

**APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS CONTAMINANTES DE REFINERIA EN
ESTABILIZACION DE SUELOS**

CARLOS FERNANDO CELIS SUPELANO

DIANA MARGARITA CORZO SÀNCHEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

**APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS CONTAMINANTES DE REFINERIA EN
ESTABILIZACION DE SUELOS**

CARLOS FERNANDO CELIS SUPELANO

DIANA MARGARITA CORZO SÀNCHEZ

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

Director

Ing. EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZON

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2013**

*A Dios por darme la capacidad de luchar y cumplir este logro.
A mi madre Marlene Sánchez G. por su sacrificio, amor y apoyo
incondicional.*

A mi familia por el ánimo que siempre me brindaron.

A mis amigos por el acompañamiento y respaldo.

Diana Margarita

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

El ingeniero Eduardo Alberto Castañeda Pinzón, por su aporte de conocimiento, colaboración y dedicación de tiempo hacia este proyecto de grado.

Germán Hernández Ayala, por su colaboración voluntaria en la realización de las pruebas de laboratorio realizadas en el proyecto.

CONTENIDO.

INTRODUCCIÓN	15
1. GENERALIDADES	16
2.1 OBJETIVOS.....	16
2.1.1 Objetivo General.....	16
1.1.2 Objetivos Específicos	16
2. MATERIAL DE DESECHO	17
3. GENERALIDADES DE ESTABILIZACIÓN	19
3.1 SUELO A ESTABILIZAR.....	19
4. DISEÑO DE LA ESTABILIZACIÓN.....	23
4.1 CRITERIOS PARA LA ESTABILIZACIÓN.....	23
5. RESULTADOS	26
6. MEZCLA ÓPTIMA SELECCIONADA.....	33
7. PROCESO CONSTRUTIVO DE LA ESTABILIZACION	38
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	39
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	40
10. ANEXOS.....	41

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1.	Clasificación Suelo.....	20
Tabla 2.	Resultados Humedad optima y Densidad máxima.....	21
Tabla 3.	Resultados Harvard Miniatura.....	26
Tabla 4.	Resultados Corte Directo.	31

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1.	Material de desecho utilizado durante la investigación	17
Figura 2.	Aparato de copa abierta de Cleveland.	18
Figura 3.	Suelo Ciudadela Nuevo Girón	20
Figura 4.	Presión (Mpa) vs Penetración (mm).....	22
Figura 5.	C.B.R (%) vs Densidad (Kg/cm ³).....	22
Figura 6.	Mezcla suelo – aditivo	24
Figura 7.	Curado de Probetas – Proceso de Inmersión.	25
Figura 8.	Curvas de Compactación Harvard Miniatura.....	27
Figura 9.	Variación de las resistencias a compresión simple con el residuo.	28
Figura 10.	Probetas de suelo natural después de curado.....	29
Figura 11.	Probetas con aditivo luego de ser falladas.....	30
Figura 12.	Curva Suelo Natural.....	31
Figura 13.	Curva Suelo – 8% Aditivo.	32
Figura 14.	Curva Suelo – 16% Aditivo.	32
Figura 15.	Modelo en GeoSlope con mezcla 0%.	34
Figura 16.	Modelo en GeoSlope con mezcla 8%.	35
Figura 17.	Modelo en GeoSlope con mezcla 16%.	36

LISTA DE ANEXOS.

Anexo A.	CARACTERIZACION DE SUELO A ESTABILIZAR.....	41
Anexo B.	HARVARD MINIATURA.....	46
Anexo C.	COMPRESION SIMPLE.....	51
Anexo D.	CORTE DIRECTO.....	61
Anexo E.	ANALISIS GEOSLOPE.	70
Anexo F.	ANALISIS CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA.	73

RESUMEN

TITULO: APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS CONTAMINANTES DE REFINERIA EN ESTABILIZACION DE SUELOS.*

AUTORES: CARLOS FERNANDO CELIS SUPELANO**

DIANA MARGARITA CORZO SÀNCHEZ**

PALABRAS CLAVE: Bitumen, suelo arenoso, contaminación, estabilización.

En el ejercicio de la práctica de la ingeniería se generan varios tipos de contaminación, a lo cual se le da poca importancia, siendo esto parte fundamental del ámbito ambiental. Este proyecto de investigación establece la viabilidad de utilizar un material bituminoso que es residuo del proceso de refinería, como una opción para estabilizar suelos arenosos dando mejoras en la cohesión y resistencia. Esta alternativa también puede contribuir a la buena utilización del desecho generando menor contaminación al ambiente.

Debido que a diario se encuentran diversos tipos de estratificaciones que obedecen a una composición de diferentes suelos, se hace de vital importancia estudiar sus principales características y ver cómo podemos mejorarlas para convertir estos en suelos más competentes para la realización de obras civiles.

En este trabajo se realiza como primer paso la caracterización física del material de desecho, para conocer las propiedades que podrían contribuir en el mejoramiento del material a estabilizar. En segundo lugar se mezclan en diferentes porcentajes al suelo y el aditivo dando como resultados mejoras en la resistencia y estabilidad. Las propiedades empleadas para seleccionar la proporción óptima de material de desecho fueron: La resistencia al corte directo y a la compresión simple.

Para la realización de los laboratorios de caracterización y diseño de estabilización es necesario que se lleven a cabo sobre las normas INVIAS.

*Proyecto de Grado

**Facultad de Ingenierías físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ing. Eduardo Alberto Castañeda Pinzón.

ABSTRACT

TITLE: USE OF REFINERY WASTES CONTAMINANTS IN SOIL STABILIZATION.*

AUTHORS: CARLOS FERNANDO CELIS SUPELANO**

DIANA MARGARITA CORZO SÀNCHEZ**

KEYWORDS: Bitumen, Sandy Soil, Contamination, Stabilization.

In the practice of engineering practice generates various types of pollution, to which little importance is given, this being essential components of the environment. This research project establishes the viability of using a bituminous material which is a residue from the refinery, as an option to stabilize sandy soils generating improvements in cohesion and resistance. This alternative may also contribute to the good use of waste generating less pollution to the environment.

Because of that every day there are various types of stratifications that obey a different soil composition, it is vital to study its main features and see how we can improve them to convert these into competent soils for civil works.

In this work is realised as a first step the physical characterization of the waste material to know the properties that could contribute to the improvement of the material to be stabilized. Secondly, it's mixed in different percentages to the soil and the additive generating as results improvements in resistance and stability. The properties used to select the optimal proportion of the waste material were: resistance to direct cutting and simple compression.

For performing laboratory characterization and stabilization design is necessary to be carried out on INVIAS standards.

* Degree Work

** Faculty of Physic-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Ing. Eduardo Alberto Castañeda Pinzón

INTRODUCCIÓN

En la práctica de la Ingeniería se generan diferentes tipos de contaminación, de las cuales no se mide el impacto que estas ocasionan, siendo parte fundamental del ámbito ambiental. En la refinería de Ecopetrol en Cartagena, se genera un residuo de la destilación del petróleo, este material es un bitumen que queda reposado al fondo de los tanques de la refinería, el cual genera un impacto en el entorno; debido a esto se pretende generar una alternativa de uso para que este desecho sea más amable con el medio ambiente.

Se estudia su aplicación en la estabilización de suelos arenosos, buscando una mejoría en la resistencia mecánica. Se realizó un estudio de laboratorio con mezcla suelo-residuo, en el que se determinó el efecto, en la resistencia del material.

Los resultados muestran que se puede emplear el residuo en el mejoramiento de suelos para la construcción de obras civiles.

1. GENERALIDADES

2.1 OBJETIVOS

2.1.1 Objetivo General

Analizar y evaluar las modificaciones en el comportamiento de los suelos a partir de la estabilización de estos mediante el uso de materiales bituminosos residuales de refinería.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Buscar un uso al bituminoso generado por la refinería para evitar la contaminación.
- Realización de pruebas de laboratorio para la caracterización física del material bituminoso.
- Seleccionar un proceso de estabilización de suelos mediante bitúmenes de desecho.

2. MATERIAL DE DESECHO

El bitumen es uno de los materiales de construcción más antiguos, es una mezcla de líquidos orgánicos altamente viscosa, negra, pegajosa, compuesta principalmente por hidrocarburos aromáticos, se ablandan por el calor; se emplean como estabilizante, aglomerantes e impermeabilizantes. El material que se quiere emplear en la estabilización es la fracción residual (el fondo) resultante de la destilación del petróleo. Este material contiene azufre y varios metales pesados que son elementos tóxicos, que generan contaminación. (Figura 1).

Figura 1. Material de desecho utilizado durante la investigación



Fuente: Los Autores

Con el propósito de determinar las características físicas del material se realiza la prueba de Copa abierta de CLEVELAND (I.N.V.E 709-07)[1], para determinar los puntos de ignición y de llama, para medir y describir las propiedades del material, en respuesta al calor y a la llama bajo condiciones de laboratorio controladas.

Para poder utilizar este bitumen en obra, es necesario calentarlo a fin de reducir su viscosidad, en este caso al material bituminoso se le realizó la prueba de puntos de ignición y de llama mediante (Figura 2).

Mediante la realización de este ensayo se obtuvo que el material de desecho presente un punto de ignición de 70° C y un punto de llama de 125° C.

Figura 2. Aparato de copa abierta de Cleveland.



Fuente: Los Autores

3. GENERALIDADES DE ESTABILIZACIÓN

La estabilización es un método que cambia las propiedades mecánicas del suelo, el cual permite adecuar sus propiedades a las condiciones requeridas[2]. Los estudios comienzan con la caracterización del suelo en estado natural, seguido por el planteamiento de un proceso que mejore sus propiedades.

3.1 SUELO A ESTABILIZAR

Para este proyecto se determinó trabajar con un suelo arenoso, suelo obtenido en Ciudadela Nuevo Girón perteneciente al Municipio de San Juan de Girón. El mecanismo para la obtención de esta muestra fue la realización de un apique de aproximadamente de 60 cm de profundidad en el que se extrajo 90 Kg de material.

Se realizan ensayos de: Granulometría (I.N.V.E 123-07)[3], Limite líquido (I.N.V.E 125-07)[4], Limite plástico e Índice de plasticidad (I.N.V.E 126-07)[5], Compactación próctor modificado (I.N.V.E 142-07)[6], Relación de soporte de california (C.B.R) (I.N.V.E 148-07)[7]. Clasificación Suelo Tabla 1.

En primera instancia se puede observar que es un suelo arenoso de color beis, como se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Suelo Ciudadela Nuevo Girón



Fuente: Los Autores

Tabla 1. Clasificación Suelo

Clasificación Suelo	
Granulometría.	Gravas 12%
	Arenas 62%
	Finos 25%
Límites de Atterberg	Limite Líquido 33%
	Limite Plástico 22%
	Índice Plástico. 11%
Clasificación: SC Arena Arcillosa.	

Fuente: Los Autores

Adicionalmente también se halló la humedad óptima y densidad máxima seca, por medio del próctor modificado y Harvard miniatura, dando como resultado los siguientes valores Tabla 2:

Tabla 2. Resultados Humedad optima y Densidad máxima

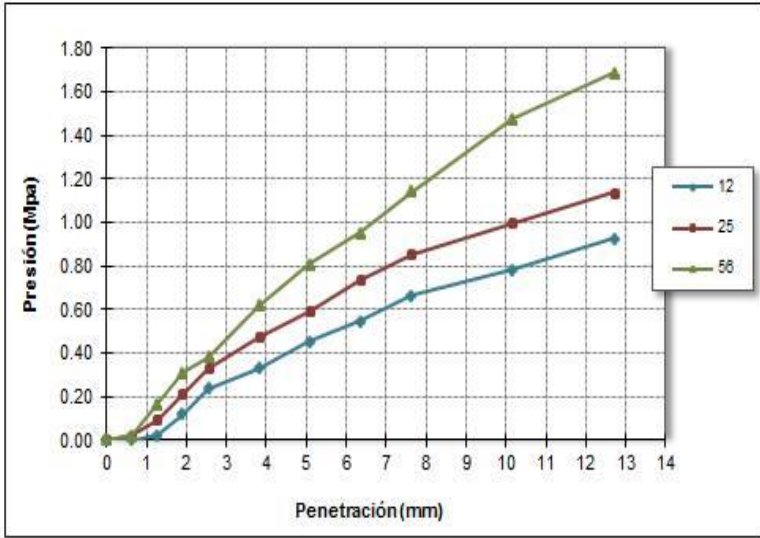
	Próctor Modificado	Harvard Miniatura.
Humedad Óptima.	8.30%	11%
Densidad Máxima Seca (gr/cm ³)	1.95	1.82

Fuente: Los Autores

De la prueba de CBR se determinó la expansibilidad del suelo para 3 ensayos de 12 golpes, 25 golpes y 56 golpes por capa obteniendo como resultados 2.03mm, 2.29mm, 3.56mm respectivamente, es decir, evidenciando una mayor expansibilidad el ensayo de 56 golpes.

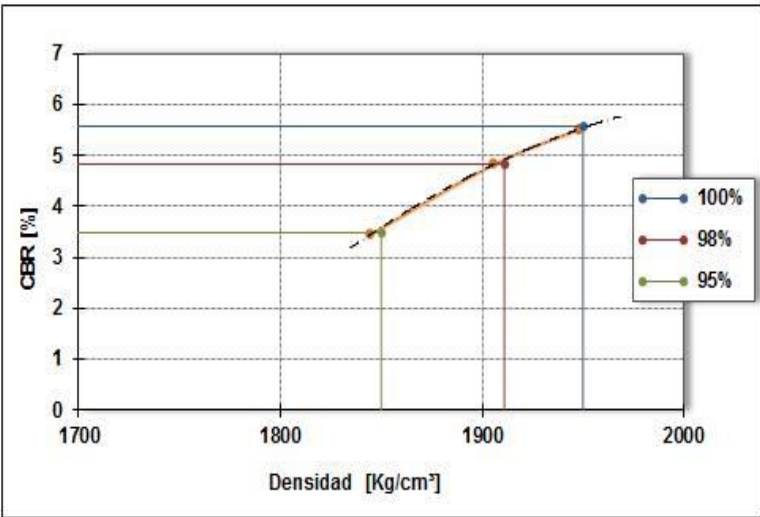
De este ensayo se obtuvieron las siguientes curvas: Presión vs Penetración Figura 4 y C.B.R % vs Densidad Figura 5.

Figura 4. Presión (Mpa) vs Penetración (mm)



Fuente: Los Autores

Figura 5. C.B.R (%) vs Densidad (Kg/cm³).



Fuente: Los Autores

Los ensayos anteriores son presentados en el Anexo A.

4. DISEÑO DE LA ESTABILIZACIÓN.

Aunque en la actualidad existen varios productos con un elevado grado de eficiencia, en la estabilización propuesta para este proyecto, se espera que el producto de desecho actué como cementante entre las partículas del material aumentando la cohesión y le resistencia a los esfuerzos cortantes del suelo.

4.1 CRITERIOS PARA LA ESTABILIZACIÓN

La dosificación utilizada para determinar la proporción óptima entre suelo – aditivo, es calculada sobre el peso del suelo.

- Suelo – Aditivo (100% - 0%)
- Suelo – Aditivo (96% - 4%)
- Suelo – Aditivo (92% - 8%)
- Suelo – Aditivo (88% - 12%)
- Suelo – Aditivo (84% - 16%)

Inicialmente el material residual presentó un alto grado de viscosidad en condiciones normales, lo que hizo que la mezcla no fuera lo suficientemente homogénea, se aumentó la temperatura del bitumen hasta 60°C, para obtener una mayor manejabilidad, pues con este aumento de temperatura se redujo la viscosidad, consiguiendo así una mezcla homogénea.

Figura 6. Mezcla suelo – aditivo



Fuente: Los Autores

Para el proceso de compactación y con el ensayo de Harvard miniatura, se seleccionaron los valores de humedad óptima y densidad de la mezclas.

Compresión Simple (I.N.V.E152)[8]: Para cada tipo de mezcla se realizan 2 ensayos, ya que no todas las probetas fueron extraídas con éxito del molde de Harvard miniatura. Para poder fallar estas probetas fue necesario (como cualquier otro material) realizarle el curado adecuado.

El curado consiste en conservar las probetas por 7 días a temperatura ambiente, seguida de inmersión en agua por 7 días más, para un total de 14 días de curado.

Después del curado las probetas no presentaron suficiente estabilidad para ensayos de compresión simple en condición saturada por lo que se realizó este proceso de saturación con las probetas en una capa de arena saturada.

Figura 7. Curado de Probetas – Proceso de Inmersión.



Fuente: Los Autores

Terminado el proceso de curado de las probetas se procedió a realizar el ensayo de compresión simple.

Corte Directo (I.N.V.E 154-07)[9]

Las probetas fueron extraídas de un molde cilíndrico el cual fue compactado con la humedad óptima, obtenida del Harvard miniatura. Para realizar este ensayo, las probetas tuvieron el mismo curado y el mismo proceso de saturación, que las utilizadas en compresión simple.

Lo que se busca con este ensayo es determinar la resistencia al corte, el ángulo de fricción y su cohesión, este ensayo solamente es realizado para el suelo natural y el suelo con porcentajes de 8 y 16% de aditivo.

