

CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA DEL SUELO DE LA ESCOMBRERA
DEL RELLENO RESIDUAL EL CARRASCO.

FERNEY LEOPOLDO GARCÍA NEIRA
DIEGO LEONARDO TAPIAS ACEVEDO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2020

CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA DEL SUELO DE LA ESCOMBRERA
DEL RELLENO RESIDUAL EL CARRASCO.

FERNEY LEOPOLDO GARCÍA NEIRA
DIEGO LEONARDO TAPIAS ACEVEDO

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Civil

DIRECTOR
HEBENLY CELIS LEGUIZAMO
Magister en Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2020

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	10
1. ANTECEDENTES	12
1.1 RELLENOS SANITARIOS	12
1.2 ESCOMBRERA	15
2. GENERALIDADES	17
2.1 RELLENO SANITARIO EL CARRASCO	17
2.1.1 Ubicación relleno sanitario el carrasco.....	17
2.1.2 Zona de estudio (escombrera)	18
2.1.3 Forma de relleno.....	18
2.1.4 Zona sin intervenir.	19
3. METODOLOGIA	20
3.1 TOMA DE MUESTRAS.....	20
4. RESULTADOS.....	23
4.1 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA.....	23
4.1.1 Suelo sin intervenir.	23
4.1.2 Suelo de relleno.	23
4.1.3 Composición Suelo de Relleno.....	24
4.2 LIMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO Y ÍNDICE DE PLASTICIDAD.....	25
4.2.1 Suelo sin intervenir.	25
4.2.2 Suelo de Relleno.....	25
4.3 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS	26
4.3.1 Suelo sin Intervenir	26

4.3.2 Suelo de Relleno.....	26
4.4 CORTE DIRECTO	26
4.4.1 Resultados Corte Directo Suelo sin Intervenir	28
4.4.2 Resultados Corte Directo Suelo de Relleno.....	29
4.5 COMPARATIVO RESULTADOS ENSAYOS	29
4.6 MODELADO GEOSTUDIO-SLOPE-W	30
4.6.1 Modelo con los valores obtenidos corte directo	30
4.6.2 Modelo para establecer valores correctos.	31
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34
BIBLIOGRAFIA.....	35
ANEXOS	37

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parámetros resistencia al corte según algunos autores a nivel mundial..	13
Tabla 2. Composición de los residuos sólidos municipales para diferentes lugares del mundo	14
Tabla 3. Ensayo triaxial realizado a RCD estático.	16
Tabla 4. Granulometría suelo sin intervenir	23
Tabla 5. Granulometría suelo de relleno	23
Tabla 6. Composición suelo de relleno	24
Tabla 7. LL, LP y IP Suelo sin intervenir	25
Tabla 8. LL, LP y IP Suelo de Relleno	26
Tabla 9. Ensayos I.N.V.E-154 Suelo sin intervenir	28
Tabla 10. Ensayos I.N.V.E-154 Suelo de Relleno.....	29
Tabla 11. Resumen Ensayos	29
Tabla 12. Modelo Resultados Corte Directo	31
Tabla 13. Modelo Estabilidad Talud.....	31

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1. Parte alta de la escombrera	15
Imagen 2. Entrada a la escombrera.....	15
Imagen 3. Imagen satelital “el carrasco”	17
Imagen 4. Imagen satelital “escombrera”	18
Imagen 5. Talud de relleno	19
Imagen 6. Zona sin intervenir	19
Imagen 7. Anilla para ensayo de corte directo	20
Imagen 8. Extracción de anilla	21
Imagen 9. Coordenadas de toma de muestras del relleno	21
Imagen 10. Coordenadas toma de muestra suelo sin intervenir	22
Imagen 10. Curva Granulométrica del suelo de relleno y suelo sin intervenir	24
Imagen 11. Maquina de corte directo.....	27
Imagen 12. Muestra de suelo relleno finalizado el ensayo.	27
Imagen 13. Muestra de suelo natural, finalizado el ensayo	28
Imagen 14. Ensayo corte directo suelo sin intervenir.....	28
Imagen 14. Ensayo corte directo suelo sin intervenir.....	29
Imagen 15. Perfil terreno Escombrera	30
Imagen 16. Modelo Inicial 03	31
Imagen 17. Modelo 01	32
Imagen 18. Modelo 02	32
Imagen 19. Modelo 04	33

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Ensayos Granulometría.....	37
Anexo B. Ensayos I.N.V.E-123 Y I.N.V.E-124 Limites.....	39
Anexo C. Ensayos corte directo.....	40

RESUMEN

TITULO: CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA DEL SUELO DE LA ESCOMBRERA DEL RELLENO RESIDUAL EL CARRASCO*

AUTORES: FERNEY LEOPOLDO GARCÍA NEIRA, DIEGO LEONARDO TAPIAS ACEVEDO**

PALABRAS CLAVE: Granulometría, Índice de plasticidad, Capacidad Portante, Relleno Sanitario, Geostudio-SlopeW.

DESCRIPCIÓN:

En el campo de la ingeniería civil existen diversas áreas de aplicación, como lo es, los estudios geotécnicos, para ello es importante contar con la disposición de los laboratorios, dedicados al estudio y análisis de muestras, estos ensayos, aunque son precisos se deben corroborar con otros estudios. Por esta razón, es importante verificar dichos resultados con ensayos o modelos no destructivos que nos permitan compararlos.

Esta investigación se realizó para obtener información del suelo en la zona conocida como “La Escombrera” ubicada en el relleno sanitario del área metropolitana de Bucaramanga “El Carrasco”, Se tomaron muestras en el sitio para posteriormente realizar ensayos de laboratorio como, granulometría, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, clasificación del suelo y corte directo. Adicionalmente se realizó la modelación del talud por medio del software GeoStudio-SlopeW, el cual nos permitió determinar un rango de valores para la cohesión y el ángulo de fricción a partir de sus características y topografía.

Estos ensayos y modelación se realizaron como resultados preliminares para determinar el aprovechamiento de esta zona en un proyecto de energía fotovoltaica, abriendo la puerta para futuras investigaciones sobre el comportamiento del suelo, respecto a su capacidad portante, sus asentamientos y sus deformaciones. Este proyecto deja en evidencia como los ensayos tradicionales de laboratorio complementados con el software de modelado podemos realizar una caracterización del suelo.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil Director: Hebenly Celis Leguizamo. Magister en Ingeniería Civil.

ABSTRACT

TITLE: PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF THE SOIL OF THE EL CARRASCO RESIDUAL FILL RUBBER*

AUTHORS: FERNEY LEOPOLDO GARCÍA NEIRA, DIEGO LEONARDO TAPIAS ACEVEDO**

KEYWORDS: Granulometry, plasticity index, load capacity, sanitary landfill, GeoStudio-SlopeW.

DESCRIPTION:

In the field of civil engineering there are various areas of application, such as geotechnical studies, for this it is important to have the provision of laboratories, dedicated to the study and analysis of samples, these tests, although they are accurate, must be corroborated with other studies. For this reason, it is important to verify these results with non-destructive tests or models that allow us to compare them.

This investigation was carried out to obtain soil information in the area known as "La Escombrera" located in the sanitary landfill of the Bucaramanga metropolitan area "El Carrasco". Samples will be taken at the site for laboratory tests such as granulometry, liquid limit, liquid plastic, plasticity index, soil classification and direct cut. In addition, the GeoStudio-SlopeW software level modeling was performed, which determined the range of values for cohesion and the angle of friction based on its characteristics and topography.

