

“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS ARCILLOSOS MEJORADOS CON CAL LUEGO DE SUPERAR SUS ESFUERZOS MÁXIMOS”

CAPITULO 1.INTRODUCCION

1.1.-PREAMBULO

El suelo en un sitio de construcción no siempre será totalmente adecuado para soportar estructuras como edificios, puentes, carreteras y presas. Los estratos de arcillas blanda saturada a menudo se encuentran a poca profundidad debajo de las cimentaciones, dependiendo de la carga estructural y la profundidad del estrato de arcilla pueden ocurrir grandes fallas y roturas por consolidación, requiriéndose de esta manera utilizar procedimientos especiales de mejoramiento de suelos para minimizar las fallas o roturas ya que las propiedades de los suelos expansivos se alteran considerablemente agregando agentes estabilizadores como la cal; el mejoramiento in situ de los suelos por medio de aditivos se conoce como estabilización.

Lo que se desea encontrar es el comportamiento de los suelos arcillosos mejorados con cal después de haber superado sus esfuerzos máximos; en pocas palabras, encontrar y analizar el coeficiente de restitución que presentan los suelos arcillosos estabilizados con cal por un proceso mecánico.

En cuanto al término restitución, se refiere a que el suelo pueda restablecer sus propiedades originales después de haber superado los esfuerzos máximos, y sea capaz de soportar nuevamente la carga axial que se le está aplicando al mismo.

Para este trabajo utilizaremos los principios generales de la compactación los cuales nos indican que un suelo está formado por partículas de tamaño y forma variada y que entre éstas existen espacios intergranulares llamados vacíos, que se hallan llenos de aire, agua o ambos a la vez. Cuando una masa de suelo se encuentra en estado suelto ocupa mayor volumen porque tiene mayor número de vacíos. En cambio, cuando comprimimos esta masa de tierra, se hace más compacta y observamos un decrecimiento de su volumen total, a causa de la disminución de volumen de vacíos. Esta operación de comprimir una masa de

tierra se llama compactación. Es decir que al compactar una masa de suelo se obtienen las siguientes ventajas:

- Disminución de asentamientos o fallas futuras.
- Incremento de la resistencia al corte.
- Disminución de la permeabilidad.

La falta de adecuada compactación, es causa de muchas fallas en los pavimentos.

La estabilidad de una obra vial exige entre otras, que los terraplenes y las diferentes capas de rotura se hallan debidamente compactados.

El aporte académico que se intenta realizar con este trabajo está dirigido en el ámbito del análisis, de la cual se prevé averiguar la capacidad de restitución que tienen los suelos arcillosos mejorados con cal.

El tema es de mucha importancia para el ámbito ingenieril ya que se podrá ver y solucionar de manera práctica y rápida los problemas que se presentan en la construcción vial debido a este tipo de suelo en particular y así poder dar una solución en una construcción vial. Lo cual es indispensable para la satisfacción de las necesidades de generaciones presentes y futuras.

1.2.-JUSTIFICACION

El presente trabajo está dirigido como un aporte investigativo a la carrera de ingeniería civil relacionado principalmente con la mecánica de suelos aplicada y las vías de comunicación.

La estabilización de suelos consiste en el mejoramiento de un suelo en estado natural por un proceso mecánico que a su vez consiste en mezclar el suelo con un aditivo como ser (cemento, cal, sal, ceniza volcánica, vidrio, etc.).

El análisis del comportamiento de los suelos arcillosos mejorados con cal luego de superar los esfuerzos máximos debe ser analizado para poder definir parámetros de tiempo, carga útil, y otros para poder prevenir la recomposición de los suelos mejorados con cal en la aplicación a las vías camineras.

1.3.- SITUACION PROBLEMICA

1.3.1.-DEFINICION DEL PROBLEMA

El problema planteado en el trabajo, se refiere a la falta de estos estudios realizados en el tema lo que nos lleva a desarrollar el presente trabajo ya que el análisis del comportamiento de las arcillas mejoradas con cal sometidos a sus esfuerzos máximos, podrían ser muy útiles en la construcción de vías camineras y también puede ser una herramienta de gran utilidad en el trabajo de campo.

Con la realización del proyecto propuesto podemos encontrar parámetros de diseño que pueden ser de mucha utilidad en la construcción de obras civiles, ya que con los mismos podemos resolver los problemas de grandes movimientos de tierras que se presentan en la construcción utilizando algún aditivo con el que los suelos en estado natural mejoren sus características.

1.3.2.-OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio del tema es el comportamiento real de los suelos arcillosos mejorados con cal.

1.3.3.- CAMPO DE ACCION

Este trabajo va dirigido al campo investigativo exploratorio ya que se pone en estudio el fenómeno que provoca la estabilización de arcillas por un proceso mecánico y analizar la posibilidad de que se pueda realizar un estudio más profundo del mismo.

El campo de acción del presente trabajo está definido por:

- La mecánica de los suelos aplicada
- Laboratorio de suelos

La mecánica de los suelos aplicados la utilizamos para la estabilización de los suelos, ya que en el tema en estudio se requieren varios conceptos básicos para la correcta ejecución del mismo.

Utilizaremos el laboratorio de suelos para poder desarrollar todos los ensayos necesarios para así determinar o encontrar los datos que necesitamos de la práctica de tema planteado.

1.4.-OBJETIVOS

1.4.1.- OBJETIVO GENERAL

Realizar pruebas empíricas de laboratorio, ensayando especímenes compactados de suelo combinado con cal, para someterlos a esfuerzos de rotura y analizar el comportamiento y la capacidad de restitución de sus propiedades originales, a fin de que podamos establecer parámetros que permitan prevenir la recomposición de los suelos estabilizados con cal en aplicación a las vías camineras.

1.4.2.-OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Información general para la identificación de la zona de muestreo.
- Analizar la estabilización de las arcillas con cal a diferentes porcentajes de los mismos.
- Recopilación de información para el ensayo de compresión no confinada.
- Comparar los resultados obtenidos.
- Analizar los resultados obtenidos.

1.5.-ALCANCE

Básicamente con el presente trabajo se pretende realizar pruebas empíricas en el laboratorio, ensayando especímenes compactados de suelo arcilloso combinado con cal, para someterlos a esfuerzos de rotura y así poder analizar su comportamiento y la capacidad de restitución de sus propiedades originales con el fin de establecer parámetros que nos permitan resolver los problemas que se nos presentan en las distintas obras civiles, y con estos parámetros poder solucionar estos problemas que nos implican costo y tiempo.

Con el estudio y el análisis de estos suelos podríamos encontrar resultados que serían útiles en la construcción de vías camineras y ser de gran utilidad en la aplicación en otro tipo de obras civiles.

Con la estabilización de este tipo de suelos se pretende demostrar que en la combinación suelo-cal es una alternativa que podría evitar grandes movimientos de tierras que se presentan en las vías camineras en general.

1.6.-MEDIOS

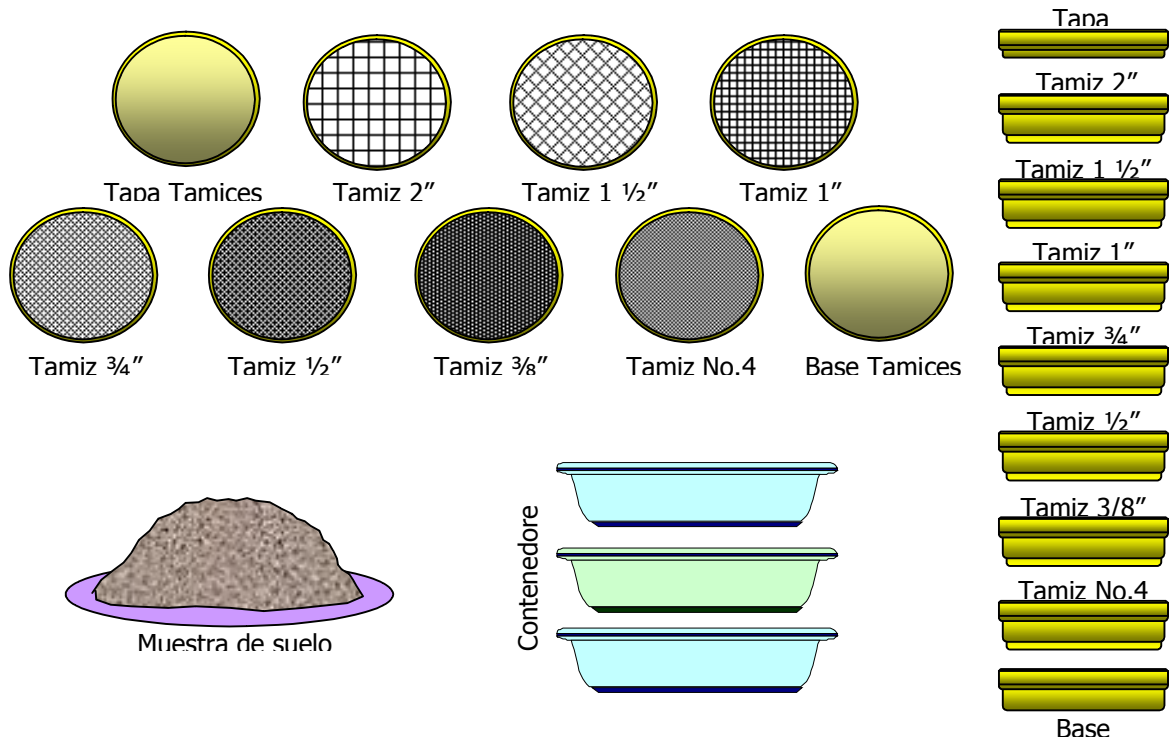
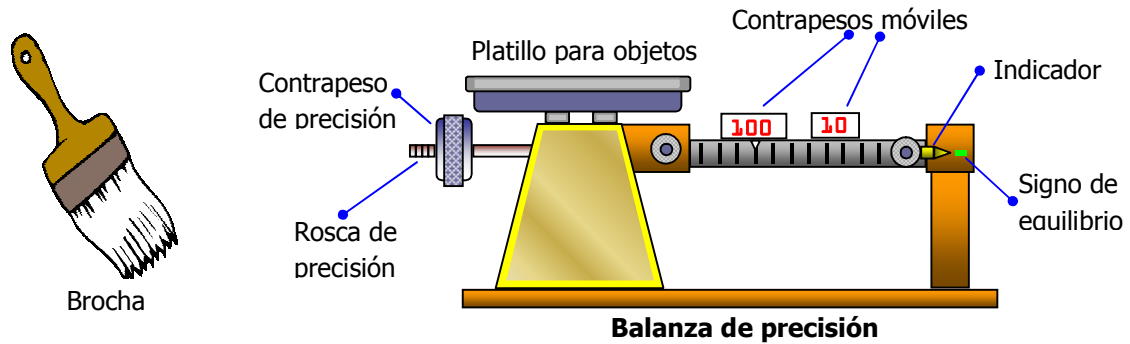
Debido a que el presente trabajo es netamente de laboratorio, el requerimiento de los medios necesarios para su ejecución es mínimo ya que se cuenta con el material necesario para su completa ejecución, por consecuente, se puede obtener el material necesario en cualquier laboratorio de la ciudad de Tarija; también, vale decir que el laboratorio de suelos con el que cuenta la Carrera de Ingeniería Civil dispone en su totalidad del equipo requerido para la ejecución de este proyecto.

El equipo de laboratorio necesario para el desarrollo adecuado del presente trabajo es:

EQUIPO PARA LA CLASIFICACION

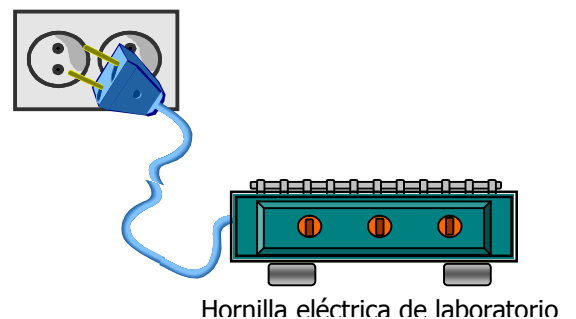
- Una balanza con precisión al 0.1 de gramo
- Juego de tamices, serie americana modificada
- Una brocha
- Horno a temperatura constante (105°C), u hornilla eléctrica.

EQUIPO PARA LA GRANULOMETRIA



En la gráfica no se observan los tamices correspondientes a 3", 2 1/2", No.10, No.40, No.200. Los tamices mencionados también se emplearon durante la Práctica.

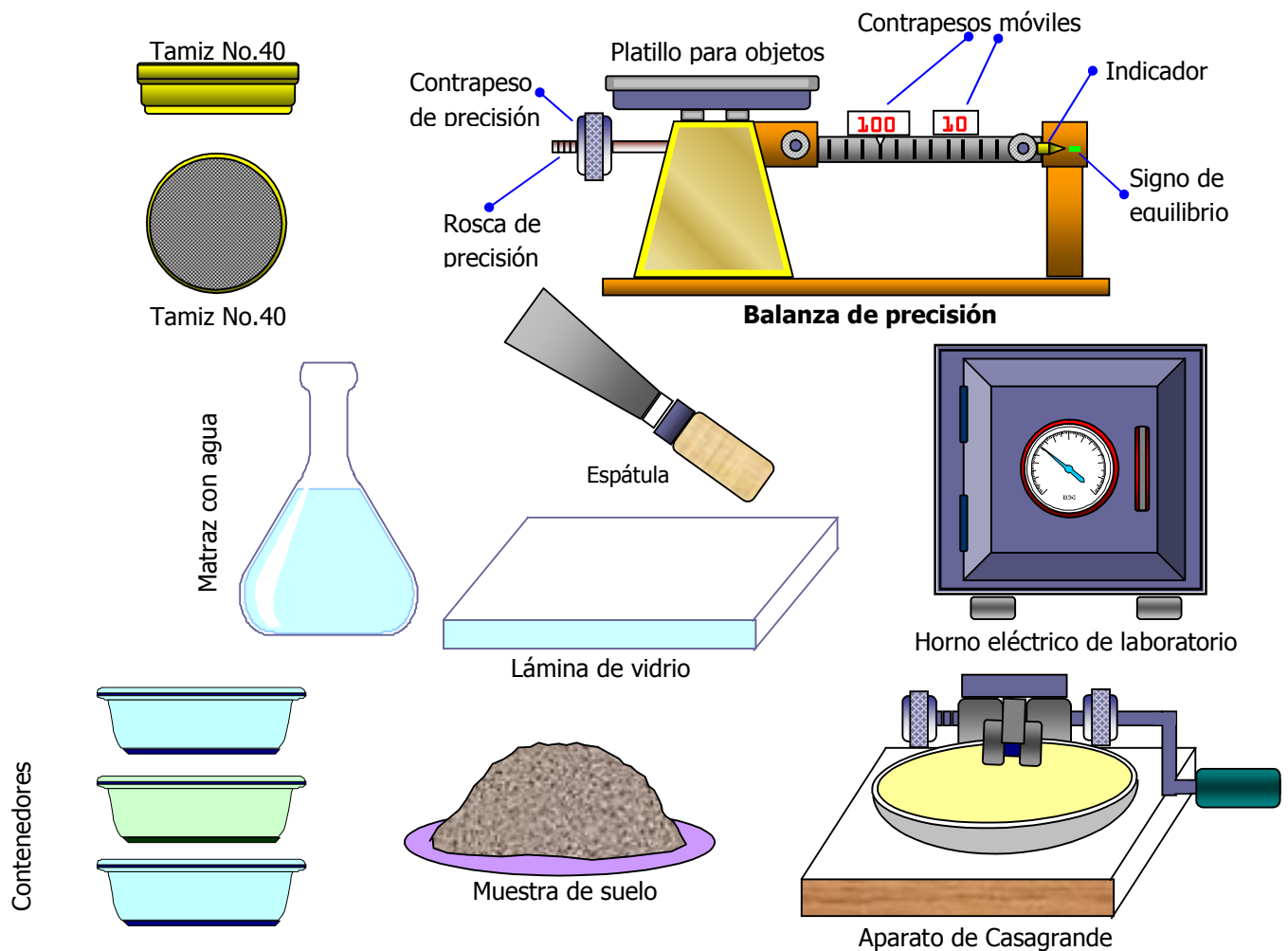
Entre otro material, se ve la hornilla eléctrica de laboratorio, a la derecha:



EQUIPO PARA LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA

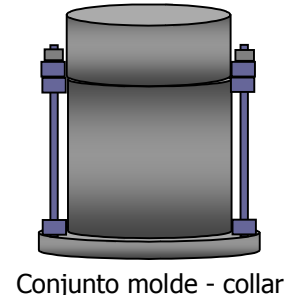
Tamiz No.40

- Una espátula
- Agua destilada
- Una balanza con precisión al 0.1 de gramo
- Aparato de Casagrande, con acanalador
- Taras diversas
- Lamina de vidrio esmerilado
- Horno eléctrico de laboratorio

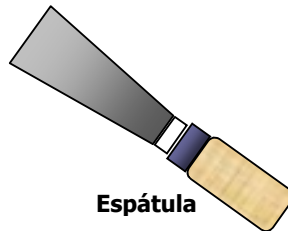


EQUIPO DE C.B.R. Y COMPACTACION

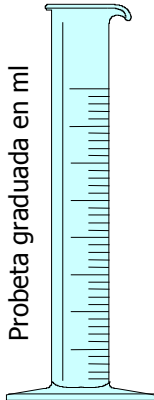
- Molde metálico de diámetro 6'' y altura de 5''.
- Apisonador o martillo de 10 lb. y altura de caída de 18 pulgadas.
- Regla metálica para enrasar.
- Balanza con una aproximación de 0,1 gr.
- Horno a temperatura 105°.
- Tamiz # 4.
- Cuchara, badilejo, combo, espátula.
- Fuentes para preparar la muestra.
- Cápsulas.
- Cinceles, martillo.
- Gato hidráulico con extractor de muestras.



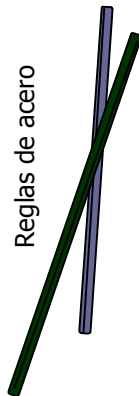
Equipo completo para el ensayo de C.B.R.



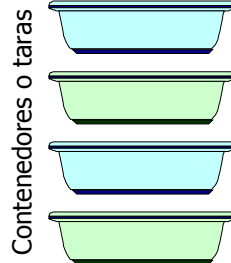
Espátula



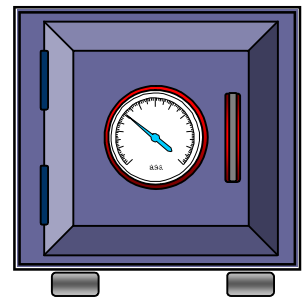
Probeta graduada en ml



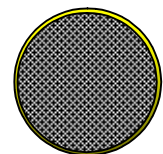
Reglas de acero



Contenedores o taras



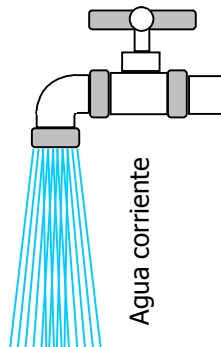
Horno eléctrico de laboratorio



Tamiz No.4



Muestra de suelo



Agua corriente

Análisis del Comportamiento de los Suelos Arcillosos Mejorados con Cal luego Superar sus Esfuerzos Máximos

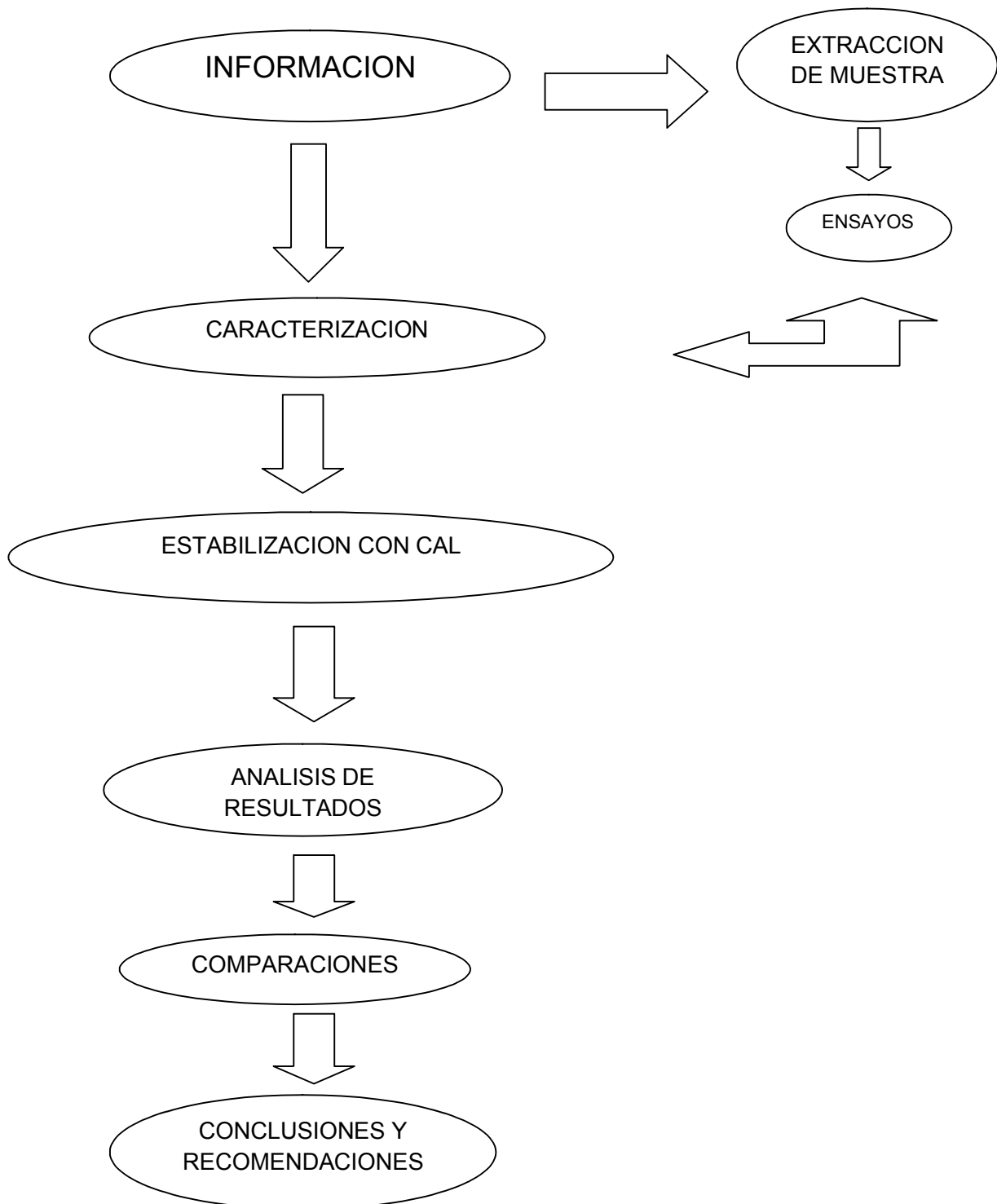
La disponibilidad de la bibliografía necesaria para la correcta ejecución de este proyecto, presenta algunas limitaciones puesto que este tema es de carácter investigativo y no se encuentra mucha información del tema en cuestión.

En cuanto a la aplicación de los medios tecnológicos para poder realizar el presente trabajo, no presentan mayor complicación ya que sólo son necesarios una computadora y el acceso a internet.

Como se puede observar, el presente trabajo de investigación es más práctico y se cuenta con todo el material necesario o para su ejecución, por lo cual consideramos que no debería tener ninguna complicación para desarrollar el trabajo.

1.7.-DISEÑO METODOLOGICO

DETERMINACION DEL ESQUEMA LOGICO ESTRUCTURAL (E.L.E.)



CAPÍTULO II

PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS Y ESTABILIZACION

2.1.-GENERALIDADES.

2.1.1.-NATURALEZA Y ORIGEN DE LOS SUELOS.

Los suelos son conjuntos de partículas minerales producto de la desintegración mecánica o de la descomposición química de las rocas preexistentes. El conjunto de partículas presenta dos propiedades esenciales que no pueden ser olvidadas por quienes pretenden comprender su comportamiento ingenieril.

a) El conjunto posee una organización definida y propiedades que varían “vectorialmente”. En general, en los valores de las propiedades, verticalmente ocurren cambios mucho más rápidos que horizontalmente.

b) La organización de las partículas minerales es tal que el agua, que como se sabe está presente en todo suelo en mayor o menor cantidad, puede, si hay la suficiente, tener “continuidad”, en el sentido de distribución de presiones. El agua no ocupa huecos aislados, sin intercomunicación; puede llenar todos los poros que dejan entre sí las partículas minerales y que se intercomunican, de manera que el agua forma una masa continua que contiene al mineral en su seno.

Los suelos pueden ser residuales o transportados, según se les encuentre en el mismo lugar en que se han generado o en un lugar diferente. El transporte por aire y agua y la sedimentación en esos dos medios constituyen el mecanismo usual que da lugar a un suelo transportado. Es evidente que la estructuración y la “distribución interna” de las propiedades tienen que ser completamente diferentes en un suelo residual que en un suelo transportado. En el primero el ataque mecánico y la desintegración química tienden a producir un resultado final que en estructura y disposición recuerda, aunque sea lejanamente, a la roca madre. Los suelos transportados y depositados en aire o agua generan estructuras que están regidas únicamente por los mecanismos propios de la deposición y en nada por la disposición, características y condiciones iniciales de la roca original.

2.1.2.-MINERALES CONSTITUTIVOS DE LAS ARCILLAS.

Partiendo de los numerosos minerales (principalmente silicatos) que se encuentran en las rocas ígneas y metamórficas, los agentes de descomposición química llegan a un producto final: la arcilla.

La investigación de las propiedades mineralógicas de estos sedimentos, comenzó en épocas recientes (1930) y presenta gran importancia en cuestiones de ingeniería, pues a diferencia de lo señalado para suelos gruesos, el comportamiento mecánico de las arcillas se ve decisivamente influido por su estructura general y constitución mineralógica en particular.

Las arcillas están constituidas básicamente por silicatos de aluminio hidratados, presentando además, en algunas ocasiones, silicatos de magnesio, hierro u otros metales, también hidratados. Estos minerales tienen casi siempre, una estructura cristalina definida, cuyos átomos se disponen en láminas. Existen dos variedades de tales láminas: la silícica y la aluminica.

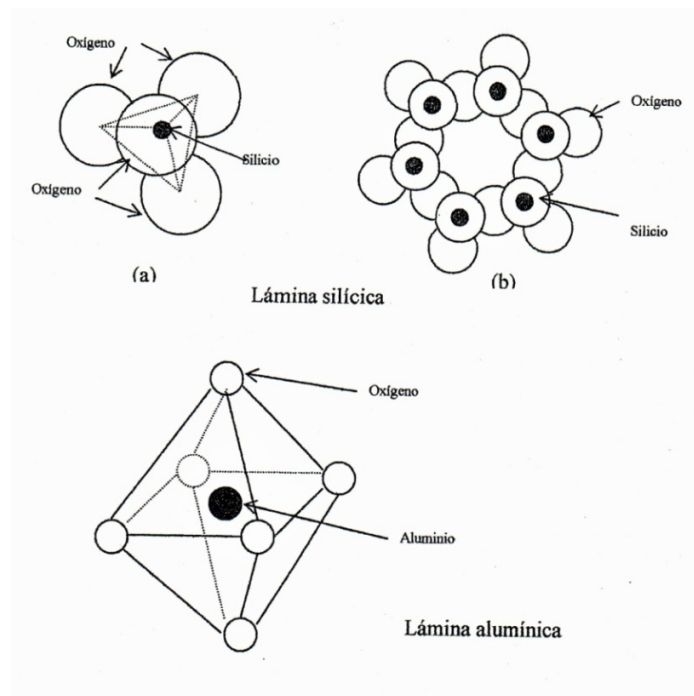


Fig. Esquema de unidades estructurales

De acuerdo con su estructura reticular, los minerales de arcilla se encasillan en tres grandes grupos: caolinitas, montmorilonitas e ilitas.

Las caolinitas ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) están formadas por una lámina silícica y otra aluminica, que se superponen indefinidamente. La unión entre todas las retículas es lo suficientemente firme para no permitir la penetración de moléculas de agua entre ellas (absorción). En consecuencia, las arcillas caoliníticas serán relativamente estables en presencia del agua.

Las montmorilonitas $[(\text{OH})_4 \text{Si}_8 \text{Al}_4 \text{O}_{20} \cdot n\text{H}_2\text{O}]$ están formadas por una lámina aluminica entre dos silícicas, superponiéndose indefinidamente. En este caso la unión entre las retículas del mineral es débil, por lo que las moléculas de agua pueden introducirse en la estructura con relativa facilidad, a causa de las fuerzas eléctricas generadas por su naturaleza dipolar. Lo anterior produce un incremento en el volumen de los cristales, lo que se traduce, macro físicamente, en una expansión. Las arcillas montmoriloníticas, especialmente en presencia del agua, presentarán fuerte tendencia a la inestabilidad. Las bentonitas son arcillas del grupo montmorilonítico, originadas por la descomposición química de las cenizas volcánicas y presentan la expansividad típica del grupo en forma particularmente aguda, lo que las hace sumamente críticas en su comportamiento mecánico. Estas arcillas aparecen, desdichadamente, con frecuencia en los trabajos de campo; por otra parte, en ocasiones ayudan al ingeniero en la resolución de ciertos problemas prácticos.