5. RESULTADOS

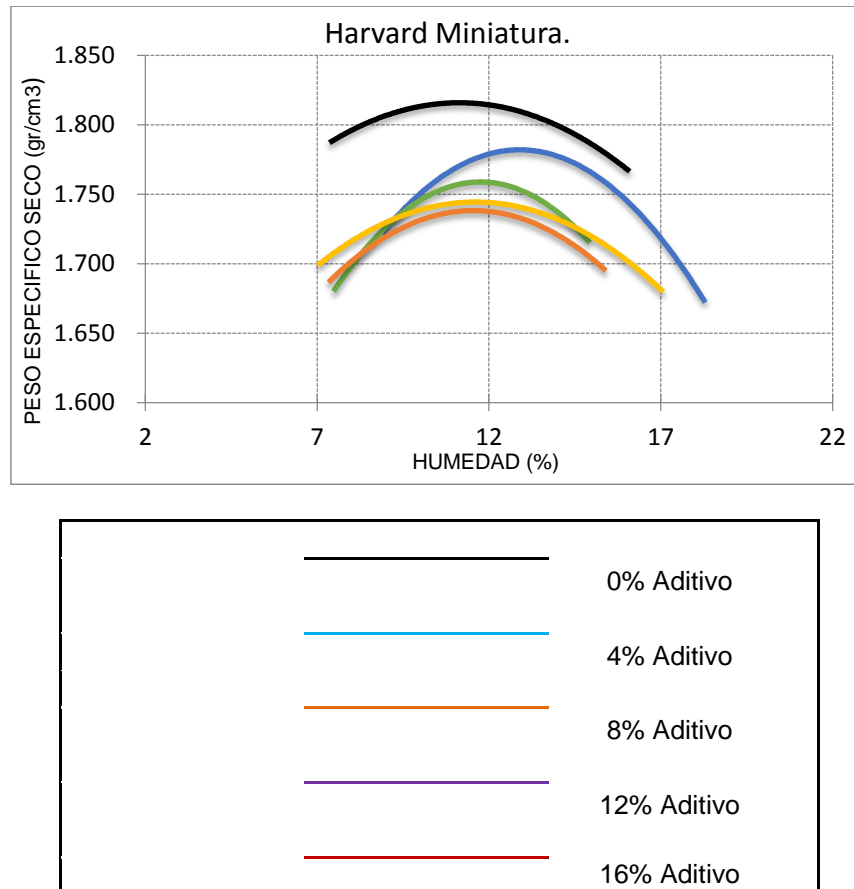
Con el ensayo de Harvard miniatura se puede observar el comportamiento para cada dosificación respecto al suelo en estado natural, en la siguiente tabla se reflejan los resultados.

Tabla 3. Resultados Harvard Miniatura

	Humedad Optima	Densidad Máxima Seca (gr/cm³)
0% Aditivo	11.00%	1.82
4% Aditivo	12.90%	1.79
8% Aditivo	12.10%	1.76
12% Aditivo	11.80%	1.75
16% Aditivo	11.30%	1.74

Fuente: Los Autores

Figura 8. Curvas de Compactación Harvard Miniatura.



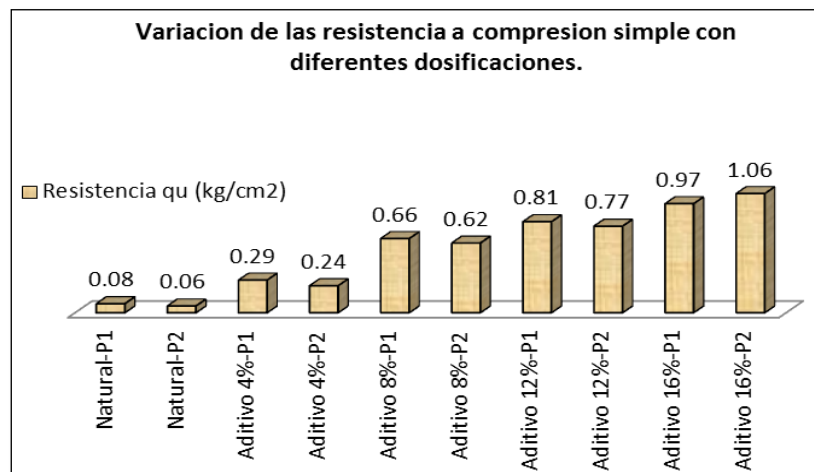
Fuente: Los Autores

Los ensayos de Harvard Miniatura se encuentran en el anexo B.

Los criterios para seleccionar la mejor proporción suelo – aditivo, fueron los resultados de compresión simple y corte directo, la compresión simple permite determinar la resistencia o esfuerzo último de un suelo cohesivo o semi-cohesivo a la compresión no confinada, mediante la aplicación de una carga axial con control de deformación.

En el desarrollo de este proyecto se fallaron 2 probetas por cada dosificación de suelo-aditivo, en este proceso se evidencio que al hacer un aumento del porcentaje de aditivo el esfuerzo ultimo también aumentó. Ver figura 9.

Figura 9. Variación de las resistencias a compresión simple con el residuo.



Fuente: Los Autores

Los ensayos de compresión simple se encuentran en el anexo C.

La prueba de compresión simple también permite construir un gráfico esfuerzo – deformación, que representa el comportamiento del suelo sometido a cargas a progresivo aumento, produciendo distintos tipos de rotura, los cuales son frágil y dúctil.

En las probetas de suelo natural se observó un comportamiento de rotura dúctil, debido a que el suelo tenía propiedades semi-cohesivas; las probetas quedaron saturadas después del proceso de curado por inmersión (indirecto), generando así la infiltración del agua en sus poros, lo que hace que la resistencia a la cohesión sea muy baja.

Figura 10. Probetas de suelo natural después de curado.



Fuente: Los Autores

El comportamiento de las probetas con aditivo no presentó una rotura frágil. El aditivo hace la labor de llenar los poros del suelo evitando la infiltración del agua y uniendo las partículas del suelo, obteniendo como resultado una mayor resistencia a la muestra de suelo natural.

Figura 11. Probetas con aditivo luego de ser falladas.



Fuente: Los Autores

Como segundo criterio de selección de dosificación óptima, se realiza la prueba de corte directo a los tres tipos de mezcla ya mencionados. Las cargas utilizadas en la realización de este ensayo, fueron, de 8, 16 y 32 Kg.

El ensayo muestra, que el material de desecho, se puede emplear como agente estabilizante, ya que la resistencia al corte es mayor a medida que aumenta la dosificación de aditivo. Este ensayo además de proporcionar la resistencia al corte del suelo, el cual depende principalmente del ángulo de fricción y de la cohesión del mismo, muestra que en el suelo natural su ángulo de fricción y su cohesión son bajas, lo que da como efecto una resistencia menor al corte, en el caso de dosificación de aditivo se puede observar un comportamiento que a medida que se aumenta este, su cohesión aumenta proporcionalmente a la cantidad de aditivo, una conducta diferente presenta el ángulo de fricción ya que este muestra una tendencia a aumentar hasta un punto máximo, el cual se

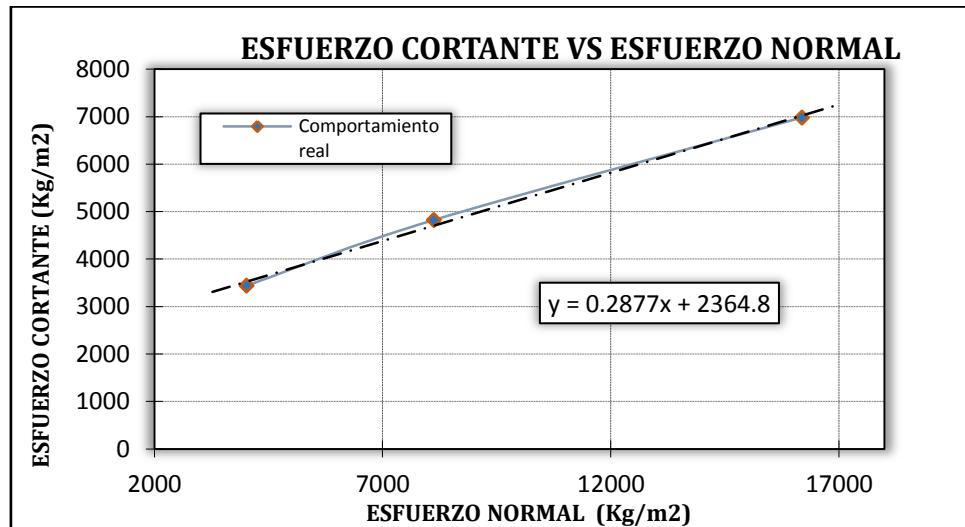
presenta en la mezcla de 8% y de ahí empieza a disminuir a medida que aumenta la dosificación .

Tabla 4. Resultados Corte Directo.

	Natural	8% Aditivo	16% Aditivo
Humedad %	15.8	10.8	7.6
Cohesión (Kg/cm2)	2.36	6.7	10.96
Angulo de Fricción.	16.1	25.8	21.5

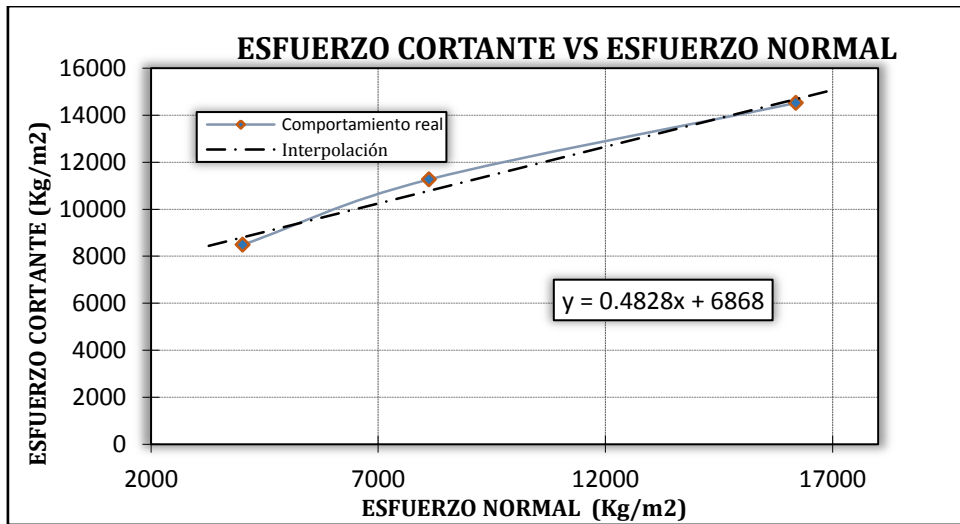
Fuente: Los Autores

Figura 12. Curva Suelo Natural.



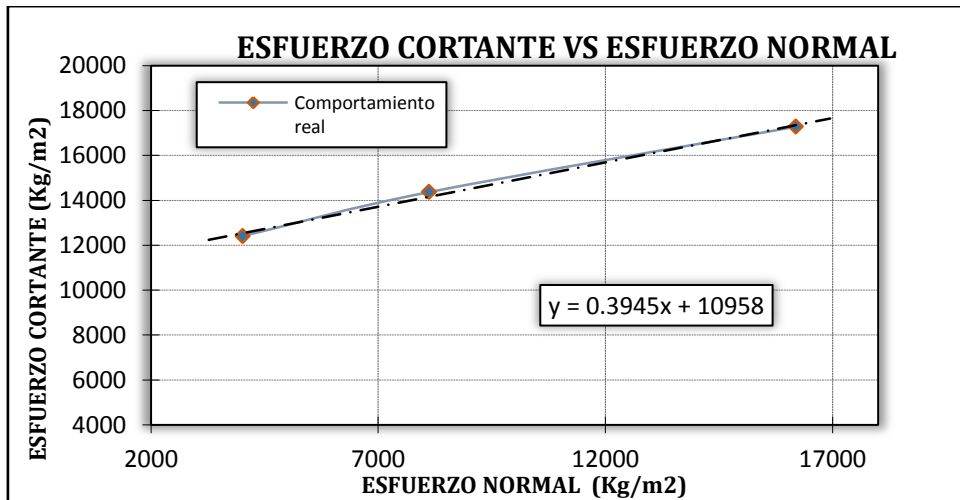
Fuente: Los Autores

Figura 13. Curva Suelo – 8% Aditivo.



Fuente: Los Autores

Figura 14. Curva Suelo – 16% Aditivo.



Fuente: Los Autores

Los ensayos de corte directo se encuentran en el anexo D.

6. MEZCLA ÓPTIMA SELECCIONADA.

Realizados los ensayos de comprensión simple y corte directo para los diferentes tipos de dosificación evidencian que el uso del aditivo en la estabilización es posible, ya que la propiedad analizada es la resistencia del suelo. La prueba de comprensión simple muestra una mejoría en la resistencia a compresión a medida que se va aumentando el material de desecho, esto se debe a que el factor principal en este ensayo es la cohesión, la cual aumenta debido a que el material de desecho cubre los vacíos presentados en el suelo.

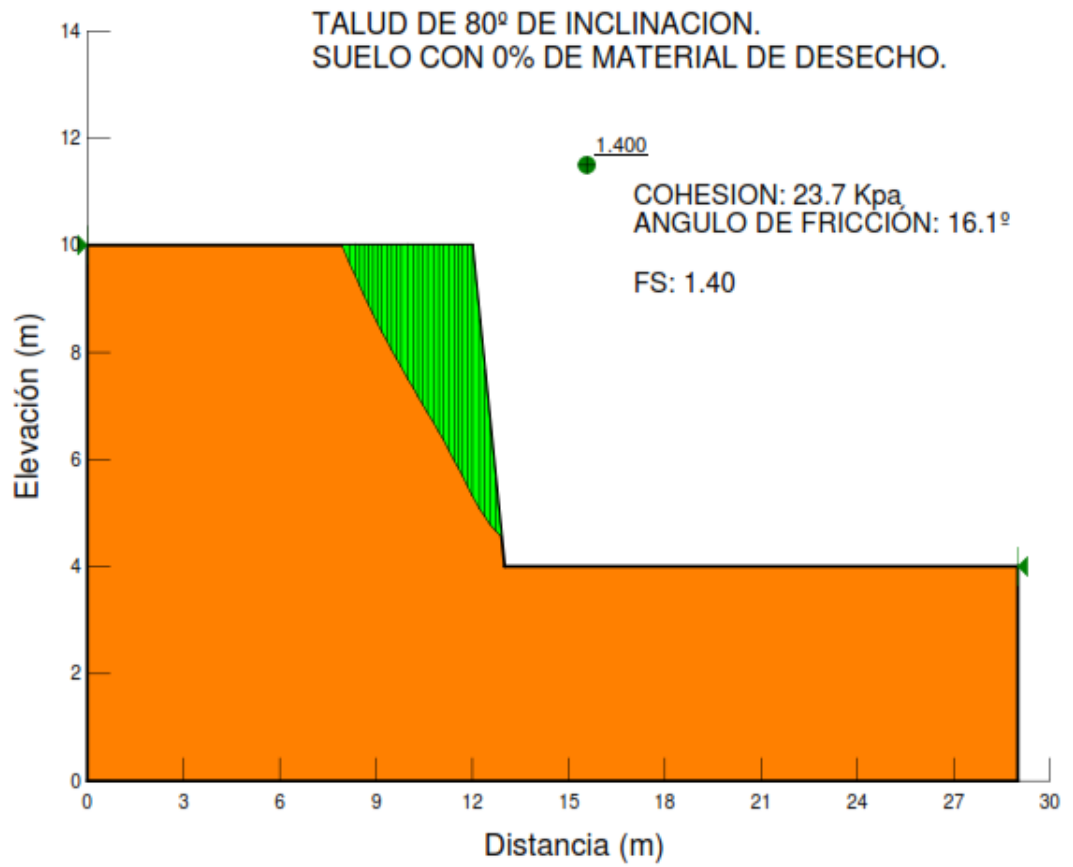
Con el ensayo de corte directo se observa que la cohesión aumenta, lo que es coherente con los resultados de comprensión simple, por otra parte el ángulo de fricción llega a un máximo y debido a la saturación del material con el ligante empieza a disminuir. El máximo ángulo de fricción es encontrado en la mezcla de 8%.

Para seleccionar la mezcla óptima se realizó un análisis con las dosificaciones de 8 y 16% de aditivo que presentaron mayor ángulo de fricción y cohesión respectivamente.

