

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE MAestrÍA EN CIENCIAS

TESIS:

**INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE MICROFIBRAS DE
POLIPROPILENO EN EL ÍNDICE CBR DE LOS SUELOS ARCILLOSOS EN EL
SECTOR 11 DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: INGENIERÍA CIVIL

Presentada por:

ALVARO CALUA INFANTE

Asesora:

Dra. ROSA HAYDEE LLIQUE MONDRAGÓN

Cajamarca, Perú

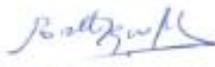
2021



CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador: Alvaro Calua Infante
2. DNI: 46256590
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil
3. Asesora:
Dra. Rosa Haydee Llique Mondragón
4. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
5. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
6. Título de Trabajo de Investigación:
Influencia de la incorporación de microfibras de polipropileno en el índice CBR de los suelos arcillosos en el sector 11 de la ciudad de Cajamarca
7. Fecha de evaluación: **12/11/2021**
8. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (ORIGINAL) (*)
9. Porcentaje de Informe de Similitud: **4%**
10. Código Documento: **D118299112**
11. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: **14/05/2024**

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>
 <hr/> <i>Dra. Rosa Haydee Llique Mondragón</i> DNI: 26621287

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2021 by
ALVARO CALUA INFANTE
Todos los derechos reservados



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

Siendo las 4:00 pm, horas del día 26 de abril de dos mil veintiuno, reunidos a través de Gmeet meet.google.com/ojh-nvqt-aof, creado por la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO, M.Cs. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS, M.Cs. MANUEL LINCOLN MINCHÁN PAJARES**, y en calidad de Asesora la **Dra. ROSA HAYDEE LLIQUE MONDRAGÓN**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado y la Directiva para la Sustentación de Proyectos de Tesis, Seminarios de Tesis, Sustentación de Tesis y Actualización de Marco Teórico de los Programas de Maestría y Doctorado, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada: **INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO EN EL ÍNDICE CBR DE LOS SUELOS ARCILLOSOS EN EL SECTOR 11 DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA**; presentada por el **Bach. en Ing. Civil. ALVARO CALUA INFANTE**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó aprobar con la calificación de EXCELENTE, con diecisiete (17), la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Bach. en Ing. Civil. ALVARO CALUA INFANTE**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, con Mención en **INGENIERÍA CIVIL**.

Siendo las 5:20 p.m. horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....
Dra. Rosa Haydee Llique Mondragón
Asesora

.....
Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
Jurado Evaluador

.....
M.Cs. Mauro Augusto Centurión Vargas
Jurado Evaluador

Ing. Lincoln Minchan Pajares
INGENIERO CIVIL
CIP N° 10000

.....
M.Cs. Manuel Lincoln Minchán Pajares
Jurado Evaluador

A: mi **Dios, Señor y Salvador Jesucristo**, quien me ha dado la vida y guía necesaria a lo largo de mi existencia. Que a través de mis padres me guio en mi formación.

AGRADECIMIENTOS:

A mis Padres, Carlos Calua y María Zenaida Infante

Por todo su esfuerzo, paciencia y sacrificio por darme la orientación en mi formación profesional y por ser un verdadero ejemplo a seguir.

A mis Hermanos; Edith y Freddy

Por todo su cariño y apoyo brindado a lo largo de los diferentes niveles de mi formación académica.

A mi asesora, Dra. Ing. Rosa Llique Mondragón

Por su desinteresada colaboración y apoyo permanente en la realización del presente Proyecto de Investigación.

A mis Profesores, Compañeros, Familiares y Amigos

Porque de diferentes maneras contribuyeron a mi formación académica y personal, y a la culminación de una parte más de mi carrera profesional.

Si Dios no construye la casa, de nada sirve que se esfuercen los constructores.
Salmo 127: 1^a

ÍNDICE

ÍNDICE	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS	xii
GLOSARIO	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
1. CAPÍTULO I	1
1.1. Planteamiento del Problema	1
1.1.1. Contextualización	1
1.1.2. Descripción del Problema	3
1.1.3. Formulación del Problema	4
1.2. Justificación	5
1.3. Delimitación de la investigación	5
1.4. Limitaciones	5
1.5. Objetivos	5
1.5.1. Objetivo General	5
1.5.2. Objetivos específicos	5
2. CAPÍTULO II	6
2.1. Antecedentes de la investigación o marco referencial	6
2.1.1. Antecedentes Internacionales.	6
2.1.2. Antecedentes Nacionales.	8
2.1.3. Antecedentes Locales	9
2.2. Marco conceptual	9
2.2.1. Suelo	9
2.2.2. Suelos arcillosos	14
2.2.3. Comportamiento de los suelos arcillosos	18
2.2.4. Problemas relacionados con los suelos arcillosos.	20
2.2.5. Análisis Granulométrico	21
2.2.6. Límites de consistencia	22
2.2.7. Microfibras de Polipropileno	24
2.2.8. CBR (Indice California Bearing Ratio).	25
2.2.9. Contrastación de hipótesis	27
2.3. Definición de términos básicos	29
3. CAPÍTULO III	30
3.1. Hipótesis	30
3.2. Variables	30
3.3. Operacionalización/categorización de los componentes de las hipótesis	31
4. CAPÍTULO IV	32
4.1. Ubicación geográfica	32

5.1.	Diseño de la investigación	32
5.1.1.	Materiales	32
5.1.2.	Etapas.	32
5.2.	Métodos de investigación hipotético – deductivo.	37
5.3.	Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación	37
5.4.	Técnicas e instrumentos de recopilación de información	37
5.4.1.	Técnicas de recopilación de información	37
5.4.2.	Instrumentos de recopilación de información	38
5.5.	Técnicas para el procesamiento y análisis de la información	38
5.6.	Equipos, materiales, insumos.	38
5.6.1.	Equipos	38
5.6.2.	Materiales	39
5.7.	Matriz de consistencia metodológica VERIFICAR Y CORREGIR	40
6.	CAPÍTULO V	41
5.1.	Presentación de resultado	41
5.1.1.	Granulometría del suelo.	41
5.1.2.	Límites de consistencia	42
5.1.3.	Proctor Modificado (ASTM D-98).	43
5.1.4.	Valor Soporte de California (CBR)	50
5.2.	Análisis, interpretación y discusión de resultados	52
5.2.1.	Granulometría del suelo.	52
5.2.2.	Límites de consistencia	52
5.2.3.	Proctor Modificado (ASTM D-98)	53
5.2.4.	CBR del suelo mejorado con microfibras	54
5.3.	Contrastación de hipótesis	55
5.3.1.	Contraste de hipótesis – Mejoramiento de Índice de CBR	55
	CONCLUSIONES	57
	RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS	57
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valor soporte de California de las muestras.	6
Tabla 2 Análisis Granulométrico ASTM D 422/C136/AASHTO T 88-70	41
Tabla 3. Límites de consistencia	42
Tabla 4. Índice de plasticidad	42
Tabla 5 Clasificación del suelo por método SUCS Y AASHTO	42
Tabla 6. Parámetros de compactación sin microfibras	43
Tabla 7 Parámetro de compactación con microfibras de 12 y 19mm - Dosificación a 0.5%.	44
Tabla 8 Parámetro de compactación con microfibras de 12 y 19mm - dosificación a 1 %.	44
Tabla 9 Parámetro de compactación microfibras de 12 y 19mm - dosificación a 1.5 %.	45
Tabla 10 Parámetro de compactación microfibras de 12 y 19mm - dosificación a 2.0 %.	45
Tabla 11 Parámetro de compactación microfibras de 12 mm - dosificación a 0.5 %.	47
Tabla 12 Parámetro de compactación microfibras de 12 mm - dosificación a 1.0 %.	48
Tabla 13 Parámetro de compactación microfibras de 12 mm - dosificación a 1.5 %.	48
Tabla 14 Parámetro de compactación microfibras de 12 mm - dosificación a 2.0 %.	49
Tabla 15. Índice de CBR de Ensayos	50
Tabla 16. Porcentaje de cambio respecto al suelo sin refuerzo.	50
Tabla 17. Datos de pruebas de microfibra de 12mm.	55
Tabla 18. Contraste de Hipótesis de Índice de CBR con de microfibra de 12mm.	55
Tabla 19. Contraste de Hipótesis de Índice de CBR con de microfibra de 12-19mm.	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del sector 11 de la ciudad de Cajamarca	32
Figura 2. Composición Granulométrica del suelo.	41
Figura 3. Curva de Fluidez.	42
Figura 4. Curva de compactación	43
Figura 5. Curva de compactación microfibras de 12 y 19mm - Dosificación a 0.5%.	43
Figura 6. Curva de compactación microfibras de 12 y 19mm - Dosificación a 1 %.	44
Figura 7. Curva de compactación microfibras de 12 y 19mm - Dosificación a 1.5%.	44
Figura 8. Curva de compactación microfibras de 12 y 19mm - Dosificación a 2.0%.	45
Figura 9. % de microfibras de 12 y 19 mm vs contenido óptimo.	46
Figura 10. % de microfibras de 12 y 19 mm vs densidad seca	46
Figura 11. Curva de compactación microfibras de 12 mm - Dosificación a 0.5%.	47
Figura 12. Curva de compactación microfibras de 12 mm - Dosificación a 1.0%.	47
Figura 13. Curva de compactación microfibras de 12 mm - Dosificación a 1.5%.	48
Figura 14. Curva de compactación microfibras de 12 mm - Dosificación a 2.0%.	49
Figura 15. % dosificación 12 mm vs contenido óptimo de humedad.	49
Figura 16. % de microfibras de 12 mm vs densidad seca	50
Figura 17. Efecto del tamaño de las micro fibras a diferentes dosificaciones.	51
Figura 18. Comportamiento de contenido de humedad.	51
Figura 19. Comportamiento de la densidad seca máxima.	52

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials

C.B.R: California Bearing Ratio

S.U.C.S: Unified Soil Classification System

V.R.S: Valor Relativo de Soporte

G: Grava

S: Arena

W: Bien gradado

P: Mal gradado

M: Limo

A: Arcilla

A.S.T.M: American Society of Testing Materials

CL: Arcilla de Baja Plasticidad.

GLOSARIO

Arcillas: Es un mineral que cuando es humedecido es considerado un mineral plástico, es así que se forman partículas microscópicas, y su tamaño es inferior a 4 micras, siendo su componente principal un mineral que es el silicato de aluminio hidratado. (Angelone, 2007) .

CBR: El CBR de un suelo es la relación en porcentaje (%) entre el esfuerzo necesario para penetrar un pistón de dimensiones dadas a una velocidad prefijada hasta una profundidad determinada en la muestra del suelo analizado, y la presión correspondiente para la misma penetración en una muestra patrón con características ideales. (Camacho, 2006).

Índice de plasticidad: Es la diferencia entre los valores del índice líquido e índice plástico. El índice varía entre 4 para los suelos arenosos hasta 25 para los arcillosos. (Antonio A. De Petre, 2012).

Límite líquido: Contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el líquido de un suelo. (M.T.C, 2013)

Límite plástico: Contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el semisólido. (M.T.C, 2013)

Límite de retracción o contracción: cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y se contrae al perder humedad. (Badillo, 2005)

Microfibras: Es un producto textil fabricado a base de fibras ultra finas que le confieren una serie de propiedades superiores al resto de tejidos. (Pareja, 2017).

RESUMEN

En esta investigación se determinó la influencia de la incorporación de las microfibras de polipropileno en el índice de California Bearing Ratio (CBR) de los suelos arcillosos en el sector 11 de la ciudad de Cajamarca. Se realizó ensayos de granulometría y límites de consistencia para clasificar el suelo, ensayo de compactación para determinar la densidad seca máxima y el óptimo contenido de humedad, y ensayo de CBR del suelo sin adición, y con adición de microfibras de polipropileno de longitudes de 12 mm y una combinación de 50% de microfibra de 12 mm con 50% de 19mm, en dosificación de 0,5%, 1%, 1,5% y 2%, para determinar la influencia en el comportamiento del suelo. Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (SUCS) se determinó que es una arcilla de baja plasticidad (CL), y según los valores de índice de CBR se incrementó de 5,55 % a 7% incorporando las microfibras de 12mm con dosificación de 2%. Y con microfibras 12 mm y 19 mm (combinadas 50% de cada uno) se incrementó de 5,55 % a 6,57 % incorporando dichas microfibras, con dosificación de 2%. De lo antes descrito se concluye que, a mayor cantidad de microfibras de polipropileno incluida en suelo arcilloso de baja plasticidad, se incrementa el valor del índice CBR.

Palabras claves: microfibras de polipropileno, suelo arcilloso, índice CBR.

ABSTRACT

In this research the influence of the incorporation of polypropylene Microfibers was determined in the California Bearing Ratio (CBR) Index of clayey soils in sector 11 of the Cajamarca City. Carrying out tests of particle size and consistency limits to classify the soil, compaction test to determine maximum dry density and optimum moisture content, and CBR test of without addition, and also with addition of microfibers of de12 mm lengths and a combination of 50% of 12 mm microfiber with 50% 19mm, in dosage of 0,5%, 1%, 1,5% and 2%, to determine the influence on soil behavior. According to the Unified Soil Classification System (SUCS) It was determined that it is a low plasticity clay (CL), And according to the values of CBR index increased by 5,55% to 7 % incorporating the micro fibers of 12mm with dosage of 2%. And with 12 mm and 19 mm microfibers (combined 50% of each) it was increased from 5,55 % to 6.57% incorporating said microfibers, with a dosage of 2%. From the above described it is concluded that in clay soil of low plasticity, the value of the CBR index is increased.

Key words: polypropylene microfibers, clayey soil, CBR index.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

1.1.1. Contextualización

Las Arcillas producen fallas, debido a sus características expansivas, las cuales difieren en casos muy similares y son muy diversos; mismas que en una estructura llegan hasta afectar la uniformidad arquitectónica, logando alcanzar en muchos casos en millones de dólares en pérdidas que se dan, debido a las fallas por arcillas. Por los años 90 se realizaron investigaciones, y se estimaron los daños producidos por los suelos expansivos, los cuales llegaban hasta 10 billones de dólares aproximadamente, los daños se concentraban en Texas, Dakota del Norte, Oklahoma, Montana y Colorado. (Romero, 2008)

Una de las características de los suelos arcillosos son los cambios de volumen, que son producto de las temporadas secas y húmedas, produciendo expansiones en épocas de lluvias y en épocas secas se producen contracciones de suelos, dichas acciones provocan daños en el pavimento y demás sistemas estructurales, ante esta situación se busca situaciones de mejoramiento. (Yasrobi, 2010)

Dentro de las obras civiles, los pavimentos tienen más tendencia a que sufran fallas provocadas por las arcillas, debido a la contracción y expansión que provocan las arcillas de manera negativa, su resultado es provocar una menor calidad de vida útil. Ante estas circunstancias es importante trabajar en el mejoramiento de los suelos, controlando la resistencia del suelo, dentro de ellos la subrasante tendría que mejorarse, y uno de los métodos es el ensayo de Relación de Soporte de California (CBR), ensayo que mide la resistencia al corte de un suelo en condiciones de densidad y humedad controlada.

Con el devenir del tiempo se han desarrollado técnicas para mejorar los suelos arcillosos, desarrollando métodos para su mejoramiento, siendo algunas las siguientes:

- Estabilización química con cal (Al-Mukhtar, 2012) y también mediante mezclas de cemento y distintos tipos de ceniza (Ghrici, 2011).
- Las inclusiones de geosintéticos (Vessely, 2002).
- Inclusiones de fibras naturales y sintéticas (Babu GLS, 2008).

En Perú, han podido determinar la existencia de la existencia de arcillas expansivas, las mismas que debido a su cambio de volumen han provocado una serie de problemas en estructuras. Dichos suelos arcillosos, se encuentran en el norte y nororiente del Perú (Piura, Chiclayo, Iquitos, Bagua) y el sur del Perú (Chincha, Pisco e Ica) (PNUD, 2009).

Así mismo, en la sierra norte y en las zonas de Jaén y Chamaya se ha determinado una zona de características geológicas y climáticas, que hacen posible la existencia de suelos expansivos en lugares específicos (Rojas & y Alva, 2005).

Según los estudios de zonificación de suelos expansivos, la ciudad de Cajamarca, se encuentra ubicada en una zona de características geológicas y climáticas que hacen posible la ocurrencia de suelos expansivos. Mediante informe del Programa de Prevención y Medidas de Mitigación ante Desastres en la Ciudad de Cajamarca, publicado por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2005), señala que, en la ciudad de Cajamarca existen peligros ante fenómenos geológicos, en la cual, se ha identificado cuatro niveles de peligro considerando en la zona de muy alto peligro a suelos lagunares, compuestos principalmente

por arcillas plásticas y arcillas limosas, con contenidos de humedad relativamente altos, debido a la presencia del nivel freático alto.

El problema más común que se ha podido observar en las obras de construcciones viales, en la zona urbana y rural de Cajamarca, y en la mayor parte de las regiones, es por la presencia de suelos limo-arcillosos, y en la mayoría de subrasantes los suelos presentan baja calidad de capacidad de soporte, debido a los suelos expansivos, arcillosos. En consecuencia, se ha dado alternativas, tales como la sustitución del suelo por un material extraído de cantera, esto para poder buscar una mejora en las características mecánicas y físicas, las cuales puedan resistir todos los esfuerzos que sean sometidos dichos pavimentos. (Silva, 2016).

Existen deficiencias en la actualidad, en los pavimentos existentes de la ciudad de Cajamarca, debido al mal comportamiento que presentan las subrasantes de las estructuras, donde se evidencia que el pavimento presenta esfuerzos superiores a la capacidad de soporte del suelo, esto aún es complicado debido a las constantes lluvias, lo que genera un alto nivel freático. (Silva, 2016).

En la Ciudad de Cajamarca (Perú), en el sector 11 del valle de Cajamarca existen suelos arcillosos con espesores considerables, y según lo expuesto es factible realizar la investigación, ya que la región Cajamarca presenta alto porcentajes de suelos arcillosos, los cuales vienen degradando la calidad de los pavimentos y se traducen en una serie de fallas.

1.1.2. Descripción del Problema

En la región de Cajamarca, una de las características principales es la presencia de suelos arcillosos, y en el sector 11 de la ciudad de Cajamarca existen presencia de grietas en forma de polígonos, las mismas que tienen como consecuencia la ausencia de agua en tiempo de verano, donde su contenido de humedad es mínimo, por

lo tanto debido a la alta presencia de los suelos arcillosos, existen dos alternativas de solución, para poder dar solución al suelo donde van a construir un tipo de pavimento:

- La primera alternativa, está relacionada a los tipos de suelo donde el volumen a querer mejorar es pequeño, en este sentido el volumen de suelo a remover en primer lugar es poder retirar la capa superior y realizar el remplazo por un mejor material al material arcilloso. Sin embargo, no siempre se tiene volúmenes pequeños, por el contrario, los volúmenes en pavimentos a construir, implica grandes volúmenes de mejoras de terreno, por lo cual es necesario tener un banco de materiales de préstamo, para realizar el mejoramiento.
- Como segunda alternativa y casi no usual, es realizar la mejora del índice de CBR del suelo para mejorar la capacidad de carga del suelo. Una de las técnicas de mejoramiento de suelos, es la adición de cal al material arcilloso, lo que podría lograr una mejor estabilización del suelo. (Mitchell J, 2005).

El estudio pretende mitigar la problemática presentada por los suelos arcillosos, por medio de la inclusión de elementos en el suelo para crear un complejo suelo-fibra que aumente su índice CBR y de esta manera, presentar una opción de mejoramiento que contribuya a utilizar el mismo suelo del lugar sin tener que desecharlo, debido a que el principal problema de proyectar o construir pavimentos sobre suelos expansivos es el evitar cambios de contenido de humedad, para reducir al mínimo las distorsiones y los agrietamientos. (Rico, 2005).

1.1.3. Formulación del Problema

¿Cuál es la influencia de la incorporación de las microfibras de polipropileno en el índice CBR de los suelos arcillosos del sector 11 de la ciudad de Cajamarca?

1.2. Justificación

Con la incorporación de las microfibras se mejoró las propiedades mecánicas del suelo, generando un aumento en el valor del índice CBR obteniendo así un terreno más apto para la construcción de obras civiles.

El mejoramiento de los suelos con la incorporación de microfibras de polipropileno permitió conocer el incremento del índice de CBR del suelo, por lo que este estudio ayudó a tener otra alternativa de solución para mejorar la resistencia de los suelos arcillosos; por lo que esta investigación servirá de base para otros estudios relacionados y lograr enriquecer los conocimientos de mecánica de suelos.

1.3. Delimitación de la investigación

La presente investigación, se realiza en suelos arcillosos de baja plasticidad, del sector 11 de la ciudad de Cajamarca, adicionando microfibras de polipropileno.

1.4. Limitaciones

No se puede generalizar los resultados en otras áreas de suelos; ya que los estudios realizados, son exclusivos del lugar y tipo de suelo encontrado.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Determinar la influencia de la incorporación de las microfibras de polipropileno en el índice CBR de los suelos arcillosos en el sector 11 de la ciudad de Cajamarca.

1.5.2. Objetivos específicos

- Clasificar el suelo arcilloso mediante el sistema Unificado de Clasificación de suelos.
- Determinar el índice CBR del suelo arcilloso sin adiciones de microfibras.
- Determinar el índice CBR del suelo arcilloso con las microfibras de polipropileno en porcentajes de 0.5%, 1%, 1.5% y 2%, y longitudes de 12 mm y combinaciones de 50% de 12mm y 50% de 19 mm.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación o marco referencial

2.1.1. Antecedentes Internacionales.

Lara, 2014, en su investigación “Mejoramiento de Suelos Expansibles mediante inclusiones de fibra”, realizada en la ciudad de México, las características mecánicas de los suelos finos reforzados, obtiene resultados de adición de microfibras de polipropileno de longitudes de 9.5 y 19 mm, con una dosificación en porcentajes de 0.5%, 1%, 1.5% y 2%, respecto a su peso seco

En la investigación, se analizó el comportamiento del Valor de Soporte California (CBR) presentados a las penetraciones de 2.54 y 5.08 mm (ASTM Standard D4429-09, 2009), para el suelo sin y con refuerzo, obteniendo lo siguiente:

Tabla 1
Valor soporte de California de las muestras.

Dosificación	C 2.54	C 5.08	CBR 2.54 (%)	CBR 5.08 (%)
0%	3.14	3.84	23.7	19.2
2%	3.07	4.19	23.0	20.9

FUENTE: Rosales, 2014

Además, el resultado de los ensayos, mostraron que el aumento de resistencia se presenta a mayores penetraciones, a partir de 4mm, lo que significa que, para una misma deformación, el suelo con fibras soporta mayores cargas, tal como se evidencia en la figura N° 1 del Anexo N° 6.

Por lo que se concluyó, que el suelo reforzado con fibra de longitud de 9.5 mm, a una dosificación de 2% de peso seco del suelo estudiado, aumentó la resistencia en un 84%, en comparación al suelo sin refuerzo.

El Comité de Geotecnia Vial de la Asociación Técnica de Carreteras de Madrid España, en un estudio titulado Refuerzo de Suelo con Fibras

Sintéticas, en el 2017 desarrollo un conjunto de trabajos con relación al empleo de fibras en el refuerzo de suelos. Realizaron una serie de ensayos con diferentes muestras de suelos mezclados con distintos tipos de fibras.

El resultado del estudio llego a las siguientes conclusiones:

- El mejor reforzamiento en un suelo, se da con las fibras que presenten características, tales como: más finas, presenten secciones no redondas, y superficie rugosa.
- Las características específicas de cada fibra son las que pueden determinar su mejor o peor comportamiento.
- Al realizar ensayos de Proctor Estándar muestran una homogeneidad en los resultados, cuando hay baja dosificación de fibras.

En el laboratorio de Geotecnia, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, en Córdoba Argentina (2014), se realizó un estudio de investigación titulado “Estudio Experimental de Refuerzo de Suelos con Fibras Sintéticas”, donde la inclusión de fibras en el suelo produce una disminución de la densidad debido a que las fibras son más livianas y tiene mayor resistencia a los métodos de compactación más usuales. Se observó que las fibras son sometidas a tensiones de tracción debido al movimiento relativo de los granos de suelo. Por lo tanto, el refuerzo de fibras contribuye a la resistencia al corte del suelo a partir de un cierto nivel de deformación. (Vettorelo P, 2014).

A sí mismo, Ruiz A, 2012, en su investigación de Mejora Geotécnica del Suelo, en España- Gran Canaria, donde se existen suelos arcillosos, al presentar un suelo fibro reforzado, fue una buena opción de mejoramiento de dichos suelos. Donde se encontró una dosificación considerada como óptima (combinación de fibra de 9.5 mm de longitud a una dosificación de 2% de peso seco del suelo estudiado), la cual

presentó ventajas mecánicas en comparación al suelo sin refuerzo, obteniendo una mejora del 84% en comparación al suelo sin refuerzo, siendo el esfuerzo resistente promedio igual a 5.42 kg/cm². (Ruiz A, 2012).

Se puede citar los trabajos de (Li Y, 2014)., en su investigación de Mejoramiento de suelos con fibras de polipropileno, donde realizó la adición de fibras de polipropileno de 12 mm de largo y los combinó con arcillas de baja compresibilidad a cinco distintos porcentajes de dosificación (f=0%, 0.05%, 0.1%, 0.15% y 0.2%), a un mismo contenido de agua (w=16.6%) y con el mismo peso específico seco (igual a $\gamma_d=1.7$ kg/m³).

Concluyeron lo siguiente:

- Al aumentar el contenido de agua del índice CBR de los suelos, el índice de CBR del suelo que fue adicionado las fibras, aumenta, inicialmente estaba en 2,1%, y ha incrementado hasta un 8,1% con 0,2 % de adición
- Al agregar una cantidad mínima de fibras al suelo a mejorar, puede aumentar el índice de CBR en comparación al suelo no reforzado.

2.1.2. Antecedentes Nacionales.

Ramos Hinojoza, en el 2014, en su investigación, titulada “Mejoramiento de subrasante de baja capacidad portante mediante el uso de polímeros reciclados en carreteras, Paucará Huancavelica 2014”, logró obtener muestras de la subrasante de la carretera aun no pavimentada de los tramos Paucará y Paccho Molino del distrito de Paucará, provincia de Acobamba departamento de Huancavelica; así mismo, realizó cuatro calicatas para la extracción de muestras, sus resultados presentaban un CBR por debajo del 6%, por lo que, para que pueda determinar, la óptima dosificación para la estabilización del suelo, realizó 22 ensayos de CBR, realizando la variación de los porcentajes de dosificación de 0, 0.5, 1, 1.5, y 2% respecto al peso seco del suelo y de las longitudes de

los polímeros de 2 a 12 mm. Utilizando polímeros reciclados como agente estabilizador, concluyendo que, pueden ser utilizados en subrasantes para mejorar sus propiedades físicas mecánicas, recomendando la cantidad de 1.5% con respecto al peso seco del suelo y de forma geometría rectangular con dimensiones entre 5 y 10 mm. (Ramos Hinojosa, 2014).

Mamani y Huaranca en el 2013, en su artículo de investigación realizado en Huancayo – Perú, denominado "Estabilización de suelos con fines de pavimentación, mediante el uso de polímeros reciclados", realizó estudios en tres canteras, con los cuales realizó la adición de polímeros en porcentajes de 4%, 5% y 6%, de polímeros reciclados, lograron un aumento del índice de CBR en un promedio de 28%, en relación a su estado inicial, con la adición polímero de 6% de su peso natural. Las canteras estudiadas fueron suelos arenosos con presencia importante de arcillas, donde el promedio de material fino que pasó por la malla N° 200 fue en el 25%. (Mamani D., 2013).

2.1.3. Antecedentes Locales

A la fecha no existen publicaciones sobre esta investigación.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Suelo

Suelo es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que resulta de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres humanos. (Crespo, 2004)

También, se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas. (Braja, 2015).

Clasificación de suelos

Los suelos se han clasificado en finos y gruesos, pero es importante realizar una clasificación de una manera más precisa para que se pueda transmitir una descripción mejor sobre su comportamiento teniendo en cuenta el punto de vista de la ingeniería civil. (Cruz Velasco, 2019).

El poder realizar una clasificación con más precisión del suelo, enmarcando un sistema de referencia especificado por la técnica y que es conocido, cuando se intercomunican entre las personas que trabajen en la ingeniería civil, será más factible y se podrá transmitir de una manera más rápida la información. (Cruz Velasco, 2019).

Los sistemas más utilizados para una clasificación del suelo son:

- ✓ Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).
- ✓ Sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)

a) Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Inicialmente se tienen suelos granulares o finos, según se distribuye el material que pasa el tamiz de 3" = 7,5 cm; el suelo es **fino** cuando más del 50% pasa el T#200, si no, es **granular**.

- **Los suelos granulares se designan según lo establecido en la tabla 1 del Anexo N° 6.**

Si pasa por el T₂₀₀ menos del 5%, los sufijos son W o P, según los valores de Cu y Cc. Si más del 12% pasa el T# 200, los sufijos son M o C, dependiendo del límite líquido (LL) y de su índice de plasticidad (IP). Si el porcentaje de finos está entre el 5% y el 12%, se utilizan sufijos dobles (clase intermedia). (Bosch, 2010).

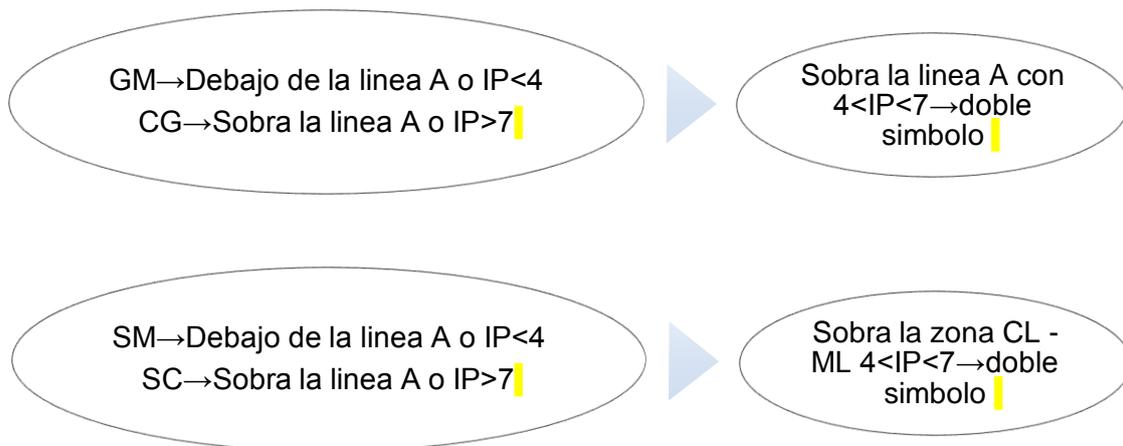
- **Los suelos finos se designan con símbolos, tal como se establece en la tabla 2 del Anexo N° 6**

Esta clasificación es realizada en base a los límites de Atterberg considerando aquella fracción que ha pasado por el tamiz N° 40, y se obtiene a partir de la llamada carta de plasticidad que muestra en el ábaco de Casagrande ubicado en la figura 2 del Anexo 6, donde:

- Línea A: $IP < 0,73(LL - 20)$
- Línea U: $IP < 0,9(LL - 8)$
- Sobre la línea A: arcillas inorgánicas.
- Debajo de la línea A: limos y arcillas orgánicas.
- La línea B: $LL = 50$ separa H de L.
- Plasticidad (arcillas) o compacidad (limos): Baja: $LL < 30$; Media: $30 < LL < 50$; Alta: $LL > 50$.

Dicho sistema fue propuesto por Arturo Casagrande (1942), el cual fue adoptado por los ingenieros de los Estados Unidos, en la construcción de aeropuertos y que actualmente es de uso indispensable en todo el mundo, en compañía del sistema de la AASHTO o el de la ASTM, los cuales están basados en los límites y la granulometría. (Bosch, 2010).

- **Definición del Grupo SUCS, con la carta de plasticidad**



Adicionalmente se tiene también:

- a. GW, GP, SW, SP exigen que MENOS del 5% pase el T# 200.
- b. GM, GC, SM, SC exigen que MAS del 12% pase el T# 200.
- c. Si el porcentaje de finos está entre 5% y 12%, se requiere símbolo doble.

b) Sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).

Este es el sistema del Departamento de Caminos de U.S.A., introducido en 1929 y adoptado por la “American Association of State Highway Officials” entre otras. Es de uso especial para la construcción de vías, en especial para manejo de subrasantes y terraplenes. (Duque, 2013).

Los grupos de suelos son 7, subdivididos en otros más (para llegar a 12), lo cual se observa en la tabla 3 del anexo 6.

➤ Cálculo del índice de grupo AASHTO.

El índice de grupo es calculado a partir de la siguiente ecuación empírica:

$$IG=(F_{200}-35)\{0.2+0,005*(LL-40)\}+0,01*(F_{200}-15)*(IP-10) \quad \dots(1)$$

Dónde:

F_{200} = Porcentaje que pasa a través del tamiz N° 200, expresado como número entero.

LL = Límite líquido

IP = Índice de plasticidad

El primer término de la ecuación: es el índice parcial de grupo determinado con el límite líquido

$$IG=(F_{200}-35)*[0,2+0,005*(LL-40)] \quad \dots \quad (2)$$

El segundo término:

$$0,01*(F_{200}-15)*(IP-10) \quad \dots \quad (3)$$

El índice parcial de grupo determinado con el índice de plasticidad además se determina el índice de grupo a partir del ábaco mostrado

en el anexo 04, determinando los índices de grupo parciales debidos al LL y al IP.

Los suelos granulares presentan índices de grupos que están comprendidos entre cero y cuatro (0-4), los suelos limosos comprenden de ocho a doce (8-12) y los suelos arcillosos, se encuentran entre once y veinte (11-20), o más. El valor los índices de grupo, deben utilizarse solo para hacer la comparación de suelos dentro del mismo grupo, mas no en grupos diferentes. Quiere decir que no se podría comparar por ejemplo un suelo tipo A-3 (0) con un suelo tipo A-2-7 (3), considerando su valor de índice de grupo. En cambio, podemos comparar un suelo A-3 (0), con un tipo de suelo A-3 (3), ya que se deduciría que el suelo A-3 (0) es de mejor calidad que el suelo A-3 (3), debido a que presenta un valor de índice de grupo mucho menor ($0 < 3$). (Bosch, 2010).

