de fallas más comunes que se presentan en los suelos.

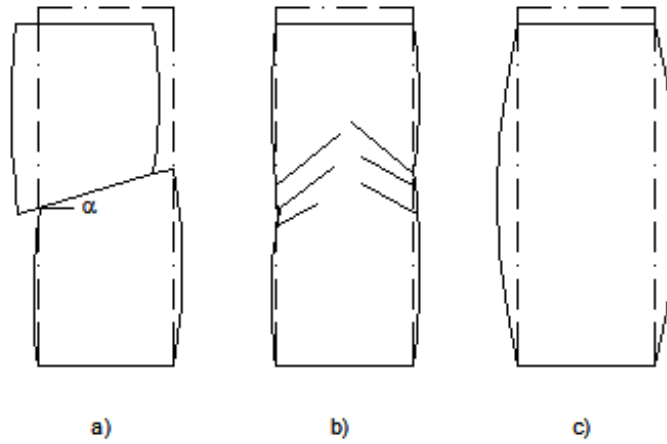


Figura 1.8. Tipos de fallas en las pruebas triaxiales.

(Whitlow; 1994; 248).

- a) Falla limpia de corte o falla frágil de deslizamiento.
- b) Falla parcial al corte.
- c) Falla de flexibilidad plástica.

CAPÍTULO 2

MARCO TRIAXIAL

La mayoría de los equipos para realizar estudios de geotécnia hoy en día, son fabricados con tecnología de punta, ya que con el paso del tiempo se ha ido exigiendo mayor precisión en el funcionamiento y operación de los mismos, en México la industria que produce este tipo de maquinaria es muy limitada ya que casi siempre se importan máquinas de otros países y esto ha ocasionado que el desarrollo tecnológico nacional para este sector dentro del país sea muy limitado.

En este capítulo se definirá lo que es un marco triaxial, los elementos que lo componen, los distintos tipos de marcos que existen, el uso que se les puede dar y se analizará, quién, hoy en día domina el mercado de la industria de equipos para estudios geotécnicos.

2.1 Concepto de marco triaxial.

Un marco triaxial “es un bastidor metálico, incorporado por un sistema de accionamiento electromecánico, hidráulico o neumático, con un avanzado sistema de control preciso de aplicación de carga, que permite al operador fijar fácilmente cualquier velocidad para la aplicación de la carga, mediante un panel de control” (Controls; 2008; 72).

El bastidor metálico que da forma al marco triaxial, puede tener distintas secciones geométricas y distintas dimensiones en dichas secciones, esto depende del tipo y tamaño de las muestras de suelo que se desee ensayar, los marcos triaxiales pueden tener el mecanismo de aplicación de la carga en el parte inferior o en la parte superior del marco, los resultados son los mismos, el colocar los mecanismos de aplicación de carga en cualquier punto del marco triaxial, depende más que nada del diseño y estética que cada empresa quiere dar al producto. Un marco triaxial genera un sistema de fuerzas internas dentro de su geometría para poder ensayar mediante un dispositivo de carga ya sea neumático, hidráulico o electromecánico, especímenes de suelo y obtener los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante que tiene dicho espécimen de suelo.

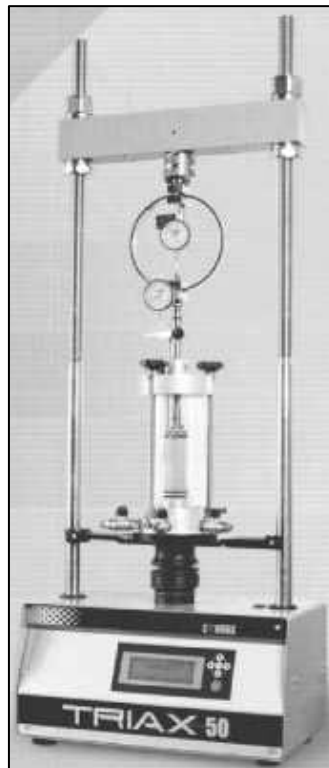


Figura 2.1. Marco triaxial (Controls; 2008; 72).

2.2 Componentes de un marco triaxial.

Los elementos que componen un marco triaxial por lo general son secciones de acero, los perfiles que conforman el bastidor, dependiendo del diseño, pueden ser de sección circular sólida ó rectangular hueca, las dimensiones están en función de las solicitaciones para los tamaños de los especímenes que deseen ensayarse, variando las dimensiones de la base de apoyo de la cámara triaxial y el claro libre que debe haber entre la base de asiento de la cámara triaxial y el punto de aplicación de carga, se determina la altura del bastidor del marco triaxial.

Los elementos que componen un marco triaxial son los siguientes:

A) Bastidor metálico.- Formado por elementos de sección de acero en forma circular ó rectangular, los elementos de sección circular son barras que están roscados en sus extremos, esto con la finalidad de ajustar el claro entre la base de asiento de la cámara triaxial y el punto de aplicación de la carga, para separar las barras que forman el marco, se habilita el cabezal que es un perfil rectangular de acero sólido con perforaciones en los extremos de acuerdo con las dimensiones del diseño del bastidor que da forma al marco triaxial.

Los elementos de sección de acero en forma rectangular, son habilitados a las dimensiones de diseño y unidos por medio de soldadura, los bastidores formados por secciones rectangulares tienen dimensiones fijas y por la forma en que son unidos, resulta más complejo realizar algún tipo de ajuste en las dimensiones.

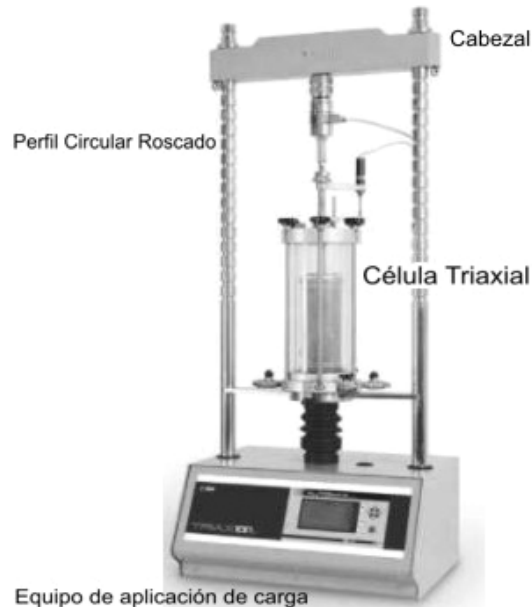


Figura 2.2. Ejemplo de Bastidor metálico (Controls; 2008; 73)

B) Base de asiento para la cámara triaxial.- En los marcos triaxiales con bastidor de sección circular, la base o plato de asiento de la cámara triaxial es una placa de acero circular, que esta unida al mecanismo de aplicación de carga, la base debe tener las dimensiones adecuadas para que la cámara triaxial se apoye en toda la superficie y así la transmisión de carga sea la adecuada, las placas de base cuentan con un sistema de ajuste de altura, mediante un tornillo sinfín, que al girar sube o baja hasta ajustar con mayor precisión el claro para poder acercar la cámara triaxial al punto adecuado para iniciar el ensayo de la muestra de suelo. Por otro lado los marcos triaxiales con bastidor de sección rectangular, la base donde se apoya la cámara triaxial es una sección plana que esta sujeta al bastidor en sus extremos ya sea por medio de soldadura o de tornillos que permiten tener varias opciones de altura, la placa de base debe ser lo suficientemente rígida, con la finalidad de evitar

deformaciones al momento de aplicar la carga; las secciones que cumplen con las sollicitaciones anteriores, son las vigas en canal (CPS) o vigas de sección (IPS), estas secciones se diseñan en función de las dimensiones de la cámara triaxial, y del claro entre apoyos verticales del bastidor que forman el bastidor del marco triaxial.

C) Mecanismo de aplicación de carga.- Existen diferentes sistemas de aplicación de carga como son, el sistema neumático, hidráulico y electromecánico, que son los más eficientes y usuales; la implementación en los marcos triaxiales depende de la eficiencia y confiabilidad de los resultados que arroja cada sistema de aplicación de carga; a lo largo de la historia se ha ido implementando tecnología de punta que se ve reflejada en la gran variedad de equipos que se tienen en el mercado con mecanismos de control muy precisos y fáciles de operar.

El sistema de aplicación de carga por medio de aire, o sistema neumático, consisten en un cilindro con un pistón al centro, sellado en los extremos de forma que no se tenga pérdida de aire y por consiguiente de presión, esta es una desventaja de este sistema ya que durante el tiempo de prueba la presión del aire va disminuyendo debido a su alta presión, y la poca eficiencia de los sellos del cilindro, pueden permitir la pérdida de presión en el interior del cilindro, que se ve reflejada en la transmisión de carga en el pistón de la cámara triaxial, otra desventaja del sistema de aplicación de carga neumática es que no se tiene un dispositivo de control automatizado que gradualmente incremente en forma constante la velocidad de aplicación de presión, lo que hace que este sistema sea poco eficiente y poco usado en marcos triaxiales.

Otro sistema de aplicación de carga en marcos triaxiales es a base de presión hidráulica, que consiste en un cilindro con un pistón interno, al aplicar presión de aceite mediante una bomba hidráulica al interior del cilindro el pistón realiza un recorrido transmitiendo una carga al pistón de la cámara triaxial, este sistema es muy confiable ya que en el proceso de aplicación de carga no hay pérdida de presión, la aplicación de carga en marcos triaxiales mediante un sistema hidráulico permite cargas muy grandes en suelos muy resistentes, una desventaja de este sistema, es que el mecanismo de control para la aplicación de la carga no es muy común y los que existen son muy costosos.

Un tercer sistema de aplicación de carga en marcos triaxiales es mediante un mecanismo electromecánico, hoy en día, es el sistema más implementado en los marcos triaxiales debido a la precisión de la aplicación de la carga, además que los avances tecnológicos han favorecido el lograr tener equipos electromecánicos funcionales, precisos y relativamente más económicos.

El sistema electromecánico está integrado por un sistema de engranes que permiten tener un desplazamiento en el pistón milimétricamente definido, que se traduce en carga por medio del anillo dinamométrico, este sistema de engranes es accionado por un sinfín que está habilitado en un extremo con una polea, donde su diámetro está definido de acuerdo al diseño y conectada por medio de una banda transmisora de tracción a un motor eléctrico, que es la fuente de poder que mueve el conjunto de engranes. El motor, mediante un mecanismo de control de frecuencia, tiene la característica de variar la velocidad para ajustarla al desplazamiento que se

deseo en el pistón para la aplicación de carga, la variación de la velocidad del motor se realiza por medio de un variador de frecuencia ajustado a las características de alimentación, potencia y rendimiento del motor, el variador de frecuencia además de modificar la velocidad del motor, permite invertir el giro para regresar el pistón de carga a su posición inicial y poder retirar la cámara triaxial una vez terminada la prueba.

D) Anillo Dinamométrico.- Este dispositivo permite medir la carga que se está aplicando a la muestra de suelo que se está ensayando, los anillos están calibrados de tal manera que en función de su deformación, registrada en el transductor de carga sumergible de alta precisión, se obtiene la carga real aplicada al espécimen, el anillo esta sujeto al marco triaxial por medio de un adaptador fijo en el pistón del sistema de aplicación de carga, los conectores de los extremos del anillo dinamométrico tienen forma cónica para recibir una esfera de acero que garantizará que la transmisión de la carga sea uniforme.

Todos los anillos tienen una constante de deformación la cual define la carga real que se aplica a la muestra de suelo que se este ensayando. Es de gran importancia la calibración de este anillo para la obtención de datos fiables de carga aplicada a la probeta de suelo a ensayar.



Figura 2.3. Anillo dinamométrico (Controls; 2008; 77).

C) Célula triaxial.- “La unidad se compone de una cámara de policarbonato transparente con un pistón instalado en la parte superior y una base con brida doble, acoplada a la parte inferior. La parte superior de la célula esta fijada simplemente con tres palomillas a la base, lo que hace que el montaje y el desmontaje sea una operación rápida y sencilla. La base de la célula tiene cuatro puntos de entrada para la contrapresión/drenaje superior, presión de la célula y presión de agua intersticial/drenaje superior, dos de ellos se suministran con válvulas especiales de cambio no volumétrico” (Controls; 2008; 78).



Figura 2.4. Célula triaxial (Controls; 2008; 74).

Las especificaciones de las células triaxiales se muestran en la siguiente tabla:

| Código | 28-T0410/A | 28-T0411/A | 28-T0416/A |
|---|------------|------------|------------|
| Tamaño máx. de muestra (ϕ x h mm) | 50 x 100 | 70 x 140 | 100 x 200 |
| Presión máx. De trabajo (kPa) | 1700 | 1700 | 1700 |
| Carga máx. de pistón (kN) | 45 | 45 | 45 |
| Altura máx. (mm) | 380 | 440 | 515 |
| Diámetro (mm) | 140 | 174 | 200 |
| Peso (kg) | 4 | 7.3 | 14.3 |

Tabla 2.1. Tabla de especificaciones de células triaxiales (Controls; 2008; 74).

Todos los elementos que forman parte de un equipo triaxial, deben de estar en condiciones adecuadas para ser usadas, constantemente se debe estar verificando la calibración de todos los componentes que presenten mayor desgaste ante el uso, ya que esto puede afectar directamente en el correcto funcionamiento del equipo y por consiguiente, que los resultados obtenidos sean erróneos.

2.3 Usos de los marcos triaxiales.

El asentamiento de los cimientos sobre el terreno y el cambio en el empuje de tierras debido a pequeños movimientos de los muros de contención u otros apoyos en tierra, o la presión del suelo debida a la aplicación local de cargas, se determina por la relación entre la tensión y deformación en los suelos, donde la obtención de los parámetros de resistencia al corte de los suelos se realiza mediante un ensayo de compresión triaxial. Durante el ensayo, las muestras de suelo inalteradas se someten gradualmente a tensiones hasta que se fracturan o fallan, lo cual corresponde a la resistencia máxima al corte.

“En términos generales, los ensayos triaxiales se ejecutan para simular los diferentes tipos de tensiones y condiciones de drenaje que pueden producirse en el subsuelo por efecto de la construcción de edificios, túneles, excavaciones, etc.” (Controls; 2008; 70).

El uso principal de los marcos triaxiales es ensayar muestras de suelo para determinar los parámetros de la resistencia al corte, y con esos parámetros establecer adecuadamente la relación suelo estructura que se quiere lograr para que las edificaciones cumplan satisfactoriamente con su función en condiciones de operación y de servicio ante cualquier aplicación de carga permanente o accidental.

Para fines académicos el uso de los marcos triaxiales es fundamental, ya que es en los laboratorios de las universidades en donde se tiene el primer contacto con este tipo de equipos, y es donde se conoce como son físicamente, las partes que lo componen, para que sirven y la forma de operación, generalmente los equipos que se utilizan en los laboratorios de las universidades son antiguos, ya que no se destina el presupuesto adecuado para tener equipos nuevos y de vanguardia tecnológica, esto no representa una barrera para que los alumnos se limiten al conocimiento del funcionamiento de un marco triaxial, puesto que los procedimientos de operación son similares, lo que varía es la automatización de los equipos conforme evoluciona la tecnología que se aplica para la construcción de este tipo de equipos.

Dentro del sector profesional, los laboratorios que realizan estudios geotécnicos, se auxilian de las ventajas que tiene un marco triaxial para determinar los parámetros de resistencia de un suelo, este sector, para la industria que produce este tipo de equipos, es un fuerte consumidor del producto, ya que hoy en día el mercado de estudios geotécnicos se ha incrementado exponencialmente puesto que los reglamentos de construcción obligan a tener los parámetros de resistencia del suelo donde se desea desplantar una edificación. Los laboratorios que se dedican a realizar estudios de mecánica de suelos son los que demandan día con día, a los proveedores el diseño de maquinaria con mayor precisión, funcionalidad y automatización. Con el paso del tiempo la evolución en la automatización demandada por los usuarios de este equipo y el costo de los equipos han ido en aumento, ya que mecanismos de control son diseñados y construidos con tecnología de punta, de tal forma que día a día se está a la vanguardia en la industria que elabora este tipo de equipos.

En resumen, el uso principal de un marco triaxial es ensayar muestras de suelo para determinar las propiedades de resistencia al corte de los suelos, diferentes sectores de la sociedad se ven beneficiado con la creación de este tipo de tecnología, para tratar de ponerle valores al comportamiento natural del entorno, entender dicho comportamiento y lograr una mejor interacción suelo – estructura.

2.4 Proveedores de marcos triaxiales.

La industria que produce este tipo de equipos en los últimos años ha tenido grandes avances tecnológicos logrando tener hoy en día equipos triaxiales muy sofisticados, esto ha venido a incrementar el mercado a nivel mundial del producto, países europeos son los que han desarrollado la tecnología más avanzada que se ha implementado en los marcos triaxiales, a nivel nacional la necesidad de tener equipos de calidad se ha incrementado día con día, puesto que el mercado nacional de estudios de geotecnia ha ido en aumento.

