CORRELACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS DE COMPRESIÓN INCONFINADA Y CORTE DIRECTO EN SUELOS COHESIVOS, DEL SECTOR EL RODEO EN CARTAGENA

PABLO LUIS MENDIVIL PADILLA

MAIRA ALEJANDRA SAAVEDRA JIMENEZ

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Cartagena de Indias D. T. y C.

2016

CORRELACION ENTRE LOS MÉTODOS DE COMPRESIÓN INCONFINADA Y CORTE DIRECTO EN SUELOS COHESIVOS, DEL SECTOR EL RODEO EN CARTAGENA

Investigadores:

PABLO LUIS MENDIVIL PADILLA

MAIRA ALEJANDRA SAAVEDRA JIMENEZ

Director:

RAMÓN TORRES ORTEGA

GRUPO DE INVESTIGACIÓN: GEOTECNIA, MATERIALES, VIAS Y TRANSPORTE (GEOMAVIT)

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: PROPIEDADES DEL SUELO Y APLICACIONES

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Cartagena de Indias D. T. y C.

2016

Agradecimientos

En primera instancia queremos agradecerle a Dios porque sin el nada es posible y con el todo lo se puede, porque él hace real los anhelos del corazón de los hombres, en nuestro caso hizo real la culminación de este proyecto.

A nuestras familias por su apoyo en cada momento de esta carrera, a nuestros padres que han sido ejemplos para mí de vida, de esfuerzo, dedicación y pujanza q b bn mue han forjado en nosotros personas con valores y principios, que nos han dado todo el amor y el apoyo necesario para que entendamos lo mejor la vida.

Un agradecimiento a los docentes de la Universidad de Cartagena que hicieron parte de este proceso, al director de la tesis el ingeniero Ramón Torres por su idea inicial para la investigación, a los docentes evaluadores, los ingenieros Guilliam Barbosa por su dedicación en su labor y al ingeniero Modesto Barrios por sus oportunas intervenciones y apreciaciones sobre este proyecto investigativo. A los docentes del laboratorio, el ingeniero William Villa y al señor Juan Montenegro por su tiempo y apoyo para la realización de los ensayos en las instalaciones de los laboratorios de suelo de la universidad.

Un agradecimiento especial a la universidad, nuestra alma mater, a ella por la formación que nos ha brindado, por el amor que por la ingeniería nos inculco, por enseñarnos qué lugar ocupamos para la sociedad, por mostrarnos que un profesional en ingeniería civil es una persona en formación constante y exponencial debido al desarrollo de su ingenio. Gracias Universidad de Cartagena, porque dentro de tus salones entendimos que la vida puede verse desde distintos puntos.

Contenido

RESUMEN 8
ABSTRACT 10
1. INTRODUCCIÓN 12
2. MARCO REFERENCIAL 14
2.1. ESTADO DEL ARTE 14
2.1.1. Contexto internacional. 14
2.1.2. Contexto nacional 15
2.1.3. Contexto local: 16
2.2. MARCO TEÓRICO 17
2.2.1. Suelo: 17
Clasificación de suelo para propósitos de ingeniería 19
2.2.2. Características de los suelos 20
2.2.3. Ensayo de caracterización 21
2.2.5. Fundamentación teórica ensayo triaxial 25
2.2.6. Tipos de ensayos triaxiales 34
2.2.7. Ensayo de compresión inconfinada (convencional) 36
2.2.8. Ensayo de corte directo 38
4. OBJETIVOS Y ALCANCE 49
4.1.1. GENERAL: 49
4.1.2. ESPECÍFICOS: 49
4.2. ALCANCE 50
4.2.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL: 50
4.2.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL: 52
4.2.3. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL: 53
4.3. RESULTADOS Y PRODUCTO FINAL A ENTREGAR: 53
5. METODOLOGÍA 56
5.1. TÉCNICAS DE RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN 56
5.2. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN PRIMARIA 56

5.3. RESULTADO DEL ANÁLISIS 60
6. RESULTADO Y DISCUSIÓN 61
6.1. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO 61
6.2. DETERMINACIÓN DE LAS DEFORMACIONES 67
6.3. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE Y AL CORTANTE 67
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 78
10. ANEXOS 80

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Correlación entre Cv y LL 16
Ilustración 2.Representación gráfica de Mohr 26
Ilustración 3.Planos máximo y mínimo de esfuerzo 26
Ilustración 4.Circunferencia límite de rotura 27
Ilustración 5.Curva tangente a los círculos de rotura 29
Ilustración 6.Relaciones geométrica 31
Ilustración 7.Tensiones principales en los parámetros del corte 32
Ilustración 8.Plano de máxima tensión al corte 34
Ilustración 9.Muestra dentro del equipo triaxial 38
Ilustración 10.Forma de la muestra (prisma) 38
Ilustración 11.Gráfica Presión de tensión vs deformaciones 40
Ilustración 12.Presión de tensión vs esfuerzos 41
Ilustración 13.Sector El Rodeo en la ciudad de Cartagena. 50
Ilustración 14.Tipo de suelo presente en el sector el Rodeo (Dma). 51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tamaño de las partículas presentes en el suelo de estudio 62
Tabla 2. Límites de tamaño de suelos separados 63
Tabla 3. Límite líquido, plástico e índice de plasticidad de cada sondeo 63
Tabla 4. Peso específico por cada sondeo 65
Tabla 5. Valores de relación de vacío y peso específico de suelos granulares 66
Tabla 6. Deformaciones por cada espécimen ensayado 67
Tabla 7. Esfuerzo de compresión simple y resistencia al cortante 68
Tabla 8. Resultados de esfuerzos por corte directo. 69

RESUMEN

Este proyecto investigativo de título: ***correlación entre los métodos de compresión inconfinada y corte directo en suelos cohesivos, del sector el rodeo en Cartagena,*** tiene como objetivo, la determinación de un coeficiente de correlación que permita la optimización en costo de la aplicación de ensayos de suelos para determinar su resistencia al corte, enfocado a suelos cohesivos del sector el rodeo en Cartagena, partió de la fundamentación teórica que apoyó la formulación del problema, mediante la cual se estableció una necesidad de relacionar los usos de dos métodos de determinación de resistencia al corte de suelos (compresión simple y corte directo). Luego, bajo la fundamentación teórica y formulación del problema, se creó un cronograma que permitiera, en un año, obtener el coeficiente de correlación.

El proyecto constó de varias etapas: la extracción de las muestras, la caracterización del suelo, donde se determinó su constitución, la aplicación de los ensayos de corte directo y de compresión simple, el análisis de los datos y el estudio estadístico para determinar el coeficiente de correlación.

Con los ensayos de resistencias se halló que, las muestras presentaban una resistencia mucho mayor a lo descrito en la práctica y teoría, en lo que a arcillas se refiere. Se repitió la extracción de las muestras, para verificar su estado durante el proceso, pero los resultados fueron consecuentes. Para determinar el porqué, se realizó una reconstitución de muestras, con el miniproctor de Harvard. Se reconstituyeron las

muestras con la humedad y el peso específico del sitio. Los resultados obtenidos tuvieron mayor concordancia con la práctica y la teoría de resistencia de las arcillas.

Las muestras fueron tomadas con un equipo de extracción estándar, formado por una pesa de 75 kg para llevar el tubo de extracción a la profundidad deseada. Por lo mencionado, se concluyó que, las muestras sufrieron una densificación por efectos de los golpes del equipo.

Para hacer la extracción de muestras totalmente inalteradas, se necesita un equipo de rotación, este es muy costoso y la universidad no cuenta con él, lo que hace este proyecto inviable económicamente, por lo cual no se puede establecer una ecuación de correlación.

ABSTRACT

This research title project: ***correlation between the methods of unconfined compression and direct cutting in cohesive soils, of el rodeo sector in Cartagena***, has the objective of determining a correlation coefficient that allows the optimization in cost of the application of tests of Soils to determine their resistance to cutting, focused on cohesive soils of el rodeo sector in Cartagena, based on the theoretical basis that supported the formulation of the problem, which established a need to relate the uses of two methods of determination of resistance to cutting of soils (simple compression and direct cutting). Then, under the theoretical basis and formulation of the problem, a schedule was created that allowed, in a year, to obtain the correlation coefficient.

The project consisted of divers stages: sample extraction, soil characterization, determination of its composition, application of direct cut and simple compression tests, data analysis and statistical study to determine the coefficient Of correlation.

With the resistance tests it was found that the samples had a much higher resistance to what is described in practice and theory as far as clays are concerned. Sampling was repeated, to verify its state during the process, but the results were consistent. To determine why, a sample reconstitution was performed with the Harvard mini-probe. Samples were reconstituted with moisture and site-specific weight. The results obtained were more in agreement with the practice and the theory of resistance of the clays.

Samples were taken with standard extraction equipment, consisting of a 75 kg weight to bring the extraction tube to the desired depth. From the above, it was concluded that the samples were densified due to the impact of the equipment.

To make the extraction of samples totally unchanged, a rotating equipment is needed, this is very expensive and the university does not have it, which makes this project economically unviable, for which reason a correlation equation cannot be established.

1. INTRODUCCIÓN

Los ensayos de laboratorio para la determinación de la resistencia al cortante de suelos, en sus variaciones de corte directo y compresión inconfinada se diferencian entre sí, en su precisión y en su costo. Estos ensayos permiten determinar la capacidad portante del suelo y posible uso en el ámbito de la ingeniería.

El ensayo de corte directo que permite, desde sus tres modalidades (1. No consolidado no drenado, 2. Consolidado no drenado y 3. Consolidado drenado), la caracterización del suelo llegando a la resistencia a la compresión, tiene una alta eficiencia en sus resultados y, así mismo, un costo elevado. Por su parte, el ensayo de compresión inconfinada llega a unos resultados que, aunque no sean tan eficientes como los del ensayo de corte directo, son de utilidad en las obras y, gracias a su bajo costo en referencia a otros ensayos, tiene una frecuencia de aplicación alta, es en este momento donde entra en juego la economía. De existir una manera de lograr que, con la aplicación de unos ensayos de bajo costo, se obtengan resultados como los de los ensayos de alto costo, se estaría optimizando los estudios de suelos y, en ese mismo orden, la calidad de las obras.

Se podría establecer una correlación para diferentes parámetros, en el caso de esta investigación, para el parámetro de resistencia al cortante de los suelos arcillosos. En el presente trabajo de investigación se establecerá la correlación entro los resultados obtenidos de los ensayos de compresión inconfinada y corte directo no consolidado

no drenado (UU). Se determinará el coeficiente de correlación de los datos obtenidos y se definirá su comportamiento.

Se han realizados estudios de correlación entre ensayos de suelo a nivel internacional, como es el caso del estudio titulado "*CORRELACIONES ENTRE LA RESISTENCIA AL CORTE SIN DRENAJE Y RESISTENCIA CPT"* desarrollado en Hungría en el año 2012; en el contexto nacional se desarrolló una "*COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE"* en la Universidad Pontifica Bolivariana en el 2012. En el contexto local se referenció unos apuntes tomados en clase de la materia de geotecnia de la Universidad de Cartagena, asignatura dictada por el docente Álvaro Ignacio Covo Torres (Q. E. P. D.). Este estudio tiene pertinencia en la línea de investigación de propiedades del suelo y aplicaciones que pertenece al grupo de investigación de geotecnia, materiales, vías y transporte (GEOMAVIT) de la universidad de Cartagena. Esta investigación se llevó a cabo en la ciudad de Cartagena de Indias, Colombia, específicamente en el sector El Rodeo, sur de la cuidad, durante el año 2016.

El presente estudio se presenta como una nueva línea de la investigación de temas relacionados con la resistencia al corte de suelos arcillosos como los presentes en el zona de estudio, esto se evidencia en la poca cantidad de información acerca del tema.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. ESTADO DEL ARTE

Las características propias de un suelo siempre son motivos de estudio, ya que estas permiten tener conocimiento del comportamiento del mismo, en donde se desplantarán las diferentes obras civiles. Las investigaciones de ensayos aplicados a los suelos, permiten establecer comparaciones de los parámetros determinados, hacer correlaciones entre ellos, etc. Con este tipo de análisis se puede establecer que ensayos son de mayor confiabilidad y cuales se acercan más a la realidad. Se presentan dos estudios basado en temas de correlación y comparación desarrollados en el contexto internacional y contexto nacional respectivamente, Y unos apuntes de clase para el contexto local.

2.1.1. Contexto internacional.

Z. Rémai, Periódico politécnico, Hungría (2012), en el estudio titulado: *CORRELACIONES ENTRE LA RESISTENCIA AL CORTE SIN DRENAJE Y RESISTENCIA CPT*. Realizaron una correlación del parámetro de resistencia al corte, en los ensayos de penetrómetro de cono que se realiza en sitio y de corte con muestras no drenadas de suelo tipo arcillas blandas del periodo de holoceno. Fueron 22 muestras tomadas en 8 (ocho) puntos diferentes dentro del país. Para la caracterización del suelo, realizó ensayos de compresión no confinada y uniaxial y compresión triaxial. Llegaron a la conclusión que la correlación que existe entre los ensayos de CPT y corte no drenado está dada por la ecuación:

$N_{\Delta U} = 24.3B_q$ donde $N_{\Delta U}$ es factor de cono, B_q es el coeficiente de presión de poros. De igual forma llego a la conclusión de que esta ecuación proporciona un guía útil para cuando no hay otros datos disponibles acerca de la resistencia al corte sin drenaje o cuando se necesita más información para evaluar la incertidumbre de la resistencia al corte no drenado de una cierta capa de suelo, Por lo tanto, permite tener más realista y más detallada información acerca de la resistencia del suelo. Limitaciones: esta ecuación determinada solo es útil para el caso del suelo de Hungría tipo arcilla blanda conformada en el periodo holoceno. (Peridico Politécnico, 2012)

2.1.2. Contexto nacional

B. Rincón Gómez, L. Suarez Pinzón, Universidad Pontifica Bolivariana, Colombia (2012). En el estudio titulado: *COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE EN EL APARATO DE CORTE DIRECTO Y TRIAXIAL PARA ARENAS LIMOSAS*. Realizaron un estudio de los parámetros de ángulo de fricción y de la cohesión del suelo estudiado a través de los ensayos de corte directo y triaxial. Luego de obtenidos los resultados de las pruebas desarrolladas en el laboratorio, hicieron una comparación entre estos, de la cual concluyeron que: el ángulo de fricción interna alcanzado en el ensayo de compresión triaxial corresponde a 1.76 veces el ángulo de fricción interna del ensayo de corte directo; La cohesión del ensayo de compresión triaxial es 2.1 veces mayor a la obtenida en el ensayo del corte directo. Teniendo en cuenta que

los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante calculados durante el ensayo de compresión triaxial son mayores a los de corte directo, el cálculo de la capacidad de soporte del suelo mediante la teoría de Meyerhof permite percibir que la presión máxima admisible por el suelo sin alcanzar la falla, es mayor utilizando los valores de cohesión y ángulo de fricción interna por el ensayo de compresión triaxial. Limitaciones: 1. La máquina triaxial que fue utilizada en el estudio de las muestras, no contaba con una placa que le permitiera colocar un deformímetro digital y estabilizar el mismo, para la facilidad de las lecturas de deformaciones y que estas fuesen más confiables; 2. No se realizaron análisis de costos que permitieran conocer la incidencia en un presupuesto y la utilización de los parámetros físicos obtenidos en el ensayo de compresión triaxial y en el ensayo de corte directo, para el diseño de cimentaciones. (Rincón Gómez & Suárez Pinzón, 2012)

2.1.3. Contexto local:

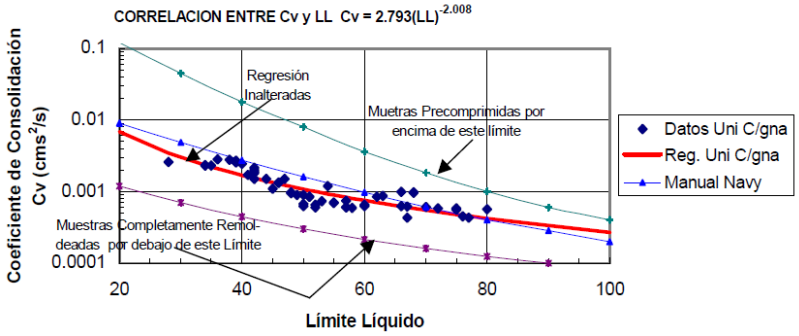


Ilustración 1: *Correlación entre Cv y LL*

Fuente: *(Álvaro I. Covo Torres, 2012)*

La grafica anterior es la representación de los rangos de la variación del coeficiente de consolidación Cv. Este coeficiente se define en función del límite liquido expresado en porcentaje de manera aproximada como:

$$C_v = \frac{2.8}{LL^2}$$

(Álvaro I. Covo Torres, 2012)

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Suelo:

El suelo puede definirse, de acuerdo con el glosario de la Sociedad Americana de la ciencia del suelo (1984), como el material mineral no consolidado en la superficie de la tierra, que ha estado sometido a la influencia de factores genéticos y ambientales (material parental, clima, macro y microorganismos y topografía), actuando durante un determinado periodo. Es considerado también como un cuerpo natural involucrado en interacciones dinámicas con la atmósfera y con los estratos que están debajo de él, que influye en el clima y en el ciclo hidrológico del planeta, y que sirve como medio de crecimiento para diversos organismos. (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2004)

- ***Tipos de suelos:***

De acuerdo con el origen de sus elementos, los suelos se dividen en dos amplios grupos: suelos cuyo origen se debe a la descomposición física y/o química de las rocas, es decir los suelos inorgánicos y suelos cuyo origen es principalmente orgánico.

Los suelos inorgánicos pueden ser residuales, estos se forman a partir del producto del intemperismo que la descomposición de los materiales rocosos expuestos al aire, la humedad, la temperatura y al efecto de la materia orgánica que permanecen al sitio donde se formó, en algunos casos estos materiales descompuestos son transportados y depositados en otro lugar permitiendo la creación del nuevo suelo. Los suelos orgánicos generalmente se forman in situ, cuando la cantidad de materia inorgánica en forma de humus o materia no descompuesta es mucho más alta en relación a la cantidad de suelo inorgánico.

La siguiente es una descripción de los suelos más comunes, con los nombres utilizados generalmente dentro del campo de la ingeniería:

I. **Gravas:** Son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen más de dos milímetros de diámetro.

II. **Arenas**: Son materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, cuyas partículas varían entre 2 mm y 0.05 mm de diámetro. No se contraen al secarse, no son plásticas, son menos compresibles que la arcilla y al aplicárseles carga en la superficie se comprimen casi instantáneamente.

III. **Limos:** Son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, cuyas partículas están comprendidas entre 0.05 mm y 0.005 mm de diámetro. Pueden ser orgánicos, procedentes de los ríos o inorgánicos, producidos en canteras. Su

permeabilidad suele ser baja y su compresibilidad muy alta; su color varía desde gris claro a muy oscuro.

IV. **Arcillas:** Son partículas sólidas cuyo diámetro es menor a 0.005 mm, con la propiedad de volverse plástica al mezclarse con agua. Químicamente es un silicato de alúmina hidratado, aunque puede contener silicatos de hierro o de magnesio hidratados. (Jiménez González, 2010)

Clasificación de suelo para propósitos de ingeniería

I. **Suelos gruesos:** En este tipo de suelos, el material se clasifica como gravas (G) y arenas (S) teniendo en cuenta la cantidad de suelo que pasa o se retiene en el tamiz N° 4; si es retenido más del 50% del material es grava (G), si pasa más del 50% del material es arena (S). Así mismo las gravas y arenas se dividen en cuatro grupos (GW, GP, GM, GC) y (SW, SP, SM, SC), respectivamente. El sufijo W quiere decir bien gradado, el P significa mal gradado, el M limoso y el C arcilloso.

II. **Grupo SC (arenas arcillosas):** A este grupo pertenecen los tipos de suelos con contenido de finos en peso mayor o igual a 12% lo cual implica que sus características de resistencia (esfuerzo vs deformación) y su capacidad de drenaje libre en la fracción gruesa se alteren. Los finos para este grupo deben ser de media alta plasticidad. Para la caracterización de este suelo, los límites de Atterberg, deben situarlo sobre la línea A en la carta de plasticidad (Sistema Unificado de Clasificación de Suelo) además; su índice de plasticidad debe ser mayor a 7.

III. **Suelos finos:** En este tipo de material, el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos los divide en tres grupos para los limos y arcilla con límite líquido menor al 50% y un grupo para los suelos finos altamente orgánicos. Las convenciones usadas son: S para limos, C para arcillas, O para suelos altamente orgánicos.

Los suelos que se encuentran con el límite líquido menor al 50%, son considerados como suelos de baja compresibilidad; por esta razón a las convenciones nombradas anteriormente se le agrega el sufijo L, lo que significaría: ML limo de baja compresibilidad, CL arcilla de baja compresibilidad, OL limos orgánicos de baja compresibilidad.

De igual manera para los suelos que se encuentran en el grupo del límite líquido mayor del 50%, son considerados como suelos de alta compresibilidad; por lo cual a las convenciones utilizadas se les agrega el sufijo H, clasificando los suelos así: MH limos orgánicos de alta compresibilidad, CH arcillas inorgánicas de alta compresibilidad, OH arcillas orgánicas de alta compresibilidad. (Villamizar Lemos & Díaz Gutiérrez, 2010)

2.2.2. Características de los suelos

De acuerdo con su origen, composición y forma de agruparse, los suelos presentan diversas características que los definen, a continuación, se detallan las principales:

I. **Textura**: Es el grueso o finura de los granos de un suelo.

II. **Estructura**: Es el ordenamiento físico-natural de las partículas de un suelo en estado inalterado, que indicará la disposición, forma general y tamaño.

III. **Consistencia**: Representa los cambios de volúmenes, movimiento de agua en el interior del suelo, elasticidad y capacidad de carga del suelo, variando todo lo anterior en función del contenido de humedad del suelo.

IV. **Cohesión**: Es la atracción intermolecular, es decir, la característica de algunas partículas del suelo de atraer y adherirse a partículas semejantes. Esta determina si los suelos pueden cementarse como en el caso de las arcillas, consideradas como suelos cohesivos.

V. **Color**: Los suelos pueden presentar colores variados, dependiendo de los minerales que los componen. Dichas características son parámetros relevantes para el análisis de los suelos, ya que con el conocimiento de ellas se puede determinar el uso óptimo de los mismos. (Jiménez González, 2010)

2.2.3. Ensayo de caracterización

Límites de consistencia

I. **Límite de líquido:** Se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. De acuerdo con esta definición, los suelos plásticos tienen en el límite liquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte, pero definida y según Atterberg es de 25 g/cm2. La cohesión de un suelo en el límite liquido es prácticamente nula.

Se calcula con la fórmula:

$$LL = W_N \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$$

Donde:

N = número de golpes para que se cierre la ranura

W_N = contenido de agua para el punto realizado que requirió N golpes para cerrar la ranura

II. Limite plástico: se define como el contenido de humedad, expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para la cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido aun estado plástico. Para determinar el límite plástico, generalmente se hace uso del material que, mezclado con agua, ha sobrado de la prueba del límite líquido y al cual se le evapora la humedad por mezclado hasta tener una mezcla plástica que sea fácilmente moldeable. Se forma una pequeña bola que debería rodillarse enseguida en la palma de la mano o en una placa de vidrio aplicando la suficiente presión a efecto de forma filamentos.

Cuando el diámetro del filamento resultante sea de 3.17 mm (1/8") sin romperse, deberá juntarse la muestra de nuevo, mezclase en forma de bola y volver a rodillarse. El proceso debe continuarse hasta que se produzca un rompimiento del filamento al momento de alcanzar 1/8" de diámetro.

$$LP = \frac{P_S}{P_W} x100$$

Donde

P_S = Peso del filamento seco

P_W= Peso del agua contenida en los filamentos

III. **Índice de plasticidad:** se denomina índice de plasticidad o índice plástico a la diferencia numérica entre los limites líquido y plástico, e indica el margen de humedades dentro del cual se encuentra el estado plástico tal como lo define los ensayos. Tanto el límite liquido con el límite plástico dependen de la cantidad de finos del suelo; sin embargo, el índice plástico depende de la cantidad de finos del suelo.

Comparando el índice de plasticidad con el que marcan las especificaciones respectivas se puede decir si un determinado suelo presenta las características adecuadas para cierto uso

Análisis granulométrico por hidrómetro:

Este método se utiliza para obtener un valor estimado de la distribución granulométrica de suelos cuyas partículas se encuentran comprendidas entre los 0,074mm. (malla Nª 200 ASTM) y hasta alrededor de 0,001mm. El análisis, utiliza la relación entre la velocidad de caída de una esfera en un fluido, el diámetro de la esfera, el peso específico de la esfera como del fluido y la viscosidad de este. La velocidad se expresa por medio de la siguiente expresión (Ley de Stokes):

$$V = \frac{(2\gamma\,\mathrm{s} - \gamma\,\mathrm{u})2(\frac{D}{2})}{9n}$$

Donde:

γ s = peso específico de la esfera

γ u = peso específico del fluido

η = viscosidad absoluta del fluido

D = diámetro de la esfera (cm.)