La ecuación empírica del índice de grupo diseñada para conseguir una evaluación aproximada de los suelos del mismo grupo, en los materiales granulares arcillosos, y los materiales limo arcillosos, se basa en las siguientes suposiciones:

- Los materiales que se encuentran en los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 son adecuadas como subrasantes cuando están adecuadamente drenados y compactados bajo un espesor moderado de pavimento (base y carpeta de rodadura) de un tipo adecuado para el tráfico que soportará, o que puede adecuarse por adiciones de pequeñas cantidades de ligantes naturales o artificiales.
- Los materiales granulares arcillosos de los grupos A-2-6 y A-2-7 y los materiales limosos y arcillosos de los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, pueden clasificarse para su utilización en subrasantes desde adecuadas como materiales de subbase equivalentes a las categorías A-2-4 y A-2-5, hasta regulares e inadecuadas hasta el punto de requerir una capa de subbase o

una capa mayor de subbase que la requerida en el anterior caso (1), para proporcionar un adecuado soporte a las cargas de tráfico.

- Considerando que el 35% o más del material que pasa por el tamiz N° 200, y se omite su plasticidad sería crítico, pero su mínimo crítico sería solamente 15% cuando el IP siendo mayor que 10 se ve afectado.
- Se supone que el LL igual o mayor que 40% es crítico.
- Se supone que el IP igual o mayor que 10% es crítico.

En 1978, el AASHTO elaboró el Abaco considerado en el Anexo N° 4. Para el empleo de dicho ábaco, se puede observar que en el lado derecho del ábaco se muestra las medidas que comprenden el porcentaje del material de la muestra que pasó el tamiz N° 200. Se inicia de un punto de dicha medida, trazando luego una línea el cual intersecta en un punto de la medida del límite líquido que a su vez esta misma línea interceptará a un punto de la medida del índice parcial de grupo. Dicho procedimiento se realiza, para el índice de plasticidad, obteniendo así dos valores de índice parcial de grupo (uno para LL y otro para IP). Finalmente, el índice de grupo será la suma de los dos índices parciales de grupo. (Norma ASTM, 2003)

2.2.2. Suelos arcillosos

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).

Propiedades de las arcillas:

Dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 2 μm).

- Su morfología laminar (filosilicatos).
- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

De entre ellos se tienen las siguientes propiedades principales:

a. Superficie específica

La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en m^2/g .

Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad. (Garcia, 2018)

b. Capacidad de Intercambio catiónico

Se considera un de las características fundamentales de las esmectitas. Tienen la capacidad de poder cambiar con rapidez sus iones que se encuentran fijados en la superficie exterior de sus cristales, así como en los espacios interlaminares o espacios interiores de estructuras que se encuentran en soluciones acuosas. También se define como la adición de todo el cambio de cationes que tiene un mineral absorbiendo un determinado pH. Resulta equivalente a la sumatoria de las cargas negativas de un mineral que pueden ser generadas por sustituciones isomórficas dentro de la estructura (que es una carga permanente y es un 80% de la carga neta de la partícula e independiente de las condiciones de pH y actividad iónica del medio), mediante enlaces insaturados en los bordes y superficies externas y la disociación de grupos hidroxilos accesibles (ambos varían en función de su pH y de su actividad iónica). (Garcia, 2018).

c. Capacidad de absorción

Su capacidad de absorción es relacionada directamente con la superficie específica y su porosidad, además de puede hablar de dos tipos de procesos que no se dan en forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato).

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbato con respecto a la masa y depende, para una misma arcilla, de la sustancia de que se trate. La absorción de agua de arcillas absorbentes es mayor del 100% con respecto al peso. (Garcia, 2018).

d. Hidratación e hinchamiento

La hidratación y deshidratación del espacio interlamina son propiedades características de las esmectitas, y cuya importancia es crucial en los diferentes usos industriales. Aunque hidratación y deshidratación ocurren con independencia del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación sí está ligado a la naturaleza del catión interlamina y a la carga de la lámina. (Garcia, 2018).

La absorción de agua en el espacio interlamina tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras. Cuando el catión

interlaminar es el sodio, las esmectitas tienen una gran capacidad de hinchamiento, pudiendo llegar a producirse la completa disociación de cristales individuales de esmectita, teniendo como resultado un alto grado de dispersión y un máximo desarrollo de propiedades coloidales. Si, por el contrario, tienen Ca o Mg como cationes de cambio su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida. (García, 2018).

e. Plasticidad

Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas. La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento. Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso. (Jiménez Salas, 1971).

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material. (García, 2018).

f. Tixotropía

La tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido. Si, a continuación, se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico. (García, 2018).

2.2.3. Comportamiento de los suelos arcillosos

Los suelos arcillosos son aquellos que muestran un cambio volumétrico significativo bajo la presencia de agua. Así, ciertas arcillas, en cuya composición entra a formar parte el mineral montmorillonita, tienen espacios entre las láminas que pueden absorber agua provocando su expansión. Estos materiales se conocen como arcillas expansivas o suelos expansivos, y son la causa de la mayoría de los problemas derivados de la construcción de carreteras o edificios en suelos que tengan esta capacidad (Hernando, Sandova, y Gómez, 2012).

Las condiciones ambientales del área en la que se sitúen los suelos expansivos juegan un papel importante en el comportamiento de estos mismos. La frecuencia de la lluvia, la tasa de evaporación, así como la profundidad y la actividad de la arcilla, son parámetros importantes en el desarrollo de la expansión de la arcilla. El daño a las construcciones civiles es causado principalmente por expansiones diferenciales en el suelo de cimentación. La expansión diferencial está en función de numerosas variables, tales como, el espesor del estrato arcilloso, variaciones en el contenido de agua debajo de la estructura, la heterogeneidad del estrato y otras causas más relacionadas con el uso de la estructura en particular. También pueden ser causados por

cambios en las situaciones locales, tales como los rompimientos de drenaje o tubería de agua potable, el regado de jardines y también el diseño pobre en el drenaje superficial (Gromko., 1974).

La expansión bajo una estructura puede ocurrir de tres maneras:

- ✓ Un movimiento vertical de arriba abajo que comienza apenas el comienzo de la construcción y que termina aproximadamente cuatro años o más después del término de la obra.
- ✓ Un ciclo expansión-contracción que normalmente ocurre alrededor del perímetro del edificio y que se relaciona principalmente con la lluvia, la cantidad y frecuencia de la lluvia, así como de la tasa de evapotranspiración.
- ✓ Expansión local la cual puede resultar del rompimiento de drenajes, tubería de agua potable, etc.

La magnitud de la expansión depende de los siguientes factores que influyen el cambio de volumen. (Gromko., 1974).

- **Densidad:** Las arcillas densas expandirán más cuando se humedezcan, comparadas con la misma arcilla a una menor densidad y con el mismo contenido de agua.
- **Condiciones de carga:** Las sobrecargas estructurales reducirán la expansión a tal grado que se puede inhibir en la presencia de agua. Permitir una pequeña cantidad de expansión reduce ampliamente las presiones de expansión.
- **Estructura del suelo:** La historia de esfuerzos influye la expansión. Arcillas expansivas inalteradas o cementadas poseen alta resistencia a la deformación y pueden absorber parte de la presión de expansión. Las arcillas remodeladas expanden más que las anteriores bajo condiciones idénticas. Remoldear arcillas inalteradas reduce la rigidez inicial a alto esfuerzo cortante, y alinea preferencialmente los granos planos en dirección normal a las fuerzas de compactación. Los suelos con partículas alineadas

preferencialmente expanden más en dirección normal a las láminas minerales que en dirección paralela.

- **Tiempo:** La transmisión de humedad es lenta y requiere semanas e incluso años para saturarse, esto depende de la permeabilidad y del espesor del estrato.
- **Contenido de agua:** Las arcillas secas expandirán más que sus contrapartes húmedas debido a la relación directa entre el contenido de agua y las presiones de succión. (Gromko., 1974).

A continuación, se mencionan algunas propiedades de las arcillas los que determinan su comportamiento como tal para poder identificar los problemas:

- A. Expansión:** Se considera suelos expansivos aquellos en los que en una muestra remoldeada y compactada con la densidad y humedad optimas del ensayo Proctor, supere un hinchamiento del 3%. (Prefumo, 2005).

Según el porcentaje de expansión del suelo se puede categorizar en "Baja" cuando el porcentaje de expansión es menor a 1,5%, "Media" cuando esta entre el 1,5 y 5%, "Alta" comprendido entre el 5 y 25% y "muy alta" cuando es mayor al 25%. Una arcilla expansiva es aquella arcilla susceptible de producir grandes cambios de volumen, en directa relación con los cambios en la humedad del suelo: se expanden con la humedad y se contraen al secarse. Los cambios de volumen pueden afectar de manera muy negativa a las cimentaciones y a las obras anexas, si estas no han sido diseñadas para soportar estas deformaciones del terreno o quedar al margen de sus efectos. En el CTE, los suelos expansivos están considerados como terrenos de tipo T-3 (Terrenos desfavorables). (Valle, 2010).

2.2.4. Problemas relacionados con los suelos arcillosos.

Los suelos arcillosos son problemas recurrentes en todo el mundo principalmente en regiones áridas. Se han reportado daños causados

por estos suelos en regiones tan diversas como África, Australia, Canadá, India, Israel, Rusia, España y los Estados Unidos (Bell, 1983);

Tan solo, en los Estados Unidos, se estima que los daños totales causados por suelos expansivos tienen un costo anual de 15 billones de dólares, más del doble que los daños por inundaciones, huracanes, tornados y terremotos combinados. El costo anual de daños por estos suelos en China se estima también en 15 billones de dólares aproximadamente, mientras que la Asociación de Aseguradores Británicos estiman que el costo promedio anual asociado al daño por suelos expansivos es cercano a los 400 millones de libras, lo que los convierte en el peligro geológico más dañino en el Reino Unido (Li Y, 2014)

En la actualidad, se están empezando a emplear fibras artificiales que se obtienen como excedente de procesos industriales y son susceptibles de ser utilizadas como mejora de índices de CBR con diferentes materiales, entre otros en un suelo arcilloso. (Calvo, 2003).

2.2.5. Análisis Granulométrico

La finalidad es poder tener la distribución de los tamaños de las partículas de la muestra del suelo a estudiar. Esto ayuda a realizar la clasificación mediante los sistemas de ASSHTO y SUCS. Dicho ensayo es importante, dado que la gran parte de los criterios de aceptación del tipo de suelo es para poder utilizarlo en las bases y subbases de carreteras, drenajes, presas de tierras, etc., lo que depende del presente análisis. Se emplea los tamices normalizados para obtener la distribución de los tamaños de partículas de la muestra, mismas que se indican en la tabla 4 del Anexo 6.

Además, el suelo analizado es de grano fino, cuando más de la mitad del material analizado pasas por el tamiz N° 200.

2.2.6. Límites de consistencia

Los límites de Atterberg, límites de plasticidad o límites de consistencia, se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, aunque su comportamiento varía a lo largo del tiempo. El nombre de estos es debido al científico sueco Mauritz. (Bosch, 2010).

Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir cuatro estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco, va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico y, finalmente, líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg. (Bosch, 2010).

Los ensayos se realizan:

1. **Límite líquido:** cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande.
2. **Límite plástico:** cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico.
3. **Límite de retracción o contracción:** cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y se contrae al perder humedad.

Relacionados con estos límites, se definen los siguientes índices, así como lo establecido en la figura 3 establecido en el anexo 6:

- **Índice de plasticidad:**
 $I_p \text{ o } IP = w_l - w_p \quad \dots (04)$
- **Índice de fluidez:**
 $I_f = \text{Pendiente de la curva de fluidez} \quad \dots (05)$
- **Índice de tenacidad:**
 $I_t = I_p / I_f \quad \dots (06)$
- **Índice de liquidez (IL o IL),** también conocida como relación humedad-plasticidad (B):
 $IL = (W_n - W_p) / (W_l - W_p) \quad \dots (07)$

Dónde: (W_n = humedad natural)

Compactación proctor

El ensayo de compactación proctor es una prueba de laboratorio que sirve para poder determinar la relación que existe entre el contenido de humedad y su peso unitario seco de una muestra de suelo compactado. (Santos, 1995)

Existen dos métodos para el ensayo de compactación proctor, el primero es el ensayo de Prueba Proctor Estándar (ASTM D-698), pero a la fecha el más utilizado es el denominado Prueba de Proctor Modificado (ASTM D-1557); ambos se diferencian porque en la segunda prueba Proctor, se aplica mayor energía de compactación que en el proctor estándar, la cual es modificada por el número de golpes, el pistón (cambia de altura y de peso), el molde a utilizar y su número de capas. (Braja, 2015)

Ambos ensayos se deben al ingeniero que les da nombre, Ralph R. Proctor (1933), y determinan la máxima densidad que es posible alcanzar para suelos, en determinadas condiciones de humedad y energía. El punto máximo de esta curva corresponde a la densidad seca máxima en ordenadas y a la humedad óptima en abscisas. (Braja, 2015)

La ecuación de la energía de compactación es la siguiente:

$$Y = \frac{n \cdot N \cdot P \cdot H}{V} \quad \dots (08)$$

Dónde:

Y - energía a aplicar en la muestra de suelo;
n - número de capas a ser compactadas en el cilindro de moldeado;
N - número de golpes aplicados por capa;
P - peso del pistón;
H - altura de caída del pistón; y
V - volumen del cilindro.

- **Ensayo de proctor modificado**

El ensayo de Proctor modificado constituye los procedimientos que se realizan en el Laboratorio, los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 4 o 6

pulgadas (101,6 ó 152,4 mm) de diámetro con un pisón de 10 lbf (44,5 N) que cae de una altura de 18 pulgadas (457 mm), produciendo una Energía de Compactación de 56 000 lb-pie/pie³ (2 700 kN-m/m³).

Es definido cuando a un suelo que tiene un contenido de humedad determinado se coloca en cinco capas en un molde que tiene ciertas medidas como condición, cada una de las capas se realiza la compactación con 25 o 56 golpes con un pisón de 10 lbf (4.54 kg) desde una altura de caída de 18 pulgadas (457.2 mm), sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación total de aproximadamente de 56 000 pie-lbf/pie³ (2 700 kN-m/m³). Esto ayuda a determinar el peso seco resultante. Dicho procedimiento es repetido con una cantidad suficiente de contenido de agua para establecer una relación entre el Peso Unitario Seco y el Contenido de Agua del Suelo. Estos datos, cuando son piloteados, representan una relación curvilínea conocida como curva de Compactación. Los valores de Optimo Contenido de Agua y Máximo Peso Unitario Seco Modificado son determinados de la Curva de Compactación.

2.2.7. Microfibras de Polipropileno

Existe un sistema de extrusión, el cual produce unos filamentos muy finos, los cuales se encargan de desarrollar microfibras de polipropileno, se caracterizan por la determinación que se da como una matriz para la elaboración de los materiales. El resultado de tal procesamiento se realiza la formación de cables a posteriori. (Gutierrez, 2013).

A sido muy importante el uso de las microfibras en materiales tales como mejoramiento de suelos, hormigón e incluso morteros; teniendo en cuenta un punto importante que es la dosificación de las microfibras dentro de un mejoramiento, dado que pueden dar resultados la reducción de fallas en una estructura. (Calvo, 2003).

- **Fibras de polipropileno**

En lo que respecta a los suelos fibro reforzados son también con las que mayor investigación se ha desarrollado. Se ha reportado que mejoran la resistencia a la compresión no confinada y que reducen la contracción volumétrica, así como la presión de expansión de las arcillas expansivas (Puppala, 2000).

Muchos investigadores vienen difundiendo el empleo de estas fibras como reductores de fisuras de retracción plástica, esto a complejos mecanismos de presión de poros capilares, los cuales inhiben o disminuyen la retracción por exudación y, en consecuencia, las fisuras.

Se clasifican en:

- ✓ Monofilamentos extruidos.
- ✓ Láminas fibriladas.

Así mismo, se pueden clasificar según su diámetro y forma:

- ✓ Micro-fibras < 0.30mm diámetro
- ✓ Macro-fibras > 0.30mm diámetro. (Puppala, 2000).

2.2.8. CBR (Índice California Bearing Ratio).

EL ensayo de CBR permite conocer la resistencia al corte, que es el esfuerzo cortante del suelo en condiciones de humedad y densidad, las cuales son controladas. La norma de ASTM ha denominado a este ensayo como una “Relación de Soporte” la misma que es normada mediante la norma ASTM D 1883 – 73. Además, es aplicado para evaluar la calidad de la subrasante de un suelo, materiales de una sub base y lo que son bases granulares, mismas que solo puedan contener una pequeña cantidad de material que pasen por el tamiz de 50 mm y sea retenido por el tamiz de 20 mm. (Sarmiento, 2019).

El porcentaje de índice de CBR, que se obtiene es la relación de la carga unitaria en Kg./cm² (libras por pulgadas cuadrada, (psi)) el cual es necesario para poder lograr una profundidad de penetración del pistón

(con un área de 19.4 centímetros cuadrados) en la muestra de suelo compactado que presenta un contenido de humedad y una densidad que son dadas respecto a la carga unitaria patrón que se requiere, para que se obtenga una misma profundidad de penetración de una muestra estándar de material triturado, dicha ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$\text{CBR} = \frac{\text{carga unitaria de ensayo}}{\text{carga unitaria patrón}} * 100 \quad \dots (9)$$

Los valores de carga unitaria que deben utilizarse en la ecuación son lo considerado en la tabla 6 del anexo 6:

El resultado de CBR principalmente está basado en la relación de carga para una penetración de 2.54 mm (0,1”), sin embargo, si el valor del CBR para una penetración de 5.08 mm (0,2”) es mayor, dicho valor debe aceptarse como valor final de CBR. Un ensayo de CBR comúnmente se realiza en muestras compactadas que presentan un contenido de humedad óptimo para un suelo específico determinado empleando el ensayo de compactación estándar. (Sarmiento, 2019).

2.2.8.1. Clasificación de suelo según CBR

El índice de CBR es uno de los parámetros más importantes que se utiliza para los diseños de pavimentos rígidos y flexibles, es un parámetro importante para la evaluación de la resistencia de los materiales a emplear en una base, sub base y subrasante de toda estructura. Los parámetros dan información sobre la expansión que se puede esperar de un suelo e inclusive la pérdida de resistencia que puede tener un suelo, cuando es saturado en campo. En el mismo sentido antes referido, se puede observar una tabla donde se ha realizado una clasificación en base al índice de CBR, se identifica de manera general el tipo de suelo según la tabla 6 del Anexo 6.

2.2.9. Contrastación de hipótesis.

Es una regla de decisiones que nos indica si una hipótesis relativa a la población es compatible (en términos de probabilidad) con los datos de la muestra, o si es incompatible con los mismos y en consecuencia debe ser rechazada. (Salinas, 1998).

En una contrastación de hipótesis, se determinan variables, y una de las variables se denomina hipótesis nula, y se representa como H_0 . Asimismo, existen otras variables como hipótesis alternativas, las cuales se identifican como H_1 , estas hipótesis son las que son aceptadas, siempre y cuando la hipótesis nula es rechazada. (Madrid, 2013).

Durante la contratación de hipótesis, el primer paso es plantear que la hipótesis nula sea cierta. Posteriormente de no validarse la hipótesis nula, se plantea con hechos diferentes las hipótesis alternativas, obteniendo así una de las hipótesis alternativas como válidas. (Madrid, 2013).

Para poder determinar la contratación de hipótesis, se utiliza una muestra de los resultados de la investigación realizada, tal muestra a tomar, sus valores deben mostrar concordancia con lo investigado, y para tener la seguridad de que la hipótesis planteada sea aceptada, los resultados numéricos deben de estar dentro de los parámetros establecidos como válidos, de lo contrario la hipótesis será rechazada.

Todo contraste de hipótesis se desarrolla en varias etapas:

- 1) Se plantean **Hipótesis**, se identifica a la Hipótesis Nula (H_0) y a la Hipótesis Alterativa (H_1).
- 2) Se especifica a los **Supuestos** que se van a asumir, incluyendo supuestos distribucionales, de muestreo, de información conocida, etc.

- 3) Elegir un **Estadístico de Contraste** apropiado, especificando su distribución cuando se asume como verdadera la H_0 establecida en el paso 1 y los supuestos indicados en el paso 2.
- 4) Establecer una **Regla de Decisión**, bilateral o unilateral, basada en el nivel de significación (α) específico que se adopte.
- 5) **Calcular**, según la fórmula indicada, el valor del estadístico de contraste y el nivel crítico.
- 6) Adoptar la **Decisión** y establecer la conclusión. (Madrid, 2013).

El procedimiento consiste, como ya hemos dicho en aplicar el esquema habitual con los siguientes pasos:

1) Hipótesis. Si se trata de un contraste bilateral, éstas serán de la forma,

$$H_0: \mu = \mu_0 \quad H_1: \mu \neq \mu_0$$

2) Supuestos.

- ✓ La población se distribuye $N_{(\mu, \sigma)}$ o la muestra es suficientemente grande como para asumir la normalidad basándonos en el Teorema Central del Límite.
- ✓ La media muestral se ha obtenido sobre una m.a.s.
- ✓ Conocemos σ .

3) Estadístico de Contraste y su distribución bajo H_0 verdadera.

$$z = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}} \rightarrow N(0, 1)$$

4) Regla de Decisión, basada en el nivel de significación (α) adoptado.

Rechazar si $z \geq 1 - \alpha/2$ ó $z \leq \alpha/2$

No rechazar si $\alpha/2 < z < 1 - \alpha/2$

5) Cálculo del Estadístico de Contraste (y eventualmente el Nivel Crítico).

6) Adoptar la Decisión y Concluir. (Máster & y Navarro, 2018).

2.3. Definición de términos básicos:

- ✓ **Microfibras:** Es un producto textil fabricado a base de fibras ultra finas que le confieren una serie de propiedades superiores al resto de tejidos. (Pareja, 2017).

- ✓ **Suelo arcilloso:** Es aquel en el que predomina la arcilla sobre otras partículas de otros tamaños, es decir por silicato de aluminio hidratado ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (Martínez, 2019).

- ✓ **Arcilla:** Es un mineral constituido en su mayor parte por filosilicatos, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, es decir muy fino por lo que es inferior a $2\mu\text{m}$. (Barrios, 2001).

- ✓ **CBR:** Evalúa la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y evalúa la calidad del terreno para la subrasante, sub base y base de pavimentos y se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad; que son parámetros obtenidos mediante el ensayo Proctor. (Construmatica, 2019)

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

Al adicionar mayor porcentaje de microfibras de polipropileno al suelo arcilloso de la zona 11 de la ciudad de Cajamarca, incrementa el valor de su índice CBR.

3.2. Variables

- Independientes:
 - ✓ Fibras de polipropileno
- Dependientes:
 - ✓ Índice CBR.

3.3. Operacionalización/categorización de los componentes de las hipótesis

Título:	"INFLUENCIA DE LA INCORPORACION DE LAS MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO EN EL CBR DE LOS SUELOS EXPANSIVOS EN EL SECTOR 11 DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA"				
Hipótesis	Definición conceptual de las variables/categorías	Definición operacional de las variables/categorías			
		Variables	Dimensiones/ factores	Indicadores/ cualidades	Fuente o instrumento de recolección de datos
Al adicionar mayor porcentaje de microfibras de polipropileno al suelo arcilloso de la zona 11 de la ciudad de Cajamarca, incrementa el valor de su índice CBR.	Son monofilamentos de alta tenacidad que al mezclarse con el suelo forman una matriz que sirve de refuerzo tridimensional que se distribuye uniformemente a través de toda la masa del suelo, intersecado de esa forma las micro tensiones que se producen al absorber la energía que son causadas por las grietas y fisuras en el suelo expansivo.	Variable Independiente: ✓Fibras de polipropileno.	- Las longitudes de microfibra. - Las microfibras de polipropileno en porcentajes.	✓ Microfibras de 12 mm y Microfibras de 50% de 12 mm y 50% de 19 mm. ✓ Incorporación de 0,5%, 1%, 1,5% y 2% de microfibras respecto al peso de muestra de suelo.	Fichas técnicas de fibras de polipropileno.
	El CBR de un suelo es la carga unitaria correspondiente a 0.1" ó 0.2" de penetración, expresada en por ciento en su respectivo valor estándar. También se dice que mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo.	Variable Dependiente: • Índice CBR.	- Esfuerzo del terreno. - Esfuerzo Patrón	- Kg/cm2	Datos de los ensayos de laboratorio.

CAPÍTULO IV MARCO METODOLÓGICO

4.1. Ubicación geográfica.

El Proyecto de investigación se realizó en la zona 11 del valle de Cajamarca, según el plano catastral de Cajamarca.

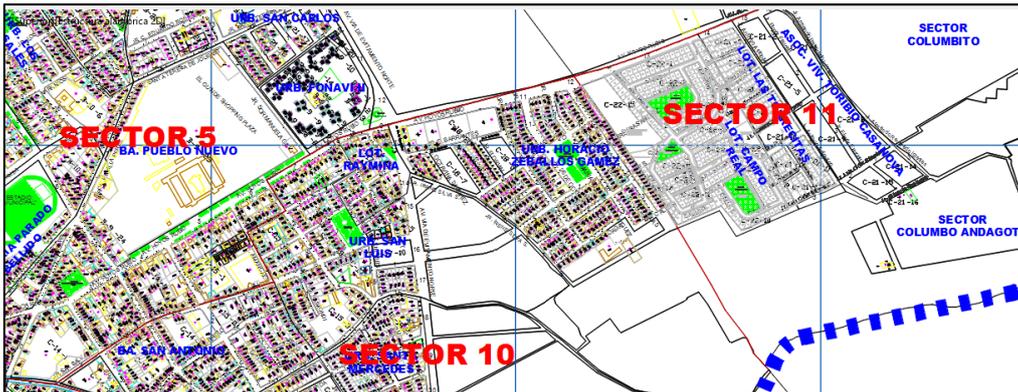


Figura 1. Ubicación del sector 11 de la ciudad de Cajamarca
Fuente: Plano Catastral de Cajamarca 2016.

4.2. Diseño de la investigación

4.2.1. Materiales

- Suelo arcilloso de la zona 11 de la ciudad de Cajamarca.
- Microfibras de polipropileno.

4.2.2. Etapas.

1. Reconocimiento de la zona de trabajo (Zona 11 del Valle de Cajamarca).
2. Excavación de calicatas en la zona de trabajo.
3. Extracción de muestras.
4. Ensayos de laboratorio:
 - a. Análisis granulométrico
 - b. Análisis de límites de consistencia
 - c. Peso específico
 - d. Contenido de humedad
 - e. Proctor modificado

- f. CBR del suelo no reforzado y del suelo reforzado con dosificaciones de 0,5, 1, 1,5 y 2 % de microfibras de 12 mm hasta 50% de 12mm y 50% de 19 mm.
5. Trabajo de gabinete
 - a. Se analizó los valores de CBR del suelo sin adición y con adición de microfibras.

4.2.2.1. Muestreo de suelo.

Se extrajo material arcilloso del tipo expansivo de la zona 11 de la ciudad de Cajamarca. Luego se extendió el material, para realizar el cuarteo de la misma y se realizó la selección del mismo para determinar la muestra del material arcilloso.

4.2.2.2. Determinación de la granulometría del suelo.

El material se preparó utilizando la norma ASTM D421-85(2007), mientras que la prueba del análisis granulométrico se determinó siguiendo la norma ASTM D 422/C136 / AASHTO T 88 - 70. El análisis granulométrico se realizó utilizando procedimientos mecánicos, realizando un tamizado para las partículas mayores a 75 μm , vía húmeda.

4.2.2.3. Determinación de Límites de consistencia.

- **Límite líquido (ASTM D 4318 - 93 /AASHTO T 89-68/ T 90-70).**

Se realizó la mezcla del agua con la muestra de suelo, considerando que sea capaz de moldearlo, dicha muestra se colocó en la Cuchara de Casagrande, y se golpeó de manera consecutiva contra la base de la máquina, realizando el giro de la manivela, hasta que la ranura que anticipadamente se ha realizado a la muestra, se cierra en una longitud de 12 mm (1/2"), se determinó el límite líquido graficando el número de golpes en coordenadas logarítmicas, contra el contenido de humedad correspondiente, en coordenadas normales, e interpolar para la humedad correspondiente a 25 golpes.

- **Límite plástico (ASTM D 4318 - 93/AASHTO T 89-68/ T 90-70).**

La muestra se dejó secar, haciendo perder naturalmente su humedad, para luego romper los terrones de la muestra y hacerlos pasar por la malla N° 40 con agua hasta obtener una mezcla para poder amasar.

Luego se saca la muestra, y con la ayuda de la palma de la mano se realizan cilindros de 3mm, los cuales se introducen en 2 recipientes para promediar el valor de la humedad obtenido con cada uno, para finalmente colocarlos el horno, siendo previamente pesados. Y transcurridos las 24 horas, se vuelve a pesar nuevamente, y se calcula posteriormente el promedio de los dos contenidos de humedad.

El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero.

- **ÍNDICE DE PLASTICIDAD**

Para esto se requiere realizar previamente los ensayos de límite líquido y el límite plástico, dado que es la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

4.2.2.4. Determinación de D_s máx. Y W_{op} mediante proctor modificado (ASTM D-1557).

En el ensayo de proctor modificado, se emplea un molde cilíndrico que tiene un con diámetro interno 10,16 cm y una altura de 11,64 cm, además se utiliza un martillo de 4,54 kg, que se deja caer desde una altura de 45,7 cm (18 pulgadas), compactando con 25 golpes cada capa de suelo.

En la presente investigación, se realizó la compactación en suelo sin adición y en suelo adicionando las microfibras en diferentes

porcentajes (0,5%, 1 %, 1,5% y 2%), para determinar el valor promedio, se estable la relación entre el contenido de humedad del suelo y el peso unitario seco. Con los datos obtenidos, se realizó el grafico y se representó la relación curvilínea conocida como una curva de compactación de la cual se obtiene el contenido óptimo de agua y máximo peso unitario seco.

4.2.2.5. Ensayo de CBR (ASTM D-1883 Ensayo)

Se ensayó 3 faces.

a) Ensayo de compactación CBR.

- ✓ Se preparó la muestra con el contenido óptimo de humedad determinado en el ensayo de compactación de Proctor Modificado.
- ✓ Las muestras seleccionadas fueron divididas en 3 moldes de CBR, y en cada uno se realizó la compactación; el primero con 13, el segundo con 27 y el tercero con 56 golpes por capa, según norma ASTM, cabe precisar que en cada molde de CBR se coloca el collar de extensión en la parte superior y el disco espaciador en la parte inferior sobre éste un papel de filtro del mismo diámetro.
- ✓ Se calculó la densidad húmeda, así como el contenido de humedad de las muestras de cada molde.
- ✓ Se determinó la densidad seca de las muestras de cada molde.

b) Ensayo de hinchamiento.

- ✓ Se invirtió la muestra de tal manera que la superficie libre quedó en la parte superior cuando se ensambló nuevamente los moldes con su placa base.
- ✓ Se colocó sobre cada muestra el papel filtro, la placa de expansión, la sobrecarga, el trípode y el dial de expansión.
- ✓ Se colocó los 3 moldes debidamente equipados en un tanque de agua durante cuatro días (96 horas) y se registró las lecturas de expansión cada 24 horas.

c) Ensayo de carga de penetración:

- ✓ Después de 4 días se sacó los moldes del tanque y de cada una de ellas se retiró el dial, trípode, sobrecarga y placa de expansión, dejándolos drenar 15 minutos.
- ✓ Se colocó la sobrecarga en el molde, se llevó a la prensa hidráulica, se procedió a realizar el ensayo de penetración, aplicando el pisón a una velocidad de 0,05 pulg/min. Registrando en cada muestra, las lecturas de carga y penetración.
- ✓ Se determinó la densidad húmeda y contenido de humedad de las muestras de cada molde.
- ✓ Se calculó el esfuerzo aplicado correspondiente a cada capa.
- ✓ Se dibujó las 3 curvas de esfuerzo-deformación correspondientes a las muestras de cada molde, en escala natural, los valores de deformación se registran en el eje de las abscisas y el esfuerzo en el eje de las ordenadas.
- ✓ Se determinó los esfuerzos para 0,1" y 0,2" de deformación de cada uno de los esfuerzos-deformación.
- ✓ Se dibujó la gráfica densidad seca versus CBR correspondiente a 0,1" y 0,2" de penetración.
- ✓ Los índices CBR son los valores correspondientes a 0,1" y 0,2" de penetración expresado en porcentaje con su respectivo valor estándar.

4.2.2.6. Análisis de resultados

Al finalizar el análisis y la discusión de los resultados obtenidos, se realizó un análisis estadístico de tablas y se propuso un modelo de regresión lineal para el suelo natural y el reforzado, mediante el análisis del CBR, con los porcentajes respecto al peso de la muestra de 0.5%, 1%, 1.5% y 2% de las microfibras de 9mm y microfibras combinadas de 50%de microfibras de 9mm y 50% de microfibras de 12mm.

4.3. Métodos de investigación hipotético – deductivo.

Para el presente proyecto de investigación, el método empleado es el método hipotético – deductivo, debido a que el procedimiento metodológico se considera una hipótesis sustentada por el desarrollo del marco teórico, y se llegó a nuevas conclusiones, las que a su vez fueron sometidas a verificación. (Ñaupas, 2018)

4.4. Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación

- ✓ Población: Suelos arcillosos con las microfibras de polipropileno de la zona 11 de la ciudad de Cajamarca.
- ✓ Muestra:
 - 03 muestras de suelo arcilloso sin microfibras de polipropileno.
 - 24 muestras de suelo arcillosos con las microfibras de polipropileno:
 - 12 muestras, con microfibras de 12 mm, (3 muestras cada uno con porcentajes de 0,5%, 1%, 1,5% y 2% respectivamente).
 - 12 muestras con microfibras de 12 y 19 mm (combinadas 50% de 12mm y 50% 19mm), (3 muestras cada uno con porcentajes de 0,5%, 1%, 1,5% y 2% respectivamente).
- ✓ Unidad de análisis: Suelo arcilloso.
- ✓ Unidades de observación: Espécimen de Suelos arcillosos con la microfibra de polipropileno.

4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información

4.5.1. Técnicas de recopilación de información

- Mediante la observación se pudo identificar los suelos en el sector 11 del distrito de Cajamarca, para luego extraer muestra mediante excavación de calicatas, realizando la evaluación en el laboratorio de la Municipalidad de Cajamarca: Análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico, proctor modificado y CBR.

4.5.2. Instrumentos de recopilación de información

- Equipos necesarios de laboratorio de mecánica de suelos para realizar análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico, proctor modificado, CBR.
- Fichas para consignar datos de los ensayos.

4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

- Programas computacionales de procesamiento de datos (Excel).
- SPS, para contrastar hipótesis.