Controls, es una marca de origen italiano, de los principales fabricantes, no sólo de marcos triaxiales, si no de equipos de ensaye para la industria de la construcción, a nivel mundial, grupo Controls ofrece al mercado mexicano equipos de la más alta calidad y con tecnología de vanguardia respondiendo a las necesidades del mercado, ofreciendo asesoría y capacitaciones en el uso de los equipos.

En México el fabricante que produce la mejor calidad, tanto de marcos triaxiales como equipos de ensaye para la industria de la construcción son el grupo Davisa y Alcon.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL MARCO TRIAXIAL

Para el diseño de marco triaxial no se tiene un reglamento o una norma que indique los parámetros de diseño, esto permite tener la libertad de elegir las dimensiones, los materiales para construirlo, elegir el sistema de aplicación de carga ideal, en función de los mecanismos de control con que se cuente y también en función de la industria que lo construye.

Los parámetros que se pueden estandarizar para la construcción de marcos triaxiales son las dimensiones de los claros que se deben de dejar para que se pueda colocar la cámara triaxial que contiene las muestras del suelo que se desea ensayar, así como considerar una altura adecuada para tener la visibilidad correcta de la cámara triaxial colocada en su posición, lista para ensayar la muestra de suelo en estudio, esto con la finalidad de estar verificando frecuentemente el comportamiento del espécimen del suelo que se esta ensayando y ver las deformaciones que se presentan, determinando adecuadamente los parámetros de resistencia al corte que se desean obtener.

En este capítulo se abordarán todos los aspectos que se tomaron en cuenta para diseñar el marco triaxial y posteriormente su construcción y puesto en marcha, cumpliendo con el objetivo de esta investigación.

3.1 Parámetros de diseño electromecánico.

Se determinó para la aplicación de la carga, un sistema electromecánico, debido a su alta eficiencia y funcionalidad como mecanismo de aplicación de carga en este marco triaxial.

Un sistema electromecánico se combina por partes eléctricas y mecánicas, dando origen a un sistema mecánico accionado por un motor eléctrico, el sistema electrónico permite mediante circuitos relacionados entre sí, variar la frecuencia y éste parámetro, varía a su vez la velocidad del motor o las revoluciones por minuto, esta variación de velocidad en el motor, al interactuar con la parte mecánica del sistema, tendrá como resultado que la aplicación de la carga sea de forma uniforme y la deseada para la prueba que se quiera realizar; el sistema mecánico compuesto por una cremallera, un par de engranes y un par de sinfines, permite tener un desplazamiento milimétrico en el pistón que aplica la carga, mediante el sistema mecánico se logra que el motor eléctrico no disminuya su potencia durante la aplicación de la carga, punto muy importante durante la prueba.

Los componentes eléctricos que integran el sistema electromecánico, fueron determinados en función de la capacidad de carga que se desea tenga el equipo triaxial, además de considerar la disponibilidad en el mercado y cuidar que no sean muy costosos, puesto que la finalidad es tener un equipo funcional, económico y óptimo, sobre todo por el uso académico que se le dará.

El motor para el sistema electromecánico que se instalará en el equipo es de una capacidad de 0.5 HP, con esta potencia del motor ya ensamblado con los componentes mecánicos se tendrá un equipo triaxial con una capacidad máxima de carga de 100 Kgf (1 KN), el motor de la marca WEG y cuenta con las siguientes especificaciones de fabrica.

Motor eléctrico industrial de alta eficiencia, tiene una aplicación exclusivo para prensas, motor trifásico de cuatro polos, rotor de jaula de ardilla con aluminio inyectado, esta dimensionado de acuerdo a la norma NEMA (Nacional Electrical Manufactures Association), el factor de servicio del motor es de 1.15, rodamiento de bola, carcasa de chapa de acero soldada, tapas de hierro fundido con tornillos pasantes, con un grado de protección IP21, sistema de refrigeración con rotor aletado y las siguientes características.

| | | |
|--------------------|---------|----|
| Potencia | 0.5 | HP |
| Polos | 4 | - |
| Frecuencia | 60 | Hz |
| Par | 2.06 | Nm |
| Tensión | 230/460 | V |
| RPM | 1700 | - |
| Eficiencia | 67.8 | % |
| Factor de Potencia | 0.67 | % |

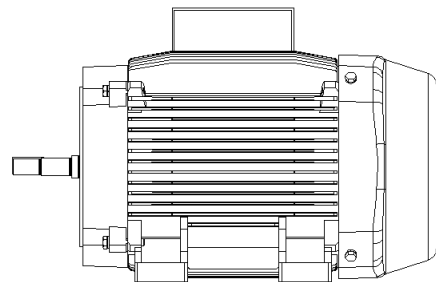


Figura 3.1. Motor trifásico de alta eficiencia (Siemens).

Los elementos mecánicos que integran el sistema electromecánico para la aplicación de carga del equipo triaxial, se diseñaron partiendo de un mecanismo compuesto por una pistón con cremallera y un engrane sinfín, alojados en una

carcasa de fierro colado, inicialmente al girar el engrane sinfín se presentaba un desplazamiento de 2.5 cm. en el pistón por vuelta del engrane sinfín; para tener un desplazamiento más pequeño se diseñó y construyó un sistema de engranes de doble reducción, esto es, un par de engranes que van reduciendo 1:850 veces el paso del mecanismo para así tener una relación de 70 vueltas en la entrada del mecanismo y registrar un desplazamiento de 0.01 cm. esto permitirá tener un rango mucho mayor para la velocidad de aplicación de la carga al ensayar un espécimen de suelo, el control de la velocidad de entrada al mecanismo se realizará mediante un variador de frecuencia que estará regulando la velocidad del motor, que mediante un banda de distribución se transmitirá la tracción al mecanismo.

Debido a que el motor funciona a velocidad constante, y con valores de eficiencia que dependen de la alimentación y de las características propias del motor, las cuales no es sencillo modificar, para regular la velocidad del motor se emplea un controlador especial o variador de frecuencia, los variadores se emplean en una amplia gama de aplicaciones industriales.

El control del proceso de aplicación de carga y el ahorro de energía son las razones para emplear un variador de frecuencia, al implementar el variador de frecuencia en el equipo triaxial, permitirá realizar las operaciones de forma mas suave, controlando la aceleración y las distintas velocidades de operación para cada etapa de la prueba y así tener la mejor precisión en los resultados que se desean obtener.

“La serie MICROMASTER 420 es una gama de variadores de frecuencia para modificar la velocidad de motores trifásicos. Los convertidores están controlados por un microprocesador y utilizan tecnología IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) de última generación. Esto les hace fiables y versátiles. Extensas funciones de protección ofrecen una protección excelente tanto del convertidor como del motor. Con sus ajustes por defecto realizados en fábrica, el MICROMASTER 420 es ideal para una gran gama de aplicaciones de control de motores simples. “(MM420 Instructivo de Uso; 2008; 16).

Para el diseño del equipo triaxial se determinó instalar un variador de frecuencia para un motor de corriente alterna, de la marca SIEMENS, modelo MM420, de una capacidad de 0.5 HP, exclusivo solamente para alimentación trifásica a 230 v, y salida para motor trifásico a 230 V.



Figura 3.2.1. Variador de frecuencia MM-420 (Siemens).

En la figura 3.2.2., se muestra el panel básico de operación, en el cual se puede acceder a los parámetros que van a determinar la velocidad de aplicación de carga en el procedimiento de prueba.



Figura 3.2.2 Cara del panel básico de operación. BOP (Siemens).

A continuación mediante la tabla 3.2.a, que se muestra en la siguiente página, daremos el nombre y el funcionamiento de cada uno de los botones de este panel básico de operación, que será importante para la operación del equipo triaxial MT-420.

Esta descripción de los botones del panel básico de operación es única y exclusivamente para poner en marcha el sistema electromecánico para realización de ensayos triaxiales, de acuerdo con las frecuencias programadas para una velocidad de aplicación de carga de 1.0 mm/min.

Botones en el panel BOP









| Panel/Botón | Función | Efectos |
|---|----------------------|---|
|  | Indicación de estado | La pantalla de cristal líquido muestra los ajustes actuales del convertidor. |
|  | Marcha | Al pulsar este botón se arranca el convertidor. Por defecto está bloqueado este botón. Para habilitar este botón, ajustar P0700 = 1. |
|  | Parada | OFF1 Pulsando este botón se para el motor siguiendo la rampa de deceleración seleccionada. Por defecto está bloqueado; para habilitarlo, ajustar P0700 = 1. OFF2 Pulsando el botón dos veces (o una vez prolongada) el motor se para de forma natural (inercia hasta parada). |
|  | Invertir sentido | Pulsar este botón para cambiar el sentido de giro del motor. El inverso se indica mediante un signo negativo (-) o un punto decimal intermitente. Por defecto está bloqueado; para habilitarlo, ajustar P0700 = 1. |
|  | Jog motor | Pulsando este botón mientras el convertidor no tiene salida hace que el motor arranque y gire a la frecuencia Jog preseleccionada. El motor se detiene cuando se suelta el botón. Pulsar este botón cuando el motor está funcionando carece de efecto. |
|  | Funktionen | Este botón sirve para visualizar información adicional. Funciona pulsándolo y manteniéndolo apretado. Muestra lo siguiente comenzando por cualquier parámetro durante la operación: 1. Tensión en circuito intermedio (indicado mediante d - unidades en V). 2. Corriente de salida. (A) 3. Frecuencia de salida (Hz) 4. Tensión de salida (o - unidades en V). 5. El valor seleccionado en P0005. (Si P0005 se ha configurado de tal forma que se muestra uno de los datos indicados arriba (3,4 ó 5), no aparece el valor correspondiente de nuevo). Cualquier pulsación adicional hace que vuelva a visualizarse la sucesión indicada anteriormente. Función de salto Pulsando brevemente el botón Fn es posible saltar desde cualquier parámetro (rXXXX o PXXXX) a r0000, lo que permite, si se desea, modificar otro parámetro. Una vez retornado a r0000, si pulsa el botón Fn irá de nuevo a su punto inicial. |
|  | Acceder a parámetros | Pulsando este botón es posible acceder a los parámetros. |
|  | Subir valor | Pulsando este botón se sube el valor visualizado. Para cambiar la consigna de frecuencia vía el panel BOP, ajustar P1000 = 1. |
|  | Bajar valor | Pulsando este botón se baja el valor visualizado. Para cambiar la consigna de frecuencia vía el panel BOP, ajustar P1000 = 1. |

Figura 3.2.a. Descripción de los botones del panel básico de operación.

En conjunto el sistema electromecánico para la aplicación de la carga se quedará integrado como se muestra en la siguiente figura.

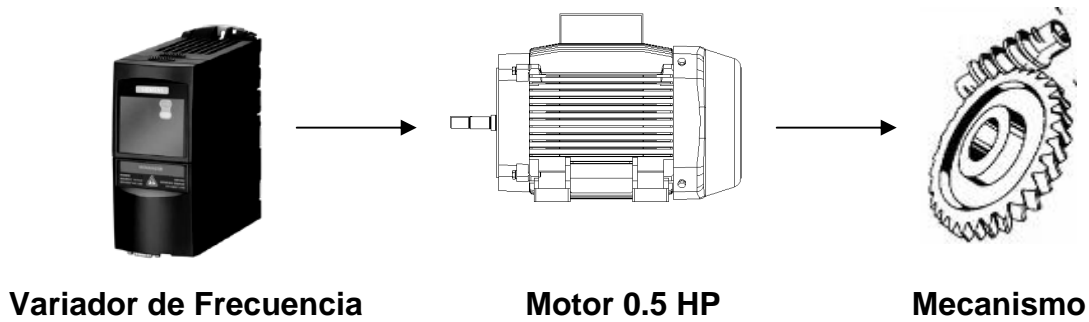


Figura 3.3. Integración del sistema electromecánico (Siemens).

Para la correcta conexión de variador de frecuencia se debe revisar el diagrama de conexiones que facilitará poner en marcha el variador de frecuencia y en operación el equipo triaxial.

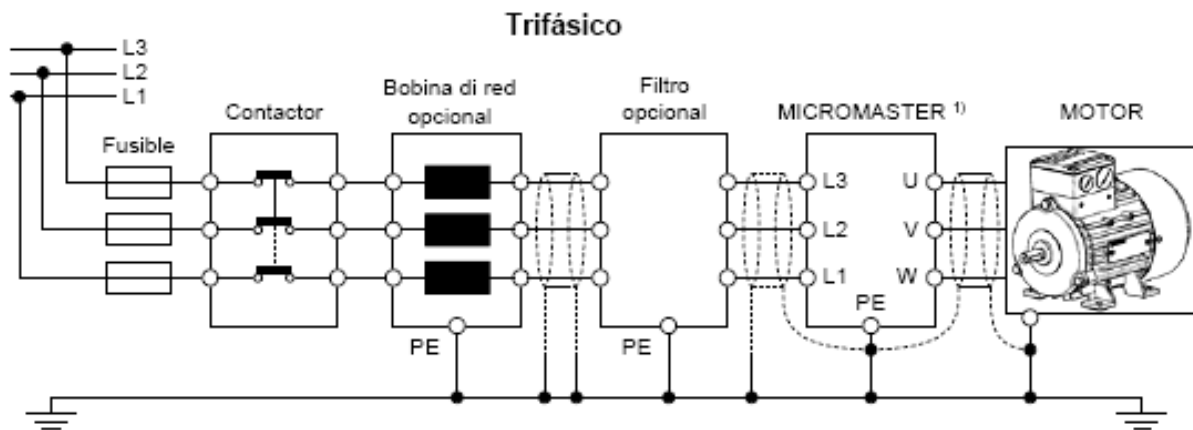


Figura 3.4. Diagramas de conexiones MM-420 (Siemens).

3.2 Elementos que componen el marco triaxial.

El marco triaxial que construido incluye el bastidor metálico, con elementos de sección rectangular (PTR), secciones sobradas en resistencia de diseño un 50%, esto para idealizar que es una sección que tiende a ser infinitamente rígida, de tal forma que no experimentará deformaciones al aplicar la carga máxima en los elementos que sirven de apoyo para la célula triaxial y la base de apoyo del mecanismo de aplicación de carga y de esta forma garantizar que no se tendrán deformaciones en el bastidor del marco triaxial, que puedan alterar los resultados.

El sistema de aplicación de carga anteriormente definido será instalado en el bastidor del marco triaxial, distribuido de tal forma que interactúen adecuadamente todos los elementos que integran sistema electromecánico de aplicación de carga.

Se colocará un tanque de tubo acero, para la disposición del aire y la aplicación de la carga σ_3 , se colocará una bomba de acción manual de tal forma que se almacene aire a compresión dentro del tanque.

Se instalaron depósitos de agua, para disponer del líquido necesario para la realización de la prueba, mediante un depósito sujeto al marco triaxial, a una altura adecuada para lograr llenar la célula triaxial de agua por gravedad, se conectó mediante una válvula de paso a la salida del deposito y una manguera tipo industrial con conectores de barril de plástico, a la válvula de la entrada de la cámara triaxial.

Dentro del procedimiento de prueba cuando falla la muestra, para desalojar el agua del interior de la cámara triaxial se instaló en el marco triaxial un depósito a una altura adecuada, para que por gravedad el agua pueda circular, este depósito cuenta con una válvula de paso en la parte inferior para poder disponer nuevamente del agua.

3.3 Datos de diseño constructivo.

Los parámetros que definen la geometría y las dimensiones de las secciones que dan forma al marco triaxial, se determinaron para resistir los esfuerzos aplicados al operar el equipo, considerando tener un comportamiento adecuado de todas y cada una de las secciones que dan forma al marco triaxial.

Para la construcción de bastidor, se formaron dos marcos de PTR de 75 mm x 37.5 mm (3"x1½"), calibre 14, con base de 0.80m y una altura de 2.00 m.

Para uniformizar las secciones del bastidor, los postes serán de las mismas dimensiones que el cabezal en donde se apoya el sistema electromecánico de aplicación de carga.

La base de asiento de la cámara triaxial se definió en una sección IPR de 254 mm (10") x 100 mm (4") con un peso de 28.3 kg/m, cumpliendo con la revisión de la sección para una capacidad de 100 Kg, superponiendo una rigidez infinitamente

grande de tal forma que la deformación del elemento al aplicar la carga se considere como nula.

Para la sección de la base de asiento de la cámara triaxial se consideraron las dimensiones de la cámara triaxial y el espacio adecuado para poder conectar las mangueras del agua y del aire para el confinamiento del espécimen a ensayar.

Para fijar tanto el mecanismo del sistema de aplicación de carga, como el motor y variador de frecuencia se adaptaron en el bastidor del marco triaxial, secciones de placa con dimensiones y los espesores adecuados para que estos equipos sean estables y no transmitan vibraciones que afecten en el funcionamiento del equipo.