Las ilitas $[(\text{OH})_4 \cdot \text{K}_y (\text{Si}_{8-y} \cdot \text{Al}_y) (\text{Al}_4 \cdot \text{Fe}_4 \cdot \text{Mg}_4 \cdot \text{Mg}_6) \text{O}_{20}]$ con y , por lo general, igual a 1.5] están estructuradas análogamente que las montmorilonitas, pero, su constitución interna manifiesta tendencia a formar grumos de materia, que reducen el área expuesta al agua por unidad de volumen; por eso, su expansividad es menor que de las montmorilonitas y en general, las arcillas iliticas, se comportan mecánicamente en forma más favorable para el ingeniero.

2.2-SISTEMAS DE CLASIFICACION

Esta clasificación se basa en propiedades mecánicas de los suelos ya que es fundamental para aplicaciones ingenieriles.

2.2.1.-SISTEMA DE CLASIFICACION AASHTO

Agrupar los suelos según la misma capacidad de soportar cargas de servicio, y se obtienen siete grupos. El mejor grupo de suelo para sub-rasantes de carreteras viene clasificado como A-1, le sigue en calidad el A-2, siendo el A-7 el de peor clasificación.

Los miembros de cada grupo tienen en común características similares. Aquí es importante el conocimiento del índice de grupo y sus valores van desde 0 a la mejor sub-rasante a 20 para las pésimas.

Los suelos arcillosos corresponden en este sistema de clasificación denominándolo como A-6 y A-7, el primero indica una naturaleza cohesiva, del material aglutinante (arcilla y coloide) con contenidos de humedad bajos. Estos suelos poseen poco rozamiento interno y tienen una estabilidad baja con altos contenidos de humedad.

Normalmente se los utiliza como relleno y sub-rasantes cuando se colocan y mantienen con un bajo contenido de humedad.

El segundo está compuesto predominantemente por arcillas, a un determinado contenido de humedad se deforman y abultan apreciablemente cuando se retira la carga, son difícil de compactar convenientemente.

Grupo	Subgrupo	Porcentaje que pasa Tamiz U. S. N°			Carácter de la Fracción que pasa el tamiz N° 4		Índice de grupo N°	Descripción del suelo	Calidad como sub. rasante
		10	40	200	Límite Líquido	Índice de plasticidad			
A-1			50 máx.	25 máx.		6 máx.	0	Grava o arena de buena graduación puede incluir finos. Mayormente gravas, pero puede incluir arena y finos. Arena gravosa o arena graduada; puede incluir finos.	
	A-1-a	50 máx.	50 máx.	15 máx.		6 máx.	0		
	A-1-b		50 máx.	25 máx.		6 máx.	0		
A-2				35 máx. 35 máx.	40 máx.	10 máx.	0 a 4 0	Arena y gravas con exceso de finos. Arenas, gravas con finos de limo de baja plasticidad. Arenas, gravas con finos de limo elástico. Arenas, gravas con finos de arcilla. Arenas, gravas con finos de alta plasticidad.	Excelente a buena
	A-2-4			35 máx.	41 mín.	10 máx.	0		
	A-2-5			35 máx.	40 máx.	11 máx.	4 máx.		
	A-2-6 A-2-7			35 máx. 41 mín.	41 mín.	11 mín.	4 máx.		
A-3			51 máx.	10 máx.		No plás.	0	Arenas finas.	Regular a pobre.
A-4				36 mín.	40 máx.	10 máx.	8 máx.	Limos de baja compresibilidad.	
A-5				36 mín.	41 mín.	10 máx.	12 máx.	Limos muy compresibles, limos micáceos.	
A-6				36 mín.	40 máx.	11 mín.	16 máx.	Arcilla de compresibilidad baja a media.	
A-7				36 mín.	41 mín.	11 mín.	20 máx.	Arcilla de alta compresibilidad.	
	A-7-5 A-7-6			36 mín. 36 mín.	41 mín. 41 mín.	11 mín.* 11 mín.*	20 máx. 20 máx.	Arcillas limosas de alta compresibilidad. Arcillas de alta compresibilidad y alto cambio de volumen.	
A-8								Turba, suelos muy orgánicos.	No satisfactoria.

- El grupo A-2 incluye todos los suelos en los que el 35% o menos pasa por el tamiz N° 200, que no pueden clasificarse como A-1 ó A-6.
- * El índice de plasticidad de A-7-5 es igual o menor que L.L. = 30; el de A-7-6 es mayor que L.L. = 30.

2.2.2.-SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS S.I.

En la tabla presenta un resumen de este sistema; el mismo es empleado normalmente por ingenieros de carreteras, divide a los suelos en dos grupos: “granulares” y “finos”.

Los suelos granulares se designan con el siguiente grupo de símbolos:

-Letras prefijos:

G.-grava, si el 50% o más de la fracción granular es retenida por el tamiz N° 4.

S.-arena, si más del 50% de la fracción granular pasa por el tamiz N° 4.

-Letras sufijo:

W.-bien graduado (dependen de los valores de C_u y C_z).

P.-mal graduado (dependen de los valores de C_u y C_z).

M.-limoso (dependen del LL e I_p).

C.-arcilloso (dependen del LL e I_p).

Los suelos finos se designan con el siguiente grupo de símbolos:

-Letras prefijo:

M.-limo

C.-arcilla

O.-orgánico

-Letras sufijo:

L.-baja plasticidad ($LL < 50\%$).

H.-alta plasticidad ($LL > 50\%$).

Análisis del Comportamiento de los Suelos Arcillosos Mejorados con Cal luego Superar sus Esfuerzos Máximos

En los suelos finos se toman en cuenta las características de plasticidad las cuales están relacionadas con las propiedades mecánicas e hidráulicas más importantes. La compresibilidad aumenta con el valor del límite líquido.

DIVISION PROVINCIONAL		SIMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN	
SUELOS DE GRANOS GRUESOS 50% o más del retenido en el tamiz n° 200				Clasificación basada en el porcentaje de finos Menos del 5% pasa por tamiz N° 200 GW, GP, SW, SP Más del 12% pasa por tamiz N° 200 GM, GC, SM, SC (3% a 12% pasa por el tamiz N° 200) Para clasificación fronteriza se necesitan símbolos dobles	
ARENAS Más del 50% de la fracción	GRAVAS 50% o más de la fracción gruesa retenido en el tamiz N° 4	GRAVAS LIMPIAS	GW		Gravas bien graduadas y mezclas de arena y grava con pocos finos o sin finos
	GRAVAS CON FINOS	GP	Gravas y mezclas de gravas y arenas mal graduadas con pocos finos o sin finos		
ARENAS LIMPIAS		GM	Gravas limosas mezclas de grava arena y limo		
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava arena y arcilla		
ARENAS CON FINOS		SW	Arenas y arenas gravosas bien graduadas con pocos finos o sin finos		
		SP	Arenas y arenas gravosas mal graduadas con pocos finos o sin finos		
		SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo		
		SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla		
SUELOS DE GRANOS FINOS 50% o más pasa por el tamiz N° 200					Clasificación basada en el porcentaje de finos Menos del 5% pasa por tamiz N° 200 GW, GP, SW, SP Más del 12% pasa por tamiz N° 200 GM, GC, SM, SC (3% a 12% pasa por el tamiz N° 200) Para clasificación fronteriza se necesitan símbolos dobles
LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido de 50% o inferior	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido de 50% o inferior	CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas grovas, arcillas arenosas, arcillas limosas, suelos sin mucha arcilla		
		OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad		
LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido Superior al 50%	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido Superior al 50%	MH	Limos inorgánicos, arenas finas o limos mucedos o de diámetros limos elásticos		
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas		
		DH	Arcillas orgánicas de plasticidad alta a media		
		PT	Turba, estiércol y otros suelos altamente orgánicos		

Para la identificación visual consultar con temas de clasificación

Índice de Plasticidad

Gráfico de Plasticidad

Para clasificación de suelos finos y de la fracción fina de los suelos granulares

CL

CH

MH

CH

ML = OL

Límite Líquido

2.3.-ESFUERZOS INTERNOS EN EL SUELO

Esfuerzo de compresión: Esfuerzo que resiste el acortamiento de una fuerza de compresión externa.

Esfuerzo directo: Esfuerzo, que puede ser tanto de tracción como de compresión, que mantiene un valor constante en las secciones longitudinal y transversal de una barra sometida a fuerzas tracción o compresión axial.

Esfuerzo axial: Esfuerzo que es perpendicular al plano sobre el que se aplica la fuerza de tracción o compresión, que es distribuido de manera uniforme por toda su superficie. También llamado esfuerzo normal.

Esfuerzo normal: Esfuerzo que es perpendicular al plano sobre el que se aplica la fuerza de tracción o compresión, que es distribuido de manera uniforme por toda su superficie. También llamado esfuerzo axial.

Resistencia a la compresión: Esfuerzo máximo que presenta un material a la compresión sin romperse.

Esfuerzos máximos: Resistencia máxima que presenta un material al esfuerzo de compresión sin destrozarse.

RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE LOS SUELOS

El problema de la determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos puede decirse que constituye uno de los puntos fundamentales de toda la mecánica de suelos. En efecto, una valoración correcta de ese concepto constituye un paso previo imprescindible para intentar, con esperanza de éxito, cualquier aplicación de la mecánica de suelos al análisis de la estabilidad de las obras civiles.

Empero, debe hacerse notar que, quizá como ningún otro, este capítulo de la estabilidad refleja las incertidumbres y encrucijadas científicas del momento. Gracias sobre todo a Coulomb, la mecánica de suelos tradicional había creído resolver el trascendental problema en forma satisfactoria; durante años, basándose en ideas sin duda más precisas que otras anteriores, el ingeniero valuó la resistencia al esfuerzo cortante y construyó obras de tierra con una tranquilidad que hoy se antoja exagerada.

Una vez que, en épocas modernas y aprovechando desarrollos paralelos de la teoría de la plasticidad, se revisaron las ideas tradicionales sobre la resistencia de los suelos, y se vio que aquellas podrían ser muy difícilmente sostenidas; de hecho, se hizo indispensable abandonarlas. Sin embargo, la tecnología o investigación actuales no han sido capaces aún de sustituir el cuerpo de doctrina, sistematizado y completo del que antes se disponía, por otro análogo y acorde con las nuevas ideas; en lo que se refiere al problema de la resistencia al esfuerzo cortante, la mecánica de los suelos está en una etapa de transición: la investigación moderna se ha mostrado iconoclasta con lo antiguo y, por otra parte, aún no le ha sido posible elaborar una doctrina completa y sistemática. Esta es la razón por la que aun hoy en muchos laboratorios de ingeniería de suelos se trabaja en estos terrenos, como si los últimos años no hubiesen transcurrido, por lo que el tema resulta particularmente espinoso para ser abordado en un libro de texto.

En lo que sigue, trataran de exponerse las ideas tradicionales sobre el tema, indicando la razones que aconsejan su abandono y se expondrán algunas de las ideas modernas que aparecen hoy como de sobrevivencia más probable.

RESEÑA HISTÓRICA

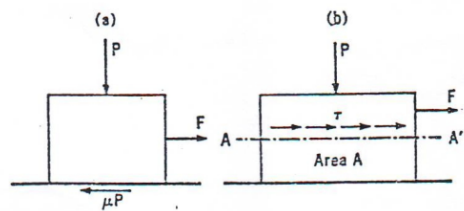
El primer trabajo en que seriamente se trató de explicar la génesis de la resistencia de los suelos fue el realizado por el conocido físico e ingeniero francés C.A. Coulomb (1776); la primera idea de Coulomb consistió en atribuir a la fricción de las partículas del suelo la resistencia al corte del mismo y en extender a este orden de fenómenos las leyes que sigue la fricción entre cuerpos, según la mecánica elemental.

Es sabido que si un cuerpo sobre el que actúa una fuerza normal P ha de deslizar sobre una superficie rugosa, se encuentra que la fuerza F , necesaria para ello, resulta ser proporcional a P , teniéndose:

$$F = \mu P$$

Donde μ recibe el nombre de coeficiente de fricción entre las superficies en contacto.

Coulomb admitió que, en primer lugar, los suelos fallan por esfuerzo cortante a lo largo de los planos de deslizamiento y que, esencialmente, el mismo mecanismo de fricción arriba mencionado rige la resistencia al esfuerzo cortante de, por lo menos, ciertos tipos de suelos. Dada una masa de suelo y un plano potencial de falla de la misma (AA') el esfuerzo cortante máximo susceptible de equilibrio y, por lo tanto, la resistencia al esfuerzo cortante del suelo por unidad de área en ese plano, es proporcional al valor de σ , presión en el plano (AA'), teniéndose:



Mecanismos de los fenómenos de fricción

$$F/A = s = \sigma \tan (\varphi)$$

Automáticamente nace así la ley de la resistencia, según la cual la falla se produce cuando el esfuerzo cortante actuante, τ , alcanza un valor, s , tal que:

$$s = \sigma \tan (\varphi) \quad (a)$$

La constante de proporcionalidad entre s y σ , $\tan \varphi$, fue definida por Coulomb en términos de un ángulo al cual llamó “ángulo de fricción interno” y definió como una constante del material.

De la ecuación anterior se deduce que la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos que la obedezcan debe ser nula para $\sigma = 0$. Basta tener en una mano entreabierto una muestra de arena seca y suelta, en la cual obviamente puede considerarse $\sigma = 0$, para darse cuenta, al ver deslizar entre los dedos a la arena, que ese material es de los que para $\sigma = 0$, presentan una ($s = 0$).

Por otra parte, Coulomb pudo observar que en otros materiales, como por ejemplo un fragmento de arcilla, el sencillo experimento anterior conduce a otras conclusiones; en efecto, es un hecho que la arcilla no deslizaría entre los dedos, de modo que ese material exhibe resistencia al esfuerzo cortante aun en condiciones en que el esfuerzo normal externo es nulo. A los materiales de este último tipo, Coulomb les asignó arbitrariamente otra fuente de resistencia de corte, a la cual la llamo “cohesión” y considero también una constante de los materiales. Es más, Coulomb observó que en arcillas francas, la resistencia parecía ser independiente de cualquier presión normal exterior actuante sobre ellas y, por lo tanto, en dichos materiales parecía existir solo cohesión, comportándose en definitiva como si en ellos $\phi = 0$. La ley de la resistencia de estos suelos sería:

$$s = c \text{ (b)}$$

En general, según Coulomb, los suelos presentan características mixtas entre las antes enumeradas; es decir, presentan, a la vez “cohesión” y “fricción interna”, porque puede asignárseles una ley de resistencia que sea una combinación de las dos anteriores ecuaciones. Esta ecuación, tradicionalmente conocida en la mecánica de los suelos con el nombre de la ley de Coulomb, podría escribirse:

$$S = c + \tan \phi$$

Así, las ecuaciones (a) y (b), pueden verse como casos particulares de una ley más general. Un suelo cuya resistencia al esfuerzo cortante pueda representarse por una ecuación del tipo (a) se ha llamado tradicionalmente “suelo puramente friccionante”, así como un suelo que satisfaga la ley (b) ha recibido el nombre de “puramente cohesivo”. En el caso más general se ha hablado de suelos “cohesivos y friccionantes” o “intermedios”.

Estos términos aún son usados en la actualidad por muchos ingenieros, aunque el significado íntimo de las expresiones se haya modificado considerablemente, respecto al pensamiento original de Coulomb.

La ecuación general fue usada por más de un siglo y sirvió de base para la elaboración de teorías de presión de tierra, capacidad de carga y métodos de análisis de la estabilidad de terraplenes y presas de tierra.

No obstante, los ingenieros con ciertas dotes de observación empezaron a notar las fuertes discrepancias que existían entre la realidad y lo que alguno de ellos llegó a denominar teorías de “libros de texto”.

En 1925 Terzaghi estableció, con base en serias investigaciones experimentales, comenzadas alrededor de 1920, que en las ecuaciones (a) y general la presión normal total debería sustituirse por la presión intergranular, de modo que la presión que se admite controla los fenómenos de resistencia al esfuerzo cortante, o sea que la presión efectiva, no es la total, sino la intergranular. Actualmente es común considerar los términos intergranular y efectivo como sinónimos al ser aplicados a presiones. La ecuación general fue modificada así:

$$S = c + (\sigma - u) \tan \phi$$

Donde, como es usual, (u) representa la presión neutral en el agua. La modificación de Terzaghi tomo en cuenta, por primera vez, la trascendental influencia del agua contenida en el suelo. Pronto se descubrió que el valor de u depende no sólo de las condiciones de la carga, sino también y en forma muy notable, de la velocidad de aplicación de ella, lo que condujo a distinguir el valor de la resistencia “lenta” de la “rápida”.

Posteriormente, Hvorslev hizo notar que el valor de la “cohesión” de las arcillas saturadas no era una constante, sino que resultaba ser función de su contenido de agua. Por lo tanto, la ecuación general debe escribirse ahora como:

$$S = f(w) + (\sigma - u) \tan \phi$$

Es interesante hacer notar que la contribución de Hvorslev destruyó, de una vez por todas, la idea, en sí insostenible, de que c fuese una constante del material.

Las ideas más recientes sobre el tema, aplicadas a los suelos compresibles, hacen necesario establecer una distinción entre las arcillas normalmente consolidadas, para las que la ley lineal parece seguir siendo satisfactoria, con la ordenada en el origen nula ($c = 0$) y las pre consolidadas, en las que la ley lineal ha tenido que ser sustituida por otra más complicada.

2.4.-COMPORTAMIENTO DEL SUELO COMPACTADO

En la construcción de terraplenes para carreteras, presas de tierra y muchas otras estructuras de ingeniería, los suelos deben ser compactados para incrementar sus pesos específicos.

La compactación incrementa las características de resistencia de los suelos, aumentando así la capacidad de carga de las cimentaciones construidas sobre ellos.

La compactación disminuye también la cantidad de asentamientos indeseables de las estructuras e incrementa la estabilidad de los taludes de los terraplenes.

En general, la compactación es la densificación del suelo por remoción de aire, lo que requiere energía mecánica.

El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso específico seco. Cuando se agrega agua al suelo durante la compactación, ésta actúa como un agente ablandador de las partículas del suelo, que hacen que se deslicen entre sí y se muevan a una posición de empaque más denso.

El peso específico seco después de la compactación se incrementa primero conforme aumenta el contenido de agua.

PRUEBA DE PROCTOR ESTANDAR

En la prueba de proctor, el suelo es compactado en un molde que tiene un volumen 943 cm^3 . El diámetro del molde es de 101.6 mm.

2.4.1.-FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS.

La compactación depende de una serie de características y condicionantes propias del método de compactación que se utilice, de las condiciones en que se ponga el suelo antes de compactarlo y otras que se mencionan en este inciso. En rigor, esas características siguen siendo válidas para los procesos de compactación en el laboratorio.

La naturaleza del suelo es obviamente altamente influyente en el proceso. En este caso, al igual que en toda la tecnología de materiales térreos, prevalece la esencial diferencia entre los suelos de estructura simple y forma equidimensional, comúnmente denominados en los libros gravas, arenas y limos no plásticos y los suelos de formas generalmente laminares y cuya estructuración obedece a efectos electroquímicos, llamados usualmente limos plásticos o arcillas.

Todo proceso de compactación implica una doble acción sobre la estructura de los suelos. En primer lugar será preciso romper y modificar la estructura original que el suelo tenía en el lugar de donde fue recogido; en segundo lugar, habrá que actuar sobre él, modificando la disposición o acomodo de sus grumos o partículas, para hacer que el conjunto adopte una nueva estructura, más densa.

Es dudoso pensar que los efectos de compactación alcancen en suelos finos a disgregar los grumos en sus partículas individuales y es posible que sea más conveniente hablar de estructura de grumos, antes que de estructura de partículas.

En los suelos arcillosos, la ruptura de las estructuras iniciales, generalmente muy complicadas especialmente si el banco de suelo original contiene suelos transportados, seguida del posterior reacomodo que da la compactación para lograr una estructura nueva más densa, produce de nuevo estructuras muy elaboradas, compresibles, tanto más inestables al absorber agua cuanto más densificadas y más rígidas a compactación creciente; la resistencia de estos suelos tiende a aumentar con la compactación (si bien esta no es regla sin importantes excepciones) , pero esa resistencia podrá perderse en gran medida si el suelo, a expensas del potencial de succión adquirido al ser compactado, toma agua y se expande.



Figura 1: TIPOS DE COMPACTADORES

2.5.-ESTABILIZACION DE LOS SUELOS

2.5.1.-TIPOS DE ESTABILIZACION

➤ Tipos de Suelos Naturales:

Suelos Granulares: Son los ideales, es decir, los mejores tipos de suelos en lo que se refiere a la conformación de carreteras; se pueden utilizar sin necesidad de hacer mejoramientos.

Suelos Finos: Pueden ser Limo-Arcillosos o Arcillo-Limosos, se pueden mejorar sus características y estabilizar.

Suelos Altamente Erosionables: Son muy malos no se pueden utilizar.

Suelos Orgánicos: Son los peores, directamente se los desecha.

➤ Opciones o Alternativas que se presentan al encontrarse con un suelo en estado natural:

Análisis del Comportamiento de los Suelos Arcillosos Mejorados con Cal luego Superar sus Esfuerzos Máximos

Dejar el suelo en estado natural: Esto en el caso que el mismo cumpla con los requerimientos mínimos para el trabajo que estamos realizando, esto ocurre generalmente con los suelos granulares.

Estabilizar el Suelo (mejorarlo): Esto quiere decir que se puede mejorar las características cualitativas y de comportamiento del suelo por algún método para así poder utilizar el mismo.

Desechar y cambiar el suelo: Esto cuando las características de suelo sean muy malas; se presenta generalmente con los suelos altamente erosionables y los suelos orgánicos.

➤ Tipos de Estabilización (Mejoramiento):

Métodos Físicos:

- Consolidación previa (suelos finos)
- Confinamiento (suelos granulares)
- Mezclas de suelos

Métodos químicos:

- Sal (suelos finos)
- Cemento (suelos con fracción granular)
- Asfalto (suelos granulares)
- Cal (suelos finos)
- Otros(aceite quemado, cenizas, escorias)

Método mecánico:

- Compactación

2.5.2.-ESTABILIZACION CON CAL

¿Qué es la cal?

Iniciaremos por indicar que para el tratamiento de suelos se puede utilizar cal viva (óxido de calcio – Ca O), cal hidratada (hidróxido de calcio – $\text{Ca} [\text{OH}]_2$) o una lechada de cal.

La cal viva se produce de la transformación química del carbonato de calcio (piedra caliza – CaCO_3) en óxido de calcio. La cal hidratada se obtiene cuando la cal viva reacciona químicamente con el agua. La cal hidratada (hidróxido de calcio) es la que reacciona con las partículas arcillosas y las transforma permanentemente en una fuerte matriz cementante.

La cal más utilizada para el tratamiento de suelos es la cal alta en calcio, que contiene un máximo de 5% de óxido o hidróxido de magnesio. Sin embargo, en algunas ocasiones se utiliza cal dolomítica. La cal dolomítica contiene de 35 a 46% de óxido o hidróxido de magnesio. Con la cal dolomítica se puede lograr la estabilización, aunque la fracción de magnesio reacciona más lentamente que la fracción de calcio.

Algunas veces el término “cal” se utiliza para referirse a la cal agrícola que, por lo general, es piedra caliza finamente molida, un útil correctivo agrícola que no tiene la suficiente reactividad química para lograr la estabilización del suelo.

Otras veces el término “cal” es utilizado para referirse a los subproductos del proceso de fabricación de cal (como el polvo de horno de cal), que, aunque contienen alguna cal reactiva, generalmente sólo posee una fracción del óxido o el contenido de hidróxido del producto fabricado. En este manual, "cal" significa cal viva, cal hidratada, o la lechada de cal hidratada.

ESTABILIZACION

La estabilización del suelo cambia considerablemente las características del mismo, produciendo resistencia y estabilidad a largo plazo, en forma permanente, en particular en lo que concierne a la acción del agua.

La cal, sola o en combinación con otros materiales, puede ser utilizada para tratar una gama de tipos de suelos. Las propiedades mineralógicas de los suelos determinarán su grado de reactividad con la cal y la resistencia final que las capas estabilizadas desarrollarán. En general, los suelos arcillosos de grano fino (con un mínimo del 25 por ciento que pasa el tamiz 200 y un Índice de Plasticidad mayor que 10) se consideran buenos candidatos para la estabilización. Los suelos que contienen cantidades significativas de material orgánico (mayor que 1 por ciento) o sulfatos (mayor que el 0.3 por ciento) pueden requerir cal adicional y/o procedimientos de construcción especiales.

Subrasante (o subbase): La cal puede estabilizar permanentemente el suelo fino empleado como una subrasante o subbase, para crear una capa con un valor estructural significativo en el sistema del pavimento. Los suelos tratados pueden ser del lugar (subrasante) o bien, de materiales de préstamo. La estabilización de la subrasante por lo general implica mezcla en el lugar y generalmente requiere la adición de cal de 3 a 6 por ciento en peso del suelo seco.

Bases: La cal puede estabilizar permanentemente materiales que no cumplen con las características mínimas para funcionar como una base (como la grava con arcilla, gravas "sucias", o bases contaminadas en general) que contienen al menos el 50 por ciento de material grueso retenido en la malla o tamiz No. 4. La estabilización de bases es utilizada para la construcción de caminos nuevos y para la reconstrucción de caminos deteriorados, y generalmente requiere la adición de 2 a 4 por ciento de cal respecto al peso del suelo seco. La mezcla en el lugar se usa comúnmente para la estabilización de bases, sin embargo, la mezcla en planta también puede ser utilizada. La cal también se usa para mejorar las características de las mezclas de suelo y agregados en "el reciclaje de espesor completo"

2.5.2.1-VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE APLICACIÓN DE CAL

La técnica de estabilización con cal utilizada en un proyecto debería estar basada en múltiples consideraciones, tales como la experiencia del contratista, la disponibilidad de equipo, la ubicación del proyecto (rural o urbano) y la disponibilidad de una fuente cercana y adecuada de agua.

Algunas ventajas y desventajas de los diferentes métodos de aplicación de cal son los siguientes:

Cal hidratada en polvo:

Ventajas: Puede ser aplicada más rápidamente que la lechada. La cal hidratada en polvo puede ser utilizada para secar arcillas, pero no es tan eficaz como la cal viva.

Desventajas: Las partículas hidratadas de cal son finas. De modo que el polvo puede ser un problema y este tipo de uso generalmente es inadecuado en áreas pobladas.

Cal viva en seco:

Ventajas: Económica porque la cal viva es una forma más concentrada de cal que la cal hidratada, conteniendo de 20 a 24 por ciento más de óxido de calcio "disponible". Así, aproximadamente 3 por ciento de cal viva es equivalente a 4 por ciento de cal hidratada, cuando las condiciones permiten la hidratación completa de la cal viva con suficiente humedad. Debido a su mayor densidad requiere de menos instalaciones de almacenaje.

El tiempo de ejecución puede ampliarse debido a que la reacción exotérmica causada por el agua y la cal viva puede calentar el suelo. La cal viva seca es excelente para secar suelos mojados. Tamaños de partícula más grandes pueden reducir la generación de polvo.

Desventajas: La cal viva requiere 32 por ciento de su peso en agua para convertirse en cal hidratada y puede haber pérdida adicional por la evaporación significativa debido al calor de hidratación. Se debe tener cuidado con el empleo de la cal viva para asegurar una adecuada adición de agua, fraguado y mezcla. Estos mayores requerimientos de

agua pueden plantear un problema de logística o costos en áreas remotas sin una fuente cercana de agua. La cal viva puede requerir más mezcla que la cal hidratada seca o que las lechadas de cal, porque las partículas de cal viva, que son más grandes, primero deben reaccionar con el agua para formar la cal hidratada y luego debe ser mezclada con el suelo.

Lechada de cal:

Ventajas: Aplicación libre de polvo. Es más fácil lograr la distribución. Se aprovecha la aplicación por rociado. Se requiere menos agua adicional para la mezcla final.

Desventajas: Velocidad lenta de aplicación. Costos más altos debido al equipo extra requerido. Puede no ser práctico en suelos muy mojados. No es práctico para secar.

2.5.3.-CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS ARCILLOSOS MEJORADOS CON CAL

EFFECTO DE LA CAL EN EL SUELO

La cal modifica las características físicas de la mayoría de los suelos arcillosos en proporciones que varían. Un resumen de esas modificaciones es el siguiente:

- El I.P. disminuye notablemente (en algunos casos hasta 3 ó más veces). Esto se debe generalmente a que aumenta el límite plástico y disminuye el límite líquido.
- La cal y el agua aceleran la desintegración de los terrones de arcilla durante la pulverización. Los suelos se tornan friables y pueden ser trabajados con facilidad.
- El contenido de sustancia ligadora (binder) del suelo disminuye mucho (efecto aglomerante).
- En lugares pantanosos o en suelos con contenido de humedad superior al óptimo, la aplicación de la cal facilita el secado del suelo.
- La contracción y expansión lineal disminuyen considerablemente.
- La resistencia a la compresión no confinada aumenta considerablemente en proporciones que varían pero que pueden llegar a 40 veces.