These tests and modeling are carried out as preliminary results to determine the use of this area in a photovoltaic energy project, opening the door for future research on the behavior of the soil, regarding its bearing capacity, its settlements and its deformations. This project shows how traditional laboratory tests complemented with modeling software can carry out a characterization of the soil.

* Trabajo de Grado

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Civil Engineering Director: Hebenly Celis Leguizamo. Master in Civil Engineering.

INTRODUCCIÓN

Los rellenos sanitarios son una parte importante en la infraestructura de una ciudad ya que se encargan del manejo de los residuos sólidos, esta alternativa de disposición final se convierte en una forma eficaz y segura de tratamiento siempre y cuando su construcción y mantenimiento se hayan llevado a cabo de manera correcta. Sin embargo, uno de los aspectos más notables al hablar de rellenos sanitarios es la utilización de extensas áreas de tierra que además deben estar aisladas de los núcleos urbanos debido a las afectaciones que pueden generar a la comunidad de su entorno, como los malos olores, la contaminación de acuíferos, etc. Por lo tanto, cuando el sitio de disposición final cumple su ciclo de vida útil, es importante pensar en el aprovechamiento de estas extensas zonas de tierra.

Por esta razón, se evidencia la tendencia internacional de aprovechar estas áreas clausuradas y reincorporar estos suelos para su aprovechamiento en el desarrollo de proyectos de energía a partir de fuentes renovables.

Teniendo en cuenta que en Bucaramanga el relleno sanitario “El Carrasco”, actualmente está en proceso de clausura¹, se propone evaluar su viabilidad para el beneficio en la instalación de un parque solar fotovoltaico, aprovechando la privilegiada ubicación geográfica de Bucaramanga en cuanto a este recurso renovable, para lo cual es indispensable realizar la caracterización geotécnica de los potenciales sitios. Para la caracterización geotécnica preliminar se determina realizar en la escombrera (sitio de depósito de residuos provenientes de construcción y afines) ensayos de laboratorio en algunas zonas del relleno próximas a su clausura. Se seleccionaron este tipo de ensayos porque representan una alternativa eficiente para caracterizar una zona, de esta forma se pueden

¹ SOTO, María; OCAMPO, Víctor y BUENO, Liliana. Diagnóstico de los suelos restaurados del relleno sanitario "La Glorita". *En: Scientia et Technica*. 2016. No. 21. p. 9.

obtener una cantidad aceptable de información geotécnica.

Adicionalmente se realizó el modelado del talud de relleno por medio del software GeoStudio-SlopeW con el cual se determinó el factor de seguridad a partir de la cohesión y el ángulo de fricción.

1. ANTECEDENTES

Para la elaboración de este proyecto fue necesario realizar una revisión bibliográfica detallada sobre los diversos valores de cohesión y ángulo interno de rozamiento determinados específicamente para residuos sólidos urbanos y escombreras en diferentes ciudades del mundo.

1.1 RELLENOS SANITARIOS

Los rellenos sanitarios son los lugares destinados para la disposición final de los residuos sólidos urbanos, los cuales se originan a raíz de la composición de desechos heterogéneos generados por el hombre².

Las características físicas más importantes y que se deben tener en cuenta para el estudio de los mismos son el peso específico, contenido de humedad, tamaño de partícula y distribución del tamaño, porosidad y parámetros de Resistencia al corte de los residuos compactados³.

En el 2013, Moreno, elaboro una metodología de diseño de estabilidad de taludes para rellenos sanitarios de residuos sólidos urbanos, como modalidad de trabajo de grado para la Universidad del Bío-Bío, de Chile, de la que concluyo los parámetros resistentes al corte, basándose en distintos autores a nivel mundial, en dichos parámetros relaciono una gran variedad de valores con respecto al ángulo de fricción y de cohesión, los cuales están en función de los resultados de las pruebas, como los son la naturaleza inherente heterogénea de los residuos, la edad de las

² Ibid., p. 9.

³ TORRADO, Luz y RONDÓN, José. Diseño de vertederos y rellenos sanitarios [en línea]. [Consulta: 15 agosto 2020]. Disponible en: <https://ingeassas.com/docencia/#1535685778712-2db8dff6-bf73>

muestras, el grado de descomposición, la densidad, el procesamiento, entre otras⁴.

De acuerdo a la tabla 1 se observa una amplia variación de valores que se pueden obtener, para el caso del ángulo de fricción los valores oscilan entre 20° y 53°, mientras que la cohesión van entre 0 y 6,4 ton/m², esta variedad se debe a un gran número de factores que influyen en los resultados de las pruebas, incluyendo la naturaleza inherente heterogénea de los residuos, la edad de las muestras, el grado de descomposición, composición, el tamaño de las muestras, la densidad, el procesamiento, método y condiciones de la prueba, etc.

Tabla 1. Parámetros resistencia al corte según algunos autores a nivel mundial

Fuente	c (T/m ²)	φ (°)	Ensayo	Observaciones	Lugar
Saarela, 1987	6.7	20	Ensayo Triaxial	Citado por Botero (1999)	Relleno ciudad de Helsinki, Finlandia
Landva y Clark, 1990	1,6-2,3	24-39	Corte directo	σ _n = 480 kPa, caja de sección 434*287mm,	Vertedero de Edmonton, Calgary, Mississauga, Waterloo. Canadá
Siegel et al., 1990	0,0	39-53	Corte directo	Caja de sección circular (d=130 mm, h= 76 a 102 mm)	Vertedero de Monterey Par, California
Benvenuto & Cunha, 1991	1,35	22	Back analysis	Deslizamiento por ineficiente sistema de extracción de lixiviado y biogás	Vertedero Bandeirante, Sao Paulo, Brasil
Gabr y Valero, 1995	0-2,75	20,5-39	Corte directo y compresión Triaxial	Residuos con un alto grado de degradación (15-30 años de deposición)	Vertedero de Pioneer Crossing, Pensilvania
Withiam et al., 1995	1,0	30	Corte directo in situ	Muestras ensayadas de 1,5x1,5x1,5 m	Vertedero de Dekorte Park, New Jersey, EEUU.
Kavasanjian, 1999	4,3	31	Corte directo	Caja de corte cilíndrica (d=46 cm), 1,9 % deformación de corte	Relleno en California
Caicedo et al., 2002	2,6	24	Corte directo	Deslizamiento vertedero Doña Juana, equipo de corte 300x300x200 mm	Vertedero Doña Juana, Bogotá, Colombia

⁴ MORENO, Luis. Metodología de diseño de estabilidad de taludes para rellenos sanitarios de residuos sólidos urbanos. Tesis pregrado. Chile: Universidad del Bío-Bío. Facultad de Ingeniería, 2013.

Fuente	c (T/m ²)	φ (°)	Ensayo	Observaciones	Lugar
Nascimento, 2007	0,46- 2,58	27- 35	Ensayo Triaxial	CD, equipo de grandes dimensiones (d=50 cm y h=100 cm), Corte directo	Vertedero Metropolitano Centro en Salvador
Reddy et al., 2008	3,1-6,4	26- 30	Corte directo	drenado, con diferentes contenidos de humedad	RS de Orchard e Illinois, EEUU.