Para la aplicación de la carga σ_3 se habilitó un tanque de tubo de acero con un diámetro de 10 cm (4") con una longitud de 100 cm. para la disposición del aire, se colocó una bomba de acción manual de tal forma que se almacene aire a compresión dentro del tanque, logrando almacenar aire a una presión de hasta 2 kg/cm², este tanque tendrá una válvula de control de presión, mediante un sistema diafragma que permite variar la presión de salida del tanque; se conectará este tanque a la célula triaxial mediante una manguera tipo industrial con conectores de barril metálico, garantizando no tener pérdida de presión de aire. El equipo que se construyó se muestra en figura 3.5.

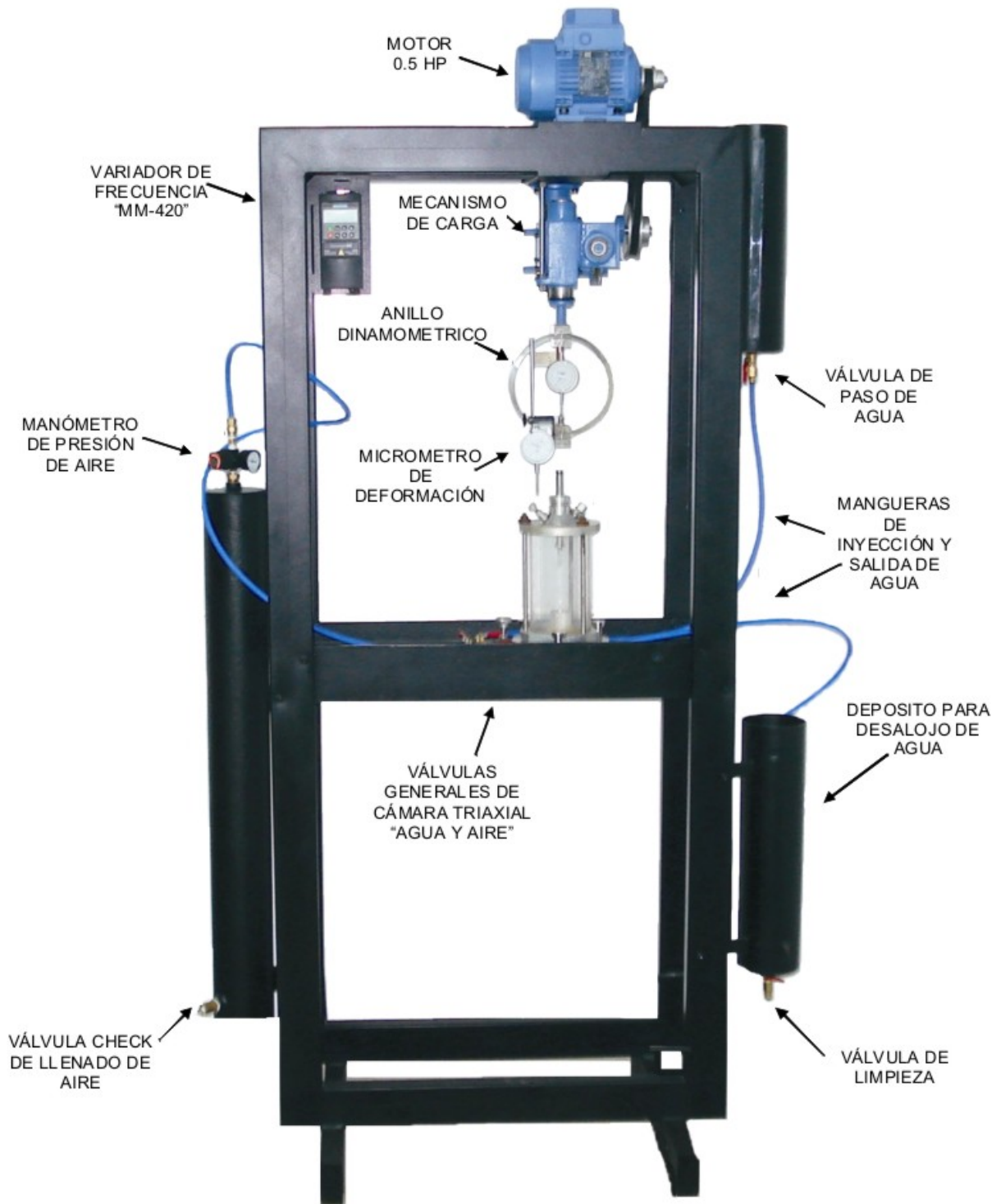


Figura 3.5. Marco triaxial construido (MT- 420).

Se muestra a continuación en la figura 3.6, la ubicación de las principales válvulas que se accionan en el proceso de operación para realizar ensayos triaxiales.

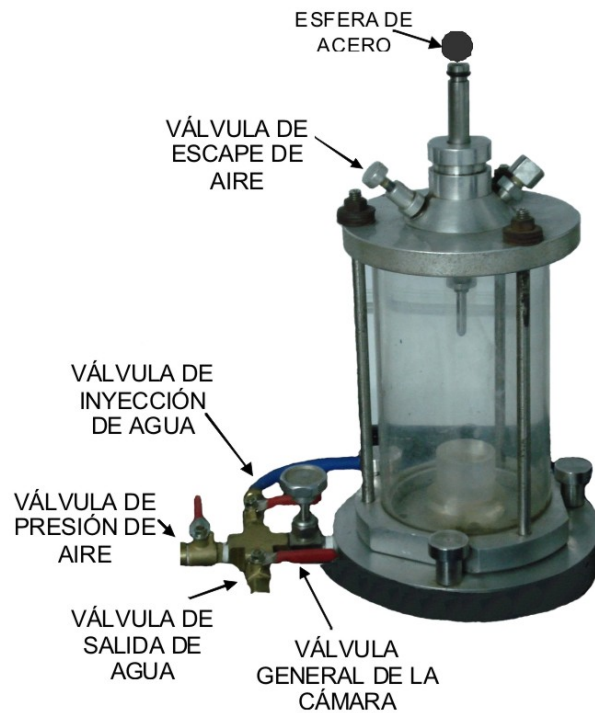


Figura 3.5. Cámara Triaxial y ubicación de las válvulas.

3.4 Puesta en marcha y operación.

En primer orden de ideas para la puesta en marcha del sistema electromecánico, mediante un avanzado sistema de control del marco triaxial, se deben considerar los siguientes aspectos.

Instrucciones de seguridad


- Las advertencias, precauciones y notas siguientes están pensadas para la seguridad y como medio para prevenir daños en el producto o en componentes situados en los equipos conectados. Esta sección muestra las advertencias, precauciones y notas aplicables generalmente en la manipulación de convertidores MICROMASTER 420. Se ruega leer cuidadosamente la información ya que se entrega para su seguridad personal y le ayudará a prolongar la vida útil del convertidor MICROMASTER 420 y el equipo que conecte al mismo.





Puesta en servicio:

- Si en el equipo trabaja personal no calificado o si no se respetan las advertencias puedan resultar lesiones graves o daños materiales considerables. En el equipo sólo deberá trabajar personal calificado y familiarizado con el montaje, instalación, puesta en servicio y operación del producto.
- Sólo se permiten conexiones de potencia cableadas de forma permanente.
- El equipo debe tener una conexión eléctrica a tierra.

Para iniciar a usar el equipo triaxial se debe tener lista la cámara triaxial, adecuadamente lubricada, así como labrada perfectamente la probeta a ensayar y preparada la membrana látex para el sellado de la probeta, se deben seguir a detalle las siguientes instrucciones:

AJUSTE GENERAL DEL EQUIPO CON LA CÁMARA TRIAXIAL.



1. Sólo deberá operar el equipo una persona, dentro del área de seguridad marcada en el piso con pintura amarilla; esta persona tendrá la capacitación adecuada para manejar el instrumental del equipo triaxial MT-420.
2. Conectar el equipo a la corriente eléctrica (230v – 3F).
3. Llenar el cilindro de compresión de aire, a la presión deseada (σ_3) + 20%.
4. Coloca y sella cuidadosamente la probeta de suelo a ensayar dentro de la cámara triaxial; aplicando el procedimiento marcado por la norma AASHTO T-296 y T-297.
5. Una vez colocada y sellada la probeta se cierra la cámara triaxial.
6. Cerrada la cámara triaxial se desliza a la posición de aplicación de carga.
7. Puesta la cámara triaxial en la posición de carga, coloca la esfera de acero (transmisor de carga) en la parte superior del vástago de la cámara triaxial.
8. Alinea el punto de aplicación de carga del anillo dinamométrico y la esfera de carga, subiendo ligeramente el vástago de la cámara triaxial hasta que la esfera de acero coincida con el punto de aplicación de carga.
9. Una vez alineada la cámara triaxial se baja el vástago de la misma hasta que éste, haga ligeramente contacto con el cabezal que está en la parte superior de la probeta de suelo, dentro de la cámara triaxial.
10. Ajusta el espacio vertical entre el punto de aplicación de carga y la esfera de acero, oprimiendo el botón de “marcha”  para encender el variador, si el anillo dinamométrico está muy separado de la esfera de acero, oprime el





 hasta obtener la frecuencia máxima (30 hz) para acelerar esta operación; una vez que la separación del anillo con la esfera de acero, sea de entre 1-3 mm, oprime el botón “parada”  para detener el avance del pistón de aplicación de carga, para el ajuste final, oprime nuevamente el botón “marcha” , verifica manualmente el ajuste de la esfera de acero y finalmente oprime el botón “parada” , para parar el desplazamiento del pistón de carga.

11. Procede al llenado de agua de la cámara triaxial, abriendo la válvula general de la cámara triaxial, verificando antes que la válvula de escape de aire, este abierta para que el agua pueda ascender, y así se expulse el aire dentro de la cámara triaxial.
12. Una vez llena la cámara triaxial de agua y sin burbujas de aire dentro de ella, cierra primero la válvula de escape de aire, y posteriormente la válvula de inyección de agua.
13. Ajusta por medio del manómetro de presión de aire, la presión de confinamiento (σ_3), que se aplicará a la probeta dentro de la cámara triaxial.
14. Para aplicar la presión de confinamiento (σ_3) a la probeta de suelo, abre lentamente la válvula de presión del aire, verificando en la probeta la aplicación del confinamiento, revisando que no existan intromisión de agua al interior de la probeta de suelo.
15. Una vez aplicada la presión de confinamiento (σ_3) en la probeta de suelo, cierra la válvula de presión de aire, y la válvula general de la cámara triaxial.

16. Coloca adecuadamente el micrómetro de deformación, sobre la cámara triaxial, y ajusta su mecanismo a que marque ceros.
17. Verifica la posición de las válvulas, así como de los micrómetros; prepara los formatos de prueba para las anotaciones necesarias.

APLICACIÓN DE LA CARGA A LA PROBETA DE SUELO.


18. Registra en el formato TR-UU, los datos generales de la muestra, sus dimensiones, presión de confinamiento (σ_3) y los rangos de deformación controlada a usar durante la aplicación de carga en la probeta de suelo.
19. Verifica que el variador de carga, tenga la indicación de aplicación de carga.
20. Enciende el variador, oprimiendo el botón “marcha”  iniciando la aplicación de carga.
21. Toma las lecturas del micrómetro del anillo de carga, en función de la deformación seleccionada en micrómetro de deformación, colocado sobre la cámara triaxial, y registra todos los datos en el formato TR-UU.
22. La prueba terminada una vez fallada la muestra, o cuando la deformación de la probeta de suelo exceda lo marcado en la norma AASHTO T-296 y T-297.
23. Una vez fallada la muestra, oprima el botón “parada”  del variador de frecuencia para finalizar la aplicación de carga.
24. Abrir la válvula general de la cámara triaxial.
25. Abrir la válvula de escape de aire para poder desalojar el agua del interior de la cámara triaxial.

26. Abrir la válvula de salida de agua de la cámara triaxial, para que de esta manera el agua fluya hasta que la cámara este vacía de agua.
27. Regresar el pistón de carga a su posición inicial oprimiendo el botón “invertir sentido”  , verificando que el variador tenga la indicación de descarga, en la pantalla del variador aparecerá un signo (-), y se oprime “marcha”  para iniciar la descarga, para rapidez de esta operación se oprime el botón “subir valor”  hasta llegar a la frecuencia máxima (30 hz).
28. Una vez que el pistón de aplicación de carga regresa a su posición inicial se oprime el botón de “parada”  , para concluir con la descarga.
29. Abra la cámara triaxial por medio de los tornillos de sellado, y retire la probeta de suelo ensayada, continúe con el procedimiento marcado en la norma AASHTO T-296 y T-297 para la revisión y determinación de humedad de la probeta.
30. Apaga el equipo de desconectándolo de la corriente eléctrica.
31. Limpia perfectamente la zona de trabajo, verificando que todo el instrumental quede limpio de polvo, grasa, agua o algún elemento que pueda poner en riesgo el equipo triaxial MT-420.

NOTAS ADICIONALES.

El sistema electromecánico se puede programar para aplicar carga una velocidad mínima del pistón de carga de 0.01 mm/min, ó a una velocidad máxima del pistón de carga de 25 mm/min. Por cuestiones de protección del equipo, se

programaron dos frecuencias de trabajo, una para una velocidad de aplicación de carga de 1 mm/min (8 hz) y una frecuencia máxima (30 Hz), por rapidez en algunos pasos en el procedimiento de prueba.

Para acceder al valor máximo se oprime en el variador de frecuencia el botón “subir valor”  de incremento de frecuencia, hasta llegar al valor máximo. En caso de que se desee tener otros parámetros de velocidad de aplicación de carga se debe consultar el manual del usuario del variador de frecuencia MM420, para programar en el variador de frecuencia a los parámetros que se deseen.

3.5 Medidas de Seguridad.

Para la operación del equipo triaxial MT-420, los interruptores y controles de mando son sólo accionados de manera voluntaria, esto permite prevención máxima de accidentes, pero se recomienda atender a las siguientes medidas de seguridad:

- Asegúrese que las conexiones eléctricas estén bien conectadas a los contactos eléctricos y que estos cuenten con una conexión a tierra.
- Mientras el equipo esta en operación no introducir objetos de ningún tipo en el sistema mecánico ya que pueden ocasionar lesiones graves.
- Todas las operaciones de ajustes, deben de realizarse cuando el equipo no este en operación.
- Para proteger el sistema eléctrico en caso de descargas por tormentas eléctricas, desconectar el equipo de su conexión eléctrica.

- Se recomienda por efectividad y seguridad respetar el área de trabajo marcada en el piso alrededor del marco triaxial.

3.6 Calibración.

El marco triaxial, debe estar sujeto a calibraciones cada determinado periodo de tiempo, ya que las partes que lo componen por efectos de uso o desgaste, pueden variar sus resultados; en este caso deberán de ser reajustadas o restituidas para el perfecto funcionamiento del equipo. La calibración del equipo triaxial debe estar debidamente garantizada por los certificados de calidad de los elementos que proporcionan los movimientos dentro del mismo, es decir, el motor, el variador de frecuencia, el anillo dinamométrico, así como los micrómetros de deformación; los cuales se sujetan a los requerimientos establecidos por la Entidad Mexicana de Acreditación, “EMA”.

EMA es una asociación civil de gestión privada que fortalece el sistema nacional de metrología, normalización y evaluación de conformidad, opera en nuestro país para dar certidumbre y confianza a los organismos de evaluación de conformidad, verificando que se cumpla con la normativa tanto nacional como internacional, con un enfoque de mejora continua y de responsabilidad social.

Los laboratorios de calibración realizan su actividad determinando el error en un instrumento para medir y otras características metrológicas, de acuerdo a los lineamientos dictados por la SECOFI, hoy Secretaría de Economía, que entraron en

vigor el 17 de noviembre de 1999; estos Organismos de Evaluación de la Conformidad emiten un dictamen o informe de calibración.

Los laboratorios de calibración proporcionan servicios técnicos de medición y calibración por actividad específica con trazabilidad a los patrones nacionales autorizados por la Secretaría de Economía o en su caso a patrones extranjeros o internacionales confiables a juicio de esta. Los laboratorios de calibración acreditados y aprobados realizan la evaluación de la conformidad de normas oficiales mexicanas competencia de esta Secretaría, quienes garantizan dentro de su estructura administrativa y funcional que operan con integridad, imparcialidad, confidencialidad y competencia técnica, material y humana.

El marco triaxial MT-420, tiene un anillo dinamométrico proveniente de la empresa internacional de origen Italiano "Controls", calibrado de tal forma que al interactuar con los equipos electromecánicos que se instalaron en el marco triaxial respaldan el certificado de calibración garantizado por el grupo Controls.

El sistema electromecánico que se instaló en el marco triaxial MT-420, cuenta con un motor de la marca WEG, especial para aplicación de prensas, y una certificación de calidad respaldada por la NEMA (National Electrical Manufacturers Association).