- Los valores de resistencia, medidos por el California Bearing Ratio (CBR), aumentan en forma considerable.

La capa estabilizada con cal forma una barrera resistente al agua, al impedir la penetración del agua de la superficie y de la humedad capilar desde abajo. En esa forma, la capa estabilizada sirve como excelente “mesa de operaciones”, repeliendo el agua de las lluvias y disminuyendo así las demoras en la construcción.

2.5.3.1.-DOSIFICACIONES Y PORCENTAJES DE ADITIVO

Como se mencionó anteriormente, se usan ocasionalmente el uso de aditivos para estabilizar suelos en el campo, particularmente los suelos de grano fino. Los aditivos más comunes son la cal, el cemento y la ceniza volante con cal, donde los principales fines de la estabilización son:

- a) Modificar el suelo.
- b) Apresurar la construcción.
- c) Mejorar la resistencia y la durabilidad de los suelos.

Los tipos de cal comúnmente usados para la estabilización de suelo de grano fino son la cal hidratada de alto contenido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), la cal viva calcítica (CaO), y la cal dolomítica monohidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgO}$).

La cantidad de cal usada para la estabilización de la mayoría de estos suelos generalmente varía entre el 3 y 10%.

CAPITULO III

CARACTERIZACION DE LAS ARCILLAS

3.1.-IDENTIFICACION DE LA ZONA DE MUESTREO

El suelo fue extraído en la zona de las barrancas que se encuentra ubicada a 200 mts, de la rotonda donde cruzan la carretera a Tomatitas y el comienzo de la avenida Circunvalación y a la mano derecha de la actual parada del Norte. Se optó por realizar la extracción de la muestra de suelo arcilloso en esta zona, después de realizar varias consultas a profesionales de nuestro medio, coincidiendo varios de estos en que la zona presenta algunas de las arcillas más puras de la ciudad; además, en el suelo se observaba poca presencia de material orgánico.

Las principales características visuales que presentaba la muestra al momento de realizar la extracción, fueron la ausencia de materia orgánica, además, de la inexistencia de material granular, por lo que a priori se constituía en una excelente zona de muestreo.



Fig. 3.1: Fotografía Aérea de la zona de muestreo del suelo arcilloso, Fuente: Google Earth

3.2.-CARACTERIZACION DE LAS ARCILLAS

3.2.1.-DETERMINACION DEL LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO

- **LÍMITES DE ATTERBERG**

Los Límites de Consistencia, se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua, su determinación se encuentra detallada en las normas ASTM D-4318, MTCE 110-2000 y MTCE 111-2000. Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semi-sólido, plástico, semi-líquido y líquido. La arcilla, por ejemplo, al agregarle agua pasa gradualmente del estado sólido al estado plástico y finalmente al estado líquido.

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

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

DEFINICIONES

Consistencia: Es la relativa facilidad con la cual el suelo puede ser deformado

Límite Líquido (LL): Contenido de humedad del suelo en el límite entre el estado semi-líquido y plástico.

Límite Plástico (LP): Es el contenido de humedad del suelo en el límite entre los estados semi-sólidos y plástico

Suelo Plástico: Es un suelo que tiene un rango de contenido de humedad sobre el cual mantendrá su forma bajo secado.

Índice de Plasticidad (IP): Es la diferencia entre los límites líquido y plástico:

$$IP = LL - LP$$

Índice de Liquidez: Es la relación expresada en porcentajes de (1) contenido de muestra natural de un suelo menos su límite plástico a (2) su índice de plasticidad

Número de Actividades (A): La relación de (1), el índice de plasticidad de un suelo a (2) el porcentaje en peso de las partículas que tengan un diámetro equivalente

Resumen del Método de Ensayo: La muestra de suelo deberá pasar la malla N°. 40.

El Límite Líquido: Se determina realizando pruebas en las cuales se esparce una porción de la muestra en una copa de bronce, dividida en dos por un ranurador y luego permitiendo que fluya debido a los impactos causados por las repetidas caídas de la copa en un dispositivo mecánico estándar. Se requiere realizar tres o más pruebas sobre un rango de contenidos de humedad y gráficas o calcular la información de las pruebas para establecer una relación a partir de la cual se determine el límite líquido.

Límite Plástico: Se determina presionando y enrollando alternadamente a un hilo de 3.2 mm de diámetro (1/8”), una porción pequeña de suelo plástico hasta que su contenido de humedad se reduzca hasta el punto en que el hilo se quiebre y no pueda ser más presionado y enrollado. El contenido de humedad del suelo en este punto se reporta como el límite plástico.

APARATOS

Dispositivo de Límite Líquido: También llamado Copa de Casa Grande, es un dispositivo mecánico consistente de una copa de bronce suspendida de un soporte una base de caucho duro.

Acanalador: Es una herramienta hecha de plástico o metal no corrosible.

Balanza: Con una aproximación de 0.01 gr.

Contenedor para Almacenaje: Para almacenar el espécimen de suelo preparado y prevenir la pérdida de humedad. Es adecuado un plato de porcelana, vidrio o plástico de 11.4 cm. (4 ½”) de diámetro.

Placa de Vidrio Pulido: Una placa de vidrio pulido cuadrada de 30 cm. de lado con 1cm de espesor para enrollar los hilos de límite plástico.



Equipo para realizar el ensayo de límite plástico, Fuente: Internet

Espátula: Con hoja flexible y dimensiones aproximadas de 2 cm. ($\frac{3}{4}$ "), de ancho y 10 a 13 cm de longitud.

Frasco de Lavado: O contenedor similar para añadir cantidades controladas de agua al suelo y lavar los finos de las partículas gruesas.

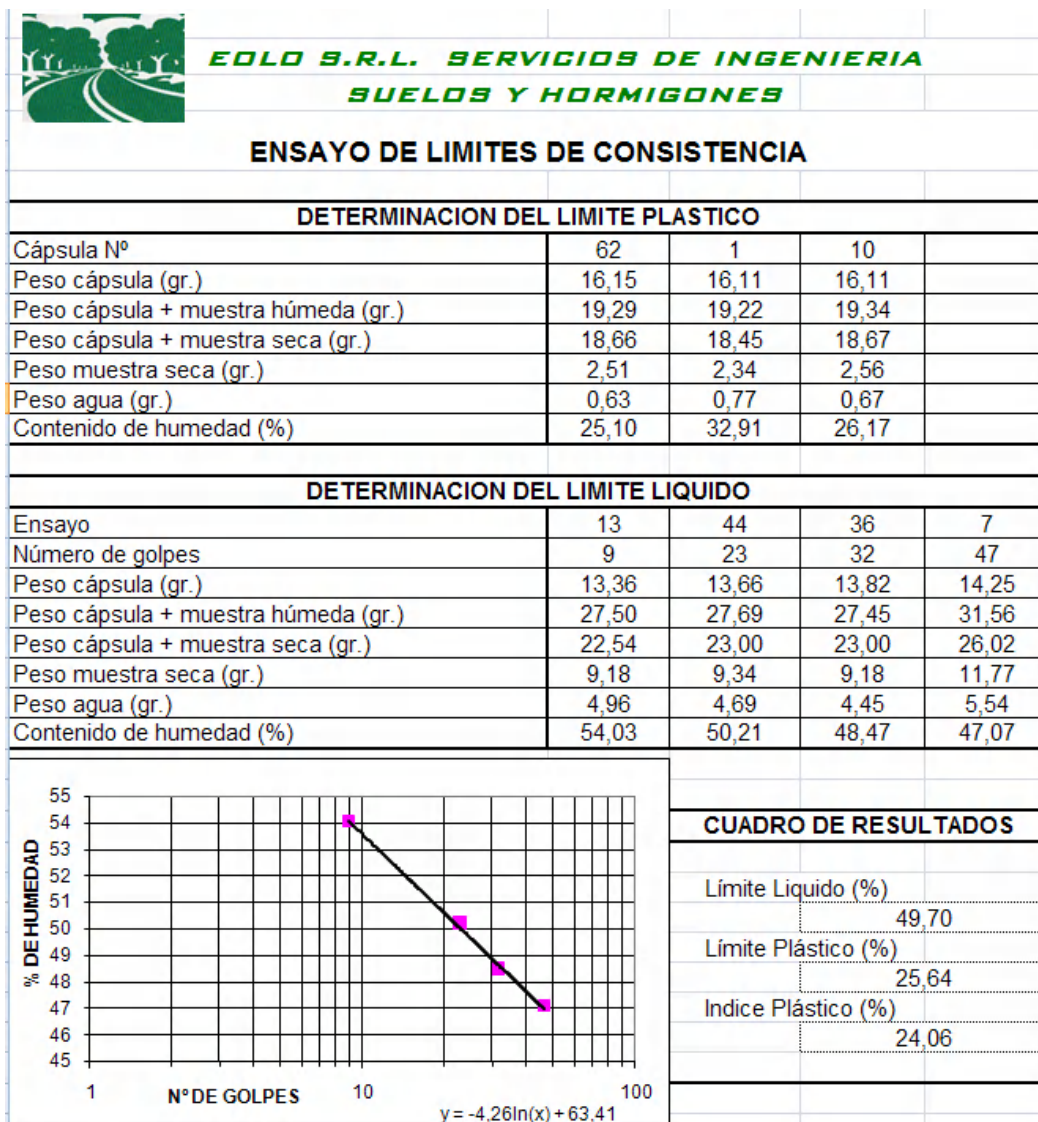


Copa de Casagrande, Fuente: Fotografía Propia

LÍMITE PLÁSTICO



Rollitos de 3.2 mm de diámetro, Fuente: Internet



3.2.2.-GRANULOMETRÍA

Dentro del análisis de los suelos, se encuentra el de la Granulometría, que no es más que obtener la distribución porcentual de los tamaños de partículas que conforma un suelo. Esto se realiza con ayuda de un juego de mallas, que tienen un tamaño graduado establecido por las normas ASTM E40 y AASHTO T 27-99, donde se obtienen los pesos retenidos para luego realizar posteriores cálculos y la curva granulométrica.

Si bien se realiza una distribución de tamaños, esto no incide en la forma que puedan tener los granos de suelo, ya que al retener material en una malla se observa diferentes tamaños y el porcentaje que se calcula está basado estrictamente en los pesos que se retiene en la malla, referido al peso total que se utiliza en el ensayo.

El factor fundamental del ensayo es la curva granulométrica, que se dibuja en una escala logarítmica, ya que de no ser así, la representación gráfica tendría que usar una escala demasiado grande.

METODO AASHTO

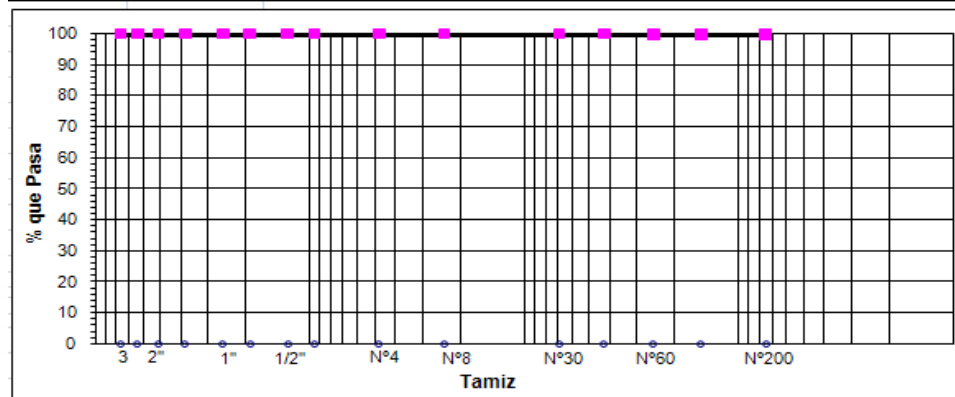


EOLD S.R.L. SERVICIOS DE INGENIERIA
SUELOS Y HORMIGONES

ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS					
Peso total de la muestra tomada:			2000,00 gr.		
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido (gr.)	Retenido Acumulado		% que pasa del Total
			(gr.)	(%)	
3"	76,20	0,00	0,00	0,00	100,00
2 1/2"	63,50	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,05	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,70	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,53	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº 4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
Base			0,00		

Análisis del Comportamiento de los Suelos Arcillosos Mejorados con Cal luego Superar sus Esfuerzos Máximos

Muestra tomada como mortero:			2000,00 gr.			
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido (gr.)	Retenido Acumulado (gr.) (%)		% que pasa del mortero	% que pasa del Total
Nº 8	2,360	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Nº 10	2,000	0,20	0,20	0,01	99,99	99,99
Nº 30	0,690	0,40	0,60	0,03	99,97	99,97
Nº 40	0,425	0,30	0,90	0,05	99,96	99,96
Nº 60	0,250	0,50	1,40	0,07	99,93	99,93
Nº 100	0,150	0,80	2,20	0,11	99,89	99,89
Nº 200	0,075	5,10	7,30	0,37	99,64	99,64



OBSERVACIONES:			VºBº:		
Gravas %		0,00			
Arenas %		0,36			
Finos %		99,64			

DATOS GENERALES:

Límite Líquido (%)	49,70
Límite Plástico (%)	25,64
Índice Plástico (%)	24,06
% que pasa por el Tamiz Nº 10	99,99
% que pasa por el Tamiz Nº 40	99,96
% que pasa por el Tamiz Nº 200	99,64

DETERMINACION DEL INDICE DE GRUPO

a = % pasa N°200 - 35	40,00	c = LI - 40	9,70
b = % pasa N°200 - 15	40,00	d = IP - 10	14,06
IG = 0.2*a+0.005*a*c+0.01*b*d =		16	

CLASIFICACION POR EL SISTEMA AASHTO

MAS del 35% pasa el N°200

La muestra puede ser clasificada como un A4, A5, A6, A7

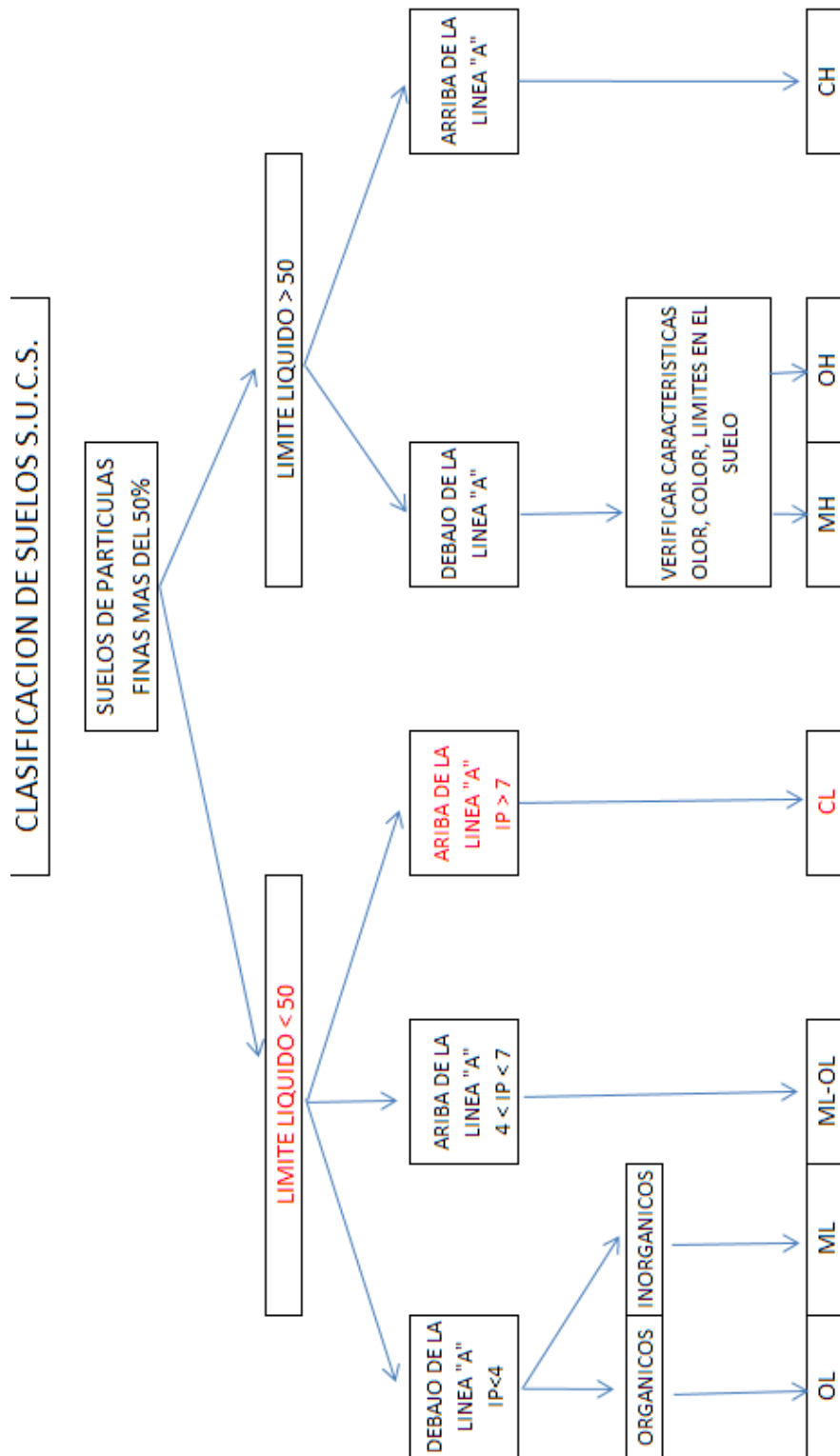
PASA TAMIZ 200	36 MIN	OK
LIMITE LIQUIDO	41 MAX	OK
INDICE DE PLASTICIDAD	11 MAX	OK
INDICE DE GRUPO	20 MAX	OK

LA MUESTRA SE CLASIFICA COMO UN SUELO A - 7-6 (16)

DESCRIPCION DEL MATERIAL CLASIFICADO:

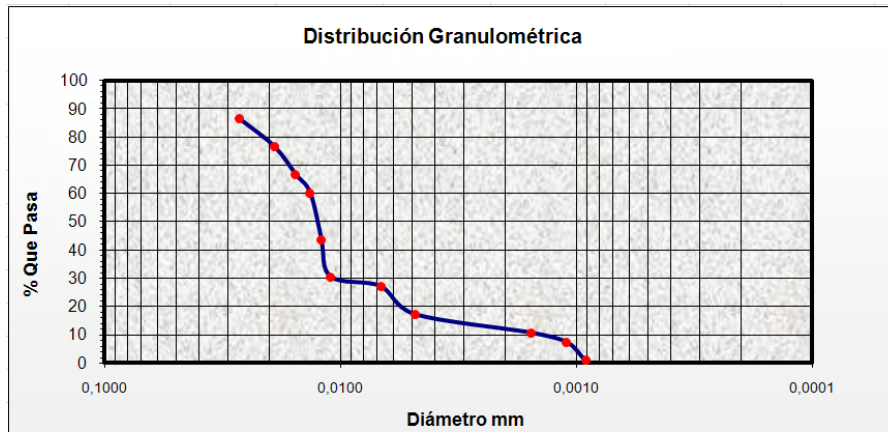
Suelo arcilloso

CLASIFICACION POR SISTEMA UNIFICADO S.I.



3.2.3.-HIDROMETRO

GRANULOMETRÍA - MÉTODO DEL HIDRÓMETRO											
Proyecto: Analisis de suelos arcillosos mejorados con cal								Fecha: 12/11/2010			
Procedencia: Las Barrancas								Identificación: Muestra Unica			
Solicitante: Julio C. Guerrero Irahola											
		Modelo Hidrómetro:		152 H		Peso específico:		2,7		gr/cm ³	
		Peso suelo seco:		60		gr		Factor (a) =		0,99	
Hora de Lectura	Tiempo Tranc. (min)	Temp. (°C)	Lectura Real (R')	Lectura Menisc. (R)	Prof. Efec. (L)	Constante (K) Tabla	L/t	Ct	Lectura Correg (Rc)	Diam. Particula (mm)	% Mas Fino
16:58											
17:00	2	18	52	53	7,60	0,0138	3,800	-0,500	52,500	0,0269	86,63
17:02	4	18	46	47	7,60	0,0138	1,900	-0,500	46,500	0,0190	76,73
17:04	6	18	40	41	7,60	0,0138	1,267	-0,500	40,500	0,0155	66,83
17:06	8	18	36	37	7,60	0,0138	0,950	-0,500	36,500	0,0135	60,23
17:08	10	18	26	27	7,60	0,0138	0,760	-0,500	26,500	0,0120	43,73
17:10	12	18	18	19	7,60	0,0138	0,633	-0,500	18,500	0,0110	30,53
17:30	32,00	18	16	17	7,60	0,0138	0,238	-0,500	16,500	0,0067	27,23
18:00	62,00	18	10	11	7,60	0,0138	0,123	-0,500	10,500	0,0048	17,33
8:00	602,00	18	6	7	7,60	0,0138	0,013	-0,500	6,500	0,0016	10,73
18:00	1202,00	18	4	5	7,60	0,0138	0,006	-0,500	4,500	0,0011	7,43
8:00	1742,00	18	0	1	7,60	0,0138	0,004	-0,500	0,500	0,0009	0,83



% Pasa 200 =	100,00
% Limo Parcial =	30,53
% Arcilla Parcial =	69,47

3.2.4.- COMPACTACION

Se entiende por compactación de suelos, el mejoramiento artificial de sus propiedades mecánicas por medios mecánicos.

Se distinguen la consolidación de los suelos en que, como se vio, en este último proceso el peso específico del material crece gradualmente bajo la acción natural de sobre cargas impuestas que provocan expulsión de agua por un proceso de difusión ambos procesos involucran disminución de volumen, por lo tanto en el fondo son equivalentes.

La importancia de la compactación de suelos es tener en el suelo un aumento de resistencia y una disminución de capacidad de deformación que se obtiene al sujetar el suelo a técnicas convenientes que aumente su peso específico seco, disminuyendo sus vacíos por lo general, las técnicas de compactación se aplican a rellenos artificiales, tales como cortinas de presas de tierra, diques, terraplenes para caminos y ferrocarriles, borde de defensa, muelles, pavimentos, etc. algunas veces se hace necesario compactar el terreno natural, como en el caso de cementaciones sobre arenas sueltas.

Equipos más modernos para el ensayo.

METODOLOGIA.-

EQUIPO UTILIZADO:

T-99

- Molde de 4 “ y altura de 4.6”
- Martillo de 5 lb. Y 12” de caída libre

T-180

- Molde de 6” y altura 5“
- Martillo de 10 lb. Y 18” de caída libre

Análisis del Comportamiento de los Suelos Arcillosos Mejorados con Cal luego Superar sus Esfuerzos Máximos

EQUIPO COMÚN:

- Balanza de 0.1gr. de aproximación.
- Horno a Tempe. de 105 a 110°C.
- Regla metálica para enrasar.
- Cuchara, badilejo, combo, espátula.
- Fuentes para preparar la muestra.
- 5 Cápsulas.
- Extractor de muestras.
- Gato hidráulico.
- Líquido elemento.(agua)

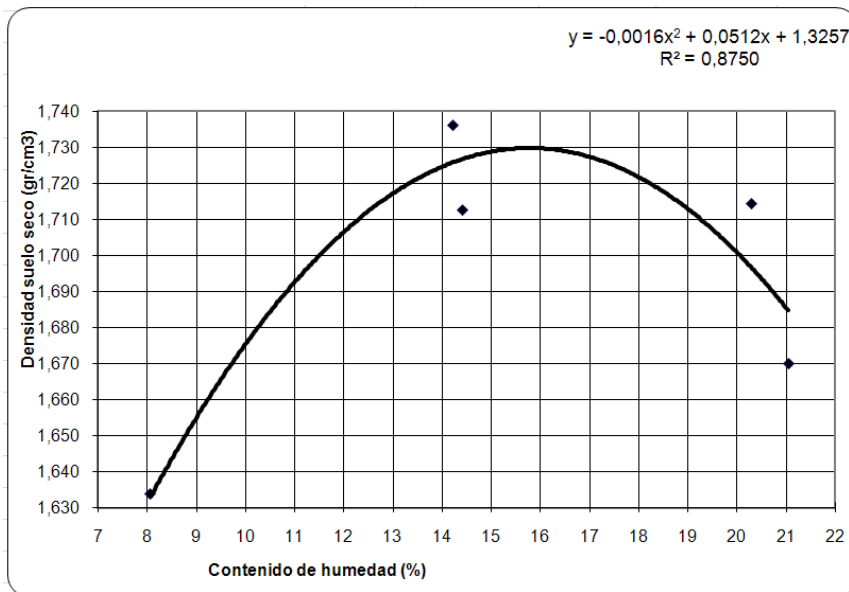


EOLIO S.R.L. SERVICIOS DE INGENIERIA
SUELOS Y HORMIGONES

PROCTOR MODIFICADO T-180

Muestra: Unica	Volumen	2106,7	Fecha:	13/08/2009	
Nº de capas	5	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	56	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde	7407	6999	7624	7457	7481
Peso del molde	3279	3279	3279	3279	3279
Peso suelo húmedo	4128	3720	4345	4178	4202
Volumén de la muestra	2106,7	2106,7	2106,7	2106,7	2106,7
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1,96	1,77	2,06	1,98	1,99
Cápsula Nº	1	2	3	4	5
Peso suelo húmedo + capsula	40,72	40,46	40,71	46,38	37,07
Peso suelo seco + cápsula	35,59	37,44	34,01	41,225	31,84
Peso del agua	5,13	3,02	6,7	5,155	5,23
Peso de la cápsula	0	0	0	0	0
Peso suelo seco	35,59	37,44	34,01	41,225	31,84
Contenido de humedad (%h)	14,41	8,07	20,30	14,23	21,05
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,71	1,63	1,71	1,74	1,67

Análisis del Comportamiento de los Suelos Arcillosos Mejorados con Cal luego Superar sus Esfuerzos Máximos



Coefficientes de ecuación

A= 0,0016

B= 0,0512

C= 1,3257

Densidad máxima gr/cm3	1,735
Humedad óptima %	16,000

CAPITULO IV

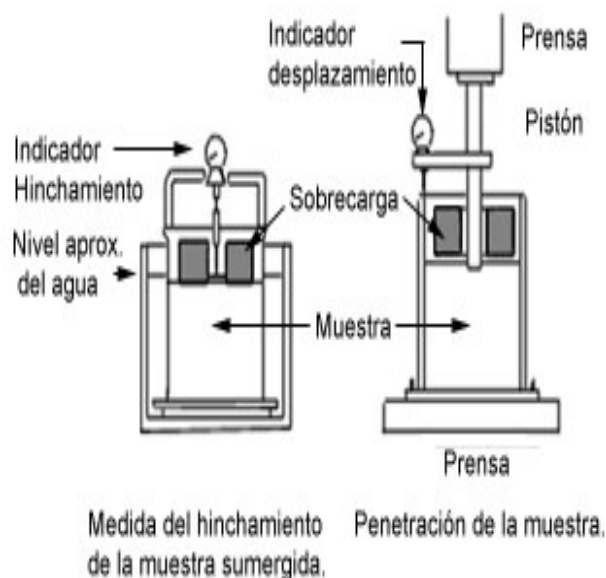
METODOLOGIA Y ANALISIS UTILIZADOS EN LA COMBINACION ARCILLA-CAL

4.1.-ENSAYO "C. B. R"

Este ensayo tiene como finalidad determinar la resistencia a la fuerza cortante o máximo valor del esfuerzo cortante que ofrece un suelo a fuerzas exteriores.

El ensayo CBR (California Bearing Ratio) mide la carga necesaria para penetrar un pistón de dimensiones determinadas a una velocidad previamente fijada en una muestra compactada de suelo después de haberla sumergido en agua durante cuatro días y de haber medido su hinchamiento.

El hecho de sumergir la muestra se debe a que así podemos prever la hipotética situación de acumulación de humedad en el suelo después de la construcción. Por tanto, después de haber compactado el suelo y de haberlo sumergido, lo penetramos con un pistón el cual va conectado a un pequeño "plotter" que nos genera una gráfica donde se nos representa la carga respecto a la profundidad que ha penetrado el pistón dentro de la muestra.



Esta gráfica suele ser una curva con el tramo inicial recto y el tramo final cóncavo hacia abajo (si el tramo inicial no es recto se corrige). Una vez que tenemos la gráfica miramos los valores de la carga que soportaba el suelo cuando el pistón se había hundido 2.5 mm y 5mm y los expresamos en tanto por ciento, tomando como índice CBR el mayor de los porcentajes calculados

El índice de California (C.B.R.) representa al valor de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas.

El ensayo C.B.R. sobre suelos se usa en proyectos de carreteras con pavimentación flexibles auxiliándose los cálculos de ésta sobre curvas empíricas.

Se expresa en porcentaje como, la razón de la carga unitaria que se requiere para introducir un pistón dentro del suelo, a la carga unitaria requerida para introducir el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra tipo piedra partida patrón.

$$\text{C.B.R} = \frac{\text{Carga} \cdot \text{sobre} \cdot \text{suelo} \cdot \text{a} \cdot \text{ensayar}}{\text{Carga} \cdot \text{sobre} \cdot \text{suelo} \cdot \text{patron}} \times 100$$

4.1.1.-Generalidades:

El ensayo denominado C.B.R. debe ser realizado bajo condiciones físicas muy similares entre sí, debido a que las más pequeñas diferencias en el procedimiento de la prueba son motivo de grandes diferencias de los resultados de las mismas.