El primer análisis se realizó mediante el software geoslope que permitió conocer los factores de seguridad para un talud con inclinación de 80° , al cual se le asignaron los valores de cohesión y ángulo de fricción de cada mezcla, los factores de seguridad son:

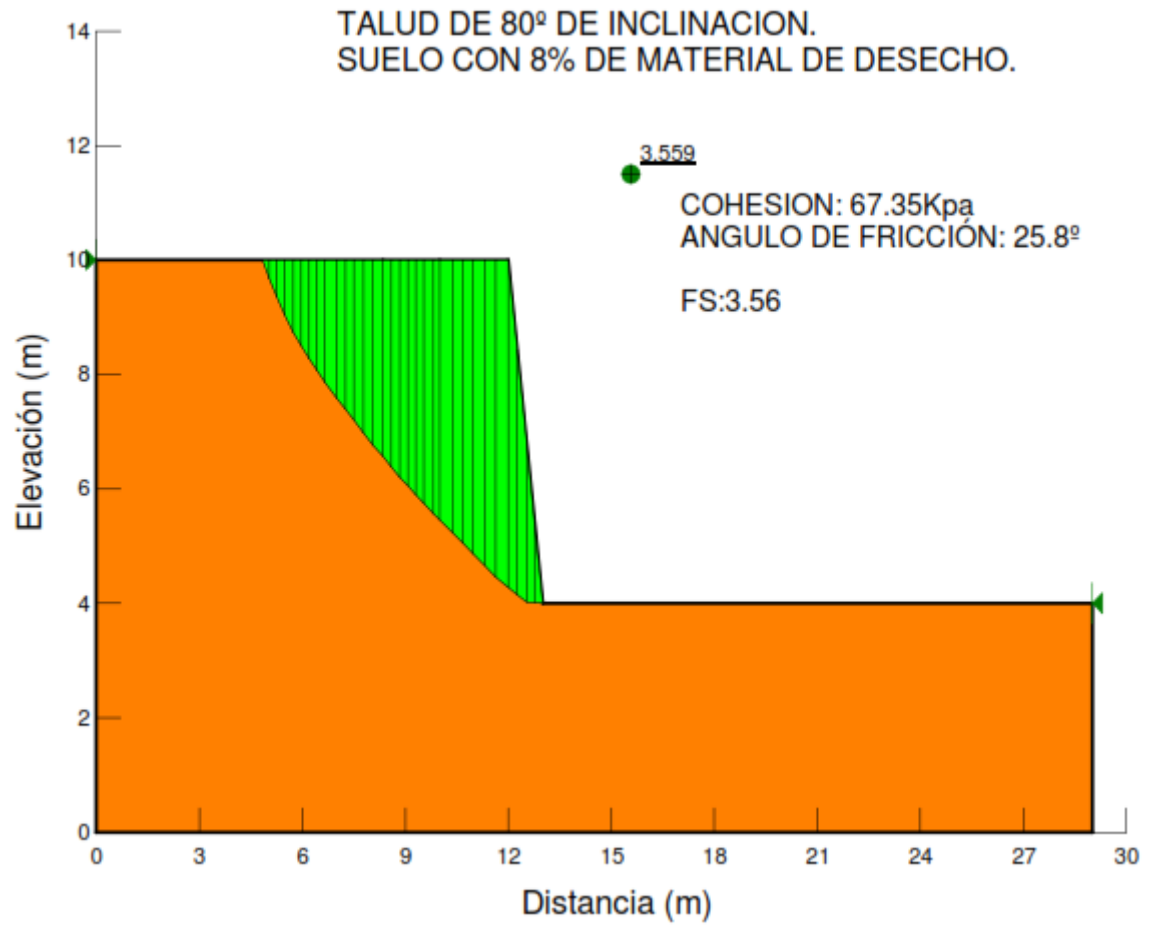
- FS 0% aditivo= 1.400
- FS 8% aditivo= 3.559
- FS 16% aditivo= 5.057

Figura 15. Modelo en GeoSlope con mezcla 0%.



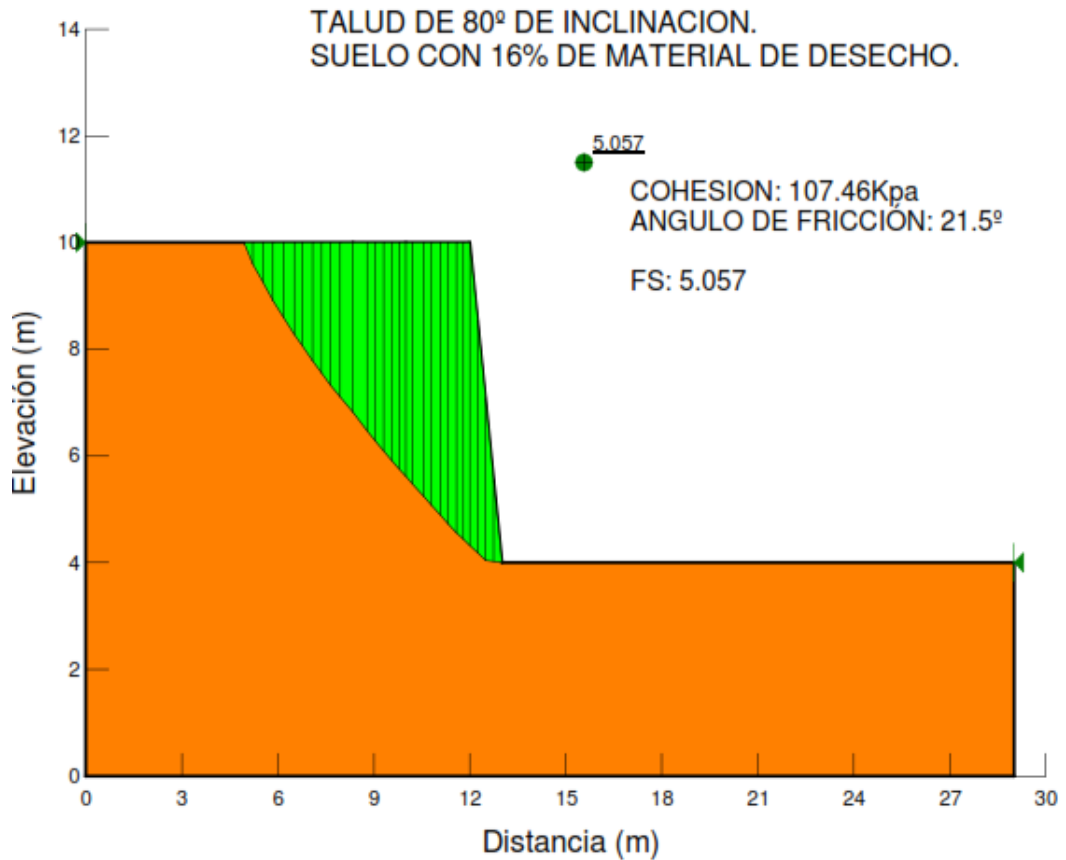
Fuente: Los Autores

Figura 16. Modelo en GeoSlope con mezcla 8%.



Fuente: Los Autores

Figura 17. Modelo en GeoSlope con mezcla 16%.



Fuente: Los Autores

Los resultados del modelo en GeoSlope se encuentran en el anexo E.

En el segundo análisis se utilizó la teoría de Meyerhoff para hallar la capacidad de carga última para una zapata de 3x3 mts a una profundidad de 2 mts, igual que en el análisis anterior se asignaron los valores de cohesión y ángulo de fricción de cada mezcla. Los valores obtenidos fueron:

- qult 8%= 347.27 Ton
- qult 16%= 357.39 Ton

Los resultados por el método de Meyerhoff se encuentran en el Anexo F.

Con los resultados anteriores se decide que la mezcla de 16% es la óptima, aunque su ángulo de fricción sea menor, no es proporcional al aumento que se presenta en la cohesión, es por esto que el análisis realizado del talud el mayor Factor de Seguridad se presenta en esta. Esta conclusión es ratificada con el análisis de la capacidad de carga de la zapata ya que el mayor valor se encuentra en la de 16%.

7. PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA ESTABILIZACION

A continuación se propone una metodología de proceso constructivo en la estabilización de bases granulares. El procedimiento a seguir es:

- a) **Escarificación** Asignado el lugar a estabilizar se escarifica hasta la profundidad deseada, con el objetivo de obtener un material uniforme, en el cual se va a agregar el aditivo; como medidas de seguridad es necesario que no se encuentren raíces, materia orgánica o agregados mayores a 7 cm. El equipo a utilizar es la motoniveladora.
- b) **Extendido y mezclado** Después de la escarificación, se procede a perfilar el terreno, con el fin de extender el aditivo, el cual debe estar a una temperatura de 60°C y con la cantidad optima seleccionada, esto con el fin de obtener un mejor resultado en la mezcla, evitando la rotura en este. El equipo a utilizar es la recicladora y un irrigador de asfalto.
- c) **Adición de agua** Principalmente se busca tener una mezcla húmeda, para tener una mejor compactación. Se recomienda no exceder el uso de agua sobre el material a compactar con el fin de evitar deficiencia en su resistencia.
- d) **Compactación** La compactación se realiza seguidamente a la adición de agua. La compactación se debe realizar por capas, de espesores máximos de 15 cm, con el propósito de obtener una buena estabilización. El equipo utilizar para este proceso es el rodillo metálico.
- e) **Curado** De acuerdo con los estudios realizados en el laboratorio se establecen unos lineamientos a seguir, pero se recomienda realizar en campo la construcción de un tramo experimental, la proporcionara la mejor metodología a seguir en campo.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proceso de estabilización de suelos propuesto, permitió darle un uso al material de desecho generado por la refinería, ya que con los análisis realizados, se pudo comprobar que este si funciona como agente estabilizante mejorando la resistencia del suelo, de esta forma el bitumen no será desechado hacia entorno, sino que será retirado y se procederá a darle el tratamiento adecuado, para poder ser manipulado en obra, contribuyendo así con la protección del medio ambiente.

Los resultados obtenidos muestran que el material de desecho, tiene un efecto aglomerante entre las partículas del suelo, lo cual aumenta la cohesión de este dando como resultado final una mayor resistencia del suelo.

Se recomienda que el estudio continúe, para saber qué efectos generaría los componentes del material de desecho y que fugas pueden existir por estar expuesto al agua, generando filtración a las aguas subterráneas, una opción sería utilizar una geo membrana en la base de la capa estabilizada.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] I.N.V.E – 709- 0.7. Puntos de ignición y de llama mediante la copa abierta de Cleveland.
- [2] Del Toro Wilfredo, Castañeda Eduardo, Guía de conocimientos básicos de mecánica de suelos, Universidad Industrial de Santander. Departamento d ingeniería civil, Bucaramanga, 1993.
- [3] I.N.V.E – 123- 0.7. Análisis granulométrico de suelos por tamizado.
- [4] I.N.V.E – 125- 0.7. Determinación del límite liquido de los suelos.
- [5] I.N.V.E – 126- 0.7. Límite plástico e índice de plasticidad de suelos.
- [6] I.N.V.E – 142- 0.7. Relación de humedad- masa unitaria seca en los suelos (ensayo modificado de compactación).
- [7] I.N.V.E – 148- 0.7. Relación del soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio).
- [8] I.N.V.E – 152- 0.7. Compresión inconfiada en muestras de suelos.
- [9] I.N.V.E – 154- 0.7. Determinación de la resistencia al corte directo

10. ANEXOS

Anexo A. CARACTERIZACION DE SUELO A ESTABILIZAR.

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126																																																																																																																																																																																																																																	
PROYECTO	APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS COTAMINANTES DE REFINERIA EN ESTABILIZACION DE SUELOS.																																																																																																																																																																																																																																
PRESENTADO:	UIS FECHA: 11/04/2013																																																																																																																																																																																																																																
LÍMITES DE CONSISTENCIA	GRADACIÓN																																																																																																																																																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">LÍMITE LÍQUIDO</th> </tr> <tr> <th>Determinación No</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Número de Golpes</td> <td>50</td> <td>40</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Recipiente No.</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>P₁</td> <td>22.61</td> <td>25.1</td> <td>23.65</td> </tr> <tr> <td>P₂</td> <td>18.99</td> <td>21.15</td> <td>19.67</td> </tr> <tr> <td>P₃</td> <td>6.79</td> <td>8.62</td> <td>7.34</td> </tr> <tr> <td>P_w</td> <td>3.62</td> <td>3.95</td> <td>3.98</td> </tr> <tr> <td>P_s</td> <td>12.20</td> <td>12.53</td> <td>12.33</td> </tr> <tr> <td>W%</td> <td>29.67</td> <td>31.52</td> <td>32.28</td> </tr> </tbody> </table>	LÍMITE LÍQUIDO				Determinación No	1	2	3	Número de Golpes	50	40	30	Recipiente No.	1	2	3	P ₁	22.61	25.1	23.65	P ₂	18.99	21.15	19.67	P ₃	6.79	8.62	7.34	P _w	3.62	3.95	3.98	P _s	12.20	12.53	12.33	W%	29.67	31.52	32.28	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Peso inicial:</th> <th colspan="2">2,000.00 gr</th> <th colspan="2">Peso final:</th> <th colspan="2">1,489.00 gr</th> </tr> <tr> <th>Tamiz, plg</th> <th>Tamiz, mm</th> <th>Peso (gr)</th> <th>% Reten.</th> <th>% Ret.Acum</th> <th>% Pasa</th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3"</td><td>76.10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2 1/2"</td><td>64.00</td><td></td><td></td><td></td><td>100.0%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2"</td><td>50.80</td><td></td><td></td><td></td><td>100.0%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td>38.10</td><td></td><td></td><td></td><td>100.0%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1"</td><td>25.40</td><td></td><td></td><td></td><td>100.0%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19.00</td><td>9.0</td><td>0.5%</td><td>0.5%</td><td>99.6%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1/2"</td><td>12.70</td><td>48.0</td><td>2.4%</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9.51</td><td>51.0</td><td>2.6%</td><td>5.4%</td><td>94.6%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>4.76</td><td>132.0</td><td>6.6%</td><td>12.0%</td><td>88.0%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>2.38</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>2.00</td><td>177.0</td><td>8.9%</td><td>20.9%</td><td>79.2%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td>1.68</td><td></td><td></td><td></td><td>79.2%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td>1.19</td><td>301.0</td><td>15.1%</td><td></td><td>64.1%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td>0.59</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>40</td><td>0.42</td><td>433.0</td><td>21.7%</td><td>57.6%</td><td>42.5%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>50</td><td>0.30</td><td>158.0</td><td>7.9%</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>80</td><td>0.18</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>100</td><td>0.15</td><td>128.0</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>200</td><td>0.07</td><td>52.0</td><td>2.6%</td><td>74.5%</td><td>26%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Pasa 200</td><td></td><td>5.0</td><td>0.3%</td><td>74.7%</td><td>25.3%</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Total</td><td></td><td>1,494.0</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Peso inicial:		2,000.00 gr		Peso final:		1,489.00 gr		Tamiz, plg	Tamiz, mm	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa			3"	76.10							2 1/2"	64.00				100.0%			2"	50.80				100.0%			1 1/2"	38.10				100.0%			1"	25.40				100.0%			3/4"	19.00	9.0	0.5%	0.5%	99.6%			1/2"	12.70	48.0	2.4%					3/8"	9.51	51.0	2.6%	5.4%	94.6%			4	4.76	132.0	6.6%	12.0%	88.0%			8	2.38							10	2.00	177.0	8.9%	20.9%	79.2%			12	1.68				79.2%			16	1.19	301.0	15.1%		64.1%			30	0.59							40	0.42	433.0	21.7%	57.6%	42.5%			50	0.30	158.0	7.9%					80	0.18							100	0.15	128.0						200	0.07	52.0	2.6%	74.5%	26%			Pasa 200		5.0	0.3%	74.7%	25.3%			Total		1,494.0					
LÍMITE LÍQUIDO																																																																																																																																																																																																																																	
Determinación No	1	2	3																																																																																																																																																																																																																														
Número de Golpes	50	40	30																																																																																																																																																																																																																														
Recipiente No.	1	2	3																																																																																																																																																																																																																														
P ₁	22.61	25.1	23.65																																																																																																																																																																																																																														
P ₂	18.99	21.15	19.67																																																																																																																																																																																																																														
P ₃	6.79	8.62	7.34																																																																																																																																																																																																																														
P _w	3.62	3.95	3.98																																																																																																																																																																																																																														
P _s	12.20	12.53	12.33																																																																																																																																																																																																																														
W%	29.67	31.52	32.28																																																																																																																																																																																																																														
Peso inicial:		2,000.00 gr		Peso final:		1,489.00 gr																																																																																																																																																																																																																											
Tamiz, plg	Tamiz, mm	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa																																																																																																																																																																																																																												
3"	76.10																																																																																																																																																																																																																																
2 1/2"	64.00				100.0%																																																																																																																																																																																																																												
2"	50.80				100.0%																																																																																																																																																																																																																												
1 1/2"	38.10				100.0%																																																																																																																																																																																																																												
1"	25.40				100.0%																																																																																																																																																																																																																												
3/4"	19.00	9.0	0.5%	0.5%	99.6%																																																																																																																																																																																																																												
1/2"	12.70	48.0	2.4%																																																																																																																																																																																																																														
3/8"	9.51	51.0	2.6%	5.4%	94.6%																																																																																																																																																																																																																												
4	4.76	132.0	6.6%	12.0%	88.0%																																																																																																																																																																																																																												
8	2.38																																																																																																																																																																																																																																
10	2.00	177.0	8.9%	20.9%	79.2%																																																																																																																																																																																																																												
12	1.68				79.2%																																																																																																																																																																																																																												
16	1.19	301.0	15.1%		64.1%																																																																																																																																																																																																																												
30	0.59																																																																																																																																																																																																																																
40	0.42	433.0	21.7%	57.6%	42.5%																																																																																																																																																																																																																												
50	0.30	158.0	7.9%																																																																																																																																																																																																																														
80	0.18																																																																																																																																																																																																																																
100	0.15	128.0																																																																																																																																																																																																																															
200	0.07	52.0	2.6%	74.5%	26%																																																																																																																																																																																																																												
Pasa 200		5.0	0.3%	74.7%	25.3%																																																																																																																																																																																																																												
Total		1,494.0																																																																																																																																																																																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">LÍMITE PLÁSTICO</th> <th style="text-align: center;">Humedad Natural</th> </tr> <tr> <th>Recipiente No.</th> <th>4</th> <th>5</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P₁</td> <td>19.36</td> <td>17.28</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P₂</td> <td>17.28</td> <td>15.78</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P₃</td> <td>9.25</td> <td>7.84</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P_w</td> <td>2.08</td> <td>1.50</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P_s</td> <td>8.03</td> <td>7.94</td> <td></td> </tr> <tr> <td>W%</td> <td>25.90</td> <td>18.89</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	LÍMITE PLÁSTICO			Humedad Natural	Recipiente No.	4	5		P ₁	19.36	17.28		P ₂	17.28	15.78		P ₃	9.25	7.84		P _w	2.08	1.50		P _s	8.03	7.94		W%	25.90	18.89		<p> P₁ = Peso Recipiente + Suelo Húmedo, en g P₂ = Peso Recipiente + Suelo Seco, en g P₃ = Peso Recipiente, en g P_w = Peso del Agua, en g P_w = P₁ - P₂ P_s = Peso Suelo Seco, en g P_s = P₂ - P₃ W = Contenido de agua, en % w = (P_w / P_s) x 100 </p>																																																																																																																																																																																																
LÍMITE PLÁSTICO			Humedad Natural																																																																																																																																																																																																																														
Recipiente No.	4	5																																																																																																																																																																																																																															
P ₁	19.36	17.28																																																																																																																																																																																																																															
P ₂	17.28	15.78																																																																																																																																																																																																																															
P ₃	9.25	7.84																																																																																																																																																																																																																															
P _w	2.08	1.50																																																																																																																																																																																																																															
P _s	8.03	7.94																																																																																																																																																																																																																															
W%	25.90	18.89																																																																																																																																																																																																																															
	<p style="text-align: center;">RESULTADOS</p> <table style="width: 100%;"> <tr><td>Límite Líquido</td><td style="text-align: right;">33</td><td style="text-align: right;">%</td></tr> <tr><td>Límite Plástico</td><td style="text-align: right;">22</td><td style="text-align: right;">%</td></tr> <tr><td>Índice Plástico</td><td style="text-align: right;">11</td><td style="text-align: right;">%</td></tr> <tr><td>Gravas</td><td style="text-align: right;">12%</td><td></td></tr> <tr><td>Arenas</td><td style="text-align: right;">62%</td><td></td></tr> <tr><td>Finos</td><td style="text-align: right;">26%</td><td></td></tr> </table> <p style="text-align: center;">CLASIFICACIÓN</p> <table style="width: 100%;"> <tr><td>Índice de Grupo</td><td style="text-align: right;">0</td></tr> <tr><td>A.A.S.H.T.O.</td><td style="text-align: right;">A - 2 - 6</td></tr> <tr><td>U.S.C</td><td style="text-align: right;">SC</td></tr> </table> <p>OBSERVACIONES: suelo arenoso de color beis</p>	Límite Líquido	33	%	Límite Plástico	22	%	Índice Plástico	11	%	Gravas	12%		Arenas	62%		Finos	26%		Índice de Grupo	0	A.A.S.H.T.O.	A - 2 - 6	U.S.C	SC																																																																																																																																																																																																								
Límite Líquido	33	%																																																																																																																																																																																																																															
Límite Plástico	22	%																																																																																																																																																																																																																															
Índice Plástico	11	%																																																																																																																																																																																																																															
Gravas	12%																																																																																																																																																																																																																																
Arenas	62%																																																																																																																																																																																																																																
Finos	26%																																																																																																																																																																																																																																
Índice de Grupo	0																																																																																																																																																																																																																																
A.A.S.H.T.O.	A - 2 - 6																																																																																																																																																																																																																																
U.S.C	SC																																																																																																																																																																																																																																
Diana Corzo-Carlos Celis REALIZO	Eduardo Castañeda REVISO																																																																																																																																																																																																																																