De manera general los elementos de operación contiene de manera separada certificados de calibración, pero en forma combinada podría suponerse una variación en los resultados finales sobre la muestra de suelo, por lo que para poder garantizar

el correcto funcionamiento del marco triaxial MT-420, se realizaran ensayos sobre una probeta elástica homogénea, con características mecánicas heterogéneas, y los resultados obtenidos, se analizarán mediante la realización de gráficos de comparación para así poder denotar las posibles variaciones en el trabajo conjunto de todos los instrumentos utilizados en el marco triaxial MT-420.

Aunado a esto, se realizarán pruebas de comparación del marco triaxial MT-420, con el marco triaxial mecánico existente en el laboratorio de mecánica de suelos, verificando la exactitud de ambos equipos, para posteriormente efectuar los ajustes necesarios y tener la máxima certidumbre en los resultados obtenidos por el marco triaxial MT-420 diseñado para el desarrollo de este trabajo de tesis.

Se concluye con el capítulo tres del diseño del marco triaxial, y se procede a comentar en el capítulo cuatro acerca de la metodología utilizada para la presente tesis.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Este capítulo contiene la metodología que se siguió para la realización de este trabajo de investigación, la cual se basa en la aplicación del método científico; para así garantizar que la investigación tiene un sustento en la ciencia y por lo tanto se puede considerar fiable y verídica.

Además de la aplicación del método científico en este trabajo de investigación, mencionamos el enfoque y diseño que se le dió a esta investigación, se analizan las herramientas o instrumentos de recopilación de datos que serán de gran importancia para determinar el éxito o fracaso de esta investigación; así pues de manera general se realizará una descripción del procedimiento de investigación que se llevo a cabo para la ejecución de este trabajo de investigación.

4.1 Método Empleado.

Esta investigación se realizó atendiendo la metodología basada en el método científico, siendo éste, la mejor herramienta para cumplir de manera satisfactoria con el objetivo de este trabajo de investigación, el método científico como lo define Tamayo, “es un proceso para descubrir las condiciones en que se presentan sucesos específicos, caracterizado generalmente por ser tentativo, verificable, de razonamiento y observación empírica” (Tamayo y Tamayo; 2000; 35).

Este trabajo de investigación de acuerdo al objetivo que se desea lograr, debe ser verificable, los resultados que se obtengan deben ser razonados y aceptados de acuerdo a las teorías base de la prueba triaxial, además de ajustarlos por medio de las observaciones realizadas en los resultados de las pruebas triaxiales iniciales.

La aplicación del método científico en esta investigación nos permite aplicar razonamientos lógicos para obtener resultados lógicos, puesto que el punto de partida de este método son las interpretaciones objetivas, además nos permite plantear el problema que se quiere resolver con la investigación, el cual debe ser debidamente delimitado y especificado, con la finalidad de poder atender dicha problemática y plantear soluciones factibles. Algo trascendental en la aplicación del método científico en esta investigación es que este método descarta toda posibilidad de manipular la realidad, eliminando por completo la subjetividad en el análisis e interpretación de los resultados.

Para lograr los objetivos planteados con este trabajo de investigación, se plantean cinco etapas características del método científico, las cuales son:

- Primera. Visualizar o percibir una dificultad o problemática.
- Segunda. Identificar y definir dicha problemática, mediante el análisis y estudio de las necesidades que se tienen para la solución de la problemática.

- Tercera. Plantear las propuestas para la solución de dicha problemática, esto es el planteamiento de la hipótesis.
- Cuarta. Análisis de cada una de las posibles soluciones, determinando las consecuencias de las diferentes alternativas para solucionar la problemática.
- Quinta. Concluir la veracidad de la hipótesis propuesta, para finalmente, poner a prueba la hipótesis aceptada, verificando mediante hechos visuales que las consecuencias de la ejecución de la hipótesis aceptada son las adecuadas para la solución de la problemática.

En general el método científico nos permite tener referencias basadas en la experiencia, lo que nos permite ir más allá de las apariencias o de hipótesis inciertas o con cierto grado de incertidumbre, además de que este método de investigación, nos permite ir perfeccionando las alternativas de solución para garantizar que la problemática que se quiere atender estará resuelta en su totalidad.

4.2 Enfoque de la Investigación.

Este trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo, pues es de acuerdo con la problemática que se quiere solucionar, según el enfoque de Sampieri, “nos ofrece la posibilidad de generalizar los resultados más ampliamente, nos otorga control sobre los fenómenos y un punto de vista de conteo y magnitudes de éstos. Asimismo, nos brinda una gran posibilidad de réplica y un enfoque sobre puntos

específicos de tales fenómenos, además de que facilita la comparación entre estudios similares”.

Es de gran importancia para este trabajo de investigación tener un enfoque cuantitativo, ya que en la etapa de la comprobación de la hipótesis planteada para la solución de la problemática, los estudios que se realizan son repetitivos y similares, permitiéndonos tener una visión clara de la variación entre un estudio y otro.

4.3 Alcance de la Investigación.

Este trabajo de investigación está basado en estudios exploratorios, debido a que el tema central que se está investigando ha sido poco estudiado, en la cuestión de que se está diseñando un equipo nuevo desde la concepción teórica y existen incertidumbres que no se han resuelto, así mismo, mediante los estudios exploratorios se puede identificar la forma que se puede abordar el tema de la investigación surgiendo cuestionamientos que se deberán de resolver.

En esta investigación los estudios exploratorios permitirán integrar elementos que se consideren de acuerdo a su utilidad, indispensables para llegar a soluciones factibles y fiables que nos ayuden a cumplir con el objetivo que se desea alcanzar con este trabajo de investigación.

4.4 Diseño de la Investigación.

El diseño de este trabajo de investigación es de carácter experimental, ya que permite realizar una evaluación evolutiva, comparando los resultados obtenidos en la investigación con las necesidades que se tiene para lograr el objetivo de la investigación.

La estrategia que se plantea en esta investigación es la obtención de información para comprobar así las hipótesis planteadas y de esta manera, alcanzar los objetivos en estudio. El diseño experimental se definió en función del enfoque cuantitativo que tiene este trabajo de investigación, con la finalidad de definir la certeza de las hipótesis planteadas.

4.5 Instrumentos de recopilación de datos.

Para la obtención de la información en el proceso de investigación se recurrió a las siguientes herramientas o instrumentos de recopilación de datos; para cumplir con el objetivo de este trabajo de investigación de tesis.

a) Observación Cuantitativa.

Esta herramienta se usa para registrar sistemáticamente, con gran validez y confianza, hechos o acontecimientos y se utiliza como instrumento de medición.

Para que la observación tenga validez como método para recolectar datos, primeramente se deben de definir todos y cada unos de los aspectos, eventos y variables a observar; segundo, determinar una muestra representativa del total que sean ejecutadas; tercero, determinar y definir claramente las unidades de observación y por ultimo definir las categorías de observación.

b) Variador de Frecuencia (MM-420).

Este instrumento es parte principal en la adquisición de datos, puesto que de la información que se registra con este instrumento, se garantiza el cumplir exitosamente con el objetivo de esta investigación, el variador permite registrar la velocidad de aplicación de carga en el marco triaxial construido, para así tener un rango amplio de variación de aplicación de carga.

c) Anillo Dinamométrico.

El anillo dinamométrico permite, mediante la toma de lecturas del transductor de carga sumergible “micrómetro” y respecto su constante de carga, obtener la carga aplicada a la muestra, en cada instante de deformación programada. Posteriormente estos datos servirán para calcular los esfuerzos inducidos en la probeta de suelo estudiada.

d) Transductor de Carga Sumergible.

Este instrumento permite tomar lecturas de las cargas aplicadas a la probeta de suelo durante el proceso de prueba, siendo las más importantes durante el proceso de prueba, pues por medio de este instrumento podremos definir la falla de la probeta de suelo y por ende la finalización de la prueba.

e) Hoja de cálculo Excel (Microsoft Office).

Esta herramienta, adjunta a un equipo de cómputo, nos permite procesar la información obtenida de los instrumentos de medición anteriormente descritos, de forma cuantitativa y gráfica, para así, finalmente poder calcular los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante de cada probeta de suelo ensayada en el marco triaxial MT-420.

CAPÍTULO 5

CÁLCULO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.

Para verificar el funcionamiento del marco triaxial MT-420 construido, se realizarán una serie de pruebas de ajuste, posteriormente una comparación gráfica del comportamiento de los resultados en donde las variaciones posibles deberán estar dentro de un margen mínimo característico del marco triaxial MT-420 construido. En función de la variación de los resultados se podrá determinar si se cumple con el objetivo principal de este trabajo de investigación de tesis, por lo cual el contenido de este capítulo es medular en el trabajo de tesis, pues de estos resultados dependerá el éxito del equipo diseñado y construido.

Este capítulo contiene las características de la probeta que se utilizó para verificar el buen funcionamiento del marco triaxial MT-420, y su comparación con el marco metálico tradicional; verificando así de manera adicional, el procedimiento de ensaye general de la prueba triaxial rápida. Posteriormente a la verificación de calibración del equipo, presentamos los resultados de las pruebas realizadas a una muestra de suelo inalterada, obtenida en campo con el fin de cumplir con el objetivo general del presente trabajo de tesis.

5.1 Pruebas de calibración del marco triaxial MT-420.

Para la realización de las pruebas de calibración del marco triaxial, se utilizó una probeta cilíndrica de 10 cm de altura, 4.4 cm de diámetro exterior, 1.8 cm de diámetro interior, de plástico rígido elástico; con la finalidad de poder ensayar la misma probeta varias veces, asegurando que no exista deformación plástica que perturbe la calibración del equipo.

Se realizaron 3 ensayos en la probeta rígida elástica anteriormente descrita, sometiéndola solamente a carga axial simple, es decir, presión de confinamiento ($\sigma_3=0$) tanto el marco triaxial MT-420, como en el marco triaxial mecánico existente en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco A.C.; completando un total de 6 ensayos sobre la misma probeta de plástico rígido elástico.

5.2 Análisis de resultados de calibración.

A continuación, se muestran los formatos de carga correspondientes a las probetas ensayadas en el marco triaxial MT-420; donde podemos ver los resultados de Esfuerzo/Deformación de la probeta de plástico rígido elástico, bajo carga axial y considerando presión de confinamiento ($\sigma_3=0$), además es importante comentar que se utilizaron datos geométricos de la probeta unitarios para no afectar el desempeño de los equipos triaxiales. Se respetaron las constantes de medición del micrómetro

de deformación y del transductor de carga sumergible o micrómetro de deformación del anillo de carga.

Como es obvio, no se llevará la probeta hasta falla total, por lo que se consideró aplicar carga en función de lecturas de deformación controlada; es decir, se tomaron lecturas del anillo de carga cada 50 unidades de deformación; hasta llegar a 400 unidades de deformación en cada una de las probetas a ensayar.

Ensayes realizados en el marco triaxial MT-420, probeta de plástico.

| MEDIDAS DE LA MUESTRA | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Diam Sup (cm) | 1.00 | Área Sup (cm ²) | 1.000 | Peso Wi (gr) | 1.00 | ENSAYE # 1 | |
| Diam Cent (cm) | 1.00 | Área Cent (cm ²) | 1.000 | Volúmen (cm ³) | 1.00 | | |
| Diam Infer (cm) | 1.00 | Área Infer (cm ²) | 1.000 | gm (ton/m ³) | 1.000 | | |
| Alt. Media (cm) | 1.00 | Área Media (cm ²) | $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = 1.00$ | Constante del Micrómetro (mm) = | 0.0100 | | |
| | | | | Velocidad Aplicación carga = | | 1.0 mm/min | |
| Lectura Mic. de Carga (kg) | Carga Acumulada (kg) | Lectura Mic Δy (mm) | Deformación Total (mm) | Deformación Unitaria % | 1 - Deformación Unitaria (mm) | Área Corregida (cm ²) | Esfuerzo. (kg/cm ²) |
| 38.00 | 8.13 | 50.00 | 0.5000 | 5.0000 | 0.9500 | 1.05 | 7.7278 |
| 63.00 | 13.49 | 100.00 | 1.0000 | 10.0000 | 0.9000 | 1.11 | 12.1376 |
| 84.00 | 17.98 | 150.00 | 1.5000 | 15.0000 | 0.8500 | 1.18 | 15.2844 |
| 106.00 | 22.69 | 200.00 | 2.0000 | 20.0000 | 0.8000 | 1.25 | 18.1529 |
| 128.00 | 27.40 | 250.00 | 2.5000 | 25.0000 | 0.7500 | 1.33 | 20.5505 |
| 150.00 | 32.11 | 300.00 | 3.0000 | 30.0000 | 0.7000 | 1.43 | 22.4771 |
| 174.00 | 37.25 | 350.00 | 3.5000 | 35.0000 | 0.6500 | 1.54 | 24.2110 |
| 204.00 | 43.67 | 400.00 | 4.0000 | 40.0000 | 0.6000 | 1.67 | 26.2018 |

Tabla 5.1. Ensaye de calibración 1.

| MEDIDAS DE LA MUESTRA | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Diam Sup (cm) | 1.00 | Área Sup (cm ²) | 1.000 | Peso Wi (gr) | 1.00 | ENSAYE # 2 | |
| Diam Cent (cm) | 1.00 | Área Cent (cm ²) | 1.000 | Volúmen (cm ³) | 1.00 | | |
| Diam Infer (cm) | 1.00 | Área Infer (cm ²) | 1.000 | gm (ton/m ³) | 1.000 | | |
| Alt. Media (cm) | 1.00 | Área Media (cm ²) | $As + 4Ac + Ai =$ | 1.00 | Constante del Micrómetro (mm) = | | |
| | | | 6 | Velocidad Aplicación carga = | | | 1.0 mm/min |
| Lectura Mic. de Carga (kg) | Carga Acumulada (kg) | Lectura Mic Δy (mm) | Deformación Total (mm) | Deformación Unitaria % | 1 - Deformación Unitaria (mm) | Área Corregida (cm ²) | Esfuerzo. (kg/cm ²) |
| 38.00 | 8.13 | 50.00 | 0.5000 | 5.0000 | 0.9500 | 1.05 | 7.7278 |
| 64.00 | 13.70 | 100.00 | 1.0000 | 10.0000 | 0.9000 | 1.11 | 12.3303 |
| 85.00 | 18.20 | 150.00 | 1.5000 | 15.0000 | 0.8500 | 1.18 | 15.4664 |
| 106.00 | 22.69 | 200.00 | 2.0000 | 20.0000 | 0.8000 | 1.25 | 18.1529 |
| 129.00 | 27.61 | 250.00 | 2.5000 | 25.0000 | 0.7500 | 1.33 | 20.7110 |
| 153.00 | 32.75 | 300.00 | 3.0000 | 30.0000 | 0.7000 | 1.43 | 22.9266 |
| 177.00 | 37.89 | 350.00 | 3.5000 | 35.0000 | 0.6500 | 1.54 | 24.6284 |
| 206.00 | 44.10 | 400.00 | 4.0000 | 40.0000 | 0.6000 | 1.67 | 26.4587 |

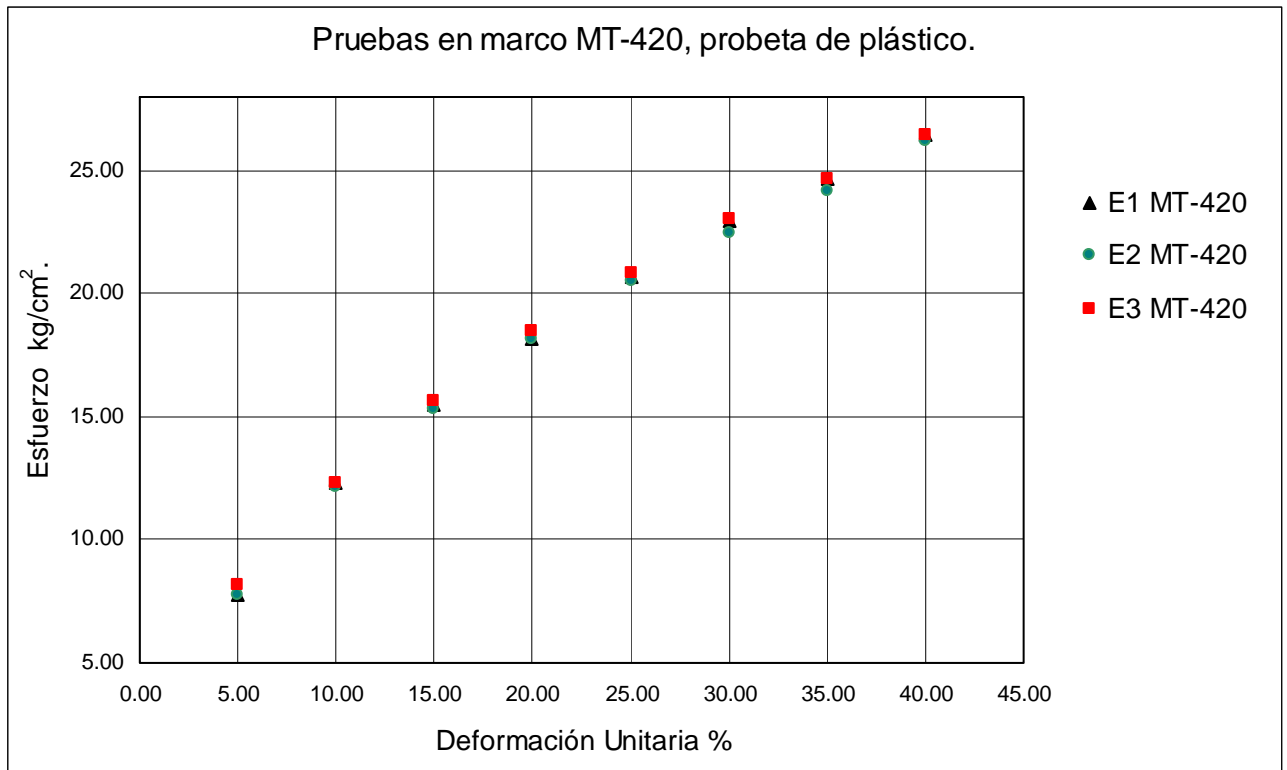
Tabla 5.2. Ensaye de calibración 2.