Por esta razón hay necesidad de que los procedimientos de la prueba se detallan paso a paso, a pesar de lo cual surgen dificultades todavía. Para materiales tales como agregados gruesos, el procedimiento no ha demostrado ser completamente satisfactorio, siendo necesario realizar varias pruebas con el fin de determinar un valor promedio razonable.

En algunos casos en que los agregados gruesos se encuentran en tan pequeñas cantidades que no afectan la estabilidad del suelo, las partículas pueden removerse con lo cual se

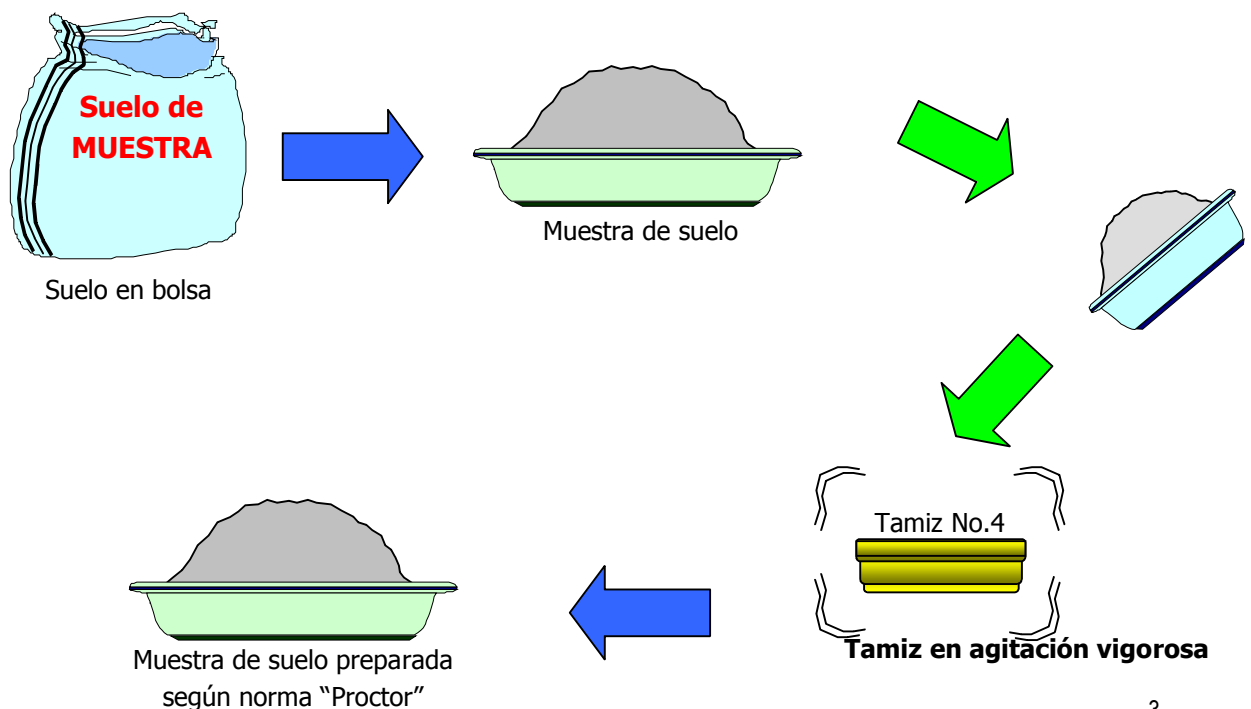
evitan las incongruencias en los suelos; los métodos aquí representados han demostrado ser satisfactorios.

Los datos y resultados de la prueba que deberán suministrarse y obtenerse son los siguientes:

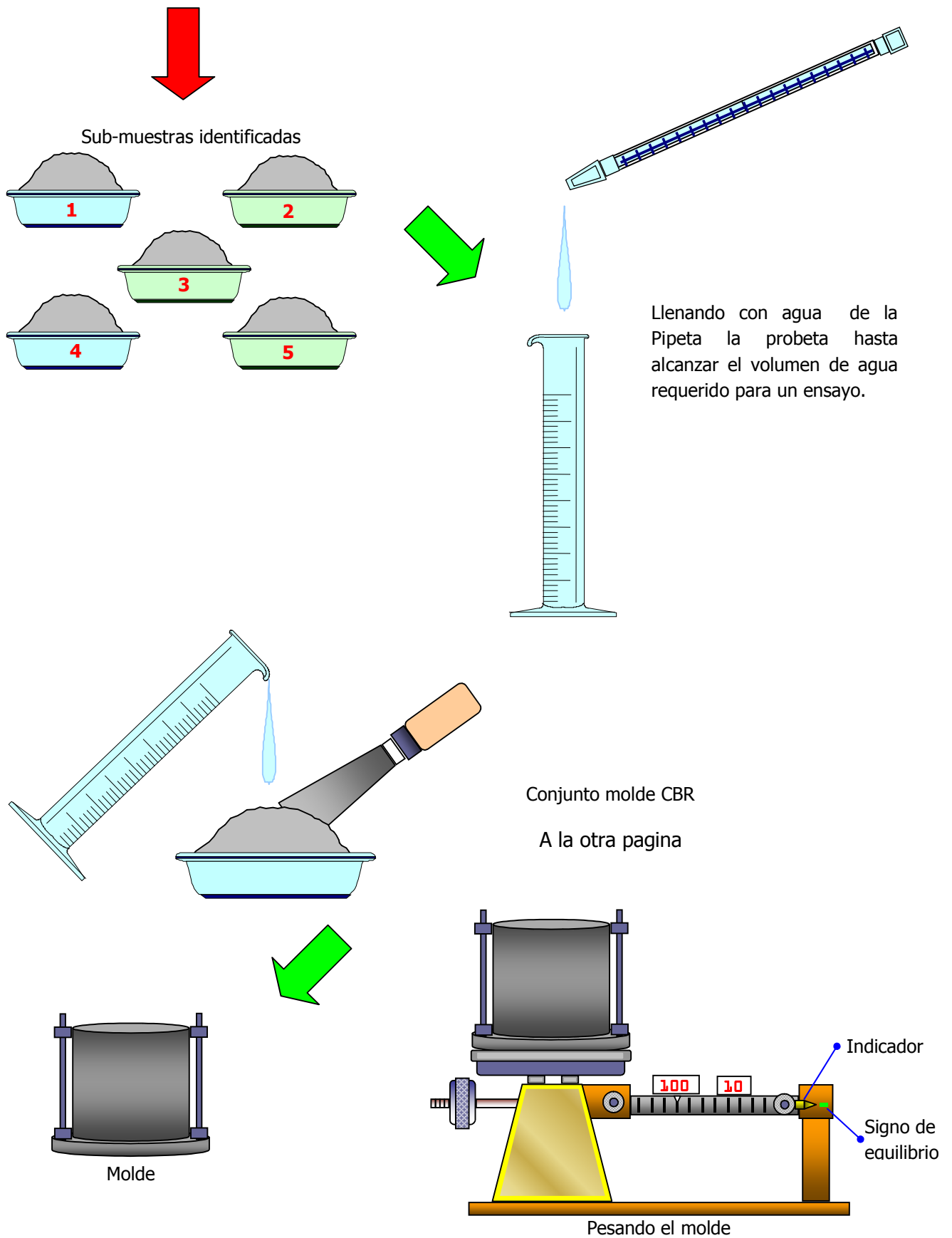
- Procedimiento de compactación.
- Esfuerzo de compactación.
- Contenido de humedad al fabricar el espécimen.
- Peso específico.
- Sobrecarga de saturación y de penetración.
- Expansión de la muestra.
- Contenido de la Humedad después de la saturación.
- Curva Presión - Penetración.

El contenido de la humedad óptima y peso específico máximo determinado mediante la prueba de compactación Proctor Modificado.

4.1.2.-INFORME GRAFICO

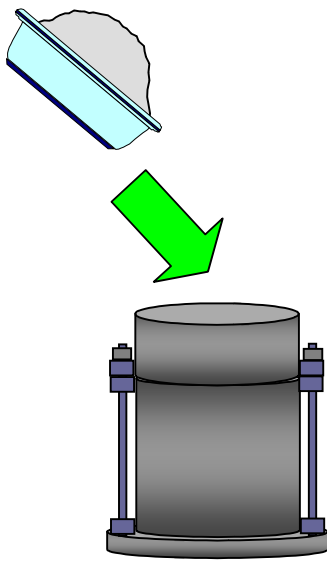


Análisis del Comportamiento de los Suelos Arcillosos Mejorados con Cal luego Superar sus Esfuerzos Máximos

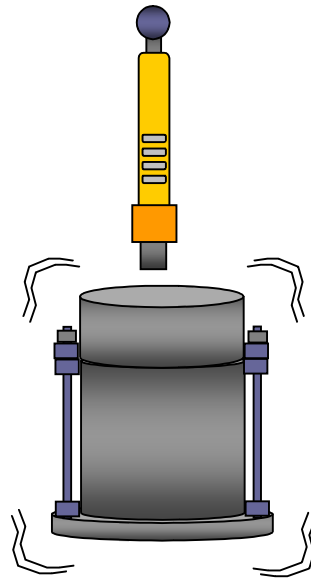
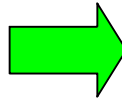


Análisis del Comportamiento de los Suelos Arcillosos Mejorados con Cal luego Superar sus Esfuerzos Máximos

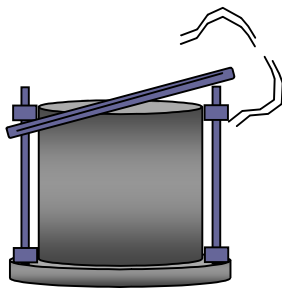
Colocando suelo preparado al conjunto por capas. Cada capa tiene una altura de un quinto de la altura del conjunto



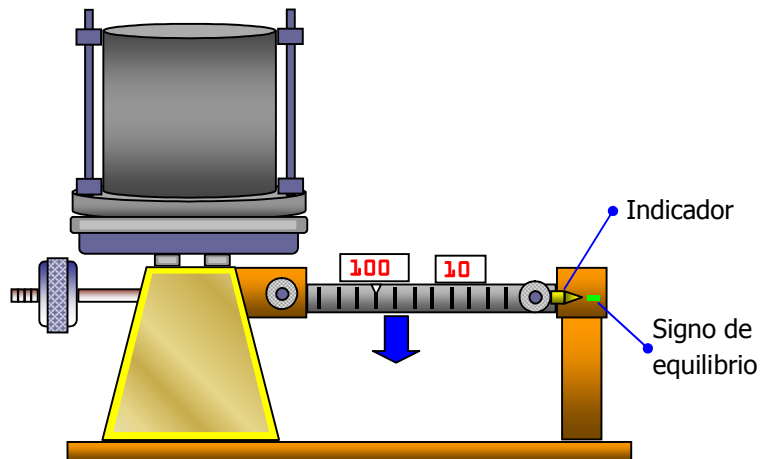
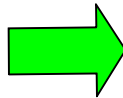
Conjunto molde - collar



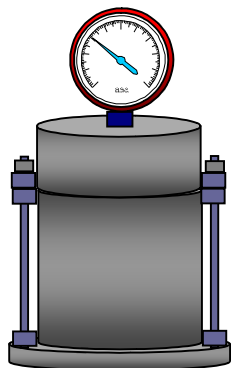
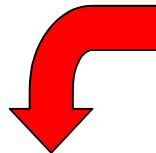
Comprimiendo la muestra preparada de suelo con el compactado en 56 golpes desde una altura de 30.5 centímetros



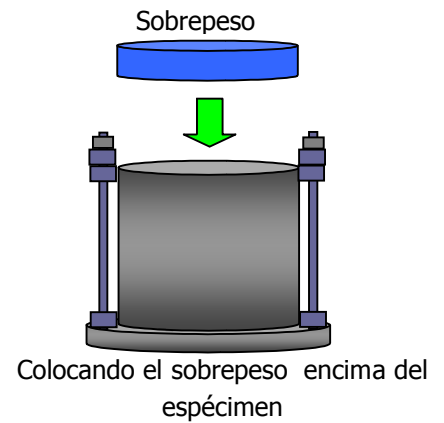
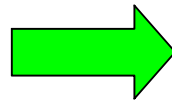
Enrasando la muestra de suelo



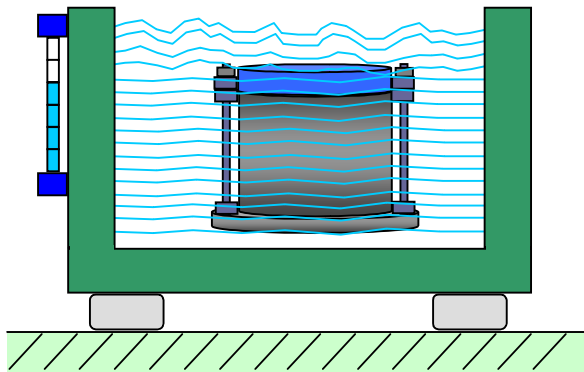
Pesando el molde con la muestra compactada



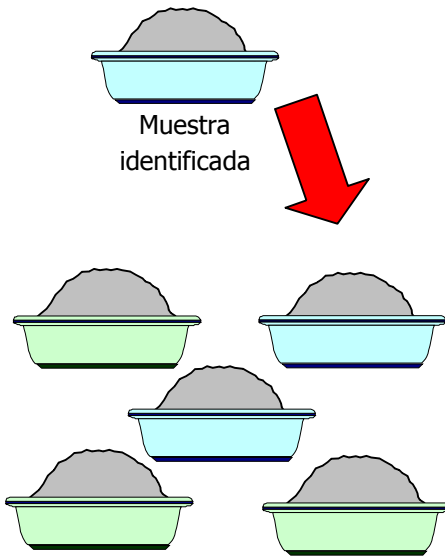
Conjunto molde CBR



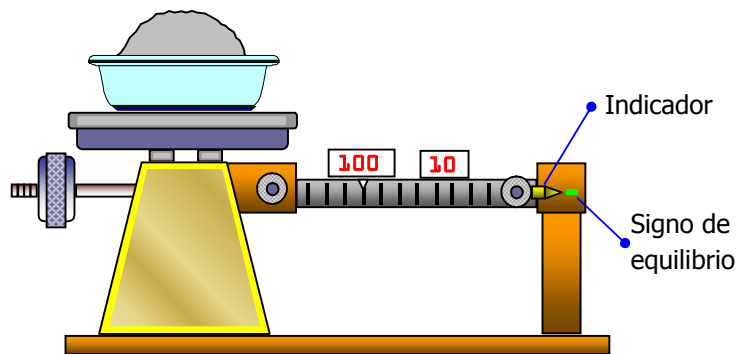
Análisis del Comportamiento de los Suelos Arcillosos Mejorados con Cal luego Superar sus Esfuerzos Máximos



Espécimen sumergido por 96 horas

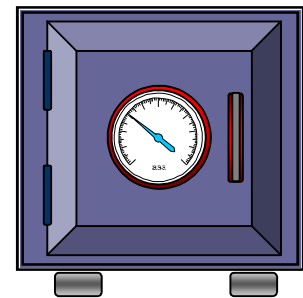


Muestras húmedas

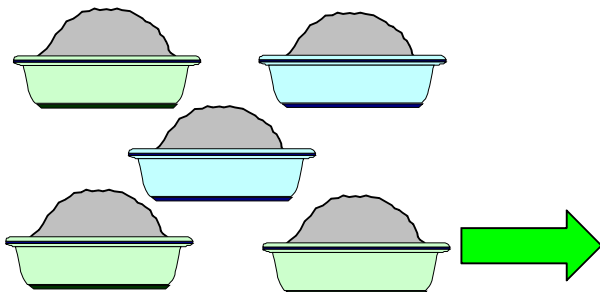


Pesando la muestra identificada

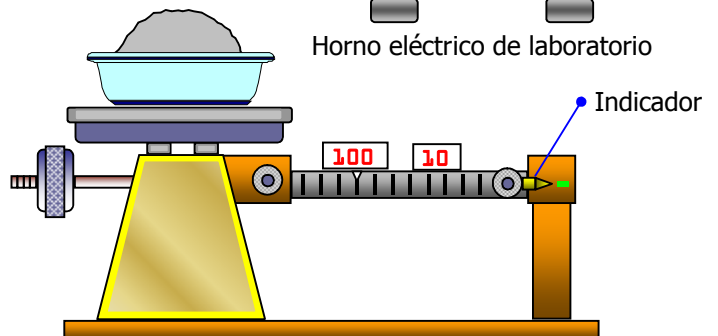
Las muestras deben permanecer en el horno por el lapso de 24 horas



Horno eléctrico de laboratorio



Muestras secas



Pesando las muestras secas después de 24 horas

4.2.-RESULTADOS DEL METODO C.B.R.

4.2.1.-RESULTADOS DE SUELO SIN ADITIVO



EOLO S.R.L. SERVICIOS DE INGENIERIA
SUELOS Y HORMIGONES

ENSAYO DE VALOR SOPORTE CALIFORNIA AASHTO T-193										
PROY. DE GRADO II - ANALISIS DE SUELOS ARCILLOSOS MEJORADOS CON CAL LUEGO DE SUPERAR SUS ESFUERZOS MAXIMOS										
UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO					SUELO ARCILLOSO ESTADO NATURAL					
UNIVERSITARIO : JULIO CESAR GUERRERO IRAHOLA					MUESTRA: LAS BARRANCAS (ZONA PARADA NORTE)					
DOCENTE : ING. JHONNY ORGAZ					FECHA: 10 DE MAYO 2010					
% Pasa N°200		I. P.		Clasificación		Dens. Max		Hum.Op.%		
92,36		2,13		A - 7-6 (10)		1,710		16,41		
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO										
MOLDE N°		N° 1			N° 2			N° 3		
N° capas		5			5			5		
N° golpes por capa		12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA		Antes de mojar		D. de M	Antes de mojar		D. de M	Antes de mojar		D. de M
Peso muestra húm.+molde (gr)		8398		8828	8749		9074	8941		9204
Peso Molde (gr)		4598		4598	4640		4640	4672		4672
Peso muestra húmeda (gr)		3800		4230	4109		4434	4269		4532
Volumen de la muestra (cm3)		2059,40		2059,40	2086,76		2086,76	2123,05		2123,05
Peso Unit. Muestra Húm. (gr/cm3)		1,845		2,054	1,969		2,125	2,011		2,135
MUESTRA DE HUMEDAD		Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°		6	8	3	4	3	8	1	2	6
Peso muestra húmeda + tara (gr)		41,06	41,57	36,67	40,91	41,13	29,89	40,68	40,75	69,71
Peso muestra seca + tara (gr)		35,86	36,47	29,24	35,89	35,95	24,25	36,08	35,56	56,97
Peso del agua (gr)		5,2	5,1	7,43	5,02	5,18	5,64	4,6	5,19	12,74
Peso de tara (gr)		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peso de la muestra seca (gr)		35,9	36,47	29,24	35,9	36,0	24,25	36,08	35,56	57,0
Contenido humedad %		14,50	13,98	25,41	13,99	14,41	23,26	12,75	14,60	22,36
Promedio cont. Humedad		14,24		25,41	14,20		23,26	13,67		22,36
Peso Unit.muestra seca		1,62		1,64	1,72		1,72	1,77		1,74

Determinación de la Expansión en los moldes de CBR al cabo de 96 horas											
FECHA	EXP. PROM.	TIEMPO	MOLDE N°1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
	4,99	EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
	HORA	DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
18/05/2010	19:00	0	0	0		0	0		0	0	0
19/05/2010	19:00	1	525	0,525		560	0,56		363	0,363	
20/05/2010	19:00	2	530	0,53		596	0,596		517	0,517	
21/05/2010	19:00	3	530	0,53		596	0,596		580	0,58	
22/05/2010	20:00	4	530	0,53	4,58	596	0,596	5,15	607	0,607	5,25

Análisis del Comportamiento de los Suelos Arcillosos Mejorados con Cal luego Superar sus Esfuerzos Máximos

ROY. DE GRADO II - ANALISIS DE SUELOS ARCILLOSOS MEJORADOS CON CAL LUEGO DE SUPERAR SUS ESFUERZOS MAXIMO											
UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO						SUELO ARCILLOSO ESTADO NATURAL					
UNIVERSITARIO : JULIO CESAR GUERRERO IRAHOLA						MUESTRA: LAS BARRANCAS (ZONA PARADA NORTE)					
DOCENTE : ING. JHONNY ORGAZ						FECHA: 10 DE MAYO 2010					

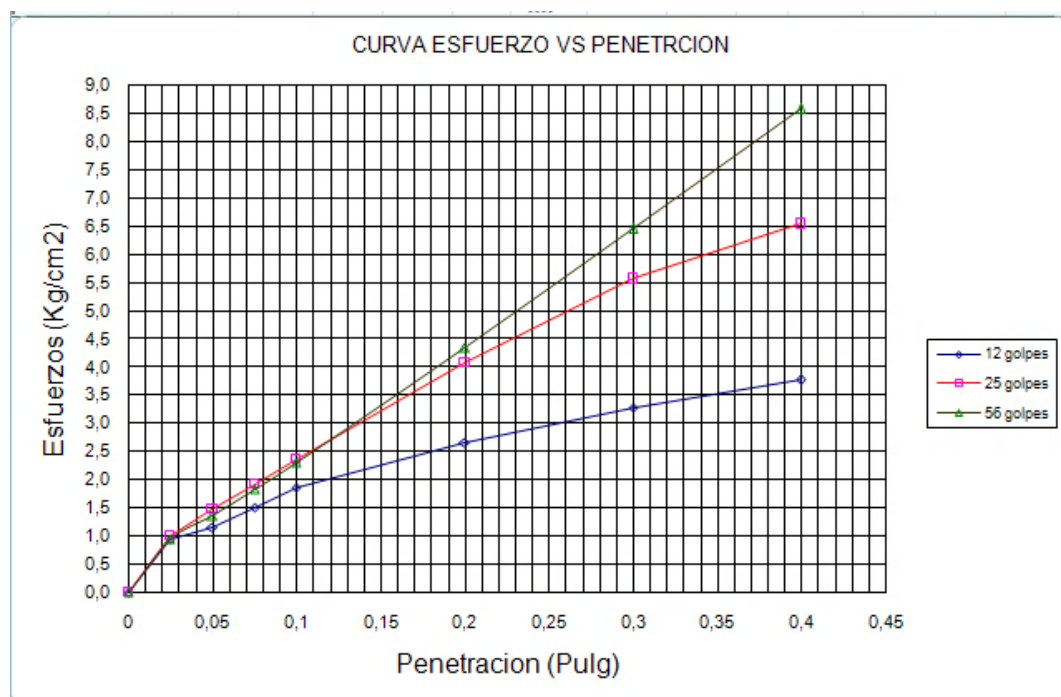
Determinación de la penetración en los moldes de CBR

Area del Piston =19.355cm²

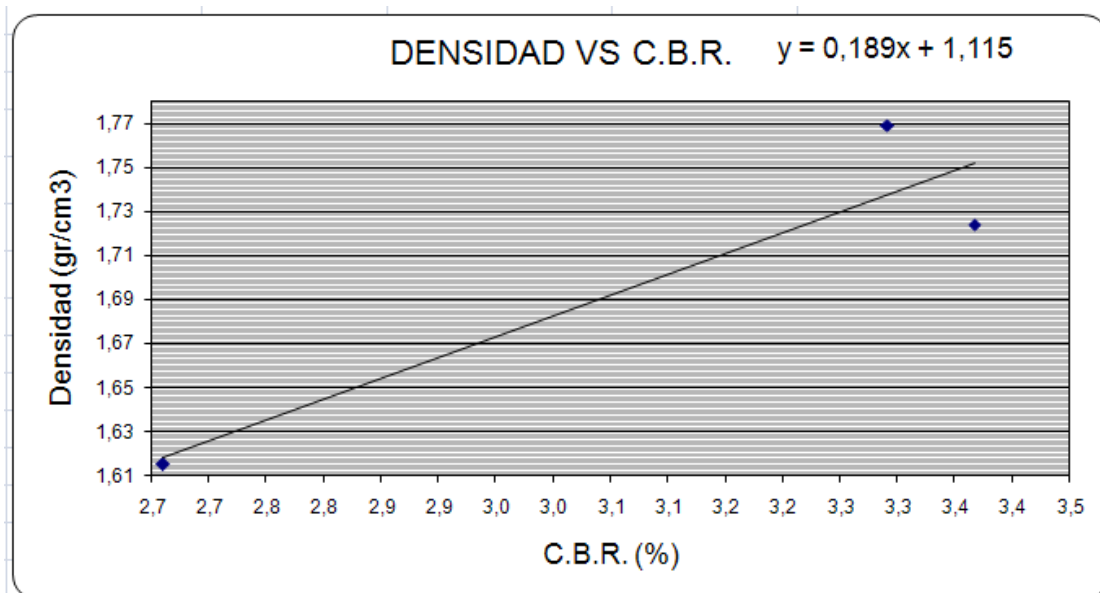
Lectura anillo: Pulg.

C.B.R.

