



UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE

DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

TEMA:

**ESTUDIO A NIVEL DE PREFACTIBILIDAD, EXPLORATIVA Y
DIAGNÓSTICA EN LA REDUCCIÓN DE VOLÚMENES DE RELLENO
UTILIZANDO GEOTEXTIL EN CARRETERAS**

TUTORA:

MSC. JULY ROXANA HERRERA VALENCIA

AUTOR:

XAVIER ANDRÉS LOMBEIDA RIBADENEIRA

GUAYAQUIL

2021

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
FICHA DE REGISTRO DE TESIS	
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	
<p>Estudio a nivel de pre factibilidad, explorativa y diagnóstica en la reducción de volúmenes de Relleno utilizando Geotextil en carreteras.</p>	
AUTOR/ES:	REVISORES O TUTOR
Xavier Andrés Lombeida Ribadeneira	MSC. JULY ROXANA HERRERA VALENCIA
INSTITUCIÓN:	Grado obtenido:
Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	Ingeniero Civil
FACULTAD:	CARRERA:
Facultad de Ingeniería, Industria y construcción.	Ingeniería Civil.
FECHA DE PUBLICACIÓN:	N. DE PAGINAS:
2021	165
ÁREAS TEMÁTICAS: Ingeniería, industria y Construcción.	
PALABRAS CLAVE:	
Ingeniería vial, tejido, mecánica de los suelos, hundimiento del suelo.	
<p>RESUMEN: El presente proyecto de titulación consiste en la reducción de volúmenes de relleno utilizando geotextil en carreteras, considerando la pérdida de material en los rellenos realizados con material pétreo, el cual produce pérdidas económicas por existir demasiado desperdicio, se propone la utilización del geotextil para evitar pérdidas de materiales y reducir el volumen de relleno en cualquier obra de construcción, se puede utilizar el geotextil en obras hidráulicas, para la estabilización de suelo, carreteras y la construcción en forma general, reduciendo los volúmenes de rellenos que se presentan en cada obra.</p> <p>Se puede analizar a los geotextiles en múltiples obras, se han obtenido diversas experiencias, tanto de sus propiedades como de sus aplicaciones, que pueden cumplir las siguientes funciones: Se considera para separar materiales, al evitar o reducir la mezcla de materiales de distintas granulometrías, mediante la retención de material más fino e impidiendo la incrustación de las partículas de mayor tamaño en suelos blandos. Se puede usar para filtrado: al reducir o evitar la migración de finos por flujo. Su utilización</p>	

en el drenado: al permitir el libre flujo del agua y reducir la presión en el líquido.

Su utilización como reforzamiento, al soportar tensiones y redistribuir esfuerzos, además de estabilizar la masa de suelo, ayudándonos a reducir el volumen de relleno, objeto del estudio, cuando se construye una obra y los suelos son de baja capacidad portante, se pretende utilizar el geotextil como aporte a la estabilización del suelo y su reducción para el volumen de relleno, además ayuda a incrementar significativamente la capacidad portante del suelo.

Se plantean objetivos generales y específicos para analizar, determinar, evaluar los procesos en la ruta del desarrollo del proyecto de titulación. Con la información obtenida de diferentes autores que hacen referencia al proyecto de titulación se podrá apreciar y evaluar los métodos probados hasta la presente fecha del uso de geotextil para la reducción de volúmenes de relleno.

Se determinará la metodología a seguir, siendo de tipo investigativa y exploratoria, se considerará la población, muestra y análisis de resultados para su posterior comparación. En la propuesta del proyecto de titulación se evaluará el geotextil como material para la reducción de relleno, sus aportes, costos beneficios, con las respectivas conclusiones y recomendaciones.

N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTOR/ES: Xavier Andrés Lombeida Ribadeneira	Teléfono: (+593) 968688876	E-mail: xlombeidar@ulvr.edu.ec xaavieraandres.- 28@hotmail.com
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	MAE: Alex Bolívar Salvatierra Espinoza DECANO Teléfono: 042 2596500 Ext. 242 Decanato E-mail: asalvatierrae@ulvr.edu.ec	

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

29/10/2020

Turnitin

Visualizador de documentos

Turnitin Informe de Originalidad

Procesado el: 08-oct.-2020 10:09 -05

Identificador: 1409093486

Número de palabras: 35674

Entregado: 1

TESIS GEOTEXTIL Por Xavier Lombeida

Índice de similitud 3%	Similitud según fuente	
	Internet Sources:	2%
	Publicaciones:	1%
	Trabajos del estudiante:	1%


[excluir citas](#) [Excluir bibliografía](#) [excluir las coincidencias menores](#) modo:

ver informe en vista quickview (vista clásica) [imprimir](#) [actualizar](#) [descargar](#)

<1% match (publicaciones)

[Germaine. "Grain Size Analysis", Geotechnical Laboratory Measurements for Engineers, 05/20/2009](#) 

<1% match (publicaciones)

[Sara López-Osorio, Felipe Penagos-Tabares, Jenny Jovana Chaparro-Gutiérrez. "Prevalence of Toxocara spp. in dogs and cats in South America \(excluding Brazil\)", Elsevier BV, 2020](#) 

<1% match (publicaciones)

[Andrea Mara Henneberg-De León, Daisy Briceño. "Ensayos a mezclas de barro estabilizadas para el relleno y empaquetado de paredes de Bahareque", Ingeniería, Investigación y Tecnología, 2016](#) 

<1% match (trabajos de los estudiantes desde 15-oct.-2019)

[Submitted to Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac on 2019-10-15](#) 

<1% match (Internet desde 07-nov.-2019)

<http://repositorio.unap.edu.pe> 

<1% match (trabajos de los estudiantes desde 19-jun.-2018) <u>Submitted to Bolton Institute of Higher Education on 2018-06-19</u>	X
<1% match (Internet desde 27-may.-2014) http://repositorio.espe.edu.ec	X
<1% match (Internet desde 23-jul.-2006) http://construaprende.com	X
<1% match (trabajos de los estudiantes desde 18-may.-2020) <u>Submitted to Universidad de Nebrija on 2020-05-18</u>	X
<1% match (trabajos de los estudiantes desde 21-abr.-2020) <u>Submitted to Universidad Santo Tomas on 2020-04-21</u>	X
<1% match () http://manuals.dot.state.tx.us	X
<1% match (Internet desde 23-nov.-2006) http://www.universiaperu.com	X
<1% match (publicaciones)	

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El estudiante egresado, declaro bajo juramento, que la autoría del presente trabajo de investigación, “Estudio a nivel de pre factibilidad, explorativa y diagnóstica en la reducción de volúmenes de Relleno utilizando Geotextil en carreteras”, corresponde totalmente al suscrito y se responsabiliza con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedemos los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad LAICA VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor

Firma:



C.I. 1717421430

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutora del Proyecto de Investigación, “Estudio a nivel de prefactibilidad, explorativa y diagnóstica en la reducción de volúmenes de Relleno utilizando Geotextil en carreteras”, designado por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad LAICA VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: **“Estudio a nivel de prefactibilidad, explorativa y diagnóstica en la reducción de volúmenes de Relleno utilizando Geotextil en carreteras”**, presentado por el estudiante como requisito previo, para optar al Título de Ingeniero Civil, encontrándose apto para su sustentación.

Firma: __

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Julia Herrera Ojeda', is written over a light blue rectangular background.

C.I.: 0916201569

AGRADECIMIENTO

Extiendo mis profundos agradecimientos por ser parte de mi carrera como estudiante, quienes me brindaron su apoyo en distintos momentos para continuar hasta el final, a mis tíos y tías Delia, Susana, Flor, Bolívar, Alejandra y Jorge; además a mi primo Carlos Andrés por su apoyo y mentor en tan constante y brillante carrera de Ingeniería Civil.

De manera especial a mí querida y amada madre Andrea, y a mi hermana María José, quiero agradecerles por su incondicional y constante apoyo; han hechos mis problemas parte de ustedes, de los cuales hemos salido juntos.

A mí padre le doy las gracias por todo su apoyo, que con el tiempo se ha visto con los resultados.

DEDICATORIA

Por ser los pilares fundamentales para encaminar mi dedicación y esfuerzo, las personas que tomo como ejemplo para construir mis metas; mi proyecto es dedicado a ustedes, con el cariño y aprecio infinito que surgirá por siempre. Papá Hugo, Papá Bolívar, Mamá Rosita y Tío Carlos plasmo este logro con sus eternos nombres.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO.....	IV
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES ...	VI
CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR.....	VII
AGRADECIMIENTO.....	VIII
DEDICATORIA	IX
ÍNDICE GENERAL.....	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. Tema.....	3
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Formulación del problema.....	4
1.4. Sistematización del problema.....	4
1.5. Objetivos de la investigación.....	4
1.5.1. Objetivos generales.....	4
1.5.2. Objetivos específicos	4
1.6. Justificación.....	4
1.7. Delimitación del problema	5
1.8. Hipótesis.....	5
1.8.1. Variable independiente	5
1.8.2. Variable dependiente	6
1.9. Línea de Investigación Institucional/Facultad.....	6
CAPÍTULO II	7
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes.....	7
2.2. Marco referencial.....	7
2.3. Marco conceptual	9

2.3.1. Geosintéticos.....	9
2.3.2. Geotextiles	11
2.3.3. Geomembranas	16
2.3.4. Aplicación de los geosintéticos.....	24
2.3.5. Ventajas de la utilización de geotextil	26
2.3.6. Instalación de geotextil en pavimentos	27
2.3.7. Diseño de pavimento	28
2.3.8. Teoría de la capacidad de carga.	29
2.3.9. Teorías de la capacidad de carga.	32
2.3.10. Límite de atterberg.....	38
2.3.11. Descripción de los ensayos a realizar.	42
2.4. Definición de términos	53
2.5. Marco legal.....	55
2.5.1. Normas de los ensayos a estudiar	56
CAPÍTULO III	57
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	57
3.1. Metodología de estudio.	57
3.2. Tipo de investigación.	57
3.3. Enfoque.....	58
3.4. Técnicas de la investigación.....	59
3.5. Población	60
3.6. Validez y confiabilidad.....	60
3.6.1. Validez.....	60
3.6.2. Confiabilidad	61
3.7. Análisis de resultados.	61
CAPÍTULO IV	62
4. PROPUESTA	62
4.1. Desarrollo experimental	62
4.2. Investigación de campo.	62
4.3. Realización de los ensayos.	62

4.3.1. Ensayos material existente.....	65
4.3.2. Ensayo material de mejoramiento.....	69
4.3.3. Interpretación de los ensayos de Proctor y C.B.R.	71
4.3.4. Ensayos de compactación cono y arena.....	73
4.4. Análisis del proceso de los ensayos y trabajos en sitio.	75
4.5. Conclusiones.....	78
4.6. Recomendaciones.....	79
Bibliografía	80
ANEXOS.....	82
Anexo 1 Toma de muestras superficiales de suelo inalterado.....	82
Anexo 2 Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado	86
Anexo 3 Análisis granulométrico de Suelos por tamizado	94
Anexo 5 Determinación del límite líquido de los suelos.....	102
Anexo 6 Límite plástico e índice de plasticidad.....	110
Anexo 7 Relaciones de peso unitario-humedad en los suelos equipo modificado.....	114
Anexo 8 Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio)	128
Anexo 9 Peso unitario del suelo en el terreno método del cono de arena	139
Anexos 10 Ensayo C.B.R.	148

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Línea de Investigación Institucional/Facultad	6
Tabla 2 Peso de material escogido	89
Tabla 3 Tamaño máximo de las partículas.....	96
Tabla 4 Tiempos mínimos de reposo	120
Tabla 5 Cargas de acuerdo a la penetración.....	134
Tabla 6 Muestra de patrón.....	136
Tabla 7 Volúmenes mínimos de los orificios de ensayo y de las muestras	145
Tabla 8 Volumen de agua por gramo con base en la temperatura	145

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Geotextil de multifilamento.....	15
Figura 2. Geotextil de multifilamento.....	16
Figura 3. Geotextil de multifilamento.....	19
Figura 4. Esfuerzos cortantes máximos bajo una banda de longitud ∞	30
Figura 5. Análisis de la capacidad de carga considerando una superficie de falla circular	30
Figura 6. Solución de Prandtl.....	31
Figura 7. Equivalencia del suelo sobre el nivel de desplante de un cimiento sobre una sobrecarga	32
Figura 8. Mecanismo de falla de un cimiento continuo poco profundo	33
Figura 9. Factores de capacidad de carga	34
Figura 10. Formas típicas de fallas en arenas	35
Figura 11. Excavación.....	36
Figura 12. Suelo arcilloso	37
Figura 13. Cuchara de casa grande	38
Figura 14. Limite plástico	39
Figura 15. Carta de plasticidad	40
Figura 16. Curva granulométrica	41

Figura 17. Curva de densidad seca.....	45
Figura 18. Grafica del C.B.R.	48
Figura 19. Fórmula para el volumen de la muestra.....	50
Figura 20. Implementos para la densidad de campo	51
Figura 21. Porcentaje de compactación	53
Figura 22. Excavación.....	63
Figura 23. Preparación del Geotextil	63
Figura 24. Relleno con material de mejoramiento.....	63
Figura 25. Relleno sin geotextil	63
Figura 26. Relleno.....	63
Figura 27. Reconformación.....	63
Figura 28. Compactación.....	64
Figura 29. densidad con cono y arena.....	64
Figura 30. Preparación del material	64
Figura 31. Ensayo Proctor.....	64
Figura 32. Hinchamiento lectura.....	64
Figura 33. Hinchamiento Lectura	64
Figura 34. Ensayo de penetración C.B.R.	64
Figura 35. Ensayo de clasificación	65
Figura 36. Ensayo de clasificación	66
Figura 37. Ensayo Proctor.....	67
Figura 38. Ensayo C.B.R.	68
Figura 39. Ensayo clasificación	69
Figura 40. Ensayo Proctor.....	70
Figura 41. Ensayo C.B.R.	71
Figura 42. Ensayo de densidad de campo	73
Figura 43. Ensayo de densidad de campo	74
Figura 44. Cuadro de cálculo de volúmenes	76
Figura 45. Comportamiento de estructura con refuerzo y sin refuerzo	77

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de titulación consiste en la reducción de volúmenes de relleno utilizando geotextil en carreteras, considerando la pérdida de material en los rellenos realizados con material pétreo, el cual produce pérdidas económicas por existir demasiado desperdicio, se propone la utilización del geotextil para evitar pérdidas de materiales y reducir el volumen de relleno en cualquier obra de construcción, se puede utilizar el geotextil en obras hidráulicas, para la estabilización de suelo, carreteras y la construcción en forma general, reduciendo los volúmenes de rellenos que se presentan en cada obra.

Se puede analizar a los geotextiles en múltiples obras, se han obtenido diversas experiencias, tanto de sus propiedades como de sus aplicaciones, que pueden cumplir las siguientes funciones: Se considera para separar materiales, al evitar o reducir la mezcla de materiales de distintas granulometrías, mediante la retención de material más fino e impidiendo la incrustación de las partículas de mayor tamaño en suelos blandos. Se puede usar para filtrado: al reducir o evitar la migración de finos por flujo. Su utilización en el drenado: al permitir el libre flujo del agua y reducir la presión en el líquido.

Su utilización como reforzamiento, al soportar tensiones y redistribuir esfuerzos, además de estabilizar la masa de suelo, ayudándonos a reducir el volumen de relleno, objeto del estudio, cuando se construye una obra y los suelos son de baja capacidad portante, se pretende utilizar el geotextil como aporte a la estabilización del suelo y su reducción para el volumen de relleno, el geotextil ayuda a incrementar significativamente la capacidad portante del suelo.

Se plantean objetivos generales y específicos para analizar, determinar, evaluar los procesos que determinan la ruta del trabajo de titulación. Con la información obtenida de diferentes autores que hacen referencia al proyecto de titulación se podrá apreciar y evaluar los métodos probados hasta la presente fecha del uso de geotextil para la reducción de volúmenes de relleno.

Se determinará la metodología a seguir en este caso será investigativa y exploratoria, se considerará la población, muestra y los análisis de resultados para ser comparados. En la propuesta del proyecto de titulación se evaluará el geotextil como material para la reducción de relleno, sus aportes, costos beneficios, con las respectivas conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Tema

Estudio a nivel de prefactibilidad, explorativa y diagnóstica en la reducción de volúmenes de relleno utilizando geotextil en carreteras.

1.2. Planteamiento del problema

Se ha diseñado métodos ingeniosos cuando se presentan condiciones difíciles para rellenar. En los primeros siglos, se utilizaban diferentes formas de relleno desde ramas hasta árboles que formaban un soporte para los rellenos que hacían sobre suelos blandos

Con el mismo marco conceptual, en las dos últimas décadas se han desarrollado productos que reducen la pérdida de los materiales de relleno sobre suelos muy deformables, y se han fabricado textiles, mallas y redes con polímeros derivados del petróleo.

A principios de los años 70, con aplicación a carreteras, se crearon en Francia las primeras telas sintéticas para ingeniería (Chemie, 1987), principalmente con el fin de mejorar la capacidad del terreno, cuando el material de relleno se incrusta, además de contaminarse y perder sus propiedades, como ocurre en los suelos pantanosos o en los arcillosos blandos.

El presente estudio pretende evaluar la posibilidad del uso del geotextil para minimizar el desperdicio del material pétreo usado como relleno, en el presente estudio se plantea la utilización del geotextil para evitar el desperdicio del material de relleno y de esta forma reducir el volumen del mismo, considerando los costos beneficios que brindaría el geotextil al ser utilizado.

1.3. Formulación del problema

¿De qué manera influye la utilización de geotextil en la reducción del volumen de relleno?

1.4. Sistematización del problema

- ¿De qué manera se puede utilizar el geotextil para reducir el volumen de relleno?
- ¿Analizar la utilización del geotextil para reducir el volumen de relleno en una carretera?
- ¿Analizar las características del geotextil para su utilización?

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivos generales

Determinar la influencia de la utilización de geotextil en la reducción del volumen de relleno

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar las propiedades y aplicaciones del geotextil para ser utilizados en rellenos.
- Determinar que geotextil se utilizará para la reducción de volumen de relleno.
- Medir el porcentaje de reducción de volumen de relleno con el uso del geotextil.

1.6. Justificación

El estudio a nivel de pre factibilidad, explorativa y diagnóstica en la reducción de volúmenes de relleno utilizando geotextil en carreteras, se lo considera en la construcción de carreteras, al presentarse desperdicios de material cuando se rellena sobre suelos de baja capacidad portante y niveles freáticos elevado, por esta razón se busca en forma investigativa materiales que ayuden a mejorar los volúmenes de relleno

en obra, se crearon las primeras telas sintéticas, para desarrollar nuevos métodos de mejorar la capacidad portante del suelo y reducir al máximo los volúmenes de relleno, el estudio se analizará el geotextil principalmente con el fin de:

1. Reducir el volumen de relleno.
 2. Mejorar la capacidad portante del suelo.
 3. Disminuir el desperdicio de material, la contaminación del mismo.
- Se analizará las propiedades y aplicaciones del geotextil para ser utilizados en rellenos.
 - Se determinará que geotextil se utilizará para la reducción de volumen de relleno.
 - Se medirá el porcentaje de reducción de volumen de relleno con el uso del geotextil
Se evaluará el estudio del uso de geotextil para la reducción de volumen de relleno.

1.7. Delimitación del problema

Área: Ingeniería civil

Campo: Educación superior. Tercer nivel de grado

Tema: Estudio a nivel de prefactibilidad, explorativa y diagnóstica en la reducción de volúmenes de relleno utilizando geotextil en carreteras.

Delimitación espacial: Guayaquil-Ecuador

Delimitación temporal: 6 meses (cabe recalcar que hubo una paralización temporal debido a la pandemia de la COVID-19)

1.8. Hipótesis

La utilización de geotextil influirá en la reducción del volumen de relleno.

1.8.1. Variable independiente

Utilización de geotextil

1.8.2. Variable dependiente

Volumen de relleno.

1.9. Línea de Investigación Institucional/Facultad.

Tabla 1

Línea de Investigación Institucional/Facultad

Dominio	Línea de investigación institucional	Sub línea
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables	Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción	Materiales de construcción

Fuente: (ULVR, 2020)

Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

El Instituto de Ingeniería de la UNAM, realizó ensayos con diversas telas nacionales con objeto de conocer sus propiedades y en 1973, en la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos, se construyeron dos terraplenes en el Lago de Texcoco, uno como testigo y otro con refuerzo en la cimentación, para probar las bondades de la tecnología en desarrollo (Murillo, 2017).

En esta primera experiencia se utilizó un geotextil 100% de poliéster, específicamente fabricado en México para esta finalidad. Hoy, el uso de los geotextiles se ha diversificado y se han encontrado variadas aplicaciones; además de aprovecharse para caminos, se emplean de manera importante en las obras hidráulicas, la estabilización de taludes y la construcción en general (Murillo, 2017).

Con las pruebas realizadas a los geotextiles en múltiples obras y lugares en todo el mundo, se han obtenido diversas experiencias, tanto de sus propiedades como de sus aplicaciones (Murillo, 2017).

2.2. Marco referencial

En este capítulo se ha creado un marco de referencia con trabajos de autores en los temas de interés para este, que forma parte del conocimiento técnico de información Las fuentes de consulta de los proyectos de tesis que hemos empleado nos han ayudado para determinar conceptos técnicos y metodologías, estas recopilaciones la obtuvimos por medios de la herramienta informática del internet.

Según Torres (2017) en la tesis Evaluación de la condición actual del pavimento flexible de la av. Calmell del solar e incidencia del geotextil no tejido en su rehabilitación como alternativa de solución – Huancayo 2016, La presente investigación, debe dar respuesta a la problemática ¿Cómo incide el uso del geotextil no tejido en la

rehabilitación de la Av. Calmell del Solar según evaluación de la condición actual del pavimento flexible – Huancayo 2016?, para ello se propone la: “Evaluación de la condición actual del Pavimento Flexible de la Av. Calmell del Solar e incidencia del geotextil no Tejido en su Rehabilitación como Alternativa de Solución – Huancayo 2016”. El objetivo principal es: Determinar la incidencia del geotextil no tejido en la rehabilitación de la Av. Calmell del Solar según evaluación de la condición actual del pavimento flexible – Huancayo 2016, llegando a determinar que el uso del geotextil no tejido en la rehabilitación ayudará a reducir el espesor en un 33.3% de capa a repavimentar, así mismo atenuará la reflexión de grietas del pavimento antiguo a la nueva capa de rodadura y consecuentemente la incidencia será favorable para las condiciones de durabilidad y consistencia.

De acuerdo a los resultados obtenidos por Arevalo (2016) en la tesis Utilización de la geomalla biaxial en diseño de pavimentos flexibles de la carretera Pedro Carbo-La Estacada Utilizando geomallas en el diseño de pavimentos flexibles, se procura solucionar las complicaciones que resultan de construir carreteras sobre subrasantes de mala calidad, planteando diseños con espesores menores que ofrezcan igual capacidad estructural, siendo en algunos casos económicamente más factible, para lo cual se revisó los datos obtenidos del “Diseño de pavimento flexible en la carretera Pedro Carbo – La Estacada”, se comprobó el número estructural original y se extrajo los coeficientes de capa y de drenaje, para introducirlos en el presente trabajo. Se determinó los espesores con estructura reforzada de base y sub-base, se interactuó con la ecuación de dos incógnitas y convenientemente se redujo el espesor de base y con ello se obtuvo una reducción de espesor de sub-base; con lo cual al comparar los resultados obtenidos, se evidenció que prácticamente el costo del pavimento es el mismo que si se usare o no geomalla, debido a que al aplicar esta, se disminuye los espesores de las capas de pavimento con el valor agregado del incremento de las propiedades mecánicas, que redundan en funcionalidad y durabilidad de la vía.

Se toma como referencia el trabajo investigativo denominado Estudio de la utilización de geotextiles como filtros en presas de tierra homogénea, desarrollado por

Landi & Pesantes (2015) quienes dan a conocer que: los geotextiles han sido usados a lo largo de los años como material filtrante, razón por la que en este trabajo se realiza una investigación para evaluar su uso como filtros en presas de tierra. Se estudiaron con detenimiento cada una de las características y los usos de los geotextiles, orientándose al uso como filtro para determinar si es o no posible su uso en las presas de tierra del Proyecto PACALORI. Se realizaron pruebas a tres tipos de geotextiles, sometiéndolos a gradientes hidráulicos mucho mayor a los que generalmente se producen en las presas de tierra; estos ensayos dieron como resultado la gran capacidad de resistencia y filtración de los geotextiles bajo gradientes hidráulicos muy altos similares a 1000, decidiéndose que es posible su uso como filtro en este tipo de proyectos.

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Geosintéticos

Son un grupo de materiales fabricados mediante la transformación industrial de sustancias químicas denominadas polímeros, del tipo conocido genéricamente como “plásticos”, que, de su forma elemental, de polvos o gránulos, son convertidos mediante uno o más procesos, en láminas, fibras, perfiles (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

2.3.1.1. Funciones de los geosintéticos

- **Separación de materiales:** evita o reduce la mezcla de materiales de distintas granulometrías, mediante la retención de material más fino e impidiendo la incrustación de las partículas de mayor tamaño en suelos blandos.
- **Filtración:** reduce o evita la migración de finos por flujo.
- **Drenado:** permite el libre flujo del agua y reducir la presión en el líquido.
- **Refuerzo:** soporta tensiones y redistribuye esfuerzos, además de estabilizar la masa de suelo (Murillo, 2017).

2.3.1.2. Propiedades generales de los geosintéticos, a partir de su naturaleza polimérica

Los plásticos son los componentes principales en los geosintéticos. En la actualidad, muchas industrias sustituyen ventajosamente materiales tradicionales tales como agregados, suelos, metal, vidrio, etc., por materiales de plástico, que poseen, en general, las siguientes propiedades:

- Ligereza, existiendo materiales menos densos que el agua.
- Ductilidad
- Maleabilidad
- Elevada elasticidad
- Resistencia Mecánica
- Resistencia a agentes químicos, la cual varía dependiendo del material
- Posibilidad de mejorar sus propiedades mediante aditivos o procesos mecánico - térmicos
- Rangos variables de resistencia, existiendo algunos que deben ser protegidos y otros que pueden ser expuestos a la intemperie por lapsos largos, sin experimentar deterioro.
- Baja absorción de agua
- Resistencia a la biodegradación, la cual varía según el material de que se trate (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

La familia de los Plásticos es muy extensa. Los productos de esta naturaleza que se utilizan para fabricar geosintético es apenas una pequeña fracción de los polímeros que se utilizan en la sociedad moderna; en general, las propiedades específicas de un plástico dependen de la combinación de muchas variables, las cuales son, entre otras:

- Naturaleza química: Grupos funcionales, peso molecular, dispersión del peso molecular, ramificaciones de la cadena principal, incorporación química de componentes (copolímeros), incorporación física de aditivos, tipo de formulación, etc.

- Historia de esfuerzos, temperaturas y exposición a agentes ambientales durante su vida útil,
- Procesos de transformación o formado
- Procesos de acabado.

Es importante hacer notar que el nombre genérico de un plástico o polímero, tal como “Polipropileno”, “Polietileno de Alta Densidad”, “Poliéster”, etc., no es suficiente para caracterizarlo de manera completa, porque bajo la misma denominación pueden producirse diversos productos, con propiedades diferentes (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

2.3.1.3. Clasificación de los geosintéticos

La siguiente clasificación muestra los distintos geosintéticos; de cada tipo existen distintas clases o subcategorías:

- Geotextiles
- Geomembranas
- Georedes o Geomallas
- Geodrenes
- Geomantas
- Geoceldas
- Geocompuestos de Bentonita (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

2.3.2. Geotextiles

Los geotextiles son telas con diversas estructuras, cuyos elementos individuales son fibras, filamentos, o cintas de plástico, que, siguiendo diversos patrones de distribución de sus elementos individuales, se reúnen y entrelazan entre sí por medio de diversos procesos que les someten a acciones mecánicas, térmicas, químicas, o varias de ellas, obteniendo así, estructuras continuas, relativamente delgadas, porosas y permeables en forma de hojas, que tienen resistencia en su plano (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

2.3.2.1. Tipos de geotextiles, según el proceso de su fabricación

- Geotextiles No Tejidos.
- Geotextiles Tejidos.
- Tipos de Geotextiles, según el polímero de su fabricación:
 - Geotextiles de Poliéster.
 - Geotextiles de Polipropileno.

Las propiedades de los Geotextiles son resultado de la combinación de su polímero base, de su estructura y de los procesos de acabado a que se sometió el material. La estructura es el arreglo geométrico entre los elementos individuales del producto, ya sean fibras cortadas, filamentos o cintas, y del tipo de unión entre los mismos, factores que resultan en un material específico (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

El grupo con un uso más extendido, tanto en cantidad de aplicaciones como en consumo total, es el de los Geotextiles No Tejidos, que se caracterizan porque las fibras que los componen se distribuyen en forma desordenada, en todas direcciones. Dentro de este grupo, es el de los Geotextiles No Tejidos Punzonados, el de mayor consumo mundial; en ellos, la unión entre sus fibras se logra mediante entrelazamiento por la acción de agujas, con lo que se obtienen estructuras adaptables, pues sus fibras tienen una relativa libertad de movimiento entre sí, lo que genera una importante elongación inicial, antes de entrar en tensión (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

Su comportamiento bajo tracción se caracteriza por una relativamente baja carga en tensión inicial, que corresponde a una elongación inicial relativamente alta (bajo módulo inicial), lo que explica al alto grado de adaptabilidad de este tipo de geotextil, que le permite adaptarse a superficies irregularidades, sin ser dañado. Este tipo de geotextiles, además de muy alta porosidad y permeabilidad, tanto en su plano como a través de su plano, siendo filtros muy eficientes. Son resistentes al bloqueo de sus poros con suelo

bien graduado. El flujo a través de su estructura inicia con carga hidráulica muy baja (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

Una manera muy común de clasificarlos es por su masa por unidad de área, siendo los de uso más extendido desde 140 hasta 400 g/m², aunque existen de mucha mayor masa, para aplicaciones especiales.

2.3.2.2. Los geotextiles no tejidos

Por sus características ya descritas, los geotextiles no tejidos punzonados, se utilizan para aplicaciones de separación de materiales, filtración, drenaje, control de la erosión y prevención de la reflexión de grietas. Los más pesados y resistentes se utilizan para protección de geomembranas, estabilización y refuerzo (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

Otros geotextiles no tejidos. Algunos materiales son modificados posteriormente al punzonado, mediante fusión superficial de sus fibras, estiramiento a alta temperatura o aplicando tratamientos en su superficie, con resinas químicas y posterior horneado, con el fin de variar sus propiedades, con diferentes propósitos. Geotextiles no tejidos termosellados son aquellos que se obtienen por medio de la fusión de sus fibras, sobre las que se aplica presión mediante rodillos calientes, lisos o con relieves, fusionando toda la superficie del material o sólo áreas selectas del mismo (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

El resultado son geotextiles delgados en los que las fibras no tienen libertad de movimiento y su comportamiento es más tenaz. La permeabilidad del producto final es menor cuando se usan rodillos lisos (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

Otro grupo importante de geotextiles son los Geotextiles Tejidos, en los que su construcción sigue un patrón geométrico claramente definido, que se logra por medio del entrelazamiento de filamentos o cintas planas en dos direcciones mutuamente perpendiculares, mediante un proceso de urdido, por el cual es posible combinar diferentes tipos de filamentos en cualquiera de las direcciones del tejido, para obtener las

propiedades de resistencia que se buscan, en las dos principales direcciones de fabricación. Estos geotextiles son menos rígidos en el sentido diagonal (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

Dentro de este grupo de materiales tejidos, son los geotextiles tejidos de cinta plana los de mayor volumen de uso; las cintas que los componen son planas, mejor conocidas como rafia. Debido a que su resistencia se tiene principalmente en los sentidos de fabricación y en el transversal a éste, se someten a un proceso de acabado térmico para reducir el movimiento relativo de las cintas (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

Su comportamiento bajo tracción muestra una carga en tensión inicial relativamente alta, con baja elongación (alto módulo inicial). Por ello su capacidad de adaptación a superficies irregularidades filosas, como son subrasante con presencia de roca, es baja. Su aplicación más exitosa es como refuerzo sobre estratos que experimentan asentamientos al construir, como son zonas de suelos saturados y pantanos, sin roca presente en la superficie, pues de este modo pueden desarrollar su capacidad de refuerzo a la tensión y mantener su integridad. Sus aberturas son pequeñas y su permeabilidad baja respecto de los geotextiles no tejidos y de los geotextiles tejidos de monofilamentos; sólo permiten flujo a través de su plano, requiriendo para ello que exista un cierto valor de carga hidráulica, y poseen poca resistencia al bloqueo de sus poros con suelo bien graduado. Por lo anterior, no se usan para aplicaciones de filtración o que requieren alta permeabilidad Los tipos más usuales varían desde 140 hasta 280 g/m² (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

2.3.2.3. Los geotextiles tejidos de monofilamentos

Se componen por filamentos de sección circular relativamente gruesos, con tamaños de aberturas claramente establecidas y mensurables mediante procedimientos sencillos. Según la combinación de los filamentos en las direcciones de fabricación y transversal se controla la permeabilidad y tamaño de abertura. Se utilizan en aplicaciones de filtración, y de refuerzo en las que se requiere una alta permeabilidad (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

Su carga en tensión inicial es alta y su elongación es baja (alto módulo inicial). Por lo mismo, su capacidad de adaptarse a irregularidades es baja. Sólo poseen flujo a través de su plano y su Permeabilidad es muy alta, no requiriendo la existencia de una carga hidráulica apreciable para establecer el flujo. Su resistencia al bloqueo con suelo, bien graduado o no, es muy alta y se considera su estructura muy favorable para el diseño de soluciones a casos críticos de filtración (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

2.3.2.4. Los geotextiles tejidos de multifilamentos

Son producto del urdido de multifilamentos, mismos que son el resultado del trenzado de varios filamentos de menor diámetro. Son materiales con muy alta resistencia a la tensión y alto módulo de tensión. Su carga en tensión inicial es muy alta y su elongación es baja. Su capacidad de adaptación a irregularidades es relativamente baja. Son el grupo de mayor resistencia a la tensión entre los geosintéticos utilizados para reforzar (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

Su permeabilidad es intermedia. Sólo se establece el flujo a través y no en su plano. Son resistentes al bloqueo de sus poros con suelo, bien graduado El flujo inicia con baja carga hidráulica. Se utilizan primordialmente para aplicaciones de estabilización de terraplenes que se construyen sobre terrenos de muy baja capacidad de carga (Geosintéticos y Coberturas, 2018).