Fuente: MORENO, Luis. Metodología de diseño de estabilidad de taludes para rellenos sanitarios de residuos sólidos urbanos. Tesis pregrado. Chile: Universidad del Bío-Bío. Facultad de Ingeniería, 2013.

Estudios más recientes como lo hizo en el año 2016, Emilia Medina, mediante la investigación de los problemas geotécnicos en los rellenos sanitarios, en Argentina, permitió determinar la composición de los residuos sólidos municipales para diferentes lugares del mundo, basados en la bibliografía de diferentes autores, concluyendo que los residuos sólidos dispuestos en los rellenos sanitarios tienen características totalmente heterogéneas⁵.

Tabla 2. Composición de los residuos sólidos municipales para diferentes lugares del mundo (tabla modificada de publicación de González, 2010)

Relleno sanitario	Materia orgánica	Papel	Plástico/ caucho	Textil	Madera/ cuero	Metal	Vidrio	Otros
	%	%	%	%	%	%	%	%
Sao Paulo (Brasil)	55	2	19	3	4	2	2	13
Bangkok (Tailandia)	44	25		3	7	1	1	19
Bogotá (Colombia)	49,53	13,61	20,46	3,56	3,19	3,35	4,22	2,08
Medellín (Colombia)	59,48	9,85	11,73	3,22	-	1,31	2,65	11,76
Pekín (China)	45	5	1	-	1	1	1	46
Nairobi (Kenia)	74	12	5	-	-	3	4	2
Estambul (Turquía)	61	10	3	3	6	2	1	14
Atenas (Grecia)	59	19	7	-	4	4	2	5
Cochabamba (Bolivia)	71	2	3	-	1	1	1	21
Varsovia (Polonia)	32,6	22,2	9,7	4,5	-	4,9	11,9	14,2
Japón	22,2	31,1	15,5	-	-	6,4	13,8	11
CABA 20081	43,23	14,55	10,5	3,95	2,61	1,18	5,5	18,48

Fuente: MEDINA, María Emilia. Problemas geotécnicos en los rellenos sanitarios. Tesis de especialización ingeniería ambiental. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional. Facultad regional Concordia, 2016.

⁵ MEDINA, María Emilia. Problemas geotécnicos en los rellenos sanitarios. Tesis de especialización ingeniería ambiental. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional. Facultad regional Concordia, 2016.

1.2 ESCOMBRERA

La escombrera es el sitio donde se depositan materiales que resultan de la construcción de edificaciones y otras obras civiles, se puede decir que un 50% de escombros es concreto, cemento y tierra, mientras que un 30% hace referencia a madera y el restante a asbesto y partes eléctricas. (Ver Imagen 1 e Imagen 2)⁶.

Imagen 1. Parte alta de la escombrera



Imagen 2. Entrada a la escombrera



Por otra parte en la ciudad de Ibagué, Carolina Bolívar y Liliana Coronado, determinaron los parámetros de resistencia de RCD (Residuos de construcción y demolición) para el aprovechamiento en obras civiles, basados e la granulometrías

⁶ CASTRO, Carlos Iván y PÉREZ COVO, José Gregorio. Análisis de la generación y disposición de escombros provenientes del sector de la construcción en Sincelejo. Tesis de arquitectura. Sincelejo: Corporación Universitaria del Caribe. Facultad de ciencias básicas, ingeniería y arquitectura, 2017.

variables provenientes de procesos mineros o diversos procesos industriales o urbanos; concluyendo los parámetros de resistencia para este tipo de material y sus posibles formas de reutilización (bases granulares, conformación de terraplenes, mejoramiento de taludes entre otros), ya que obtuvieron en el estudio un ángulo de fricción que varía de 32° a 38°, facilitando de esta manera el diseño de pavimento debido a que sus parámetros de resistencia se relacionan con los suelos usados frecuentemente en dichas estructuras. Al igual, se sugiere la utilización del material en filtros de presas de tierra, ya que se obtuvo una cohesión aproximada de 1.91 kPa, lo que indica un comportamiento similar al de un material granular y por ende, una buena permeabilidad⁷.

Tabla 3. Ensayo triaxial realizado a RCD estático.

FUENTE	ENSAYOS REALIZADOS A RCD	FI °	C [Kpa]
Universidad de Ibagué 2018	Ensayos triaxiales estáticos realizados a RCD para aprovechamiento en obras civiles	32-38	1.91

Fuente: BOLÍVAR, Angie Carolina y CORONADO, Danny Liliana. 2018.

⁷ BOLÍVAR, Angie Carolina y CORONADO, Danny Liliana. Determinación de los parámetros de resistencia de RCD para el aprovechamiento en obras civiles. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil. Ibagué: Universidad de Ibagué. Facultad de Ingeniería civil, 2018.

2. GENERALIDADES

2.1 RELLENO SANITARIO EL CARRASCO

La elección del carrasco como área de disposición de residuos de la región, viene de un convenio suscrito en 1977, entre el municipio de Bucaramanga, empresas públicas y una firma consultora canadiense que localizo la zona como apta para realizar este proyecto. En 1978 comenzó a funcionar, resaltando que en esta época no existía ninguna norma técnica para la disposición de residuos sólidos. En 1985 se clausuró esta zona de botadero a cielo abierto y se da inicio a obras en la zona 1 denominada cárcava 1, buscando una nueva forma de disposición de los residuos sólidos⁸.

2.1.1 Ubicación relleno sanitario el carrasco. El relleno sanitario el carrasco está ubicado en la parte sur – occidental de la ciudad de Bucaramanga, limitando con el Barrio Porvenir hacia el oriente, la zona de acceso es en el km 6 vía Girón Bucaramanga. (Ver Imagen 3).

Imagen 3. Imagen satelital “el carrasco”



Fuente: Google Earth Pro

⁸ LLANO, Nataly. Relleno sanitario (Landfill), El Carrasco, Bucaramanga, Colombia. Environmental Justice Atlas [en línea]. 2014. [Consulta: 15 agosto 2020]. Disponible en: <https://ejatlas.org/conflict/relleno-sanitario-landfill-el-carrasco-bucaramanga-colombia>.

2.1.2 Zona de estudio (escombrera). La zona de estudio es en la denominada escombrera ubicada en el costado nor-oriental del relleno sanitario, colinda con el muro divisorio y el sector más cercano es el barrio “Porvenir”. Esta zona es la encargada de recibir todos los residuos tipo escombros, los cuales se caracterizan generalmente por provenir de la industria de la construcción y no presentan la necesidad de realizar un control de gases y lixiviados estricto.

El proceso de compactado se realiza con material extraído del mismo terreno aledaño, generando un terreno estable, debido a las características de los residuos que son allí depositados. (Ver Imagen 4)

Imagen 4. Imagen satelital “escombrera”



Fuente: Google Earth Pro

2.1.3 Forma de relleno. La forma de disposición de los residuos consiste en el descargue de estos y posterior mente ser mezclados y compactados para reducir su volumen, formando el talud en esta zona, luego este será cubierto por más basura y material arcilloso, formando así un relleno con capas de residuos y suelo con espesor heterogéneos⁹. (ver Imagen 5)

⁹ CASTRO, Carlos Iván y PÉREZ COVO, José Gregorio. Análisis de la generación y disposición de escombros provenientes del sector de la construcción en Sincelejo. Tesis de arquitectura. Sincelejo: Corporación Universitaria del Caribe. Facultad de ciencias básicas, ingeniería y arquitectura. 2017.