PENETRACION		CARGA NORM AL Kgf cm ²	MOLDE N° 1 (12 golpes)				MOLDE N° 2 (25 golpes)				MOLDE N° 3 (56 golpes)			
			CARGA ENSAYO		C.B.R.		CARGA ENSAYO		C.B.R.		CARGA ENSAYO		C.B.R.	
Pulg.	mm		#	kg	kg/cm ²	%	#	kg	kg/cm ²	%	#	kg	kg/cm ²	%
0	0		0,00	0	0,00		0,00	0	0,00		0,00	0	0,00	
0,025	0,63		1,80	18,3	0,94		2,20	19,6	1,01		1,80	18,3	0,94	
0,05	1,27		3,00	22,4	1,16		4,80	28,5	1,47		4,20	26,5	1,37	
0,075	1,9		5,00	29,2	1,51		7,30	37,1	1,92		6,80	35,4	1,83	
0,1	2,54	70	7,00	36,1	1,86	2,7	9,80	45,6	2,36	3,4	9,50	44,6	2,30	3,3
0,2	5,08	105	11,50	51,4	2,66	2,5	19,50	78,8	4,07	3,9	21,00	83,9	4,34	4,1
0,3	7,62		15,00	63,4	3,28		28,00	107,9	5,57		33,00	125,0	6,46	
0,4	10,16		17,80	73,0	3,77		33,50	126,7	6,55		45,00	166,0	8,58	



Determinación del CBR corregido por medio de la curva esfuerzo penetración				
Resistencia a la penetración de la piedra triturada				
	CBR 100% D.máx		Penetración	
	3,15%		pulgadas	
	CBR 95% D.máx		0.1"	
	2,70%		0.2"	
Nº golpes	Carga unitaria kg/cm2		CBR corregido %	Densidad seca
	0.1"	0.2"	0.1"	gr/cm3
12	1,8627	2,6579	2,66	1,62
25	2,3575	4,0715	3,37	1,72
56	2,3045	4,3365	3,29	1,77



4.2.2.- RESULTADOS DE SUELO CON APLICACIÓN DE 3% DE ADITIVO



EOLIO S.R.L. SERVICIOS DE INGENIERIA
SUELOS Y HORMIGONES

ENSAYO DE VALOR SOPORTE CALIFORNIA AASHTO T-193

PROY. DE GRADO II - ANALISIS DE SUELOS ARCILLOSOS MEJORADOS CON CAL LUEGO DE SUPERAR SUS ESFUERZOS MAXIMOS										
UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO					SUELO ARCILLOSO MEJORADO 3%					
UNIVERSITARIO : JULIO CESAR GUERRERO IRAHOLA					MUESTRA: LAS BARRANCAS (ZONA PARADA NORTE)					
DOCENTE : ING. JHONNY ORGAZ					FECHA: 10 DE MAYO 2010					
% Pasa N°200			I. P.		Clasificación		Dens. Max		Hum.Op.%	
92,36			24,06		A - 7-6 (10)		1,710		16,41	
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO										
MOLDE N°		N° 5			N° 6			N° 7		
N° capas		5			5			5		
N° golpes por capa		12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA		Antes de mojarse	D. de M	Antes de mojarse	D. de M	Antes de mojarse	D. de M			
Peso muestra húm.+molde (gr)		8101	8703	8832	9395	8683	8967			
Peso Molde (gr)		4620	4620	4991	4991	4632	4632			
Peso muestra húmeda (gr)		3481	4083	3841	4404	4051	4335			
Volumen de la muestra (cm3)		2123,05	2123,05	2216,55	2216,55	2151,09	2151,09			
Peso Unit. Muestra Húm. (gr/cm3)		1,640	1,923	1,733	1,987	1,883	2,015			
MUESTRA DE HUMEDAD		Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°		7	3	11	10	11	1	16	1	28
Peso muestra húmeda + tara (gr)		39,01	39,38	40,41	40,81	40,64	40,61	40,62	40,63	40,68
Peso muestra seca + tara (gr)		35,53	35,85	30,81	36,95	36,90	31,58	36,78	36,90	32,92
Peso del agua (gr)		3,48	3,53	9,6	3,86	3,74	9,03	3,84	3,73	7,76
Peso de tara (gr)		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peso de la muestra seca (gr)		35,5	35,85	30,81	37,0	36,9	31,58	36,78	36,90	32,9
Contenido humedad %		9,79	9,85	31,16	10,45	10,14	28,59	10,44	10,11	23,57
Promedio cont. Humedad		9,82		31,16	10,29		28,59	10,27		23,57
Peso Unit.muestra seca		1,49		1,47	1,57		1,55	1,71		1,63

Determinación de la Expansión en los moldes de CBR al cabo de 96 horas

FECHA	EXP. PROM.	TIEMPO	MOLDE N°5			MOLDE N° 6			MOLDE N° 7		
	2,16	EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
	HORA	DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
05/05/2010	19:00	0	0	0		0	0		0	0	0
06/05/2010	19:00	1	203	0,203		192	0,19		343	0,343	
07/05/2010	19:00	2	205	0,205		200	0,2		350	0,35	
08/05/2010	19:00	3	208	0,208		198	0,198		353	0,353	
09/05/2010	20:00	4	205	0,205	1,77	196	0,196	1,69	350	0,35	3,03

ROY. DE GRADO II - ANALISIS DE SUELOS ARCILLOSAOS MEJORADOS CON CAL LUEGO DE SUPERAR SUS ESFUERZOS MAXIMO											
UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO						SUELO ARCILLOSO MEJORADO 3%					
UNIVERSITARIO : JULIO CESAR GUERRERO IRAHOLA						MUESTRA: LAS BARRANCAS (ZONA PARADA NORTE)					
DOCENTE : ING. JHONNY ORGAZ						FECHA: 10 DE MAYO 2010					

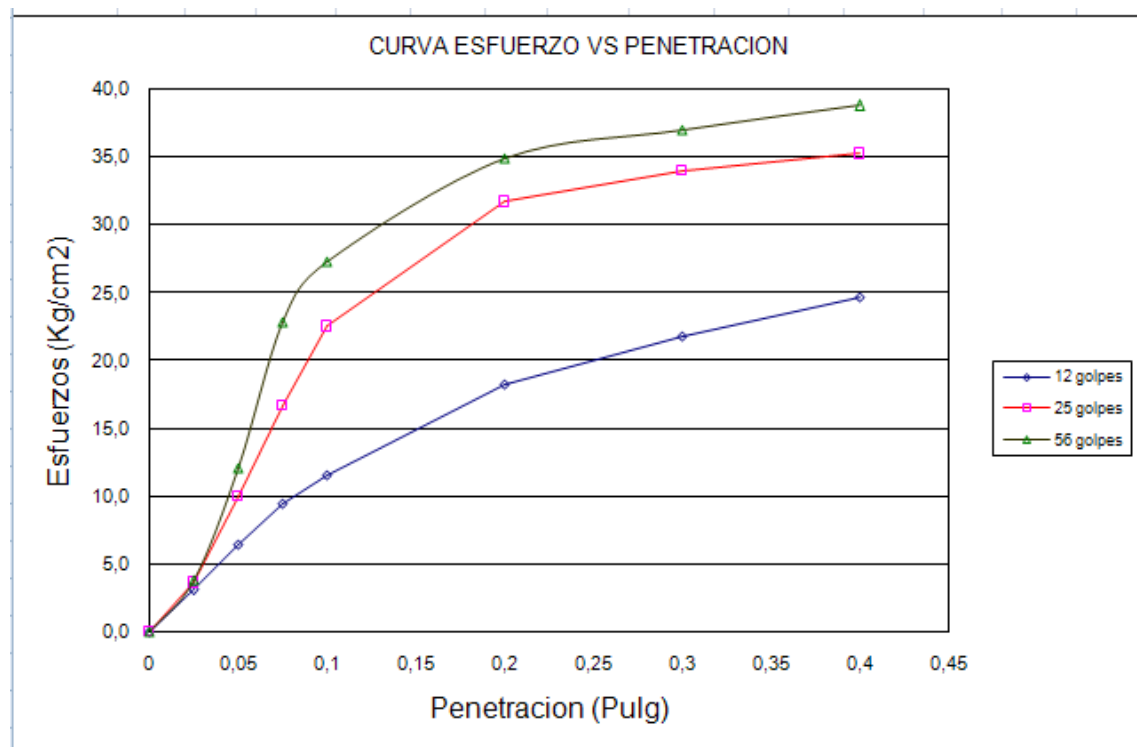
Determinación de la penetración en los moldes de CBR

Area del Piston = 19.355cm²

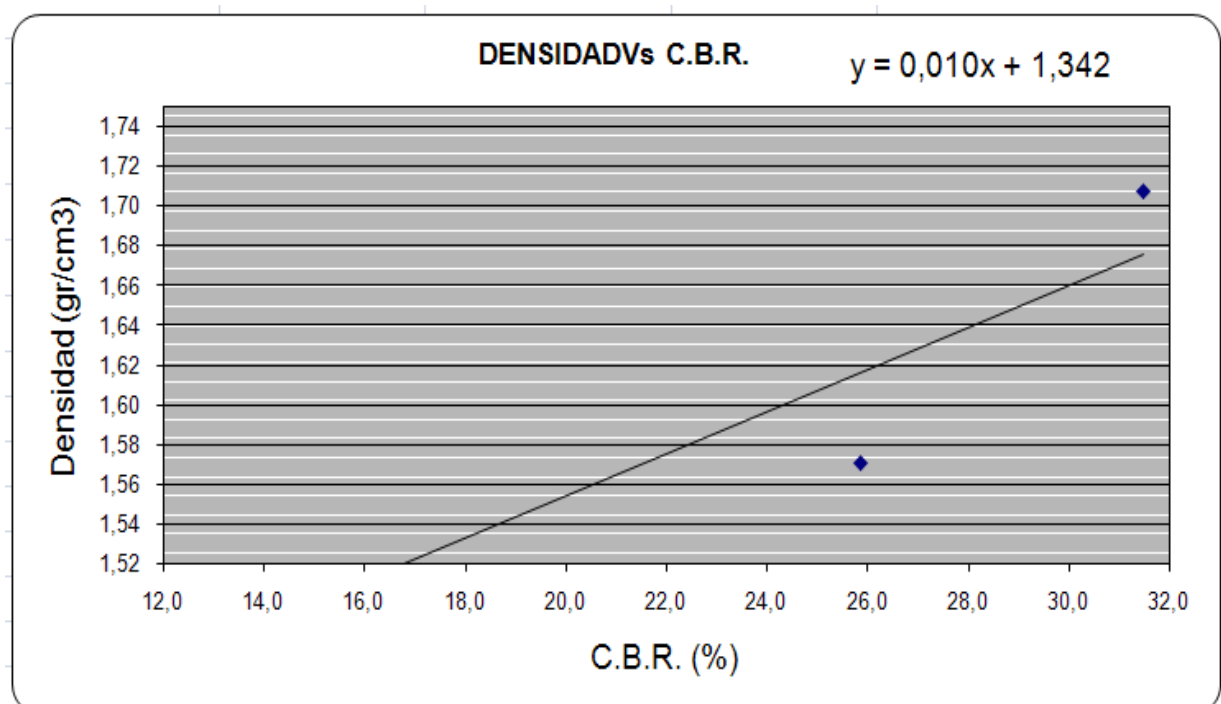
Lectura anillo: Pulg.

C.B.R.

PENETRACION		CARGA NORM AL Kgf cm ²	MOLDE N° 5(12 golpes)				MOLDE N° 6 (25 golpes)				MOLDE N° 7 (56 golpes)			
			CARGA ENSAYO		C.B.R.		CARGA ENSAYO		C.B.R.		CARGA ENSAYO		C.B.R.	
			#	kg	kg/cm ²	%	#	kg	kg/cm ²	%	#	kg	kg/cm ²	%
Pulg.	mm													
0	0		0,00	0	0,00		0,00	0	0,00		0,00	0	0,00	
0,025	0,63		14,00	60,0	3,10		17,00	70,3	3,63		18,00	73,7	3,81	
0,05	1,27		33,00	125,0	6,46		53,00	193,4	9,99		65,00	234,4	12,11	
0,075	1,9		50,00	183,1	9,46		91,00	323,3	16,71		126,00	443,0	22,89	
0,1	2,54	70	62,00	224,2	11,58	16,5	124,00	436,2	22,54	32,2	151,00	528,5	27,31	39,0
0,2	5,08	105	100,00	354,1	18,30	17,4	176,00	614,0	31,72	30,2	194,00	675,6	34,91	33,2
0,3	7,62		120,00	422,5	21,83		189,00	658,5	34,02		206,00	716,6	37,03	
0,4	10,16		136,00	477,2	24,66		196,00	682,4	35,26		216,00	750,8	38,79	



Determinación del CBR corregido por medio de la curva esfuerzo penetración				
Resistencia a la penetración de la piedra triturada				
	CBR 100% D.máx		Penetración	
	38,41%		pulgadas	
	CBR 95% D.máx		0.1"	
	29,86%		0.2"	
Nº golpes	Carga unitaria kg/cm2		CBR corregido %	Densidad seca
	0.1"	0.2"	0.1"	gr/cm3
12	9,0359	14,5882	12,91	1,49
25	18,0949	25,6927	25,85	1,57
56	22,0399	28,3227	31,49	1,71



4.2.3.- RESULTADOS DE SUELO CON APLICACIÓN DE 5% DE ADITIVO



EOLIO S.R.L. SERVICIOS DE INGENIERIA
SUELOS Y HORMIGONES

ENSAYO DE VALOR SOPORTE CALIFORNIA AASHTO T-193										
PROY. DE GRADO II - ANALISIS DE SUELOS ARCILLOSOS MEJORADOS CON CAL LUEGO DE SUPERAR SUS ESFUERZOS MAXIMOS										
UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO					SUELO ARCILLOSO MEJORADO 5%					
UNIVERSITARIO : JULIO CESAR GUERRERO IRAHOLA					MUESTRA: LAS BARRANCAS (ZONA PARADA NORTE)					
DOCENTE : ING. JHONNY ORGAZ					FECHA: 10 DE MAYO 2010					
% Pasa N°200		I. P.		Clasificación		Dens. Max		Hum.Op.%		
92,36		2,13		A - 7-6 (10)		1,710		16,41		
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO										
MOLDE N°		N° 8			N° 11			N° 12		
N° capas		5			5			5		
N° golpes por capa		12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA		Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde (gr)		8064		8596	8817		9203	9110		9614
Peso Molde (gr)		4566		4566	5256		5256	5314		5314
Peso muestra húmeda (gr)		3498		4030	3561		3947	3796		4300
Volumen de la muestra (cm3)		2137,05		2137,05	2040,77		2040,77	2040,77		2040,77
Peso Unit. Muestra Húm. (gr/cm3)		1,637		1,886	1,745		1,934	1,860		2,107
MUESTRA DE HUMEDAD		Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°		29	26	27	30	9	25	8	6	16
Peso muestra húmeda + tara (gr)		40,89	40,96	40,23	40,06	40,33	40,22	39,76	39,82	40,52
Peso muestra seca + tara (gr)		37,34	37,42	30,68	36,72	36,89	31,45	36,08	36,64	32,11
Peso del agua (gr)		3,55	3,54	9,55	3,34	3,44	8,77	3,68	3,18	8,41
Peso de tara (gr)		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peso de la muestra seca (gr)		37,3	37,42	30,68	36,7	36,9	31,45	36,08	36,64	32,1
Contenido humedad %		9,51	9,46	31,13	9,10	9,33	27,89	10,20	8,68	26,19
Promedio cont. Humedad		9,48		31,13	9,21		27,89	9,44		26,19
Peso Unit.muestra seca		1,50		1,44	1,60		1,51	1,70		1,67

Determinación de la Expansión en los moldes de CBR al cabo de 96 horas											
	EXP. PROM.	TIEMPO	MOLDE N°8			MOLDE N° 11			MOLDE N° 12		
FECHA	3,86	EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
		DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
05/05/2010	19:00	0	0	0		0	0		0	0	0
06/05/2010	19:00	1	329	0,329		340	0,34		516	0,516	
07/05/2010	19:00	2	337	0,337		347	0,347		658	0,658	
08/05/2010	19:00	3	337	0,337		351	0,351		662	0,662	
09/05/2010	20:00	4	341	0,341	2,95	341	0,341	2,95	657	0,657	5,68

Análisis del Comportamiento de los Suelos Arcillosos Mejorados con Cal luego Superar sus Esfuerzos Máximos

ROY. DE GRADO II - ANALISIS DE SUELOS ARCILLOSAOS MEJORADOS CON CAL LUEGO DE SUPERAR SUS ESFUERZOS MAXIMO															
UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO								SUELO ARCILLOSO MEJORADO 5%							
UNIVERSITARIO : JULIO CESAR GUERRERO IRAHOLA								MUESTRA: LAS BARRANCAS (ZONA PARADA NORTE)							
DOCENTE : ING. JHONNY ORGAZ								FECHA: 10 DE MAYO 2010							

Determinación de la penetración en los moldes de CBR

Area del Piston =19.355cm²

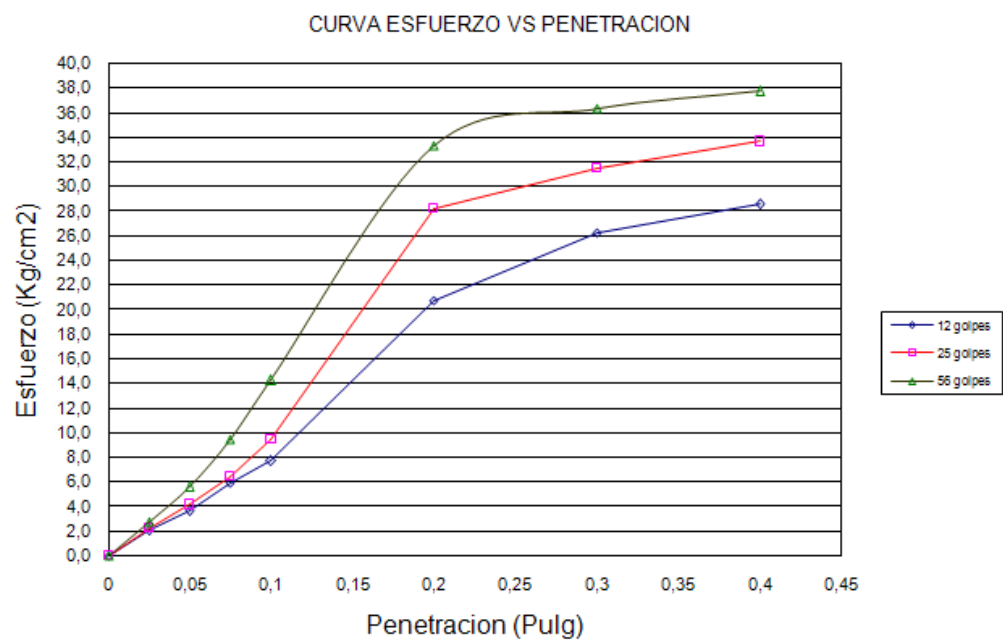
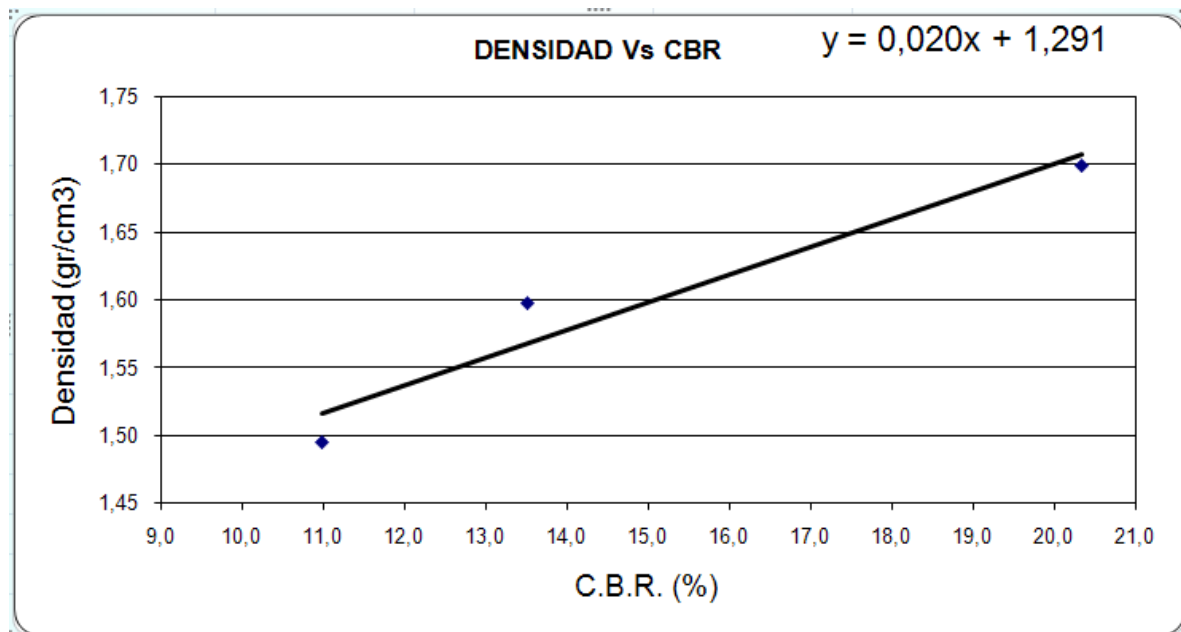
Lectura anillo: Pulg.

C.B.R.

PENETRACION		CARGA NORM AL Kgf cm ²	MOLDE N° 8 (12 golpes)				MOLDE N° 11 (25 golpes)				MOLDE N° 12 (56 golpes)			
			CARGA ENSAYO		C.B.R.		CARGA ENSAYO		C.B.R.		CARGA ENSAYO		C.B.R.	
			#	kg	kg/cm ²	%	#	kg	kg/cm ²	%	#	kg	kg/cm ²	%
Pulg.	mm													
0	0		0,00	0	0,00		0,00	0	0,00		0,00	0	0,00	
0,025	0,63		8,00	39,5	2,04		9,00	42,9	2,22		12,00	53,2	2,75	
0,05	1,27		17,00	70,3	3,63		20,00	80,5	4,16		28,00	107,9	5,57	
0,075	1,9		30,00	114,7	5,93		33,00	125,0	6,46		50,00	183,1	9,46	
0,1	2,54	70	40,00	148,9	7,69	11,0	50,00	183,1	9,46	13,5	77,00	275,5	14,23	20,3
0,2	5,08	105	114,00	402,0	20,77	19,8	156,00	545,6	28,19	26,8	185,00	644,8	33,32	31,7
0,3	7,62		145,00	508,0	26,25		175,00	610,6	31,55		202,00	703,0	36,32	
0,4	10,16		158,00	552,5	28,54		187,00	651,7	33,67		210,00	730,3	37,73	

Determinación del CBR corregido por medio de la curva esfuerzo penetración

Resistencia a la penetración de la piedra triturada				
CBR 100% D.máx		Penetración		
20,32%		pulgadas		
CBR 95% D.máx		0.1"		
16,32%		0.2"		
N° golpes	Carga unitaria kg/cm ²		CBR corregido %	Densidad seca
	0.1"	0.2"	0.1"	gr/cm ³
12	7,6938	20,7695	10,99	1,50
25	9,4608	28,1908	13,52	1,60
56	14,2316	33,3151	20,33	1,70



4.2.4.- RESULTADOS DE SUELO CON APLICACIÓN DE 7% DE ADITIVO



EOLIO S.R.L. SERVICIOS DE INGENIERIA SUELOS Y HORMIGONES

PROY. DE GRADO II - ANALISIS DE SUELOS ARCILLOSOS MEJORADOS CON CAL LUEGO DE SUPERAR SUS ESFUERZOS MAXIMOS										
UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO					SUELO ARCILLOSO MEJORADO 7%					
UNIVERSITARIO : JULIO CESAR GUERRERO IRAHOLA					MUESTRA: LAS BARRANCAS (ZONA PARADA NORTE)					
DOCENTE : ING. JHONNY ORGAZ					FECHA: 10 DE MAYO 2010					
% Pasa N°200		I. P.		Clasificación		Dens. Max		Hum.Op.%		
92,36		2,13		A - 7-6 (10)		1,710		16,41		
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO										
MOLDE N°		N° 15			N° 16			N° 17		
N° capas		5			5			5		
N° golpes por capa		12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA		Antes de mojar		D. de M	Antes de mojar		D. de M	Antes de mojar		D. de M
Peso muestra húm.+molde (gr)		7743		8474	8691		9323	8345		8915
Peso Molde (gr)		4394		4394	5240		5240	4490		4490
Peso muestra húmeda (gr)		3349		4080	3451		4083	3855		4425
Volumen de la muestra (cm3)		2151,09		2151,09	2014,18		2014,18	2023,05		2023,05
Peso Unit. Muestra Húm. (gr/cm3)		1,557		1,897	1,713		2,027	1,906		2,187
MUESTRA DE HUMEDAD		Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°		20	13	17	19	23	2	22	15	29
Peso muestra húmeda + tara (gr)		41,68	39,61	40,57	40,69	41,33	40,83	39,11	39,67	40,67
Peso muestra seca + tara (gr)		38,54	36,54	30,97	37,62	38,30	31,37	36,35	36,77	32,02
Peso del agua (gr)		3,14	3,07	9,6	3,07	3,03	9,46	2,76	2,9	8,65
Peso de tara (gr)		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peso de la muestra seca (gr)		38,5	36,54	30,97	37,6	38,3	31,37	36,35	36,77	32,0
Contenido humedad %		8,15	8,40	31,00	8,16	7,91	30,16	7,59	7,89	27,01
Promedio cont. Humedad		8,27		31,00	8,04		30,16	7,74		27,01
Peso Unit.muestra seca		1,44		1,45	1,59		1,56	1,77		1,72

Determinación de la Expansión en los moldes de CBR al cabo de 96 horas

FECHA	EXP. PROM.	TIEMPO	MOLDE N°15			MOLDE N° 16			MOLDE N° 17		
	4,92	EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
	HORA	DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
05/05/2010	19:00	0	0	0		0	0		0	0	0
06/05/2010	19:00	1	468	0,468		581	0,58		539	0,539	
07/05/2010	19:00	2	475	0,475		555	0,555		564	0,564	
08/05/2010	19:00	3	479	0,479		557	0,557		564	0,564	
09/05/2010	20:00	4	473	0,473	4,09	578	0,578	5,00	657	0,657	5,68

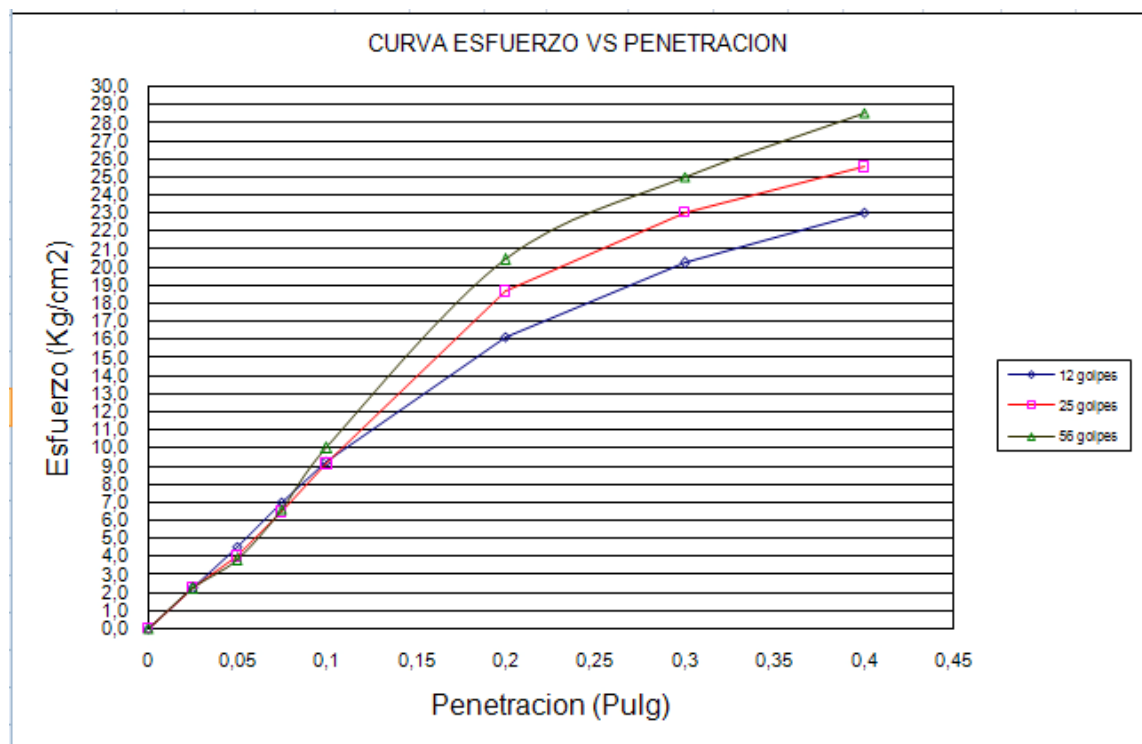
Determinación de la penetración en los moldes de CBR

Area del Piston =19.355cm²

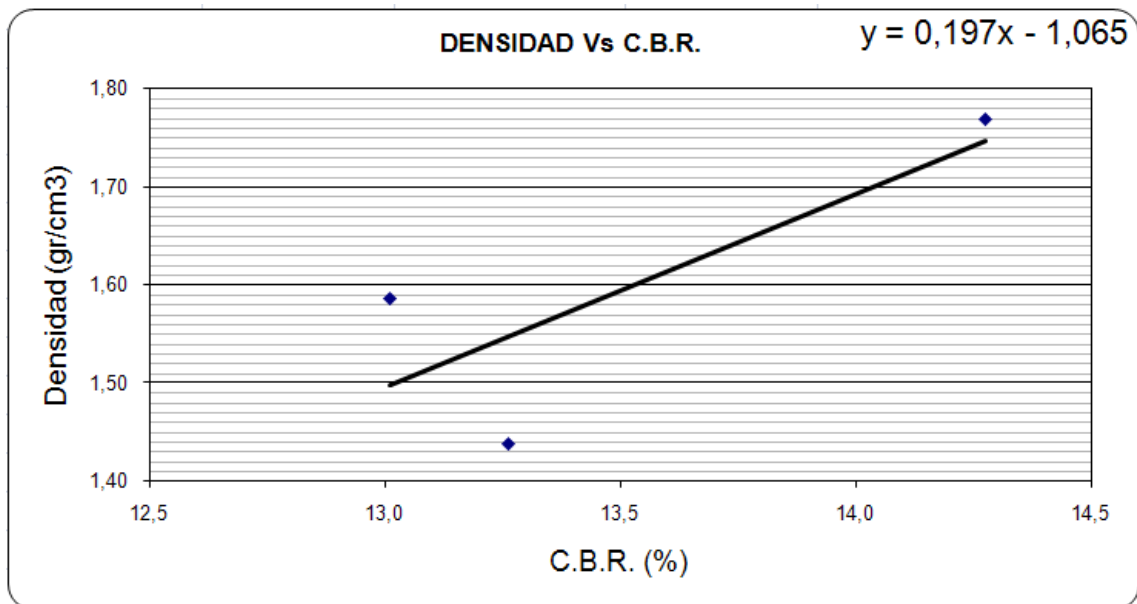
Lectura anillo: Pulg.

C.B.R.

PENETRACION		CARGA NORMA L Kgf cm2	MOLDE N° 15 (12 golpes)				MOLDE N° 16 (25 golpes)				MOLDE N° 17 (56 golpes)			
			CARGA ENSAYO		C.B.R.		CARGA ENSAYO		C.B.R.		CARGA ENSAYO		C.B.R.	
			#	kg	kg/cm2	%	#	kg	kg/cm2	%	#	kg	kg/cm2	%
0	0		0,00	0	0,00		0,00	0	0,00		0,00	0	0,00	
0,025	0,63		9,00	42,9	2,22		9,00	42,9	2,22		9,00	42,9	2,22	
0,05	1,27		22,00	87,4	4,51		19,00	77,1	3,98		18,00	73,7	3,81	
0,075	1,9		36,00	135,2	6,99		33,00	125,0	6,46		34,00	128,4	6,63	
0,1	2,54	70	49,00	179,7	9,28	13,3	48,00	176,3	9,11	13,0	53,00	193,4	9,99	14,3
0,2	5,08	105	88,00	313,1	16,18	15,4	102,00	361,0	18,65	17,8	112,00	395,2	20,42	19,4
0,3	7,62		111,00	391,7	20,24		127,00	446,5	23,07		138,00	484,1	25,01	
0,4	10,16		127,00	446,5	23,07		141,00	494,3	25,54		158,00	552,5	28,54	



Determinación del CBR corregido por medio de la curva esfuerzo penetración				
Resistencia a la penetración de la piedra triturada				
	CBR 100% D.máx		Penetración	
	14,12%		pulgadas	
	CBR 95% D.máx		0.1"	
	13,69%		0.2"	
N° golpes	Carga unitaria kg/cm2		CBR corregido %	Densidad seca
	0.1"	0.2"	0.1"	gr/cm3
12	9,2841	16,1753	13,26	1,44
25	9,1074	18,6491	13,01	1,59
56	9,9909	20,4161	14,27	1,77



4.3.- RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

4.3.1.-ALCANCE

Esta norma describe y regula el método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos, mediante la aplicación de una carga axial con control de deformación. El ensayo se ejecuta sobre muestras inalteradas, re moldeadas o compactadas.