4.7. Equipos, materiales, insumos.

4.7.1. Equipos

- Equipo para granulometría:
 - Juego de tamices ASTM D422 (1/2", 3/8", 1/4", N.º 4, N.º 10, N.º 20, N.º 40, N.º 60, N.º 100, N.º 200).
 - Horno de secado con control de temperatura.
 - Balanza con precisión de 0,1 g. de capacidad de 400g.
- Equipo para plasticidad:
 - Placa de vidrio esmerilado.
 - Espátula
 - Balanza con precisión de 0,01 g. de capacidad de 400g.
 - Horno de secado con control de temperatura.
 - Copa Casa Grande.
 - Ranurador.
- Equipo para compactación:
 - Molde, de metal, cilíndrico, de 10,16 cm de diámetro interior y de 11,64 cm de altura, provisto de un collar de metal suplementario de 5,08 cm de altura y una placa de base perforada de 0,95 cm de espesor.
 - Martillo de compactación de 4,5 kg con caída libre de 45,72 cm.
 - Espátula

- Balanza con precisión de 0,1 g. y capacidad de 5kg.
- Balanza con precisión de 0,1 g y capacidad de 200 g.
- Horno de secado con control de temperatura.
- Probeta 1000 ml.
- Equipo para ensayo de CBR
 - Máquina de compresión.
 - Molde de 15,24 cm de diámetro interior y de 17,64 cm de altura.
 - Trípode
 - Sobrecargas metálicas.
 - Deformímetro de precisión 0,1 mm.
 - Pistón de penetración, metálico de sección transversal circular, de 5,08 cm de diámetro, área de 19,35 cm².
 - Pesas de sobrecarga. - Dos pesas anulares de sobrecarga de 4,54 kg.
 - Espátulas
 - Horno de secado con control de temperatura.
 - Balanza con precisión de 0,1 g. y capacidad de 5kg.
 - Balanza con precisión de 0,1 g. y capacidad de 200 g.

4.7.2. Materiales

- Suelo arcilloso
- Microfibras de Polipropileno

4.8. Matriz de consistencia metodológica.

“INFLUENCIA DE LA INCORPORACION DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO EN EL ÍNDICE CBR DE LOS SUELOS ARCILLOSOS EN EL SECTOR 11 DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA”

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones/ factores	Indicadores/ cualidades	Fuente o instrumento de recolección de datos	Metodología	Población y muestra
Pregunta general	Objetivo general	Al adicionar mayor porcentaje de microfibras de polipropileno al suelo arcilloso de la zona 11 de la ciudad de Cajamarca, incrementa el valor de su índice CBR.	✓ Variable Independiente: - Microfibras de polipropileno	- Las longitudes de fibra - Las microfibras de polipropileno en porcentajes.	✓ Microfibras de 12 mm y Microfibras de 50% de 12 mm y 50% de 19 mm. ✓ Incorporación de 0,5%, 1%, 1,5% y 2% de microfibras respecto al peso de muestra de suelo.	Fichas técnicas de fibras de polipropileno.	- Muestreo de suelo. - Caracterización del suelo (granulometría, límite consistencia, gravedad específica. - Prueba de compactación. - Valor soporte de California (CBR).	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Población: Suelos arcillosos con las microfibras de polipropileno de la zona 11 de la ciudad de Cajamarca Muestra: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 03 muestras de suelo arcilloso sin microfibras de polipropileno. ▪ 24 muestras de suelo arcillosos con las microfibras de polipropileno: <ul style="list-style-type: none"> - 12 muestras, con microfibras de 12 mm, (3 muestras cada uno con porcentajes de 0,5%, 1%, 1,5% y 2% respectivamente). - 12 muestras con microfibras de 12 y 19 mm (combinadas 50% de 12mm y 50% 19mm), (3 muestras cada uno con porcentajes de 0,5%, 1%, 1,5% y 2% respectivamente). ✓ Unidad de análisis: Suelo arcilloso. ✓ Unidades de observación: Espécimen de Suelos arcillosos con la microfibra de polipropileno.
Preguntas auxiliares	Objetivos específicos							
<ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuál es el índice CBR del suelo arcilloso sin microfibras de polipropileno? - ¿Cuál es índice CBR del suelo combinando con las microfibras de polipropileno? 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar el índice CBR del suelo arcilloso sin microfibras de polipropileno. • Determinar el índice CBR del suelo arcilloso con las microfibras de polipropileno. 							

CAPÍTULO V RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Presentación de resultado

5.1.1. Granulometría del suelo.

**Tabla 2 Análisis Granulométrico ASTM D
422/ AASHTO T 88-70**

Tamiz N°	Porcentaje Que Pasa
N 10	100
N 20	97,66
N 30	94,7
N 40	92,24
N 60	88,02
N 100	84,54
N 200	81,74

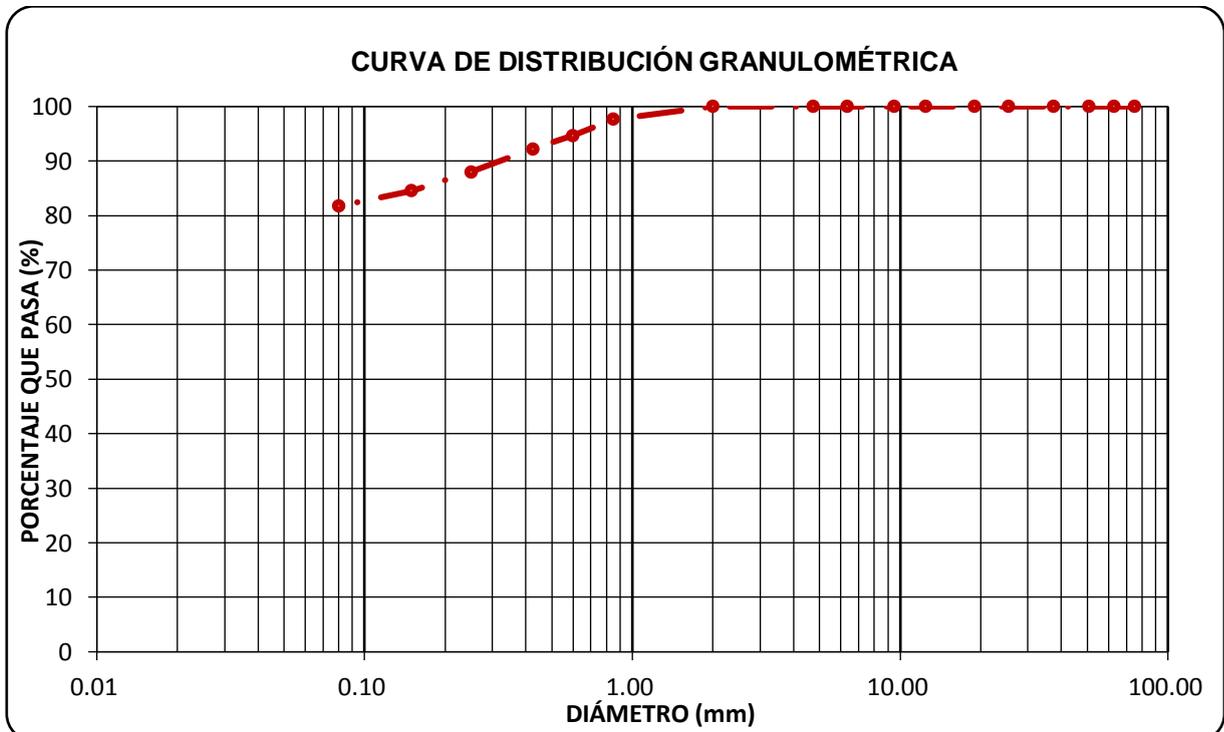


Figura 2. Composición Granulométrica del suelo.

5.1.2. Límites de consistencia

Tabla 3. Límites de consistencia

Límite Líquido =	35%
Límite Plástico =	20%

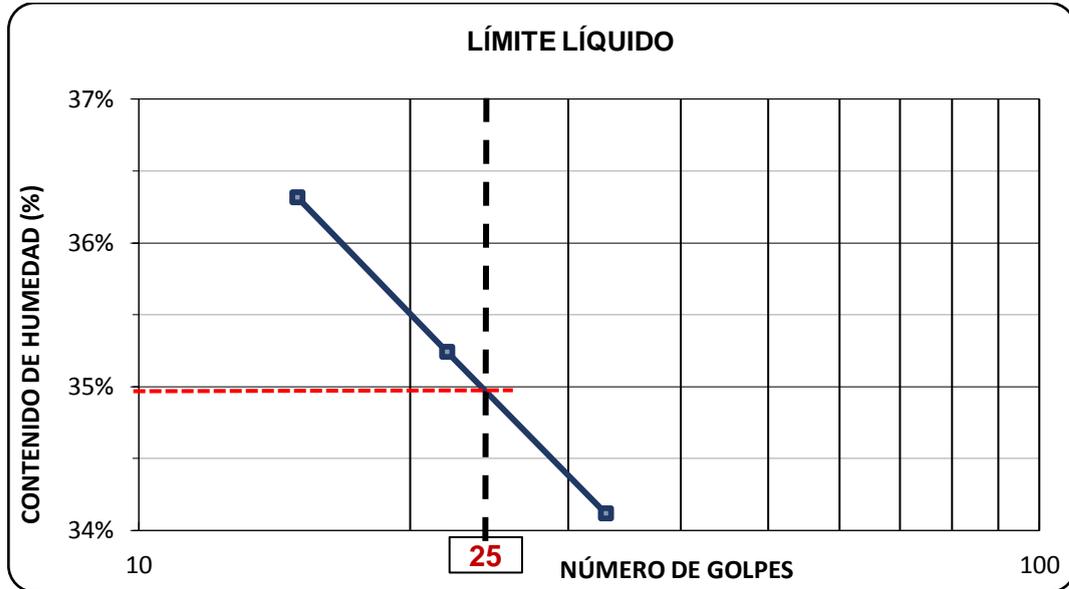


Figura 3. Curva de Fluidez.

5.1.2.1. Índice de Plasticidad

Tabla 4. Índice de plasticidad

<i>I.P.</i> =	15 %
---------------	------

5.1.2.2. Clasificación del suelo

Tabla 5 Clasificación del suelo por método SUCS Y AASHTO

AASHTO:	A-6 (8)
S.U.C.S:	CL

5.1.3. Proctor Modificado (ASTM D-1557)

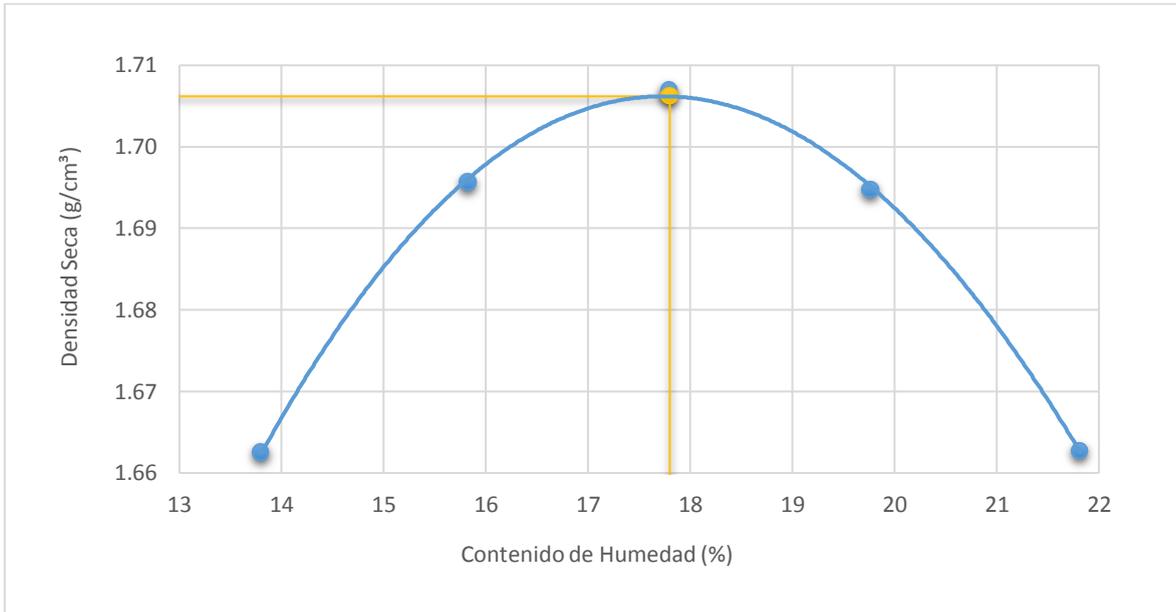


Figura 4. Curva de compactación

Tabla 6. Parámetros de compactación sin microfibras

MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3):	1,706
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	17,80

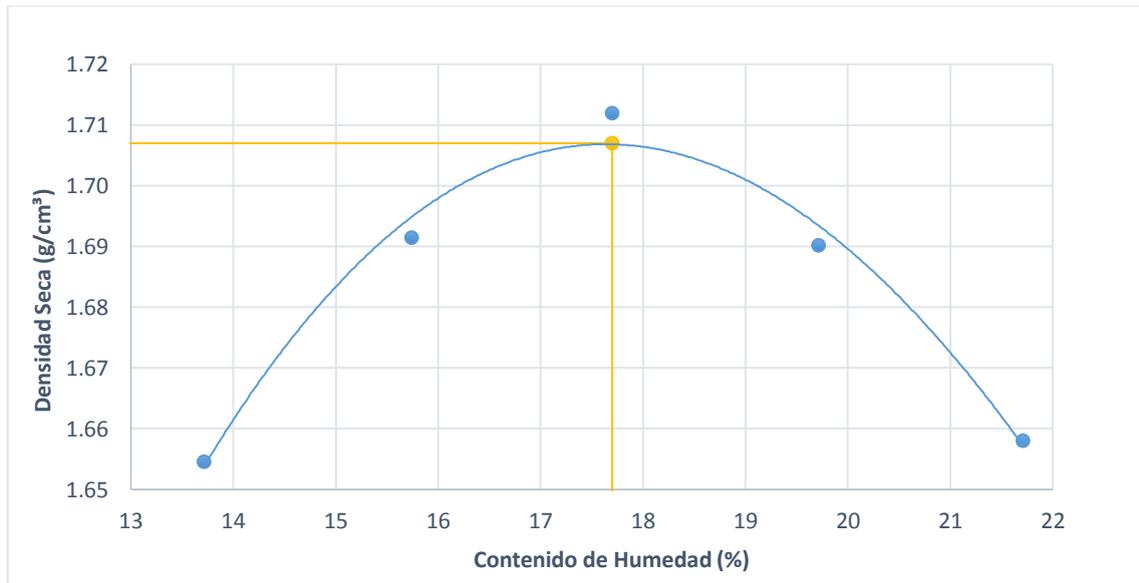


Figura 5. Curva de compactación microfibras de 12 y 19mm - Dosificación a 0,5%.

Tabla 7 Parámetro de compactación con microfibras de 12 y 19mm - Dosificación a 0,5%.

MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³) :	1,707
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	17,70

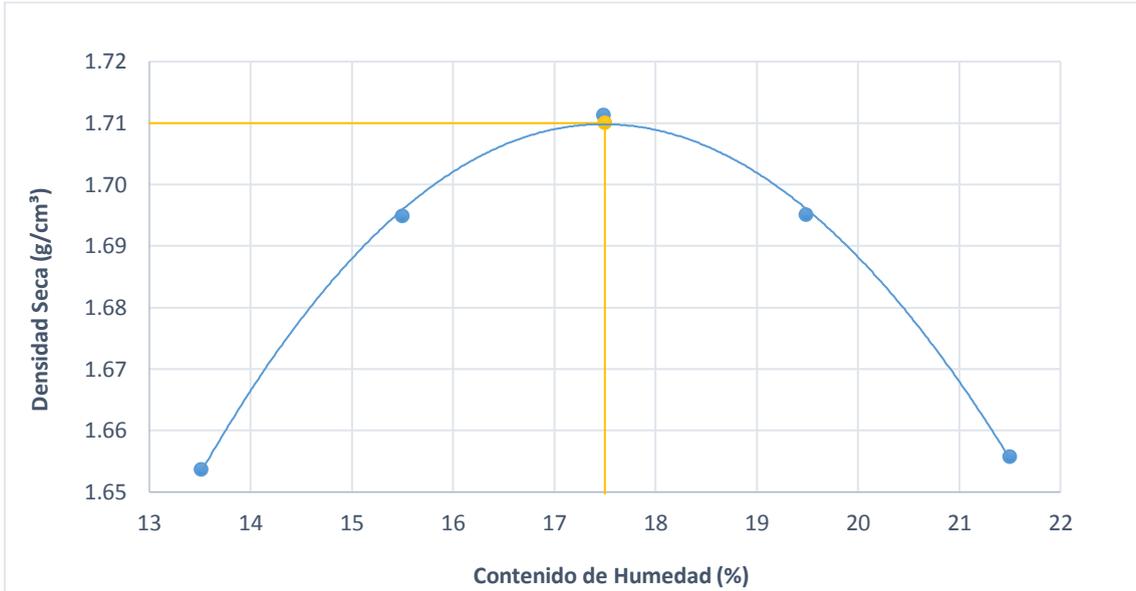


Figura 6. Curva de compactación microfibras de 12 y 19mm - Dosificación a 1 %.

Tabla 8 Parámetro de compactación con microfibras de 12 y 19mm - dosificación a 1 %.

MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³) :	1,710
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	17,50

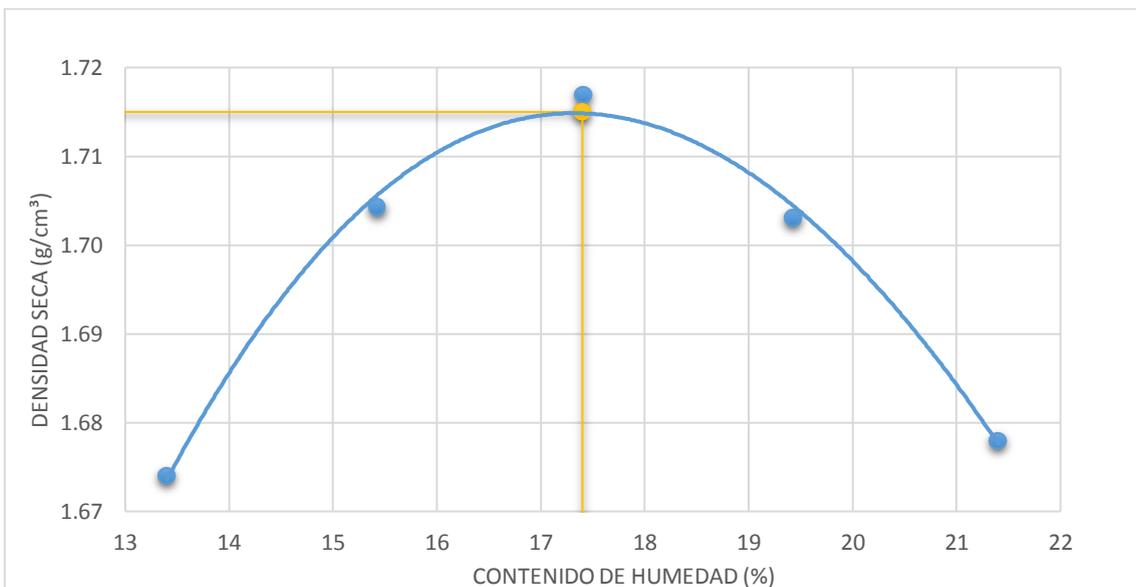


Figura 7. Curva de compactación microfibras de 12 y 19mm - Dosificación a 1,5%.

Tabla 9 Parámetro de compactación microfibras de 12 y 19mm - dosificación a 1,5 %.

MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³) :	1,715
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	17,40

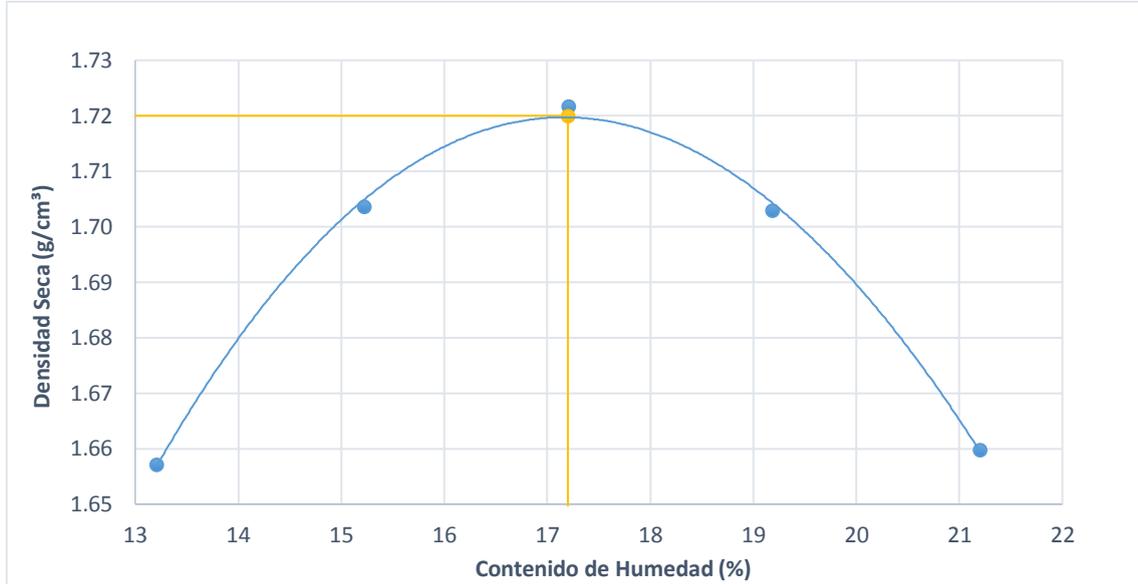


Figura 8. Curva de compactación microfibras de 12 y 19mm - Dosificación a 2.0%.

Tabla 10 Parámetro de compactación microfibras de 12 y 19mm - dosificación a 2.0 %.

MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³) :	1,72
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	17,20

- **Gráficos de % de microfibras de 12 y 19 mm vs. Contenido óptimo de humedad**

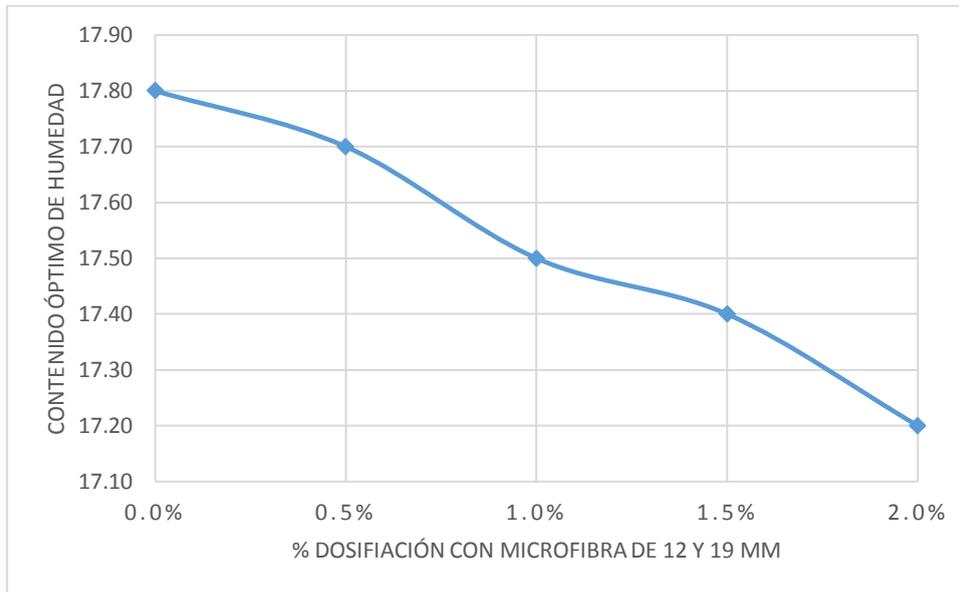


Figura 9. % de microfibras de 12 y 19 mm vs contenido óptimo.

- **Gráficos de % de microfibras de 12 y 19 mm vs densidad seca máxima**

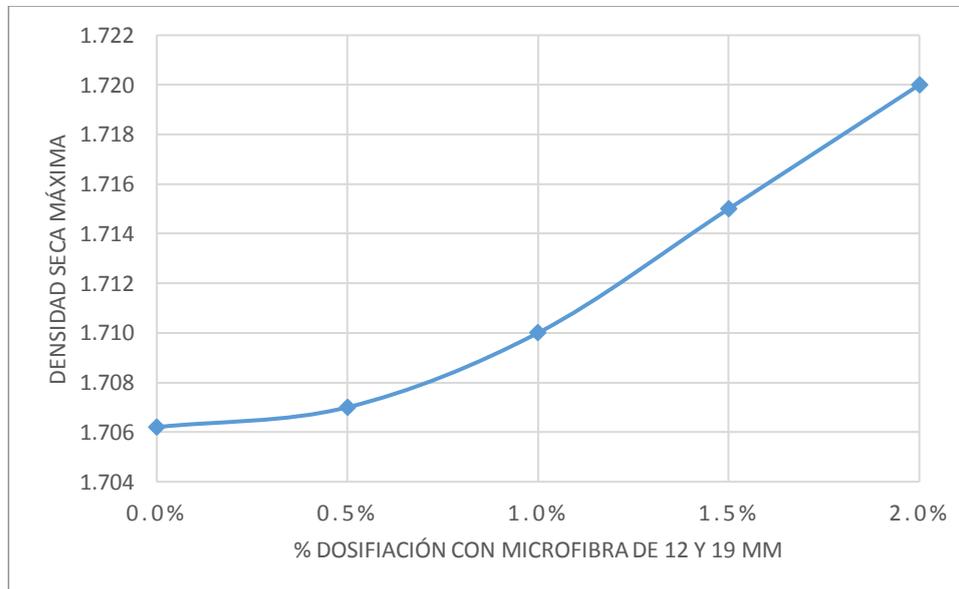


Figura 10. % de microfibras de 12 y 19 mm vs densidad seca

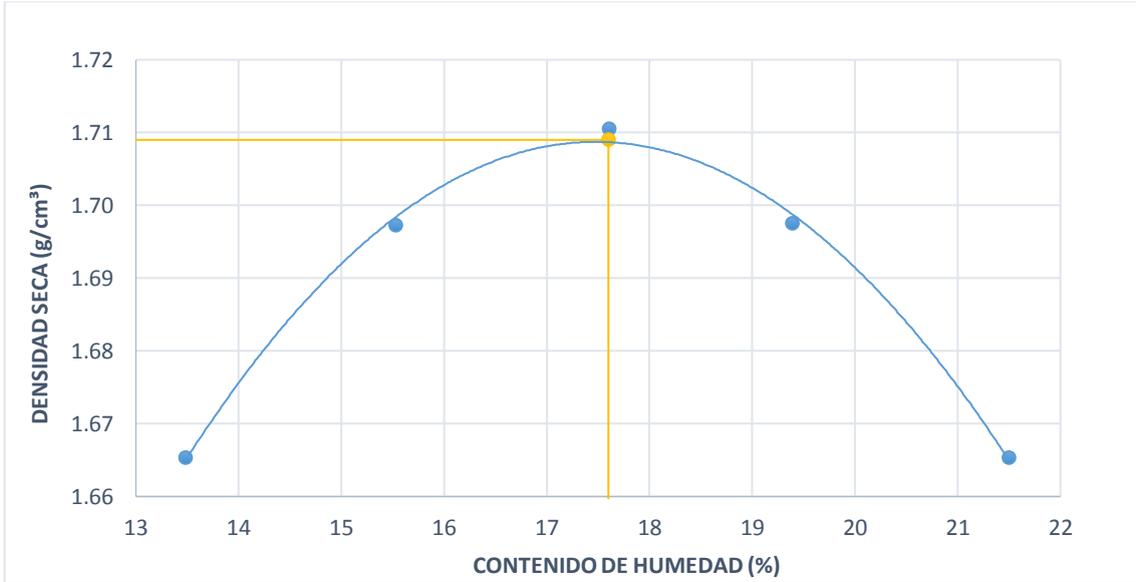


Figura 11. Curva de compactación microfibras de 12 mm - Dosificación a 0,5%.

Tabla 11 *Parámetro de compactación microfibras de 12 mm - dosificación a 0,5 %.*

MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³) :	1,709
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	17,60

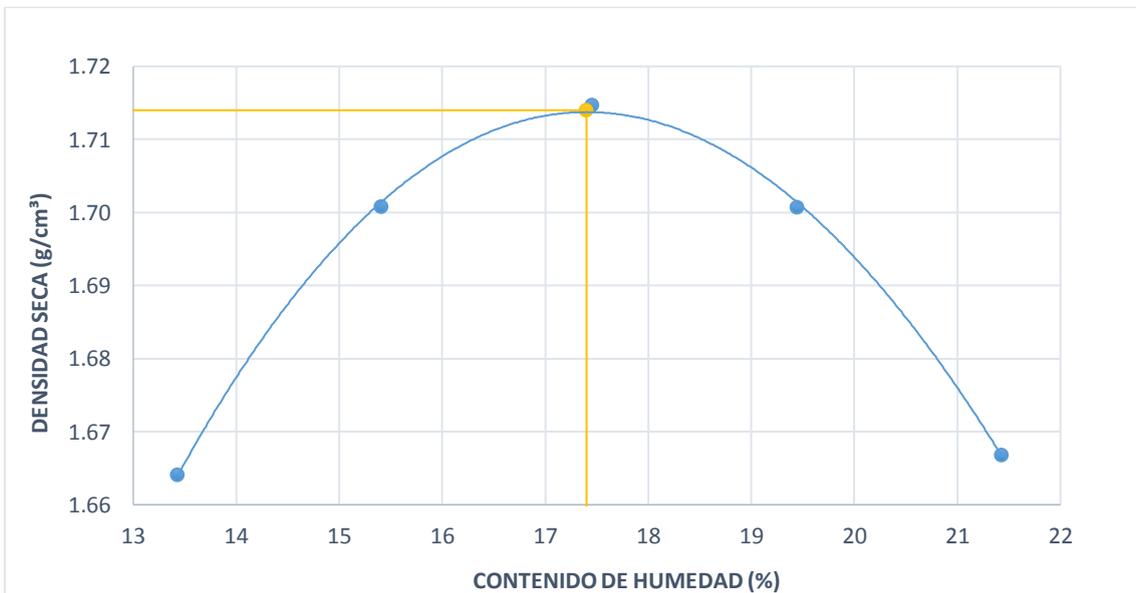


Figura 12. Curva de compactación microfibras de 12 mm - Dosificación a 1,0%.

Tabla 12 Parámetro de compactación microfibras de 12 mm

MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³) :	1,714
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	17,40

- dosificación a 1,0 %.

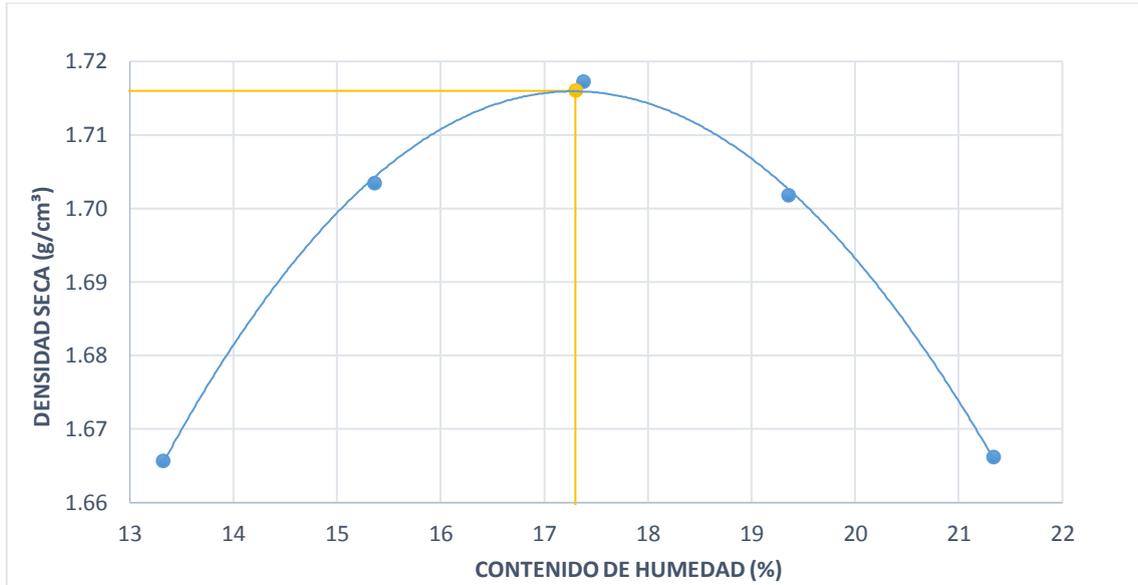


Figura 13. Curva de compactación microfibras de 12 mm - Dosificación a 1,5%.

Tabla 13 Parámetro de compactación microfibras de 12 mm - dosificación a 1,5 %.

MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³) :	1,716
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	17,30

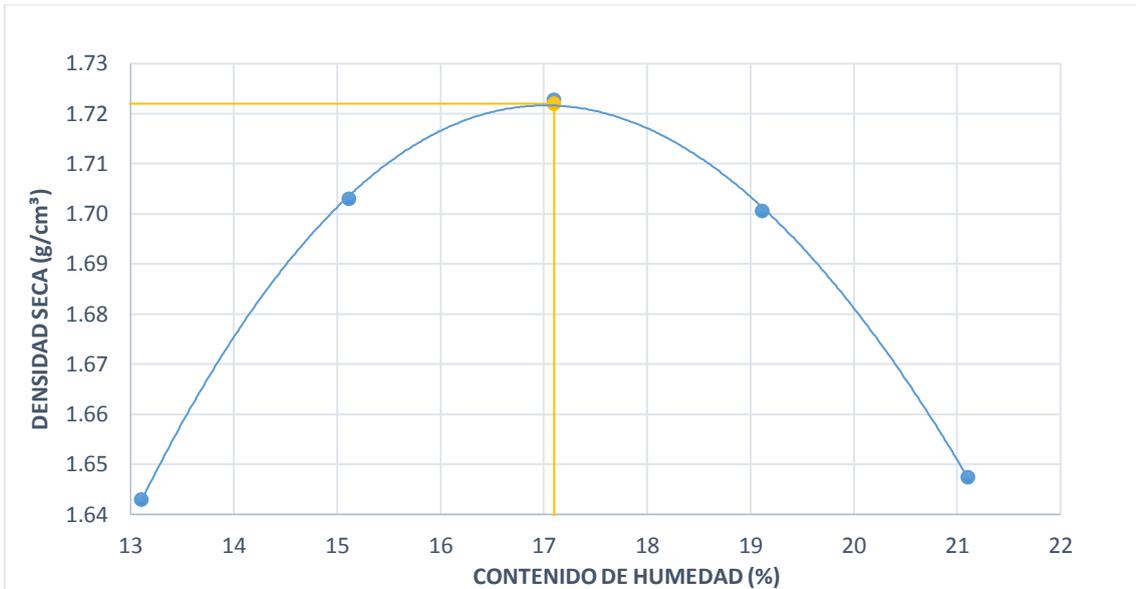


Figura 14. Curva de compactación microfibras de 12 mm - Dosificación a 2.0%.