Imagen 5. Talud de relleno



2.1.4 Zona sin intervenir. Las zonas sin intervenir son de donde proviene en material con el cual se compactan los residuos tipo escombros, en el caso de la escombrera del relleno sanitario el Carrasco se evidencia que presenta características de una arena-Arcillosa. (Ver Imagen 6)

Imagen 6. Zona sin intervenir



3. METODOLOGIA

3.1 TOMA DE MUESTRAS

Se realizó la visita al relleno sanitario el carrasco, específicamente al sector denominado “escombrera”. Posteriormente se llevó a cabo la toma de muestras tanto en el talud de relleno y en el terreno sin intervenir siguiendo las instrucciones planteadas en las normas de ensayo, I.N.V.E-104, I.N.V.E-106 Y I.N.V.E-109. Se tomaron muestras inalteradas en anillas para realizar corte directo y adicionalmente se extrajo una cantidad considerable de material alterado para posteriores ensayos en el laboratorio los cuales nos permitirían realizar el análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas¹⁰.

Imagen 7. Anilla para ensayo de corte directo



¹⁰ INVIAS. Toma de muestras inalteradas de suelo en superficie I.N.V. E – 104 [en línea]. 2016. Consulta: 10 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/documentos-tecnicos1>.

Imagen 8. Extracción de anilla



Se obtuvieron un total de 12 muestras (anillas) para corte directo las cuales se distribuyeron del siguiente modo, 2 puntos en el terreno de relleno y 2 puntos en el área sin intervenir, tomando 3 anillas por punto.

Con la ayuda de Google Earth Pro se registraron las coordenadas de los diferentes puntos donde se obtuvieron las muestras¹¹.

Coordenadas en el relleno. (ver imagen 9)

- 7.078635 , -73.138085
- 7.078600, -73.138121

Imagen 9. Coordenadas de toma de muestras del relleno



Fuente: Google Earth Pro

¹¹ Ibid., p. 1.

Coordenadas de suelo original. (ver imagen 10)

- 7.078027, -73.13.8070
- 7.078064, -73.137824

Imagen 10. Coordenadas toma de muestra suelo sin intervenir



Fuente: Google Earth Pro

4. RESULTADOS

4.1 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

4.1.1 Suelo sin intervenir. Con las muestras alteradas extraídas del suelo sin intervenir se procedió a realizar el ensayo de granulometría como lo indica la norma INV E123, con el cuál se obtuvieron los siguientes parámetros; Porcentaje de gravas; porcentaje de arenas; porcentaje de finos y curva granulométrica¹².

Tabla 4. Granulometría suelo sin intervenir

% GRAVAS	8.4
% ARENAS	41.4
% FINOS	50.1

4.1.2 Suelo de relleno. Con las muestras alteradas extraídas del suelo de relleno procedió a realizar el ensayo de granulometría como lo indica la norma INV E123, con el cuál se obtuvieron los siguientes parámetros; Coeficiente de uniformidad; coeficiente de curvatura; Porcentaje de gravas; porcentaje de arenas; porcentaje de finos; clasificación del suelo y curva granulométrica¹³.

Tabla 5. Granulometría suelo de relleno

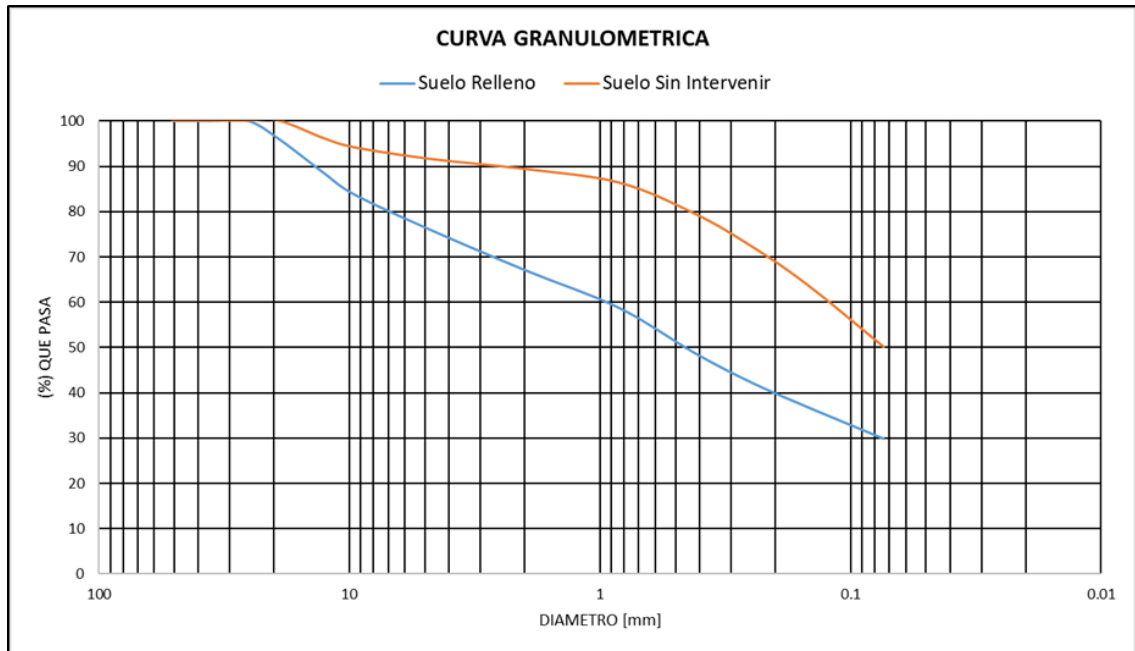
% GRAVAS	24.1
% ARENAS	46.1
% FINOS	29.8

Se realizó la gráfica de las curvas granulométricas de cada uno de los suelos en estudio, para determinar su variación del porcentaje que pasa en cada uno de los tamices con diferente diámetro.

¹² INVIAS. Análisis granulométrico de suelos por tamizado I.N.V. E – 123 – 07 [en línea]. 2016. Consulta: 10 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/documentos-tecnicos1>.

¹³ Ibid., p. 1.

Imagen 10. Curva Granulométrica del suelo de relleno y suelo sin intervenir



4.1.3 Composición Suelo de Relleno. Con la muestra alterada extraída del relleno se procedió a realizar una clasificación de los diferentes tipos de residuos que se depositan en el relleno.

En la tabla 6 se observan los porcentajes de residuos encontrados en una muestra de 1000 gramos del relleno.