2.2.4. Ensayo triaxial

La prueba de ensayo triaxial es uno de los métodos más confiables para determinar los parámetros de la resistencia al cortante. En un ensayo triaxial, un espécimen cilíndrico de suelo es revestido con una membrana de látex dentro de una cámara a presión. La parte superior e inferior de la muestra tiene discos porosos, los cuales se conectan al sistema de drenaje para saturar o drenar el espécimen. En estas pruebas se pueden variar las presiones actuantes en tres direcciones ortogonales sobre el espécimen de suelo, efectuando mediciones sobre sus características mecánicas en forma completa. Los especímenes usualmente están sujetos a presiones laterales de un líquido, generalmente agua. El agua de la cámara puede adquirir cualquier presión deseada por la acción de un compresor comunicado con ella. La carga axial se transmite al espécimen por medio de un vástago que atraviesa la parte superior de la cámara

La presión que se ejerce con el agua que llena la cámara es hidrostática y produce, por lo tanto, esfuerzos principales sobre el espécimen, iguales en todas las

direcciones, tanto lateral como axialmente. En las bases del espécimen actuará además de la presión del agua, el efecto transmitido por el vástago de la cámara desde el exterior. Es usual llamar σ1, σ2 y σ3 a los esfuerzos principales mayor, intermedio y mínimo, respectivamente. En una prueba de compresión, la presión axial siempre es el esfuerzo principal mayor, σ1; los esfuerzos intermedios y menor son iguales (σ2 = σ3) y son iguales a la presión lateral. (Salas, Ensayos triaxiales para suelos , 2011)

2.2.5. Fundamentación teórica ensayo triaxial

- **Teoría de rotura de Mohr**

En un sistema de ejes coordenados ortogonales, llevamos sobre el eje de las abscisas a las tensiones normales σ y, sobre el eje de las ordenadas a las tensiones tangenciales τ, y sobre él representamos los puntos correspondientes a cada par de valores (σ, τ) dados por la ecuación:

$$\left(\sigma - \frac{\sigma_1+\sigma_3}{2}\right)^2 + \tau^2 = \left(\frac{\sigma_1-\sigma_3}{2}\right)^2 \qquad (1)$$

La ecuación (1) es la ecuación de una circunferencia de radio $\left(\frac{\sigma_1-\sigma_3}{2}\right)$ y cuyo centro se encuentra sobre el eje σ a una distancia del origen dado por $\frac{\sigma_1+\sigma_3}{2}$

Para todos los valores posibles de θ, hallaremos que el lugar geométrico de esos puntos (de coordenada σ - τ) es una circunferencia de diámetro (σ1 - σ3) llamado círculo de Mohr.

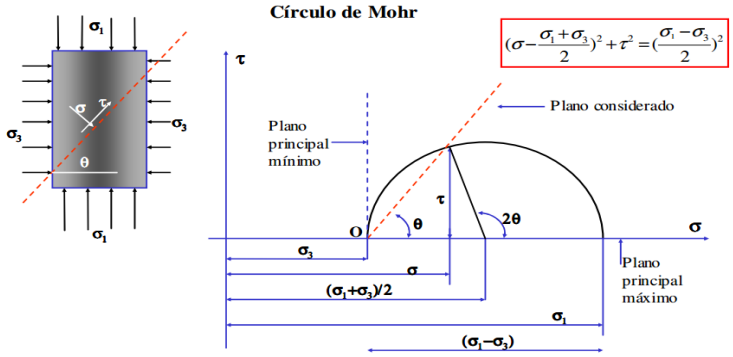


Ilustración 2. Representación gráfica de Mohr

Fuente: (Leoni, 1987)

La muestra que se coloca en la probeta de ensayo, se encuentra sometida a un estado de tensiones triaxial en el cual σ2 = σ3, podemos perfectamente decir que: las coordenadas de cualquier punto del círculo de Mohr representan las tensiones normales σ y tangenciales τ que se manifiestan sobre un plano que corta a la probeta formando un ángulo θ con el plano principal mayor.

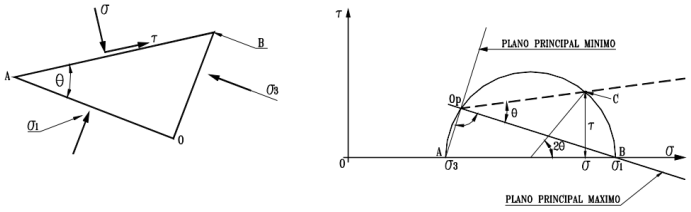


Ilustración 3. Planos máximo y mínimo de esfuerzo

Fuente: (Leoni, 1987)

Si por el extremo de σ1 (punto B) trazamos una paralela a la dirección del plano principal máximo $\overline{OA}$ tendremos ubicado el punto Op sobre el círculo. La normal a $\overline{OpB}$ trazada por Op debe pasar por A, por lo tanto $\overline{AOp}$ pasa por el extremo de

la tensión principal mínima y es paralela a la dirección del plano mínimo OB. Podemos decir entonces que cualquier línea que pasa por Op y es paralela a un plano arbitrariamente elegido, corta al círculo en un punto (C) cuyas coordenadas son las tensiones que actúan sobre dicho plano. Debemos tener en cuenta además que entre la dirección $\overline{OpC}$ (plano cualquiera) y $\overline{OpB}$ (plano principal máximo) el ángulo comprendido es θ.

Curva se resistencia intrínseca

Se considera una probeta cilíndrica de suelo sometida a una presión axial σ1 y a una compresión lateral hidrostática σ2 = σ3. Mediante la circunferencia de Mohr se puede conocer el estado de tensiones en cualquier plano de corte a la probeta. Imaginemos ahora que el estado de tensiones está representado en un primer momento por la circunferencia "a"

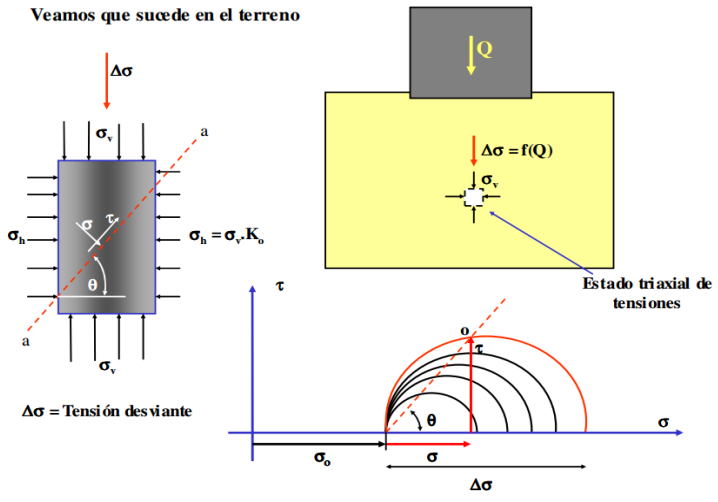


Ilustración 4. Circunferencia límite de rotura

Fuente: (Leoni, 1987)

En este caso la suma de σv + Δσ se la denomina "Tensión principal máxima" o "Tensión desviante". Si se aumenta progresivamente la tensión principal máxima (σ1), los estados de tensiones en los infinitos planos que cortan a la probeta, quedarán representados por las distintas circunferencias, ya que al aumentar σ1 se aumenta la diferencia (σ1 - σ3) que no es otra cosa que el diámetro del círculo. Sin embargo, el crecimiento de σ1 no puede ser indefinido, pues llegará un momento en que las tensiones normales σ y, tangenciales τ que se manifiestan en un plano interior de la probeta provocarán la rotura de la misma. En ese momento se tendrá la circunferencia límite de rotura que en la fig. 3 está identificada con la letra "O". Si se pueden hacer varios ensayos triaxiales con distintos valores de σ3 se obtendrá tres círculos de rotura con los valores de σ – τ correspondiente a la rotura. Si se unen estos puntos de rotura con una línea envolventes de los puntos de rotura "o" para los infinitos valores posibles de σ3, se tiene una curva que denominamos como "Curva de Resistencia Intrínseca". Esta curva para pequeñas variaciones de σ3 podrá ser considerada como una recta y al ángulo que forma la misma con el eje de las abscisas recibe el nombre de "Angulo de Fricción Interna" del material y se define con "φ" y al valor de la ordenada al origen se denomina como cohesión "c"

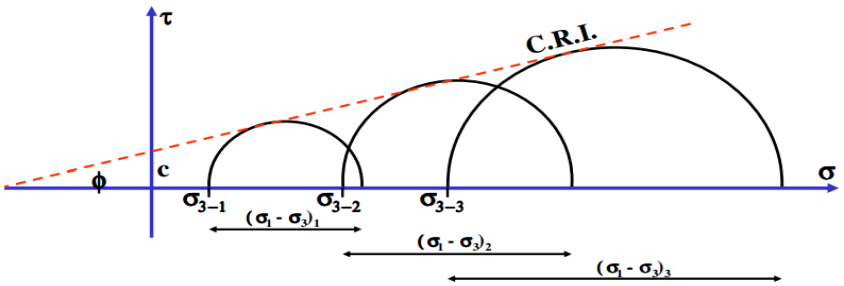


Ilustración 5. Curva tangente a los círculos de rotura

Fuente: (Leoni, 1987)

La curva envolvente o tangente a estos círculos de rotura se conoce como Curva de Resistencia Intrínseca (C.R.I.) del material o envolvente de Mohr y sus puntos tienen por coordenadas valores de σ y τ que satisfacen la ecuación de Coulomb.

$$\tau = c + \sigma \, .tg\theta \qquad (2)$$

Ya que su inclinación con respecto al eje σ es φ y su ordenada al origen es "c". Para saber si un estado de tensiones será capaz de provocar o no la rotura de la probeta, bastará con dibujar la circunferencia de Mohr que represente ese estado de tensiones. Si dicho círculo es interior a la curva de resistencia intrínseca no habrá rotura, pero sí la habrá, si el círculo es tangente o si corta a la curva C.R.I. ya que en estos casos la tensión de corte que se origina en un plano interno de la probeta supera a la resistencia al corte del material, dada por la ecuación de Coulomb para ese estado de tensiones. Lo precedentemente

expuesto constituye la base de la teoría de rotura de Mohr cuyos puntos fundamentales son:

- Todo círculo de Mohr interior a la C.R.I. representa una condición estable de equilibrio.
- Todo círculo de Mohr tangente a la C.R.I. representa un estado de rotura incipiente sobre el plano determinado por el punto de tangencia.
- La envolvente o C.R.I. se considera como una propiedad del material, es independiente de las tensiones aplicadas al mismo siempre y cuando las mismas no superen cierto rango de valores y depende de las condiciones de drenaje del material y de la velocidad de aplicación de las cargas.
- Los valores σ y τ, tensiones normales y tangenciales, que provocan la rotura, actúan ambas sobre el plano de rotura incipiente.

Las relaciones geométricas representadas en la ilustración 5 nos permiten obtener la inclinación del plano de rotura con el plano principal máximo "θ", en función del ángulo de fricción interno del material.

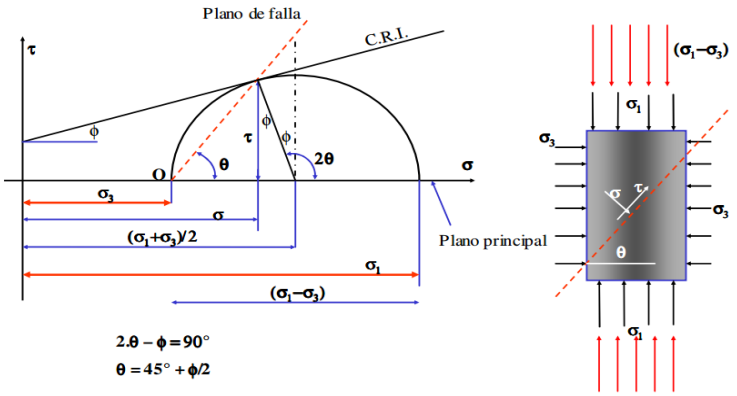


Ilustración 6. Relaciones geométrica

Fuente: (Leoni, 1987)

De la ilustración 5 podemos ver que

$$180° - 2\theta + \varphi = 90°$$

$$2\theta = 90° + \varphi$$

$$\theta = 45° + \frac{\varphi}{2}$$

Del análisis de esta simple pero importante relación vemos que el valor de $\tau_{máximo}$ se obtiene cuando $2\theta = \pi/4$ lo que equivale a decir que cuando $\varphi = 0$ los esfuerzos tangenciales alcanzan su valor máximo dado por:

$$\tau_{máx} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2} \qquad (3)$$

Y el mismo se manifiesta en un plano de rotura que forma con el plano principal máximo un ángulo $\theta = 45°$. De la misma forma podemos ahora deducir otra ecuación fundamental de la Mecánica de Suelos, que relaciona las tensiones principales con los parámetros de corte del material.

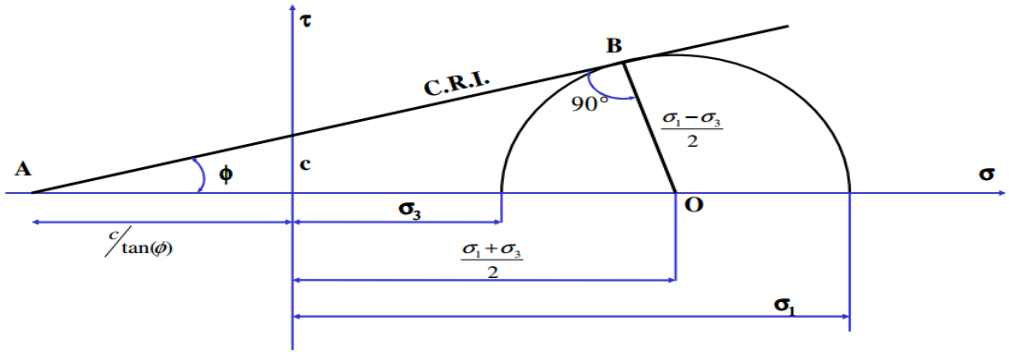


Ilustración 7. Tensiones principales en los parámetros del corte

Fuente: (Leoni, 1987)

$$sen\ \phi = \frac{\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}}{\frac{c}{tg\ \phi} + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}}$$

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \left(c.\cot\ g\phi + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \right).sen\ \phi$$

$$\frac{\sigma_1}{2} - \frac{\sigma_3}{2} = c.\cos\ \phi + \frac{\sigma_1}{2}.sen\ \phi + \frac{\sigma_3}{2}.sen\ \phi$$

$$\frac{\sigma_1}{2} - \frac{\sigma_1}{2}.sen\ \phi = \frac{\sigma_3}{2} + \frac{\sigma_3}{2}.sen\ \phi + c.\cos\ \phi$$

$$\frac{\sigma_1}{2}(1 - sen\ \phi) = \frac{\sigma_3}{2}(1 + sen\ \phi) + c.\cos\ \phi$$

$$\frac{\sigma_1}{2} = \frac{\sigma_3}{2}.\frac{(1 + sen\ \phi)}{(1 - sen\ \phi)} + c.\frac{(\cos\ \phi)}{(1 - sen\ \phi)}$$

$$\sigma_1 = \sigma_3.tg^2(45° + \phi/2) + 2c.tg(45° + \phi/2)$$

Si $tg^2(45° + \phi/2) = N\phi$ y $tg(45° + \phi/2) = \sqrt{N\phi}$

$$\boxed{\sigma_1 = \sigma_3.N\phi + 2c.\sqrt{N\phi}}$$

Ecuación fundamental que vincula las tensiones principales entre sí, donde se indica con σ1 a la tensión principal mayor y con σ3 a la tensión principal menor Antes de dar por terminado ese tema cabría que hiciéramos algunas reflexiones sobre lo expuesto:

A) La circunferencia límite de rotura no es el lugar geométrico de puntos de rotura, sino que es el lugar geométrico de los distintos pares de valores (σ, τ) que se manifiestan sobre los infinitos planos que cortan la probeta, cuando ésta es sometida a un estado de compresión triaxial y solamente uno de esos pares de valores corresponden a los de rotura, y los mismos se manifiestan sobre un único plano que es el plano de rotura.

B) La circunferencia límite de rotura se denomina así porque contiene el punto cuyas tensiones σ, τ corresponden a la rotura, ya que nosotros no lo podemos identificar a priori, solamente podemos afirmar su existencia.

C) El punto de rotura indica las componentes normales y tangenciales de la resultante que aplicada sobre el plano de rotura sobrepasa las fuerzas resistentes que puede desarrollar el cuerpo.

D) Puede parecer paradójico que la resistencia al corte último del material esté dada por τ y no por τ_{max}. Lo que pasa es que no es solamente la tensión tangencial la que produce la rotura sino el par de valores σ, τ actuando en conjunto sobre el plano de rotura, y se observa claramente

en la Fig. 3 que al ir aumentando la tensión σ1 los pares de valores (σ ; τ_{max}) correspondientes a los distintos valores de σ1 se manifiestan efectivamente pero en el círculo de rotura el par de valores más desfavorable es (σ ; τ_r) en un plano de inclinación θ y por lo tanto la muestra rompe con este par de valores.

Por otra parte, el plano que contiene a τ_{max} tiene un ángulo de oblicuidad $\alpha < \varphi$ y sabemos que la rotura se produce en el plano de máxima oblicuidad ($\alpha = \varphi$) y no en la máxima tensión de corte. (Leoni, 1987)

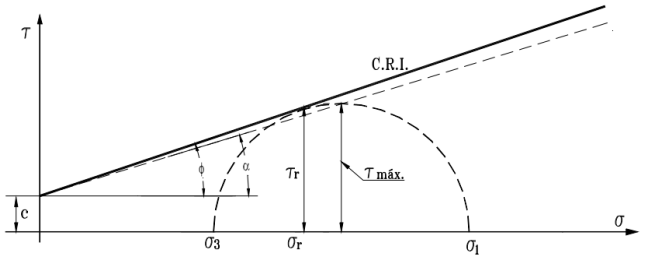


Ilustración 8. Plano de máxima tensión al corte

Fuente: (Leoni, 1987)

2.2.6. Tipos de ensayos triaxiales

I. Ensayo no consolidado no drenado (UU)

Este método cubre la determinación de los esfuerzos y de las relaciones esfuerzo-deformación de una muestra cilíndrica de suelo inalterada o remoldeada. Las muestras son sujetas a un confinamiento por la presión que ejercerá un fluido en una cámara del triaxial. El drenaje de la muestra no se permite durante la prueba

y ni en el corte por compresión, el cual se realizará a una velocidad constante de deformación axial (deformación controlada).

Este método de prueba, provee los datos para determinar las propiedades de esfuerzo y las relaciones del esfuerzo-deformación en condiciones no drenadas del suelo, así como también lo hace la norma INV E – 152. Los esfuerzos obtenidos serán expresados en esfuerzos totales, no serán corregidos por la presión de poros (prueba rápida). (Instituto Nacional de vías, 2009)

II. Ensayo consolidado no drenado (CU)

Este método cubre la determinación de los esfuerzos y de las relaciones esfuerzo-deformación de una muestra cilíndrica de suelo saturada, que puede ser inalterada o remoldeada, cuando es isotrópicamente consolidada para luego someterla a corte por compresión en condiciones no drenadas, el cual se realizará a una velocidad constante de deformación axial (deformación controlada). v

Con este método de prueba se obtendrá el esfuerzo total, el esfuerzo efectivo y la presión de agua de los poros, así como también datos útiles para determinar las propiedades de esfuerzo y deformación del suelo tal como la envolvente de esfuerzos de Mohr y el módulo de Young. Generalmente se prueban tres muestras consolidadas a diferentes esfuerzos de consolidación efectivos, según lo que se desee obtener del ensayo y sus requerimientos, para definir una envolvente de esfuerzos (prueba rápida). (Instituto Nacional de vías, 2009)

III. Prueba con consolidación y con drenaje (CD)

La característica fundamental de la prueba es que los esfuerzos aplicados al espécimen son efectivos. Primeramente, se aplica al suelo una presión hidrostática, manteniendo abierta la válvula de comunicación con la bureta y dejando transcurrir el tiempo necesario para que haya consolidación completa bajo la presión actuante. Cuando el equilibrio estático interno se haya restablecido, todas las fuerzas exteriores estarán actuando sobre la fase sólida del suelo, es decir, producen esfuerzos efectivos, en tanto que los esfuerzos neutrales en el agua corresponden a la condición hidrostática. La muestra se lleva a la falla a continuación aplicando la carga axial en pequeños incrementos, cada uno de los cuales se mantiene el tiempo necesario para que la presión en el agua, en exceso de la hidrostática, se reduzca a cero. Los ensayos consolidados drenados se utilizan esencialmente en suelos granulares (arenas), sin embargo, se puede aplicar en suelos finos, pero los ensayos requieren tiempos prolongados del orden de semanas (prueba lenta). (Salas, Ensayos triaxiales para suelos , 2011)

2.2.7. Ensayo de compresión inconfinada (convencional)

Generalidades Este ensayo permite determinar en el laboratorio la resistencia uniaxial no confinada de la roca, o resistencia a la compresión simple, σc. Es un ensayo para la clasificación de la roca por su resistencia. La relación entre los esfuerzos aplicados en el ensayo es:

$$\sigma_1 \neq 0;\ \sigma_2 = \sigma_3 = 0.$$

En este ensayo se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Razón Largo/Ancho de la probeta debe ser 2.5 a 3.0:1
- Extremos deben ser paralelos y pulidos, sin grietas.
- Ancho de muestra debe ser >10 veces el tamaño medio del grano.

El ensayo trata de la aplicación gradual de una fuerza axial a un cilindro de roca, hasta que se produce su rotura, los datos obtenidos son: $\sigma 1$ obtenido del ensayo, σ_2, σ_3. Con estos datos se puede obtener σ_c (resistencia a la compresión simple

Procedimiento

- Concebir una idea general de la roca en cuanto a su litología y estructuras.
- Identificar las muestras.
- Medir las dimensiones de la muestra para validar si satisface las condiciones del ensayo. Se recubre la muestra con una membrana cuyo fin será el de evitar que al momento de fallar la roca no salten fragmentos y dañen a personas u objetos de alrededor.
- Se sitúa el testigo de tal forma que el pistón de la máquina quede paralelo a las caras transversales de la muestra.
- Una persona se encarga de medir la presión a la cual está siendo sometida la muestra mediante un manómetro conectado directamente a la prensa hidráulica, la presión debe ser medida a cada instante ya que, al momento de fallar, la aguja que indica el valor de la carga vuelve al punto de partida.

- Una segunda persona será la encargada de ir aumentando paulatinamente la presión en la prensa hidráulica.

2.2.8. Ensayo de corte directo

Dicho aparato se esquematiza en la Fig.8. Básicamente este consta de dos marcos que contiene a la muestra. El marco inferior es fijo, mientras que el superior puede desplazarse en forma horizontal. Las muestras a ensayar en este aparato de corte son de forma prismática tal como se indica en la Fig. 9.

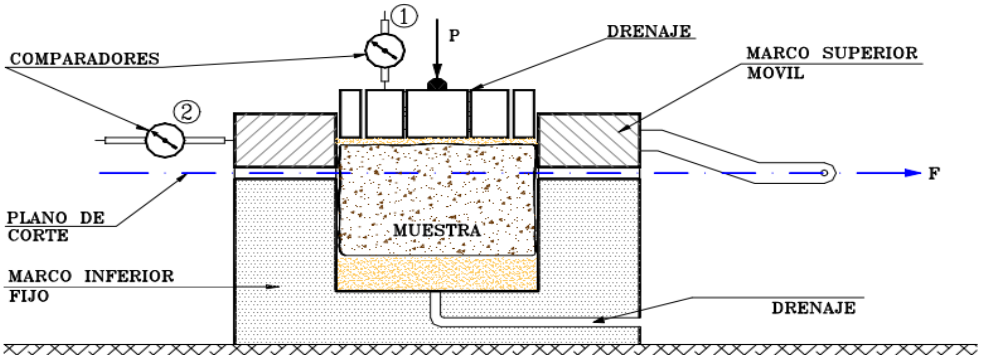


Ilustración 9. Muestra dentro del equipo triaxial

Fuente: (Leoni, 1987)

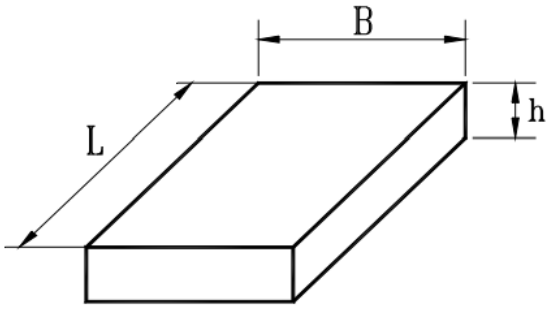


Ilustración 10. Forma de la muestra (prisma)

Fuente: (Leoni, 1987)

Una vez que hemos recortado la muestra se la coloca dentro de la cavidad que forman los dos marcos, de tal manera que la mitad de su altura h quede comprendida en cada uno de ellos. En la parte superior e inferior de la misma se coloca un colchón de arena para permitir el drenaje y para permitir un mejor asiento de la probeta, que como dijimos se recorta lo mejor posible de una "Dama" de suelo inalterado, y que en los casos de suelos cohesivos, no siempre se puede lograr una superficie perfectamente lisa. Posteriormente sometemos la probeta, a través de una placa de distribución de tensiones que se coloca en la parte superior de la misma, a la acción de una carga vertical "P1" que desarrolla una tensión normal σ_{n1}.

$$\sigma_{n1} = \frac{P_1}{A}$$

Donde A es el área de la probeta según un plano horizontal.

Una vez que la muestra ha consolidado bajo la acción de σn1 (cosa que verificamos con las lecturas efectuadas en el comparador N° 1) procedemos a solicitar a la probeta con fuerzas horizontales constantes F. Luego de cada aplicación de una fuerza F medimos las deformaciones horizontales δ en el comparador N° 2. Cuando las deformaciones se detienen, tenemos un par de valores (F1; δ1) que nos permiten obtener un punto en el gráfico de la Fig. 10. Repitiendo este procedimiento observaremos que para las restantes fuerzas horizontales F obtenemos deformaciones δ que serán cada vez mayores hasta que para una fuerza F el marco superior llegará

al límite de su desplazamiento mecánico lo que nos indicará que hemos alcanzado la rotura por corte de la muestra bajo la tensión normal σ_{n1}.