Este método de ensayo da un valor aproximado de la resistencia de los suelos cohesivos en términos de esfuerzos totales.

Además, es aplicable solo a materiales cohesivos que no expulsan agua durante la etapa de carga del ensayo y que mantienen su resistencia intrínseca después de remover las presiones de confinamiento, como las arcillas o los suelos cementados. Los suelos secos friables, los materiales fisurados, laminados, los limos, las turbas y las arenas no pueden ser analizados por este método para obtener valores significativos de la resistencia a la compresión no confinada.

Este método no sustituye el método de la Norma D2850.

Los valores dados en el Sistema Internacional de Unidades deben ser tomados como estándar.

4.3.2.-EQUIPO

Aparato de compresión: El aparato de compresión puede ser una báscula de plataforma equipada con un marco de carga activado con un gato de tornillo, o con un mecanismo de carga hidráulica.

En lugar de la báscula de plataforma es común que la carga sea medida con un anillo o una celda de carga fijada al marco (Figura 1). Para suelos cuya resistencia a la compresión inconfínada sea menor de 100 kPa (1kg/cm²); el aparato de compresión debe ser capaz de medir los esfuerzos compresivos con una precisión de 1 kPa (0.01 kg/cm²); para suelos con una resistencia a la compresión inconfínada de 100 kPa (1 kg/cm²) o mayor el aparato de compresión debe ser capaz de medir los esfuerzos compresivos con una precisión de 5 kPa (0.05 Kg/cm²).



Figura 1. Equipo para compresión inconfínada

Extractor de muestras: Capaz de extraer el núcleo de suelo del tubo de muestreo en la misma dirección en que la muestra entró al tubo, a una velocidad uniforme y con la mínima alteración. Las condiciones en el momento de la extracción de la muestra pueden indicar la dirección del movimiento pero la principal preocupación debe ser mantener en un mínimo su grado de alteración.



Figura 2. Extractor de muestras

Deformímetro: El indicador de deformaciones debe ser un comparador de carátula graduado a 0.02 mm, y con un rango de medición de por lo menos un 20% de la longitud del espécimen para el ensayo, o algún otro instrumento de medición, como un transductor que cumpla estos requerimientos.

Cronómetro: Un instrumento de medición de tiempo, que indique el tiempo transcurrido con una precisión de 1s para controlar la velocidad de aplicación de deformación.

Balanza: La balanza usada para pesar los especímenes, debe determinar su masa con una precisión de 0.1% de su masa total.

4.3.3.-PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Tamaño de las muestras: Los especímenes deben tener un diámetro mínimo de 30 mm y la partícula mayor contenida dentro del espécimen de ensayo debe ser menor que 1/10 del diámetro del espécimen. Para muestras que tengan un diámetro de 72 mm o mayores, el tamaño mayor de partícula debe ser menor que 1/6 del diámetro del espécimen. Si después de terminar un ensayo sobre una muestra inalterada, se encuentra, con base en la observación directa, que hay presentes partículas mayores que las permitidas, registre esta información en la sección de observaciones del informe (Nota 4). La relación de altura a diámetro debe encontrarse entre 2 y 2.5. Determine la altura promedio y el diámetro de la muestra para el ensayo utilizando los instrumentos especificados en el numeral 5.4. Tome un mínimo de 3 mediciones de la altura (separadas 120°), y por lo menos tres mediciones del diámetro espaciadas igualmente a lo largo de la generatriz del cilindro.

Muestras inalteradas: Prepare los especímenes inalterados a partir de muestras grandes inalteradas o de muestras obtenidas de acuerdo con la Norma D1587 y preservadas y transportadas de acuerdo con las normas para el grupo de muestras C en la Norma D4220. Las muestras de tubo pueden ser ensayadas sin labrar, excepto sus extremos, si las condiciones de la muestra justifican este procedimiento. Maneje las muestras cuidadosamente para prevenir cualquier alteración, cambios en la sección transversal o pérdidas en el contenido de agua. Si el aparato de extracción puede causar compresión o cualquier otro tipo de alteración notoria de la muestra, divida el tubo de muestreo a lo largo o córtelo en secciones pequeñas para facilitar la remoción del espécimen sin alteración.

Cuando sea posible, prepare los especímenes labrados a partir de muestras mayores intactas en un cuarto con humedad controlada. Haga todo lo posible para prevenir cualquier cambio en el contenido de agua del suelo. Los especímenes deben tener una sección transversal circular con sus extremos perpendiculares al eje longitudinal de la muestra. Cuando recorte o labre una muestra, remueva cualquier guijarro pequeño o concha que encuentre. Llene cuidadosamente los vacíos en la superficie del espécimen con suelo re moldeado obtenido de los recortes. Cuando la presencia de guijarros o desmoronamiento dé lugar a una irregularidad excesiva en los extremos, emparéjelos con un espesor mínimo de yeso, cemento, o un material similar. Cuando la condición de la muestra lo permita puede utilizarse un torno vertical, que acomode la muestra completa, como una ayuda en el labrado de la muestra hasta el diámetro requerido. Cuando se considere importante la prevención del desarrollo de fuerzas de capilaridad, selle el espécimen con una membrana de caucho con un recubrimiento de plástico delgado, con un recubrimiento de grasa o de plástico pulverizado durante todo el ensayo. Determine las dimensiones y la masa de la muestra para el ensayo. Si el espécimen debe ser emparejado con yeso o cemento, su masa y dimensiones deben ser determinadas antes de emparejar sus extremos. Si la muestra completa no se va a utilizar en la determinación del contenido de agua, tome una muestra representativa de cortes para este objeto colocándolas inmediatamente en una cápsula cubierta. La determinación del contenido de agua debe ser ejecutada de acuerdo con la Norma D2216.

Muestras re moldeadas: Las muestras re moldeadas pueden ser preparadas a partir de una muestra inalterada o a partir de una muestra alterada, siempre y cuando sea representativa de la muestra inalterada fallada. En el caso de las muestras inalteradas falladas, envuelva el material en una membrana de caucho delgado y amase el material completamente con los dedos para asegurar un remoldeo completo. Evite que quede aire atrapado en la muestra.

Tenga cuidado de obtener una muestra de densidad uniforme, con la misma relación de vacíos de la muestra inalterada y con el mismo contenido natural de agua en el suelo.

Después de retirar los especímenes de la formaleta, determine la masa y las dimensiones de las muestras para el ensayo.

Muestras compactadas: Las muestras deben ser preparadas con un contenido de agua predeterminada.

Después de preparada la muestra recorte los extremos perpendicularmente al eje longitudinal, retírela de la formaleta y determine su masa y sus dimensiones.

4.3.4.-PROCEDIMIENTO

- Coloque el espécimen en el aparato de carga de tal manera que quede centrado en la platina inferior. Ajuste el instrumento de carga cuidadosamente de tal manera que la platina superior apenas haga contacto con el espécimen. Lleve a cero el indicador de deformación.
- Aplique la carga de tal manera que se produzca una deformación axial a una velocidad de 2 a 2.5% por minuto. Registre los valores de carga, deformación y tiempo a intervalos suficientes para definir la curva esfuerzo-deformación (normalmente son suficientes 10 a 15 puntos). La velocidad de deformación debe escogerse de tal manera que el tiempo necesario para la falla no exceda de 15 minutos (nota 6). Continúe aplicando carga hasta que los valores de carga decrezcan al aumentar la deformación o hasta que se alcance una deformación igual a 15%. La velocidad de deformación utilizada para ensayar muestras selladas puede disminuirse si se considera deseable para obtener mejores resultados en el ensayo. Registre la velocidad de deformación en el informe de los datos de ensayo.
- Determine el contenido de agua de la muestra de ensayo utilizando todo el espécimen a menos que se hayan obtenido cortes representativos para este fin, como en el caso de las muestras inalteradas. Indique en el informe del ensayo si la muestra para contenido de humedad fue obtenida antes o después del ensayo de compresión.



4.3.5.-CÁLCULOS

- Calcule la deformación axial, ϵ_1 , hasta el 0.1% más próximo, para cada carga de interés, así:

$$\Sigma = \Delta L / L_0$$

Donde:

ΔL : Cambio de longitud del espécimen como se lee a partir del indicador de deformaciones (mm).

L_0 : Longitud inicial de la muestra para el ensayo (mm).

- Calcule el área transversal media, A , para una carga aplicada dada, como sigue:

$$A = A_0 / (1 - \epsilon_1)$$

Donde:

A_0 : Área transversal media inicial de la muestra (mm²)

ϵ_1 : Deformación axial para una carga dada, %

- Calcule el esfuerzo compresivo, σ_c , con tres cifras significativas o con una precisión de 1 kPa (0.01 kg/cm²), para cada carga de interés así:

$$\sigma_c = F / A$$

Donde:

F : Carga aplicada, kgf

A : Área transversal media correspondiente (cm²)

- *Gráfica*: Si se desea puede dibujarse un gráfico que muestra la relación entre los esfuerzos de compresión (en las ordenadas) y la deformación axial (en las abscisas).

4.4.- RESULTADOS

4.4.1.-DATOS DEL SUELO SIN ADITIVO

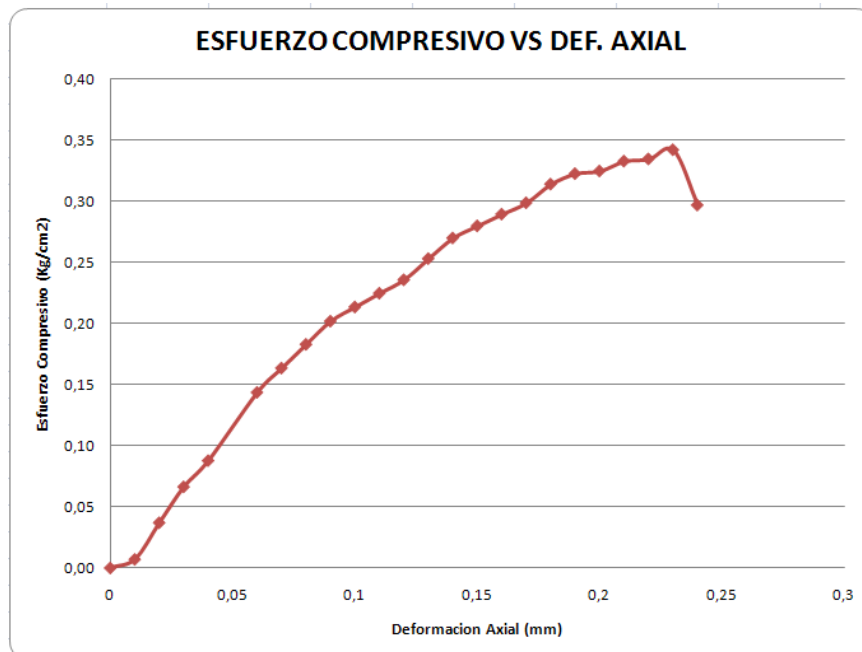
CARGA ENSAYO			CARGA ENSAYO			CARGA ENSAYO		
#	kg	kg/cm2	#	kg	kg/cm2	#	kg	kg/cm2
0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00
1	0,6	0,01	3	1,8	0,02	8	4,8	0,06
5	3,0	0,04	7	4,2	0,05	14	8,4	0,11
9	5,4	0,07	11	6,6	0,08	19	11,4	0,15
12	7,2	0,09	14	8,4	0,11	24	14,4	0,18
15	9,0	0,11	19	11,4	0,15	29	17,4	0,22
20	12,0	0,15	23	13,8	0,18	33	19,9	0,25
23	13,8	0,18	25	15,0	0,19	37	22,3	0,28
26	15,6	0,20	27	16,2	0,21	41	24,7	0,31
29	17,4	0,22	31	18,7	0,24	44	26,5	0,34
31	18,7	0,24	33	19,9	0,25	49	29,5	0,38
33	19,9	0,25	35	21,1	0,27	52	31,3	0,40
35	21,1	0,27	38	22,9	0,29	56	33,7	0,43
38	22,9	0,29	41	24,7	0,31	58	34,9	0,44
41	24,7	0,31	44	26,5	0,34	60	36,1	0,46
43	25,9	0,33	46	27,7	0,35	62	37,3	0,48
45	27,1	0,34	47	28,3	0,36	64	38,5	0,49
47	28,3	0,36	52	31,3	0,40	66	39,8	0,51
50	30,1	0,38	53	31,9	0,41	67	40,4	0,51
52	31,3	0,40	50	30,1	0,38	65	39,2	0,50
53	31,9	0,41	48	28,9	0,37	63	37,9	0,48
55	33,1	0,42	45	27,1	0,34	63	37,9	0,48
56	33,7	0,43	41	24,7	0,31	60	36,1	0,46
58	34,9	0,44	39	23,5	0,30	56	33,7	0,43
51	30,7	0,39	38	22,9	0,29	48	28,9	0,37
46	27,7	0,35	38	22,9	0,29	41	24,7	0,31

4.4.1.2.- RESULTADOS DE SUELO SIN ADITIVO



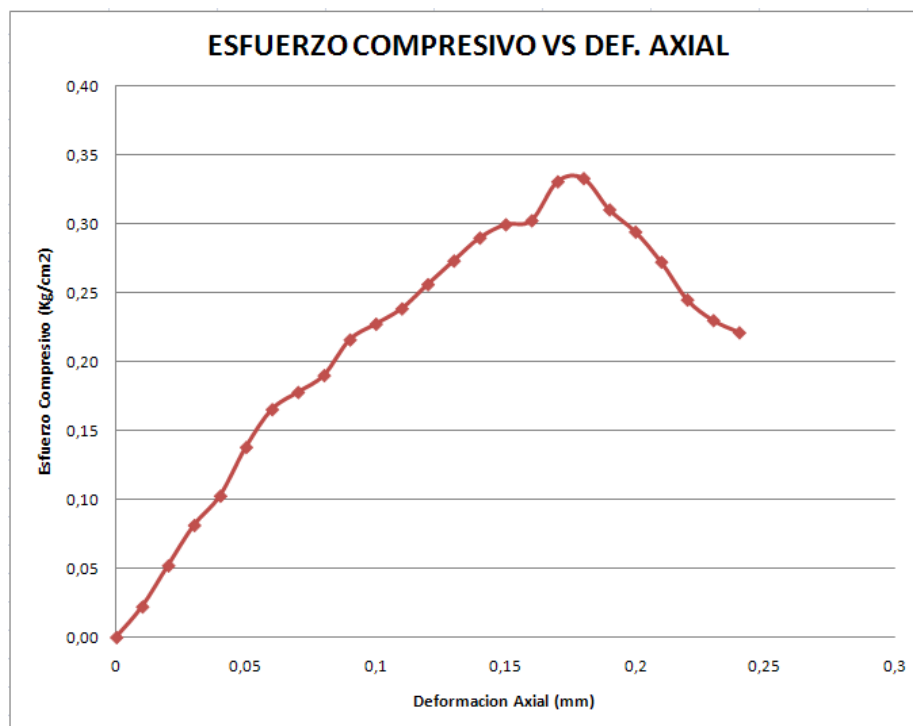
EDO S.R.L. SERVICIOS DE INGENIERIA
SUELOS Y HORMIGONES

GRAFICOS DE LA DEFORMACION DEL SUELO NATURAL			
Def. Axial	Area trans. Corregida	Esfuerzo Compresivo	Area Inicial
0	78,5	0,00	78,54
0,01	79,3	0,01	78,54
0,02	80,1	0,04	78,54
0,03	81,0	0,07	78,54
0,04	81,8	0,09	78,54
0,06	83,6	0,14	78,54
0,07	84,5	0,16	78,54
0,08	85,4	0,18	78,54
0,09	86,3	0,20	78,54
0,1	87,3	0,21	78,54
0,11	88,2	0,23	78,54
0,12	89,3	0,24	78,54
0,13	90,3	0,25	78,54
0,14	91,3	0,27	78,54
0,15	92,4	0,28	78,54
0,16	93,5	0,29	78,54
0,17	94,6	0,30	78,54
0,18	95,8	0,31	78,54
0,19	97,0	0,32	78,54
0,2	98,2	0,33	78,54
0,21	99,4	0,33	78,54
0,22	100,7	0,33	78,54
0,23	102,0	0,34	78,54
0,24	103,3	0,30	78,54



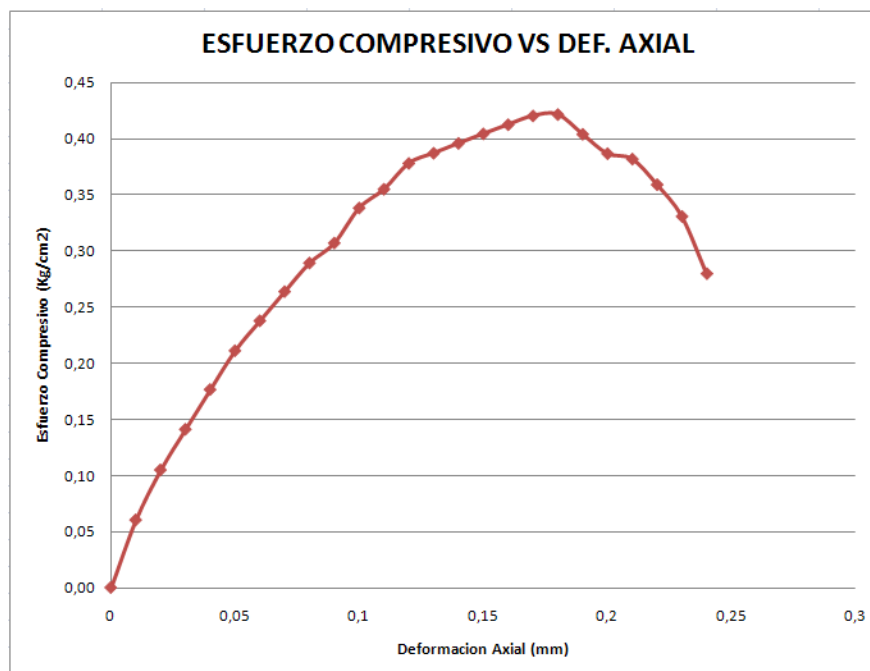
Análisis del Comportamiento de los Suelos Arcillosos Mejorados con Cal luego Superar sus Esfuerzos Máximos

Def. Axial	Area trans. Corregida	Esfuerzo Compresivo	Area Inicial
0	78,5	0,00	78,54
0,01	79,3	0,02	78,54
0,02	80,1	0,05	78,54
0,03	81,0	0,08	78,54
0,04	81,8	0,10	78,54
0,05	82,7	0,14	78,54
0,06	83,6	0,17	78,54
0,07	84,5	0,18	78,54
0,08	85,4	0,19	78,54
0,09	86,3	0,22	78,54
0,1	87,3	0,23	78,54
0,11	88,2	0,24	78,54
0,12	89,3	0,26	78,54
0,13	90,3	0,27	78,54
0,14	91,3	0,29	78,54
0,15	92,4	0,30	78,54
0,16	93,5	0,30	78,54
0,17	94,6	0,33	78,54
0,18	95,8	0,33	78,54
0,19	97,0	0,31	78,54
0,2	98,2	0,29	78,54
0,21	99,4	0,27	78,54
0,22	100,7	0,25	78,54
0,23	102,0	0,23	78,54
0,24	103,3	0,22	78,54



Análisis del Comportamiento de los Suelos Arcillosos Mejorados con Cal luego Superar sus Esfuerzos Máximos

Def. Axial	Area trans. Corregida	Esfuerzo Compresivo	Area Inicial
0	78,5	0,00	78,54
0,01	79,3	0,06	78,54
0,02	80,1	0,10	78,54
0,03	81,0	0,14	78,54
0,04	81,8	0,18	78,54
0,05	82,7	0,21	78,54
0,06	83,6	0,24	78,54
0,07	84,5	0,26	78,54
0,08	85,4	0,29	78,54
0,09	86,3	0,31	78,54
0,1	87,3	0,34	78,54
0,11	88,2	0,35	78,54
0,12	89,3	0,38	78,54
0,13	90,3	0,39	78,54
0,14	91,3	0,40	78,54
0,15	92,4	0,40	78,54
0,16	93,5	0,41	78,54
0,17	94,6	0,42	78,54
0,18	95,8	0,42	78,54
0,19	97,0	0,40	78,54
0,2	98,2	0,39	78,54
0,21	99,4	0,38	78,54
0,22	100,7	0,36	78,54
0,23	102,0	0,33	78,54
0,24	103,3	0,28	78,54



4.4.2.-DATOS DE SUELO CON 3% ADITIVO

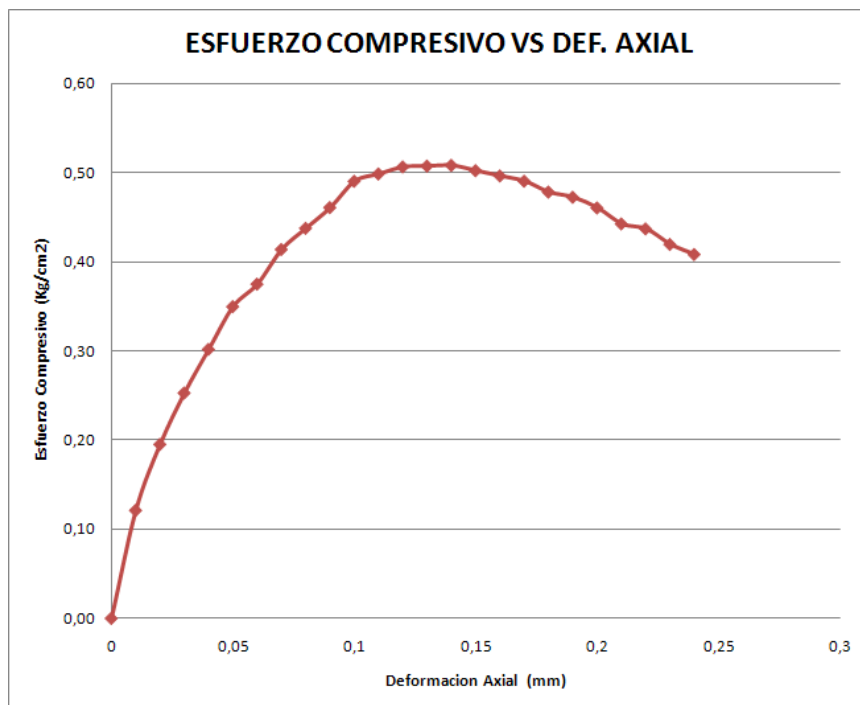
CARGA ENSAYO			CARGA ENSAYO			CARGA ENSAYO		
#	kg	kg/cm2	#	kg	kg/cm2	#	kg	kg/cm2
0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00
16	9,6	0,12	4	2,4	0,03	5	3,0	0,04
26	15,6	0,20	10	6,0	0,08	11	6,6	0,08
34	20,5	0,26	18	10,8	0,14	19	11,4	0,15
41	24,7	0,31	23	13,8	0,18	25	15,0	0,19
48	28,9	0,37	37	22,3	0,28	33	19,9	0,25
52	31,3	0,40	42	25,3	0,32	38	22,9	0,29
58	34,9	0,44	53	31,9	0,41	45	27,1	0,34
62	37,3	0,48	60	36,1	0,46	53	31,9	0,41
66	39,8	0,51	65	39,2	0,50	61	36,7	0,47
71	42,8	0,54	66	39,8	0,51	67	40,4	0,51
73	44,0	0,56	60	36,1	0,46	68	41,0	0,52
75	45,2	0,58	62	37,3	0,48	65	39,2	0,50
76	45,8	0,58	65	39,2	0,50	66	39,8	0,51
77	46,4	0,59	66	39,8	0,51	64	38,5	0,49
77	46,4	0,59	70	42,2	0,54	63	37,9	0,48
77	46,4	0,59	72	43,4	0,55	59	35,5	0,45
77	46,4	0,59	75	45,2	0,58	55	33,1	0,42
76	45,8	0,58	78	47,0	0,60	51	30,7	0,39
76	45,8	0,58	79	47,6	0,61	50	30,1	0,38
75	45,2	0,58	80	48,2	0,61	49	29,5	0,38
73	44,0	0,56	81	48,8	0,62	47	28,3	0,36
72	43,4	0,55	79	47,6	0,61	44	26,5	0,34
71	42,8	0,54	78	47,0	0,60	42	25,3	0,32
70	42,2	0,54	77	46,4	0,59	41	24,7	0,31
67	40,4	0,51	76	45,8	0,58	39	23,5	0,30

4.4.2.1.- RESULTADOS DE SUELO CON 3% ADITIVO



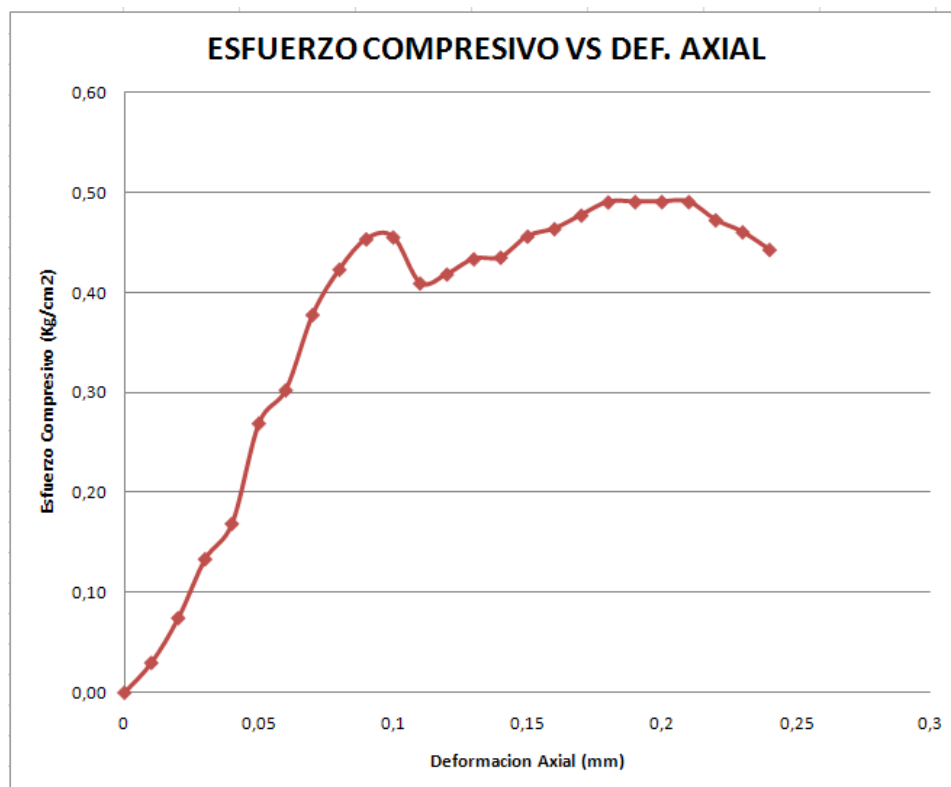
EDO S.R.L. SERVICIOS DE INGENIERIA
SUELOS Y HORMIGONES

GRAFICOS DEL SUELO MEJORADO AL 3%				
Def. Axial	Area trans. Corregida	Esfuerzo Compresivo	Area Inicial	kg
0	78,54	0,00	78,54	0
0,01	79,33	0,12	78,54	9,6
0,02	80,14	0,20	78,54	15,6
0,03	80,97	0,25	78,54	20,5
0,04	81,81	0,30	78,54	24,7
0,05	82,67	0,35	78,54	28,9
0,06	83,55	0,37	78,54	31,3
0,07	84,45	0,41	78,54	34,9
0,08	85,37	0,44	78,54	37,3
0,09	86,31	0,46	78,54	39,8
0,1	87,27	0,49	78,54	42,8
0,11	88,25	0,50	78,54	44,0
0,12	89,25	0,51	78,54	45,2
0,13	90,28	0,51	78,54	45,8
0,14	91,33	0,51	78,54	46,4
0,15	92,40	0,50	78,54	46,4
0,16	93,50	0,50	78,54	46,4
0,17	94,63	0,49	78,54	46,4
0,18	95,78	0,48	78,54	45,8
0,19	96,96	0,47	78,54	45,8
0,2	98,18	0,46	78,54	45,2
0,21	99,42	0,44	78,54	44,0
0,22	100,69	0,44	78,54	44,0
0,23	102,00	0,42	78,54	42,8
0,24	103,34	0,41	78,54	42,2