Tabla 6. Composición suelo de relleno

MUETRA 1000 [grs]	grs	%
GRAVAS	146	14.6
ARENA	201	20.1
FINOS	165	16.5
CONCRETO	161	16.1
LADRILLO	152	15.2
MADERA	91	9.1

MUETRA 1000 [grs]	grs	%
PLASTICO	68	6.8
MATERIAL ORGANICO	16	1.6
VIDRIO	0	0

4.2 LIMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO Y ÍNDICE DE PLASTICIDAD.

4.2.1 Suelo sin intervenir. Con las muestras alteradas extraídas del suelo sin intervenir se procedió a realizar los ensayos como lo indica las normas I.N.V.E-123 (determinación de limite liquido de los suelos) y I.N.V.E-124 (limite plástico e índice de plasticidad de los suelos) (ver tabla 8), con los cuales se obtuvieron los siguientes parámetros; Limite líquido, Limite Plástico y Índice de Plasticidad¹⁴. (ver tabla 6)

Tabla 7. LL, LP y IP Suelo sin intervenir

LIMITE LIQUIDO	35.1	%
LIMITE PLASTICO	23.4	%
INDICE DE PLASTICIDAD	11.7	%

4.2.2 Suelo de Relleno. Con las muestras alteradas extraídas del suelo sin intervenir se procedió a realizar los ensayos como lo indica las normas I.N.V.E-123 (determinación de limite liquido de los suelos) y I.N.V.E-124 (limite plástico e índice de plasticidad de los suelos) (ver tabla 9), con los cuales se obtuvieron los siguientes parámetros; Limite líquido, Limite Plástico y Índice de Plasticidad¹⁵. (ver tabla 7)

¹⁴ INVIAS. Determinación del límite líquido de los suelos I.N.V. E – 125 [en línea]. 2016. [Consulta: 10 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/documentos-tecnicos1>.

¹⁵ INVIAS. Determinación del límite líquido de los suelos I.N.V. E – 125 [En línea]. 2016. [Consulta: 10 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/documentos-tecnicos1>.

Tabla 8. LL, LP y IP Suelo de Relleno

LIMITE LIQUIDO	28.7	%
LIMITE PLASTICO	19.9	%
INDICE DE PLASTICIDAD	8.8	%

4.3 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

Se realizó la clasificación por medio del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS (Unified Soil Classification System (USCS)) el cual es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Con la granulometría y los límites se pudieron clasificar los siguientes suelos.

4.3.1 Suelo sin Intervenir

CL ARCILLA INORGANICA DE BAJA PLASTICIDAD ARCILLA ARENOSA

4.3.2 Suelo de Relleno

SC ARENA ARCILLOSA MEZCLA DE ARENA Y ARCILLA
--

4.4 CORTE DIRECTO

En el laboratorio de la universidad se hicieron los ensayos de corte directo a las anillas tomadas en campo, tanto a las de suelo natural como a las de suelo de relleno, el procedimiento y desarrollo de los ensayos fueron basados en la norma INV 154. Se tomaban valores de peso inicial de la muestra para posteriormente con el peso final poder calcular su densidad, la muestra era situada en la caja de corte y posteriormente en la máquina, donde se colocaba a saturar por un tiempo de 2 horas, luego se le aplicaba el peso o fuerza normal en ella y se tomaban los datos

de su deformación vertical por un tiempo de 2 horas o hasta que se estabilizara dicha deformación. (ver imagen 11)

En seguida se comenzaba a fallar la muestra con una velocidad de 0,05 mm/s, tomando datos de su deformación vertical, esfuerzo y desplazamiento horizontal. Este procedimiento se continua hasta que el esfuerzo deja de aumentar y se vuelve constante, o empezara a disminuir¹⁶.

Imagen 11. Máquina de corte directo



Imagen 12. Muestra de suelo relleno finalizado el ensayo.



¹⁶ INVIAS. Ensayo de corte directo en condición consolidada drenada (CD) I.N.V. E – 154 [en línea]. 2016. [Consulta: 10 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/documentos-tecnicos1>.

Imagen 13. Muestra de suelo natural, finalizado el ensayo

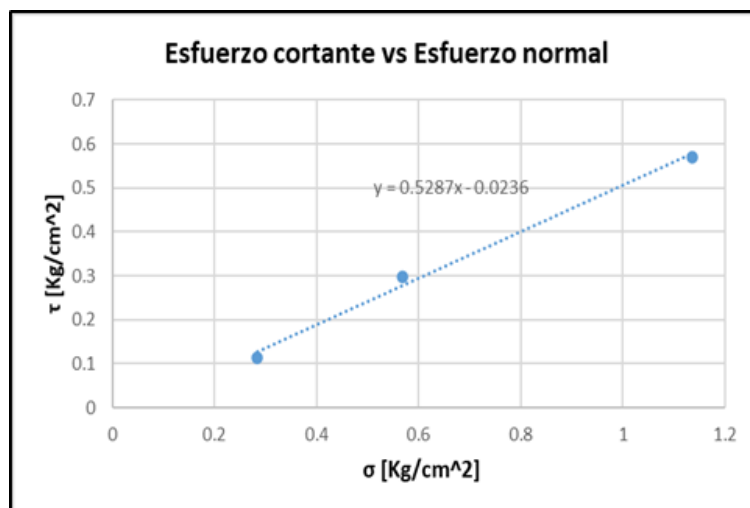


4.4.1 Resultados Corte Directo Suelo sin Intervenir

Tabla 9. Ensayos I.N.V.E-154 Suelo sin intervenir

	UNID	1	2	3	PROM.
W Inicial	%	7	5	9	7
ρ_m	gr/cm ³	1.76	1.82	1.83	1.80
ρ_d	gr/cm ³	1.64	1.72	1.68	1.68
W Final	%	23	22	19	21
C	kPa	2.36			
Fi	°	28			

Imagen 14. Ensayo corte directo suelo sin intervenir

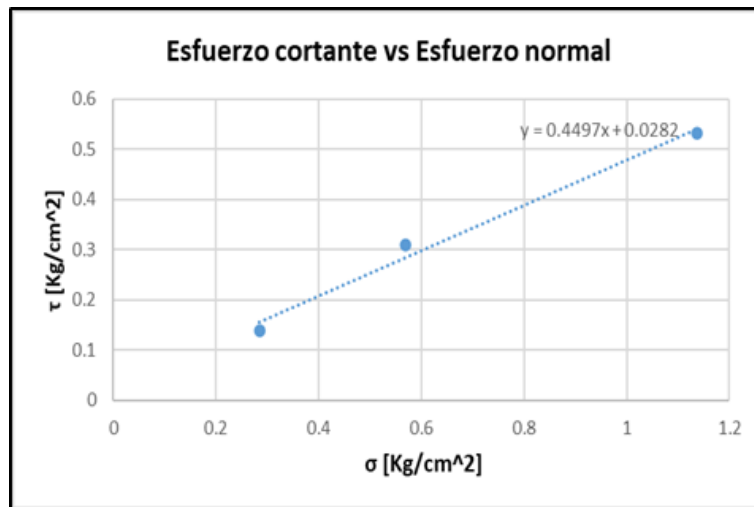


4.4.2 Resultados Corte Directo Suelo de Relleno

Tabla 10. Ensayos I.N.V.E-154 Suelo de Relleno

	UNID	1	2	3	PROM.
W Inicial	%	8	13	5	9
ρm	gr/cm ³	2.10	2.02	2.08	2.07
ρd	gr/cm ³	1.94	1.79	1.98	1.90
W Final	%	19	21	21	21
C	kPa	3			
FI	°	24			

Imagen 14. Ensayo corte directo suelo sin intervenir



4.5 COMPARATIVO RESULTADOS ENSAYOS

Con los valores obtenidos en los ensayos de corte directo, granulometría y límites de atterberg se realizó una tabla resumen, en la cual se puede evidenciar un comparativo entre el suelo de relleno y el suelo sin intervenir.