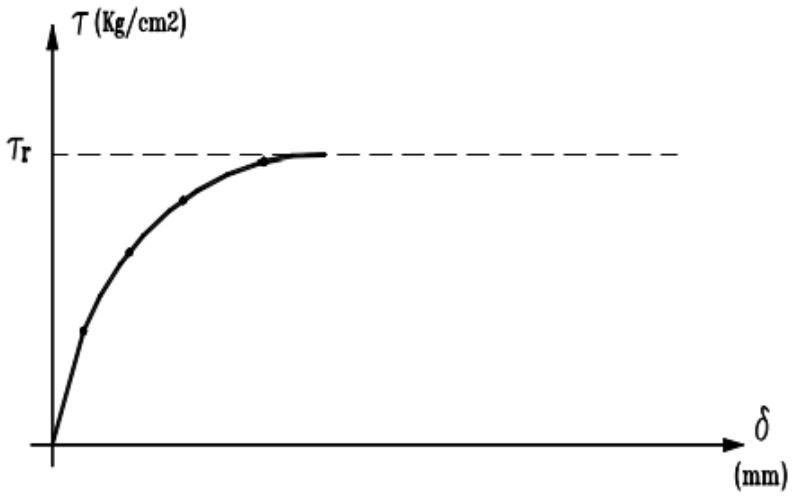


Ilustración 11. Gráfica Presión de tensión vs deformaciones

Fuente: (Leoni, 1987)

$$\tau = \frac{F}{L.B} = \frac{F}{A}\left(kg/cm^2\right)$$

Es conveniente en la ejecución de este tipo de ensayo, ir disminuyendo los incrementos de la fuerza horizontal aplicada a medida que nos acercamos a la rotura, con el objeto de poder definir con mayor precisión la tensión de corte en rotura τ. El par de valores (σn1; τr1) nos define un punto correspondiente a la curva de resistencia intrínseca (C.R.I.) del material ensayado. Por lo tanto, si repetimos el procedimiento anteriormente descripto con dos probetas más sobre las que aplicamos tensiones normales αn2 y αn3 obtendremos otros dos pares de valores (σn2; τr2) y (σn3; τr3)

con los cuales podremos definir perfectamente la C.R.I. y a partir de ella obtener los parámetros de corte del material (c y φ). Fig. 11

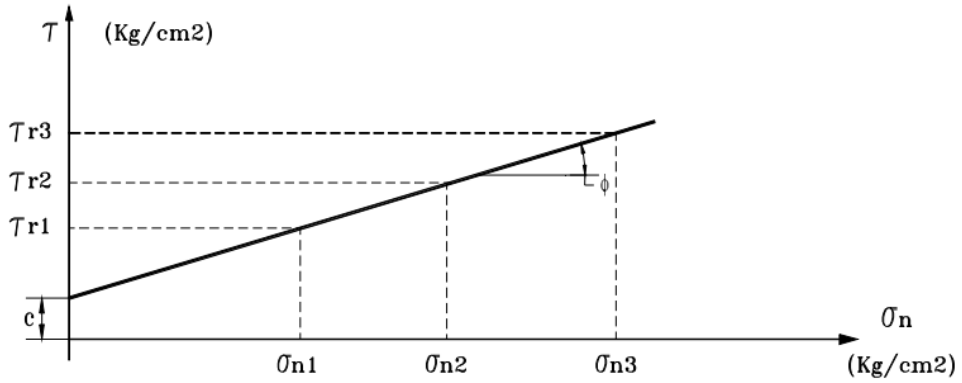


Ilustración 12. Presión de tensión vs esfuerzos

Fuente: (Leoni, 1987)

Este tipo de ensayo no es el más utilizado para determinar los parámetros del suelo, fundamentalmente porque adolece de los siguientes defectos:

a) No es fácil ni económico extraer muestras inalteradas de estratos, que pueden estar bajo el nivel freático, con las medidas necesarias como para posteriormente poder recortar tres probetas cúbicas y ensayarlas. Es más fácil y económico extraer muestras inalteradas cilíndricas a través de la ejecución de una perforación.

b) En los aparatos de corte tradicionales es prácticamente imposible poder manejar el drenaje del agua intersticial de la probeta cuando está siendo ensayada.

c) El desplazamiento relativo del marco superior con respecto al inferior, provoca una variación en el área de corte de la probeta que hace que la tensión normal aplicada σ_n se incremente.

2.2.9. **Clasificación de los ensayos de corte directo**

Se definen tres tipos de ensayo en función de si le ensayo es drenado y existe consolidación, entendiendo por consolidación como el drenaje de la muestra hasta que la presión de poros se haya disipado totalmente.

Ensayo no consolidado-no drenado (UU)

Siglas en inglés para no drenado – no consolidado. Es un ensayo rápido, en el cual la probeta no sufre ninguna consolidación del drenaje previo a la tensión normal (σ) del ensayo.

Generalmente, la recta intrínseca del diagrama (τ) vs (σ) es horizontal (para un suelo cohesivo saturado a igual índice de vacíos), como se observa en la ilustración 6. Es apto para estudiar la resistencia al corte de suelos en los que no es posible que exista drenaje, ya sea porque el mismo suelo es cohesivo, o también en suelos no cohesivos localizados en una estratigrafía donde no es posible el

drenaje (suelo rodeado por arcilla, o suelo bajo cargas de aplicación rápida como el sismo).

En este ensayo los parámetros resistentes se obtienen en tensiones totales (Cu, Φu). En el equipo de corte directo del Laboratorio Austro-Umag no es posible conseguir un ensayo no drenado, ya que, al momento de inducir el corte, la probeta comienza a drenar. Esto se refleja en el descenso vertical durante el desarrollo del ensayo.

Ensayo consolidado - no drenado (CU)

Siglas en inglés para Consolidado – no drenado. En este ensayo la muestra se deja consolidar bajo una carga vertical, igual a la que será impuesta antes de comenzar a aplicar el esfuerzo cortante. La tensión de corte es rápida para que no se efectúe drenaje alguno y para que la presión de poros no pueda disiparse en el transcurso del ensayo. Estos ensayos no son posibles en suelos permeables bajo condiciones normales, además es necesario medir el movimiento vertical durante la consolidación con el objeto de poder saber con exactitud el momento en que esta última ha tenido lugar por completo. Éste ensayo no es posible en el equipo de corte directo la Universidad de Magallanes, ya que la velocidad máxima de corte no suficiente para producir la condición no drenada. En este ensayo los parámetros resistentes se obtienen en tensiones totales (Cu, Φu), y es aplicable a suelos cohesivos.

Ensayo consolidado-drenado (CD)

Siglas en inglés para Consolidado – Drenado. Correlación. Es realizado como el anterior, pero la velocidad de corte es relativamente lenta para que la presión de poros del agua pueda disiparse y ser considerada como nula en cada instante (u=0)

Esto es entonces σ=σ', lo que implica que c y ϕ son también efectivos.

$$\boldsymbol{\tau = c' + \sigma' * tan\theta'}$$

Ecuación

Donde:

$\boldsymbol{c}$ = C efectiva

$\boldsymbol{\theta}$ = ϕ efectivo.

$\boldsymbol{\sigma}$ = σ efectivo.

Este ensayo es análogo al ensayo Triaxial consolidado – drenado.

Para suelos no cohesivos, estos tres ensayos dan el mismo resultado, esté la muestra saturada o no, y por supuesto, si la tasa de aplicación del corte no es demasiado rápida. Para materiales cohesivos, los parámetros de suelos están notoriamente influenciados por el método de ensayo, por el grado de saturación, y por el hecho que el material esté normalmente consolidado o sobreconsolidado. Generalmente, se obtienen para suelos preconsolidados dos conjuntos de parámetros de resistencia: un conjunto para ensayos hechos con cargas inferiores a la presión de preconsolidación y un segundo conjunto para cargas normales mayores a la presión de preconsolidación. Donde se sospeche la presencia de

esfuerzos de preconsolidación en un suelo cohesivo sería aconsejable hacer seis o más ensayos para garantizar la obtención de los parámetros adecuados de resistencia al corte.

2.2.10. Correlación

La correlación es la relación medible matemáticamente mediante un número que representa la intensidad de la relación, pero no la causalidad. La correlación sirve para:

- **a)** explorar la existencia de la relación particular estadísticamente significativa entre las dos variables, es decir, si los cambios en una son consistentes en la otra
- **b)** conocer si la relación es positiva o negativa
- **c)** cuantificar el grado de significación estadística de la relación, es decir, la confianza (estadística) relacionada con dicha relación
- **d)** averiguar que parte de la variación de una variable es explicada por la otra.

El análisis de la correlación implica los siguientes pasos:

1. El estudio descriptivo mediante el "gráfico de dispersión";
2. La estimación del coeficiente de correlación (incluyendo su intervalo de confianza);
3. La valoración de este coeficiente de correlación (signo y magnitud) y la significación estadística;

4. La interpretación del coeficiente de correlación evaluando el coeficiente de determinación.

Coeficiente de correlación: El coeficiente de correlación *r* es la expresión matemática de la relación entre las dos variables aleatorias. Es una versión estandarizada de la covarianza entre *X* e *Y:*

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

Utilidad del coeficiente de correlación r: El coeficiente de correlación *r* se utiliza para:

a) Comprobar que existe una relación lineal entre dos variables aleatorias, antes de proceder al análisis de regresión

b) Resumir en un solo número (r*)* la intensidad de la relación lineal entre estas dos variables.

El coeficiente de correlación *r* no debe utilizarse para:

a) establecer relaciones causales entre dos variables

b) suplantar el análisis de regresión

c) analizar la coherencia entre mediciones.

Propiedades del coeficiente de correlación r

a) El coeficiente de correlación r no tiene unidades

b) El intervalo de posibles valores de r es: $-1 \leq r \leq 1$

c) En el análisis de la correlación no es aplicable la distinción entre variable "dependiente" o "independiente" como sucede en el modelo de regresión: aquí ambas variables son "dependientes".

Coeficientes de correlación a partir del coeficiente de correlación de Pearson

I. **Coeficiente de correlación ρ de Spearman***:* Es un caso especial de coeficiente de correlación de Pearson en que los datos continuos son previamente convertidos en ordinales.

Propiedades:

- Aplicable cuando se trata de datos ordenados (o continuos reducidos a ordinales)
- Menos influenciable por la presencia de datos sesgados o variables
- Es una medida de correlación no paramétrica en el sentido de que no implica suposiciones acerca de la forma de la distribución de frecuencias de las variables implicadas**,** Tampoco requiere la suposición de linealidad.

II. **Coeficiente de correlación biserial puntual:** Es un caso especial de coeficiente de correlación de Pearson en que una variable está medida en escala nominal dicotómica natural (es decir, los datos se

expresan como dos alternativas, por ejemplo "1" y "0") y la otra en escala de intervalo o continua.

- Aplicable cuando se trata de datos ordenados (o continuos reducidos a ordinales)

III. **Coeficiente de correlación biserial:** El coeficiente de correlación biserial *b r* es similar al coeficiente de correlación biserial puntual *b p r* pero para variables medidas en escala cuantitativa una y dicotomizada la otra, aunque subyacentemente se distribuya normalmente.

IV. **Coeficiente de correlación biserial ordinal***:* El coeficiente de correlación biserial ordinal es similar al coeficiente de correlación biserial puntual, pero para variables medidas en escala ordinal una y dicotomizada la otra, aunque subyacentemente se distribuya normalmente.

V. **Coeficiente de correlación Φ**: Esta simplificación del cálculo del coeficiente de correlación *r* de Pearson se ha utilizado en la comprobación de la hipótesis de independencia, es decir de la propiedad inversa a la asociación, cuando ambas variables son dicotómicas. En este caso se acostumbra a establecer unas tablas bidimensionales (una variable en cada dimensión) que representan la frecuencia de cada una de las cuatro categorías y las sumas marginales.

4. OBJETIVOS Y ALCANCE

4.1. OBJETIVOS

4.1.1. GENERAL:

Determinar el coeficiente de correlación entre los resultados obtenidos de los ensayos de compresión inconfinada y corte directo en suelos cohesivos del sector el Rodeo en la ciudad de Cartagena, estableciendo el comportamiento de los datos obtenidos a partir de un análisis de dispersión, Para conseguir resultados más reales con la aplicación del ensayo de compresión inconfinada y aumentar así la precisión de los estudios para este tipo de suelo.

4.1.2. ESPECÍFICOS:

- Realizar la caracterización del suelo de caso de estudio.
- Determinar la ecuación de correlación existente entre los ensayos corte directo y de compresión inconfinada.
- Establecer el tipo de correlación a determinar a partir del comportamiento de los datos obtenidos.
- Determinación de las deformaciones del suelo de estudio

4.2. ALCANCE

4.2.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL:

Los estudios se llevaron a cabo en los laboratorios de suelos de la Universidad de Cartagena y la obtención de muestras en el sector El Rodeo ubicado en la zona sur de la ciudad de Cartagena, se escogió este sitio teniendo en cuenta que el en sector hay presencia de suelos arcillosos resultantes de depósitos marino-aluviales (Dma), que son arcillas grises oscuras plásticas, según información obtenida de la revisión del plano litológico de la ciudad.

Ilustración 13. Sector El Rodeo en la ciudad de Cartagena.

Fuente: Google Maps (2015)

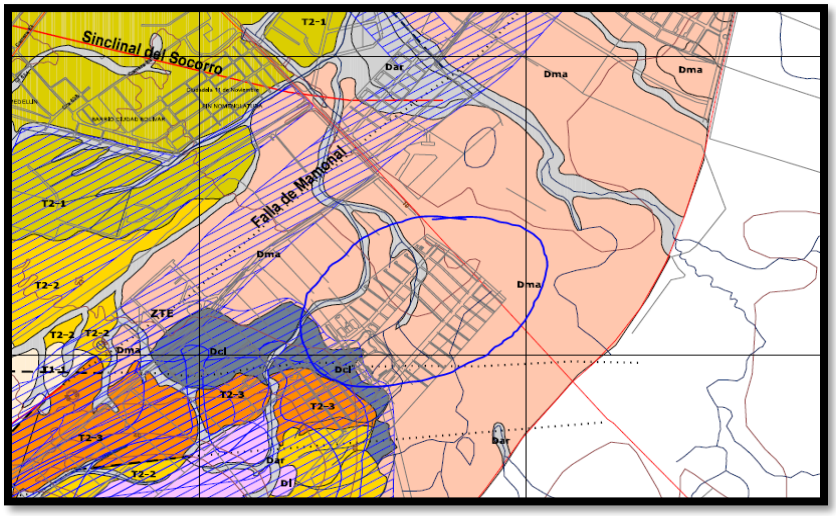


Ilustración 14. Tipo de suelo presente en el sector el Rodeo (Dma).

Fuente: Ingeominas (2000)

El sector cuenta con parte del terreno con obras de infraestructura y urbanismo, lo que delimitó las zonas donde se hizo la obtención de las muestras para los estudios a amplias zonas o lotes que se encuentran aun sin urbanizar. De acuerdo a información brindada por ingeniero el Guilliam Barbosa, el terreno cuenta con un estrato de arcilla justo por debajo de la capa vegetal y es un terreno rico en este tipo de suelo, lo cual se puedo comprobar, de donde se extrajeron las muestras inalteradas de suelos.

Ilustración 15. Ubicación de sondeo en zona de estudio

Fuente: Google Maps, editado por autores (2016),

4.2.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL:

Esta investigación se está llevando a cabo en los dos periodos académicos de año 2016, agotando todo el primer periodo (febrero a junio de 2016) y se continuara en los dos primeros meses de segundo periodo (julio y agosto) del presente año. El primer periodo comprendió las actividades encaminadas a la extracción de las muestras, caracterización del suelo y realización de los ensayos de compresión simple y el 50% de los ensayos de corte directo, se realizaron análisis de resultados obtenidos de las actividades mencionadas y sus respectivas conclusiones.

4.2.3. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL:

En esta investigación se pretende determinar una ecuación que permita correlacionar los ensayos de compresión inconfinada y corte directo no consolidado no drenado (UU), ya realizados, para la variable de resistencia al cortante para suelos cohesivos tipo arcilla, se limita la investigación a este tipo de suelo debido, a que solo estos suelos presentan una determinada cohesión entre sus partículas. Se determinaron las deformaciones presentadas en el suelo luego de aplicar sobre los especímenes estudiados, la carga que determina los esfuerzos últimos, tanto compresión simple como de corte. Luego que se tengan todos los ensayos de corte directo se buscará determinar el coeficiente de correlación existente entre estos y los de compresión simple, en el suelo estudiado.

4.3. RESULTADOS Y PRODUCTO FINAL A ENTREGAR:

En este documento se sintetiza el resultado de la investigación, es decir, se entrega la caracterización del suelo estudiado, la clasificación del mismo, las deformaciones determinadas a partir de los esfuerzos de compresión inconfinada y los resultados obtenidos de los ensayos para la determinación de las resistencias al corte y compresión simple.

También se entrega la correlación para los resultados de los ensayos de compresión inconfinada y corte directo no consolidado no drenado (UU), para las muestras reconstituidas. Con el establecimiento del coeficiente de correlación se encontrará la reciprocidad que será útil, para la determinación de la resistencia al cortante del suelo

y así optimizar el diseño de cimentaciones superficiales y de espesores de capa de pavimento. La ecuación de correlación determinana será solo aplicable a suelos que tengan la misma caracterización o similares condiciones a las halladas en la zona de estudio.

4.4. EXCEPCIONES Y LIMITACIONES

Los ensayos de laboratorio de suelo realizados, tanto para caracterización como para la determinación de esfuerzos de corte y compresión simple se hicieron exclusivamente para los suelos encontrados en la zona de estudio, por tal motivo la ecuación de correlación que se halle solo será aplicable a suelos que tengan características y comportamiento similares. La profundidad a la cual se obtuvieron las muestras no fue mayor a 3 metros, se sacó un espécimen por metro de profundidad (1m, 2m y 3m) en 8 sondeos distribuidos en la zona de estudio). Se obtuvieron un total de 24 muestras, tres por cada sondeo.

La idea inicial que generó esta investigación fue la determinación de una correlación, para los ensayos de compresión inconfinada y triaxial no consolidado no drenado (UU), pero se presentó una limitación técnica con el equipo del ensayo triaxial que se encuentra en la Universidad de Cartagena, ya que no está en condiciones para ser utilizado (esta averiado). También se revisó la disponibilidad del mismo equipo en universidades de la costa atlántica (Universidad del Norte, Universidad Tecnológica de Bolívar y Universidad de la Costa) pero se informó que el equipo de estas universidades también se encuentra dañado o no cuentan con el mismo. A razón de lo anterior, el

proyecto cambio el ensayo triaxial por el ensayo de corte directo y por ende la variable de correlación, ya que dicho equipo si se encuentra en el laboratorio de la universidad de Cartagena y está en uso. También se debe anotar que no se hará modelación de la ecuación de correlación, de llegarse a establecer la misma.

Es importante mencionar que la universidad no cuenta con un equipo de exploración de suelo (equipo de sondeo), lo que genero retraso en el tiempo dispuesto inicialmente para la extracción de las muestras, ya que, se hizo necesario realizar una gestión fuera de la universidad para conseguir el equipo de extracción. Esta actividad no se encontraba en el cronograma del proyecto, lo que produjo retraso en la investigación y aumento de los costos por el transporte y alquiler de la máquina.

5. METODOLOGÍA

La presente investigación tiene un carácter experimental puesto que, se llevó a cabo atendiendo los principios del método científico y se realizaron ensayos de laboratorio para lograr el cumplimiento de los objetivos establecidos para la misma. La investigación está conformada por las siguientes etapas de recopilación de información:

5.1. TÉCNICAS DE RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Información secundaria

Se realizó una recopilación de toda la información concerniente a la teoría relacionada con la investigación en desarrollo, esto con el fin de tener un conocimiento más técnico y una mejor orientación con respecto a las actividades que se realizaron, las cuales estuvieron encaminadas a dar cumplimiento a los objetivos tanto al general como a los específicos. Las fuentes para la obtención de la información fueron: en primer lugar y a las que se les dio prioridad, las bases de dato de la Universidad de Cartagena, las normas técnicas de INVIA, también se recolecto información de revistas (artículos científicos) y de libros específicos en el área de mecánica de suelo.

5.2. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN PRIMARIA

Caracterización del suelo.

Para la realización de la caracterización del suelo y hacer la clasificación del mismo, se hicieron tres ensayos que fueron:

1. *Análisis granulométrico por medio del hidrómetro*: Norma I.N.V. E124-0. Con este análisis se determinó la distribución granulométrica del suelo, es decir, el diámetro de cada una de las partículas que componen el suelo estudiado. El procedimiento de este análisis consistió en: 1. Para preparar la muestra, se pesaron 50 gramos de suelo y se le añadieron 125 ml de silicato de sodio (como defloculante o agente dispersante) al 4% y agua destilada hasta lograr humedecer toda la muestra y dejando sobre ella una película de agua. Luego de este procedimiento se dejó reposar la muestra durante 16 horas, con el fin de que el agente dispersante hiciera la respectiva separación de las partículas de suelo por tamaño. Pasadas las 16 horas se colocó la muestra en el aparato agitador, se agito la muestra durante 1 minuto, de inmediato se pasó a la probeta de sedimentación de un litro y se llevó la medida hasta llegar a la marca. Luego se cerró la parte superior de la probeta y se agito vigorosamente la mezcla durante 1 minuto haciendo 60 movimientos en este lapso. Se dejó la probeta sobre una superficie plana e inmediatamente se introdujo el hidrómetro, se realizaron lecturas a los 1, 2, 3, 4, 8, 15, 30, 60, 120, 240, 480 y 1440 minutos. El hidrómetro se sacó luego de cada lectura y se colocaba en una probeta igual a la de sedimentación que estaba llena solo con agua, esto con el fin de remover las partículas que se adherían al hidrómetro mientras se sedimentaban. Este procedimiento se realizó para cada uno de los sondeos.

Se obtuvo una granulometría para cada sondeo y resultaron 12 tamaños de partículas diferentes. En algunos casos no se puedo tomar la lectura de 480 minutos, porque el laboratorio de la universidad no se encontraba abierto.

2. *Límites de consistencia:* se realizaron para determinar el porcentaje de humedad al cual el suelo pasa de estado líquido a plástico y de semisólido a plástico. Al igual que la hidrometría se realizó un límite para cada sondeo. El procedimiento fue el siguiente: Se tomaron 40 gramos de la muestra de suelo, se colocaron en la vasija de evaporación y se le añadió agua, se mezcló con la ayuda de una espátula, luego que se lograra una consistencia pastosa se colocó en la cazuela de Casagrande, se nivelo y se le realizo la ranura, se le dieron los golpes necesario para que esta ranura se cerrara a lo largo de 1 cm, se anotó el número de golpes este debería estar entre 30 y 40, se repetía el proceso para un numero de golpes entre 30- 20 y 20-10. Luego se tomaba un poco del suelo húmedo por cada número de golpes y se le determinaba el porcentaje de humedad. Todo este procedimiento se hizo de acuerdo a lo establecido en la norma I.N.V. E125-07
3. *Peso específico:* La gravedad especifica del suelo se determinó con el método del picnómetro. Se colocaron 35 gramos de muestra dentro del picnómetro de 250 ml, se le agregó agua hasta la mitad y se agito para que todas las partículas quedaran completamente sumergidas, al agitar la muestra con el agua se generaron una cantidad de burbujas, la cuales se removieron colocando el picnómetro en baño de maría, y se agitaba cada 2 minutos. Luego de retiradas todas las burbujas se llenó el picnómetro completamente con agua a la misma temperatura del baño de

María, se secó superficialmente y midió la temperatura y se pesó, se realizaron las respectivas anotaciones. Los cálculos se realizaron con la fórmula establecida en la norma I.N.V. E128-07 y realizando las correcciones con las curvas de calibración de los picnómetros.

Ensayos a la compresión y corte

Los ensayos de esta etapa están reglamentados bajas las normas IMV-E-152-07 y la INV-E-154-07. Con los resultados obtenidos en esta fase del proceso se realizó la gráfica para la determinación del coeficiente de correlación de estos datos.

Para el ensayo de corte directo y compresión simple se tenían muestras cilíndricas con el diámetro requerido por la máquina para cada ensayo. Una muestra por profundidad para cubrir los tres metros de extracción. De cada muestra cilíndrica de suelo, de 6,66 cm de altura aproximadamente, se subdividió en tres muestras con altura de poco más de 2 cm. Teniendo las tres muestras por profundidad como lo indica la norma, se calculó la fuerza normal que se aplicaría en el ensayo. Se ensayó una muestra con la mitad, una con el doble y una con la fuerza calculada. Se colocó cada muestra en la cámara del equipo de corte y, se preparó la fuerza axial o normal calculada para cada muestra. Se procedió a encender la máquina, realizar el ajuste a ceros (calibración) e iniciar la fuerza de corte que aplico la máquina. Se tomó lectura de la fuerza de corte en Newtons hasta la fuerza de falla que es la fuerza ultima en la que la muestra presento la falla por corte. Esto se notó dado que la lectura presenta una regresión en la fuerza aplicada. Para el ensayo de compresión inconfinada se

colocó cada muestra en la máquina, especímenes de 3.2 cms de diámetro y 6.4 cms de altura aproximadamente, se ajustó para que no se moviese, de inmediato se inició la aplicación de la fuerza en kg a una velocidad de 3 vuelta por minuto. Se realizaron lecturas en el deformímetro que muestra la cantidad de carga aplicada cada vez que el deformímetro que mostraba las deformaciones pasaba 10 unidades. Luego de realizadas las respectivas anotaciones se realizaron los cálculos basado en la norma.