Figura 1. Geotextil de multifilamento
Fuente (Techfab (India) Industries Limited, 2016)

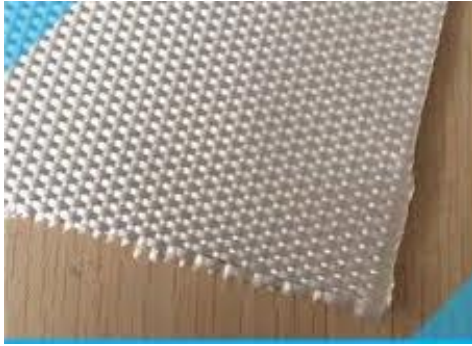


Figura 2. *Geotextil de multifilamento*
Fuente (Techfab (India) Industries Limited, 2016)

2.3.3. Geomembranas

La Geomembranas son láminas de muy baja permeabilidad que se emplean como barreras hidráulicas; se fabrican en diversos espesores y se empacan como rollos que se unen entre sí mediante técnicas de termofusión, extrusión de soldadura, mediante aplicación de adhesivos, solventes o mediante vulcanizado, según su naturaleza química (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

2.3.3.1. Tipos de geomembranas, según el proceso de su fabricación

- Geomembranas No Reforzadas
- Geomembranas Reforzadas
- Tipos de Geomembranas, según el polímero de su fabricación:
 - Geomembranas de PVC Plastificado
 - Geomembranas de Polietileno de Alta Densidad
 - Geomembranas de Polipropileno
 - Geomembranas de Polietileno Cloro Sulfonado
 - Geomembranas de Hules Sintéticos

Las Geomembranas de mayor volumen de aplicación son las No Reforzadas, de Polietileno de Alta Densidad y de PVC Plastificado (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

Las Geomembranas de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) se fabrican en rollos anchos, de 7.0m o más, y en esta presentación se embarcan al sitio de la obra, donde se unen unos con otros mediante equipo de termofusión y extrusión de soldadura del mismo polímero (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

Otro tipo muy usual de Geomembranas, son las de PVC Plastificado, las cuales se instalan mediante la unión en campo, de lienzos prefabricados en plantas industriales, según un despiece planeado, para luego unirse unos con otros en su sitio de ubicación final, a manera de rompecabezas. Esto es posible en las Geomembranas de PVC Plastificado, porque los lienzos pueden ser doblados y empacados en forma de paquetes, sin causar daño al material, como podría ser en otro tipo de láminas que se agrietan al ser dobladas. Lo anterior resulta en instalaciones muy rápidas (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

Las técnicas de unión en el sitio de la obra, para las geomembranas de pvc pueden ser mediante termofusión, aplicada por una empresa especializada, o mediante aplicación de adhesivos especiales. Este último caso es una gran ventaja en caso de presentarse rupturas en la membrana de manera accidental, posteriormente a su instalación por el proveedor, pues el mismo usuario puede realizar la reparación sin necesidad de gastar en ayuda especializada, ya que la técnica de unión con adhesivo es muy sencilla. La selección del tipo de geomembrana para cada aplicación requiere del análisis de diversas variables (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

2.3.3.1.1. Compatibilidad Química

Cuando la geomembrana se expone a contaminantes agresivos como querosene, combustible diésel, ácidos, nafta, combustible para turbinas, agua salada, petróleo crudo, gasolina se analiza su reacción antes estos agentes (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

2.3.3.1.2. Comportamiento Mecánico Requerido

Se analiza la resistencia de requerida de la geomembrana, elongación, modulo, dureza (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

2.3.3.1.3. Exposición a la intemperie

Se analiza la reacción de la geomembrana expuesta a los efectos creados por el medio ambiente (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

Las variables indicadas anteriormente no son, sin embargo, las únicas a considerar, requiriéndose generalmente, de una evaluación más completa de la instalación de que se trata, tomando en cuenta que existen situaciones que requieren diseñar de manera más completa, no pudiendo depender exclusivamente de un producto (la geomembrana), para impedir el acaecimiento de situaciones graves, como puede ser, por ejemplo, la fuga de sustancias peligrosas que pueden contaminar el ambiente y amenazar la salud pública, para lo cual se requiere construir sistemas impermeables , en vez de simplemente utilizar productos impermeables (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

El diseño de instalaciones de ese tipo se lleva a cabo por empresas especialistas y generalmente las soluciones implementadas emplean otros geosintéticos además de geomembranas, en diseños “a prueba de fallas” (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

2.3.3.2. Ventajas de las geomembranas sobre impermeabilizaciones con arcilla compactada

Las capas de arcilla compactada contienen pequeños conductos en su masa, a través de los cuales se establece el flujo de líquidos. Estos conductos se presentan por agrietamiento, al perder humedad la arcilla. También se presentan conductos horizontales en la frontera entre las capas compactadas. La razón de esto es que las barreras de suelo no son materiales continuos, sino el producto del acomodamiento y densificación de partículas por el proceso de compactación a que se deben someter (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

2.3.3.2.1. Muy bajo coeficiente de permeabilidad.

Esta propiedad es mucho menor que la correspondiente a arcillas compactadas. Se determina en forma indirecta, a través de la medición de transmisión de vapor a través de la geomembrana. Esto trae como consecuencia que se pueden construir sistemas impermeables con espesores despreciables, en lugar de tener que compactar gruesas capas de arcilla (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

2.3.3.2.2. Ligereza

Propiedad importante de las geomembranas desde el punto de vista logístico, ya que se puede lograr la impermeabilización sin grandes acarreos y en lapsos muy cortos (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

2.3.3.3. Geomallas o georedes



Figura 3. *Geotextil de multifilamento*
Fuente (Techfab (India) Industries Limited, 2016)

Son elementos estructurales que se utilizan para distribuir la carga que transmiten terraplenes, cimentaciones y pavimentos, así como cargas vivas, sobre terrenos de baja capacidad portante, o bien como elementos de refuerzo a la tensión unidireccional, en muros de contención y taludes reforzados que se construyen por el método de suelo reforzado (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

2.3.3.3.1. Por su funcionamiento, las Georedes son de dos tipos principales:

- **Georedes Biaxiales**, que poseen resistencia a la tensión en el sentido de su fabricación (a lo largo de los rollos) y también en el sentido transversal al anterior.

- **Georedes Uniaxiales**, que poseen resistencia a la tensión únicamente en el sentido de fabricación (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

2.3.3.3.2. Por su Flexibilidad, se tienen dos tipos:

- **Georedes Rígidas**, que se fabrican mediante procesos de pre-esfuerzo del polímero, primordialmente Polipropileno y Polietileno de Alta Densidad.
- **Georedes Flexibles**, fabricadas mediante procesos de tejido de filamentos de alta tenacidad, que fueron previamente sometidos a un alto grado de orientación molecular; se fabrican de Poliéster (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

Dado que las georedes uniaxiales se utilizan en estructuras cuyo comportamiento debe garantizarse por lapsos muy largos (de hasta 100 años), sus propiedades relevantes son: (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

- Resistencia a la Tensión
- Resistencia a Largo Plazo Bajo Carga Sostenida
- Coeficiente de Fricción en contacto con el suelo que refuerza
- Resistencia al Daño Mecánico
- Resistencia a ataque químico y biológico

Las Georedes Biaxiales funcionan mediante mecanismos de interacción con el suelo y los agregados, que les permiten tomar parte de los esfuerzos inducidos durante la construcción, mediante fuerzas de tensión que se desarrollan en el plano del material (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

Por ello, las propiedades principales de las Georedes Biaxiales, directamente relacionadas con sus diversas aplicaciones, son:

- Tamaño de aberturas

- Rigidez a la flexión
- Estabilidad de Aberturas
- Módulo de Tensión
- Resistencia a la Tensión (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

2.3.3.4. Geodrenes

Los geodrenes son drenes prefabricados elaborados mediante la combinación de núcleos de plástico con alta resistencia a la compresión y muy alta conductividad hidráulica, y cubiertas de un geotextil filtrante que impide la intrusión de suelo dentro de los vacíos disponibles para el flujo; su función es captar y conducir líquidos a través de su plano (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

Son estructuras continuas y extremadamente delgadas, en comparación con las dimensiones requeridas para construir drenes a base de agregados y tuberías (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

- Tipos de geodrenes, según el polímero de su núcleo:
- Núcleo de poliestireno de alto impacto
- Núcleo de polietileno de alta densidad
- Tipos de geodrenes, según la forma de su núcleo
- Núcleos en forma de canastilla

Contienen una multitud de conos espaciadores que forman canales por los cuales se transporta el fluido captado. El ingreso de los fluidos al producto se realiza por ambas caras del núcleo, cuyo reverso es plano y tiene orificios (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

2.3.3.4.1. Núcleos en forma de malla

Contienen en ambas caras, series de gruesos cordones de plástico, paralelos entre sí, que se superponen sobre otra serie de cordones del mismo tipo, formando ángulos agudos, teniendo apariencia de mallas tejidas, con alta proporción de áreas abiertas, uniformes en tamaño. El flujo del agua en el plano del material se establece a través de los canales resultantes (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

El geotextil filtrante generalmente es del tipo no tejido, aunque existen variantes para casos especiales en los que se usan geotextiles tejidos, por su alto módulo de tensión (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

Los geodrenes más gruesos y con mayor capacidad de flujo se utilizan en los hombros de las carreteras para abatir el nivel freático y de este modo proteger el pavimento o bien para colectar y desalojar el agua captada por capas permeables del pavimento. Los más delgados se emplean en el respaldo de muros de contención, para cortar líneas de flujo procedentes de filtraciones en la parte superior del relleno contenido por el muro y así evitar la generación de empujes hidrostáticos sobre el mismo y también para interceptar flujos en laderas (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

2.3.3.5. Geomantas

Son láminas relativamente gruesas formadas con filamentos cortos o largos de plástico, generalmente polipropileno, polietileno o nailon, de sección rectangular o cónica, simplemente agrupados con ayuda de redecillas, aglutinantes o costuras muy sencillas, o bien fuertemente entrelazados entre sí, que pueden o no incluir capas de fibras de origen vegetal. Se instalan sobre taludes para evitar su erosión, como elementos de protección permanente o temporal, y combinadas o no, con siembra de semilla (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

Sus funciones son las de reducir la capacidad erosiva de los escurrimientos, proteger al suelo, acelerar la germinación de especies vegetales implantadas, reforzar las raíces, o

varias de ellas. Las geomantas se fabrican con diferentes propiedades pudiendo agruparse de la siguiente manera: (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

- Mallas sintéticas delgadas, con baja porosidad y resistencia mecánica limitada, que se utilizan únicamente como materiales de cubierta, para aplicaciones temporales,
- Mallas sintéticas gruesas, con estructura tridimensional, alta porosidad y suficiente resistencia para permitir el llenado de sus poros con suelo,
- Mallas sintéticas gruesas, que contienen capas de fibras vegetales, con estructura tridimensional, baja porosidad y suficiente resistencia para permitir el llenado de sus poros con suelo.
- Mallas sintéticas gruesas, con estructura tridimensional, alta porosidad y alta resistencia que además de permitir el llenado de sus poros con suelo, refuerzan el sistema radicular a largo plazo, una vez que se ha desarrollado la vegetación. La resistencia mecánica puede ser aportada por los mismos filamentos sintéticos que forman su estructura o por un elemento de refuerzo adicional. Igual al anterior, pero de menor porosidad por la inclusión en su estructura, de capas de fibras de coco (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

2.3.3.6. Geoceldas

Las geoceldas son estructuras tridimensionales de gran peralte y forma romboide, que se utilizan para contener rellenos en taludes, con el objetivo de evitar su deslizamiento y erosión. También se utilizan para confinar materiales dentro de sus celdas y construir plataformas reforzadas, con mayor capacidad de distribución de la carga; en esta aplicación, el producto previene la falla por desplazamiento lateral del relleno bajo las cargas impuestas, se fabrican con diversos peraltes y tamaños de abertura de celda, en Polietileno de alta densidad y polipropileno (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

2.3.3.7. Geocompuestos de bentonita

Son laminaciones de bentonita de sodio confinada entre dos capas de geotextil. Se usan primordialmente en el confinamiento de sustancias peligrosas, como elemento para sellar eventuales perforaciones en las geomembranas utilizadas como barrera primaria. Se fabrican en rollos que se traslapan y unen entre sí, utilizando bentonita granular bajo los traslapes. Su empleo requiere revisar la eventual existencia de sales de calcio que pueden afectar a la bentonita contenida en el producto (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

Los Geocompuestos de bentonita laminada son materiales muy pesados ($>5 \text{ kg/m}^2$) y requieren estar confinados para desarrollar su función sellante de orificios, derivada de la alta expansividad de la bentonita al hidratarse (Geosintéticos y Coberturas, 2018).

2.3.4. Aplicación de los geosintéticos

A la hora de construir carreteras, caminos para el acceso a obras o estacionamientos sobre suelos de baja capacidad portante existen situaciones en las que pueden aparecer principalmente dos tipos de problemas que afectan a su estructura provocando asientos incontrolados. La primera de ellas se refiere al peso del tráfico que deben soportar estas superficies por la transmisión de una fuerza o presión de contacto en la que se genera esfuerzos constantes (L'Alcudia, 2017).

Otra situación que provoca la aparición de asientos es la excesiva presencia de agua debido a un ineficiente drenaje. Este exceso de agua produce cambios en el volumen de los materiales, el aumento de la presión de los poros o la pérdida de la resistencia de la subrasante. Además de éstos, las bases de los suelos pueden presentar problemas de capacidad portante. En este sentido, muchas veces es necesaria la construcción de un terraplén sobre estos terrenos de baja capacidad portante. En este tipo de estructuras, se rellena un terreno para levantar su nivel y formar un plano de apoyo adecuado para hacer la construcción de la vía (L'Alcudia, 2017).

Las geomallas permiten incrementar significativamente la capacidad portante, así como aumentar la seguridad de estas vías. Se encargan de mejorar considerablemente la capacidad de la carga de las bases para un mismo espesor o reducen espesores para una misma capacidad de carga (L'Alcudia, 2017).

Se trata de estructuras en forma de red recubiertas con productos que les confieren protección para su uso en construcciones y cuyas aplicaciones principales se basan en el refuerzo y en la estabilización de suelos. Una de las principales funciones de este material, es la distribución de las cargas producidas por el tráfico tanto en cimentaciones como en pavimentos (L'Alcudia, 2017).

Se fabrica la Geotextil de Refuerzo DLT GRID PES, un material fabricado con poliéster de alto módulo elástico y baja fluencia, protegida con un recubrimiento polimérico que proporciona a la geotextil una gran resistencia a daños químicos y mecánicos. Este material se fabrica en diferentes aberturas de malla para garantizar en cada caso una buena interacción entre las diferentes capas (L'Alcudia, 2017).

Esta geotextil está destinada al refuerzo de la cimentación y de las diferentes capas del terraplén. Su instalación hace que se reduzcan drásticamente las deformaciones del terreno, al utilizar la geotextil en el relleno del terraplén se posibilita el utilizar material del terreno colindante, de esta forma se reducen considerablemente los costes de ejecución del terraplén y se reducen los tiempos de ejecución del proyecto (L'Alcudia, 2017).

Por otro lado, se dispone de la Geotextil DLT GRID HL PET, esta geotextil de poliéster de alta calidad va unida a un geotextil de bajo gramaje, ambos componentes están impregnados de un recubrimiento bituminoso que facilita la adherencia. Este geotextil flexible está destinada al refuerzo de la capa asfáltica, su alta resistencia química y térmica posibilita la ampliación de la vida útil de los pavimentos asfálticos y por ende a la reducción de costes de mantenimiento de la vía (L'Alcudia, 2017).

2.3.5. Ventajas de la utilización de geotextil

- Mejora de la capacidad portante del terreno.
- La instalación de una o varias capas de geotextil dentro o en fondo de la capa de la base garantiza la interacción por cortante entre el terreno y la geotextil. La acción de la geotextil retarda el desarrollo de la deformación por tensión del material adyacente. Una menor deformación lateral se traduce en una menor deformación vertical de la superficie de la carretera (L'Alcudia, 2017).
- Prevención arrastre de finos. La instalación de la Geotextil de Refuerzo DLT GRID PES dificulta la expulsión de los finos de las capas inferiores del suelo hasta la superficie de la carretera (L'Alcudia, 2017).
- Mejora la distribución de los esfuerzos.
- Minoración de la deformación por corte.
- Estabilización del terreno, ya sea en superficies de tierra o asfaltadas, incrementando su resistencia y previniendo el hundimiento de los terrenos.
- Se trata de una solución económica. La instalación de la geotextil tanto en el momento de la construcción de carreteras como durante su mantenimiento suponen un ahorro significativo ya que el coste de adquisición no es elevado.
- Las instalaciones de la geotextil de Tex Delta dotan de rigidez y drenaje adecuado a la base del terraplén para estabilizarlo sobre suelos blandos o saturados.
- Es más respetuosa en el medio ambiente.
- La instalación de la geotextil justifica la reducción del uso del agregado natural, los volúmenes de excavación y del número de excavaciones y de la energía de compactación. Esto se traduce en menores emisiones.

- Alta resistencia a la tensión: alta capacidad de aporte mecánico que estabiliza los suelos blandos compresibles.
- Alto módulo elástico: alta respuesta elástica inmediata que le aporta refuerzo al suelo.
- Bajo creep: controla las deformaciones de las estructuras a largo plazo.
- Estabilidad en el desempeño hidráulico: estructura de inserción de trama que mantiene la permeabilidad en cualquier nivel de tensión o confinamiento.
- Evacuación de agua sobre su plano: fibras multifilamento que conducen el agua sobre su plano por transmisividad.
- Multifuncional: además de su capacidad de refuerzo se desempeña adecuadamente como elemento separador y de filtro.

2.3.6. Instalación de geotextil en pavimentos

Estos son los pasos para seguir para la instalación de la Geotextil DLT GRID HL PET en el refuerzo de capas asfálticas (L'Alcudia, 2017).

Preparación de la capa base. Asegurarse que está compactada, nivelada y limpiada adecuadamente. La superficie donde se va a instalar la geotextil tiene que estar libre de residuos y no presentar irregularidades (L'Alcudia, 2017).

Espolvoreado de la superficie. Se tiene que espolvorear agua en la capa de base antes de la propagación de la geotextil, debido que así lo ayudará a ser distribuido uniformemente. Asimismo, tiene que asegurarse que la superficie está húmeda pero no mojada (L'Alcudia, 2017).

Pulverización del betún. Seleccionar adecuadamente material bituminoso como capa de imprimación y la pulverizar bajo temperatura especificada en la especificación de construcción. Utilizar el camión cisterna con barra de pulverización para pulverizar material bituminoso adecuado y uniformemente (L'Alcudia, 2017).

En esta fase se colocará la geotextil DLT GRID HL PET. De forma mecánica o manual a lo largo del pavimento. El producto debería ser extendido sin ondulaciones. En el supuesto de alcantarilla o desagüe, se tiene que cortar la geotextil para que no cubra estas instalaciones (L'Alcudia, 2017).

Extensión de la capa. En esta fase se utiliza la máquina pavimentadora para que extienda y compacte la mezcla. Durante este proceso, estas máquinas deben realizar movimientos lentos y evitar giros bruscos para no dañar la geotextil (L'Alcudia, 2017).

2.3.7. Diseño de pavimento

En la ingeniería civil, el pavimento es una estructura formada por distintas capas de materiales que permiten soportar las cargas vehiculares y/o de otros tipos. Además de resistir el tráfico también cumple otras funciones como la de proveer una superficie de rodadura uniforme, impermeable, antideslizante y resistente a los agentes del medio ambiente. El diseño de pavimentos consiste en la determinación de los espesores de cada capa que constituye la sección estructural del pavimento, la cual permitirá soportar las cargas durante un periodo de tiempo determinado. Existen diferentes métodos de diseño de pavimentos, los cuáles toman en cuenta principalmente los siguientes factores: tránsito o condiciones de carga, características del suelo de cimentación, características de los materiales que constituyen las capas del pavimento, agentes ambientales y periodo de diseño (PROCCSA, 2015).

Un diseño de pavimentos permite optimizar los volúmenes de materiales de construcción a utilizar, mejorar la vida útil esperada y/o incrementar la resistencia de la sección estructural del pavimento o de alguna de sus capas. Es decir, con un adecuado diseño de pavimentos se proyectan vías terrestres técnica y económicamente factibles.

Con el diseño de pavimentos también se pueden comparar diferentes alternativas de materiales y de espesores de capa. Cada método de diseño tiene algún parámetro que permite identificar la calidad o la resistencia del pavimento, ya sea mediante un coeficiente o una equivalencia que representa el paquete estructural. Los métodos de diseño de pavimentos también pueden utilizarse con otras finalidades, como la de

determinar la vida remanente. Esto se logra mediante un cálculo inverso de la sección estructural del pavimento, conociendo los espesores y las características de los materiales tanto del pavimento como de las terracerías. La vida remanente del pavimento es muy importante, ya que permite tomar medidas para la conservación de las vías terrestres (PROCCSA, 2015).

En el caso de los caminos federales y autopistas, el mantenimiento de los pavimentos impacta fuertemente en términos económicos. No es lo mismo hacer la conservación de carreteras de forma preventiva (ya sea con mantenimiento menor o actuaciones rutinarias) que de forma correctiva (con mantenimiento mayor, actuaciones periódicas o reconstrucción) ya que los costos correctivos son mucho mayores respecto a los preventivos. Las dependencias de gobierno, principalmente la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y Caminos y Puentes Federales (CAPUFE) son las entidades que requieren realizar diseños de pavimento, principalmente por razones de proyecto, construcción, mejoramiento y conservación de carreteras. Sin embargo, empresas privadas también requieren de este tipo de trabajos debido a que se requieren caminos y carreteras sustentables para fines industriales, como pueden ser la construcción de parques industriales, mantenimiento de líneas de conducción, parques eólicos y obras civiles en general (PROCCSA, 2015).

Existen diferentes tipos de diseño de pavimentos, de acuerdo con los materiales que constituyen el paquete estructural. De forma general, se pueden diseñar pavimentos flexibles y rígidos, sin embargo, existen otros tipos de pavimento como son los pavimentos semirrígidos, pavimentos reforzados con geosintéticos, pavimentos modificados, pavimentos articulados, entre otros. Sin embargo, los métodos de diseño de estos últimos están basados en los diseños de pavimento flexible y rígido principalmente (PROCCSA, 2015).

2.3.8. Teoría de la capacidad de carga.

Una buena parte de las teorías desarrolladas tiene su base en hipótesis simplificadoras del comportamiento de los suelos y en desarrollos matemáticos a partir de tales

hipótesis. En otras teorías, especialmente en las que corresponden a desarrollos recientes, la observación y el empirismo juegan un papel mucho más importante. Se puede decir que todas las teorías matemáticas tienen como punto de partida la solución de Prandtl (Lopez, Legorreta, & Rivera, 2015).

Las diferentes teorías de capacidad de carga solucionan problemas en suelos cohesivos, friccionantes y algunas de ellas el caso de suelos cohesivo-friccionantes (Lopez, Legorreta, & Rivera, 2015).

2.3.8.1. Análisis límite del problema de capacidad de carga en suelos cohesivos

La teoría de la elasticidad permite establecer la solución para el estado de esfuerzos en un medio semi-infinito, homogéneo, isótropo y linealmente elástico, cuando sobre él actúa una carga uniformemente distribuida, sobre una banda de ancho $2b$ y de longitud infinita. Aquí los máximos esfuerzos cortantes valen q/π y están aplicados en el semicírculo de diámetro $2b$ (Lopez, Legorreta, & Rivera, 2015).

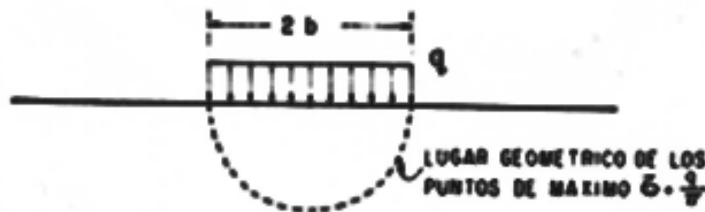


Figura 4. Esfuerzos cortantes máximos bajo una banda de longitud ∞
Fuente: (Lopez, Legorreta, & Rivera, 2015)

Para completar la aplicación del análisis límite a los problemas de capacidad de carga de suelos puramente cohesivos se necesita un valor límite superior para el valor de la carga última q_u . Para realizar este análisis se aplica el método sueco al problema de capacidad de carga (Lopez, Legorreta, & Rivera, 2015).

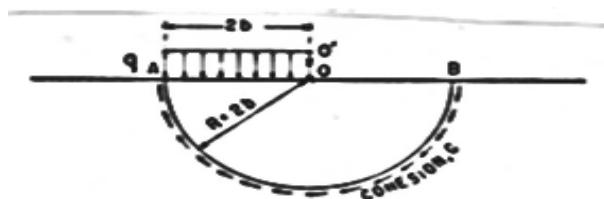


Figura 5. Análisis de la capacidad de carga considerando una superficie de falla circular
Fuente: (Lopez, Legorreta, & Rivera, 2015)

De acuerdo con Lopez & Rivera (2015) puede demostrarse que el círculo analizado no es el más crítico posible. Si se escoge un centro en O' , sobre el borde del área cargada, pero más alto que O , puede probarse que existe un círculo, el más crítico de todos, para el que $q_{\max} = 5.5 c$ y representa la carga máxima que puede darse al cimiento sin que ocurra el deslizamiento a lo largo del nuevo círculo. Así la carga última real q_u , resulta acotada entre los valores:

$$\pi c \leq q_u \leq 5.5 c$$

En la solución de Prandtl se propone que el mecanismo de falla es el mostrado, y se debe calcular cuál es la presión máxima que puede darse al elemento rígido sin que penetre. A este valor particular se le denomina carga límite (Lopez, Legorreta, & Rivera, 2015).

El valor límite de la presión encontrado por Prandtl fue:

$$q_{\max} = (\pi + 2) c$$

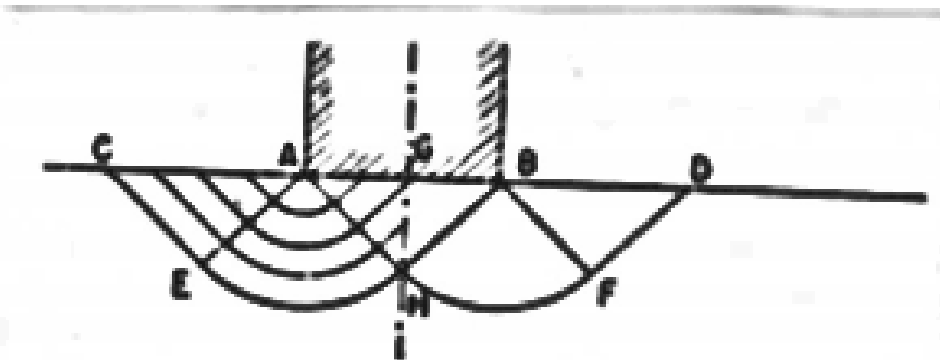


Figura 6. Solución de Prandtl
Fuente: (Lopez, Legorreta, & Rivera, 2015)

Esta solución es la base de las teorías de capacidad de carga que se han desarrollado para aplicación específica a suelos.

2.3.9. Teorías de la capacidad de carga.

2.3.9.1.1. La teoría de Terzaghi

Esta teoría cubre el caso más general de suelos con cohesión y fricción; es la teoría más usada para el cálculo de la capacidad de carga en cimientos poco profundos. Se aplica a cimentaciones en las que el ancho B es mayor o igual a la profundidad de desplante D_f . De la parte superior se desprecia la resistencia al esfuerzo cortante τ , haciendo la equivalencia del suelo, arriba del nivel de desplante, como una sobrecarga q (Lopez, Legorreta, & Rivera, 2015).

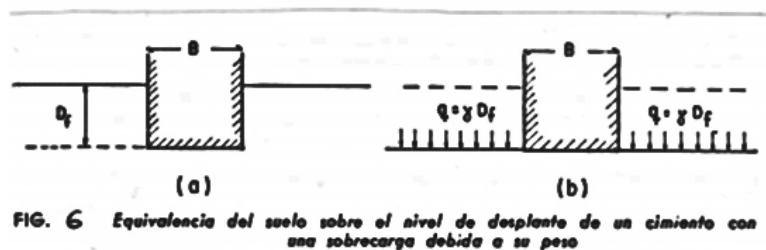


Figura 7. Equivalencia del suelo sobre el nivel de desplante de un cimiento sobre una sobrecarga
Fuente: (Lopez, Legorreta, & Rivera, 2015)

Con base en los estudios de Prandtl en suelos cohesivos, Terzaghi los extendió a suelos cohesivo-friccionantes, proponiendo el mecanismo de falla mostrado en la fig. 7.

En este mecanismo la zona I es una cuña que se mueve como cuerpo rígido con el cimiento, verticalmente hacia abajo. Una zona II es de deformación tangencial radial. La zona III es una zona de estado plástico pasivo de Rankine. Para que el cimiento penetre deberá de vencer las fuerzas resistentes, como son la cohesión en las superficies AC y la resistencia pasiva en esas mismas superficies. En el caso de la falla incipiente, estos empujes forman un ángulo ϕ , la dirección es vertical (Lopez, Legorreta, & Rivera, 2015).

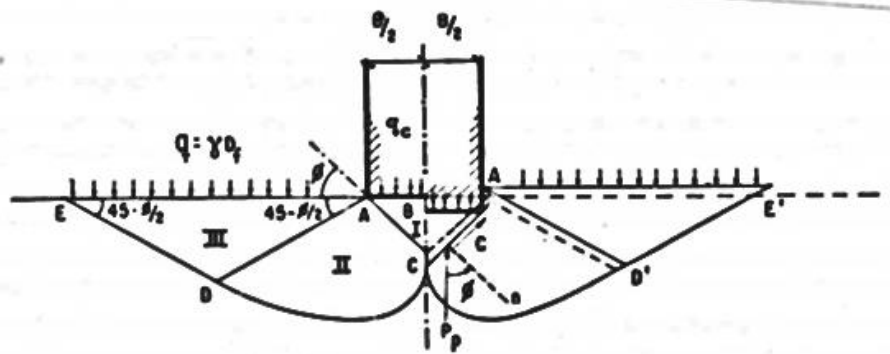


Figura 8. Mecanismo de falla de un cimiento continuo poco profundo
Fuente: (Lopez, Legorreta, & Rivera, 2015)

Despreciando el peso de la cuña y considerando el equilibrio de fuerzas verticales se tiene:

$$q_c B = 2P_p + 2C_f \text{ sen } \varphi$$

Donde:

q_c : carga de falla en el cimiento

P_p : empuje pasivo

C_f : fuerza de cohesión

Desarrollando los términos del segundo miembro y despejando q_c se llega a la siguiente expresión:

$$q_c = cN_c + \gamma D_f N_q + (1/2)\gamma B N_\gamma$$

Que permite calcular la presión máxima que puede darse al cimiento por unidad de longitud, sin provocar su falla, se expresa en unidades de presión.

N_c , N_q y N_γ , son factores de capacidad de carga, función del ángulo de fricción interna del suelo φ (Lopez, Legorreta, & Rivera, 2015).

La ecuación anterior es la fundamental de la teoría de Terzaghi y permite calcular, en principio, la capacidad de carga última de un cimiento poco profundo de longitud

infinita, con carga vertical. Los valores de los factores de capacidad de carga se obtienen a partir de (Lopez, Legorreta, & Rivera, 2015).