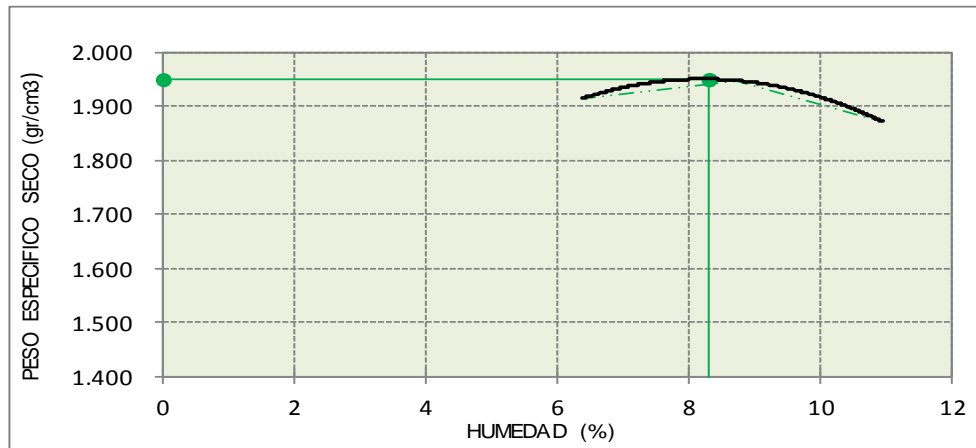
**ENSAYO DE COMPACTACIÓN
INV (E - 142) - AASHTO T99-T180
ASTM D698-D1557**

FECHA MAYO DE 2013
PROYECTO APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS
COTAMINANTES DE REFINERIA EN
ESTABILIZACION DE SUELOS.

TIPO DE ENSAYO	MODIFICADO
NÚMERO DE CAPAS	5
NÚMERO DE GOLPES POR CARA	25
MOLDE No	1
DIÁMETRO MOLDE (cm)	10.20
ALTURA MOLDE (cm)	12.00
VOLUMEN MOLDE (cm ³)	980.55

PESO TARA (gr)	8.77	7.82	9.09
PESO DE TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	33.0	25.2	28.1
PESO DE TARA + SUELO SECO (gr)	31.5	23.8	26.3
PESO AGUA	1.5	1.4	1.9
PESO SOLIDO	22.7	16.0	17.2
HUMEDAD %	6.38	8.74	10.95

PESO MOLDE (gr)	4164.0	4164.0	4164.0
PESO DE MOLDE + SUELO HÚMEDO (gr)	6160.0	6240.0	6200.0
PESO DEL SUELO HÚMEDO (gr)	1996.0	2076.0	2036.0
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	2.04	2.12	2.08
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.91	1.95	1.87



DENSIDAD MÁXIMA 1.950 gr/cm³
HUMEDAD OPTIMA 8.3 %

Diana Corzo- Carlos Celis

ELABORO

Eduardo Castañeda

REVISÓ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
ENSAYO DE CBR INV E - 148

FECHA JUNIO DE 2013

PROYECTO APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS COTAMINANTES DE REFINERIA EN ESTABILIZACION DE SUELOS.

	TIPO DE SUELO		SC
MOLDE N°	10	11	13
DIAMETRO [cm]	15.24	15.24	15.24
ALTURA [cm]	12.70	12.70	12.70
VOLUMEN [cm³]	2316.67	2316.67	2316.67
N° DE GOLPES	12	26	56

HUMEDAD DE COMPACTACIÓN

PESO TARA [gr]	9.0	8.8	8.3
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	55.8	46.3	42.3
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	52.0	43.4	39.5
PESO DE AGUA [gr]	3.8	2.9	2.8
PESO SUELO SECO [gr]	43.0	34.6	31.2
HUMEDAD EN [%]	8.8	8.4	8.9

PESO DE MOLDE + SUELO COMPACTADO [gr]	13699.0	13745.0	13813.0
PESO MOLDE [gr]	9048.0	8960.0	8896.0
PESO DEL SUELO DENTRO DEL MOLDE [gr]	4651.0	4785.0	4917.0
DENSIDAD HUMEDA [gr/cm³]	2.01	2.07	2.12
DENSIDAD SECA [gr/cm³]	1.84	1.91	1.95

HUMEDAD ABSORBIDA

PESO TARA [gr]	7.6	7.3	7.3
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO [gr]	29.8	34.8	30.5
PESO DE TARA + SUELO SECO [gr]	25.4	29.8	26.5
PESO DE AGUA [gr]	4.4	5.0	4.0
PESO SUELO SECO [gr]	17.8	22.5	19.2
HUMEDAD EN [%]	24.7	22.2	20.8
HUMEDAD ABSORBIDA [%]	15.9	13.8	11.9

REALIZO:
DIANA CORZO - CARLOS CELIS

REVISO:
EDUARDO CASTAÑEDA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
ENSAYO DE CBR INV E - 148

FECHA JUNIO DE 2013

PROYECTO APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS COTAMINANTES DE REFINERIA EN ESTABILIZACION DE SUELOS.

TIPO DE SUELO SC

MOLDE No	10			11			13		
No DE GOLPES	12			25			56		
DIAS DE INMERSION	5			5			5		
PENETRACIÓN (mm)	LEC	CARGA (KN)	PRESIÓN (MPa)	LEC	CARGA (KN)	PRESIÓN (MPa)	LEC	CARGA (KN)	PRESIÓN (MPa)
0.0	0.0	0	0.00	0.0	0	0.00	0.0	0	0.00
0.6	0.0	0.0	0.00	1.0	0.0	0.02	1.0	0.0	0.02
1.3	1.0	0.0	0.02	4.0	0.2	0.10	7.0	0.3	0.17
1.9	5.0	0.2	0.12	9.0	0.4	0.21	13.0	0.6	0.31
2.5	10.0	0.5	0.24	14.0	0.6	0.33	16.0	0.7	0.38
3.8	14.0	0.6	0.33	20.0	0.9	0.48	26.0	1.2	0.62
5.1	19.0	0.9	0.45	25.0	1.1	0.59	34.0	1.6	0.81
6.4	23.0	1.1	0.55	31.0	1.4	0.74	40.0	1.8	0.95
7.6	28.0	1.3	0.67	36.0	1.7	0.86	48.0	2.2	1.14
10.2	33.0	1.5	0.78	42.0	1.9	1.00	62.0	2.9	1.47
12.7	39.0	1.8	0.93	48.0	2.2	1.14	71.0	3.3	1.69
CBR A 0.1"	3.4			4.8			5.5		
CBR A 0.2"	4.4			5.8			7.8		
CBR CORR. 0.1"	3.4			4.8			5.5		
CBR CORR. 0.2"	4.3			5.7			7.7		
EXPANSIÓN [0.001"]	80			90			140		
EXPANSIÓN [mm]	2.03			2.29			3.56		
EXPANSIÓN [%]	1.6			1.80			2.8		

N° de golpes	Densidad [Kg/m³]	CBR [%]
12	1845	4.3
25	1906	5.7
56	1948	7.7

CBR DE DISEÑO

% de la densidad maxima del Proctor	Densidad [Kg/m³]	CBR [%]
95	1853	3.5
98	1911	4.85
100	1950	5.6

REALIZO:

DIANA CORZO - CARLOS CELIS

REVISO:

EDUARDO CASTAÑEDA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 ENSAYO DE CBR INV E - 148**

FECHA

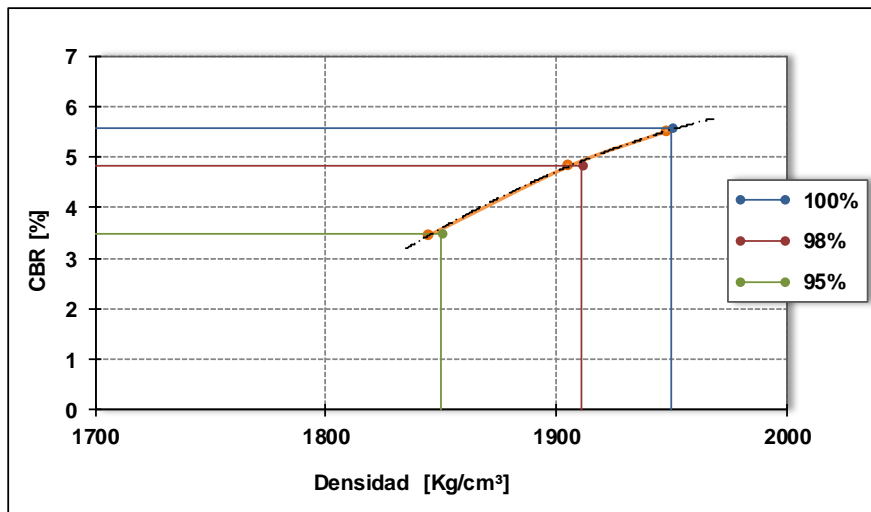
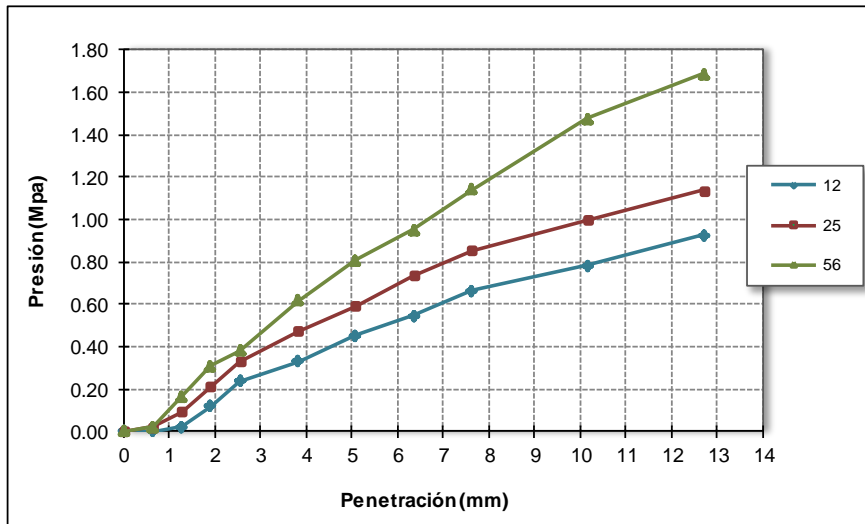
JUNIO DE 2013

PROYECTO

APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS COTAMINANTES DE
 REFINERIA EN ESTABILIZACION DE SUELOS.

TIPO DE SUELO

SC



REALIZO:
DIANA CORZO - CARLOS CELIS

REVISO:
EDUARDO CASTAÑEDA

Anexo B. HARVARD MINIATURA.

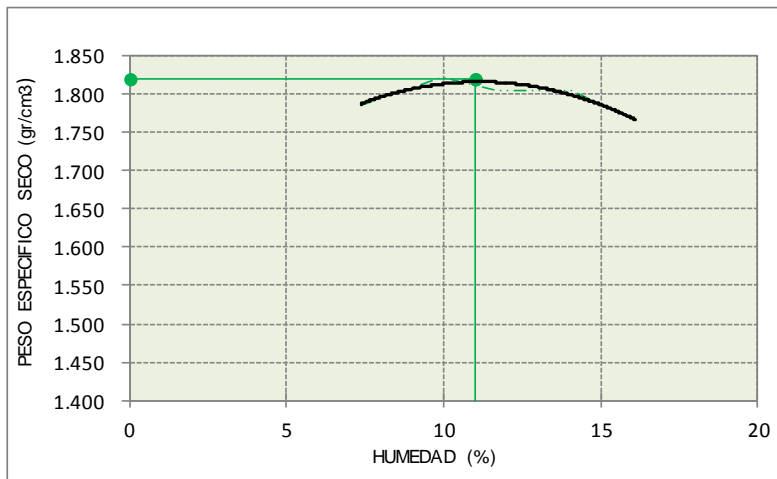
ENSAYO DE HARVARD MINIATURA

FECHA Septiembre de 2013
PROYECTO APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS COTAMINANTES DE REFINERIA EN ESTABILIZACION DE SUELOS.
DESCRIPCION: Natural **TIPO DE SUELO** SC

TIPO DE ENSAYO	MODIFICADO
NÚMERO DE CAPAS	5
NÚMERO DE GOLPES POR CARA	25
MOLDE No	1
DIÁMETRO MOLDE (cm)	3.30
ALTURA MOLDE (cm)	7.00
VOLUMEN MOLDE (cm ³)	59.87

PESO TARA (gr)	8.37	7.8	8.21	7.35	6.8
PESO DE TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	26.6	45.1	36.5	38.2	42.8
PESO DE TARA + SUELO SECO (gr)	25.4	41.7	33.6	34.4	37.8
PESO AGUA	1.3	3.4	3.0	3.8	5.0
PESO SOLIDO	17.0	33.9	25.4	27.0	31.0
HUMEDAD %	7.36	9.96	11.71	14.06	16.10

PESO MOLDE (gr)	118.0	118.0	118.0	118.0	118.0
PESO DE MOLDE + SUELO HÚMEDO (gr)	232.8	237.9	238.7	241.2	240.7
PESO DEL SUELO HÚMEDO (gr)	114.8	119.9	120.7	123.2	122.7
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	1.92	2.00	2.02	2.06	2.05
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.79	1.82	1.80	1.80	1.77



DENSIDAD MÁXIM 1.820 gr/cm³
HUMEDAD OPTIM 11 %

Diana Corzo- Carlos Celis
ELABORO

Eduardo Castañeda
REVISÓ

ENSAYO DE HARVARD MINIATURA

FECHA Septiembre de 2013

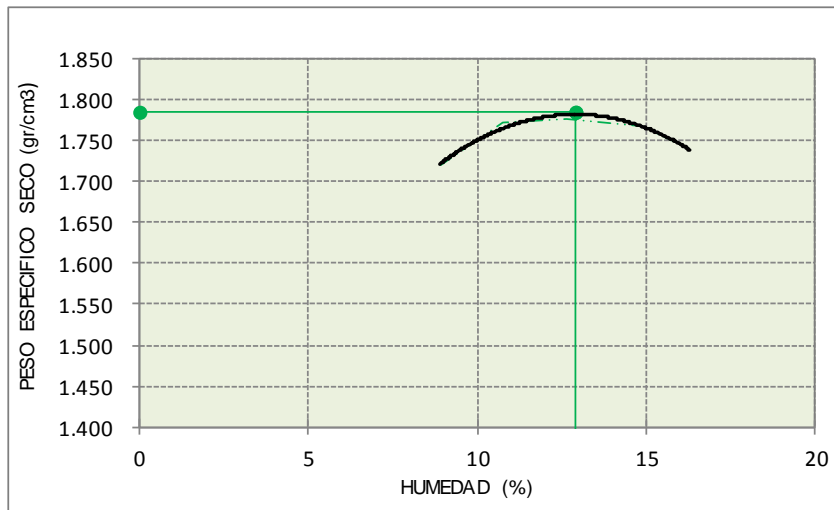
PROYECTO APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS COTAMINANTES DE REFINERIA EN ESTABILIZACION DE SUELOS.