5.3. RESULTADO DEL ANÁLISIS

Luego de realizados los ensayos de compresión simple y corte directo se encontró que, los resultados obtenidos no estaban acorde a la teoría existente para esta temática. Por tal razón, tanto la gráfica de dispersión XY como el coeficiente de correlación determinados a partir de los mismos no son útiles para la aplicación en la correlación de más suelos de este tipo en obra. Atendiendo a lo presentado con los primeros resultados, se hizo una reconstitución de muestras (6 muestras), llevándolas a la humedad natural y peso específico del suelo del sitio. Con los datos obtenidos se realizó la gráfica de dispersión donde se graficó corte directo y compresión inconfinada y se obtuvo el coeficiente de correlación de estos datos.

6. RESULTADO Y DISCUSIÓN

6.1. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

La caracterización del suelo permite tener una primera idea del comportamiento que se espera de él, por esto se hace importante que se realice antes de hacer cualquier tipo de análisis del mismo, ya sea cualitativito o cuantitativo, y para tener conocimiento con qué clase de suelo se está tratando.

La caracterización del suelo de esta investigación se realizó con la determinación de 3 propiedades físicas que fueron: 1. Distribución granulométrica, 2. Límites de consistencia, 3. Peso específico. Los ensayos de laboratorio se hicieron de acuerdo a lo establecido en las normas INVIAS, que rigen cada uno se estos ensayos. El análisis de los resultados obtenido y sus discusiones se presentan a continuación.

6.1.1. Hidrometría

Los suelos finos son aquello donde el tamaño de las partículas no puede ser identificado con visión humana, por lo que se recomienda determinar esta dimensión a través de un análisis hidrométrico. En el suelo estudiado no se podían ver lo granos a simple viste por eso se realizó este análisis basado en la norma I.N.V. E -124-07 (Análisis granulométrico por medio de hidrómetro), los resultados se muestran en la tabla 1.

sondeo	dímetro de las partículas (mm)	Sondeo	Diámetro de las partículas (mm)	sondeo	Diámetro de las partículas (mm)	sondeo	Diámetro de las partículas (mm)
	0.058708		0.055431		0.048805		0.050943
	0.042262		0.038597		0.037962		0.039966
	0.034664		0.031848		0.031353		0.033347
	0.030228		0.027773		0.027311		0.029073
	0.021499		0.019753		0.019397		0.020673
	0.015770		0.014489		0.014260		0.015098
1	0.011289	3	0.010314	5	0.010140	7	0.010721
	0.008061		0.007365		0.007241		0.007581
	0.005724		0.005259		0.005141		0.005390
	0.004073		0.003742		0.003659		0.003852
	0.002920		0.002671		0.002623		0.002738
	0.001686		0.001549		0.001514		0.001594
2	0.053145	4	0.055878	6	0.054883	8	0.058572
	0.038257		0.039983		0.039517		0.041912
	0.031379		0.032843		0.032608		0.034427
	0.027364		0.028771		0.028436		0.029951
	0.019462		0.020463		0.020224		0.021449
	0.014275		0.015010		0.014835		0.015733
	0.010219		0.010745		0.010619		0.011200
	0.007297		0.007672		0.007541		0.007998
	0.005181		0.005448		0.005384		0.005687
	0.003687		0.003877		0.003831		0.004038
	0.002643		0.002779				
	0.001526		0.001604		0.001586		0.001682

Tabla 1. Tamaño de las partículas presentes en el suelo de estudio

Luego de realizado el análisis granulométrico por medio del hidrómetro, se halló que las partículas más grandes tienen un tamaño de 0.058708 mm encontradas en sondeo 1 y las más pequeñas 0.001514 mm en el sondeo 5. Todos los sondeos presentaron una distribución granulométrica muy similar, por lo tanto, la clasificación se hizo general basado en la tabla2; analizando el diámetro de partículas obtenido con las tres primeras organizaciones (1. MIT, 2. USDA, 3.

AASHTO) se clasificó como una **Arcilla con presencia de limos** y para el sistema unificado de clasificación de suelo es un suelo **fino** que puede ser limo o arcilla, para esta organización la categorización de arcilla y limo se hace a través del límite líquido y el índice de plasticidad y no a partir del tamaño del grano.

Nombre de la organización	**Tamaño del Grano (mm)**			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)	> 2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	< 0.002
Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	> 2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	< 0.002
Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estales (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	< 0.002
Sistema unificado de clasificación de suelo (U.S Army Corps of Engineers; U.S. Bureau of Reclamation; American Society for Testing and Materials)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos, es decir, limos y arcillas < 0.075	

Tabla 2. Límites de tamaño de suelos separados

Fuente: (Braja M, 1985)

6.1.2. Límite de Atterberg

Sondeo	**Limite Líquido**	**Limite Plástico**	**Índice de plasticidad**
1	70.13	37.43	32.7
2	69.33	32.44	36.89
3	76.25	36.31	39.94
4	80.35	32.89	47.46
5	70.33	33.98	36.35
6	73.28	34.04	39.24
7	74.27	37.19	37.08
8	72.89	38.50	34.39

Tabla 3. Límite líquido, plástico e índice de plasticidad de cada sondeo

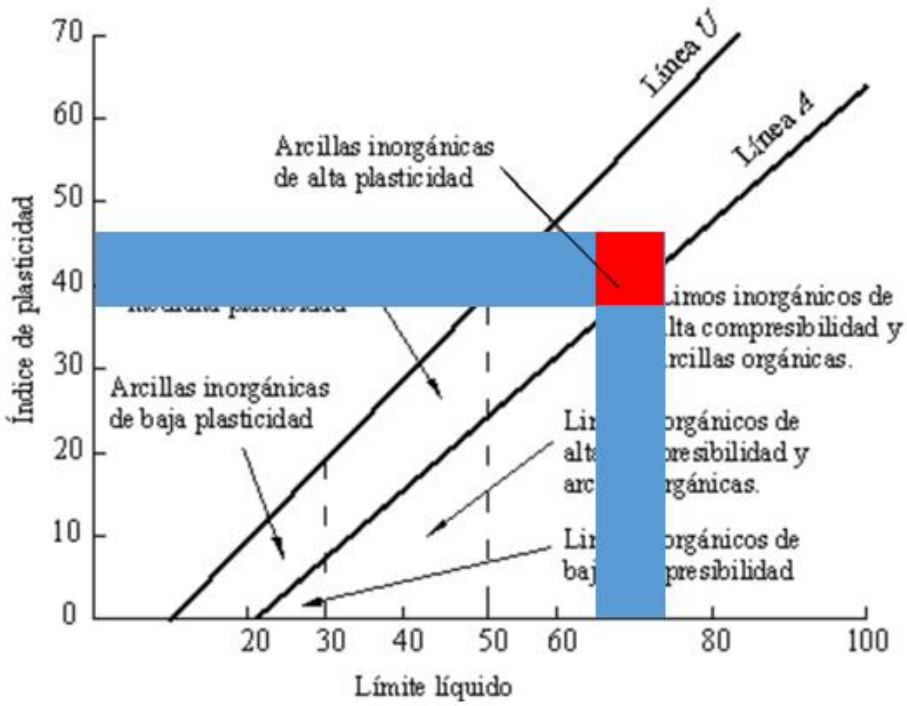


Figura15: Carta Plástica

Fuente: (Braja M, 1985)

De acuerdo con la distribución granulométrica obtenida se clasifico el suelo como una arcilla. Pero para ser más específicos se determinaron el limite líquido (LL) y el índice de plasticidad (IP), parámetros de clasificación según la gráfica denominada carta plástica (figura 15), con los resultados obtenidos se entró en la gráfica tomando los intervalos donde se mueven los datos conseguidos (69 < LL<76, y 37< IP<45), uniendo estos dos intervalos (zona roja) como se aprecia en la (figura 15) se clasifica el suelo como una **arcilla inorgánica de alta plasticidad** y los limos presentes son inorgánicos de alta compresibilidad.

En el estudio que lleva por título: "*CARACTERIZACIÓN DE UN SUELO ARCILLOSO TRATADO CON HIDRÓXIDO DE CALCIO"*, los autores realizaron una caracterización física del suelo antes de ser tratado con el hidróxido de calcio con los ensayos de laboratorio de humedad natural, granulometría, límites de Atterberg y pesos especifico. Obteniendo como resultados para el limite liquido 43.50%, índice de plasticidad de 21.19% peso específico de 2.70 g/cm3. En sus conclusiones clasifican este suelo como una arcilla inorgánica de baja a media plasticidad y con bajo potencial de expansión. De acuerdo con la carta plástica propuesta sistema unificado de clasificación de suelo (USCS) figura 15 la clasificación a la que llegaron es correcta, ya que se encuentran por arriba de la línea A, la cual separa los limos inorgánicos de las arcillas que no tienen presencia de materia orgánica.

(Higuera Sandoval, Gómez Cristancho, & Pardo Naranjo, 2012)

6.1.3. Peso especifico

SONDEO	Picnómetro	Picnómetro + agua + Mat	Temp °C	Picnómetro + agua a Temp del ensayado	Peso específico(g/cm3)
1	6	364.35	46	345.1	**1.622**
2	6	367	36	346.05	**1.717**
3	10	364.5	38	343.8	**1.703**
4	4	373.9	35.5	353.8	**1.668**
5	10	364.8	39	343.72	**1.725**
6	6	366.2	38	345.9	**1.680**
7	4	373.2	37	352.99	**1.675**
8	10	362.1	49	342.81	**1.624**

Tabla 4. Peso específico por cada sondeo

Descripción	η %	γ_d g/cm^3
Arena limpia y uniforme	29 – 50	1,33 – 1,89
Arena limosa	23 – 47	1,39 – 2,03
Arena micácea	29 – 55	1,22 – 1,92
Limo INORGÁNICO	29 – 52	1,28 – 1,89
Arena limosa y grava	12 – 46	1,42 – 2,34
Arena fina a gruesa	17 – 49	1,36 – 2,21

Tabla 5. Valores de relación de vacío y peso específico de suelos granulares

Fuente: (LAMBE, 1991)

La tabla 4 muestra los resultados obtenidos del ensayo de gravedad específica del suelo de estudio, los valores hallados son muy cercanos entre sí, lo que quieres decir que esta característica del suelo es similar en todos los sondeos. El valor mayor fue de 1,725 g/cm3 y el más pequeño de 1,622 g/cm3; siendo 0.103 g/cm3 la mayor diferencia entre los datos.

En la tabla 5 se hallan los valores tipos de peso específico de los suelos granulares, tabla que se encuentra en la teoría de mecánica de suelos planteada por Lambe William. Las arcillas inorgánicas tienen un intervalo entre 1,28 g/cm3 y 1,89 g/cm3 por lo que podemos ubicar el suelo estudiado en esta categoría.

6.2.DETERMINACIÓN DE LAS DEFORMACIONES

Sondeo	Profundidad (m)	Deformación (cm)
1	1	0.336
	2	0.339
	3	0.242
2	1	-
	2	0.239
	3	0.130
3	1	-
	2	0.378
	3	0.270
4	1	0.365
	2	0.377
	3	-
5	1	-
	2	0.318
	3	0.273
6	1	0.269
	2	0.229
	3	-
7	1	0.304
	2	0.287
	3	0.270
8	1	-
	2	0.259
	3	-

Tabla 6. Deformaciones por cada espécimen ensayado

En la tabla 6 se muestran la deformación total sufrida por el espécimen en el momento de fallar.

6.3.DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE Y AL CORTANTE

Para la determinación de la resistencia al cortante del suelo que se está estudiando, se realizó el ensayo de laboratorio de compresión simple. Los resultados obtenidos

mostraron que la muestras se encontraban alteradas, ya que, la resistencia al corte se encontraba entre 1 y 5 kg/cm2. Ver tabla 7. De acuerdo a la teoría y la fundamentación en la cual se basó esta investigación, los suelos finos tipo arcilla, presentan una resistencia al cortante de entre 0.5 y 1 kg/cm2.

Sondeo	Profundidad (m)	Esfuerzo de compresión simple kg/cm2	Resistencia cortante kg/cm2
1	1	8.85	4.42
	2	8.19	4.10
	3	5.52	2.76
2	1	-	-
	2	8.85	4.42
	3	6.51	3.25
3	1	-	-
	2	6.71	3.35
	3	3.37	1.68
4	1	7.93	3.97
	2	7.11	3.55
	3	-	-
5	1	-	-
	2	8.03	4.01
	3	3.75	1.87
6	1	3.06	1.53
	2	8.00	4.00
	3	-	-
7	1	8.56	4.28
	2	7.82	3.91
	3	6.15	3.08
8	1	-	-
	2	8.03	4.01
	3	-	-

Tabla 7. Esfuerzo de compresión simple y resistencia al cortante

Estos ensayos de compresión inconfinada y corte directo fueron realizados dos veces con distintas muestras obtenidas en el mismo sitio de estudio (sector el rodeo), con el objetivo que se verificaran los resultados en el caso de que, hubiese alguna alteración de las muestras por errores humanos, pero los segundos ensayos fueron muy similares a los hallados con las primeras muestras. De la tabla 7 podemos apreciar que los resultados del ensayo de compresión simple, están muy alejados los resultados de estudios de corte directo para arcilla y suelo finos.

6.4. Esfuerzos cortantes por ensayo de corte directo

Sondeo	Prof. (m)	Área (cm2)	Fuerza de corte (kgf)			Esfuerzo de corte		
			1	2	3	1	2	3
1	1	8,28	55,6	53,95	60,2	6,71	6,52	7,27
	2	8,66	48,6	61,25	66,85	5,61	7,07	7,72
	3	8,76	37,8	47,25	54,25	4,32	53,93	61,92
2	1	8,03	65,3	73,1	71	8,13	9,10	8,84
	2	8,87	38,8	38,5	59,85	4,37	4,34	6,75
	3	8,73	24,45	34,2	42,05	2,80	3,92	4,82
3	1	8,78	38,4	53,7	56,85	4,37	6,12	6,47
	2	8,73	45,75	53,15	57,5	5,24	6,09	6,59
	3	8,64	40,2	50,7	53,8	4,65	5,87	6,23
4	1	7,81	66,7	61,65	85,6	8,54	7,89	10,96
	2	7,79	67,6	69,25	78,65	8,68	8,89	10,10
	3	8,14	51,8	67,8	79,9	6,36	8,33	9,82

Tabla 8. Resultados de esfuerzos por corte directo.

Teniendo en cuenta los resultados del ensayo de corte directo obtenidos hasta el momento se puede observar que, a mayor profundidad menor es la fuerza de corte a la que falla la muestra de suelo. Es decir, el suelo cohesivo extraído del barrio El Rodeo, presenta una mayor resistencia al corte en profundidades mayores. En

consecuencia, con lo anterior, los esfuerzos de corte son mayores en las profundidades más bajas. Los resultados se evidencian en la tabla 8. La resistencia al corte determinado con este ensayo fue muy superior a lo establecido en la teoría y la práctica de otras experiencias.

6.5. Número Nspt:

Las muestras fueron extraídas con el equipo de extracción estándar spt. Tershagui estableció una correlación entre el número de penetración estándar que es el número de golpes necesarios para extraer una muestra con la consistencia de suelos tipo arcilla.

Sondeo	Profundidad	Nspt
1	1	13
	2	20
	3	10
2	1	11
	2	14
	3	11
3	1	10
	2	17
	3	12
4	1	13
	2	15
	3	12
5	1	10

	2	17
	3	12
6	1	14
	2	10
	3	14
7	1	10
	2	16
	3	14
8	1	9
	2	18
	3	10

Numero de golpes por extracción

Número de penetración estándar, *N*	Consistencia	Resistencia a compresión simple, q_u (kN/m^2)
0–2	Muy blanda	0 - 25
2–5	Blanda	25 - 50
5–10	Rigidez media	50 100
10–20	Firme	100 - 200
20–30	Muy firme	200 –400
> 30	Dura	>400

Consistencia de arcillas y correlación aproximada con el número de penetración estándar N

De acuerdo a los datos obtenido con los ensayos de compresión simple y corte directo se puede evidenciar que la muestras dieron resultados fuera de lo común y en desacuerdo con lo establecido por Tershagui, por tal motivo se realizó una reconstitución de muestras.

6.6. Reconstitución de muestras

Debido a que los resultados obtenidos de los ensayos tanto de compresión inconfinada como de corte directo, se hallaron muy alejados, siendo estos mucho mayores a lo establecido para la resistencia al cortante de las arcillas y suelos finos, se decidió realizar un remoldeo de las muestras con la ayuda del equipo de laboratorio Miniproctor de Harvard, con el cual se buscó reconstituir la muestra con el peso específico del sitio y con la humedad natural determinada en el laboratorio.

Para estas arcillas se encontró que contenían una humedad natural del 28% y peso específico de 1.8 ton/m3. Reconstituyeron 6 muestras, la cuales fueron sometidas a los ensayos de compresión inconfinada y corte directo. Tabla 9

Muestra	Esfuerzo de compresión simple kg/cm2	Resistencia cortante kg/cm2
1	1.71	0.86
2	1.76	0.88
3	1.84	0.92
4	2.02	1.01
5	1.96	0.98
6	2.29	1.14

Tabla 9. Resultados compresión inconfinada muestras remoldadas

Los resultados hallados luego de realizados lo ensayos de compresión simple y corte directo a las muestras remoldadas, se encontraron ente 1 y 2.5 kg/cm2, que según lo establecido en la teoría y en las experiencias esta resistencia la presenta la mayoría de las arcillas plásticas, como la que se estudió en esta investigación.

MUESTRA	1	2	3	4	5
Cohesión (Kg/cm2)	1.064	0.472	0.878	0.529	0.438
Angulo de fricción	27.0	45,0	34.0	51.0	52.0

Tabla 10. Resultados corte directo muestras remoldadas

En el caso del ensayo de corte directo, las muestras se trabajaron con una profundidad promedio de 2.0m, dependiendo del área del espécimen la fuerza aplicada estuvo entre 6 y 7 Kg. Lo que permitió determinar una cohesión que oscilo entre 0.438 y 1.064 kg/cm2. Esto sigue siendo coherente con lo establecido en otras experiencias para resistencia al corte de suelos tipo arcilla.

7. CONCLUSIONES

7.1. De acuerdo con los resultados obtenidos se clasificó el suelo como una Arcilla a partir del análisis granulométrico, y con base en los límites de consistencia del suelo de estudio (limite liquido e índice de plasticidad), se especificó que es una Arcilla inorgánica de alta plasticidad y los limos presentes son inorgánicos de alta compresibilidad, esta clasificación es de acuerdo a lo establecido por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (SUCS). La gravedad específica del suelo ratifico el resultado de la granulometría y los límites de consistencia.

7.2. De los resultados obtenidos de los esfuerzos de cortante y compresión simple se puede concluir que las primeras y segundas muestras las cuales fueron tomadas con el equipo de extracción estándar, dieron resultados alejados a la teoría sobre la resistencia de suelos arcillosos. Los resultados fueron muchos mayores, con datos de 4 kg/cm2, siendo este 4 veces mayor a lo establecido en la teoría.

7.3. Con el proceso de reconstitución de las muestras se pudo evidenciar que los especímenes estaban sufriendo algún tipo de alteración, ya que los resultados fueron mucho más acordes con la fundamentación teórica de resistencia de las arcillas, obteniendo valores entre 0.8 y 1.5 kg/cm2 de resistencia al cortante.

7.4. Es importante resaltar que el equipo de extracción estándar, utiliza una pesa de 75 kg para llevar el tubo de extracción a la profundidad que se desea. Por este motivo es posible que las muestras hayan sufrido una densificación por

efecto de los golpes del equipo y por lo tanto aumentaron su resistencia al cortante, donde resultados mucho mayores a la realidad del suelo, en el momento que se ensayaron en el laboratorio.

7.5. Otro de los factores que influyo en los primeros resultados obtenidos fue el tiempo de ejecución de los ensayos al corte. El tiempo se extendió del establecido en el cronograma, lo que afectó las condiciones iniciales de las muestras, habiendo hecho necesario remoldar las mismas.

7.6. No se puedo establecer la correlación, ya que, las muestras reconstituidas son totalmente alteradas, por lo que no es recomendable su utilización para este tipo de investigación. También es importante mencionar que el suelo de estudio, se encontraba en condiciones naturales muy densas, lo que impido la extracción de las muestras con tubos shelby. El equipo de perforación por rotación es el más recomendable para este caso, pero la universidad no cuenta con esta máquina, su costo por metro línea es muy elevado, lo que llevo a que esta investigación no fuese económicamente viable.

8. RECOMENDACIONES

A partir de la experiencia con el presente proyecto investigativo, se enumerarán a continuación unas recomendaciones para futuras investigaciones que sigan la línea que llevo esta.

- La presente investigación se vio en la necesidad de ser modificada en el transcurso de su ejecución debido a inconvenientes presentados de manera esporádica. Tales como, comportamiento irregular del suelo de estudio en cuanto a los resultados de resistencia al corte obtenidos por los métodos utilizados y poca información referente al tema estudiado, es decir, un estado del arte pobre.
- Se recomienda que la extracción de las muestras se realice con equipos que tengan el menor efecto sobre estas. En este caso se remienda hacer la extracción con un equipo de perforación con rotación, ya que este equipo, tiene mayor alcance en lo que respecta a profundidad y tiene la menor incidencia en las muestras, es decir, se obtiene una muestra inalterada.
- Para optimizar el trabajo en la fase de extracción de las muestras, se recomienda hacer una visita previa a la visita de extracción en la cual se revise el área de donde se sacarán las muestras y adelantar la actividad con el descapote del terreno, luego de haber seleccionado los puntos en los cuales se sacarán las muestras de ensayo. Se debe verificar con un equipo de campo, la resistencia del suelo (penetrómetro de cono), para así determinar cuál es el equipo más óptimo para la extracción de las

muestras. Para el caso de suelo duros y profundidades mayores a 3 metros, no se recomienda la utilización de tubos shelby.

- En este proyecto se utilizó papel de parafina para mantener las muestras con las condiciones de húmedas más cercanas a la realidad, y se introdujeron las muestras en un recipiente de icopor que permitiría la conservación de las mismas. El tratamiento mencionado para guardar las muestras resulto ser bastante eficiente por lo cual es recomendable para investigaciones futuras.
- Los ensayos de corte directo se realizaron siguiendo la normatividad requerida. Pero se hace la recomendación de revisar los ajustes de la cámara de corte, revisar la correcta colocación del aparato de aplicación de fuerza de corte tal que garantice que al momento de la aplicación de la carga sea precisa.
- Para la lectura de la carga de corte aplicada se recomienda que, se lea o espere lectura de al menos tres de las fuerzas esto dado porque, se presentó casos en que la carga tuvo oscilaciones y tiende a parecer como si fuera la carga de falla. Entonces, se hace prudente y adecuado realizar tres lecturas posteriores a la carga de falla o regresión de la carga que presenta la pantalla.
- Una de las características principales para mantener las muestras en condiciones naturales es la humedad. Esta sin un correcto tratamiento de las muestras y una demora en su utilización, puede afectar de manera negativa los resultados. Se recomienda tener en cuenta el tratamiento que se mencionó (papel de parafina y almacenaje en recipiente de icopor) y ensayar las muestras lo más antes posible.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Covo Torres, Álvaro Ignacio. Resistencia al cortante de los suelos. Geotecnia. Universidad de Cartagena. septiembre de 2012

Balkema, A. (1989). EMPIRICAL CORRELATION OF LIQUEFACTION USING CPT: SUGAWARA. (págs. 335-338). Rio de Janeiro : Rotterdam.

Braja M, D. (1985). Fundamentos de Ingenieria Geotecnica. En D. Braja M, *Fundamentos de Ingenieria Geotecnica* (págs. 7-49). IOWA: Cole Publish Ing Company.

Higuera Sandoval, C., Gómez Cristancho, J., & Pardo Naranjo, Ó. (17 de Mayo de 2012). *Dialnet plus* . Obtenido de basesdedatos.unicartagena.edu.co: https://basesdedatos.unicartagena.edu.co:2342/servlet/articulo?codigo=4222676

Hoyos Patiño, F. (2006). *http://www.academia.edu.* Recuperado el 7 de agosto de 2015, de http://www.academia.edu: http://www.academia.edu/1313043/EXPLORACI%C3%93N_DEL_SUBSUELO_Y_CARACTERIZACI%C3%93N_GEOT%C3%89CNICA_DEL_TERRENO

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (9 de octubre de 2004). *http://www.inecc.gob.mx/.* Obtenido de http://www.inecc.gob.mx/: http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/448/9.pdf

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS . (2012). COMPRESION INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELO . *NORMA I. N. V. E - 152*. BOGOTA , CUNDINAMARCA, COLOMBIA: INSTITUTO NACIONAL DE VIAS .

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS . (2012). PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL SUELO MEDIANTE COMPRESIÓN TRIAXIAL . *I.N.V. E – 153 – 07*. BOGOTA , CUNDINAMARCA, COLOMBIA: NSTITUTO NACIONAL DE VIAS .

Instituto Nacional de vías. (29 de septiembre de 2009). *ftp.unicauca.edu.co.* Obtenido de ftp.unicauca.edu.co: ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-153-07.pdf

Jiménez González, M. L. (2010). *EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE SUELOS DE GRANO FINO ESTABILIZADOS CON CAL.* Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala .

LAMBE, W. (1991). MECANICA DE SUELOS . En W. LAMBE, *MECANICA DE SUELOS* (págs. 41-53). Mexico: LIMUSa.