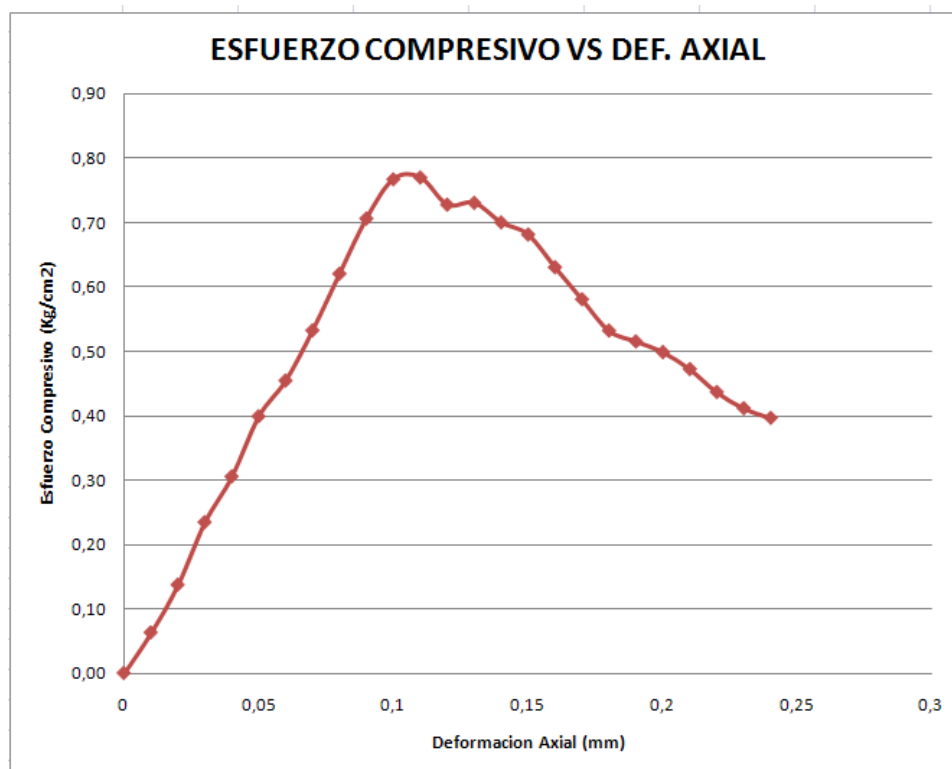
Análisis del Comportamiento de los Suelos Arcillosos Mejorados con Cal luego Superar sus Esfuerzos Máximos

Def. Axial	Area trans. Corregida	Esfuerzo Compresivo	Area Inicial	kg
0	78,54	0,00	78,54	0
0,01	79,33	0,03	78,54	2,4
0,02	80,14	0,07	78,54	6,0
0,03	80,97	0,13	78,54	10,8
0,04	81,81	0,17	78,54	13,8
0,05	82,67	0,27	78,54	22,3
0,06	83,55	0,30	78,54	25,3
0,07	84,45	0,38	78,54	31,9
0,08	85,37	0,42	78,54	36,1
0,09	86,31	0,45	78,54	39,2
0,1	87,27	0,46	78,54	39,8
0,11	88,25	0,41	78,54	36,1
0,12	89,25	0,42	78,54	37,3
0,13	90,28	0,43	78,54	39,2
0,14	91,33	0,44	78,54	39,8
0,15	92,40	0,46	78,54	42,2
0,16	93,50	0,46	78,54	43,4
0,17	94,63	0,48	78,54	45,2
0,18	95,78	0,49	78,54	47,0
0,19	96,96	0,49	78,54	47,6
0,2	98,18	0,49	78,54	48,2
0,21	99,42	0,49	78,54	48,8
0,22	100,69	0,47	78,54	47,6
0,23	102,00	0,46	78,54	47,0
0,24	103,34	0,44	78,54	45,8



Análisis del Comportamiento de los Suelos Arcillosos Mejorados con Cal luego Superar sus Esfuerzos Máximos

Def. Axial	Area trans. Corregida	Esfuerzo Compresivo	Area Inicial	kg
0	78,54	0,00	78,54	0
0,01	79,33	0,06	78,54	5,0
0,02	80,14	0,14	78,54	11,0
0,03	80,97	0,23	78,54	19,0
0,04	81,81	0,31	78,54	25,0
0,05	82,67	0,40	78,54	33,0
0,06	83,55	0,45	78,54	38,0
0,07	84,45	0,53	78,54	45,0
0,08	85,37	0,62	78,54	53,0
0,09	86,31	0,71	78,54	61,0
0,1	87,27	0,77	78,54	67,0
0,11	88,25	0,77	78,54	68,0
0,12	89,25	0,73	78,54	65,0
0,13	90,28	0,73	78,54	66,0
0,14	91,33	0,70	78,54	64,0
0,15	92,40	0,68	78,54	63,0
0,16	93,50	0,63	78,54	59,0
0,17	94,63	0,58	78,54	55,0
0,18	95,78	0,53	78,54	51,0
0,19	96,96	0,52	78,54	50,0
0,2	98,18	0,50	78,54	49,0
0,21	99,42	0,47	78,54	47,0
0,22	100,69	0,44	78,54	44,0
0,23	102,00	0,41	78,54	42,0
0,24	103,34	0,40	78,54	41,0



4.4.3.-DATOS DE SUELO CON 5% ADITIVO

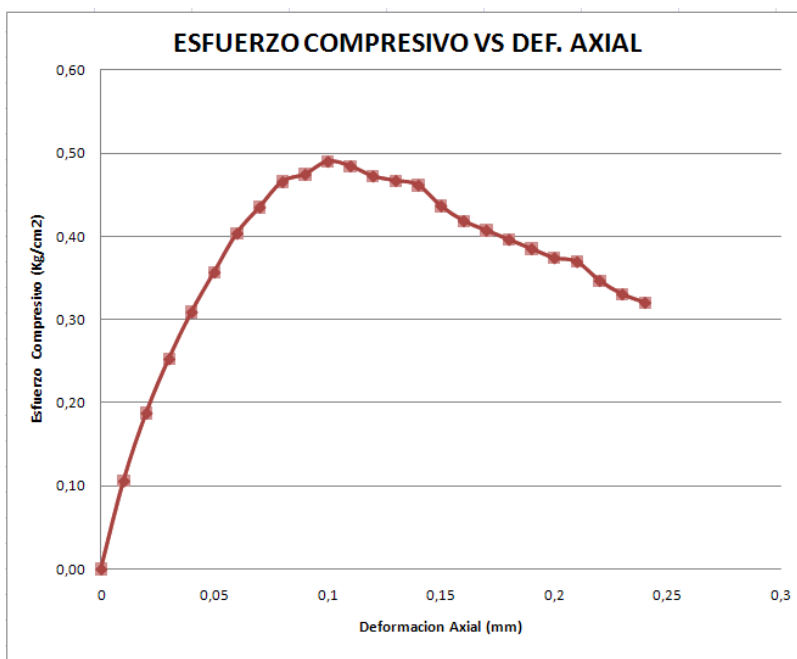
CARGA ENSAYO			CARGA ENSAYO			CARGA ENSAYO		
#	kg	kg/cm2	#	kg	kg/cm2	#	kg	kg/cm2
0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00
14	8,4	0,11	3	1,8	0,02	9	5,4	0,07
25	15,0	0,19	5	3,0	0,04	19	11,4	0,15
34	20,5	0,26	8	4,8	0,06	30	18,0	0,23
42	25,3	0,32	11	6,6	0,08	41	24,7	0,31
49	29,5	0,38	13	7,8	0,10	51	30,7	0,39
56	33,7	0,43	17	10,2	0,13	58	34,9	0,44
61	36,7	0,47	20	12,0	0,15	67	40,4	0,51
66	39,8	0,51	26	15,6	0,20	73	44,0	0,56
68	41,0	0,52	31	18,7	0,24	78	47,0	0,60
71	42,8	0,54	37	22,3	0,28	82	49,4	0,63
71	42,8	0,54	46	27,7	0,35	85	51,2	0,65
70	42,2	0,54	54	32,5	0,41	86	51,8	0,66
70	42,2	0,54	62	37,3	0,48	82	49,4	0,63
70	42,2	0,54	72	43,4	0,55	80	48,2	0,61
67	40,4	0,51	79	47,6	0,61	80	48,2	0,61
65	39,2	0,50	82	49,4	0,63	77	46,4	0,59
64	38,5	0,49	83	50,0	0,64	70	42,2	0,54
63	37,9	0,48	85	51,2	0,65	61	36,7	0,47
62	37,3	0,48	88	53,0	0,68	56	33,7	0,43
61	36,7	0,47	89	53,6	0,68	51	30,7	0,39
61	36,7	0,47	90	54,2	0,69	50	30,1	0,38
58	34,9	0,44	90	54,2	0,69	47	28,3	0,36
56	33,7	0,43	90	54,2	0,69	46	27,7	0,35
55	33,1	0,42	90	54,2	0,69	42	25,3	0,32
53	31,9	0,41	87	52,4	0,67	39	23,5	0,30

4.4.3.1.- RESULTADOS DE SUELO CON 5% ADITIVO



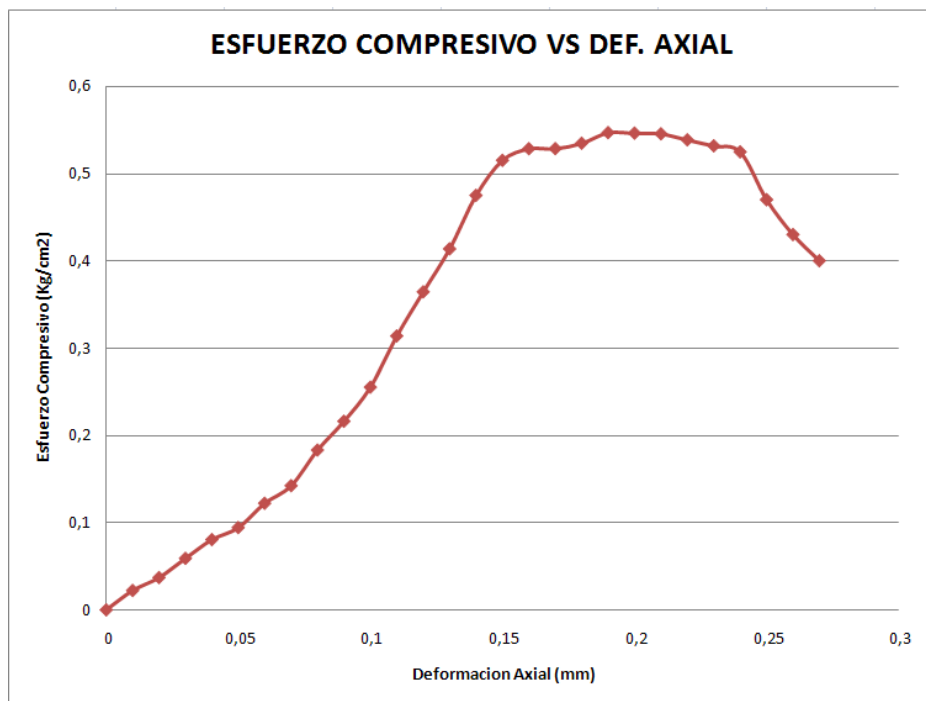
EOLO S.R.L. SERVICIOS DE INGENIERIA
SUELOS Y HORMIGONES

GRAFICOS DEL SUELO MEJORADO AL 5%				
Def. Axial	Area trans. Corregida	Esfuerzo Compresivo	Area Inicial	kg
0	78,54	0,00	78,54	0
0,01	79,33	0,11	78,54	8,4
0,02	80,14	0,19	78,54	15,0
0,03	80,97	0,25	78,54	20,5
0,04	81,81	0,31	78,54	25,3
0,05	82,67	0,36	78,54	29,5
0,06	83,55	0,40	78,54	33,7
0,07	84,45	0,44	78,54	36,7
0,08	85,37	0,47	78,54	39,8
0,09	86,31	0,47	78,54	41,0
0,1	87,27	0,49	78,54	42,8
0,11	88,25	0,48	78,54	42,8
0,12	89,25	0,47	78,54	42,2
0,13	90,28	0,47	78,54	42,2
0,14	91,33	0,46	78,54	42,2
0,15	92,40	0,44	78,54	40,4
0,16	93,50	0,42	78,54	39,2
0,17	94,63	0,41	78,54	38,5
0,18	95,78	0,40	78,54	37,9
0,19	96,96	0,39	78,54	37,3
0,2	98,18	0,37	78,54	36,7
0,21	99,42	0,37	78,54	36,7
0,22	100,69	0,35	78,54	34,9
0,23	102,00	0,33	78,54	33,7
0,24	103,34	0,32	78,54	33,1



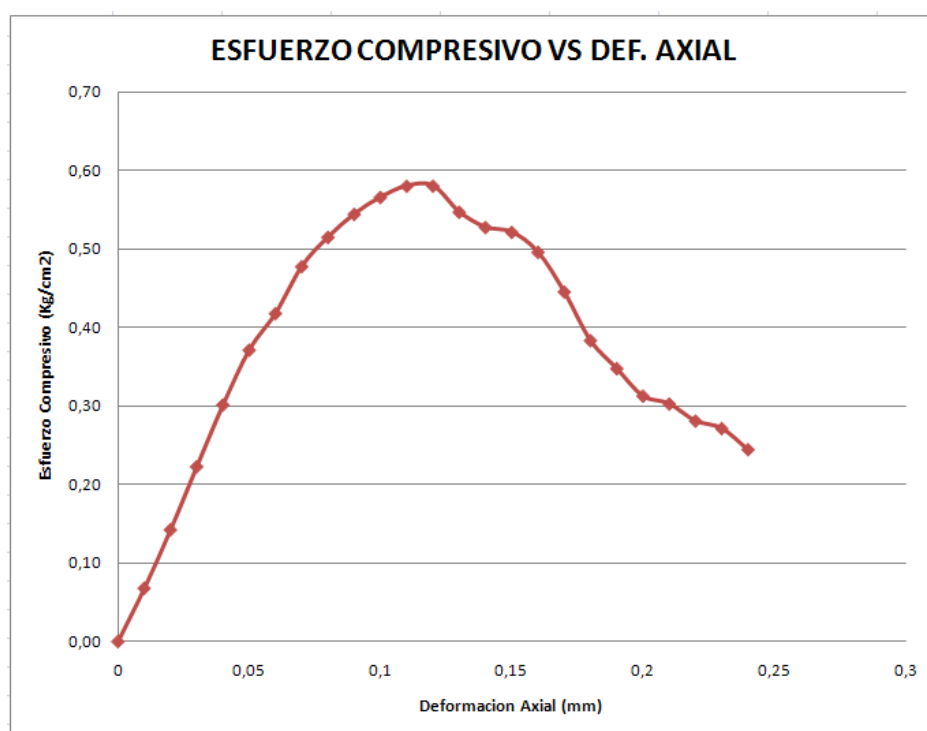
Análisis del Comportamiento de los Suelos Arcillosos Mejorados con Cal luego Superar sus Esfuerzos Máximos

Def. Axial	Area trans. Corregida	Esfuerzo Compresivo	Area Inicial	kg
0	78,54	0,00	78,54	0
0,01	79,33	0,07	78,54	5,4
0,02	80,14	0,14	78,54	11,4
0,03	80,97	0,22	78,54	18,0
0,04	81,81	0,30	78,54	24,7
0,05	82,67	0,37	78,54	30,7
0,06	83,55	0,42	78,54	34,9
0,07	84,45	0,48	78,54	40,4
0,08	85,37	0,52	78,54	44,0
0,09	86,31	0,54	78,54	47,0
0,1	87,27	0,57	78,54	49,4
0,11	88,25	0,58	78,54	51,2
0,12	89,25	0,58	78,54	51,8
0,13	90,28	0,55	78,54	49,4
0,14	91,33	0,53	78,54	48,2
0,15	92,40	0,52	78,54	48,2
0,16	93,50	0,50	78,54	46,4
0,17	94,63	0,45	78,54	42,2
0,18	95,78	0,38	78,54	36,7
0,19	96,96	0,35	78,54	33,7
0,2	98,18	0,31	78,54	30,7
0,21	99,42	0,30	78,54	30,1
0,22	100,69	0,28	78,54	28,3
0,23	102,00	0,27	78,54	27,7
0,24	103,34	0,24	78,54	25,3



Análisis del Comportamiento de los Suelos Arcillosos Mejorados con Cal luego Superar sus Esfuerzos Máximos

Def. Axial	Area trans. Corregida	Esfuerzo Compresivo	Area Inicial	kg
0	78,54	0	78,54	0
0,01	79,33	0,02	78,54	1,8
0,02	80,14	0,04	78,54	3,0
0,03	80,97	0,06	78,54	4,8
0,04	81,81	0,08	78,54	6,6
0,05	82,67	0,09	78,54	7,8
0,06	83,55	0,12	78,54	10,2
0,07	84,45	0,14	78,54	12,0
0,08	85,37	0,18	78,54	15,6
0,09	86,31	0,22	78,54	18,7
0,1	87,27	0,26	78,54	22,3
0,11	88,25	0,31	78,54	27,7
0,12	89,25	0,36	78,54	32,5
0,13	90,28	0,41	78,54	37,3
0,14	91,33	0,47	78,54	43,4
0,15	92,40	0,52	78,54	47,6
0,16	93,50	0,53	78,54	49,4
0,17	94,63	0,53	78,54	50,0
0,18	95,78	0,53	78,54	51,2
0,19	96,96	0,55	78,54	53,0
0,2	98,18	0,55	78,54	53,6
0,21	99,42	0,55	78,54	54,2
0,22	100,69	0,54	78,54	54,2
0,23	102,00	0,53	78,54	54,2
0,24	103,34	0,52	78,54	54,2
0,25	104,72	0,47	78,54	40,3
0,26	106,14	0,43	78,54	35,1
0,27	107,59	0,40	78,54	33,7



4.4.4.-DATOS DE SUELO CON 7% ADITIVO

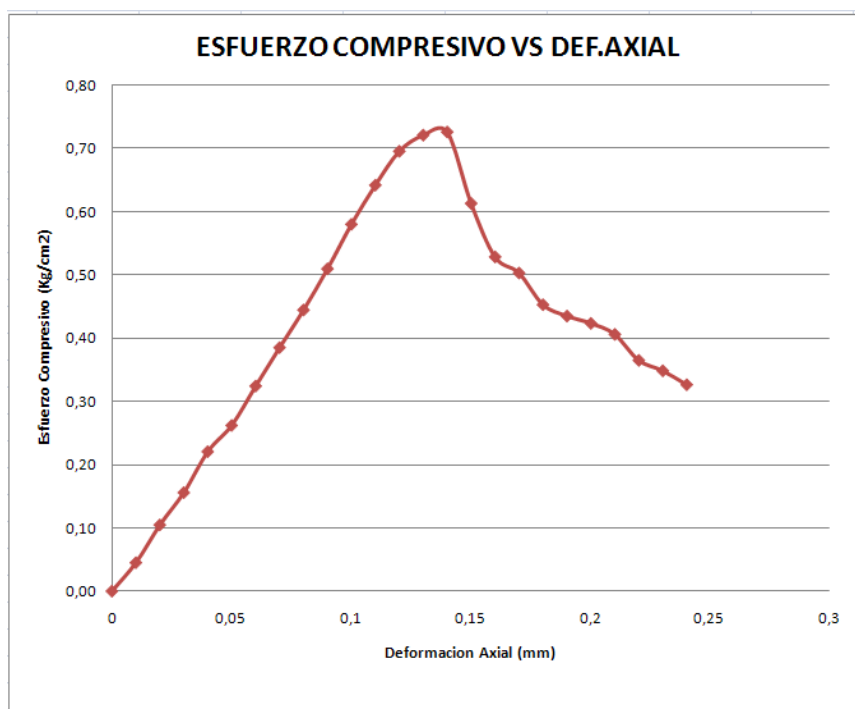
CARGA ENSAYO			CARGA ENSAYO			CARGA ENSAYO		
#	kg	kg/cm2	#	kg	kg/cm2	#	kg	kg/cm2
0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00
6	3,6	0,05	5	3,0	0,04	13	7,8	0,10
14	8,4	0,11	9	5,4	0,07	23	13,8	0,18
21	12,6	0,16	17	10,2	0,13	34	20,5	0,26
30	18,0	0,23	26	15,6	0,20	43	25,9	0,33
36	21,7	0,28	37	22,3	0,28	54	32,5	0,41
45	27,1	0,34	46	27,7	0,35	64	38,5	0,49
54	32,5	0,41	54	32,5	0,41	73	44,0	0,56
63	37,9	0,48	61	36,7	0,47	81	48,8	0,62
73	44,0	0,56	73	44,0	0,56	87	52,4	0,67
84	50,6	0,64	80	48,2	0,61	95	57,2	0,73
94	56,6	0,72	92	55,4	0,71	100	60,3	0,77
103	62,1	0,79	101	60,9	0,77	102	61,5	0,78
108	65,1	0,83	105	63,3	0,81	104	62,7	0,80
110	66,3	0,84	93	56,0	0,71	94	56,6	0,72
94	56,6	0,72	85	51,2	0,65	90	54,2	0,69
82	49,4	0,63	79	47,6	0,61	86	51,8	0,66
79	47,6	0,61	76	45,8	0,58	81	48,8	0,62
72	43,4	0,55	71	42,8	0,54	74	44,6	0,57
70	42,2	0,54	67	40,4	0,51	71	42,8	0,54
69	41,6	0,53	65	39,2	0,50	68	41,0	0,52
67	40,4	0,51	64	38,5	0,49	65	39,2	0,50
61	36,7	0,47	60	36,1	0,46	60	36,1	0,46
59	35,5	0,45	59	35,5	0,45	56	33,7	0,43
56	33,7	0,43	57	34,3	0,44	51	30,7	0,39
55	33,1	0,42	55	33,1	0,42	47	28,3	0,36

4.4.4.1.- RESULTADOS DE SUELO CON 7% ADITIVO



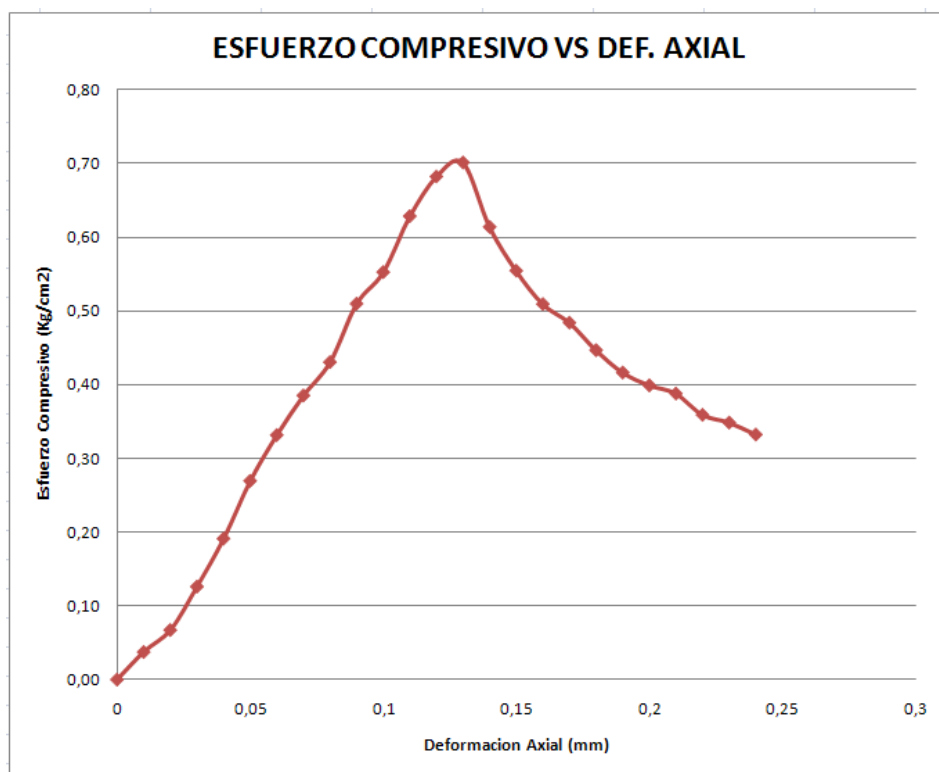
EDOLO S.R.L. SERVICIOS DE INGENIERIA
SUELOS Y HORMIGONES

GRAFICOS DEL SUELO MEJORADO AL 7%				
Def. Axial	Area trans. Corregida	Esfuerzo Compresivo	Area Inicial	kg
0	78,54	0,00	78,54	0
0,01	79,33	0,05	78,54	3,6
0,02	80,14	0,10	78,54	8,4
0,03	80,97	0,16	78,54	12,6
0,04	81,81	0,22	78,54	18,0
0,05	82,67	0,26	78,54	21,7
0,06	83,55	0,32	78,54	27,1
0,07	84,45	0,39	78,54	32,5
0,08	85,37	0,44	78,54	37,9
0,09	86,31	0,51	78,54	44,0
0,1	87,27	0,58	78,54	50,6
0,11	88,25	0,64	78,54	56,6
0,12	89,25	0,70	78,54	62,1
0,13	90,28	0,72	78,54	65,1
0,14	91,33	0,73	78,54	66,3
0,15	92,40	0,61	78,54	56,6
0,16	93,50	0,53	78,54	49,4
0,17	94,63	0,50	78,54	47,6
0,18	95,78	0,45	78,54	43,4
0,19	96,96	0,43	78,54	42,2
0,2	98,18	0,42	78,54	41,6
0,21	99,42	0,41	78,54	40,4
0,22	100,69	0,36	78,54	36,7
0,23	102,00	0,35	78,54	35,5
0,24	103,34	0,33	78,54	33,7



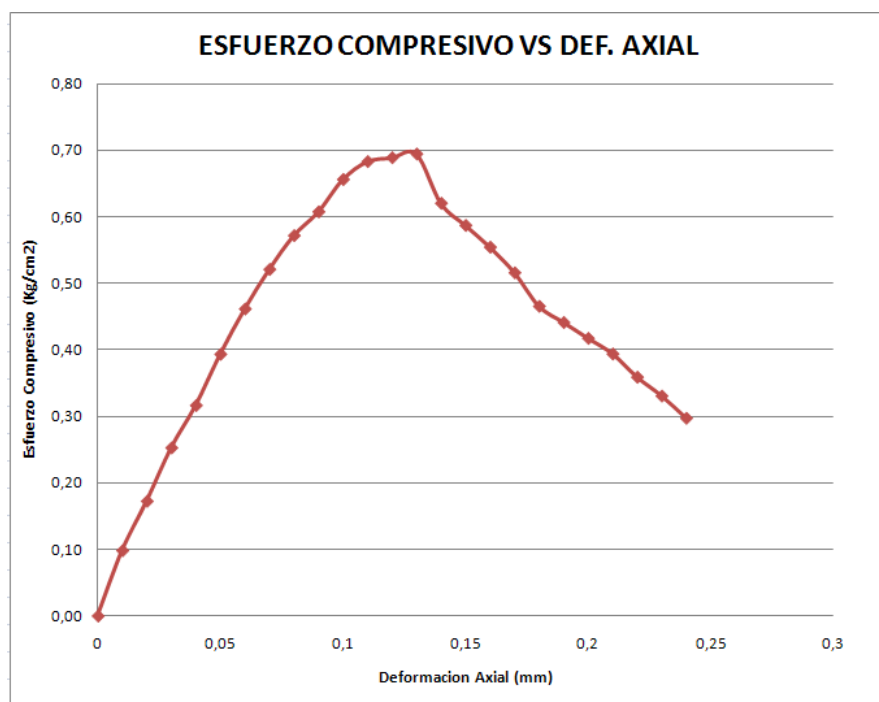
Análisis del Comportamiento de los Suelos Arcillosos Mejorados con Cal luego Superar sus Esfuerzos Máximos

Def. Axial	Area trans. Corregida	Esfuerzo Compresivo	Area Inicial	kg
0	78,54	0,00	78,54	0
0,01	79,33	0,04	78,54	3,0
0,02	80,14	0,07	78,54	5,4
0,03	80,97	0,13	78,54	10,2
0,04	81,81	0,19	78,54	15,6
0,05	82,67	0,27	78,54	22,3
0,06	83,55	0,33	78,54	27,7
0,07	84,45	0,39	78,54	32,5
0,08	85,37	0,43	78,54	36,7
0,09	86,31	0,51	78,54	44,0
0,1	87,27	0,55	78,54	48,2
0,11	88,25	0,63	78,54	55,4
0,12	89,25	0,68	78,54	60,9
0,13	90,28	0,70	78,54	63,3
0,14	91,33	0,61	78,54	56,0
0,15	92,40	0,55	78,54	51,2
0,16	93,50	0,51	78,54	47,6
0,17	94,63	0,48	78,54	45,8
0,18	95,78	0,45	78,54	42,8
0,19	96,96	0,42	78,54	40,4
0,2	98,18	0,40	78,54	39,2
0,21	99,42	0,39	78,54	38,5
0,22	100,69	0,36	78,54	36,1
0,23	102,00	0,35	78,54	35,5
0,24	103,34	0,33	78,54	34,3



Análisis del Comportamiento de los Suelos Arcillosos Mejorados con Cal luego Superar sus Esfuerzos Máximos

Def. Axial	Area trans. Corregida	Esfuerzo Compresivo	Area Inicial	kg
0	78,54	0,00	78,54	0
0,01	79,33	0,10	78,54	7,8
0,02	80,14	0,17	78,54	13,8
0,03	80,97	0,25	78,54	20,5
0,04	81,81	0,32	78,54	25,9
0,05	82,67	0,39	78,54	32,5
0,06	83,55	0,46	78,54	38,5
0,07	84,45	0,52	78,54	44,0
0,08	85,37	0,57	78,54	48,8
0,09	86,31	0,61	78,54	52,4
0,1	87,27	0,66	78,54	57,2
0,11	88,25	0,68	78,54	60,3
0,12	89,25	0,69	78,54	61,5
0,13	90,28	0,69	78,54	62,7
0,14	91,33	0,62	78,54	56,6
0,15	92,40	0,59	78,54	54,2
0,16	93,50	0,55	78,54	51,8
0,17	94,63	0,52	78,54	48,8
0,18	95,78	0,47	78,54	44,6
0,19	96,96	0,44	78,54	42,8
0,2	98,18	0,42	78,54	41,0
0,21	99,42	0,39	78,54	39,2
0,22	100,69	0,36	78,54	36,1
0,23	102,00	0,33	78,54	33,7
0,24	103,34	0,30	78,54	30,7



4.5.-ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Con los resultados obtenidos de los ensayos realizados en el laboratorio se puede observar que el suelo se comporta de una manera poco común, empezando por los resultados de los límites de consistencia que nos muestra un valor elevada de su límite líquido ($LL = 49.7 \%$) con respecto al límite plástico ($LP = 25.64 \%$) y llevando estos valores a la carta de plasticidad nos da un valor que se encuentra ubicado por encima de la línea “A”, lo cual nos dice que se trata de una arcilla CL. Según Atterberg, cuando un suelo tiene un índice plástico (I.P) igual a cero el suelo es no plástico; cuando el índice plástico es menor de 7 el suelo presenta baja plasticidad; cuando el índice plástico está comprendido entre 7 y 17 se dice que el suelo es medianamente plástico, y cuando el suelo presenta un índice plástico mayor a 17 se dice que el suelo es altamente plástico.