Tabla 14 *Parámetro de compactación microfibras de 12 mm*

MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³) :	1,722
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	17,10

- dosificación a 2,0 %.

- **Gráficos de % de microfibras de 12 mm vs. Contenido óptimo de humedad.**

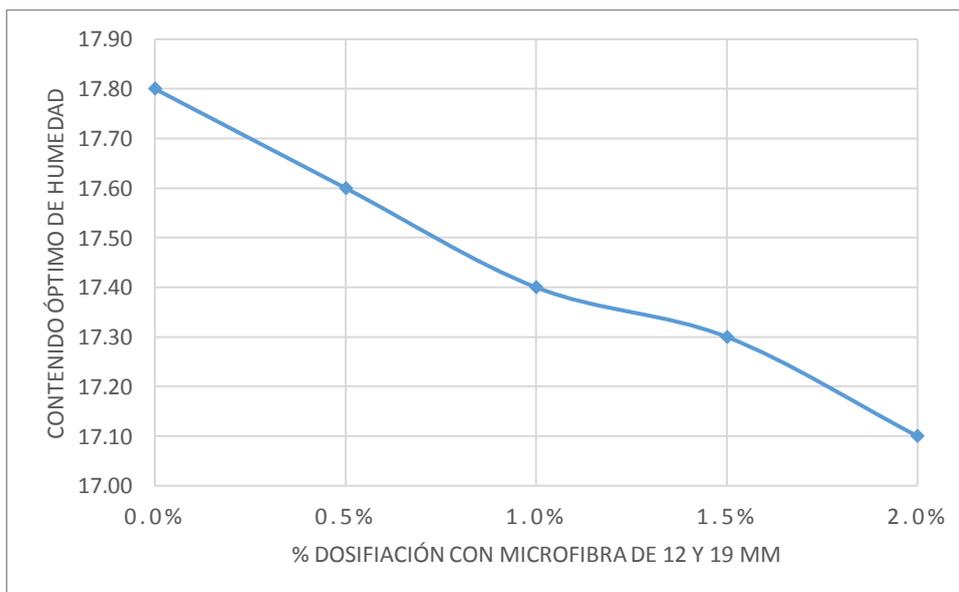


Figura 15. % dosificación 12 mm vs contenido óptimo de humedad.

- **Gráficos de % de microfibras de 12 mm vs. Densidad Seca**

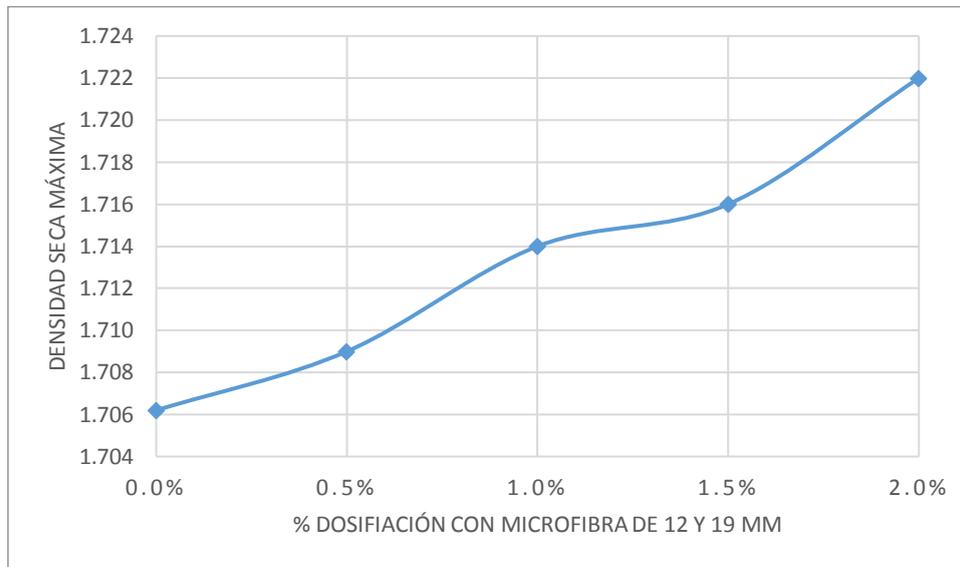


Figura 16. % de microfibras de 12 mm vs densidad seca

5.1.4. Valor Soporte de California (CBR)

Tabla 15. Índice de CBR de Ensayos

LONGITUD (MM)	% DOSIFICACION	CBR 100%	CBR 95%
0	0	8,75%	5,55%
12 mm	0,50%	9,15%	5,60%
12 mm	1%	9,70%	6,15%
12 mm	1,50%	10,15%	6,45%
12 mm	2%	10,60%	7,00%
12-19 mm	0,50%	8,94%	5,59%
12-19 mm	1%	9,31%	6,09%
12-19 mm	1,50%	9,82%	6,40%
12-19 mm	2%	10,26%	6,57%

Tabla 16. Porcentaje de cambio respecto al suelo sin refuerzo.

CBR 100% de suelo natural	CBR 95% de suelo natural	Longitud (mm)	% DOSIFICACION	% de incremento de CBR de diseño
8,75%	5,55%	12 mm	0,50%	0,90%
8,75%	5,55%	12 mm	1%	10,81%
8,75%	5,55%	12 mm	1,50%	16,22%
8,75%	5,55%	12 mm	2%	26,13%
8,75%	5,55%	12-19 mm	0,50%	0,72%
8,75%	5,55%	12-19 mm	1%	9,73%
8,75%	5,55%	12-19 mm	1,50%	15,32%
8,75%	5,55%	12-19 mm	2%	18,38%

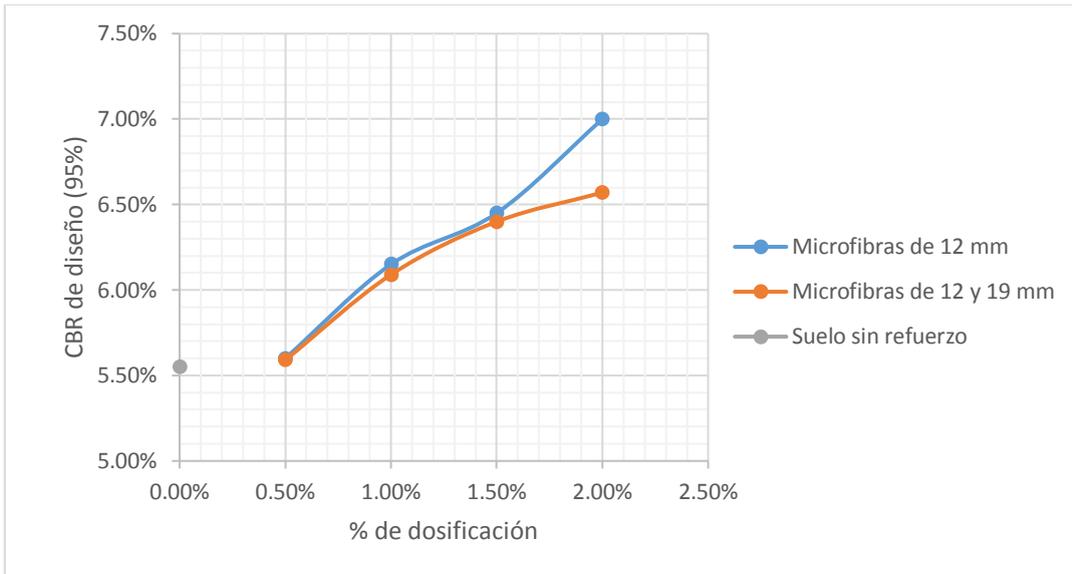


Figura 17. Efecto del tamaño de las micro fibras a diferentes dosificaciones.

- **Gráfico de comportamiento del contenido de humedad, en el cálculo de Índice de CBR, con la variación de dosificación de microfibras de 12 mm.**

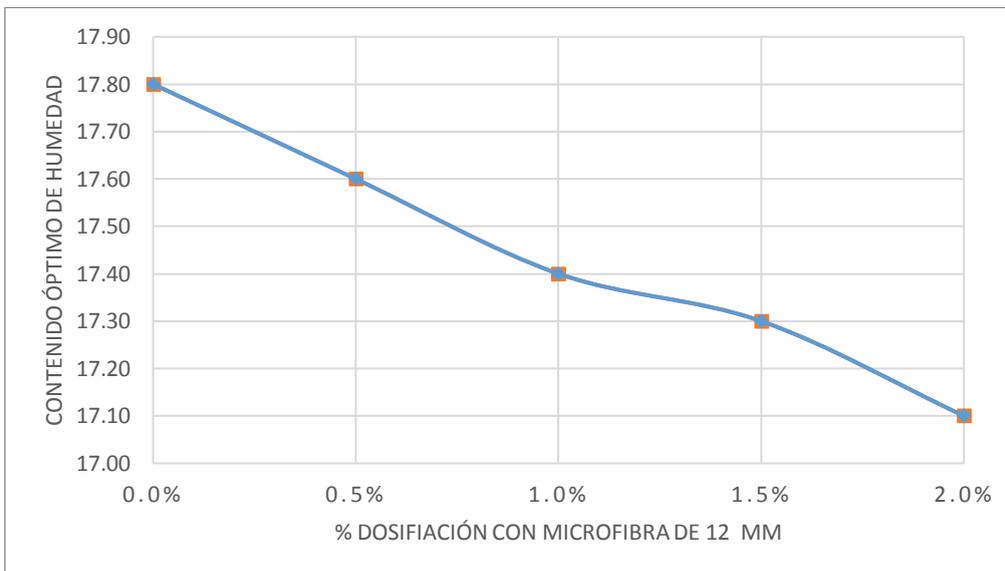


Figura 18, Comportamiento de contenido de humedad.

- **Gráfico de comportamiento de la densidad seca máxima, en el cálculo de Índice de CBR, con la variación de dosificación de microfibras de 12 mm.**

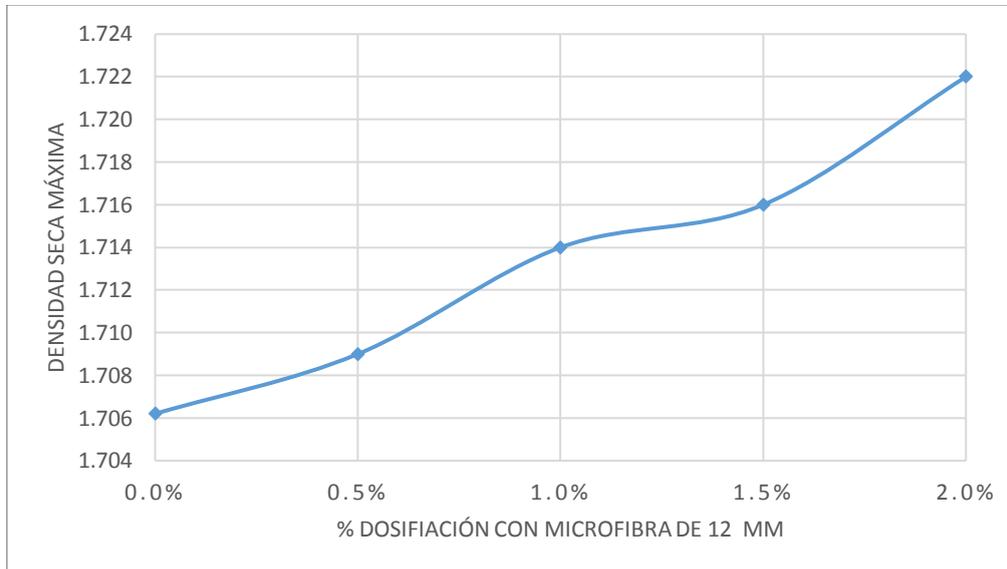


Figura 19, Comportamiento de la densidad seca máxima.

5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados

5.2.1. Granulometría del suelo.

En la Tabla 8, se observa que el suelo está conformado por 81,74% de partículas que pasaron el tamiz N° 200, con este resultado según los sistemas de AASHTO Y SUCS el suelo a clasificar es CL.

Es importante precisar que la granulometría del suelo es un aspecto importante a considerar en la caracterización de un suelo, ya que influye en sus propiedades mecánicas, hidráulicas. En el caso específico del suelo estudiado, se evidencia que es un suelo con un porcentaje del 81.74% que pasa a través del tamiz número 200.

5.2.2. Límites de consistencia

Según la Tabla N° 9 el límite líquido es 35% y límite plástico de 20%, y según la Tabla N° 10 resulta un índice plástico de 15%, por lo que el suelo es medianamente plástico.

Es así que, del suelo en estudio presenta un índice plástico del 15%, que se considera relativamente bajo en comparación con otros suelos.

5.2.3. Proctor Modificado

De la Figura 7 y la Tabla 13 se obtuvo la densidad máxima 1,707 g/cm³ y el contenido humedad óptimo 17,70%, Según Li Y, (2014) quien adicionó al suelo, fibras de polipropileno de 12 mm de largo en cinco porcentajes de dosificación (0%, 0,05%, 0,1%, 0,15% y 0,2%) compactando a un mismo contenido de humedad (w=16,6%), obtuvo resultados cercanos a los resultados obtenidos en la presente investigación, en donde se adicionó microfibras de polipropilenos en dosificaciones de 0,5%, 1%, 1,5% y 2%, al suelo arcilloso de baja plasticidad.

Según los resultados obtenidos, la densidad máxima obtenida en el ensayo de Proctor Modificado es de 1.72 g/cm³, resultado del mejoramiento del suelo en estudio, con la adición de microfibras de 12 y 19mm con una dosificación del 2%. La densidad más alta obtenida en el mejoramiento con microfibras de polipropileno, implica una mayor resistencia y capacidad de carga del suelo. Esto significa que el suelo compactado a esta densidad máxima puede soportar mejor las cargas aplicadas y resistir deformaciones, en comparación al suelo sin la adición de microfibras.

Por lo que, la determinación de la densidad máxima y el contenido de humedad óptimo, se considera que es esencial para el diseño de proyectos de construcción. Estos valores ayudarían a establecer las especificaciones adecuadas para la compactación del suelo, asegurando que se alcance la densidad máxima y el contenido de humedad óptimo durante la construcción, con un mejoramiento en el índice CBR.

Además, la densidad máxima y el contenido de humedad óptimo también son importantes para evaluar la calidad del suelo. Si el suelo no alcanza la densidad máxima o el contenido de humedad óptimo durante la compactación, puede haber problemas de estabilidad y resistencia en la construcción.

5.2.4. CBR del suelo mejorado con microfibras

En la Figura 20, se observa que al adicionar 2% de microfibras de 12 mm al suelo de baja plasticidad se logró obtener un mayor índice de CBR, incrementando el 5,55 % del índice de CBR inicial a un 7%.

En este sentido, es importante resaltar que los resultados obtenidos con la adición de microfibras, en los estudios realizados por (Li Y, 2014), quien experimentó un mejoramiento en suelos arcillosos, adicionando fibras de polipropileno de 12 mm usando dosificación de 0%, 0,05%, 0,1%, 0,15% y 0,2%), obtuvo un incremento significativo del índice de CBR en comparación al suelo que no adición fibras de polipropileno, cambiando su comportamiento de índice de CBR de 2,1% incrementado hasta 8,1% una vez que habían sido estabilizados.

Asimismo, en el presente estudio, se ha podido evidenciar que en los resultados obtenidos en la Tabla 21, las microfibras de longitudes de 12mm y 12-19mm (50% de 12mm y 50% de 19mm), al aumentar su dosificación, el índice de CBR aumenta, esto debido a que las microfibras se mezclan con el suelo durante la compactación, mejorando sus propiedades mecánicas.

Además, considerando las mejoras realizadas del índice de CBR por Li Y (2014), quien además, también obtuvo una mejora del suelo, adicionando fibras de polipropileno; en la presente investigación, se ha podido corroborar que al adicionar las microfibras de polipropileno de 12 mm con una dosificación de 2%, presentó también un incremento de índice de CBR del 5,55 % inicial a un 7%, el cual representa el 26,13% de mejoramiento del suelo de baja plasticidad, según la Tabla 22.

En ese mismo sentido, se ha podido observar respecto al comportamiento del contenido de humedad según la figura 21, con la adición de microfibras para mejorar el índice CBR en el suelo arcillosos del sector 11 de la ciudad de Cajamarca, va disminuyendo debido a que

el porcentaje de dosificación va aumentando, asimismo en la figura 22, con la adición de microfibras para mejorar el índice CBR, se observó que la densidad seca de las muestras de suelo va aumentando, esto, debido al aumento de la dosificación de las microfibras en las muestras estudiadas.

En resumen, el uso de las microfibras en los suelos arcillosos en el sector 11 de la ciudad de Cajamarca, es una técnica efectiva para mejorar el índice CBR en el suelo de estudio.

5.3. Contrastación de hipótesis

5.3.1. Contraste de hipótesis – Mejoramiento de Índice de CBR

Con los valores para una penetración de 0,2” en los ensayos de C.B.R, contenida en los apéndices 11 a 22, se tiene:

Tabla 17. Datos de pruebas de microfibra de 12mm.

N° de ensayo	Longitud de fibra	Mejoramiento de Índice de CBR en suelos arcillosos				
		suelo natural	0,50%	1,00%	1,50%	2%
1	12	6,77	6,88	7,39	7,82	8,14
2	12	9,34	9,53	10,26	10,86	11,29
3	12	11,86	12,08	13,07	13,84	14,57
Parámetros estadísticos						
Media		9,32	9,50	10,24	10,84	11,33
Nivel de significación		0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Varianza		6,4724	6,7726	8,0475	9,0733	10,3171

Tabla 18. Contraste de Hipótesis de Índice de CBR con de microfibra de 12mm.

N° de ensayo	Longitud de fibra	Mejoramiento de Índice de CBR en suelos arcillosos				
		suelo natural	0,50%	1,00%	1,50%	2%
1	12	6,77	6,88	7,39	7,82	8,14
2	12	9,34	9,53	10,26	10,86	11,29
3	12	11,86	12,08	13,07	13,84	14,57

Parámetros estadísticos					
Media	9,32	9,50	10,24	10,84	11,33
Nivel de significancia	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Varianza	6,4724	6,7726	8,0475	9,0733	10,3171
Sp²		43,880458	53,327608	62,108864	74,167910
Sp		6,624233	7,302575	7,880918	8,612079
t₀		0,031986	0,153640	0,235594	0,285756
Estadístico de prueba (t_{0,025,4})		2,7765	2,7765	2,7765	2,7765
Conclusión		se acepta H ₀			

Tabla 19. Contraste de Hipótesis de Índice de CBR con de microfibra de 12-19mm.

N° de ensayo	Longitud de fibra	Mejoramiento de Índice de CBR en suelos arcillosos				
		suelo natural	0,50%	1,00%	1,50%	2%
1	12-19	6,77	6,65	7,25	7,67	7,73
2	12-19	9,34	9,21	10,06	10,66	10,72
3	12-19	11,86	11,68	12,82	13,58	13,82
Parámetros estadísticos						
Media		9,32	9,18	10,05	10,63	10,76
Nivel de significación		0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Varianza		6,4724	6,3274	7,7446	8,7318	9,2916
Sp²			40,964085	50,935881	59,068543	64,113396
Sp			6,400319	7,136938	7,685606	8,007084
t₀			-0,027649	0,123818	0,208760	0,218936
Estadístico de prueba (t_{0,025,4})			2,7765	2,7765	2,7765	2,7765
Conclusión			se acepta H ₀			

A un 95% de nivel de confianza se estima que es significativo el aporte de la adición de la microfibra de polipropileno en la mejora del índice de CBR en suelos arcillosos.

CONCLUSIONES

- El suelo estudiado se clasifica según SUCS como una arcilla de baja plasticidad (CL) y según AASHTO es un suelo arcilloso A-6 (8).
- La dosificación de la microfibra desempeña un papel importante en el índice de CBR, en el suelo analizado incrementa su valor de 5,55% a 7%, con incorporación de 2% de las microfibras de 12mm.
- Existe una relación directa de incremento en el valor de índice CBR con la incorporación de las microfibras hasta 2%.
- Las microfibras de 12mm con incorporación de 2% al suelo natural incrementa 26.13% al índice CBR respecto a su valor inicial (de 5,55% a 7%).
- Las microfibras de 12mm y 19mm con incorporación de 2% al suelo natural incrementa 18.38% al índice CBR respecto a su valor inicial (de 5,55% a 6,57%).
- Con la adición de las microfibras de polipropileno en la mejora del índice de CBR en el suelo arcilloso se realizó con un nivel de confianza de 95%.

RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS

➤ **Recomendaciones**

- Se recomienda para futuras investigación, emplear microfibras de menores longitudes y con dosificaciones menores, a lo empleado en la presente investigación.
- Se recomienda analizar suelos arcillosos de alta plasticidad, utilizando las mismas dosificaciones de microfibras para analizar nuevos resultados y posibles mejoras en mayor porcentaje.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Mukhtar, M. (2012). Microestructura y propiedades geotécnicas del suelo arcilloso expansivo tratado con cal. *Engineering Geology*, 139-140.
- Angelone, S. (2007). *Geología y Geotecnia*. Rosario, Argentina: FCEIA UNR.
- Antonio A. De Petre, J. L. (2012). *DICCIONARIO DE TERMINOS EDAFOLOGICOS Y OTRAS VOCES ASOCIADAS*. Buenos Aires: AACCS - UNER .
- Babu GLS, V. A. (2008). *Fundamentals of Fibre-Reinforced Soil Engineering*. Australia: Springer Nature Singapore.
- Badillo, E. &. (2005). *Fundamentos Mecánica de Suelos*. Mexico: Limusa.
- Barrios, E. G. (2001). *LAS ARCILLAS: PROPIEDADES Y USOS*. Madrid: Universidad de Salamanca.
- Bell, F. (1983). *Fundamentals of Engineering Geology*. Londres: Butterworth & Co.
- Bosch, D. (2010). *Geotecnia*. Argentina: Labor.
- Braja, M. D. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México: Cengage Learning Editores, S.A.
- Calvo, C. F. (2003). Refuerzo de suelos con fibras sinteticas. *Asociación técnica de carreteras*.
- Camacho, T. J. (2006). *Evaluación de aditivos usados en el tratamiento de arcillas expansivas*. Nueva Granada: Ciencia e ingeniería neogranadina.
- Crespo, V. C. (2004). *Mecánica de Suelos*. México: Limusa, S.A de C.V.
- Cruz Velasco, L. G. (2019). *Suelos I - Geotecnología*. Bogota: ANDAP.
- Duque, E. G. (2013). *Manual de geología para ingenieros* . Colombia: Bdigital.
- Gago, M. (16 de Noviembre de 2017). <https://www.ecologiaverde.com/el-suelo-arcilloso-681.html>. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/el-suelo-arcilloso-681.html>: <https://www.ecologiaverde.com/el-suelo-arcilloso-681.html>
- Garcia, R. E. (2018). *Las Arcillas*. Madrid: UCM.
- Ghrichi, K. H. (2011). *Uso de puzolana natural y cal para la estabilización*. Online: Springer Science+Business Media B.V.
- Gromko., G. (1974). Review of expansive soils. *Journal of the Geotechnical Ensinerin 2 Division*, 667-687.

- Gutierrez, J. (22 de enero de 2013). *Introducción a las Fibras Textiles*. Obtenido de fibrasinteticasjudith.
<http://fibrassinteticasjudith.blogspot.pe/2013/01/fibrasinteticasjudith.html>
- Hernando, Sandoval, y Gómez. (2012). Characterization of a clay soil treated with Calcium Hydroxide. *Ingeniería*, 21-40.
- Jimenez Salas, J. A. (1971). *Geotecnia y Cimiento I*. Sevilla: s/n.
- Li Y, et al. (2014). Microfibras de Polipropileno. *Li Y, et al.*
- Madrid, U. C. (2013). Contrastacion de Hipotesis Estadística. *UCM data*, 518.
- Mamani D., H. A. (2013). *Estabilización de suelos con fines de pavimentación, mediante el uso de polímeros reciclados*. Juliaca Puno: Manuscritos publicado, Universidad Peruana Union.
- Martínez, C. V. (2019). Suelos arcillosos. *Botánica*, 1-2.
- Máster, S. J., & y Navarro, H. (2018). Estadística. *Ciencia y Tecnología*, 88-90.
- Mitchell J, K. S. (2005). *Civil y Construcción General e Introductoria Suelo (Ingeniería Civil)*. EE.UU.
- Ñaupas, R. V. (2018). *Metodología de la investigación Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis*. Bogota, Colombia.: Edicions de la U.
- Pareja, M. L. (2017). Microfibra. *Notex*, 03-04.
- PNUD. (2009). PNUD. *Programa de las naciones unidas para el desarrollo*.
- Prefumo, P. y. (2005). Las Acciones de los Suelos Expansivos sobre las Cimentaciones, Metodos de Prevencion y Control. *Primeras Jornadas de Ingeniería de Cimentaciones*, 2-5.
- Puppala, A. M. (2000). Effects of Fiber Reinforcement on Strength and Volume Change in Expansive Soils. *Transportation Research Record*, 134-140.
- Ramos Hinojosa, G. P. (2014). *Mejoramiento de subrasantes de baja capacidad portante mediante el uso de polímeros reciclados en carreteras, Paucará Huancavelica 2014*. Paucará Huancavelica: Tesis.
- Rico, R. A. (2005). *La ingeniería de suelos en las vías terrestres 2: carretera, ferrocarriles y autopistas*. México: Limusa.
- Rojas, F. j., & y Alva, H. J. (2005). Arcillas y lutitas expansivas en el norte y nororiente peruano. *Lima: Universidad nacional de ingeniería*.
- Romero, Z. J. (2008). *Modelo de cimentaciones sobre suelos altamente expansivos. (Tesis de Maestro)*. Mexico: Universidad Autónoma de Querétaro.

- Ruiz A, L. (2012). Mejora geotécnica del suelo. *Informes de la Construcción*, 37-49.
- Salinas, J. M. (1998). *Análisis de datos*. Granada: jsalinas.
- Santos, D. d. (1995). *Ensayo Proctor*. España: Construmática.
- Sarmiento, R. K. (2019). Ensayo de CBR. *Ensayo de CBR*, 9.
- Silva, A. M. (2016). Mejoramiento de la subrasante con geomallas multiaxiales tipo TX140 y TX160, aplicado a un tramo de la calle Alemania-la Molina-Cajamarca. (*Tesis de Título*). Universidad Privada del Norte.
- Vessely, M. J. (2002). Viabilidad de inclusión geosintética para reducir la inflamación de suelos expansivos. *Transportation Research Record Journal del Transportation Research Board*, 42-52.
- Vettorelo P, C. J. (2014). Suelos Reforzados con Fibras. *Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol 01.
- Yasrobi, S. (2010). Efecto de la humectación cíclica y el secado sobre el comportamiento de hinchamiento de las arcillas expansivas estabilizadas con polímeros. *Applied Clay Science*, 461-468.
- AASHTO T248 AASHTO T 248/ ASTM C702 Standard Method of Test for reducing samples of aggregate to testing size,
- ASTM D4220 Prácticas estándar para la preservación y transporte de las muestras de suelo,
- ASTM D2488 Descripción e identificación de suelo,
- ASTM D2216 determinación en laboratorio del contenido de humedad,
- ASTM D-422 – 01 Determinar la Granulometría del suelo,
- AASHTO T-27 – 99 Determinar la Granulometría del suelo,
- ASTM D 4318-84 Método estándar de ensayos para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos,
- ASTM D 4318-84 Ensayo para determinar plasticidad de suelos,
- ASTM D-698 Ensayo de compactación Proctor estándar,
- ASTM D-1883 Ensayo California Bearing Ratio,
- AASHTO T-193 Ensayo California Bearing Ratio.

APÉNDICE N° 1
ENSAYOS REALIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

PERFIL ESTRATIGRÁFICO

FECHA : CAJAMARCA, 13 DE MARZO DEL 2020

Profundidad (m)	Muestra	DESCRIPCIÓN	Clasificación			Contenido de humedad (%)	Límites de Consistencia	
			Símbolo (A.A.S.H.T.O.)	SUCS	Símbolo Gráfico		LL (%)	IP (%)
0.30 0.40	1	MATERIA ORGÁNICA	-	-	* * * * *	-	-	-
		SUELO ORGÁNICO COLOR NEGRO, SE ENCUENTRA CON ALTO CONTENIDO DE HUMEDAD Y BAJO GRADO DE COMPACIDAD.	-	-	* * * * *	-	-	-
1.00	0.40 - 1.50 M		A-6 (8)	CL	[Hatched Blue]	12.20	35%	15%
1.50								
0.30 0.40	2	MATERIA ORGÁNICA	-	-	* * * * *	-	-	-
		SUELO ORGÁNICO COLOR NEGRO, SE ENCUENTRA CON ALTO CONTENIDO DE HUMEDAD Y BAJO GRADO DE COMPACIDAD.	-	-	* * * * *	-	-	-
1.00	0.40 - 1.50 M		A-6 (8)	CL	[Hatched Blue]	12.16	35%	15%
1.50								
0.30 0.40	3	MATERIA ORGÁNICA	-	-	* * * * *	-	-	-
		SUELO ORGÁNICO COLOR NEGRO, SE ENCUENTRA CON ALTO CONTENIDO DE HUMEDAD Y BAJO GRADO DE COMPACIDAD.	-	-	* * * * *	-	-	-
1.00	0.40 - 1.50 M		A-6 (8)	CL	[Hatched Blue]	12.35	35%	15%
1.50								

Figura N° 20 - Perfil Estratigráfico C1 - C2 y C3

CALICATA N°: C - 1, C - 2 y C - 3

PROFUNDIDAD : 0.40 - 1.50 M

MUESTRA : M1 (C-1), M2 (C-2) y M3 (C3)

FECHA : CAJAMARCA, 13 DE MARZO DEL 2020

TABLA N° 20 - CONTENIDOS DE HUMEDAD A.A.S.H.T.O. T 265

MUESTRAC-1	1	2	3
PESO HUMEDO + TARA (g)	126.70	131.60	114.10
PESO SECO + TARA (g)	114.10	118.50	102.90
PESO TARA (g)	10.80	10.80	10.80
PESO DEL AGUA (g)	12.60	13.10	11.20
PESO SECO (g)	103.30	107.70	92.10
C. HUMEDAD (%)	12.20	12.16	12.16

MUESTRA C-2	1	2	3
PESO HUMEDO + TARA (g)	121.60	130.52	122.00
PESO SECO + TARA (g)	109.55	117.54	109.94
PESO TARA (g)	10.80	10.80	10.80
PESO DEL AGUA (g)	12.05	12.98	12.06
PESO SECO (g)	98.75	106.74	99.14
C. HUMEDAD (%)	12.20	12.16	12.16

MUESTRAC-3	1	2	3
PESO HUMEDO + TARA (g)	118.00	127.50	123.40
PESO SECO + TARA (g)	106.34	114.85	111.19
PESO TARA (g)	10.80	10.80	10.80
PESO DEL AGUA (g)	11.66	12.65	12.21
PESO SECO (g)	95.54	104.05	100.39
C. HUMEDAD (%)	12.20	12.16	12.16

CALICATA N° : C-1
PROFUNDIDAD : 0.40 - 1.50 M
MUESTRA : M-1
FECHA : CAJAMARCA, 13 DE MARZO DEL 2020

Tabla N° 21 - Análisis granulométrico C-1 M-1

ANÁLISIS FRACCIÓN FINA					
N°	Tamiz	Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
	Abertura (mm)				
N 10	2.00	0.00	0.00	0.00	100.00
N 20	0.85	11.70	2.34	2.34	97.66
N 30	0.60	14.80	2.96	5.30	94.70
N 40	0.43	12.30	2.46	7.76	92.24
N 60	0.25	21.10	4.22	11.98	88.02
N 100	0.15	17.40	3.48	15.46	84.54
N 200	0.08	14.00	2.80	18.26	81.74
Cazoleta	--	--	--	--	--
TOTAL					

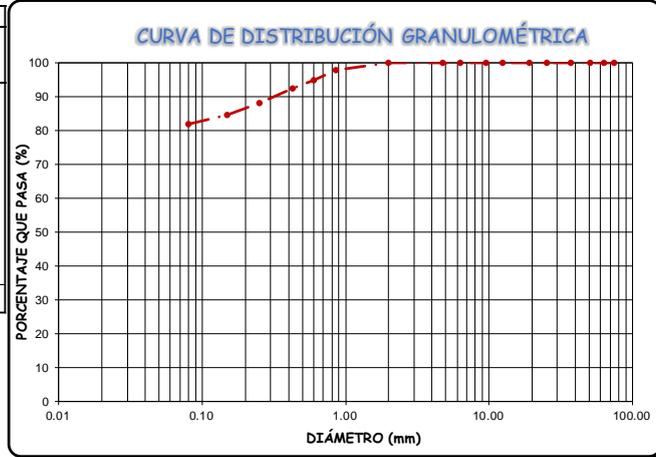


Figura N° 21 - Curva Análisis Granulométrico C1 - M1

CALICATA N° : C-2
PROFUNDIDAD : 0.45 - 1.50 M
MUESTRA : M-2
FECHA : CAJAMARCA, 13 DE MARZO DEL 2020

Tabla N° 22 - Análisis granulométrico C-2 M-2

ANÁLISIS FRACCIÓN FINA					
N°	Tamiz	Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
	Abertura (mm)				
N 10	2.00	0.00	0.00	0.00	100.00
N 20	0.85	13.50	2.70	2.70	97.30
N 30	0.60	12.10	2.42	5.12	94.88
N 40	0.43	11.33	2.27	7.39	92.61
N 60	0.25	21.30	4.26	11.65	88.35
N 100	0.15	18.60	3.72	15.37	84.63
N 200	0.08	13.60	2.72	18.09	81.91
Cazoleta	--	--	--	--	--
TOTAL					

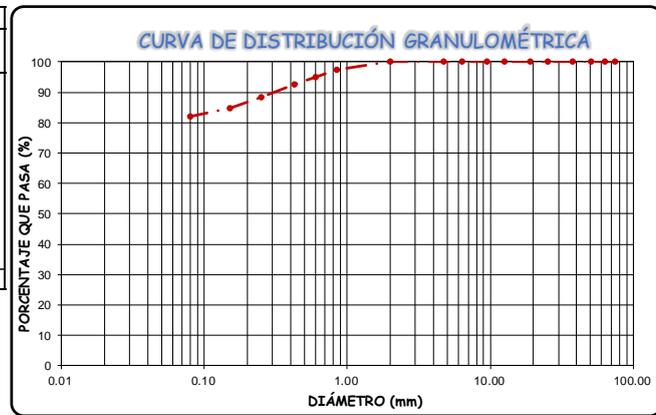


Figura N° 22 - Curva Análisis Granulométrico C2 - M2

CALICATA N° : C-3
PROFUNDIDAD : 0.60 - 1.50 M
MUESTRA : M-3
FECHA : CAJAMARCA, 13 DE MARZO DEL 2020

Tabla N° 23 - Análisis granulométrico C-3 M-3

ANÁLISIS FRACCIÓN FINA					
N°	Tamiz Apertura (mm)	Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
N 10	2.00	0.00	0.00	0.00	100.00
N 20	0.85	12.06	2.41	2.41	97.59
N 30	0.60	15.12	3.02	5.44	94.56
N 40	0.43	13.03	2.61	8.04	91.96
N 60	0.25	21.09	4.22	12.26	87.74
N 100	0.15	18.32	3.66	15.92	84.08
N 200	0.08	15.20	3.04	18.96	81.04
Cazoleta	--	--	--	--	--
TOTAL					