Leoni, A. J. (5 de otubre de 1987). Apuntes de resistencia al corte. En A. J. Leoni, & A. J. oni (Ed.), *Apuntes de resistencia al corte* (págs. 24-39). La Plata, Buenos Aires , Argentina: Laboratorios de mecanica de suelos, Universidad Nacional de La Plata . Obtenido de www.ing.unlp.edu.ar: http://www.ing.unlp.edu.ar/constr/g1/Apunte%20de%20Resistencia%20al%20Corte%201.pdf

López, M. J. (2010). Acerca de la normatividad para el diseño y construcción de cimentaciones en la ciudad de México. *Eird*, 215-226.

Mendiburu. (9 de febrero de 2014). *tarwi.lamolina.edu.pe.* Obtenido de tarwi.lamolina.edu.pe: http://tarwi.lamolina.edu.pe/~fmendiburu/index-filer/academic/metodos1/Regresion.pdf

Peridico Politécnico. (2012). *CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA AL CORTE SIN DRENAJE Y RESISTENCIA CPT.* HUNGRIA: periodico politecnico.

Rincón Gómez, B., & Suárez Pinzón, L. (2012). *Comparacion de parametros de resistencia al esfuerzo cortante en el aparato de corte directo y triaxial para arenas limosas.* Bucaramanga: Universidad Pontifica Bolivariana, seccional Bucaramanga.

Salas, O. V. (2011). Ensayos triaxiales para suelo. *Metodos y Materiales, Universidad de Costa Rica*, 14-24.

Salas, O. V. (2011). Ensayos triaxiales para suelos . *Metodo y Materiales, Universidad de Costa Rica* , 14-24.

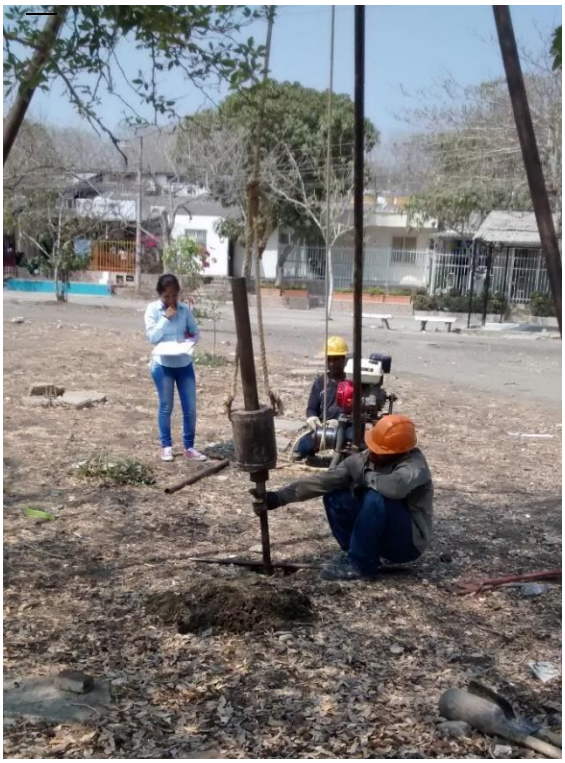
UNIVERSIDAD DE CARTAGENA . (15 de OCTUBRE de 2015). LISTADO DE PRECIOS UNITARIOS VIGENTES 2015 DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELO . CARTAGENA, BOLIVAR , COLOMBIA .

Universidad EAFIT, L. d. (2015). *LISTA DE PRECIOS UNITARIOS DE ENSAYOS 2015.* Medellin.

Villamizar Lemos, A., & Díaz Gutiérrez, J. j. (2010). *Relacion entre los parametros de resistencia al esfuerzo cortante obtenido en los ensayos de corte directo y compresion simple para arenas arcillosas.* Bucaramanga: Universidad Pontifica Bolivariana- seccional Bucaramanga.

10. ANEXOS.

10.1. Extracción de las muestras



10.2. Calculo de granulometría para cada sondeo

coeficiente de viscosidad del agua	**0.001**	**Pa.s**	
peso específico del agua	1.0	g/cm3	
sondeo	**Peso especifico**	**g/cm3**	**Constante (K)**
1	1.622	g/cm3	4.91387E-05
2	1.717	g/cm3	4.26347E-05
3	1.703	g/cm3	4.35238E-05
4	1.668	g/cm3	4.57484E-05
5	1.725	g/cm3	4.21807E-05
6	1.680	g/cm3	4.49922E-05
7	1.675	g/cm3	4.53306E-05
8	1.624	g/cm3	4.89724E-05
corrección por agente dispersante	9	g/litro	
corrección por temperatura	3.3	g/litro	
corrección por menisco	1	g/litro	
temperatura de medición	29	C°	
corrección por temperatura y defloculante	12.3	g/litro	

Anexo 1. Datos iniciales para el cálculo de la granulometría

sondeo	tiempo		lectura	lectura corregida	corrección por menisco	profundidad efectiva	velocidad de sedimentación	k * velocidad	diámetro de las partículas (mm)
1	1	min	27	14.7	15.7	137.3	137.300	0.00674674	0.08213855
	2	min	24	11.7	12.7	142.3	71.150	0.00349622	0.05912882
	3	min	23	10.7	11.7	143.6	47.867	0.00235210	0.04849850
	4	min	22	9.7	10.7	145.6	36.400	0.00178865	0.04229241
	8	min	21	8.7	9.7	147.3	18.413	0.00090477	0.03007933
	15	min	20	7.7	8.7	148.6	9.907	0.00048680	0.02206356
	30	min	18	5.7	6.7	152.3	5.077	0.00024946	0.01579433
	60	min	16	3.7	4.7	155.3	2.588	0.00012719	0.01127773
	120	min	15	2.7	3.7	156.6	1.305	0.00006413	0.00800787
	240	min	14	1.7	2.7	158.6	0.661	0.00003247	0.00569846
	480	min	11	-1.3	-0.3	163	0.340	0.00001669	0.00408493
	1440	min	10	-2.3	-1.3	163	0.113	0.00000556	0.00235844

Anexo 2. CALCULO GRANULOMETRIA SONDEO 1

sondeo	tiempo		lectura	lectura corregida	corrección por menisco	profundidad efectiva	velocidad de sedimentación	k * velocidad	diámetro de las partículas (mm)
2	1	min	27	14.7	15.7	137.3	137.300	0.00585374	0.07650976
	2	min	24	11.7	12.7	142.3	71.150	0.00303346	0.05507684
	3	min	23	10.7	11.7	143.6	47.867	0.00204078	0.04517500
	4	min	22	9.7	10.7	145.6	36.400	0.00155190	0.03939420
	8	min	21	8.7	9.7	147.3	18.413	0.00078501	0.02801805
	15	min	20	7.7	8.7	148.6	9.907	0.00042237	0.02055159
	30	min	18	5.7	6.7	152.3	5.077	0.00021644	0.01471197
	60	min	16	3.7	4.7	155.3	2.588	0.00011035	0.01050489
	120	min	15	2.7	3.7	156.6	1.305	0.00005564	0.00745911
	240	min	14	1.7	2.7	158.6	0.661	0.00002817	0.00530796
	480	min	11	-1.3	-0.3	163	0.340	0.00001448	0.00380500
	1440	min	10	-2.3	-1.3	163	0.113	0.00000483	0.00219682

Anexo 3. CALCULO GRANULOMETRIA SONDEO 2

sondeo	tiempo		lectura	lectura corregida	corrección por menisco	profundidad efectiva	velocidad de sedimentación	k * velocidad	diámetro de las partículas (mm)
3	1	min	28	15.7	16.7	145	145.000	0.00631095	0.07944149
	2	min	25	12.7	13.7	140.6	70.300	0.00305972	0.05531476
	3	min	23	10.7	11.7	143.6	47.867	0.00208334	0.04564361
	4	min	22	9.7	10.7	145.6	36.400	0.00158427	0.03980284
	8	min	21	8.7	9.7	147.3	18.413	0.00080138	0.02830869
	15	min	20	7.7	8.7	148.6	9.907	0.00043118	0.02076477
	30	min	19	6.7	7.7	150.6	5.020	0.00021849	0.01478139
	60	min	17	4.7	5.7	153.6	2.560	0.00011142	0.01055561
	120	min	15	2.7	3.7	156.6	1.305	0.00005680	0.00753648
	240	min	14	1.7	2.7	158.6	0.661	0.00002876	0.00536302
	480	min	12	-0.3	0.7	161.6	0.337	0.00001465	0.00382793
	1440	min	10	-2.3	-1.3	163	0.113	0.00000493	0.00221961

Anexo 4. CALCULO GRANULOMETRIA SONDEO 3

sondeo	tiempo		lectura	lectura corregida	corrección por menisco	profundidad efectiva	velocidad de sedimentación	k * velocidad	diámetro de las partículas (mm)
4	1	min	27	14.7	15.7	137.3	137.300	0.00628125	0.07925436
	2	min	25	12.7	13.7	140.6	70.300	0.00321611	0.05671077
	3	min	24	11.7	12.7	142.3	47.433	0.00217000	0.04658324
	4	min	22	9.7	10.7	145.6	36.400	0.00166524	0.04080737
	8	min	21	8.7	9.7	147.3	18.413	0.00084234	0.02902313
	15	min	20	7.7	8.7	148.6	9.907	0.00045321	0.02128882
	30	min	18	5.7	6.7	152.3	5.077	0.00023225	0.01523973
	60	min	16	3.7	4.7	155.3	2.588	0.00011841	0.01088173
	120	min	15	2.7	3.7	156.6	1.305	0.00005970	0.00772668
	240	min	14	1.7	2.7	158.6	0.661	0.00003023	0.00549837
	480	min	11	-1.3	-0.3	163	0.340	0.00001554	0.00394150
	1440	min	9	-3.3	-2.3	163	0.113	0.00000518	0.00227562

Anexo 5. CALCULO GRANULOMETRIA SONDEO 4

sondeo	tiempo		lectura	lectura corregida	corrección por menisco	profundidad efectiva	velocidad de sedimentación	k * velocidad	diámetro de las partículas (mm)
5	1	min	39	26.7	27.7	117.6	117.600	0.00496046	0.07043050
	2	min	24	11.7	12.7	142.3	71.150	0.00300116	0.05478284
	3	min	22	9.7	10.7	145.6	48.533	0.00204717	0.04524569
	4	min	21	8.7	9.7	147.3	36.825	0.00155331	0.03941200
	8	min	20	7.7	8.7	148.6	18.575	0.00078351	0.02799120
	15	min	19	6.7	7.7	150.6	10.040	0.00042349	0.02057899
	30	min	18	5.7	6.7	152.3	5.077	0.00021414	0.01463344
	60	min	16	3.7	4.7	155.3	2.588	0.00010918	0.01044882
	120	min	15	2.7	3.7	156.6	1.305	0.00005505	0.00741929
	240	min	14	1.7	2.7	158.6	0.661	0.00002787	0.00527963
	480	min	11	-1.3	-0.3	163	0.340	0.00001432	0.00378469
	1440	min	10	-2.3	-1.3	163	0.113	0.00000477	0.00218509

Anexo 6. CALCULO GRANULOMETRIA SONDEO 5

sondeo	**tiempo**		**lectura**	**lectura corregida**	**corrección por menisco**	**profundidad efectiva**	**velocidad de sedimentación**	**k * velocidad**	**diámetro de las partículas (mm)**
6	1	min	28	15.7	16.7	135.6	135.600	0.00610094	0.07810850
	2	min	25	12.7	13.7	140.6	70.300	0.00316295	0.05624010
	3	min	23	10.7	11.7	143.6	47.867	0.00215363	0.04640717
	4	min	22	9.7	10.7	145.6	36.400	0.00163771	0.04046869
	8	min	21	8.7	9.7	147.3	18.413	0.00082842	0.02878226
	15	min	20	7.7	8.7	148.6	9.907	0.00044572	0.02111214
	30	min	18	5.7	6.7	152.3	5.077	0.00022841	0.01511325
	60	min	17	4.7	5.7	153.6	2.560	0.00011518	0.01073219
	120	min	15	2.7	3.7	156.6	1.305	0.00005871	0.00766256
	240	min	14	1.7	2.7	158.6	0.661	0.00002973	0.00545274
	480	min					0.000	0.00000000	0.00000000
	1440	min	9	-3.3	-2.3	163	0.113	0.00000509	0.00225674

Anexo 7. CALCULO GRANULOMETRIA SONDEO 6

sondeo	tiempo		lectura	lectura corregida	corrección por menisco	profundidad efectiva	velocidad de sedimentación	k * velocidad	diámetro de las partículas (mm)
7	1	min	40	27.7	28.7	115.6	115.600	0.00524022	0.07238935
	2	min	24	11.7	12.7	142.3	71.150	0.00322527	0.05679148
	3	min	20	7.7	8.7	148.6	49.533	0.00224538	0.04738540
	4	min	19	6.7	7.7	150.6	37.650	0.00170670	0.04131219
	8	min	18	5.7	6.7	152.3	19.038	0.00086298	0.02937655
	15	min	18	5.7	6.7	152.3	10.153	0.00046026	0.02145360
	30	min	17	4.7	5.7	153.6	5.120	0.00023209	0.01523459
	60	min	17	4.7	5.7	153.6	2.560	0.00011605	0.01077248
	120	min	16	3.7	4.7	155.3	1.294	0.00005867	0.00765933
	240	min	14	1.7	2.7	158.6	0.661	0.00002996	0.00547321
	480	min	13	0.7	1.7	160.3	0.334	0.00001514	0.00389083
	1440	min	9	-3.3	-2.3	163	0.113	0.00000513	0.00226521

Anexo 8. CALCULO GRANULOMETRIA SONDEO 7

sondeo	tiempo		lectura	lectura corregida	corrección por menisco	profundidad efectiva	velocidad de sedimentación	k * velocidad	diámetro de las partículas (mm)
8	1	min	27	14.7	15.7	137.3	137.300	0.00672391	0.08199946
	2	min	25	12.7	13.7	140.6	70.300	0.00344276	0.05867504
	3	min	24	11.7	12.7	142.3	47.433	0.00232292	0.04819672
	4	min	23	10.7	11.7	143.6	35.900	0.00175811	0.04192981
	8	min	21	8.7	9.7	147.3	18.413	0.00090170	0.03002839
	15	min	20	7.7	8.7	148.6	9.907	0.00048515	0.02202619
	30	min	19	6.7	7.7	150.6	5.020	0.00024584	0.01567933
	60	min	17	4.7	5.7	153.6	2.560	0.00012537	0.01119685
	120	min	16	3.7	4.7	155.3	1.294	0.00006338	0.00796106
	240	min	15	2.7	3.7	156.6	0.653	0.00003195	0.00565283
	480	min						0.00000000	0.00000000
	1440	min	10	-2.3	-1.3	163	0.113	0.00000554	0.00235444

Anexo 9. CALCULO GRANULOMETRIA SONDEO 8

10.3. Límites de consistencia

Sondeo 1					
LIMITE LIQUIDO					
No. Golpes			37	27	17
Recipiente #			12	22	22
Peso Rec. + Suelo Húmedo			28.30	32.90	26.50
Peso Rec. + Suelo Seco			24.50	26.90	22.50
Peso del Recipiente			19.10	18.30	16.70
Peso Agua			3.80	6.00	4.00
Peso Material Seco			5.40	8.60	5.80
% Humedad			70.37	69.77	68.97
L.L.			**74.19**	**70.50**	**65.69**
LIMITE PLASTICO					
Recipiente #			54	3	3
Peso Rec. + Suelo Húmedo			14.50	14.70	13.90
Peso Rec. + Suelo Seco			13.20	13.50	12.70
Peso del Recipiente			10.00	10.20	9.30
Peso Agua			1.30	1.20	1.20
Peso Material Seco			3.20	3.30	3.40
% Humedad			40.63	36.36	35.29
L.P.			**37.43**		

Anexo 10. Cálculos de límite de consistencia sondeo 1

Sondeo 2					
LIMITE LIQUIDO					
No. Golpes			35	25	15
Recipiente #			12	22	22
Peso Rec. + Suelo Húmedo			19.80	16.25	16.10
Peso Rec. + Suelo Seco			15.40	14.00	13.68
Peso del Recipiente			9.20	10.80	10.10
Peso Agua			4.40	2.25	2.42
Peso Material Seco			6.20	3.20	3.58
% Humedad			70.97	70.31	67.60
L.L.			**74.25**	**70.34**	**63.40**
LIMITE PLASTICO					
Recipiente #			54	3	3
Peso Rec. + Suelo Húmedo			14.50	12.40	11.80
Peso Rec. + Suelo Seco			13.60	11.90	11.10

Peso del Recipiente		11.10	10.00	9.10
Peso Agua		0.90	0.50	0.70
Peso Material Seco		2.50	1.90	2.00
% Humedad		36.00	26.32	35.00
L.P.		**32.44**		

Anexo 11. Cálculos de límite de consistencia sondeo 2

Sondeo 3				
L I M I T E L I Q U I D O				
No. Golpes		36	26	16
Recipiente #		12	22	22
Peso Rec. + Suelo Húmedo		23.00	20.00	17.20
Peso Rec. + Suelo Seco		17.70	16.10	14.10
Peso del Recipiente		10.90	10.90	10.00
Peso Agua		5.30	3.90	3.10
Peso Material Seco		6.80	5.20	4.10
% Humedad		77.94	75.00	75.61
L.L.		**81.86**	**75.41**	**71.48**
L I M I T E P L A S T I C O				
Recipiente #		54	3	3
Peso Rec. + Suelo Húmedo		14.20	11.30	14.10
Peso Rec. + Suelo Seco		13.40	10.70	13.30
Peso del Recipiente		11.00	9.10	11.20
Peso Agua		0.80	0.60	0.80
Peso Material Seco		2.40	1.60	2.10
% Humedad		33.33	37.50	38.10
L.P.		**36.31**		

Anexo 12. Cálculos de límite de consistencia sondeo 3

Sondeo 4					
L I M I T E L I Q U I D O					
No. Golpes			37	27	14
Recipiente #			12	22	22
Peso Rec. + Suelo Húmedo			22.40	30.70	23.40
Peso Rec. + Suelo Seco			16.90	24.50	18.20
Peso del Recipiente			10.10	17.10	11.40
Peso Agua			5.50	6.20	5.20
Peso Material Seco			6.80	7.40	6.80
% Humedad			80.88	83.78	76.47
L.L.			**85.27**	**84.67**	**71.12**
L I M I T E P L A S T I C O					
Recipiente #			54	3	3
Peso Rec. + Suelo Húmedo			22.60	22.50	20.50
Peso Rec. + Suelo Seco			21.80	21.80	19.70
Peso del Recipiente			19.40	19.70	17.20
Peso Agua			0.80	0.70	0.80
Peso Material Seco			2.40	2.10	2.50
% Humedad			33.33	33.33	32.00
L.P.			**32.89**		

Anexo 13. Cálculos de límite de consistencia sondeo 4

Sondeo 5					
L I M I T E L I Q U I D O					
No. Golpes			36	27	16
Recipiente #			12	22	22
Peso Rec. + Suelo Húmedo			22.40	30.80	23.30
Peso Rec. + Suelo Seco			17.30	25.10	18.47
Peso del Recipiente			10.10	17.10	11.40
Peso Agua			5.10	5.70	4.83
Peso Material Seco			7.20	8.00	7.07
% Humedad			70.83	71.25	68.32
L.L.			**74.40**	**72.00**	**64.59**

L I M I T E P L A S T I C O					
Recipiente #			54	3	3
Peso Rec. + Suelo Húmedo			21.60	21.50	19.50
Peso Rec. + Suelo Seco			20.80	20.80	18.70
Peso del Recipiente			18.40	18.70	16.20
Peso Agua			0.80	0.70	0.80
Peso Material Seco			2.40	2.10	2.50
% Humedad			33.33	33.33	32.00
L.P.			**32.89**		

Anexo 14. Cálculos de límite de consistencia sondeo 5

Sondeo 6					
L I M I T E L I Q U I D O					
No. Golpes			37	27	17
Recipiente #			12	22	22
Peso Rec. + Suelo Húmedo			25.70	24.70	20.20
Peso Rec. + Suelo Seco			22.80	22.05	18.77
Peso del Recipiente			19.10	18.30	16.70
Peso Agua			2.90	2.65	1.43
Peso Material Seco			3.70	3.75	2.07
% Humedad			78.38	70.67	69.08
L.L.			**82.63**	**71.41**	**65.80**
L I M I T E P L A S T I C O					
Recipiente #			54	3	3
Peso Rec. + Suelo Húmedo			14.20	11.90	14.10
Peso Rec. + Suelo Seco			13.40	11.20	12.90
Peso del Recipiente			11.20	9.10	9.20
Peso Agua			0.80	0.70	1.20
Peso Material Seco			2.20	2.10	3.70
% Humedad			36.36	33.33	32.43
L.P.			**34.04**		

Anexo 15. Cálculos de límite de consistencia sondeo 6

Sondeo 7					
L I M I T E L I Q U I D O					
No. Golpes			38	28	17
Recipiente #			12	22	22
Peso Rec. + Suelo Húmedo			16.20	19.20	17.50
Peso Rec. + Suelo Seco			13.20	14.90	13.80
Peso del Recipiente			8.90	9.00	9.10
Peso Agua			3.00	4.30	3.70
Peso Material Seco			4.30	5.90	4.70
% Humedad			69.77	72.88	78.72
L.L.			**73.82**	**74.00**	**74.98**
L I M I T E P L A S T I C O					
Recipiente #			54	3	3
Peso Rec. + Suelo Húmedo			15.20	12.80	12.60
Peso Rec. + Suelo Seco			14.20	11.80	11.70
Peso del Recipiente			11.50	9.10	9.30
Peso Agua			1.00	1.00	0.90
Peso Material Seco			2.70	2.70	2.40
% Humedad			37.04	37.04	37.50
L.P.			**37.19**		

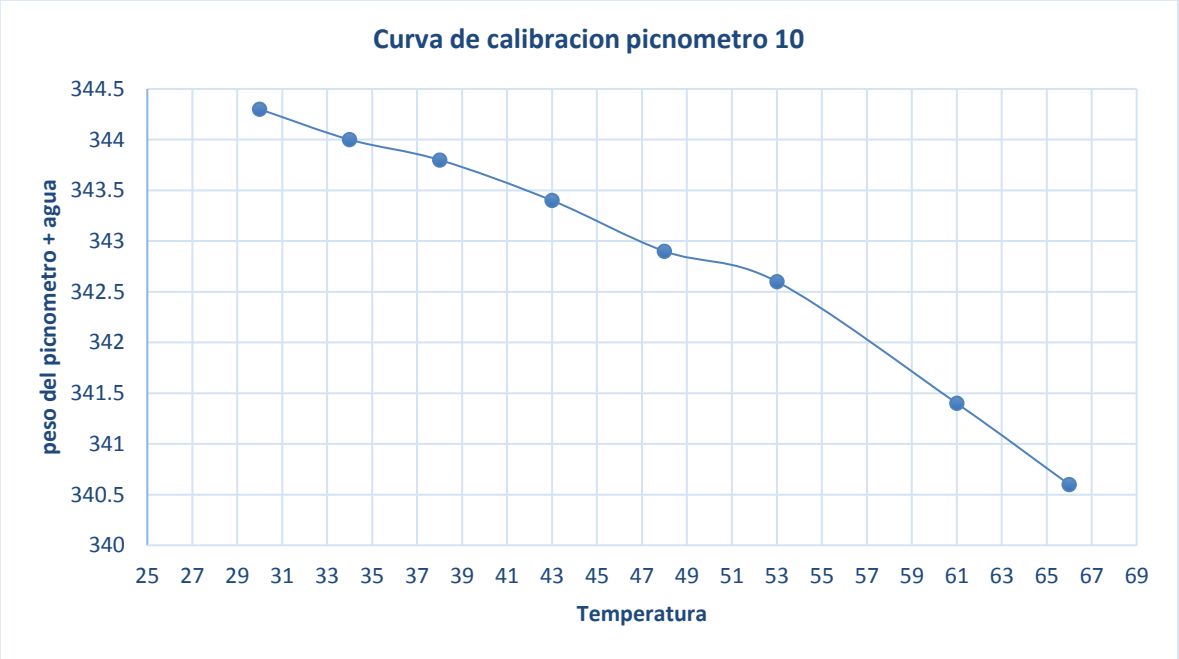
Anexo 16. Cálculos de límite de consistencia sondeo 7

Sondeo 8					
L I M I T E L I Q U I D O					
No. Golpes			37	27	17
Recipiente #			12	22	22
Peso Rec. + Suelo Húmedo			15.70	16.70	18.40
Peso Rec. + Suelo Seco			13.70	13.90	14.70
Peso del Recipiente			10.80	10.00	9.90
Peso Agua			2.00	2.80	3.70
Peso Material Seco			2.90	3.90	4.80
% Humedad			68.97	71.79	77.08
L.L.			**72.71**	**72.55**	**73.42**