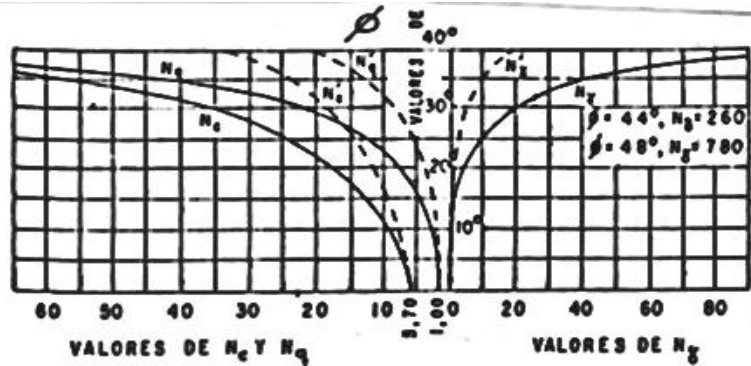


FIG. 8 Factores de capacidad de carga para aplicación de la teoría de Terzaghi

Figura 9. Factores de capacidad de carga
Fuente: (Lopez, Legorreta, & Rivera, 2015)

Puede observarse en dicha figura curvas de línea llena y curvas de línea punteada.

Las primeras corresponden al mecanismo de falla general representado por la fig. 5, que supone que al ir penetrando el cimiento en el suelo se produce cierto desplazamiento lateral, de modo que los estados plásticos desarrollados inicialmente se amplían hasta los puntos E y E', de tal manera que, en el instante de falla, toda la superficie trabaja al esfuerzo límite. En materiales arenosos sueltos o arcillas muy blandas donde la deformación crece mucho cerca de la carga de falla, el cimiento penetra, pero no logra desarrollarse el estado plástico hasta los puntos E y E', sino que la falla ocurre antes, a carga menor, al llegar a un nivel de asentamiento que para el cimiento equivale a la falla del mismo. A este mecanismo se le conoce como falla local (Lopez, Legorreta, & Rivera, 2015).

Para tomar en cuenta la posibilidad de una falla local, la capacidad de carga última del sistema suelo-cimiento se puede calcular empleando la misma ec. 4 pero adoptando factores de capacidad de carga reducidos, esto es, N'_c , N'_q y N'_γ (Lopez, Legorreta, & Rivera, 2015).

El decidir si el sistema suelo-cimiento podrá experimentar una falla general o local depende fundamentalmente de la geometría del cimiento y de la compacidad o

consistencia del suelo de apoyo. En la fig. 7 se muestra un gráfico, reportado por Vesic, que permite pronosticar el tipo de falla, en el caso de arenas (Lopez, Legorreta, & Rivera, 2015).

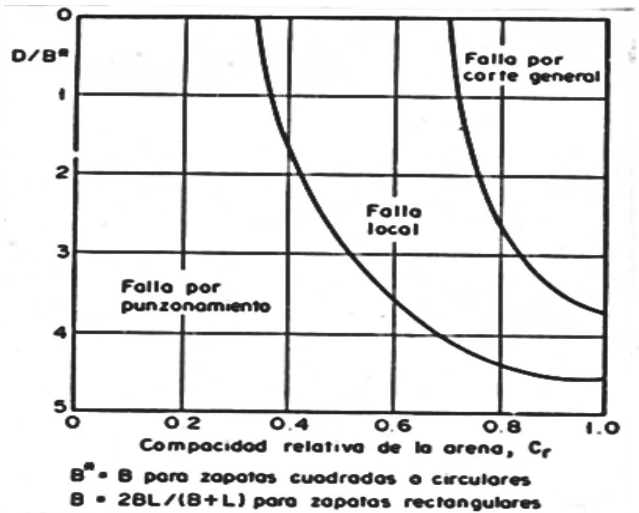


Figura 10. Formas típicas de fallas en arenas
Fuente: (Lopez, Legorreta, & Rivera, 2015)

En el caso de falla general, Terzaghi propone las siguientes expresiones, para calcular la capacidad de carga última: (Lopez, Legorreta, & Rivera, 2015).

Cimientos cuadrados.

$$q_c = 1.3 c N_c + \gamma D_f N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma$$

Cimientos circulares

$$q_c = 1.3 c N_c + \gamma D_f N_q + 0.6 \gamma R N_\gamma$$

Para suelos puramente cohesivos $\phi = 0$, en este caso $N_c = 5.7$; $N_q = 1$ y $N_\gamma = 0$.

2.3.9.1.2. Teoría de Skempton

Esta teoría se desarrolló para suelos puramente cohesivos, en donde N_c es dependiente de la profundidad de empotramiento del cimiento en el estrato firme, creciendo conforme aumenta D hasta un valor máximo para $D/B > 4.5$ (Lopez, Legorreta, & Rivera, 2015).

La expresión correspondiente es: $q_c = c N_c + \gamma D_f$ (7) 2.1.3

2.3.9.1.3. Teoría de Meyerhof

En la teoría de Terzaghi no se toman en cuenta los esfuerzos cortantes desarrollados en el suelo arriba del nivel de desplante del cimiento. El suelo arriba del nivel de desplante se toma en cuenta únicamente como una sobrecarga perfectamente flexible; pero no como un medio a través del cual puedan propagarse superficies de deslizamiento o en el cual pueda desarrollarse resistencia al esfuerzo cortante. Meyerhof trató de cubrir esta deficiencia con una teoría de capacidad de carga que ha alcanzado amplia difusión en épocas recientes. En este caso, para cimientos largos, se supone que la superficie de deslizamiento con la falla del cimiento (Lopez, Legorreta, & Rivera, 2015).

2.3.9.1.4. Excavación.

Comprende el conjunto de actividades necesarias para la remoción de terreno natural, adicional al desmonte, limpieza y descapote, con el fin de alcanzar las cotas requeridas del Proyecto. Esto también incluye las tareas de desagüe, bombeo, drenado, entibado y apuntalamiento (si se requiere) que sea necesario realizar. Además, incluye la correcta disposición del material excavado en los lugares autorizados por el cliente (Lara & Giraldo, 2017).



Figura 11. Excavación
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

2.3.9.2. Tipo de suelo y estudio a realizar.

2.3.9.2.1. Suelo arcilloso

El suelo arcilloso es aquel en el que predomina la arcilla sobre otras partículas de otros tamaños. La arcilla es un conjunto de partículas minerales muy pequeñas, de menos de 0,001 mm. De diámetro, en contraposición a otras partículas más grandes como son el limo y la arena, por orden de tamaño, de menor a mayor (Gago, 2017).



Figura 12. Suelo arcilloso
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

2.3.9.2.2. Relleno:

Cuando es necesario elevar el nivel del suelo natural para fundar radiantes de piso, esto se efectúa mediante un relleno debidamente compactado. El material por ocupar es generalmente un suelo granular y las especificaciones a cumplir son dadas por el proyectista de acuerdo con los materiales más económicos con que se cuenta (Guzman, 2016).

2.3.9.2.3. Contenido de humedad

Este método de ensayo cubre la determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) por masa en suelos, rocas, y materiales similares, donde la reducción en masa por secado se debe a la pérdida de agua. El hallar el contenido de humedad es importante para poder determinar de qué manera la humedad del suelo puede dañar la cimentación, ya que un suelo muy húmedo puede contener sales y sulfatos que dañen las cimentaciones. Además, un suelo húmedo contiene vacíos llenos de agua, y al recibir la carga de la

estructura es suelo tiende a asentarse, y conforme más humedad tenga el suelo, tiende a asentarse más y a eliminar el agua de sus vacíos hacia lugares con menor carga estructural. El contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas (Larrea, 2017).

2.3.10. Límite de atterberg

2.3.10.1. Límite líquido

El límite líquido es un ensayo que se determina de forma estandarizada mediante la cuchara de Casagrande. Para ello se mide la humedad de un suelo en un surco que se cierra una distancia aproximada de 13 mm tras dejar caer la cuchara de Casagrande 25 veces desde una altura de 1 cm. El surco se realiza con un acanalador estandarizado. Cabe comentar que el ensayo se realiza aproximadamente con 100 g de muestra que previamente han pasado por el tamiz nº40 de la serie ASTM o 0,40 UNE y se mezcla con agua destilada. El límite líquido se suele representar con las letras LL (Geotecnia Facial, 2017).



Figura 13. Cuchara de casa grande
Fuente: (Geotecnia Facial, 2017)

2.3.10.2. Límite plástico.

El límite plástico se determina mediante la formación de pequeños cilindros en la palma de la mano sobre una superficie lisa de unos 3 mm de diámetro y 25-30 mm de longitud. En el momento en el que los pequeños elipsoides se cuarteán en trozos de

aproximadamente 6 mm se ha alcanzado la humedad del límite plástico. Al igual que en el ensayo del límite líquido, la muestra debe haber pasado por el tamiz n°40 ASTM o 0,4 UNE. Se suele representar con las siglas LP (Geotecnia Facial, 2017).



Figura 14. Limite plástico
Fuente: (Geotecnia Facial, 2017)

2.3.10.3. Carta de plasticidad.

Esta carta es utilizada sistemáticamente en la clasificación unificada de suelos. El límite líquido y límite plástico son determinados por medio de pruebas de laboratorio relativamente simples que proporcionan información sobre la naturaleza de los suelos arcillosos (cohesivos). Las pruebas son usadas ampliamente por ingenieros para correlacionar varios parámetros físicos del suelo, así como para la identificación del mismo (Geotecnia Online, 2020).

Casagrande (1932) estudió la relación del índice de plasticidad respecto al límite líquido de una amplia variedad de suelos naturales. Con base en los resultados de pruebas, propuso una carta de plasticidad, basada en los Límites de Atterberg. La característica importante de esta carta es la línea A empírica, dada por la ecuación: (Geotecnia Online, 2020).

$$\mathbf{PI = 0.73(LL - 20)}$$

La línea A separa la arcilla inorgánica del limo inorgánico. Norma ASTM D-2487

Gráfica de plasticidad del USCS

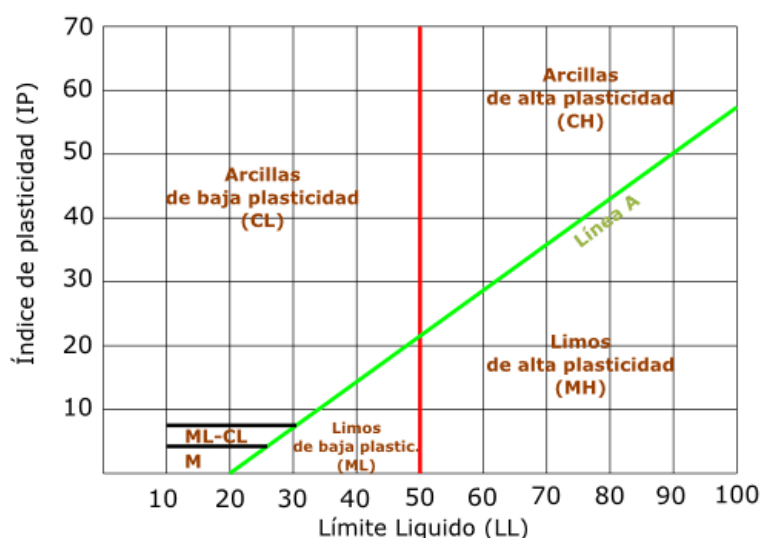


Figura 15. Carta de plasticidad

Fuente: (Geotecnia Online, 2020)

Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

2.3.10.4. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico de los suelos o granulometría de suelos es uno de los ensayos más básicos y sencillos para caracterizar un suelo, pero no por ello menos importante. De hecho, únicamente con este ensayo ya podemos aproximarnos a las características geotécnicas principales del suelo como por ejemplo la capacidad portante, deformabilidad o permeabilidad. En España se rige por la norma UNE 103101. Permite, junto con los límites de Atterberg y los ensayos de estado, identificar claramente un suelo. No obstante, estos ensayos nunca deben sustituir la testificación in situ por un geólogo experimentado. La granulometría por tamizado consiste en confeccionar la curva granulométrica de una muestra, la cual es representativa de la distribución de los tamaños de las partículas. Para ello se hace pasar una muestra ya sea inalterada o alterada por tamices o mallas por vía seca con diferentes aberturas, desde aberturas de 125 mm hasta aberturas de 0,075 mm (tamiz nº200). Para tamaños de partículas inferiores se emplea la granulometría por sedimentación mediante el higrómetro. Este ensayo es menos común que el anterior y normalmente se emplea en casos muy

específicos donde es necesario determinar el porcentaje de partículas finas (Geotecnia Facial, 2017).

2.3.10.4.1. Procedimiento granulometría por tamizado

De forma simplificada la granulometría se ejecuta de la siguiente forma. Primero se toma una cantidad representativa de muestra, se seca, se disgrega y se pesa el conjunto. Posteriormente se hace pasar por los diferentes tamices para granulometría de suelos dispuestos de mayor a menor abertura mediante agitación. Por último, se pesa el material retenido en cada tamiz, con lo que, conocido el peso inicial de la muestra, puede determinarse el porcentaje de material que queda retenido en cada tamiz. A partir de estos datos se confecciona la curva granulométrica tal y como puede verse en la siguiente imagen (Geotecnia Facial, 2017).

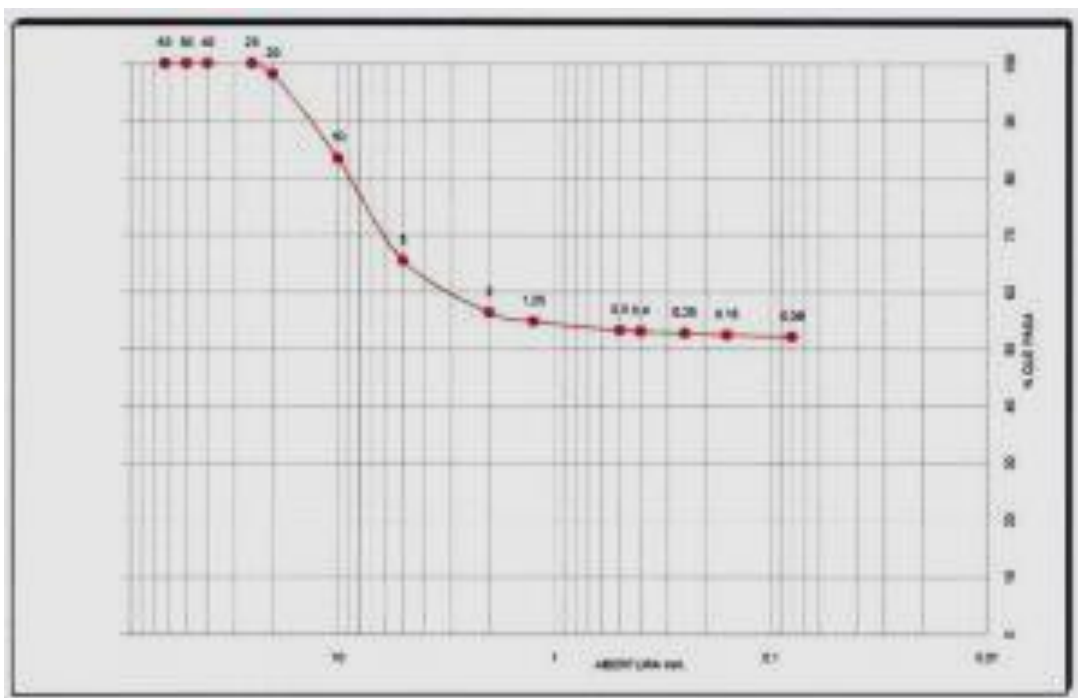


Figura 16. Curva granulométrica

Fuente: (Geotecnia Facial, 2017)

Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

2.3.10.4.2. Coeficiente de uniformidad c_u

Se define como la relación entre el diámetro correspondiente al 60% del peso del material y el diámetro por el que pasa el 10% del material: $c_u = d_{60}/d_{10}$. Si el coeficiente de uniformidad es menor de 5 la granulometría es uniforme, si está comprendido entre 5 y 20 el suelo es poco uniforme y si es mayor de 20 se trata de un suelo bien gradado (Geotecnia Facial, 2017).

2.3.10.4.3. Coeficiente de curvatura c_c

Se define como $c_c = ((D_{30})^2 / (D_{10} \cdot D_{60}))$ y mide el grado de curvatura de la granulometría (Geotecnia Facial, 2017).

Un suelo bien gradado tendrá un porcentaje en huecos menor y por tanto tendrá una densidad mayor, serán suelos menos compresibles, más impermeables y fáciles de trabajar en obra (Geotecnia Facial, 2017).

2.3.10.4.4. Contenido en finos

Como se ha comentado anteriormente, se define como el porcentaje que pasa el tamiz n°200 ASTM o 0,008 UNE y mide el contenido en finos, proporción de arcillas y limos. Nos indica el grado de retención de agua, cuanto mayor sea el valor, mayor será la dificultad de expulsar el agua bajo esfuerzos (comportamiento no drenado de los materiales) (Geotecnia Facial, 2017).

2.3.11. Descripción de los ensayos a realizar.

2.3.11.1. Ensayos de compactación: Proctor normal y Proctor modificado

La compactación de un suelo produce un incremento en la densidad del material y con ello tres beneficios importantes (Geotecniafacil.com, 2018).

- Reducción de la compresibilidad
- Incremento de la resistencia al corte

- Disminución de la permeabilidad

De este modo, la compactación de suelos es uno de los métodos más utilizados para mejorar las propiedades de un suelo y por ello es primordial conocer sus características de compactación y puesta en obra (Geotecniafacil.com, 2018).

Los ensayos de compactación Proctor Normal y Proctor Modificado son dos de los ensayos más utilizados en el estudio de compactación de suelos para la construcción de terraplenes y otras obras de tierra. Se rigen por las normas UNE o ASTM y son imprescindibles para caracterizar la puesta en obra de un material (Geotecniafacil.com, 2018).

- Proctor normal ASTM D-698 o UNE 103-500-94
- Proctor modificado ASTM D-1557 o UNE 103-501-94

Complementariamente, en el estudio de reutilización de suelos y su posible idoneidad para la compactación, se utiliza el ensayo CBR, granulometrías de suelos, límites de Atterberg, ensayos de colapso e hinchamiento libre entre otros ensayos de laboratorio de suelos (Geotecniafacil.com, 2018).

En primer lugar, describiremos como se ejecutan las distintas pruebas de compactación para seguidamente analizar los resultados que se obtienen e interpretar las diferentes curvas de compactación (Geotecniafacil.com, 2018).

2.3.11.1.1. Descripción Ensayo Proctor Estándar o Normal

El ensayo Proctor estándar persigue determinar la densidad seca máxima de un suelo y la humedad óptima necesaria para alcanzar esta densidad. Para ello se utiliza un molde cilíndrico de 1 litro de capacidad que se rellena con 3 capas de material debidamente compactadas mediante una maza estandarizada de 2,5 kg que se deja caer libremente una altura de 305 mm (Geotecniafacil.com, 2018).

El material a ensayar previamente se ha desecado y tamizado por el tamiz 20 mm UNE o el correspondiente ASTM y posteriormente humedecido con distintos valores de humedad, una por cada muestra necesaria (Geotecniafacil.com, 2018).

Para la compactación de cada capa de material se emplean 26 golpes de la maza distribuidos homogéneamente sobre la superficie del terreno. Las tres capas deben tener aproximadamente la misma altura de tierras (Geotecniafacil.com, 2018).

Una vez compactado el material, se enraza el molde y se mide la densidad y humedad de una muestra tomada del centro del molde (Geotecniafacil.com, 2018).

Se repite el proceso varias veces con distintos contenidos de humedad. La prueba de compactación Proctor Normal puede darse por finalizada cuando se obtienen 5 o 6 puntos que definen una curva que relaciona la densidad seca con la humedad (Geotecniafacil.com, 2018).

2.3.11.1.2. Descripción Ensayo Proctor Modificado

La prueba Proctor modificada es similar a la estándar, pero modificando tanto la capacidad del molde como la energía de compactación. En este caso se emplea un molde cilíndrico de 2.320 cm³ de capacidad y una maza de 4,535 kg que se deja caer desde una altura de 457 mm (Geotecniafacil.com, 2018).

En lugar de 3 capas, se compactan 5 capas de material dando 25 golpes por cada capa.

Igualmente se realizan varias medidas de humedad y densidad del interior del molde con distintos grados de humedad para trazar la curva Proctor y de este modo dar por concluida la prueba Proctor (Geotecniafacil.com, 2018).

Este ensayo requiere una energía de compactación mayor que el ensayo Proctor Normal y recrea, por tanto, unos medios de compactación más potentes y enérgicos (Geotecniafacil.com, 2018).

Este ensayo es frecuentemente empleado en el estudio de terraplenes de carreteras, líneas de ferrocarril o grandes presas mientras que el ensayo Proctor normal es empleado en estudios de compactaciones de menor entidad como rellenos de zanjas, vías de comunicación secundarias o el estudio de materiales arcillosos junto con el ensayo de compactación Harvard (Geotecniafacil.com, 2018).

2.3.11.1.3. Interpretación ensayos Proctor

El acta del ensayo Proctor debe proporcionar la densidad máxima seca, así como la humedad óptima y lo que es más importante la curva humedad – densidad seca con los valores de todos los puntos ensayados (Geotecniafacil.com, 2018).

Como datos complementarios debe proporcionar los datos específicos del molde, características de la masa, numero de capas, y golpes por capa (Geotecniafacil.com, 2018).

La curva densidad seca – humedad permite determinar las condiciones óptimas de compactación tal y como se muestra en la figura siguiente (Geotecniafacil.com, 2018).

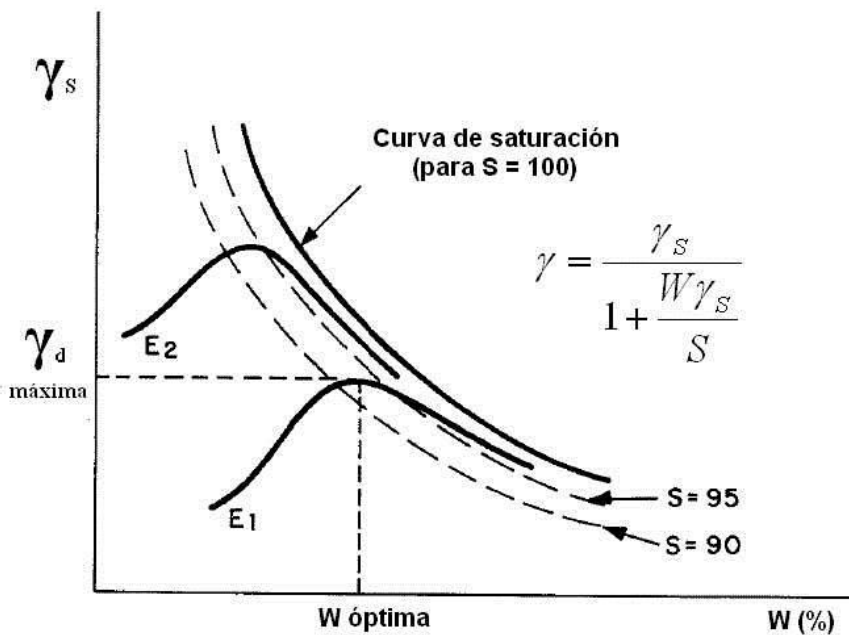


Figura 17. Curva de densidad seca
Fuente: (Geotecniafacil.com, 2018)
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

Curva de compactación. Imagen tomada de <https://www.cuvsi.com/2016/04/ensayo-proctor-de-un-suelo-practica.html>. Estas condiciones serían las ideales para alcanzar en obra y suele corresponderse con un grado de saturación correspondiente entre el 85 y el 90% (Geotecniafacil.com, 2018).

La línea que representa un grado de saturación del 100% es generalmente paralela a la línea de mayor humedad resultante del ensayo. Si se aumenta la energía de compactación se obtienen curvas similares, pero con un incremento en la densidad máxima y menor humedad óptima tal y como puede verse en el gráfico anterior (E1 y E2) (Geotecniafacil.com, 2018).

No obstante, la densidad máxima para un determinado grado de humedad no será nunca mayor que la correspondiente a la del suelo saturado, es decir, la curva de saturación ($S=100$) nunca será superada por ninguna curva de compactación independientemente de la energía empleada (Geotecniafacil.com, 2018).

2.3.11.2. Ensayo CBR

El ensayo CBR se emplea para evaluar la capacidad portante de terrenos compactados como terraplenes, capas de firme, explanadas, así como en la clasificación de terrenos. Las siglas CBR significan Californian Bearing Ratio y proviene que este ensayo fue desarrollado, antes de la segunda guerra mundial, por el Departamento de Transportes de California. La prueba CBR de suelos consiste básicamente en compactar un terreno en unos moldes normalizados, sumergirlos en agua y aplicar un punzonamiento sobre la superficie del terreno mediante un pistón normalizado (Geotecniafacil.com/, 2018).

Se rige por la norma ASTM 1883 o por la norma UNE 103502 entre otras.

A continuación, pasa a describirse los detalles del ensayo de CBR.

2.3.11.2.1. Procedimiento CBR suelos

La prueba del CBR consiste en determinar la carga que hay que aplicar a un pistón circular de 19,35 cm² para introducirlo en una muestra de suelo a una velocidad de 1,27 mm/min y hasta obtener una penetración de 2,54 mm (Geotecniafacil.com/, 2018).

A través de este procedimiento se determina lo que se llama el Índice CBR que es la relación entre la carga determinada y la que se obtiene por el mismo procedimiento para una muestra tipo de roca machacada. Se expresa en porcentaje (Geotecniafacil.com/, 2018).

El procedimiento de ejecución de la prueba CBR consta de los siguientes pasos:

Determinación de la humedad óptima y densidad máxima de las muestras de suelo mediante el ensayo Proctor modificado o normal (Geotecniafacil.com/, 2018).

Añadir agua a una muestra de suelo para alcanzar la humedad óptima.

Compactar la muestra en tres moldes CBR estandarizados de 15,24 cm de diámetro y 17,78 cm de altura. La muestra se compacta en 3 capas por molde siendo la energía de compactación de cada molde de 15, 30 o 60 golpes por capa mediante una maza de 2,5 kg que se deja caer libremente desde una altura de 305 mm (Geotecniafacil.com/, 2018)

Posteriormente se enraza el molde, se desmonta y se vuelve a montar invertido.

Se sumergen los moldes en agua (en algunas modalidades de ensayo no se sumerge la muestra (Geotecniafacil.com/, 2018).

Colocación de la placa perforada y el vástago, así como los pesos necesarios para calcular la sobrecarga calculada (Geotecniafacil.com/, 2018).

Colocar el trípode de medida sobre el borde del molde, coincidiendo el vástago del microcomparador (Geotecniafacil.com/, 2018).

Toma de medidas diarias del microcomparador durante al menos 4 días.

Sacar la muestra del agua, escurrir y secar exteriormente.

Aplicar la carga sobre el pistón de penetración mediante la prensa CBR y tomar las lecturas de la curva presión penetración (Geotecniafacil.com/, 2018).

Una vez finalizado el ensayo se debe presentar los resultados en una gráfica densidad seca – índice CBR similar a la mostrada a continuación. También conviene mostrar los datos de compactación, humedad, densidad, hinchamiento y absorción (Geotecniafacil.com/, 2018).

	1	2	3
Energía compactación (%)	100% (60 golpes)	50% (30 golpes)	25% (15 golpes)
Densidad (g/cm ³)	2,05 g/cm ³	1,97 g/cm ³	1,90 g/cm ³
Humedad (%)	6,9 %	6,6 %	6,6 %
Absorción (%)	3,8 %	3,9 %	4,2 %
Hinchamiento (%)	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Indice C.B.R.	28,7	18,6	11,6

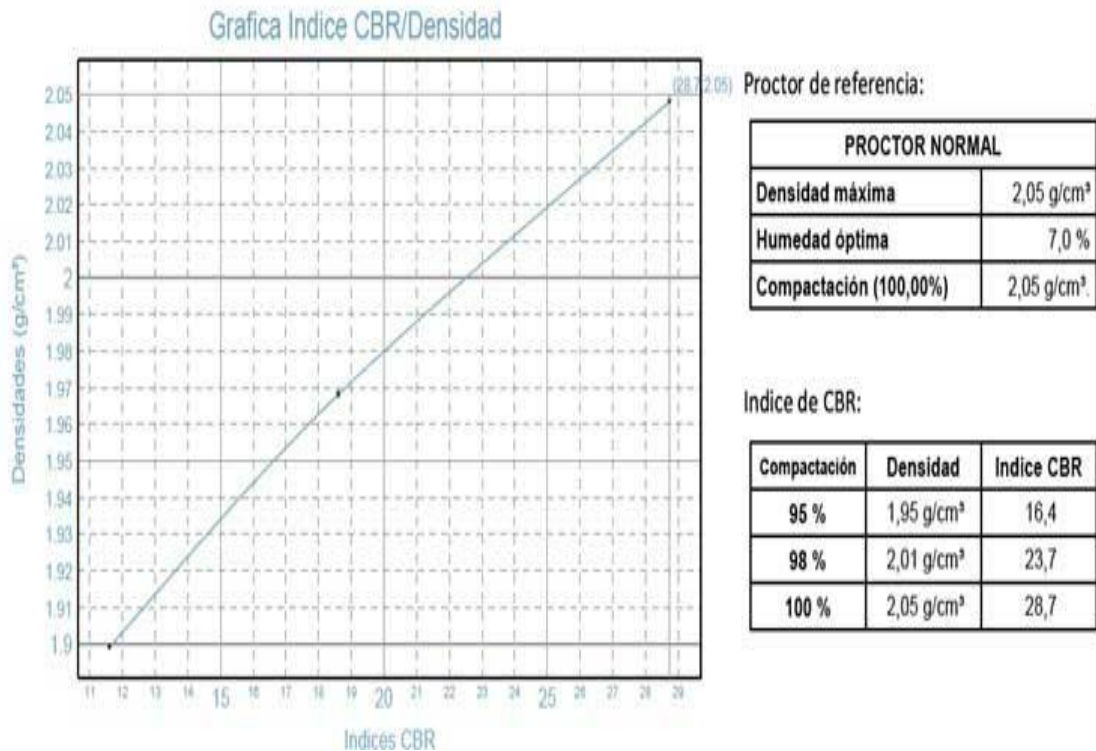


Figura 18. Grafica del C.B.R.

Fuente: (Geotecniafacil.com, 2018)

Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

Cabe comentar que el índice CBR no es una propiedad intrínseca del suelo si no que depende de las condiciones de humedad-densidad del suelo (Geotecniafacil.com/, 2018).

También puede calcularse el CBR in situ sobre el terreno natural o en laboratorio sobre muestras inalteradas.

No obstante, los resultados y valores CBR hay que tomarlos con cierta precaución puesto que es un ensayo que presenta cierta dispersión de resultados (al igual que el SPT), no refleja las condiciones a las que estará sometido el suelo y es una prueba poco fiable para suelos con CBR elevados (Geotecniafacil.com/, 2018).

A pesar de lo anterior es un ensayo muy habitual y suele correlacionarse con el módulo de elasticidad del suelo. A continuación, se presenta una de las relaciones más habituales (Geotecniafacil.com/, 2018).

$$E=65 \cdot (\text{CBR})^{0,65} \text{ (en Kp/cm}^2\text{)}$$

2.3.11.2.2. Densidad de campo.

La densidad es una medida del estado de empaquetamiento de las partículas del suelo y para esto la densidad seca es una de las medidas más apropiadas. La densidad de campo se realiza con el propósito de determinar las densidades húmeda y seca y, el contenido de humedad del suelo compactado, para luego ser comparado con densidad máxima del laboratorio con el propósito de determinar el grado de compactación (Laboratorio de mecanica de suelo, 2016).

2.3.11.2.3. Medición de la densidad de campo

- Monolito inalterado
- Método del globo de hule.
- Método del cilindro biselado.
- Cono y Arena.

- Densímetro Nuclear. Monolito inalterado

Se hace una pequeña calicata y se extrae una pequeña parte del material (suelos arcillosos), la muestra no se debe disgregar y conservar su densidad. Posteriormente, la muestra se pesa y se agrega la parafina, se determina el peso de la muestra más la parafina. Luego, se introduce en la balanza hidrostática y se determina el peso sumergido en agua (Laboratorio de mecánica de suelo, 2016).

Se conoce:

- El peso de la muestra = W_m
- El peso de la muestra más parafina = W_{m+p}
- El peso de la parafina: $W_p = W_{m+p} - W_m$
- Peso unitario de la parafina: $\gamma_p = 0,9 \text{ gr/cm}^3$.
- Volumen de La parafina: $V_p = W_p / \gamma_p$.
- El peso sumergido de la muestra más parafina: $W_{m+p}(\text{sumergido})$

$$V_{m+p} = W_{m+p} - W_{m+p}(\text{sumergido})$$

$$V_m = W_{m+p} - W_{m+p}(\text{sumergido}) - V_p$$

$$V_m = W_{m+p} - W_{m+p}(\text{sumergido}) - \underbrace{\frac{W_{m+p} - W_m}{\gamma_p}}_{V_p}$$

Figura 19. Fórmula para el volumen de la muestra

Fuente: (Laboratorio de mecánica de suelo, 2016)

Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

Donde:

V_m = Volumen de la muestra.