LOCALIZACIÓN Suelo +4% de aditivo bituminoso **TIPO DE SUELO** SC

TIPO DE ENSAYO	MODIFICADO
NÚMERO DE CAPAS	5
NÚMERO DE GOLPES POR CARA	25
MOLDE No	1
DIÁMETRO MOLDE (cm)	3.30
ALTURA MOLDE (cm)	7.00
VOLUMEN MOLDE (cm ³)	59.87

PESO TARA (gr)	7.22	8.76	9.02	6.87	8.36
PESO DE TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	26.7	30.2	45.0	39.8	50.3
PESO DE TARA + SUELO SECO (gr)	25.1	28.1	41.0	35.5	44.5
PESO AGUA	1.6	2.1	4.0	4.3	5.9
PESO SOLIDO	17.9	19.4	32.0	28.6	36.1
HUMEDAD %	8.89	10.74	12.64	14.84	16.29

PESO MOLDE (gr)	118.0	118.0	118.0	118.0	118.0
PESO DE MOLDE + SUELO HÚMEDO (gr)	230.1	235.4	237.8	239.5	239.1
PESO DEL SUELO HÚMEDO (gr)	112.1	117.4	119.8	121.5	121.1
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	1.87	1.96	2.00	2.03	2.02
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.72	1.77	1.78	1.77	1.74



DENSIDAD MÁXIM 1.786 gr/cm³
HUMEDAD OPTIM 12.9 %

Diana Corzo- Carlos Celis

ELABORO

Eduardo Castañeda

REVISÓ

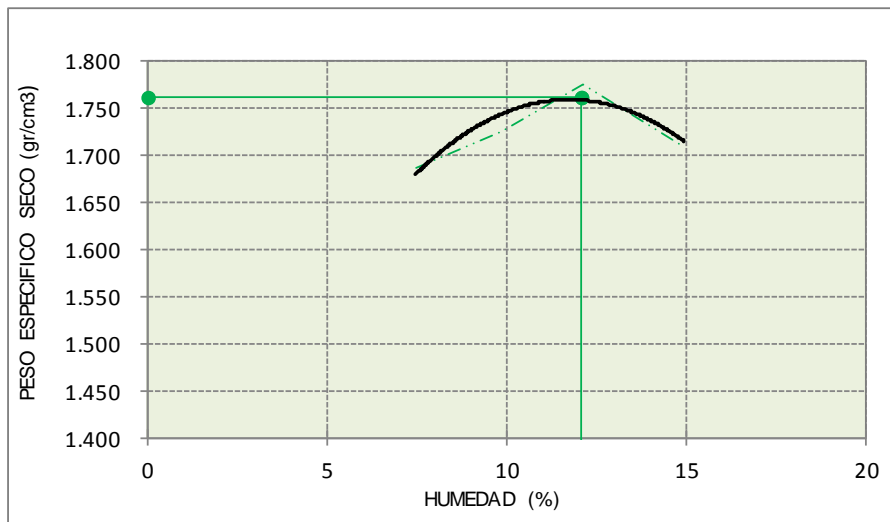
ENSAYO DE HARVARD MINIATURA

FECHA Septiembre de 2013
PROYECTO APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS COTAMINANTES DE REFINERIA EN ESTABILIZACION DE SUELOS.
LOCALIZACIÓN Suelo +8% de aditivo bituminoso **TIPO DE SUELO** SC

TIPO DE ENSAYO	MODIFICADO
NÚMERO DE CAPAS	5
NÚMERO DE GOLPES POR CARA	25
MOLDE No	1
DIÁMETRO MOLDE (cm)	3.30
ALTURA MOLDE (cm)	7.00
VOLUMEN MOLDE (cm ³)	59.87

PESO TARA (gr)	7.8	8.8	8.4	7.3
PESO DE TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	38.0	44.4	43.5	42.7
PESO DE TARA + SUELO SECO (gr)	35.9	41.2	39.7	38.1
PESO AGUA	2.1	3.2	3.8	4.6
PESO SOLIDO	28.1	32.4	31.3	30.8
HUMEDAD %	7.47	9.88	12.14	14.94

PESO MOLDE (gr)	120.0	120.0	120.0	120.0
PESO DE MOLDE + SUELO HÚMEDO (gr)	228.5	233.5	239.2	237.7
PESO DEL SUELO HÚMEDO (gr)	108.5	113.5	119.2	117.7
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	1.81	1.90	1.99	1.97
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.69	1.73	1.78	1.71



DENSIDAD MÁXIMA 1.762 gr/cm³
HUMEDAD OPTIMA 12.1 %

Diana Corzo- Carlos Celis
ELABORO

Eduardo Castañeda
REVISÓ

ENSAYO DE HARVARD MINIATURA

FECHA Septiembre de 2013

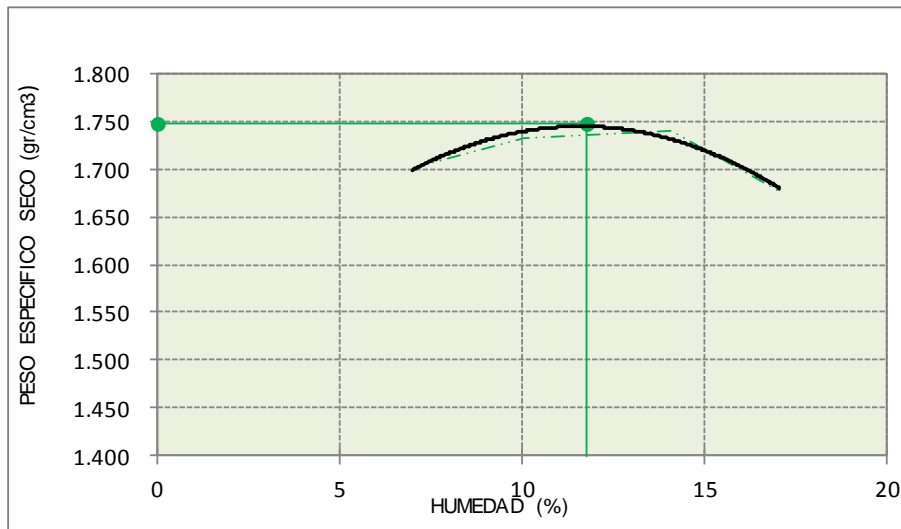
PROYECTO A PROVECHAMIENTO DE RESIDUOS COTAMINANTES DE REFINERIA EN ESTABILIZACION DE SUELOS.

LOCALIZACIÓN Suelo + 12% de aditivo bituminoso **TIPO DE SUELO** SC

TIPO DE ENSAYO	MODIFICADO
NÚMERO DE CAPAS	5
NÚMERO DE GOLPES POR CARA	25
MOLDE No	1
DIÁMETRO MOLDE (cm)	3.30
ALTURA MOLDE (cm)	7.00
VOLUMEN MOLDE (cm ³)	59.87

PESO TARA (gr)	7.4	7.71	8.74	6.87
PESO DE TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	44.8	36.4	43.2	43.9
PESO DE TARA + SUELO SECO (gr)	42.3	33.8	38.9	38.5
PESO AGUA	2.5	2.6	4.3	5.4
PESO SOLIDO	34.9	26.1	30.2	31.6
HUMEDAD %	7.02	10.08	14.12	17.07

PESO MOLDE (gr)	120.0	120.0	120.0	120.0
PESO DE MOLDE + SUELO HÚMEDO (gr)	229.1	234.1	238.8	237.5
PESO DEL SUELO HÚMEDO (gr)	109.1	114.1	118.8	117.5
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	1.82	1.91	1.98	1.96
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.70	1.73	1.74	1.68



DENSIDAD MÁXIMA 1.748 gr/cm³
HUMEDAD ÓPTIMA 11.8 %

Diana Corzo- Carlos Celis

ELABORO

Eduardo Castañeda

REVISÓ

ENSAYO DE HARVARD MINIATURA

FECHA Septiembre de 2013

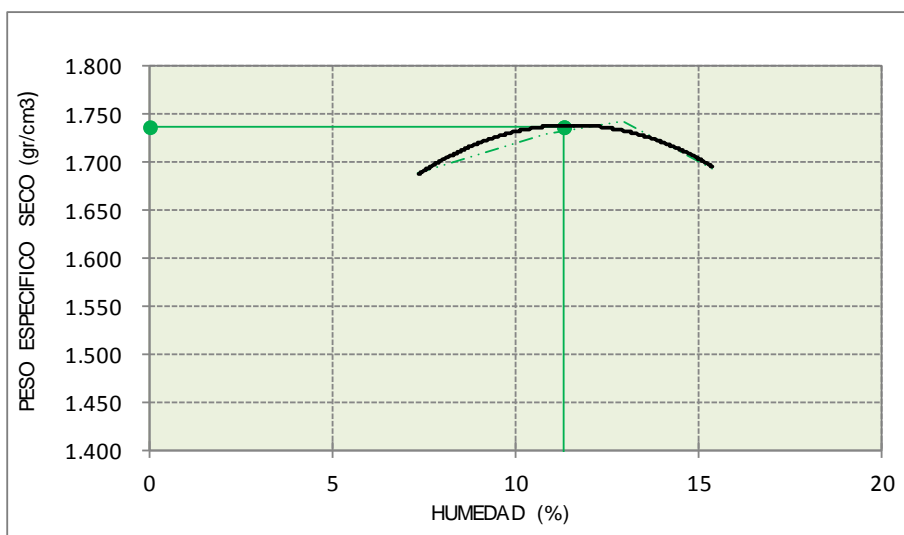
PROYECTO APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS COTAMINANTES DE REFINERIA EN ESTABILIZACION DE SUELOS.

LOCALIZACIÓN Suelo + 16% de aditivo bituminoso **TIPO DE SUELO** SC

TIPO DE ENSAYO	MODIFICADO
NÚMERO DE CAPAS	5
NÚMERO DE GOLPES POR CARA	25
MOLDE No	1
DIÁMETRO MOLDE (cm)	3.30
ALTURA MOLDE (cm)	7.00
VOLUMEN MOLDE (cm ³)	59.87

PESO TARA (gr)	9.1	8.2	7.3	6.8
PESO DE TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	45.7	44.0	44.0	48.0
PESO DE TARA + SUELO SECO (gr)	43.2	40.5	39.8	42.5
PESO AGUA	2.5	3.5	4.2	5.5
PESO SOLIDO	34.1	32.3	32.5	35.7
HUMEDAD %	7.33	10.84	12.92	15.41

PESO MOLDE (gr)	120.0	120.0	120.0	120.0
PESO DE MOLDE + SUELO HÚMEDO (gr)	228.5	234.7	237.8	236.9
PESO DEL SUELO HÚMEDO (gr)	108.5	114.7	117.8	116.9
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	1.81	1.92	1.97	1.95
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.69	1.73	1.74	1.69



DENSIDAD MÁXIMA 1.737 gr/cm³
HUMEDAD OPTIMA 11.3 %

Diana Corzo- Carlos Celis
ELABORO

Eduardo Castañeda
REVISÓ

Anexo C. COMPRESION SIMPLE.

COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS Normas INV-E 152

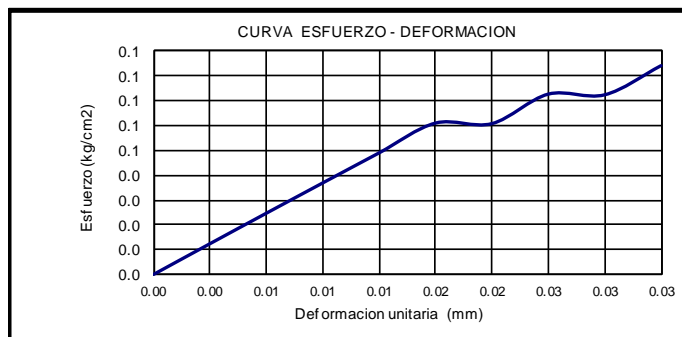
PROYECTO	APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS CONTAMINANTES DE REFINERIA EN ESTABILIZACION DE SUELOS.
ENSAYADO POR	DIANA MARGARITA CORZO - CARLOS FERNANDO CELIS
FECHA DE ENSAYO	OCTUBRE DE 2013

Descripción de la muestra: Arena arcillosa - Muestra 1

Dimensiones de la muestra					
Altura (h)	7.00 cms	Diametro :	3.20	cms	Peso : 120.45grs
Velocidad	3.40	h/d :	2.19		

DATOS DE LA MUESTRA					
Area	8.04	cm ²	W. S. Humed.	38.60	gr
Volumen	56.30	cm ³	W. S. Seco	34.40	gr
Peso Unitario Humedo	2.14	gr/cm ³	W. Tara	11.80	gr
Peso Unitario Seco	1.80	gr/cm ³	Humedad	18.58	%

DATOS DE CARGA						
Deformación 10 ⁻³ pulg	Carga Libras	Carga Kg	Deformacion mm	Deformacion Unitaria	Area Corregida	Esfuerzo kg/cm ²
0.0	0.00	0.00	0.0000	0.000	8.04	0.00
10.0	0.22	0.10	0.2540	0.004	8.07	0.01
20.0	0.44	0.20	0.5080	0.007	8.10	0.02
30.0	0.66	0.30	0.7620	0.011	8.13	0.04
40.0	0.88	0.40	1.0160	0.015	8.16	0.05
50.0	1.10	0.50	1.2700	0.018	8.19	0.06
60.0	1.10	0.50	1.5240	0.022	8.22	0.06
70.0	1.32	0.60	1.7780	0.025	8.25	0.07
80.0	1.32	0.60	2.0320	0.029	8.28	0.07
90.0	1.54	0.70	2.2860	0.033	8.31	0.08



Estado de la Muestra :

ALTERADA

qu: 0.08 kg/cm²

C : 0.04 kg/cm²

COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS

Normas INV-E 152

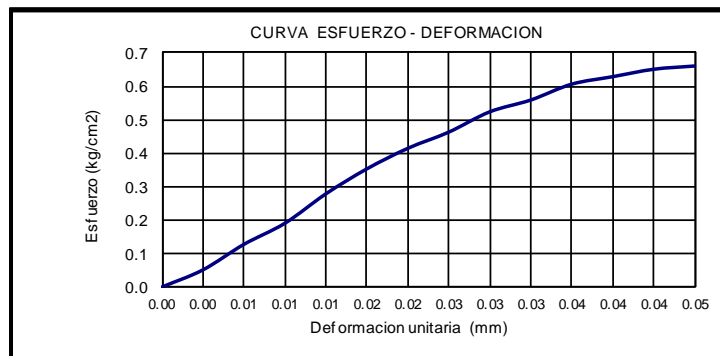
PROYECTO	APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS COTAMINANTES DE REFINERIA EN ESTABILIZACION DE SUELOS.
ENSAYADO POR	DIANA MARGARITA CORZO - CARLOS FERNANDO CELIS
FECHA DE ENSAYO	OCTUBRE DE 2013

Descripción de la muestra: Arena arcillosa - 8% Aditivo Bituminoso - Muestra 1

Dimensiones de la muestra						
Altura (h)	7.03 cms	Diametro :	3.15	cms	Peso :	119.40grs
Velocidad	3.40	h/d :	2.23			

DATOS DE LA MUESTRA					
Area	7.79	cm ²	W. S. Humed.	38.60	gr
Volumen	54.79	cm ³	W. S. Seco	35.40	gr
Peso Unitario Humedo	2.18	gr/cm ³	W. Tara	11.80	gr
Peso Unitario Seco	1.92	gr/cm ³	Humedad	13.56	%

DATOS DE CARGA						
Deformación 10 ⁻³ pulg	Carga Libras	Carga Kg	Deformación mm	Deformación Unitaria	Area Corregida	Esfuerzo kg/cm ²
0.0	0.00	0.00	0.0000	0.000	7.79	0.00
10.0	0.88	0.40	0.2540	0.004	7.82	0.05
20.0	2.21	1.00	0.5080	0.007	7.85	0.13
30.0	3.31	1.50	0.7620	0.011	7.88	0.19
40.0	4.86	2.20	1.0160	0.014	7.91	0.28
50.0	6.18	2.80	1.2700	0.018	7.94	0.35
60.0	7.28	3.30	1.5240	0.022	7.97	0.41
70.0	8.17	3.70	1.7780	0.025	8.00	0.46
80.0	9.27	4.20	2.0320	0.029	8.03	0.52
90.0	9.93	4.50	2.2860	0.033	8.06	0.56
100.0	10.81	4.90	2.5400	0.036	8.09	0.61
110.0	11.26	5.10	2.7940	0.040	8.12	0.63
120.0	11.70	5.30	3.0480	0.043	8.15	0.65
130.0	11.92	5.40	3.3020	0.047	8.18	0.66