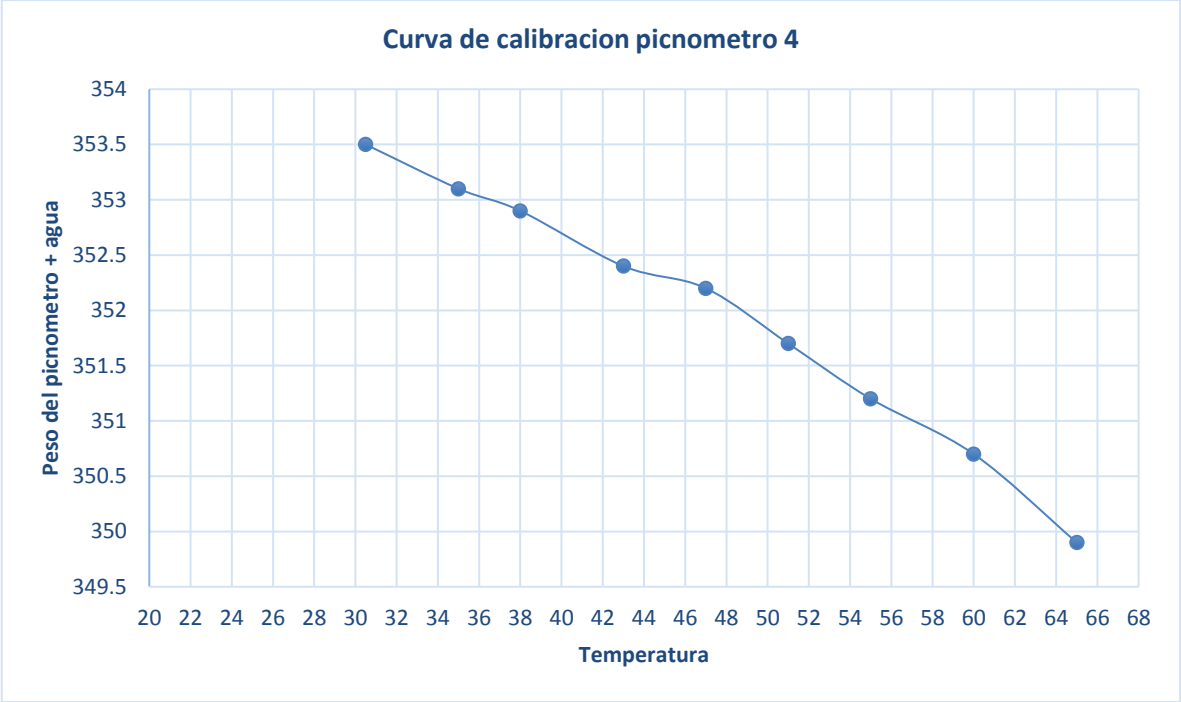
LIMITE PLASTICO				
Recipiente #	54	3	3
Peso Rec. + Suelo Húmedo	16.10	12.80	12.80
Peso Rec. + Suelo Seco	14.70	11.80	11.80
Peso del Recipiente	11.20	9.10	9.20
Peso Agua	1.40	1.00	1.00
Peso Material Seco	3.50	2.70	2.60
% Humedad	40.00	37.04	38.46
L.P.	**38.50**		

Anexo 17. Cálculos de límite de consistencia sondeo 8

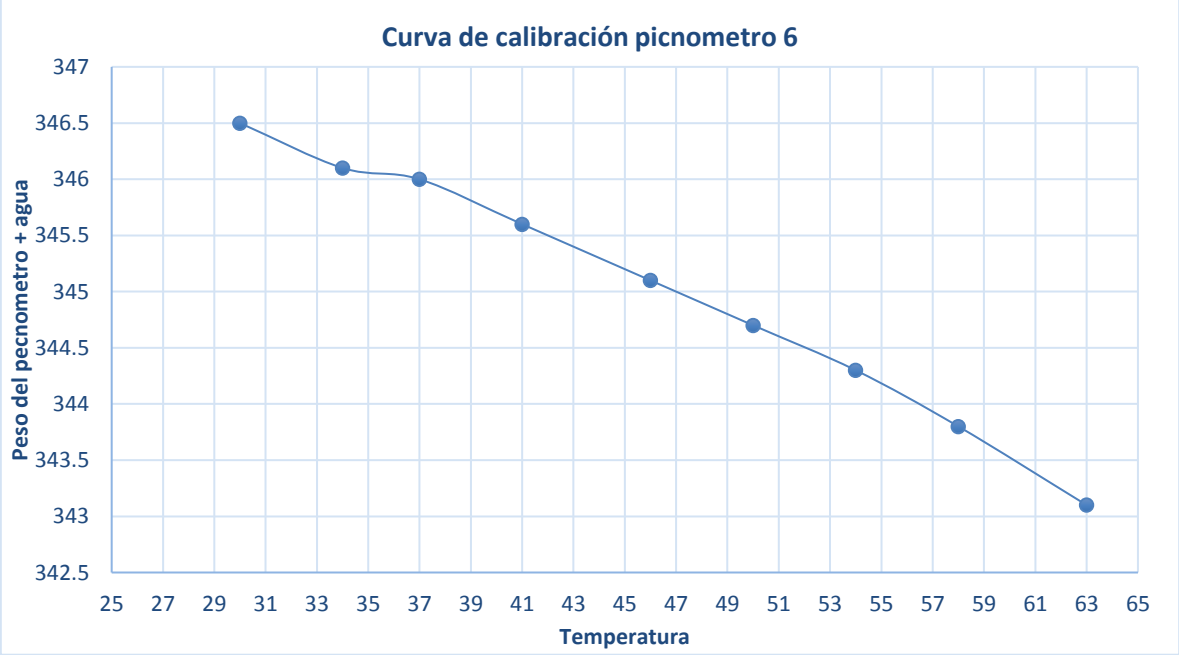
10.4. Graficas calibración de picnómetros para determinación del peso específico



Anexo 18. Curva de calibración picnómetro 10



Anexo 19. Curva de calibración picnómetro 4

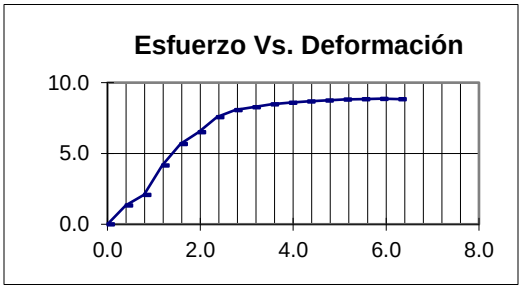


Anexo 20. Curva de calibración picnómetro

10.5. Compresión simple

Sondeo 1 – profundidad 1							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	96,50			**D_s :**	3,19	**H_1 :**	6,50
P2 (gr.):	79,80			**D_m :**	3,20	**H_2 :**	6,43
P3 (gr.):				**D_i :**	3,18	**H_3 :**	6,46
%w :	**20,93**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**6,46**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**8,00**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)	esfuerzo lb/pul2	esfuerzo kg/cm2
0,00	0,00	0,000	0,000	1,24	0,00	0,00	0,00
38,00	10,00	0,004	0,393	1,25	10,76	19,00	1,33
132,00	20,00	0,008	0,786	1,25	37,37	29,88	2,09
263,00	30,00	0,012	1,179	1,26	74,46	59,30	4,15
361,00	40,00	0,016	1,572	1,26	102,20	81,07	5,68
415,00	50,00	0,020	1,965	1,27	117,49	92,83	6,50
485,00	60,00	0,024	2,358	1,27	137,30	108,05	7,56
520,00	70,00	0,028	2,751	1,28	147,21	115,38	8,08
535,00	80,00	0,031	3,144	1,28	151,46	118,23	8,28
550,00	90,00	0,035	3,537	1,29	155,71	121,05	8,47
559,00	100,00	0,039	3,930	1,29	158,25	122,53	8,58
568,00	110,00	0,043	4,323	1,30	160,80	124,00	8,68
574,00	120,00	0,047	4,716	1,30	162,50	124,79	8,74
581,00	130,00	0,051	5,109	1,31	164,48	125,79	8,81
586,00	140,00	0,055	5,502	1,31	165,90	126,35	8,84
590,00	150,00	0,059	5,895	1,32	167,03	126,68	8,87
591,00	160,00	0,063	6,288	1,32	167,31	126,37	8,85
OBSERVACIONES:							
q_u	**8,85**	Kg/cm^2			**$\square_{sat}$**	**1,9**	Ton/mt^3
Cohesión	**4,42**	Kg/cm^2					

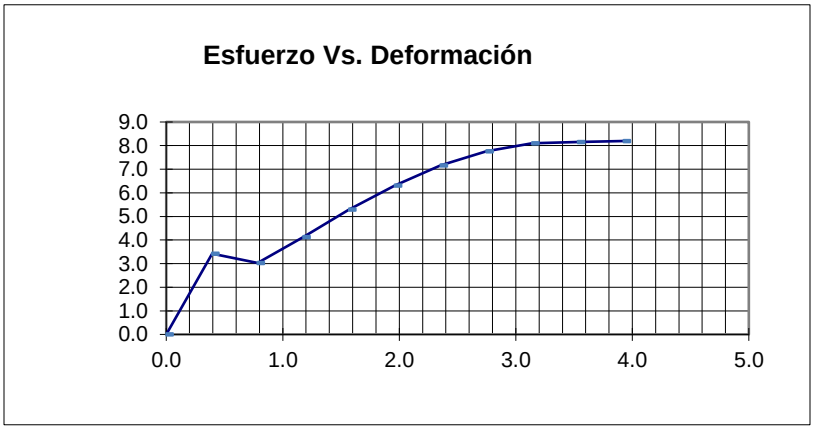
Anexo 21: Datos de compresión simple sondeo 1, profundidad 1m



Anexo 22: grafica esfuerzo –deformación, sondeo 1 profundidad 1m

Sondeo 1-profundidad 2m							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	104,90			**D_s :**	3,28	**H_1 :**	6,44
P2 (gr.):	84,30			**D_m :**	3,14	**H_2 :**	6,50
P3 (gr.):				**D_i :**	3,29	**H_3 :**	6,47
%w :	**24,44**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**6,47**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**8,11**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)	esfuerzo lb/pul2	esfuerzo kg/cm2
0,00	0,00	0,000	0,000	1,26	0,00	0,00	0,00
99,00	10,00	0,004	0,393	1,26	28,03	48,86	3,42
194,00	20,00	0,008	0,785	1,27	54,92	43,35	3,03
265,00	30,00	0,012	1,178	1,27	75,02	58,98	4,13
341,00	40,00	0,016	1,570	1,28	96,54	75,59	5,29
408,00	50,00	0,020	1,963	1,28	115,50	90,09	6,31
465,00	60,00	0,024	2,355	1,29	131,64	102,26	7,16
506,00	70,00	0,027	2,748	1,29	143,25	110,83	7,76
530,00	80,00	0,031	3,141	1,30	150,04	115,62	8,09
536,00	90,00	0,035	3,533	1,30	151,74	116,45	8,15
541,00	100,00	0,039	3,926	1,31	153,16	117,06	8,19
OBSERVACIONES:							
q_u	**8,19**	Kg/cm^2			**γ_{sat}**	**2,0**	Ton/mt^3
c	**4,10**	Kg/cm^2					

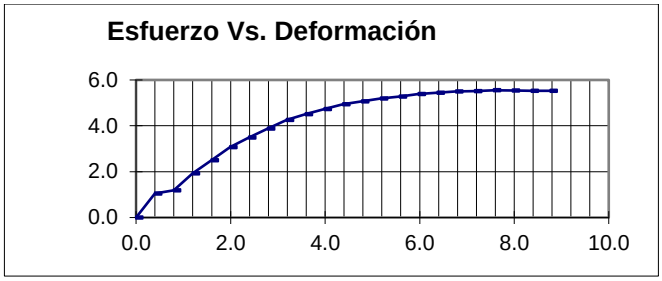
Anexo 23: Datos de compresión simple sondeo 1, profundidad 2m



Anexo 24: grafica esfuerzo –deformación, sondeo 1 profundidad 2m

Sondeo 1 – profundidad 3m							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	102,10			**D_s :**	3,18	**H_1 :**	6,39
P2 (gr.):	81,40			**D_m :**	3,17	**H_2 :**	6,36
P3 (gr.):				**D_i :**	3,25	**H_3 :**	6,38
%w :	**25,43**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**6,38**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**8,01**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)	esfuerzo lb/pul2	esfuerzo kg/cm2
0,00	0,00	0,000	0,000	1,24	0,00	0,00	0,00
30,00	10,00	0,004	0,398	1,25	8,49	15,00	1,05
75,00	20,00	0,008	0,797	1,25	21,23	16,97	1,19
122,00	30,00	0,012	1,195	1,26	34,54	27,50	1,93
159,00	40,00	0,016	1,593	1,26	45,01	35,70	2,50
196,00	50,00	0,020	1,992	1,27	55,49	43,83	3,07
224,00	60,00	0,024	2,390	1,27	63,41	49,88	3,49
250,00	70,00	0,028	2,788	1,28	70,78	55,45	3,88
275,00	80,00	0,032	3,187	1,28	77,85	60,74	4,25
293,00	90,00	0,036	3,585	1,29	82,95	64,45	4,51
309,00	100,00	0,040	3,983	1,29	87,48	67,69	4,74
324,00	110,00	0,044	4,382	1,30	91,72	70,68	4,95
333,00	120,00	0,048	4,780	1,30	94,27	72,34	5,06
343,00	130,00	0,052	5,178	1,31	97,10	74,20	5,19
350,00	140,00	0,056	5,577	1,31	99,09	75,40	5,28
359,00	150,00	0,060	5,975	1,32	101,63	77,01	5,39
364,00	160,00	0,064	6,373	1,33	103,05	77,75	5,44
369,00	170,00	0,068	6,772	1,33	104,46	78,48	5,49
372,00	180,00	0,072	7,170	1,34	105,31	78,78	5,51
376,00	190,00	0,076	7,568	1,34	106,45	79,29	5,55
377,00	200,00	0,080	7,967	1,35	106,73	79,16	5,54
378,00	210,00	0,084	8,365	1,35	107,01	79,02	5,53
379,00	220,00	0,088	8,763	1,36	107,29	78,89	5,52
OBSERVACIONES:							
q_u	**5,52**	Kg/cm^2			□**sat**	**2,0**	Ton/mt^3
c	**2,76**	Kg/cm^2					

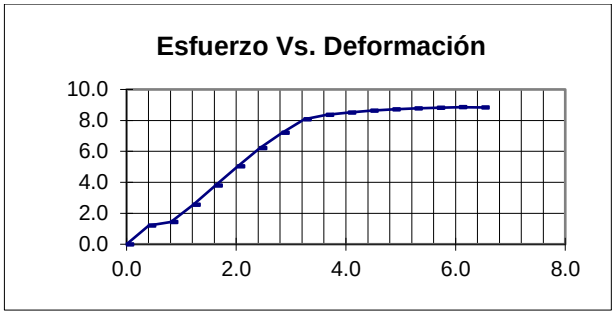
Anexo 25: Datos de compresión simple sondeo 1, profundidad 3m



Anexo 26: grafica esfuerzo –deformación, sondeo 1 profundidad 3m

Sondeo 2 – profundidad 2m							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	94,30			**D_s :**	3,20	**H_1 :**	6,21
P2 (gr.):	76,60			**D_m :**	3,05	**H_2 :**	6,30
P3 (gr.):				**D_i :**	3,17	**H_3 :**	6,29
%w :	**23,11**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**6,27**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**7,64**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)	esfuerzo lb/pul2	esfuerzo kg/cm2
0,00	0,00	0,000	0,000	1,18	0,00	0,00	0,00
33,00	10,00	0,004	0,405	1,19	9,34	17,29	1,21
86,00	20,00	0,008	0,811	1,19	24,35	20,40	1,43
154,00	30,00	0,012	1,216	1,20	43,60	36,38	2,55
230,00	40,00	0,016	1,621	1,20	65,11	54,12	3,79
307,00	50,00	0,020	2,027	1,21	86,91	71,94	5,04
380,00	60,00	0,024	2,432	1,21	107,58	88,67	6,21
443,00	70,00	0,028	2,837	1,22	125,41	102,94	7,21
498,00	80,00	0,032	3,243	1,22	140,98	115,24	8,07
519,00	90,00	0,036	3,648	1,23	146,93	119,60	8,37
530,00	100,00	0,041	4,053	1,23	150,04	121,62	8,51
540,00	110,00	0,045	4,459	1,24	152,87	123,39	8,64
547,00	120,00	0,049	4,864	1,24	154,86	124,46	8,71
553,00	130,00	0,053	5,269	1,25	156,55	125,29	8,77
558,00	140,00	0,057	5,674	1,25	157,97	125,88	8,81
563,00	150,00	0,061	6,080	1,26	159,39	126,46	8,85
565,00	160,00	0,065	6,485	1,27	159,95	126,36	8,85
OBSERVACIONES:							
q_u	**8,85**	Kg/cm^2			**$\square_{sat}$**	**2,0**	Ton/mt^3
c	**4,42**	Kg/cm^2					

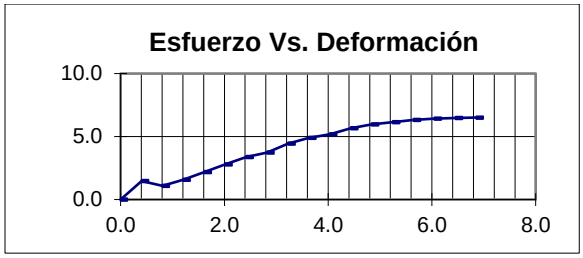
Anexo 27: Datos de compresión simple sondeo 2, profundidad 2m



Anexo 28: grafica esfuerzo –deformación, sondeo 2 profundidades 2 m

Sondeo 2 – profundidad 3m							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	108,68			**D_s :**	3,12	**H_1 :**	6,28
P2 (gr.):	89,73			**D_m :**	3,18	**H_2 :**	6,30
P3 (gr.):				**D_i :**	3,09	**H_3 :**	6,31
%w :	**21,12**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**6,30**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**7,76**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)	esfuerzo lb/pul2	esfuerzo kg/cm2
0,00	0,00	0,000	0,000	1,20	0,00	0,00	0,00
41,00	10,00	0,004	0,403	1,21	11,61	21,15	1,48
66,00	20,00	0,008	0,807	1,21	18,68	15,41	1,08
96,00	30,00	0,012	1,210	1,22	27,18	22,33	1,56
134,00	40,00	0,016	1,614	1,22	37,94	31,04	2,17
173,00	50,00	0,020	2,017	1,23	48,98	39,91	2,79
210,00	60,00	0,024	2,420	1,23	59,45	48,25	3,38
233,00	70,00	0,028	2,824	1,24	65,96	53,31	3,73
278,00	80,00	0,032	3,227	1,24	78,70	63,34	4,43
309,00	90,00	0,036	3,630	1,25	87,48	70,11	4,91
327,00	100,00	0,040	4,034	1,25	92,57	73,89	5,17
360,00	110,00	0,044	4,437	1,26	101,92	81,00	5,67
380,00	120,00	0,048	4,841	1,26	107,58	85,14	5,96
394,00	130,00	0,052	5,244	1,27	111,54	87,90	6,15
406,00	140,00	0,056	5,647	1,27	114,94	90,19	6,31
415,00	150,00	0,061	6,051	1,28	117,49	91,80	6,43
420,00	160,00	0,065	6,454	1,29	118,90	92,51	6,48
424,00	170,00	0,069	6,858	1,29	120,03	92,99	6,51
OBSERVACIONES:							
q_u	**6,51**	Kg/cm^2			**γ_{sat}**	**2,2**	Ton/mt^3
c	**3,25**	Kg/cm^2					

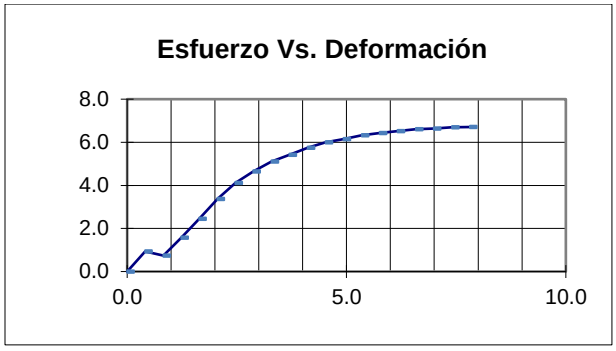
Anexo 29: Datos de compresión simple sondeo 2, profundidad 3m



Anexo 30: grafica esfuerzo –deformación, sondeo 2, profundidad 3 m

Sondeo 3- profundidad 2m							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	88,20			**D_s :**	3,19	**H_1 :**	6,14
P2 (gr.):	73,40			**D_m :**	3,18	**H_2 :**	6,20
P3 (gr.):				**D_i :**	3,07	**H_3 :**	6,19
%w :	**20,16**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**6,18**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**7,82**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)	esfuerzo lb/pul2	esfuerzo kg/cm2
0,00	0,00	0,000	0,000	1,21	0,00	0,00	0,00
26,00	10,00	0,004	0,411	1,22	7,36	13,31	0,93
46,00	20,00	0,008	0,822	1,22	13,02	10,66	0,75
97,00	30,00	0,012	1,234	1,23	27,46	22,38	1,57
152,00	40,00	0,016	1,645	1,23	43,03	34,92	2,44
210,00	50,00	0,021	2,056	1,24	59,45	48,04	3,36
258,00	60,00	0,025	2,467	1,24	73,04	58,77	4,11
293,00	70,00	0,029	2,879	1,25	82,95	66,47	4,65
323,00	80,00	0,033	3,290	1,25	91,44	72,96	5,11
344,00	90,00	0,037	3,701	1,26	97,39	77,37	5,42
366,00	100,00	0,041	4,112	1,26	103,61	81,97	5,74
384,00	110,00	0,045	4,523	1,27	108,71	85,63	5,99
395,00	120,00	0,049	4,935	1,27	111,82	87,71	6,14
409,00	130,00	0,053	5,346	1,28	115,79	90,42	6,33
417,00	140,00	0,058	5,757	1,29	118,05	91,79	6,43
425,00	150,00	0,062	6,168	1,29	120,32	93,14	6,52
433,00	160,00	0,066	6,580	1,30	122,58	94,48	6,61
436,00	170,00	0,070	6,991	1,30	123,43	94,72	6,63
442,00	180,00	0,074	7,402	1,31	125,13	95,60	6,69
445,00	190,00	0,078	7,813	1,31	125,98	95,82	6,71
OBSERVACIONES:							
q_u	**6,71**	Kg/cm^2			□**$_{sat}$**	**1,8**	Ton/mt^3
c	**3,35**	Kg/cm^2					

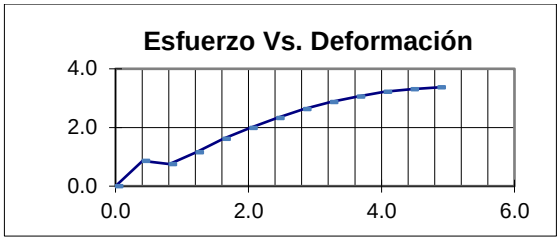
Anexo 31: Datos de compresión simple sondeo 3, profundidad 2m



Anexo 32: grafica esfuerzo –deformación, sondeo 3, profundidad 2 m

Sondeo 3- profundidad 3 m							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	100,30			**D_s :**	3,15	**H_1 :**	6,24
P2 (gr.):	76,30			**D_m :**	3,22	**H_2 :**	6,28
P3 (gr.):				**D_i :**	3,25	**H_3 :**	6,32
%w :	**31,45**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**6,28**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**8,09**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)	esfuerzo lb/pul2	esfuerzo kg/cm2
0,00	0,00	0,000	0,000	1,25	0,00	0,00	0,00
25,00	10,00	0,004	0,404	1,26	7,08	12,36	0,87
48,00	20,00	0,008	0,809	1,26	13,59	10,74	0,75
74,00	30,00	0,012	1,213	1,27	20,95	16,50	1,15
104,00	40,00	0,016	1,618	1,28	29,44	23,09	1,62
128,00	50,00	0,020	2,022	1,28	36,24	28,30	1,98
151,00	60,00	0,024	2,427	1,29	42,75	33,25	2,33
171,00	70,00	0,028	2,831	1,29	48,41	37,50	2,62
188,00	80,00	0,032	3,236	1,30	53,22	41,05	2,87
201,00	90,00	0,036	3,640	1,30	56,90	43,71	3,06
212,00	100,00	0,040	4,045	1,31	60,02	45,90	3,21
219,00	110,00	0,044	4,449	1,31	62,00	47,22	3,31
224,00	120,00	0,049	4,854	1,32	63,41	48,09	3,37
OBSERVACIONES:							
q_u	**3,37**	Kg/cm^2			**$\square_{sat}$**	**2,0**	Ton/mt^3
c	**1,68**	Kg/cm^2					

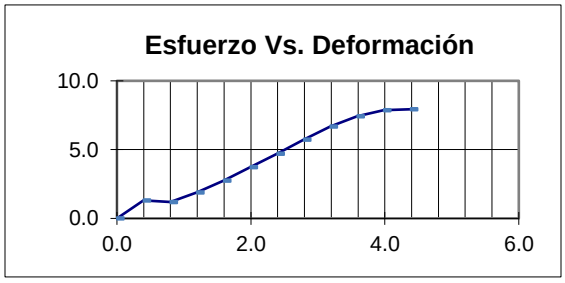
Anexo 33: Datos de compresión simple sondeo 3, profundidad 3m



Anexo 34: grafica esfuerzo –deformación, sondeo 3, profundidad 3 m

Sondeo 4 – profundidad 1							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	96.10			**D_s :**	3.18	**H_1 :**	6.35
P2 (gr.):	79.10			**D_m :**	3.06	**H_2 :**	6.39
P3 (gr.):				**D_i :**	3.20	**H_3 :**	6.38
%w :	**21.49**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**6.37**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**7.67**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)	esfuerzo lb/pul2	esfuerzo kg/cm2
0.00	0.00	0.000	0.000	1.19	0.00	0.00	0.00
36.00	10.00	0.004	0.399	1.19	10.19	18.78	1.31
72.00	20.00	0.008	0.797	1.20	20.38	17.00	1.19
115.00	30.00	0.012	1.196	1.20	32.56	27.05	1.89
168.00	40.00	0.016	1.594	1.21	47.56	39.35	2.75
228.00	50.00	0.020	1.993	1.21	64.55	53.19	3.72
290.00	60.00	0.024	2.391	1.22	82.10	67.38	4.72
354.00	70.00	0.028	2.790	1.22	100.22	81.91	5.73
414.00	80.00	0.032	3.188	1.23	117.20	95.40	6.68
463.00	90.00	0.036	3.587	1.23	131.08	106.25	7.44
492.00	100.00	0.040	3.985	1.24	139.29	112.44	7.87
498.00	110.00	0.044	4.384	1.24	140.98	113.34	7.93
OBSERVACIONES:							
q_u	**7.93**	Kg/cm^2			□**sat**	**2.0**	Ton/mt^3
c	**3.97**	Kg/cm^2					