Tabla 11. Resumen Ensayos

	UNIDADES	SUELO RELLENO	SUELO NATURAL
GRAVAS	%	24,10	8,40
ARENAS	%	46,10	41,40
FINOS	%	29,80	50,10
LL	%	29	35
LP	%	19,9	23,4

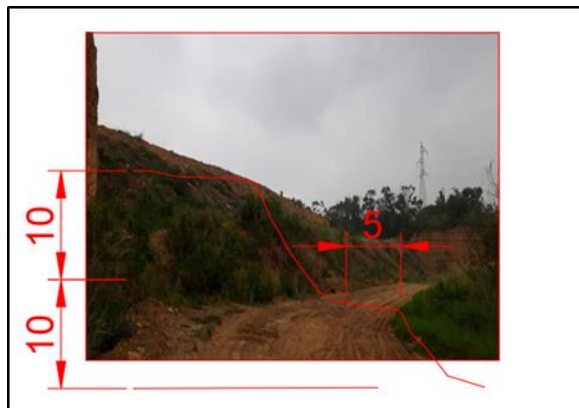
	UNIDADES	SUELO RELLENO	SUELO NATURAL
IP	%	9	12
C	kPa	3	2,36
FI	°	24	28
pd	gr/cm ³	1,90	1,68
CLASIFICACION		SC	CL

4.6 MODELADO GEOSTUDIO-SLOPE-W

Para el análisis del modelo geotécnico se utilizó el software para computador SLOPE/W, de GEO-SLOPE International Ltd, Calgary Alberta, Canadá. SLOPE/W es un producto de Software que utiliza la teoría de equilibrio límite para obtener los factores de seguridad al deslizamiento de los taludes.

El perfil del terreno se extrajo visualmente en campo, por lo cual, las dimensiones acá planteadas tienen un rango de variación. Para fines de esta investigación se determinó que la pendiente varía entre 40-60 grados dependiendo de la ubicación, el perfil se tomó como se muestra en la imagen (15)

Imagen 15. Perfil terreno Escombrera

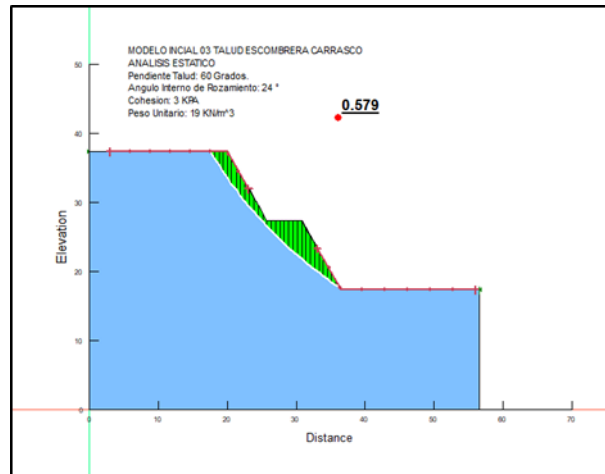


4.6.1 Modelo con los valores obtenidos corte directo. El modelado se inició con los valores obtenidos en el corte directo, con los cuales se verifica si el perfil del talud se consideraba estable.

Tabla 12. Modelo Resultados Corte Directo

Pendiente	C	Φ	F. S
[Grados]	[KPA]	°	
40	3	24	0.88
50	3	24	0.71
60	3	24	0.58

Imagen 16. Modelo Inicial 03



Fuente: Geoslope.

4.6.2 Modelo para establecer valores correctos. A continuación, se mostrará una tabla con las diferentes modelaciones realizadas para obtener un factor de seguridad cercano a 1.5.

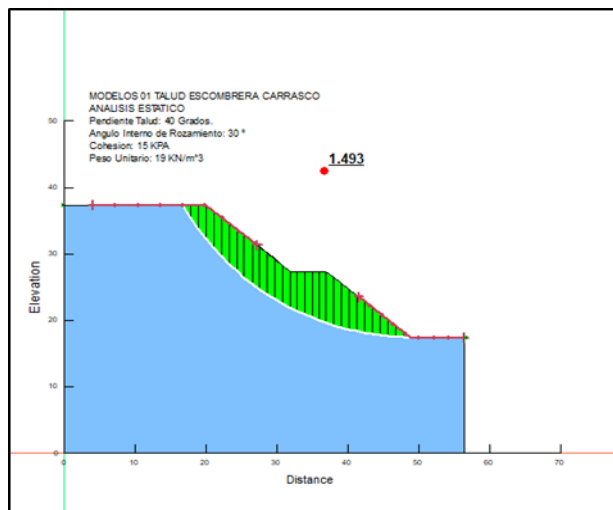
Tabla 13. Modelo Estabilidad Talud

Pendiente	C	Φ	F. S
[Grados]	[KPA]	°	
	15	30	1.5
40	15	35	1.73
	10	30	1.36
	10	35	1.6
	15	35	1.43
50	15	30	1.24
	10	35	1.3
	10	30	1.12
	15	30	1.06
60	15	35	1.21
	10	30	0.94
	10	35	1.08

De acuerdo a los resultados del programa, evidenciados en la tabla 13 el suelo tiene cohesión entre 10-15 kPa y ángulo interno de rozamiento entre 30-35 Grados.

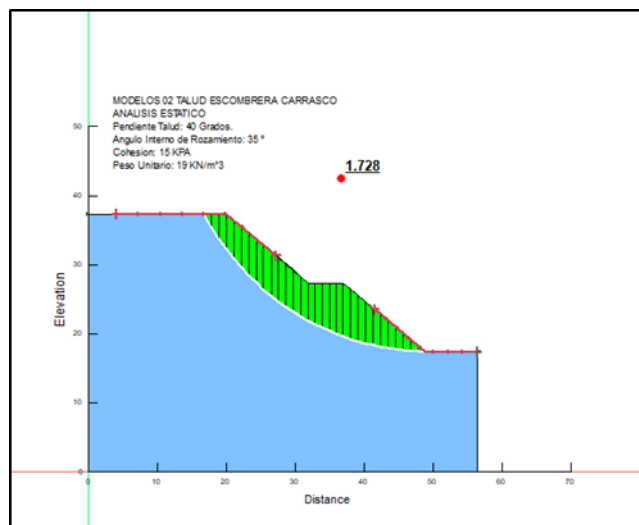
A continuación, se muestran algunos modelos con los cuales se hallaron los valores expuestos en la tabla 13.

Imagen 17. Modelo 01



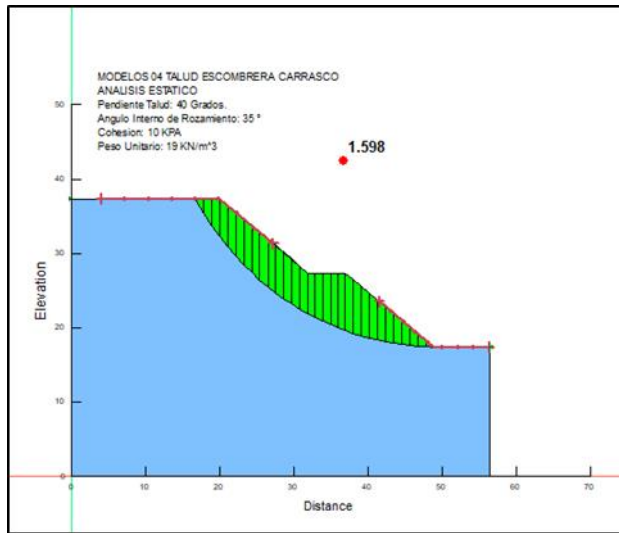
Fuente: Geoslope.