V_{m+p} = Volumen de la muestra más parafina.

2.3.11.3. Método de Cono y Arena:

El aparato del cono de arena consiste de un frasco de plástico o vidrio con un cono de metal unido a su parte superior. Placa base para su uso esto puede hacer más difícil la nivelación, pero permite en el ensayo abrir agujeros de diámetro mayores y puede reducir la pérdida de suelo al pasarlo del agujero de ensayo al recipiente. La arena de Ottawa es una arena limpia, seca, uniforme, no cementada, durable y que fluya libremente. Además, deberá tener un coeficiente de uniformidad (D_{60}/D_{10}) menor que 2 y no contiene partículas que queden retenidas en el tamiz de 2mm (N°20). Es una arena uniforme de forma redondeada a sub-redondeada (favorece que fluya libremente) y desprovista de partículas o arena fina (menores a 0,250 mm. tamiz N°60), para prevenir segregación en almacenamiento o uso, y cambios de peso unitario aparente como consecuencia de variaciones en la humedad atmosférica (Laboratorio de mecánica de suelo, 2016).

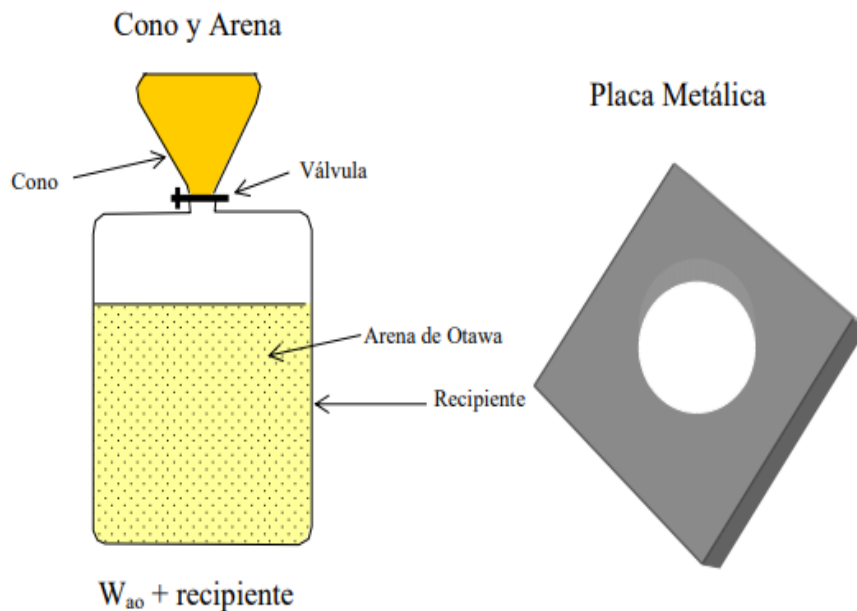


Figura 20. Implementos para la densidad de campo
Fuente: : (Laboratorio de mecánica de suelo, 2016)
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

2.3.11.4. Método del globo de hule:

El procedimiento es similar al del método del Cono de arena; se hace un hueco de prueba y se determinan el peso húmedo del suelo retirado del hueco y su contenido de agua. Sin embargo, el volumen del hueco se determina introduciendo a éste un globo de hule con agua de un recipiente calibrado, del cual el volumen se lee directamente (Laboratorio de mecánica de suelo, 2016).

El peso específico seco del suelo compactado se determina usando la ecuación:

$$\gamma_d = W/V$$

W = peso seco del suelo excavado del hueco (k)

V = volumen del hueco (m³).

2.3.11.5. Método del densímetro Nuclear (TROXLER):

Los medidores nucleares de densidad son ahora usados con frecuencia para determinar el peso específico seco compactado de suelo. Los densímetros nucleares operan en calicatas o desde la superficie del terreno. El aparato mide el peso específico húmedo por volumen unitario, el contenido de humedad, litros de agua por metro cúbico y el peso específico seco de suelo compactado. También es usado en la carpeta de rodamiento de pavimentos flexibles (mide densidad, y relación de vacíos) y en pavimentos rígidos (mide la densidad) (Laboratorio de mecánica de suelo, 2016).

2.3.11.5.1. Grado de compactación

Se debe cumplir el 95% de compactación en campo de lo que se compacte en el laboratorio (Laboratorio de mecánica de suelo, 2016).

$$C = \frac{\gamma_d \text{ en campo}}{\gamma_d \text{ máx-lab}} \cdot 100$$

Figura 21. Porcentaje de compactación

Fuente: : (Laboratorio de mecánica de suelo, 2016)

Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

2.4. Definición de términos

Geotextil: se pueden definir como un material textil plano, permeable y polimérico, que se emplea en contacto con suelos y otros materiales para aplicaciones geotécnicas en ingeniería civil.

Capacidad portante: Es la que permite calcular la presión máxima que puede darse al cimiento por unidad de longitud, sin provocar su falla, se expresa en unidades de presión. N_c , N_q y N_γ , son factores de capacidad de carga, función del ángulo de fricción interna del suelo ϕ .

Esfuerzo cortante: Es una fuerza interna que desarrolla el suelo, en respuesta a una fuerza cortante, y que es tangencial a la superficie sobre la que actúa.

Resistencia al esfuerzo cortante: Es la tensión que se desarrolla en el plano de corte y en el momento de la falla

Parámetro de resistencia al suelo: La cohesión y el ángulo de fricción son los parámetros de la resistencia cortante de un suelo y son determinados en el laboratorio principalmente con dos tipos de ensayo: LA PRUEBA DE CORTE DIRECTO Y LA PRUEBA TRIAXIAL.

Contenido de humedad: El contenido de humedad es la relación que existe entre el peso de agua contenida en la muestra en estado natural y el peso de la muestra después de ser secada en el horno a una temperatura entre los 105-110 C.

Límite líquido: Cuando el suelo pasa de un estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande.

Límite plástico: Cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.

Límite de contracción: Se define como el contenido de humedad al cual un material al ser secado cesa de perder volumen.

Ensayo de granulometría: El ensayo consiste en dividir y separar el material mediante una serie de tamices en varias fracciones granulométricas de tamaño decreciente. El método consiste en un lavado del árido y su posterior tamizado vía seca

Coefficiente de uniformidad: Se define como la relación entre el diámetro correspondiente al 60% del peso del material y el diámetro por el que pasa el 10% del material: $c_u = d_{60}/d_{10}$

Coefficiente de curvatura: Se define como la relación entre el diámetro correspondiente al 60% del peso del material y el diámetro por el que pasa el 10% del material: $C_u = d_{60}/d_{10}$.

Proctor: Es una herramienta muy útil para estudiar y controlar la calidad de la compactación de un terreno. Gracias a él hoy en día somos capaces de establecer la compactación máxima de un terreno en relación con su grado de humedad.

C.B.R.: El Ensayo CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad.

Expansión del suelo: Según el contenido de humedad, el suelo se expande o se contrae, Se produce un hinchamiento del suelo al aumentar la cantidad de agua y una

retracción del mismo cuando disminuye el tenor de agua. También, estos suelos expansivos se retraen y se producen desplazamiento de taludes

Densidad de campo: Este ensayo proporciona un medio para comparar las densidades secas en obras en construcción, con las obtenidas en el laboratorio

Grado de compactación: El grado de compactación es determinado por la razón entre la densidad seca del suelo y la densidad seca máxima obtenida a través de un ensayo proctor en un laboratorio.

Tipo esfuerzo: Las cargas que tienen que soportar las estructuras producen en sus elementos fuerzas que tratan de deformarlos denominadas esfuerzos. Hay 5 tipos de esfuerzos: compresión, tracción, flexión, torsión y cortante. Cuando las fuerzas tienden a chafarlo o aplastarlo.

Asentamiento del suelo: Es la deformación vertical en la superficie de un terreno proveniente de la aplicación de cargas o debido al peso propio de las capas

Asentamiento diferencial: Los asentamientos diferenciales son los movimientos o desplazamientos relativos de las diferentes partes de una estructura a causa de un asentamiento irregular de la misma, provocados por un desequilibrio de esfuerzos en el suelo.

2.5. Marco legal

En este estudio emplearemos los criterios emitidos por MTOP Ministerio de Transporte y Obras Publicas de acuerdo MOP - 001-F 2002 ESPECIFICACIONES GENERALES ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES en el capítulo 300 movimiento de tierra, donde se emiten los lineamientos en cuanto al uso, procedimientos de trabajos, tipo de materiales a emplearse, así mismo los ensayos será elaborados o realizados de acuerdo con las normas ASTM (American Society for Testing and Materials), la cual indica la manera adecuada del proceso que debe tener cada uno de ensayo que realizaremos para el tema de tesis.

2.5.1. Normas de los ensayos a estudiar

Todos los ensayos se los realiza, mediante sus normas respectivas como son la Norma A.S.T.M. (Asociación Americana de Ensayos de Materiales), AASHTO (La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes), NLT (No Less Than, no menor a) y INV (Instituto Nacional de Vías):

Toma de muestras superficiales de suelo inalterado **N.L.T. 203 - 77, INV E 112**

Contenido de humedad **A.S.T.M. D 2216, INV E 122**

Granulometría **A.S.T.M. D 422 - 77, INV E 123**

Limite Liquido **A.A.S.H.T.O. T 89, INV E 125**

Limite plástico **A.A.S.H.T.O. T 90, INV E 126**

También consideramos las normas **N.E.C. (Norma Ecuatoriana de la Construcción)**, en su capítulo NEC – SE – GC: Geotecnia y Cimentaciones, todas estas **NORMAS** estará en los anexos de este estudio.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Metodología de estudio.

Según Hernandez, Baptista, & Fernandez los proyectos de diseño experimental pueden ser una excelente manera de probar algo diferente. Son una excelente alternativa al trabajo diario habitual que se trata más de crear, pudiendo decir que es un estudio de tipo experimental si al final del mismo se ha identificado cambios entre las sustancias o variables unidas, cabe mencionar que la experimentación se puede realizar con cualquier tipo de sujetos, es decir animales, planta, objetos u otros materiales basándose en principios éticos, a fin de poder establecer el efecto que genera una causa expuesta o manipulada (Hernandez, Baptista, & Fernandez, 2015).

La investigación a más de ser experimental es de campo recibe este reconocimiento dado que se obtendrán calicatas a cielo abierto que servirán para modelar una carretera donde se probará el geotextil para comprobar su efectividad en la reducción de volúmenes de relleno.

El estudio es controlado debido a que se busca realizar una comparación entre los resultados que se obtienen de la no utilización de geotextil y la utilización de este, para lo cual se someten a situaciones representativas las variables que son manipuladas por los investigadores y poder determinar la existencia de correlación, para lo cual es indispensable el uso de laboratorios en donde se realizan pruebas que permitan identificar la clasificación, proctor, C.B.R. para obtener los resultados según los objetivos planteados (Hernandez, Baptista, & Fernandez, 2015).

3.2. Tipo de investigación.

De acuerdo al enfoque dado a la investigación esta es considerada como:

Investigación Exploratoria: El diseño de la investigación exploratoria no tiene como objetivo proporcionar las respuestas finales y concluyentes a las preguntas de la

investigación, sino que simplemente explora el tema de la investigación con diferentes niveles de profundidad. Se ha señalado que la investigación exploratoria es la investigación inicial, que forma la base de una investigación más concluyente. Incluso puede ayudar a determinar el diseño de muestreo y el método de recopilación de datos. La investigación exploratoria tiende a abordar nuevos problemas sobre los que se ha realizado poca o ninguna investigación previa.

Descriptiva: debido que a través de la misma permite conocer la realidad del fenómeno en estudio, es decir se busca identificar características o peculiaridades de los componentes del tema planteado para de esta forma identificar los métodos más adecuados a emplearse para el desarrollo de la investigación a razón de esto a este tipo de investigación también se la conoce como de diagnóstico ya que es a través de esta que los investigadores logran conocer de forma general y particular aspectos relacionados al tema planteado.

Investigación Explicativa:

El proceso de la investigación explicativa es aumentar la comprensión de un investigador sobre un tema determinado, este tipo de investigación también es conocido como causal es empleada para identificar el alcance y la naturaleza de las relaciones de causa y efecto, se emplea para poder determinar el impacto de los cambios realizados en procesos o normas ya existentes.

Se realizará una investigación del tipo descriptivo con enfoque cuantitativo, en donde se estudiará el tipo de geotextil adecuado según los ensayos del material arcilloso donde asentaría el geotextil esto depende del porcentaje del C.B.R. que tenga este material, y así poder determinar la diferencia de volumen de un relleno que es lo que se espera comprobar con el presente trabajo investigativo.

3.3. Enfoque

En esta investigación el enfoque es cuantitativo, dado que se realizará una amplia recolección, toma de información, datos y magnitudes numéricas entre las cuales

podemos determinar la resistencia del geotextil y su uso adecuado para el relleno al ser utilizado. Al final se medirán las variables y se analizarán los datos obtenidos en la investigación, todo este proceso se debe realizar de conformidad a lo establecido en las normas y procedimientos, sin relajar la observancia de las mismas, siguiendo un rígido proceso de toma de muestras.

3.4. Técnicas de la investigación.

Una vez determinado el geotextil apropiado se realizarán los estudios que nos permitirán recolectar, examinar la información de la muestra tomada en campo.

Las técnicas que se van a utilizar en esta investigación son los ensayos de correspondientes de laboratorio:

- Formato de laboratorio
- Ensayo de resistencia
- Ensayo de C.B.R.

Los instrumentos utilizados en la investigación son:

- Laboratorio de mecánica de suelo y concreto
- Equipo de laboratorio
- Formatos de laboratorio
- Fichas de observación

Para esta investigación, la primera etapa sería la ubicación de un suelo blando con baja resistencia portante y que presente desperdicio de material al ser relleno.

Luego se tomaron muestras para saber las propiedades del material existente en sitio, lo cual nos permitió escoger el material de relleno.

La siguiente etapa se procedió escoger el tipo de geotextil más útil bajo las características que se presentó en el suelo.

Luego de escoger el geotextil adecuado para este terreno y para las condiciones requeridas, se procedió a la colocación del mismo. En la última etapa se procedió a realizar la toma de muestras y los ensayos requeridos por la norma de acuerdo con el cronograma planteado.

3.5. Población

Para la realización de la encuesta es necesario obtener datos estadísticos actuales de la población en el entorno a desarrollar el proyecto, además que dicha encuesta servirá para dar información sobre el tema de la investigación en general a la población, su posible aceptación al mismo y su posible preferencia en relación con los métodos actuales.

Cabe recalcar que dicha encuesta también nos servirá como punto de inicio de la investigación y su justificación para la realización del mismo. Según proyecciones estadísticas del INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) en la ciudad de Nobol existe una población actual de 19,600 habitantes de los cuales en el último censo del año 2010 el 49,1 % son mujeres y el 50,3 % son hombres.

Para la realización del trabajo de campo y los análisis del suelo que se encontró en sitio, se lo llevo a cabo en un tramo de la vía Nobol a Daule, para posteriormente ser llevados al laboratorio de suelo.

3.6. Validez y confiabilidad

3.6.1. Validez

“La validez, en términos generales, se refiere al índice en que un instrumento mide realmente la variable que pretende medir” (Hernandez, 2014).

El nivel de confianza determinado para el estudio es del 100% debido a que los instrumentos empleados para la realización de los ensayos han sido calibrados y acreditados por la Universidad de Guayaquil.

3.6.2. Confiabilidad

Para lograr determinar la confiabilidad de un equipo esta depende del resultado que se haya obtenido durante la realización de la misma prueba en varias ocasiones (Hernandez, 2014).

Se garantiza que los resultados obtenidos durante la realización de los ensayos son confiables dado que se emplean equipos pertenecientes a la Universidad de Guayaquil, de la facultad de Ingeniería Civil en el laboratorio Ruffini.

3.7. Análisis de resultados.

El análisis consiste básicamente en dar respuesta a los objetivos o hipótesis planteadas a partir de las mediciones efectuadas y los datos resultantes. Para plantear el análisis es conveniente plantear un plan de análisis o lo que se conoce como un plan de explotación de datos. En él se suele detallar de manera flexible cómo proceder al enfrentarse a los datos, cuáles serán las principales líneas de análisis, qué orden a seguir, y qué tipo de pruebas o técnicas de análisis aplicar sobre los datos (Técnicas de investigación social, 2017).

Los análisis a realizar serán los estipulados para este tipo de diseño de acuerdo con las normas respectivas, de la misma manera se obtendrá y evaluará la diferencia entre los análisis realizados a los dos rellenos uno sin geotextil y el otro considerando geotextil para determinar su cambio de volumen entre ambos rellenos.

CAPÍTULO IV

4. PROPUESTA

Por lo acontecido a nivel mundial, el Ecuador se vio afectado por la pandemia COVID 19, el proyecto de investigación tuvo ciertas limitaciones para su elaboración, principalmente en los estudios de los ensayos y ubicación del sitio a realizar la excavación, debido a las medidas tomadas para combatir ésta pandemia como es el estado de excepción, no se contó con los equipos necesarios y un lugar adecuado para su elaboración, posterior fue identificado un sitio que sus características de estrato son las requeridas para el estudio y así obtener datos que contribuyan a demostrar la reducción de volumen del relleno que tendría al utilizar el geotextil.

4.1. Desarrollo experimental

Una vez fue identificado el sitio que cumplen con las características requeridas para las pruebas fue llevado a cabo la excavación y ejecución de los ensayos respectivos para disponer la geotextil según las normas y recomendaciones emitidas para este tipo de material.

4.2. Investigación de campo.

La muestra tomada de la excavación y el material de préstamo para relleno fueron llevadas para los ensayos respectivos a realizar se ejecutaron de acuerdo con las Norma ASTM respectivas y siguiendo las Especificaciones del MTOP para determinar la clasificación de estos suelos y su utilización en la reducción del volumen al utilizar el geotextil.

4.3. Realización de los ensayos.

Para determinar el uso adecuado del geotextil, fueron realizados ensayos para establecer su clasificación, su densidad y el porcentaje de C.B.R., para definir el tipo de geotextil recomendable según el análisis de los ensayos del laboratorio de suelo acorde a las normas ASTM, y las recomendaciones del Ministerio de Trabajo y Obras Públicas.

A continuación, se exponen los trabajos y ensayos realizados.



Figura 22. Excavación
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)



Figura 23. Preparación del Geotextil
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)



Figura 24. Relleno con material de mejoramiento
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)



Figura 25. Relleno sin geotextil
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)



Figura 26. Relleno
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)



Figura 27. Reconformación
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)



Figura 28. Compactación
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)



Figura 29. Densidad con cono y arena
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)



Figura 30. Preparación del material
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)



Figura 31. Ensayo Proctor
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)



Figura 32. Hinchamiento lectura
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)




Figura 33. Hinchamiento Lectura
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)



Figura 34. Ensayo de penetración C.B.R.
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

4.3.1. Ensayos material existente.

GONZALO VELASCO INGENIERO CIVIL		REGISTRO DE ENSAYOS				
ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN PARA PROPÓSITOS DE INGENIERÍA (SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS) SUCS						
NORMAS ASTM D 2487, D 2216, D 4318, D 422						
Marzo - 2008						
PROYECTO:	Estudio a nivel de prefactibilidad, explorativa y diagnóstica en la reducción de volúmenes de relleno utilizando geotextil en carreteras.		CALICATA:	1		
UBICACIÓN:			MUESTRA:	1		
FECHA DE TOMA:	3-Ago-20		PROFUND (m):	0,00 - 0,10		
			FECHA ENSAYO:	4-Ago-20		
Valor de:	P. Húmedo + cápsula	P. Seco + cápsula	Peso cápsula	W%	Resultados	
1. Contenido de agua	4,186.00	4,056.00	354.00	3.51	4	
2. Limite Líquido	NO PLASTICC				NP	
3. Limite Plástico	NO PLASTICC				NP	
4. Granulometría			5. Resumen			
Peso Inic. Húm. =		3,832.00		% de Grava =	63	
Peso inicial seco para cálculos:		3,702.00		% de Arena =	29	
Tamiz	Pes. Ret. parcial	% Retenido acumulado	% que pasa	Mejoramiento rango %	L. Líquido LL =	
4"				100	0	
2"					L. Plástico LP =	
1 1/2"					0	
1"					Indice Plástico IP =	
3/4"					0	
3/8"					% Humedad w =	
No. 4	2,318.00	62.61	37.39		4	
No. 10					6. Clasificación	
No. 40					SUCS:	GP/GM
No. 200	1,056.00	91.14	8.86	0 - 20	AASHTO:	A-1-a
					IG(86):	0
					IG(45):	0
7. Descripción: Grava arenosa mal graduada con finos limosos, color gris						
8. Observación:						
Emite:			Aprueba:			
 Laboratorista			Jefe de Laboratorio			

Ensayo de clasificación.

Figura 35. Ensayo de clasificación
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

PROYECTO: Estudio a nivel de prefactibilidad, explorativa y diagnóstica en la reducción de volúmenes de relleno utilizando geotextil en carreteras. CALICATA: 1

UBICACIÓN: MUESTRA: 1

FECHA DE TOMA: 3-Ago-20 PROFUND (m): 0.10 - 1.50

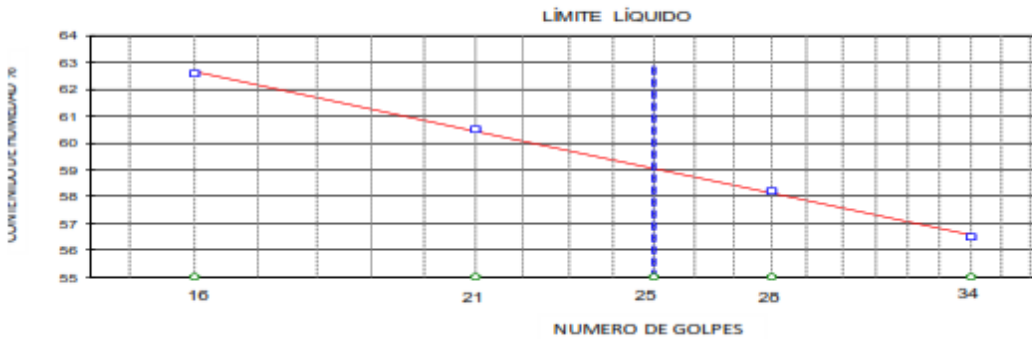
FECHA ENSAYO: 4-Ago-20

ESPECIFICACIONES PARA MEJORAMIENTO: Límite Líquido ≤ 36 Índice de Plasticidad ≤ 9

Valor de:	P. Húmedo + cápsula	P. Seco + cápsula	Peso cápsula	W%
1. Contenido de agua	2,556.00	2,067.00	392.00	29.19
	Golpes			
	34	22.37	17.31	56.47
	25	15.69	14.54	55.20
2. Límite Líquido	21	20.15	15.52	60.52
	16	15.69	13.59	62.55
3. Límite Plástico		13.25	11.90	7.45
		13.12	11.71	7.00
		13.09	11.75	7.25

4. Granulometría					5. Resumen	
Peso Inicial húmedo para cálculos =	2,164.00				% de Grava =	0
Peso Inicial seco para cálculos =	1,675.00				% de Arena =	22
					% de Finos =	78
					Límite Líquido LL =	59
					Límite Plástico LP =	30
					Índice Plástico IP =	29
					% Humedad w =	29
					6. Clasificación	
					SUCS:	CH
					AASHTO:	A-7-6
					IG(55):	25
					IG(45):	19

7. Descripción: Arcilla limosa color negra con pintas café



8. Observaciones:

Emite:

Aprueba:

Laboratorista

Jefe de Laboratorio

Ensayo de Clasificación.

Figura 36. Ensayo de clasificación
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

GONZALO VELASCO INGENIERO CIVIL		CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO DE SUELOS USANDO ESFUERZO MODIFICADO (56.000 pie-lbf/pie ³ (2.700 kN/m ³))								
ASTM D 1557										
PROYECTO:	Estudio a nivel de prefactibilidad, explorativa y diagnostica en la reducción de volúmenes de relleno utilizando geotextil en carreteras.					CALICATA:	1			
UBICACIÓN:						MUESTRA:	1			
FECHA TOMA:	3-Ago-20					PROFUND (m):	0,10 - 1,80			
						FECHA ENSAYO:	5-Ago-20			
1. Norma y ensayo:	Procedimiento A					2. Datos del molde:				
Golpe/capa:	25					Díametro:	10,16 cm.			
No. De capas:	5					Volumen:	936 cm ³			
Material pasa el tamiz:	# 4					Peso:	4,215 gr			
Peso del martillo:	4,5 kg.					3. Descripción/SUCS:	Arcillalimosa negra conpintas café			
Altura de caída:	45,7 cm.						CH			
4. Datos para la curva:										
Punto No.	1	2	3	4	5					
Peso suelo+molde	5,605	5,782	5,895	5,944	5,892					
Peso suelo	1,390	1,567	1,680	1,729	1,677					
Densidad húmeda	1,464	1,673	1,794	1,846	1,791					
5. Contenidos de agua:										
P. Suelo hum+cap	142,50	142,50	136,43	136,43	144,96	144,96	141,66	141,66	165,27	165,27
P. Suelo seco+cap	130,66	130,66	123,10	123,10	125,20	125,20	116,21	116,21	146,30	146,30
P. Cápsula	31,62	31,62	30,32	30,32	30,99	30,99	31,66	31,66	31,74	31,74
W (%)	11,73	11,73	16,52	16,52	21,00	21,00	27,35	27,35	31,72	31,72
W Promedio (%)	11,73		16,52		21,00		27,35		31,72	
Peso Unit. Seco	1,329		1,436		1,483		1,450		1,360	
6. Resultados:						Peso unitario seco =	1,485 kg/m ³			
						Contenido de agua óptimo =	22,3 %			
Curva de Compactación										
Calculado por :					Verificado por :					
Ensayo proctor.										

Figura 37. Ensayo Proctor
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

GONZALO VELASCO
INGENIERO CIVIL

PROYECTO : Estudio a nivel de prefactibilidad, explorativa y diagnostica en la
reducción de volúmenes de relleno utilizando geotextil en carreteras.

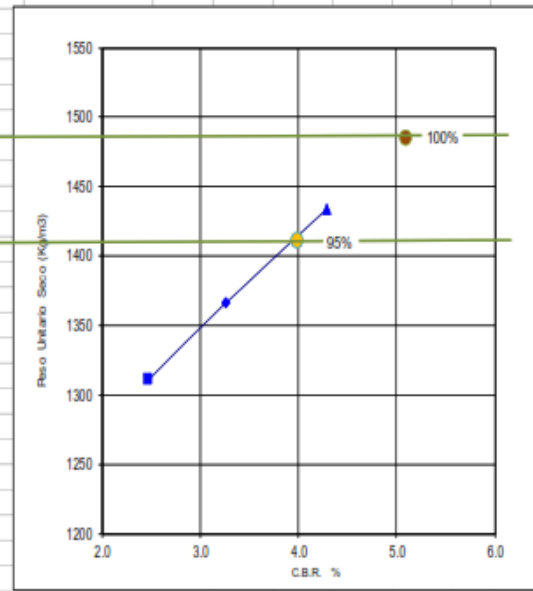
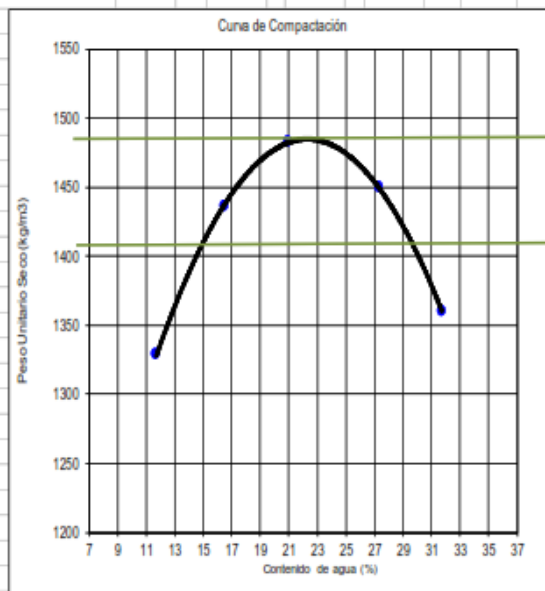
Calicata : 1
Muestra : 2

Fecha : 9/08/2020
Abscisa :

w Promedio (%)	11.73	16.52	21.00	27.35	31.72
Peso Unit. Seco Kg/m ³	1,329	1,436	1,483	1,450	1,380

Numero de Golpes	12	25	56	95%	100%
Peso Unit. Seco Kg/m ³	1,310	1,366	1,434	1,411	1,485
C.B.R. (%)	2.47	3.26	4.29	3.99	5.10

Resultados: ASTM D 1557
Peso unitario seco = 1,485 kg/m³
Contenido de agua óptimo = 22.3 %



Gonzalo Velasco

Calculado por

Verificado por :

Ensayo C.B.R.

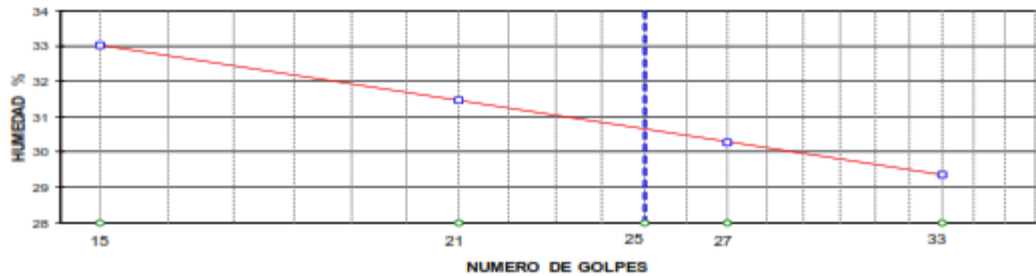
Figura 38. Ensayo C.B.R.

Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

4.3.2. Ensayo material de mejoramiento.

GONZALO VELASCO INGENIERO CIVIL		REGISTRO DE ENSAYOS			
ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN PARA PROPÓSITOS DE INGENIERÍA (SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS) SUCS					
NORMAS ASTM D 2487, D 2216, D 4316, D 422					
Marzo - 2008					
PROYECTO:	Estudio a nivel de prefactibilidad, explorativa y diagnostica en la reducción de volúmenes de relleno utilizando geotextil en carreteras.			SONDEO:	1
FECHA DE TOMA:	10-Ago-20			MUESTRA:	1
				PROFUND (m):	
				FECHA ENSAYO:	11-Ago-20
Valor de:	P. Húmedo + cápsula	P. Seco + cápsula	Peso cápsula	W%	Resultados
	7,157.00	6,725.00	336.00	7.23	7
Golpes					
	33	19.02	16.10	6.15	29.35
	27	20.06	17.21	7.79	30.25
2. Límite Líquido	21	18.49	15.51	6.04	31.47
	15	17.74	14.92	6.35	33.02
		13.70	12.46	7.13	22.60
3. Límite Plástico		13.02	11.95	7.26	22.03
		13.99	12.75	7.14	22.10
4. Granulometría	5. Resumen				
Peso inicial húmedo para cálculos =	6,551.00		% de Grava = 66		
Peso inicial seco para cálculos =	6,359.00		% de Arena = 24		
			% de Finos = 11		
			Límite Líquido LL = 31		
			Límite Plástico LP = 22		
			Índice Plástico IP = 8		
			% Humedad w = 7		
			6. Clasificación		
			SUCS: GP/GC		
			AASHTO: A-2-4		
			IG(66): 0		
			IG(45): 0		
7. Descripción:	Grava arenosa arcillosa, color café claro				
8. Observación:	Cumple las ESPECIFICACIONES para ser utilizado como material de MEJORAMIENTO				

LÍMITE LÍQUIDO



Emite:

Aprueba:

Laboratorista

Jefe de Laboratorio

Ensayo de clasificación.