Estado de la Muestra :

ALTERADA

qu: 0.66 kg/cm²

C : 0.33 kg/cm²

COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS Normas INV-E 152

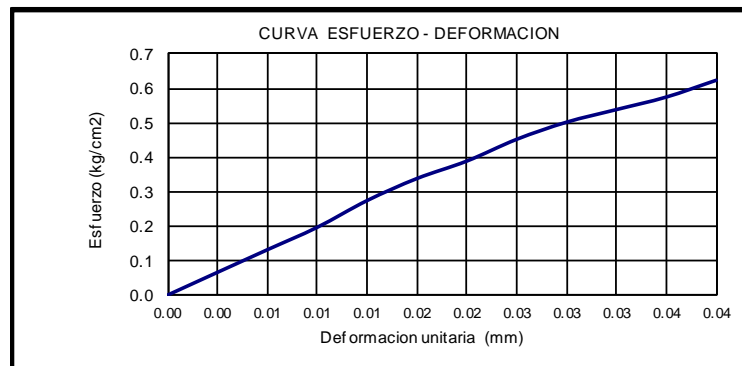
PROYECTO	APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS COTAMINANTES DE REFINERIA EN ESTABILIZACION DE SUELOS.
ENSAYADO POR	DIANA MARGARITA CORZO - CARLOS FERNANDO CELIS
FECHA DE ENSAYO	OCTUBRE DE 2013

Descripción de la muestra: Arena arcillosa - 8% Aditivo Bituminoso - Muestra 2

Dimensiones de la muestra					
Altura (h)	7.00 cms	Diametro :	3.10 cms	Peso :	119.70grs
Velocidad	3.40	h/d :	2.26		

DATOS DE LA MUESTRA					
Area	7.55	cm ²	W. S. Humed.	38.60	gr
Volumen	52.83	cm ³	W. S. Seco	35.50	gr
Peso Unitario Humedo	2.27	gr/cm ³	W. Tara	11.80	gr
Peso Unitario Seco	2.00	gr/cm ³	Humedad	13.08	%

DATOS DE CARGA						
Deformación 10 ⁻³ pulg	Carga Libras	Carga Kg	Deformación mm	Deformación Unitaria	Area Corregida	Esfuerzo kg/cm ²
0.0	0.00	0.00	0.0000	0.000	7.55	0.00
10.0	1.10	0.50	0.2540	0.004	7.58	0.07
20.0	2.21	1.00	0.5080	0.007	7.60	0.13
30.0	3.31	1.50	0.7620	0.011	7.63	0.20
40.0	4.63	2.10	1.0160	0.015	7.66	0.27
50.0	5.74	2.60	1.2700	0.018	7.69	0.34
60.0	6.62	3.00	1.5240	0.022	7.72	0.39
70.0	7.72	3.50	1.7780	0.025	7.74	0.45
80.0	8.61	3.90	2.0320	0.029	7.77	0.50
90.0	9.27	4.20	2.2860	0.033	7.80	0.54
100.0	9.93	4.50	2.5400	0.036	7.83	0.57
110.0	10.81	4.90	2.7940	0.040	7.86	0.62



Estado de la Muestra :

ALTERADA

qu: 0.62 kg/cm²

C : 0.31 kg/cm²

COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS

Normas INV-E 152

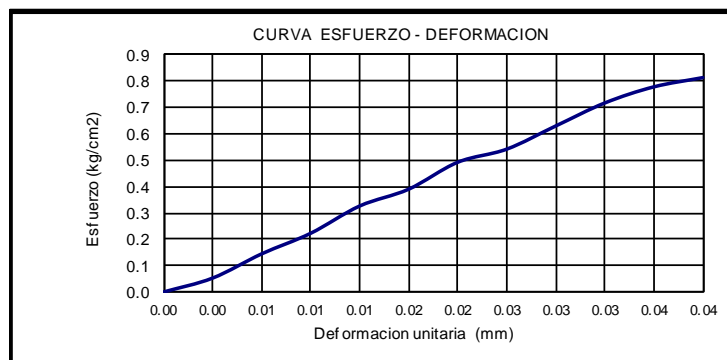
PROYECTO	APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS COTAMINANTES DE REFINERIA EN ESTABILIZACION DE SUELOS.
ENSAYADO POR	DIANA MARGARITA CORZO - CARLOS FERNANDO CELIS
FECHA DE ENSAYO	OCTUBRE DE 2013

Descripción de la muestra: Arena arcillosa - 12% Aditivo Bituminoso - Muestra 1

Dimensiones de la muestra					
Altura (h)	6.90 cms	Diametro :	3.10 cms	Peso :	117.00grs
Velocidad	3.40	h/d :	2.23		

DATOS DE LA MUESTRA					
Area	7.55	cm ²	W. S. Humed.	38.60	gr
Volumen	52.08	cm ³	W. S. Seco	35.65	gr
Peso Unitario Humedo	2.25	gr/cm ³	W. Tara	11.80	gr
Peso Unitario Seco	2.00	gr/cm ³	Humedad	12.37	%

DATOS DE CARGA						
Deformación 10 ⁻³ pulg	Carga Libras	Carga Kg	Deformacion mm	Deformacion Unitaria	Area Corregida	Esfuerzo kg/cm2
0.0	0.00	0.00	0.0000	0.000	7.55	0.00
10.0	0.88	0.40	0.2540	0.004	7.58	0.05
20.0	2.43	1.10	0.5080	0.007	7.60	0.14
30.0	3.75	1.70	0.7620	0.011	7.63	0.22
40.0	5.52	2.50	1.0160	0.015	7.66	0.33
50.0	6.62	3.00	1.2700	0.018	7.69	0.39
60.0	8.39	3.80	1.5240	0.022	7.72	0.49
70.0	9.27	4.20	1.7780	0.026	7.75	0.54
80.0	10.81	4.90	2.0320	0.029	7.78	0.63
90.0	12.36	5.60	2.2860	0.033	7.81	0.72
100.0	13.46	6.10	2.5400	0.037	7.84	0.78
110.0	14.12	6.40	2.7940	0.040	7.87	0.81



Estado de la Muestra :
ALTERADA

qu: 0.81 kg/cm²

C : 0.41 kg/cm²

COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS Normas INV-E 152

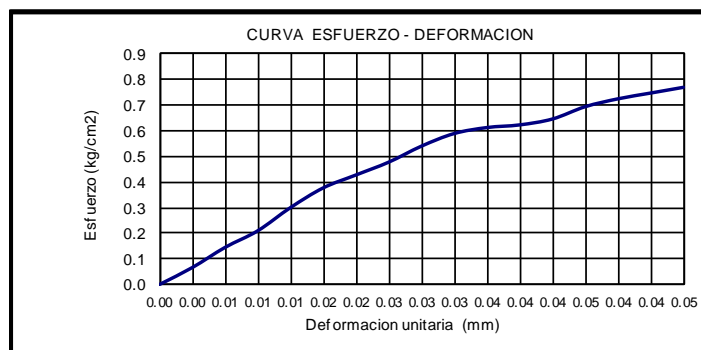
PROYECTO	APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS COTAMINANTES DE REFINERIA EN ESTABILIZACION DE SUELOS.
ENSAYADO POR	DIANA MARGARITA CORZO - CARLOS FERNANDO CELIS
FECHA DE ENSAYO	OCTUBRE DE 2013

Descripción de la muestra: Arena arcillosa - 12% Aditivo Bituminoso - Muestra 2

Dimensiones de la muestra					
Altura (h)	7.00 cms	Diametro :	3.10 cms	Peso :	118.70grs
Velocidad	3.40	h/d :	2.26		

DATOS DE LA MUESTRA					
Area	7.55	cm ²	W. S. Humed.	38.60	gr
Volumen	52.83	cm ³	W. S. Seco	35.70	gr
Peso Unitario Humedo	2.25	gr/cm ³	W. Tara	11.80	gr
Peso Unitario Seco	2.00	gr/cm ³	Humedad	12.13	%

DATOS DE CARGA						
Deformación 10 ⁻³ pulg	Carga Libras	Carga Kg	Deformacion mm	Deformacion Unitaria	Area Corregida	Esfuerzo kg/cm2
0.0	0.00	0.00	0.0000	0.000	7.55	0.00
10.0	1.10	0.50	0.2540	0.004	7.58	0.07
20.0	2.43	1.10	0.5080	0.007	7.60	0.14
30.0	3.53	1.60	0.7620	0.011	7.63	0.21
40.0	5.08	2.30	1.0160	0.015	7.66	0.30
50.0	6.40	2.90	1.2700	0.018	7.69	0.38
60.0	7.28	3.30	1.5240	0.022	7.72	0.43
70.0	8.17	3.70	1.7780	0.025	7.74	0.48
80.0	9.27	4.20	2.0320	0.029	7.77	0.54
90.0	10.15	4.60	2.2860	0.033	7.80	0.59
100.0	10.59	4.80	2.5400	0.036	7.83	0.61
110.0	10.81	4.90	2.7940	0.040	7.86	0.62
120.0	11.26	5.10	3.0480	0.044	7.89	0.65
130.0	12.14	5.50	3.3020	0.047	7.92	0.69
110.0	12.58	5.70	2.7940	0.040	7.86	0.73
120.0	13.02	5.90	3.0480	0.044	7.89	0.75
130.0	13.46	6.10	3.3020	0.047	7.92	0.77



Estado de la Muestra :

ALTERADA

qu: 0.77 kg/cm²

C : 0.39 kg/cm²

COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS
Normas INV-E 152

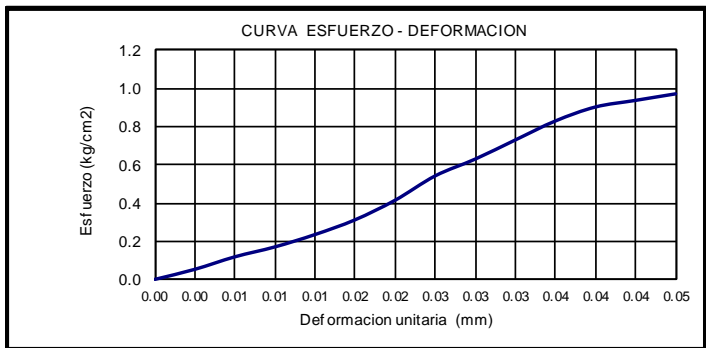
PROYECTO	APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS COTAMINANTES DE REFINERIA EN ESTABILIZACION DE SUELOS.
ENSAYADO POR	DIANA MARGARITA CORZO - CARLOS FERNANDO CELIS
FECHA DE ENSAYO	OCTUBRE DE 2013

Descripción de la muestra: Arena arcillosa - 16% Aditivo Bituminoso - Muestra 1

Dimensiones de la muestra					
Altura (h)	7.00 cms	Diametro :	3.10 cms	Peso :	118.40grs
Velocidad	3.40	h/d :	2.26		

DATOS DE LA MUESTRA					
Area	7.55	cm ²	W. S. Humed.	39.60	gr
Volumen	52.83	cm ³	W. S. Seco	36.62	gr
Peso Unitario Humedo	2.24	gr/cm ³	W. Tara	11.80	gr
Peso Unitario Seco	2.00	gr/cm ³	Humedad	12.01	%

DATOS DE CARGA						
Deformación 10 ⁻³ pulg	Carga Libras	Carga Kg	Deformacion mm	Deformacion Unitaria	Area Corregida	Esfuerzo kg/cm2
0.0	0.00	0.00	0.0000	0.000	7.55	0.00
10.0	0.88	0.40	0.2540	0.004	7.58	0.05
20.0	1.99	0.90	0.5080	0.007	7.60	0.12
30.0	2.87	1.30	0.7620	0.011	7.63	0.17
40.0	3.97	1.80	1.0160	0.015	7.66	0.24
50.0	5.30	2.40	1.2700	0.018	7.69	0.31
60.0	7.06	3.20	1.5240	0.022	7.72	0.41
70.0	9.27	4.20	1.7780	0.025	7.74	0.54
80.0	10.81	4.90	2.0320	0.029	7.77	0.63
90.0	12.58	5.70	2.2860	0.033	7.80	0.73
100.0	14.35	6.50	2.5400	0.036	7.83	0.83
110.0	15.67	7.10	2.7940	0.040	7.86	0.90
120.0	16.33	7.40	3.0480	0.044	7.89	0.94
130.0	16.99	7.70	3.3020	0.047	7.92	0.97



Estado de la Muestra :

ALTERADA

qu: 0.97 kg/cm²

C : 0.49 kg/cm²

COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS
Normas INV-E 152

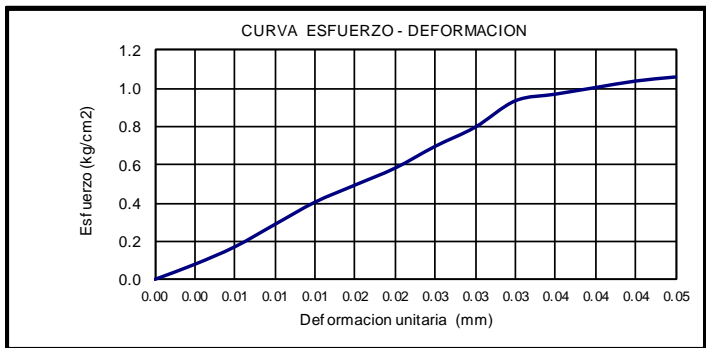
PROYECTO	APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS COTAMINANTES DE REFINERIA EN ESTABILIZACION DE SUELOS.
ENSAYADO POR	DIANA MARGARITA CORZO - CARLOS FERNANDO CELIS
FECHA DE ENSAYO	OCTUBRE DE 2013

Descripción de la muestra: Arena arcillosa - 16% Aditivo Bituminoso - Muestra 2

Dimensiones de la muestra					
Altura (h)	7.00 cms	Diametro :	3.10 cms	Peso :	118.98grs
Velocidad	3.40	h/d :	2.26		

DATOS DE LA MUESTRA					
Area	7.55	cm ²	W. S. Humed.	39.60	gr
Volumen	52.83	cm ³	W. S. Seco	36.62	gr
Peso Unitario Humedo	2.25	gr/cm ³	W. Tara	11.80	gr
Peso Unitario Seco	2.01	gr/cm ³	Humedad	12.01	%

DATOS DE CARGA						
Deformación 10 ⁻³ pulg	Carga Libras	Carga Kg	Deformacion mm	Deformacion Unitaria	Area Corregida	Esfuerzo kg/cm2
0.0	0.00	0.00	0.0000	0.000	7.55	0.00
10.0	1.32	0.60	0.2540	0.004	7.58	0.08
20.0	2.87	1.30	0.5080	0.007	7.60	0.17
30.0	4.86	2.20	0.7620	0.011	7.63	0.29
40.0	6.84	3.10	1.0160	0.015	7.66	0.40
50.0	8.39	3.80	1.2700	0.018	7.69	0.49
60.0	9.93	4.50	1.5240	0.022	7.72	0.58
70.0	11.92	5.40	1.7780	0.025	7.74	0.70
80.0	13.68	6.20	2.0320	0.029	7.77	0.80
90.0	16.11	7.30	2.2860	0.033	7.80	0.94
100.0	16.77	7.60	2.5400	0.036	7.83	0.97
110.0	17.44	7.90	2.7940	0.040	7.86	1.00
120.0	18.10	8.20	3.0480	0.044	7.89	1.04
130.0	18.54	8.40	3.3020	0.047	7.92	1.06



Estado de la Muestra :

ALTERADA

qu: 1.06 kg/cm²

C : 0.53 kg/cm²

Anexo D. CORTE DIRECTO.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D3080 - AASHTO T236

PROYECTO	PROYECTO DE GRADO	FECHA:	OCTUBRE
		MUESTRA	1
DESCRIPCION	NATURAL	PROFUNDIDAD	0.6

CARGA Kg 8

DIAMETRO SUPERIOR EN m	0.0502
DIAMETRO CENTRAL EN m	0.0504
DIAMETRO INFERIOR EN m	0.0505
PROMEDIO DIAMETRO EN m	0.0503

AREA EN m ²	0.0020
------------------------	--------

ALTURA MEDIA EN m	0.02194
-------------------	---------

HUMEDAD EN %

W DE LA TARA kg	0.0159
W TARA + W SUELO HUMEDO kg	0.0681
W TARA + W SUELO SECO	0.0612

E. NORMAL EN Kg/m² 4018

W ANILLO EN Kg	0.11040
W MUESTRA+W ANILLO EN Kg	0.2522
PESO MUESTRA Kg	0.1418
VOLUMEN EN m ³	0.0000

DENSIDAD HUMEDA EN Kg/m ³	3246.21
--------------------------------------	---------

DENSIDAD SECA EN Kg/m ³	2819.52
------------------------------------	---------

W AGUA Kg	0.0069
W SECO Kg	0.0453
HUMEDAD %	15.13

CARGA Kg 16

DIAMETRO SUPERIOR EN m	0.0500
DIAMETRO CENTRAL EN m	0.0500
DIAMETRO INFERIOR EN m	0.0502
PROMEDIO DIAMETRO EN m	0.0501

AREA EN m ²	0.0020
------------------------	--------

ALTURA MEDIA EN m	0.02335
-------------------	---------

HUMEDAD EN %

W DE LA TARA kg	0.0157
W TARA + W SUELO HUMEDO kg	0.0785
W TARA + W SUELO SECO kg	0.0692

E. NORMAL EN Kg/m² 8123.35

W ANILLO EN Kg	0.11481
W MUESTRA+W ANILLO EN Kg	0.25509
W MUESTRA Kg	0.14028
VOLUMEN EN m ³	0.00005

DENSIDAD HUMEDA EN Kg/m ³	3050.17
--------------------------------------	---------

DENSIDAD SECA EN Kg/m ³	2597.84
------------------------------------	---------

W AGUA Kg	0.0093
W SECO Kg	0.0535
HUMEDAD %	17.41

DIANA CORZO-CARLOS CELIS
ELABORO

EDUARDO CASTAÑEDA
REVISO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D3080 - AASHTO T236