Según Arthur Casagrande, comparando suelos de igual límite líquido con índice de plasticidad que aumenta, la compresibilidad es la misma, la constante de permeabilidad disminuye, la tenacidad cerca del límite plástico aumenta y también aumenta su resistencia en seco.

Ahora, comparando suelos de igual índice plástico con límite líquido que aumenta, la compresibilidad aumenta, la constante de permeabilidad aumenta, y tanto la tenacidad cerca del límite plástico como la resistencia en seco disminuyen.

Con la ayuda de estos conceptos podemos decir que el suelo en estudio tiene un $(I.P)=24.06$ mayor a 17, entonces nuestro suelo es altamente plástico y que sus propiedades como la compresibilidad como la permeabilidad aumentan, pero su resistencia en seco disminuye.

En las pruebas realizadas por el método C.B.R., los valores varían bruscamente según el porcentaje de aditivo utilizado, como se muestra en la siguiente tabla:

TABLA DE COMPARACIONES DE DENSIDADES		
(%)ADITIVO	Den. Max 95(%)	Den. Max (100%)
Sin aditivo	2,7	3,15
3	29,86	38.41
5	16,32	20,32
7	13,69	14,12

La reacción química de la cal con los suelos arcillosos provoca dos fenómenos: primero, aglutina las partículas finas de arcilla en partículas grandes no plásticas (del tamaño del limo y de la arena), mediante el fenómeno denominado “Intercambio de Bases”.

Luego produce una “Cementación” definitiva, o acción endurecedora, en la cual la cal reacciona químicamente con la sílice y la alúmina del suelo natural, formando silicatos y aluminatos de calcio.

Por lo general, la cal reacciona bien con los suelos más plásticos que contienen arcilla. La cal en el suelo arcilloso modifica las características físicas del suelo como:

- El I.P. disminuye notablemente, esto se debe a que el límite líquido disminuye y el límite plástico aumenta
- La contracción y expansión lineal disminuyen considerablemente.
- La resistencia a la compresión no confinada aumenta considerablemente en proporciones que varían entre 40 veces.
- Los valores de la resistencia medidos por el California Bearing Ratio C.B.R. aumentan de forma considerable.

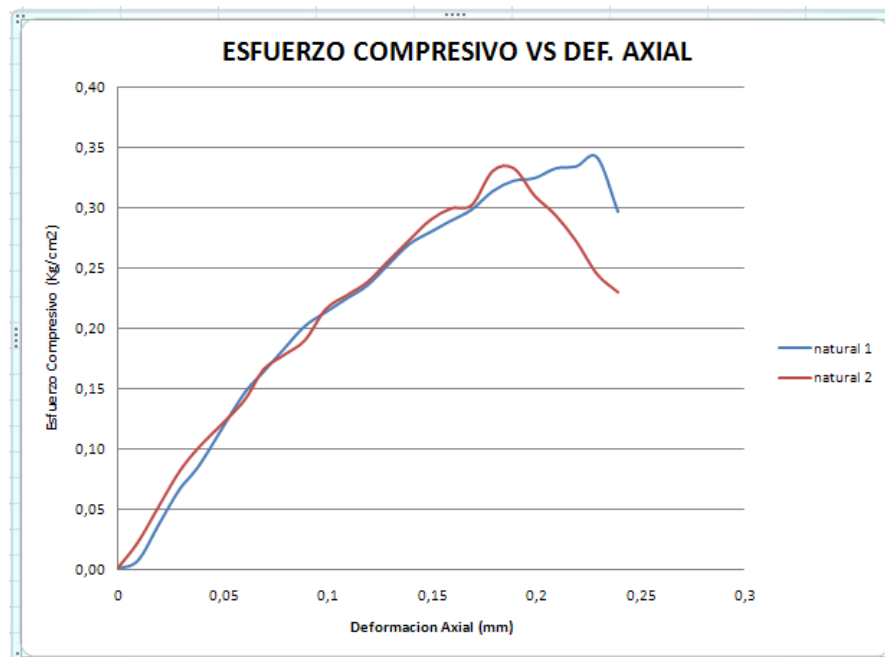
Podemos notar que su máximo valor de densidad nos da cuando el suelo tiene un incremento de aditivo del 3%, cuando en realidad el suelo arcilloso debería ir estabilizándose mejor con el incremento de aditivo y no ir disminuyendo con el aumento del mismo.

En el ensayo de compresión no confinada sólo llegamos a obtener la restitución que se quería encontrar en dos de los especímenes de estudio y en los demás se puede observar que el esfuerzo interno del suelo es menor al esfuerzo de compresión y siendo que debería haberse obtenido un resultado diferente ya que los suelos arcillosos mejoran sus propiedades considerablemente al ser estabilizados con un aditivo como es la cal.

- **Análisis del suelo sin aditivo**

- Se ha podido notar que el ensayo de compresión simple en el suelo sin el uso aditivo resiste una presión de carga similar, que oscila entre los valores de (0.33 a 0.43 Kgf/cm²).

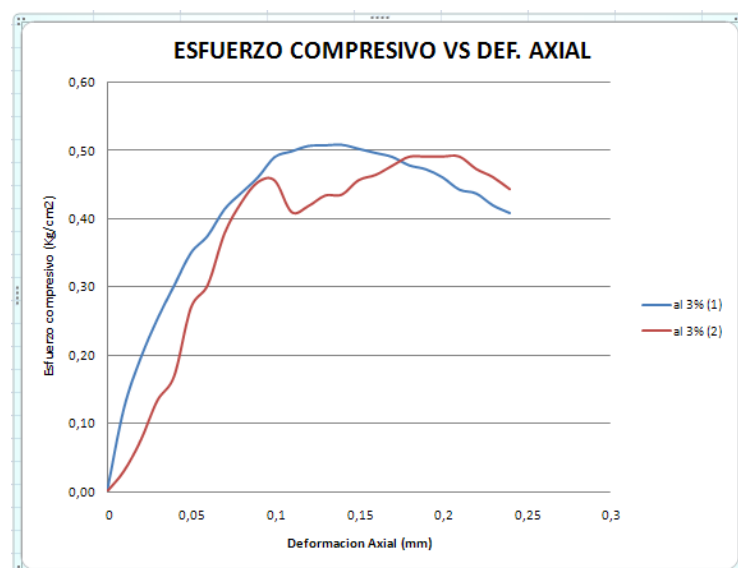
- También se puede apreciar que los valores de la penetración se encuentran en el rango de (0.17 a 0.25 mm); entre estos valores se encuentra la falla o rotura del suelo.
- Mostrando una textura cohesiva y grumosa al momento de adicionarle la cantidad cuantificada de agua para que el mismo obtenga su humedad óptima, su coloración mostraba un poco marrón oscuro.
- Analizando el comportamiento de las gráficas se llegó a determinar que después de ocurrida la falla o ruptura en el suelo, los valores decrecen muy rápidamente debido a que el suelo es muy débil, y requiere un mejoramiento ya que su resistencia a la compresión es baja y no es capaz de soportar la carga axial (presión o fuerza vertical aplicada al espécimen).
- Podemos notar también que el suelo, luego de haber superado sus esfuerzos máximos, sus valores descienden rápidamente y ya no es capaz de soportar ningún esfuerzo más que se le aplique.



- **Análisis del suelo con 3% de aditivo**

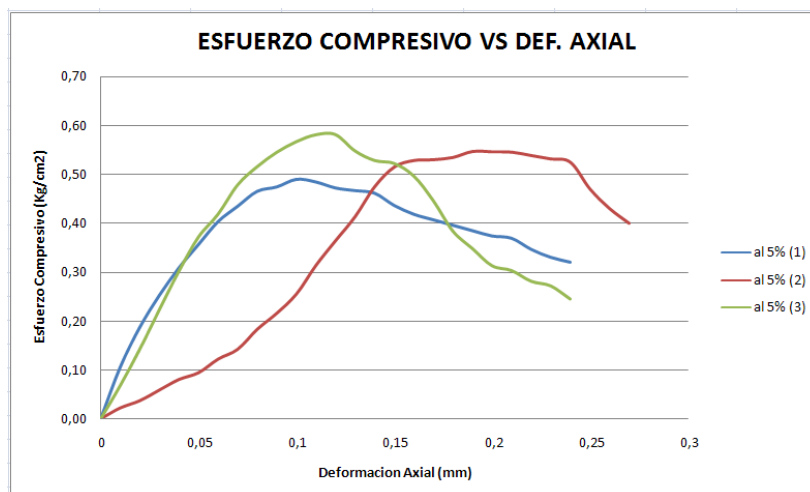
- Se ha podido notar que el ensayo de compresión simple en el suelo con el uso de 3% de aditivo la resistencia a la compresión de carga aumenta y también su valor es similar en los tres especímenes, y oscila entre los valores de (0.47 a 0.51 Kg/cm²).

- También se puede apreciar que los valores de la penetración se encuentran en el rango de (0.10 a 0.17 mm); entre estos valores se encuentra la falla o rotura del suelo.
- Mostrando una textura cohesiva al momento de adicionarle la cantidad cuantificada de agua para que el mismo obtenga su humedad óptima, su coloración mostraba un marrón poco más claro.
- Analizando el comportamiento de las gráficas se llegó a determinar que después de ocurrida la falla o ruptura en el suelo, se pudo observar que los valores en dos de los gráficos tienen la restitución que se pretendía encontrar, y en ese intervalo donde la penetración varía entre (0.12 y 0.25 mm) los valores mantienen un comportamiento lineal donde se puede apreciar que el suelo vuelve a elevar su capacidad de resistir la carga axial (presión o fuerza vertical aplicada al espécimen), luego sus valores decrecen muy rápidamente.
- En este gráfico podemos apreciar que en uno de los especímenes (rojo) de luego de superar los esfuerzos máximos, la restitución y su comportamiento es casi lineal; en el otro espécimen (azul) se observa que sus valores no caen rápidamente como en el caso anterior.
- También podemos notar que las muestras con el uso de 3% de aditivo sufren una deformación menor; esto nos lleva a la conclusión de que el suelo ofrece mayor resistencia a la compresión.



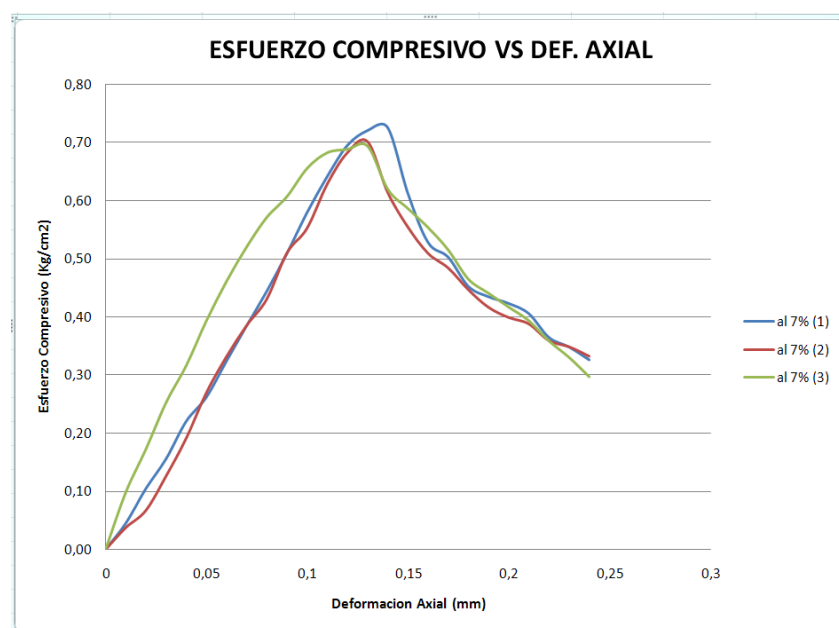
- **Análisis del suelo con 5% de aditivo**

- Se ha podido notar que usando 5% de aditivo la resistencia a la compresión simple aumenta todavía un poco más; sus valores se encuentran en un rango similar de (0.49 a 0.59 Kg/cm²).
- También se puede apreciar que los valores de la penetración se encuentran en el rango de (0.10 a 0.19 mm); entre estos valores se encuentra la falla o rotura del suelo.
- Mostrando una textura también cohesiva al momento de adicionarle la cantidad cuantificada de agua para que el mismo obtenga su humedad óptima, su coloración mostraba un poco marrón clara más clara aún, ya que se notaba que la muestra contenía cal, porque se podía apreciar fácilmente las partículas de cal y la muestra parecía que se había secado y estaba más dura.
- Analizando el comportamiento de las gráficas se llegó a determinar que después de ocurrida la falla o ruptura en el suelo, los valores decrecen más rápidamente, y su resistencia a la compresión es baja y no es capaz de soportar la carga axial (presión o fuerza vertical aplicada al espécimen).
- En este gráfico se observan diferentes comportamientos luego de superar sus esfuerzos máximos, en uno de los especímenes (rojo) se observa que soporta mejor la carga axial y su comportamiento en un tramo es casi linear; en el verde los valores decrecen rápidamente y en el azul también los valores decrecen pero no tan rápido como en el verde.



- **Análisis del suelo con 7% aditivo**

- En las muestras con el 7% de aditivo se ha podido notar que los valores de la resistencia a la compresión simple ascienden más que las otras muestras, y son los valores más elevados de todos los ensayos realizados, y sus valores se encuentran en el rango de (0.68 a 0.72 Kgf/cm²).
- También se puede apreciar que los valores de la penetración se encuentran en el rango de (0.12 a 0.15 mm); entre estos valores se encuentra la falla o rotura del suelo.
- Mostrando una textura dura y seca después de adicionarle la cantidad cuantificada de agua para que el mismo obtenga su humedad optima, su coloración mostraba marrón claro con partículas de cal notorias.
- Analizando el comportamiento de las gráficas se llegó a determinar que después de ocurrida la falla o ruptura en el suelo, los valores decrecen velozmente porque las muestras se han fracturado muy rápidamente debido a que el suelo, con la adición de la cal, se encuentra aparentemente se seco; su resistencia a la compresión es la más elevada hasta el momento de la rotura o falla en el suelo; después su resistencia es baja y no es capaz de soportar la carga axial (presión o fuerza vertical aplicada al espécimen). En los tres especímenes los valores decrecen de forma rápida y similar.



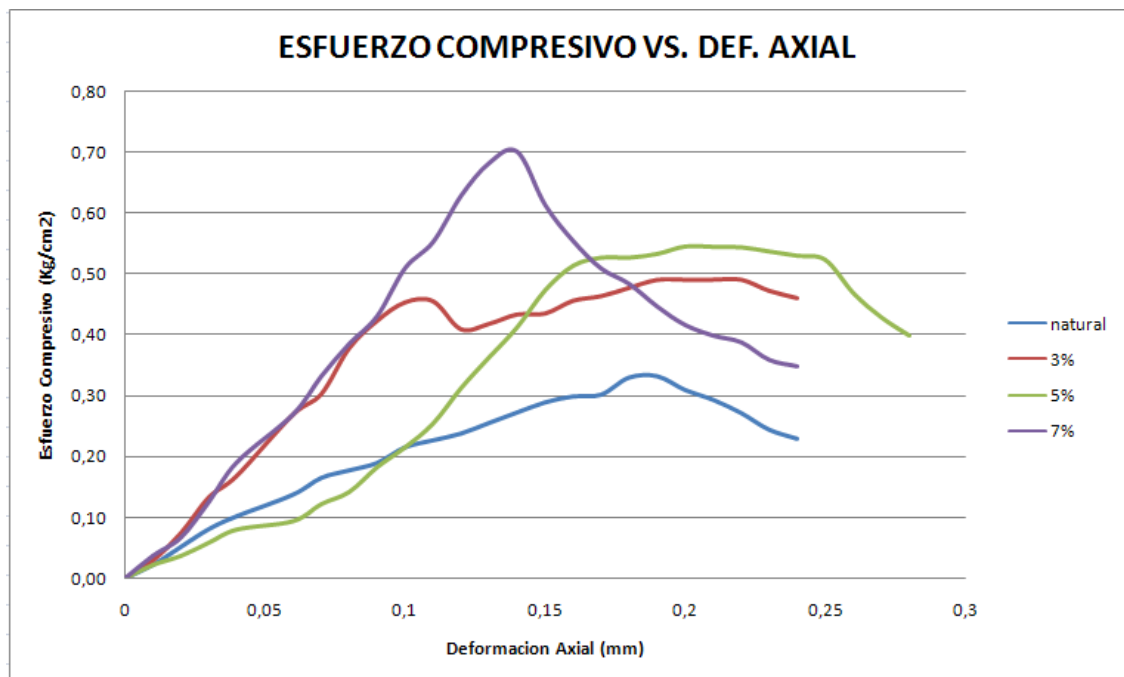
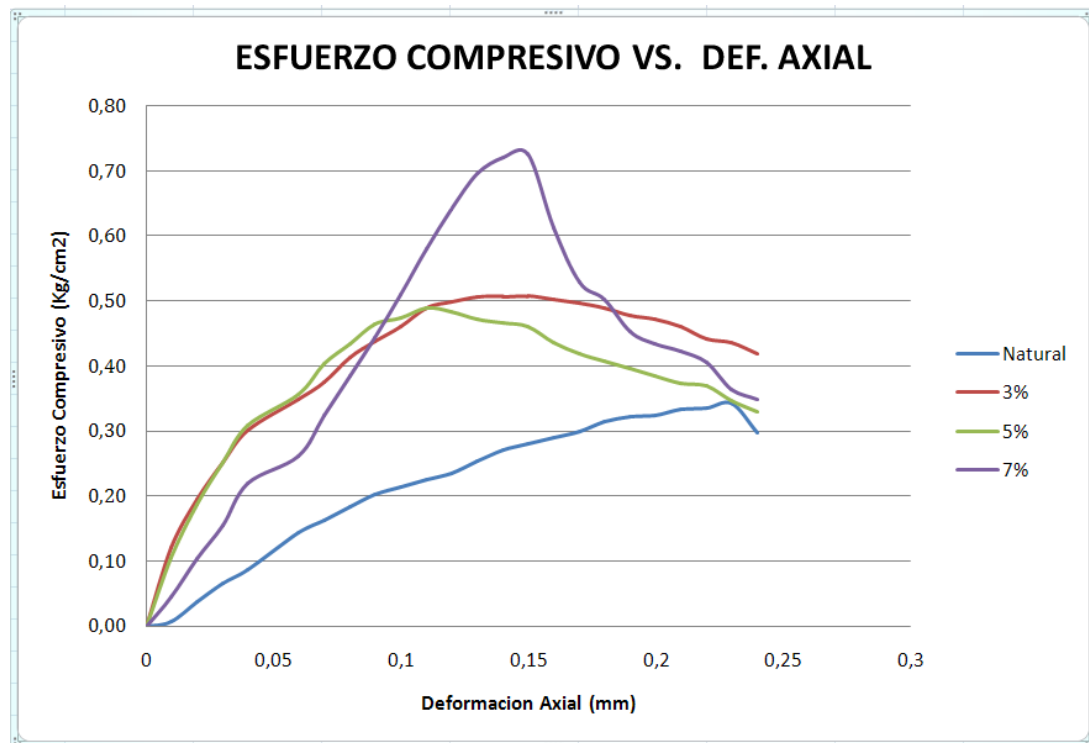
Estos resultados se debe a que el suelo en estudio es un suelo laterítico, estos suelos tienen unas características especiales; son suelos cuya descomposición química se produjo en el mismo lugar; en otras palabras, son suelos oxidados y su metamorfización se produjo por un proceso químico en el lugar y no es un suelo producto del transporte y la sedimentación de partículas. Este tipo de suelo posee unas características irregulares por lo que es difícil estudiar su comportamiento.

Este suelo laterítico se presenta en lugares tropicales y donde generalmente existen abundantes precipitaciones.

Su coloración es rojiza por la presencia de hierro, y este tipo de suelo no sirve para mezclarlo con cal.

- COMPARACION

- Haciendo una comparación de todos los especímenes ensayados en el laboratorio se puede decir que los valores de la carga axial son similares según el porcentaje de cal que se le agregó a la muestra.
- También los valores de la penetración son similares y se puede dar un rango para cada caso en particular.
- La falla o ruptura del suelo se produce en los distintos rangos de esfuerzo compresivo y penetración que se muestran en cada uno de los casos en particular.
- Podemos notar también que mientras más se aumenta el aditivo la resistencia al esfuerzo compresivo aumenta, pero después de ocurrida la falla en el suelo los valores decaen más rápidamente.
- Se puede mencionar también que al momento de realizar las prácticas cuando se adicionaba el aditivo, éste mismo tenía un efecto veloz sobre el suelo ya que después de preparada la muestra al compactar con el proctor T-180, se veía claramente que la muestra estaba perdiendo humedad.
- En los siguientes gráficos podemos notar lo anteriormente mencionado :



CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.-CONCLUSIONES

- Como primera conclusión se puede decir que se cumplió con todos mis objetivos planteados en el proyecto, y que los resultados obtenidos en todos los ensayos son muy interesantes ya que el suelo con el que se realizó el estudio es una arcilla poco común, y el material es conocido como suelo laterítico.
- Con los resultados encontrados no se puede definir ningún parámetro ya que solo se encontró la restitución buscada en un solo espécimen.
- El estudio mostrado en el presente trabajo es de mucha importancia ya que se ha podido demostrar que existe una reorganización en las partículas de arcillas estabilizadas con cal, porque el análisis del mismo muestra la restitución en los especímenes mejorados con cal al 3% de aditivo, que van a disminuir los problemas que se presentan en obras civiles como son las vías camineras; por ejemplo el ingeniero al encontrarse con estos suelos en vez de removerlos podrían mejorarlos con cal y evitarse problemas de costo y tiempo .
- La arcilla en estudio presentaba un color amarillento en estado natural, pero cuando la muestra es secada en el horno muestra una coloración rojiza; en la granulometría se observa que el 99.6 % del suelo pasa el tamiz N° 200 lo que nos dice que el suelo es material fino. Al hacer los límites de consistencia ya parecía un suelo poco común en Tarija puesto que su límite líquido es muy elevado con respecto a su límite plástico ($LL=49.7\%$ y su límite plástico $LP=25.64$); graficando los valores en la carta de plasticidad se determinó que estaba por encima de la línea “A”, en su clasificación es un CL; investigando se determinó que era un suelo laterítico y este tipo de suelo es muy irregular; debido a esto su comportamiento es muy difícil de estudiar.
- En el ensayo de C.B.R. se podía observar claramente que este tipo de suelo es muy expansivo, ya que las muestras en los moldes absorbían el agua y se notó que la muestra se hinchaba cuando introducía los especímenes dentro del turril con agua (mostrado en la figura); se veía como el expansímetro (reloj que mide la expansión) iba marcando valores inmediatamente.

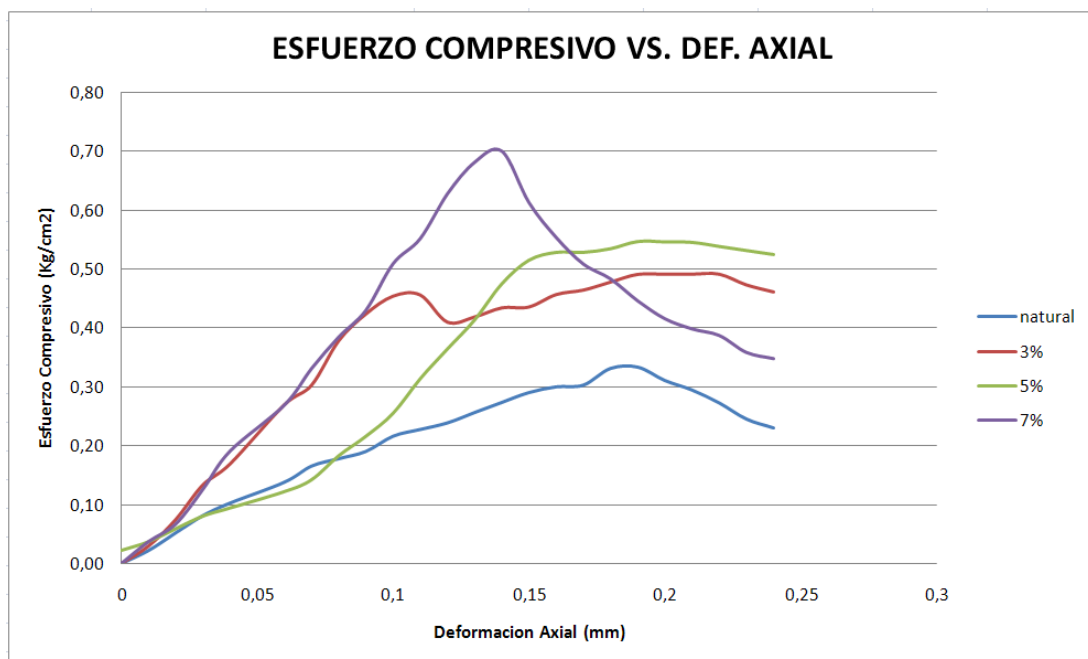


- En la prueba de compresión simple se pudo determinar que el suelo soporta la carga axial mejor con el suelo estabilizado con cal al 3% de aditivo ya que en estos especímenes se pudo encontrar la restitución en este tipo de suelo (suelo laterítico) que, como mencionó antes, es un suelo de comportamiento muy irregular.
- En el ensayo de compresión simple también se pudo observar que el suelo sin tratar es más expansivo y a su vez el menos resistente a la compresión; en el caso del suelo estabilizado con 5 y 7 % de aditivo la resistencia a la compresión es más elevada, pero no se llegó a determinar una restitución en el mismo.
- Observando los especímenes sometidos a presión se notó que en la mayoría de las muestras, las probetas se partían por la mitad (como se muestra en la fotografía), y este fenómeno puede ser debido a que este tipo de suelo no sea el mejor para realizar la combinación con cal para estabilizarlo.



Análisis del Comportamiento de los Suelos Arcillosos Mejorados con Cal luego Superar sus Esfuerzos Máximos

- Como pudimos apreciar en los gráficos, se presenta la restitución buscada, y la deformación axial es menor con la aplicación del 3% del aditivo, y también con la aplicación del 5% de aditivo; este tipo de suelo, como se mencionó anteriormente presenta un comportamiento muy irregular por lo que es muy difícil de estudiar.
- En el gráfico observamos que los valores de la deformación axial son más elevados en el suelo natural lo que nos lleva a la conclusión de que el suelo es malo y no es capaz de soportar esfuerzos de compresión por sí solo.
- En ese gráfico se muestran los mejores resultados de las muestras a diferentes porcentajes de aditivo y se puede observar que los resultados no son tan significativos como los que se pretendía encontrar al inicio del proyecto, y puede que esto se deba a que la cal no es un buen aditivo para este suelo laterítico.



5.2.-RECOMENDACIONES

- En caso de encontrarse con este tipo de suelo, se recomienda extraerlo ya que, como se dijo anteriormente, es un suelo de comportamiento muy irregular.
- Se recomienda también realizar una investigación con otro tipo de arcilla porque, como se muestra en este trabajo, se pudo encontrar la restitución del suelo pese a que el suelo presenta unas características bajas en cuanto a resistencia, es decir, que es un suelo pésimo para construir sobre el cualquier tipo de estructura.
- También se recomienda realizar los ensayos en este tipo de suelo cambiando el material; se podría obtener mejores resultados con otro tipo de material estabilizante.
- Recomendamos tener muy en cuenta de centrar bien las probetas al momento de ponerlas en el extractor de muestras ya que los especímenes que no se encuentran bien centrados se rompen y esto causa mucho atraso, ya que hay que realizar nuevamente el proceso de la compactación.



- Estos ensayos de compresión simple varían según el tipo de anillo que se utiliza en la prensa de (C.B.R.); en este caso se utilizó el anillo K-88 para 6000 Kg, pero todos estos resultados que se obtuvo pueden variar a gran escala según el tipo de anillo con el que se trabaje ya que existen anillos más sensibles, con esto se quiere decir que se pueden obtener otros resultados con el uso de anillos más sensibles.