Figura 39. Ensayo clasificación
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

GONZALO VELASCO INGENIERO CIVIL		REGISTRO DE ENSAYOS CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO DE SUELOS USANDO ESFUERZO MODIFICADO (56.000 pie-lbf/pie ³ (2.700 kN/m ³))								
		ASTM D 1557				VERSION 1 - MARZO-2008				
PROYECTO:	Estudio a nivel de prefactibilidad, explorativa y diagnostica en la reducción de volúmenes de relleno utilizando geotextil en carreteras.					CALICATA:	1			
FECHA TOMA:	10-Ago-20					MUESTRA:	1			
						PROFUND (m):				
						FECHA ENSAYO:	11-Ago-20			
1. Norma y ensayo:	Procedimiento C					2. Datos del molde:				
Golpe/capa:	56					Diámetro:	15.20 cm.			
No. De capas:	5					Volumen:	2,104.92 cm ³			
Material pasa el tamiz:	3/4					Peso:	5,405 gr			
Peso del martillo:	4.5 kg.					3. Descripción/SUCS:	Grava arenosa arcillosa, color café claro . GP/GC			
Altura de caída:	45.7 cm.									
4. Datos para la curva:										
Punto No.	1	2	3	4	5					
Peso suelo+molde	9,615	9,578	10,064	10,115	10,032					
Peso suelo	4,210	4,473	4,659	4,710	4,627					
Densidad húmeda	2,000	2,125	2,213	2,238	2,198					
5. Contenidos de agua:										
P. Suelo hum+cap	166.58	166.58	167.24	167.24	154.18	154.18	157.81	157.81	151.11	151.11
P. Suelo seco+cap	175.25	175.25	154.68	154.68	140.37	140.37	140.88	140.88	133.00	133.00
P. Cápsula	31.20	31.20	30.53	30.53	31.82	31.82	30.50	30.50	31.74	31.74
w (%)	7.87	7.87	10.12	10.12	12.72	12.72	15.34	15.34	17.88	17.88
w Promedio (%)	7.87		10.12		12.72		15.34		17.88	
Peso Unit. Seco	1,854		1,930		1,964		1,940		1,865	
6. Resultados:						Peso unitario seco =	1,964		kg/m ³	
						Contenido de agua óptimo =	13.0		%	
Curva de Compactación										
Emite:						Aprueba:				
	Laboratorista					Jefe de Laboratorio				

Ensayo proctor.

Figura 40. Ensayo Proctor

Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

GONZALO VELASCO
INGENIERO CIVIL

PROYECTO : Estudio a nivel de prefactibilidad, explorativa y diagnostica en la
reducción de volúmenes de relleno utilizando geotextil en carreteras.

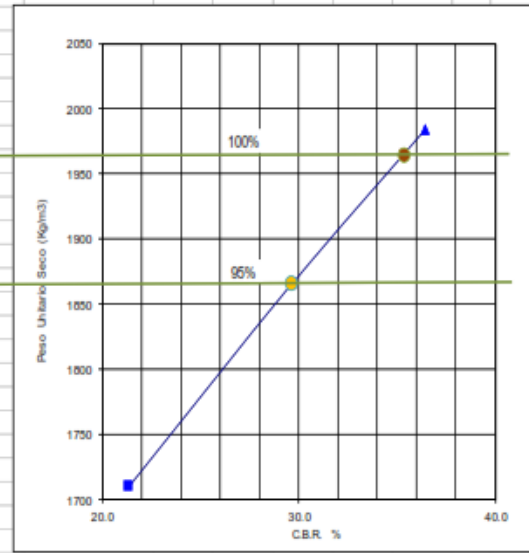
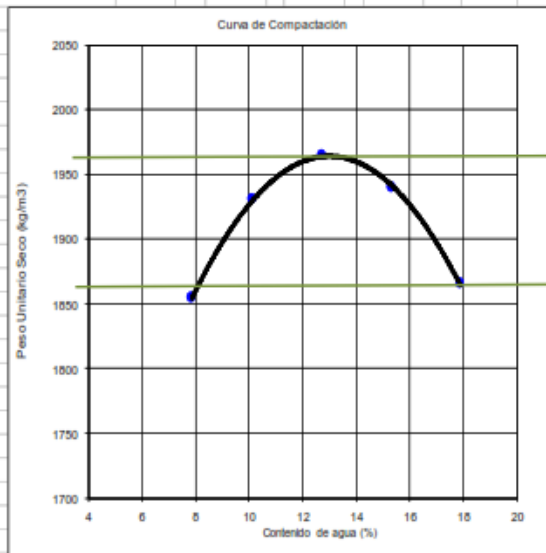
Calicata : 1
Muestra : 1

Fecha : 15/08/2020
Abscisa :

w Promedio (%)	7.87	10.12	12.72	15.34	17.88
Peso Unif. Seco Kg/m ³	1,854	1,930	1,964	1,940	1,865

Numero de Golpes	12	25	56	95%	100%
Peso Unif. Seco Kg/m ³	1,710	1,865	1,964	1,866	1,964
C.B.R. (%)	21.39	29.64	36.42	29.63	35.39

Resultados: ASTM D 1557
Peso unitario seco = 1,964 kg/m³
Contenido de agua óptimo = 13.0 %



Gonzalo Velasco R

Calculado por

Verificado por :

Ensayo C.B.R.

Figura 41. Ensayo C.B.R.

Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

4.3.3. Interpretación de los ensayos de Proctor y C.B.R.

El ensayo de proctor determina la densidad máxima y humedad óptima que tiene el estrato donde se va a asentar el geotextil los resultados es densidad 1,485 Kg/m³ humedad óptima 22.3 %, con estos valores obtenidos se realiza el ensayo del C:B:R. el cual consiste en realizar tres moldes a diferentes energías o número de golpes que son de 56 , 25, y 12 (golpes con el martillo como fue explicado en la unidad 2), por norma la humedad óptima no debe variar en un 0.5 % , si no se cumple con esto el ensayo debe

repetirse, este ensayo consiste en 4 días de inmersión para obtener la expansión o hinchamiento de la muestra la misma que está en un 2% dentro del rango permitido en el libro del MTOP, el resultado del C.B.R. arroja un valor de 3.99% el cual permite utilizar el geotextil, el ensayo de proctor y C.B.R. a este material arcilloso es solo para determinar el tipo de geosintéticos que debería colocarse.

Adicionalmente fue realizado el ensayo de clasificación y proctor al material de mejoramiento destinado para el relleno, obteniendo una densidad 1,964 Kg/m³ y humedad optima 13%, con este valor de densidad es controlable el ensayo de compactación que es realizado a cada capa de relleno.

4.3.4. Ensayos de compactación cono y arena

GONZALO VELASCO INGENIERO CIVIL		REGISTRO DE ENSAYOS					
ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO METODO CONO Y ARENA		VERSION 1 Julio - 2010					
Proyecto:	Estudio a nivel de prefactibilidad, explorativa y diagnostica en la reducción de volúmenes de relleno utilizando geotextil en carreteras.	Material:	Mejoramiento				
Localización:		Capa No.:					
		Fecha:	17/5/2020				
PUNTO CHEQUEADO		1	2	3	4	5	6
LOCALIZACION		prime capa 0.00 - 0.90		segunda capa 0.90 - 0.90		tercera capa 0.90 - 1.30	
PROFUNDIDAD DESDE RASANTE		0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
PESO DE LA BANDEJA CON SUELO HUMEDO	grs.	2451	3039	2659	2451	3039	2759
PESO DE LA BANDEJA	grs.	6.26	6.26	6.26	6.26	6.26	6.26
PESO DEL SUELO HUMEDO (A)	grs.	2444.74	3032.74	2652.74	2444.74	3032.74	2752.74
PESO DEL APARATO CON LA ARENA (ANTES)	grs.	5000	5000	5000	5000	5000	5000
PESO DEL APARATO CON LA ARENA (DESPUES)	grs.	1943	1606	1649	1932	1554	1733
PESO DE LA ARENA USADA (B)	grs.	3057	3394	3351	3066	3446	3267
PESO DE LA ARENA DEL CONO Y PLATA (C)	grs.	1475	1475	1475	1475	1475	1485
PESO DE LA ARENA DEL HUECO D = (B - C)	grs.	1582	1919	1676	1593	1971	1782
PESO DE 1 cm3 DE ARENA E		1.401	1.401	1.401	1.401	1.401	1.401
VOLUMEN DEL HUECO F = (D/E)	Cm3	1129.19	1369.74	1339.04	1137.044966	1406.652246	1271.946606
DENSIDAD HUMEDA DEL SUELO G	Kg/m3	2166.03	2214.11	2130.43	2150.06	2155.69	2164.19
RECIPIENTE		p2	P	A	t	ii	I
PESO DEL RECIPIENTE CON SUELO HUMEDO	grs.	200.3	266.33	366.71	196.77	230.65	210.54
PESO DEL RECIPIENTE CON SUELO SECO	grs.	176.54	256.97	329.67	176.4	204.6	167.44
PESO DEL RECIPIENTE		12.51	37.22	37.62	12.54	11.76	12.76
PESO DE AGUA	grs.	21.76	31.36	36.64	22.37	25.66	23.1
PESO DEL SUELO SECO	grs.	166.03	219.75	292.25	163.66	193.02	174.66
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	13.11	14.27	12.61	13.66	13.39	13.22
DENSIDAD SECA DEL SUELO	Kg/m	1914.16	1937.60	1891.94	1891.61	1901.09	1911.42
DENSIDAD SECA PROCTOR	Kg/m3	1964	1964	1964	1964	1964	1964
GRADO DE COMPACTACION	%	97.46	96.66	96.33	96.32	96.60	97.32

Ensayo de densidad de campo.

Figura 42. Ensayo de densidad de campo
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

GONZALO VELASCO INGENIERO CIVIL		REGISTRO DE ENSAYO					
		ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO METODO CONO Y ARENA					
		VERSION 1 Julio - 2010					
Proyecto:	Estudio a nivel de prefactibilidad, explorativa y diagnostica en la reducción de volúmenes de relleno utilizando geotextil en carreteras.	Material :	Mejoramiento				
Localización :		Capa No.:					
		Fecha :	17/8/2020				
PUNTO CHEQUEADO		1	2	3	4	5	6
LOCALIZACION		prime capa 1.30 - 1.80					
PROFUNDIDAD DESDE RASANTE		0.15	0.15				
PESO DE LA BANDEJA CON SUELO HUMEDO grs.		2743	2654				
PESO DE LA BANDEJA grs.		6.26	6.26				
PESO DEL SUELO HUMEDO (A) grs.		2736.74	2677.74				
PESO DEL APARATO CON LA ARENA (ANTES) grs.		5000	5000				
PESO DEL APARATO CON LA ARENA (DESPUES) grs.		1743	1806				
PESO DE LA ARENA USADA (B) grs.		3257	3194				
PESO DE LA ARENA DEL CONO Y PLATA (C) grs.		1475	1475				
PESO DE LA ARENA DEL HUECO D = (B - C) grs.		1782	1719				
PESO DE 1 cm3 DE ARENA E		1.401	1.401				
VOLUMEN DEL HUECO F = (D/E) Cm3		1271.95	1226.96				
DENSIDAD HUNEDA DEL SUELO G Kg/m3		2151.61	2162.36				
RECIPIENTE		A	V				
PESO DEL RECIPIENTE CON SUELO HUMEDO grs.		229.56	265.43				
PESO DEL RECIPIENTE CON SUELO SECO grs.		204.65	234.97				
PESO DEL RECIPIENTE		13.42	13.76				
PESO DE AGUA grs.		24.91	30.46				
PESO DEL SUELO SECO grs.		191.23	221.21				
CONTENIDO DE HUMEDAD %		13.03	13.77				
DENSIDAD SECA DEL SUELO Kg/m		1903.64	1915.24				
DENSIDAD SECA PROCTOR Kg/m3		1964	1964				
GRADO DE COMPACTACION %		96.93	97.67				

Ensayo de densidad de campo.

Figura 43. Ensayo de densidad de campo
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

4.4. Análisis del proceso de los ensayos y trabajos en sitio.

Se realizó un ensayo de toma de muestra a cielo abierto (calicata), la cual obtuvimos dos tipos de estratos:

- a 0.10 metros, grava arenosa limosa mal gradada color gris. Sucs GP/GM.
- 0.10 a 1.80 metros, arcilla limosa negra con pintas café. Sucs CH.

Al material arcilloso se procede a realizar los ensayos de proctor y C.B.R., con este ensayo se determina qué tipo de material sintético se utilizaría, para emplear el geotextil es necesario que el material donde va a estar asentado debe tener un porcentaje de C.B.R. mayor al 3 %, si es menor se tendría que utilizar geomalla, el C.B.R. de la arcilla limosa negra dio un valor de: 3.99 al 95% y 5.10 al 100% de compactación, con estos valores se ha determinado el tipo de geosintético a utilizar en el proyecto, de acuerdo a los resultados el GEOTEXTIL TEJIDO 2400 (3,81 X 109,73) es el más adecuado, PAVCO, la finalidad de utilizar el geotextil es evitar que los finos se pierdan al tener contacto con un material blando y estar expuesto al nivel freático con este material se evita la pérdida de este material. .

Adicionalmente se efectúa análisis del material de mejoramiento a emplearse para el relleno, los ensayos que se le realizo al material de mejoramiento son de clasificación, proctor y C.B.R., los espesores de las capas serán de 0.40 a 0.50mt. Cada capa será compactada y se le tomara densidad de campo, se realizara 2 excavaciones de 3.00 X 3,50 metros con una altura de 1.80 m, una se lo rellenará sin geotextil y el otro colocando geotextil, estos volúmenes se analizan de acuerdo con la cantidad de material que ingrese en cada cajera, tomando en cuenta el número de volquetas que se utilizaría en cada cajera, cada volqueta es de 8 m³, presentamos el cuadro de volumen de relleno realizado para el estudio.

Descripción	Largo m	Ancho m	Altura m	Volumen suelto m ³	Esponjamiento %	Volumen compactado m ³	Volumen de volqueta a 8 m ³	Reducción de volumen
								%
Material de mejoramiento o con geotextil	3,5	3	1,8	18,9	0,25	24	3	12
Material de mejoramiento o sin geotextil	3,5	3	2,1	22,05	0,25	28	3,5	0

Figura 44. Cuadro de cálculo de volúmenes
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

Analizado el cuadro de volúmenes se observa la diferencia que, utilizando geotextil, se obtiene un volumen compactado en la cajera a nivel del proyecto de 24 m³ y sin geotextil un volumen compactado de 28 m³, una diferencia de 4 m³ tomando como referencia el número de viajes de la volqueta podremos determinar el hundimiento que ha tenido el material al estar en contacto directo con el material arcilloso blando, el hundimiento o desplazamiento alcanzado es de 34 cm.

Para tener un concepto claro del funcionamiento del geotextil como separación en las capas granulares, se hace una descripción del proceso que se desarrolla entre dos materiales de diferentes características y comportamiento, y de cómo el geotextil se convierte en una barrera que permite mantener la integridad y el buen funcionamiento de los materiales, mejorando la resistencia y estabilidad de la estructura de la vía.

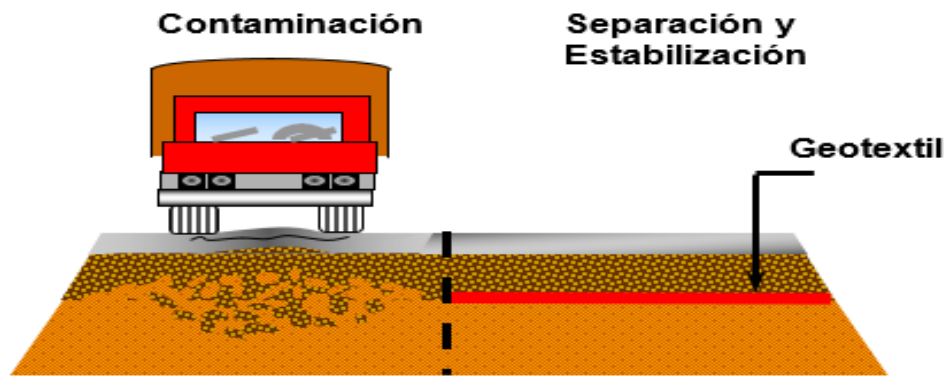


Figura 45. Comportamiento de estructura con refuerzo y sin refuerzo
Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

4.5. Conclusiones

- Con respecto al primer objetivo específico, analizar las propiedades y aplicaciones del geotextil para ser utilizados en rellenos. Se realizó la toma de muestra por medio de una calicata para realizar los ensayos de clasificación, proctor y C.B.R para poder determinar el tipo de geosintético. A través del análisis de los distintos tipos de geomalla y geotextiles se pudo determinar que para este caso lo más recomendable es trabajar con geotextiles por el tipo de terreno arcilloso.
- Respecto al segundo objetivo específico, determinar que geotextil se utilizará para la reducción de volumen de relleno. Debido a que el estudio de C.B.R. arrojó un porcentaje de 3.99% al 95% y 5.10 al 100 % de compactación con estos valores se ha determinado que el tipo de geosintético a utilizar en el proyecto es el GEOTEXTIL TEJIDO 2400 (3,81 X 109,73), PAVCO. Que cumplirá con la función de evitar la pérdida del material fino y así mantener su integridad y el buen funcionamiento de los materiales y así mejorar su resistencia y estabilidad evitando su deformación por asentamiento.
- Para finalizar con el tercer objetivo específico, medir el porcentaje de reducción de volumen de relleno con el uso del geotextil, se concluye hay una reducción de volumen de relleno de 4m^3 con un hundimiento o desplazamiento alcanzado es de 34 cm, ya que el volumen de cada cajera es de 18.9 m^3 , el material de mejoramiento a utilizar tiene un esponjamiento del 25 por ciento, el volumen compactado que tiene la cajera con el geotextil es de 24 m^3 se fueron 3 carros de 8 mt^3 . El volumen compactado que tiene la cajera sin el geotextil es de 28 m^3 se fueron 3.5 carros de 8 mt^3 , la diferencia es de 4 m^3 .
- Con los cálculos realizados y la interpretación de los ensayos efectuados se logró determinar que es muy favorable utilizar el geotextil, ya que ayuda a mantener la integridad de los suelos con características y propiedades diferentes, evitamos el cambio volumétrico que tendría una vía y con ello su deformación.

4.6. Recomendaciones

- Con respecto al primer objetivo específico se recomienda a los nuevos investigadores realizar ensayos de clasificación (límites líquido, plástico y granulometrías) y C.B.R. más seguido para tener datos más confiables ya que las arcillas son expansivas, hay que considerar los resultados de clasificación para determinar cuáles muestras se le realizaría el ensayo de C.B.R., también hay que considerar que el ensayo de C.B.R. se debería elaborar con la densidad y humedad que tiene ese estrato en el sitio, porque al realizarlo en el laboratorio ese resultado obtenido es la densidad máxima y su humedad óptima del material, esto hace posible una variación en el resultado del C.B.R. el cual afectaría al considerar el tipo de geotextil adecuado.
- Con respecto al segundo objetivo específico se recomienda a los investigadores realizar ensayos periódicos del geotextil para garantizar su utilización, y el tiempo de vida útil que tendría este material al estar en contacto con este estrato de arcilla expansiva, realizar otros tipos de ensayos al material donde va a estar asentado el geotextil tejido puede ser ensayos químicos para estar seguro que no afectaría al geotextil en su composición y deterioro en un determinado tiempo.
- Finalmente con respecto al tercer objetivo específico se recomienda a los futuros investigadores en este campo plantear nuevas propuestas aplicando geotextiles ya que como se pudo apreciar en este estudio, utilizar el geotextil tejido dentro del material de mejoramiento incrementa el aporte estructural, el número de ejes equivalentes, soporta la fuerza de tensión del suelo, disminuye la fuerza de corte y aumenta la resistencia al corte del suelo, mejora su vida útil, así como también en su economía, porque reduciría los espesores de la estructura del pavimento con esto optimizara los costos del proyecto.

Bibliografía

- Arevalo, F. (2016). *UTILIZACIÓN DE LA GEOMALLA BIAxIAL EN DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA PEDRO CARBO – LA ESTACADA*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Gago, M. (16 de noviembre de 2017). *El suelo arcilloso*. Recuperado el abril de 2020, de [ecologiaverde: https://www.ecologiaverde.com/el-suelo-arcilloso-681.html#:~:text=El%20suelo%20arcilloso%20es%20aque, tama%C3%B1o%20de%20menor%20a%20mayor](https://www.ecologiaverde.com/el-suelo-arcilloso-681.html#:~:text=El%20suelo%20arcilloso%20es%20aque, tama%C3%B1o%20de%20menor%20a%20mayor).
- Geosintéticos y Coberturas. (21 de julio de 2018). *Qué son los Geosintéticos*. Recuperado el abril de 2020, de <https://geosinteticosmadrid.com/que-son-los-geosinteticos/>
- Geotecnia Facial. (20 de Noviembre de 2017). *Ensayo de penetración estándar SPT (Standard Penetration Test)*. Recuperado el 30 de AGOSTO de 2020, de <https://geotecniafacil.com/ensayo-de-penetracion-estandar-spt/>
- Geotecnia Online. (8 de JUNIO de 2020). *Carta de Plasticidad de Casagrande*. Recuperado el 31 de agosto de 2020, de <https://www.diccionario.geotecnia.online/palabra/carta-de-plasticidad-de-casagrande/>
- Geotecniafacil.com. (4 de Abril de 2018). *Ensayo Proctor Normal y Modificado. Descripción e interpretación*. Recuperado el mayo de 2020, de <https://geotecniafacil.com/ensayo-proctor-normal-y-modificado/>
- Geotecniafacil.com/. (11 de Abril de 2018). *El ensayo CBR de laboratorio: ¿Qué es? y ¿cuál es su procedimiento?* Recuperado el mayo de 2020, de <https://geotecniafacil.com/ensayo-cbr-laboratorio/>
- Guzman, E. (16 de febrero de 2016). *ASPECTOS PRACTICOS SOBRE COMPACTACION DE SUELOS*. Chile: Universidad de Chile.
- Hernandez. (2014). *Metodología de la investigación 6ta edición*. MEXICO: MC Graw Hill.
- Hernandez, R., Baptista, P., & Fernandez, C. (2015). *Metodología de la Investigación*. Mexico D.F., Mexico: Mc Graw Hill education. Recuperado el marzo de 2020,

de <https://es.slideshare.net/MarianaAndreaDlaPaz/hernandez-fernandez-baptista-i-49915464>

Laboratorio de mecanica de suelo. (1 de Marzo de 2016). *MEDICIÓN DE LA DENSIDAD EN CAMPO*. Recuperado el mayo de 2020, de <https://mecanicadesuelosulacivil.files.wordpress.com/2016/02/practica-nc2ba-8-densidad-de-campo.pdf>

L'Alcudia, P. (4 de Febrero de 2017). *TEX DELTA*. Obtenido de *TEX DELTA*: <https://texdelta.com/blog/refuerzo-y-estabilizacion-de-suelos-con-geom>

Landi, H., & Pesantes, C. (2015). *ESTUDIO DE LA UTILIZACIÓN DE GEOTEXILES COMO FILTRO EN PRESAS DE TIERRA HOMOGENEAS*. Cuenca : UC. Recuperado el abril de 2020

Larrea, D. (2017). *ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD*. San Miguel : LMS.

Lopez, G., Legorreta, H., & Rivera, R. (2015). *CAPACIDAD DE CARGA EN SUELOS*. México: UNAM.

Murillo, R. (15 de diciembre de 2017). *Aplicaciones de los geotextiles a obras de infraestructuras*. México: IMTA.

PROCCSA. (1 de AGOSTO de 2015). *DISEÑO DE PAVIMENTOS*. Recuperado el ABRIL de 2020, de <https://www.proccsa.com.mx/disenio-de-pavimentos.html>

Techfab (India) Industries Limited. (2016). *Poliéster tejido geotextil multifilamento*. Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/p-detail/Poli%C3%A9ster-tejido-geotextil-multifilamento-400000136050.html>

Técnicas de investigación social. (12 de octubre de 2017). *Análisis e interpretación de resultados*. Recuperado el junio de 2020, de <https://sites.google.com/site/tecninvestigacionsocial/temas-y-contenidos/tema-1-la-investigacion-social/fases-de-la-investigacion-social/analisis-e-interpretacion-de-resultados>

Torres, J. (2017). *EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ACTUAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AV. CALMELL DEL SOLAR E INCIDENCIA DEL GEOTEXTIL NO TEJIDO EN SU REHABILITACIÓN COMO ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN – HUANCAYO 2016*. Perú: UPLA.

ANEXOS

Anexo 1 Toma de muestras superficiales de suelo inalterado

I.N.V. E - 112

1. Objeto

En esta norma se describe la forma de obtener muestras de suelos cohesivos que conserven la estructura y humedad que tienen en su estado natural, cuando pueden tomarse superficialmente o de una profundidad a la que se llega por excavación a cielo abierto o de una galería.

Las dimensiones, forma y demás características de las muestras inalteradas, dependen del tipo de ensayo al cual van a estar sometidas.

Básicamente hay tres procedimientos generales para tomar este tipo de muestras:

1.1 Muestras en bloque o muestra-trozo, tomadas de la superficie del terreno, del fondo de un pozo o del piso de una galería.

- Muestras en bloque, tomadas de una pared vertical de un pozo o galería.
- Muestras cilíndricas.

2. Equipo y materiales

Se deben elegir las herramientas cortantes más adecuadas para cada tipo de suelo:

2.1 Herramientas para tallar la muestra, (paleta, cuchillos, martillo, cincel, palustres, sierra de alambre, etc).

2.2 Hornillo, para calentar la parafina.

2.3 Recipientes, de diferentes tamaños y formas.

2.4 Herramientas para excavar.

2.5 Moldes cilíndricos o latas, con borde afilado y firme.

2.6 Parafina, vendas de malla abierta y brocha para aplicar la parafina.

2.7 Estopilla de algodón, aserrín, paja húmeda, etc, para empacar la muestra.

2.8 Tela plástica, papel parafinado, cuerda y demás elementos para envolver.

3. Procedimiento

3.1 Muestras en bloque de la superficie del terreno, fondo de un pozo o piso de una galería.

3.2 Se descubre la capa de la que se pretende tomar la muestra, bajando la excavación a la profundidad precisa para que el terreno descubierto esté completamente fresco y no haya pérdida de humedad. Se alisa la superficie marcando el contorno de que ha de ser la cara superior de la muestra.

3.3 Se excava una pequeña zanja alrededor de la marca, dejando entre el borde de la muestra y el borde interior de la zanja unos 10 cm con el propósito de que esta operación de excavación no afecte la muestra. La zanja deberá ser suficientemente ancha para permitir las operaciones de tallado, parafinado "in situ" y corte.

3.4 Con las herramientas apropiadas, se le da forma cúbica y el tamaño final que ha de tener, cuidando la muestra, a medida que el tallado se acerca a la cara superior y las cuatro caras laterales.

3.5 Una vez que la zanja esté suficientemente honda y las caras perfiladas, se extrae la muestra, cortándola con un cuchillo, paleta, u hoja de sierra, y se retira cuidadosamente.

3.6 Si la muestra tiene suficiente consistencia, se talla la cara inferior antes de proceder a parafinarla aplicando con una brocha, una primera capa de parafina y a continuación se cubre con venda. Se repite el proceso hasta obtener un recubrimiento impermeable de 3 mm de espesor como mínimo.

3.7 Si la muestra no tiene suficiente consistencia, antes de retirarla de la excavación, una vez tallada la cara superior y las cuatro caras, laterales, deben parafinarse, en la forma indicada en el párrafo anterior. Se confina con la caja de empaque prevista y luego se corta retirándola de la excavación, parafinando la última cara una vez perfilada.

3.8 Cuando por circunstancias de clima o acción directa del sol, se puede presentar pérdida apreciable de humedad, se deberá parafinar cada cara en forma inmediata a su talla, terminando estas labores de parafinado, cuando se desprenda la muestra por su cara inferior.

3.9 Antes de cerrar el empaque se debe colocar a la muestra una etiqueta con la siguiente información:

Procedencia, situación (se marcan las caras superior e inferior), profundidad y ubicación dentro de la obra; se cierra la caja y se coloca exteriormente otra etiqueta con los mismos datos, indicando adicionalmente advertencias de las precauciones requeridas.

3.2.1 Muestras en bloque de la pared del pozo o galería. -

- Se rebaja la pared escogida, hasta que el terreno descubierto se encuentre cerca del suelo que conformará la muestra, previendo que este último conserve sus condiciones originales de humedad y estructura. Se alisa la superficie y se marca el contorno.
- Se excava alrededor y por detrás, dando forma al trozo, afinándolo hasta donde sea posible.
- Se corta el trozo y se retira del hoyo, procediendo a su parafinado y empaque como se describió anteriormente.

3.3.2 Muestras cilíndricas

Estas muestras se pueden tomar directamente usando un anillo tomamuestras de filo cortante que se ajusta al molde que tenga las dimensiones requeridas, o también con un

pote de hojalata común, con un trozo de tubo o con cualquier otro recipiente metálico que tenga dimensiones adecuadas. La secuencia es la siguiente:

- Se alisa la superficie del terreno y se aprieta el molde con el anillo contra el suelo, aplicando una presión moderada.
- Se excava la zanja alrededor del cilindro; manteniendo la presión hacia abajo. Se corta el suelo del lado exterior del anillo con el cuchillo, haciendo el corte hacia abajo y hacia afuera, para evitar afectar la muestra y para que el suelo continúe penetrando dentro del cilindro.
- Se excava la zanja más profunda y se repite el proceso hasta que el suelo penetre bien dentro del cilindro.
- Se corta la muestra por la parte baja del cilindro con una pala, cuchillo o sierra y se retira del hoyo.
- Tanto la superficie superior como la inferior deben recortarse a ras. Se protegen los extremos con discos de madera y se rebordean y atan con cinta aislante u otro material adecuado.
- Cuando se utilice como molde un pote de hojalata, el fondo se agujerea antes de hincarlo y luego de llenarlo con muestra, se sellan los agujeros con parafina, así como la superficie superior, cuando se haya cortado la muestra.

4. Correspondencia con otras normas

NLT 203

Anexo 2 Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado

I.N.V. E - 122

1. Objeto

1.1 Este método cubre la determinación de laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo, roca, y mezclas de suelo-agregado por peso. Por simplicidad, de aquí en adelante, la palabra "material" se refiere a suelo, roca o mezclas de suelo-agregado, la que sea aplicable.

1.2 El contenido de agua del material se define como la relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua que llena los poros o "agua libre", en una masa de material, y la masa de las partículas sólidas de material.

1.3 Este método no da resultados verdaderamente representativos para materiales que contengan cantidades significativas de haloisita, montmorillonita, o minerales de yeso; suelos altamente orgánicos o materiales en los cuales el agua de los poros contiene sólidos disueltos (como sales en el caso de depósitos marinos). Para los materiales antes mencionados, un método modificado de ensayo o el cálculo previo de algunos datos pueden ejecutarse para obtener resultados consistentes con el propósito de este ensayo.

2. Resumen del método

2.1 La aplicación práctica de la determinación del contenido de agua en un material, es poder conocer el peso del agua removida al secar dicho material cuando está húmedo (espécimen de prueba) hasta peso constante, en un horno controlado a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$); y usar este valor como el peso del agua en el espécimen de prueba. El peso del material remanente después de secado en el horno, corresponde al peso de las partículas sólidas.

3. Uso y significado

3.1 Para muchos tipos de suelo, el contenido de agua es una de las propiedades índices más significativas, que se emplea para establecer una correlación entre el comportamiento de dicho suelo y otras propiedades índices.

3.2 El contenido de agua de un suelo se usa en casi todas las ecuaciones que expresan las relaciones de fase entre aire, agua y sólidos, en un volumen dado de material.

3.3 En suelos de grano fino (cohesivos), la consistencia depende de su contenido de agua. El contenido de agua de un suelo, junto con sus límites líquidos y plástico, son usados para expresar su consistencia relativa, o índice de liquidez.

3.4 El término "agua" como se usa en Ingeniería Geotécnica, se asume típicamente como el agua de "poros" o agua "libre" y no aquél que está hidratando las superficies minerales (agua de constitución).

Por lo tanto, el contenido de agua de materiales que tienen cantidades significativas de agua hidratada, (agua de constitución), a temperatura ambiente o menor de 110°C (230°F) puede ser engañoso.

3.5 El término de "partículas sólidas" como se usa en Ingeniería Geotécnica, se asume típicamente como las partículas minerales que se encuentren en su estado natural que no son fácilmente solubles en agua. Por lo tanto, el contenido de agua de los materiales que contienen materias extrañas (como cemento), materiales solubles en agua (como sal) y materia altamente orgánica, normalmente requieren de un tratamiento especial, o de una definición calificada del contenido de agua.

4. Equipo

4.1 Horno, controlado termostáticamente, preferiblemente del tipo de corriente de aire y que mantenga una temperatura uniforme de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$) en toda la cámara de secado.

4.2 Balanzas, que tengan una precisión de ± 0.01 g para muestras que tengan un peso de 200 g o menos; ± 0.1 g para muestras que tengan un peso entre 200 y 1000 g, y ± 1 g para muestras que tengan un peso mayor a 1000 g.

4.3 Recipientes. Vasijas apropiadas hechas de un material resistente a la corrosión y a cambios en su peso al ser sometidas a repetidos calentamientos y enfriamientos, y a operaciones de limpieza.

Para muestras con peso menor o próximo a 200 g, se usarán recipientes con tapas de cierre hermético; mientras que para muestras de peso mayor que 200 g se usarán recipientes sin tapa (Nota 1). Se necesita un recipiente para cada determinación del contenido de agua.

Nota 1: El propósito de las tapas de cierre hermético es doble: prevenir las pérdidas de humedad de las muestras antes del pesaje inicial y para evitar la absorción de humedad proveniente de la atmósfera después del secado y antes del pesaje final.

5. Muestras

5.1 Manténganse las muestras que estén almacenadas, antes del ensayo, en recipientes no corrosivos, herméticos, a una temperatura entre 3 y 30°C y en un área, en la que no tengan contacto directo con la luz solar (cuarto oscuro).