| MEDIDAS DE LA MUESTRA | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Diam Sup (cm) | 1.00 | Área Sup (cm ²) | 0.785 | Peso Wi (gr) | 1.00 | ENSAYE # 3 | |
| Diam Cent (cm) | 1.00 | Área Cent (cm ²) | 0.785 | Volúmen (cm ³) | 1.00 | | |
| Diam Infer (cm) | 1.00 | Área Infer (cm ²) | 0.785 | gm (ton/m ³) | 1.000 | | |
| Alt. Media (cm) | 1.00 | Área Media (cm ²) | $As + 4Ac + Ai =$ | 1.00 | Constante del Micrómetro = | | |
| | | | 6 | Velocidad Aplicación carga = | | | 1.0 mm/min |
| Lectura Mic. de Carga (kg) | Carga Acumulada (kg) | Lectura Mic Δy (mm) | Deformación Total (mm) | Deformación Unitaria % | 1 - Deformación Unitaria (mm) | Área Corregida (cm ²) | Esfuerzo. (kg/cm ²) |
| 40.00 | 8.56 | 50.00 | 0.5000 | 5.0000 | 0.9500 | 1.05 | 8.1346 |
| 64.00 | 13.70 | 100.00 | 1.0000 | 10.0000 | 0.9000 | 1.11 | 12.3303 |
| 86.00 | 18.41 | 150.00 | 1.5000 | 15.0000 | 0.8500 | 1.18 | 15.6483 |
| 108.00 | 23.12 | 200.00 | 2.0000 | 20.0000 | 0.8000 | 1.25 | 18.4954 |
| 130.00 | 27.83 | 250.00 | 2.5000 | 25.0000 | 0.7500 | 1.33 | 20.8716 |
| 154.00 | 32.97 | 300.00 | 3.0000 | 30.0000 | 0.7000 | 1.43 | 23.0765 |
| 177.00 | 37.89 | 350.00 | 3.5000 | 35.0000 | 0.6500 | 1.54 | 24.6284 |
| 206.00 | 44.10 | 400.00 | 4.0000 | 40.0000 | 0.6000 | 1.67 | 26.4587 |

Tabla 5.3. Ensaye de calibración 3.

En la gráfica 5.1 que se muestra a continuación, se ve el comportamiento de cada uno de los ensayos mediante la relación esfuerzo/deformación; para poder analizar perfectamente el comportamiento de las graficas que se presenta a

continuación, sólo se muestran los puntos de intersección de los datos que se grafican



Grafica 5.1. Esfuerzo/Deformación. (MT-420).

Los resultados que se obtuvieron con esta probeta de plástico rígido elástica, permiten verificar experimentalmente que el equipo diseñado y construido tiene un correcto funcionamiento, ya que los resultados de las tres probetas, es similar entre un ensaye y otro bajo las mismas condiciones de operación, presentando una variación del 1 % de la relación esfuerzo/deformación entre los tres ensayes; lo cual nos indica la veracidad y correcta calibración de los instrumentos de medición utilizados en el diseño y construcción de el marco triaxial MT-420.

Los resultados de la serie 1, no son del todo visible pues coinciden de manera casi perfecta con los de la serie 3.

Con la finalidad de garantizar que el equipo construido tiene un funcionamiento adecuado para los fines que fue diseñado y construido, se realizaron pruebas en el equipo triaxial mecánico con el que actualmente cuenta el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco A. C., en donde se realizaron pruebas con la misma probeta elástica, utilizando las mismas condiciones de ensayo, realizando la comparación de funcionamiento entre los dos equipos.

Considerando que el equipo triaxial mecánico, tiene un grado de confianza óptimo debido a que se encuentra debidamente calibrado, se realizaron 3 ensayos bajo carga axial simple y considerando presión de confinamiento ($\sigma_3=0$); utilizando también datos geométricos de la probeta unitarios para no afectar el desempeño de los equipos triaxiales. Se respetaron las constantes de medición del micrómetro de deformación y la carga de aplicación fue programada pues estos equipos a diferencia del MT-420, trabaja por carga controlada.

Como es obvio, no se llevará la probeta hasta falla total, por lo que se consideró aplicar carga en función de los resultados obtenidos en el marco triaxial MT-420, es decir, como trabajamos bajo carga controlada, cargaremos la probeta con incrementos de 0.5 kg, y se tomarán las lecturas de deformación de la probeta de plástico rígido elástica; el final de la prueba se determinó al completar una carga

total mayor de 40 kilogramos, en cada uno de los ensayos; de estos ensayos, se obtuvieron los siguientes resultados.

Ensayes realizados en el marco triaxial mecánico, probeta de plástico.

| MEDIDAS DE LA MUESTRA | | | | | | | |
|-----------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Diam Sup (cm) | 1.00 | Área Sup (cm ²) | 1.000 | Peso Wi (gr) | 1.00 | ENSAYE # 1 | |
| Diam Cent (cm) | 1.00 | Área Cent (cm ²) | 1.000 | Volúmen (cm ³) | 1.00 | | |
| Diam Infer (cm) | 1.00 | Área Infer (cm ²) | 1.000 | γm (ton/m ³) | 1.000 | | |
| Alt. Media (cm) | 1.00 | Área Media (cm ²) | As + 4Ac + Ai = 1.00 | | Constante del Micrómetro = | | |
| | | | 6 | Velocidad Aplicación carga = | | 1.0 min/carga | |
| Carga Colocada (kg) | Carga Acumulada (kg) | Lectura Micrómetro (mm) | Deformación Total (mm) | Deformación Unitaria % | 1 - Deformación Unitaria (mm) | Área Corregida (cm ²) | Esfuerzo. (kg/cm ²) |
| 0.50 | 4.70 | 22.00 | 0.2200 | 2.2000 | 0.9780 | 1.02 | 4.5966 |
| 0.50 | 9.40 | 57.00 | 0.5700 | 5.7000 | 0.9430 | 1.06 | 8.8642 |
| 1.00 | 18.80 | 147.00 | 1.4700 | 14.7000 | 0.8530 | 1.17 | 16.0364 |
| 1.00 | 28.20 | 244.00 | 2.4400 | 24.4000 | 0.7560 | 1.32 | 21.3192 |
| 1.50 | 42.30 | 389.00 | 3.8900 | 38.9000 | 0.6110 | 1.64 | 25.8453 |

Tabla 5.4. Ensaye de calibración 1.

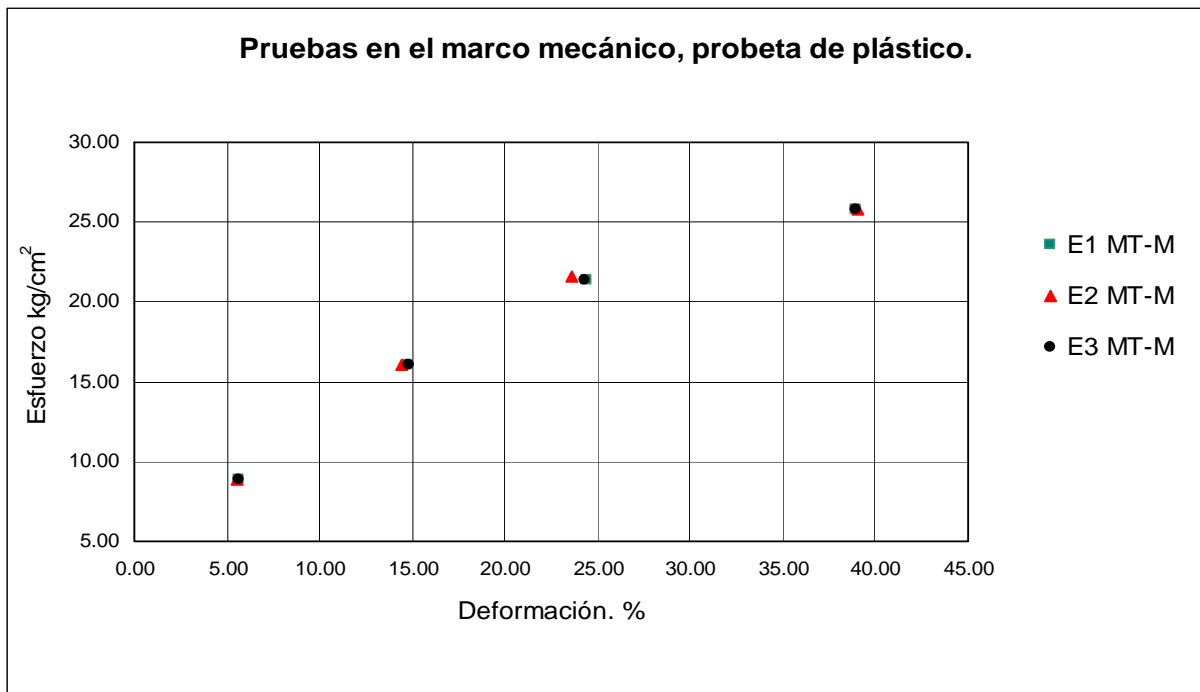
| MEDIDAS DE LA MUESTRA | | | | | | | |
|-----------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Diam Sup (cm) | 1.00 | Área Sup (cm ²) | 1.000 | Peso Wi (gr) | 1.00 | ENSAYE # 2 | |
| Diam Cent (cm) | 1.00 | Área Cent (cm ²) | 1.000 | Volúmen (cm ³) | 1.00 | | |
| Diam Infer (cm) | 1.00 | Área Infer (cm ²) | 1.000 | γm (ton/m ³) | 1.000 | | |
| Alt. Media (cm) | 1.00 | Área Media (cm ²) | As + 4Ac + Ai = 1.00 | | Constante del Micrómetro = | | |
| | | | 6 | Velocidad Aplicación carga = | | 1.0 min/carga | |
| Carga Colocada (kg) | Carga Acumulada (kg) | Lectura Micrómetro (mm) | Deformación Total (mm) | Deformación Unitaria % | 1 - Deformación Unitaria (mm) | Área Corregida (cm ²) | Esfuerzo. (kg/cm ²) |
| 0.50 | 4.70 | 21.00 | 0.2100 | 2.1000 | 0.9790 | 1.02 | 4.6013 |
| 0.50 | 9.40 | 55.00 | 0.5500 | 5.5000 | 0.9450 | 1.06 | 8.8830 |
| 1.00 | 18.80 | 144.00 | 1.4400 | 14.4000 | 0.8560 | 1.17 | 16.0928 |
| 1.00 | 28.20 | 236.00 | 2.3600 | 23.6000 | 0.7640 | 1.31 | 21.5448 |
| 1.50 | 42.30 | 390.00 | 3.9000 | 39.0000 | 0.6100 | 1.64 | 25.8030 |

Tabla 5.5. Ensaye de calibración 2.

| MEDIDAS DE LA MUESTRA | | | | | | | |
|-----------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Diam Sup (cm) | 1.00 | Área Sup (cm ²) | 1.000 | Peso Wi (gr) | 1.00 | ENSAYE # 3 | |
| Diam Cent (cm) | 1.00 | Área Cent (cm ²) | 1.000 | Volúmen (cm ³) | 1.00 | | |
| Diam Infer (cm) | 1.00 | Área Infer (cm ²) | 1.000 | γ_m (ton/m ³) | 1.000 | | |
| Alt. Media (cm) | 1.00 | Área Media (cm ²) | $As + 4Ac + Ai =$ | 1.00 | Constante del Micrómetro = | | |
| | | | 6 | Velocidad Aplicación carga = | | 1.0 min/carga | |
| Carga Colocada (kg) | Carga Acumulada (kg) | Lectura Micrómetro (mm) | Deformación Total (mm) | Deformación Unitaria % | 1 - Deformación Unitaria (mm) | Área Corregida (cm ²) | Esfuerzo. (kg/cm ²) |
| 0.50 | 4.70 | 21.00 | 0.2100 | 2.1000 | 0.9790 | 1.02 | 4.6013 |
| 0.50 | 9.40 | 57.00 | 0.5700 | 5.7000 | 0.9430 | 1.06 | 8.8642 |
| 1.00 | 18.80 | 148.00 | 1.4800 | 14.8000 | 0.8520 | 1.17 | 16.0176 |
| 1.00 | 28.20 | 243.00 | 2.4300 | 24.3000 | 0.7570 | 1.32 | 21.3474 |
| 1.50 | 42.30 | 389.00 | 3.8900 | 38.9000 | 0.6110 | 1.64 | 25.8453 |

Tabla 5.6. Ensaye de calibración 3.

En la gráfica 5.2 que se muestra a continuación se presenta el comportamiento de cada uno de los ensayos mediante la relación esfuerzo/deformación.



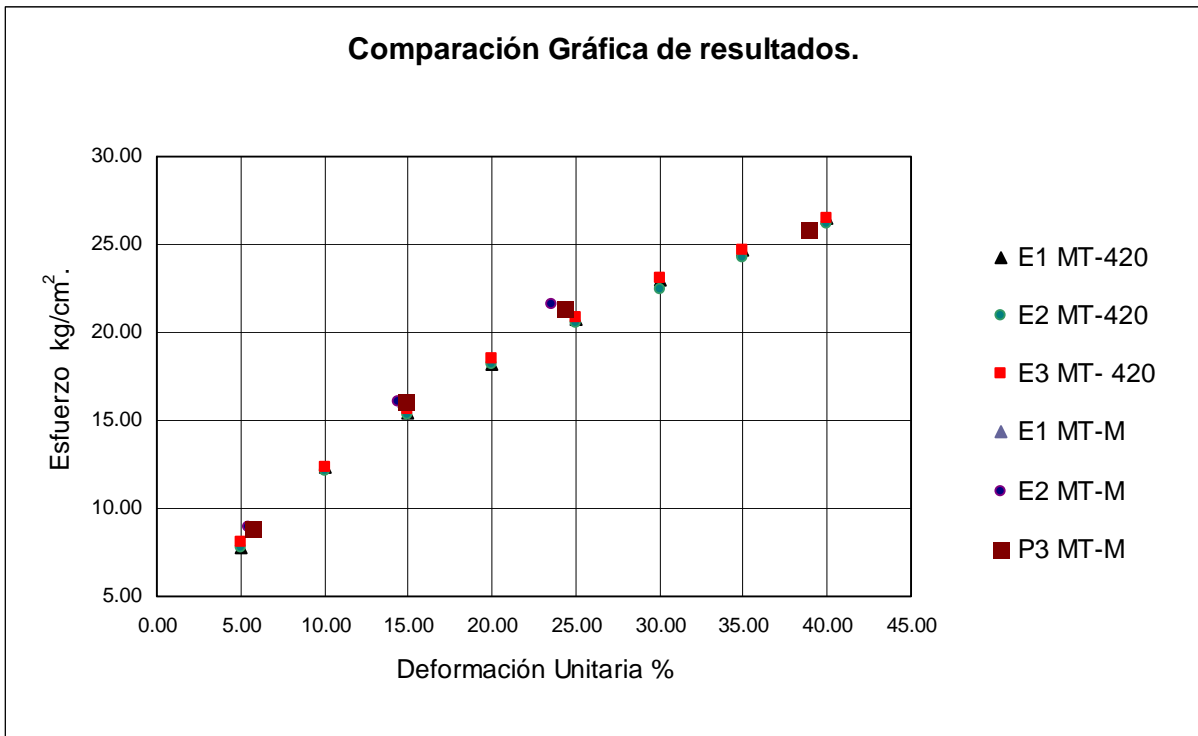
Grafica 5.2. Esfuerzo/Deformación. (Marco Triaxial Mecánico Existente).

Los resultados que se obtuvieron con la misma probeta de plástico rígido elástica, permiten verificar experimentalmente que el equipo mecánico actual con el que cuenta el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco A.C.; es similar entre un ensaye y otro bajo las mismas condiciones de operación, presentando una variación del 2 % de la relación esfuerzo/deformación entre los tres ensayos; lo cual nos indica la veracidad y correcta calibración de este equipo que aunque conservador, ofrece muy buenos resultados en la prueba triaxial rápida mediante carga controlada.