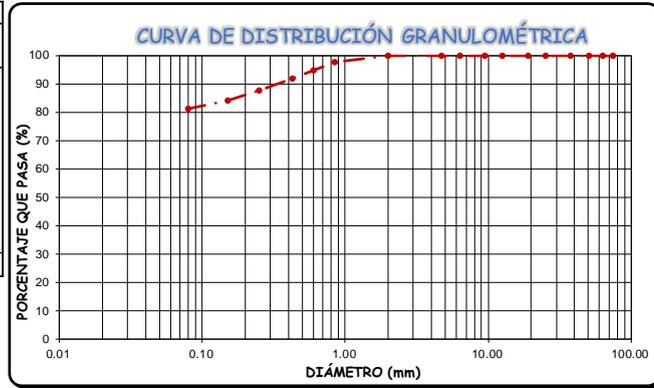
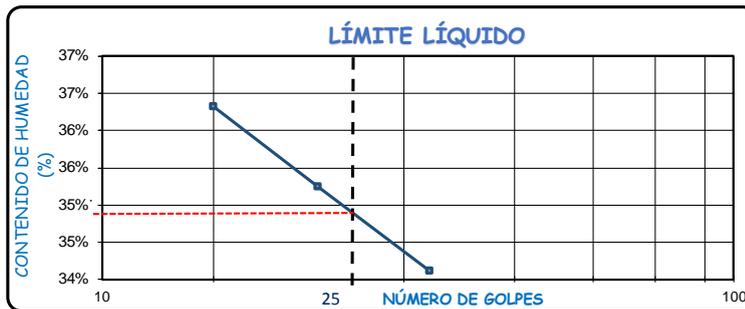


Figura N° 23 - Curva Análisis Granulométrico C3 - M3

CALICATA N° : C-1
PROFUNDIDAD : 0.40 - 1.50 M
MUESTRA : M-1
FECHA : CAJAMARCA, 13 DE MARZO DEL 2020

Tabla N° 24 - LÍMITES DE ATTERBERG

TARAN°	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		Promedio
	1	2	3	4	5	
Wt+ M.Húmeda	29.31	28.71	28.78	20.91	19.87	
Wt+ M. Seca	24.44	24.15	24.29	19.26	18.41	
W agua	4.87	4.56	4.49	1.65	1.46	
W tara	11.03	11.21	11.13	11.15	11.22	
W M.Seca	13.41	12.94	13.16	8.11	7.19	
W(%)	36.32%	35.24%	34.12%	20.35%	20.31%	20.33%
N.GOLPES	15	22	33			



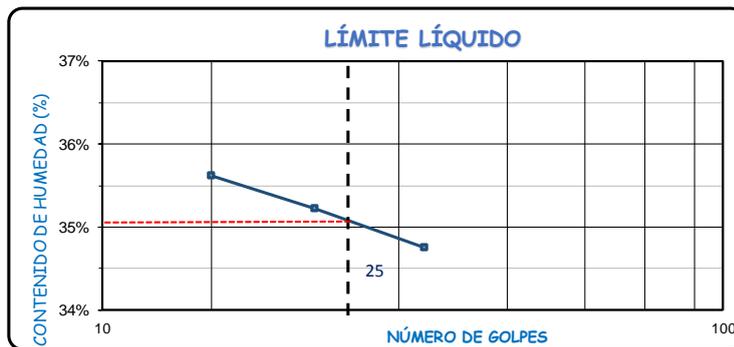
LÍMITE LÍQUIDO	35.00%
LÍMITE PLÁSTICO	20.00%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	15.00%

Figura N° 24 - Límites de Atterberg C1

CALICATA N° : C - 2
PROFUNDIDAD : 00.45 - 1.50 M
MUESTRA : M - 2
FECHA : CAJAMARCA, 13 DE MARZO DEL 2020

Tabla N° 25 - LÍMITES DE ATTERBERG

TARAN°	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		Promedio
	1	2	3	4	5	
Wt+ M.Húmeda	32.11	31.02	28.81	20.52	20.40	
Wt+ M. Seca	26.60	25.86	24.25	19.02	18.81	
W agua	5.51	5.16	4.56	1.50	1.59	
W tara	11.13	11.21	11.13	11.13	11.21	
W M.Seca	15.47	14.65	13.12	7.89	7.60	
W(%)	35.62%	35.22%	34.76%	19.01%	20.92%	19.97%
N.GOLPES	15	22	33			



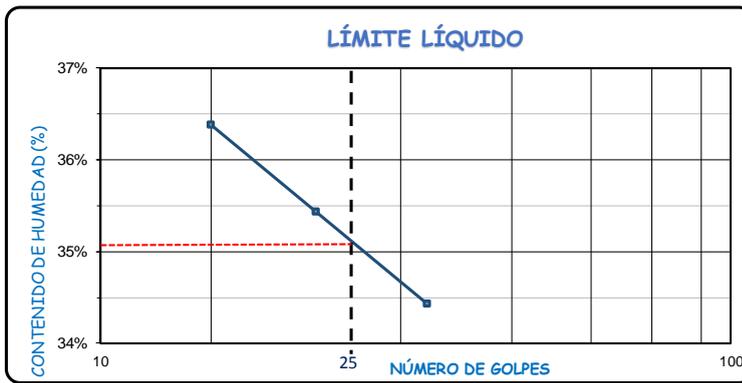
LÍMITE LÍQUIDO	35.00%
LÍMITE PLÁSTICO	20.00%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	15.00%

Figura N° 25 - Límites de Atterberg C2

CALICATA N° : C-3
PROFUNDIDAD : 0.60 - 1.50 M
MUESTRA : M-3
FECHA : CAJAMARCA, 13 DE MARZO DEL 2020

Tabla N° 26 - LÍMITES DE ATTERBERG

TARA N°	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	1	2	3	4	5	Promedio
Wt+ M.Húmeda	29.63	30.45	29.51	21.12	20.81	
Wt+ M. Seca	24.69	25.40	24.81	19.46	19.17	
W agua	4.94	5.06	4.70	1.66	1.64	
W tara	11.11	11.13	11.16	11.11	11.03	
W M.Seca	13.58	14.27	13.65	8.35	8.14	
W(%)	36.38%	35.44%	34.43%	19.88%	20.15%	20.01%
N.GOLPES	15	22	33			



LÍMITE LÍQUIDO	35.00%
LÍMITE PLÁSTICO	20.00%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	15.00%

Figura N° 26 - Límites de Atterberg C3

Tabla N° 27 - Compactación Proctor Modificado del suelo sin adición microfibras

MÉTODO DE ENSAYO :		"A"					DIÁMETRO DE MOLDE :					10.16 cm.	
DENSIDAD	NÚMERO DE ENSAYO	1		2		3		4		5			
	N° de Capas	5		5		5		5		5			
	N° de Golpes por Capa	25		25		25		25		25			
	Peso Húmedo+ Molde (g)	3589.00		3657.00		3701		3719.00		3715.00			
	Peso Molde (g)	1803.00		1803.00		1803.00		1803.00		1803.00			
	Peso Húmedo (g)	1786.00		1854.00		1898.00		1916.00		1912.00			
	Volumen del Molde (cm ³)	944.00		944.00		944.00		944.00		944.00			
	Densidad Húmeda (g/cm ³)	1.892		1.964		2.011		2.030		2.025			
HUMEDAD	Ensayo	1		2		3		4		5			
	Peso Húmedo + Tara (g)	310.20	577.50	286.60	317.20	258.10	508.40	318.00	551.40	325.00	508.90		
	Peso Seco + Tara (g)	279.70	514.90	259.50	284.20	228.12	439.50	275.30	470.10	277.00	428.40		
	Peso Agua (g)	30.50	62.60	27.10	33.00	29.98	68.90	42.70	81.30	48.00	80.50		
	Peso Tara (g)	58.37	62.00	88.00	76.00	58.86	54.00	58.62	60.00	57.25	59.00		
	Peso Muestra Seca (g)	221.33	452.90	171.50	208.20	169.26	385.50	216.68	410.10	219.75	369.40		
	Contenido de Humedad (%)	13.78	13.82	15.80	15.85	17.71	17.87	19.71	19.82	21.84	21.79		
	C. Humedad (%) promedio	13.80		15.83		17.79		19.77		21.82			
DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1.663		1.696		1.707		1.695		1.663				

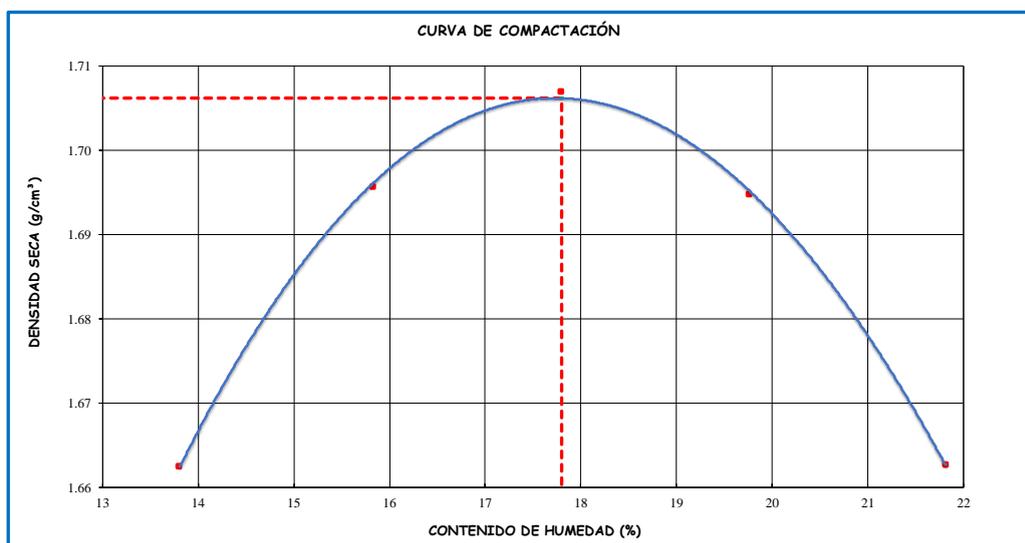


Figura N° 27 - Curva de compactación de suelo sin adición de microfibras

DENSIDAD SECA MÁXIMA :	1.706	g/cm ³
CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO :	17.80	%

Tabla N° 28 - CBR DEL SUELO SIN ADICIÓN DE MICROFIBRAS

COMPACTACIÓN C B R EN SUELO SIN ADICIÓN DE MICROFIBRAS						
N°Golpes por Capa	13		27		56	
Altura Molde (mm)	117		118		116	
N° Capas	5		5		5	
Condición de Muestra	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS
Peso del Molde +Muestra húmeda	9116.0	9153.0	9097.0	9135.0	9354.0	9385.0
Peso Molde (g)	5106.0	5106.0	4959.0	4959.0	5083.0	5083.0
Peso de Muestra Húmeda (g)	4010.0	4047.0	4138.0	4176.0	4271.0	4302.0
Volumen del Molde (cm3)	2116.44	2116.44	2112.26	2112.26	2107.82	2107.82
Densidad Húmeda (g/cm3)	1.895	1.912	1.959	1.977	2.026	2.041
CONTENIDO DE HUMEDAD						
TARA N°	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
Peso de la Muestra Húmeda + Tara	625.20	734.90	568.60	585.40	645.80	691.20
Peso Seco + Tara	544.80	627.90	491.20	502.20	557.60	591.00
Peso Agua (g)	80.40	107.00	77.40	83.20	88.20	100.20
Peso Tara (g)	93.00	60.00	56.00	60.00	62.00	58.00
P. Muestra Seca	451.80	567.90	435.20	442.20	495.60	533.00
C.Humedad Promedio	17.80%	18.84%	17.78%	18.82%	17.80%	18.80%
DENSIDAD SECA (g/cm3)	1.608	1.609	1.663	1.664	1.720	1.718

EXPANSIÓN EN SUELO										
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 13 GOLPES			PRESIÓN 27 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
(Hs)	(Días)	LECTURA	EXPANSIÓN		LECTURA	EXPANSIÓN		LECTURA	EXPANSIÓN	
		DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000
24	1	105	1.050	0.900	89	0.890	0.755	71	0.710	0.611
48	2	161	1.610	1.380	121	1.210	1.026	109	1.090	0.938
72	3	177	1.770	1.518	145	1.450	1.229	128	1.280	1.102
96	4	189	1.890	1.620	158	1.580	1.340	142	1.420	1.222

PENETRACIÓN EN SUELO										
DÍAMETRO DEL PISTÓN:		5 Cm		ÁREA DEL PISTÓN:						
		PRESIÓN 13 GOLPES			PRESIÓN 27 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
PENETRACIÓN		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO	
(mm)	(pulg)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
0.64	0.025	17.3	0.88	12.59	26.7	1.36	19.43	33.7	1.72	24.52
1.27	0.050	33.7	1.72	24.52	50.5	2.57	36.74	64.2	3.27	46.71
1.91	0.075	51.7	2.63	37.62	76.8	3.91	55.88	93.2	4.75	67.81
2.54	0.100	70.1	3.57	51.00	100.7	5.13	73.27	126.8	6.46	92.26
3.18	0.125	88.1	4.49	64.10	123.0	6.26	89.49	158.8	8.09	115.54
3.81	0.150	104.9	5.34	76.32	145.8	7.43	106.08	192.3	9.79	139.91
4.45	0.175	123.0	6.26	89.49	170.3	8.67	123.90	214.5	10.92	156.06
5.08	0.200	139.6	7.11	101.57	192.6	9.81	140.13	244.5	12.45	177.89
7.62	0.300	191.4	9.75	139.26	257.0	13.09	186.98	332.7	16.94	242.06
10.16	0.400	221.3	11.27	161.01	292.0	14.87	212.45	372.4	18.97	270.95
12.70	0.500	237.3	12.09	172.65	307.5	15.66	223.73	392.1	19.97	285.28

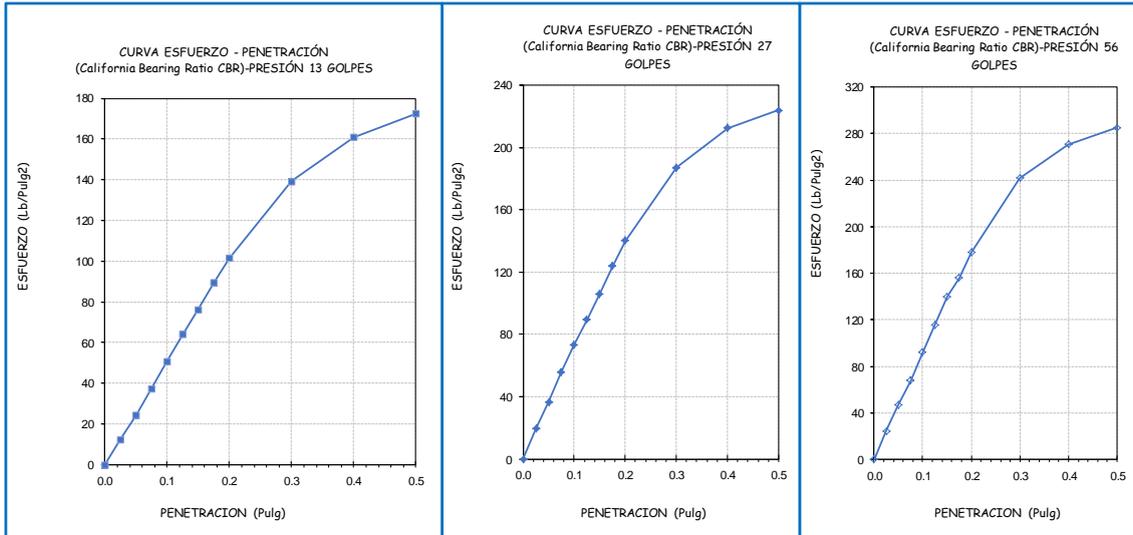


Figura N° 28 - Cuna Esfuerzo - Penetración - SUELO SIN ADICIÓN DE MICROFIBRAS

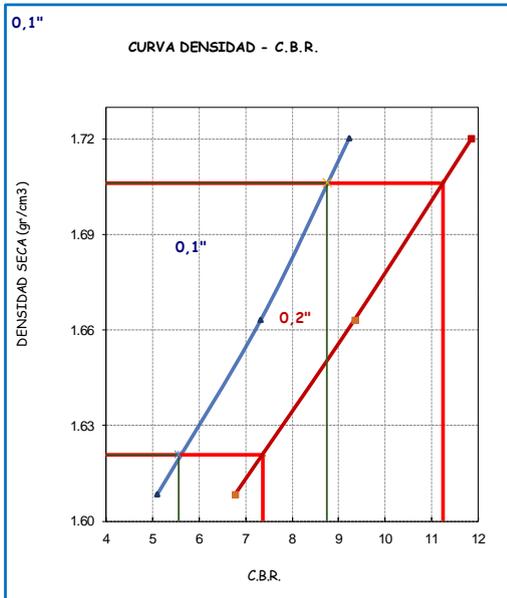


Figura N° 29- Curva de Densidad C.B.R. - SUELO SIN ADICIÓN DE MICROFIBRAS

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm³) :	1.706
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	17.80

Tabla N° 29 - VALORES CBR PARA 0.1" Y 0.2" DE PENETRACIÓN

(*) Valores Corregidos para una Penetración de 0.1"

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA (Lb/pulg²)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg²)	C.B.R.(%)	DENSIDAD SECA (g/cm³)
PRESION 13 GOLPES	51.00	1000	5.10	1.608
PRESION 27 GOLPES	73.27	1000	7.33	1.663
PRESION 56 GOLPES	92.26	1000	9.23	1.720

(*) Valores Corregidos para una Penetración de 0.2"

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA (Lb/pulg²)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg²)	C.B.R.(%)	DENSIDAD SECA (g/cm³)
PRESION 13 GOLPES	101.57	1500	6.77	1.608
PRESION 27 GOLPES	140.13	1500	9.34	1.663
PRESION 56 GOLPES	177.89	1500	11.86	1.720

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.

C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	7.37%
C.B.R. PARA EL 100 % DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	11.25%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	5.55%
C.B.R. PARA EL 100 % DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	8.75%

Tabla N° 30 - Proctor Modificado - DEL SUELO CON MICROFIBRAS DE 12 MM - Dosificación a 0.5%.

MÉTODO DE ENSAYO :		"A"		CONDICIÓN DE SECADO:		HORNO 110 °C		DIÁMETRO DE MOLDE :		10.16 cm.	
DENSIDAD	NÚMERO DE ENSAYO	1		2		3		4		5	
	N° de Capas	5		5		5		5		5	
	N° de Golpes por Capa	25		25		25		25		25	
	Peso Húmedo+ Molde (g)	3587.00		3654.00		3702		3716.20		3713.00	
	Peso Molde (g)	1803.00		1803.00		1803.00		1803.00		1803.00	
	Peso Húmedo (g)	1784.00		1851.00		1899.00		1913.20		1910.00	
	Volumen del Molde (cm³)	944.00		944.00		944.00		944.00		944.00	
	Densidad Húmeda (g/cm³)	1.890		1.961		2.012		2.027		2.023	
HUMEDAD	Ensayo	1		2		3		4		5	
	Peso Húmedo + Tara (g)	556.20	589.30	496.20	609.20	497.50	549.00	587.80	635.90	475.50	629.50
	Peso Seco + Tara (g)	497.10	525.40	436.10	534.10	430.50	475.00	501.70	542.00	400.10	529.10
	Peso Agua (g)	59.10	63.90	60.10	75.10	67.00	74.00	86.10	93.90	75.40	100.40
	Peso Tara (g)	56.10	54.40	49.30	50.10	53.20	51.10	58.20	57.20	50.40	60.60
	Peso Muestra Seca (g)	441.00	471.00	386.80	484.00	377.30	423.90	443.50	484.80	349.70	468.50
	Contenido de Humedad (%)	13.40	13.57	15.54	15.52	17.76	17.46	19.41	19.37	21.56	21.43
	C. Humedad (%) promedio	13.48		15.53		17.61		19.39		21.50	
DENSIDAD SECA (g/cm³)	1.665		1.697		1.710		1.698		1.665		

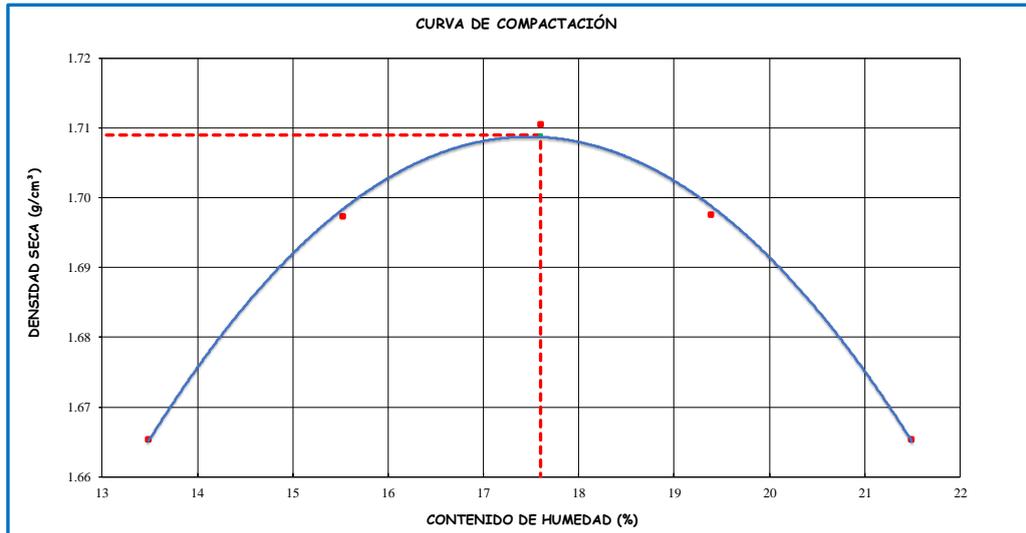


Figura N° 30 - Curva de Compactación - MICROFIBRAS DE 12 MM - Dosificación a 0.5%.

DENSIDAD SECA MÁXIMA :	1.709	g/cm³
CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO :	17.60	%

Tabla N° 31 - CBR DEL SUELO CON MICROFIBRAS DE 12 mm, DOSIFICACIÓN 0,5%

COMPACTACIÓN C B R						
N°Golpes por Capa	13		27		56	
Altura Molde (mm)	117		118		116	
N° Capas	5		5		5	
Condición de Muestra	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS
Peso del Molde +Muestra húmeda	9119.0	9161.0	9097.0	9134.0	9349.0	9391.0
Peso Molde (g)	5106.0	5106.0	4959.0	4959.0	5083.0	5083.0
Peso de Muestra Húmeda (g)	4013.0	4055.0	4138.0	4175.0	4266.0	4308.0
Volumen del Molde (cm3)	2116.44	2116.44	2112.26	2112.26	2107.82	2107.82
Densidad Húmeda (g/cm3)	1.896	1.916	1.959	1.977	2.024	2.044
CONTENIDO DE HUMEDAD						
TARA N°	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
Peso de la Muestra Húmeda + Tara	593.70	649.70	614.30	730.90	585.60	599.70
Peso Seco + Tara	518.60	563.90	533.20	630.00	507.40	518.90
Peso Agua (g)	75.10	85.80	81.10	100.90	78.20	80.80
Peso Tara (g)	92.00	103.00	72.00	88.00	63.00	84.00
P. Muestra Seca	426.60	460.90	461.20	542.00	444.40	434.90
C.Humedad Promedio	17.60%	18.62%	17.58%	18.62%	17.60%	18.58%
DENSIDAD SECA (g/cm3)	1.612	1.615	1.666	1.666	1.721	1.724

EXPANSIÓN DEL SUELO										
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 13 GOLPES			PRESIÓN 27 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
(Hs)	(Dias)	LECTURA DEFORM.	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORM.	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORM.	EXPANSIÓN	
		(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)
0	0	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000
24	1	95	0.950	0.815	84	0.840	0.712	69	0.690	0.594
48	2	148	1.480	1.269	117	1.170	0.992	107	1.070	0.921
72	3	166	1.660	1.423	132	1.320	1.119	114	1.140	0.981
96	4	175	1.750	1.500	154	1.540	1.306	135	1.350	1.162

CARGA - PENETRACIÓN												
PENETRACIÓN		PRESIÓN 13 GOLPES					PRESIÓN 27 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
(mm)	(pulg)	CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO			
			(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00		
0.64	0.025	17.6	0.90	12.81	27.2	1.39	19.79	34.4	1.75	25.03		
1.27	0.050	34.4	1.75	25.03	51.5	2.62	37.47	65.5	3.34	47.66		
1.91	0.075	52.7	2.68	38.34	78.3	3.99	56.97	95.1	4.84	69.19		
2.54	0.100	71.5	3.64	52.02	102.3	5.21	74.43	133.3	6.79	96.98		
3.18	0.125	89.9	4.58	65.41	125.5	6.39	91.31	162.3	8.27	118.08		
3.81	0.150	107.0	5.45	77.85	148.7	7.57	108.19	196.1	9.99	142.68		
4.45	0.175	125.6	6.40	91.38	173.7	8.85	126.38	218.8	11.14	159.19		
5.08	0.200	141.8	7.22	103.17	196.5	10.01	142.97	249.1	12.69	181.24		
7.62	0.300	195.2	9.94	142.02	262.2	13.35	190.77	339.1	17.27	246.72		
10.16	0.400	225.7	11.49	164.21	297.8	15.17	216.67	379.8	19.34	276.33		
12.70	0.500	242.2	12.34	176.22	313.7	15.98	228.24	400.1	20.38	291.10		

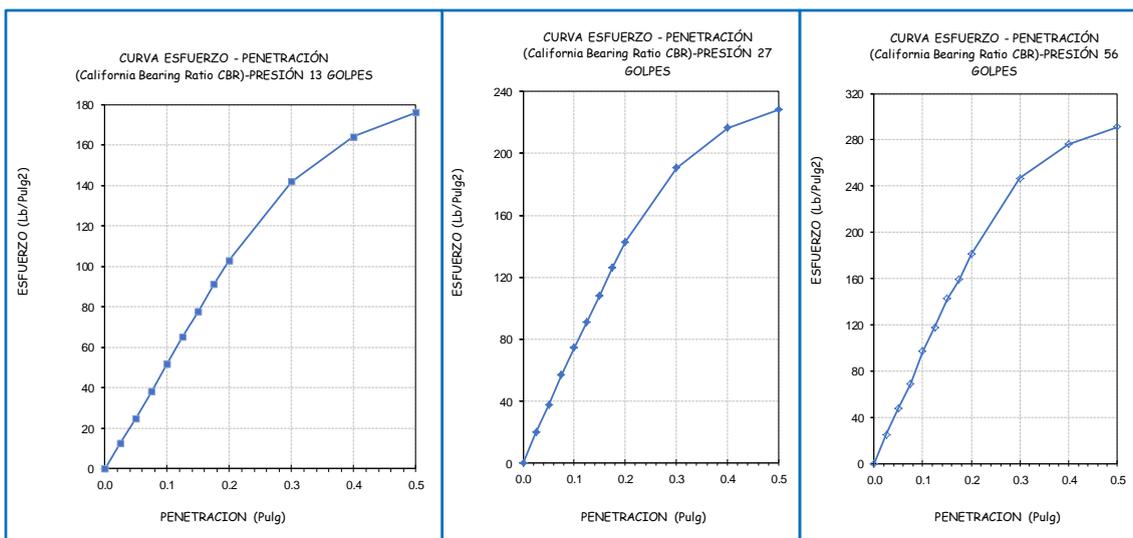


Figura N° 31 - Cuna Esfuerzo - Penetración - MICROFIBRAS DE 12 MM - Dosificación a 0.5%.

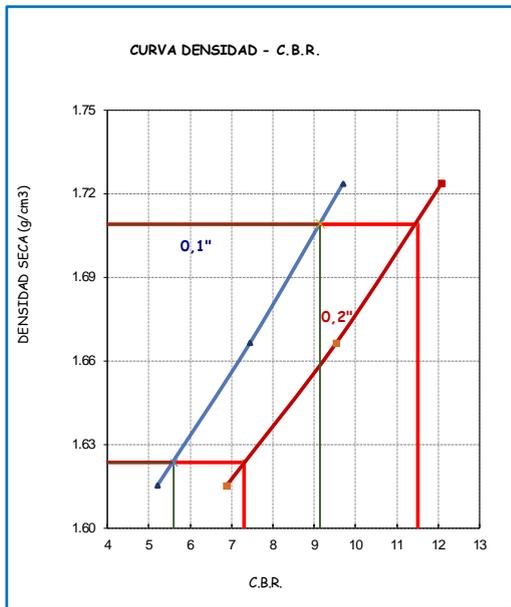


Figura N° 32- Curva de Densidad C.B.R. - SUELO - MICROFIBRAS DE 12 MM - Dosificación a 0.5%.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm3) :	1.709
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	17.60

Tabla N° 32 - VALORES CBR PARA 0.1" Y 0.2" DE PENETRACIÓN

(*) Valores Corregidos para una Penetración de 0.1"

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA (Lb/pulg2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R.(%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 13 GOLPES	52.02	1000	5.20	1.615
PRESION 27 GOLPES	74.43	1000	7.44	1.666
PRESION 56 GOLPES	96.98	1000	9.70	1.724

(*) Valores Corregidos para una Penetración de 0.2"

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA (Lb/pulg2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R.(%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 13 GOLPES	103.17	1500	6.88	1.62
PRESION 27 GOLPES	142.97	1500	9.53	1.67
PRESION 56 GOLPES	181.24	1500	12.08	1.72

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.

C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	7.30%
C.B.R. PARA EL 100 % DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	11.50%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	5.60%
C.B.R. PARA EL 100 % DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	9.15%

Tabla N° 33 - Proctor Modificado - DEL SUELO CON MICROFIBRAS DE 12 MM - Dosificación a 1 %.

MÉTODO DE ENSAYO :		"A"		CONDICIÓN DE SECADO: HORNO 110 °C				DIÁMETRO DE MOLDE : 10.16 cm.			
DENSIDAD	NÚMERO DE ENSAYO	1		2		3		4		5	
	N° de Capas	5		5		5		5		5	
	N° de Golpes por Capa	25		25		25		25		25	
	Peso Húmedo+ Molde (g)	3584.80		3655.90		3704.2		3720.70		3713.70	
	Peso Molde (g)	1803.00		1803.00		1803.00		1803.00		1803.00	
	Peso Húmedo (g)	1781.80		1852.90		1901.20		1917.70		1910.70	
	Volumen del Molde (cm³)	944.00		944.00		944.00		944.00		944.00	
	Densidad Húmeda (g/cm³)	1.888		1.963		2.014		2.031		2.024	
HUMEDAD	Ensayo	1		2		3		4		5	
	Peso Húmedo + Tara (g)	498.70	534.90	586.90	536.80	447.40	489.60	458.70	602.10	593.30	542.60
	Peso Seco + Tara (g)	446.20	478.60	515.50	474.30	390.40	426.20	393.30	511.90	500.20	459.30
	Peso Agua (g)	52.50	56.30	71.40	62.50	57.00	63.40	65.40	90.20	93.10	83.30
	Peso Tara (g)	54.80	59.70	51.70	68.90	64.40	62.40	56.10	49.20	65.70	70.60
	Peso Muestra Seca (g)	391.40	418.90	463.80	405.40	326.00	363.80	337.20	462.70	434.50	388.70
	Contenido de Humedad (%)	13.41	13.44	15.39	15.42	17.48	17.43	19.40	19.49	21.43	21.43
	C. Humedad (%) promedio	13.43		15.41		17.46		19.44		21.43	
DENSIDAD SECA (g/cm³)	1.664		1.701		1.715		1.701		1.667		

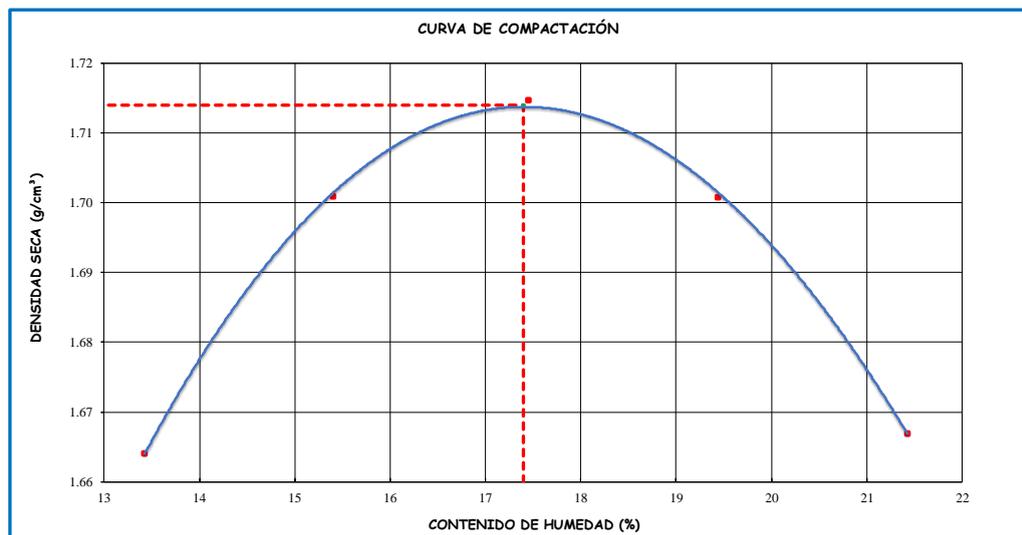


Figura N° 33 - Curva de Compactación - MICROFIBRAS DE 12 MM - Dosificación a 1 %.