5.2 La determinación del contenido de agua, deberá hacerse tan pronto como sea posible, después de la preparación de la muestra, especialmente si se usan recipientes potencialmente oxidables (como tubos de acero de pared delgada, latas de pintura, etc).

6. Espécimen de ensayo

6.1 Para la determinación del contenido de agua, hecho en conjunto con otros ensayos, el método de selección de la muestra está gobernado por el ensayo más elaborado.

6.2 La manera como se selecciona dicha muestra y el peso requerido, básicamente dependen del propósito (aplicación) del ensayo, del tipo de material que está siendo probado, y del tipo de muestra.

En todos los casos, sin embargo, una porción representativa de la muestra total debe ser seleccionada. Si un suelo está estratificado o se encuentra más de un tipo de suelo, selecciónese una porción promedio o porciones individuales o ambas, y especifíquese en el informe de resultados cual porción fue utilizada.

a) Para suelos gruesos, selecciónese la muestra del material después de que éste haya sido mezclado completamente. El peso del material húmedo escogido debe responder a la siguiente tabla:

Tabla 2

Peso de material escogido

Tamiz que retiene más del 10% de la muestra	Peso recomendado de la muestra húmeda (g)
2.00 mm (No. 10)	100 a 200
4.75 mm (No. 4)	300 a 500
19.00 mm ($\frac{3}{4}$ "	500 a 1000
37.50 mm (1 $\frac{1}{2}$ "	1500 a 3000
75.00 mm (3"	5000 a 10000

Fuente: Laboratorio

Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

b) Para muestras pequeñas, selecciónese una porción representativa de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- Para suelos no cohesivos, mézclase completamente el material, luego selecciónese un espécimen de prueba que tenga un peso de material húmedo de acuerdo con la tabla anterior (Véase Nota 2).
- Para suelos cohesivos, remuévase aproximadamente 3 mm de material del perímetro expuesto de la muestra y secciónese éste a la mitad (para ver si el material está estratificado) antes de seleccionar el espécimen de muestra. Si el suelo está estratificado (véase 6.2), la masa del material húmedo seleccionado no debe ser

menor de 25 g; o debe estar de acuerdo con la tabla del artículo 6.2.a), si se notan partículas de grano grueso (Nota 2).

6.3 Usar una muestra de ensayo, más pequeña que el mínimo peso indicado previamente, requiere discreción. Sin embargo, esto puede ser adecuado para el propósito del ensayo. Si una muestra tiene un peso menor que aquél previamente indicado, el hecho debe ser registrado en el informe de resultados.

Nota 2: En muchos casos, cuando se está trabajando con una muestra pequeña que contiene una cantidad relativamente grande de partículas de grano grueso, es apropiado no incluir estas partículas en el espécimen de prueba. Si esto ocurre, se debe anotar en el informe de resultados.

7. Procedimiento

7.1 Escójase una muestra de ensayo representativa de acuerdo con la sección 6.

7.1 Colóquese la muestra húmeda en un recipiente limpio, seco, de peso conocido (Nota 3); colóquese la tapa firmemente en posición, y determine el peso del recipiente y la muestra de material usando una balanza apropiada (4.2). Anótense los valores.

7.3 Remuévase la tapa y colóquese el recipiente con el material húmedo en un horno, manteniendo la temperatura a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$) y séquese hasta obtener peso constante. (Notas 4, 5 y 6)

Nota 3: Para facilitar el secado al horno de muestras de ensayo muy grandes, éstas deben ser colocadas en recipientes que tengan un área superficial amplia (como una bandeja) y el material separado en pequeños grupos.

Nota 4: El tiempo requerido para obtener un peso constante variará dependiendo del tipo del material, tamaño de la muestra, tipo del horno, su capacidad, y otros factores. La

influencia de estos factores generalmente puede establecerse con un buen juicio, y experiencia con los materiales que se están ensayando y el aparato que se está usando.

En la mayoría de los casos, el secado de una muestra durante la noche (16 horas), es suficiente. En los casos donde existan dudas concernientes a lo adecuado del procedimiento de secado, éste debe conducirse hasta que el peso, después de dos períodos de secamiento consecutivos (mayores de 1/2 h) indique un cambio insignificante (menor al 0.1%). Las muestras de arena se pueden frecuentemente secar a un peso constante después de periodos de 4 horas, cuando se usa un horno de corriente de aire forzada.

Nota 5: Del secado en horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$) no siempre resultan valores del contenido de agua relacionados al uso que pretende dársele o la definición básica, especialmente para materiales que contienen yeso u otros minerales que incluyan una cantidad significativa de agua hidratada (agua de constitución), o para suelos que contienen cantidades significativas de materia orgánica. En muchos casos, y dependiendo del uso que se pretende dar a estos materiales, puede ser mejor mantener el horno de secado a una temperatura de $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($140 \pm 9^{\circ}\text{F}$) o usar un secador de vacío a una presión de vacío de 133Pa (10 mm de Hg) y a una temperatura que varíe entre 23 y 60°C (73 y 140°F). Si se usa cualquiera de estos métodos de secado, se debe anotar en el informe de resultados.

Nota 6: Ya que algunos materiales secos pueden absorber humedad de especímenes húmedos, dichos materiales deben removerse antes de colocar aquellos en el horno. Sin embargo, este requerimiento no será necesario si los especímenes secos van a permanecer en el horno por un período de secado adicional de 16 horas.

7.4 Después que el material se haya secado a peso constante, remuévase el recipiente del horno y colóquese la tapa. Permítase que el material y el recipiente se enfríen a la temperatura ambiente, o hasta que el recipiente pueda ser manejado fácilmente con ambas manos y la operación de pesaje no esté afectada por corrientes convectivas.

Determinése el peso del recipiente y de la muestra secada en el horno usando la misma balanza que usó en 7.2. Consérvese este valor.

Si el recipiente no tiene tapa, pésele el material inmediatamente para que la temperatura del recipiente sea tal que la operación del pesaje no sea afectada por corrientes convectivas o después de enfriarlo en un secador.

Nota 7: El enfriamiento en secador es recomendable ya que esto previene absorción de humedad proveniente de la atmósfera durante dicho proceso.

8. Cálculos

8.1 Calcúlese el contenido de agua de la muestra así:

$$w = ((W1-W2)/ (W2-Wc)) \times 100 = (Ww/Ws) \times 100$$

Donde:

w = Contenido de agua %

W1= Peso del recipiente y del espécimen húmedo, g.

W2= Peso del recipiente y del espécimen seco, g.

Wc= Peso del recipiente, g.

Ww= Peso del agua, g, y

Ws= Peso de las partículas sólidas, g.

9. Informe

9.1 El informe (hoja de datos) debe incluir lo siguiente:

- Identificación de la muestra (material), por número de perforación, número de muestra, ensayo número, etc.

- El contenido de agua del espécimen, aproximado al 0.1% ó 1% dependiendo del propósito del ensayo.
- Indicación del espécimen de muestra que tenga un peso menor al mínimo indicado en la sección 6.
- Indicación del espécimen de muestra que contenga más de un tipo de suelo (por capas, etc).
- Indicación del método de secado si es diferente al de horno a $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).
- Indicación de cualquier material (tamaño y cantidad) excluido del espécimen de prueba.

10. Observaciones

Los siguientes errores posibles causarían determinaciones imprecisas de la humedad.

a. Muestra demasiado pequeña: mientras más grande es la muestra, más precisa es la determinación, debido a que se usan pesos mayores.

b. Pérdida de humedad antes del pesado de la muestra húmeda: aún en el recipiente cubierto, la muestra puede perder una cantidad significativa de agua, a menos que la pesada se realice pronto.

c. La muestra se saca del horno antes de obtener la condición de peso constante.

d. Ganancia de humedad antes de que la muestra secada al horno se haya pesado.

e. Pesar la muestra secada al horno cuando aún está caliente. La precisión de una balanza sensible puede ser afectada, por estar caliente la muestra y/o el recipiente al realizar la pesada.

f. Peso incorrecto del recipiente.

g. Temperatura incorrecta del horno.

12. Correspondencia con otras normas

ASTM D-2216

MOP E-122 (Venezolano).

Anexo 3 Análisis granulométrico de Suelos por tamizado

I.N.V. E – 123

1. Objeto

1.1 El análisis granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo.

1.2 Esta norma describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 75 μm (No.200).

2. Equipo

2.1 Dos balanzas. Una con sensibilidad de 0.01 g para pesar material que pase el tamiz de 2 mm (No.10). Otra con sensibilidad 0.1 % del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 2 mm (No.10).

2.2 Tamices de malla cuadrada:

75 mm (3"), 50 mm (2"), 37.5 mm (1-1/2"), 25 mm (1"), 19.0 mm (3/4"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No.4), 2.00 mm (No.10) 850 μm (No.20), 425 μm (No.40), 250 μm (No.60), 106 μm (No.140) y 75 μm (No.200).

Se puede usar, como alternativa, una serie de tamices que, al dibujar la gradación, dé una separación uniforme entre los puntos del gráfico; esta serie estará integrada por los siguientes:

75 mm (3"), 37.5 mm (1-1/2"), 19.0 mm (3/4"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No.4), 2.36 mm (No.8), 1.10 mm (No.16), 600 μm (No.30), 300 μm (No.50), 150 μm (No.100), 75 μm (No.200).

2.3 Horno, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).

2.4 Envases, adecuados para el manejo y secado de las muestras.

2.5 Cepillo y brocha, para limpiar las mallas de los tamices.

3. Muestra

3.1 Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hace, bien con la muestra entera, o bien con parte de ella después de separar los finos por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca en el horno una pequeña porción húmeda del material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, entonces el análisis con tamices, se puede efectuar sin previo lavado.

3.2 Prepárese una muestra para el ensayo como se describe en la preparación de muestras para análisis granulométrico Norma INV E-106, la cual estará constituida por dos fracciones: Una retenida sobre el tamiz de 2 mm (No.10) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayarán por separado.

3.3 El peso del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, como se indica en la Norma INV E-106, será suficiente para las cantidades requeridas para el análisis mecánico, como sigue:

- Para la porción de muestra retenida en el tamiz de 2 mm (No.10) el peso dependerá del tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la Tabla

Tabla 3*Tamaño máximo de las partículas*

Diámetro Nominal de las partículas más grandes mm (pulg)	Peso mínimo aproximado de la porción Gramos, g
(3/8")	500
(3/4")	1000
(1")	2000
37.5 (1 1/2")	3000
(2")	4000
75.0 (3")	5000

Fuente: Laboratorio**Elaborado por:** Lombeida, X. (2020)

- El tamaño de la porción que pasa tamiz de 2 mm (No.10) será aproximadamente de 115 g, para suelos arenosos, y de 65 g para suelos arcillosos y limosos.

3.4 En la Norma INV E-106, se dan indicaciones para la pesada del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, así como para la separación del suelo sobre el Tamiz de 2 mm (No.10) por medio del tamizado en seco, y para el lavado y pesado de las fracciones lavadas y secadas retenidas en dicho tamiz. De estos dos pesos, los porcentajes, retenido y que pasa el Tamiz de 2 mm (No.10), pueden calcularse de acuerdo con el numeral 6.1.

- Se puede tener una comprobación de los pesos, así como de la completa pulverización de los terrones, pesando la porción de muestra que pasa el Tamiz de 2 mm (No.10) y agregándole este valor al peso de la porción de muestra lavada y secada en el horno, retenida en el Tamiz de 2 mm (No.10).

4. Análisis por medio de tamizado de la fracción retenida en el tamiz de 2.00 mm (No.10)

4.1 Sepárese la porción de muestra retenida en el tamiz de 2 mm (No.10) en una serie de fracciones usando los tamices de:

75 mm (3"), 50 mm (2"), 37.5 mm (1-1/2"), 25.0 mm (1"), 19.0 mm (3/4"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No.4) y 2.00 mm (No.10), o los que sean necesarios dependiendo del tipo de muestra, o dependiendo de las especificaciones para el material que se ensaya.

4.2 En la operación de tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla. Debe comprobarse al desmontar los tamices que la operación está terminada; esto se sabe cuándo no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas apresadas en la malla, deben separarse con un pincel o cepillo y reunir las con lo retenido en el tamiz.

Cuando se utilice una tamizadora mecánica, se pondrá a funcionar por diez minutos aproximadamente; el resultado se puede verificar usando el método manual.

4.3 Se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0.1 % La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso inicial de la muestra no debe diferir en más de 1 %

5. Análisis granulométrico de la fracción fina

5.1 El análisis granulométrico de la fracción que pasa el tamiz de 2 mm (No.10) se hará por tamizado y/o sedimentación según las características de la muestra y según la información requerida.

- Los materiales arenosos que contengan muy poco limo y arcilla, cuyos terrones en estado seco se desintegren con facilidad, se podrán tamizar en seco.
- Los materiales limo arcillosos, cuyos terrones en estado seco no rompan con facilidad, se procesarán por la vía húmeda.
- Si se requiere la curva granulométrica completa incluyendo la fracción de tamaño menor que el tamiz de 75 μm (No.200), la gradación de ésta se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios. Ver Norma de Ensayo INV E-124.
- Se puede utilizar procedimientos simplificados para la determinación del contenido de partículas menores de un cierto tamaño, según se requiera.

- La fracción de tamaño mayor que el tamiz de 75 μm (No.200) se analizará por tamizado en seco, lavando la muestra previamente sobre el tamiz de 75 μm (No.200)

5.2 Procedimiento para el análisis granulométrico por lavado sobre el tamiz de 75 μm (No.200).

- Se separan mediante cuarteo, 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos arcillosos y limosos, pesándolos con exactitud de 0.01 g.
- Humedad higroscópica. - Se pesa una porción de 10 a 15 g de los cuarteos anteriores y se seca en el horno a una temperatura de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($230 + 9 \text{ }^\circ\text{F}$). Se pesan de nuevo y se anotan los pesos.
- Se coloca la muestra en un recipiente apropiado, cubriéndola con agua y se deja en remojo hasta que todos los terrones se ablanden.
- Se lava a continuación la muestra sobre el tamiz de 75 μm (No.200) con abundante agua, evitando frotarla contra el tamiz y teniendo mucho cuidado de que no se pierda ninguna partícula de las retenidas en él.
- Se recoge lo retenido en un recipiente, se seca en el horno a una temperatura de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$) y se pesa.
- Se tamiza en seco siguiendo el procedimiento indicado en las secciones 4.2 y 4.3

6. Cálculos

6.1 Valores de análisis de tamizado para la porción retenida en el Tamiz de 2 mm (No.10).

- Se calcula el porcentaje que pasa el tamiz de 2 mm (No.10) dividiendo el peso que pasa dicho tamiz por el del suelo originalmente tomado y se multiplica el resultado por 100. Para obtener el peso de la porción retenida en el mismo tamiz, réstese del peso original, el peso del pasante por el Tamiz de 2 mm (No.10).

- Para comprobar el peso total de suelo que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4), se agrega al peso del material que pasa el tamiz de 2 mm (No.10), el peso de la fracción que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4) y que queda retenida en el de 2 mm (No.10). Para comprobar el material que pasa por el tamiz de 9.5 mm (3/8"), se agrega al peso total del suelo que pasa por el tamiz de 4.75 mm (No.4) el peso de la fracción que pasa el tamiz de 9.5 mm (3/8") y que queda retenida en el de 4.75 mm (No.4). Para los demás tamices continúese el cálculo de la misma manera.
- Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide el peso total que pasa (sección 6.1.2) por el peso total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.

6.2 Valores del análisis por tamizado para la porción que pasa el tamiz de 2 mm (No.10).

- Se calcula el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 75 µm (No.200) de la siguiente forma:

$$\% \text{ Pasa } 75 \mu\text{m} = \frac{\text{Peso total} - \text{Peso Ret. en el tamiz de } 75 \mu\text{m}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

- Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

$$\% \text{ Ret.} = \frac{\text{Peso ret. en el tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

- Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100% los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Ret. Acumulado}$$

6.3 Porcentaje de humedad higroscópica. - La humedad higroscópica se considera como la pérdida de peso de una muestra secada al aire cuando se seca posteriormente al horno, expresada como un porcentaje del peso de la muestra secada al horno. Se determina de la manera siguiente.

$$\% \text{ humedad higroscópica} = \frac{W - W1}{W1} \times 100$$

Donde:

- W = Peso de suelo secado al aire
- W1 = Peso de suelo secado en el horno

7. Observaciones

7.1 El informe deberá incluir lo siguiente:

- El tamaño máximo de las partículas contenidas en la muestra.
- Los porcentajes retenidos y/o que pasan, para cada uno de los tamices utilizados.
- Toda información que se juzgue de interés.

Los resultados se presentarán: (1) en forma tabulada, o (2) en forma gráfica; siendo esta última forma, la indicada cada vez que el análisis comprenda un ensayo completo de sedimentación.

Las pequeñas diferencias resultantes en el empate de las curvas obtenidas por tamizado y por sedimento respectivamente, se corregirán en forma gráfica.

7.2 Los siguientes errores posibles producirán determinaciones imprecisas en un análisis granulométrico por tamizado.

- Aglomeraciones de partículas que no han sido completamente disgregadas. Si el material contiene partículas finas plásticas, la muestra debe ser disgregada antes del tamizado.

- Tamices sobrecargados. Este es el error más común y más serio asociado con el análisis por tamizado y tenderá a indicar que el material ensayado es más grueso de lo que en realidad es. Para evitar esto las muestras muy grandes deben ser tamizadas en varias porciones y las porciones retenidas en cada tamiz se juntarán luego para realizar la pesada.
- Los tamices han sido agitados por un periodo demasiado corto o con movimientos horizontales o rotacionales inadecuados. Los tamices deben agitarse de manera que las partículas sean expuestas a las aberturas del tamiz con varias orientaciones y así tengan mayor oportunidad de pasar a través de él.
- La malla de los tamices está rota o deformada; los tamices deben ser frecuentemente inspeccionados para asegurar que no tienen aberturas más grandes que la especificada.
- Pérdidas de material al sacar el retenido de cada tamiz.
- Errores en las pesadas y en los cálculos.

8. Correspondencia con otras normas

- ASTM D 422
- AASHTO T 88
- MOP E 115 (Venezuela)
- NLT 104

Anexo 5 Determinación del límite líquido de los suelos

I.N.V. E - 125

1. Objeto

1.1 El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico.

1.2 Para los fines de esta especificación, cualquier valor observado o calculado deberá aproximarse al centésimo.

2. Equipo

2.1 Vasija de evaporación. - Una vasija de porcelana de 115 mm (4 1/2") de diámetro aproximadamente.

2.2 Espátula. - Una espátula de hoja flexible de 75 mm (3") de longitud y 20 mm (3/4") de ancho aproximadamente.

2.3 Aparato del Límite Líquido

- De operación manual. - Es un aparato consistente en una cazuela de bronce con sus aditamentos, construido de acuerdo con las dimensiones señaladas en la Figura No. 1.
- De operación mecánica. - Es un aparato equipado con motor para producir la altura y el número de golpes. Consta de una cazuela de bronce con los aditamentos y las dimensiones de la Figura No. 1. El aparato debe dar los mismos valores para el límite líquido que los obtenidos con el aparato de operación manual.

2.4 Ranurador. - Un ranurador, conforme con las dimensiones críticas indicadas en las Figuras Nos. 1.y 2.

2.5 Calibrador. - Ya sea incorporado al ranurador o separado, de acuerdo con la dimensión crítica "d" mostrada en la Figura No. 1 y puede ser, si fuere separada, una barra de metal de 10.00 ± 0.2 mm (0.394 ± 0.008 ") de espesor y de 50 mm (2") de largo aproximadamente.

2.6 Recipientes. - Hechos de material resistente a la corrosión, y cuya masa no cambie con repetidos calentamientos y enfriamientos. Deben tener tapas que cierren bien, para evitar las pérdidas de humedad de las muestras antes de la pesada inicial y para evitar la absorción de humedad de la atmósfera tras el secado y antes de la pesada final.

2.7 Balanza. - una balanza con una sensibilidad de 0.01 gr.

2.8 Horno. - Un horno termostáticamente controlado y que pueda conservar temperaturas de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$) para secar la muestra.

Método manual

3. Muestra

Tómese una muestra que pese aproximadamente 100 g. de una porción de material completamente mezclado que pase el tamiz de 0.425 mm (No.40) obtenido de acuerdo con el método descrito en las Normas INV E-106 e INV E-107.

4. Ajuste del aparato

4.1 Deberá inspeccionarse el aparato de límite líquido para verificar que se halle en buenas condiciones de trabajo. El pin que conecta la cazuela no debe estar tan gastado que tenga juego lateral, ni el tornillo que conecta la cazuela hallarse gastado por el largo uso. Inspecciónese, además, el ranurador para verificar que las dimensiones límites son las indicadas en las Figuras Nos. 1.y No 2.

- Se considera desgaste excesivo, cuando el diámetro del punto de contacto sobre la base de la cazuela excede de 13 mm (0.5") o cuando cualquier punto sobre el borde

de la cazuela se ha desgastado aproximadamente en la mitad del espesor original. Aun cuando se aprecie una ligera ranura en el centro de la cazuela, ésta no es objetable. Pero si la ranura se pronuncia antes de que aparezcan otros signos de desgaste debe considerarse que la cazuela está excesivamente gastada y deberá reemplazarse.

- Una base que esté excesivamente desgastada puede pulirse, pero hasta cuando la tolerancia mostrada en la Figura No. 1 no exceda de -2.5 mm (0.1") y la distancia entre la excéntrica de la cazuela y la base se mantenga dentro de la tolerancia especificada en la Figura No. 1.

4.2 Por medio del calibrador del mango del ranurador y la platina de ajuste H (Figura. No. 1), ajústese la altura a la cual levanta la cazuela, de tal manera que el punto en la cazuela que hace contacto con la base esté exactamente a 1 cm (0.394") sobre ésta.

Asegúrese la platina de ajuste H, apretando los tornillos I con el calibrador, aún colocado, compruébese el ajuste girando la manija rápidamente varias veces. Si el ajuste es correcto, un sonido de roce se oirá cuando la excéntrica golpea contra la cazuela. Si la cazuela se levanta del calibrador o no se oye ruido, hágase un nuevo ajuste.

5. Procedimiento

5.1 Colóquese la muestra de suelo en la vasija de evaporación y mézclese completamente con 15 a 20 ml de agua destilada, agitándola, amasándola y tajándola con una espátula en forma alternada y repetida. Realizar más adiciones de agua en incrementos de 1 a 3 ml. Mézclese completamente cada incremento de agua con el suelo como se ha descrito previamente, antes de cualquier nueva adición.

- Algunos suelos son lentos para absorber agua, por lo cual es posible que se adicione los incrementos de agua tan rápidamente que se obtenga un límite líquido falso. Esto puede evitarse mezclando más y durante un mayor tiempo, (1 hora aproximadamente).

5.2 Cuando haya sido mezclada suficiente agua completamente con el suelo y la consistencia producida requiera de 30 a 35 golpes de la cazuela de bronce para que se ocasione el cierre, colóquese una porción de la mezcla en la cazuela sobre el sitio en que ésta reposa en la base, y comprímase hacia abajo, extiéndase el suelo hasta obtener la posición mostrada en la Figura No. 3, (con tan pocas pasadas de la espátula como sea posible), teniendo cuidado de evitar la inclusión de burbujas de aire dentro de la masa.

Nivélase el suelo con la espátula y al mismo tiempo emparéjese hasta conseguir una profundidad de 1 cm en el punto de espesor máximo. Regrésese el exceso de suelo a la vasija de evaporación. Divídase el suelo en la cazuela de bronce por pasadas firmes del ranurador a lo largo del diámetro y a través de la línea central de la masa del suelo de modo que se forme una ranura limpia y de dimensiones apropiadas. Para evitar rasgaduras en los lados de la ranura o escurrimientos de la pasta del suelo a la cazuela de bronce, se permite hacer hasta 6 pasadas, de adelante hacia atrás o de atrás hacia adelante, contando cada recorrido como una pasada; con cada pasada el ranurador debe penetrar un poco más profundo hasta que la última pasada de atrás hacia adelante limpie el fondo de la cazuela. Hágase una ranura con el menor número de pasadas posible.

5.3 Elévese y golpéese la cazuela girando la manija F., a una velocidad de dos (2) revoluciones por segundo, hasta que las dos mitades de la pasta de suelo se pongan en contacto en el fondo de la ranura, a lo largo de una distancia de cerca de 13 mm (0.5"). Anótese el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.

- En lugar de fluir sobre la superficie de la cazuela algunos suelos tienden a deslizarse. Cuando esto ocurra, deberá agregarse más agua a la muestra y mezclarse de nuevo, se hará la ranura con el ranurador y se repetirá el aparte 5.3.; si el suelo sigue deslizándose sobre la cazuela a un número de golpes inferior a 25, no es aplicable este ensayo y deberá indicarse que el Límite Líquido no se puede determinar.

5.4 Sáquese una tajada de suelo aproximadamente del ancho de la espátula, tomándola de uno y otro lado y en ángulo recto con la ranura e incluyendo la porción de ésta en la cual se hizo contacto, y colóquese en un recipiente adecuado.

Pésese y anótese. Colóquese el suelo dentro del recipiente en el horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$) hasta obtener peso constante y vuélvase a pesar tan pronto como se haya enfriado pero antes de que pueda haber absorbido humedad higroscópica. Anótese este peso, así como la pérdida de peso debida al secamiento y el peso del agua.

5.5 Transfiérase el suelo sobrante en la cazuela de bronce a la cazuela de porcelana. Lávese y séquese la cazuela y el ranurador, y ármese de nuevo el aparato del Límite Líquido para repetir el ensayo.

5.6 Repítase la operación anterior por lo menos en dos ensayos adicionales, con el suelo restante en la vasija de porcelana, al que se le ha agregado agua suficiente para ponerlo en un estado de mayor fluidez. El objeto de este procedimiento es obtener muestras de tal consistencia que al menos una de las determinaciones del número de golpes requeridos para cerrar la ranura del suelo se halle en cada uno de los siguientes intervalos: 25-35; 20-30; 15-25. De esta manera el alcance de las 3 determinaciones debe ser de 10 golpes.

6. Cálculos

6.1 Calcúlese el contenido de humedad del suelo, expresándolo como porcentaje del peso del suelo secado en el horno, como sigue:

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo secado en el horno}} \times 100$$

- Calcúlese el porcentaje de humedad, con aproximación a un entero.

6.2 Preparación de la curva de fluidez. - Trácese una "curva de fluidez" que represente la relación entre el contenido de humedad y el correspondiente número de golpes de la cazuela de bronce, en un gráfico de papel semilogarítmico. Con el contenido de humedad como abscisa sobre la escala aritmética, y el número de golpes como ordenada sobre la escala logarítmica. La curva de flujo es una línea recta

promedia, que pasa tan cerca como sea posible a través de los tres o más puntos dibujados.

6.3 Límite Líquido. - Tómese el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la curva de flujo con la ordenada de 25 golpes como Límite Líquido del suelo y aproxímese este valor a un número entero.

Método mecánico para determinar el límite líquido

7. Muestra

7.1 Tómese una muestra que pese aproximadamente 50 g como se explica en el numeral 3.1

8. Procedimiento

8.1 El procedimiento será igual al descrito en los apartes 5.1 a 5.5, a excepción de que la muestra húmeda tomada de acuerdo con el numeral 5.4 se tomaría sólo para el ensayo aceptado.

8.2 Deberán observarse por lo menos dos cierres de la ranura antes de que se acepte una de ellas para anotarla, con el fin de verificar que el número de golpes es verdaderamente característico del suelo que se está ensayando

8.3 Para lograr una precisión igual a la obtenida por el método normal de los tres (3) puntos se reducirá el número de golpes para cerrar la ranura de 22 a 28.

8.4 Se aceptarán cierres de la ranura que requieran de 15 a 40 golpes siempre y cuando que se toleren variaciones de $\pm 5\%$ con el verdadero Límite Líquido.

9. Cálculos

9.1 El contenido de humedad se calcula en la forma indicada en el aparte 6.1

10. Límite líquido

10.1 El Límite Líquido se determinará por uno de los siguientes métodos: mediante el nomograma (Figura. No. 4); por medio del diagrama de la Figura No. 5; mediante regla de cálculo con una escala especial para "golpes" (Figura. No .6), o por cualquier otro método de cálculo que de valores de Límite Líquido con la misma precisión. Se usa el método normal de los tres (3) puntos como ensayo de referencia para resolver cualquier duda.

10.2 La clave de la Figura No. 4 indica el modo de usar el nomograma. (Pendiente media).

10.3 El diagrama de la Figura No. 5. (Curva de fluidez múltiple), se usa dibujando sobre el mismo, un punto que represente el contenido de humedad. vs. el número de golpes y trazando una línea por dicho punto y que sea paralela a la curva más cercana del diagrama. El Límite Líquido será el contenido de humedad correspondiente a la intersección de esta línea con la de 25 golpes.

Ensayos de comprobación

11. Métodos que se pueden usar

11.1 En caso de desacuerdos importantes y donde sea necesario hacer ensayos de comprobación, úsese el método mecánico anteriormente descrito. Los resultados de los ensayos de Límite Líquido son afectados:

- Por el tiempo requerido para hacerlo
- Por el contenido de humedad con el cual se inicia el ensayo.
- Por la adición de suelo seco a la muestra preparada.

12. Procedimiento

12.1 Al hacer el ensayo mecánico del Límite Líquido para propósitos de comprobación, usar las siguientes duraciones de tiempo:

- Mezcla de suelo con agua, 5-10 minutos, empleándose el periodo más largo para los suelos más plásticos.
- Manténgase en el humedecedor por 30 minutos.
- Remezclado antes de colocar el material en la cazuela de bronce: Agregar 1 ml de agua y mezclar durante 1 minuto
- Colocación de la cazuela de bronce, ensayo y pesada: 3 minutos.
- Lavado de la cazuela y ranurador, agregando agua y volviendo a mezclar: 3 minutos.

12.2 No se debe reportar ningún ensayo que haya requerido más de 35 o menos de 15 golpes de la cazuela de bronce.

En ningún caso, debe agregarse material seco a la muestra húmeda en la cazuela, para disminuir la humedad o para aumentar la cantidad de muestra.

14. Correspondencia con otras normas

AASHTO T 89

NLT 105

Anexo 6 Límite plástico e índice de plasticidad

I.N.V. E - 126

1. Objeto

1.1 El objeto de este ensayo es la determinación en el laboratorio del límite plástico de un suelo, y el cálculo del índice de plasticidad si se conoce el límite líquido del mismo suelo.

1.2 Se denomina límite plástico a la humedad más baja con la que pueden formarse cilindros de suelo de unos 3 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichos cilindros se desmoronen.

2. Equipo

2.1 Espátula, de hoja flexible, de unos 76.2 mm (3") de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.

2.2 Cápsula para evaporación, de porcelana, o similar, de 115 mm (4 1/2") de diámetro.

2.3 Balanza, de 100 g de capacidad con aproximación a 0.01 g.

2.4 Horno, termostáticamente controlado regulable a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).

2.5 Tamiz, de 425 μm (No.40).

2.6 Agua destilada.

2.7 Vidrios de reloj, o recipientes adecuados para determinación de humedades.

2.8 Superficie lisa, para amasado y enrollamiento. - Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

3. Preparación de la muestra

3.1 Si se quiere determinar sólo el límite plástico, se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 425 μm (No.40), obtenidos de acuerdo con las Normas INV E-106 o INV E-107 (Preparación en seco y en húmedo de muestras de suelo para análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas). Se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con la masa de suelo. Se toma una porción de unos 6 g de dicha esfera como muestra para el ensayo.

- El secado previo del material en horno o estufa, o al aire, puede cambiar (en general, disminuir), el límite plástico de un suelo con material orgánico, pero este cambio puede ser poco importante.

3.2 Si se requieren el límite líquido y el límite plástico, se toma una muestra de unos 15 g de la porción de suelo humedecida y amasada, preparada de acuerdo con la Norma INV E-125 (determinación del límite líquido de los suelos). La muestra debe tomarse en una etapa del proceso de amasado en que se pueda formar fácilmente con ella una esfera, sin que se pegue demasiado a los dedos al aplastarla. Si el ensayo se ejecuta después de realizar el del límite líquido y en dicho intervalo la muestra se ha secado, se añade más agua.

4. Procedimiento

4.1 Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.

4.2 Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3.2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a hacer un elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.

- El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto en los diversos tipos de suelo:

En suelos muy plásticos, el cilindro queda dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños. En otros suelos se forma una capa tubular exterior que comienza a hendirse en ambos extremos y progresa hacia el centro hasta que, finalmente, el suelo se desmorona en partículas lajosas.

4.3 La porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o recipientes tarados, y se continúa el proceso hasta reunir unos 5 g de suelo, se determina la humedad de acuerdo con la Norma INV E-122.

4.4 Se repite, con la otra mitad de la masa, el proceso indicado en 4.1, 4.2 y 4.3.

5. Resultados

El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con una cifra decimal y se calcula así:

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

6. Cálculo del índice de plasticidad

Se puede definir el Índice de Plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

- Índice de Plasticidad = Límite Líquido - Límite Plástico.
- Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el Índice de Plasticidad se informará con la abreviatura NP (No plástico).
- Asimismo, cuando el límite plástico resultante igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP.