PROYECTO	PROYECTO DE GRADO	FECHA:	OCTUBRE
		MUESTRA	1
DESCRIPCION	NATURAL	PROFUNDIDAD	0.6

CARGA Kg	32	E NORMAL EN Kg/m ²	16194
----------	----	-------------------------------	-------

DIAMETRO SUPERIOR EN m	0,050,06
DIAMETRO CENTRAL EN m	0,04986
DIAMETRO INFERIOR EN m	0.0502
PROMEDIO DIAMETRO EN m	0.0502

W ANILLO EN kg	0.1083
W MUESTRA + W ANILLO EN kg	0.2452
PESO MUESTRA kg	0.1369
VOLUMEN EN m ³	0.0000

AREA EN m ²	0.001976087
------------------------	-------------

DENSIDAD HUMEDA EN gr/m ³	3406.69
--------------------------------------	---------

ALTURA MEDIA EN m	0.02033
-------------------	---------

DENSIDAD SECA EN Kg/m ³	2968.68
------------------------------------	---------

HUMEDAD EN %	
W DE LA TARA Kg	0.0160
W TARA + W SUELO HUMEDO Kg.	0.0908
W TARA + W SUELO SECO Kg	0.0812

W AGUA Kg	0.0096
W SECO Kg	0.0652
HUMEDAD %	14.75

OBSERVACIONES

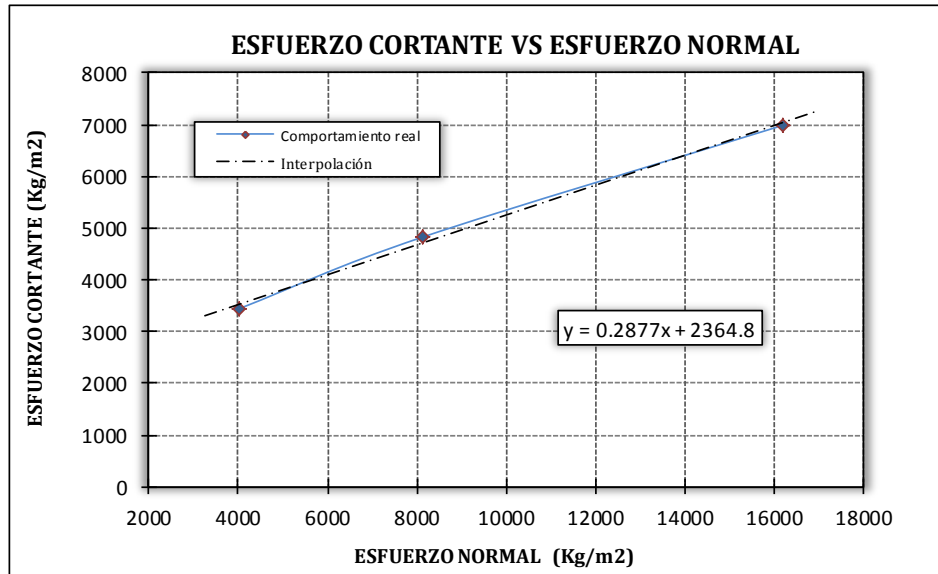
DIANA CORZO - CARLOS CELIS
ELABORO

EDUARDO CASTAÑEDA
REVISO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080 - AASHTO T236

PROYECTO	PROYECTO DE GRADO	FECHA <u>OCTUBRE</u>
DESCRIPCION	<u>NATURAL</u>	MUES <u>1</u>
		PROFL <u>0.6</u>

CARGA VERTICAL Kg	AREA m ²	CARGA MÁXIMA Kg	ESFUERZO NORMAL Kg/m ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/m ²
8	0.0020	6.85	4018.44	3440.79
16	0.0020	9.50	8123.35	4823.24
32	0.0020	13.80	16193.62	6983.50



HUMEDAD	<u>15.8</u>	%
DENSIDAD HUMEDA	<u>3234.4</u>	Kg/m ³
DENSIDAD SECA	<u>2795.3</u>	Kg/m ³
ANGULO FRICCIÓN	<u>16.1</u>	grados
COHESIÓN	<u>2364.8</u>	Kg/m ²

2.36

DIANA CORZO - CARLOS CELIS
ELABORO

EDUARDO CASTAÑEDA
REVISO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D3080 - AASHTO T236

PROYECTO	PROYECTO DE GRADO	FECHA:	OCTUBRE
		MUESTRA	1
DESCRIPCION	8% ADITIVO	PROFUNDIDAD	0.6

CARGA Kg 8

E. NORMAL EN Kg/m² 4018

DIAMETRO SUPERIOR EN m	0.0502
DIAMETRO CENTRAL EN m	0.0504
DIAMETRO INFERIOR EN m	0.0505
PROMEDIO DIAMETRO EN m	0.0503

W ANILLO EN Kg	0.11420
W MUESTRA+W ANILLO EN Kg	0.2574
PESO MUESTRA Kg	0.1432
VOLUMEN EN m ³	0.0000

AREA EN m ²	0.0020
------------------------	--------

DENSIDAD HUMEDA EN Kg/m ³	3278.49
--------------------------------------	---------

ALTURA MEDIA EN m	0.02194
-------------------	---------

DENSIDAD SECA EN Kg/m ³	2945.09
------------------------------------	---------

HUMEDAD EN %

W DE LA TARA kg	0.0157
W TARA + W SUELO HUMEDO kg	0.0600
W TARA + W SUELO SECO	0.0555

W AGUA Kg	0.0045
W SECO Kg	0.0398
HUMEDAD %	11.32

CARGA Kg 16

E. NORMAL EN Kg/m² 8123.35

DIAMETRO SUPERIOR EN m	0.0500
DIAMETRO CENTRAL EN m	0.0500
DIAMETRO INFERIOR EN m	0.0502
PROMEDIO DIAMETRO EN m	0.0501

W ANILLO EN Kg	0.11590
W MUESTRA+W ANILLO EN Kg	0.25590
W MUESTRA Kg	0.14000
VOLUMEN EN m ³	0.00005

AREA EN m ²	0.0020
------------------------	--------

DENSIDAD HUMEDA EN Kg/m ³	3044.08
--------------------------------------	---------

ALTURA MEDIA EN m	0.02335
-------------------	---------

DENSIDAD SECA EN Kg/m ³	2678.47
------------------------------------	---------

HUMEDAD EN %

W DE LA TARA kg	0.0153
W TARA + W SUELO HUMEDO kg	0.0648
W TARA + W SUELO SECO kg	0.0589

W AGUA Kg	0.0060
W SECO Kg	0.0436
HUMEDAD %	13.65

DIANA CORZO-CARLOS CELIS
ELABORO

EDUARDO CASTAÑEDA
REVISO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D3080 - AASHTO T236

PROYECTO	PROYECTO DE GRADO	FECHA:	OCTUBRE
		MUESTRA	1
DESCRIPCION	8% ADITIVO	PROFUNDIDAD	0.6

CARGA Kg	<u>32</u>	E. NORMAL EN Kg/m²	<u>16194</u>
-----------------	-----------	--------------------------------------	--------------

DIAMETRO SUPERIOR EN m	0,050,06
DIAMETRO CENTRAL EN m	0;04986
DIAMETRO INFERIOR EN m	0.0502
PROMEDIO DIAMETRO EN m	0.0502

W ANILLO EN kg	0.1108
W MUESTRA + W ANILLO EN kg	0.2435
PESO MUESTRA kg	0.1327
VOLUMEN EN m ³	0.0000

AREA EN m ²	0.001976087
------------------------	-------------

DENSIDAD HUMEDA EN gr/m ³	3303.14
--------------------------------------	---------

ALTURA MEDIA EN m	0.02033
-------------------	---------

DENSIDAD SECA EN Kg/m ³	3073.66
------------------------------------	---------

HUMEDAD EN %

W DE LA TARA Kg	0.0156
W TARA + W SUELO HUMEDO Kg.	0.0759
W TARA + W SUELO SECO Kg	0.0717

W AGUA Kg	0.0042
W SECO Kg	0.0561
HUMEDAD %	7.47

OBSERVACIONES

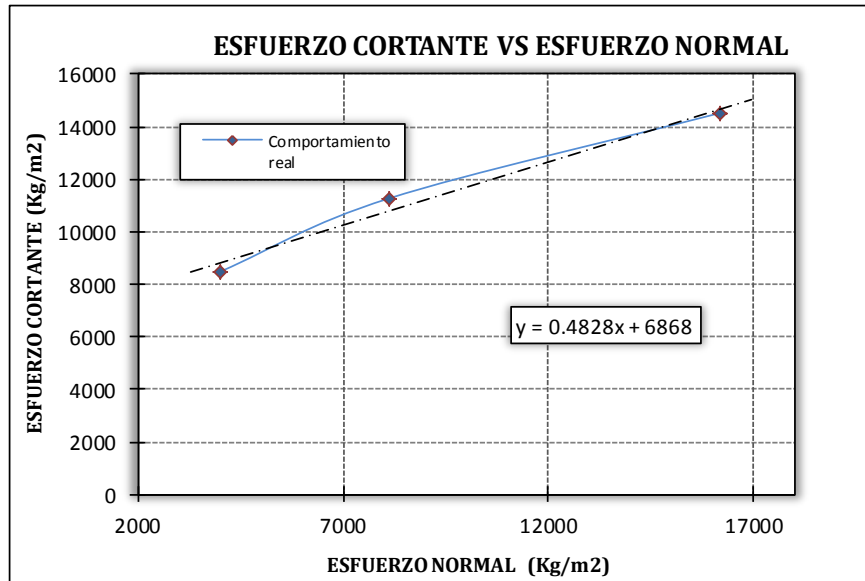
DIANA CORZO - CARLOS CELIS
ELABORO

EDUARDO CASTAÑEDA
REVISO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080 - AASHTO T236

PROYECTO	PROYECTO DE GRADO	FECHA:	OCTUBRE
DESCRIPCION	8% ADITIVO	MUESTRA	1
		PROFUNDIDAD	0.6

CARGA VERTICAL Kg	AREA m ²	CARGA MÁXIMA Kg	ESFUERZO NORMAL Kg/m ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/m ²
8	0.0020	16.90	4018.44	8488.96
16	0.0020	22.20	8123.35	11271.15
32	0.0020	28.70	16193.62	14523.66



HUMEDAD	10.8	%
DENSIDAD HUI	3208.6	Kg/m ³
DENSIDAD SEC	2899.1	Kg/m ³
ANGULO FRIC	25.8	grados
COHESIÓN	6868.0	Kg/m ²

DIANA CORZO - CARLOS CELIS
ELABORO

EDUARDO CASTAÑEDA
REVISO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D3080 - AASHTO T236

PROYECTO	PROYECTO DE GRADO	FECHA:	OCTUBRE
		MUESTRA	1
DESCRIPCION	ADITIVO 16%	PROFUNDIDAD	0.6

CARGA Kg 8

E. NORMAL EN Kg/m² 4018

DIAMETRO SUPERIOR EN m	0.0502
DIAMETRO CENTRAL EN m	0.0504
DIAMETRO INFERIOR EN m	0.0505
PROMEDIO DIAMETRO EN m	0.0503

W ANILLO EN Kg	0.10350
W MUESTRA+W ANILLO EN Kg	0.2293
PESO MUESTRA Kg	0.1258
VOLUMEN EN m ³	0.0000

AREA EN m ²	0.0020
------------------------	--------

DENSIDAD HUMEDA EN Kg/m ³	2880.13
--------------------------------------	---------

ALTURA MEDIA EN m	0.02194
-------------------	---------

DENSIDAD SECA EN Kg/m ³	2676.84
------------------------------------	---------

HUMEDAD EN %

W DE LA TARA kg	0.0159
W TARA + W SUELO HUMEDO kg	0.0675
W TARA + W SUELO SECO	0.0638

W AGUA Kg	0.0036
W SECO Kg	0.0479
HUMEDAD %	7.59

CARGA Kg 16

E. NORMAL EN Kg/m² 8123.35

DIAMETRO SUPERIOR EN m	0.0500
DIAMETRO CENTRAL EN m	0.0500
DIAMETRO INFERIOR EN m	0.0502
PROMEDIO DIAMETRO EN m	0.0501

W ANILLO EN Kg	0.10570
W MUESTRA+W ANILLO EN Kg	0.24390
W MUESTRA Kg	0.13820
VOLUMEN EN m ³	0.00005

AREA EN m ²	0.0020
------------------------	--------

DENSIDAD HUMEDA EN Kg/m ³	3004.94
--------------------------------------	---------

ALTURA MEDIA EN m	0.02335
-------------------	---------

DENSIDAD SECA EN Kg/m ³	2772.98
------------------------------------	---------

HUMEDAD EN %

W DE LA TARA kg	0.0154
W TARA + W SUELO HUMEDO kg	0.0896
W TARA + W SUELO SECO kg	0.0839

W AGUA Kg	0.0057
W SECO Kg	0.0685
HUMEDAD %	8.36

DIANA CORZO-CARLOS CELIS
ELABORO

EDUARDO CASTAÑEDA
REVISO

ASTM D3080 - AASHTO T236

PROYECTO	PROYECTO DE GRADO	FECHA:	OCTUBRE
		MUESTRA	1
DESCRIPCION	ADITIVO 16%	PROFUNDIDAD	0.6

CARGA Kg 32 **E NORMAL EN Kg/m²** 16194

DIAMETRO SUPERIOR EN m	0,050,06
DIAMETRO CENTRAL EN m	0,04986
DIAMETRO INFERIOR EN m	0.0502
PROMEDIO DIAMETRO EN m	0.0502

W ANILLO EN kg	0.1114
W MUESTRA + W ANILLO EN kg	0.2458
PESO MUESTRA kg	0.1344
VOLUMEN EN m ³	0.0000

AREA EN m ²	0.001976087
------------------------	-------------

DENSIDAD HUMEDA EN gr/m ³	3345.46
--------------------------------------	---------

ALTURA MEDIA EN m	0.02033
-------------------	---------

DENSIDAD SECA EN Kg/m ³	3130.10
------------------------------------	---------

HUMEDAD EN %

W DE LA TARA Kg	0.0159
W TARA + W SUELO HUMEDO Kg.	0.0883
W TARA + W SUELO SECO Kg	0.0836

W AGUA Kg	0.0047
W SECO Kg	0.0677
HUMEDAD %	6.88

OBSERVACIONES

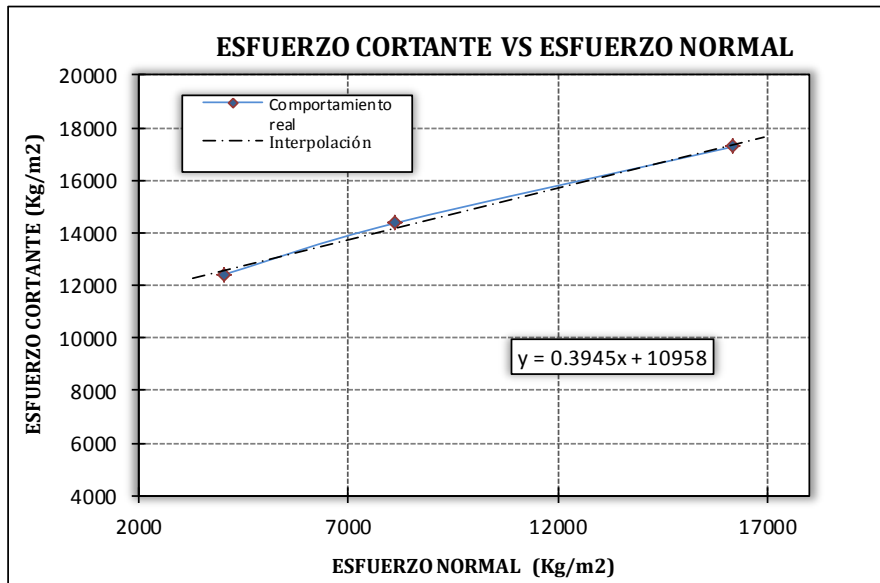
DIANA CORZO - CARLOS CELIS
ELABORO

EDUARDO CASTAÑEDA
REVISO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080 - AASHTO T236