DENSIDAD SECA MÁXIMA :	1.714	g/cm ³
CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO :	17.40	%

Tabla N° 34 - CBR DEL SUELO CON MICROFIBRAS DE 12 mm. DOSIFICACIÓN 1%

COMPACTACIÓN C B R						
NºGolpes por Capa	13		27		56	
Altura Molde (mm)	117		118		116	
Nº Capas	5		5		5	
Condición de Muestra	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS
Peso del Molde +Muestra húmeda	9101.0	9139.0	9091.0	9131.0	9355.0	9388.0
Peso Molde (g)	5106.0	5106.0	4959.0	4959.0	5083.0	5083.0
Peso de Muestra Húmeda (g)	3995.0	4033.0	4132.0	4172.0	4272.0	4305.0
Volumen del Molde (cm3)	2116.44	2116.44	2112.26	2112.26	2107.82	2107.82
Densidad Húmeda (g/cm3)	1.888	1.906	1.956	1.975	2.027	2.042
CONTENIDO DE HUMEDAD						
TARA N°	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
Peso de la Muestra Húmeda + Tara	593.00	649.30	614.20	730.50	585.80	599.40
Peso Seco + Tara	518.70	564.30	533.70	630.60	508.30	519.30
Peso Agua (g)	74.30	85.00	80.50	99.90	77.50	80.10
Peso Tara (g)	92.00	103.00	72.00	88.00	63.00	84.00
P. Muestra Seca	426.70	461.30	461.70	542.60	445.30	435.30
C.Humedad Promedio	17.41%	18.43%	17.44%	18.41%	17.40%	18.40%
DENSIDAD SECA (g/cm3)	1.608	1.609	1.666	1.668	1.726	1.725

EXPANSIÓN DEL SUELO										
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 13 GOLPES			PRESIÓN 27 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
(Hs)	(Días)	LECTURA	EXPANSIÓN		LECTURA	EXPANSIÓN		LECTURA	EXPANSIÓN	
		DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000
24	1	92	0.920	0.789	84	0.840	0.712	73	0.730	0.628
48	2	133	1.330	1.140	113	1.130	0.958	107	1.070	0.921
72	3	146	1.460	1.252	131	1.310	1.111	122	1.220	1.050
96	4	154	1.540	1.320	139	1.390	1.178	130	1.300	1.119

CARGA - PENETRACIÓN										
DIÁMETRO DEL PISTÓN:		5 Cm			ÁREA DEL PISTÓN: 19.635 Cm2					
PENETRACIÓN		PRESIÓN 13 GOLPES			PRESIÓN 27 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
(mm)	(pulg)	CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO	
			(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
0.64	0.025	19.0	0.97	13.83	29.6	1.51	21.54	38.3	1.95	27.88
1.27	0.050	37.2	1.89	27.04	54.9	2.80	39.95	70.9	3.61	51.57
1.91	0.075	56.8	2.89	41.33	85.2	4.34	61.96	100.3	5.11	72.96
2.54	0.100	77.1	3.93	56.07	109.1	5.56	79.37	139.9	7.12	101.76
3.18	0.125	96.9	4.94	70.51	135.0	6.88	98.24	175.8	8.95	127.88
3.81	0.150	115.2	5.87	83.80	160.0	8.15	116.43	211.4	10.76	153.78
4.45	0.175	135.1	6.88	98.32	187.0	9.52	136.06	236.4	12.04	171.96
5.08	0.200	152.5	7.76	110.92	211.5	10.77	153.86	269.4	13.72	196.03
7.62	0.300	210.2	10.71	152.94	281.6	14.34	204.89	364.5	18.56	265.16
10.16	0.400	243.8	12.42	177.39	320.5	16.32	233.16	409.0	20.83	297.56
12.70	0.500	259.9	13.24	189.08	337.5	17.19	245.53	431.7	21.98	314.06

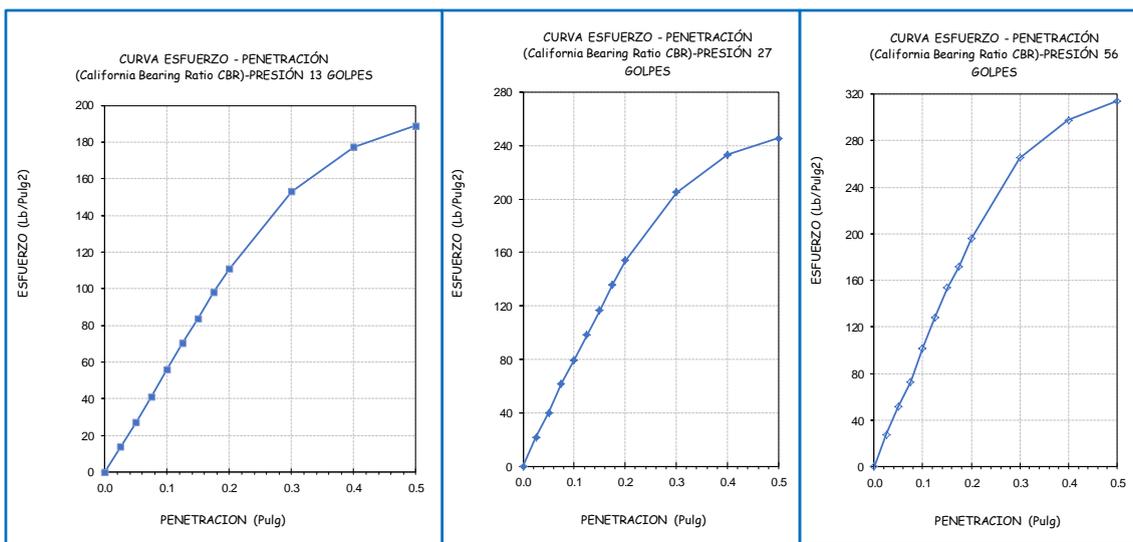


Figura N° 34 -Curva Esfuerzo - Penetración - MICROFIBRAS DE 12 MM - Dosificación a 1 %.

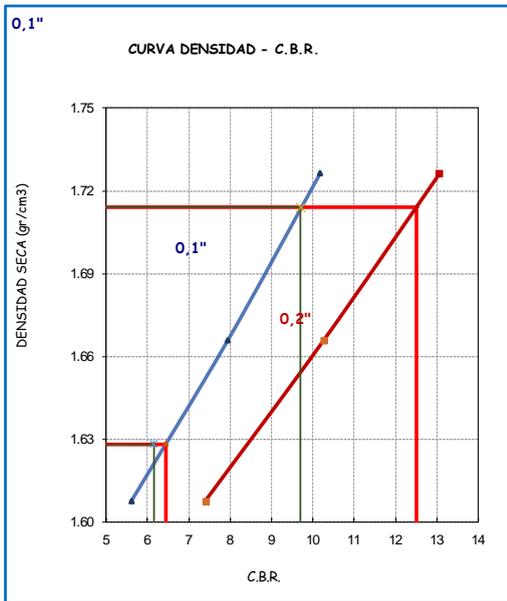


Figura N° 35 -Curva de Densidad C.B.R. - SUELO - MICROFIBRAS DE 12 MM - Dosificación a 1 %.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm3) :	1.714
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	17.40

Tabla N° 35 - VALORES CBR PARA 0.1" Y 0.2" DE PENETRACIÓN

(*) Valores Corregidos para una Penetración de 0.1"

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA (Lb/pulg2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R.(%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 13 GOLPES	56.07	1000	5.61	1.608
PRESION 27 GOLPES	79.37	1000	7.94	1.666
PRESION 56 GOLPES	101.76	1000	10.18	1.726

(*) Valores Corregidos para una Penetración de 0.2"

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA (Lb/pulg2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R.(%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 13 GOLPES	110.92	1500	7.39	1.608
PRESION 27 GOLPES	153.86	1500	10.26	1.666
PRESION 56 GOLPES	196.03	1500	13.07	1.726

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.

C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	6.45%
C.B.R. PARA EL 100 % DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	12.51%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	6.15%
C.B.R. PARA EL 100 % DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	9.70%

Tabla N° 36 - Proctor Modificado - DEL SUELO CON MICROFIBRAS DE 12 MM - Dosificación a 1.5%.

MÉTODO DE ENSAYO :		"A"		CONDICIÓN DE SECADO:		HORNO 110 °C		DIÁMETRO DE MOLDE :		10.16 cm.	
DENSIDAD	NÚMERO DE ENSAYO	1		2		3		4		5	
	N° de Capas	5		5		5		5		5	
	N° de Golpes por Capa	25		25		25		25		25	
	Peso Húmedo+ Molde (g)	3584.82		3658.10		3705.70		3720.40		3711.50	
	Peso Molde (g)	1803.00		1803.00		1803.00		1803.00		1803.00	
	Peso Húmedo (g)	1781.82		1855.10		1902.70		1917.40		1908.50	
	Volumen del Molde (cm³)	944.00		944.00		944.00		944.00		944.00	
	Densidad Húmeda (g/cm³)	1.888		1.965		2.016		2.031		2.022	
HUMEDAD	Ensayo	1		2		3		4		5	
	Peso Húmedo + Tara (g)	478.50	497.60	563.60	541.30	518.70	486.10	456.80	491.40	536.60	500.60
	Peso Seco + Tara (g)	430.80	446.70	497.10	475.80	450.20	422.80	393.80	423.70	456.90	426.70
	Peso Agua (g)	47.70	50.90	66.50	65.50	68.50	63.30	63.00	67.70	79.70	73.90
	Peso Tara (g)	72.60	64.70	63.80	49.90	55.70	58.70	68.20	74.10	83.60	80.10
	Peso Muestra Seca (g)	358.20	382.00	433.30	425.90	394.50	364.10	325.60	349.60	373.30	346.60
	Contenido de Humedad (%)	13.32	13.32	15.35	15.38	17.36	17.39	19.35	19.36	21.35	21.32
	C. Humedad (%) promedio	13.32		15.36		17.37		19.36		21.34	
DENSIDAD SECA (g/cm³)	1.666		1.703		1.717		1.702		1.666		

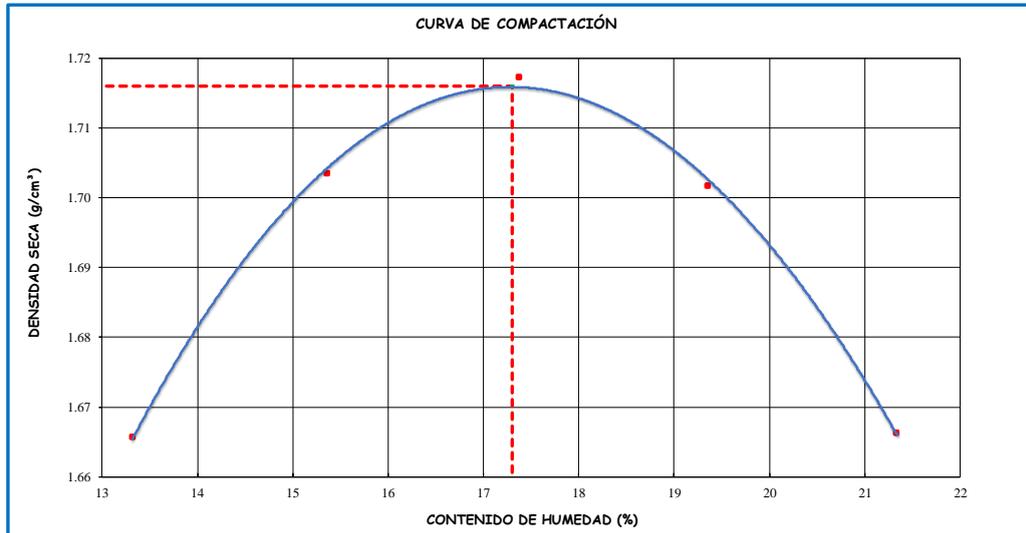


Figura N° 36 - Curva de Compactación - MICROFIBRAS DE 12 MM - Dosificación a 1.5%.

DENSIDAD SECA MÁXIMA :	1.716	g/cm³
CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO :	17.30	%

Tabla N° 37 - CBR DEL SUELO CON MICROFIBRAS DE 12 mm, DOSIFICACIÓN 1.5 %

COMPACTACIÓN C B R						
NºGolpes por Capa	13		27		56	
Altura Molde (mm)	117		118		116	
Nº Capas	5		5		5	
Condición de Muestra	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS
Peso del Molde +Muestra húmeda	9125.0	9167.0	9105.0	9146.0	9365.0	9404.0
Peso Molde (g)	5106.0	5106.0	4959.0	4959.0	5083.0	5083.0
Peso de Muestra Húmeda (g)	4019.0	4061.0	4146.0	4187.0	4282.0	4321.0
Volumen del Molde (cm3)	2116.44	2116.44	2112.26	2112.26	2107.82	2107.82
Densidad Húmeda (g/cm3)	1.899	1.919	1.963	1.982	2.031	2.050
CONTENIDO DE HUMEDAD						
TARA N°	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
Peso de la Muestra Húmeda + Tara	640.50	715.60	586.40	654.80	537.60	612.40
Peso Seco + Tara	561.80	616.70	513.90	567.70	473.30	536.90
Peso Agua (g)	78.70	98.90	72.50	87.10	64.30	75.50
Peso Tara (g)	107.00	77.00	95.00	92.00	102.00	124.00
P. Muestra Seca	454.80	539.70	418.90	475.70	371.30	412.90
C.Humedad Promedio	17.30%	18.32%	17.31%	18.31%	17.32%	18.29%
DENSIDAD SECA (g/cm3)	1.619	1.622	1.673	1.675	1.732	1.733

EXPANSIÓN DEL SUELO										
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 13 GOLPES			PRESIÓN 27 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
(Hs)	(Días)	LECTURA	EXPANSIÓN		LECTURA	EXPANSIÓN		LECTURA	EXPANSIÓN	
		DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000
24	1	86	0.860	0.737	77	0.770	0.653	71	0.710	0.611
48	2	109	1.090	0.935	102	1.020	0.865	96	0.960	0.826
72	3	124	1.240	1.063	116	1.160	0.983	108	1.080	0.930
96	4	132	1.320	1.132	121	1.210	1.026	112	1.120	0.964

CARGA - PENETRACIÓN										
DIÁMETRO DEL PISTÓN:		5 Cm			ÁREA DEL PISTÓN: 19.635 Cm2					
PENETRACIÓN		PRESIÓN 13 GOLPES			PRESIÓN 27 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
(mm)	(pulg)	CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO	
			(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
0.64	0.025	20.1	1.02	14.62	31.3	1.60	22.79	40.6	2.07	29.54
1.27	0.050	39.4	2.01	28.68	58.2	2.96	42.35	75.1	3.82	54.61
1.91	0.075	59.9	3.05	43.61	90.2	4.59	65.61	106.3	5.41	77.32
2.54	0.100	81.4	4.15	59.25	116.0	5.91	84.39	148.2	7.55	107.81
3.18	0.125	102.6	5.23	74.65	143.1	7.29	104.11	185.9	9.47	135.23
3.81	0.150	122.3	6.23	88.95	169.6	8.64	123.37	220.0	11.20	160.06
4.45	0.175	143.2	7.29	104.19	197.9	10.08	143.95	249.7	12.72	181.67
5.08	0.200	161.1	8.21	117.24	224.0	11.41	162.97	285.3	14.53	207.60
7.62	0.300	222.8	11.35	162.10	298.3	15.19	217.03	385.8	19.65	280.68
10.16	0.400	254.3	12.95	185.05	339.3	17.28	246.89	433.3	22.07	315.25
12.70	0.500	273.6	13.93	199.04	357.5	18.21	260.09	457.2	23.28	332.62

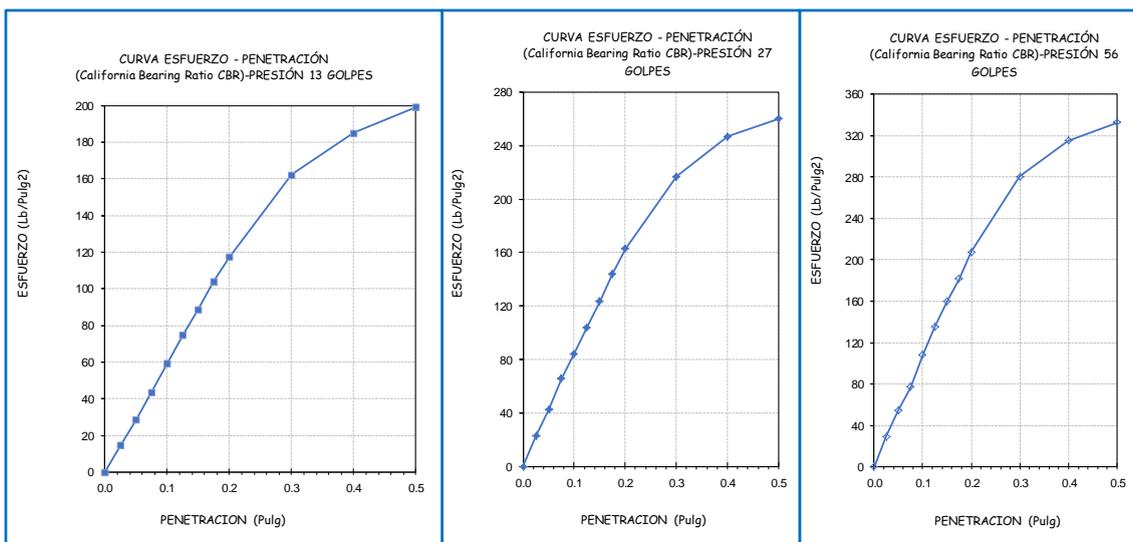


Figura N° 37 - Cuna Esfuerzo - Penetración - MICROFIBRAS DE 12 MM - Dosificación a 1.5%.

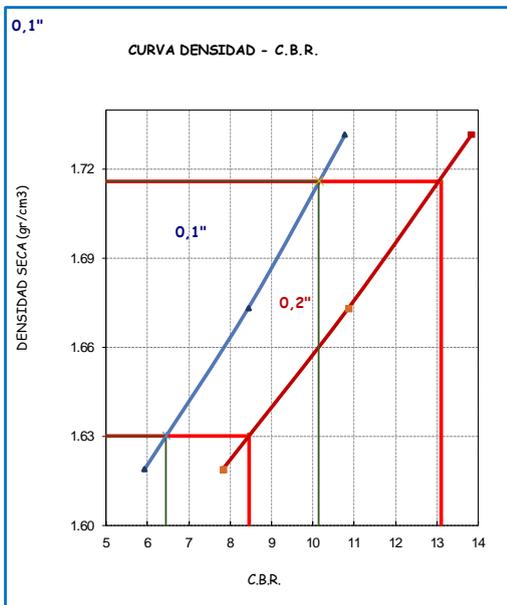


Figura N° 38 - Curva de Densidad C.B.R. - SUELO - MICROFIBRAS DE 12 MM - Dosificación a 1.5%.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm3) :	1.716
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	17.30

Tabla N° 38 - VALORES CBR PARA 0.1" Y 0.2" DE PENETRACIÓN

(*) Valores Corregidos para una Penetración de 0.1"

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA (Lb/pulg2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R.(%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 13 GOLPES	59.25	1000	5.92	1.619
PRESION 27 GOLPES	84.39	1000	8.44	1.673
PRESION 56 GOLPES	107.81	1000	10.78	1.732

(*) Valores Corregidos para una Penetración de 0.2"

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA (Lb/pulg2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R.(%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 13 GOLPES	117.24	1500	7.82	1.619
PRESION 27 GOLPES	162.97	1500	10.86	1.673
PRESION 56 GOLPES	207.60	1500	13.84	1.732

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.

C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	8.45%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	13.10%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	6.45%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	10.15%

Tabla N° 39 - Proctor Modificado - DEL SUELO CON MICROFIBRAS DE 12 MM - Dosificación a 2 %.

MÉTODO DE ENSAYO :		"A"		CONDICIÓN DE SECADO:		HORNO 110 °C		DIÁMETRO DE MOLDE :		10.16 cm.	
DENSIDAD		1		2		3		4		5	
NÚMERO DE ENSAYO		1		2		3		4		5	
N° de Capas		5		5		5		5		5	
N° de Golpes por Capa		25		25		25		25		25	
Peso Húmedo+ Molde (g)		3557.10		3653.60		3707.40		3715.20		3686.40	
Peso Molde (g)		1803.00		1803.00		1803.00		1803.00		1803.00	
Peso Húmedo (g)		1754.10		1850.60		1904.40		1912.20		1883.40	
Volumen del Molde (cm³)		944.00		944.00		944.00		944.00		944.00	
Densidad Húmeda (g/cm³)		1.858		1.960		2.017		2.026		1.995	
HUMEDAD		1		2		3		4		5	
Ensayo		1		2		3		4		5	
Peso Húmedo + Tara (g)		604.30	551.60	491.80	522.90	488.70	506.80	612.80	536.90	496.80	535.60
Peso Seco + Tara (g)		541.40	495.90	435.50	463.10	426.10	440.60	527.60	464.20	423.70	456.20
Peso Agua (g)		62.90	55.70	56.30	59.80	62.60	66.20	85.20	72.70	73.10	79.40
Peso Tara (g)		60.50	71.60	63.40	67.20	59.70	53.90	81.10	84.50	77.60	79.80
Peso Muestra Seca (g)		480.90	424.30	372.10	395.90	366.40	386.70	446.50	379.70	346.10	376.40
Contenido de Humedad (%)		13.08	13.13	15.13	15.10	17.09	17.12	19.08	19.15	21.12	21.09
C. Humedad (%) promedio		13.10		15.12		17.10		19.11		21.11	
DENSIDAD SECA (g/cm³)		1.643		1.703		1.723		1.701		1.647	

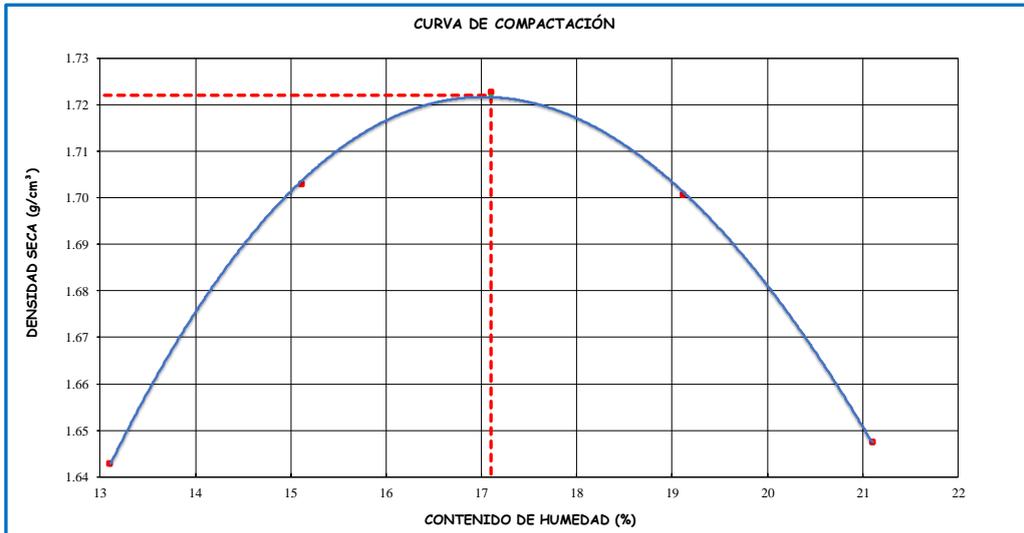


Figura N° 39 - Curva de Compactación - MICROFIBRAS DE 12 MM - Dosificación a 2 %.

DENSIDAD SECA MÁXIMA :	1.722	g/cm³
CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO :	17.10	%

Tabla N° 40 - CBR DEL SUELO CON MICROFIBRAS DE 12 Y 19 mm, DOSIFICACIÓN 0,5%

COMPACTACIÓN C B R						
N°Golpes por Capa	13		27		56	
Altura Molde (mm)	117		118		116	
N° Capas	5		5		5	
Condición de Muestra	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS
Peso del Molde +Muestra húmeda	9113.0	9153.0	9112.0	9153.0	9374.0	9412.0
Peso Molde (g)	5106.0	5106.0	4959.0	4959.0	5083.0	5083.0
Peso de Muestra Húmeda (g)	4007.0	4047.0	4153.0	4194.0	4291.0	4329.0
Volumen del Molde (cm3)	2116.44	2116.44	2112.26	2112.26	2107.82	2107.82
Densidad Húmeda (g/cm3)	1.893	1.912	1.966	1.986	2.036	2.054
CONTENIDO DE HUMEDAD						
TARA N°	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
Peso de la Muestra Húmeda + Tara	573.40	684.70	613.70	721.10	671.80	569.40
Peso Seco + Tara	500.70	592.50	539.40	625.60	586.20	498.90
Peso Agua (g)	72.70	92.20	74.30	95.50	85.60	70.50
Peso Tara (g)	75.00	84.00	105.00	98.00	86.00	109.00
P. Muestra Seca	425.70	508.50	434.40	527.60	500.20	389.90
C.Humedad Promedio	17.08%	18.13%	17.10%	18.10%	17.11%	18.08%
DENSIDAD SECA (g/cm3)	1.617	1.619	1.679	1.681	1.738	1.739

EXPANSIÓN DEL SUELO										
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 13 GOLPES			PRESIÓN 27 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
(Hs)	(Días)	LECTURA	EXPANSIÓN		LECTURA	EXPANSIÓN		LECTURA	EXPANSIÓN	
		DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000
24	1	77	0.770	0.660	70	0.700	0.593	61	0.610	0.525
48	2	101	1.010	0.866	93	0.930	0.788	84	0.840	0.723
72	3	110	1.100	0.943	100	1.000	0.848	92	0.920	0.792
96	4	119	1.190	1.020	108	1.080	0.916	98	0.980	0.844

CARGA - PENETRACIÓN										
DIÁMETRO DEL PISTÓN:		5 Cm				19.635 Cm2				
PENETRACIÓN		PRESIÓN 13 GOLPES			PRESIÓN 27 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
(mm)	(pulg)	CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO	
			(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
0.64	0.025	20.9	1.07	15.23	32.9	1.68	23.95	42.0	2.14	30.53
1.27	0.050	40.9	2.08	29.74	59.4	3.03	43.22	84.5	4.30	61.46
1.91	0.075	62.7	3.19	45.60	93.2	4.75	67.81	120.1	6.12	87.39
2.54	0.100	84.9	4.32	61.78	121.2	6.17	88.19	155.0	7.89	112.77
3.18	0.125	107.4	5.47	78.12	149.5	7.62	108.81	192.5	9.80	140.05
3.81	0.150	126.0	6.42	91.68	175.7	8.95	127.84	234.9	11.96	170.90
4.45	0.175	148.8	7.58	108.25	205.7	10.48	149.65	264.0	13.45	192.08
5.08	0.200	167.9	8.55	122.13	232.8	11.86	169.39	300.3	15.29	218.48
7.62	0.300	231.6	11.80	168.52	310.1	15.79	225.62	398.4	20.29	289.86
10.16	0.400	269.8	13.74	196.28	352.4	17.95	256.39	449.3	22.88	326.89
12.70	0.500	287.0	14.62	208.81	371.6	18.92	270.35	477.6	24.33	347.51

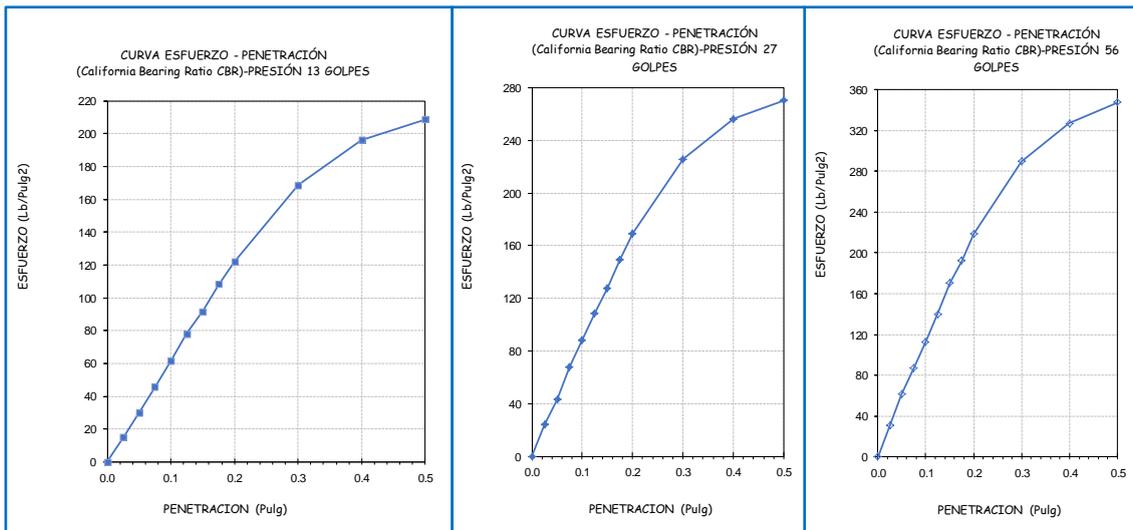


Figura N° 40 -Cuna Esfuerzo - Penetración - MICROFIBRAS DE 12 MM - Dosificación a 2%

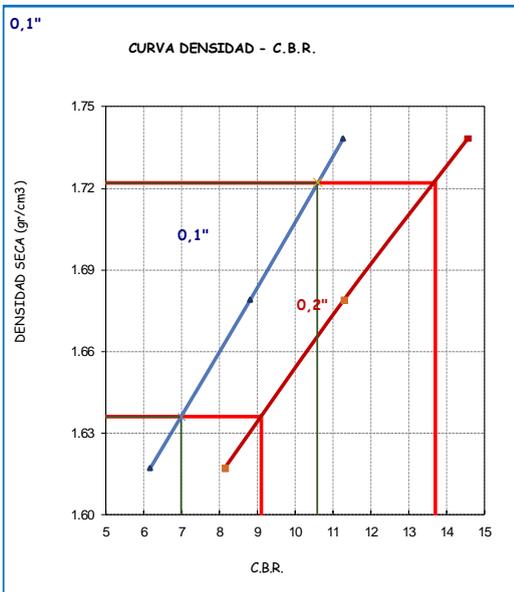


Figura N° 41 - Curva de Densidad C.B.R. - SUELO - MICROFIBRAS DE 12 MM - Dosificación a 2 %.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm3) :	1.722
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	17.10

Tabla N° 41 - VALORES CBR PARA 0.1" Y 0.2" DE PENETRACIÓN

(*) Valores Corregidos para una Penetración de 0.1"

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA (Lb/pulg2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R.(%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 13 GOLPES	61.78	1000	6.18	1.617
PRESION 27 GOLPES	88.19	1000	8.82	1.679
PRESION 56 GOLPES	112.77	1000	11.28	1.738

(*) Valores Corregidos para una Penetración de 0.2"

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA (Lb/pulg2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R.(%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 13 GOLPES	122.13	1500	8.14	1.617
PRESION 27 GOLPES	169.39	1500	11.29	1.679
PRESION 56 GOLPES	218.48	1500	14.57	1.738

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	9.10%
C.B.R. PARA EL 100 % DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	13.70%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	7.00%
C.B.R. PARA EL 100 % DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	10.60%

Tabla N° 42 - Proctor Modificado - DEL SUELO CON MICROFIBRAS DE 12 Y 19 MM - Dosificación a 0.5%.

MÉTODO DE ENSAYO :		"A"		CONDICIÓN DE SECADO: HORNO 110 °C			DIÁMETRO DE MOLDE : 10.16 cm.				
DENSIDAD	NÚMERO DE ENSAYO	1		2		3		4		5	
	N° de Capas	5		5		5		5		5	
	N° de Golpes por Capa	25		25		25		25		25	
	Peso Húmedo+ Molde (g)	3579.00		3651.00		3696.00		3713.00		3708.00	
	Peso Molde (g)	1803.00		1803.00		1803.00		1803.00		1803.00	
	Peso Húmedo (g)	1776.00		1848.00		1893.00		1910.00		1905.00	
	Volumen del Molde (cm³)	944.00		944.00		944.00		944.00		944.00	
	Densidad Húmeda (g/cm³)	1.881		1.958		2.005		2.023		2.018	
HUMEDAD	Ensayo	1		2		3		4		5	
	Peso Húmedo + Tara (g)	601.20	596.70	567.10	609.20	544.60	573.40	495.70	534.90	516.40	488.20
	Peso Seco + Tara (g)	534.80	532.20	499.70	534.10	470.20	495.60	422.70	456.20	435.00	412.50
	Peso Agua (g)	66.40	64.50	67.40	75.10	74.40	77.80	73.00	78.70	81.40	75.70
	Peso Tara (g)	49.90	62.30	69.10	56.20	50.40	55.30	51.70	57.60	60.20	63.70
	Peso Muestra Seca (g)	484.90	469.90	430.60	477.90	419.80	440.30	371.00	398.60	374.80	348.80
	Contenido de Humedad (%)	13.69	13.73	15.65	15.71	17.72	17.67	19.68	19.74	21.72	21.70
	C. Humedad (%) promedio	13.71		15.68		17.70		19.71		21.71	
DENSIDAD SECA (g/cm³)	1.655		1.692		1.704		1.690		1.658		

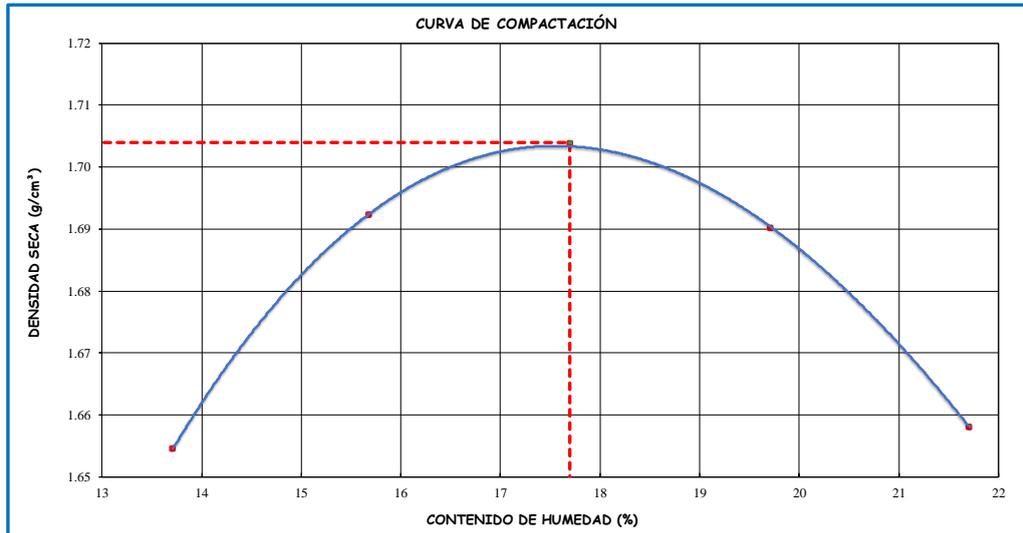


Figura N° 42 - Curva de Compactación - MICROFIBRAS DE 12 Y 19 MM - Dosificación a 0.5%.