5.3 Comparación de resultados de calibración de ambos equipos.

Con los resultados obtenidos, se realizó un comparativo en el funcionamiento de los dos equipos triaxiales, mediante la graficación de todos los resultados de los ensayos realizados, recordando que ambos equipos tiene una variación aceptable dentro de sus rangos de trabajo considerando las mismas condiciones de ensaye.

En la gráfica 5.3 se puede apreciar el comportamiento de los ensayos que se realizaron con la probeta elástica, tanto en el marco triaxial servo eléctrico MT-420, como en el marco triaxial mecánico, solo se grafican los puntos de intersección de los datos que se grafican.



Gráfica 5.3 Comparativo de funcionamiento de ambos equipos triaxiales.

De acuerdo al comparativo de los resultados, se determina que la variación máxima en la zona central de ambos gráficos, que existe entre el marco triaxial diseñado y construido MT-420 y el marco triaxial mecánico actual, es del 2.8 %; mientras que en la zona final de carga, es prácticamente cero; además de que las curvas en color rojo que proviene del marco triaxial MT-420; tienen un comportamiento más uniforme que las de color azul que son las del equipo triaxial mecánico, recordando que utilizamos una probeta de plástico de material homogéneo y comportamiento uniforme en teoría; por lo tanto podemos concluir que el equipo marco triaxial MT-420, tiene un mejor control de aplicación de carga y

podrá dar mejores resultados más verídicos en cuestión de esfuerzos cuando se trabaje con cualquier tipo de suelo.

En base a lo anterior, se concluye que el marco triaxial MT-420, diseñado y construido, tiene un funcionamiento fiable y óptimo, y por consiguiente se cumple exitosamente con el objetivo de este trabajo de investigación; el cual fue diseñar, construir y poner en operación dicho marco triaxial.

Ahora sólo basta trabajar muestras de suelo inalterado en ambos equipos triaxiales para concluir con la obtención de los parámetros de resistencia al corte en suelos y finalizar la investigación producto de este trabajo de tesis.

5.4. Determinación de parámetros de resistencia al esfuerzo cortante en pruebas realizadas en suelos.

Para continuar con el objetivo del presente trabajo de tesis, realizaremos pruebas de compresión triaxial utilizando una muestra de suelo inalterada, trabajando de la misma manera que en la calibración del equipo, ensayando tres probetas de suelo en el marco triaxial MT-420 y en el marco triaxial mecánico, realizando sus cálculos y obteniendo los datos para la gráfica esfuerzo-deformación; finalmente comparando las curvas de ambos ensayos y determinado por último los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante y la capacidad de carga del suelo en cuestión.

5.4.1. Obtención de la muestra de suelo.

La muestra inalterada fue obtenida de un predio ubicado en la calle de Jiménez s/n, de la colonia Barrio de San Pedro, en la zona Noroeste de la ciudad de Uruapan Michoacán, este predio tendrá un destino de construcción de un conjunto habitacional de tipo medio.

La muestra fue obtenida mediante un sondeo de pozo a cielo abierto (PCA), en donde se llegó a una profundidad de 1.30 m, en donde se identificaron tres estratos de suelo diferentes, no se encontró el nivel de aguas freáticas (NAF) en éste sondeo, por lo que se decidió tomar tres muestras inalteradas cúbicas de 30x30 cm, para su posterior estudio en laboratorio y desarrollo de la investigación final de este trabajo de tesis.

5.4.2. Labrado de probetas.

De las muestras inalteradas que se extrajeron del sondeo (PCA), se realizó el labrado de las probetas para ser ensayadas a compresión triaxial, de la muestra inalterada No. 2, se labraron tres probetas, de la muestra inalterada No. 3, se labraron tres probetas más, esto para ensayar probetas del mismo sondeo, tanto el marco triaxial construido (MT-420), y en el marco triaxial mecánico existente. El labrado de probeta se realizó cumpliendo con la relación de altura de 2.5 veces el diámetro de la probeta por lo que en promedio se labraron probetas de 3.5 cm de diámetro y 9.0 cm de altura; como lo marca la norma AASHTO T-296 Y T-297.

Todas las probetas fueron labradas, medidas, y colocadas como lo marca el procedimiento de prueba de compresión triaxial por la misma persona, aplicando así el mismo criterio de trabajo en todas las probetas para disminuir al máximo las posibles variaciones por diferencias de operadores. Es importante mencionar que se labraron más de 12 probetas de suelo, de las cuales se escogieron las tres probetas más representativas y similares de cada una de las muestras inalteradas; desechando aquellas muestras que presentaron mayor variación en peso volumétrico, dimensiones, oquedades, cambios en la estructura del suelo, así como variación importante en la humedad de las probetas de suelo.

5.4.3 Ensaye de compresión triaxial.

Las probetas labradas de la muestra inalterada No. 2, se ensayaron en el marco triaxial mecánico existente, bajo una presión de confinamiento (σ_3) de 0.5, 1.0 y 1.5 kg/cm², y bajo carga controlada axial, donde se obtuvieron los siguientes resultados, cabe mencionar que debido a las características del suelo en estudio, el primer ensaye realizado con una presión de confinamiento (σ_3) de 0.5 kg/cm², se realizó dos veces con el mismo confinamiento, esto por la gran variación en el comportamiento de la probeta de suelo en estudio, ante la aplicación de carga axial.

MARCO TRIAXIAL MECÁNICO

UDV

Confinamiento σ_3 (kg/cm²) **0.50**

COMPRESIÓN CONFINADA O COMPRESIÓN TRIAXIAL RÁPIDA.

| | | |
|---|------------|------------|
| TIPO DE OBRA: CONJUNTO HABITACIONAL | FECHA : | 03/09/2008 |
| LOCALIZACIÓN URUAPAN MICHOACÁN | PROFUND: | 1.3 |
| ENSAYE No. 1 SONDEO No: UNO MUESTRA No: DOS | OPERADOR : | SAENZ |
| PROCEDENCIA DE LA MUESTRA MATERIAL FINO COLOR CAFÉ OSCURO | CALCULO : | SAENZ |

MEDIDAS DE LA MUESTRA

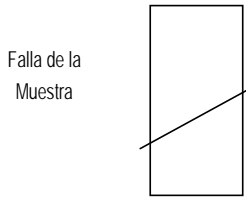
| | | | |
|----------------------|-------------------------------------|--|--|
| Diam Sup (cm) 3.40 | Área Sup (cm ²) 9.079 | Peso Wi (gr) 112.00 | Peso Hum. (gr) - |
| Diam Cent (cm) 3.50 | Área Cent (cm ²) 9.621 | Volúmen (cm ³) 89.59 | Peso Seco (gr) - |
| Diam Infer (cm) 3.50 | Área Infer (cm ²) 9.621 | γ_m (ton/m ³) 1.250 | Hum. Prueba Natural |
| Alt. Media (cm) 9.40 | Área Media (cm ²) 6 | As + 4Ac + Ai = 9.53 | Constante del Micrómetro = 0.0100 |
| | | | Velocidad Aplicación carga = 1.0 min/carga |

| Carga Colocada (kg) | Carga Acumulada (kg) | Lectura Micrómetro | Deformación Total (mm) | Deformación Unitaria % | 1 - Deformación Unitaria (mm) | Área Corregida (cm ²) | Esfuerzo. (kg/cm ²) |
|---------------------|----------------------|--------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 0.10 | 0.94 | 4.00 | 0.0400 | 0.0426 | 0.9996 | 9.53 | 0.0986 |
| 0.10 | 1.88 | 15.00 | 0.1500 | 0.1596 | 0.9984 | 9.55 | 0.1969 |
| 0.10 | 2.82 | 30.00 | 0.3000 | 0.3191 | 0.9968 | 9.56 | 0.2949 |
| 0.10 | 3.76 | 64.00 | 0.6400 | 0.6809 | 0.9932 | 9.60 | 0.3918 |
| 0.15 | 5.17 | 110.00 | 1.1000 | 1.1702 | 0.9883 | 9.64 | 0.5361 |
| FALLA DE LA MUESTRA | | | | | | | |

Cohesión Mat. $c = \sigma/2$ (kg/cm²) = 0.2681

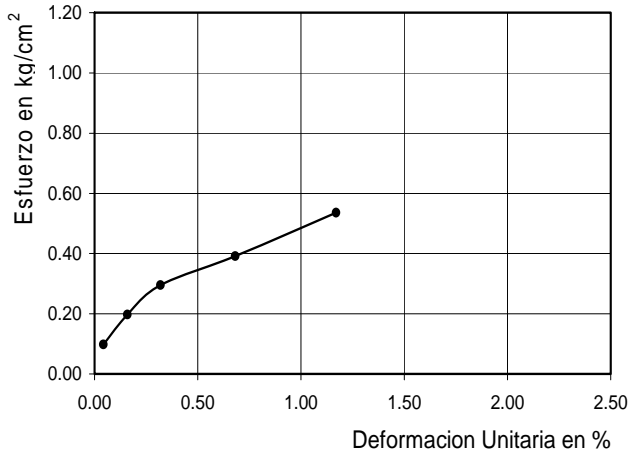
Área corregida = Área media / 1-Def. Unitaria

ESQUEMA DE FALLA DE LA MUESTRA



OBSERVACIONES:

CURVA ESFUERZO - DEFORMACIÓN



El comportamiento tanto del equipo como de la probeta, es este primer ensaye con presión de confinamiento de (σ_3) de 0.5 kg/cm², se considera uniforme para las condiciones de prueba y tomando como referencia el comportamiento del suelo y la falla del mismo.

MARCO TRIAXIAL MECÁNICO

UDV

Confinamiento σ_3 (kg/cm²) 1.00

COMPRESIÓN CONFINADA O COMPRESIÓN TRIAXIAL RÁPIDA.

TIPO DE OBRA: CONJUNTO HABITACIONAL FECHA: 03/09/2008
 LOCALIZACIÓN: URUAPAN MICHOACÁN PROFUND: 1.3
 ENSAYE No. 2 SONDEO No: UNO MUESTRA No: DOS OPERADOR: SAENZ
 PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: MATERIAL FINO COLOR CAFÉ OSCURO CALCULO: SAENZ

MEDIDAS DE LA MUESTRA

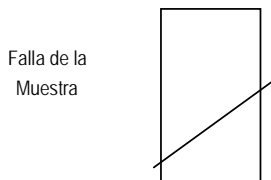
Diam Sup (cm) 3.50 Área Sup (cm²) 9.621 Peso Wi (gr) 113.10 Peso Hum. (gr) -
 Diam Cent (cm) 3.50 Área Cent (cm²) 9.621 Volúmen (cm³) 91.40 Peso Seco (gr) -
 Diam Infer (cm) 3.50 Área Infer (cm²) 9.621 γ_m (ton/m³) 1.237 Hum. Prueba Natural
 Alt. Media (cm) 9.50 Área Media (cm²) As + 4Ac + Ai = 9.62 Constante del Micrómetro = 0.0100
 Velocidad Aplicación carga = 1.0 min/carga

| Carga Colocada (kg) | Carga Acumulada (kg) | Lectura Micrómetro | Deformación Total (mm) | Deformación Unitaria % | 1 - Deformación Unitaria (mm) | Área Corregida (cm ²) | Esfuerzo. (kg/cm ²) |
|---------------------|----------------------|--------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 0.10 | 0.94 | 2.00 | 0.0200 | 0.0211 | 0.9998 | 9.62 | 0.0977 |
| 0.10 | 1.88 | 8.00 | 0.0800 | 0.0842 | 0.9992 | 9.63 | 0.1952 |
| 0.10 | 2.82 | 17.00 | 0.1700 | 0.1789 | 0.9982 | 9.64 | 0.2926 |
| 0.10 | 3.76 | 30.00 | 0.3000 | 0.3158 | 0.9968 | 9.65 | 0.3896 |
| 0.15 | 5.17 | 54.00 | 0.5400 | 0.5684 | 0.9943 | 9.68 | 0.5343 |
| 0.20 | 7.05 | 106.00 | 1.0600 | 1.1158 | 0.9888 | 9.73 | 0.7246 |
| 0.20 | 8.93 | 199.00 | 1.9900 | 2.0947 | 0.9791 | 9.83 | 0.9087 |
| FALLA DE LA MUESTRA | | | | | | | |

Cohesión Mat. $c = \sigma/2$ (kg/cm²) = 0.4544

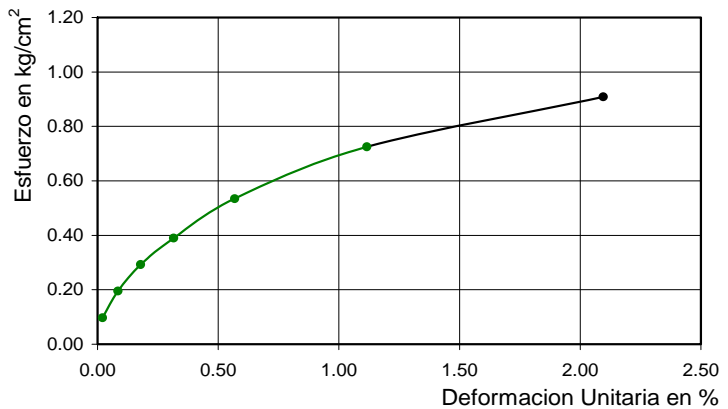
Área corregida = Área media / 1-Def. Unitaria

ESQUEMA DE FALLA DE LA MUESTRA



OBSERVACIONES: _____

CURVA ESFUERZO - DEFORMACIÓN



El comportamiento que se observó en la probeta durante el segundo ensaye, con presión de confinamiento de (σ_3) de 1.0 kg/cm² se considera uniforme para las condiciones de prueba que se aplicaron y tomando como referencia el comportamiento del suelo en el primer ensaye.

MARCO TRIAXIAL MECÁNICO

UDV

Confinamiento σ_3 (kg/cm²) 1.50

COMPRESIÓN CONFINADA O COMPRESIÓN TRIAXIAL RÁPIDA.

TIPO DE OBRA: CONJUNTO HABITACIONAL FECHA : 03/09/2008
 LOCALIZACIÓN: URUAPAN MICHOACAN PROFUND: 1.3
 ENSAYE No. 3 SONDEO No: UNO MUESTRA No: DOS OPERADOR : SAENZ
 PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: MATERIAL FINO COLOR CAFÉ OSCURO CALCULO : SAENZ

MEDIDAS DE LA MUESTRA

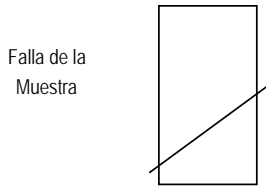
Diam Sup (cm) 3.50 Área Sup (cm²) 9.621 Peso Wi (gr) 116.00 Peso Hum. (gr) -
 Diam Cent (cm) 3.50 Área Cent (cm²) 9.621 Volúmen (cm³) 90.44 Peso Seco (gr) -
 Diam Infer (cm) 3.50 Área Infer (cm²) 9.621 γ_m (ton/m³) 1.283 Hum. Prueba Natural
 Alt. Media (cm) 9.40 Área Media (cm²) As + 4Ac + Ai = 9.62 Constante del Micrómetro = 0.0100
 6 Velocidad Aplicación carga = 1.0 min/carga

| Carga Colocada (kg) | Carga Acumulada (kg) | Lectura Micrómetro | Deformación Total (mm) | Deformación Unitaria % | 1 - Deformación Unitaria (mm) | Área Corregida (cm ²) | Esfuerzo. (kg/cm ²) |
|---------------------|----------------------|--------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 0.10 | 0.94 | 4.00 | 0.0400 | 0.0426 | 0.9996 | 9.63 | 0.0977 |
| 0.10 | 1.88 | 11.00 | 0.1100 | 0.1170 | 0.9988 | 9.63 | 0.1952 |
| 0.10 | 2.82 | 20.00 | 0.2000 | 0.2128 | 0.9979 | 9.64 | 0.2925 |
| 0.10 | 3.76 | 32.00 | 0.3200 | 0.3404 | 0.9966 | 9.65 | 0.3895 |
| 0.15 | 5.17 | 50.00 | 0.5000 | 0.5319 | 0.9947 | 9.67 | 0.5345 |
| 0.20 | 7.05 | 80.00 | 0.8000 | 0.8511 | 0.9915 | 9.70 | 0.7265 |
| 0.20 | 8.93 | 118.00 | 1.1800 | 1.2553 | 0.9874 | 9.74 | 0.9165 |
| 0.20 | 10.81 | 180.00 | 1.8000 | 1.9149 | 0.9809 | 9.81 | 1.1021 |
| FALLA DE LA MUESTRA | | | | | | | |

Cohesión Mat. $c = \sigma/2$ (kg/cm²) = 0.5510

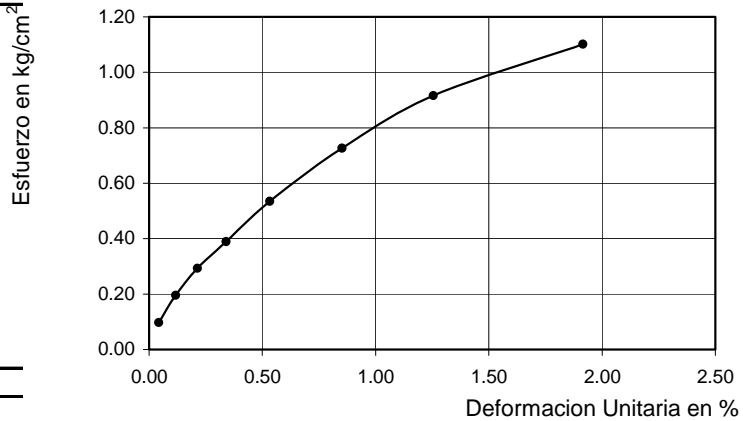
Área corregida = Área media / 1-Def. Unitaria

ESQUEMA DE FALLA DE LA MUESTRA



OBSERVACIONES: _____

CURVA ESFUERZO - DEFORMACIÓN



El comportamiento que se observó en la probeta durante el tercer ensaye, se considera uniforme para las condiciones de prueba que se aplicaron y tomando como referencia el comportamiento del suelo en el primer ensaye, finalmente podemos decir que las tres probetas se comportaron de manera uniforme.