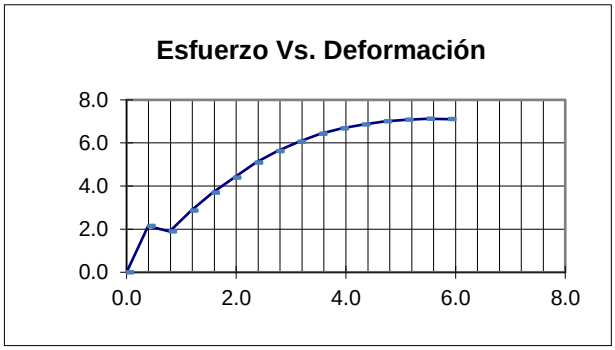
Anexo 35: Datos de compresión simple sondeo 4, profundidad 1m



Anexo 36: grafica esfuerzo –deformación, sondeo 4, profundidad 1 m

Sondeo 4- profundidad 2							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	106.40			**D_s :**	3.27	**H_1 :**	6.49
P2 (gr.):	84.50			**D_m :**	3.11	**H_2 :**	6.48
P3 (gr.):				**D_i :**	3.25	**H_3 :**	6.47
%w :	**25.92**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**6.48**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**7.97**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)	esfuerzo lb/pul2	esfuerzo kg/cm2
0.00	0.00	0.000	0.000	1.24	0.00	0.00	0.00
61.00	10.00	0.004	0.392	1.24	17.27	30.63	2.14
119.00	20.00	0.008	0.784	1.25	33.69	27.05	1.89
180.00	30.00	0.012	1.176	1.25	50.96	40.76	2.85
234.00	40.00	0.016	1.568	1.26	66.25	52.77	3.69
279.00	50.00	0.020	1.960	1.26	78.98	62.67	4.39
325.00	60.00	0.024	2.352	1.27	92.01	72.71	5.09
360.00	70.00	0.027	2.744	1.27	101.92	80.22	5.62
390.00	80.00	0.031	3.136	1.28	110.41	86.55	6.06
415.00	90.00	0.035	3.528	1.28	117.49	91.73	6.42
433.00	100.00	0.039	3.920	1.29	122.58	95.32	6.67
447.00	110.00	0.043	4.312	1.29	126.55	98.00	6.86
458.00	120.00	0.047	4.704	1.30	129.66	100.00	7.00
465.00	130.00	0.051	5.096	1.30	131.64	101.11	7.08
470.00	140.00	0.055	5.488	1.31	133.06	101.78	7.12
471.00	150.00	0.059	5.880	1.31	133.34	101.57	7.11
OBSERVACIONES:							
q_u	**7.11**	Kg/cm^2			**γ_{sat}**	**2.1**	Ton/mt^3
c	**3.55**	Kg/cm^2					

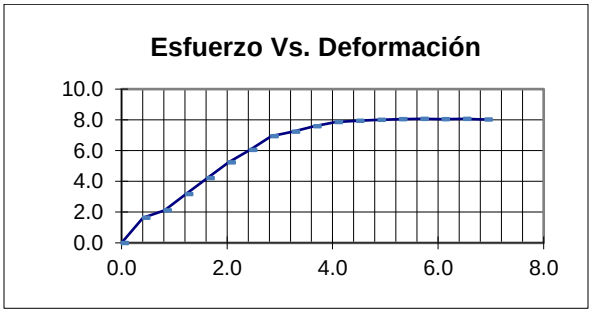
Anexo 37: Datos de compresión simple sondeo 4, profundidad 2m



Anexo 38: grafica esfuerzo –deformación, sondeo 4, profundidad 2 m

Sondeo 5- profundidad 2							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	86.50			**D_s :**	3.06	**H_1 :**	6.30
P2 (gr.):	72.80			**D_m :**	3.18	**H_2 :**	6.21
P3 (gr.):				**D_i :**	3.10	**H_3 :**	6.27
%w :	**18.82**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**6.26**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**7.70**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)	esfuerzo lb/pul2	esfuerzo kg/cm2
0.00	0.00	0.000	0.000	1.19	0.00	0.00	0.00
45.00	10.00	0.004	0.406	1.20	12.74	23.40	1.64
128.00	20.00	0.008	0.812	1.20	36.24	30.13	2.11
193.00	30.00	0.012	1.217	1.21	54.64	45.24	3.17
258.00	40.00	0.016	1.623	1.21	73.04	60.23	4.22
322.00	50.00	0.020	2.029	1.22	91.16	74.86	5.24
373.00	60.00	0.024	2.435	1.22	105.60	86.36	6.05
430.00	70.00	0.028	2.840	1.23	121.73	99.14	6.94
450.00	80.00	0.032	3.246	1.23	127.40	103.32	7.23
474.00	90.00	0.037	3.652	1.24	134.19	108.38	7.59
493.00	100.00	0.041	4.058	1.24	139.57	112.24	7.86
500.00	110.00	0.045	4.463	1.25	141.55	113.36	7.94
507.00	120.00	0.049	4.869	1.25	143.53	114.46	8.01
511.00	130.00	0.053	5.275	1.26	144.66	114.87	8.04
515.00	140.00	0.057	5.681	1.26	145.80	115.27	8.07
516.00	150.00	0.061	6.086	1.27	146.08	115.00	8.05
519.00	160.00	0.065	6.492	1.28	146.93	115.17	8.06
519.00	170.00	0.069	6.898	1.28	146.93	114.67	8.03
OBSERVACIONES:							
q_u	**8.03**	Kg/cm^2			**$\square_{sat}$**	**1.8**	Ton/mt^3
c	**4.01**	Kg/cm^2					

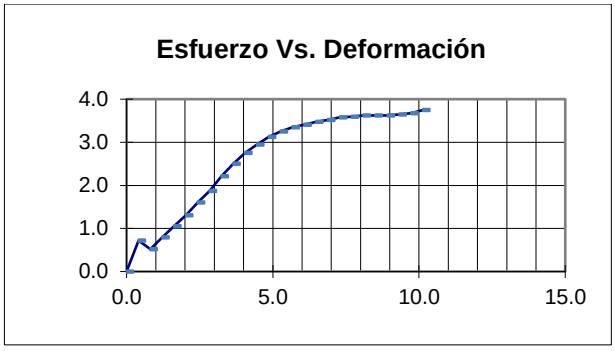
Anexo 39: Datos de compresión simple sondeo 5, profundidad 2m



Anexo 40: grafica esfuerzo –deformación, sondeo 5, profundidad 2 m

Sondeo 5 – profundidad 3							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	93.80			**D_s :**	3.20	**H_1 :**	6.25
P2 (gr.):	77.80			**D_m :**	3.07	**H_2 :**	6.26
P3 (gr.):				**D_i :**	3.25	**H_3 :**	6.29
%w :	**20.57**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**6.27**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**7.79**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)	esfuerzo lb/pul2	esfuerzo kg/cm2
0.00	0.00	0.000	0.000	1.21	0.00	0.00	0.00
20.00	10.00	0.004	0.405	1.21	5.66	10.28	0.72
32.00	20.00	0.008	0.811	1.22	9.06	7.45	0.52
49.00	30.00	0.012	1.216	1.22	13.87	11.36	0.79
65.00	40.00	0.016	1.621	1.23	18.40	15.00	1.05
81.00	50.00	0.020	2.027	1.23	22.93	18.62	1.30
100.00	60.00	0.024	2.432	1.24	28.31	22.89	1.60
117.00	70.00	0.028	2.837	1.24	33.12	26.67	1.87
139.00	80.00	0.032	3.243	1.25	39.35	31.55	2.21
158.00	90.00	0.036	3.648	1.25	44.73	35.71	2.50
175.00	100.00	0.041	4.053	1.26	49.54	39.39	2.76
188.00	110.00	0.045	4.459	1.26	53.22	42.14	2.95
200.00	120.00	0.049	4.864	1.27	56.62	44.64	3.12
209.00	130.00	0.053	5.269	1.27	59.17	46.45	3.25
216.00	140.00	0.057	5.674	1.28	61.15	47.80	3.35
221.00	150.00	0.061	6.080	1.28	62.57	48.69	3.41
226.00	160.00	0.065	6.485	1.29	63.98	49.58	3.47
230.00	170.00	0.069	6.890	1.30	65.11	50.24	3.52
235.00	180.00	0.073	7.296	1.30	66.53	51.11	3.58
237.00	190.00	0.077	7.701	1.31	67.09	51.32	3.59
240.00	200.00	0.081	8.106	1.31	67.94	51.74	3.62
241.00	210.00	0.085	8.512	1.32	68.23	51.72	3.62
242.00	220.00	0.089	8.917	1.32	68.51	51.71	3.62
245.00	230.00	0.093	9.322	1.33	69.36	52.12	3.65
248.00	240.00	0.097	9.728	1.34	70.21	52.52	3.68
254.00	250.00	0.101	10.133	1.34	71.91	53.55	3.75
OBSERVACIONES:							
q_u	**3.75**	Kg/cm^2			**γ_{sat}**	**1.9**	Ton/mt^3
c	**1.87**	Kg/cm^2					

Anexo 41: Datos de compresión simple sondeo 5, profundidad 3m

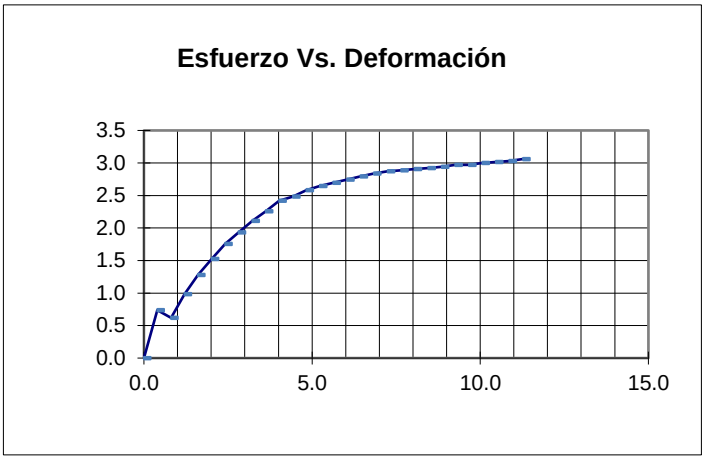


Anexo 42: grafica esfuerzo –deformación, sondeo 5, profundidad 3 m

Sondeo 6 -profundidad 1							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	97.43			**D_s :**	3.12	**H_1 :**	6.30
P2 (gr.):	77.00			**D_m :**	3.22	**H_2 :**	6.31
P3 (gr.):				**D_i :**	3.18	**H_3 :**	6.32
%w :	**26.53**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**6.31**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**7.97**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)	esfuerzo lb/pul2	esfuerzo kg/cm2
0.00	0.00	0.000	0.000	1.24	0.00	0.00	0.00
21.00	10.00	0.004	0.403	1.24	5.95	10.55	0.74
39.00	20.00	0.008	0.805	1.25	11.04	8.87	0.62
62.00	30.00	0.012	1.208	1.25	17.55	14.04	0.98
81.00	40.00	0.016	1.610	1.26	22.93	18.27	1.28
97.00	50.00	0.020	2.013	1.26	27.46	21.79	1.52
112.00	60.00	0.024	2.415	1.27	31.71	25.05	1.75
124.00	70.00	0.028	2.818	1.27	35.10	27.62	1.93
136.00	80.00	0.032	3.220	1.28	38.50	30.17	2.11
146.00	90.00	0.036	3.623	1.28	41.33	32.25	2.26
157.00	100.00	0.040	4.025	1.29	44.45	34.54	2.42
162.00	110.00	0.044	4.428	1.29	45.86	35.49	2.48
169.00	120.00	0.048	4.830	1.30	47.84	36.86	2.58
174.00	130.00	0.052	5.233	1.30	49.26	37.79	2.65
178.00	140.00	0.056	5.635	1.31	50.39	38.50	2.69

182.00	150.00	0.060	6.038	1.31	51.52	39.20	2.74
186.00	160.00	0.064	6.441	1.32	52.66	39.89	2.79
190.00	170.00	0.068	6.843	1.33	53.79	40.57	2.84
193.00	180.00	0.072	7.246	1.33	54.64	41.03	2.87
195.00	190.00	0.076	7.648	1.34	55.20	41.28	2.89
197.00	200.00	0.081	8.051	1.34	55.77	41.52	2.91
199.00	210.00	0.085	8.453	1.35	56.34	41.76	2.92
201.00	220.00	0.089	8.856	1.36	56.90	41.99	2.94
204.00	230.00	0.093	9.258	1.36	57.75	42.43	2.97
205.00	240.00	0.097	9.661	1.37	58.04	42.45	2.97
208.00	250.00	0.101	10.063	1.37	58.88	42.88	3.00
210.00	260.00	0.105	10.466	1.38	59.45	43.10	3.02
212.00	270.00	0.109	10.868	1.39	60.02	43.31	3.03
215.00	280.00	0.113	11.271	1.39	60.87	43.73	3.06
OBSERVACIONES:							
q_u	**3.06**	Kg/cm²			$\square_{sat}$	**1.9**	Ton/mt³
c	**1.53**	Kg/cm²					

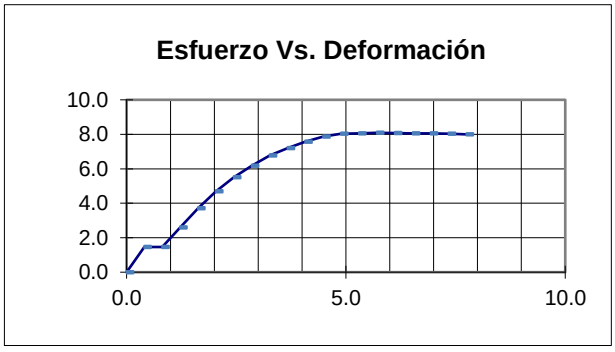
Anexo 43: Datos de compresión simple sondeo 6, profundidad 1m



Anexo 44: grafica esfuerzo –deformación, sondeo 6, profundidad 1 m

Sondeo 6 – profundidad 2m							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	96.40			**D_s :**	3.21	**H_1 :**	6.23
P2 (gr.):	78.90			**D_m :**	3.19	**H_2 :**	6.25
P3 (gr.):				**D_i :**	3.02	**H_3 :**	6.21
%w :	**22.18**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**6.23**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**7.81**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)	esfuerzo lb/pul2	esfuerzo kg/cm2
0.00	0.00	0.000	0.000	1.21	0.00	0.00	0.00
41.00	10.00	0.004	0.408	1.22	11.61	21.01	1.47
90.00	20.00	0.008	0.815	1.22	25.48	20.88	1.46
160.00	30.00	0.012	1.223	1.23	45.30	36.96	2.59
230.00	40.00	0.016	1.631	1.23	65.11	52.91	3.70
293.00	50.00	0.020	2.039	1.24	82.95	67.12	4.70
345.00	60.00	0.024	2.446	1.24	97.67	78.71	5.51
389.00	70.00	0.029	2.854	1.25	110.13	88.37	6.19
428.00	80.00	0.033	3.262	1.25	121.17	96.83	6.78
456.00	90.00	0.037	3.669	1.26	129.09	102.73	7.19
482.00	100.00	0.041	4.077	1.26	136.45	108.12	7.57
503.00	110.00	0.045	4.485	1.27	142.40	112.35	7.86
516.00	120.00	0.049	4.892	1.27	146.08	114.77	8.03
520.00	130.00	0.053	5.300	1.28	147.21	115.16	8.06
524.00	140.00	0.057	5.708	1.28	148.34	115.55	8.09
525.00	150.00	0.061	6.116	1.29	148.63	115.27	8.07
526.00	160.00	0.065	6.523	1.30	148.91	114.98	8.05
528.00	170.00	0.069	6.931	1.30	149.48	114.92	8.04
530.00	180.00	0.073	7.339	1.31	150.04	114.85	8.04
530.00	190.00	0.077	7.746	1.31	150.04	114.34	8.00
OBSERVACIONES:							
q_u	**8.00**	Kg/cm^2			□sat	**2.0**	Ton/mt^3
c	**4.00**	Kg/cm^2					

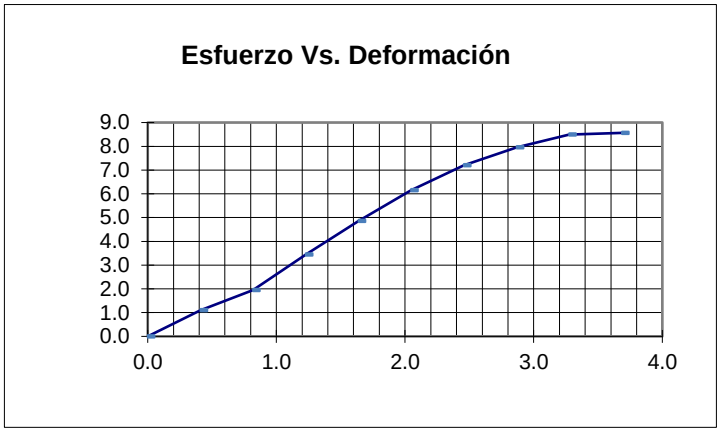
Anexo 45: Datos de compresión simple sondeo 6, profundidad 2m



Anexo 46: grafica esfuerzo –deformación, sondeo 6, profundidad 2 m

Sondeo 7 – profundidad 1 m							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	92.90			**D_s :**	3.20	**H_1 :**	6.17
P2 (gr.):	76.80			**D_m :**	3.10	**H_2 :**	6.20
P3 (gr.):				**D_i :**	3.07	**H_3 :**	6.24
%w :	**20.96**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**6.20**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**7.64**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)	esfuerzo lb/pul2	esfuerzo kg/cm2
0.00	0.00	0.000	0.000	1.18	0.00	0.00	0.00
30.00	10.00	0.004	0.409	1.19	8.49	15.72	1.10
117.00	20.00	0.008	0.819	1.19	33.12	27.76	1.94
208.00	30.00	0.012	1.228	1.20	58.88	49.15	3.44
295.00	40.00	0.016	1.638	1.20	83.51	69.41	4.86
375.00	50.00	0.020	2.047	1.21	106.16	87.87	6.15
441.00	60.00	0.025	2.457	1.21	124.85	102.90	7.20
489.00	70.00	0.029	2.866	1.22	138.44	113.63	7.95
524.00	80.00	0.033	3.276	1.22	148.34	121.24	8.49
531.00	90.00	0.037	3.685	1.23	150.33	122.34	8.56
OBSERVACIONES:							
q_u	**8.56**	Kg/cm^2			**γ_{sat}**	**2.0**	Ton/mt^3
c	**4.28**	Kg/cm^2					

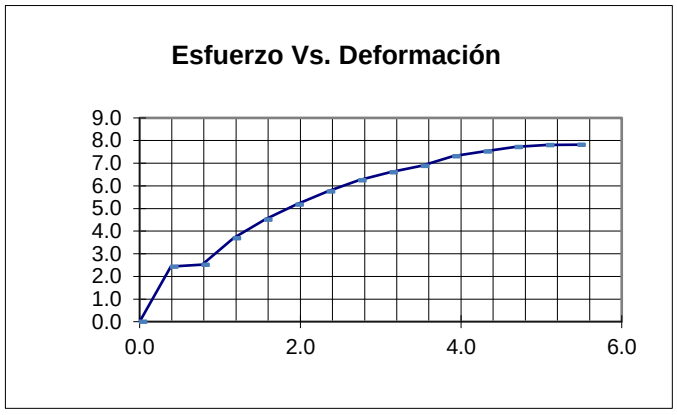
Anexo 47: Datos de compresión simple sondeo 7, profundidad 1m



Anexo 48: grafica esfuerzo –deformación, sondeo 7, profundidad 1 m

Sondeo 7 – profundidad 2m							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	97.80			**D_s :**	3.19	**H_1 :**	6.55
P2 (gr.):	78.70			**D_m :**	3.21	**H_2 :**	6.50
P3 (gr.):				**D_i :**	3.20	**H_3 :**	6.49
%w :	**24.27**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**6.51**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**8.06**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)	esfuerzo lb/pul2	esfuerzo kg/cm2
0.00	0.00	0.000	0.000	1.25	0.00	0.00	0.00
70.00	10.00	0.004	0.390	1.25	19.82	34.78	2.43
160.00	20.00	0.008	0.780	1.26	45.30	36.00	2.52
235.00	30.00	0.012	1.170	1.26	66.53	52.66	3.69
289.00	40.00	0.016	1.560	1.27	81.82	64.51	4.52
333.00	50.00	0.019	1.950	1.27	94.27	74.03	5.18
371.00	60.00	0.023	2.340	1.28	105.03	82.15	5.75
405.00	70.00	0.027	2.730	1.28	114.66	89.32	6.25
430.00	80.00	0.031	3.120	1.29	121.73	94.46	6.61
450.00	90.00	0.035	3.510	1.29	127.40	98.45	6.89
479.00	100.00	0.039	3.900	1.30	135.60	104.38	7.31
495.00	110.00	0.043	4.290	1.30	140.13	107.42	7.52
510.00	120.00	0.047	4.680	1.31	144.38	110.23	7.72
518.00	130.00	0.051	5.070	1.32	146.65	111.50	7.80
521.00	140.00	0.055	5.460	1.32	147.50	111.68	7.82
OBSERVACIONES:							
q_u	**7.82**	Kg/cm^2			$\square_{sat}$	**1.9**	Ton/mt^3
c	**3.91**	Kg/cm^2					

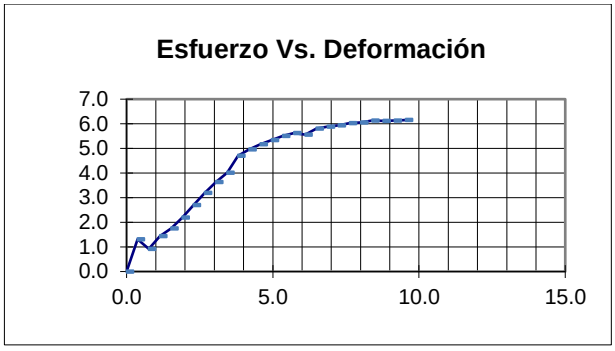
Anexo 49: Datos de compresión simple sondeo 7, profundidad 2m



Anexo 50: grafica esfuerzo –deformación, sondeo 7, profundidad 2 m

Sondeo 7 – profundidad 3m							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	106.60			**D_s :**	3.22	**H_1 :**	6.65
P2 (gr.):	88.20			**D_m :**	3.26	**H_2 :**	6.66
P3 (gr.):				**D_i :**	3.27	**H_3 :**	6.65
%w :	**20.86**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**6.65**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**8.31**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)	esfuerzo lb/pul2	esfuerzo kg/cm2
0.00	0.00	0.000	0.000	1.29	0.00	0.00	0.00
39.00	10.00	0.004	0.382	1.29	11.04	18.79	1.32
60.00	20.00	0.008	0.764	1.30	16.99	13.09	0.92
95.00	30.00	0.011	1.145	1.30	26.89	20.64	1.45
116.00	40.00	0.015	1.527	1.31	32.84	25.11	1.76
145.00	50.00	0.019	1.909	1.31	41.05	31.27	2.19
180.00	60.00	0.023	2.291	1.32	50.96	38.66	2.71
213.00	70.00	0.027	2.672	1.32	60.30	45.57	3.19
244.00	80.00	0.031	3.054	1.33	69.08	52.00	3.64
270.00	90.00	0.034	3.436	1.33	76.44	57.31	4.01
318.00	100.00	0.038	3.818	1.34	90.03	67.23	4.71
337.00	110.00	0.042	4.199	1.34	95.40	70.97	4.97
352.00	120.00	0.046	4.581	1.35	99.65	73.83	5.17
365.00	130.00	0.050	4.963	1.36	103.33	76.25	5.34
378.00	140.00	0.053	5.345	1.36	107.01	78.65	5.51
388.00	150.00	0.057	5.726	1.37	109.84	80.41	5.63
385.00	160.00	0.061	6.108	1.37	108.99	79.46	5.56
404.00	170.00	0.065	6.490	1.38	114.37	83.04	5.81
411.00	180.00	0.069	6.872	1.38	116.35	84.14	5.89
416.00	190.00	0.073	7.254	1.39	117.77	84.81	5.94
424.00	200.00	0.076	7.635	1.39	120.03	86.09	6.03
428.00	210.00	0.080	8.017	1.40	121.17	86.54	6.06
435.00	220.00	0.084	8.399	1.41	123.15	87.59	6.13
436.00	230.00	0.088	8.781	1.41	123.43	87.43	6.12
439.00	240.00	0.092	9.162	1.42	124.28	87.66	6.14
442.00	250.00	0.095	9.544	1.42	125.13	87.89	6.15
OBSERVACIONES:							
q_u	**6.15**	Kg/cm^2			**$\square_{sat}$**	**1.9**	Ton/mt^3
c	**3.08**	Kg/cm^2					

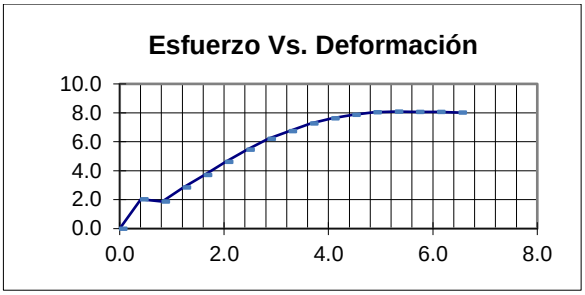
Anexo 51: Datos de compresión simple sondeo 7, profundidad 3m