DENSIDAD SECA MÁXIMA :	1.704	g/cm ³
CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO :	17.70	%

Tabla N° 43 - CBR DEL SUELO CON MICROFIBRAS DE 12 Y 19 MM Y DOSIFICACIÓN 0,5%

COMPACTACIÓN C B R						
NºGolpes por Capa	13		27		56	
Altura Molde (mm)	117		118		116	
Nº Capas	5		5		5	
Condición de Muestra	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS
Peso del Molde +Muestra húmeda	9093.0	9132.0	9087.0	9128.0	9337.0	9378.0
Peso Molde (g)	5106.0	5106.0	4959.0	4959.0	5083.0	5083.0
Peso de Muestra Húmeda (g)	3987.0	4026.0	4128.0	4169.0	4254.0	4295.0
Volumen del Molde (cm3)	2116.44	2116.44	2112.26	2112.26	2107.82	2107.82
Densidad Húmeda (g/cm3)	1.884	1.902	1.954	1.974	2.018	2.038
CONTENIDO DE HUMEDAD						
TARA N°	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
Peso de la Muestra Húmeda + Tara	633.70	596.70	621.80	659.40	601.70	577.90
Peso Seco + Tara	551.10	515.00	538.40	569.80	524.60	501.80
Peso Agua (g)	82.60	81.70	83.40	89.60	77.10	76.10
Peso Tara (g)	84.10	78.60	67.50	90.60	89.10	94.50
P. Muestra Seca	467.00	436.40	470.90	479.20	435.50	407.30
C.Humedad Promedio	17.69%	18.72%	17.71%	18.70%	17.70%	18.68%
DENSIDAD SECA (g/cm3)	1.601	1.602	1.660	1.663	1.715	1.717

EXPANSIÓN DEL SUELO										
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 13 GOLPES			PRESIÓN 27 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
(Hs)	(Días)	LECTURA	EXPANSIÓN		LECTURA	EXPANSIÓN		LECTURA	EXPANSIÓN	
		DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000
24	1	97	0.970	0.832	80	0.800	0.678	71	0.710	0.611
48	2	136	1.360	1.166	121	1.210	1.026	110	1.100	0.947
72	3	163	1.630	1.398	134	1.340	1.136	126	1.260	1.085
96	4	178	1.780	1.526	162	1.620	1.373	155	1.550	1.334

CARGA - PENETRACIÓN										
DÍAMETRO DEL PISTÓN:		5 Cm			ÁREA DEL PISTÓN: 19.635 Cm2					
PENETRACIÓN		PRESIÓN 13 GOLPES			PRESIÓN 27 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
(mm)	(pulg)	CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO	
			(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
0.64	0.025	17.0	0.87	12.38	26.3	1.34	19.13	33.3	1.69	24.19
1.27	0.050	33.3	1.69	24.19	49.8	2.54	36.22	63.3	3.22	46.06
1.91	0.075	50.9	2.59	37.06	75.7	3.85	55.06	91.9	4.68	66.88
2.54	0.100	69.1	3.52	50.28	98.9	5.04	71.94	128.8	6.56	93.74
3.18	0.125	86.9	4.43	63.22	121.3	6.18	88.26	156.9	7.99	114.14
3.81	0.150	103.4	5.27	75.25	143.7	7.32	104.57	189.5	9.65	137.91
4.45	0.175	121.4	6.18	88.33	167.9	8.55	122.15	211.5	10.77	153.87
5.08	0.200	137.1	6.98	99.72	189.9	9.67	138.19	240.8	12.26	175.18
7.62	0.300	185.8	9.46	135.16	246.7	12.56	179.47	319.1	16.25	232.14
10.16	0.400	214.3	10.91	155.91	282.0	14.36	205.21	365.2	18.60	265.69
12.70	0.500	234.1	11.92	170.33	303.2	15.44	220.61	391.8	19.96	285.09

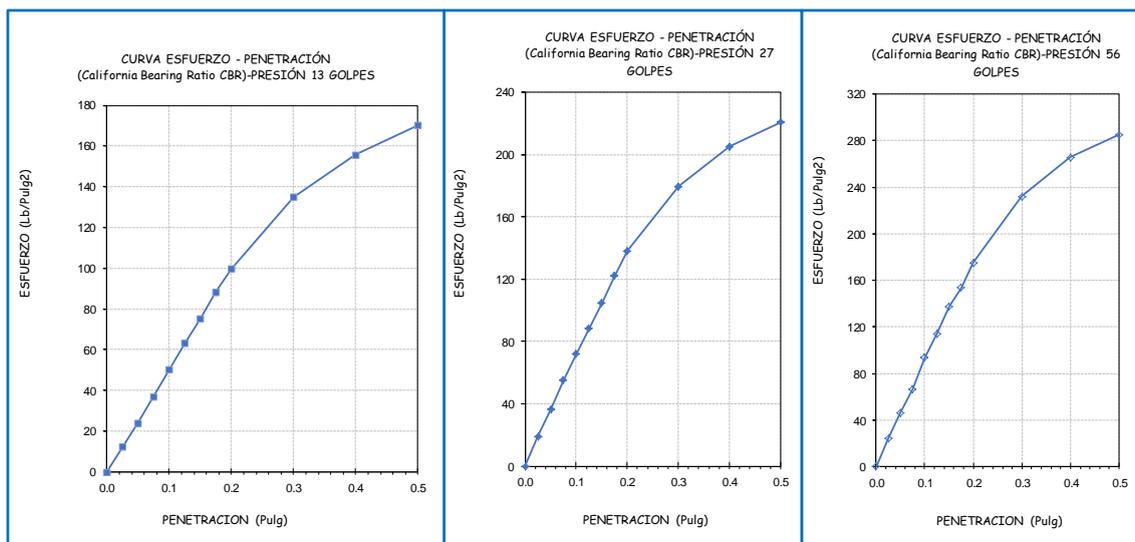


Figura N° 43 -Cuna Esfuerzo - Penetración - MICROFIBRAS DE 12 Y 19 MM - Dosificación a 0.5%.

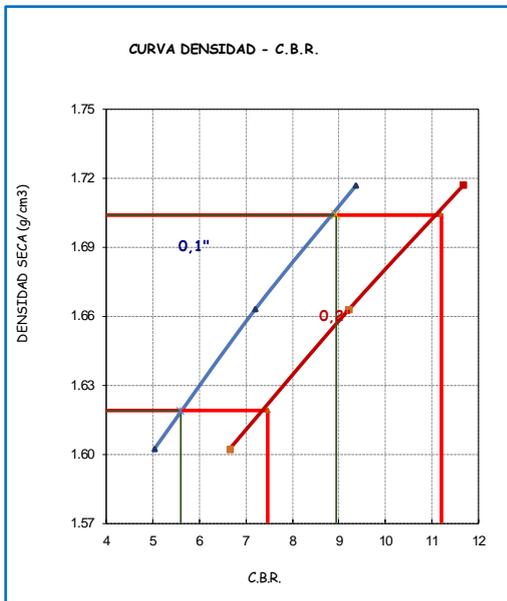


Figura N° 44- Curva de Densidad C.B.R. - SUELO - MICROFIBRAS DE 12 Y 19 MM - Dosificación a 0.5%.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm3) :	1.704
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	17.70

Tabla N° 44 - VALORES CBR PARA 0.1" Y 0.2" DE PENETRACIÓN

(*) Valores Corregidos para una Penetración de 0.1"

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA (Lb/pulg2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C. B. R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 13 GOLPES	50.28	1000	5.03	1.602
PRESION 27 GOLPES	71.94	1000	7.19	1.663
PRESION 56 GOLPES	93.74	1000	9.37	1.717

(*) Valores Corregidos para una Penetración de 0.2"

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA (Lb/pulg2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C. B. R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 13 GOLPES	99.72	1500	6.65	1.60
PRESION 27 GOLPES	138.19	1500	9.21	1.66
PRESION 56 GOLPES	175.18	1500	11.68	1.72

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.

C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	7.47%
C.B.R. PARA EL 100 % DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	11.20%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	5.59%
C.B.R. PARA EL 100 % DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	8.94%

Tabla N° 45 - Proctor Modificado - DEL SUELO CON MICROFIBRAS DE 12 Y 19 MM - Dosificación a 1 %.

MÉTODO DE ENSAYO :		"A"		CONDICIÓN DE SECADO: HORNO 110 °C				DIÁMETRO DE MOLDE : 10.16 cm.			
DENSIDAD	NÚMERO DE ENSAYO	1		2		3		4		5	
	N° de Capas	5		5		5		5		5	
	N° de Golpes por Capa	25		25		25		25		25	
	Peso Húmedo+ Molde (g)	3575.00		3651.00		3701.0		3715.00		3702.00	
	Peso Molde (g)	1803.00		1803.00		1803.00		1803.00		1803.00	
	Peso Húmedo (g)	1772.00		1848.00		1898.00		1912.00		1899.00	
	Volumen del Molde (cm³)	944.00		944.00		944.00		944.00		944.00	
	Densidad Húmeda (g/cm³)	1.877		1.958		2.011		2.025		2.012	
HUMEDAD	Ensayo	1		2		3		4		5	
	Peso Húmedo + Tara (g)	613.70	601.20	554.90	588.40	548.60	497.60	510.90	597.10	475.60	500.80
	Peso Seco + Tara (g)	548.30	535.60	490.20	516.60	475.40	433.50	437.50	508.20	401.40	422.80
	Peso Agua (g)	65.40	65.60	64.70	71.80	73.20	64.10	73.40	88.90	74.20	78.00
	Peso Tara (g)	64.80	49.80	72.50	53.70	57.10	66.70	60.80	52.20	56.60	59.70
	Peso Muestra Seca (g)	483.50	485.80	417.70	462.90	418.30	366.80	376.70	456.00	344.80	363.10
	Contenido de Humedad (%)	13.53	13.50	15.49	15.51	17.50	17.48	19.49	19.50	21.52	21.48
	C. Humedad (%) promedio	13.51		15.50		17.49		19.49		21.50	
DENSIDAD SECA (g/cm³)	1.654		1.695		1.711		1.695		1.656		

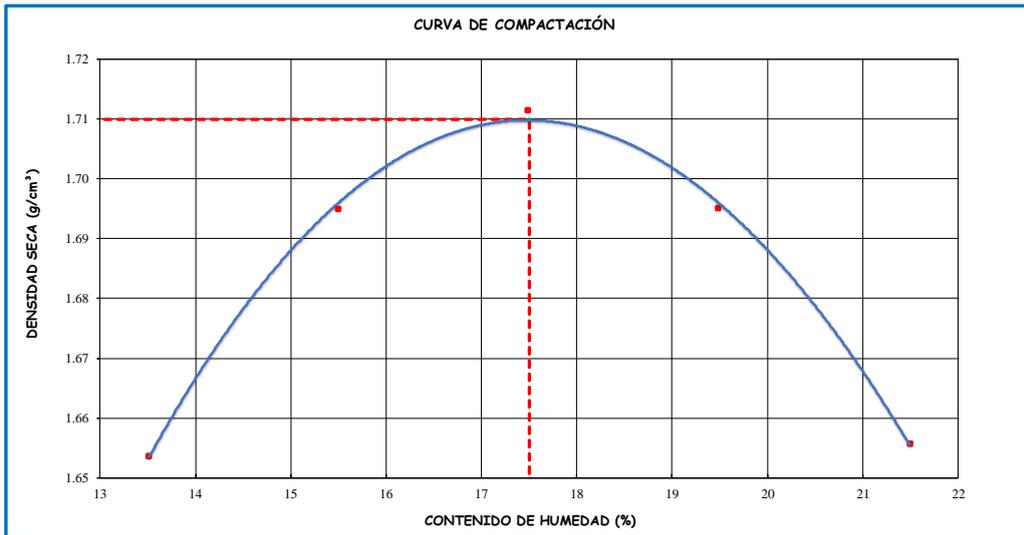


Figura N° 45 - Curva de Compactación - MICROFIBRAS DE 12 Y 19 MM - Dosificación a 1%.

DENSIDAD SECA MÁXIMA :	1.710	g/cm³
CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO :	17.50	%

Tabla N° 46 - CBR DEL SUELO CON MICROFIBRAS DE 12 Y 19 mm, DOSIFICACIÓN 1%

COMPACTACIÓN C B R						
NºGolpes por Capa	13		27		56	
Altura Molde (mm)	117		118		116	
Nº Capas	5		5		5	
Condición de Muestra	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS
Peso del Molde +Muestra húmeda	9111.0	9147.0	9104.0	9142.0	9363.0	9403.0
Peso Molde (g)	5106.0	5106.0	4959.0	4959.0	5083.0	5083.0
Peso de Muestra Húmeda (g)	4005.0	4041.0	4145.0	4183.0	4280.0	4320.0
Volumen del Molde (cm3)	2116.44	2116.44	2112.26	2112.26	2107.82	2107.82
Densidad Húmeda (g/cm3)	1.892	1.909	1.962	1.980	2.031	2.050
CONTENIDO DE HUMEDAD						
TARA N°	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
Peso de la Muestra Húmeda + Tara	572.10	625.70	581.40	634.70	713.90	602.70
Peso Seco + Tara	497.50	541.20	507.90	546.40	620.00	523.00
Peso Agua (g)	74.60	84.50	73.50	88.30	93.90	79.70
Peso Tara (g)	71.60	85.30	88.20	68.90	83.70	91.70
P. Muestra Seca	425.90	455.90	419.70	477.50	536.30	431.30
C.Humedad Promedio	17.52%	18.53%	17.51%	18.49%	17.51%	18.48%
DENSIDAD SECA (g/cm3)	1.610	1.611	1.670	1.671	1.728	1.730

EXPANSIÓN DEL SUELO										
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 13 GOLPES			PRESIÓN 27 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
(Hs)	(Días)	LECTURA	EXPANSIÓN		LECTURA	EXPANSIÓN		LECTURA	EXPANSIÓN	
		DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000
24	1	89	0.890	0.763	84	0.840	0.712	70	0.700	0.603
48	2	124	1.240	1.063	108	1.080	0.916	104	1.040	0.895
72	3	136	1.360	1.166	124	1.240	1.051	117	1.170	1.007
96	4	154	1.540	1.320	133	1.330	1.128	127	1.270	1.093

CARGA - PENETRACIÓN										
DÍAMETRO DEL PISTÓN:		5 Cm			ÁREA DEL PISTÓN: 19.635 Cm2					
PENETRACIÓN		PRESIÓN 13 GOLPES			PRESIÓN 27 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
(mm)	(pulg)	CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO	
			(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
0.64	0.025	18.6	0.95	13.56	29.0	1.48	21.13	37.6	1.91	27.35
1.27	0.050	36.5	1.86	26.53	53.9	2.74	39.20	69.5	3.54	50.59
1.91	0.075	55.7	2.84	40.54	83.5	4.25	60.78	101.3	5.16	73.71
2.54	0.100	75.6	3.85	55.01	107.0	5.45	77.87	137.2	6.99	99.82
3.18	0.125	95.1	4.84	69.17	132.5	6.75	96.38	172.4	8.78	125.45
3.81	0.150	113.0	5.75	82.21	157.0	7.99	114.21	207.3	10.56	150.86
4.45	0.175	132.6	6.75	96.45	183.5	9.34	133.47	231.9	11.81	168.70
5.08	0.200	149.6	7.62	108.82	207.5	10.57	150.93	264.3	13.46	192.30
7.62	0.300	206.2	10.50	150.04	276.3	14.07	201.00	352.6	17.96	256.56
10.16	0.400	236.2	12.03	171.88	319.3	16.26	232.29	393.4	20.03	286.19
12.70	0.500	248.1	12.63	180.49	336.0	17.11	244.44	413.6	21.07	300.95

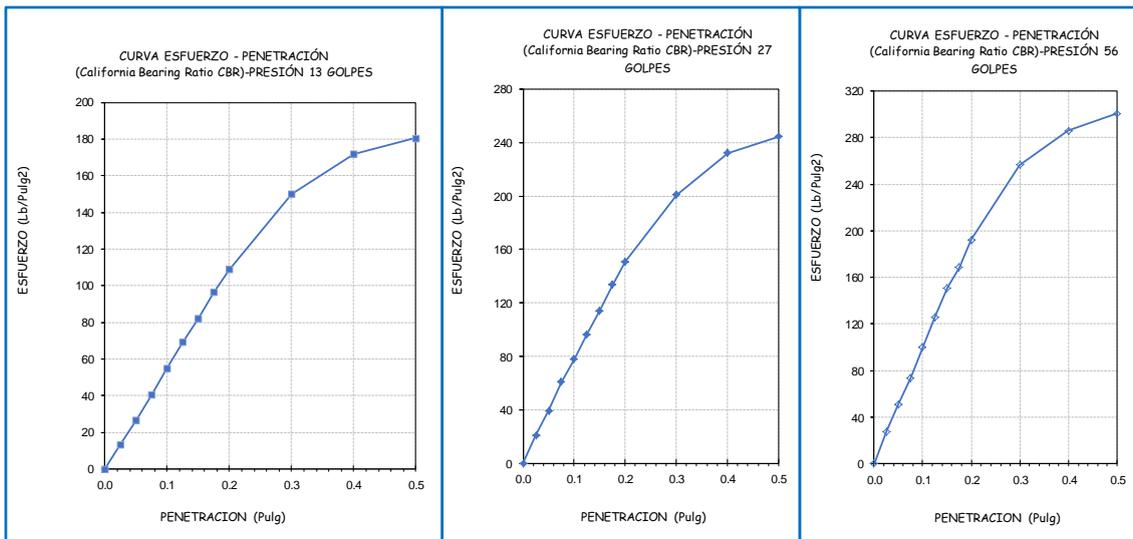


Figura N° 46 - Curva Esfuerzo - Penetración - MICROFIBRAS DE 12 Y 19 MM - Dosificación a 1%.

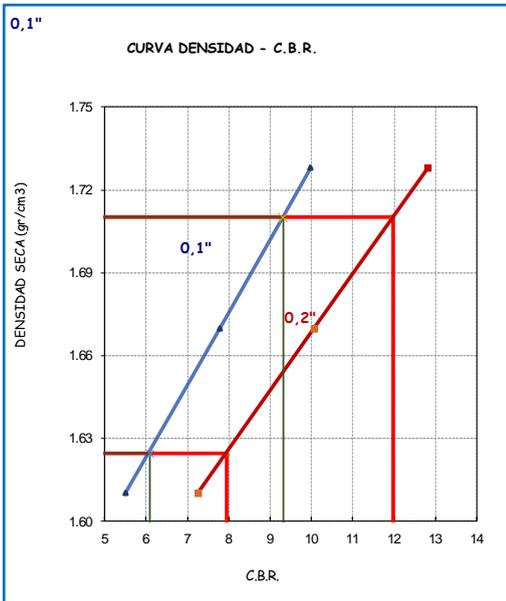


Figura N° 47 - Curva de Densidad C.B.R. - SUELO - MICROFIBRAS DE 12 Y 19 MM - Dosificación a 1%.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm3) :	1.710
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	17.50

Tabla N° 47 - VALORES CBR PARA 0.1" Y 0.2" DE PENETRACIÓN

(*) Valores Corregidos para una Penetración de 0.1"

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA (Lb/pulg2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R.(%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 13 GOLPES	55.01	1000	5.50	1.610
PRESION 27 GOLPES	77.87	1000	7.79	1.670
PRESION 56 GOLPES	99.82	1000	9.98	1.728

(*) Valores Corregidos para una Penetración de 0.2"

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA (Lb/pulg2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R.(%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 13 GOLPES	108.82	1500	7.25	1.610
PRESION 27 GOLPES	150.93	1500	10.06	1.670
PRESION 56 GOLPES	192.30	1500	12.82	1.728

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	7.95%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	11.97%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	6.09%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	9.31%

Tabla N° 48 - Proctor Modificado - DEL SUELO CON MICROFIBRAS DE 12 Y 19 MM - Dosificación a 1.5%.

MÉTODO DE ENSAYO :		"A"		CONDICIÓN DE SECADO:		HORNO 110 °C		DIÁMETRO DE MOLDE :		10.16 cm.	
DENSIDAD	NÚMERO DE ENSAYO	1		2		3		4		5	
	N° de Capas	5		5		5		5		5	
	N° de Golpes por Capa	25		25		25		25		25	
	Peso Húmedo+ Molde (g)	3595.00		3660.00		3706.00		3723.00		3726.00	
	Peso Molde (g)	1803.00		1803.00		1803.00		1803.00		1803.00	
	Peso Húmedo (g)	1792.00		1857.00		1903.00		1920.00		1923.00	
	Volumen del Molde (cm ³)	944.00		944.00		944.00		944.00		944.00	
	Densidad Húmeda (g/cm ³)	1.898		1.967		2.016		2.034		2.037	
HUMEDAD	Ensayo	1		2		3		4		5	
	Peso Húmedo + Tara (g)	506.90	543.60	479.60	519.70	495.20	475.90	587.40	546.80	605.30	556.70
	Peso Seco + Tara (g)	452.80	484.80	423.70	461.60	432.90	413.60	500.90	467.50	510.30	468.10
	Peso Agua (g)	54.10	58.80	55.90	58.10	62.30	62.30	86.50	79.30	95.00	88.60
	Peso Tara (g)	48.50	46.80	61.70	84.60	75.10	55.90	56.60	58.40	66.40	54.20
	Peso Muestra Seca (g)	404.30	438.00	362.00	377.00	357.80	357.70	444.30	409.10	443.90	413.90
	Contenido de Humedad (%)	13.38	13.42	15.44	15.41	17.41	17.42	19.47	19.38	21.40	21.41
	C. Humedad (%) promedio	13.40		15.43		17.41		19.43		21.40	
DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1.674		1.704		1.717		1.703		1.678		

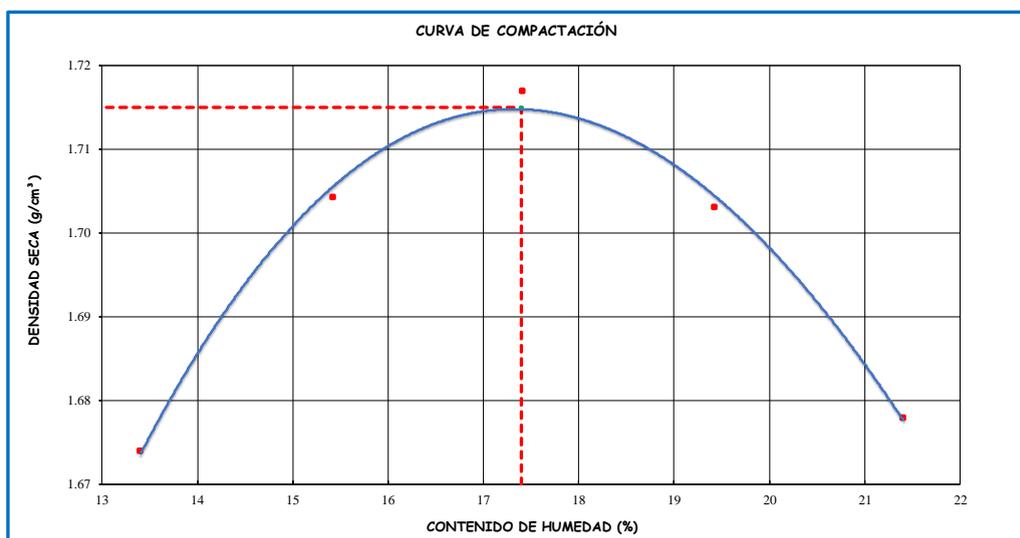


Figura N° 48 - Curva de Compactación - MICROFIBRAS DE 12 Y 19 MM - Dosificación a 1.5%.

DENSIDAD SECA MÁXIMA :	1.715	g/cm ³
CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO :	17.40	%

Tabla N° 49 - CBR DEL SUELO CON MICROFIBRAS DE 12 Y 19 mm, DOSIFICACION 1.5%						
COMPACTACION C B R						
N°Golpes por Capa	13		27		56	
Altura Molde (mm)	117		118		116	
N° Capas	5		5		5	
Condición de Muestra	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS
Peso del Molde +Muestra húmeda	9117.0	9156.0	9116.0	9153.0	9375.0	9415.0
Peso Molde (g)	5106.0	5106.0	4959.0	4959.0	5083.0	5083.0
Peso de Muestra Húmeda (g)	4011.0	4050.0	4157.0	4194.0	4292.0	4332.0
Volumen del Molde (cm3)	2116.44	2116.44	2112.26	2112.26	2107.82	2107.82
Densidad Húmeda (g/cm3)	1.895	1.914	1.968	1.986	2.036	2.055
CONTENIDO DE HUMEDAD						
TARA N°	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
Peso de la Muestra Húmeda + Tara	711.50	644.90	697.80	729.80	668.30	588.70
Peso Seco + Tara	620.20	561.50	609.20	630.50	581.80	509.50
Peso Agua (g)	91.30	83.40	88.60	99.30	86.50	79.20
Peso Tara (g)	96.40	108.60	100.20	90.60	85.70	78.60
P. Muestra Seca	523.80	452.90	509.00	539.90	496.10	430.90
C.Humedad Promedio	17.43%	18.41%	17.41%	18.39%	17.44%	18.38%
DENSIDAD SECA (g/cm3)	1.614	1.616	1.676	1.677	1.734	1.736

EXPANSIÓN DEL SUELO										
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 13 GOLPES			PRESIÓN 27 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
(Hs)	(Días)	LECTURA	EXPANSIÓN		LECTURA	EXPANSIÓN		LECTURA	EXPANSIÓN	
		DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000
24	1	81	0.810	0.694	75	0.750	0.636	69	0.690	0.594
48	2	105	1.050	0.900	99	0.990	0.839	87	0.870	0.749
72	3	119	1.190	1.020	110	1.100	0.933	103	1.030	0.887
96	4	124	1.240	1.063	112	1.120	0.950	105	1.050	0.904

CARGA - PENETRACIÓN											
DIÁMETRO DEL PISTÓN:		5 Cm					ÁREA DEL PISTÓN:				19.635 Cm2
PENETRACIÓN		PRESIÓN 13 GOLPES			PRESIÓN 27 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES			
(mm)	(pulg)	CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		
			(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)	
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	
0.64	0.025	19.7	1.00	14.34	30.7	1.56	22.35	39.8	2.03	28.98	
1.27	0.050	38.7	1.97	28.14	57.1	2.91	41.55	73.6	3.75	53.57	
1.91	0.075	58.8	2.99	42.78	88.5	4.51	64.37	104.3	5.31	75.85	
2.54	0.100	79.9	4.07	58.12	113.8	5.80	82.79	145.4	7.40	105.76	
3.18	0.125	100.7	5.13	73.23	140.4	7.15	102.14	182.3	9.29	132.66	
3.81	0.150	119.9	6.11	87.26	166.3	8.47	121.02	215.8	10.99	157.02	
4.45	0.175	140.5	7.15	102.21	194.1	9.89	141.22	245.0	12.48	178.22	
5.08	0.200	158.1	8.05	115.01	219.7	11.19	159.87	279.9	14.26	203.66	
7.62	0.300	214.6	10.93	156.17	292.6	14.90	212.91	378.4	19.27	275.34	
10.16	0.400	246.6	12.56	179.39	332.9	16.95	242.20	429.0	21.85	312.12	
12.70	0.500	268.4	13.67	195.25	357.6	18.21	260.14	458.3	23.34	333.43	

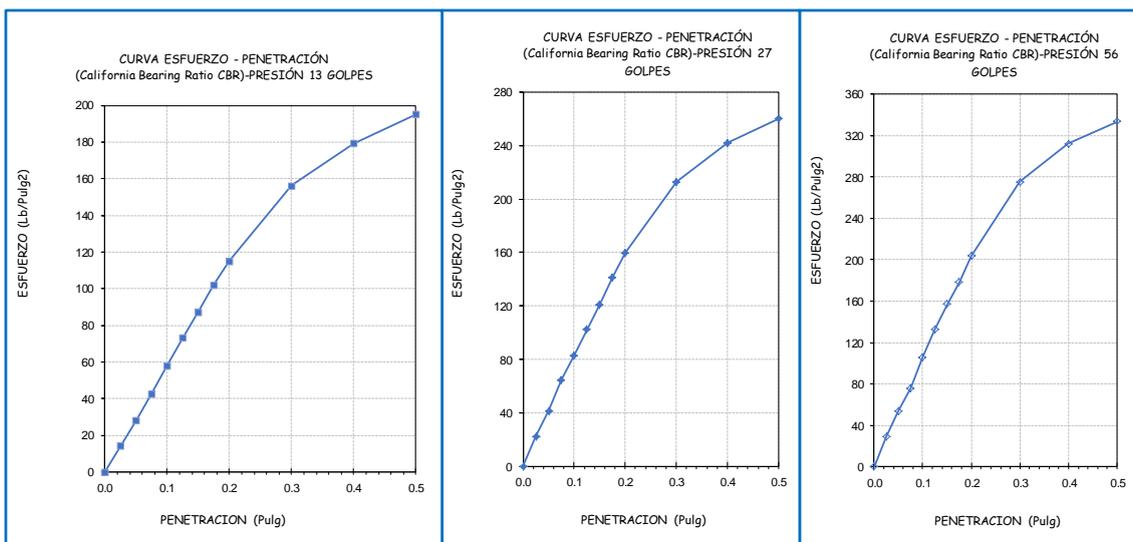


Figura N° 49 - Curva Esfuerzo - Penetración - MICROFIBRAS DE 12 Y 19 MM - Dosificación a 1.5%.

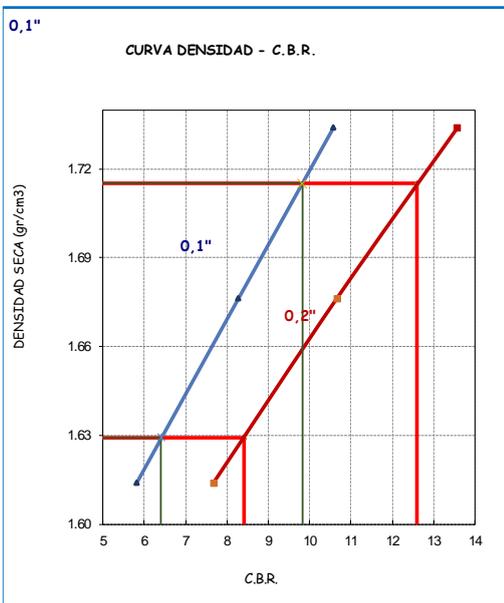


Figura N° 50 - Curva de Densidad C.B.R. - SUELO - MICROFIBRAS DE 12 Y 19 MM - Dosificación a 1.5%.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm3) :	1.715
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	17.40

Tabla N° 50 - VALORES CBR PARA 0.1" Y 0.2" DE PENETRACIÓN

(*) Valores Corregidos para una Penetración de 0.1"

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA (Lb/pulg2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R.(%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 13 GOLPES	58.12	1000	5.81	1.614
PRESION 27 GOLPES	82.79	1000	8.28	1.676
PRESION 56 GOLPES	105.76	1000	10.58	1.734

(*) Valores Corregidos para una Penetración de 0.2"

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA (Lb/pulg2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R.(%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 13 GOLPES	115.01	1500	7.67	1.614
PRESION 27 GOLPES	159.87	1500	10.66	1.676
PRESION 56 GOLPES	203.66	1500	13.58	1.734

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.

C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	8.42%
C.B.R. PARA EL 100 % DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	12.60%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	6.40%
C.B.R. PARA EL 100 % DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	9.82%

Tabla N° 51 - Proctor Modificado - DEL SUELO CON MICROFIBRAS DE 12 Y 19 MM - Dosificación a 2 %.

MÉTODO DE ENSAYO :		"A"		CONDICIÓN DE SECADO: HORNO 110 °C			DIÁMETRO DE MOLDE : 10.16 cm.				
DENSIDAD	NÚMERO DE ENSAYO	1		2		3		4		5	
	N° de Capas	5		5		5		5		5	
	N° de Golpes por Capa	25		25		25		25		25	
	Peso Húmedo+ Molde (g)	3574.00		3656.00		3708.00		3719.00		3702.00	
	Peso Molde (g)	1803.00		1803.00		1803.00		1803.00		1803.00	
	Peso Húmedo (g)	1771.00		1853.00		1905.00		1916.00		1899.00	
	Volumen del Molde (cm ³)	944.00		944.00		944.00		944.00		944.00	
	Densidad Húmeda (g/cm ³)	1.876		1.963		2.018		2.030		2.012	
HUMEDAD	Ensayo	1		2		3		4		5	
	Peso Húmedo + Tara (g)	572.80	534.70	623.20	591.60	482.50	479.10	510.80	523.60	459.70	501.40
	Peso Seco + Tara (g)	514.90	480.80	547.50	520.90	421.60	418.10	437.20	448.70	389.60	422.40
	Peso Agua (g)	57.90	53.90	75.70	70.70	60.90	61.00	73.60	74.90	70.10	79.00
	Peso Tara (g)	76.40	72.80	51.20	55.60	67.40	63.90	54.20	57.70	58.10	50.80
	Peso Muestra Seca (g)	438.50	408.00	496.30	465.30	354.20	354.20	383.00	391.00	331.50	371.60
	Contenido de Humedad (%)	13.20	13.21	15.25	15.19	17.19	17.22	19.22	19.16	21.15	21.26
	C. Humedad (%) promedio	13.21		15.22		17.21		19.19		21.20	
DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1.657		1.704		1.722		1.703		1.660		

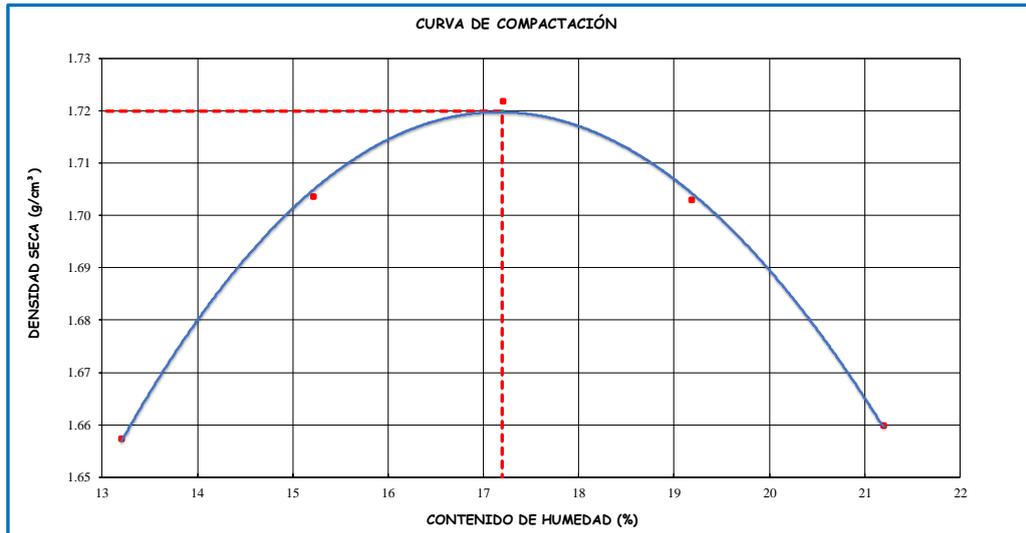


Figura N° 51 - Curva de Compactación - MICROFIBRAS DE 12 Y 19 MM - Dosificación a 2%.