Imagen 18. Modelo 02



Fuente: Geoslope.

Imagen 19. Modelo 04



Fuente: Geoslope.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El relleno está conformado por suelos areno arcillosos, en los cuales no se evidencio la presencia de nivel freático.

Los resultados de nuestros ensayos de corte directo nos permiten evidenciar que los valores de ángulo interno de rozamiento y cohesión están un poco bajos, probablemente a causa de un error en la toma de muestras (el terreno se encontraba duro y seco, por lo cual hubo que golpear muy fuerte las anillas y en esta acción se pudo alterar la muestra de suelo).

Debido a que en el relleno se presentan partículas mayores al tamaño máximo recomendado por la norma INV-154, se recomienda realizar el corte directo en una caja más grande o realizar ensayos en campo.

De acuerdo a los modelos de estabilidad se pudo establecer que la cohesión y el ángulo interno de rozamiento para tener F.S apropiado deben estar entre 10-15 kPa y 30-35 grados respectivamente.

Como punto de comparación para el ángulo de fricción se presentan valores obtenidos de ensayos anteriores de MAS-W, en los cuales se determinó un rango entre 26-31 grados, el cual se encuentra cercano a los valores obtenidos en el presente análisis.

Debido a la coyuntura actual generada por la pandemia Sars-CoV-2 no se pudo tener acceso al laboratorio para culminar los ensayos de compresión triaxial y de consolidación, por lo cual se recomienda realizarlos posteriormente para complementar esta caracterización.

BIBLIOGRAFIA

BOLÍVAR, Angie Carolina y CORONADO, Danny Liliana. Determinación de los parámetros de resistencia de RCD para el aprovechamiento en obras civiles. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil. Ibagué: Universidad de Ibagué. Facultad de Ingeniería civil, 2018.

CASTRO, Carlos Iván y PÉREZ COVO, José Gregorio. Análisis de la generación y disposición de escombros provenientes del sector de la construcción en Sincelejo. Tesis de arquitectura. Sincelejo: Corporación Universitaria del Caribe. Facultad de ciencias básicas, ingeniería y arquitectura, 2017.

DUQUE ESCOBAR, Gonzalo y ESCOBAR POTES, Carlos Enrique. Origen formación y constitución del suelo, fisicoquímica de las arcillas [en línea]. [Consulta: 10 agosto 2020]. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/53252/85/introduccion.pdf>.

INVIAS. Análisis granulométrico de suelos por tamizado I.N.V. E – 123 – 07 [en línea]. 2016. Consulta: 10 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/documentos-tecnicos1>.

INVIAS. Determinación del límite líquido de los suelos I.N.V. E – 125 [en línea]. 2016. [Consulta: 10 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/documentos-tecnicos1>.

INVIAS. Ensayo de corte directo en condición consolidada drenada (CD) I.N.V. E – 154 [en línea]. 2016. [Consulta: 10 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/documentos-tecnicos1>.

INVIAS. Toma de muestras inalteradas de suelo en superficie I.N.V. E – 104 [en línea]. 2016. Consulta: 10 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/documentos-tecnicos1>.

LLANO, Nataly. Relleno sanitario (Landfill), El Carrasco, Bucaramanga, Colombia. Environmental Justice Atlas [en línea]. 2014. [Consulta: 15 agosto 2020]. Disponible en: <https://ejatlas.org/conflict/relleno-sanitario-landfill-el-carrasco-bucaramanga-colombia>.

MEDINA, María Emilia. Problemas geotécnicos en los rellenos sanitarios. Tesis de especialización ingeniería ambiental. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional. Facultad regional Concordia, 2016.

MORENO, Luis. Metodología de diseño de estabilidad de taludes para rellenos sanitarios de residuos sólidos urbanos. Tesis pregrado. Chile: Universidad del Bío-Bío. Facultad de Ingeniería, 2013.

SOTO, María; OCAMPO, Víctor y BUENO, Liliana. Diagnóstico de los suelos restaurados del relleno sanitario "La Glorita". Scientia et Technica. 2016. No. 21. p. 9.

TORRADO, Luz y RONDÓN, José. Diseño de vertederos y rellenos sanitarios [en línea]. [Consulta: 15 agosto 2020]. Disponible en: <https://ingeassas.com/documenta/#1535685778712-2db8dff6-bf73>

ANEXOS

Anexo A. Ensayos Granulometría

SUELO SIN INTERVENIR				
MALLA N°	Abertura	peso de suelo retenido	% Retenido parcial	% que pasa
****	mm	gr	%	%
2"	50.8	0	0.0	100
1 1/2"	36.1	0	0.0	100
1"	25.4	0	0.0	100
3/4"	19.05	0	0.0	100
1/2"	12.7	30.5	3.8	96.2
3/8"	9.52	16.5	2.1	94.1
N°4	4.75	20.3	2.5	91.6
10	2	17.7	2.2	89.4
20	0.84	24	3.0	86.4
40	0.42	54.6	6.8	79.5
60	0.25	57.1	7.1	72.4
100	0.149	68.4	8.6	63.8
200	0.074	109.3	13.7	50.1
pasa 200		400.4	50.1	0
SUMA		798.8	100	

Peso muestra	800	gr
Peso después de lavado	403.3	gr
	396.7	gr
% error	0.15%	
GRAVAS	8.4	%
ARENAS	41.4	%
FINOS	50.1	%

SUELO RELLENO				
MALLA N°	Abertura	peso de suelo retenido	% Retenido parcial	% que pasa
****	mm	gr	%	%
2"	50,8	0	0,0	100
1 1/2"	36,1	0	0,0	100
1"	25,4	0	0,0	100
3/4"	19,05	32,3	4,0	96,0
1/2"	12,7	58,9	7,4	88,6
3/8"	9,52	39	4,9	83,7
N°4	4,75	62	7,8	75,9
10	2	70,8	8,9	67,1
20	0,84	66,8	8,4	58,7
40	0,42	79,5	9,9	48,8
60	0,25	51,8	6,5	42,3
100	0,149	43,6	5,5	36,8
200	0,074	55,9	7,0	29,8
pasa 200	****	238,5	29,8	0,00
SUMA		799,1	100	

Peso muestra	800	gr
Peso después de lavado	564,8	gr
	235,2	gr
% error	0,11%	
GRAVAS	24.1	%
ARENAS	46.1	%
FINOS	29.8	%

Anexo B. Ensayos I.N.V.E-123 Y I.N.V.E-124 Limites

Suelo sin Intervenir

L.L

Capsula No	Numero de Golpes	Peso Capsula	Peso Capsula + Suelo Humedo	Peso Capsula + Suelo Seco	Peso del Agua	Peso Suelo Seco	Contenido de agua
		[gr]	[gr]	[gr]	[gr]	[gr]	%
6	45	6.9	28.8	23.6	5.2	16.7	31.1
12	38	7.3	28.6	23.2	5.4	15.9	34.0
14	26	7.2	29.2	23.5	5.7	16.3	35.0
20	13	6.9	30.5	24	6.5	17.1	38.0