7. Precisión y tolerancias

Investigaciones realizadas han demostrado que los resultados se repiten muy bien para un mismo operador, con tal de que posea experiencia aceptable. La principal fuente de incertidumbre radica en las diferencias en la apreciación del punto crítico por operadores diferentes.

Si los resultados obtenidos en las dos determinaciones del límite plástico dan una dispersión apreciable, el ensayo deberá repetirse. Como una guía práctica, cuando la diferencia entre las dos determinaciones resulte mayor o igual al 2%, repita de nuevo el procedimiento y promedie los dos valores cuya diferencia sea menor del 2%.

8. Correspondencia con otras normas

NLT 106

AASHTO T 90

Anexo 7 Relaciones de peso unitario-humedad en los suelos equipo modificado

I.N.V.E - 142

1. Objeto

1.1 Estos métodos de ensayo se emplean para determinar la relación entre la humedad y el peso unitario de los suelos compactados en un molde de un tamaño dado con un martillo de 4.54 kg (10 lb) que cae desde una altura de 457 mm (18"). Se han previsto cuatro procedimientos alternativos en la siguiente forma:

Método A.- Un molde de diámetro 102 mm (4"): material de suelo que pasa un tamiz de 4.75 mm (No.4) (Numerales 3 y 4).

Método B.- Un molde de diámetro 152 mm (6"): material de suelo que pasa tamiz de 4.75 mm (No.4) (Numerales 5 y 6).

Método C.- Un molde de diámetro 102 mm (4"): material de suelo que pasa tamiz de 19.0 mm (3/4") (Numerales 7 y 8).

Método D.- Un molde de diámetro 152 mm (6"): material de suelo que pasa el tamiz de 19 mm (3/4") (Numerales 9 y 10).

1.2 Se indicará en las especificaciones el Método que deberá usarse para el material que se va a ensayar. Si no se especifica ninguno, regirá el Método A.

2. Equipo

2.1 Moldes. - Los moldes deberán ser cilíndricos de paredes sólidas, fabricados con metal y con las dimensiones y capacidades mostradas adelante. Deberán tener un conjunto de collar ajustable aproximadamente de 60 mm (23/8") de altura, que permita la preparación de muestras compactadas de mezclas de suelo con agua de la altura y volumen deseado. El conjunto del molde y del collar deberán estar contruídos de tal manera que puedan ajustarse libremente a una placa del mismo material. (Nota 1).

Nota 1: Pueden emplearse tipos de moldes similares a los estipulados aquí, pero advirtiéndolo que los resultados se correlacionen con los de los moldes de pared sólida, obtenidos sobre varios tipos de suelo y con los mismos resultados de peso unitario. Deberán mantenerse los registros de dicha correlación y deberá disponerse de ellos para su inspección, cuando se usen tipos de moldes similares.

- Un molde con una capacidad de $943 \pm 8 \text{ cm}^3$ ($1/30 \text{ pie}^3$), con un diámetro interior de $101.6 \pm 0.406 \text{ mm}$ ($4.000 \pm 0.016''$) y una altura de $116.43 \pm 0.127 \text{ mm}$ ($4.584'' \pm 0.005''$) (Véase Figura No. 1).
- Un molde que tenga una capacidad de $2124 \pm 21 \text{ cm}^3$ (equivalente a $1/13.33 \text{ pies}^3$), con un diámetro interior de $152.4 \pm 0.6604 \text{ mm}$ ($6'' \pm 0.026''$) y una altura de $116.43 \pm 0.127 \text{ mm}$ ($4.584'' \pm 0.005''$) (Véase Figura No. 2).
- Moldes que no cumplen con la tolerancia debido al uso. Un molde que no cumpla las tolerancias de fabricación después de un servicio continuado, puede permanecer en uso, siempre y cuando dichas tolerancias no sean excedidas en más de 50 por ciento y que se emplee el volumen del molde, calibrado de acuerdo con la Norma para calibración de Medidas de peso unitario para Agregados INV E-217.

2.2 Martillo

- Operado manualmente. - Un martillo metálico que tenga una cara plana circular de $50.8 \pm 0.127 \text{ mm}$ ($2.00'' \pm 0.005''$) de diámetro, una tolerancia por el uso de 0.13 mm ($0.005''$) y que pese $4.536 \pm 0.009 \text{ kg}$ ($10.00 \pm 0.02 \text{ lb}$). El martillo deberá estar provisto de una guía apropiada que controle la altura de caída del golpe desde una altura libre de $457.2 \pm 1.524 \text{ mm}$ ($18.0'' \pm 0.06''$ ó $1/16''$) por encima de la altura del suelo. La guía deberá tener al menos 4 agujeros de ventilación no menores de 9.5 mm ($3/8''$) de diámetro y espaciados aproximadamente a 90° (1.57 radianes) y a 19 mm ($3/4''$), de cada extremo; y deberá tener suficiente luz libre, de tal manera que la caída del martillo y la cabeza no tengan restricciones.

- Operado mecánicamente. - Un martillo de metal que esté equipado con un dispositivo para controlar la altura de caída del golpe hasta una altura libre de 457.2 ± 1.524 mm ($18.0'' \pm 0.06''$ ó $1/16''$) por encima del suelo y que distribuya uniformemente los golpes sobre la superficie de éste. El martillo deberá tener una cara plana circular de 50.8 ± 0.127 mm ($2.0 \pm 0.005''$); una tolerancia por el uso de 0.13 mm (0.005'') y un peso de fabricación de 4.539 ± 0.081 kg (10.0 ± 0.02 lb).

Nota 2: El martillo mecánico deberá comprobarse con diferentes suelos y ajustar su peso si fuera necesario, para que dé los mismos resultados de humedad-peso unitario que los obtenidos con martillos de operación manual.

Puede ser impráctico ajustar el aparato mecánico de tal manera que la caída libre sea de 457 mm (18'') cada vez que caiga el martillo, como con el martillo operado manualmente. Para efectuar el ajuste de la caída libre, la porción del material suelto que recibe los golpes iniciales deberá comprimirse levemente con el martillo para establecer el punto de impacto a partir del cual se determina la caída de 457 mm (18''). Los golpes subsiguientes sobre la capa de suelo que está siendo compactada pueden aplicarse dejando caer el martillo desde una altura de 457 mm (18'') por encima de la altura inicial de asentamiento o, cuando el aparato mecánico está diseñado con un ajuste de altura para cada golpe, todos los golpes subsiguientes deberán tener una caída libre para el martillo de 457 mm (18''), medidos a partir de la altura del suelo como quedara compactado mediante el golpe previo.

- Cara del martillo. - Deberá emplearse el martillo con cara circular, pero podrá usarse como alternativa uno con cara de sector circular. Deberá indicarse en el informe el tipo de cara empleada diferente a la circular de 50.8 mm (2'') de diámetro, pero ésta deberá tener un área igual al de la cara circular.

2.3 Dispositivo para extrusión de las muestras.- Un gato, un extractor, u otro dispositivo adecuado que permita sacar por extrusión las muestras del molde.

2.4 Balanzas y Básculas, de 11.5 kg cuando se usan para pesar moldes de 152 mm (6'') con suelos húmedos compactados; cuando se usa el molde de 102 mm (4''), puede

emplearse una balanza o báscula de menor capacidad, si la sensibilidad y aproximación son de 5 g.

2.5 Horno, termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) para el secado de las muestras.

2.6 Regla Metálica, de acero endurecido, de borde recto y al menos de 254 mm (10") de largo. Deberá tener un borde biselado y al menos una cara plana en sentido longitudinal (usada para el corte final del suelo).

- El borde deberá usarse para el alisamiento final, si éste es plano dentro de una tolerancia de 0.1 % (0.01" por cada 10") del largo; sin embargo, con el uso continuado, el borde cortante podrá desgastarse excesivamente, en cuyo caso no sería adecuado para alisar el suelo hasta el nivel del molde. La regla no deberá ser tan flexible que cuando se alise el suelo con su borde cortante, proporcione una superficie cóncava en la muestra.

2.7 Tamices, de 50, 19.0 y 4.75 mm (2"; 3/4" y No.4).

2.8 Herramientas misceláneas para mezclado, tales como cucharas, espátulas, cazuelas, o un dispositivo mecánico adecuado para mezclar las muestras de suelo con diversas cantidades de agua.

2.9 Recipientes, para determinar la humedad de las muestras, elaborados en metal u otro material adecuado, con cierres que ajusten herméticamente para evitar la pérdida de humedad durante el pesaje.

Método A

3. Muestra

3.1 Si la muestra de suelo está húmeda cuando se recibe del terreno, deberá secarse hasta que llegue a hacerse friable según se vea al introducir en ella una espátula. El secamiento puede efectuarse al aire o por medio de aparatos de secado de manera que la

temperatura de la muestra no sobrepase de 60 °C (140 °F). Rómpanse entonces los terrones del material de una manera tal que se evite reducir el tamaño natural de las partículas individuales de la muestra.

3.2 Tamícese una cantidad representativa adecuada de suelo pulverizado sobre el tamiz de 4.75 mm (No.4). Si lo hubiere, descártese el material grueso retenido sobre dicho tamiz.

3.3 Escójase una muestra representativa con un peso aproximado de 3 kg (6.6 lb) o más, del suelo preparado como se describe en los numerales 3.1 y 3.2.

4. Procedimiento

4.1 Mézclese perfectamente la muestra representativa escogida, con agua suficiente para humedecerla hasta aproximadamente 4 puntos de porcentaje por debajo del contenido óptimo de humedad.

4.2 Prepárese un espécimen compactando el suelo humedecido en el molde de 102 mm (4") de diámetro (con el collar ajustado) en cinco capas aproximadamente iguales y que den una altura total compactada de alrededor de 127 mm (5"). Compáctese cada capa mediante 25 golpes uniformemente distribuidos con el martillo de caída libre de 457 mm (18") por encima de la altura aproximada del suelo compactado, cuando se usa un martillo operado manualmente. Durante la compactación, el molde deberá permanecer firme sobre un soporte denso, uniforme, rígido y estable.

- Bases satisfactorias para colocar el molde durante la compactación del suelo pueden ser: un bloque de concreto, que pese no menos de 91 kg (200 lb), sostenido por una fundación relativamente estable como un piso sano de concreto, y en el caso de hacer el ensayo en el campo, superficies como los muros de alcantarillas de concreto, los puentes y los pavimentos.
- Después de la compactación, remuévase el collar de extensión, recórtese cuidadosamente el suelo excedente compactado en la parte superior del molde,

usando la regla con borde recto. Pésese el molde y el suelo húmedo en kilogramos con aproximación de 5 g (en libras con aproximación de 0.01 lb).

Para moldes que cumplan con las tolerancias dadas en la sección 2.1 y cuyos pesos se hayan anotado en libras, multiplíquese el peso del suelo compactado en el molde, menos el peso del molde, por 30, y anótese el resultado como el peso unitario húmedo, ρ_1 , en lb/pie³, de suelo compactado. Para moldes que cumplan con las tolerancias dadas en el numeral 2.1 y cuyos pesos se registren en kg, multiplíquese el peso del suelo compactado y del molde, menos el peso del molde, por 1059.43 y regístrese el resultado como peso unitario húmedo, ρ_1 , en kg/m³, de suelo compactado. Para moldes usados fuera de la tolerancia del 50 %, hágase el cálculo teniendo en cuenta el volumen calibrado del molde.

4.3 Sáquese la muestra compactada del molde y córtese verticalmente a través del centro de la misma. Tómese una muestra representativa del material de una de las caras del corte; pésese inmediatamente y séquese en un horno a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F), por un tiempo mínimo de 12 horas o hasta peso constante, para determinar el contenido de agua. La muestra para humedad no deberá pesar menos de 100 g.

4.4 Rómpase completamente la porción restante de la muestra moldeada hasta cuando se considere a ojo que pasa por el tamiz de 4.75 mm (No.4) y reúnanse con la porción restante de la muestra que se está ensayando. Agréguese agua en cantidad suficiente para aumentar la humedad del suelo en 1 o 2 puntos de porcentaje, y repítase el procedimiento anterior para cada incremento de agua. Continúese esta serie de determinaciones, hasta que haya disminución o no haya cambio en el peso húmedo, ρ_1 , en lb/pie³, o kg/m³, del suelo compactado.

- Este procedimiento se ha encontrado satisfactorio en la mayoría de los casos. Sin embargo, en algunos casos, en los cuales el suelo es de carácter frágil y se reduce significativamente en su tamaño debido a la compactación repetida y en casos en los cuales el suelo está constituido por un material arcilloso de textura grasosa, dentro del cual es difícil incorporar agua, deberá emplearse una muestra diferente del

mismo material para cada punto del ensayo de compactación. En estos casos, las diferentes muestras deberán mezclarse perfectamente con cantidades suficientes de agua para que la humedad de las mismas varíe aproximadamente en 2 puntos de porcentaje.

Los puntos de humedad escogidos deberán encerrar el valor del contenido óptimo de humedad, proporcionando de esta manera muestras que, cuando se compactan aumentan su peso hasta el peso unitario máximo deseado y luego de alcanzado éste, disminuyen.

Las muestras de mezclas de suelo con agua deberán colocarse en recipientes cubiertos y deberá permitírseles que permanezcan por lo menos 12 horas antes de efectuar la determinación del ensayo de humedad-peso unitario.

- Sin embargo, cuando sea necesario agregar o remover una cantidad predeterminada de agua, podrán emplearse los siguientes tiempos mínimos de reposo para que la humedad se distribuya uniformemente, de acuerdo con el tipo de suelo.

Tabla 4
Tiempos mínimos de reposo

Suelo (USC)	Horas
GW, GP, SW, SP	No se exige
GM, SM	3
ML, CL, OL, GC, SC	18
MH, CH, OH, Pt.	36

Fuente: Laboratorio

Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

Método B

5. Muestra

5.1 Escójase la muestra representativa de acuerdo con el numeral 3.3, excepto que deberá tener un peso de aproximadamente 7 kg (15 lb).

6. Procedimiento

6.1 Sígase el mismo procedimiento descrito para el Método A en el numeral 4, excepto en lo siguiente:

Prepárese una muestra compactando el suelo humedecido en el molde de 152 mm (6"), de diámetro (con el collar ajustado), en cinco capas aproximadamente iguales de tal manera que proporcionen una altura total compactada de alrededor de 125 mm (5"), siendo compactada cada capa por medio de 56 golpes de martillo uniformemente distribuidos.

Para moldes que cumplen con las tolerancias del numeral 2.1 y con los pesos anotados en libras, multiplíquese el peso de la muestra compactada y el molde, menos el peso del molde por 13.33, y anótese el resultado como peso unitario húmedo, $\hat{1}$, en lb/pie³, de suelo compactado. Para moldes que cumplen las tolerancias citadas en el numeral 2.1 y con los pesos registrados en kilogramos, multiplíquese el peso de la muestra compactada y el molde, menos el peso del molde, por 470.74, y anótese los resultados como el peso unitario húmedo, $\hat{1}$, en kg/m³, del suelo compactado. Para moldes usados fuera de la tolerancia del 50 %, hágase el cálculo teniendo en cuenta el volumen calibrado del molde.

Método C

7. Muestra

7.1 Si el suelo está húmedo cuando se recibe del campo, séquese hasta que se note friable al introducir en él una espátula. El secamiento puede efectuarse en el aire, o mediante el uso de aparatos de secado, siempre que la temperatura no exceda de 60°C (140°F). Rómpanse luego perfectamente los terrones, pero de tal manera que se evite la reducción del tamaño natural de las partículas individuales.

7.2 Tamícese una cantidad representativa de suelo pulverizado sobre el tamiz de 19.0 mm (3/4"). Descártese el material grueso si lo hubiere, retenido sobre dicho tamiz, si lo hubiere.

- Cuando fuere aconsejable mantener en la muestra el mismo porcentaje de agregado grueso que pasa por el tamiz de 50 mm (2") y que queda retenido en el tamiz de 4.75 mm (No.4), para humedad-peso unitario, que en la muestra original de campo, el material retenido sobre el tamiz 19.0 mm (3/4") deberá reemplazarse en la forma siguiente: tamícese una cantidad adecuada de suelo representativo pulverizado sobre los tamices de 50 mm (2") y 19.0 mm (3/4"). Pésese el material que pase el tamiz de 50 mm (2") y queda retenido en el tamiz de 19.0 mm (3/4") y reemplácese con un peso igual de material que pasa dicho tamiz y que quede retenido en 4.75 mm (No.4). Tómese el material para la sustitución, de la porción sobrante de la muestra.

7.3 Selecciónese una muestra representativa, que tenga un peso de 5 kg (11 lb), de suelo preparado como se describió en los numerales 7.1 y 7.2.

8. Procedimiento

8.1 Mézclase completamente la muestra representativa seleccionada con suficiente agua para humedecerla hasta aproximadamente 4 puntos de porcentaje por debajo del contenido óptimo de humedad.

8.2 Prepárese una muestra mediante compactación del suelo humedecido, en el molde de 102 mm (4") de diámetro (con el collar ajustado), en cinco capas aproximadamente iguales que den una altura total de material compactado de alrededor de 127 mm (5"). Compáctese cada capa mediante 25 golpes uniformemente distribuidos dados por el martillo de caída libre, desde una altura de 457 mm (18") por encima de la altura aproximada del suelo, cuando se usa un martillo del tipo con guía, o de 457 mm (18") por encima de la altura aproximada de cada capa finalmente compactada cuando se usa un martillo de tipo de montaje estacionario. Durante la compactación, el molde deberá permanecer firmemente apoyado sobre un soporte estable, denso, uniforme y rígido. (Véase el numeral 4.2).

- Después de la compactación, remuévase el collar de extensión, recórtese cuidadosamente el suelo excedente compactado en la parte superior del molde, mediante la regla con borde recto. Los huecos que se hayan desarrollado en la

superficie por la remoción de material grueso deberán rellenarse con material de tamaño más pequeño. Pése el molde y el suelo húmedo en kg con aproximación de 5 g (o en libras con aproximación a 0.01 lb). Para moldes que cumplen con las tolerancias dadas en el numeral 2.1, y cuyos pesos estén registrados en libras, multiplíquese el peso de la muestra compactada y el del molde, menos el peso del molde, por 30, y regístrese el resultado como peso unitario húmedo, $\hat{1}$, en lb/pie³, de suelo compactado. Para moldes que cumplen con las tolerancias dadas en el numeral 2.1 y cuyos pesos estén registrados en kilogramos, multiplíquese el peso de la muestra compactada y el del molde, menos el peso del molde, por 1059.43, y anótese el resultado como peso unitario húmedo, $\hat{1}$, en kg/m³, del suelo compactado. Para moldes usados fuera de la tolerancia del 50%, hágase el cálculo teniendo en cuenta el volumen calibrado del molde.

8.3 Sáquese el material del molde y córtese verticalmente por el centro. Tómese una muestra representativa del material de una de las caras del corte, pése inmediatamente, séquese en un horno a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) por lo menos durante 12 horas o hasta obtener un peso constante, para determinar el contenido de humedad. La muestra para esta determinación no deberá ser menor de 500 g.

8.4 Rómpase completamente la cantidad restante del material hasta cuando se considere que pasa el tamiz de 19.0 mm y para el cual el noventa (90 %) de los terrones de suelo pasan un tamiz de 4.75 mm juzgado a ojo, y agréguese a la parte restante de la muestra que se va ensayar. Añádase agua en cantidad suficiente para aumentar la humedad de la muestra en uno o dos puntos de porcentaje, y repítase el procedimiento anterior para cada incremento de agua. Prosígase con esta serie de determinaciones hasta que disminuya o no cambie el peso húmedo $\hat{1}$ en kg/m³ (o lb/pie³) del suelo compactado. (Véase numeral 4.4).

Método D

9. Muestra

9.1 Escójase la muestra representativa de acuerdo con el numeral 7.3, excepto que ésta deberá tener un peso de aproximadamente 11 kg. (24 lb).

10. Procedimiento

10.1 Sígase el mismo procedimiento descrito para el Método C en el numeral 8, excepto en lo siguiente: fórmese una muestra compactando el suelo humedecido en el molde de 152 mm (6") de diámetro (con el collar ajustado) en cinco capas aproximadamente iguales, que den una altura total compactada alrededor de 127 mm (5"), compactándose cada capa mediante 56 golpes del martillo distribuidos uniformemente. Para moldes que cumplan con las tolerancias dadas en el numeral 2.1 y con los pesos dados en libras, multiplíquese el peso de la muestra compactada y del molde menos el peso del molde por 13.33, y anótese el resultado como el peso unitario, $\hat{\rho}$, en lb/pie³ del suelo compactado. Para moldes que cumplan con las tolerancias dadas en el numeral 2.1 y con los pesos registrados en kilogramos, multiplíquese el peso de la muestra compactada y del molde menos el peso del molde por 470.74, y regístrese el resultado como el peso unitario húmedo, del suelo compactado, $\hat{\rho}_w$, en kg/m³. Para moldes usados fuera de las tolerancias del 50%, hágase el cálculo teniendo en cuenta el volumen calibrado del molde.

Cálculos e informe

11. Cálculos

11.1 Calcúlese la humedad y el peso unitario seco del suelo compactado para cada prueba, así:

$$w = \frac{A - B}{B - C} \times 100$$

$$\hat{f} = \frac{\hat{f}_1}{W + 100} \times 100$$

Donde:

- w = Porcentaje de humedad en la muestra con base en el peso seco del suelo en el horno.
- A = Peso del recipiente y del suelo húmedo.
- B = Peso del recipiente y del suelo seco.
- C = Peso del recipiente.
- \hat{f} = Peso unitario seco, en kg/m³ (lb/pie³) del suelo compactado.
- \hat{f}_1 = Peso unitario húmedo de kg/m³ (lb/pie³) del suelo compactado.

12. Relaciones de humedad-peso unitario

12.1 Los cálculos del numeral 11.1 deberán efectuarse para determinar la humedad y el correspondiente peso unitario de la muestra del suelo, secado en el horno, en kg/m³ (lb/pie³). Los pesos unitarios se dibujarán como ordenadas y las humedades correspondientes como abscisas.

12.2 Humedad óptima. - Cuando los pesos unitarios y las correspondientes humedades para el suelo han sido determinados para conformar una curva, el contenido de humedad que corresponda al pico de la curva, se llamará contenido óptimo de humedad del suelo bajo la compactación mencionada atrás.

12.3 Peso Unitario Máximo. - El peso unitario del suelo secado al horno en kg/m³ o en lb/pie³, correspondiente al contenido óptimo de humedad, bajo la compactación mencionada arriba, se llamará peso unitario máximo.

13. Informe

13.1 El informe deberá incluir:

- Método empleado (A, B, C o D).
- Humedad óptima, como porcentaje, aproximada al entero más próximo.
- Peso unitario máximo en kg/m³, con aproximación a 0.5 kg. (o en lb/pie³ con aproximación al entero más próximo).
- En los métodos C y D indíquese el material retenido en el tamiz de 19.0 mm (3/4") que fue removido y reemplazado.
- Tipo de cara del pisón si se usó una diferente a la circular de 50.8 mm (2") de diámetro.

14. Precisión

14.1 Dos resultados obtenidos por el mismo operador sobre la misma muestra en el mismo laboratorio, empleando el mismo aparato, y en días diferentes, deberá considerarse dudoso si difiere en más del 10 % en su contenido medio óptimo de humedad y en 35.2 kg/m³ (2.2 lb/pie³) del peso unitario máximo.

14.2 Dos resultados obtenidos por operadores diferentes en diferentes laboratorios deberán considerarse dudosos si difieren en más del 15 % de su valor medio para el contenido óptimo de humedad y en 72 kg/m³ (4.5 lb/pie³) para el peso unitario máximo.

15. Correspondencia con otras normas

AASHTO T 180

ASTM D 1557

Anexo 8 Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio)

I.N.V. E - 148

1. Objeto

1.1 Esta norma describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido debido a su origen, como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno.

1.2 Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, subbase y de afirmado.

1.3 Esta Norma hace referencia a los ensayos para Determinación de las Relaciones de Peso Unitario-Humedad, usando un equipo normal (estándar) o un equipo modificado, normas INV E-141 y E-142, también conocidos como ensayos de compactación o ensayos Proctor Normal y Proctor Modificado, respectivamente.

2. Equipo y materiales

2.1 Prensa similar a las usadas en ensayos de compresión, utilizada para forzar la penetración de un pistón en el espécimen. El pistón se aloja en el cabezal y sus características deben ajustarse a las especificadas en el numeral 2.7.

El desplazamiento entre la base y el cabezal se debe poder regular a una velocidad uniforme de 1,27 mm (0.05") por minuto. La capacidad de la prensa y su sistema para la medida de carga debe ser de 44.5 kN (10000lbf) ó más y la precisión mínima en la medida debe ser de 44N o menos.

2.2 Molde, de metal, cilíndrico, de 152,4 mm \pm 0.66 mm (6 \pm 0.026") de diámetro interior y de 177,8 \pm 0.66 mm (7 \pm 0.026") de altura, provisto de un collar suplementario

de 51 mm (2.0") de altura y una placa de base perforada de 9.53 mm (3/8") de espesor. Las perforaciones de la base no excederán de 1,6 mm de diámetro (Figura No.1a). La base se deberá poder ajustar a cualquier extremo del molde.

2.3 Disco espaciador, circular, de metal, de 150.8 mm de diámetro y de 50.8 mm (2") de espesor (Figura No.1b), para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.

2.4 Martillos de compactación como los descritos en las normas de ensayo INV E-141 (equipo normal) e INV E-142 (equipo modificado).

2.5 Aparato medidor de expansión compuesto por:

- Una placa de metal perforada, por cada molde, de 149.2 mm (5 7/8") de diámetro, cuyas perforaciones no excedan de 1,6 mm (1/16") de diámetro. Estará provista de un vástago en el centro con un sistema de tornillo que permita regular su altura (Figura No.1d).
- Un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde, que lleve montado y bien sujeto en el centro un dial (deformímetro), cuyo vástago coincida con el de la placa, de forma que permita controlar la posición de éste y medir la expansión, con aproximación de 0.025 mm(0.001").(Ver Figura No.1c).

2.6 Sobrecargas metálicas, unas diez por cada molde, una anular y las restantes ranuradas, con peso de 2,27 Kg (5 lb) cada una, 149.2 mm de diámetro exterior y la anular con 54 mm de diámetro en el orificio central (Figura No.1b).

2.7 Pistón de penetración, cilíndrico, metálico de 49.6 mm de diámetro (1,95"), área de 19.35 cm² (3 pulg²) y con longitud necesaria para realizar el ensayo de penetración con las sobrecargas precisas de acuerdo con el numeral 3.4, pero nunca menor de 101.6 mm (4").

2.8 Dos diales (deformímetros) con recorrido mínimo de 25 mm (1") y divisiones en 0.025 mm (0.001"), uno de ellos provisto de una pieza que permita su acoplamiento en la prensa para medir la penetración del pistón en la muestra.

2.9 Tanque, con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.

2.10 Horno, termostáticamente controlado, regulable a $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$)

2.11 Balanzas, una de 20 kg de capacidad, y otra de 1000 g con sensibilidades de 2 g y 0.1 g respectivamente.

2.12 Tamices, de 4.75 mm (No.4) y de 19.0 mm (3/4").

2.13 Material diverso de uso general como cuarteador, mezclador, cápsulas, probetas, espátulas, discos de papel de filtro del diámetro del molde, etc.

3. Procedimiento

El procedimiento es tal que los valores de la relación de soporte se obtienen a partir de especímenes de ensayo que posean el mismo peso unitario y contenido de agua que se espera encontrar en el terreno. En general, la condición de humedad crítica (más desfavorable) se tiene cuando el material está saturado. Por esta razón, el método original del Cuerpo de Ingenieros de E.U.A. contempla el ensayo de los especímenes después de estar sumergidos en agua por un período de cuatro (4) días confinados en el molde con una sobrecarga igual al peso del pavimento que actuará sobre el material.

3.1 Preparación de la muestra. - Se procede como se indica en las normas INV E-141 o E-142 (Relaciones de peso unitario-humedad en los suelos, con equipo normal o modificado). Cuando más del 75 % en peso de la muestra pase por el tamiz de 19.1 mm (3/4"), se utiliza para el ensayo el material que pasa por dicho tamiz.

Cuando la fracción de la muestra retenida en el tamiz de 19.1 mm (3/4") sea superior a un 25% en peso, se separa el material retenido en dicho tamiz y se sustituye por una

proporción igual de material comprendido entre los tamices de 19.1 mm (3/4") y de 4.75 mm (No.4), obtenida tamizando otra porción de la muestra.

De la muestra así preparada se toma la cantidad necesaria para el ensayo de apisonado, más unos 5 kg por cada molde CBR.

Se determina la humedad óptima y la densidad máxima por medio del ensayo de compactación elegido. Se compacta un número suficiente de especímenes con variación en su contenido de agua, con el fin de establecer definitivamente la humedad óptima y el peso unitario máximo. Dichos especímenes se preparan con diferentes energías de compactación. Normalmente, se usan la energía del Proctor Normal, la del Proctor modificado y una energía inferior al Proctor Normal. De esta forma, se puede estudiar la variación de la relación de soporte con estos dos factores que son los que la afectan principalmente. Los resultados se grafican en un diagrama de contenido de agua contra peso unitario.

Se determina la humedad natural del suelo mediante secado en estufa, según la Norma INV E-122.

Conocida la humedad natural del suelo, se le añade la cantidad de agua que le falte para alcanzar la humedad fijada para el ensayo, generalmente la óptima determinada según el ensayo de compactación elegido y se mezcla íntimamente con la muestra.

3.2. Elaboración de Especímenes. Se pesa el molde con su base, se coloca el collar y el disco espaciador y, sobre éste, un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro.

Una vez preparado el molde, se compacta el espécimen en su interior, aplicando un sistema dinámico de compactación (ensayos INV E-141 o E-142, idem Proctor Normal o Modificado), pero utilizando en cada molde la proporción de agua y la energía (número de capas y de golpes en cada capa) necesarias para que el suelo quede con la humedad y densidad deseadas. (Ver Figura No. 2a). Es frecuente utilizar tres o nueve moldes por cada muestra, según la clase de suelo granular o cohesivo, con grados diferentes de compactación. Para suelos granulares, la prueba se efectúa dando 55, 26 y 12 golpes por

capa y con contenido de agua correspondiente a la óptima. Para suelos cohesivos interesa mostrar su comportamiento sobre un intervalo amplio de humedades. Las curvas se desarrollan para 55, 26 y 12 golpes por capa, con diferentes y humedades, con el fin de obtener una familia de curvas que muestran la relación entre el peso específico, humedad y relación de capacidad de soporte.

Nota 1: En este procedimiento queda descrito cómo se obtiene el índice CBR para el suelo colocado en un solo molde, con una determinada humedad y densidad. Sin embargo, en cada caso, al ejecutar el ensayo deberá especificarse el número de moldes a ensayar, así como la humedad y peso unitario a que habrán de compactarse.

Si el espécimen se va a sumergir, se toma una porción de material, entre 100 y 500 g (según sea fino o tenga grava) antes de la compactación y otra al final, se mezclan y se determina la humedad del suelo de acuerdo con la Norma INV E-122. Si la muestra no va a ser sumergida, la porción de material para determinar la humedad se toma del centro de la probeta resultante de compactar el suelo en el molde, después del ensayo de penetración. Para ello el espécimen se saca del molde y se rompe por la mitad.

Terminada la compactación, se quita el collar y se enrasa el espécimen por medio de un enrasador o cuchillo de hoja resistente y bien recta. Cualquier hueco superficial producido al eliminar partículas gruesas durante el enrase, se rellenará con material sobrante sin gruesos, comprimiéndolo con la espátula.

Se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel de filtro entre el molde y la base. Se pesa.

3.3 Inmersión. - Se coloca sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con vástago, y, sobre ésta, los anillos necesarios para completar una sobrecarga tal, que produzca una presión equivalente a la originada por todas las capas de materiales que hayan de ir encima del suelo que se ensaya, la aproximación quedará dentro de los 2.27 kg (5.5 lb) correspondientes a una pesa. En ningún caso, la sobrecarga total será menor de 4.54 kg. (10lb). (ver Figura No.2b).

Nota 2: A falta de instrucciones concretas al respecto, se puede determinar el espesor de las capas que se han de construir por encima del suelo que se ensaya, bien por estimación, o por algún método aproximado. Cada 15 cm (6") de espesor de estructura del pavimento corresponde aproximadamente a 4,54 kg (10 lb) de sobrecarga.

Se toma la primera lectura para medir el hinchamiento colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del deformímetro con el de la placa perforada. Se anota su lectura, el día y la hora. A continuación, se sumerge el molde en el tanque con la sobrecarga colocada dejando libre acceso al agua por la parte inferior y superior de la muestra. Se mantiene la probeta en estas condiciones durante 96 horas (4 días) con el nivel de agua aproximadamente constante. Es admisible también un periodo de inmersión más corto si se trata de suelos granulares que se saturan de agua rápidamente y si los ensayos muestran que esto no afecta los resultados. (Ver Figura No.2c).