DENSIDAD SECA MÁXIMA :	1.720	g/cm ³
CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO :	17.20	%

Tabla N° 52 - CBR DEL SUELO CON MICROFIBRAS DE 12 Y 19 mm, DOSIFICACIÓN 2%						
COMPACTACIÓN C B R						
NºGolpes por Capa	13		27		56	
Altura Molde (mm)	117		118		116	
Nº Capas	5		5		5	
Condición de Muestra	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS
Peso del Molde +Muestra húmeda	9121.0	9161.0	9107.0	9146.0	9358.0	9401.0
Peso Molde (g)	5106.0	5106.0	4959.0	4959.0	5083.0	5083.0
Peso de Muestra Húmeda (g)	4015.0	4055.0	4148.0	4187.0	4275.0	4318.0
Volumen del Molde (cm3)	2116.44	2116.44	2112.26	2112.26	2107.82	2107.82
Densidad Húmeda (g/cm3)	1.897	1.916	1.964	1.982	2.028	2.049
CONTENIDO DE HUMEDAD						
TARA N°	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
Peso de la Muestra Húmeda + Tara	682.50	629.70	599.20	649.90	700.60	663.10
Peso Seco + Tara	593.20	547.70	524.80	566.00	610.70	573.80
Peso Agua (g)	89.30	82.00	74.40	83.90	89.90	89.30
Peso Tara (g)	74.60	97.80	93.50	105.40	87.50	83.10
P. Muestra Seca	518.60	449.90	431.30	460.60	523.20	490.70
C.Humedad Promedio	17.22%	18.23%	17.25%	18.22%	17.18%	18.20%
DENSIDAD SECA (g/cm3)	1.618	1.621	1.675	1.677	1.731	1.733

EXPANSIÓN DEL SUELO										
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 13 GOLPES			PRESIÓN 27 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
		LECTURA	EXPANSIÓN		LECTURA	EXPANSIÓN		LECTURA	EXPANSIÓN	
(Hs)	(Días)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000
24	1	80	0.800	0.686	72	0.721	0.611	63	0.630	0.542
48	2	103	1.030	0.883	91	0.910	0.772	87	0.870	0.749
72	3	109	1.090	0.935	102	1.020	0.865	85	0.850	0.732
96	4	123	1.230	1.055	112	1.120	0.950	104	1.040	0.895

CARGA - PENETRACIÓN										
DIÁMETRO DEL PISTÓN:					ÁREA DEL PISTÓN:					
5 Cm					19.635 Cm2					
PENETRACIÓN		PRESIÓN 13 GOLPES			PRESIÓN 27 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO	
(mm)	(pulg)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Kg/Cm2)
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
0.64	0.025	19.9	1.01	14.45	31.2	1.59	22.73	39.8	2.03	28.98
1.27	0.050	38.8	1.98	28.22	56.4	2.87	41.02	80.2	4.08	58.33
1.91	0.075	59.5	3.03	43.27	88.4	4.50	64.35	114.0	5.81	82.94
2.54	0.100	80.6	4.10	58.63	115.0	5.86	83.69	147.1	7.49	107.02
3.18	0.125	101.9	5.19	74.13	141.9	7.23	103.26	182.7	9.30	132.91
3.81	0.150	119.6	6.09	87.00	166.7	8.49	121.32	217.2	11.06	158.04
4.45	0.175	141.2	7.19	102.73	195.2	9.94	142.02	250.5	12.76	182.28
5.08	0.200	159.3	8.11	115.90	220.9	11.25	160.76	285.0	14.51	207.34
7.62	0.300	219.8	11.19	159.93	294.3	14.99	214.11	381.9	19.45	277.84
10.16	0.400	256.0	13.04	186.27	334.4	17.03	243.32	428.3	21.81	311.60
12.70	0.500	280.9	14.31	204.37	360.2	18.35	262.09	446.6	22.75	324.96

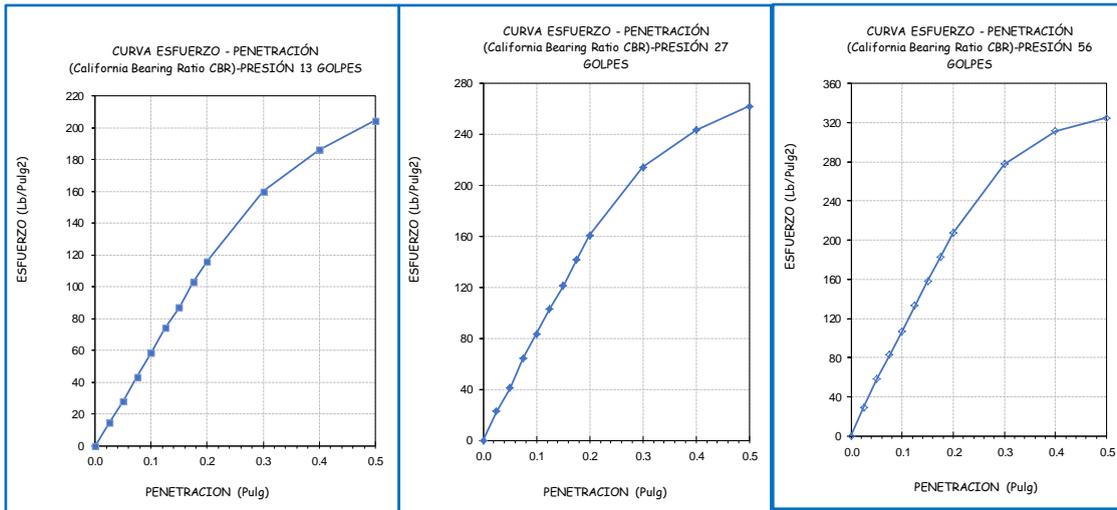


Figura N° 52 Curva Esfuerzo - Penetración - MICROFIBRAS DE 12 Y 19 MM - Dosificación a 2%.

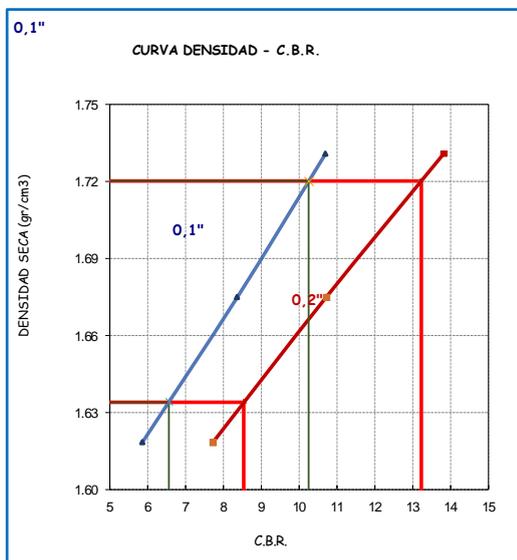


Figura N° 53 -Curva de Densidad C.B.R. - SUELO - MICROFIBRAS DE 12 Y 19 MM - Dosificación a 2%.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm3) :	1.720
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	17.20

Tabla N° 53 - VALORES CBR PARA 0.1" Y 0.2" DE PENETRACIÓN

(*) Valores Corregidos para una Penetración de 0.1"

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA (Lb/pulg2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R.(%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 13 GOLPES	58.63	1000	5.86	1.618
PRESION 27 GOLPES	83.69	1000	8.37	1.675
PRESION 56 GOLPES	107.02	1000	10.70	1.731

(*) Valores Corregidos para una Penetración de 0.2"

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA (Lb/pulg2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R.(%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 13 GOLPES	115.90	1500	7.73	1.618
PRESION 27 GOLPES	160.76	1500	10.72	1.675
PRESION 56 GOLPES	207.34	1500	13.82	1.731

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.

C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	8.55%
C.B.R. PARA EL 100 % DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	13.23%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	6.57%
C.B.R. PARA EL 100 % DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	10.26%

APÉNDICE 2.

Panel Fotográfico



Fotografía N° 01- Calicata de muestra de suelo



Fotografía N° 02- Peso de muestra para granulometría



Fotografía N° 03-
Muestra de Suelo
en estado



Fotografía N° 04- Muestra de Suelo sin
adición de microfibras Natural



Fotografía N° 05 – Suelo reforzado
compactado



Fotografía N° 06 – Compactando Suelo
(Laboratorio MPC)

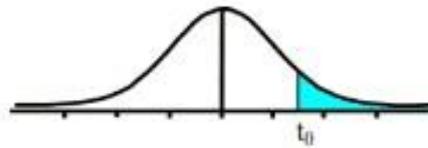


Fotografía N° 07 – Suelo sometido a ensayo de Hinchamiento



Fotografía N° 08 – Suelo sometido a ensayo esfuerzo penetración

APÉNDICE N° 3. Tabla T-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41	0.6805	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951
44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45	0.6800	1.3007	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896
46	0.6799	1.3002	1.6787	2.0129	2.4102	2.6870
47	0.6797	1.2998	1.6779	2.0117	2.4083	2.6846
48	0.6796	1.2994	1.6772	2.0106	2.4066	2.6822
49	0.6795	1.2991	1.6766	2.0096	2.4049	2.6800

50	0.6794	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778
51	0.6793	1.2984	1.6753	2.0076	2.4017	2.6757
52	0.6792	1.2980	1.6747	2.0066	2.4002	2.6737
53	0.6791	1.2977	1.6741	2.0057	2.3988	2.6718
54	0.6791	1.2974	1.6736	2.0049	2.3974	2.6700
55	0.6790	1.2971	1.6730	2.0040	2.3961	2.6682
56	0.6789	1.2969	1.6725	2.0032	2.3948	2.6665
57	0.6788	1.2966	1.6720	2.0025	2.3936	2.6649
58	0.6787	1.2963	1.6716	2.0017	2.3924	2.6633
59	0.6787	1.2961	1.6711	2.0010	2.3912	2.6618
60	0.6786	1.2958	1.6706	2.0003	2.3901	2.6603
61	0.6785	1.2956	1.6702	1.9996	2.3890	2.6589
62	0.6785	1.2954	1.6698	1.9990	2.3880	2.6575
63	0.6784	1.2951	1.6694	1.9983	2.3870	2.6561
64	0.6783	1.2949	1.6690	1.9977	2.3860	2.6549
65	0.6783	1.2947	1.6686	1.9971	2.3851	2.6536
66	0.6782	1.2945	1.6683	1.9966	2.3842	2.6524
67	0.6782	1.2943	1.6679	1.9960	2.3833	2.6512
68	0.6781	1.2941	1.6676	1.9955	2.3824	2.6501
69	0.6781	1.2939	1.6672	1.9949	2.3816	2.6490
70	0.6780	1.2938	1.6669	1.9944	2.3808	2.6479
71	0.6780	1.2936	1.6666	1.9939	2.3800	2.6469
72	0.6779	1.2934	1.6663	1.9935	2.3793	2.6458
73	0.6779	1.2933	1.6660	1.9930	2.3785	2.6449
74	0.6778	1.2931	1.6657	1.9925	2.3778	2.6439
75	0.6778	1.2929	1.6654	1.9921	2.3771	2.6430
76	0.6777	1.2928	1.6652	1.9917	2.3764	2.6421
77	0.6777	1.2926	1.6649	1.9913	2.3758	2.6412
78	0.6776	1.2925	1.6646	1.9908	2.3751	2.6403
79	0.6776	1.2924	1.6644	1.9905	2.3745	2.6395
80	0.6776	1.2922	1.6641	1.9901	2.3739	2.6387
81	0.6775	1.2921	1.6639	1.9897	2.3733	2.6379
82	0.6775	1.2920	1.6636	1.9893	2.3727	2.6371
83	0.6775	1.2918	1.6634	1.9890	2.3721	2.6364
84	0.6774	1.2917	1.6632	1.9886	2.3716	2.6356
85	0.6774	1.2916	1.6630	1.9883	2.3710	2.6349
86	0.6774	1.2915	1.6628	1.9879	2.3705	2.6342
87	0.6773	1.2914	1.6626	1.9876	2.3700	2.6335
88	0.6773	1.2912	1.6624	1.9873	2.3695	2.6329
89	0.6773	1.2911	1.6622	1.9870	2.3690	2.6322
90	0.6772	1.2910	1.6620	1.9867	2.3685	2.6316
91	0.6772	1.2909	1.6618	1.9864	2.3680	2.6309
92	0.6772	1.2908	1.6616	1.9861	2.3676	2.6303
93	0.6771	1.2907	1.6614	1.9858	2.3671	2.6297
94	0.6771	1.2906	1.6612	1.9855	2.3667	2.6291
95	0.6771	1.2905	1.6611	1.9852	2.3662	2.6286
96	0.6771	1.2904	1.6609	1.9850	2.3658	2.6280
97	0.6770	1.2903	1.6607	1.9847	2.3654	2.6275
98	0.6770	1.2903	1.6606	1.9845	2.3650	2.6269
99	0.6770	1.2902	1.6604	1.9842	2.3646	2.6264
100	0.6770	1.2901	1.6602	1.9840	2.3642	2.6259
∞	0.6745	1.2816	1.6449	1.9600	2.3263	2.5758

APÉNDICE N° 4. Ábaco para el cálculo del índice de grupo

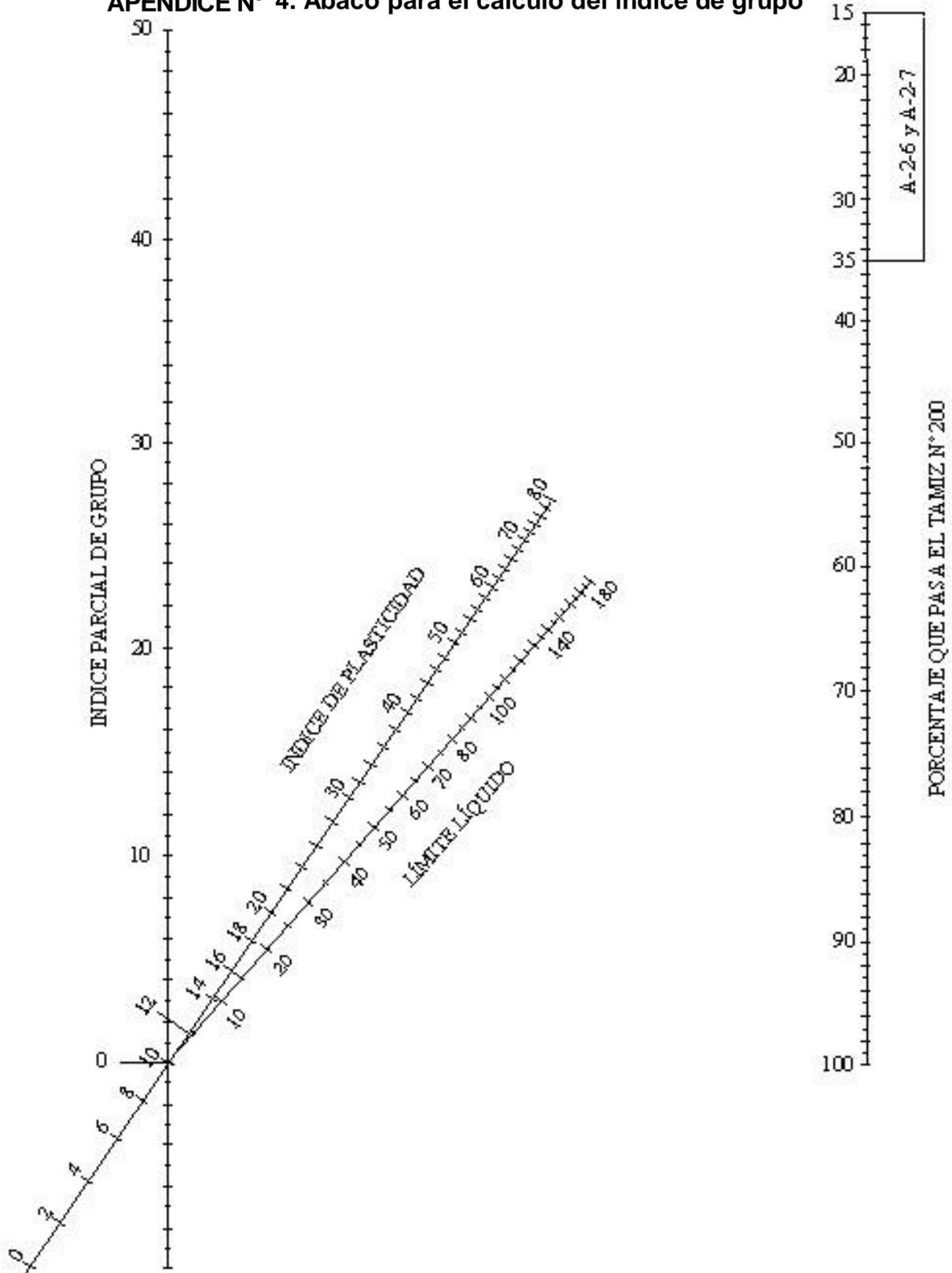


Figura N° 54 - Ábaco para el cálculo del índice de grupo (Norma ASTM, 2003).

APÉNDICE N° 5. Especificaciones Técnicas de Microfibras Empleadas Microfibras de 12 mm

SikaFiber® M-12



Fibras de polipropileno monofilamento para el refuerzo de hormigones y morteros

Construcción

Descripción del Producto	Es una fibra monofilamento de polipropileno diseñada para ser mezclada con hormigones y morteros con el fin de aumentar su durabilidad y evitar la fisuración.
Usos	<p>Se utilizan añadiéndose al hormigón o mortero, para mejorar las características siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Resistencia a la fisuración. ■ Resistencia al impacto. ■ Resistencia a flexotracción. ■ Resistencia a la abrasión. <p>Su uso está especialmente indicado en:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Losas de hormigón (soleras, forjados). ■ Pavimentos de hormigón. ■ Hormigón y Mortero de revestimiento en túneles, cavernas, estructuras enterradas como protección pasiva frente al fuego ■ Morteros.
Características/Ventajas	<p>La adición en la masa de hormigón o mortero de estas fibras aporta las ventajas siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Perfecta dispersión en la masa del hormigón o mortero. ■ Asegura la distribución homogénea y uniforme de las tensiones en la masa de hormigón o mortero, evitando la formación de fisuras y los consiguientes puntos débiles. ■ Debido a su coeficiente de esbeltez y a su composición, es perfecta para reducir el fenómeno de spalling provocado en los hormigones/morteros sometidos a muy altas temperaturas. ■ La red de canales generados dentro del hormigón una vez desaparecido el material, permiten un escape perfecto del vapor de agua generado en el interior del hormigón o mortero ■ Reduce la fisuración por retracción. ■ Aumenta la impermeabilidad. ■ Reduce el riesgo de disgregación de la masa. ■ Mejora la resistencia a compresión y a tracción. ■ Aumenta la resistencia al impacto, reduciendo la fragilidad.
Ensayo	
Certificados/Normas	Cumple con la norma UNE 14889-2: Fibras poliméricas para hormigón. Clase 1-a: "Microfibra Monofilamentosa"



Datos del Producto

Form

Presentación Bolsas de 600 g. Autodestruibles en la masa de hormigón o mortero. Caja de 20 bolsas

Almacenamiento

Condiciones de almacenamiento/Conservación En lugar seco y fresco. Conservación ilimitada

Datos

Composición química Fibras de polipropileno

Densidad (20°C) Aprox. 0,91 kg/l

Absorción de agua Nula

Alargamiento a rotura 80-140%

Resistencia a compresión (Mpa)	Hormigón testigo Hormigón con SikaFiber® M-12	7 días	28 días
		21,4	26,7
		25,4	28,9

Resistencia a tracción Indirecta (Mpa)	Hormigón testigo Hormigón con SikaFiber® M-12	7 días	28 días
		2,13	2,76
		2,63	2,9

Resistencia a flexión (Mpa)	Hormigón testigo Hormigón con SikaFiber® M-12	7 días	28 días
		2,74	3,5
		3,01	3,79

Resistencia al impacto (N de golpes)	Hormigón testigo Hormigón con SikaFiber® M-12	7 días	28 días
		28	39
		31	42

Resistencia química Resistente a los rayos ultravioletas. Inerte a los álcalis del cemento, ácidos en general, agua de mar, residuos alimentarios y ganaderos, aceites vegetales. Imputrescible, resistente a hongos y bacterias.

Longitud 12 mm

Tenacidad ~ 280-310 N/mm² / 30-34 cn/tex

Punto de fusión ~ 163 - 170°C

Diámetro de fibras ~ 31 µm

Número de fibras ~ 102 millones/kg

Información del Sistema

Detalles de

Consumo/Dosificación Para mejorar la fisuración por retracción:
Una bolsa de 600 gramos por cada metro cúbico de hormigón o mortero.
Como protección pasiva frente al fuego:
- Entre 0,5 a 3 kg por cada metro cúbico de hormigón o mortero. (Se recomienda la realización de ensayos previos para la determinación de la dosificación adecuada).
Nota: la dosificación más genérica dada en proyectos suele ser 2kg/m³

Instrucciones	<p>Se agrega, en planta o a pie de obra, añadiendo la bolsa cerrada directamente a la hormigonera en cualquier momento del mezclado o al final del mismo, pero nunca directamente sobre el agua antes de agregar el resto de los componentes. Una vez añadido el SikaFiber® M-12 basta con prolongar el amasado durante al menos 5 minutos. Pasado este tiempo, la bolsa se deshace al entrar en contacto con el medio alcalino del hormigón.</p> <p>Se emplea preferentemente en morteros, microhormigones y hormigones con tamaño máximo de áridos de 20 y resistencias mínimas de 17,5 MPa.</p>
Notas de aplicación /Limitaciones	<p>No reduce la trabajabilidad del hormigón, aunque por observación visual puede parecerlo.</p> <p>No sustituye a las armaduras principales y secundarias resultantes del cálculo.</p> <p>No evita las grietas derivadas de un mal dimensionamiento.</p> <p>No sustituye las labores convencionales de curado de las masas de hormigón o mortero.</p> <p>No elimina la retracción por secado.</p> <p>Es compatible con cualquier otro aditivo de SIKA®.</p> <p>Para cualquier aclaración rogamos consulten con nuestro Departamento Técnico.</p>
Nota	<p>Todos los datos técnicos indicados en esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.</p>
Instrucciones de Seguridad e Higiene	<p>Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad.</p>
Notas Legales	<p>Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil, de acuerdo a las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. El usuario de los productos debe realizar las pruebas para comprobar su idoneidad de acuerdo al uso que se le quiere dar. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben de conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos local, copia de las cuales se mandarán a quién las solicite, o también se puede conseguir en la página «www.sika.es».</p>



OFICINAS CENTRALES
Y FABRICA

Madrid 28108 - Alcobendas
P. I. Alcobendas
Carretera de Fuencarral, 72
Tels.: 916 57 23 75
Fax: 916 62 19 38

OFICINAS CENTRALES
Y CENTRO LOGÍSTICO

Madrid 28108 - Alcobendas
P. I. Alcobendas
C/ Aragoneses, 17
Tels.: 916 57 23 75
Fax: 916 62 19 38





Calidad que Construye

CHEMA FIBRA ULTRAFINA

Fibra de polipropileno para refuerzo tridimensional en morteros y concretos, reductor de rajaduras

ADI.2.9.1
RMP – V.0

DESCRIPCIÓN Las fibras sintéticas **CHEMA FIBRA ULTRAFINA** corresponden a una nueva generación de micro fibras de polipropileno para refuerzo secundario de concreto. Esta tecnología única combina un diámetro ultra fino y ultra alta resistencia.

Literalmente, cientos de millones de filamentos de las Fibras Sintéticas **CHEMA FIBRA ULTRAFINA** están en un metro cúbico de concreto, creando una red tridimensional extremadamente densa en el concreto. Esta red, constituida por filamentos de alta resistencia a la tensión y alto modulo, inhiben el agrietamiento del concreto a un nivel microscópico.

VENTAJAS

- Excelente acabado.
- Distribución uniforme en la matriz. Virtualmente invisible en el concreto.
- Cuando se mezcla según la norma de ASTM C94, las fibras siempre están en la posición adecuada.
- Reduce la formación de grietas por contracción plástica, agrietamiento plástico y grietas por asentamiento en el concreto (ICCES 32) y migración de agua en exudación. Incrementa la resistencia al impacto (ASTM C944).

USOS

- En losas de concreto.
- En elementos pre fabricados de concreto.
- En tarrajes para evitar fisuramiento superficial.
- En cualquier estructura de concreto o elemento de concreto donde se requiera evitar fisuras superficiales.

DATOS TÉCNICOS	Material	: Polipropileno Virgen
	Diseño	100%
	Diámetro	: Monofilamento
	o Color	: 12 Micrones (+1/-3 Micrones)
	Gravedad Específica	: Natural
	Humedad	: 0.91 gr/cm ³
	Área de Superficie Específica	: < 2%
	Punto de Fusión	: 370 m ² /Kg / 1.790 ft ² /lb
	Módulo de Elasticidad	: 160°C / 320°F
	Tenacidad	: 5.5 GPA / 800 ksi
	Resistencia a la Tensión	: 8.5 cN/dtex/765 MPa/110 KSI
	Punto de Ignición	: 110 ksi (765 MPa)
		: 500°C / 1000°F

Lubricación : ≤
Longitudes de Cortes de Fibras Disponibles : ½" (12 mm) y ¾" (19 mm) y

PREPARACIÓN Y APLICACIÓN DEL PRODUCTO	1. Se agrega una bolsa hidrosoluble de 300 gr directamente al mixer por cada m ³ de concreto o mortero antes, durante o después de que la mezcla de
RENDIMIENTO	Una bolsa de 300 gr por m ³ de concreto, mortero o según recomendación
PRESENTACIÓN	Envase de 300 gr (Código:
ALMACENAMIENTO	De almacenarse en un lugar fresco, ventilado y sellado bajo techo el tiempo de vida útil será de
PRECAUCIONES Y RECOMENDACIONES	En caso de emergencia, llame al CETOX (Centro Toxicológico). Producto tóxico, NO INGERIR, mantenga el producto fuera del alcance de los niños. No comer ni beber mientras manipula el producto. Lavarse las manos luego de manipular el producto. Utilizar guantes, gafas protectoras y ropa de trabajo.

La información que suministramos está basada en ensayos que consideramos seguros y correctos de acuerdo a nuestra experiencia. Los usuarios quedan en libertad de efectuar las pruebas y ensayos previos que estimen conveniente, para determinar si son apropiados para un uso en particular. El uso, aplicación y manejo correcto de los productos, quedan fuera de nuestro control y es de exclusiva responsabilidad del usuario.

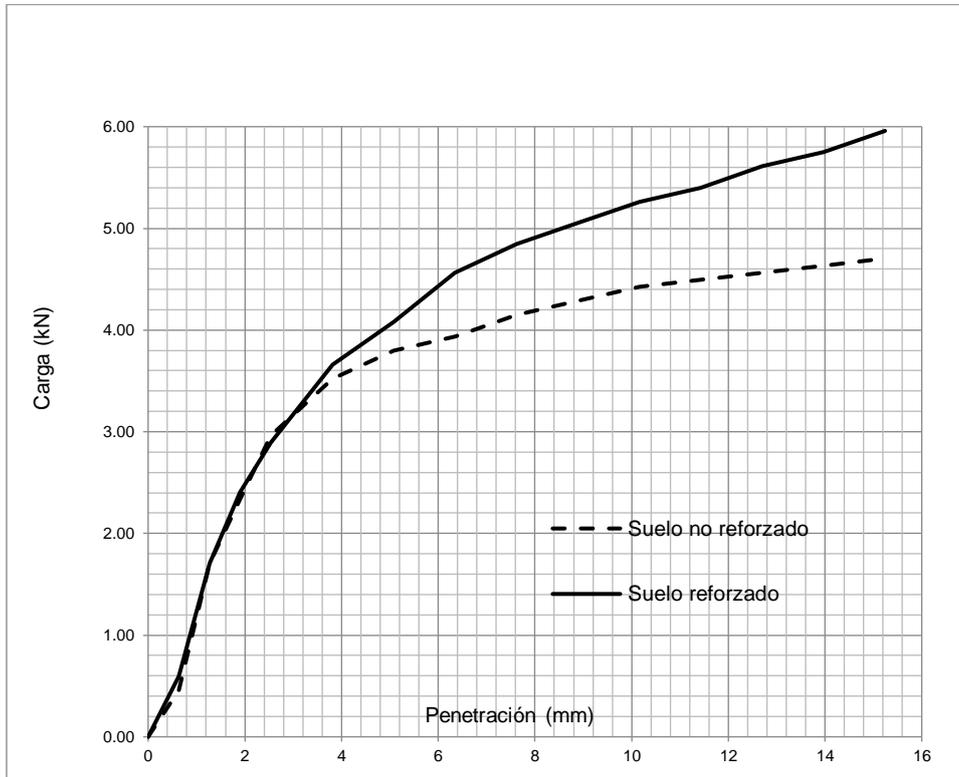


Figura 1. Curvas carga-penetración obtenidas por CBR.
FUENTE: Lara, 2014

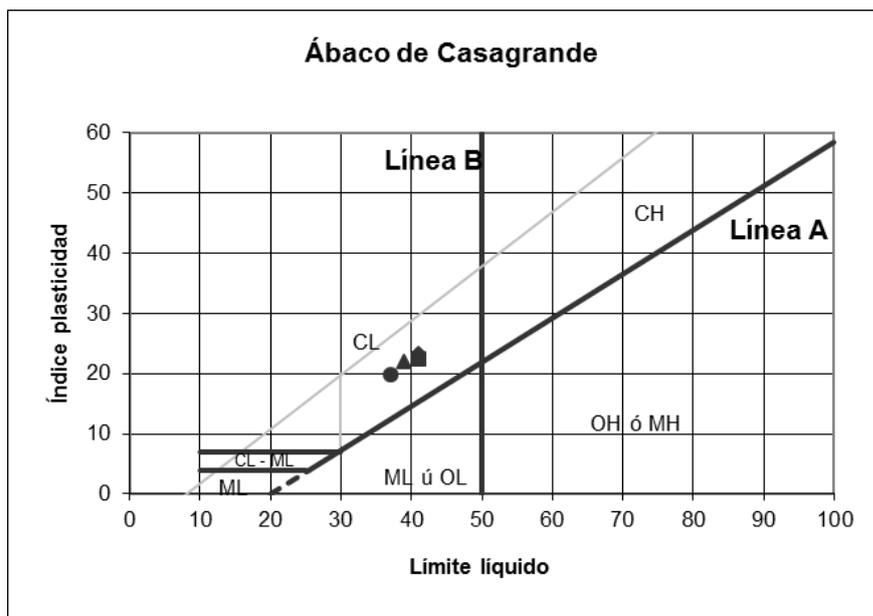


Figura 2. Carta De Plasticidad
FUENTE: ASTM D-2487-93

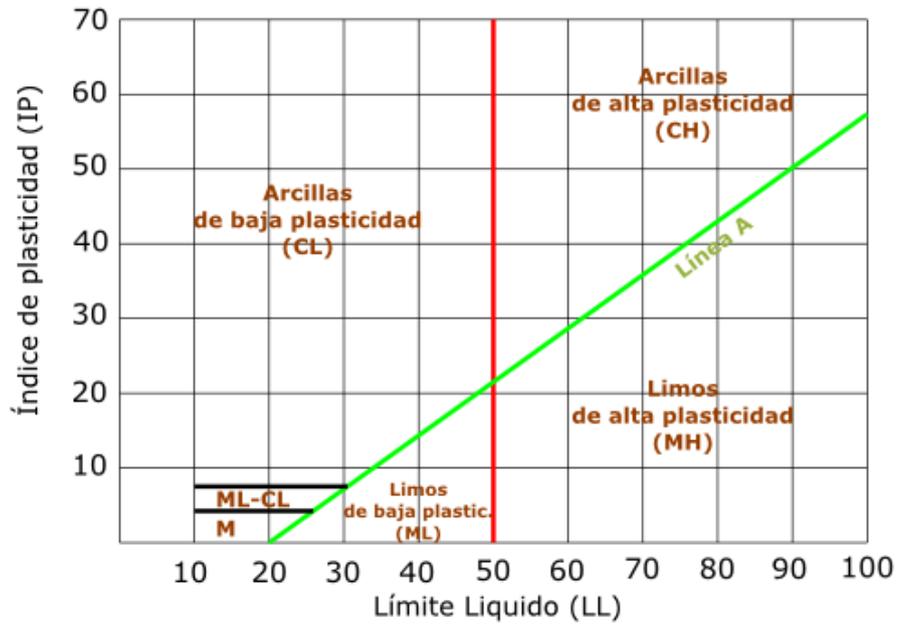


Figura 20. Clasificación de materiales en función de los límites de Atterberg.

Fuente: (Casagrande, 1948).

Tabla 1 Símbolos de suelos granulares.

PREFIJOS		
G:	Grava	El 50% o más es retenido en el Tamiz 4
S:	Arena	Sí más del 50% pasa el T4
SUFIJOS		
W:	bien gradado	
P:	mal gradado Depende del Cu y Cc	
M:	Limoso	
C:	Arcilloso depende de WL y el IP	

FUENTE: Duque Escobar, 2019.

Tabla 2 Símbolos de suelos finos

Prefijos		
M:	Limo	
C:	Arcilla	
O:	Orgánico	
Sufijos		
L:	Baja plasticidad (WL < 50%)	En la carta de plasticidad.
H:	Alta plasticidad (WL > 50%)	separados por la línea B.

FUENTE: Duque Escobar, 2019.

Tabla 3
Características de suelos – sistema AASHTO

Clasificación	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)							Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)			
	A-1		A-3	A-2-4				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Grupo:	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Porcentaje que pasa:											
N° 10 (2mm)	50 máx.	-	-					-			
N° 40 (0,425mm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.					-			
N° 200 (0,075mm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.				36 min			
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40											
Límite líquido	-	-	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.	NP (1)	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	(2)
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como subgrado	Excelente a bueno							Pobre a malo			

(1): No plástico

El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30

(2):

El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30

FUENTE: Duque Escobar, 2015.

Tabla 4. Valores de Carga Unitaria

PENETRACIÓN		CARGA UNITARIA PATRÓN		
mm	Pulgadas	Mpa	Kg./cm2	Lb/pulg2
2,54	0,1	6,90	70,00	995.63
5,08	0,2	10,30	105,00	1493.45
7,62	0,3	13,10	133,00	1891.7
10,16	0,4	15,80	162,00	2 304.18
12,7	0,5	17,90	183,00	2 602.87

Fuente: Sarmiento, 2019.

Tabla 5. Clasificación de suelos según CBR

Valor CBR	Clasificación General	Usos
0 – 3	Muy Pobre	Subrasante
3-7	Pobre a Regula	Subrasante
7-20	Regular	Sub-base
20-50	Bueno	Base, Sub base
>50	Excelente	Base

Fuente: B M DAS 2015.