Ahora bien, después de haber finalizado la prueba triaxial en el marco triaxial mecánico existente, es importante recordar que en este marco, la variable de aplicación de la carga es manejada por carga controlada, es decir colocamos una carga y se espera un cierto tiempo para ver la deformación de la probeta, posteriormente se coloca un incremento de carga y volvemos a registrar en función del tiempo la deformación de la probeta.

De manera adelantada y conforme se puede ver en las gráficas esfuerzo deformación de cada uno de los ensayos anteriores, el comportamiento de las tres probetas es bastante similar, así como los valores de esfuerzo alcanzados por ella misma, recordando que es un limo inorgánico, poroso y con un alto contenido de humedad, de consistencia suave; por lo que se espera una resistencia de la muestra de un orden bajo.

De las probetas que se labraron en la muestra inalterada No. 3, se ensayaron en el marco triaxial MT-420, bajo las mismas condiciones de ensaye, las presiones de confinamiento (σ_3), que se aplicaron a las probetas fueron de 0.5, 1.0 y 1.5 kg/cm², respectivamente, bajo la variable de deformación controlada, tomando lecturas del anillo de carga, en función de cada 20 unidades del micrómetro de deformación; en donde se obtuvieron los siguientes resultados:

COMPRESIÓN CONFINADA O COMPRESIÓN TRIAXIAL RÁPIDA.

| | | | |
|----------------------------|---------------------------------|-------------|------------|
| TIPO DE OBRA: | CONJUNTO HABITACIONAL | FECHA: | 03/10/2008 |
| LOCALIZACIÓN: | URUAPAN MICHOACÁN | PROFUND: | 1.3 |
| ENSAYE No. | 1 | SONDEO No: | UNO |
| | | MUESTRA No: | TRES |
| OPERADOR: | SAENZ | | |
| PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: | MATERIAL FINO COLOR CAFÉ OSCURO | CALCULO: | SAENZ |

MEDIDAS DE LA MUESTRA

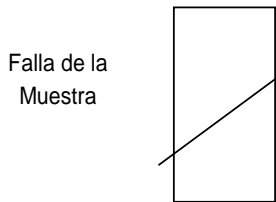
| | | | | | | | |
|-----------------|------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------|--------|------------------------------|------------|
| Diam Sup (cm) | 3.60 | Área Sup (cm ²) | 10.179 | Peso Wi (gr) | 102.00 | Peso Hum. (gr) | - |
| Diam Cent (cm) | 3.60 | Área Cent (cm ²) | 10.179 | Volúmen (cm ³) | 96.70 | Peso Seco (gr) | - |
| Diam Infer (cm) | 3.60 | Área Infer (cm ²) | 10.179 | gm (ton/m ³) | 1.055 | Hum. Prueba | Natural |
| Alt. Media (cm) | 9.50 | Área Media (cm ²) | As + 4Ac + Ai = 10.18 | Constante del Micrómetro (mm) | 6 | Velocidad Aplicación carga = | 1.0 mm/min |

| Lectura Mic. de Carga (kg) | Carga Acumulada (kg) | Lectura Mic Δy (mm) | Deformación Total (mm) | Deformación Unitaria % | 1 - Deformación Unitaria (mm) | Área Corregida (cm ²) | Esfuerzo. (kg/cm ²) |
|----------------------------|----------------------|---------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 12.00 | 2.57 | 20.00 | 0.2000 | 0.2105 | 0.9979 | 10.20 | 0.2518 |
| 20.00 | 4.28 | 40.00 | 0.4000 | 0.4211 | 0.9958 | 10.22 | 0.4188 |
| 24.00 | 5.14 | 60.00 | 0.6000 | 0.6316 | 0.9937 | 10.24 | 0.5016 |
| 25.00 | 5.35 | 80.00 | 0.8000 | 0.8421 | 0.9916 | 10.27 | 0.5213 |
| 26.00 | 5.57 | 100.00 | 1.0000 | 1.0526 | 0.9895 | 10.29 | 0.5410 |
| Falla de la Muestra | | | | | | | |

Cohesión Mat. $c = s/2$ (kg/cm²) = 0.2607

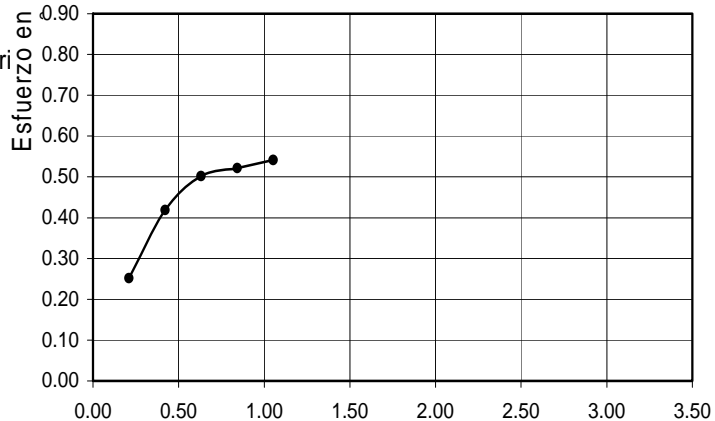
Área corregida = Área media / 1-Def. Unitari

ESQUEMA DE FALLA DE LA MUESTRA



OBSERVACIONES: _____

CURVA ESFUERZO - DEFORMACIÓN



En el procedimiento de prueba que se realizo para ensayar esta primera probeta de suelo, se observó claramente la deformación de la muestra y se determinó perfectamente el momento en el que el suelo no admitió mas carga y por lo tanto se considera que está fallado.

MARCO TRIAXIAL MT-420

UDV

Confinamiento σ_3 (kg/cm²) **1.00**

COMPRESIÓN CONFINADA O COMPRESIÓN TRIAXIAL RÁPIDA.

| | |
|--|--------------------------|
| TIPO DE OBRA: <u>CONJUNTO HABITACIONAL</u> | FECHA: <u>03/10/2008</u> |
| LOCALIZACIÓN: <u>URUAPAN MICHOACÁN</u> | PROFUND: <u>1.3</u> |
| ENSAYE No. <u>2</u> SONDEO No: <u>UNO</u> MUESTRA No: <u>DOS</u> | OPERADOR: <u>SAENZ</u> |
| PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: <u>MATERIAL FINO COLOR CAFÉ CLARO OBSCURO</u> | CALCULO: <u>SAENZ</u> |

MEDIDAS DE LA MUESTRA

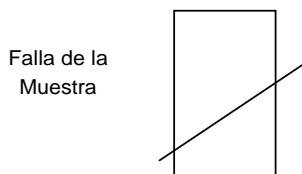
| | | | |
|-----------------------------|--|---|--|
| Diam Sup (cm) <u>3.55</u> | Área Sup (cm ²) <u>9.898</u> | Peso Wi (gr) <u>107.20</u> | Peso Hum. (gr) <u>-</u> |
| Diam Cent (cm) <u>3.55</u> | Área Cent (cm ²) <u>9.898</u> | Volúmen (cm ³) <u>95.02</u> | Peso Seco (gr) <u>-</u> |
| Diam Infer (cm) <u>3.55</u> | Área Infer (cm ²) <u>9.898</u> | gm (ton/m ³) <u>1.128</u> | Hum. Prueba <u>Natural</u> |
| Alt. Media (cm) <u>9.60</u> | Área Media (cm ²) <u>6</u> | As + 4Ac + Ai = <u>9.90</u> | Constante del Micrómetro (mm) = <u>0.0100</u> |
| | | | Velocidad Aplicación carga = <u>1.0 mm/min</u> |

| Lectura Mic. de Carga (kg) | Carga Acumulada (kg) | Lectura Mic Δy (mm) | Deformación Total (mm) | Deformación Unitaria % | 1 - Deformación Unitaria (mm) | Área Corregida (cm ²) | Esfuerzo. (kg/cm ²) |
|----------------------------|----------------------|---------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 6.00 | 1.28 | 20.00 | 0.2000 | 0.2083 | 0.9979 | 9.92 | 0.1295 |
| 15.00 | 3.21 | 40.00 | 0.4000 | 0.4167 | 0.9958 | 9.94 | 0.3231 |
| 20.00 | 4.28 | 60.00 | 0.6000 | 0.6250 | 0.9938 | 9.96 | 0.4298 |
| 23.00 | 4.92 | 80.00 | 0.8000 | 0.8333 | 0.9917 | 9.98 | 0.4933 |
| 25.00 | 5.35 | 100.00 | 1.0000 | 1.0417 | 0.9896 | 10.00 | 0.5351 |
| 27.00 | 5.78 | 120.00 | 1.2000 | 1.2500 | 0.9875 | 10.02 | 0.5766 |
| 29.00 | 6.21 | 140.00 | 1.4000 | 1.4583 | 0.9854 | 10.04 | 0.6180 |
| 30.00 | 6.42 | 160.00 | 1.6000 | 1.6667 | 0.9833 | 10.07 | 0.6380 |
| 31.00 | 6.64 | 180.00 | 1.8000 | 1.8750 | 0.9813 | 10.09 | 0.6579 |
| 32.00 | 6.85 | 200.00 | 2.0000 | 2.0833 | 0.9792 | 10.11 | 0.6777 |
| 34.00 | 7.28 | 220.00 | 2.2000 | 2.2917 | 0.9771 | 10.13 | 0.7185 |
| 36.00 | 7.71 | 240.00 | 2.4000 | 2.5000 | 0.9750 | 10.15 | 0.7591 |
| 37.00 | 7.92 | 260.00 | 2.6000 | 2.7083 | 0.9729 | 10.17 | 0.7785 |
| Falla de la Muestra | | | | | | | |

Cohesión Mat. $c = s/2$ (kg/cm²) = 0.3893

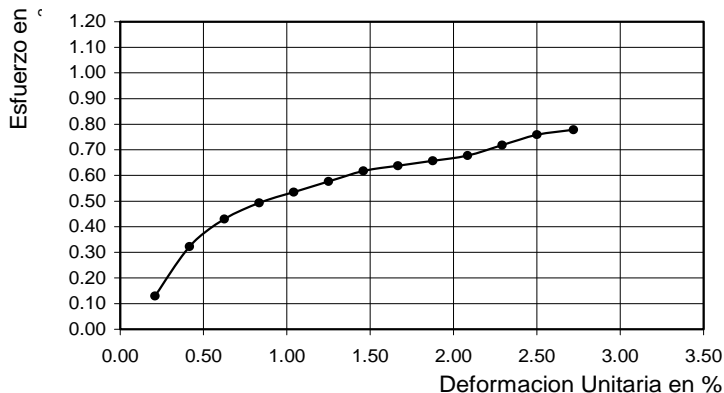
Área corregida = Área media / 1-Def. Unitaria

ESQUEMA DE FALLA DE LA MUESTRA



OBSERVACIONES:

CURVA ESFUERZO - DEFORMACIÓN



En esta segunda prueba que se realizó, se observó la forma que en fallo la probeta de suelo y haciendo una comparación con los ensayos anteriores se ve que la probeta de suelo falla de la misma forma.

MARCO TRIAXIAL MT-420

UDV

Confinamiento
 σ_3 (kg/cm²) 1.50

COMPRESIÓN CONFINADA O COMPRESIÓN TRIAXIAL RÁPIDA.

TIPO DE OBRA: CONJUNTO HABITACIONAL FECHA: 03/10/2008
 LOCALIZACIÓN: URUAPAN MICHOACÁN PROFUND: 1.3
 ENSAYE No. 3 SONDEO No: UNO MUESTRA No: TRES OPERADOR: SAENZ
 PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: MATERIAL FINO COLOR CAFÉ CLARO OSCURO CALCULO: SAENZ

MEDIDAS DE LA MUESTRA

Diam Sup (cm) 3.50 Área Sup (cm²) 9.621 Peso Wi (gr) 112.00 Peso Hum. (gr) -
 Diam Cent (cm) 3.50 Área Cent (cm²) 9.621 Volúmen (cm³) 91.40 Peso Seco (gr) -
 Diam Infer (cm) 3.50 Área Infer (cm²) 9.621 gm (ton/m³) 1.225 Hum. Prueba Natural
 Alt. Media (cm) 9.50 Área Media (cm²) As + 4Ac + Ai = 9.62 Constante del Micrómetro = 0.0100
 6 Velocidad Aplicación carga = 1.0 mm/min

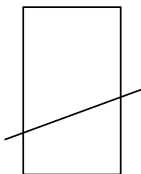
| Lectura Mic. de Carga (kg) | Carga Acumulada (kg) | Lectura Mic Δy (mm) | Deformación Total (mm) | Deformación Unitaria % | 1 - Deformación Unitaria (mm) | Área Corregida (cm ²) | Esfuerzo. (kg/cm ²) |
|----------------------------|----------------------|---------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 6.00 | 1.28 | 20.00 | 0.2000 | 0.2105 | 0.9979 | 9.64 | 0.1332 |
| 14.00 | 3.00 | 40.00 | 0.4000 | 0.4211 | 0.9958 | 9.66 | 0.3102 |
| 19.00 | 4.07 | 60.00 | 0.6000 | 0.6316 | 0.9937 | 9.68 | 0.4201 |
| 26.00 | 5.57 | 80.00 | 0.8000 | 0.8421 | 0.9916 | 9.70 | 0.5736 |
| 32.00 | 6.85 | 100.00 | 1.0000 | 1.0526 | 0.9895 | 9.72 | 0.7045 |
| 37.00 | 7.92 | 120.00 | 1.2000 | 1.2632 | 0.9874 | 9.74 | 0.8128 |
| 41.00 | 8.78 | 140.00 | 1.4000 | 1.4737 | 0.9853 | 9.77 | 0.8988 |
| 44.00 | 9.42 | 160.00 | 1.6000 | 1.6842 | 0.9832 | 9.79 | 0.9625 |
| 47.00 | 10.06 | 180.00 | 1.8000 | 1.8947 | 0.9811 | 9.81 | 1.0259 |
| 49.00 | 10.49 | 200.00 | 2.0000 | 2.1053 | 0.9789 | 9.83 | 1.0673 |
| 51.00 | 10.92 | 220.00 | 2.2000 | 2.3158 | 0.9768 | 9.85 | 1.1085 |
| 53.00 | 11.35 | 240.00 | 2.4000 | 2.5263 | 0.9747 | 9.87 | 1.1494 |
| 54.00 | 11.56 | 260.00 | 2.6000 | 2.7368 | 0.9726 | 9.89 | 1.1686 |
| 55.00 | 11.77 | 280.00 | 2.8000 | 2.9474 | 0.9705 | 9.91 | 1.1877 |
| 56.00 | 11.99 | 300.00 | 3.0000 | 3.1579 | 0.9684 | 9.93 | 1.2066 |
| Falla de la Muestra | | | | | | | |

Cohesión Mat. $c = s/2$ (kg/cm²) = 0.5938

Área corregida = Área media / 1-Def. Unitaria

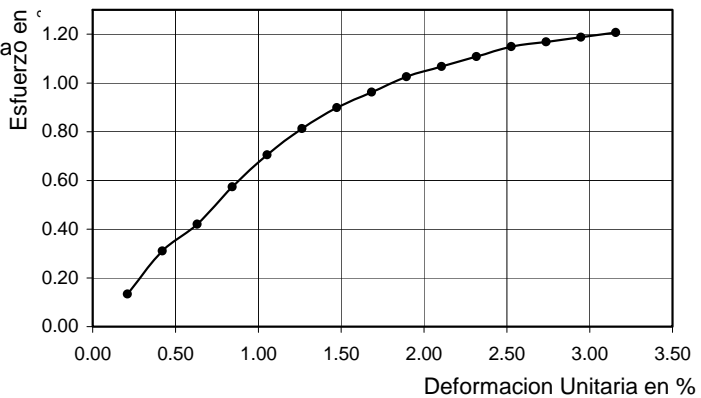
ESQUEMA DE FALLA DE LA MUESTRA

Falla de la Muestra



OBSERVACIONES:

CURVA ESFUERZO - DEFORMACIÓN



Lo que se observó en esta tercera prueba, fue el comportamiento que presentó la probeta durante todo el tiempo de incremento de carga, presentando una falla similar a las que se presentaron en los demás ensayos.

Habiendo finalizado las pruebas triaxiales en el marco triaxial MT-420, el cuál se opera mediante deformación controlada, es decir, en el procedimiento de prueba se toman lecturas de deformación pequeñas, y se observa el comportamiento de la probeta que se esta ensayando, mientras se aplica carga axial a una velocidad constante, se procede a la aplicación de los criterios de falla para determinar los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante del suelo que se esta estudiado.

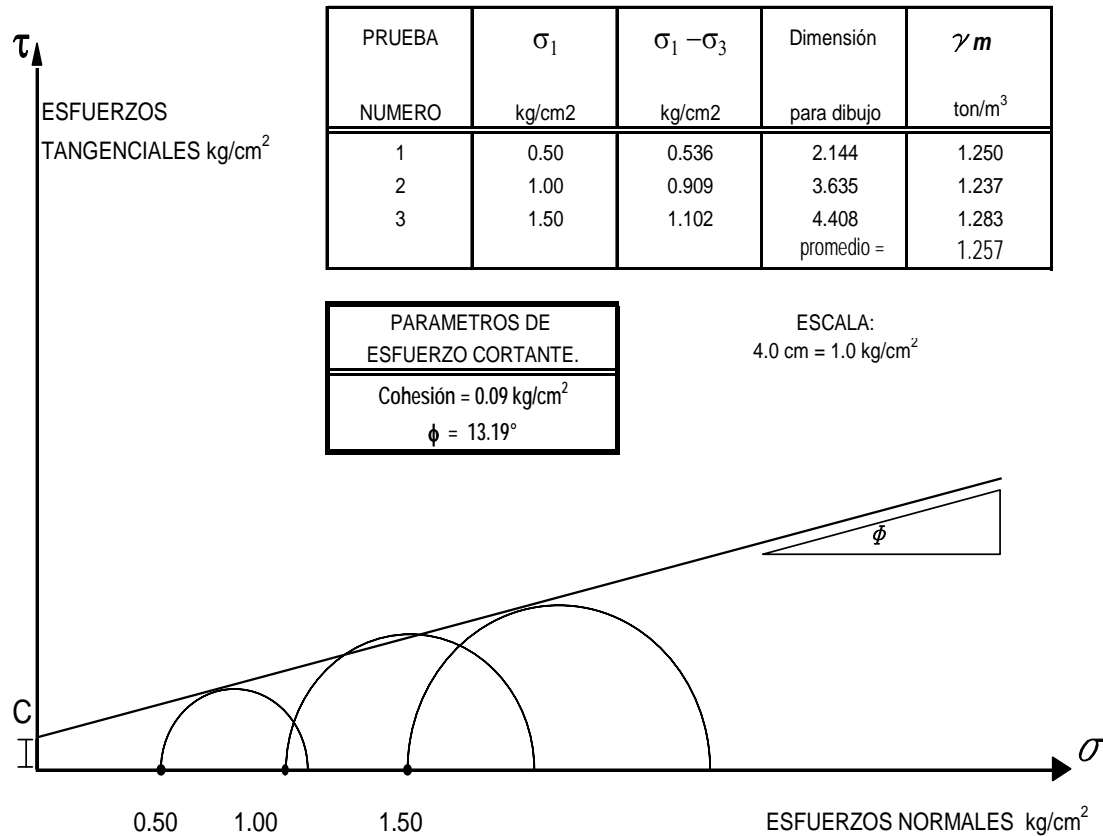
5.4.4 Determinación de los Parámetros de Resistencia al Esfuerzo Cortante del suelo en estudio.

Con los ensayos triaxiales realizados y después de verificar su correcto comportamiento en ambos equipos, se procede a la aplicación del criterio de falla de Mohr-Coulomb, para determinar los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante, los cuales son: la cohesión del material y el ángulo de fricción interna del suelo en estudio. Se hará en el orden de tronado, primero con las pruebas triaxiales ensayadas en el marco triaxial mecánico existente en el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco A.C.

MARCO TRIAXIAL MECÁNICO

CIRCULOS DE MOHR COMPRESION TRIAXIAL RÁPIDA

| | | | |
|--------------------------|---------------------------------|-------------|------------|
| TIPO DE OBRA | CONJUNTO HABITACIONAL | FECHA: | 03/09/2008 |
| LOCALIZACION | URUAPAN MICHOACÁN | PROFUND: | 1.3 M. |
| ENSAYE No. | 1 | SONDEO No. | UNO |
| | | MUESTRA No. | 1 - 2 - 3 |
| DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL | MATERIAL FINO COLOR CAFÉ OSCURO | OPERADOR: | SAENZ |
| | | CALCULO: | SAENZ |



Gráfica 5.4. Círculos de Mohr del ensaye en el marco triaxial mecánico.

Con estos parámetros de resistencia al esfuerzo cortante y una profundidad 1.30 m., se aplica la teoría de capacidad de carga de Terzaghi, obteniendo una capacidad de carga admisible de 4.95 Ton/m², la tabla 5.7 del cálculo se muestra en la siguiente página.

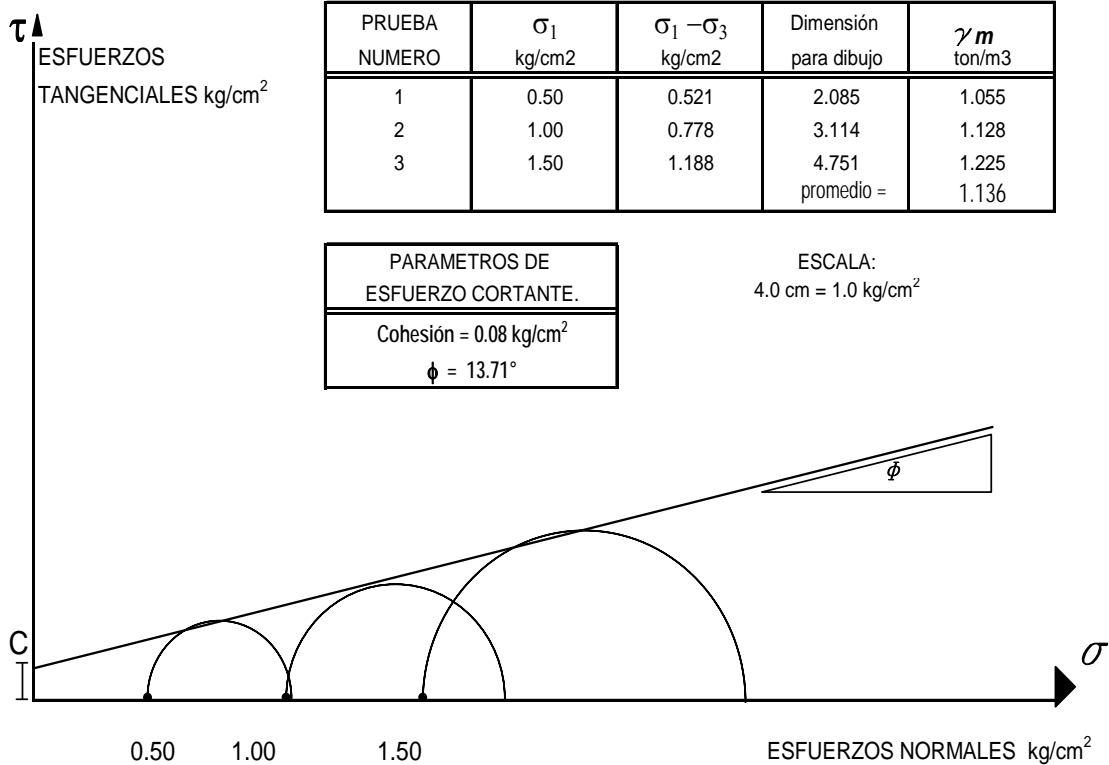
| Capacidad de carga según Terzaghi. | | | |
|------------------------------------|--------------|------------------------------|------|
| Datos requeridos | | factores: | |
| C (ton/m ²) = | 0.900 | Nc = | 9.91 |
| Df (mt) = | 1.30 | Nq = | 3.32 |
| B (Mt) = | 1.00 | N _γ = | 0.78 |
| γ (ton/m ³) = | 1.257 | | |
| φ Grados = | 13.19 | Cálc. basados resultados | |
| φ Radian = | 0.230 | de Prueba Triaxial | |
| Capacidad de carga obtenida: | | | |
| qu = | 14.85 | Ton/m ² | |
| qadm = qu/3 | 4.95 | Ton/m ² Admisible | |

Tabla 5.7. Cálculo de capacidad de carga.

Ahora bien, en la gráfica 5.5 se presentan los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante del suelo en estudio, de acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos triaxiales, realizados en el marco triaxial MT-420.

CIRCULOS DE MOHR COMPRESION TRIAXIAL RÁPIDA

| | | | |
|--------------------------|----------------------------|-------------|------------|
| TIPO DE OBRA | CONJUNTO HABITACIONAL | FECHA: | 03/09/2008 |
| LOCALIZACION | URUAPAN MICHOACÁN | PROFUND: | 1.3 M. |
| ENSAYE No. | 1 | SONDEO No. | UNO |
| | | MUESTRA No. | 1 - 2 - 3 |
| DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL | MATERIAL FINO CAFÉ OBSCURO | OPERADOR: | SAENZ |
| | | CALCULO: | SAENZ |



Grafica 5.5 Círculos de Mohr del ensaye en el marco triaxial MT-420.

Con estos parámetros de resistencia al esfuerzo cortante y para una profundidad 1.30 m., se aplican la teoría de capacidad de carga de Terzaghi, con lo cual se obtiene una capacidad de carga admisible de 4.60 tn/m², la tabla 5.8 del cálculo se muestra en la siguiente página.

| Capacidad de carga según Terzaghi. | | | |
|--|--------------|------------------------------|-------|
| Datos requeridos | | factores: | |
| C (ton/m ²) = | 0.800 | N _c = | 10.20 |
| D _f (mt) = | 1.30 | N _q = | 3.49 |
| B (Mt) = | 1.00 | N _γ = | 0.87 |
| γ (ton/m ³) = | 1.136 | | |
| φ Grados = | 13.71 | Cálc. basados resultados | |
| φ Radian = | 0.239 | de Prueba Triaxial | |
| Capacidad de carga obtenida: | | | |
| q _u = | 13.80 | Ton/m ² | |
| q _{adm} = q _u ³ | 4.60 | Ton/m ² Admisible | |

Tabla 5.8. Cálculo de capacidad de carga

Realizando una comparación de los resultados tanto en la relación esfuerzo/deformación, los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante y la capacidad de carga del suelo en estudio podemos definir una variación del 7% que se considera muy aceptable, tomando en cuenta la variación del peso volumétrico, las variaciones que se presentan en la homogeneidad del suelo.

En la siguiente tabla se presenta en forma de resumen, una comparación de los resultados obtenidos después de haber trabajado con la muestra de suelo inalterada.

| PARÁMETRO | MARCO MECÁNICO | MARCO MT-420 |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| ESFUERZO / DEFORMACIÓN | 1.17 / 0.53 | 1.05 / 0.54 |
| COHESIÓN | 0.9 tn/m ² | 0.8 tn/m ² |
| ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA | 13.19 ° | 13.71 ° |
| CAPACIDAD DE CARGA | 4.95 tn/m ² | 4.6 tn/m ² |
| PESO VOLUMETRICO PROMEDIO | 1.257 tn/m ³ | 1.136 tn/m ³ |

Con este estudio y análisis de datos se considera que el marco triaxial tiene un funcionamiento fiable y como el funcionamiento del equipo es mediante deformación controlada, esto nos permite definir de una mejor manera la envolvente de falla, para así determinar con mayor precisión los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante y así mismo, definir el valor de la capacidad de carga admisible de un suelo y su comportamiento ante la aplicación de una carga.

Así pues, después de haber realizado las pruebas suficientes para garantizar que el marco triaxial diseñado y construido, tiene un funcionamiento óptimo y fiable, comparando los resultados obtenidos con el equipo existente que debidamente esta calibrado, aunado a esto se trabajo con una muestra de suelo inalterada, para tener una referencia real de la variación de los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante al trabajar con esta muestra de suelo.

CONCLUSIONES

En este capítulo se abordarán las conclusiones a las que se llegaron después de haber realizado el presente trabajo de investigación; las cuales se realizaron de la manera más objetiva, con el fin de no ser parciales con los resultados que se obtuvieron y con los objetivos que se plantearon al inicio de este tema de investigación. De manera general se concluyen los logros que se obtuvieron de este trabajo de investigación.

Después de haber realizado arduamente este trabajo de investigación, analizando el objetivo que se persigue, el cual es crear un marco triaxial para determinar las características mecánicas de los suelos mediante la aplicación de cargas a una muestra de suelo y así determinar los parámetros de la resistencia al corte de estos, se concluye que se construyó un equipo que cumple perfectamente con las necesidades que exige este tema de investigación.

Así también, atendiendo a la pregunta de investigación planteada en esta tesis, se logró integrar en el marco triaxial construido, elementos que garantizan que las condiciones de prueba en el laboratorio son iguales a las que un suelo tiene en su entorno natural y de esta manera asegurar que el comportamiento del suelo es igual ante la aplicación de una carga.

Finalmente, se puede decir exitosamente que se logró construir un marco triaxial, con tecnología de competencia actual, donde se integraron en el modelo construido, elementos con un alto grado de precisión para medir los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, además estos elementos que integran el marco triaxial construido, son de alta calidad, lo que respalda la veracidad del funcionamiento del equipo y de los resultados que se obtienen de su operación.

Además de haber logrado satisfactoriamente el objetivo de investigación, este trabajo de tesis trajo consigo beneficios adicionales como son:

- Apoyo incondicional por parte del Director Técnico de la Escuela de Ingeniería Civil, así como de la Administración General de la Universidad Don Vasco A.C., así como de la iniciativa privada por parte de “ISDECON”, en donde se observa el interés por contribuir en el crecimiento de los laboratorios que se tienen en La Universidad Don Vasco.
- Se integraron conocimientos en las áreas de Ingeniería Industrial, Mecánica y Eléctrica, en el aprendizaje del Ingeniero Civil, demostrando que estas áreas son necesarias en la formación académica de los alumnos de Ingeniería Civil.
- Mejoramiento del equipamiento del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela de Ingeniería Civil, de la UDV; contribuyendo con una mejor formación académica de los estudiantes de Ingeniería Civil.

- Impulsar el Laboratorio de Mecánica de Suelos para la competencia de tipo particular en el ámbito profesional, generando ingresos económicos que podrán ser usados para el continuo mejoramiento de los equipos e instalaciones de la Escuela de Ingeniería Civil y sus laboratorios.
- Aumento del interés del alumnado en el desarrollo de nuevas tesis profesionales basadas en el diseño, construcción y operación de nuevos equipos para los Laboratorios de Mecánica de Suelos e Hidráulica.
- Se demostró la importancia del conocimiento actual de los equipos de investigación así como de estar actualizado con los sistemas de metrología; y conocer todo lo relacionado con la instrumentación de pruebas; lo cual demuestra que basados en las teorías, se puede desarrollar un modelo que cumpla con las necesidades de investigación.
- Promoción académica de la Escuela de Ingeniería Civil, confirmando estar a la altura de otras Universidades, logrando con esto ofrecer a la región Centro Sur del Estado de Michoacán, la formación de profesionistas de alta calidad que permitan la resolución de las necesidades de la población civil de nuestro estado y país.

BIBLIOGRAFÍA

- Berry Peter L.
Mecánica de Suelos
Ed. Mc Graw Hill. México. (1993)
- Catálogo General de equipos de ensayo para la industria de la construcción.
Controls S.r.l.
Milano, Italia. (2005)
- Hernández Sampieri, Roberto y Cols.
Metodología de la Investigación
Ed. Mc Graw Hill. México. (2005)
- Juárez Badillo Eulalio
Mecánica de Suelos - Tomo 1 y 2
Ed. Limusa. México. (2005)
- Lambe T. William
Mecánica de Suelos.
Ed. Limusa. México. (1994)

- Manual de Operación MM-420
Siemens. México. (2008)

- Mendieta Alatorre, Ángeles
Métodos de Investigación y Manual Académico
Ed. Porrúa. México. (2005)

- Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling
and Testing. 23rd Edition.
American Association of State and Highway Transportation Officials.
U.S.A. (2003)

- Tamayo y Tamayo, Mario
El Procedimiento de la Investigación Científica
Ed. Limusa. México. (2000)

- Whitlow Roy
Principios Fundamentales de Mecánica de Suelos.
Ed. CECSA. México. (1994)

- <http://www.controls.com.mx>