PROYECTO	PROYECTO DE GRADO	FECHA:	OCTUBRE
DESCRIPCION	ADITIVO 16%	MUESTRA	1
		PROFUNDIDAD	0.6

CARGA VERTICAL Kg	AREA m ²	CARGA MÁXIMA Kg	ESFUERZO NORMAL Kg/m ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/m ²
8	0.0020	24.70	4018.44	12406.94
16	0.0020	28.30	8123.35	14368.17
32	0.0020	34.14	16193.62	17276.57

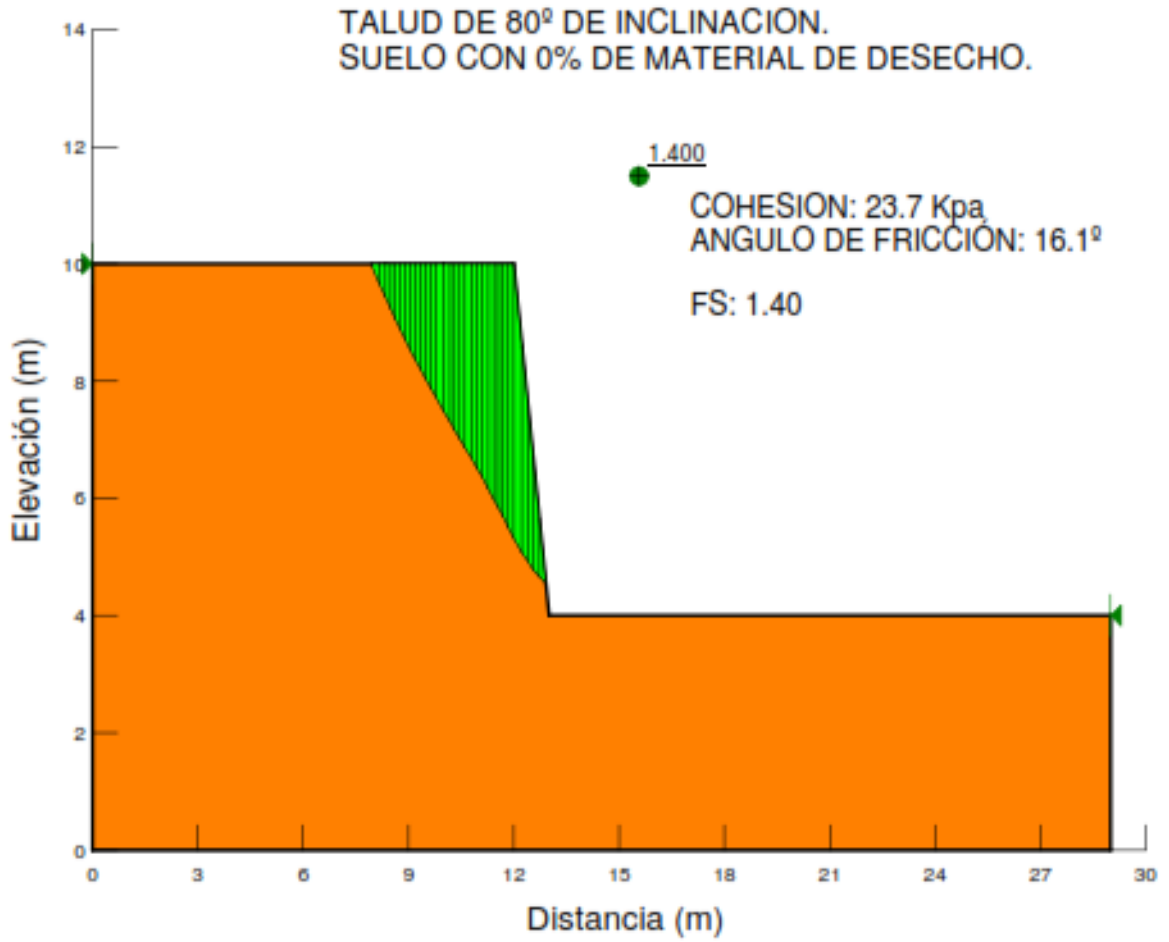


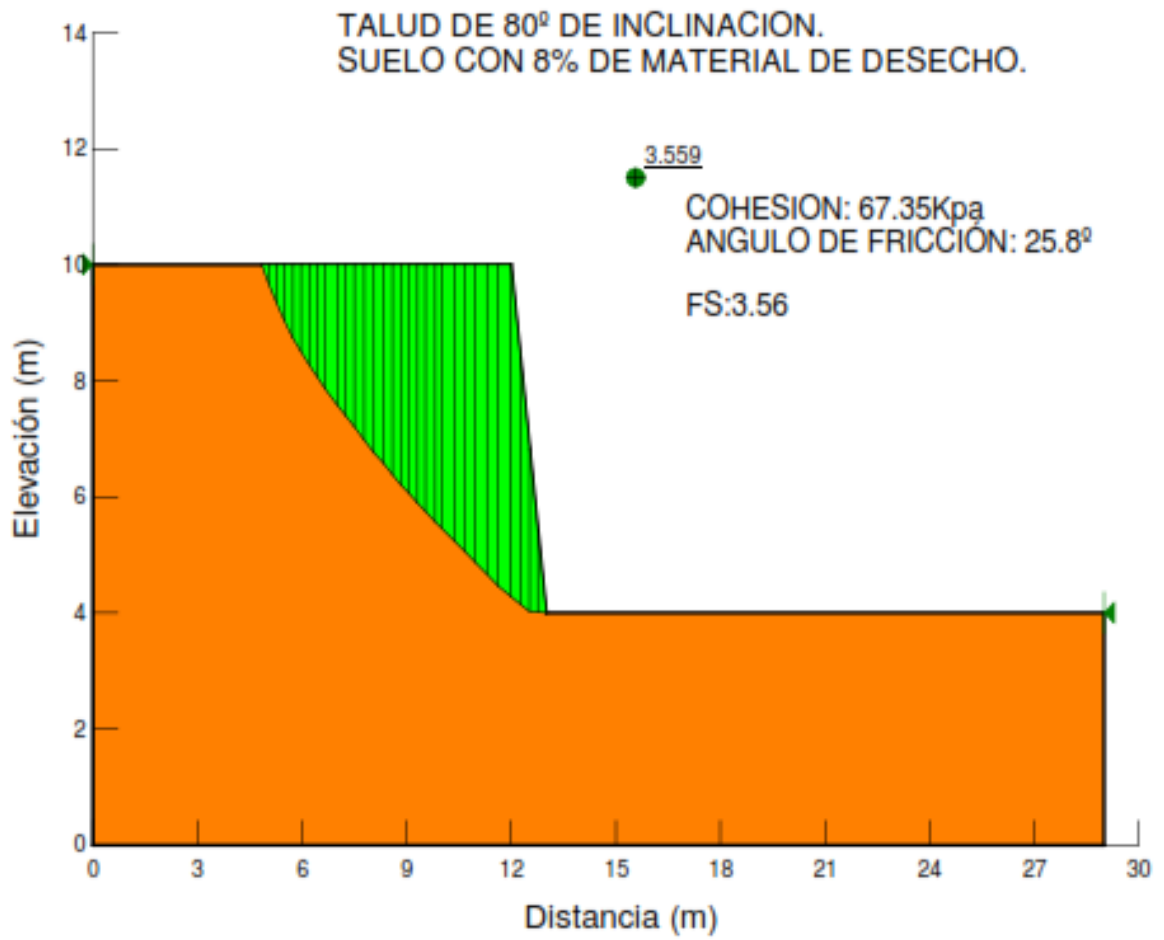
HUMEDAD	7.6	%
DENSIDAD HUMED	3076.8	Kg/m ³
DENSIDAD SECA	2860.0	Kg/m ³
ANGULO FRICCIÓN	21.5	grados
COHESIÓN	10958.1	Kg/m ²

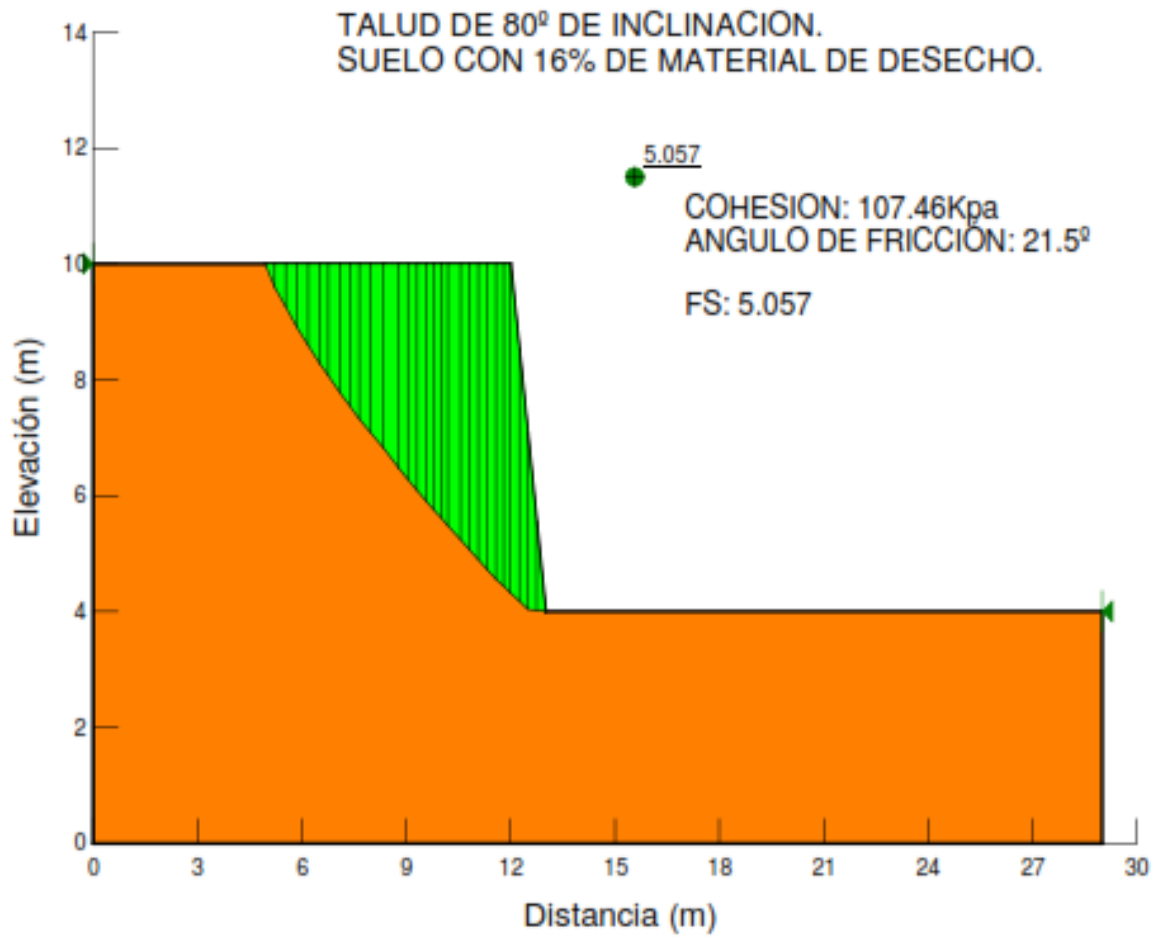
DIANA CORZO - CARLOS CELIS
ELABORO

EDUARDO CASTAÑEDA
REVISO

Anexo E. ANALISIS GEOSLOPE.







Anexo F. ANALISIS CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA.

CAPACIDAD DE CARGA ULTIMA - MUESTRA 0%

Datos Principales	Zapata de 3 x 3m
	D= 2m
	ym=1.75 Ton/m3
	ys=1.95 Ton/m3
	ys=a 1.5 de la superficie

Cohesion.	2.36 Kg/cm2
Phi	16.1°

D	2
B	3
L	3
Gamma fund	1.75
C	2.36
Phi (grados)	16.1
Phi (Rad)	0.28099801
Gamma q	1.95
q	3.1

ϕ	Nc	Nq	Ny(M)	Nq/Nc	$2\tan\Phi(1-\sin\Phi)^2$
0	5.14	1	0	0.195	0
5	6.49	1.6	0.1	0.242	0.146
10	8.34	2.5	0.4	0.296	0.241
15	10.97	3.9	1.1	0.359	0.294
20	14.83	6.4	2.9	0.432	0.315
25	20.71	10.7	6.8	0.515	0.311
26	22.25	11.9	8	0.533	0.308
30	30.13	18.4	15.7	0.611	0.289
32	35.47	23.2	22	0.653	0.276
34	42.14	29.4	31.1	0.699	0.262
36	50.55	37.8	44.4	0.747	0.247
38	61.31	48.9	64.1	0.798	0.231
40	75.25	64.2	93.7	0.853	0.214
45	133.73	134.9	262.7	1.009	0.172
50	266.5	319.1	873.9	1.197	0.13

Phi entre:	15	10.97	3.9	1.1	0.359	0.294
	20	14.83	6.4	2.9	0.432	0.315

ϕ	Nc	Nq	Ny(M)	Nq/Nc	$2\tan\Phi(1-\sin\Phi)^2$	
Interpolado:	16.1	11.8192	4.45	1.496	0.37506	0.29862

Factores

Forma	Kp	1.76745614
	Sc	1.35349123
	Sq=Sg	1.17674561
Profundidad	dc	1.17726094
	dq=dg	1.08863047

qult	67.148
------	--------

Nc	11.8192
Nq	4.45
Ng	1.496

CAPACIDAD DE CARGA ULTIMA - MUESTRA 8%

Datos Principales	Zapata de 3 x 3m
	D= 2m
	$\gamma_m=1.75$ Ton/m ³
	$\gamma_s=1.95$ Ton/m ³
	$\gamma_s=a$ 1.5 de la superficie

Cohesion.	6.7	kg/cm ²
Phi	25.8	°

D	2
B	3
L	3
Gamma fund	1.75
C	6.7
Phi (grados)	25.8
Phi (Rad)	0.450294947
Gamma q	1.95
q	3.1

\emptyset	Nc	Nq	N γ (M)	Nq/Nc	$2\tan\Phi(1-\sin\Phi)^2$
0	5.14	1	0	0.195	0
5	6.49	1.6	0.1	0.242	0.146
10	8.34	2.5	0.4	0.296	0.241
15	10.97	3.9	1.1	0.359	0.294
20	14.83	6.4	2.9	0.432	0.315
25	20.71	10.7	6.8	0.515	0.311
26	22.25	11.9	8	0.533	0.308
30	30.13	18.4	15.7	0.611	0.289
32	35.47	23.2	22	0.653	0.276
34	42.14	29.4	31.1	0.699	0.262
36	50.55	37.8	44.4	0.747	0.247
38	61.31	48.9	64.1	0.798	0.231
40	75.25	64.2	93.7	0.853	0.214
45	133.73	134.9	262.7	1.009	0.172
50	266.5	319.1	873.9	1.197	0.13

Phi entre:	25	20.71	10.7	6.8	0.515	0.311
	26	22.25	11.9	8	0.533	0.308

Interpolado:	\emptyset	Nc	Nq	N γ (M)	Nq/Nc	$2\tan\Phi(1-\sin\Phi)^2$
	25.8	21.942	11.66	7.76	0.5294	0.3086

Factores

Forma	Kp	2.54127148
	Sc	1.5082543
	Sq=Sg	1.25412715
Profundidad	dc	1.21255155
	dq=dg	1.10627577

qult	347.27	Ton
------	--------	-----

Nc	21.942
Nq	11.66
Ng	7.76

CAPACIDAD DE CARGA ULTIMA - MUESTRA 16%

Datos Principales	Zapata de 3 x 3m
	D= 2m
	$\gamma_m=1.75 \text{ Ton/m}^3$
	$\gamma_s=1.95 \text{ Ton/m}^3$
	$\gamma_s=a \text{ 1.5 de la superficie}$

Cohesion.	10.96 kg/cm ²
Phi	21.5°

D	2
B	3
L	3
Gamma fund	1.75
C	10.96
Phi (grados)	21.5
Phi (Rad)	0.375245789
Gamma q	1.95
q	3.1

ϕ	Nc	Nq	$N\gamma(M)$	Nq/Nc	$2\tan\Phi(1-\sin\Phi)^2$
0	5.14	1	0	0.195	0
5	6.49	1.6	0.1	0.242	0.146
10	8.34	2.5	0.4	0.296	0.241
15	10.97	3.9	1.1	0.359	0.294
20	14.83	6.4	2.9	0.432	0.315
25	20.71	10.7	6.8	0.515	0.311
26	22.25	11.9	8	0.533	0.308
30	30.13	18.4	15.7	0.611	0.289
32	35.47	23.2	22	0.653	0.276
34	42.14	29.4	31.1	0.699	0.262
36	50.55	37.8	44.4	0.747	0.247
38	61.31	48.9	64.1	0.798	0.231
40	75.25	64.2	93.7	0.853	0.214
45	133.73	134.9	262.7	1.009	0.172
50	266.5	319.1	873.9	1.197	0.13

Phi entre:	20	14.83	6.4	2.9	0.432	0.315
	25	20.71	10.7	6.8	0.515	0.311

Interpolado:	21.5	16.594	7.69	4.07	0.4569	0.3138
--------------	------	--------	------	------	--------	--------

Factores

	Kp	2.15707004
Forma	Sc	1.43141401
	Sq=Sg	1.215707
Profundidad	dc	1.19582623
	dq=dg	1.09791311

qult	357.390
------	---------

Nc	16.594
Nq	7.69
Ng	4.07