Anexo 52: grafica esfuerzo –deformación, sondeo 7, profundidad 3 m

Sondeo 8 – profundidad 2							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	94.50			**D_s :**	3.13	**H_1 :**	6.25
P2 (gr.):	77.20			**D_m :**	3.20	**H_2 :**	6.24
P3 (gr.):				**D_i :**	3.05	**H_3 :**	6.26
%w :	**22.41**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**6.25**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**7.77**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)	esfuerzo lb/pul2	esfuerzo kg/cm2
0.00	0.00	0.000	0.000	1.20	0.00	0.00	0.00
56.00	10.00	0.004	0.406	1.21	15.85	28.84	2.02
115.00	20.00	0.008	0.813	1.21	32.56	26.81	1.88
175.00	30.00	0.012	1.219	1.22	49.54	40.63	2.84
229.00	40.00	0.016	1.626	1.22	64.83	52.95	3.71
287.00	50.00	0.020	2.032	1.23	81.25	66.08	4.63
340.00	60.00	0.024	2.438	1.23	96.25	77.96	5.46
388.00	70.00	0.028	2.845	1.24	109.84	88.59	6.20
424.00	80.00	0.033	3.251	1.25	120.03	96.41	6.75
458.00	90.00	0.037	3.658	1.25	129.66	103.70	7.26
483.00	100.00	0.041	4.064	1.26	136.74	108.90	7.62
500.00	110.00	0.045	4.470	1.26	141.55	112.26	7.86
514.00	120.00	0.049	4.877	1.27	145.51	114.91	8.04
519.00	130.00	0.053	5.283	1.27	146.93	115.53	8.09
520.00	140.00	0.057	5.690	1.28	147.21	115.26	8.07
522.00	150.00	0.061	6.096	1.28	147.78	115.20	8.06
522.00	160.00	0.065	6.502	1.29	147.78	114.70	8.03
OBSERVACIONES:							
q_u	**8.03**	Kg/cm^2			**γ_{sat}**	**1.9**	Ton/mt^3
c	**4.01**	Kg/cm^2					

Anexo 53: Datos de compresión simple sondeo 8, profundidad 2m



Anexo 54: grafica esfuerzo –deformación, sondeo 8, profundidad 2 m

10.6. Lecturas de corte directo

SONDEO 1									
Defor.	Profundidad 1m			Profundidad 2m			Profundidad 3m		
	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 1	Peso 2	Peso 3
	0,77 kg	1,55 kg	3,09 kg	1,73 kg	3,46 kg	6,92 kg	2,42 kg	4,84 kg	9,68 kg
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	7,5	10,0	11,5	9,5	10,5	13,0	8,0	11,0	12,5
20	19,0	17,0	21,0	19,5	17,0	23,0	26,5	25,0	42,0
30	24,0	26,0	27,0	33,0	25,0	46,5	77,0	69,5	71,0
40	31,0	42,0	39,0	48,0	49,0	71,5	88,5	93,5	94,0
50	42,5	56,5	48,0	65,5	84,0	91,0	113,5	119,0	129,0
60	59,5	71,0	64,0	91,0	114,5	127,0	145,0	138,5	149,5
70	83,0	87,5	91,5	122,0	152,0	165,0	186,0	173,0	171,0
80	106,0	103,0	115,0	172,5	196,5	189,0	209,0	214,0	208,5
90	151,0	132,0	144,0	210,0	222,5	225,0	230,5	239,0	228,0
100	197,5	161,0	173,0	268,0	283,0	270,5	252,0	265,5	251,0
110	244,0	189,0	203,5	308,0	315,0	317,0	281,5	297,0	289,5
120	276,0	212,0	241,0	345,0	376,0	350,5	313,0	319,0	308,0
130	312,0	254,0	296,0	373,0	406,5	384,5	344,5	376,0	357,5
140	348,0	299,0	323,0	409,0	456,0	414,0	378,0	408,0	393,0
150	389,0	328,0	400,5	450,0	498,0	449,0		435,0	418,0
160	433,0	398,0	456,0	486,0	536,5	477,0		472,5	455,5
170	488,0	437,5	514,0		585,0	519,5			484,0
180	523,5	487,0	561,0		612,5	566,0			512,0
190	556,0	539,5	585,5			605,0			542,5
200			602,0			638,0			
210						668,5			

Anexo 55. Sondeo 1. Lectura maquina corte directo.

SONDEO 2									
Defor.	Profundidad 1m			Profundidad 2m			Profundidad 3m		
	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 1	Peso 2	Peso 3
	0,8 kg	1,6kg	3,2kg	1,5 kg	3,0 kg	6,0 kg	1,6 kg	4,7 kg	9,4 kg
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	10,5	25,5	27,5	7,5	19,5	15,0	15,5	7,5	17,0
20	17,5	48,0	56,0	21,5	29,0	33,0	36,5	15,0	32,0
30	23,5	59,5	89,0	43,0	45,0	56,5	67,0	29,5	51,0
40	29,5	83,0	118,0	58,0	69,0	81,5	98,0	33,5	64,0
50	54,5	120,0	158,5	75,5	104,0	111,0	130,5	49,0	79,0
60	89,0	162,5	209,0	110,0	134,5	147,0	155,0	68,5	93,0
70	133,0	208,0	264,0	142,5	172,5	185,0	176,5	93,0	117,0
80	184,0	256,5	318,0	182,5	206,0	219,0	197,0	124,5	148,5
90	238,0	309,5	373,0	220,0	242,5	255,0	210,0	192,0	181,5
100	293,5	362,0	434,0	257,0	273,5	290,5	222,5	225,0	215,0
110	344,0	414,5	488,5	291,0	300,5	327,0	231,5	247,5	249,5
120	407,0	517,0	539,0	315,0	326,0	360,5	239,0	279,0	278,0
130	462,5	566,0	590,0	343,0	346,5	394,0	244,5	286,0	307,5
140	514,0	616,5	638,0	369,0	365,5	424,0		303,5	333,0
150	562,0	660,5	680,0	380,0	378,0	459,0		325,0	358,0
160	596,5	702,5	710,0	386,0	386,5	487,5		342,0	388,0
170	637,0	731,0		388,0	385,0	509,0			401,0
180	653,0					539,5			412,0
190						560,0			420,5
200						580,0			
210						598,5			

Anexo 56. Sondeo 2. Lectura maquina corte directo

SONDEO 3									
Defor.	Profundidad 1m			Profundidad 2m			Profundidad 3m		
	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 1	Peso 2	Peso 3
	0,69 kg	1,39 kg	2,77 kg	1,55 kg	3,10 kg	6,20 kg	2,31 kg	4,62 kg	9,24 kg
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	4,5	10,5	9,0	9,0	10,0	9,5	10,5	10,0	8,5
20	8,5	14,5	15,5	18,5	34,0	25,5	28,0	24,5	25,0
30	14,0	38,0	31,5	34,0	58,5	41,0	40,5	58,0	42,0
40	15,5	54,0	60,0	55,0	84,0	70,0	75,5	94,0	81,0
50	18,0	89,0	86,5	76,0	109,0	106,5	98,0	108,0	116,0
60	29,5	118,5	122,5	92,0	138,0	145,5	119,0	138,0	143,0

70	46,5	145,0	159,0	124,5	154,0	179,0	146,0	154,0	176,0
80	76,0	185,5	198,0	162,0	194,0	208,0	177,0	198,0	207,5
90	108,5	225,0	227,0	198,0	215,0	237,0	205,0	212,0	244,0
100	152,0	267,0	264,0	212,0	256,0	284,0	235,0	247,0	276,0
110	194,6	304,5	301,0	246,5	295,5	313,5	264,0	275,0	299,5
120	230,0	339,0	333,5	286,0	319,0	383,0	293,0	301,0	322,0
130	270,0	379,0	353,5	307,0	367,0	403,0	317,0	359,0	363,0
140	303,0	412,0	388,0	343,0	382,0	448,0	343,0	394,0	378,5
150	337,5	433,5	416,0	373,0	423,0	496,0	377,0	423,5	407,0
160	367,0	472,0	449,0	400,5	448,0	519,0	402,0	467,0	439,0
170	384,0	507,0	479,5	424,0	497,5	539,5		486,0	458,0
180		537,0	505,0	457,5	516,0	575,0		507,0	485,5
190			526,5		531,5				506,0
200			568,5						538,0

Anexo 57. Sondeo 3. Lectura maquina corte directo

SONDEO 4									
Defor.	Profundidad 1m			Profundidad 2m			Profundidad 3m		
	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 1	Peso 2	Peso 3
	0,8 kg	1,6 kg	3,21 kg	1,61 kg	3,21 kg	6,42 kg	2,34 kg	4,69 kg	9,38 kg
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	10,0	11,5	8,5	9,5	12,0	11,0	8,0	10,0	13,5
20	13,5	16,5	16,0	11,0	19,5	17,0	14,0	19,0	26,0
30	17,5	23,5	20,5	15,5	27,0	23,0	20,5	31,5	36,5
40	21,0	32,0	25,5	22,5	36,0	33,5	27,5	62,0	49,0
50	28,0	43,5	31,0	27,0	45,5	46,0	33,0	96,0	68,0
60	36,5	53,0	37,5	41,0	51,0	59,0	45,0	125,0	94,0
70	57,5	62,5	44,5	56,0	63,0	61,5	61,5	176,5	117,5
80	106,0	83,5	53,0	89,5	78,0	82,0	92,0	204,0	165,0
90	143,5	106,0	61,0	124,0	94,5	96,5	114,5	246,0	183,5
100	192,0	132,5	67,5	156,5	119,0	111,0	168,0	288,0	209,0
110	243,0	199,0	94,5	212,0	168,0	134,0	206,0	324,0	277,0
120	294,5	220,0	137,5	274,0	207,5	153,0	274,0	363,0	311,0
130	340,0	278,5	194,0	338,0	298,0	201,5	311,0	410,5	368,0
140	401,0	312,0	248,5	396,5	321,0	239,0	353,0	459,0	408,5
150	460,0	344,0	306,5	440,5	384,5	265,0	397,5	493,5	469,0
160	520,0	409,0	420,0	512,0	429,0	315,5	421,0	533,0	521,0

170	563,5	432,0	475,5	568,0	496,0	384,0	463,5	567,0	573,0
180	615,0	499,5	535,5	593,5	522,5	431,0	518,0	612,0	615,0
190	667,0	561,0	556,0	618	591,5	502,0		634,5	684,0
200		583,0	596,5	676	635,5	587,0		678	724,0
210		616,5	653		678	643			755,5
220			702		692,5	697,5			782,5
230			758,5			751			799
240			806,5			786,5			
250			856						

Anexo 58. Sondeo 4. Lectura maquina corte directo

MATERIAL REMOLDEADO (Prof. Prom. 2,0m)									
Defor.	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 1	Peso 2	Peso 3
	3,0 kg	6,0 kg	12,0 kg	3,5 kg	7,0 kg	14,0 kg	3,5 kg	7,0 kg	14,0 kg
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,045	0,195	0,208	0,034	0,023	0,194	0,034	0,147	0,080
20	0,079	0,367	0,439	0,057	0,057	0,274	0,147	0,293	0,194
30	0,113	0,551	0,647	0,125	0,148	0,411	0,383	0,508	0,342
40	0,170	0,712	0,913	0,272	0,251	0,559	0,632	0,699	0,445
50	0,295	0,896	1,178	0,488	0,422	0,799	0,868	0,880	0,548
60	0,442	1,056	1,375	0,692	0,582	1,084	1,105	1,004	0,673
70	0,601	1,194	1,490	0,896	0,730	1,290	1,331	1,128	0,810
80	0,647	1,332	1,629	1,101	0,856	1,427	1,489	1,184	0,936
90	0,896	1,447	1,698	1,271	0,982		1,556	1,410	1,050
100	1,032	1,493	1,733	1,361	1,050				1,119
110	1,123								1,255
120	1,157								1,324
130	1,180								

Anexo 59. Material remoldado. Lectura maquina corte directo

MATERIAL REMOLDEADO (Prof. Prom. 2,0m)						
Defor.	Muestra 4			Muestra 5		
	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 1	Peso 2	Peso 3
	3,5 kg	7,0 kg	14,0 kg	3,5 kg	7,0 kg	14,0 kg
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,057	0,114	0,172	0,034	0,091	0,080
20	0,138	0,297	0,356	0,057	0,205	0,183
30	0,344	0,536	0,609	0,125	0,354	0,263
40	0,574	0,810	0,850	0,272	0,514	0,468
50	0,861	1,016	1,114	0,488	0,662	0,616
60	1,217	1,187	1,320	0,692	1,107	0,845
70	1,504	1,335	1,516	0,896	0,982	1,004
80		1,404	1,630	1,101	1,187	1,061
90			1,698	1,271	1,313	1,301
100				1,361	1,335	1,461
110					1,358	1,484
120					1,404	

Anexo 60. Material remoldado. Lectura maquina corte directo

10.7. Datos muestras remoldadas, compresión simple y corte directo

Muestra 1							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	108.00			**D_s :**	3.30	**H_1 :**	7.06
P2 (gr.):	79.80			**D_m :**	3.30	**H_2 :**	7.10
P3 (gr.):				**D_i :**	3.35	**H_3 :**	7.03
%w :	**35.34**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**7.06**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**8.62**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)	esfuerzo lb/pul2	esfuerzo kg/cm2
0.00	0.00	0.000	0.000	1.34	0.00	0.00	0.00
9.00	10.00	0.003	0.295	1.34	2.55	1.90	0.13
11.00	20.00	0.006	0.589	1.34	3.11	2.32	0.16
15.00	30.00	0.009	0.884	1.35	4.25	3.15	0.22
23.00	40.00	0.012	1.179	1.35	6.51	4.82	0.34
27.00	50.00	0.015	1.474	1.36	7.64	5.64	0.39
36.00	60.00	0.018	1.768	1.36	10.19	7.49	1.52
38.00	70.00	0.021	2.063	1.36	10.76	7.89	1.55
40.00	80.00	0.024	2.358	1.37	11.32	8.28	1.58
41.00	90.00	0.027	2.653	1.37	11.61	8.46	1.59
43.00	100.00	0.029	2.947	1.38	12.17	8.84	1.62
45.00	110.00	0.032	3.242	1.38	12.74	9.23	1.65
46.00	120.00	0.035	3.537	1.38	13.02	9.40	1.66
47.00	130.00	0.038	3.831	1.39	13.31	9.58	1.67
49.00	140.00	0.041	4.126	1.39	13.87	9.96	1.70
50.00	150.00	0.044	4.421	1.40	14.16	10.13	1.71
OBSERVACIONES:							
q_u	**1.71**	Kg/cm^2			**$\square_{sat}$**	**1.8**	Ton/mt^3
c	**0.35**	Kg/cm^2					

Anexo 61: Datos de compresión simple muestra remoldada 1

Muestras 2							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	108.10			**D_s :**	3.30	**H_1 :**	7.06
P2 (gr.):	80.20			**D_m :**	3.30	**H_2 :**	7.10
P3 (gr.):				**D_i :**	3.35	**H_3 :**	7.03
%w :	**34.79**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**7.06**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**8.62**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)		
0.00	0.00	0.000	0.000	1.34	0.00	0.00	0.00
9.00	10.00	0.003	0.295	1.34	2.55	1.90	0.13
11.00	20.00	0.006	0.589	1.34	3.11	2.32	0.16
16.00	30.00	0.009	0.884	1.35	4.53	3.36	0.24
22.00	40.00	0.012	1.179	1.35	6.23	4.61	0.32
31.00	50.00	0.015	1.474	1.36	8.78	6.47	0.45
35.00	60.00	0.018	1.768	1.36	9.91	7.29	0.51
37.00	70.00	0.021	2.063	1.36	10.47	7.68	0.54
39.00	80.00	0.024	2.358	1.37	11.04	8.07	0.56
42.00	90.00	0.027	2.653	1.37	11.89	8.66	0.61
44.00	100.00	0.029	2.947	1.38	12.46	9.05	0.63
25.00	110.00	0.032	3.242	1.38	7.08	5.13	0.36
47.00	120.00	0.035	3.537	1.38	13.31	9.61	0.67
49.00	130.00	0.038	3.831	1.39	13.87	9.99	0.70
49.00	140.00	0.041	4.126	1.39	13.87	9.96	0.70
50.00	150.00	0.044	4.421	1.40	14.16	10.13	0.71
51.00	160.00	0.047	4.716	1.40	14.44	10.30	0.72
52.00	170.00	0.050	5.010	1.41	14.72	10.47	0.73
53.00	180.00	0.053	5.305	1.41	15.00	10.64	0.74
54.00	190.00	0.056	5.600	1.42	15.29	10.80	0.76
OBSERVACIONES:							
q_u	**0.76**	Kg/cm^2			**γ_{sat}**	**1.8**	Ton/mt^3
c	**0.38**	Kg/cm^2					

Anexo 62: Datos de compresión simple muestra remoldada 2

Muestra 3							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	112.00			**D_s :**	3.30	**H_1 :**	7.06
P2 (gr.):	89.30			**D_m :**	3.30	**H_2 :**	7.10
P3 (gr.):				**D_i :**	3.35	**H_3 :**	7.03
%w :	**25.42**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**7.06**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**8.62**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)		
0.00	0.00	0.000	0.000	1.34	0.00	0.00	0.00
15.00	10.00	0.003	0.295	1.34	4.25	3.17	0.22
25.00	20.00	0.006	0.589	1.34	7.08	5.27	0.37
41.00	30.00	0.009	0.884	1.35	11.61	8.61	0.60
56.00	40.00	0.012	1.179	1.35	15.85	11.73	0.82
67.00	50.00	0.015	1.474	1.36	18.97	13.99	0.98
78.00	60.00	0.018	1.768	1.36	22.08	16.24	1.14
85.00	70.00	0.021	2.063	1.36	24.06	17.64	1.23
95.00	80.00	0.024	2.358	1.37	26.89	19.66	1.38
104.00	90.00	0.027	2.653	1.37	29.44	21.46	1.50
108.00	100.00	0.029	2.947	1.38	30.57	22.21	1.55
109.00	110.00	0.032	3.242	1.38	30.86	22.35	1.56
115.00	120.00	0.035	3.537	1.38	32.56	23.51	1.65
119.00	130.00	0.038	3.831	1.39	33.69	24.25	1.70
123.00	140.00	0.041	4.126	1.39	34.82	24.99	1.75
125.00	150.00	0.044	4.421	1.40	35.39	25.32	1.77
130.00	160.00	0.047	4.716	1.40	36.80	26.25	1.84
OBSERVACIONES:							
q_u	**1.84**	Kg/cm^2			**$\square_{sat}$**	**1.8**	Ton/mt^3
c	**0.92**	Kg/cm^2					

Anexo 63: Datos de compresión simple muestra remoldada 3

Muestra 4							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	108.80			**D_s :**	3.30	**H_1 :**	7.06
P2 (gr.):	89.60			**D_m :**	3.30	**H_2 :**	7.10
P3 (gr.):				**D_i :**	3.35	**H_3 :**	7.03
%w :	**21.43**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**7.06**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**8.62**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)		
0.00	0.00	0.000	0.000	1.34	0.00	0.00	0.00
21.00	10.00	0.003	0.295	1.34	5.95	4.44	0.31
45.00	20.00	0.006	0.589	1.34	12.74	9.48	0.66
68.00	30.00	0.009	0.884	1.35	19.25	14.28	1.00
83.00	40.00	0.012	1.179	1.35	23.50	17.38	1.22
95.00	50.00	0.015	1.474	1.36	26.89	19.84	1.39
103.00	60.00	0.018	1.768	1.36	29.16	21.44	1.50
110.00	70.00	0.021	2.063	1.36	31.14	22.83	1.60
115.00	80.00	0.024	2.358	1.37	32.56	23.80	1.67
120.00	90.00	0.027	2.653	1.37	33.97	24.76	1.73
124.00	100.00	0.029	2.947	1.38	35.10	25.50	1.79
127.00	110.00	0.032	3.242	1.38	35.95	26.04	1.82
131.00	120.00	0.035	3.537	1.38	37.09	26.78	1.87
135.00	130.00	0.038	3.831	1.39	38.22	27.51	1.93
140.00	140.00	0.041	4.126	1.39	39.63	28.45	1.99
142.00	150.00	0.044	4.421	1.40	40.20	28.76	2.01
143.00	160.00	0.047	4.716	1.40	40.48	28.88	2.02
OBSERVACIONES:							
q_u	**2.02**	Kg/cm^2			**γ_{sat}**	**1.8**	Ton/mt^3
c	**1.01**	Kg/cm^2					

Anexo 64: Datos de compresión simple muestra remoldada 4

Muestra 5							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	117.90			**D_s :**	3.30	**H_1 :**	7.06
P2 (gr.):	93.60			**D_m :**	3.30	**H_2 :**	7.10
P3 (gr.):				**D_i :**	3.35	**H_3 :**	7.03
%w :	**25.96**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**7.06**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**8.62**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)		
0.00	0.00	0.000	0.000	1.34	0.00	0.00	0.00
15.00	10.00	0.003	0.295	1.34	4.25	3.17	0.22
25.00	20.00	0.006	0.589	1.34	7.08	5.27	0.37
56.00	30.00	0.009	0.884	1.35	15.85	11.76	0.82
71.00	40.00	0.012	1.179	1.35	20.10	14.87	1.04
82.00	50.00	0.015	1.474	1.36	23.21	17.12	1.20
91.00	60.00	0.018	1.768	1.36	25.76	18.94	1.33
100.00	70.00	0.021	2.063	1.36	28.31	20.76	1.45
109.00	80.00	0.024	2.358	1.37	30.86	22.56	1.58
114.00	90.00	0.027	2.653	1.37	32.27	23.52	1.65
119.00	100.00	0.029	2.947	1.38	33.69	24.48	1.71
124.00	110.00	0.032	3.242	1.38	35.10	25.43	1.78
127.00	120.00	0.035	3.537	1.38	35.95	25.96	1.82
134.00	130.00	0.038	3.831	1.39	37.94	27.31	1.91
135.00	140.00	0.041	4.126	1.39	38.22	27.43	1.92
138.00	150.00	0.044	4.421	1.40	39.07	27.95	1.96
141.00	160.00	0.047	4.716	1.40	39.92	28.47	1.99
143.00	170.00	0.050	5.010	1.41	40.48	28.79	2.02
1444.00	180.00	0.053	5.305	1.41	408.80	289.79	20.29
146.00	190.00	0.056	5.600	1.42	41.33	29.21	2.04
148.00	200.00	0.059	5.894	1.42	41.90	29.52	2.07
OBSERVACIONES:							
q_u	**1.96**	Kg/cm^2			**$\square_{sat}$**	**1.9**	Ton/mt^3
c	**0.98**	Kg/cm^2					

Anexo 65: Datos de compresión simple muestra remoldada 5

Muestra 6							
CONTENIDO DE HUMEDAD					**DIMENSIONES**		
P1 (gr.):	117.20			**D_s :**	3.30	**H_1 :**	7.06
P2 (gr.):	93.70			**D_m :**	3.30	**H_2 :**	7.10
P3 (gr.):				**D_i :**	3.35	**H_3 :**	7.03
%w :	**25.08**						
				H_0 :	$(H_1+H_2+H_3)/3$ =	**7.06**	cm.
				A_0 :	$(A_s+2A_m+A_i)/4$=	**8.62**	$cm.^2$
LECTURA DIAL ANILLO DE CARGA 0.0001"	LECTURA DEF. 0.001"	DEF. UNITARIA (Pul)	% DEF. UNITARIA	AREA CORR. ($Pulg^2$)	CARGA (Lbs)		
0.00	0.00	0.000	0.000	1.34	0.00	0.00	0.00
21.00	10.00	0.003	0.295	1.34	5.95	4.44	0.31
32.00	20.00	0.006	0.589	1.34	9.06	6.74	0.47
52.00	30.00	0.009	0.884	1.35	14.72	10.92	0.76
67.00	40.00	0.012	1.179	1.35	18.97	14.03	0.98
80.00	50.00	0.015	1.474	1.36	22.65	16.70	1.17
90.00	60.00	0.018	1.768	1.36	25.48	18.74	1.31
101.00	70.00	0.021	2.063	1.36	28.59	20.96	1.47
111.00	80.00	0.024	2.358	1.37	31.42	22.97	1.61
116.00	90.00	0.027	2.653	1.37	32.84	23.93	1.68
125.00	100.00	0.029	2.947	1.38	35.39	25.71	1.80
130.00	110.00	0.032	3.242	1.38	36.80	26.66	1.87
135.00	120.00	0.035	3.537	1.38	38.22	27.60	1.93
141.00	130.00	0.038	3.831	1.39	39.92	28.74	2.01
145.00	140.00	0.041	4.126	1.39	41.05	29.46	2.06
150.00	150.00	0.044	4.421	1.40	42.47	30.38	2.13
153.00	160.00	0.047	4.716	1.40	43.31	30.90	2.16
156.00	170.00	0.050	5.010	1.41	44.16	31.40	2.20
159.00	180.00	0.053	5.305	1.41	45.01	31.91	2.23
161.00	190.00	0.056	5.600	1.42	45.58	32.21	2.25
164.00	200.00	0.059	5.894	1.42	46.43	32.71	2.29
OBSERVACIONES:							
q_u	**2.29**	Kg/cm^2			$\square_{sat}$	**1.9**	Ton/mt^3
c	**1.14**	Kg/cm^2					

Anexo 66: Datos de compresión simple muestra remoldada 6