L.P

Capsula No	Peso Capsula	Peso Capsula + Suelo Humedo	Peso Capsula + Suelo Seco	Peso del Agua	Peso Suelo Seco	Contenido de agua
	[gr]	[gr]	[gr]	[gr]	[gr]	%
23	7.1	23.5	20.4	3.1	13.3	23.3
28	7.4	24.7	21.4	3.3	14	23.6

Suelo Relleno

L.L

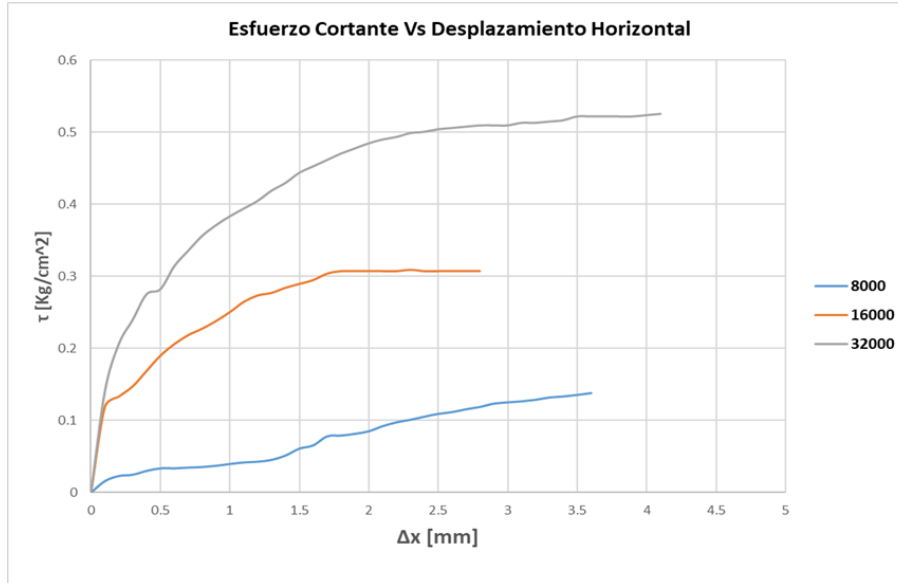
Capsula No	Numero de Golpes	Peso Capsula	Peso Capsula + Suelo Humedo	Peso Capsula + Suelo Seco	Peso del Agua	Peso Suelo Seco	Contenido de agua
		[gr]	[gr]	[gr]	[gr]	[gr]	%
2	45	6.8	27.9	23.5	4.4	16.7	26.3
5	37	6.8	29.4	24.6	4.8	17.8	27.0
22	27	6.7	34	28	6	21.3	28.2
29	16	7.7	31.7	25.9	5.8	18.2	31.9

L.P

Capsula No	Peso Capsula	Peso Capsula + Suelo Humedo	Peso Capsula + Suelo Seco	Peso del Agua	Peso Suelo Seco	Contenido de agua
	[gr]	[gr]	[gr]	[gr]	[gr]	%
12	7.6	24.9	22	2.9	14.4	20.1
13	7.1	23.6	20.9	2.7	13.8	19.6

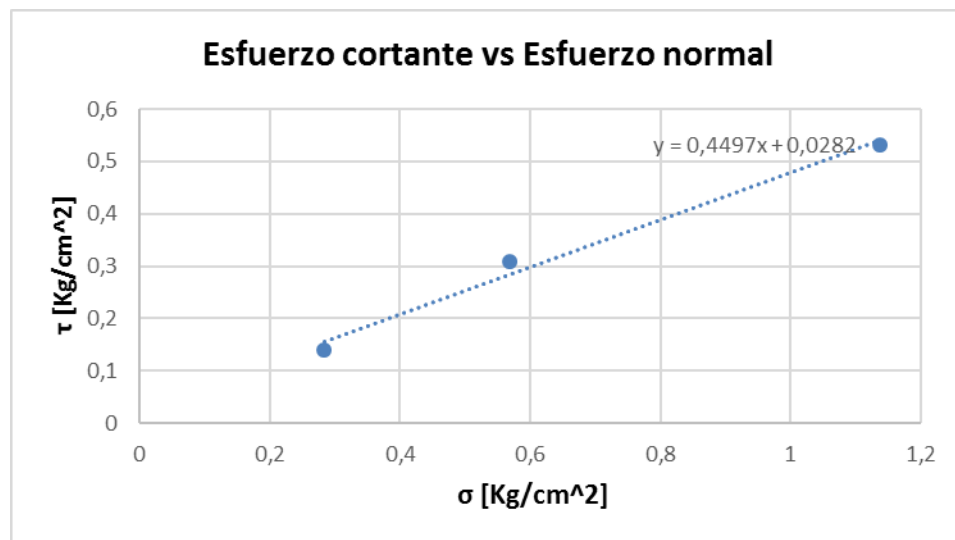
Anexo C. Ensayos corte directo

Suelo Relleno

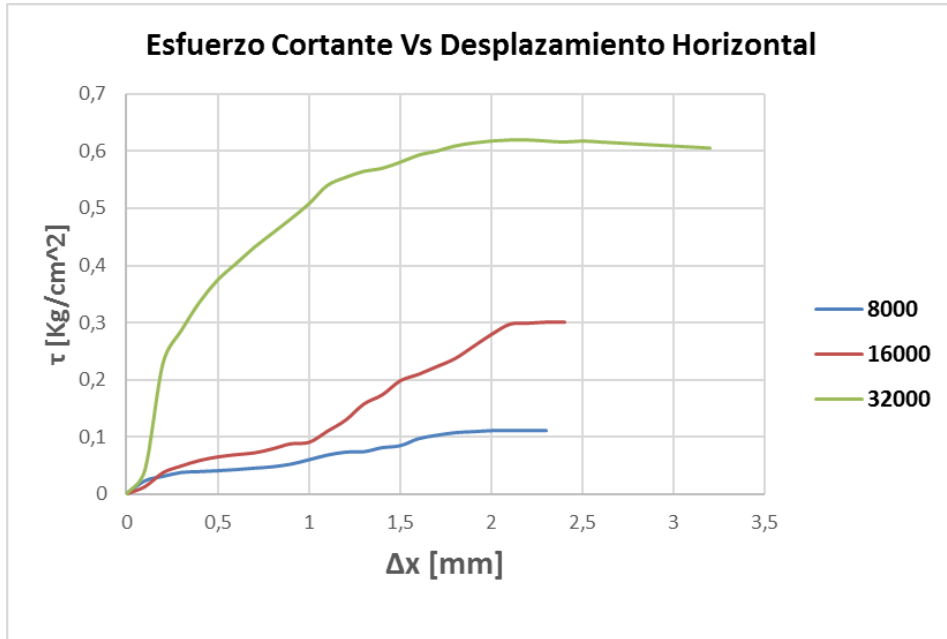


	Esfuerzo Normal [Kg/cm ²]	Esfuerzo Cortante [Kg/cm ²]
8	0.28419183	0.139254
16	0.56838366	0.30905861
32	1.13676732	0.53108348

C	0.0282	kg/cm²
Φ	24.2134495	°



Suelo sin Intervenir



	Esfuerzo Normal [Kg/cm ²]	Esfuerzo Cortante [Kg/cm ²]
8	0.28419183	0.11225577
16	0.56838366	0.29840142
32	1.13676732	0.57015986

C	0.0236	kg/cm²
----------	---------------	--------------------------