Al final del período de inmersión, se vuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento. Si es posible, se deja el trípode en su posición, sin moverlo durante todo el período de inmersión; no obstante, si fuera preciso, después de la primera lectura puede retirarse, marcando la posición de las patas en el borde del molde para poderla repetir en lecturas sucesivas. La expansión se calcula como un porcentaje de la altura del espécimen.

Después del período de inmersión se saca el molde del tanque y se vierte el agua retenida en la parte superior del mismo, sosteniendo firmemente la placa y sobrecarga en su posición. Se deja escurrir el molde durante 15 minutos en su posición normal y a continuación se retira la sobrecarga y la placa perforada. Inmediatamente, se pesa y se procede al ensayo de penetración según el proceso del numeral siguiente.

Es importante que no transcurra más tiempo que el indispensable desde cuando se retira la sobrecarga hasta cuando vuelve a colocarse para el ensayo de penetración.

3.4 Penetración. - Se aplica una sobrecarga que sea suficiente para producir una intensidad de carga igual al peso del pavimento (con ± 2.27 kg de aproximación) pero no

menor de 4.54 kg (10 lb). Para evitar el empuje hacia arriba del suelo dentro del agujero de las pesas de sobrecarga, es conveniente asentar el pistón luego de poner la primera sobrecarga sobre la muestra, Llévese el conjunto a la prensa y colóquese en el orificio central de la sobrecarga anular, el pistón de penetración y añade el resto de la sobrecarga si hubo inmersión, hasta completar la que se utilizó en ella. Se monta el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón y se aplica una carga de 50 N (5 kgf) para que el pistón asiente. Seguidamente, se sitúan en cero las agujas de los diales medidores, el del anillo dinamométrico, u otro dispositivo para medir la carga, y el de control de la penetración. (Ver Figura No.2d). Para evitar que la lectura de penetración se vea afectada por la lectura del anillo de carga, el control de penetración deberá apoyarse entre el pistón y la muestra o molde.

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración uniforme de 1.27 mm (0.05") por minuto. Las prensas manuales no preparadas para trabajar a esta velocidad de forma automática se controlarán mediante el deformímetro de penetración y un cronómetro. Se anotan las lecturas de la carga para las siguientes penetraciones:

Tabla 5
Cargas de acuerdo a la penetración

Milímetros	Pulgadas
0.63	0.025
1.27	0.050
1.90	0.075
2.54	0.100
3.17	0.125
3.81	0.150
5.08	0.200
7.62	0.300
10.16	0.400 *
12.70	0.500 *

Fuente: Laboratorio

Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

Estas lecturas se hacen si se desea definir la forma de la curva, pero no son indispensables.

Finalmente, se desmonta el molde y se toma de su parte superior, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra para determinar su humedad.

4. Cálculos

4.1 Humedad de Compactación. - El tanto por ciento de agua que hay que añadir al suelo con su humedad natural para que alcance la humedad prefijada, se calcula como sigue:

$$\% \text{ de agua a añadir} = [(H-h) / (100+h)] \times 100$$

Dónde: H = Humedad prefijada

h = Humedad natural

4.2 Densidad o Peso Unitario.- La densidad se calcula a partir del peso del suelo antes de sumergirlo y de su humedad, de la misma forma que en los métodos de ensayo INV E-141 o E-142, idem Proctor Normal o Modificado, para obtener la densidad máxima y la humedad óptima.

4.3 Agua absorbida. - El cálculo para el agua absorbida puede efectuarse de dos maneras. Una, a partir de los datos de las humedades antes de la inmersión y después de ésta (numerales 3.2 y 3.4), la diferencia entre ambas se toma normalmente como tanto por ciento de agua absorbida. Otra, utilizando la humedad de la muestra total contenida en el molde. Se calcula a partir del peso seco de la muestra (calculado) y el peso húmedo antes y después de la inmersión.

Ambos resultados coincidirán o no, según que la naturaleza del suelo permita la absorción uniforme del agua (suelos granulares), o no (suelos plásticos). En este segundo caso debe calcularse el agua absorbida por los dos procedimientos.

4.4 Presión de Penetración.- Se calcula la presión aplicada por el penetrómetro y se dibuja la curva para obtener las presiones reales de penetración a partir de los datos de

prueba; el punto cero de la curva se ajusta para corregir las irregularidades de la superficie, que afectan la forma inicial de la curva (Ver Figura No 3)

4.5 Expansión. - La expansión se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformímetro antes y después de la inmersión, numeral 3.2. Este valor se refiere en tanto por ciento con respecto a la altura de la muestra en el molde, que es de 127 mm (5").

Es decir:

$$\% \text{ Expansión} = \frac{L2 - L1}{127} \times 100$$

Siendo

L1 = Lectura inicial en mm.

L2 = Lectura final en mm.

4.6 Valor de la relación de soporte (Índice resistente CBR).- Se llama valor de la relación de soporte (índice CBR), al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, con relación a la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón. Las características de la muestra patrón son las siguientes:

Tabla 6
Muestra de patrón

Penetración		Presión		
mm	Pulgadas	MN/m ²	kgf/cm ²	lb/plg ²
2.54	0.1	6.90	70.31	1.000
5.08	0.2	10.35	105.46	1.500

Fuente: Laboratorio

Elaborado por: Lombeida, X. (2020)

Para calcular el índice CBR se procede como sigue:

- Se dibuja una curva que relacione las presiones (ordenadas) y las penetraciones (abscisas), y se observa si esta curva presenta un punto de inflexión. Si no presenta punto de inflexión se toman los valores correspondientes a 2,54 y 5,08 mm (0,1" y 0,2") de penetración. Si la curva presenta un punto de inflexión, la tangente en ese punto cortará el eje de abscisas en otro punto, (0 corregido), que se toma como

nuevo origen para la determinación de las presiones correspondientes a 2,54 y 5,08 mm.

- De la curva corregida tómanse los valores de esfuerzo-penetración para los valores de 2.54 mm y 5.08 mm y calcúlense los valores de Relación de Soporte correspondientes, dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia 6.9 MPa (1000lb/plg²) y 10.3 MPa (1500 lb/plg²) respectivamente, y multiplíquese por 100.

La relación de soporte reportada para el suelo es normalmente la de 2.54 mm (0.1") de penetración. Cuando la relación a 5.08 mm (0.2") de penetración resulta ser mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, úsese la relación de soporte para 5.08 mm (0.2") de penetración.

5. Procedimiento para el ensayo sobre muestras inalteradas.

En el caso de muestras inalteradas se procede como sigue:

Se clava el molde en el suelo poco a poco, con ayuda de herramientas apropiadas, hasta llenarlo, haciendo uso de la técnica para la toma de muestras inalteradas que se describe en la Norma INV E-112.

Una vez lleno el molde, se parafinan sus caras planas y, cuidando de no golpearlo, se traslada al laboratorio. Cuando se vaya a efectuar el ensayo se quita la parafina de ambas caras y, con ayuda de la prensa y el disco espaciador, o de un extractor de muestras, se deja un espacio vacío en el molde equivalente al del disco espaciador, enrasando el molde por el otro extremo. A continuación, se procede como con las muestras preparadas en el laboratorio.

La operación para dejar ese espacio vacío no es necesaria (7.0" \pm 0.16") si se utiliza un molde con 127 mm (5") de altura, en vez de los 177,8 mm, y se monta el collar antes de proceder al ensayo de penetración.

6. Informe

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

- Procedimiento y esfuerzo de compactación.
- Humedad al fabricar el espécimen.
- Peso unitario.
- Sobrecarga de saturación y penetración.
- Expansión del espécimen.
- Humedad después de la saturación.
- Humedad óptima y densidad máxima determinados mediante la norma. INV E-142.
- Curva Presión-Penetración.
- Valor de Relación de Soporte.

7. Correspondencia con otras normas

NLT	111
ASTM	D 1883
AASHTO	T 193

Anexo 9 Peso unitario del suelo en el terreno método del cono de arena

I.N.V. E - 161

1. Objeto

Este método de ensayo se usa para determinar el peso unitario (densidad) de los suelos en el terreno. El empleo del aparato descrito aquí está restringido a suelos que contengan partículas no mayores de 50 mm (2") de diámetro.

2. Equipo

2.1 Aparato del cono de arena. - El aparato del cono de arena consistirá de un frasco de aproximadamente un galón (3.785 lts) y de un dispositivo ajustable que consiste de una válvula cilíndrica con un orificio de 12.7 mm (½") de diámetro y que tiene un pequeño embudo que continúa hasta una tapa de frasco de tamaño normal en un extremo y con un embudo mayor en el otro.

La válvula deberá tener topes para evitar su rotación cuando esté en posición de completamente abierta o de completamente cerrada. El aparato deberá estar de acuerdo con las exigencias indicadas en la Figura No.1.

Nota 1: El aparato descrito aquí representa un diseño que ha comprobado ser satisfactorio. Otros aparatos de proporciones similares se comportarán igualmente bien en tanto que se observen los principios básicos de la determinación del volumen con arena. Este aparato, cuando está lleno, puede usarse con agujeros que tengan hasta un volumen de aproximadamente 0.003 m³ (0.1 pies³).

La placa de base mostrada en el dibujo es opcional; su uso puede hacer más difícil la nivelación, pero permite en el ensayo abrir agujeros de diámetros mayores y puede reducir la pérdida de suelo al pasarlo del agujero de ensayo al recipiente, así como también ofrece una base más constante para ensayos en suelos blandos. Cuando se usa la placa de base deberá considerarse como una parte del embudo en el procedimiento de este método de ensayo.

2.2 Arena. - La arena que se utilice deberá ser limpia, seca, uniforme, no cementada, durable y que fluya libremente. Además, deberá tener un coeficiente de uniformidad (D60/D10) menor que 2 y no contener partículas que queden retenidas en el tamiz de 2 mm (No.10).

Debe ser uniforme y preferiblemente de forma redondeada o sub-redondeada para favorecer que fluya libremente y desprovista de partículas o arena fina (menor que 250 μm , No.60), para prevenir segregación en almacenamiento o uso, y cambios de peso unitario aparente como consecuencia de variaciones en la humedad atmosférica.

Al seleccionar una arena para ser usada, deberán hacerse, como mínimo, cinco (5) determinaciones de peso unitario aparente de cada bulto y para que la arena sea aceptable, no deberá existir entre cada uno de los resultados individuales y el promedio una variación mayor que el 1 % del promedio.

Antes de usar una arena, deberá secarse y dejarse luego en reposo hasta que obtenga la condición de "seca al aire", en la zona en que va a ser usada.

Nota 2: La arena no debe reutilizarse sin antes remover cualquier fracción de suelo que la contamine, verificar la gradación y secarla. Además, deberá verificarse el peso unitario aparente en períodos no mayores de 14 días y con mayor frecuencia, en zonas de alta humedad o de variaciones frecuentes de la misma.

La necesidad de esta verificación aumenta con el contenido de partículas finas en la arena ya que éstas tienen tendencia a absorber humedad de la atmósfera y con muy pequeñas variaciones de humedad pueden producirse cambios significativos en el peso unitario aparente de la arena.

2.3 Balanzas. - Una balanza de capacidad de 10 kg y sensibilidad de 2 g y otra de capacidad de 200 g y sensibilidad de 0.1 g.

2.4 Equipo para el secamiento. - Estufa, horno u otro equipo adecuado para secar muestras con el fin de determinar su contenido de humedad.

2.5 Equipo misceláneo. - Pequeña pica, cinceles y cucharas para excavar el agujero de ensayo, cazuela para freír de 224 mm (10") o cualquiera otro recipiente adecuado para secar muestras; canastillas con tapas, canecas con tapas, sacos de lona u otros recipientes adecuados para que contengan las muestras de peso unitario y humedad o para el peso unitario de la arena respectivamente, termómetro; pequeña brocha de pintura, cuaderno y cartera, etc.

3. Procedimiento

3.1 Determínese el volumen del frasco y del conjunto, incluido el volumen del orificio de la válvula en la siguiente forma (Nota 3):

- Pésele el conjunto del aparato y anótese. Colóquese el aparato hacia arriba y ábrase la válvula. Llénese el aparato con agua hasta que aparezca ésta sobre la válvula. Círrrese la válvula y remuévase el exceso de agua. Pésele el aparato y el agua y determínese la temperatura del agua.
- Repítase este procedimiento por lo menos dos veces. Conviértase el peso del agua de gramos a mililitros, para corregir la temperatura como se indica en el numeral 4.1. El volumen que se empleará será el promedio, con una variación máxima de 3 ml.

Nota 3: El volumen determinado en este procedimiento es constante en tanto que el frasco y el dispositivo se hallen en la misma posición relativa; si los dos han de separarse deberán hacerse marcas de referencia que permitan nuevamente armarlos en esta posición.

3.2 Determínese el peso unitario aparente de la arena que va a ser usada en el campo en la siguiente forma: (Notas 4 y 5).

- Colóquese el aparato vacío hacia arriba sobre una superficie firme y a nivel, círrrese la válvula y llénese el embudo con arena.
- Abrase la válvula y, manteniendo el embudo con arena por lo menos hasta la mitad, llénese el aparato. Círrrese la válvula bruscamente y vacíese el exceso de arena.

- Pésele el aparato con arena y determínese el peso neto de la arena quitando el peso del aparato.

Nota 4: La vibración de la arena durante cualquier determinación del peso y del volumen, puede aumentar el peso unitario aparente de la arena y disminuir la precisión de la determinación. Intervalos considerables de tiempo entre la determinación del peso unitario aparente de la arena y su empleo en el campo pueden traducirse en el cambio del peso unitario aparente debido al cambio en la humedad o en la gradación efectiva.

Nota 5: Es posible determinar el peso unitario aparente de la arena en otros recipientes de un volumen conocido que dimensionalmente se aproximen al hueco de mayor tamaño que será excavado. El procedimiento general usado es el dado en el numeral 3.4, para determinar el volumen del agujero de ensayo. Si se ha de seguir este procedimiento deberá comprobarse que el peso unitario aparente resultante iguale a la dada mediante la determinación con el frasco.

3.3 Determínese el peso de la arena necesaria para llenar el embudo en la siguiente forma (Notas 6 y 7):

- Colóquese la arena en el aparato y obténgase el peso del aparato con la arena.
- Colóquese el aparato invertido sobre una superficie plana, limpia y a nivel.
- Abrase la válvula y manténgase abierta hasta que cese de fluir la arena.
- Ciérrase bruscamente la válvula, pésele el aparato con la arena restante y determínese la disminución de la arena. Esta disminución representa la arena necesaria para llenar el embudo.
- Reemplácese la arena removida en la determinación del embudo y ciérrase la válvula.

Nota 6: Esta determinación puede omitirse si se sigue el procedimiento dado en la Nota 8. Cuando se use la placa de base deberá considerarse ésta como parte del embudo.

Nota 7: Cuando se deseen agujeros del máximo volumen posible, después de determinado el peso unitario aparente, deposítase la arena por medio de vibración y auméntese el peso de la arena en el aparato. Si este procedimiento se sigue, el total de la arena disponible deberá determinarse pesándola nuevamente.

3.4 Determínese el peso unitario del suelo en el sitio en la siguiente forma:

- Prepárese el sitio de la superficie para ser ensayada de tal manera que quede en un plano a nivel.
- Colóquese el aparato invertido sobre la superficie preparada y márchese el límite del contorno del embudo (Nota 8).

Nota 8: En suelos en los que la nivelación no pueda efectuarse deberá hacerse un ensayo preliminar midiendo el volumen delimitado por el embudo y la superficie del terreno.

Esta etapa requiere balanzas en el sitio del ensayo o vaciar y llenar nuevamente el aparato. Después de que se complete esta medida, cuidadosamente cepílese la arena empleada.

- Cávese el orificio del ensayo, dentro de la marca del embudo, teniendo cuidado de evitar la alteración del suelo que limita al hueco. Suelos esencialmente granulares requieren extremo cuidado. Colóquese todo el suelo suelto en un recipiente teniendo cuidado de evitar cualquier pérdida de material.
- Colóquese el aparato en la posición previamente marcada, ábrase la válvula y después que haya dejado de fluir la arena, ciérrase la válvula. (Nota 4).
- Pése el aparato con la arena restante y determínese el peso de la arena usada para el ensayo.
- Pése el material que fue removido del hueco de ensayo.

- Mézclase completamente el material y asegúrese de lograr una muestra representativa para la determinación de la humedad.
- Pése y séquese la muestra del suelo para humedad.
- Los volúmenes mínimos sugeridos para los orificios de ensayo, para la determinación del peso unitario en el sitio, de mezclas de suelos.

Esta tabla muestra el peso mínimo sugerido de la muestra empleada para la determinación del contenido de humedad, en relación con el tamaño máximo de las partículas en las mezclas del suelo.

4. Cálculos

4.1 Calcúlese el volumen del aparato de peso unitario de la siguiente forma:

$$V1 = GT$$

Donde:

V1 = Volumen del aparato del cono de arena, en cm³.

G = Gramos de agua requeridos para llenar el aparato,

T = Corrección por temperatura del volumen de agua, indicado en la columna 3 de la Tabla 2.

- Calcúlese el volumen del aparato del cono de arena con aproximación de 3 cm³ (0.0001 pie³).

Volúmenes mínimos de los orificios de ensayo y de las muestras

Para humedad con base en el tamaño máximo

De las partículas

Tabla 7*Volúmenes mínimos de los orificios de ensayo y de las muestras*

Tamaño máximo de partículas		Volumen mínimo del orificio de ensayo cm ³ (pies ³)	Muestra para humedad g
mm	Alterna		
4.75	No. 4	700 (0.025)	100
12.5	½"	1.400 (0.050)	250
25.0	1"	2.100 (0.075)	500
50.0	2"	2.800 (0.100)	1000

Fuente: Laboratorio**Elaborado por:** Lombeida, X. (2020)**Tabla 8***Volumen de agua por gramo con base en la temperatura*

Temperatura, °C (°F)	Volumen de agua, cm ³ /gramo
12 (53.6)	1.00048
14 (57.2)	1.00073
16 (60.8)	1.00103
18 (64.4)	1.00138
20 (68.0)	1.00177
22 (71.6)	1.00221
24 (75.2)	1.00268
26 (78.8)	1.00320
28 (82.4)	1.00375
30 (86.0)	1.00435
32 (89.6)	1.00497

Fuente: Laboratorio**Elaborado por:** Lombeida, X. (2020)

4.2 Calcúlese el peso unitario (densidad) aparente de la arena en la siguiente forma:

$$\hat{\rho}_1 = W_2 / V_1$$

Donde:

$\hat{\rho}_1$ = Peso unitario de la arena en g/cm³.

W₂ = Gramos de arena requeridos para llenar el aparato, (3.2)

V₁ = Volumen del aparato en centímetros cúbicos, (4.1.)

- Calcúlese el peso unitario (densidad) aparente de la arena con aproximación a 0.002 g/cm³

4.3 Calcúlese el contenido de humedad y el peso seco del material removido del hueco de ensayo en la siguiente forma:

$$w = [(W3 - W4) / W4] \times 100$$

$$W6 = W5 / (w + 100)$$

Donde:

w = Porcentaje de humedad, del material extraído del hueco de ensayo.

W3 = Peso húmedo de la muestra de ensayo para humedad, g.

W4 = Peso seco de la muestra de ensayo de humedad, g.

W5 = Peso húmedo del material extraído del hueco de ensayo, g, y

W6 = Peso seco del material del hueco de ensayo, g.

- Calcúlese el contenido de humedad con aproximación a 0.1%
- Calcúlese el peso seco del material removido del hueco de ensayo con aproximación a 0.1 g.

4.4 Calcúlese el peso unitario seco del material ensayado en la siguiente forma:

$$V = (W1 - W7) / \rho_1$$

$$W = W6 / V$$

Donde:

V = Volumen del hueco de ensayo, en cm³

W1 = Gramos de arena usados (3.4)

W7 = Gramos de arena en el embudo (3.3), y

W = Peso unitario seco (densidad), del material ensayado en gms/cm³.

Nota 9: Puede desearse expresar el peso unitario en el sitio como un porcentaje de alguna otra densidad, como por ejemplo del peso unitario máximo de laboratorio determinado de acuerdo con uno de los métodos de Ensayo para Relaciones de Humedad-peso unitario de Suelos (INV E-141 ó INV E-142). Esta relación se determina dividiendo el peso unitario en el sitio por el peso máximo y multiplicando por 100.

4.4.1 Calcúlese el peso unitario (densidad) en el sitio del material ensayado en g/cm³ con aproximación a 0.01 g/cm³ o en lb/pie³ con aproximación a 0.1 lb/pie³.

5. Correspondencia con otras normas

AASHTO T 191

ASTM D 1556

Anexos 10 Ensayo C.B.R.

PROYECTO : Estudio a nivel de prefactibilidad, explorativa y diagnostica en la reducci3n de vol6menes de relleno utilizando geotextil en carreteras.									
DATOS DE COMPACTACION DEL SUELO PARA ENSAYOS DE C. B. R.:									
ASTM	D 1557	SOBRE CARGA			4.54 Kgr	HUMEDAD DE LA MUESTRA : 10,92%			
HUMEDAD OPTIMA:		22.30%	Densidad M3xima Seca		1485 Kgr/m ³	Calicata N°:	1	Muestra No.: 2	
LL= 58		LP= 38	IP= 21		Profundidad:				
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE ENSAYO									
Molde No.	I			C			Q		
No. De Capas	5			5			5		
No. De Golpes por Capas	56			25			12		
ESTADO DE LA MUESTRA	ANTES DE SUMERGIR	DESPUES DE SUMERGIR	ANTES DE SUMERGIR	DESPUES DE SUMERGIR	ANTES DE SUMERGIR	DESPUES DE SUMERGIR	ANTES DE SUMERGIR	DESPUES DE SUMERGIR	
Peso muestra humeda + molde (gr)	11907	12131	11755	12007	11824	12137			
Peso del molde (gr)	7745		7814		7994				
Peso de muestra humeda (gr)	4162	4386	3941	4193	3830	4143			
Volumen muestra (cm ³)	2312.26	2358.63	2309.35	2350.87	2384.73	2425.26			
Peso unitario humedo (gr/cm ³)	1.800	1.860	1.707	1.784	1.606	1.708			
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA	HUMEDAD INICIAL	HUMEDAD FINAL	HUMEDAD INICIAL	HUMEDAD FINAL	HUMEDAD INICIAL	HUMEDAD FINAL	HUMEDAD INICIAL	HUMEDAD FINAL	
Recipiente No.	C	J	C	G	N	N			
Peso muestra humeda + tarro (gs)	159.11	132.56	141.25	132.05	149.32	123.55			
Peso de la muestra seca + tarro (gs)	135.44	109.12	121.02	108.22	127.36	101.78			
Peso del agua (gs)	23.67	23.44	20.23	23.83	21.96	21.77			
Peso del tarro (gs)	30.50	30.09	29.56	30.22	30.07	30.07			
Peso de la muestra seca (gs)	104.94	79.03	91.46	78	97.29	71.71			
Contenido de humedad promedio (%)	22.56%	29.66%	22.12%	30.55%	22.57%	30.36%			
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1468.70	1434.18	1397.44	1366.20	1310.30	1310.44			
Porcentaje de Compactaci3n:	98.90%	96.58%	94.10%	92.00%	88.24%	88.25%			
DATOS DEL ESPONJAMIENTO (HINCHAMIENTO)									
DIA DEL MES	HORA DEL DIA	INTER. DE TIEMPO EN HORA	MOLDE No. I		MOLDE No. C		MOLDE No. Q		
			ESPONJAMIENTO		ESPONJAMIENTO		ESPONJAMIENTO		
			Lectura del Indicador (pulg)	%	Lectura del Indicador	%	Lectura del Indicador (pulg)	%	
5/8/2020	09H00	0	0.0000	0.0%	0.0000	0.0%	0.0000	0.0%	
	10H00	1		0.0%		0.0%		0.0%	
	11H00	2		0.0%		0.0%		0.0%	
	13H00	4		0.0%		0.0%		0.0%	
	17H00	8		0.0%		0.0%		0.0%	
6/8/2020	09H00	24		0.0%		0.0%		0.0%	
	21H00	36		0.0%		0.0%		0.0%	
7/8/2020	09H00	48		0.0%		0.0%		0.0%	
8/8/2020	09H00	72		0.0%		0.0%		0.0%	
9/8/2020	09H00	96	0.0919	2.0%	0.0824	1.8%	0.0779	1.7%	

C.B.R. PENETRACION

PROYECTO : Estudio a nivel de prefactibilidad, explorativa y diagnostica en la reducci3n de vol6menes de relleno utilizando geotextil en carreteras.

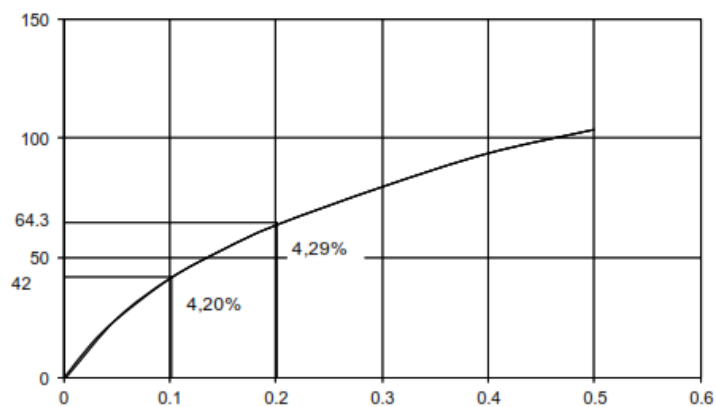
FECHA:

Localizacion:

Calicata: 1

Muestra: 2

MOLDE No :	I	Peso del Molde:	7.75 Kg.	Volumen del Molde (V):	2312,26 cm ³	
No Golpes por Capa: 56	No. Capas : 5	Peso del Martillo:	4.54 Kg.	Altura de caida:	45.7 cm	
NUMERO DE ENSAYO		1	2	3	1	
		2	3	1	2	
		3				
		CARGA DE PENETRACION EN LIBRAS			CARGA DE PENETRACION EN Kg.	
0.635 mm.	(0.025")	41.63			18.92	
1.27 mm.	(0.05")	73.78			33.54	
2.54 mm.	(0.10")	124.09			56.41	
3.81 mm.	(0.15")	160.38			72.90	
5.08 mm.	(0.20")	190.91			86.78	
7.62 mm.	(0.30")	238.76			108.53	
10.16 mm.	(0.40")	280.84			127.65	
12.70 mm.	(0.50")	310.55			141.16	
		CARGA UNITARIA EN Lb/pulg²			CARGA UNITARIA EN kg/cm²	
0.635 mm.	(0.025")	13.88			0.98	
1.27 mm.	(0.05")	24.59			1.73	
2.54 mm.	(0.10")	41.36			2.91	
3.81 mm.	(0.15")	53.46			3.76	
5.08 mm.	(0.20")	63.64			4.47	
7.62 mm.	(0.30")	79.59			5.59	
10.16 mm.	(0.40")	93.61			6.58	
12.70 mm.	(0.50")	103.52			7.28	



C.B.R.: 4.29 %

HINCHAMIENTO: 2.01 %

PARA: 2.54 mm. De penetraci3n

Observaciones:

Operador:

Calculado por:

Verificado por:

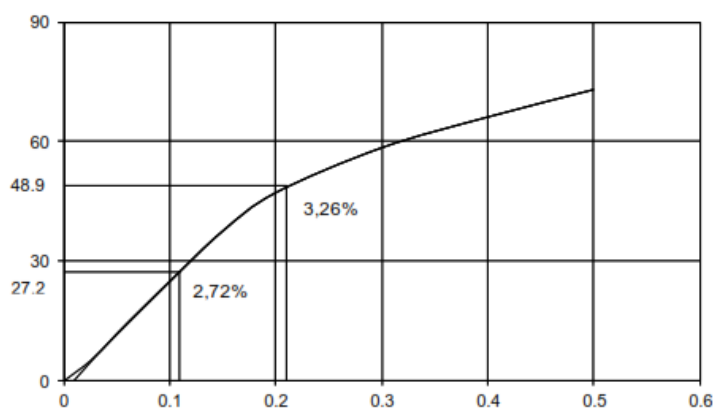
C.B.R. PENETRACION

PROYECTO : Estudio a nivel de prefactibilidad, explorativa y diagnostica en la reducci3n de vol6menes de relleno utilizando geotextil en carreteras.

FECHA:

Localizacion: _____ **Calicata:** 1 **Muestra:** 2

MOLDE No :	C	Peso del Molde:	7.81 Kg.	Volumen del Molde (V):	2309,35 cm ³
No Golpes por Capa: 25	No. Capas : 5	Peso del Martillo:	4.54 Kg.	Altura de caida:	45.7 cm
NUMERO DE ENSAYO		1	2	3	1
		2	3	1	2
		3			
		CARGA DE PENETRACION EN LIBRAS		CARGA DE PENETRACION EN Kg.	
0.635 mm.	(0.025")	15.24		6.93	
1.27 mm.	(0.05")	35.03		15.92	
2.54 mm.	(0.10")	74.61		33.91	
3.81 mm.	(0.15")	112.54		51.16	
5.08 mm.	(0.20")	141.41		64.28	
7.62 mm.	(0.30")	175.23		79.65	
10.16 mm.	(0.40")	198.33		90.15	
12.70 mm.	(0.50")	218.96		99.53	
		CARGA UNITARIA EN Lb/pulg²		CARGA UNITARIA EN kg/cm²	
0.635 mm.	(0.025")	5.08		0.36	
1.27 mm.	(0.05")	11.68		0.82	
2.54 mm.	(0.10")	24.87		1.75	
3.81 mm.	(0.15")	37.51		2.64	
5.08 mm.	(0.20")	47.14		3.31	
7.62 mm.	(0.30")	58.41		4.11	
10.16 mm.	(0.40")	66.11		4.65	
12.70 mm.	(0.50")	72.99		5.13	



C.B.R.: 3.26 %

HINCHAMIENTO: 1.8 %

PARA: 5.08 mm. De penetraci3n

Observaciones:

Operador:

Calculado por:

Verificado por:

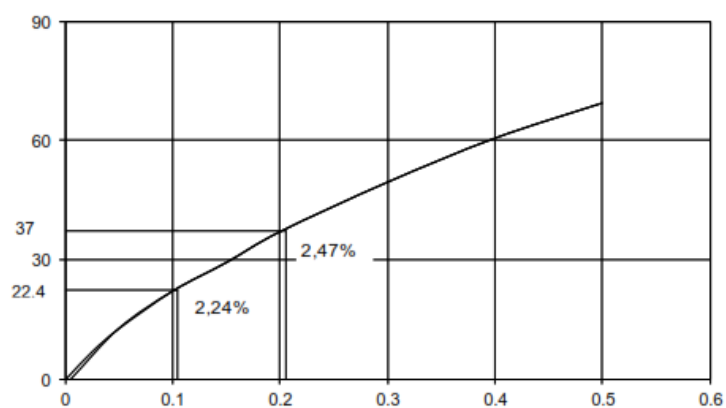
C.B.R. PENETRACION

PROYECTO : Estudio a nivel de prefactibilidad, explorativa y diagnostica en la reducci3n de vol6menes de relleno utilizando geotextil en carreteras.

FECHA:

Localizacion: _____ **Calicata:** 1 **Muestra:** 2

MOLDE No :	Q	Peso del Molde:	7.99 Kg.	Volumen del Molde (V):	2384,73 cm ³
No Golpes por Capa: 12	No. Capas : 5	Peso del Martillo:	4.54 Kg.	Altura de caida:	45.7 cm
NUMERO DE ENSAYO		1	2	3	1
		2	3	1	2
		3			
		CARGA DE PENETRACION EN LIBRAS		CARGA DE PENETRACION EN Kg.	
0.635 mm.	(0.025")	21.01		9.55	
1.27 mm.	(0.05")	38.33		17.42	
2.54 mm.	(0.10")	66.36		30.16	
3.81 mm.	(0.15")	87.80		39.91	
5.08 mm.	(0.20")	110.90		50.41	
7.62 mm.	(0.30")	148.01		67.28	
10.16 mm.	(0.40")	181.01		82.28	
12.70 mm.	(0.50")	207.41		94.28	
		CARGA UNITARIA EN Lb/pulg²		CARGA UNITARIA EN kg/cm²	
0.635 mm.	(0.025")	7.00		0.49	
1.27 mm.	(0.05")	12.78		0.90	
2.54 mm.	(0.10")	22.12		1.55	
3.81 mm.	(0.15")	29.27		2.06	
5.08 mm.	(0.20")	36.97		2.60	
7.62 mm.	(0.30")	49.34		3.47	
10.16 mm.	(0.40")	60.34		4.24	
12.70 mm.	(0.50")	69.14		4.86	



C.B.R.: 2.47 %

HINCHAMIENTO: 1.7 %

PARA: 5.08 mm. De penetraci3n

Observaciones:

Operador:

Calculado por:

Verificado por: