

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El polipropileno, también denominado por las siglas EPP, es un termoplástico semicristalino, que se produce polimerizando propileno en presencia de un catalizador estéreo específico. El polipropileno tiene múltiples aplicaciones, por lo que es considerado como uno de los productos termoplásticos de mayor desarrollo en el futuro.

En la actualidad los suelos finos son motivo de estudio por sus características inherentes como su baja capacidad portante, su variación volumétrica, entre otras propiedades geotécnicas que resultan perjudiciales cuando se desea ejecutar un proyecto de Ingeniería Civil. Pues al ser sensibles a la humedad y al recibir cargas sobre la superficie generan asentamientos, es por ello que se busca alternativas de mejoramiento tanto en la propiedad mecánica como en la química de estos suelos. El objetivo de esta investigación es establecer la influencia de la adición del polipropileno en la mejora de las propiedades geotécnicas del suelo fino de la subrasante de la carretera en estudio.

El suelo cumple un papel muy importante en toda la ejecución de la construcción de la ingeniería civil, sin embargo, no todos los suelos presentan las mejores propiedades que facilitan los trabajos de construcción, unos mejores que otros. Por naturaleza y característica propia de cada suelo, unos son más resistentes que otros, algunos sufren deformaciones y otros se desgastan con el pasar del tiempo.

Esta investigación es muy importante, ya que nos permite coadyuvar a una mejor calidad de vida de los habitantes a través del mejoramiento de la subrasante de suelos finos de la vía terrestre de la zona de estudio.

1.2 SITUACIÓN PROBLÉMICA

Uno de los materiales esenciales, en una construcción, es el suelo, pues en el donde se apoyan las diferentes estructuras como puentes, canales, carreteras, entre otras. Al ser el suelo un material determinante al momento de construir, es necesario estudiarlo previamente considerando las necesidades de uso y las características que debe tener para poder ejecutar un proyecto de construcción civil.

Una de las aplicaciones muy frecuentes del uso de los suelos, es en la disposición del paquete estructural de una carretera, como la conformación de subrasante, para el cual la calidad de suelo existente es uno de los factores que no debemos dejar pasar, ya que con el fin de obtener una subrasante con buena capacidad portante que permita resistir y ser duradera frente a las cargas generadas por el tráfico que esta soportará y a las condiciones ambientales a las que estará expuesto. Lo mencionado toma gran relevancia, ya que el paquete estructural de un pavimento está relacionado de manera directa con el comportamiento de la subrasante.

Los suelos finos se caracterizan por ser suelos inestables en presencia de humedad. Esto significa que los suelos arcillosos tienden a desmoronarse debido a la presencia de materiales susceptibles a la presencia de líquidos, especialmente agua.

1.3 PROBLEMA

¿De qué manera la adición del polipropileno influye en el mejoramiento de las propiedades geotécnicas del suelo fino de una subrasante?

1.3.1 Relevancia y factibilidad del problema

Actualmente este método no es muy utilizado en nuestro medio para la estabilización de suelos finos. Es necesario realizar estudios físicos mecánicas de las propiedades de los suelos y así mismo del polipropileno expandido para su aplicación en nuestro país.

La estabilización de suelos con polipropileno expandido tiene una amplia aplicación en distintas tareas de la construcción vial especialmente para caminos de desarrollo.

1.3.2 Delimitación temporal y espacial del problema

La investigación realizada se planifica para un tiempo de 14 semanas que contemplan los meses de julio, agosto, septiembre y parte de octubre, tomando las precauciones del tiempo necesario para realizar las actividades. El cronograma de actividades se contempla a detalle.

Los ensayos que requieren dicha investigación serán realizados en los laboratorios de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, tomando en cuenta que tipo de equipos será necesario para la caracterización del suelo en desarrollo del proyecto.

1.4 Justificación

Los suelos finos se catalogan como uno de los materiales más inestables al momento de realizar obras de construcción civil, debido a los problemas que pueden generar. Estos suelos pueden provocar asentamientos en las edificaciones como puentes, viviendas o carreteras en lo referente a seguridad de las pendientes y subrasantes, ya que poseen baja resistencia al corte, una alta plasticidad por ende deformaciones, afectando así las estructuras de las obras y vida útil de las mismas. Por ello se realiza investigaciones para mejorar los suelos finos.

La subrasante forma parte de la estructura vial que padece la composición pavimentada y se expande sobre una altitud determinada para que no impacte la carga de diseño del tránsito predicho. Es por ello que al ser la subrasante parte fundamental del paquete estructural es importante que cumpla con las condiciones de resistencia solicitadas para poder soportar las cargas a las que estará expuesto.

Al presentarse suelos finos en las zonas de ejecución de carreteras, estos representan uno de los principales problemas.

Con la estabilización de suelos se puede incrementar la capacidad de soporte de suelo, mejorar la resistencia al corte, aumentar la resistencia al ablandamiento por acción del agua, proporcionar estabilidad volumétrica ya que se minimiza la permeabilidad del agua, disminuir la plasticidad y aumentar el peso unitario de los suelos tratados.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Analizar el polipropileno expandido como agente estabilizante, en subrasante con suelo fino, a través de pruebas de laboratorio.

1.5.2 Objetivos específicos

- Identificar la subrasante con suelo fino para realizar el muestreo respectivo.
- Clasificar los suelos según las normas AASHTO y SUCS.
- Determinar la capacidad soporte y expansión de la subrasante en estado natural a través de ensayos CBR.
- Realizar ensayos CBR al suelo fino, adicionando diferentes porcentajes de polipropileno expandido.

- Analizar el comportamiento del polipropileno expandido en la estabilización de los suelos finos.
- Realizar conclusiones y recomendaciones según resultados.

1.6 Hipótesis

La adición del polipropileno mejorará significativamente las propiedades geotécnicas del suelo fino aplicado en la subrasante de la carretera en estudio

1.7 Operacionalización de las variables

1.7.1 Variable independiente

- Porcentaje óptimo del Polipropileno.

1.7.2 Variable dependiente

- Propiedades físicas y mecánicas del suelo fino.

1.8 IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN

La metodología que se describe a continuación, se empleó en forma independiente, pero representa, una solución técnica, para constituir una estructura vial, dependiendo de los requerimientos, las características y objetivos de cada obra y del nivel al que se quiere llegar en las condiciones de la estructura vial.

1.9 Unidades de estudio y decisión muestral

1.9.1 Unidad de estudio

Los suelos finos de una subrasante.

1.9.2 Población

La población de esta investigación son los suelos finos de una subrasante de la carretera.

1.9.3 Muestra

Se trabajó con 3 muestras de subrasantes previamente seleccionadas.

1.9.4 Muestreo

La muestra de esta investigación es no probabilística, debido a que la selección de las muestras no está sujeta a la probabilidad, sino de los objetivos del investigador.

1.10 Métodos y técnicas empleadas

El método que se va a utilizar en este ensayo es el método empírico y la técnica será experimental, debido a que consiste en medir, observar y experimentar la realidad que se quiere investigar.

La Investigación experimental es un tipo de investigación que usa experimentos y los principios encontrados en el método científico. En el laboratorio se analizarán las muestras de suelos tomadas en situ para determinar algunas propiedades como; granulometría, densidad aparente, Ensayos de Capacidad de Soporte (CBR).

Una vez obtenidos las características del material extraído se propondrá diversos porcentajes de adición de emulsión asfáltica para una estabilización de este. Posteriormente se realizará ensayos los cuales darán resultados de las propiedades modificadas del suelo.

Finalmente se hará un análisis de las ventajas o desventajas obtenidas del suelo modificado en sus propiedades.

1.11 Procesamiento para el análisis y la interpretación de la información

Procedimiento de ensayos de caracterización

- Granulometría.
- Límite Líquido.
- Límite plástico.
- Contenido de humedad.

Procedimientos de ensayos de propiedades geotécnicas

- Proctor modificado.
- Dosificación y mezcla de suelo – polipropileno.
- CBR.
- Compresión no confinada.

1.12 Alcance de la investigación

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad mejorar las propiedades geotécnicas del suelo fino de la subrasante de la segunda circunvalación que se encuentra entre los barrios chapacos 2 y las Flores así también previamente se realiza un muestreo de la zona mismo que será llevado al laboratorio de suelos de la universidad y también a un laboratorio privado (INGEOSUD) donde será sometido a pruebas tanto en estado natural como modificado con polipropileno expandido.

Los ensayos realizados para su clasificación son contenido de humedad natural granulometría, límites líquido, límites plástico y clasificación, peso específico e hidrómetro para los ensayos de verificación de resistencia mecánica se realizaron la compactación y el CBR.

Para realizar un análisis del comportamiento del polipropileno expandido, se realizaron pruebas mecánicas con diferentes longitudes del polipropileno expandido 7cm – 3,5cm – 1,75 cm

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LA ESTABILIZACIÓN

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LA ESTABILIZACIÓN

2.1 CAPA SUBRASANTE

Generalmente es el terreno natural en la cual se apoya toda la estructura del pavimento, es decir que no forma parte de la estructura en sí. Sin embargo, la capacidad soporte de la subrasante es un factor básico que afecta directamente la selección de los espesores totales de las capas del pavimento. Su finalidad es resistir las cargas que el tránsito transmite al pavimento, transmitir y distribuir las cargas al cuerpo del terraplén, evitar que los materiales finos plásticos del cuerpo del terraplén contaminen el pavimento y economizar los espesores de pavimento.

La capa superior de la capa subrasante coincide con la línea subrasante del proyecto geométrico. Es indispensable tomar en cuenta las especificaciones de la pendiente longitudinal. La altura para las obras de drenaje para que el agua capilar no afecte el pavimento.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA SUBRASANTE

Subrasante se denomina al suelo que sirve como fundación para todo el paquete estructural de un pavimento. En la década del 40, el concepto de diseño de pavimentos estaba basado en las propiedades ingenieriles de la subrasante. Estas propiedades eran la clasificación de suelos, plasticidad, resistencia al corte, susceptibilidad a las heladas y drenaje. Desde las postrimerías de la década del 50, se puso más énfasis en las propiedades fundamentales de la subrasante y se idearon ensayos para caracterizar mejor a estos suelos. Ensayos usando cargas estáticas o de baja velocidad de deformación tales como el CBR, compresión simple son reemplazados por ensayos dinámicos y de repetición de cargas tales como el ensayo del módulo resiliente, que representan mucho mejor lo que sucede bajo un pavimento en lo concerniente a tensiones y deformaciones. Las propiedades de los suelos pueden dividirse en dos categorías:

2.2.1 Propiedades físicas

Son usadas para selección de materiales, especificaciones constructivas y control de calidad.

2.2.2 Propiedades ingenieriles

Dan una estimación de la calidad de los materiales para caminos. La calidad de los suelos para subrasantes se puede relacionar con el módulo resiliente, el módulo de Poisson, el valor soporte del suelo y el módulo de reacción de la subrasante.

2.3 SUELO

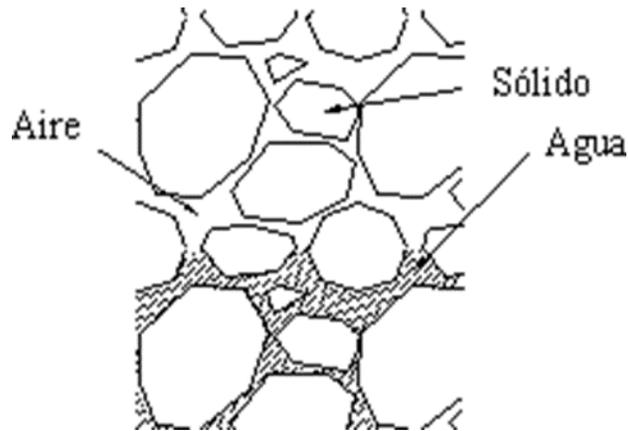
En el sentido general desde la ingeniería, suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas. El suelo se usa como material de construcción en diversos proyectos de ingeniería civil y sirve para soportar las cimentaciones estructurales. Por esto, los ingenieros civiles deben estudiar las propiedades del suelo, tales como origen, distribución granulométrica, capacidad para drenar agua, compresibilidad, resistencia cortante, capacidad de carga, y otras más.

El suelo es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas, presentan características diferentes si la alteración es física o química. Y así, cuando el efecto alterativo de las rocas.

2.3.1 Composición de los suelos

Un suelo está compuesto por tres partes que son: sólido, líquido y otra gaseosa. La parte sólida está formada en su mayoría por partículas minerales de suelo; la parte líquida está constituida por el agua, aunque en los suelos pueden existir otros líquidos de menos importancia; la parte gaseosa la compone principalmente el aire.

Figura 2.1 Composición del suelo



Fuente: Eddy Harbas, 2010

2.3.2 Tipos de suelos

Un sistema de clasificación de suelos proporciona un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada; consiste en categorizar y agrupar a los suelos junto con otros que posean características semejantes en cuanto a propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas similares. Según el tamaño de las partículas, podemos distinguir los siguientes tipos de suelos: Gravas, Arenas, Limos, Arcilla. (Zapata, 2018)

Se presenta a continuación un cuadro comparativo que contempla la clasificación de los suelos según el tamaño de sus partículas componentes, de acuerdo a la Norma IRAM 10535, el MIT (Massachusetts Institute of Technology), y los sistemas de clasificación ASTM D3282-93/97 ó VN - E4 - 84 (H.R.B.) y SUCS (Sistema Universal de Clasificación de Suelos). (Zapata, 2018)

Tabla 2.1 Clasificación de suelos según tamaños de sus partículas (medidas en mm).

	NORMA IRAM 10535	MIT	SUCS	ASTM D3282- 93/97
Gravas	5 a 75	> 2	4,75 a 75	2 a 75
Arenas	0,075 a 5	0,06 a 2	0,075 a 4,75	0,075 a 2
Limos	< 0,075	0,002 a 0,060	< 0,075	< 0,075
Arcillas		< 0,002		

Fuente: Caracterización de suelos arcillosos y limosos, Rodrigo Zapata

Estos, a su vez, podrían ser agrupados en dos grandes grupos: suelos gruesos y suelos finos. Algunas de las diferencias más importantes a destacar entre suelos de granos gruesos y suelos de granos finos son las siguientes

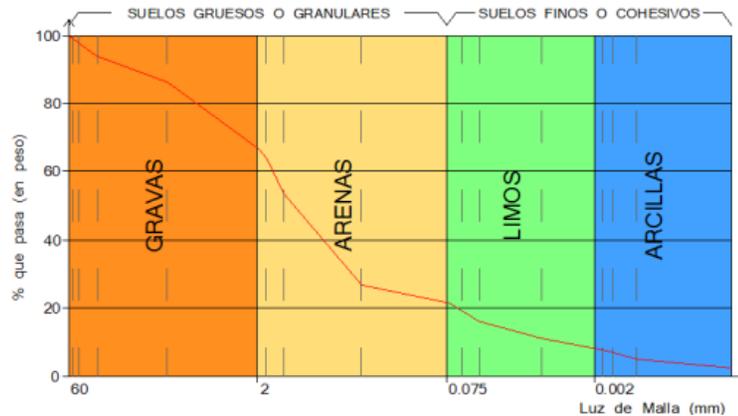
Tabla 2.2 Diferencias entre suelos gruesos y suelos finos.

SUELOS GRUESOS (>1mm)	SUELOS FINOS (<1mm)
Sus partículas componentes son visibles a simple vista	Sus partículas componentes no son visibles a simple vista
La forma de las partículas puede ser angular o redondeada	La forma de las partículas puede ser laminar, angular o redondeada
No poseen minerales arcillosos	Pueden poseer minerales arcillosos
Suelos no cohesivos	Suelos cohesivos
Muy alta permeabilidad: $k > 10^{-2} \text{ cm/seg}$	Permeabilidad: Alta (arenas finas), media a baja (limos), muy baja o nula (arcillas) $k < 10^{-2} \text{ cm/seg}$
El tamaño de los vacíos es mayor, pero el volumen total de vacíos es menor: $e < 0,85$	El tamaño de los vacíos es menor, pero el volumen total de vacíos es mayor: arcilla blanda $e > 1,2$; montmorillonita $e > 5$
Si se aplica una sobrecarga importante, el asentamiento del suelo es instantáneo	Si se aplica una sobrecarga importante, se tienen asentamientos diferidos en el tiempo

Fuente: Caracterización de suelos arcillosos y limosos, Rodrigo Zapata

Si se quiere analizar, la distribución granulométrica de la fracción fina de un suelo (partículas menores a 0,075mm) se debe recurrir al método de análisis por sedimentación (sedimentometría). Mientras que para conocer la distribución de la fracción gruesa se utiliza el tamizado (vía seca) y/o vía húmeda. Una vez realizados ambos procesos, se puede construir curvas con los porcentajes en peso que pasan por cada tamiz. A modo de ejemplo, se muestra en la siguiente Figura una gráfica con la distribución granulométrica para los distintos tipos de suelos que permite diferenciar los distintos tamaños de partículas. (Zapata, 2018)

Figura 2.2 Curva granulométrica de un suelo



Fuente: Caracterización de suelos arcillosos y limosos, Rodrigo Zapata

2.3.3 Suelos limosos

Los limos son sedimentos clásticos transportados en suspensión por los ríos o el viento, o bien resultantes de procesos de glaciación. Son suelos no cohesivos cuyas partículas de forma redondeada, y el diámetro de las mismas varía entre 0,060mm y 0,002mm. Al no tener cohesión, es un terreno problemático para edificar sobre él, por lo que deben adoptarse sistemas especiales de cimentación.

Entonces, teniendo en cuenta las propiedades ya descritas de las arcillas, se puede establecer un cuadro comparativo contemplando las principales diferencias entre los dos tipos de suelo en cuestión.

Tabla 2.3 Diferencias entre limos y arcillas

Limos (entre 0,002 y 0,060 mm.)	Arcillas (<0,002 mm.)
No suelen tener propiedades coloidales	Suelen tener propiedades coloidales
A partir de 0,002 mm y a medida que aumenta el tamaño de las partículas, se va haciendo cada vez mayor la proporción de minerales no arcillosos	Consisten en su mayor parte en minerales arcillosos
Partículas de forma redondeada	Partículas de forma laminar
Tacto áspero	Tacto suave
Mayor permeabilidad: $10^{-5} > k > 10^{-7}$ cm/seg	Menor permeabilidad: $k < 10^{-6}$ cm/seg
Predominan las características de masa	Predominan las características de superficie
Se secan con relativa rapidez y no se pegan a los dedos	Se secan lentamente y se pegan a los dedos
Pueden ser colapsables	No son colapsables
No son expansivos	Pueden ser expansivos

Fuente: Caracterización de suelos arcillosos y limosos, Rodrigo Zapata

Son suelos predominantemente limosos formados por acción eólica, es decir, por la deposición de partículas con tamaños entre los 10 a los 50 micrómetros, (loess primario) que pueden ser retransportados y redepositados por otros medios (loess secundario o loessoides). Generalmente presenta un color amarillento y carece de estratificación. Está formado principalmente por silicatos (cuarzo, feldespato), carbonato de calcio, finísimos detritos orgánicos y minerales del grupo de las arcillas. (Zapata, 2018)

2.3.4 Suelos arcillosos

Se puede entender a los materiales arcillosos como aquéllos que poseen una parte relevante de suelos cohesivos y que como tales condicionan su comportamiento., frente a los restantes materiales existentes en las obras o en el terreno.

Figura 2.3 Suelos arcillosos



Fuente: PRISMAB

2.3.5 Arcillas

La arcilla es un tipo de roca natural sedimentaria que engloba a los minerales filosilicatos, cuyas propiedades dependen de su estructura y tamaño de grano. Está constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratado, procedentes de la descomposición de minerales de aluminio.

Surge de la descomposición de rocas que contienen feldespato, originada en un proceso natural que dura decenas de miles de años. Físicamente se considera un coloide de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. (Das, 2001)

2.3.5.1 Características de las arcillas

- Material de estructura laminar.
- Sumamente higroscópico.
- Su masa se expande con el agua.
- Con la humedad se reblandece y se vuelve plástica.
- Adquiere gran dureza al ser sometida a temperaturas mayores a 600°C.

2.3.5.2 Clasificación de las arcillas

Desde el punto de vista geológico: Se pueden distinguir entre primarias las cuales son de tipo hipogénico y que permanecieron en el mismo lugar de su formación, y las secundarias que fueron acarreadas a lugares diferentes al de su origen.

- Fluviales: Depositadas por ríos y siendo depósitos de baja calidad.
- Lacustres: Asentados en lagos y estando en capas uniformes de buena calidad.
- En deltas: Son arenosas y de composición irregular.
- Glaciales: Formadas por la acción de grandes masas de hielo sobre rocas cristalinas.

2.3.5.3 Clasificación de los minerales arcillosos

- **Mineral de arcilla caolinita:** Se encuentra entremezclada en las arcillas sedimentarias. Es el constituyente más abundante de los depósitos residuales de arcilla. Son estables, inexpandibles y de mediana plasticidad.
- **Mineral de Arcilla Illita:** Es el grupo más abundante en los depósitos arcillosos marinos modernos y en los sedimentarios antiguos. Son medianamente estables, medianamente inexpandibles y de mediana plasticidad.
- **Mineral de Arcilla Montmorillonita:** Son especialmente abundantes en arcillas derivadas de cenizas volcánicas intemperizadas. Son muy inestables, medianamente inexpandibles y de alta plasticidad.

2.3.5.4 Clasificación de las arcillas en base a su estabilidad

- **Arcillas Caolinitas:**

Formadas por una lámina de silicio y una de aluminio. La unión de estas arcillas no permite la penetración de moléculas de agua entre ellas (se les considera estables).

- **Arcillas Iilitas:**

Formadas por una lámina de aluminio entre dos de silicio. Son menos expansivas que las montmorillonitas y su comportamiento es más favorable para el ingeniero civil.

- **Arcillas Montmorillonitas:**

Formadas por una lámina de aluminio entre dos de silicio. Su unión es débil por lo que las moléculas de agua pueden introducirse en la estructura con facilidad, por lo que son inestables en presencia de agua y pueden producir problemas en las construcciones que se cimienten en este tipo de arcillas.

2.3.5.5 Arcillas en la ingeniería civil

En general el estudio de suelos en la ingeniería civil incluye mineralogía y comportamiento bajo condiciones diversas.

La determinación mineralógica es importante porque permite predecir su comportamiento y la forma de controlarlo. La mineralogía permite estimar características de un suelo pero no calcular los valores absolutos representativos de su comportamiento actual. De aquí que se hagan una serie de pruebas características entre las cuales se encuentran:

Tamaño del grano: El orden del tamaño arcilloso varía desde 0,005mm hasta dimensiones coloidales, teniendo muchas partículas arcillosas un diámetro inferior a 0,0002mm.

En el cuadro que se adjunta se destaca la división adoptada para los distintos sistemas de clasificación que actualmente utilizamos los ingenieros en nuestros proyectos.

Tabla 2.4 Definición del tamaño de partículas

Nombre de la Organización	Tamaño de los granos (mm)			
	Grava	arena	limo	arcilla
Massachusetts Institute of Tec.	> 2	2 a 0,06	0,06 a 0,002	<0,002
U.S. Dep. of Agriculture	> 2	2 a 0,05	0,05 a 0,002	<0,002
AASHTO	76,2 a 2	2 a 0,075	0,075 a 0,002	<0,002
Sistema Unificado de Clasif. US Army Corp. Of Engineering US Bureau of Reclamation ASTM	76,2 a 4,75	4,75 a 0,075	<0,075	

2.3.5.6 Incidencia de arcillas en obra viales

La incidencia de las arcillas, radica en que constituyen en alto porcentaje los suelos naturales (subrasantes), con mayor énfasis en los que geológicamente aún se encuentran en formación.

Todas las estructuras viales que el hombre ha diseñado, desde siempre, incluyendo las actuales, se basan en dos premisas: la 1º de ellas considera las cargas que deberá soportar la vía, durante el tiempo de vida útil que requerimos. Es un dato estadístico muy difícil de modificar.

La 2º premisa es la capacidad portante del suelo natural sobre el que debemos soportar nuestra vía. En la medida en que mayor sea la capacidad portante de este estrato menor será el espesor de la estructura requerida, para una carga o esfuerzo determinados, lo que redundará en economía, en todos los aspectos y menor deterioro ambiental.

Cuando la capacidad portante del suelo natural no es la adecuada o es muy baja, se busca mejorar la calidad del suelo ya sea adicionando materiales que le ayuden a mejorar las características de mencionado estrato o sustituyéndolo por otro, de ahí nace la idea de estabilizarlo.

Son suelos inadecuados para su empleo en subrasantes los suelos orgánicos o con materia orgánica (hojas, hierba, raíces, desechos orgánicos y otros materiales putrescibles), por ello no se empleara la capa de tierra vegetal, ni materiales procedentes turberas, etc., tampoco es conveniente emplear escombros y vaciados heterogéneos, que pueden dar lugar a asientos diferenciales en servicio.

En cambio es conveniente estudiar la posibilidad de empleo de subproductos y desechos industriales locales, que en algunas zonas presentan problemas ecológicos y de acopio; cenizas volantes, desechos de cantera, ciertos materiales minerales subproductos de industrias químicas, materiales puzolánicos, etc.

2.4 LA SUBRASANTE

Figura 2.4 La subrasante



Fuente: Padegua

La subrasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

La subrasante es el asiento directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera que se construye entre el terreno natural allanado o explanada y la estructura del pavimento. La subrasante es la capa superior del terraplén o el fondo de las excavaciones en terreno natural, que soportará la estructura del pavimento, y está conformada por suelos seleccionados de características aceptables y compactados por capas para constituir un cuerpo estable en óptimo estado, de tal manera que no se vea afectada por la carga de diseño que proviene del tránsito. La subrasante puede estar constituida por suelos en su estado natural, o por éstos con algún proceso de mejoramiento tal como la estabilización mecánica, la estabilización física-química con aditivos como el cemento Portland, la cal, el asfalto, entre otras.

El factor más importante en la determinación de los espesores de diseño del pavimento es la respuesta del suelo de subrasante ante las cargas del tránsito. De la calidad que tenga esta capa dependerán, en gran parte, los espesores sean de un pavimento rígido o flexible. Del estudio geotécnico se determinan las características físico-mecánicas de la subrasante, y se determinan la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito. La subrasante es la capa más importante para el diseño

de una estructura de pavimentos, ya que es esta la que va a dar soporte a la estructura.(Villalaz, 2005).

La función de la subrasante es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento. Entre mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad. Otra de las funciones de la subrasante es evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías.

2.4.1 Categoría de la subrasante

Se identificarán seis categorías de subrasante:

Tabla 2.5 Categoría de subrasante

Categorías de subrasante	C.B.R.
S0 : Subrasante inadecuada	C.B.R. < 3 %
S1 : Subrasante pobre	De C.B.R. \geq 3 % a C.B.R. < 6 %
S2 : Subrasante regular	De C.B.R. \geq 6 % a C.B.R. < 10 %
S3 : Subrasante buena	De C.B.R. \geq 10 % a C.B.R. < 20 %
S4 : Subrasante muy buena	De C.B.R. \geq 20 % a C.B.R. < 30 %
S5 : Subrasante excelente	C.B.R. \geq 30 %

Fuente: Diseño Estructural de Pavimentos para Caminos.

Se considerarán como materiales aptos para la coronación de la subrasante suelos con CBR igual o mayor de 3 %. En caso de ser menor, se procederá a eliminar material inadecuado o modificar el material estabilizándolo a fin de que cumpla con los requerimientos y características adecuadas.

Figura 2.5 Estructura típica de pavimentos



Fuente: Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos.

2.4.2 Propiedades de la subrasante

2.4.2.1 Propiedades físicas

Son propiedades relacionadas con el tipo de material a utilizar y las características constructivas de los mismos.

Granulometría: La granulometría sirve para determinar el porcentaje en peso de las partículas de diferentes tamaños, teniendo una visión de la distribución del tamaño de los granos presentes en un suelo.

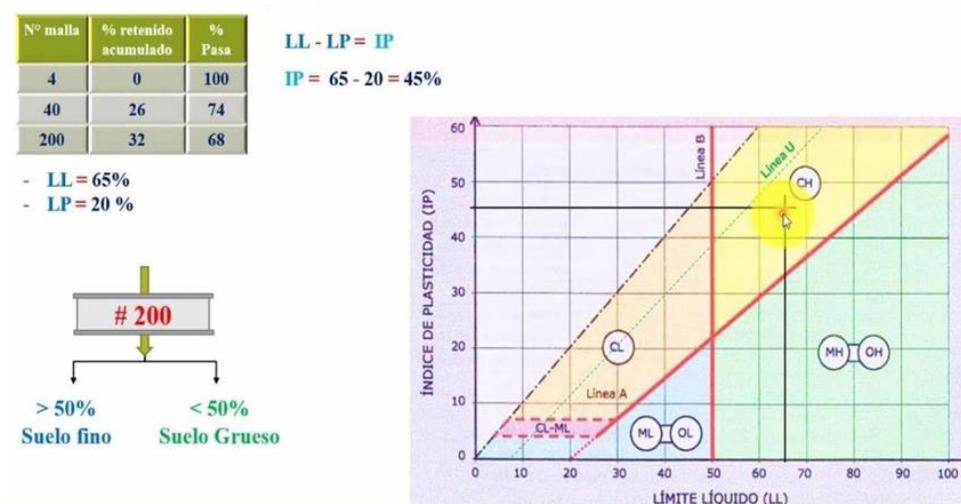
Tabla 2.6 Escala granulométrica

Partícula	Tamaño
Arcillas	< 0,002 mm
Limos	0,002 – 0,06 mm
Arenas	0,06 – 2 mm
Gravas	2 – 60 mm
Cantos rodados	60 – 250 mm
Bloques	> 250 mm

Fuente: ABC, Manual Técnico Vol. 4.

2.5 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

Figura 2.6 Clasificación sistema SUCS



Fuente: Konstruedu.com

2.5.1 Límite Líquido

El Límite Líquido de un suelo se define como el contenido máximo de humedad a partir del cual dicho suelo deja de comportarse plásticamente y pasa a comportarse como un líquido.

2.5.2 Límite Plástico

El Límite Plástico de un suelo es el contenido de humedad correspondiente a un límite convencional entre los estados de consistencia plástica y semisólida.

Figura 2.7 Límites de consistencia



Fuente: Elaboración propia..

2.5.3 Propiedades ingenieriles

Relación humedad-densidad: La compactación se define como el proceso mecánico mediante el cual se disminuye la cantidad de huecos en una masa de suelo, obligando a sus partículas a un contacto más íntimo entre sí, es decir, a un aumento de la densidad de un material determinado.

2.5.3.1 Relación de Soporte California (CBR)

Ensayo de Relación de Soporte de California, mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, subbase y base de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad.

2.5.3.2 Expansión

La expansividad de suelos es una propiedad física de los suelos que puede evaluarse como el hinchamiento del suelo cuando aumenta su cantidad de agua y se retraen cuando la disminuye.

2.6 ESTABILIDAD DEL SUELO

Es de todos conocido la variabilidad y complejidad de los suelos. Sin embargo, debido a sus diversas utilidades, el ingeniero tiene grandes oportunidades para desarrollar sus habilidades, al utilizar a los suelos como un material ingenieril. (Del Castillo, 2008).

Desafortunadamente, en Bolivia existen muchos suelos que en su estado natural no son adecuados para su utilización en las obras por no reunir los requisitos especificados. En estos casos los ingenieros deberán tomar una de las tres decisiones siguientes:

- Aceptar el material tal y como esta y efectuar el diseño de acuerdo con las restricciones impuestas por la calidad de la materia.
- Remover y desechar el suelo del lugar y sustituirlo por un suelo de características adecuadas.
- Alterar o cambiar las propiedades del material existente de tal manera que se obtenga un material que reúna la mejor forma los requisitos impuestos, o cuando menos que la calidad obtenida será adecuada.

El objetivo del presente trabajo es considerar solamente lo que representa a la tercera decisión, es decir, que nos referimos solamente a la que se conoce como Estabilización de Suelos.

Por tanto se denomina estabilización de suelos al proceso de someter a los suelos naturales a ciertos tratamientos para aprovechar sus mejores cualidades, siempre buscando una mejoría sustancial en el comportamiento esfuerzo-deformación de los suelos y/o de la estructura que se coloque sobre ellos, a lo largo de su vida útil; obteniéndose una capa de asiento del firme estable y durable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones del clima más severas y por ende asegure geotécnicamente el comportamiento de la explanada.

Para el proceso de estabilización de los suelos existen dos opciones de ejecución, mezcla en central o plantas móviles y mezclas in situ.

Se define un suelo estabilizado “in situ” a la mezcla homogénea y uniforme de un suelo con cal o con cemento, y eventualmente agua, en la propia traza de la carretera, la cual convenientemente compactada, tiene por objeto disminuir la susceptibilidad al agua o aumentar su resistencia, para su uso en la formación de explanadas.

Figura 2.8 Estabilización en planta y estabilización in situ



Fuente: firmesecologicossoltec

2.6.1 Importancia de la estabilización de suelos

Es importante la estabilización para mejorar varias propiedades esenciales de los suelos; pero también puede aparecer el caso de que algunas de estas propiedades lleguen a deteriorarse inmediatamente o con el paso del tiempo. Para evitar esta situación, es importante elegir o especificar un sistema de estabilización y ver que sea el más correcto

posible. Además, es necesario determinar el porcentaje óptimo de estabilizante, y tener la seguridad que sea el adecuado para cada caso particular. Por otro lado es importante realizar la investigación del comportamiento de los materiales estabilizados, analizando a corto y largo plazo las propiedades que se mejoran y se mantienen al paso del tiempo, estando conscientes del costo que implica la tarea, de las múltiples propiedades del suelo.

2.6.2 Estabilización subrasante con polipropileno expandido

La finalidad de estabilizar con polipropileno expandido es para mejorar las siguientes propiedades del suelo:

2.6.2.1 Disminuir la Plasticidad

La plasticidad del suelo está relacionada con el concepto de límites de Atterberg, término conocido en la mecánica de suelos. Estos parámetros relacionan la capacidad que tienen los suelos cohesivos para adsorber agua sobre la superficie de sus partículas, ya que cuanto mayor es la cantidad de agua que contiene un suelo, menor es la interacción entre sus partículas adyacentes y más se aproxima el suelo en su comportamiento al de un material líquido; por lo tanto, una alteración en los valores de estos límites indicara una modificación del agua adsorbida por el suelo.

El término limoso se aplica cuando las fracciones de finos del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menor. El término arcilloso se aplica cuando las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor (BRAJA M. DAS).

Diversos autores han demostrado que puede lograrse un cambio de los límites de Atterberg modificando químicamente la capacidad del mineral de arcilla para captar las moléculas de agua en ese sentido, la estabilización química se ha usado con gran eficacia para modificar esta propiedad.

2.6.2.2 Estabilidad Volumétrica

Esta propiedad se refiere al apreciable cambio de volumen que sufren los suelos, debido al cambio de humedad y los esfuerzos internos afectados por el agua.

Cuando un suelo saturado se seca, cambia su volumen (retracción). Esta pérdida de volumen se debe a la desecación ocurrida en el suelo, que provoca una modificación en la tensión capilar del menisco formado en cada, poro de la superficie. Luego se produce una

tracción en el agua del suelo y la correspondiente compresión en la estructura del mismo, siendo ésta última bastante considerable e inclusive actúa como una carga en el mismo. Se produce la expansión o hinchamiento cuando un suelo seco, cohesivo aumenta su humedad; este fenómeno se debe a diversos factores como la atracción del agua por los minerales arcillosos, la repulsión eléctrica de las partículas de arcilla y de sus cationes absorbidos.

La estabilidad volumétrica está íntimamente relacionada con la composición mineralógica de los suelos y los cambios climatológicos de la región, esta propiedad es propia de los suelos que contienen un alto porcentaje de minerales arcillosos.

La estabilidad volumétrica se modifica cementando el material de modo que disminuya la capacidad del material de absorber agua, siendo más efectivos en las arcillas profundas.

2.6.2.3 Compresibilidad

La compresibilidad es una propiedad que está relacionada íntimamente con el cambio volumétrico del suelo, el cual se manifiesta a través de un asentamiento. Este asentamiento es producido por el peso propio del material o por cargas externas superficiales que originan un cambio en la relación de vacíos, flexión y la distorsión o, cambio de formas de la fase sólida del suelo inmediatamente debajo de la carga. Asimismo, la estructura de los sólidos especialmente en los puntos de contacto de un factor irreversible con la compresibilidad de todos los suelos no cohesivos. Sin embargo, en las arcillas el factor más importante de la compresibilidad es la repulsión eléctrica entre sus partículas que tienen cargas iguales o, que están rodeadas de cationes con cargas semejantes que las mantienen apartadas.

La reducción de la compresibilidad del suelo puede lograrse llenando los poros del mismo, es decir, cementando los granos con un material rígido. Pero también, es posible reducir esta propiedad cambiando las fuerzas del agua absorbida por el mineral de arcilla.

En términos generales, todos los métodos de estabilización revisados en anteriores secciones pueden incluir en esta propiedad, pero frecuentemente la compactación y la estabilización química son las que más se utilizan.

2.6.2.4 Resistencia o Capacidad Portante

Esta propiedad se refiere a la capacidad que tiene el suelo de soportar cargas continuas de tráfico, para no sufrir fallas y deformaciones inadmisibles en su estructura.

En general, todas las formas de estabilización química revisadas anteriormente, pueden mejorar en mayor y menor grado de resistencia del suelo; pero mucho depende de la cantidad de materia orgánica que contiene el mismo, ya que el efecto de la materia orgánica en el suelo estabilizado por medios químicos, reduce la reacción con el aditivo empleado y disminuye considerablemente la resistencia normalmente adquirida.

2.6.3 Tipos de estabilización

Son muchos los procedimientos que pueden seguirse para lograr esa mejoría de las propiedades de los suelos, con vistas a hacerlos apropiados para algún uso específico, lo que constituye la estabilización. La siguiente lista de técnicas de estabilización no agota seguramente la amplia gama existente, aunque resume las más conocidas en nuestro medio.

- Estabilización mecánica.
- Estabilización Física o granulométrica.
- Estabilización química o por medios químicos.
- Estabilización Físico-Química.

La gran variabilidad de los suelos y sus composiciones hacen que cada técnica de estabilización resulte sólo aplicable a un número limitado de tipo de ellos; en muchas ocasiones esa variabilidad se manifiesta a lo largo de algunos metros, en tanto que en otras a lo largo de algunos kilómetros, pero en cualquier caso suele ser frecuente que para aplicar una técnica de estabilización económicamente hayan de involucrarse varios tipos de suelos.

De esta manera una optimizada estabilización de suelos, abre la posibilidad de una utilización eficaz de los materiales locales, para la construcción y conservación de una vía.

2.6.3.1 Estabilización mecánica

Consiste en compactar el suelo de forma estática o dinámica para aumentar su densidad, su resistencia mecánica, disminuir su porosidad y su permeabilidad. Puede incluir también previamente la mezcla de suelos de diferente gradación para obtener la especificación apropiada

2.6.3.2 La estabilización física o granulométrica

Estabilización física consiste en modificar las propiedades de los suelos mediante la intervención en algunas de sus propiedades para aportarle características estructurales nuevas. Estabilización granulométrica: Consiste en la mezcla de varios tipos de suelos de diferente granulometría para formar un suelo con las características deseadas.

2.6.3.3 Estabilización química o por medios químicos

En estos casos, la estabilización se hace a través de un compuesto químico que reacciona con el suelo produciendo cambios irreversibles en este ,tanto físicos como en su estructura química ,dando lugar a que la capa tratada mejore sus propiedades físicas y mecánicas.

Dentro de este grupo de estabilización, las sustancias químicas más comunes son: cal y cemento.

- Cal: Disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica.
- Cemento portland: Aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.

Otros productos también utilizados son:

- Productos Asfálticos: Es una emulsión muy usada para material triturado sin cohesión.
- Cloruro de sodio: Impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- Cloruro de calcio: Impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- Escorias de fundición: Se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- Polímeros: Este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- Caucho de Neumáticos: Este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

2.6.3.4 Sustancia cementantes

Son materiales aglomerantes que tienen las propiedades de adherencia y cohesión requeridas para unir fragmentos minerales entre sí, formando una masa sólida continua, de resistencia y durabilidad adecuadas.

Los principales materiales cementantes son:

- La arcilla.
- Los cementos.
- El yeso.
- Los asfaltos y alquitranes.
- La cal.
- Los monómeros polimerizados.

2.6.3.5 La estabilización físico-química

Es una técnica aplicada ex situ que persigue reducir la movilidad de los contaminantes del suelo, ya sea cambiando su estado químico o aislándolos físicamente dentro de una matriz estable. La reducción de la movilidad se lleva a cabo mezclando el suelo contaminado con los aditivos adecuados de forma que la matriz resultante del tratamiento sea estable y presente mucha menor lixiviación que el suelo original. Los aditivos utilizados pueden ser orgánicos o inorgánicos.

2.7 ENSAYOS REALIZADOS PARA LA ESTABILIZACIÓN

2.7.1 Humedad óptima

Se define como contenido de humedad de suelos, a la cantidad de agua que posee una determinada muestra de suelo, expresada en porcentaje y referida al peso seco de la misma. La fórmula para encontrar dicha humedad es la siguiente:

$$W(\%) = \frac{P_a}{P_{ss}} * 100$$

Dónde:

W (%)= Contenido de humedad

Pa = Peso del agua

Pss = Peso del suelo seco

2.7.2 Granulometría de suelos

En los comienzos de la investigación de las propiedades de los suelos se creyó que las propiedades dependían directamente de la distribución de las partículas constituyentes según tamaños; por ello era preocupación especial de los ingenieros la búsqueda de métodos adecuados para obtener tal distribución.

Solamente en suelos gruesos, cuya granulometría puede determinarse por mallas, la distribución por tamaños puede revelar algo de lo referente a las propiedades físicas del material, la experiencia indica que los suelos gruesos bien graduados, es decir, con amplia gama de tamaños, tienen comportamiento ingenieril más favorable, en lo que se refiere a algunas propiedades importantes, que los suelos de granulometría muy uniforme presentan.

2.7.2.1 Sistemas de clasificación de suelos basados en criterios de granulometría

Los límites de tamaño de las partículas que constituyen un suelo, ofrecen un criterio obvio para una clasificación descriptiva del mismo. Tal criterio fue usado en mecánica de suelos desde un principio e incluso antes de la etapa moderna de esta ciencia. Originalmente, el suelo se dividía únicamente en tres o cuatro fracciones debido a lo engorroso de los procedimientos disponibles de separación por tamaños. Posteriormente, con la aparición de la técnica del cribado, fue posible efectuar el trazo de curvas granulométricas, contando con agrupaciones de las partículas del suelo en mayor número de tamaños diferentes.

Actualmente se pueden ampliar notablemente las curvas en los tamaños finos, gracias a la aplicación de técnicas de análisis de suspensiones. Algunas clasificaciones granulométricas de los suelos, según sus tamaños son los siguientes:

2.7.2.2 Clasificación internacional

Basada en otra desarrollada en Suecia.

Tabla 2.7 Clasificación internacional

Dimensión de la partícula elemental (mm)	Attemberg – (Sistema Internacional)	U.S. Dep. De Agricultura	Ex – U.R.S.S.
<0,001	Arcilla	Arcilla	Arcilla
<0,002			Limo fino
0,005	Limo	Limo	Limo medio
0,01			Limo grueso
0,02			Arena muy fina
0,05	Arena fina	Arena fina	Arena fina
0,1		Arena fina	Arena media
0,25		Arena gruesa	Arena gruesa
0,2		Arena muy gruesa	Arena gruesa
0,5	Arena gruesa	Grava fina	Grava
1,0		Grava	
2,0	Grava fina	Grava	Grava gruesa y piedras
3,0		Grava gruesa y piedras	
5,0	Grava	Grava gruesa y piedras	Grava gruesa y piedras
10,0		Grava gruesa y piedras	
20,0	Grava gruesa y piedras	Grava gruesa y piedras	Grava gruesa y piedras
>20,0		Grava gruesa y piedras	

Fuente: drdeveshmishra.in

2.7.2.3 Clasificación MIT

Fue propuesta por G.Gilboy y adoptada por Massachusetts Institute of Technology.

Tabla 2.8 Clasificación MIT

Tamaño en mm								
2.0	0.6	0.2	0.06	0.02	0.006	0.002	0.0006	0.0002
Gruesa	Media	Fina	Gruesa	Medio	Fino	Gruesa	Media	Fina (coloides)
Arena			Limo			Arcilla		

Fuente: Meding 101

2.7.3 Clasificación de suelos

La clasificación de los suelos se realiza para diferenciar un suelo de otro, ya sea mediante el tamaño de sus partículas, el comportamiento plástico que presentan y otras características, la clasificación que se usó en el proyecto fue la clasificación que realiza el sistema AASHTO, puesto que es el más usado actualmente y se basa en las prestaciones de suelos utilizados en la práctica para construir carreteras, esta clasificación divide a los suelos en siete grupos principales y en varios sub grupos. Esta clasificación diferencia a los suelos desde un suelo tipo A-1 y uno A-7, considerando que un suelos A-1 será un material granular, es decir de grano grueso en un mayor porcentaje y con poco material fino, esta desigualdad se ira igualando hasta llegar a un suelo A-7, es decir, que a medida que un suelo disminuya su material granular y aumente su material fino, este bajara su clasificación a ser un suelo A-2, A3, A-4, A-5, A-6 y A-7 respectivamente.

2.7.3.1 Sistema de clasificación AASHTO

De acuerdo con éste sistema de clasificación, el suelo se clasifica en siete grupos mayores: A-1 al A-7. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por la malla No. 200. Los suelos de los que más del 35% pasan por la criba No. 200 son clasificados en los grupos A4, A-5, A-6 Y A-7. La mayoría están formados por materiales tipo limo y arcilla

2.7.3.2 Tamaño del grano

Grava: fracción que pasa la malla de 75 mm y es retenida en la malla No. 10 (2 mm)

Arena: fracción que pasa la malla No. 10 (2 mm) y es retenida en la malla No. 200 (0.075 mm)

Limo y arcilla: fracción que pasa la malla No. 200

2.7.3.3 Plasticidad

El término limoso se aplica cuando las fracciones de finos del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menor. El término arcilloso se aplica cuando las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor.

Si cantos rodados y boleas (tamaños mayores que 75 mm) están presentes, éstos se excluyen de la porción de la muestra de suelo que se está clasificando. Sin embargo, el porcentaje de tal material se registra.

Tabla 2.9 Clasificación para suelos finos mediante el sistema AASHTO

Clasificación general	Material Granular (35% o menos del total pasa No.200)						
	A -1		A - 3	A - 2			
	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7
Análisis de tamices (porcentaje que pasa)							
No. 10	50 max.						
No. 40	30 max.	50 máx.	51 min.				
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
Características de la fracción que pasa No.40							
Límite líquido				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Índice de plasticidad	6 max.		NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Tipos usuales de materiales que consta	Fragmentos pétreos, grava, y arena		Arena fina	Limos o gravas arcillosas y arena			
Valoración general del subgrupo	Excelente a bueno						

Fuente: Principles of Geotechnical Engineering, Braja M. Das, 1998

Para clasificar un suelo de acuerdo con las anteriores tablas, los datos de prueba se aplican de izquierda a derecha. Por un proceso de eliminación, el primer grupo desde la izquierda en el que los datos de prueba se ajusten, es la clasificación correcta.

2.7.3.4 Índice de grupo

Para la evaluación de la calidad de un suelo como material para subrasante de carreteras, se incorpora también un número llamado índice de grupo (GI) junto con los grupos y subgrupos del suelo. Este número se escribe en paréntesis después de la designación de grupo o de sub grupo.

El índice de grupo está dado por la ecuación:

$$GI = (F - 35) [0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01 (F - 15) (PI - 10)$$

Dónde:

F = porcentaje que pasa la malla No. 200

LL = límite líquido

P = índice de plasticidad

2.7.4 Compactación de suelos

En la construcción de terraplenes para carreteras, presas de tierra y muchas otras estructuras de la ingeniería, los suelos sueltos deben ser compactados para incrementar sus pesos específicos. La compactación incrementa las características de resistencia de los suelos, aumentando así la capacidad de carga de las cimentaciones construidas sobre ellos. La compactación disminuye también la cantidad de asentamientos indeseables de las estructuras e incrementa la estabilidad de los taludes de los terraplenes. Los rodillos de ruedas lisas, los rodillos patas de cabra, los rodillos con neumáticos de hule y los rodillos vibratorios son usados generalmente en el campo para la compactación del suelo. Los rodillos vibratorios se usan principalmente para la densificación de los suelos granulares. Cuando se agrega agua al suelo durante la compactación, ésta actúa como un agente ablandador de las partículas del suelo, que hace que se deslicen entre sí y se muevan a una posición de empaque más denso. El peso específico seco después de la compactación se incrementa primero conforme aumenta el contenido de agua. Cuando el contenido de agua es gradualmente incrementado y se usa el mismo esfuerzo compactador para la compactación, el peso de los sólidos del suelo en un volumen unitario crece en forma gradual.

Se entiende por compactación de suelos a un proceso mecánico al cual se somete un determinado suelo para mejorar algunas características, como la resistencia, compresibilidad, y disminuir la deformación de dichos suelos provocados a causa de las cargas que puede llegar a soportar, esta compactación se la realiza expulsando el aire que se encuentra en el suelo y de esta manera reducir la cantidad de vacíos y lograr un reacomodamiento de todas las partículas que conforman el suelo, aumentando su densidad, al realizar la compactación se elimina los vacíos del suelo y generalmente no el agua que contiene el suelo.

2.7.4.1 Finalidad de la compactación

Una compactación puede seguir muchos objetivos, como ser que el suelo compactado adquiera una resistencia suficiente para resistir con seguridad el propio peso de alguna estructura civil o las cargas que transmiten las ruedas al suelo en una construcción vial.

También el suelo compactado no debe deformarse tanto, por efecto de las cargas que resiste, de manera que no se dañe dicho suelo ni la estructura que soporta, es decir, no debe retraerse ni expandirse excesivamente.

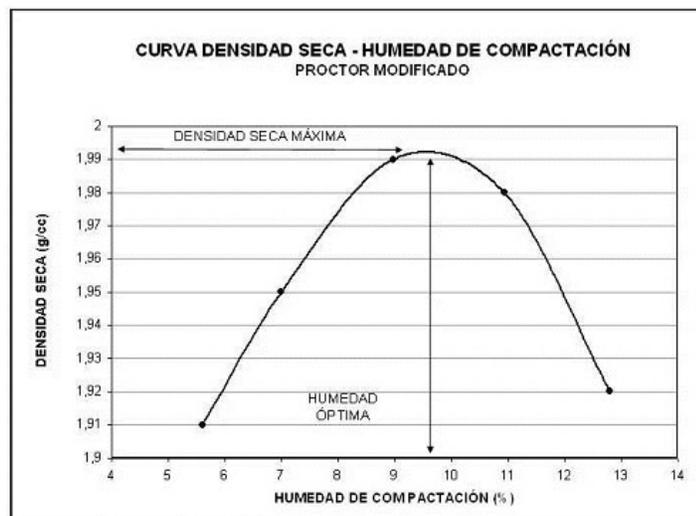
2.7.4.2 Grado de compactación

El grado de compactación de un suelo es la relación, en porcentaje, entre la densidad seca alcanzada en obra y la densidad máxima seca obtenida en laboratorio, esto para un mismo suelo, es decir, si nosotros realizamos la compactación en una vía y sacamos la densidad in situ de esa vía ya compactada, esa densidad deberá ser muy cercana o igual a la densidad máxima obtenida en laboratorio, el control en obra se hace generalmente realizando ensayos de determinación del grado compactación y comparando esos resultados con el porcentaje de requisito en las especificaciones de una vía, como 90%,95%,100%,etc, esto depende del destino y la importancia de la obra.

2.7.4.3 Curva de compactación

La curva de compactación de suelos es una gráfica que se dibuja en un eje de coordenadas, en la cual el eje de las abscisas van los valores de contenido de humedad de los suelos expresado en porcentaje y en el eje de las ordenadas van los valores correspondientes a la densidad seca máxima, dicha grafica es útil para conocer los valores máximos de humedad y densidad de un determinado suelo, una vez ya se haya realizado la compactación por métodos estandarizados, dicha grafica es la siguiente:

Figura 2.9 Curva de Compactación



Fuente: Lcweb – Ensayo de Compactación

2.7.4.4 Humedad óptima

Es el contenido de agua bajo el cual un suelo alcanza la máxima densidad seca, un contenido de humedad mayor del óptimo tiende a reducir el peso específico seco, debido a que el agua toma los espacios que podrían haber sido ocupados por las partículas sólidas.

2.7.4.5 Densidad seca máxima

Es la densidad a la cual una muestra de suelo puede llegar a adquirir, siempre y cuando la compacten a la humedad óptima de dicho suelo.

2.7.4.6 Procedimientos para encontrar los valores máximos de la curva de compactación

Los valores máximos de la curva de compactación se pueden encontrar gráficamente por simple visualización, siempre y cuando las escalas utilizadas en cada uno de los ejes estén de acuerdo a los valores de dicha curva.

Para una mayor precisión se puede recurrir a la utilización de las derivadas, para ello es imprescindible conocer la ecuación de la curva de compactación, entonces por simple procedimiento de derivadas, donde la pendiente sea cero se encontrará el punto máximo

2.8 POLIPROPILENO EXPANDIDO

Figura 2.10 Polipropileno expandido



Fuente: Elaboración propia..

Desarrollado por primera vez en la década de 1970 por JSP, como resultado de la investigación de nuevas formas de polipropileno, el polipropileno expandido o EPP por sus siglas en inglés, es una espuma altamente versátil de perlas (gránulos en forma de perla) con células cerradas que proporciona una gama única de propiedades, incluyendo una excelente absorción de energía, resistencia a impactos múltiples, aislamiento térmico, flotabilidad, resistencia al agua y resistencia química, gran rango de fuerza por peso y, por

si fuera poco, es 100% reciclable. El EPP se puede producir en una amplia gama de densidades, de 15 a 200 gramos por litro, que se transforman por moldeo en densidades que van desde 18 a 260 gramos por litro. Las perlas individuales se funden en la forma del producto final mediante el proceso de moldeo con vapor a presión que da como resultado una forma fuerte y ligera.

Las perlas de EPP se inyectan en moldes. En muchos casos, se utilizan moldes de aluminio de varias cavidades. La presión y el calor del vapor funden las perlas en la forma deseada. La pieza de espuma de EPP terminada se convierte en un componente clave en sub-ensambles de un producto.

Los grados de alta densidad se utilizan donde el manejo de la energía es importante, como los parachoques del automóvil y los componentes de seguridad para pasajeros al interior de un auto. Los grados de baja densidad se utilizan para aplicaciones de empaque, y las densidades medias encuentran aplicaciones en muebles y otros productos de consumo.

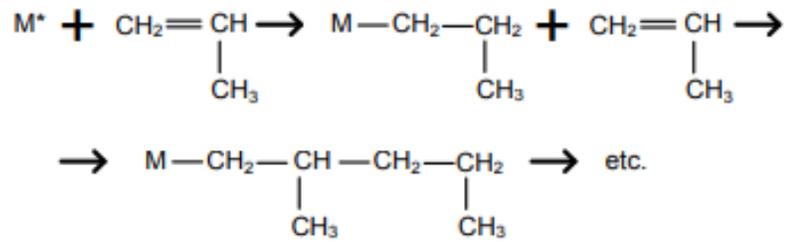
Los grados de baja emisión minimizan el desgasificado de los COVs (compuestos orgánicos volátiles) en las partes interiores del automóvil.

2.8.1 Obtención del polipropileno

El polipropileno se obtiene a partir de la polimerización del propileno (2-propeno), producto gaseoso obtenido a partir del proceso de refinado de petróleo, en presencia de un catalizador y en condiciones de presión y temperatura controladas. El propeno es un hidrocarburo saturado que únicamente contiene átomos de carbono y de hidrógeno.

En la reacción de polimerización muchas moléculas de propileno (monómero) reaccionan para formar una gran molécula de polipropileno. La síntesis de este polímero requiere la utilización de un catalizador, generalmente un compuesto organometálico donde el centro activo es un metal de transición. El catalizador actúa como soporte para que la reacción de polimerización tenga lugar, las moléculas de propeno se unen de forma secuencial a la cadena polimérica introduciéndose en la posición inicial entre el metal de transición y el enlace con la primera unidad monomérica de la cadena polimérica. (Monzó Pérez, 2015)

Figura 2.11 Mecanismo de polimerización del polipropileno.



Fuente: Matías Raimundo Monzo

2.8.2 Estructura del polipropileno

Cuando el polipropileno se encuentra a una temperatura por debajo de su punto de fusión (temperatura de cristalización), las moléculas de polímero se asocian para formar una estructura supramolecular. El polipropileno es un polímero semicristalino, siendo posibles diferentes grados de cristalinidad y distintas estructuras cristalinas, características éstas que van a depender de varios factores tales como la estereoquímica del polímero, las condiciones de proceso o cristalización y la presencia de aditivos.

La estereoregularidad de la estructura molecular determina sobremanera el grado de cristalinidad del material; irregularidades ocasionales como ramificaciones o uniones cola-cola acontecidas durante el proceso de polimerización afectan la cristalinidad del material. Por ejemplo, el polipropileno atáctico con una estructura altamente irregular es mayoritariamente amorfo. Los polímeros semicristalinos poseen una mayor densidad, resistencia y rigidez. Los polímeros amorfos son más dúctiles, con mayor resistencia al impacto y menos densos.

El proceso de cristalización del polímero tiene lugar cuando el material fundido solidifica o cuando se evapora el disolvente. En la medida en que fundido libera la energía calorífica contenida en su estructura, las moléculas empiezan a perder su habilidad para moverse libremente y, por tanto, el fundido se vuelve más viscoso. Cuando se alcanza la temperatura de cristalización, las moléculas adoptan estructuras cristalinas en el seno de una matriz amorfa. (Monzó Pérez, 2015)

2.8.3 Propiedades del polipropileno

Tabla 2.10 Propiedades físicas del polipropileno

Propiedades Físicas	Valores Típicos
Ganancia de humedad	< 0,1 %
Índice de refracción n_D	1,49
Conductividad térmica (20°C)	0,14-0,22 W.m/°K
Coefficiente lineal de expansión térmica (20-60°C)	100 10^{-6} °C ⁻¹
Calor de fusión	21 cal/gr
Calor específico	0,46 cal/gr.°C
Densidad del fundido a 180°C	0,769 gr/cc
Calor de combustión	10.725 Kcal/Kg
Índice de oxígeno	17,4
Rango temperatura de descomposición	328 – 410 °C
Constante dieléctrica (20-80°C)	2,25 kHz
Factor de disipación (10^2 – 10^6 Hz)	< 0,0002 %
Resistividad volumétrica específica	> 10^{16} Ω.cm

Fuente: Matías Raimundo Monzo

En general el PP puede considerarse químicamente inerte dada su estructura estable, lo que le otorga buenas propiedades de resistencia química, excepto frente a hidrocarburos aromáticos a elevada temperatura y compuestos halogenados. Es resistente a la mayoría de compuestos inorgánicos excepto al ácido nítrico y sulfúrico. Por otra parte, el PP no es adecuado para utilizarlo con disolventes orgánicos (hinchamiento).

2.8.4 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas del polipropileno varían drásticamente en función del grado de cristalinidad. Un aumento de la cristalinidad en el material se traduce en un incremento en la rigidez, en la resistencia a la flexión, pero hace disminuir ciertas propiedades como la dureza y la resistencia a impacto. (Monzó Pérez, 2015)

2.8.4.1 Transparencia

La transparencia de un material semicristalino está íntimamente relacionado con su grado de cristalinidad. Las esferulitas son superiores en tamaño a la longitud de onda de la radiación visible (0,4-0,7 micrómetros), y el índice de refracción de las regiones cristalinas es superior al de las regiones amorfas. Cuando un haz de luz atraviesa una región amorfa

y alcanza una región cristalina tiene lugar un fenómeno de dispersión de la radiación como consecuencia del encuentro con las esferulitas de polímero. Como consecuencia de este hecho, disminuye la transparencia del material y se vuelve más opaco.

Disminuyendo el grado de cristalinidad de un polímero semicristalino es posible aumentar su transparencia, pero disminuyen ciertas propiedades mecánicas y térmicas, tal y como se ha comentado anteriormente. Mediante el uso de agentes nucleantes es posible disminuir el tamaño de las esferulitas de polímero por debajo de la longitud de onda de la radiación visible, lo cual se traduce en un aumento de la transparencia del polímero.

2.8.5 Procesado del polipropileno

El polipropileno ha sido uno de los plásticos con mayor crecimiento en los últimos años y se prevé que su consumo continúe creciendo más que el de los otros grandes termoplásticos (PE, PS, PVC, PET). El PP se transforma mediante muchos procesos diferentes. Los más utilizados son:

- Moldeo por inyección de una gran diversidad de piezas, desde juguetes hasta parachoques de automóviles.
- Moldeo por soplado de recipientes huecos como por ejemplo botellas o depósitos de combustible.
- Termoformado de, por ejemplo, contenedores de alimentos. En particular se utiliza PP para aplicaciones que requieren resistencia a alta temperatura (microondas) o baja temperatura (congelados).
- Producción de fibras, tanto tejidas como no tejidas.
- Extrusión de perfiles, láminas y tubos.
- Producción de película o film (Monzó Pérez, 2015)

2.8.6 Productos de polipropileno

Uno de los plásticos más duros, resistentes al calor y al agua, es el polipropileno, el cual posee características que lo diferencian de entre otros materiales. Este material es utilizado para crear objetos de todo tipo debido a que sus componentes lo hacen flexible en el uso. A partir de los procesos industriales se pueden preparar un sin fin de productos de polipropileno diferentes, cuyas propiedades varían según la longitud de las cadenas del polímero (peso molecular), de su polidispersidad, de los comonomeros eventualmente

incorporados, etc. Una gran parte de los grados de PP son aptos para contacto con alimentos y una minoría puede utilizarse en aplicaciones médicas o farmacéuticas. A partir de los procesos industriales se pueden preparar un sin fin de productos de polipropileno diferentes, cuyas propiedades varían según la longitud de las cadenas del polímero (peso molecular), de su polidispersidad, de los comonómeros eventualmente incorporados, etc. Estas características básicas definen las propiedades mecánicas del material y sus aplicaciones finales. Por todo esto, la gran diversidad de productos producidos con esta poliolefina le permite tener aplicaciones tan variadas como:

- Componentes de automoción.
- Baldes, recipientes, botellas.
- Muebles.
- Juguetes.
- Películas para envases de alimentos.
- Fibras y filamentos.
- Bolsas y bolsones.
- Fondo de alfombras.
- Pañales, toallas higiénicas, ropa. (Monzó Pérez, 2015)

2.8.7 Aplicaciones del polipropileno expandido

El EPP es ampliamente utilizado en la industria automotriz debido a sus beneficios de rendimiento de energía, peso ligero, gran funcionalidad, durabilidad y reciclabilidad. Las aplicaciones incluyen asientos, parachoques, sistemas de estiba, paneles de puertas, pilares, niveladores de piso, compartimientos, cabeceras, juegos de herramientas, viseras de sol y múltiples piezas de relleno.

El EPP también es utilizado en envases industriales reutilizables debido a su durabilidad y su capacidad inherente para absorber energía en la transportación. Además, el EPP se utiliza cada vez más en mobiliario, juguetes como aviones de modelo y otros productos de consumo debido a su versatilidad como material estructural y su peso ligero, así como otras características de rendimiento.

Está aprobado para su uso en conjunto con productos alimenticios. Sus propiedades de aislamiento térmico y resistencia estructural lo hacen apropiado para recipientes tales

como recipientes de suministro de alimentos y enfriadores de bebidas y similares. No permite el crecimiento microbiano y puede esterilizar por vapor.

El polipropileno, también denominado por las siglas EPP, es uno de los materiales plásticos más utilizados, junto con el tereftalato de polietileno. Sus usos abarcan desde textiles y envases hasta dispositivos médicos, material de laboratorio o componentes automovilísticos. El polipropileno, como su nombre indica, se obtiene a partir de la polimerización del propileno, un material que entra en la categoría de los termoplásticos. Este material fue sintetizado por primera vez en 1951 por J. Paul Hogan y Robert Banks, y en 1957 comenzó a utilizarse comercialmente. A día de hoy es el segundo plástico más utilizado.

2.8.8 Ventajas del polipropileno

El polipropileno tiene muchos beneficios que lo han convertido en un material tan popular para los fabricantes que pueden aplicarlo a muchos usos. Veamos cuáles son las principales ventajas del material a continuación.

- Las propiedades químicas del polipropileno significan que no reacciona con los ácidos, lo que lo convierte en el material ideal para contenedores hechos para contener líquidos ácidos, como agentes de limpieza.
- También es altamente resistente a la corrosión y a las fugas químicas, lo que lo convierte en el material de elección para los sistemas de tuberías. El plástico también resiste bien la congelación, por lo que las condiciones climáticas tampoco son un problema para las tuberías de polipropileno.
- Se volverá líquido en su punto de fusión y, de esta forma, se puede moldear en cualquier forma deseada, y esto se puede hacer varias veces sin mucha degradación del plástico. El polipropileno se usa en el moldeo por inyección debido a cómo responde al calor.
- No conduce bien la electricidad, por lo que se clasifica como aislante. Esto lo ha convertido en un excelente material de fabricación para ser utilizado con componentes electrónicos como cables y equipos de audio.
- Es altamente impermeable, absorbiendo menos del 0.01% del agua cuando se sumerge. Esto lo hace perfecto para productos sumergidos en líquidos o artículos que necesitan impermeabilización.

- Es maleable, lo que significa que se puede convertir en una bisagra viva; una pieza de material que puede doblarse sin romperse incluso después de un doblado repetitivo.
- Tiene una alta resistencia a la tracción, lo que significa que es un material útil para cargas pesadas, ya que puede soportar 4800 psi.
- También es de baja densidad en comparación con otros plásticos, por lo que para los fabricantes, tienen la ventaja de ahorrar dinero con poco peso.
- Es un material relativamente económico.
- Posee una alta resistencia a la flexión debido a su naturaleza semicristalina.
- Tiene un bajo coeficiente de fricción.
- Es muy resistente a la humedad.
- Tiene buena resistencia química sobre una amplia gama de bases y ácidos.
- Posee buena resistencia a la fatiga.
- Tiene buena resistencia al impacto.
- Tiene una buena resistencia a la electricidad y, por lo tanto, es un buen aislante eléctrico.
- Se repara más fácilmente de los daños.

2.8.9 Desventajas del polipropileno

Como todos los materiales manufacturados, el polipropileno tiene algunos inconvenientes que los usuarios y fabricantes deben conocer antes de aplicar el material plástico.

- El polipropileno a menudo se ve afectado por la degradación de los rayos UV, por lo que no es adecuado para su uso en altitudes elevadas o lugares donde la penetración de los rayos UV es alta.
- Tiene un uso limitado a altas temperaturas ya que sufre una degradación de la cadena que puede conducir a la oxidación. Esto da como resultado la aparición de grietas en el polipropileno, pero se pueden reparar con estabilizadores de polímero.
- Tiene malas propiedades de unión, lo que lo convierte en un material difícil de pintar. Una solución para esto es tratar la superficie para mejorar la fuerza adhesiva de pinturas y tintas que pueden colorear el polipropileno.

- Es extremadamente inflamable y se derretirá cuando se exponga al calor. El punto de inflamación, la temperatura a la que un líquido produce vapor inflamable para formar una mezcla que puede encenderse cuando entra en contacto con una chispa o llama, es de solo 260 grados Celsius.
- Tiene un alto coeficiente de expansión térmica que limita sus aplicaciones de alta temperatura.
- Es susceptible a la degradación por rayos UV.
- Tiene poca resistencia a los disolventes clorados y aromáticos.
- Se sabe que es difícil de pintar ya que tiene malas propiedades de unión.
- Tiene una alta inflamabilidad.
- Es susceptible a la oxidación.

2.9 MÉTODO ESTADÍSTICO APLICADO A LA INVESTIGACIÓN

2.9.1 Prueba t de student para muestras independientes

Supongamos que tenemos dos muestras aleatorias e independientes con medias de x_1 y x_2 y que queremos saber si estas dos medias son significativamente distintas a un nivel de $p \leq 0,05$. Esto es lo mismo que decir que si afirmamos que hay una diferencia entre las muestras tenemos un 95% de probabilidad de tener razón. Lo que tenemos que calcular, entonces, es la probabilidad de que las dos muestras pueden provenir de la misma distribución y que la diferencia que vemos es por varianza en esa población. En otras palabras: queremos saber si dos muestras con la diferencia observada ($x_1 - x_2$) podrían tener provenir de la misma población.

Si sacamos un número significativo de muestras de una misma población la media de estas muestras va a tener una diferencia con la media de la población, en algunos casos más altos y en otros más bajos. Usamos este conocimiento para calcular el error estándar:

$$SE = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

De la misma manera existe un error estándar de diferencias entre medias (SED por sus siglas en ingles).

2.9.2 Definición (Error estándar de diferencia entre medias)

$$SED = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N1} + \frac{\sigma_2^2}{N2}}$$

Donde

σ_1^2 y σ_2^2 = las varianzas de las poblaciones 1 y 2.

N1 y N2= es el número de observaciones en cada muestra.

Al igual que con el error estándar, a menudo desconocemos la varianza de la población, por lo cual lo estimamos de la muestra y la fórmula es la que vemos en la definición.

2.9.3 Definición (Error estándar de diferencia entre medias estimado de muestras)

$$SED = \sqrt{\frac{s_1^2}{N1} + \frac{s_2^2}{N2}}$$

Donde:

s_1^2 y s_2^2 = las varianzas de las poblaciones 1 y 2.

N1 y N2= es el número de observaciones en cada muestra.

Para muestras relativamente pequeñas ($N < 30$) la distribución de la muestra tiende a la distribución t de student. Podemos valernos de esto para calcular la probabilidad de que nuestro SED esté en el rango requerido aplicando la fórmula de la definición.

2.9.4 Definición (Prueba de t)

$$t = \frac{(X1 - X2)}{SED}$$

Si aplicamos la fórmula de la definición nos sale un valor que podemos comparar con los valores críticos para determinar si rechazamos H_0 o no.

CAPÍTULO III

ENSAYOS PARA REALIZAR ANÁLISIS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO FINO CON POLIPROPILENO EXPANDIDO

CAPÍTULO III

ENSAYOS PARA REALIZAR ANÁLISIS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO FINO CON POLIPROPILENO EXPANDIDO

En este capítulo se describe los materiales en estudio, el suelo y el polipropileno expandido utilizadas en la investigación. Así mismo, se desarrollan los ensayos ejecutados para la caracterización física y mecánica del suelo natural y de las muestras reforzadas (granulometría, límites de consistencia, compactación y CBR). Estos ensayos permiten obtener un registro de los parámetros que se requieren para lograr los objetivos establecidos.

3.1 UBICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO

El suelo fue extraído de un sector ubicado en barrio Las Flores, Municipio de Cercado de 1850 msnm. El material empleado para la investigación es un suelo fino de la zona poco habitada, por lo tanto, la pureza de la misma está garantizada.

Figura 3.1 Ubicación de la extracción de la muestra



Fuente: Elaboración propia..

Los Chapacos			
Coordenadas geográficas		Coordenadas UTM	
64°44'13.41"	21°30'16.92"	320063.00	7620994.00

3.2 CRITERIOS DE MUESTREO

3.2.1 Selección de la técnica de muestreo

Para el presente proyecto, el método, para determinar el tamaño de muestra, será un método probabilístico: El muestreo estratificado consiste en dividir el proyecto en partes o sub estratos, en nuestro caso son los diferentes tipos de ensayos que se realizará para llegar a nuestro objetivo.

Para el muestreo se procedió a recoger el material, realizando una excavación y verificando que esté libre de materia orgánica.

Figura 3.2 Excavación y limpieza del punto de extracción



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.3 Limpieza de la zona de muestreo



Fuente: Elaboración propia.

La muestra tomada se la coloco en losas de nylon para la caracterización del mismo y sobre todo para evitar la pérdida de la humedad natural del suelo para así tener resultados propios de la misma.

Figura 3.4 Extracción y guardado de la muestra



Fuente: Elaboración propia.

Los procedimientos de muestreo son las técnicas que se aplican para obtener muestras de suelo, alteradas o inalteradas durante una exploración del subsuelo.

Muestra alterada: Una muestra alterada se define como aquella donde parte de ella o toda, ha sufrido una alteración tal, que ha perdido la estructura que poseía in-situ. En general las muestras alteradas se usan para la identificación del suelo como ser:

Análisis granulométrico

Determinación de los límites líquido y plástico

Clasificación del suelo

Figura 3.5 Extracción muestra alterada



Fuente: Elaboración propia.

Muestra inalterada: Es aquella muestra que preserva, en la medida de lo posible, la estructura y el contenido de humedad para que represente realmente las condiciones de campo.

Para este trabajo de tesis de grado, las muestras con la que se trabajan son de tipo alterada debido a que los ensayos que se realizan son de tipo identificativo para la caracterización, para esto se someten a estudios mediante el cual se determinan sus propiedades físicas y mecánicas.

Un procedimiento adecuado de muestreo, facilitarán la correlación de los respectivos datos con propiedades ingenieriles.

3.2.2 Tamaño de muestra

3.2.2.1 Datos para el cálculo del tamaño de muestra

Tabla 3.1 Datos para el cálculo del tamaño de muestra

Datos para el cálculo	
Confiabilidad	95 %
Margen de error	5 %
Distribución normal “z”	1,96
Desviación estándar	0,10

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.2 Números de ensayos

Tabla 3.2 Ensayos de CBR con suelo modificado

Porcentaje de polipropileno	Longitud de Polipropileno expandido (cm)	CBR
Natural	-	1
1% Polipropileno 50 gr	1.75	1
	3.50	1
	7.00	1
2% Polipropileno 100 gr	1.75	1
	3.50	1
	7.00	1

Fuente: Elaboración propia.

3.3 LABORATORIOS REALIZADOS

3.3.1 Granulometría

Con el objetivo de determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas del material en estudio se realizan el ensayo de granulometría por el método de lavado y por hidrómetro.

Figura 3.6 Granulometría



Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.1 Método del lavado

Este procedimiento cubre la determinación de la cantidad de material más fino que el tamiz de $75\mu\text{m}$ (N° 200) en suelo por lavado en base a la norma AASHTO T 11-99 (Para mayor información consultar norma). Partículas de arcilla y otras partículas de agregado que se dispersan por el agua de lavado, así como materiales solubles en agua, pueden ser removidas del suelo durante este ensayo.

Secar la muestra de ensayo hasta alcanzar una masa constante, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$). Determinar la masa con una precisión del 0,1 por ciento de la masa de la muestra de ensayo.

Después de secar y determinar la masa, colocar la muestra de ensayo en la bandeja y agregar suficiente agua para cubrirla. Ningún detergente, agente dispersante, u otra sustancia se añadirá al agua. Agitar la muestra con suficiente vigor para que haya una separación completa de todas las partículas más finas que el tamiz de $75\mu\text{m}$ (N° 200) de las partículas más gruesas, y que el material fino quede en suspensión. El uso de una cuchara grande u otra herramienta similar para revolver y agitar el suelo en el agua de lavado tiene resultados satisfactorios. Inmediatamente vierta el agua de lavado conteniendo los sólidos suspendidos y disuelva sobre el tamiz N° 200.

Regresar todo el suelo retenido en el tamiz N° 200, limpiando con un chorro de agua la muestra lavada. Secar el suelo lavado hasta obtener masa constante a una temperatura de

110 ± 5 ° C (230 ± 9 ° F) y determinar la masa con una precisión del 0,1 por ciento de la masa original de la muestra.

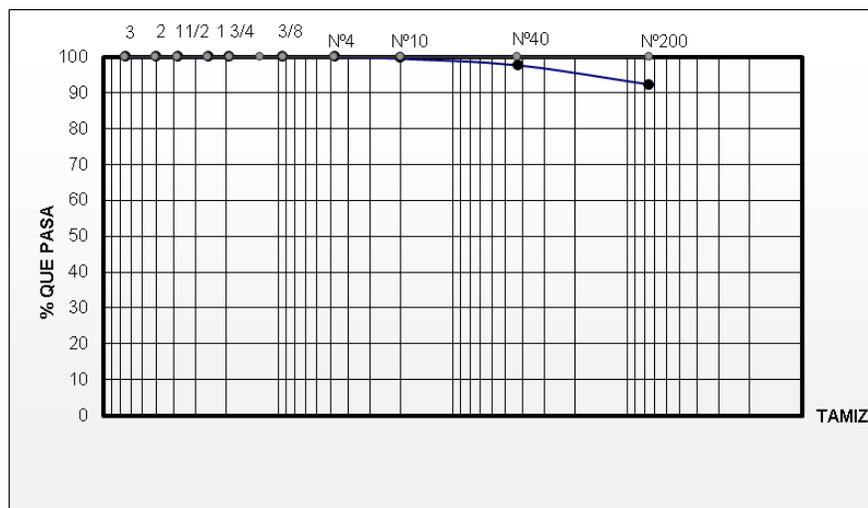
Se debe tamizar los suelos por las mallas 10, 40 y 200 y sacar sus respectivos pesos para generar la granulometría.

Tabla 3.3 Granulometría

Peso Total (gr.)			2000 Ret. Acum (gr)	A.S.T.M.	
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)		% Ret	% Que Pasa del Total
3"	75	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº10	2,00	7,65	7,65	0,38	99,62
Nº40	0,425	37,68	45,33	2,27	97,73
Nº200	0,075	110,22	155,55	7,78	92,22

Fuente: Elaboración propia.

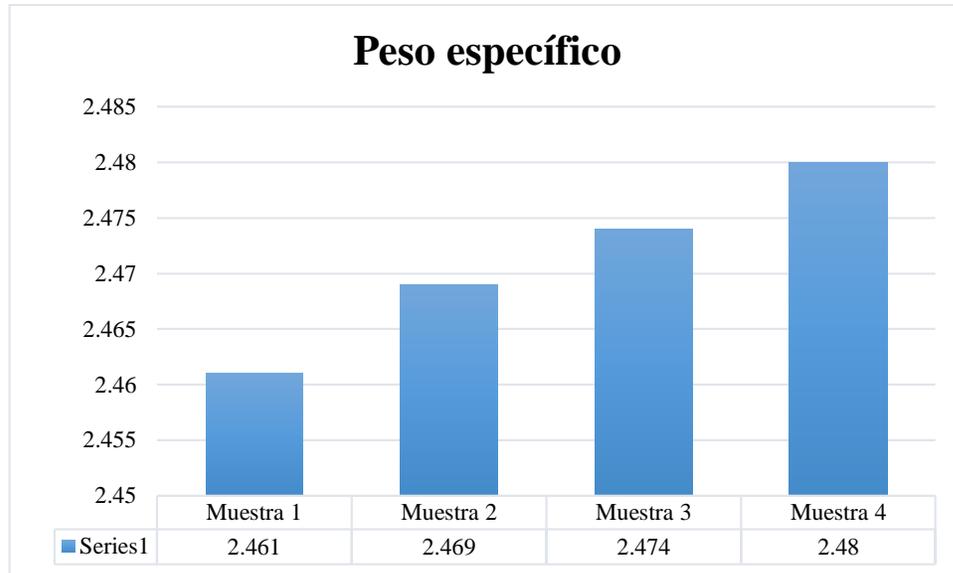
Gráfica 3.1 Granulometria



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Resultados de la caracterización del suelo en estudio

Tabla 3.4 Resultado de las muestras del peso específico



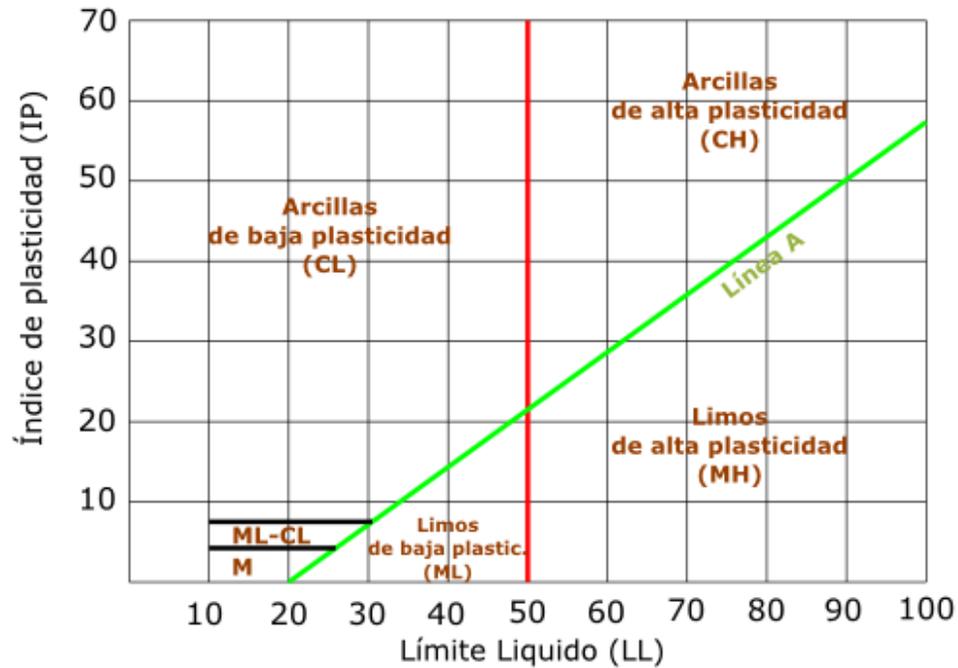
Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que en la determinación del peso específico los resultados son prácticamente idéntico con poca variación donde el menor valor es 2.461 y el mayor 2.480. Para clasificar el suelo mediante el método USCS se utilizó los resultados de los límites de atterberg y se utilizó la siguiente gráfica:

Límite Líquido (LL) 33
Límite Plástico (LP) 31
Índice de plasticidad (IP) 3

Gráfica 3.2 Clasificación por el método USCS

Gráfica de plasticidad del USCS



Fuente: plataformadigitaldi.ugto

Para la clasificación por el método AASHTO se utilizó la siguiente tabla:

% pasa el tamiz 40: 97.73 %

Límite líquido: 33

Índice de plasticidad: 3

Tabla 3.5 Clasificación método AASHTO

Clasificación General	Material Granular						Material limo arcillosos				
	A-1		A-2				A-3	A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A-1a	A-1b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6
% pasante											
#10	50% máx										
#40	30% máx	50% máx									
#200	15% máx	25% máx	35% máx	35% máx	35% máx	35% máx	51% mín	36% mín	36% mín	36% mín	36% mín
Características del material que pasa por el tamiz #40											
LL			40% máx	41% mín	40% máx	41% mín	N.P.	40% máx	41% mín	40% máx	41% mín
Ip	6% máx	6% máx	10% máx	10% máx	11% mín	11% mín		10% máx	10% máx	11% mín	11% mín
Ig	0	0	0	0	4 máx	4 máx	0	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
Tipo de material	Fragmentos pétreos de gravas y arenas		Gravas y arenas, limosas y arcillosas				Arena fina	Suelos limosos		Suelos arcillosos	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6 Caracterización del suelo

Clasificación del suelo		Descripción
SUCS:	ML	Limo inorgánico de baja plasticidad
AASHTO:	A-4	

Fuente: Elaboración propia.

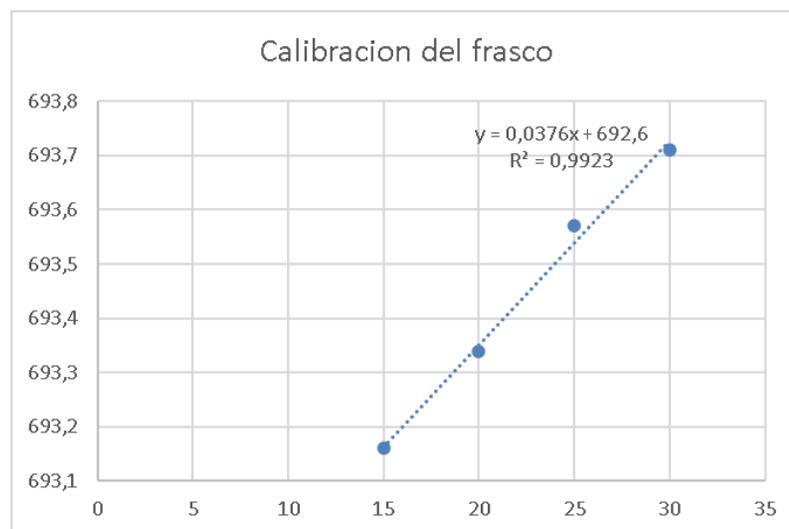
3.3.3 Peso específico

Tabla 3.7 Peso específico

Numero de ensayo	1	2	3	4	Promedio
Temperatura ensayada °C	30,00	25,00	20,00	15,00	2,471
Peso del suelo seco W _s	80,00	80,00	80,00	80,00	
Peso del frasco + agua W _{fw}	693,73	693,54	693,35	693,16	
Peso del frasco + agua + suelo W _{fws}	740,97	740,89	740,77	740,65	
Peso específico	2,442	2,450	2,455	2,460	
Factor de corrección K= 0,9923	0,99230	0,99230	0,99230	0,99230	
Peso específico corregido	2,461	2,469	2,474	2,480	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.3 Peso específico



Fuente: Elaboración propi

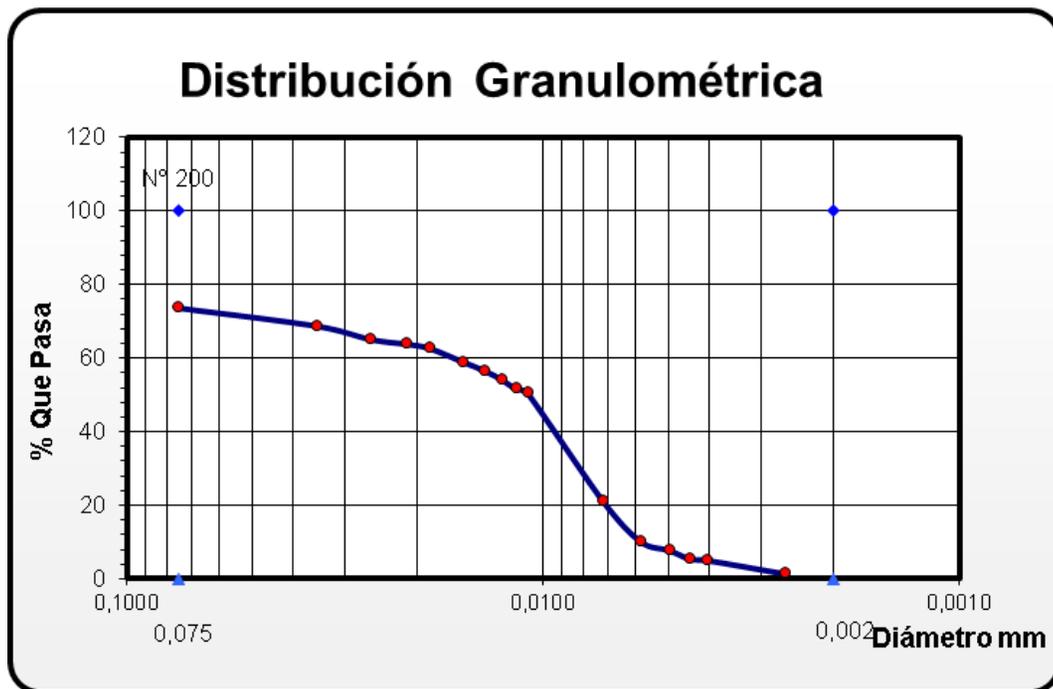
3.3.4 Hidrómetro

Tabla 3.8 Tabla de cálculo, Hidrómetro

DIA	Hora de Lectura	Tiempo Transc. min.	Temp. °c.	Lectura Real R'.	Lectura Correg R.	Prof. Efec. L	Constante K Tabla	L/t	Ct	Lectura Correg Rc.	Diam. Partícula mm	% Mas Fino
0	09:17	0	20	59	60	6,5	0,01410	0	0,200	60,200	0,075	73,75
0	09:18	1	20	55	56	7,1	0,01410	7,100	0,200	56,200	0,0349	68,85
0	09:19	2	20	52	53	7,8	0,01410	3,900	0,200	53,200	0,0259	65,17
0	09:20	3	20	51	52	7,9	0,01410	2,633	0,200	52,200	0,0212	63,95
0	09:21	4	20	50	51	8,1	0,01410	2,025	0,200	51,200	0,0186	62,72
0	09:23	6	20	47	48	8,4	0,01410	1,400	0,200	48,200	0,0155	59,05
0	09:25	8	20	45	46	8,8	0,01410	1,100	0,200	46,200	0,0137	56,60
0	09:27	10	20	43	44	9,1	0,01410	0,910	0,200	44,200	0,0125	54,15
0	09:29	12	20	41	42	9,4	0,01410	0,783	0,200	42,200	0,0116	51,70
0	09:31	14	20	40	41	9,6	0,01410	0,686	0,200	41,200	0,0108	50,47
0	10:01	44	20	16	17	13,5	0,01410	0,307	0,400	17,400	0,0072	21,32
0	10:31	74	20	7	8	15	0,01410	0,203	0,400	8,400	0,0058	10,29
0	11:01	104	20	5	6	15,3	0,01410	0,147	0,400	6,400	0,0050	7,84
0	11:31	134	20	3	4	15,6	0,01410	0,116	0,400	4,400	0,0044	5,39
1	12:01	164	20	3	4	15,6	0,01410	0,095	0,200	4,200	0,0040	5,15
1	16:00	403	20	0	1	16,1	0,01410	0,040	0,200	1,200	0,0026	1,47

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.4 Curva Granulométrica del Hidrómetro



Fuente: Elaboración propia.

3.3.5 Límites

3.3.5.1 Límite líquido

El ensayo para hallar los límites de consistencia se realizó según ASTM – D427 / D 4318. Se mezcla bien el material hidratado, inmediatamente antes de iniciar el ensayo.

Tomar con la espátula una porción de suelo y colóquela en la copa de latón del dispositivo de casa grande, distribuyéndola con el menor número de golpes de espátula posibles, hasta que se obtenga un espesor de aproximadamente 10 mm como máximo y se deje nivelada la superficie en un plano horizontal.

El suelo remanente se devuelve al plato, luego se divide la masa del suelo de la copa de Casagrande utilizando un ranurador, trazando una línea del punto más alto al punto más bajo en el borde de la copa, cuando haga la ranura, sostenga el acanalador contra la superficie de la copa de latón haciendo un movimiento circular de adelante hacia atrás. Manteniéndolo perpendicular a la superficie de la copa de Casagrande durante todo el movimiento.

Para el cálculo de límite líquido del suelo se realizó cuatro ensayos con los cuales se obtuvo los siguientes datos.

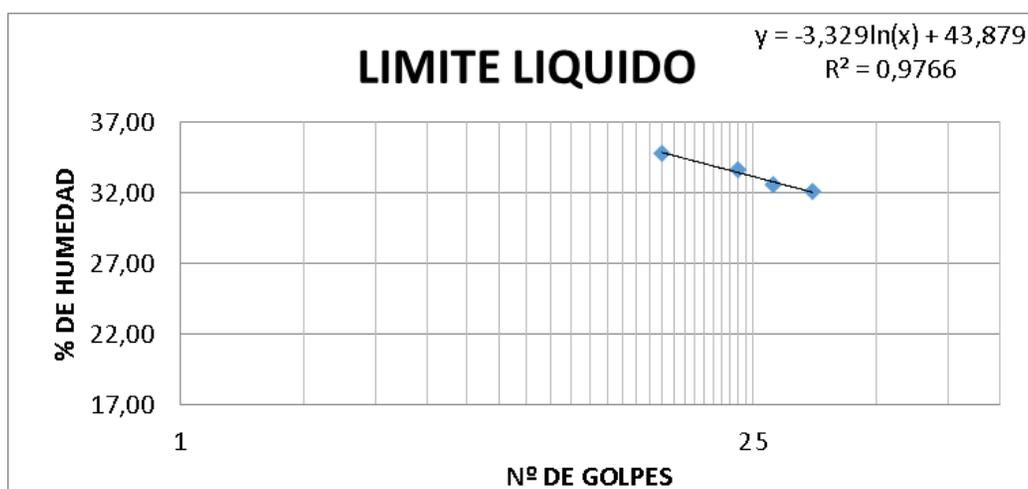
Tabla 3.9 Límite Líquido

Capsula N°	1	2	3	4
N° de golpes	15	23	28	35
Suelo Húmedo + Cápsula	44,30	41,80	44,20	40,90
Suelo Seco + Cápsula	36,15	34,29	36,71	34,15
Peso del agua	8,15	7,51	7,49	6,75
Peso de la Cápsula	12,74	11,98	13,71	13,12
Peso Suelo seco	23,41	22,31	23	21,03
Porcentaje de Humedad	34,81	33,66	32,57	32,10

Fuente: Elaboración propia.

Los datos conseguidos se plasmaron en la Figura 3-3 con su respectiva línea de tendencia logarítmica. Para obtener el valor del LL se ubica el punto de cruce de dicha línea de tendencia a los 25 golpes. Dando como valor del límite líquido, 33%.

Gráfica 3.5 Límite Líquido



Fuente: Elaboración propia.

3.3.5.2 Límite Plástico

El ensayo se realizó con 3 muestras previamente seleccionada, se da forma alargada a la mitad de la muestra y sobre una superficie lisa se rueda con los dedos o con la ayuda de un vidrio de reloj para formar un cilindro. Los segmentos de la muestra se colocan en un recipiente para determinar el contenido de humedad. Se repite el ensayo 2 veces más.

Seleccione la muestra del espécimen de suelo preparado para el ensayo de límite líquido o del suelo restante de dicho ensayo. Luego reduzca el contenido de humedad del suelo

hasta que posea una consistencia en la cual pueda rolarse sin adherirse a las manos cuando sea extendido o se mezcle continuamente en una superficie plana y horizontal.

Seleccione una porción de suelo de la muestra que se tomó anteriormente para formar una pasta elipsoidal. Luego role esta masa de suelo colocándola entre la palma de la mano o los dedos y una superficie horizontal lisa con suficiente presión, hasta hacer un hilo de diámetro uniforme de aproximadamente 3 mm a lo largo de su longitud en un lapso de tiempo máximo de 2 minutos.

Tabla 3.10 Límite Plástico

Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula	18,40	19,00	17,00
Peso de suelo seco + Cápsula	17,29	17,75	16,02
Peso de cápsula	13,95	13,48	12,68
Peso de suelo seco	3,34	4,27	3,34
Peso del agua	1,11	1,25	0,98
Contenido de humedad	33,23	29,27	29,34

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.11 Resultados de los límites de Atterberg

Límite Líquido (LL) 33
Límite Plástico (LP) 31
Índice de plasticidad (IP) 3
Índice de Grupo (IG) 8

Fuente: Elaboración propia.

3.3.6 Humedad natural y clasificación

Para el contenido de humedad del suelo en su estado natural se procedió a tomar 3 muestras, pesarlas antes de meter al horno y luego pesarla sacándola una vez transcurridas las 24 horas.

3.3.6.1 Contenido de humedad

Materiales

Recipiente de taras

Balanza de precisión de 0.01gr

Horno con regulador de temperatura

Fundamentación teórica

El contenido de humedad es una masa de suelo, está formada por suma de aguas libre, capilar e higroscópica.

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_{ss}} * 100$$

W = Contenido de humedad (%)

Ww = Peso del agua presente en el suelo

Wss = Peso del suelo después del secado del horno

Método del horno

Se toma una muestra representativa de suelo.

Luego se coloca la muestra en las taras.

Se debe pesar muestra de suelo más tara.

Se coloca al horno por 14 horas en temperaturas 110+/- 5 grados.

Sacar y pesar el suelo seco más tara.

Por último, pesar las taras.

Tabla 3.12 Humedad natural

Humedad Natural			
Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula	72,8	74,24	72,65
Peso de suelo seco + Cápsula	68,79	70,11	68,54
Peso de cápsula	13,56	13,4	13,38
Peso de suelo seco	55,23	56,71	55,16
Peso del agua	4,01	4,13	4,11
Contenido de humedad	7,26	7,28	7,45
PROMEDIO	7,33		

Fuente: Elaboración propia.

3.3.7 Compactación

Para realizar el ensayo de compactación Proctor Modificado T- 180 para ello se utilizó un molde de forma cilíndrica de 1 litro que procedimos a rellenar con 5 capas de material, cada una adecuadamente compactada mediante un martillo estándar de 4.54 kg que se deja caer libremente desde una altura de 45.7 cm. En la Tabla 3.10 se presentan los datos anotados durante el ensayo realizado a 4 muestras del suelo natural.

3.3.7.1 Material y equipo

Molde cilíndrico de compactación normalmente de acero o aluminio, con una camisa superior del mismo material. El molde descansa sobre una base metálica, la cual posee también dos tornillos que permiten la conexión entre el molde y la camisa superior. Aunque existen dos tamaños de moldes, este manual se encarga del procedimiento efectuado con el molde T-180.

Nota: el cálculo final del ensayo requiere el volumen del molde, por lo que éste debe tomarse con la mayor precisión posible y se recomienda que este valor este marcado en las paredes inferiores del molde.

Figura 3.7 Materiales para la compactación



Elaboración propia.

Martillo de compactación: Martillo especial, normalmente de operación mecánica utilizado para compactar la masa de suelo con número de golpes y procedimiento específico y a una altura fija. Su diámetro es de aprox. 50.8 mm, su peso de 4536 gramos y una altura de caída de 457,2 mm.

Regla metálica: Debe ser de acero y lo suficientemente rígida y larga para realizar el enrasado sin ningún problema.

Horno de secado: Con capacidad para mantener temperaturas constantes de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

Balanza de precisión: Con precisión de 0,1 g, previamente calibradas.

TamizN4: La malla del tamiz debe estar en perfecto estado. El operario debe verificar que sus bordes no presenten desprendimiento con la pared del tamiz y que ninguno de sus hilos se encuentre fracturado.

3.3.7.2 Preparación de la muestra de ensayo

Seque la muestra al aire o en un horno de secado a una temperatura de 60°C, luego desmenuce todos los grumos existentes utilizando un mortero y pistilo.

Tamice en la malla N° 4 una cantidad representativa de material pulverizado, lo suficiente para realizar 5 puntos y descarte el material retenido en ella.

Calcule la humedad natural del suelo, tomando en cuenta la siguiente ecuación:

$$V_w = \frac{\%W_{ensayado} - \%W_{actual}}{100} * W_{ss}$$

Donde:

V_w = Volumen de agua

%W= Porcentaje de humedad

W_{ss}= Peso de suelo seco

Deposite cada muestra en una bandeja metálica y mezcle manualmente, con la cantidad de agua necesaria, utilice una probeta 1000 ml y déjelas reposar durante 16 horas.

3.3.7.3 Compactación de la muestra

Ensamble la placa en el molde y con el collarín asegurándolo correctamente, luego coloque el molde en una superficie plana y rígida, para que se realice el ensayo sin ningún tipo de error, inmediatamente ubique en el molde el suelo anteriormente preparado hasta crear una capa de espesor uniforme y que pueda ocupar la quinta parte del molde. Posteriormente el suelo colocado en el molde, compacte utilizando un martillo apisonador dejándolo caer desde la altura de la manga, proporcionando 56 golpes.

Remueva el collarín del molde y desbaste cuidadosamente el suelo compactado hasta aplanar la parte superior del molde y utilice una regla enlazadora (llene los agujeros y presione con los dedos para luego emparejar con la regla enlazadora), desmonte la placa base del molde, después limpie la parte externa del molde con una brocha. Posteriormente determine la masa del molde compactado (sin placa base) y registre en una balanza de 1 g de precisión.

Imagen 3-1 Molde de compactación



Fuente: Elaboración propia.

Extraiga el espécimen compactado, luego corte en 4 porciones el espécimen y calcule una masa de 30 g por cada porción y luego coloque en taras debidamente pesadas. Luego obtenga la masa de cada porción humedad utilizando la balanza de 0,1 g de legibilidad. Seguidamente coloque al horno a una temperatura que no sobrepase los 60° C en un tiempo mínimo de 24 horas y por último una vez sacados del horno deje enfriar, para tomar la masa seca de cada porción de suelo.

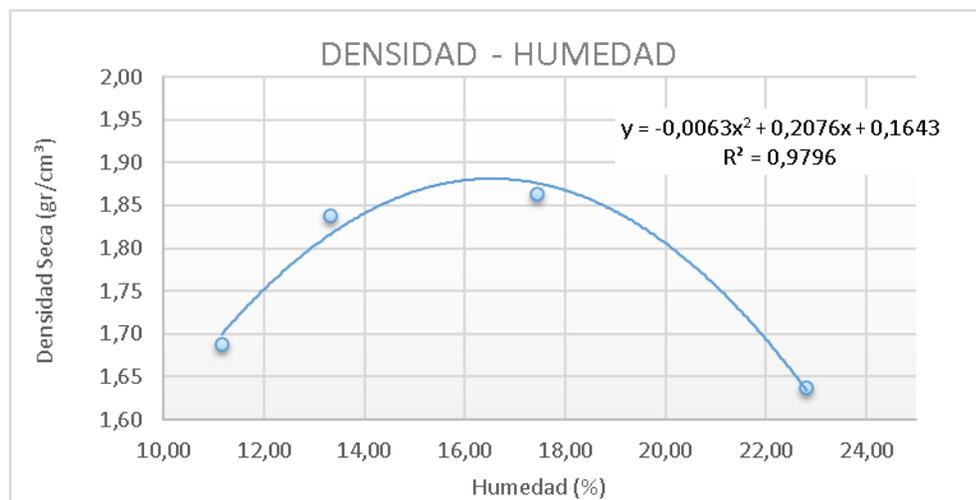
Ejecute el paso anterior en 6 ocasiones con los contenidos de humedad dependiendo los valores de compactación que se requieran.

Tabla 3.13 Compactación T-180 suelo natural

Ensayo	1	2	3	4
Nº de capas	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	56	56	56	56
Peso molde + suelo húmedo (gr)	10430,0	10865,0	11090,0	10715,0
Peso molde (gr)	6450	6450	6450	6450
Peso suelo húmedo (gr)	3980	4415	4640,0	4265
Volumen de la muestra (cm ³)	2120,6	2120,6	2120,6	2120,6
Densidad de suelo húmedo (gr/cm ³)	1,88	2,08	2,19	2,01
Capsula Nº	1	2	3	4
Peso de suelo húmedo + capsula (gr)	79,8	112,67	99,53	99,99
Peso de suelo seco + capsula (gr)	73,01	100,91	86,76	83,95
Peso del agua (gr)	6,79	11,76	12,77	16,04
Peso de la capsula (gr)	12,17	12,61	13,50	13,6
Peso de suelo seco (gr)	60,84	88,30	73,26	70,35
Contenido de humedad (%)	11,16	13,32	17,43	22,80
Densidad de suelo seco (gr/cm ³)	1,69	1,84	1,86	1,64

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.6 Densidad y Humedad



Fuente: Elaboración propia.

Densidad Máxima	1,87 gr/cm ³
Humedad Óptima	16,48 %

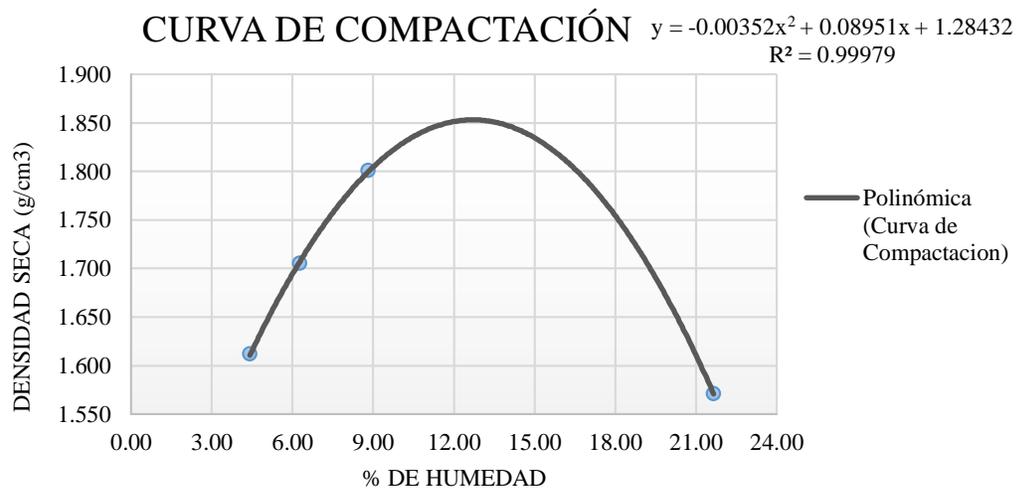
3.3.7.4 Ensayos de compactación para la determinación del contenido óptimo del polipropileno expandido

Tabla 3.14 Compactación T-180 con 0.5% de polipropileno

Numero de Ensayos		1	2	3	4
Peso suelo húmedo + molde	(gr.)	4128.5	4259.7	4409.5	4360.5
Peso suelo húmedo	(gr.)	1712.0	1843.2	1993.0	1944.0
Volumen de la muestra	(cm ³)	1017.11	1017.11	1017.11	1017.11
Densidad suelo húmedo	(gr/cm ³)	1.68	1.81	1.96	1.91
Numero de capsula		1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula	(gr.)	114.7	100.5	98.6	119.1
Peso suelo seco + cápsula	(gr.)	110.5	95.6	92.1	100.9
Peso del agua	(gr.)	4.2	4.9	6.5	18.2
Peso de la cápsula	(gr.)	16.3	17.5	17.9	17.0
Peso suelo seco	(gr.)	94.2	78.1	74.2	83.9
Contenido de humedad	(%)	4.42	6.27	8.81	21.66
Densidad suelo seco	(gr/cm ³)	1.612	1.705	1.801	1.571

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.7 Densidad y Humedad, compactación al 0.5 % del polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

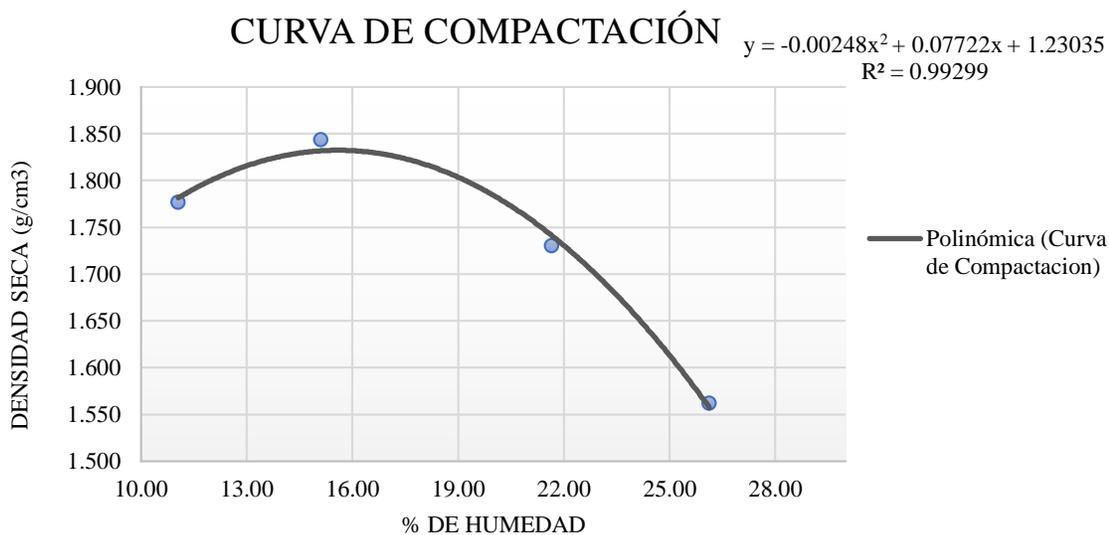
Densidad Máxima	1,85 gr/cm ³
Humedad Óptima	12.71 %

Tabla 3.15 Compactación T-180 con 1.0 % de polipropileno

Numero de Ensayos		1	2	3	4
Peso suelo húmedo + molde	(gr.)	4423.0	4574.5	4557.5	4420.0
Peso suelo húmedo	(gr.)	2006.5	2158.0	2141.0	2003.5
Volumen de la muestra	(cm ³)	1017.11	1017.11	1017.11	1017.11
Densidad suelo húmedo	(gr/cm ³)	1.97	2.12	2.10	1.97
Numero de capsula		1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula	(gr.)	115.4	106.0	98.4	101.4
Peso suelo seco + cápsula	(gr.)	105.3	94.2	83.5	83.4
Peso del agua	(gr.)	10.1	11.8	14.9	18.0
Peso de la cápsula	(gr.)	14.1	16.3	14.8	14.5
Peso suelo seco	(gr.)	91.2	78.0	68.8	69.0
Contenido de humedad	(%)	11.06	15.10	21.66	26.13
Densidad suelo seco	(gr/cm ³)	1.776	1.843	1.730	1.562

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.8 Densidad y Humedad, compactación al 1.0 % del polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

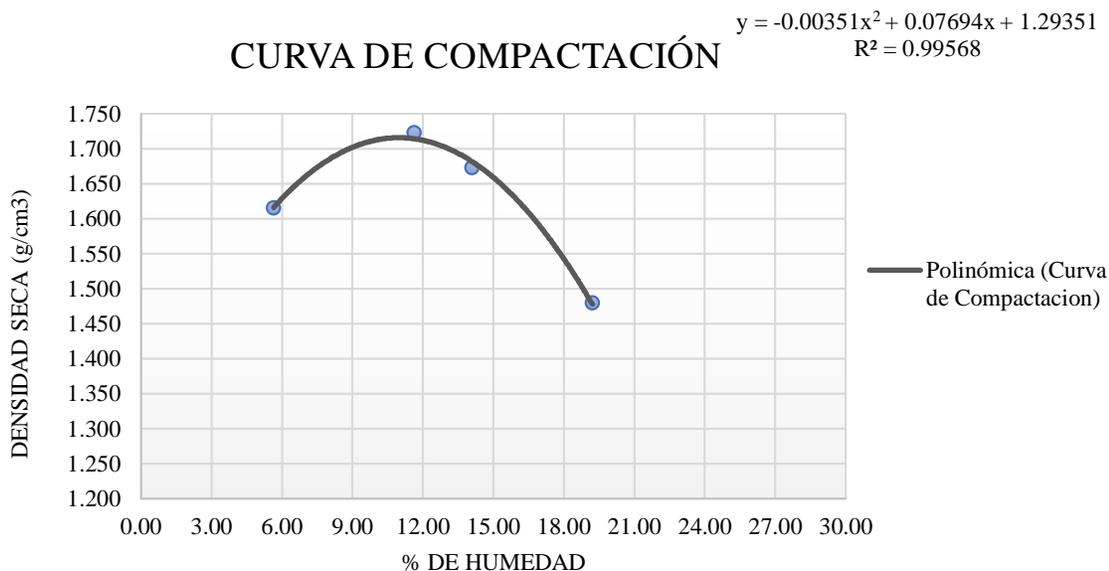
Densidad Máxima	1.83 gr/cm ³
Humedad Óptima	15.57 %

Tabla 3.16 Compactación T-180 con 1.5 % de polipropileno

Numero de Ensayos	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + molde (gr.)	4151.5	4372.0	4358.0	4210.3
Peso suelo húmedo (gr.)	1735.0	1955.5	1941.5	1793.8
Volumen de la muestra (cm ³)	1017.11	1017.11	1017.11	1017.11
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1.71	1.92	1.91	1.76
Numero de capsula	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula (gr.)	81.1	120.3	118.6	110.1
Peso suelo seco + cápsula (gr.)	77.7	109.2	105.8	95.0
Peso del agua (gr.)	3.4	11.1	12.7	15.1
Peso de la cápsula (gr.)	16.5	14.2	15.7	16.3
Peso suelo seco (gr.)	61.2	95.0	90.2	78.7
Contenido de humedad (%)	5.64	11.63	14.11	19.22
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1.615	1.722	1.673	1.479

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.9 Densidad y Humedad, compactación al 1.5 % del polipropileno



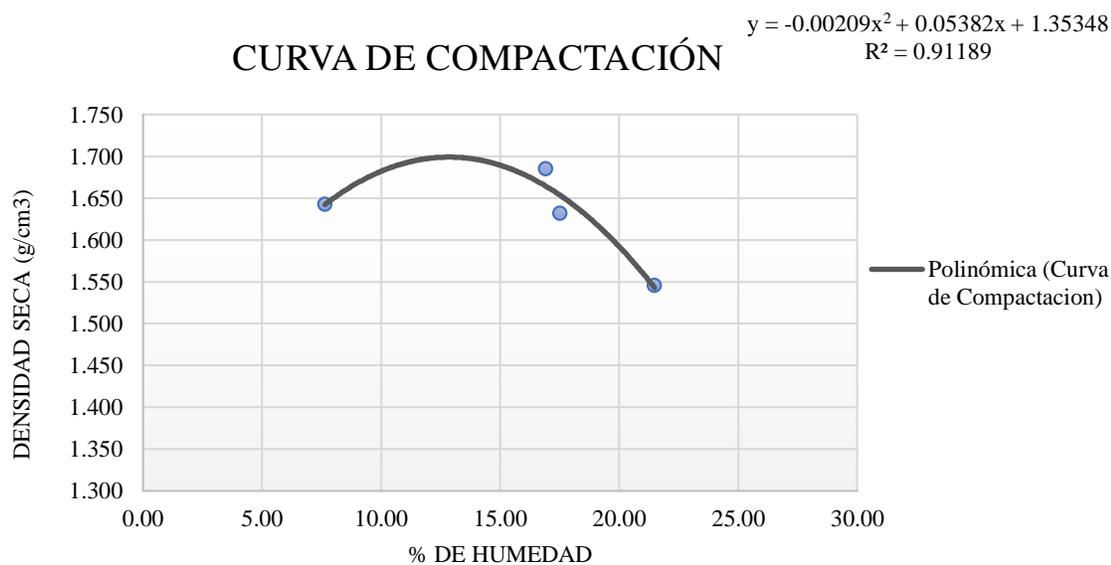
Densidad Máxima	1,72 gr/cm ³
Humedad Óptima	10,96 %

Tabla 3.17 Compactación T-180 con 2.0 % de polipropileno

Numero de Ensayos		1	2	3	4
Peso suelo húmedo + molde (gr.)		4214.5	4420.3	4366.6	4325.7
Peso suelo húmedo (gr.)		1798.0	2003.8	1950.1	1909.2
Volumen de la muestra (cm ³)		1017.11	1017.11	1017.11	1017.11
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)		1.77	1.97	1.92	1.88
Numero de capsula		1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula (gr.)		117.4	77.6	93.1	119.7
Peso suelo seco + cápsula (gr.)		110.1	68.5	81.6	101.3
Peso del agua (gr.)		7.3	9.1	11.5	18.4
Peso de la cápsula (gr.)		14.6	14.5	16.3	15.8
Peso suelo seco (gr.)		95.5	54.0	65.3	85.5
Contenido de humedad (%)		7.65	16.92	17.52	21.49
Densidad suelo seco (gr/cm ³)		1.642	1.685	1.631	1.545

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.10 Densidad y Humedad, compactación al 2.0 % del polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

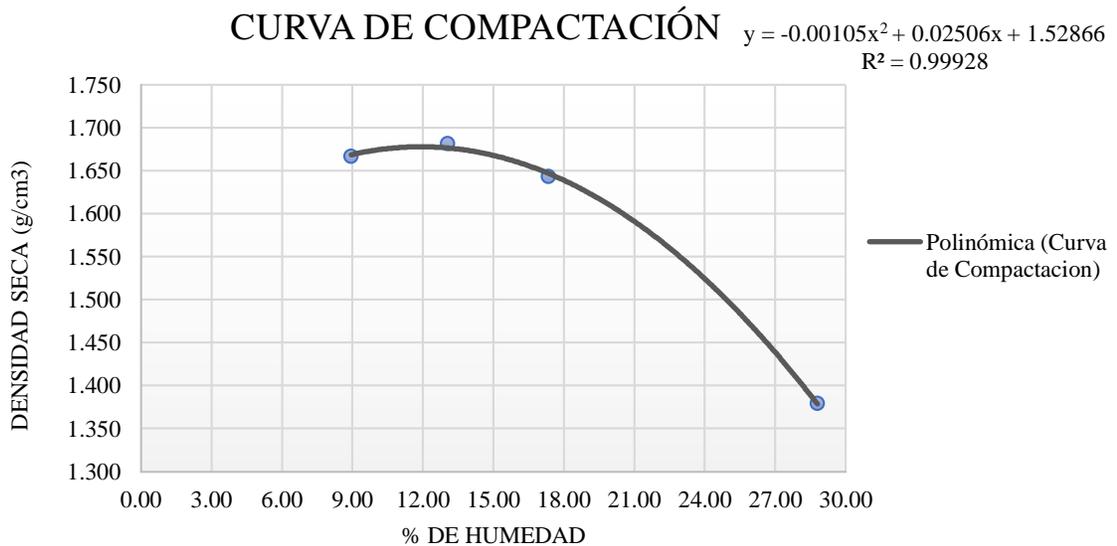
Densidad Máxima	1,70 gr/cm ³
Humedad Óptima	12.88 %

Tabla 3.18 Compactación T-180 con 2.5 % de polipropileno

Numero de Ensayos		1	2	3	4
Peso suelo húmedo + molde (gr.)		4350.5	4378.0	4222.9	4263.0
Peso suelo húmedo (gr.)		1934.0	1961.5	1806.4	1846.5
Volumen de la muestra (cm ³)		1017.11	1017.11	1017.11	1017.11
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)		1.90	1.93	1.78	1.82
Numero de capsula		1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula (gr.)		102.0	104.0	100.0	114.4
Peso suelo seco + cápsula (gr.)		92.1	91.0	81.2	106.2
Peso del agua (gr.)		9.9	13.0	18.8	8.2
Peso de la cápsula (gr.)		16.3	16.2	15.9	14.8
Peso suelo seco (gr.)		75.8	74.8	65.3	91.4
Contenido de humedad (%)		13.06	17.35	28.79	8.94
Densidad suelo seco (gr/cm ³)		1.682	1.643	1.379	1.667

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.11 Densidad y Humedad, compactación al 2.5 % del polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

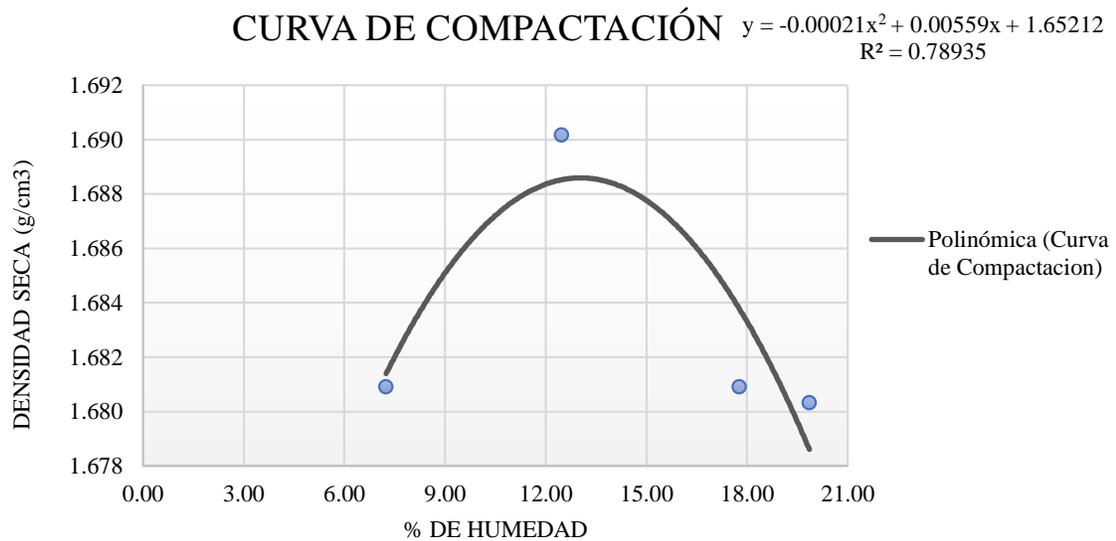
Densidad Máxima	1,68 gr/cm ³
Humedad Óptima	11.93 %

Tabla 3.19 Compactación T-180 con 3.0 % de polipropileno

Numero de Ensayos	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + molde (gr.)	4350.0	4465.0	4430.0	4250.0
Peso suelo húmedo (gr.)	1933.5	2048.5	2013.5	1833.5
Volumen de la muestra (cm ³)	1017.11	1017.11	1017.11	1017.11
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1.90	2.01	1.98	1.80
Numero de capsula	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula (gr.)	121.1	103.2	100.7	115.0
Peso suelo seco + cápsula (gr.)	109.5	89.0	88.1	108.3
Peso del agua (gr.)	11.6	14.2	12.6	6.7
Peso de la cápsula (gr.)	16.5	17.5	17.2	15.8
Peso suelo seco (gr.)	93.0	71.5	70.9	92.5
Contenido de humedad (%)	12.47	19.86	17.77	7.24
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1.690	1.680	1.681	1.681

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.12 Densidad y Humedad, compactación al 3.0 % del polipropileno



Densidad Máxima	1,69 gr/cm ³
Humedad Óptima	13.31 %

3.3.8 Diferencia entre el polipropileno en forma granular con la alargada

Previo a la selección del polipropileno se hizo un análisis de cuál será la forma del polipropileno a trabajar, se escogió una forma alargada y una forma granular con los cuales se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 3.20 Tabla de resultados según la forma de polipropileno expandido

	Polipropileno expandido forma alargada			Polipropileno expandido forma granular		
	1%	2%	3%	1%	2%	3%
CBR 100% Dmax	20.18	9.87	8.99	3.1	3.1	2.7
CBR 95% Dmax	19.82	9.35	8.54	2.6	2.7	2.4

Fuente: Elaboración propia.

De donde se puede observar que el mejor resultado se obtuvo del polipropileno en forma alargada tanto en el CBR al 100% y al 95%, respecto a al polipropileno en forma granular que presenta valores muy bajos.

3.3.9 CBR

Con estos equipos se busca conocer la relación entre la penetración que se realiza a un suelo y la capacidad de soporte del mismo, considerando como material de referencia a la piedra triturada, y de esta manera poder caracterizar el suelo que se trate en la ensayo.

El valor relativo de soporte se obtiene de una prueba de penetración, en la cual un vástago de 19,4 cm² de área se hace penetrar en un espécimen de suelo a razón de 0,127 cm/min. Se mide la carga aplicada para penetraciones que varíen en 0,25cm. El CBR se define como la relación expresada en porcentaje, entre la presión necesaria para penetrar los primeros 0,25cm y la presión para tener la misma penetración en un material arbitrario, adoptado como patrón, que es una piedra triturada.

3.3.9.1 Los equipos para la compactación del ensayo

Molde cilíndrico de diámetro inferior de 6” y altura de 7” a 8”, un collarín de 2” de altura, una base perforada, un disco espaciador de acero de 2,5” de altura y un pistón o martillo de 10lb y altura de caída de 18”.

Los equipos para el hinchamiento son un plato y vástago con altura regulable, un trípode y extensómetro, pesas anulares o en forma de herradura dura de 5lb.

Para la penetración, un pistón cilíndrico de 3” cuadradas de sección, un aparato para aplicar la carga, un anillo dinamométrico con extensómetro calibrado, balanzas, hornos, tamices, papel de filtro, etc.

3.3.9.2 Procedimiento para el ensayo del CBR

- **Preparación del suelo**

Para los suelos finos la preparación es mucho más sencillo, además de secar el suelo, de orearlo, lo que se debe hacer es triturarlo al suelo es decir golpearlo con un combo de goma o un mazo de madera para tratar de uniformizar y evitar los conocidos “terroncitos” que se vayan a formar, hasta el punto en el que el suelo tenga una textura homogénea en tamaño para poder realizar el ensayo.

Una vez terminada la pulverización se debe tamizar a través del tamiz N°4 para garantizar la uniformidad en lo que se refiere al tamaño, para facilitar al momento de incorporar el agua y sea posible amasar de manera más sencilla.

- **Compactación de moldes CBR**

Se debe coger los moldes y sacar el collarín a cada uno, se van a necesitar tres moldes para realizar el ensayo, una vez estén los moldes sin collarín se proceden a pesarlos, se va a pesar el molde más su base y además se va a sacar la geometría diámetro y altura para obtener el volumen de cada molde, siguiente se va a identificar cada uno de los moldes. Las bandejas con 6 kg cada una se debe preparar cada una de ellas con el contenido de humedad óptimo de la compactación realizada “CHO”, se procede a ensamblar el molde como se puede observar se tiene la base del molde y el disco espaciador que es un pequeño dispositivo masivo con el mismo diámetro del molde y una altura de 2plg que se va colocar sobre la base.

Sobre el disco espaciador se va colocar un papel filtro y luego se va introducir el molde, siguiente a esto se introduce el collarín.

Una vez ensamblado el molde se va a la bandeja y se va introducir la cantidad de agua que se ha determinado para trabajar con el “CHO” y se procede a amasar el suelo, ya sea granular o fino el procedimiento va a ser el mismo.

Lo que se debe hacer es obtener una muestra en color totalmente homogénea (no como de la imagen una parte oscura y otra clara), de esa manera se garantiza que el agua se ha distribuido de manera homogénea en toda la masa de suelo, se amasa y se va separar en 5 partes en 5 fracciones, porque al molde entran 5 capas.

Una vez introducida la primera fracción (la primera capa), se inicia el proceso del compactado, es importante que el martillo vaya girando alrededor de toda el área transversal, el martillo debe ser como en el proceso de compactación vertical y perpendicular al suelo.

Entonces se compacta el molde 56 golpes, 5 capas, se introduce la primera capa y se dan 56 golpes, siguiente se introduce la segunda capa y se dan 56 golpes, así hasta terminar las 5 capas con 56 golpes cada una

Una vez terminadas las capas se retira el collarín y se procede a enrazar, retirando todo el material excedente desde la superficie del molde, siguiente se va retirar el disco espaciador y se va girar el molde.

Se va a colocar en la base un papel filtro nuevamente en la base del molde y se va a volcar el molde, lo que estaba abajo va salir a la superficie, y la base enrazada va ir a la base inferior.

Siguiente a esto se debe pesar el molde sin el disco, sin nada, solo el molde y la muestra del suelo.

Una vez registrado el peso de cada molde, se procede a colocar el plato y las pesas, estas pesas representan el peso del paquete estructural y hasta ahí termina la etapa de compactación.

- **Determinación de las propiedades expansivas del suelo.**

Una vez que se tiene el molde compactado pesado y el vástago y el plato más las pesas

Se procede a medir la lectura inicial del molde, la condición es cero por decir. Se marca dónde va a ser la posición exacta del soporte, y se hace la lectura en el micrómetro para cada uno de los moldes, luego se coloca a la piscina de saturación.

Se va a dejar los moldes (bien identificados) como se ven en la imagen durante 96 horas, cada 24 horas se va a realizar la lectura, repitiendo este proceso de lectura cada 24 horas hasta llegar a las 96 horas. Una vez que se ha registrado la lectura de 96 horas se van a sacar las muestras de la piscina, se van a sacar los platos y la base que son perforadas y se deja para que escurra el agua, se puede usar papel periódico para evitar que se vayan los finos durante 15 minutos y se procede a pesar de nuevo.

El pistón penetra por el espacio que tiene la pesa de esta manera

Tener muy en cuenta que cuando se está haciendo correr al pistón es con pesas. Se va a medir 0.025 en el micrómetro de la deformación del molde, la penetración esta estandarizada “0.025-0.05-0.075-0.1-0.2-0.3-0.4-0.5 de pulgada”, lo que se va a leer es la deformación del anillo que expresa la carga con la cual está resistiendo el suelo, expresada en una ecuación.

Una vez terminadas las lecturas, se debe retirar el molde y se debe sacar con el extractor para hacer un control de humedad, se debe recortar o fraccionar el molde para sacar de la superficie del centro y de la base pequeñas muestras para colocar al horno, esto es un control

3.3.9.3 Prueba de ensayo de CBR con suelo natural

Tabla 3.21 Contenido de humedad y peso unitario

Nº capas	5,00			5,00			5,00		
Nº golpes por capa	12,00			25,00			56,00		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse	D. de M	Antes de mojarse	D. de M	Antes de mojarse	D. de M	Antes de mojarse	D. de M	
Peso muestra húm.+molde	11505,00	11970,00	12105,00	12475,00	11705,00	11980,00			
Peso Molde	7745,00	7745,00	7970,00	7970,00	7265,00	7265,00			
Peso muestra húmeda	3760,00	4225,00	4135,00	4505,00	4440,00	4715,00			
Volumen de la muestra	1938,42	1938,42	1938,42	1938,42	1938,42	1938,42			
Peso Unit. Muestra Húm.	1,94	2,18	2,13	2,32	2,29	2,43			
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1,00	2,00	3,00	1,00	2,00	3,00	1,00	2,00	3,00
Peso muestra húm + tara	91,50	119,00	140,00	100,00	120,90	102,30	153,60	69,90	107,90
Peso muestra seca + tara	73,60	96,40	114,00	83,10	101,40	85,30	127,40	60,90	92,70
Peso del agua	17,90	22,60	26,00	16,90	19,50	17,00	26,20	9,00	15,20

Peso de tara	18,90	18,99	18,33	18,73	17,44	17,10	18,60	19,20	18,30
Peso de la muestra seca	54,70	77,41	95,67	64,37	83,96	68,20	108,80	41,70	74,40
Contenido humedad %	32,72	29,20	27,18	26,25	23,23	24,93	24,08	21,58	20,43
Promedio cont. Humedad	30,96		27,18	24,74		24,93	22,83		20,43
Peso Unit.muestra seca	1,48		1,71	1,71		1,86	1,86		2,02

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.22 Expansión

Fecha	Hora	Tiempo en días	Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3					
			Lect.		Expansión		Lect.		Expansión		Lect.		Expansión	
			Extens.	CM.	%	Extens.	CM.	%	Extens.	CM.	%			
19-oct	17:30	1	21,2	2,12	0,00	18,78	1,88	0,00	15,42	1,54	0,00			
20-oct	17:30	2	25,3	2,53	2,31	22,96	2,30	2,35	18,04	1,80	1,47			
21-oct	17:30	3	25,38	2,54	2,35	23,35	2,34	2,57	20,34	2,03	2,77			
24-oct	16:30	6	25,99			24,51			23,29					

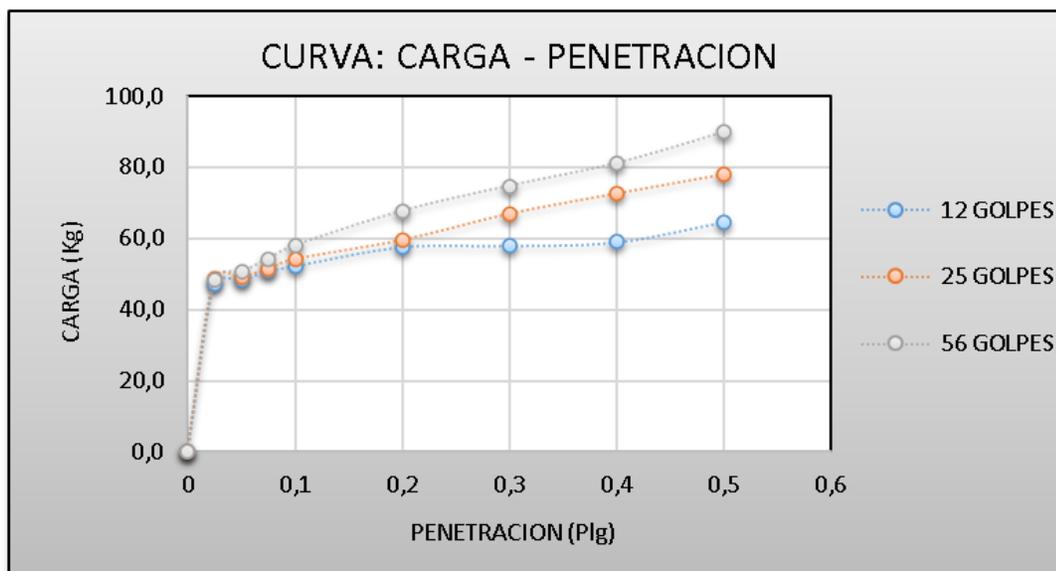
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.23 C.B.R. suelo natural

PENETRACIÓN		CARGA NORMAL	MOLDE N° 12 golpes				MOLDE N° 25				MOLDE N° 56			
			CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG		CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG		CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG	
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm2	Kg	%	Kg	Kg/cm2	Kg	%	Kg	Kg/cm2	Kg	%
0	0		0,0	0			0,0	0			0,0	0		
0,025	0,63		47,2	2,4			48,9	2,5			48,2	2,5		
0,05	1,27		48,2	2,5			49,2	2,5			50,6	2,6		
0,075	1,9		50,9	2,6			51,6	2,7			54,2	2,8		
0,1	2,54	1360	52,2	2,7		3,84	54,2	2,8		3,99	57,9	3,0		4,26
0,2	5,08	2040	57,6	3,0		2,82	59,6	3,1		2,92	67,7	3,5		3,32
0,3	7,62		57,9	3,0			67,0	3,5			74,7	3,9		
0,4	10,16		58,9	3,0			72,7	3,8			81,1	4,2		
0,5	12,7		64,6	3,3			78,1	4,0			89,8	4,6		

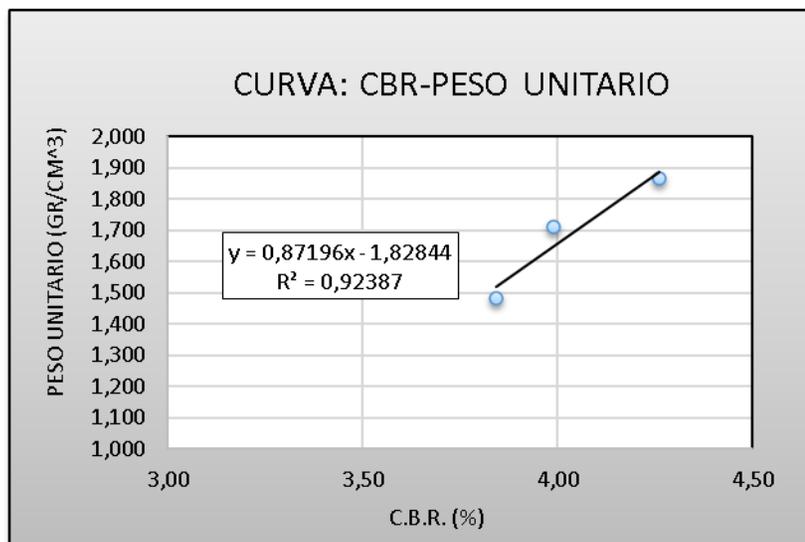
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.13 C.B.R. suelo natural



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.14 Curva CBR - Peso unitario



Fuente: Elaboración propia.

CBR 100% D.máx	4.25	%
CBR 95% D.Máx.	4.14	%

3.3.9.4 Prueba de ensayos de CBR para determinar la longitud óptima

Ensayo de CBR con una longitud del polipropileno expandido de 1.75 cm y un peso de 50 gr

Tabla 3.24 Antes de sumergirse, 1.75 cm con 50 gr

Prueba N°	1	2	3
N° de golpes por capa	56	25	12
Peso Mh+Molde (gr)	12525	11750	11605
Peso del Molde (gr)	7980	7985	7945
Peso Humedo M (gr)	4545	3765	3660
Volumen Molde (cm ³)	3211	3211	3211
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.415	1.173	1.140

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.25 Humedad y peso unitario, 1.75 cm y un peso de 50 gr

N° Golpes	56			25			12		
Peso Mh+Molde (gr)	12665			11945			11850		
Peso del Molde (gr)	7980			7985			7945		
Peso Humedo M (gr)	4685			3960			3905		
Volumen Molde (cm ³)	3211.0			3211.0			3211.0		
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.459			1.233			1.216		
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara+Suelo hum. (gr)	78.71	80.55	68.40	98.50	115.90	101.40	90.50	118.00	120.00
Tara+Suelo seco. (gr)	56.62	66.18	56.32	83.10	100.20	84.40	72.60	94.30	104.00
Peso de agua (gr)	22.09	14.37	12.08	15.4	15.7	17	17.9	23.7	16
Peso Tara (gr)	18.6	19.2	18.3	17.05	17.44	18.15	17.21	17.62	18.30
Peso Suelo seco (gr)	38.02	46.98	38.02	66.05	82.76	66.25	55.39	76.68	85.7
Contenido de Humedad(%)	58.10	30.59	31.77	23.32	18.97	25.66	32.32	30.91	18.67
Promedio cont. Humedad %	44.34		31.77	21.14		25.66	31.61		18.67
Densidad muestra seca (gr/cm ³)	0.981		1.107	0.968		0.981	0.866		1.025

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.26 Expansión, 1.75 cm y 50 gr

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1 = 56 GOLPES			MOLDE N° 2 = 25 GOLPES			MOLDE N° 3 = 12 GOLPES		
			LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION	
			DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%
03-ene	17:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04-ene	17:30	1	179	1.79	1.530	182	1.82	1.560	203	2.03	1.732
05-ene	17:30	2	187	1.87	1.598	229	2.29	1.962	241	2.41	2.056
06-ene	17:30	3	205	2.05	1.752	235	2.35	2.014	245	2.45	2.090
07-ene	17:30	4	223	2.23	1.906	239	2.39	2.048	251	2.51	2.142

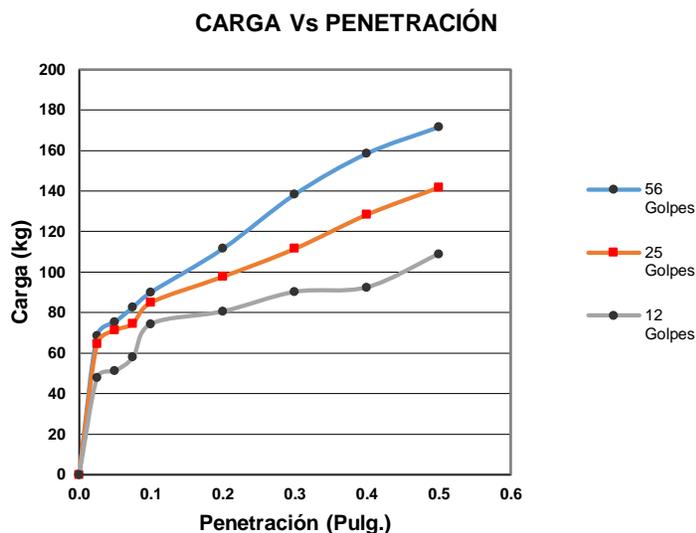
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.27 CBR, 1.75 cm y 50 gr

Pulgadas	(mm)	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)
0.000	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	68.7	68.7	64.6	64.6	47.9	47.9
0.050	1.27	75.4	75.4	71.4	71.4	51.3	51.3
0.075	1.90	82.8	82.8	74.7	74.7	58.0	58.0
0.100	2.54	90.1	90.1	85.1	85.1	74.5	74.5
0.200	5.08	111.6	111.6	97.9	97.9	80.6	80.6
0.300	7.62	138.4	138.4	111.6	111.6	90.3	90.3
0.400	10.16	158.5	158.5	128.4	128.4	92.5	92.5
0.500	12.70	171.6	171.6	141.8	141.8	108.9	108.9

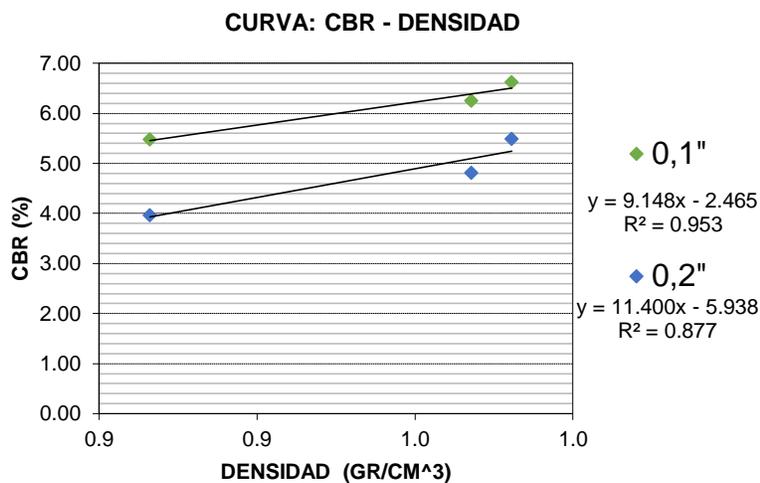
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.15 Carga vs Penetración 1.75 cm y 50 gr



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.16 CBR - Peso unitario, 1.75 cm y 50 gr



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.28 Resultados, 1.75 cm y 50 gr

CBR	100% D.máx	95% D.Máx.
0,1 "	14.68 %	13.83 %
0,2"	15.43 %	14.36 %

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.29 Antes de sumergirse, 3.5 cm con 50 gr

Prueba N°		1	2	3
N° de golpes por capa		56	25	12
Peso Mh+Molde (gr)		11795	11205	11430
Peso del Molde (gr)		7405	7590	7845
Peso Humedo M (gr)		4390	3615	3585
Volumen Molde (cm ³)		3215	3215	3215
Densidad humeda (gr/cm ³)		1.365	1.124	1.115

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.30 Humedad y peso unitario, 3.5 cm y un peso de 50 gr

N° Golpes	56			25			12		
Peso Mh+Molde (gr)	11795			11475			11855		
Peso del Molde (gr)	7405			7590			7845		
Peso Humedo M (gr)	4390			3885			4010		
Volumen Molde (cm ³)	3215.0			3215.0			3215.0		
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.365			1.208			1.247		
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara+Suelo hum. (gr)	84.17	81.16	96.65	110.23	110.90	102.32	91.57	119.01	130.43
Tara+Suelo seco. (gr)	71.69	68.73	85.22	83.11	101.46	85.35	73.62	96.48	114.32
Peso de agua (gr)	12.48	12.43	11.43	27.12	9.44	16.97	17.95	22.53	16.11
Peso Tara (gr)	12.43	13.62	15.02	14.62	12.48	13.21	13.22	12.81	14.33
Peso Suelo seco (gr)	59.26	55.11	70.2	68.49	88.98	72.14	60.4	83.67	99.99
Contenido de Humedad(%)	21.06	22.55	16.28	39.60	10.61	23.52	29.72	26.93	16.11
Promedio cont. Humedad %	21.81		16.28	25.10		23.52	28.32		16.11
Densidad muestra seca (gr/cm ³)	1.121		1.174	0.899		0.978	0.869		1.074

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.31 Expansión, 3.5 cm y 50 gr

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1 = 56 GOLPES			MOLDE N° 2 = 25 GOLPES			MOLDE N° 3 = 12 GOLPES		
			LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION	
			DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%
03-ene	18:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04-ene	18:00	1	162	1.62	1.385	203	2.03	1.740	234	2.34	1.997
05-ene	18:00	2	181	1.81	1.547	230	2.3	1.971	264	2.64	2.253
06-ene	18:00	3	198	1.98	1.692	267	2.67	2.288	277	2.77	2.363
07-ene	18:00	4	237	2.37	2.026	270	2.7	2.314	298	2.98	2.543

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.32 CBR, 3.5cm con 50 gr de polipropileno

Pulgadas	(mm)	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)
0.000	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	70.4	70.4	67.0	67.0	57.9	57.9
0.050	1.27	74.7	74.7	71.4	71.4	61.3	61.3
0.075	1.90	88.1	88.1	78.1	78.1	68.0	68.0
0.100	2.54	119.1	119.1	88.1	88.1	75.1	75.1
0.200	5.08	169.3	169.3	101.6	101.6	81.4	81.4
0.300	7.62	208.8	208.8	128.4	128.4	104.9	104.9
0.400	10.16	235.7	235.7	162.0	162.0	131.8	131.8
0.500	12.70	269.4	269.4	202.2	202.2	151.9	151.9

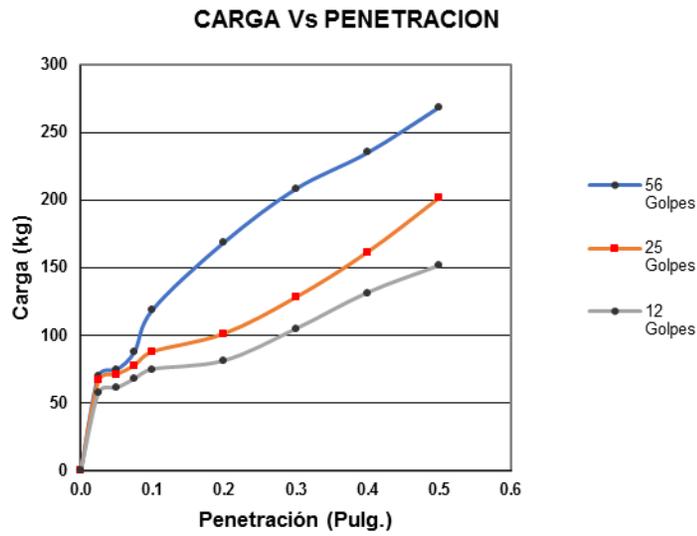
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.33 Resultado 3.5cm con 50 gr de polipropileno

N° GOLPES	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
CARGA Y C.B.R. 0,1"	119.1	8.75	88.1	6.48	75.1	5.52
CARGA Y C.B.R. 0,2"	169.3	8.33	101.6	5.00	81.4	4.01

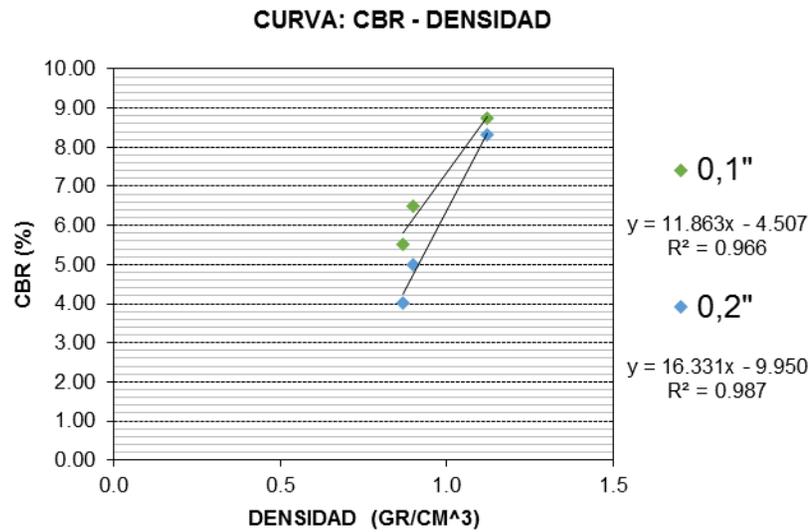
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.17 Carga vs Penetración 3.5cm y 50 gr



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.18 CBR - Peso unitario, 3.5 cm y 50 gr



Fuente: Elaboración propia.

CBR	100% D.máx	95% D.Máx.
0,1 "	17.73 %	16.62 %
0,2"	20.66 %	19.13 %

Tabla 3.34 Antes de sumergirse, 7 cm con 50 gr

Prueba N°		1	2	3
N° de golpes por capa		56	25	12
Peso Mh+Molde (gr)		12455	11405	10905
Peso del Molde (gr)		7980	7870	7650
Peso Humedo M (gr)		4475	3535	3255
Volumen Molde (cm³)		3225	3225	3225
Densidad humeda (gr/cm³)		1.388	1.096	1.009

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.35 Humedad y peso unitario, 7cm con 50 gr

N° Golpes		56			25			12											
Peso Mh+Molde (gr)		12520			11575			10990											
Peso del Molde (gr)		7980			7870			7650											
Peso Humedo M (gr)		4540			3705			3340											
Volumen Molde (cm³)		3225.0			3225.0			3225.0											
Densidad humeda (gr/cm³)		1.408			1.149			1.036											
MUESTRA DE HUMEDAD		Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.									
Tara N°		1	2	3	1	2	3	1	2	3									
Tara+Suelo hum. (gr)		70.21	80.45	83.55	82.43	78.37	71.52	78.30	75.89	71.04									
Tara+Suelo seco. (gr)		58.72	64.87	68.58	72.35	66.52	62.08	71.66	67.54	64.15									
Peso de agua (gr)		11.49	15.58	14.97	10.08	11.85	9.44	6.64	8.35	6.89									
Peso Tara (gr)		13.76	13.40	13.21	13.67	13.32	13.01	13.56	13.52	13.11									
Peso Suelo seco (gr)		44.96	51.47	55.37	58.68	53.2	49.07	58.1	54.02	51.04									
Contenido de Humedad(%)		25.56	30.27	27.04	17.18	22.27	19.24	11.43	15.46	13.50									
Promedio cont. Humedad %		27.91			27.04			19.73			19.24			13.44			13.50		
Densidad muestra seca (gr/cm³)		1.085			1.108			0.916			0.963			0.890			0.912		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.36 Expansión, 7cm. con 50 gr

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1 = 56 GOLPES			MOLDE N° 2 = 25 GOLPES			MOLDE N° 3 = 12 GOLPES		
			LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION	
			DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%
09-nov	10:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-nov	10:00	1	151	1.51	1.291	169	1.69	1.448	177	1.77	1.510
11-nov	10:00	2	179	1.79	1.530	193	1.93	1.654	206	2.06	1.758
12-nov	10:00	3	199	1.99	1.701	246	2.46	2.108	263	2.63	2.244
13-nov	10:00	4	237	2.37	2.026	281	2.81	2.408	299	2.99	2.551

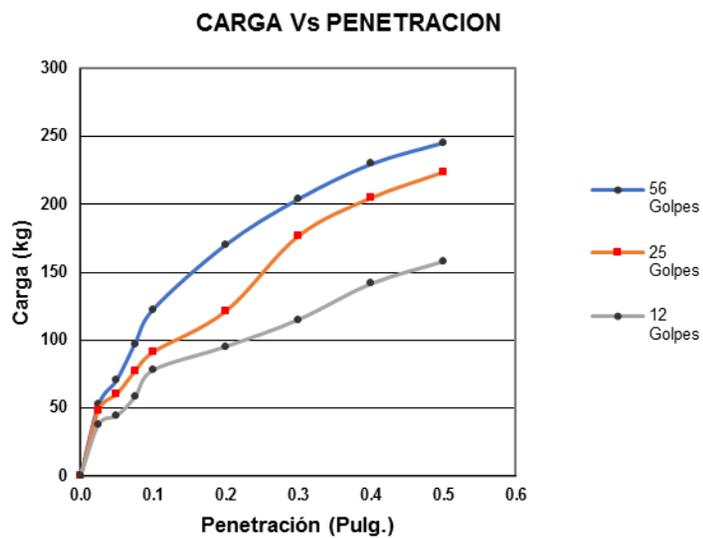
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.37 CBR, 7 cm con 50 gr

Pulgadas	(mm)	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)
0.000	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	52.7	52.7	48.8	48.8	38.2	38.2
0.050	1.27	70.8	70.8	60.3	60.3	44.4	44.4
0.075	1.90	97.6	97.6	77.1	77.1	58.3	58.3
0.100	2.54	122.9	122.9	91.2	91.2	78.1	78.1
0.200	5.08	170.5	170.5	121.3	121.3	95.5	95.5
0.300	7.62	204.3	204.3	176.7	176.7	115.4	115.4
0.400	10.16	230.1	230.1	204.8	204.8	141.9	141.9
0.500	12.70	245.9	245.9	223.9	223.9	158.5	158.5

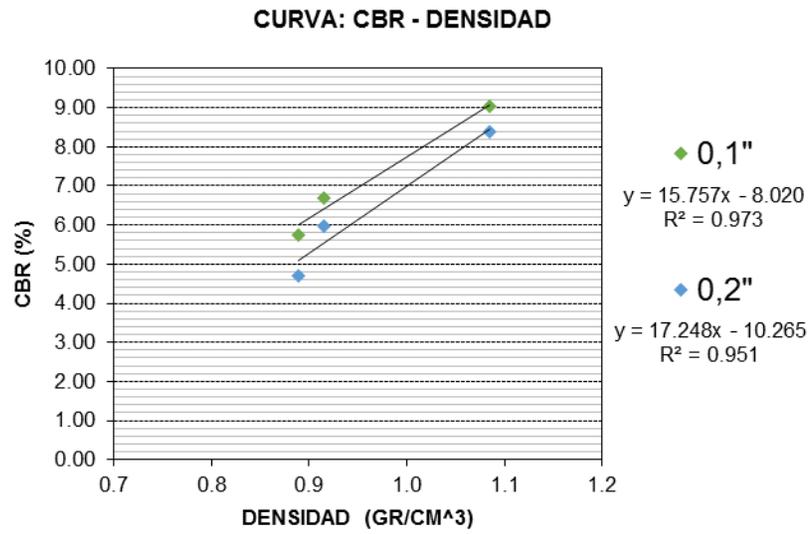
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.19 Carga vs Penetración, 7 cm con 50 gr



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.20 CBR - Peso unitario, 7 cm con 50 gr



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.38 Resultados, 7 cm con 50 gr

CBR	100% D.máx	95% D.Máx.
0,1 "	21.52 %	20.04 %
0,2"	22.07 %	20.45 %

Fuente: Elaboración propia.

- Ensayo de CBR con una longitud del polipropileno expandido de 1.75 cm y un peso de 100 gr

Tabla 3.39 Antes de sumergirse, 1.75 cm con 100 gr

Prueba N°	1	2	3
N° de golpes por capa	56	25	12
Peso Mh+Molde (gr)	12525	12003	11205
Peso del Molde (gr)	7980	7970	7745
Peso Humedo M (gr)	4545	4033	3460
Volumen Molde (cm ³)	3211	3211	3211
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.415	1.256	1.078

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.40 Humedad y peso unitario, 1.75 cm y un peso de 100 gr

N° Golpes	56			25			12		
Peso Mh+Molde (gr)	12665			12475			11550		
Peso del Molde (gr)	7980			7970			7745		
Peso Humedo M (gr)	4685			4505			3805		
Volumen Molde (cm ³)	3211.0			3211.0			3211.0		
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.459			1.403			1.185		
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara+Suelo hum. (gr)	86.82	76.94	97.45	101.20	114.90	94.23	120.35	127.20	129.78
Tara+Suelo seco. (gr)	70.05	63.98	81.30	84.05	99.22	78.83	95.03	102.32	103.76
Peso de agua (gr)	16.77	12.96	16.15	17.15	15.68	15.4	25.32	24.88	26.02
Peso Tara (gr)	17.97	20.31	17.34	16.95	17.85	18.44	17.23	17.96	18.78
Peso Suelo seco (gr)	52.08	43.67	63.96	67.1	81.37	60.39	77.8	84.36	84.98
Contenido de Humedad(%)	32.20	29.68	25.25	25.56	19.27	25.50	32.54	29.49	30.62
Promedio cont. Humedad %	30.94		25.25	22.41		25.50	31.02		30.62
Densidad muestra seca (gr/cm ³)	1.081		1.165	1.026		1.118	0.822		0.907

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.41 Expansión, 1.75 cm y 100 gr

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1 = 56 GOLPES			MOLDE N° 2 = 25 GOLPES			MOLDE N° 3 = 12 GOLPES		
			LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION	
			DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%
06-ene	17:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07-ene	17:40	1	225	2.25	1.923	188	1.88	1.611	212	2.12	1.809
08-ene	17:40	2	236	2.36	2.017	230	2.3	1.971	253	2.53	2.159
09-ene	17:40	3	247	2.47	2.111	244	2.44	2.091	254	2.54	2.167
10-ene	17:40	4	250	2.50	2.137	255	2.55	2.185	280	2.8	2.389

Fuente: Elaboración propia.

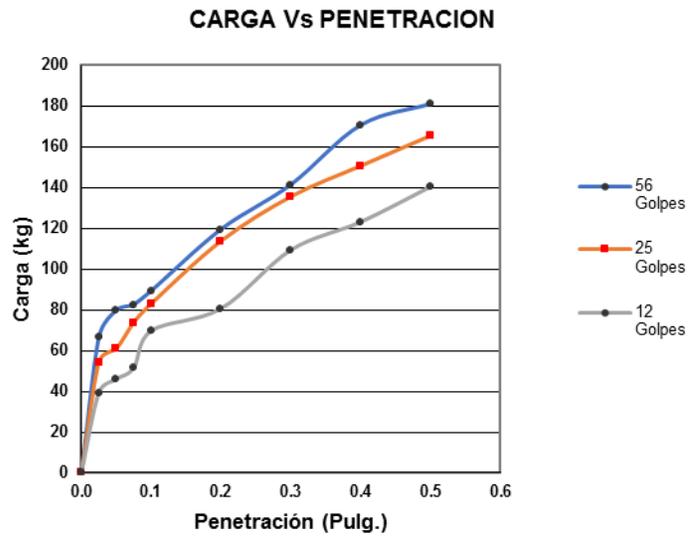
Tabla 3.42 CBR, 1.5 cm y 100 gr

Pulgadas	(mm)	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)
0.000	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	66.4	66.4	54.3	54.3	39.3	39.3
0.050	1.27	79.5	79.5	60.8	60.8	45.8	45.8
0.075	1.90	82.4	82.4	73.7	73.7	51.4	51.4
0.100	2.54	89.1	89.1	82.9	82.9	69.6	69.6
0.200	5.08	119.3	119.3	113.7	113.7	80.5	80.5
0.300	7.62	141.2	141.2	135.5	135.5	109.3	109.3
0.400	10.16	170.4	170.4	150.6	150.6	123.1	123.1
0.500	12.70	180.8	180.8	165.4	165.4	140.4	140.4

Fuente: Elaboración propia.

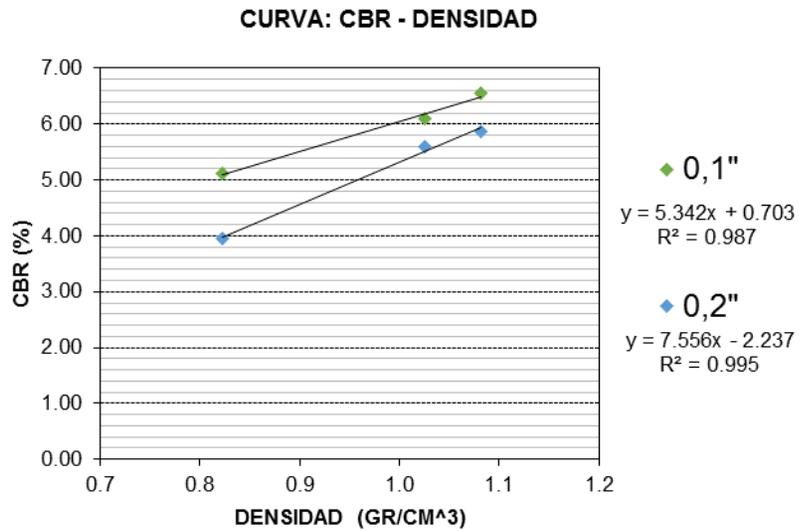
N° GOLPES	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
CARGA Y C.B.R. 0,1"	89.1	6.55	82.9	6.09	69.6	5.12
CARGA Y C.B.R. 0,2"	119.3	5.87	113.7	5.59	80.5	3.96

Gráfica 3.21 Carga vs Penetración 1.75 cm y 100 gr



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.22 CBR - Peso unitario, 1.75 cm y 100 gr



Fuente: Elaboración propia.

CBR	100% D.máx	95% D.Máx.
0,1 "	9.31 %	8.81 %
0,2"	11.93 %	11.22 %

- Ensayo de CBR con una longitud del polipropileno expandido de 3.5 cm y un peso de 100 gr

Tabla 3.43 Antes de sumergirse, 3.5 cm con 100 gr

Prueba N°	1	2	3
N° de golpes por capa	56	25	12
Peso Mh+Molde (gr)	11766	11112	11451
Peso del Molde (gr)	7218	7270	7956
Peso Humedo M (gr)	4548	3842	3495
Volumen Molde (cm ³)	3211	3211	3211
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.416	1.197	1.088

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.44 Humedad y peso unitario, 3.5 cm y un peso de 100 gr

N° Golpes	56			25			12		
Peso Mh+Molde (gr)	11845			11324			11792		
Peso del Molde (gr)	7218			7270			7956		
Peso Humedo M (gr)	4627			4054			3836		
Volumen Molde (cm ³)	3211.0			3211.0			3211.0		
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.441			1.263			1.195		
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara+Suelo hum. (gr)	86.64	81.23	82.45	94.36	100.03	97.47	89.02	86.84	103.33
Tara+Suelo seco. (gr)	73.49	67.42	70.87	78.43	84.16	81.49	72.50	70.76	86.02
Peso de agua (gr)	13.15	13.81	11.58	15.93	15.87	15.98	16.52	16.08	17.31
Peso Tara (gr)	13.78	13.98	13.12	13.42	13.12	12.94	14.78	13.75	13.43
Peso Suelo seco (gr)	59.71	53.44	57.75	65.01	71.04	68.55	57.72	57.01	72.59
Contenido de Humedad(%)	22.02	25.84	20.05	24.50	22.34	23.31	28.62	28.21	23.85
Promedio cont. Humedad %	23.93		20.05	23.42		23.31	28.41		23.85
Densidad muestra seca (gr/cm ³)	1.143		1.200	0.969		1.024	0.848		0.965

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.45 Expansión, 3.5 cm y 100 gr

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1 = 56 GOLPES			MOLDE N° 2 = 25 GOLPES			MOLDE N° 3 = 12 GOLPES		
			LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION	
			DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%
13-ene	17:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14-ene	17:30	1	188	1.88	1.607	234	2.34	2.005	240	2.4	2.048
15-ene	17:30	2	228	2.28	1.949	250	2.5	2.142	261	2.61	2.227
16-ene	17:30	3	255	2.55	2.179	279	2.79	2.391	289	2.89	2.466
17-ene	17:30	4	273	2.73	2.333	298	2.98	2.554	301	3.01	2.568

Fuente: Elaboración propia.

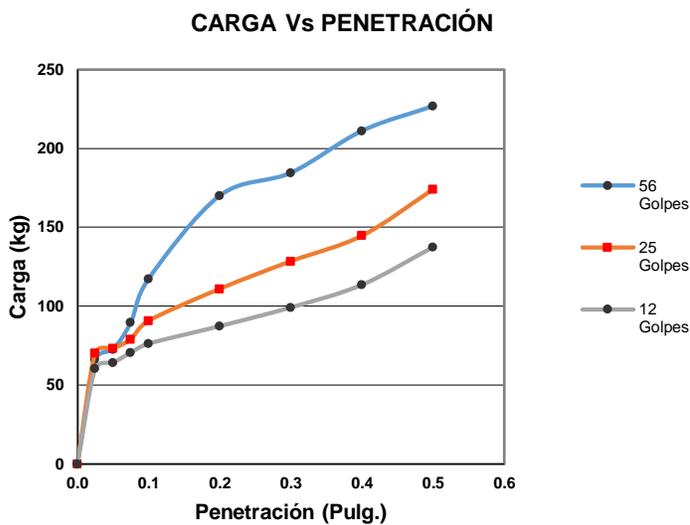
Tabla 3.46 CBR, 3.5 cm y 100 gr

Pulgadas	(mm)	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)
0.000	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	66.0	66.0	70.3	70.3	60.3	60.3
0.050	1.27	72.4	72.4	73.1	73.1	64.2	64.2
0.075	1.90	89.6	89.6	79.0	79.0	70.5	70.5
0.100	2.54	117.3	117.3	90.6	90.6	76.2	76.2
0.200	5.08	170.0	170.0	110.9	110.9	87.3	87.3
0.300	7.62	184.5	184.5	128.4	128.4	99.2	99.2
0.400	10.16	211.1	211.1	144.6	144.6	113.6	113.6
0.500	12.70	226.8	226.8	174.0	174.0	137.5	137.5

Fuente: Elaboración propia.

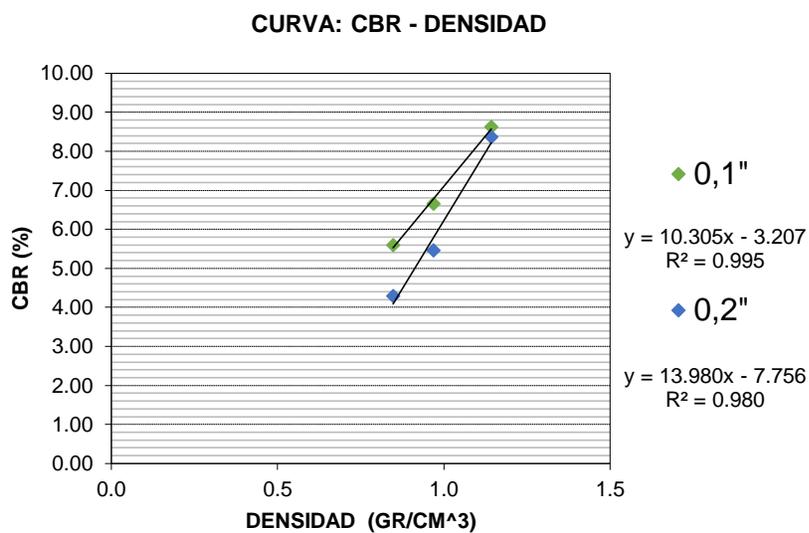
N° GOLPES	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
CARGA Y C.B.R. 0,1"	117.3	8.62	90.6	6.66	76.2	5.60
CARGA Y C.B.R. 0,2"	170.0	8.36	110.9	5.46	87.3	4.29

Gráfica 3.23 Carga vs Penetración 3.5 cm y 100 gr



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.24 CBR - Peso unitario, 3.5 cm y 100 gr



Fuente: Elaboración propia.

CBR	100% D.máx	95% D.Máx.
0,1 "	16.11 %	15.14 %
0,2"	18.45 %	17.14 %

- Ensayo de CBR con una longitud del polipropileno expandido de 7.0 cm y un peso de 100 gr

Tabla 3.47 Antes de sumergirse, 7 cm con 100 gr

Prueba N°	1	2	3
N° de golpes por capa	56	25	12
Peso Mh+Molde (gr)	11635	12003	11564
Peso del Molde (gr)	7130	7970	7745
Peso Humedo M (gr)	4505	4033	3819
Volumen Molde (cm ³)	3225	3225	3225
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.397	1.251	1.184

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.48 Humedad y peso unitario, 7cm con 100 gr de polipropileno

N° Golpes	56			25			12		
Peso Mh+Molde (gr)	11765			12375			11980		
Peso del Molde (gr)	7130			7970			7745		
Peso Humedo M (gr)	4635			4405			4235		
Volumen Molde (cm ³)	3225.0			3225.0			3225.0		
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.437			1.366			1.313		
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara+Suelo hum. (gr)	64.34	66.42	74.36	67.31	69.52	70.30	76.32	71.98	65.71
Tara+Suelo seco. (gr)	53.47	53.88	62.56	57.43	57.91	59.84	59.30	55.34	53.38
Peso de agua (gr)	10.87	12.54	11.8	9.88	11.61	10.46	17.02	16.64	12.33
Peso Tara (gr)	13.61	13.29	13.27	13.01	13.55	13.82	13.16	13.3	13.77
Peso Suelo seco (gr)	39.86	40.59	49.29	44.42	44.36	46.02	46.14	42.04	39.61
Contenido de Humedad(%)	27.27	30.89	23.94	22.24	26.17	22.73	36.89	39.58	31.13
Promedio cont. Humedad %	29.08		23.94	24.21		22.73	38.23		31.13
Densidad muestra seca (gr/cm ³)	1.082		1.160	1.007		1.113	0.857		1.001

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.49 Expansión, 7cm. con 100 gr de polipropileno

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1 = 56 GOLPES			MOLDE N° 2 = 25 GOLPES			MOLDE N° 3 = 12 GOLPES		
			LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION	
			DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%
03-ene	11:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04-ene	11:30	1	156	1.56	1.333	177	1.77	1.517	204	2.04	1.741
05-ene	11:30	2	189	1.89	1.615	235	2.35	2.014	248	2.48	2.116
06-ene	11:30	3	235	2.35	2.009	271	2.71	2.322	298	2.98	2.543
07-ene	11:30	4	278	2.78	2.376	321	3.21	2.751	346	3.46	2.952

Fuente: Elaboración propia.

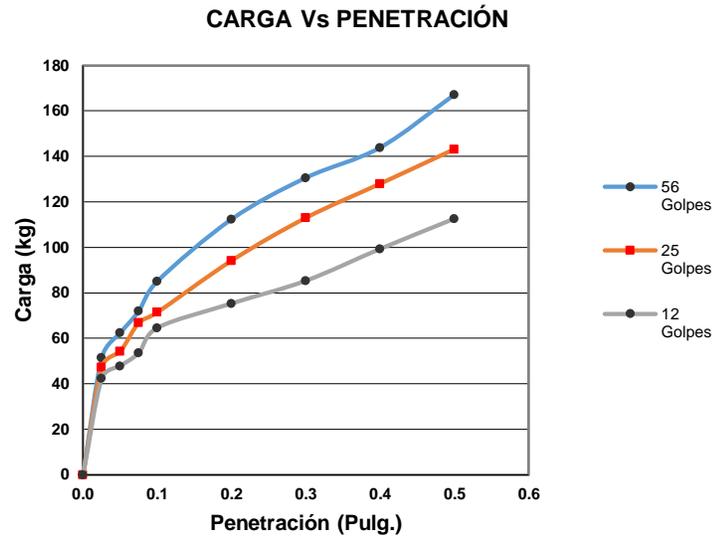
Tabla 3.50 CBR, 7 cm con 100 gr de polipropileno

Pulgadas	(mm)	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)
0.000	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	51.4	51.4	47.3	47.3	42.3	42.3
0.050	1.27	62.3	62.3	54.2	54.2	47.8	47.8
0.075	1.90	72.0	72.0	66.9	66.9	53.6	53.6
0.100	2.54	85.1	85.1	71.4	71.4	64.6	64.6
0.200	5.08	112.4	112.4	94.2	94.2	75.3	75.3
0.300	7.62	130.6	130.6	113.0	113.0	85.3	85.3
0.400	10.16	143.9	143.9	128.0	128.0	99.3	99.3
0.500	12.70	167.2	167.2	143.2	143.2	112.6	112.6

Fuente: Elaboración propia.

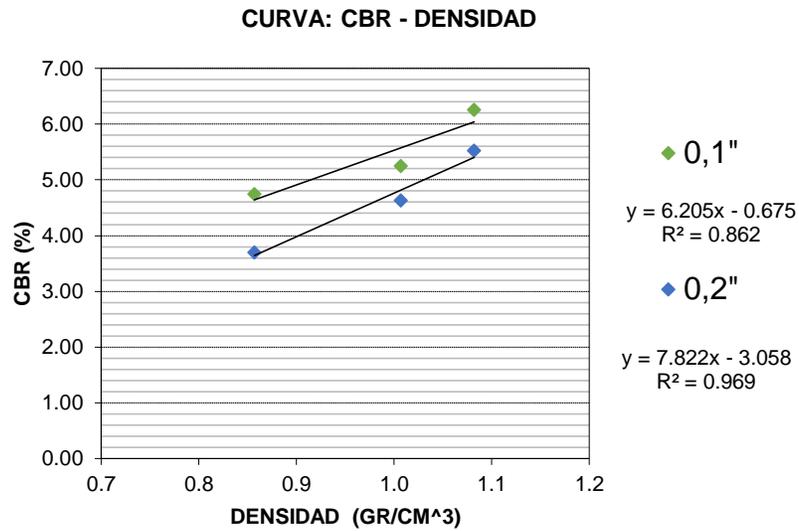
N° GOLPES	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
CARGA Y C.B.R. 0,1"	85.1	6.26	71.4	5.25	64.6	4.75
CARGA Y C.B.R. 0,2"	112.4	5.53	94.2	4.63	75.3	3.70

Gráfica 3.25 Carga vs Penetración, 7 cm con 100 gr de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.26 CBR - Peso unitario, 7 cm con 100 gr de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

CBR	100% D.máx	95% D.Máx.
0,1 "	10.96 %	10.37 %
0,2"	11.60 %	10.87 %

3.3.9.5 Selección de la longitud óptima del polipropileno

Para poder determinar la longitud óptima del polipropileno se procedió a realizar tres pruebas de cbr con diferentes tamaños, 1.75 cm, 3.5 cm y 7 cm.

Para ello se incorporó dos porcentajes diferentes de polipropileno expandido a la muestra una de ellas s la de 1% que representa 50 gr y la segunda el 2%, que representa 100 gr.

La dimensión que presenta mejor resultado es la de 7 cm con 1% de polipropileno. En la siguiente grafica se puede observar los resultados al 95% y al 100% del cbr de las tres pruebas.

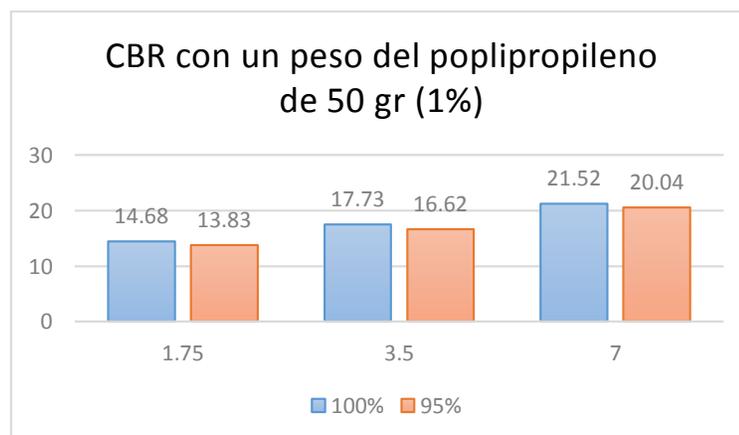
Tabla 3.51 Resumen de los ensayos de CBR, para optar por la dimensión óptima

Dimensión (cm)	CBR 50 gr (1%)		CBR 100 gr (2%)	
	100%	95%	100%	95%
1.75	14.68	13.83	9.31	8.81
3.5	17.73	16.62	16.11	15.14
7	21.52	20.04	10.96	10.37

Fuente: Elaboración propia.

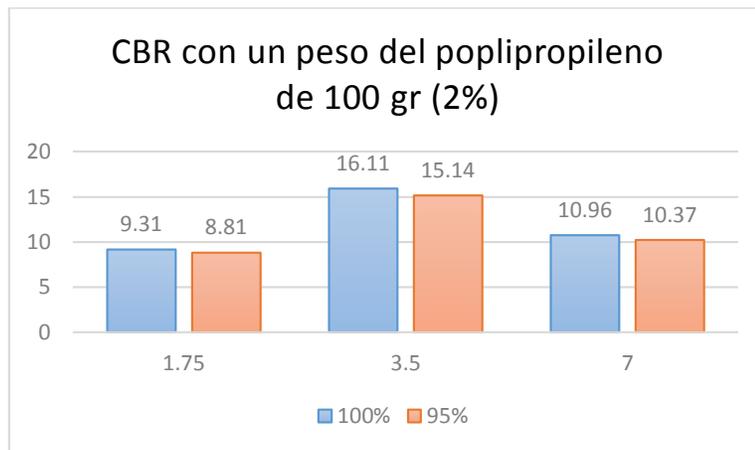
En la anterior tabla se puede apreciar que la que la dimensión con el valor más óptimo de CBR es el de 7 cm con 50 gr (1%), al 100 se tiene un valor de 21.52 y al 95% se obtiene un valor de 20.04 por lo que se procederá a realizar 10 ensayos con esta dimensión de polipropileno y un peso agregado de 50 gr.

Gráfica 3.27 CBR con un peso de polipropileno de 50 gr



Elaboración propia.

Gráfica 3.28 CBR con un peso de polipropileno de 100 gr



Elaboración propia.

3.3.9.6 Determinación del contenido óptimo con la dimensión seleccionada, 7 cm

Tabla 3.52 Antes de sumergirse con 7 cm y 0.5 % de polipropileno

Prueba N°		1	2	3
N° de golpes por capa		56	25	12
Peso Mh+Molde (gr)		11770	11120	11460
Peso del Molde (gr)		7235	7290	7975
Peso Humedo M (gr)		4535	3830	3485
Volumen Molde (cm ³)		3211	3211	3211
Densidad humeda (gr/cm ³)		1.412	1.193	1.085

Elaboración propia.

Tabla 3.53 Después de sumergirse con 7 cm y 0.5 % de polipropileno

N° Golpes		56			25			12		
Peso Mh+Molde (gr)		11845			11324			11792		
Peso del Molde (gr)		7235			7290			7975		
Peso Humedo M (gr)		4610			4034			3817		
Volumen Molde (cm ³)		3211.0			3211.0			3211.0		
Densidad humeda (gr/cm ³)		1.436			1.256			1.189		
MUESTRA DE HUMEDAD		Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara+Suelo hum. (gr)		85.50	81.20	82.45	94.40	100.03	97.50	89.02	86.70	103.30
Tara+Suelo seco. (gr)		72.30	67.35	70.85	78.42	84.20	81.52	72.50	70.60	86.10
Peso de agua (gr)		13.2	13.85	11.6	15.98	15.83	15.98	16.52	16.1	17.2
Peso Tara (gr)		13.7	13.8	13.2	13.5	13.15	13.02	14.8	13.6	13.55
Peso Suelo seco (gr)		58.6	53.55	57.65	64.92	71.05	68.5	57.7	57	72.55
Contenido de Humedad(%)		22.53	25.86	20.12	24.61	22.28	23.33	28.63	28.25	23.71
Promedio cont. Humedad %		24.19		20.12	23.45		23.33	28.44		23.71
Densidad muestra seca (gr/cm ³)		1.137		1.195	0.966		1.019	0.845		0.961

Elaboración propia.

Tabla 3.54 Expansión, 7 cm con 0.5 % de polipropileno

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1 = 56 GOLPES			MOLDE N° 2 = 25 GOLPES			MOLDE N° 3 = 12 GOLPES			
			LECT. DIAL		EXPANSION	LECT. DIAL		EXPANSION	LECT. DIAL		EXPANSION	
			DIV = 0,01mm		mm	%	DIV = 0,01mm		mm	%	DIV = 0,01mm	
06-ene	18:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07-ene	18:00	1	191	1.91	1.632	244	2.44	2.091	242	2.42	2.065	
08-ene	18:00	2	232	2.32	1.983	253	2.53	2.168	259	2.59	2.210	
09-ene	18:00	3	262	2.62	2.239	287	2.87	2.459	292	2.92	2.491	
10-ene	18:00	4	284	2.84	2.427	297	2.97	2.545	304	3.04	2.594	

Elaboración propia.

Tabla 3.55 Penetración, 7 cm con 0.5 % de polipropileno

Pulgadas	(mm)	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)
0.000	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	69.0	69.0	59.5	59.5	55.3	55.3
0.050	1.27	78.6	78.6	73.1	73.1	64.2	64.2
0.075	1.90	92.6	92.6	79.0	79.0	70.5	70.5
0.100	2.54	117.3	117.3	90.6	90.6	76.2	76.2
0.200	5.08	170.0	170.0	110.9	110.9	87.3	87.3
0.300	7.62	184.5	184.5	128.4	128.4	99.2	99.2
0.400	10.16	208.1	208.1	144.6	144.6	113.6	113.6
0.500	12.70	226.8	226.8	174.0	174.0	137.5	137.5

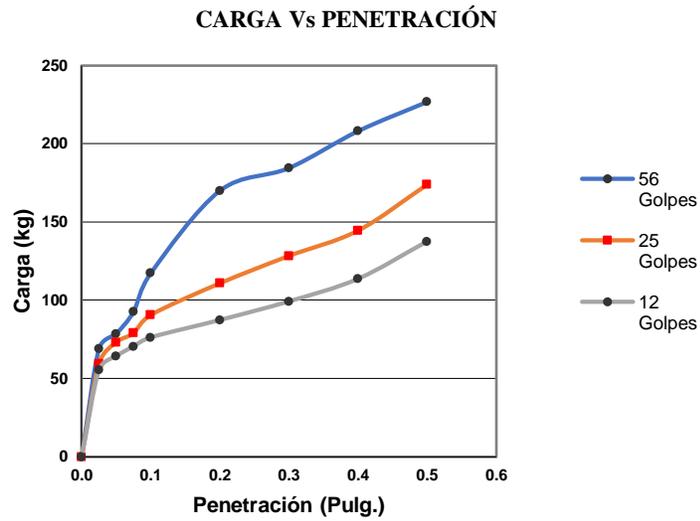
Elaboración propia.

Tabla 3.56 Corrección de carga y C.B.R. (56, 25 y 12 golpes)

N° GOLPES	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
CARGA Y C.B.R. 0,1"	117.3	8.62	90.6	6.66	76.2	5.60
CARGA Y C.B.R. 0,2"	170.0	8.36	110.9	5.46	87.3	4.29

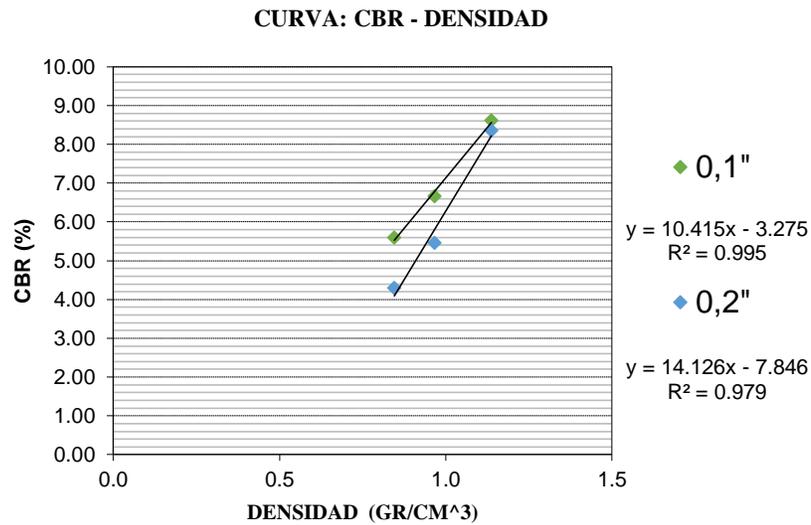
Elaboración propia.

Gráfica 3.29 Carga vs Penetración, 7 cm con 0.5 % de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.30 CBR - Peso unitario, 7 cm con 0.5 % de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

CBR	100% D.máy	95% D.Máy.
0,1 "	15.99 %	15.03 %
0,2"	18.29 %	16.98 %

Tabla 3.57 Antes de sumergirse con 7 cm y 1.0 % de polipropileno

Prueba N°		1	2	3
N° de golpes por capa		56	25	12
Peso Mh+Molde (gr)		12455	11405	10905
Peso del Molde (gr)		7980	7870	7650
Peso Humedo M (gr)		4475	3535	3255
Volumen Molde (cm ³)		3225	3225	3225
Densidad humeda (gr/cm ³)		1.388	1.096	1.009

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.58 Después de sumergirse con 7 cm y 1.0 % de polipropileno

N° Golpes	56			25			12		
Peso Mh+Molde (gr)	12520			11575			10990		
Peso del Molde (gr)	7980			7870			7650		
Peso Humedo M (gr)	4540			3705			3340		
Volumen Molde (cm ³)	3225.0			3225.0			3225.0		
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.408			1.149			1.036		
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara+Suelo hum. (gr)	70.21	80.45	83.55	82.43	78.37	71.52	78.30	75.89	71.04
Tara+Suelo seco. (gr)	58.72	64.87	68.58	72.35	66.52	62.08	71.66	67.54	64.15
Peso de agua (gr)	11.49	15.58	14.97	10.08	11.85	9.44	6.64	8.35	6.89
Peso Tara (gr)	13.76	13.40	13.21	13.67	13.32	13.01	13.56	13.52	13.11
Peso Suelo seco (gr)	44.96	51.47	55.37	58.68	53.2	49.07	58.1	54.02	51.04
Contenido de Humedad(%)	25.56	30.27	27.04	17.18	22.27	19.24	11.43	15.46	13.50
Promedio cont. Humedad %	27.91		27.04	19.73		19.24	13.44		13.50
Densidad muestra seca (gr/cm ³)	1.085		1.108	0.916		0.963	0.890		0.912

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.59 Expansión, 7 cm con 1.0 % de polipropileno

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1 = 56 GOLPES			MOLDE N° 2 = 25 GOLPES			MOLDE N° 3 = 12 GOLPES			
			LECT. DIAL		EXPANSION	LECT. DIAL		EXPANSION	LECT. DIAL		EXPANSION	
			DIV = 0,01mm		mm	%	DIV = 0,01mm		mm	%	DIV = 0,01mm	
09-nov	10:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-nov	10:00	1	151	1.51	1.291	169	1.69	1.448	177	1.77	1.510	
11-nov	10:00	2	179	1.79	1.530	193	1.93	1.654	206	2.06	1.758	
12-nov	10:00	3	199	1.99	1.701	246	2.46	2.108	263	2.63	2.244	
13-nov	10:00	4	237	2.37	2.026	281	2.81	2.408	299	2.99	2.551	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.60 Penetración, 7 cm con 1.0 % de polipropileno

Pulgadas	(mm)	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)
0.000	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	52.7	52.7	48.8	48.8	38.2	38.2
0.050	1.27	70.8	70.8	60.3	60.3	44.4	44.4
0.075	1.90	97.6	97.6	77.1	77.1	58.3	58.3
0.100	2.54	122.9	122.9	91.2	91.2	78.1	78.1
0.200	5.08	170.5	170.5	121.3	121.3	95.5	95.5
0.300	7.62	204.3	204.3	176.7	176.7	115.4	115.4
0.400	10.16	230.1	230.1	204.8	204.8	141.9	141.9
0.500	12.70	245.9	245.9	223.9	223.9	158.5	158.5

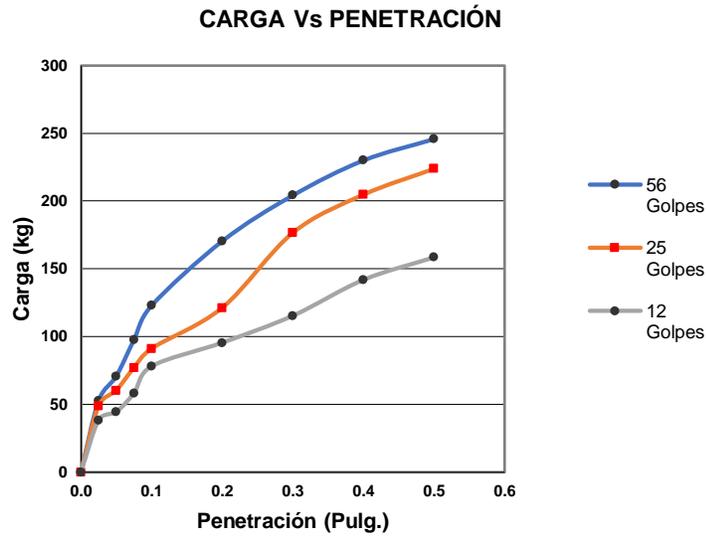
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.61 Corrección de carga y C.B.R. (56, 25 y 10 golpes)

N° GOLPES	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
CARGA Y C.B.R. 0,1"	122.9	9.03	91.2	6.70	78.1	5.74
CARGA Y C.B.R. 0,2"	170.5	8.39	121.3	5.97	95.5	4.70

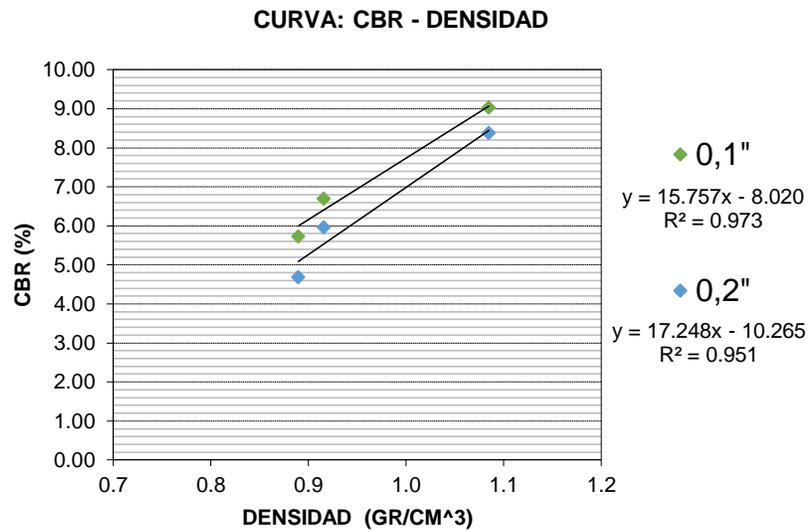
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.31 Carga vs Penetración, 7 cm con 1.0 % de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.32 CBR - Peso unitario, 7 cm con 1.0 % de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

CBR	100% D.máx	95% D.Máx.
0,1 "	20.82 %	19.37 %
0,2"	21.30 %	19.72 %

Tabla 3.62 Antes de sumergirse con 7 cm y 1.5 % de polipropileno

Prueba N°		1	2	3
N° de golpes por capa		56	25	12
Peso Mh+Molde (gr)		11770	11118	11460
Peso del Molde (gr)		7220	7275	7962
Peso Humedo M (gr)		4550	3843	3498
Volumen Molde (cm ³)		3211	3211	3211
Densidad humeda (gr/cm ³)		1.417	1.197	1.089

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.63 Después de sumergirse con 7 cm y 1.5 % de polipropileno

N° Golpes	56			25			12		
Peso Mh+Molde (gr)	11850			11332			11810		
Peso del Molde (gr)	7220			7275			7962		
Peso Humedo M (gr)	4630			4057			3848		
Volumen Molde (cm ³)	3211.0			3211.0			3211.0		
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.442			1.263			1.198		
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara+Suelo hum. (gr)	87.60	81.23	82.45	94.36	100.10	95.55	90.05	85.85	105.20
Tara+Suelo seco. (gr)	74.50	67.42	70.87	78.45	85.20	78.60	72.50	70.80	87.10
Peso de agua (gr)	13.1	13.81	11.58	15.91	14.9	16.95	17.55	15.05	18.1
Peso Tara (gr)	13.5	13.6	13.1	13.5	13.2	12.98	14.8	13.6	13.5
Peso Suelo seco (gr)	61	53.82	57.77	64.95	72	65.62	57.7	57.2	73.6
Contenido de Humedad(%)	21.48	25.66	20.05	24.50	20.69	25.83	30.42	26.31	24.59
Promedio cont. Humedad %	23.57		20.05	22.60		25.83	28.36		24.59
Densidad muestra seca (gr/cm ³)	1.147		1.201	0.976		1.004	0.849		0.962

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.64 Expansión, 7 cm con 1.5 % de polipropileno

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1 = 56 GOLPES			MOLDE N° 2 = 25 GOLPES			MOLDE N° 3 = 12 GOLPES		
			LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION	
			DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%
06-nov	17:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07-nov	17:30	1	190	1.90	1.624	240	2.4	2.057	240	2.4	2.048
08-nov	17:30	2	230	2.30	1.966	256	2.56	2.194	266	2.66	2.270
09-nov	17:30	3	262	2.62	2.239	282	2.82	2.416	292	2.92	2.491
10-nov	17:30	4	275	2.75	2.350	302	3.02	2.588	303	3.03	2.585

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.65 Penetración, 7 cm con 1.5 % de polipropileno

Pulgadas	(mm)	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)
0.000	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	67.0	67.0	60.3	60.3	57.1	57.1
0.050	1.27	82.4	82.4	73.1	73.1	64.2	64.2
0.075	1.90	95.6	95.6	79.0	79.0	70.5	70.5
0.100	2.54	115.4	115.4	90.2	90.2	76.1	76.1
0.200	5.08	170.0	170.0	110.9	110.9	87.3	87.3
0.300	7.62	188.5	188.5	128.4	128.4	99.2	99.2
0.400	10.16	209.1	209.1	144.6	144.6	113.6	113.6
0.500	12.70	226.8	226.8	174.0	174.0	137.5	137.5

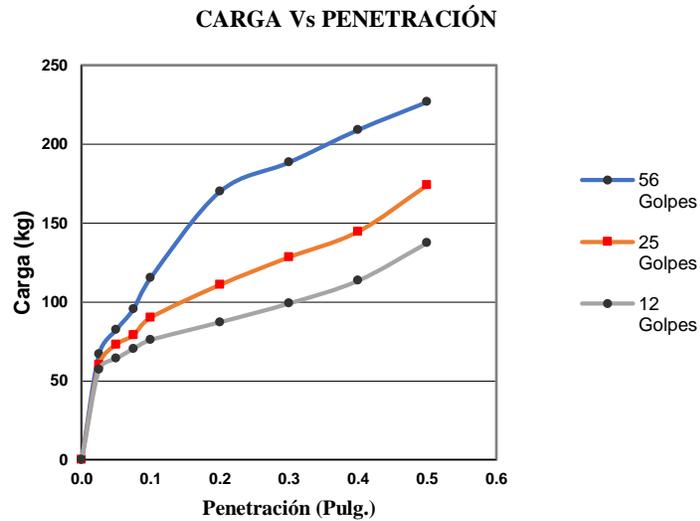
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.66 Corrección de carga y C.B.R. (56, 25 y 12 golpes)

N° GOLPES	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
CARGA Y C.B.R. 0,1"	115.4	8.48	90.2	6.63	76.1	5.59
CARGA Y C.B.R. 0,2"	170.0	8.36	110.9	5.46	87.3	4.29

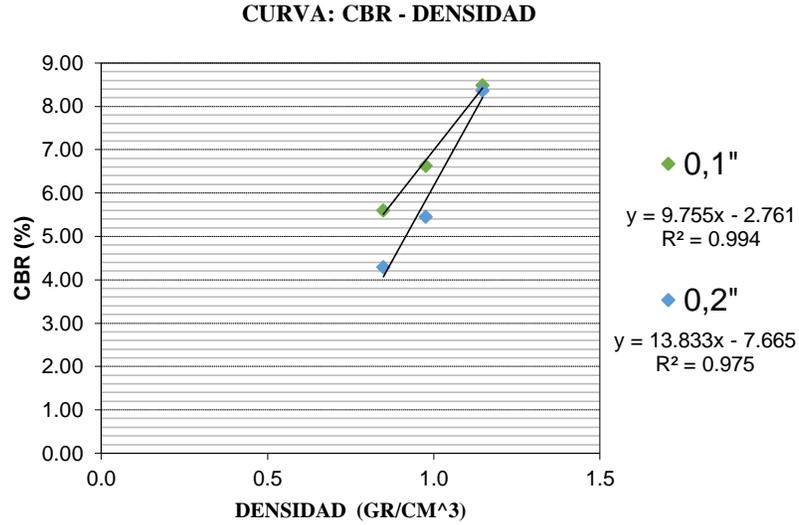
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.33 Carga vs Penetración, 7 cm con 1.5 % de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.34 CBR - Peso unitario, 7 cm con 1.5 % de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

CBR	100% D.máx	95% D.Máx.
0,1 "	14.02 %	13.18 %
0,2"	16.21 %	15.02 %

Tabla 3.67 Antes de sumergirse con 7 cm y 2.0 % de polipropileno

Prueba N°		1	2	3
N° de golpes por capa		56	25	12
Peso Mh+Molde (gr)		11635	12003	11564
Peso del Molde (gr)		7130	7970	7745
Peso Humedo M (gr)		4505	4033	3819
Volumen Molde (cm ³)		3225	3225	3225
Densidad humeda (gr/cm ³)		1.397	1.251	1.184

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.68 Después de sumergirse con 7 cm y 2.0 % de polipropileno

N° Golpes		56			25			12		
Peso Mh+Molde (gr)		11765			12375			11980		
Peso del Molde (gr)		7130			7970			7745		
Peso Humedo M (gr)		4635			4405			4235		
Volumen Molde (cm ³)		3225.0			3225.0			3225.0		
Densidad humeda (gr/cm ³)		1.437			1.366			1.313		
MUESTRA DE HUMEDAD		Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara+Suelo hum. (gr)		64.34	66.42	74.36	67.31	69.52	70.30	76.32	71.98	65.71
Tara+Suelo seco. (gr)		53.47	53.88	62.56	57.43	57.91	59.84	59.30	55.34	53.38
Peso de agua (gr)		10.87	12.54	11.8	9.88	11.61	10.46	17.02	16.64	12.33
Peso Tara (gr)		13.61	13.29	13.27	13.01	13.55	13.82	13.16	13.3	13.77
Peso Suelo seco (gr)		39.86	40.59	49.29	44.42	44.36	46.02	46.14	42.04	39.61
Contenido de Humedad(%)		27.27	30.89	23.94	22.24	26.17	22.73	36.89	39.58	31.13
Promedio cont. Humedad %		29.08		23.94	24.21		22.73	38.23		31.13
Densidad muestra seca (gr/cm ³)		1.082		1.160	1.007		1.113	0.857		1.001

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.69 Expansión, 7 cm con 2.0 % de polipropileno

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1 = 56 GOLPES			MOLDE N° 2 = 25 GOLPES			MOLDE N° 3 = 12 GOLPES			
			LECT. DIAL		EXPANSION	LECT. DIAL		EXPANSION	LECT. DIAL		EXPANSION	
			DIV = 0,01mm		mm	%	DIV = 0,01mm		mm	%	DIV = 0,01mm	
03-ene	11:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04-ene	11:30	1	156	1.56	1.333	177	1.77	1.517	204	2.04	1.741	
05-ene	11:30	2	189	1.89	1.615	235	2.35	2.014	248	2.48	2.116	
06-ene	11:30	3	235	2.35	2.009	271	2.71	2.322	298	2.98	2.543	
07-ene	11:30	4	278	2.78	2.376	321	3.21	2.751	346	3.46	2.952	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.70 Penetración, 7 cm con 2.0 % de polipropileno

Pulgadas	(mm)	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)
0.000	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	51.4	51.4	47.3	47.3	42.3	42.3
0.050	1.27	62.3	62.3	54.2	54.2	47.8	47.8
0.075	1.90	72.0	72.0	66.9	66.9	53.6	53.6
0.100	2.54	85.1	85.1	71.4	71.4	64.6	64.6
0.200	5.08	112.4	112.4	94.2	94.2	75.3	75.3
0.300	7.62	130.6	130.6	113.0	113.0	85.3	85.3
0.400	10.16	143.9	143.9	128.0	128.0	99.3	99.3
0.500	12.70	167.2	167.2	143.2	143.2	112.6	112.6

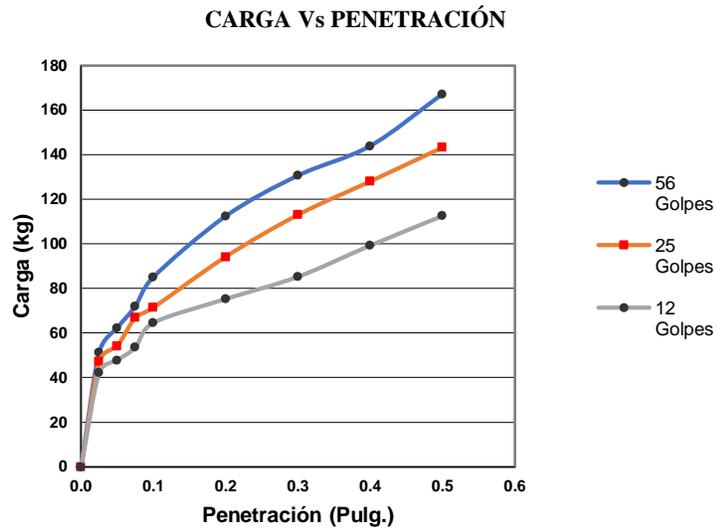
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.71 Corrección de carga y C.B.R. (56, 25 y 12 golpes)

N° GOLPES	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
CARGA Y C.B.R. 0,1"	85.1	6.26	71.4	5.25	64.6	4.75
CARGA Y C.B.R. 0,2"	112.4	5.53	94.2	4.63	75.3	3.70

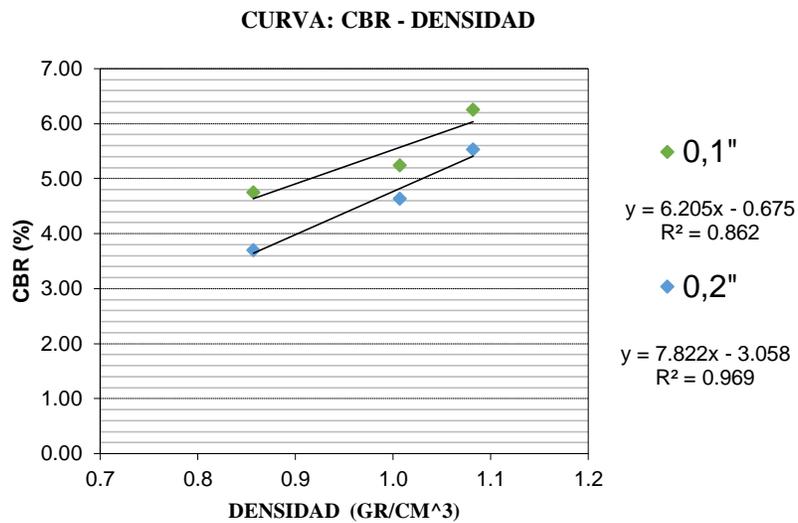
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.35 Carga vs Penetración, 7 cm con 2.0 % de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.36 CBR - Peso unitario, 7 cm con 2.0 % de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

CBR	100% D.máx	95% D.Máx.
0,1 "	10.96 %	10.37 %
0,2"	11.60 %	10.87 %

Tabla 3.72 Antes de sumergirse con 7 cm y 2.5 % de polipropileno

Prueba N°		1	2	3
N° de golpes por capa		56	25	12
Peso Mh+Molde (gr)		11640	12010	11570
Peso del Molde (gr)		7135	7972	7750
Peso Humedo M (gr)		4505	4038	3820
Volumen Molde (cm ³)		3225	3225	3225
Densidad humeda (gr/cm ³)		1.397	1.252	1.184

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.73 Después de sumergirse con 7 cm y 2.5 % de polipropileno

N° Golpes	56			25			12		
Peso Mh+Molde (gr)	11770			12380			11990		
Peso del Molde (gr)	7135			7972			7750		
Peso Humedo M (gr)	4635			4408			4240		
Volumen Molde (cm ³)	3225.0			3225.0			3225.0		
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.437			1.367			1.315		
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara+Suelo hum. (gr)	64.34	66.42	74.36	67.31	69.52	70.30	76.32	71.98	65.71
Tara+Suelo seco. (gr)	53.47	53.88	62.56	57.43	57.91	59.84	59.30	55.34	53.38
Peso de agua (gr)	10.87	12.54	11.8	9.88	11.61	10.46	17.02	16.64	12.33
Peso Tara (gr)	13.61	13.29	13.27	13.01	13.55	13.82	13.16	13.3	13.77
Peso Suelo seco (gr)	39.86	40.59	49.29	44.42	44.36	46.02	46.14	42.04	39.61
Contenido de Humedad(%)	27.27	30.89	23.94	22.24	26.17	22.73	36.89	39.58	31.13
Promedio cont. Humedad %	29.08		23.94	24.21		22.73	38.23		31.13
Densidad muestra seca (gr/cm ³)	1.082		1.160	1.008		1.114	0.857		1.003

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.74 Expansión, 7 cm con 2.5 % de polipropileno

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1 = 56 GOLPES			MOLDE N° 2 = 25 GOLPES			MOLDE N° 3 = 12 GOLPES			
			LECT. DIAL		EXPANSION	LECT. DIAL		EXPANSION	LECT. DIAL		EXPANSION	
			DIV = 0,01mm		mm	%	DIV = 0,01mm		mm	%	DIV = 0,01mm	
03-nov	11:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04-nov	11:30	1	155	1.55	1.325	175	1.75	1.500	203	2.03	1.732	
05-nov	11:30	2	190	1.90	1.624	236	2.36	2.022	250	2.5	2.133	
06-nov	11:30	3	236	2.36	2.017	270	2.7	2.314	300	3	2.560	
07-nov	11:30	4	283	2.83	2.419	322	3.22	2.759	345	3.45	2.944	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.75 Penetración, 7 cm con 2.5 % de polipropileno

Pulgadas	(mm)	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)
0.000	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	51.3	51.3	47.3	47.3	42.1	42.1
0.050	1.27	62.3	62.3	54.2	54.2	47.5	47.5
0.075	1.90	72.0	72.0	66.9	66.9	53.3	53.3
0.100	2.54	85.5	85.5	71.4	71.4	64.5	64.5
0.200	5.08	112.6	112.6	94.2	94.2	75.2	75.2
0.300	7.62	130.6	130.6	113.0	113.0	85.1	85.1
0.400	10.16	143.9	143.9	128.0	128.0	99.0	99.0
0.500	12.70	167.2	167.2	143.0	143.0	112.2	112.2

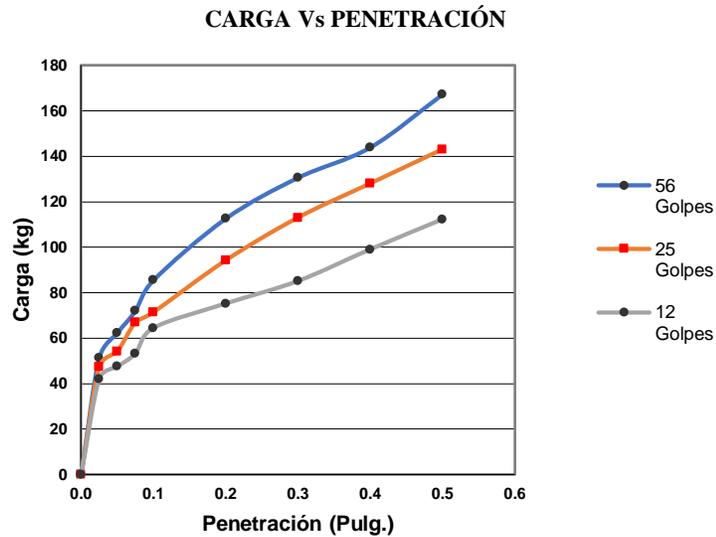
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.76 Corrección de carga y C.B.R. (56, 25 y 12 golpes)

N° GOLPES	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
CARGA Y C.B.R. 0,1"	85.5	6.28	71.4	5.25	64.5	4.74
CARGA Y C.B.R. 0,2"	112.6	5.54	94.2	4.63	75.2	3.70

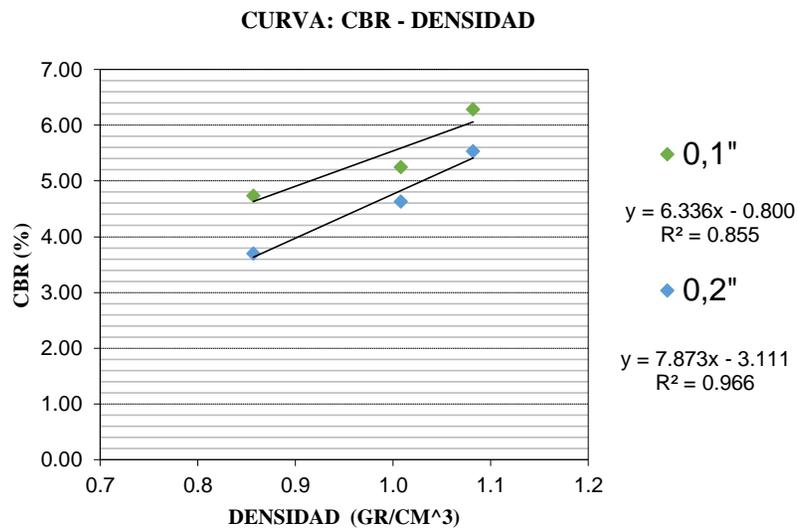
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.37 Carga vs Penetración, 7 cm con 2.5 % de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.38 CBR - Peso unitario, 7 cm con 2.5 % de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

CBR	100% D.máx	95% D.Máx.
0,1 "	9.84 %	9.31 %
0,2"	10.12 %	9.45 %

Tabla 3.77 Antes de sumergirse con 7 cm y 3.0 % de polipropileno

Prueba N°	1	2	3
N° de golpes por capa	56	25	12
Peso Mh+Molde (gr)	11650	12020	11568
Peso del Molde (gr)	7145	7995	7772
Peso Humedo M (gr)	4505	4025	3796
Volumen Molde (cm ³)	3225	3225	3225
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.397	1.248	1.177

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.78 Después de sumergirse con 7 cm y 3.0 % de polipropileno

N° Golpes	56			25			12		
Peso Mh+Molde (gr)	11790			12400			12020		
Peso del Molde (gr)	7145			7995			7772		
Peso Humedo M (gr)	4645			4405			4248		
Volumen Molde (cm ³)	3225.0			3225.0			3225.0		
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.440			1.366			1.317		
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara+Suelo hum. (gr)	84.40	86.50	94.45	87.50	99.60	80.30	76.32	81.75	75.60
Tara+Suelo seco. (gr)	73.52	73.90	82.60	77.52	77.90	69.85	59.30	65.25	63.50
Peso de agua (gr)	10.88	12.6	11.85	9.98	21.7	10.45	17.02	16.5	12.1
Peso Tara (gr)	13.61	13.29	13.27	13.01	13.55	13.82	13.16	13.3	13.77
Peso Suelo seco (gr)	59.91	60.61	69.33	64.51	64.35	56.03	46.14	51.95	49.73
Contenido de Humedad(%)	18.16	20.79	17.09	15.47	33.72	18.65	36.89	31.76	24.33
Promedio cont. Humedad %	19.47		17.09	24.60		18.65	34.32		24.33
Densidad muestra seca (gr/cm ³)	1.169		1.230	1.002		1.151	0.876		1.059

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.79 Expansión, 7 cm con 3.0 % de polipropileno

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1 = 56 GOLPES			MOLDE N° 2 = 25 GOLPES			MOLDE N° 3 = 12 GOLPES			
			LECT. DIAL		EXPANSION	LECT. DIAL		EXPANSION	LECT. DIAL		EXPANSION	
			DIV = 0,01mm		mm	%	DIV = 0,01mm		mm	%	DIV = 0,01mm	
03-nov	11:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04-nov	11:30	1	160	1.60	1.368	180	1.8	1.542	210	2.1	1.792	
05-nov	11:30	2	192	1.92	1.641	240	2.4	2.057	255	2.55	2.176	
06-nov	11:30	3	240	2.40	2.051	275	2.75	2.356	310	3.1	2.645	
07-nov	11:30	4	285	2.85	2.436	330	3.3	2.828	350	3.50	2.986	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.80 Penetración, 7 cm con 3.0 % de polipropileno

Pulgadas	(mm)	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)
0.000	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	51.6	51.6	47.5	47.5	42.1	42.1
0.050	1.27	62.3	62.3	54.2	54.2	47.5	47.5
0.075	1.90	72.0	72.0	66.9	66.9	53.3	53.3
0.100	2.54	85.5	85.5	71.2	71.2	64.5	64.5
0.200	5.08	112.6	112.6	94.2	94.2	75.2	75.2
0.300	7.62	130.6	130.6	113.0	113.0	85.1	85.1
0.400	10.16	143.9	143.9	128.0	128.0	99.0	99.0
0.500	12.70	167.2	167.2	143.0	143.0	112.2	112.2

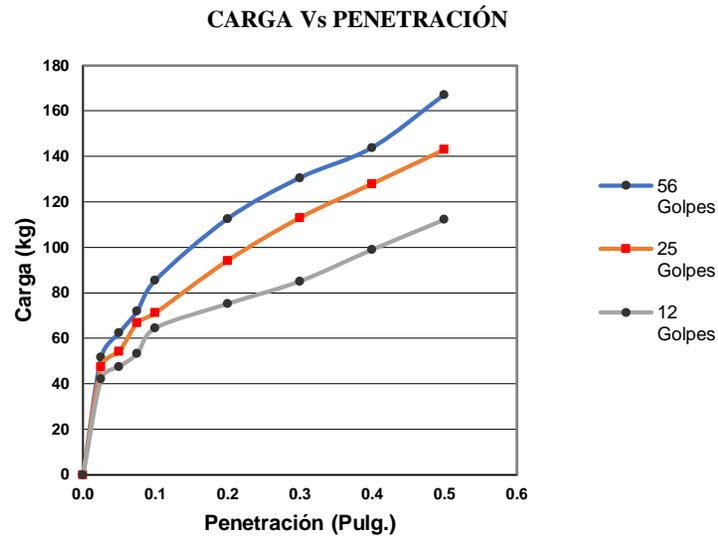
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.81 Corrección de carga y C.B.R. (56, 25 y 12 golpes)

N° GOLPES	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
CARGA Y C.B.R. 0,1"	85.5	6.28	71.2	5.23	64.5	4.74
CARGA Y C.B.R. 0,2"	112.6	5.54	94.2	4.63	75.2	3.70

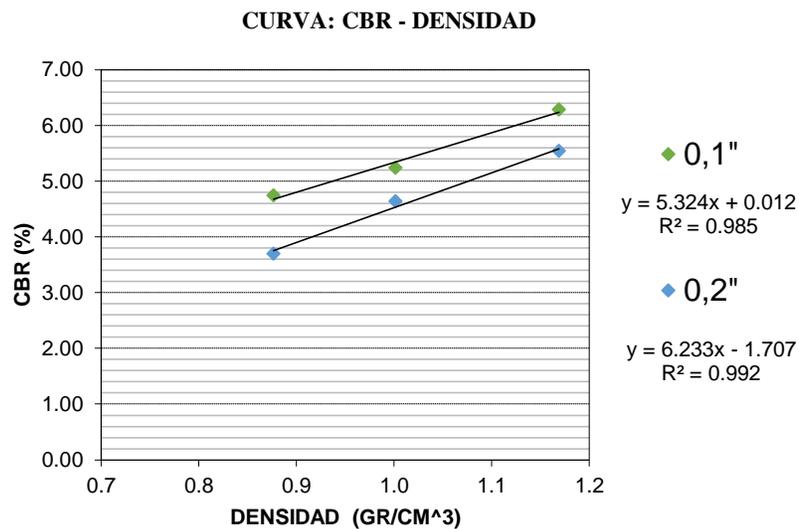
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.39 Carga vs Penetración, 7 cm con 3.0 % de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.40 CBR - Peso unitario, 7 cm con 3.0 % de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

CBR	100% D.máx	95% D.Máx.
0,1 "	8.99 %	8.54 %
0,2"	8.83 %	8.30 %

3.3.10 CBR con la dimensión seleccionada de 7cm y porcentaje de 1%

Tabla 3.82 Prueba 1, antes de sumergir

Prueba N°		1	2	3
N° de golpes por capa		56	25	12
Peso Mh+Molde (gr)		12257	11405	10905
Peso del Molde (gr)		7880	7870	7750
Peso Humedo M (gr)		4377	3535	3155
Volumen Molde (cm ³)		3225	3225	3225
Densidad humeda (gr/cm ³)		1.357	1.096	0.978

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.83 Prueba 1 Humedad y peso unitario, 7cm con 50 gr de polipropileno

N° Golpes		56			25			12		
Peso Mh+Molde (gr)		12645			11575			10990		
Peso del Molde (gr)		7880			7870			7750		
Peso Humedo M (gr)		4765			3705			3240		
Volumen Molde (cm ³)		3225.0			3225.0			3225.0		
Densidad humeda (gr/cm ³)		1.478			1.149			1.005		
MUESTRA DE HUMEDAD		Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara+Suelo hum. (gr)		80.35	65.45	81.60	65.30	87.10	68.30	70.50	75.50	80.02
Tara+Suelo seco. (gr)		67.62	54.25	69.50	57.70	74.20	65.60	65.30	68.70	78.42
Peso de agua (gr)		12.73	11.2	12.1	7.6	12.9	2.7	5.2	6.8	1.6
Peso Tara (gr)		13.80	13.92	13.33	13.13	12.34	12.51	12.02	12.48	13.21
Peso Suelo seco (gr)		53.82	40.33	56.17	44.57	61.86	53.09	53.28	56.22	65.21
Contenido de Humedad(%)		23.65	27.77	21.54	17.05	20.85	5.09	9.76	12.10	2.45
Promedio cont. Humedad %		25.71		21.54	18.95		5.09	10.93		2.45
Densidad muestra seca (gr/cm ³)		1.080		1.216	0.921		1.093	0.882		0.981

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.84 Prueba 1, Expansión, 7cm. con 50 gr de polipropileno

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1 = 56 GOLPES			MOLDE N° 2 = 25 GOLPES			MOLDE N° 3 = 12 GOLPES		
			LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION	
			DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%
03-ene	10:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04-ene	10:30	1	159	1.59	1.359	223	2.23	1.911	242	2.42	2.065
05-ene	10:30	2	187	1.87	1.598	256	2.56	2.194	271	2.71	2.312
06-ene	10:30	3	220	2.20	1.880	278	2.78	2.382	297	2.97	2.534
07-ene	10:30	4	245	2.45	2.094	309	3.09	2.648	343	3.43	2.927

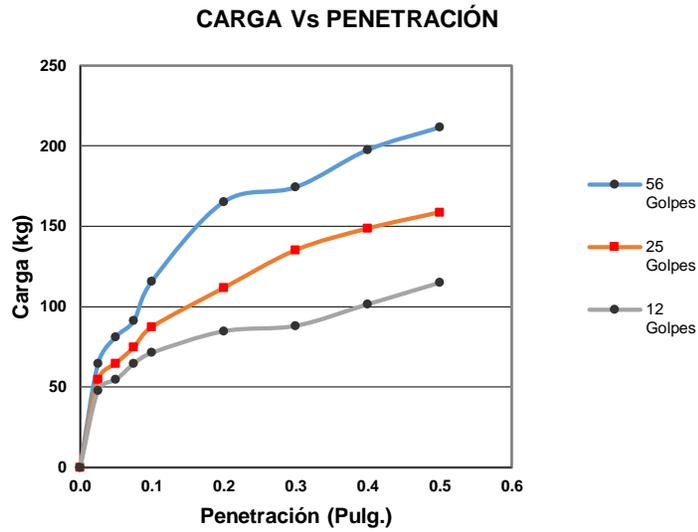
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.85 Prueba 1, CBR, penetración 7 cm con 50 gr de polipropileno

Pulgadas	(mm)	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)
0.000	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	64.5	64.5	54.6	54.6	47.9	47.9
0.050	1.27	81.2	81.2	64.6	64.6	54.6	54.6
0.075	1.90	91.2	91.2	74.7	74.7	64.6	64.6
0.100	2.54	115.8	115.8	87.3	87.3	71.4	71.4
0.200	5.08	165.2	165.2	111.6	111.6	84.8	84.8
0.300	7.62	174.3	174.3	135.1	135.1	88.1	88.1
0.400	10.16	197.5	197.5	148.5	148.5	101.6	101.6
0.500	12.70	211.5	211.5	158.6	158.6	115.0	115.0

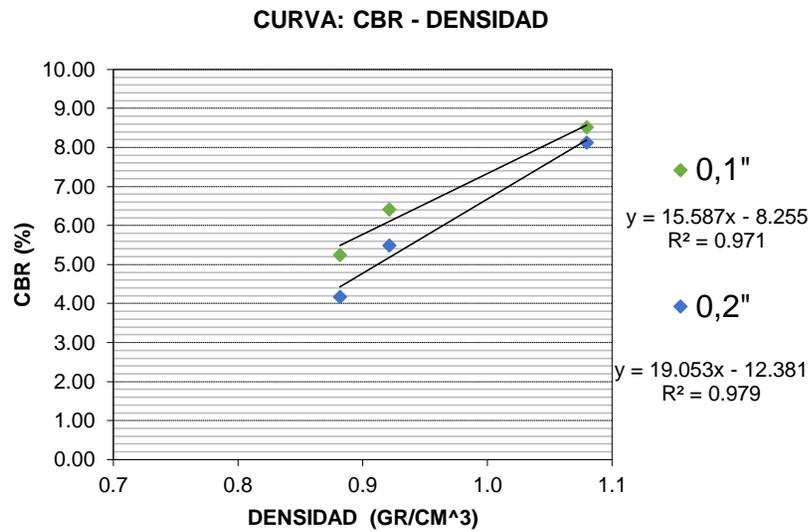
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.41 Prueba 1, Carga vs Penetración, 7 cm con 50gr de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.42 Prueba 1, CBR – Peso unitario, 7 cm con 50gr de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

CBR	100% D.máx	95% D.Máx.
0,1 "	20.96 %	19.50 %
0,2"	23.33 %	21.55 %

Tabla 3.86 Prueba 2, antes de sumergir

Prueba N°		1	2	3
N° de golpes por capa		56	25	12
Peso Mh+Molde (gr)		12460	11403	10920
Peso del Molde (gr)		7950	7760	7850
Peso Húmedo M (gr)		4510	3643	3070
Volumen Molde (cm³)		3225	3225	3225
Densidad humeda (gr/cm³)		1.398	1.130	0.952

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.87 Prueba 2 Humedad y peso unitario, 7cm con 50 gr de polipropileno

N° Golpes		56			25			12		
Peso Mh+Molde (gr)		12580			11570			11002		
Peso del Molde (gr)		7950			7760			7850		
Peso Humedo M (gr)		4630			3810			3152		
Volumen Molde (cm³)		3225.0			3225.0			3225.0		
Densidad humeda (gr/cm³)		1.436			1.181			0.977		
MUESTRA DE HUMEDAD		Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara+Suelo hum. (gr)		78.43	70.10	77.39	73.77	64.20	73.57	82.12	92.34	72.34
Tara+Suelo seco. (gr)		65.91	57.17	71.05	65.11	55.54	67.81	75.28	81.23	66.96
Peso de agua (gr)		12.52	12.93	6.34	8.66	8.66	5.76	6.84	11.11	5.38
Peso Tara (gr)		13.32	13.11	13.29	13.91	13.08	13.41	13.15	13.49	13.12
Peso Suelo seco (gr)		52.59	44.06	57.76	51.2	42.46	54.4	62.13	67.74	53.84
Contenido de Humedad(%)		23.81	29.35	10.98	16.91	20.40	10.59	11.01	16.40	9.99
Promedio cont. Humedad %		26.58		10.98	18.65		10.59	13.71		9.99
Densidad muestra seca (gr/cm³)		1.105		1.294	0.952		1.068	0.837		0.889

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.88 Prueba 2, Expansión, 7cm. con 50 gr de polipropileno

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1 = 56 GOLPES			MOLDE N° 2 = 25 GOLPES			MOLDE N° 3 = 12 GOLPES		
			LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION	
			DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%
10-ene	16:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11-ene	16:30	1	110	1.10	0.940	141	1.41	1.208	178	1.78	1.519
12-ene	16:30	2	121	1.21	1.034	169	1.69	1.448	210	2.1	1.792
13-ene	16:30	3	159	1.59	1.359	191	1.91	1.637	246	2.46	2.099
14-ene	16:30	4	201	2.01	1.718	234	2.34	2.005	283	2.83	2.415

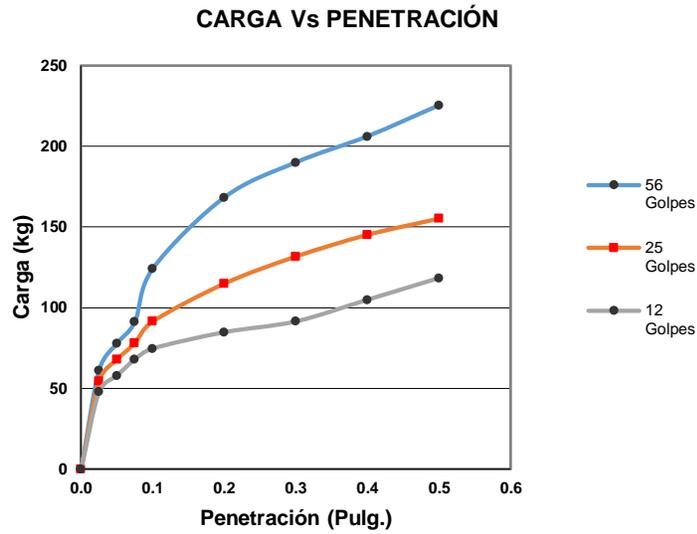
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.89 Prueba 2, CBR, penetración 7 cm con 50 gr de polipropileno

Pulgadas	(mm)	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)
0.000	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	61.2	61.2	54.6	54.6	47.9	47.9
0.050	1.27	77.9	77.9	68.0	68.0	57.9	57.9
0.075	1.90	91.2	91.2	78.1	78.1	68.0	68.0
0.100	2.54	124.1	124.1	91.5	91.5	74.7	74.7
0.200	5.08	168.2	168.2	115.0	115.0	84.8	84.8
0.300	7.62	189.9	189.9	131.8	131.8	91.5	91.5
0.400	10.16	206.1	206.1	145.2	145.2	104.9	104.9
0.500	12.70	225.3	225.3	155.3	155.3	118.3	118.3

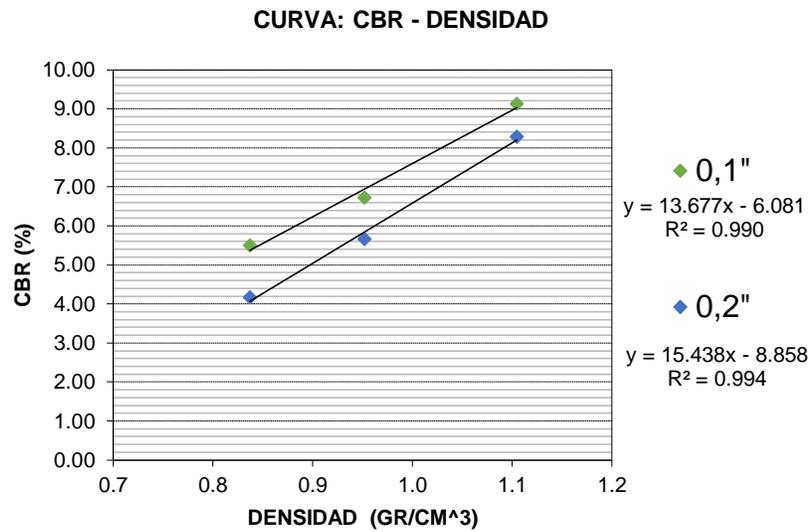
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.43 Prueba 2, Carga vs Penetración, 7 cm con 50gr de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.44 Prueba 2, CBR - Peso unitario, 7 cm con 50gr de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

CBR	100% D.máx	95% D.Máx.
0,1 "	19.56 %	18.27 %
0,2"	20.08 %	18.63 %

Tabla 3.90 Prueba 3, antes de sumergir

Prueba N°		1	2	3
N° de golpes por capa		56	25	12
Peso Mh+Molde (gr)		12620	11605	10910
Peso del Molde (gr)		7980	7870	7650
Peso Humedo M (gr)		4640	3735	3260
Volumen Molde (cm³)		3225	3225	3225
Densidad humeda (gr/cm³)		1.439	1.158	1.011

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.91 Prueba 3 Humedad y peso unitario, 7cm con 50 gr de polipropileno

N° Golpes	56			25			12		
Peso Mh+Molde (gr)	12820			11905			11105		
Peso del Molde (gr)	7980			7870			7650		
Peso Humedo M (gr)	4840			4035			3455		
Volumen Molde (cm³)	3225.0			3225.0			3225.0		
Densidad humeda (gr/cm³)	1.501			1.251			1.071		
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara+Suelo hum. (gr)	67.55	61.27	80.18	64.31	74.22	74.69	70.20	76.20	79.05
Tara+Suelo seco. (gr)	57.63	51.25	68.50	56.72	63.26	73.56	64.00	67.40	77.50
Peso de agua (gr)	9.92	10.02	11.68	7.59	10.96	1.13	6.2	8.8	1.55
Peso Tara (gr)	14.89	13.25	13.27	13.07	13.82	13.64	14.11	13.82	13.02
Peso Suelo seco (gr)	42.74	38	55.23	43.65	49.44	59.92	49.89	53.58	64.48
Contenido de Humedad(%)	23.21	26.37	21.15	17.39	22.17	1.89	12.43	16.42	2.40
Promedio cont. Humedad %	24.79		21.15	19.78		1.89	14.43		2.40
Densidad muestra seca (gr/cm³)	1.153		1.239	0.967		1.228	0.883		1.046

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.92 Prueba 3, Expansión, 7cm. con 50 gr de polipropileno

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1 = 56 GOLPES			MOLDE N° 2 = 25 GOLPES			MOLDE N° 3 = 12 GOLPES		
			LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION	
			DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%
17-ene	10:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18-ene	10:30	1	124	1.24	1.060	164	1.64	1.405	187	1.87	1.596
19-ene	10:30	2	147	1.47	1.256	188	1.88	1.611	231	2.31	1.971
20-ene	10:30	3	172	1.72	1.470	213	2.13	1.825	260	2.6	2.218
21-ene	10:30	4	204	2.04	1.744	250	2.5	2.142	298	2.98	2.543

Fuente: Elaboración propia.

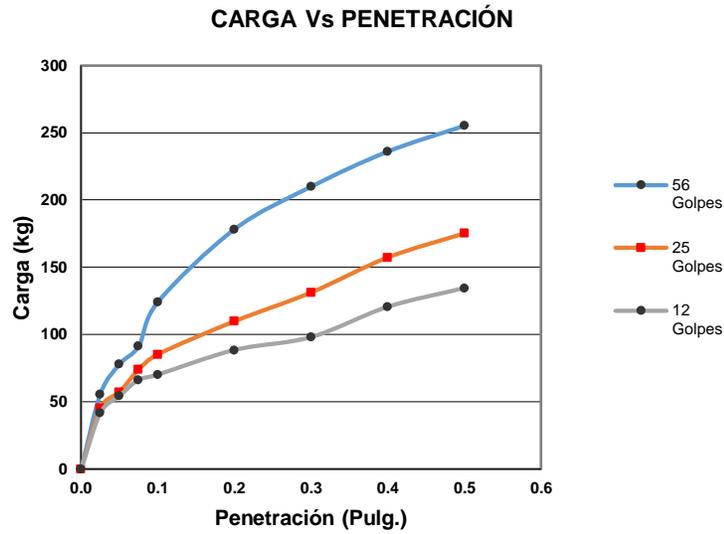
Tabla 3.93 Prueba 3, CBR, 7 cm con 50 gr de polipropileno

Pulgadas	(mm)	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)
0.000	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	55.7	55.7	45.3	45.3	41.6	41.6
0.050	1.27	77.9	77.9	57.3	57.3	54.3	54.3
0.075	1.90	91.2	91.2	73.9	73.9	66.3	66.3
0.100	2.54	124.1	124.1	85.2	85.2	70.1	70.1
0.200	5.08	178.2	178.2	109.8	109.8	88.4	88.4
0.300	7.62	209.9	209.9	131.2	131.2	98.0	98.0
0.400	10.16	236.1	236.1	157.3	157.3	120.5	120.5
0.500	12.70	255.3	255.3	175.2	175.2	134.5	134.5

Fuente: Elaboración propia.

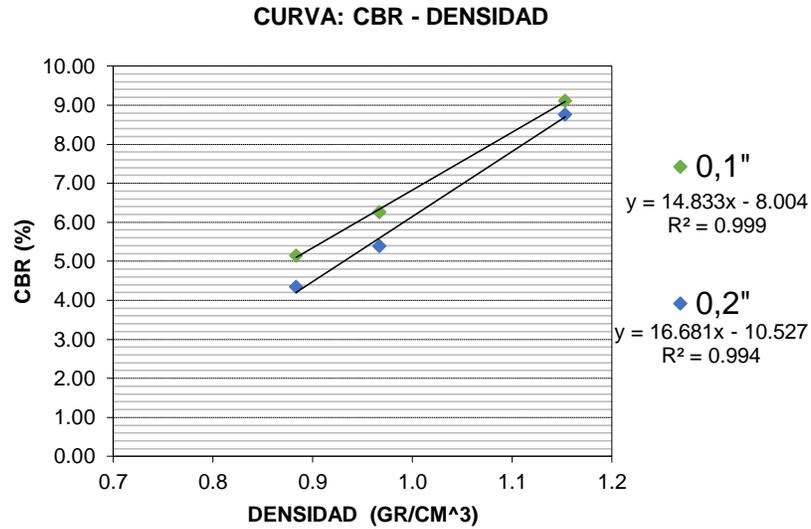
N° GOLPES	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
CARGA Y C.B.R. 0,1"	124.1	9.12	85.2	6.26	70.1	5.15
CARGA Y C.B.R. 0,2"	178.2	8.77	109.8	5.40	88.4	4.35

Gráfica 3.45 Prueba 3, Carga vs Penetración, 7 cm con 50gr de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.46 Prueba 3, CBR - Peso unitario, 7 cm con 50gr de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

CBR	100% D.máx	95% D.Máx.
0,1 "	19.80 %	18.41 %
0,2"	20.74 %	19.18 %

Tabla 3.94 Prueba 4, antes de sumergir

Prueba N°		1	2	3
N° de golpes por capa		56	25	12
Peso Mh+Molde (gr)		12252	11302	10805
Peso del Molde (gr)		7970	7860	7750
Peso Humedo M (gr)		4282	3442	3055
Volumen Molde (cm ³)		3225	3225	3225
Densidad humeda (gr/cm ³)		1.328	1.067	0.947

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.95 Prueba 4 Humedad y peso unitario, 7cm con 50 gr de polipropileno

N° Golpes	56			25			12		
Peso Mh+Molde (gr)	12315			11475			10860		
Peso del Molde (gr)	7970			7860			7750		
Peso Húmedo M (gr)	4345			3615			3110		
Volumen Molde (cm ³)	3225.0			3225.0			3225.0		
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.347			1.121			0.964		
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara+Suelo hum. (gr)	76.40	88.40	69.32	77.59	86.71	69.66	85.48	90.55	70.48
Tara+Suelo seco. (gr)	64.45	72.62	59.58	68.82	74.84	61.12	77.42	81.39	65.45
Peso de agua (gr)	11.95	15.78	9.74	8.77	11.87	8.54	8.06	9.16	5.03
Peso Tara (gr)	18.72	18.84	18.51	14.56	14.02	13.51	14.11	13.82	13.02
Peso Suelo seco (gr)	45.73	53.78	41.07	54.26	60.82	47.61	63.31	67.57	52.43
Contenido de Humedad(%)	26.13	29.34	23.72	16.16	19.52	17.94	12.73	13.56	9.59
Promedio cont. Humedad %	27.74		23.72	17.84		17.94	13.14		9.59
Densidad muestra seca (gr/cm ³)	1.039		1.089	0.906		0.950	0.837		0.880

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.96 Prueba 4, Expansión, 7cm. con 50 gr de polipropileno

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1 = 56 GOLPES			MOLDE N° 2 = 25 GOLPES			MOLDE N° 3 = 12 GOLPES		
			LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION	
			DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%
24-ene	11:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25-ene	11:00	1	111	1.11	0.949	157	1.57	1.345	194	1.94	1.655
26-ene	11:00	2	129	1.29	1.103	172	1.72	1.474	218	2.18	1.860
27-ene	11:00	3	164	1.64	1.402	209	2.09	1.791	246	2.46	2.099
28-ene	11:00	4	184	1.84	1.573	247	2.47	2.117	278	2.78	2.372

Fuente: Elaboración propia.

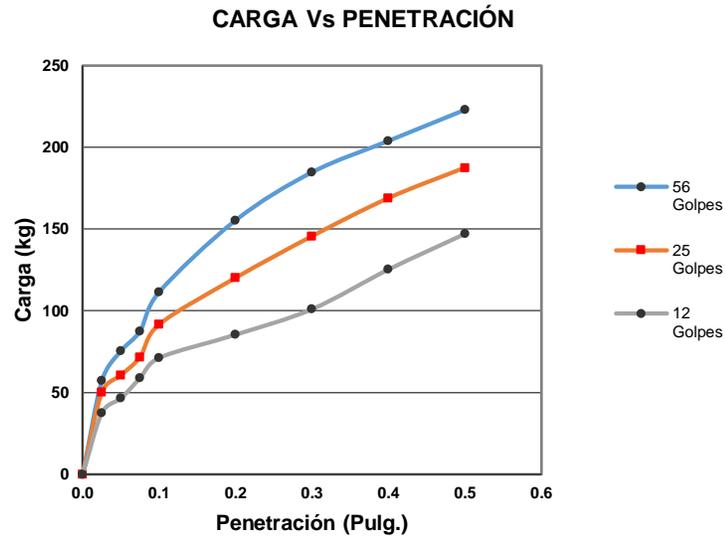
Tabla 3.97 Prueba 4, CBR, 7 cm con 50 gr de polipropileno

Pulgadas	(mm)	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)
0.000	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	57.2	57.2	50.2	50.2	37.5	37.5
0.050	1.27	75.4	75.4	60.5	60.5	46.5	46.5
0.075	1.90	87.6	87.6	71.7	71.7	58.9	58.9
0.100	2.54	111.5	111.5	91.6	91.6	71.2	71.2
0.200	5.08	155.4	155.4	120.1	120.1	85.4	85.4
0.300	7.62	184.8	184.8	145.6	145.6	101.0	101.0
0.400	10.16	204.0	204.0	168.9	168.9	125.3	125.3
0.500	12.70	223.0	223.0	187.5	187.5	147.1	147.1

Fuente: Elaboración propia.

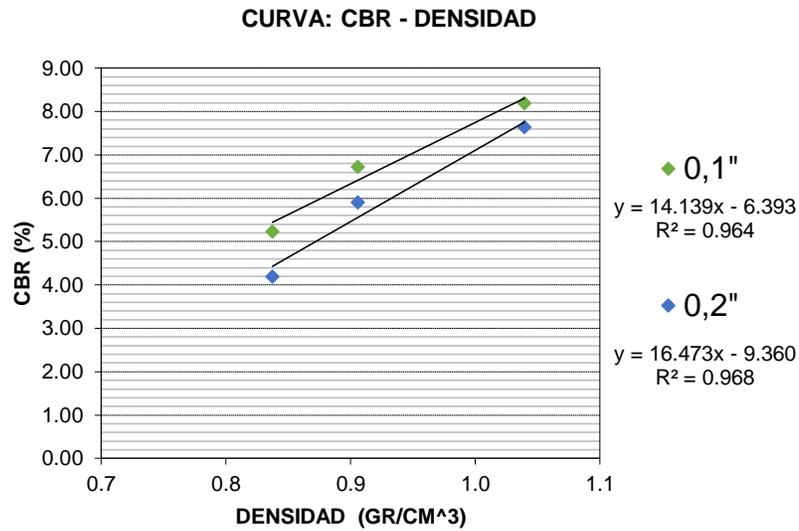
N° GOLPES	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
CARGA Y C.B.R. 0,1"	111.5	8.20	91.6	6.73	71.2	5.23
CARGA Y C.B.R. 0,2"	155.4	7.64	120.1	5.91	85.4	4.20

Gráfica 3.47 Prueba 4, Carga vs Penetración, 7 cm con 50gr de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.48 Prueba 4, CBR - Peso unitario, 7 cm con 50gr de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

CBR	100% D.máx	95% D.Máx.
0,1 "	20.11 %	18.79 %
0,2"	21.52 %	19.97 %

Tabla 3.98 Prueba 5, antes de sumergir

Prueba N°		1	2	3
N° de golpes por capa		56	25	12
Peso Mh+Molde (gr)		12455	11405	10905
Peso del Molde (gr)		7950	7850	7630
Peso Humedo M (gr)		4505	3555	3275
Volumen Molde (cm ³)		3225	3225	3225
Densidad humeda (gr/cm ³)		1.397	1.102	1.016

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.99 Prueba 5, Humedad y peso unitario, 7cm con 50 gr de polipropileno

N° Golpes		56			25			12		
Peso Mh+Molde (gr)		12520			11574			10990		
Peso del Molde (gr)		7950			7850			7630		
Peso Humedo M (gr)		4570			3724			3360		
Volumen Molde (cm ³)		3225.0			3225.0			3225.0		
Densidad humeda (gr/cm ³)		1.417			1.155			1.042		
MUESTRA DE HUMEDAD		Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara+Suelo hum. (gr)		67.64	62.15	81.32	65.32	75.14	75.59	71.50	77.50	80.02
Tara+Suelo seco. (gr)		57.85	52.18	69.49	57.69	64.19	68.56	65.30	68.70	74.42
Peso de agua (gr)		9.79	9.97	11.83	7.63	10.95	7.03	6.2	8.8	5.6
Peso Tara (gr)		13.35	13.59	13.67	13.24	12.62	12.58	13.45	12.85	13.68
Peso Suelo seco (gr)		44.5	38.59	55.82	44.45	51.57	55.98	51.85	55.85	60.74
Contenido de Humedad(%)		22.00	25.84	21.19	17.17	21.23	12.56	11.96	15.76	9.22
Promedio cont. Humedad %		23.92		21.19	19.20		12.56	13.86		9.22
Densidad muestra seca (gr/cm ³)		1.127		1.169	0.925		1.026	0.892		0.954

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.100 Prueba 5, Expansión, 7cm. con 50 gr de polipropileno

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1 = 56 GOLPES			MOLDE N° 2 = 25 GOLPES			MOLDE N° 3 = 12 GOLPES		
			LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION	
			DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%
31-ene	10:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01-feb	10:00	1	99	0.99	0.846	132	1.32	1.131	179	1.79	1.527
02-feb	10:00	2	119	1.19	1.017	143	1.43	1.225	194	1.94	1.655
03-feb	10:00	3	137	1.37	1.171	167	1.67	1.431	215	2.15	1.834
04-feb	10:00	4	145	1.45	1.239	182	1.82	1.560	240	2.40	2.048

Fuente: Elaboración propia.

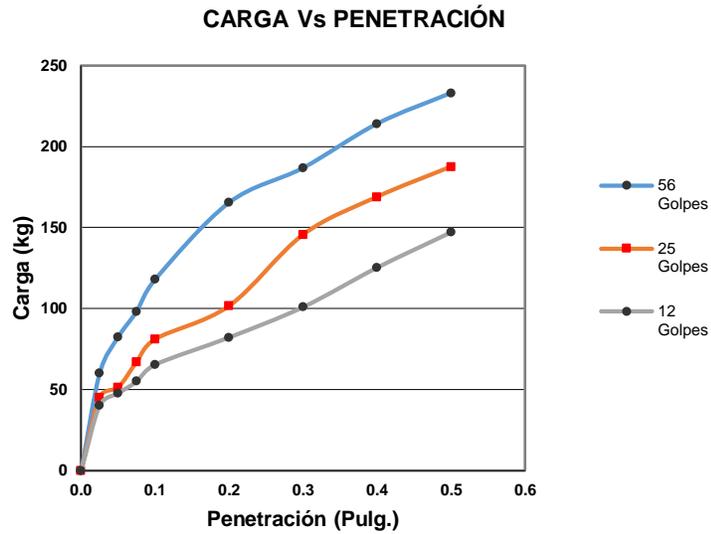
Tabla 3.101 Prueba 5, CBR, 7 cm con 50 gr de polipropileno

Pulgadas	(mm)	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)
0.000	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	60.2	60.2	45.3	45.3	40.3	40.3
0.050	1.27	82.5	82.5	51.4	51.4	47.8	47.8
0.075	1.90	98.3	98.3	67.2	67.2	55.2	55.2
0.100	2.54	118.0	118.0	81.2	81.2	65.5	65.5
0.200	5.08	165.4	165.4	101.7	101.7	82.3	82.3
0.300	7.62	186.8	186.8	145.6	145.6	101.0	101.0
0.400	10.16	214.0	214.0	168.9	168.9	125.3	125.3
0.500	12.70	233.0	233.0	187.5	187.5	147.1	147.1

Fuente: Elaboración propia.

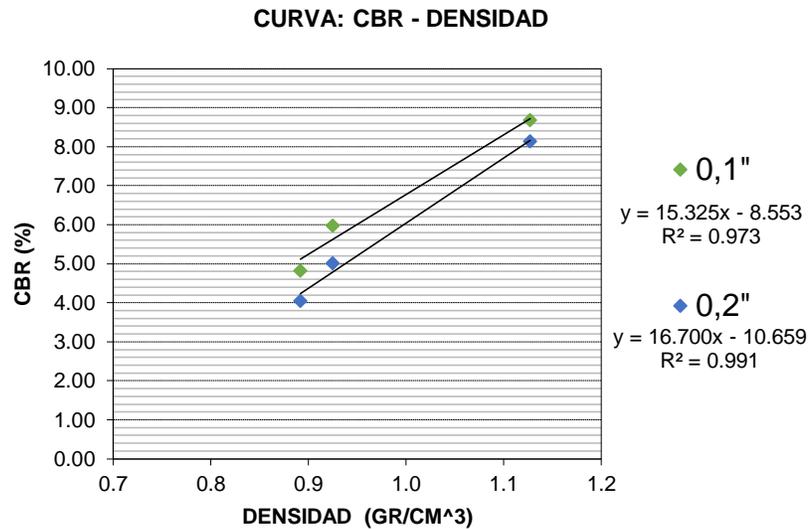
N° GOLPES	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
CARGA Y C.B.R. 0,1"	118.0	8.67	81.2	5.97	65.5	4.81
CARGA Y C.B.R. 0,2"	165.4	8.14	101.7	5.00	82.3	4.05

Gráfica 3.49 Prueba 5, Carga vs Penetración, 7 cm con 50gr de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.50 Prueba 5, CBR - Peso unitario, 7 cm con 50gr de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

CBR	100% D.máx	95% D.Máx.
0,1 "	20.17 %	18.74 %
0,2"	20.65 %	19.08 %

Tabla 3.102 Prueba 6, antes de sumergir

Prueba N°		1	2	3
N° de golpes por capa		56	25	12
Peso Mh+Molde (gr)		12540	11440	10911
Peso del Molde (gr)		7970	7850	7650
Peso Humedo M (gr)		4570	3590	3261
Volumen Molde (cm ³)		3225	3225	3225
Densidad humeda (gr/cm ³)		1.417	1.113	1.011

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.103 Prueba 6, Humedad y peso unitario, 7cm con 50 gr de polipropileno

N° Golpes	56			25			12		
Peso Mh+Molde (gr)	12560			11560			10997		
Peso del Molde (gr)	7970			7850			7650		
Peso Humedo M (gr)	4590			3710			3347		
Volumen Molde (cm ³)	3225.0			3225.0			3225.0		
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.423			1.150			1.038		
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara+Suelo hum. (gr)	76.45	68.30	72.30	67.91	69.42	70.23	84.23	71.30	74.29
Tara+Suelo seco. (gr)	64.42	56.45	62.01	59.45	60.19	61.42	76.88	63.34	67.99
Peso de agua (gr)	12.03	11.85	10.29	8.462	9.23	8.81	7.35	7.96	6.3
Peso Tara (gr)	13.23	13.54	14.52	12.34	13.81	13.55	13.52	13.24	13.47
Peso Suelo seco (gr)	51.19	42.91	47.49	47.11	46.38	47.87	63.36	50.1	54.52
Contenido de Humedad(%)	23.50	27.62	21.67	17.96	19.90	18.40	11.60	15.89	11.56
Promedio cont. Humedad %	25.56		21.67	18.93		18.40	13.74		11.56
Densidad muestra seca (gr/cm ³)	1.129		1.170	0.936		0.972	0.889		0.930

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.104 Prueba 6, Expansión, 7cm. con 50 gr de polipropileno

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1 = 56 GOLPES			MOLDE N° 2 = 25 GOLPES			MOLDE N° 3 = 12 GOLPES		
			LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION	
			DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%
07-feb	11:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08-feb	11:00	1	87	0.87	0.744	106	1.06	0.908	185	1.85	1.578
09-feb	11:00	2	98	0.98	0.838	156	1.56	1.337	221	2.21	1.886
10-feb	11:00	3	105	1.05	0.897	186	1.86	1.594	256	2.56	2.184
11-feb	11:00	4	127	1.27	1.085	243	2.43	2.082	289	2.89	2.466

Fuente: Elaboración propia.

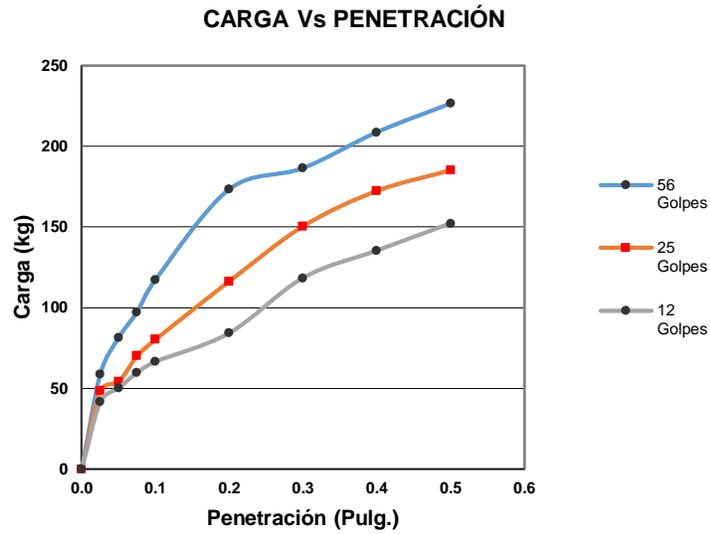
Tabla 3.105 Prueba 6, CBR, 7 cm con 50 gr de polipropileno

Pulgadas	(mm)	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)
0.000	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	58.7	58.7	48.5	48.5	41.6	41.6
0.050	1.27	81.5	81.5	54.2	54.2	50.3	50.3
0.075	1.90	97.4	97.4	70.2	70.2	59.8	59.8
0.100	2.54	117.4	117.4	80.4	80.4	66.6	66.6
0.200	5.08	173.4	173.4	116.4	116.4	84.3	84.3
0.300	7.62	186.5	186.5	150.5	150.5	118.4	118.4
0.400	10.16	208.7	208.7	172.4	172.4	135.3	135.3
0.500	12.70	226.5	226.5	185.2	185.2	152.1	152.1

Fuente: Elaboración propia.

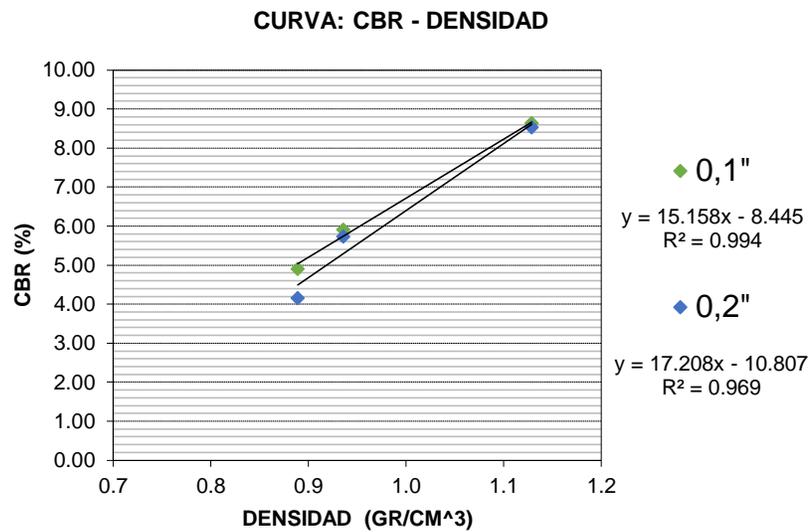
N° GOLPES	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
CARGA Y C.B.R. 0,1"	117.4	8.63	80.4	5.91	66.6	4.90
CARGA Y C.B.R. 0,2"	173.4	8.53	116.4	5.73	84.3	4.15

Gráfica 3.51 Prueba 6, Carga vs Penetración, 7 cm con 50gr de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.52 Prueba 6, CBR - Peso unitario, 7 cm con 50gr de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

CBR	100% D.máx	95% D.Máx.
0,1 "	19.97 %	18.55 %
0,2"	21.45 %	19.84 %

Tabla 3.106 Prueba 7, antes de sumergir

Prueba N°		1	2	3
N° de golpes por capa		56	25	12
Peso Mh+Molde (gr)		12480	11405	10810
Peso del Molde (gr)		7680	7570	7350
Peso Humedo M (gr)		4800	3835	3460
Volumen Molde (cm³)		3225	3225	3225
Densidad humeda (gr/cm³)		1.488	1.189	1.073

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.107 Prueba 7, Humedad y peso unitario, 7cm con 50 gr de polipropileno

N° Golpes	56			25			12		
Peso Mh+Molde (gr)	12480			11565			10890		
Peso del Molde (gr)	7680			7570			7350		
Peso Húmedo M (gr)	4800			3995			3540		
Volumen Molde (cm³)	3225.0			3225.0			3225.0		
Densidad húmeda (gr/cm³)	1.488			1.239			1.098		
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara+Suelo hum. (gr)	65.52	60.28	78.55	63.53	73.11	79.35	84.23	71.30	74.29
Tara+Suelo seco. (gr)	55.71	50.39	67.56	58.78	66.22	76.54	76.88	63.34	67.99
Peso de agua (gr)	9.81	9.89	10.99	4.75	6.89	2.81	7.35	7.96	6.3
Peso Tara (gr)	12.49	12.60	13.51	13.07	12.58	13.33	13.52	13.24	13.47
Peso Suelo seco (gr)	43.22	37.79	54.05	45.71	53.64	63.21	63.36	50.1	54.52
Contenido de Humedad(%)	22.70	26.17	20.33	10.39	12.84	4.45	11.60	15.89	11.56
Promedio cont. Humedad %	24.43		20.33	11.62		4.45	13.74		11.56
Densidad muestra seca (gr/cm³)	1.196		1.237	1.065		1.186	0.943		0.984

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.108 Prueba 7, Expansión, 7cm. con 50 gr de polipropileno

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1 = 56 GOLPES			MOLDE N° 2 = 25 GOLPES			MOLDE N° 3 = 12 GOLPES		
			LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION	
			DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%
14-feb	17:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-feb	17:30	1	93	0.93	0.795	145	1.45	1.243	205	2.05	1.749
16-feb	17:30	2	133	1.33	1.137	183	1.83	1.568	238	2.38	2.031
17-feb	17:30	3	168	1.68	1.436	211	2.11	1.808	279	2.79	2.381
18-feb	17:30	4	190	1.90	1.624	276	2.76	2.365	301	3.01	2.568

Fuente: Elaboración propia.

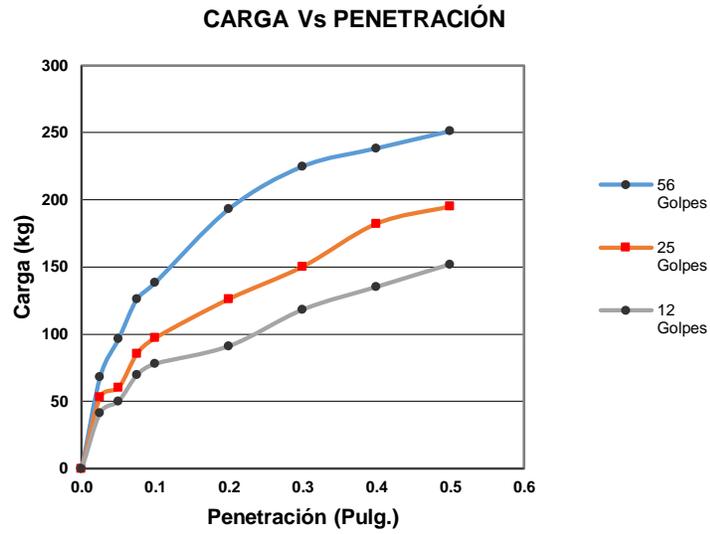
Tabla 3.109 Prueba 7, CBR, 7 cm con 50 gr de polipropileno

Pulgadas	(mm)	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)
0.000	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	68.5	68.5	53.4	53.4	41.6	41.6
0.050	1.27	96.6	96.6	60.3	60.3	50.3	50.3
0.075	1.90	126.4	126.4	85.7	85.7	69.8	69.8
0.100	2.54	138.6	138.6	97.4	97.4	78.1	78.1
0.200	5.08	193.4	193.4	126.4	126.4	91.3	91.3
0.300	7.62	225.0	225.0	150.5	150.5	118.4	118.4
0.400	10.16	238.4	238.4	182.4	182.4	135.3	135.3
0.500	12.70	251.2	251.2	195.2	195.2	152.1	152.1

Fuente: Elaboración propia.

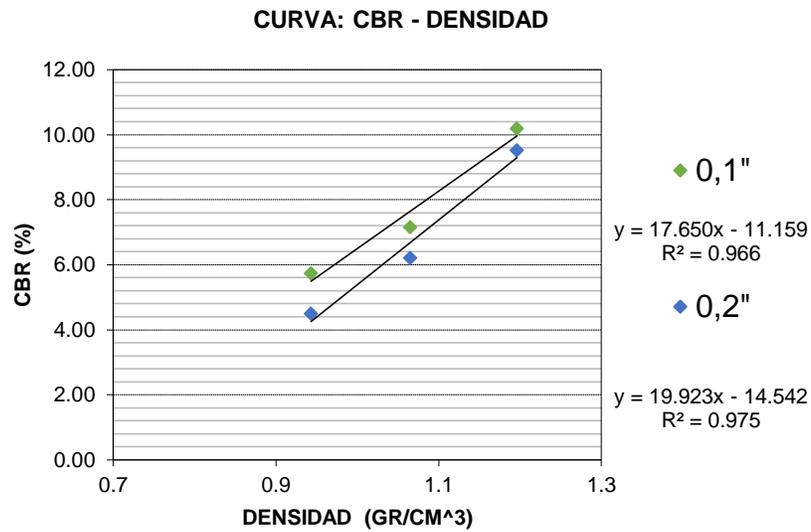
N° GOLPES	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
CARGA Y C.B.R. 0,1"	138.6	10.19	97.4	7.16	78.1	5.74
CARGA Y C.B.R. 0,2"	193.4	9.51	126.4	6.22	91.3	4.49

Gráfica 3.53 Prueba 7, Carga vs Penetración, 7 cm con 50gr de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.54 Prueba 7, CBR - Peso unitario, 7 cm con 50gr de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

CBR	100% D.máx	95% D.Máx.
0,1 "	21.93 %	20.27 %
0,2"	22.80 %	20.94 %

Tabla 3.110 Prueba 8, antes de sumergir

Prueba N°		1	2	3
N° de golpes por capa		56	25	12
Peso Mh+Molde (gr)		12770	11705	10405
Peso del Molde (gr)		7880	7770	7460
Peso Humedo M (gr)		4890	3935	2945
Volumen Molde (cm³)		3225	3225	3225
Densidad humeda (gr/cm³)		1.516	1.220	0.913

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.111 Prueba 8, Humedad y peso unitario, 7cm con 50 gr de polipropileno

N° Golpes	56			25			12		
Peso Mh+Molde (gr)	12820			11850			10697		
Peso del Molde (gr)	7880			7770			7460		
Peso Humedo M (gr)	4940			4080			3237		
Volumen Molde (cm³)	3225.0			3225.0			3225.0		
Densidad humeda (gr/cm³)	1.532			1.265			1.004		
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara+Suelo hum. (gr)	78.50	74.13	70.67	72.31	68.40	79.53	70.23	75.41	73.56
Tara+Suelo seco. (gr)	67.34	63.23	60.83	63.66	59.39	69.22	64.12	67.09	65.89
Peso de agua (gr)	11.16	10.9	9.84	8.65	9.01	10.31	6.11	8.32	7.67
Peso Tara (gr)	13.92	13.88	13.51	13.05	12.75	12.57	15.48	15.13	13.78
Peso Suelo seco (gr)	53.42	49.35	47.32	50.61	46.64	56.65	48.64	51.96	52.11
Contenido de Humedad(%)	20.89	22.09	20.79	17.09	19.32	18.20	12.56	16.01	14.72
Promedio cont. Humedad %	21.49		20.79	18.20		18.20	14.29		14.72
Densidad muestra seca (gr/cm³)	1.248		1.268	1.032		1.070	0.799		0.875

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.112 Prueba 8, Expansión, 7cm. con 50 gr de polipropileno

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1 = 56 GOLPES			MOLDE N° 2 = 25 GOLPES			MOLDE N° 3 = 12 GOLPES		
			LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION	
			DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%
20-feb	10:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-feb	10:00	1	105	1.05	0.897	151	1.51	1.294	216	2.16	1.843
22-feb	10:00	2	146	1.46	1.248	183	1.83	1.568	246	2.46	2.099
23-feb	10:00	3	186	1.86	1.590	205	2.05	1.757	289	2.89	2.466
24-feb	10:00	4	205	2.05	1.752	269	2.69	2.305	334	3.34	2.850

Fuente: Elaboración propia.

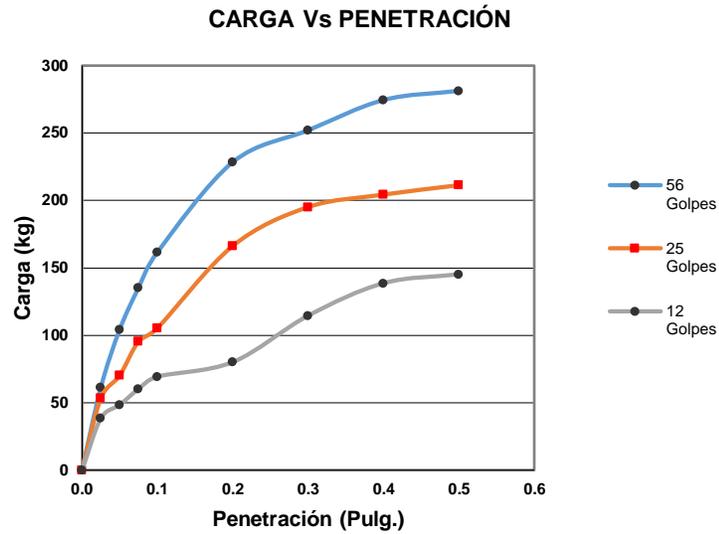
Tabla 3.113 Prueba 8, CBR, 7 cm con 50 gr de polipropileno

Pulgadas	(mm)	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)
0.000	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	61.4	61.4	53.4	53.4	38.5	38.5
0.050	1.27	104.3	104.3	70.3	70.3	48.5	48.5
0.075	1.90	135.3	135.3	95.7	95.7	60.3	60.3
0.100	2.54	161.6	161.6	105.4	105.4	69.4	69.4
0.200	5.08	228.4	228.4	166.4	166.4	80.2	80.2
0.300	7.62	252.0	252.0	195.2	195.2	114.6	114.6
0.400	10.16	274.4	274.4	204.4	204.4	138.6	138.6
0.500	12.70	281.2	281.2	211.4	211.4	145.2	145.2

Fuente: Elaboración propia.

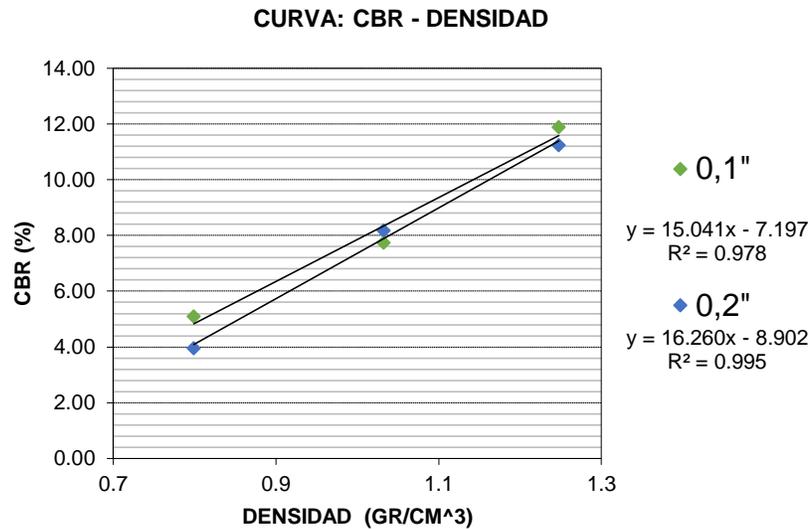
N° GOLPES	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
CARGA Y C.B.R. 0,1"	161.6	11.88	105.4	7.75	69.4	5.10
CARGA Y C.B.R. 0,2"	228.4	11.24	166.4	8.19	80.2	3.95

Gráfica 3.55 Prueba 8, Carga vs Penetración, 7 cm con 50gr de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.56 Prueba 8, CBR - Peso unitario, 7 cm con 50gr de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

CBR	100% D.máx	95% D.Máx.
0,1 "	21.00 %	19.59 %
0,2"	21.58 %	20.05 %

Tabla 3.114 Prueba 9, antes de sumergir

Prueba N°		1	2	3
N° de golpes por capa		56	25	12
Peso Mh+Molde (gr)		12355	11405	10890
Peso del Molde (gr)		7860	7850	7630
Peso Humedo M (gr)		4495	3555	3260
Volumen Molde (cm ³)		3225	3225	3225
Densidad humeda (gr/cm ³)		1.394	1.102	1.011

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.115 Prueba 9, Humedad y peso unitario, 7cm con 50 gr de polipropileno

N° Golpes	56			25			12		
Peso Mh+Molde (gr)	12430			11575			10990		
Peso del Molde (gr)	7860			7850			7630		
Peso Humedo M (gr)	4570			3725			3360		
Volumen Molde (cm ³)	3225.0			3225.0			3225.0		
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.417			1.155			1.042		
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara+Suelo hum. (gr)	68.54	69.43	74.32	80.63	69.82	60.31	75.31	72.39	68.51
Tara+Suelo seco. (gr)	56.55	56.45	62.97	71.54	61.24	54.97	69.04	64.76	62.44
Peso de agua (gr)	11.99	12.98	11.35	9.09	8.58	5.34	6.27	7.63	6.07
Peso Tara (gr)	13.24	13.82	13.41	13.22	13.65	13.03	13.65	13.62	13.52
Peso Suelo seco (gr)	43.31	42.63	49.56	58.32	47.59	41.94	55.39	51.14	48.92
Contenido de Humedad(%)	27.68	30.45	22.90	15.59	18.03	12.73	11.32	14.92	12.41
Promedio cont. Humedad %	29.07		22.90	16.81		12.73	13.12		12.41
Densidad muestra seca (gr/cm ³)	1.080		1.153	0.944		1.025	0.894		0.927

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.116 Prueba 9, Expansión, 7cm. con 50 gr de polipropileno

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1 = 56 GOLPES			MOLDE N° 2 = 25 GOLPES			MOLDE N° 3 = 12 GOLPES		
			LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION	
			DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%
24-feb	17:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25-feb	17:00	1	123	1.23	1.051	165	1.65	1.414	231	2.31	1.971
26-feb	17:00	2	154	1.54	1.316	193	1.93	1.654	264	2.64	2.253
27-feb	17:00	3	195	1.95	1.667	248	2.48	2.125	291	2.91	2.483
28-feb	17:00	4	246	2.46	2.103	287	2.87	2.459	351	3.51	2.995

Fuente: Elaboración propia.

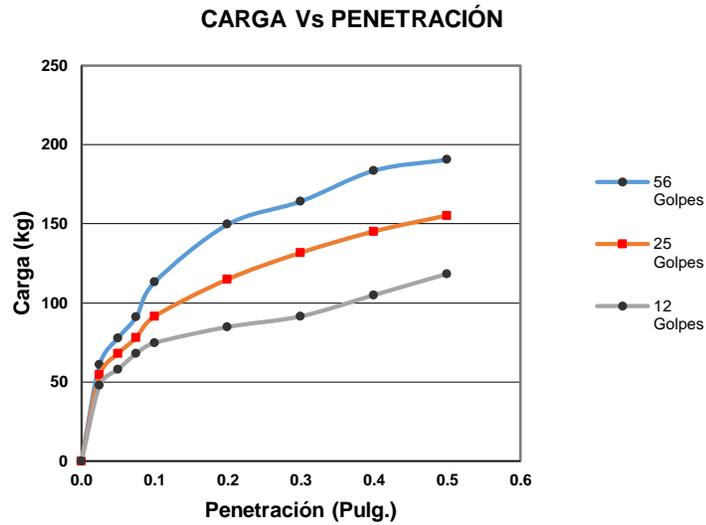
Tabla 3.117 Prueba 9, CBR, 7 cm con 50 gr de polipropileno

Pulgadas	(mm)	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)
0.000	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	61.2	61.2	54.6	54.6	47.9	47.9
0.050	1.27	77.9	77.9	68.0	68.0	57.9	57.9
0.075	1.90	91.2	91.2	78.1	78.1	68.0	68.0
0.100	2.54	113.2	113.2	91.5	91.5	74.7	74.7
0.200	5.08	149.7	149.7	115.0	115.0	84.8	84.8
0.300	7.62	164.3	164.3	131.8	131.8	91.5	91.5
0.400	10.16	183.7	183.7	145.2	145.2	104.9	104.9
0.500	12.70	190.6	190.6	155.3	155.3	118.3	118.3

Fuente: Elaboración propia.

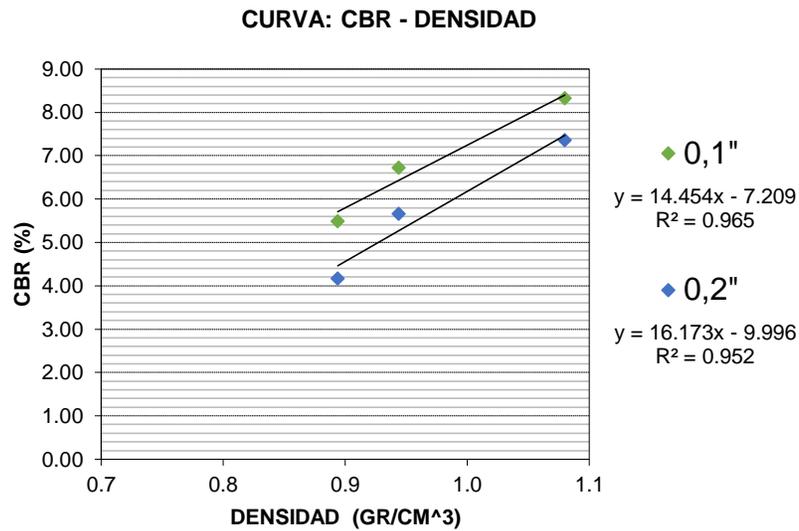
N° GOLPES	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
CARGA Y C.B.R. 0,1"	113.2	8.32	91.5	6.73	74.7	5.49
CARGA Y C.B.R. 0,2"	149.7	7.36	115.0	5.66	84.8	4.17

Gráfica 3.57 Prueba 9, Carga vs Penetración, 7 cm con 50gr de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.58 Prueba 9, CBR - Peso unitario, 7 cm con 50gr de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

CBR	100% D.máx	95% D.Máx.
0,1 "	19.89 %	18.53 %
0,2"	20.32 %	18.80 %

Tabla 3.118 Prueba 10, antes de sumergir

Prueba N°		1	2	3
N° de golpes por capa		56	25	12
Peso Mh+Molde (gr)		12460	11405	10860
Peso del Molde (gr)		7990	7900	7650
Peso Humedo M (gr)		4470	3505	3210
Volumen Molde (cm ³)		3225	3225	3225
Densidad humeda (gr/cm ³)		1.386	1.087	0.995

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.119 Prueba 10, Humedad y peso unitario, 7cm con 50 gr de polipropileno

N° Golpes		56			25			12		
Peso Mh+Molde (gr)		12540			11560			10920		
Peso del Molde (gr)		7990			7900			7650		
Peso Húmedo M (gr)		4550			3660			3270		
Volumen Molde (cm ³)		3225.0			3225.0			3225.0		
Densidad húmeda (gr/cm ³)		1.411			1.135			1.014		
MUESTRA DE HUMEDAD		Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara+Suelo hum. (gr)		73.29	70.80	71.38	78.43	72.95	67.48	71.11	68.53	68.51
Tara+Suelo seco. (gr)		61.35	57.74	63.46	67.89	61.83	59.45	65.05	62.47	63.52
Peso de agua (gr)		11.94	13.06	7.92	10.54	11.12	8.03	6.06	6.06	4.99
Peso Tara (gr)		14.23	13.55	13.29	13.56	13.6	13.45	13.68	14.02	13.52
Peso Suelo seco (gr)		47.12	44.19	50.17	54.33	48.23	46	51.37	48.45	50
Contenido de Humedad(%)		25.34	29.55	15.79	19.40	23.06	17.46	11.80	12.51	9.98
Promedio cont. Humedad %		27.45		15.79	21.23		17.46	12.15		9.98
Densidad muestra seca (gr/cm ³)		1.088		1.218	0.897		0.966	0.887		0.922

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.120 Prueba 7, Expansión, 7cm. con 50 gr de polipropileno

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1 = 56 GOLPES			MOLDE N° 2 = 25 GOLPES			MOLDE N° 3 = 12 GOLPES		
			LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION		LECT. DIAL	EXPANSION	
			DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%	DIV = 0,01mm	mm	%
31-ene	17:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01-feb	17:30	1	132	1.32	1.128	143	1.43	1.225	213	2.13	1.817
02-feb	17:30	2	161	1.61	1.376	178	1.78	1.525	244	2.44	2.082
03-feb	17:30	3	187	1.87	1.598	228	2.28	1.954	289	2.89	2.466
04-feb	17:30	4	223	2.23	1.906	263	2.63	2.254	320	3.20	2.730

Fuente: Elaboración propia.

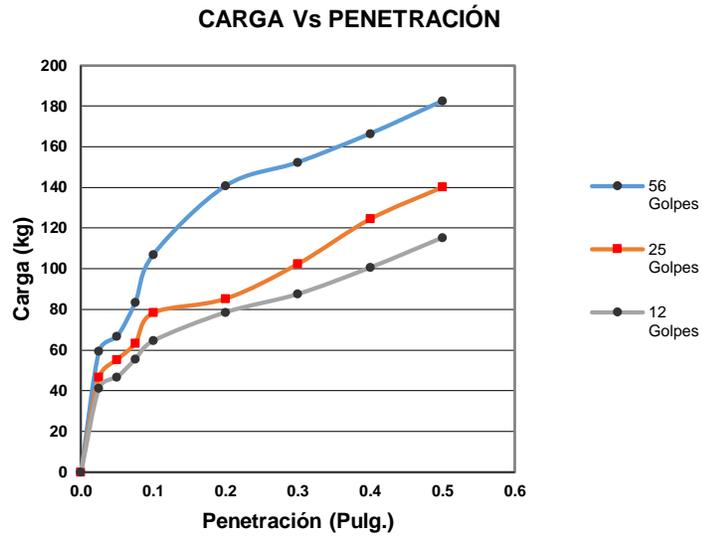
Tabla 3.121 Prueba 10, CBR, 7 cm con 50 gr de polipropileno

Pulgadas	(mm)	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)
0.000	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	59.4	59.4	46.6	46.6	41.2	41.2
0.050	1.27	66.7	66.7	55.3	55.3	46.7	46.7
0.075	1.90	83.4	83.4	63.4	63.4	55.4	55.4
0.100	2.54	106.9	106.9	78.4	78.4	64.5	64.5
0.200	5.08	140.7	140.7	85.3	85.3	78.5	78.5
0.300	7.62	152.3	152.3	102.4	102.4	87.5	87.5
0.400	10.16	166.4	166.4	124.5	124.5	100.5	100.5
0.500	12.70	182.5	182.5	140.2	140.2	115.2	115.2

Fuente: Elaboración propia.

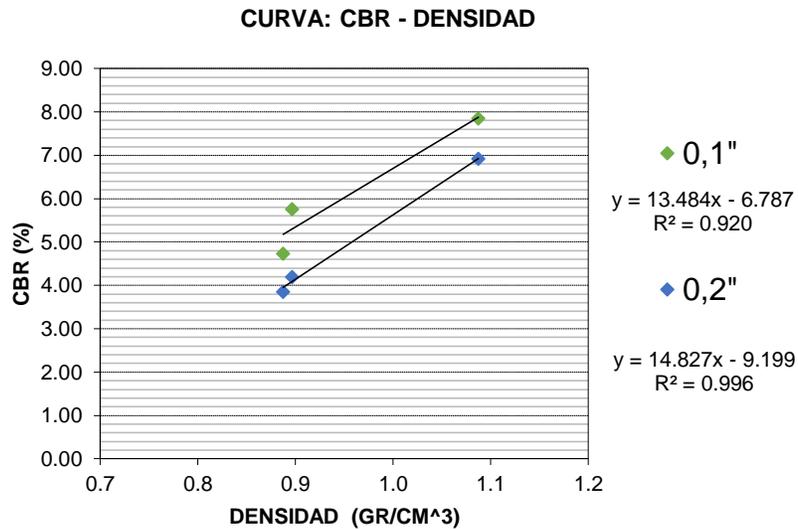
N° GOLPES	56 Golpes		25 Golpes		12 Golpes	
CARGA Y C.B.R. 0,1"	106.9	7.86	78.4	5.76	64.5	4.74
CARGA Y C.B.R. 0,2"	140.7	6.92	85.3	4.20	78.5	3.86

Gráfica 3.59 Prueba 10, Carga vs Penetración, 7 cm con 50gr de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.60 Prueba 10, CBR - Peso unitario, 7 cm con 50gr de polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

CBR	100% D.máx	95% D.Máx.
0,1 "	18.49 %	17.22 %
0,2"	18.59 %	17.20 %

CAPÍTULO IV
COMPORTAMIENTO DEL POLIPROPILENO EXPANDIDO EN LA
ESTABILIZACIÓN DE SUELOS FINOS

CAPÍTULO IV
COMPORTAMIENTO DEL POLIPROPILENO EXPANDIDO EN LA
ESTABILIZACIÓN DE SUELOS FINOS

4.1 FICHA TÉCNICA DEL POLIPROPILENO EXPANDIDO

Tabla 4.1 Ficha Técnica del polipropileno expandido



EASY EMPAQUES
SA CV

Quality
ISO 9001
SAI GLOBAL



FICHA TECNICA DE POLIPROPILENO EXPANDIDO

PROPIEDADES FÍSICAS	METODO DE PRUEBA	UNIDADES	RESULTADO DE PRUEBA					
			20	30	45	60	82	90
Densidad	ASTM D3575	gramos/litro	20	30	45	60	82	90
Esfuerzo de compresión Dirección Vertical	25%	Mpa	0.1	0.16	0.28	0.39	0.6	0.69
	50%		0.16	0.23	0.37	0.5	0.8	0.93
	75%		0.3	0.44	0.76	1.07	1.78	2.08
Memoria Mecánica	ASTM D3575	%	14	12	12	11	10	10
Resistencia a la tracción	ASTM D3575	Mpa	0.25	0.38	0.46	0.62	0.87	0.97
Elongación	ASTM D3575	%	15	15	14	14	13	12
Resistencia al Desgarre	ASTM D3575	KN/m	1.74	2.13	2.73	3.25	4.07	4.35
Resistencia a la flexión	ASTM D790	Mpa	0.31	0.38	0.54	0.72	1.06	1.16
Modulo de Flexión		Mpa	9.6	11.6	14.5	19	28.9	31.1
Coeficiente de Expansión Lineal 20°C a -40°C 20°C a 80°C	ASTM D696	mm/mm°C x 10-5	5.9	5.6	5.5	4.3	3.9	3.7
			10.8	10.2	9.8	8.7	7.5	6.8
Absorción de Agua	ASTM C272	gr/cc3 x 10 -3	10.4	8.1	6.2	5.1	4.2	3.5
Flamabilidad	FMVSS-302	<100 mm/ min	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado
Resistencia a los Químicos (Gasolina, Ácidos, Solventes)	Varios	1 Hr. De exposición	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado	Aprobado

Fuente: EASY EMPAQUES.

Dentro de las propiedades físicas tenemos a la densidad que bien normada por la ASTM D3575 en unidades de gr/ litro, para 20 gr/lit se tiene los siguientes resultados:

Esfuerzo de compresión Dirección vertical al 50% 0.16 Mpa

Memoria mecánica mediante ASTM D3575, 14 %

Resistencia a la tracción 0.25 Mpa, Elongación 15%, Resistencia al desgarre 1.74 Kn/m,

Resistencia a la flexión de 0.31 Mpa, Módulo de flexión de 9.6 Mpa

Coefficiente de Expansión Lineal 20°C a -40°C 20°C a 80°C mediante la ASTM D696 5.9-10.8 mm/mm/°C x 10-5

Absorción de Agua mediante ASTM C272 10.4 gr/cc3 x 10 -3

Flamabilidad mediante FMVSS-302, aprobado

Resistencia a los Químicos (Gasolina, Acidos, Solventes), 1 Hr. de exposición.

4.2 RESULTADOS DE LOS LABORATORIOS REALIZADOS

4.2.1 Resultado de la cara caracterización del suelo natural

Para la caracterización por el método AASHTO se utilizó la siguiente tabla:

% pasa el tamiz 40: 97.73 %

Límite líquido: 33

Índice de plasticidad: 3

Tabla 4.2 Clasificación método AASHTO

Clasificación General	Material Granular						Material limo arcillosos				
	A-1		A-2				A-3	A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A-1a	A-1b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					
% pasante	50% máx										
#10	30% máx	50% máx					51% mín				
#40	15% máx	25% máx	35% máx	35% máx	35% máx	35% máx	10% máx	36% mín	36% mín	36% mín	36% mín
#200											
Características del material que pasa por el tamiz #40											
LL			40% máx	41% mín	40% máx	41% mín	N.P.	40% máx	41% mín	40% máx	41% mín
Ip	6% máx	6% máx	10% máx	10% máx	11% mín	11% mín		10% máx	10% máx	11% mín	11% mín
Ig	0	0	0	0	4 máx	4 máx	0	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
Tipo de material	Fragmentos pétreos de gravas y arenas		Gravas y arenas, limosas y arcillosas				Arena fina	Suelos limosos		Suelos arcillosos	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.3 Caracterización del suelo

Clasificación del suelo		Descripción
SUCS:	ML	Limo inorgánico de baja plasticidad
AASHTO:	A-4	

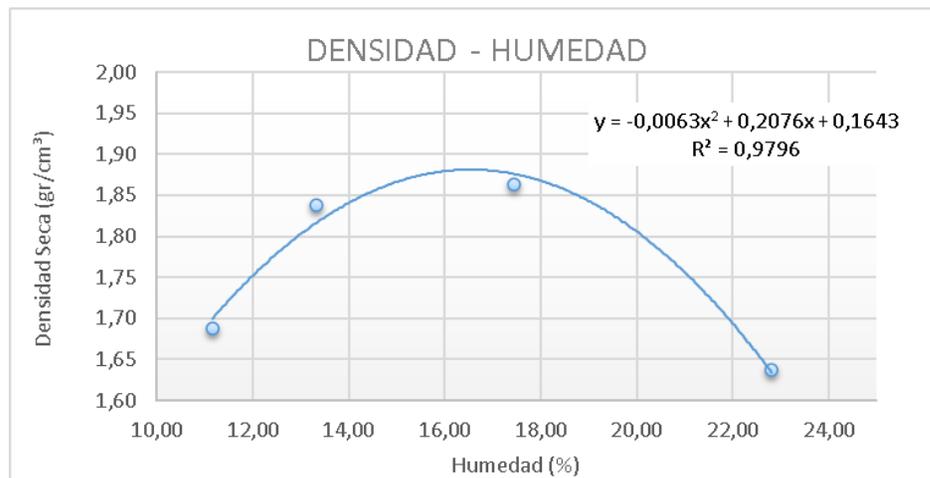
Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Resultado del ensayo de Compactación

4.2.2.1 Resultado de la compactación del suelo natural

Luego de realizar el ensayo y procesamiento de datos se obtuvo como resultado de la compactación una densidad máxima de 1.87 gr/cm³ para una humedad óptima de 16.48 %

Gráfica 4.1 Densidad y Humedad



Fuente: Elaboración propia.

Densidad Máxima	1,87 gr/cm ³
Humedad Óptima	16,48 %

Como resultado de la compactación del suelo natural se obtuvo que el mismo presenta una densidad máxima de 1.87 gr/cm³ y para lograr el mismo valor se debe incorporar un 16.48 % de humedad

4.2.2.2 Resultados de la compactación con 6 porcentajes distintos de polipropileno expandido

Tabla 4.4 Resultados de las 6 compactaciones con diferentes porcentajes de polipropileno expandido

%	Densidad Máxima Seca	Humedad Óptima
0.5	1.85	12.71
1	1.83	15.57

1.5	1.72	10.96
2	1.70	12.88
2.5	1.68	11.93
3	1.69	13.31

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que dentro de los resultados obtenidos en los ensayos de compactación para determinar la densidad máxima y humedad óptima del contenido óptimo de polipropileno expandido, los valores de densidad más aceptables son los ensayos con un porcentaje de agregado de 0.5% igual a 25 gr y 1% que equivale a 50 gr.

4.2.3 Resultados del ensayo CBR previo a la selección de la longitud y cantidad óptima del polipropileno

4.2.3.1 Resultados de los ensayos con 6 porcentajes distintos de polipropileno expandido

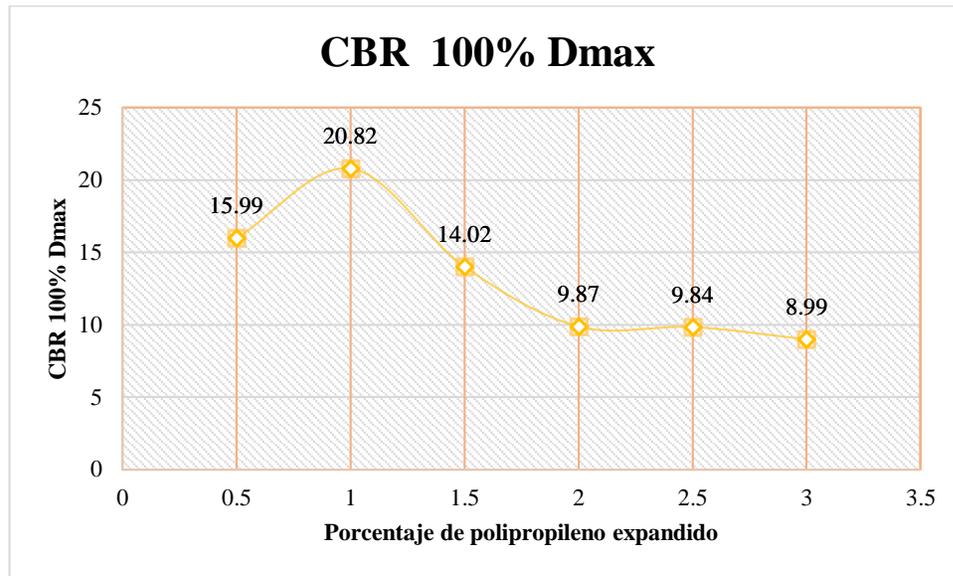
Tabla 4.5 Cuadro comparativo de resultados de CBR con su respectivo porcentaje

%	CBR 100% Dmax	CBR 95% Dmax
0.5	15.99	15.03
1	20.82	19.37
1.5	14.02	13.18
2	9.87	9.35
2.5	9.84	9.31
3	8.99	8.54

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se puede observar que dentro de los resultados obtenidos en los ensayos de CBR para determinar el contenido óptimo de polipropileno expandido, el mejor valor obtenido es el de 1% igual a 50 gr donde se obtuvo al 100% del CBR un resultado de 20.82 y al 95% del CBR un valor de 19.37 por lo cual se trabajara con el 1% de polipropileno expandido para las siguientes pruebas.

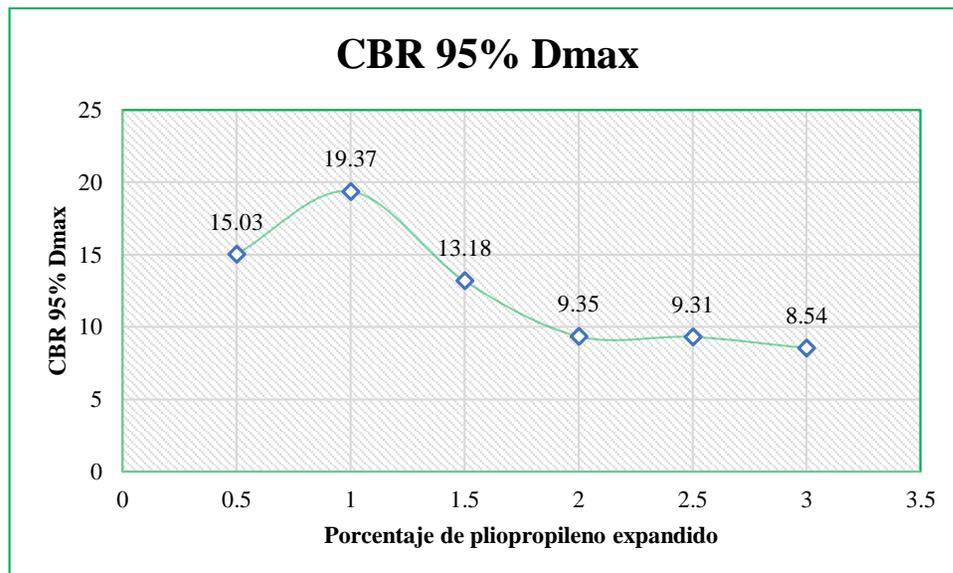
Gráfica 4.2 Resultados de CBR al 100 Dmax con 6 % de PP



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la gráfica anterior los resultados obtenidos nos muestran que con la incorporación del 1% de polipropileno expandido se presenta mejor resultado 20.82% y luego a medida que se incorpora mayor contenido de polipropileno expandido se puede observar que los resultados de CBR disminuyen, se concluye que a mayor porcentaje de 1 el suelo disminuye su capacidad resistente.

Gráfica 4.3 Resultados de CBR al 95% Dmax con 6 % de PP



Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.2 Resultados del CBR con el suelo natural

CBR 100% D.máx
4.25 %
CBR 95% D.Máx.
4.14 %

Con el suelo natural los resultados del CBR encontrados se presentan en el cuadro anterior para el cual al 100% se presenta un valor de 4.25% y al 95% se obtiene un 4.14%.

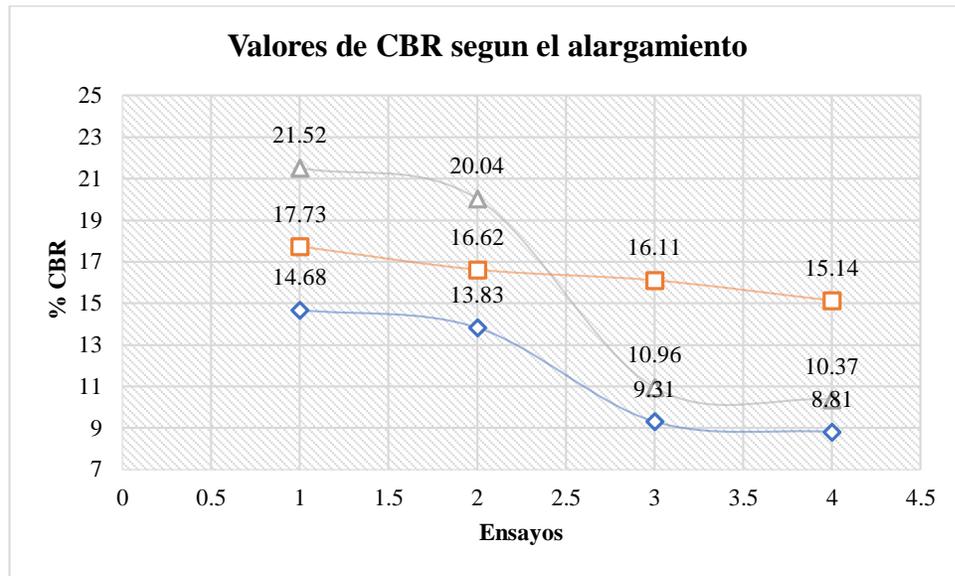
4.2.3.3 Resultados del CBR con la incorporación de los distintos tamaños de polipropileno

Tabla 4.6 Resultados del CBR con la incorporación de los distintos tamaños de polipropileno

Dimensión (cm)	CBR 50 gr (1%)		CBR 100 gr (2%)	
	100%	95%	100%	95%
1.75	14.68	13.83	9.31	8.81
3.5	17.73	16.62	16.11	15.14
7	21.52	20.04	10.96	10.37

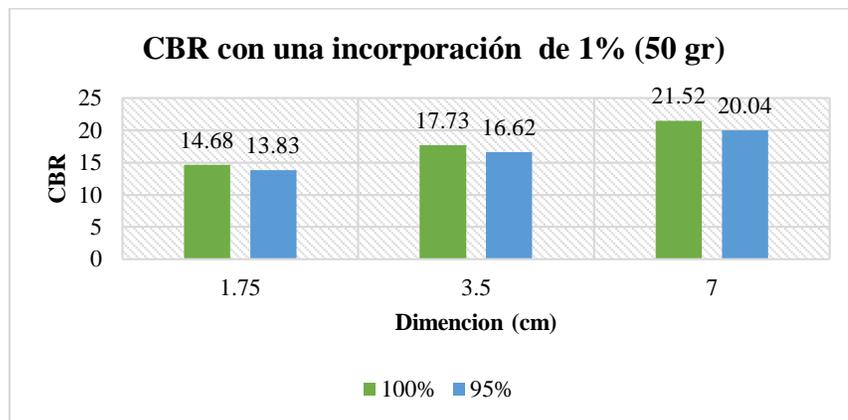
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.4 Análisis de las pruebas según el alargamiento de PP



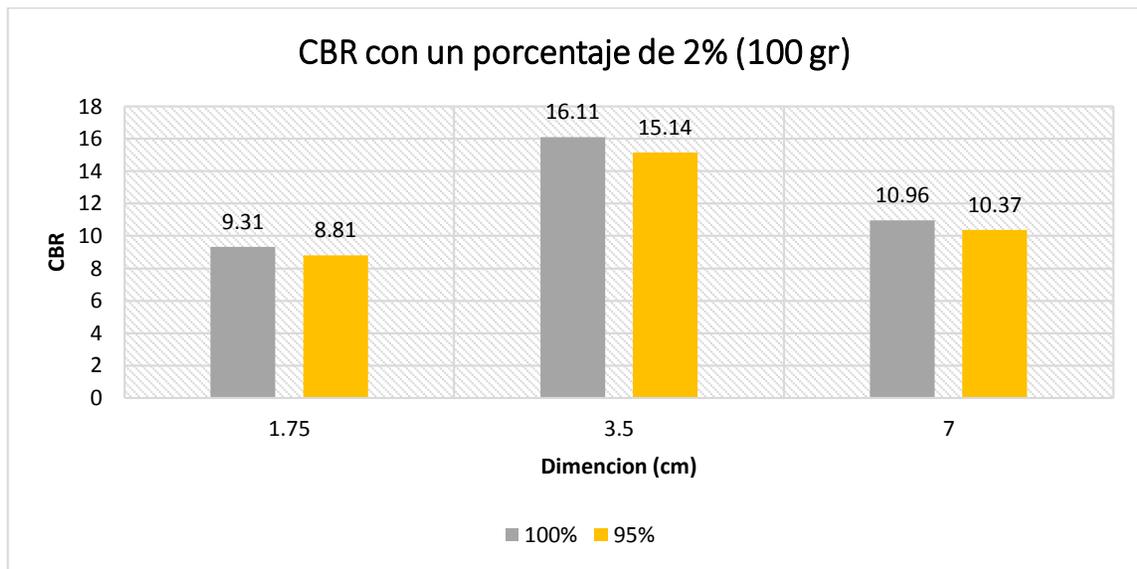
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.5 CBR con una incorporación de 1% (50 gr)



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.6 CBR con una incorporación de 2% (100 gr)

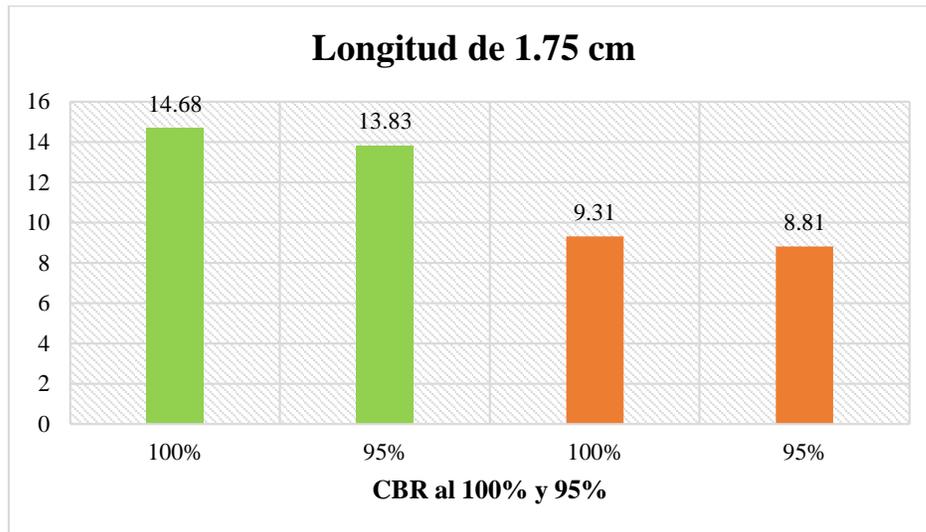


Fuente: Elaboración propia.

Para la determinación de la longitud óptima del polipropileno expandido que se iba a utilizar en el presente trabajo se realizó varias pruebas tomando en cuenta diferentes dimensiones y pesos. De los resultados obtenidos se determinó:

- Para una longitud de 1.75 cm los valores de CBR con 50 gramos al 100% el resultado fue 14.68% y al 95% se obtuvo 13.83%, mientras que para la misma longitud, pero para 100 gramos de polipropileno se obtuvo al 100% un 9.31% y al 95% se obtuvo 8.81%.

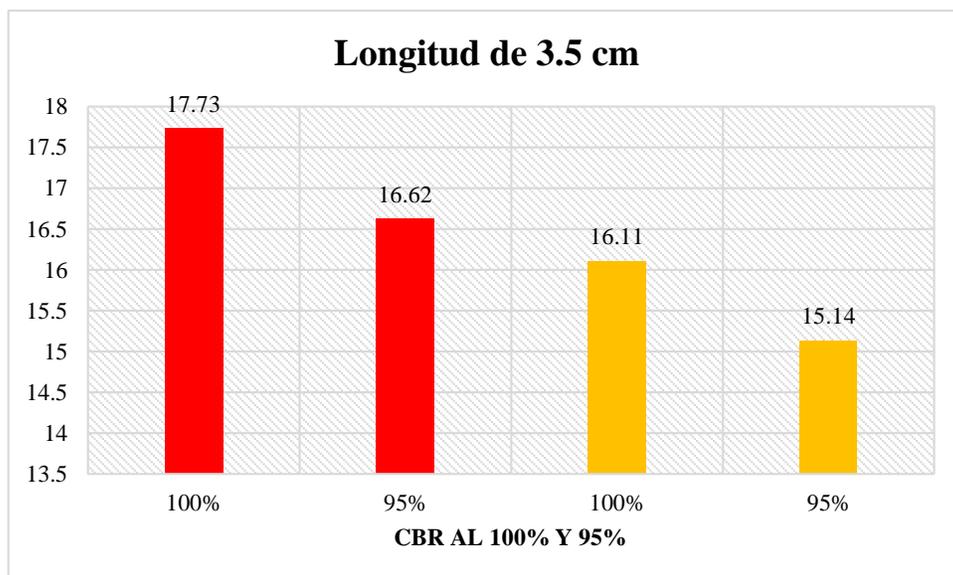
Gráfica 4.7 Resultados de la longitud de 1.75 cm



Fuente: Elaboración propia.

- Para una longitud de 3.5 cm los valores de CBR con 50 gramos al 100% el resultado fue 17.73% y al 95% se obtuvo 16.62%, mientras que para la misma longitud, pero para 100 gramos de polipropileno se obtuvo al 100% un 16.11% y al 95% se obtuvo 15.14%.

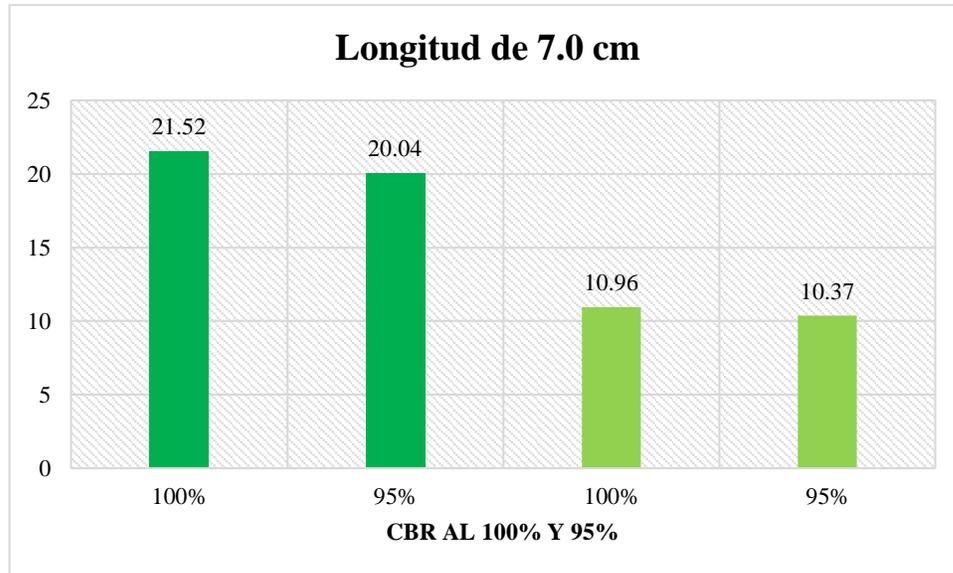
Gráfica 4.8 Resultados de la longitud de 3.5 cm



Fuente: Elaboración propia.

- Para una longitud de 7 cm los valores de CBR con 50 gramos al 100% el resultado fue 21.52% y al 95% se obtuvo 20.04%, mientras que para la misma longitud, pero para 100 gramos de polipropileno se obtuvo al 100% un 10.96% y al 95% se obtuvo 10.37%.

Gráfica 4.9 Resultados de la longitud de 7.0 cm



Fuente: Elaboración propia.

Entonces dados los resultados obtenidos se hizo un análisis y se determinó que la longitud óptima de polipropileno expandido añadido es 7 cm y el valor a agregar es de 50 gramos (1%)

4.2.4 Resultados del CBR al 100% y 95% de dos pruebas, con la longitud seleccionada de 7 cm

Tabla 4.7 Resumen de las 10 pruebas de CBR con 1% de polipropileno con una dimensión de 7 cm

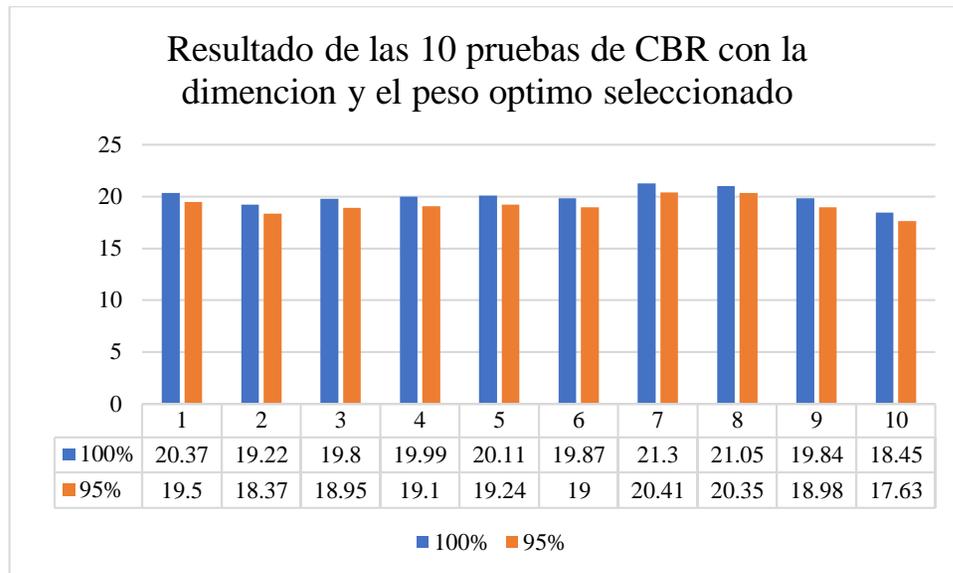
N°	CBR con 1% Polipropileno, dimensión 7 cm	
	100%	95%
1	20.96	19.50
2	19.56	18.27
3	19.80	18.41
4	20.11	18.79
5	20.17	18.74
6	19.97	18.55
7	21.93	20.27
8	21.00	19.59
9	19.89	18.53
10	18.49	17.22

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se observa los 10 ensayos realizados con la dimensión y porcentajes óptimos escogidos anteriormente de lo cual se puede observar que el valor más bajo representa la muestra número 10 con CBR al 95% donde se obtuvo 17.22%, mientras que el valor más alto se obtuvo en la muestra 7 con CBR al 100% que dio como resultado 21.93.

Para ilustrar mejor los resultados se realizó una gráfica donde se puede observar las 10 pruebas CBR y al mismo tiempo el valor de cada una al 100% y al 95%.

Gráfica 4.10 Resultado de las 10 pruebas de CBR con la dimensión y el peso optimo seleccionado



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.8 Resumen Estadístico para CBR al 100%

Recuento	10
Promedio	20.188
Mediana	20.04
Media Geométrica	20.1686
Desviación Estándar	0.934568
Coefficiente de Variación	4.62933%
Error Estándar	0.295536
Mínimo	18.49
Máximo	21.93
Rango	3.44
Sesgo	0.177404
Sesgo Estandarizado	0.229028
Curtosis Estandarizada	0.615481

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.9 Tabla de Frecuencias para CBR al 100%

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada
	menor o igual	18		0	0.0000	0
1	18	18.8333	18.4167	1	0.1000	1
2	18.8333	19.6667	19.25	1	0.1000	2
3	19.6667	20.5	20.0833	5	0.5000	7
4	20.5	21.3333	20.9167	2	0.2000	9
5	21.3333	22.1667	21.75	1	0.1000	10
6	22.1667	23.0	22.5833	0	0.0000	10
	mayor de	23		0	0.0000	10

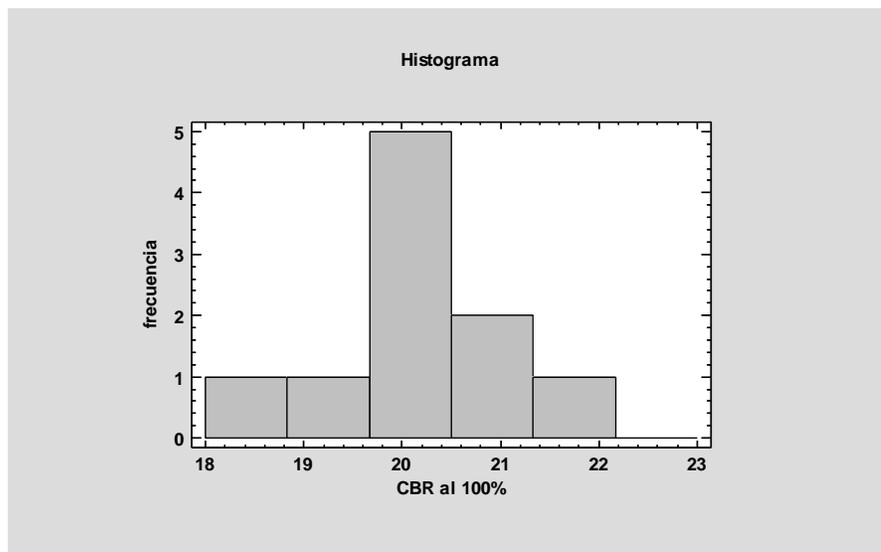
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.10 Resumen de Frecuencias para CBR al 100%

	Frecuencia
	0.0000
1	0.1000
2	0.2000
3	0.7000
4	0.9000
5	1.0000
6	1.0000
	1.0000

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.11 Histograma de los ensayos al 100% del CBR



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.11 Resumen Estadístico para CBR al 95%

Recuento	10
Promedio	18.787
Mediana	18.645
Media Geométrica	18.7701
Desviación Estándar	0.839432
Coficiente de Variación	4.46815%
Error Estándar	0.265452
Mínimo	17.22
Máximo	20.27
Rango	3.05
Sesgo	0.0168783
Sesgo Estandarizado	0.0217898
Curtosis Estandarizada	0.501605

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.12 Tabla de Frecuencias para CBR al 95%

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada
	menor o igual	17		0	0.0000	0
1	17	17.6667	17.3333	1	0.1000	1
2	17.6667	18.3333	18.0	1	0.1000	2
3	18.3333	19.0	18.6667	5	0.5000	7
4	19	19.6667	19.3333	2	0.2000	9
5	19.6667	20.3333	20.0	1	0.1000	10
6	20.3333	21.0	20.6667	0	0.0000	10
	mayor de	21		0	0.0000	10

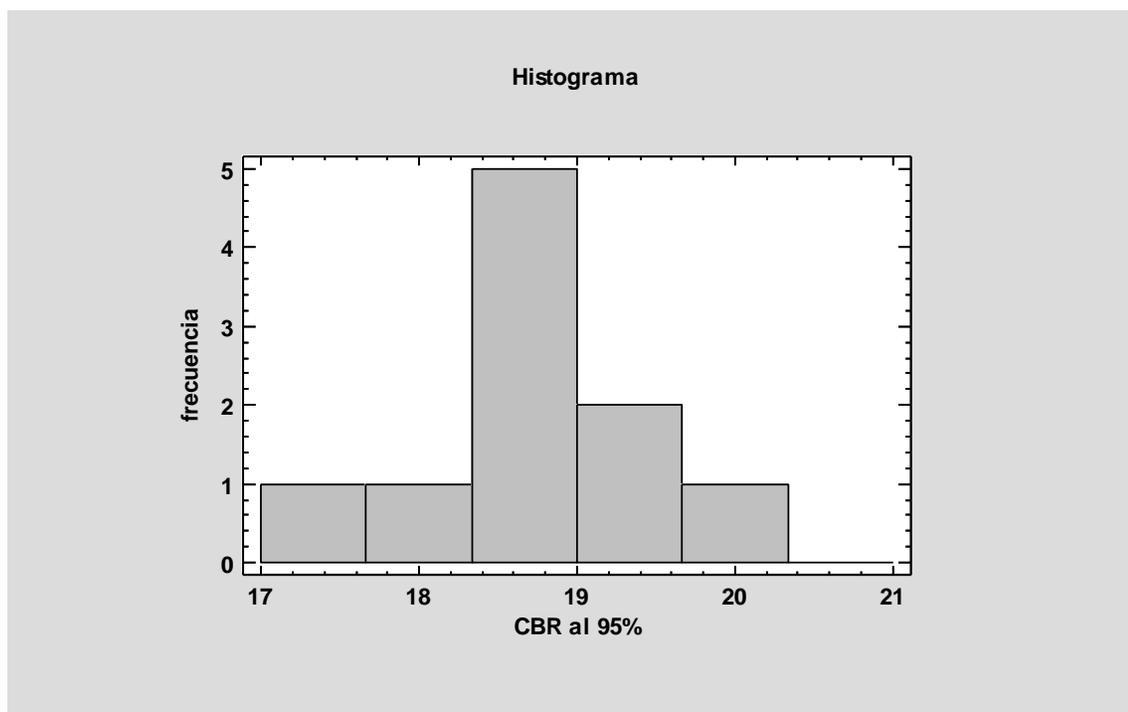
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.13 Resumen de Frecuencias para CBR al 100%

	Frecuencia
Clase	Rel. Acum.
	0.0000
1	0.1000
2	0.2000
3	0.7000
4	0.9000
5	1.0000
6	1.0000
	1.0000

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.12 Histograma de los ensayos al 95% del CBR



Fuente: Elaboración propia.

Luego de los resultados obtenidos se realizó un análisis estadístico para poder determinar un valor de CBR como resultado final del cual obtuvimos para un CBR al 100% se obtuvo 20.188% y al 95% un valor de 18.787.

4.3 COSTOS DE APLICACIÓN EN OBRA POR M3

El estudio de costos contempla básicamente la elaboración de precios referenciales basados en una investigación previa, los cuales corresponden a esta nueva alternativa de estabilización con métodos de construcción optimizados y adecuados a la maquinaria necesaria para la aplicación de esta nueva alternativa.

Para realizar el cálculo de los costos que implicaría la estabilización se hizo un análisis detallado de los precios unitarios, tomando en cuenta los costos horarios y rendimiento de operación de la maquinaria que se empleará en esta nueva técnica de estabilización asimismo en los insumos, materiales, mano de obra y demás gastos que demanda la obra o actividad.

4.3.1 Costos directos

- **Materiales de construcción**

Se considera en la estabilización el rendimiento del suelo extraído mencionado al inicio del capítulo III, y polipropileno expandido. Ahora en la estabilización el precio del polipropileno se obtiene de la cotización con el proveedor, pero esto al por Mayor con el fin de abaratar los costos.

- **Mano de obra**

Comprende el haber básico del trabajador, el pago de beneficios sociales, el pago de impuestos y el costo horario de la mano de obra. Los haberes o salarios mensuales se consideraron de acuerdo a los establecidos por ley, pero su variación está sujeta a la libre oferta y demanda. Asimismo, en el detalle de los precios unitarios no se considera al operador del equipo más un ayudante o peón dentro de los costos horarios de operación de la maquinaria, por lo que estos son considerados recién en los gastos de la mano de obra dentro del análisis.

- **Maquinaria y equipo**

Contempla, la productividad, costos de propiedad, vida útil, amortización e intereses, costos de operación, reparación y repuestos, en fin, esto se resume en lo que son los costos horarios de operación los que, afectados por el rendimiento de la maquinaria, nos dará el costo unitario de la maquinaria.

4.3.2 Costos indirectos

Por una parte, están los gastos generales, que pueden estimarse en función de los costos unitarios y como el 12% de costo directo. Ahora como en toda obra se debe obtener utilidades las cuales también se pueden estimar a partir de los costos directos y no pueden ser Mayores al 10% de éstos, y en muchas veces es menor que el 10%.

Tabla 4.14 Análisis de precio unitario del polipropileno expandido para 1 m3

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Proyecto				Actividad N°	1
Actividad :			Estabilización de suelos con polipropileno expandido		
Unidad :			m3		
Cantidad :			1.00		
Moneda .			Bs		
Descripción		Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio Unitario	Costo Total
1 Materiales					
1	Polipropileno Expandido	Kg	15.5	34.00	527.00
2					
Total Materiales					527.0000
2 Mano de Obra					
1	Capataz	hr	0.140	21.250	2.975
2	Ayudante	hr	0.035	13.750	0.481
3	Chofer volqueta	hr	0.041	16.250	0.666
4	Ayudante de maquinaria y equipo	hr	0.035	13.750	0.481
5	Operador de equipo pesado 1	hr	0.035	26.250	0.919
6	Operador de equipo pesado 2	hr	0.035	26.250	0.919
7	Operador de equipo pesado 3	hr	0.035	26.250	0.919
Subtotal Mano de Obra					7.360
Cargas Sociales 60% del sub total M. O.					4.42
Impuestos IVA M.O. = 14,94% (del Sub Total de M. O. + Cargas Sociales)					1.76
Total Mano de Obra					13.54
3 Equipo, Maquinaria y Herramientas					
1	Cisterna de Agua	hr	0.093	230	21.39
2	Retroexcavadora	hr	0.06	230	13.8
3	Motoniveladora	hr	0.075	350	26.25
4	Compactador rodillo pata de cabra	hr	0.087	420	36.54
5	Volqueta 12 m3	hr	0.042	230	9.66
Total Equipo, Maquinaria y Herramientas					107.64
Herramientas Menores 5 % de la mano de obra					0.677
Total Eq, Maq. y Herr.					108.317
4 Gastos Generales y Administrativos					

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Subtotal Mano de Obra					7.360
Cargas Sociales 60% del sub total M. O.					4.42
Impuestos IVA M.O. = 14,94% (del Sub Total de M. O. + Cargas Sociales)					1.76
Total Mano de Obra					13.54
3 Equipo, Maquinaria y Herramientas					
1	Cisterna de Agua	hr	0.093	230	21.39
2	Retroexcavadora	hr	0.06	230	13.8
3	Motoniveladora	hr	0.075	350	26.25
4	Compactador rodillo pata de cabra	hr	0.087	420	36.54
5	Volqueta 12 m3	hr	0.042	230	9.66
Total Equipo, Maquinaria y Herramientas					107.64
Herramientas Menores 5 % de la mano de obra					0.677
Total Eq, Maq. y Herr.					108.317
4 Gastos Generales y Adminsitrativos					
Gastos Generales 12% (1+2+3)					20.022
5 Utilidad					
Utilidad 8% (1+2+3+4)					14.950
6 Impuestos					
Impuestos I. T. 3,09% (1+2+3+4+5)					2.889
Total Item Precio Unitario					204.71
PRECIO PARCIAL Bs					205.00

Fuente: Elaboración propia.

4.4 COMPARACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL ENTRE LA ESTABILIZACIÓN CON POLIPROPILENO EXPANDIDO Y CAL

4.4.1 Comparación técnica

Tabla 4.16 Comparación técnica del PP con Cal

Propiedad	Ensayo	Polipropileno expandido	Cal
Compactación	Humedad óptima (%)	15.57	19.25
	Densidad seca máxima (gr/cm ³)	1.83	1.44
Cambio volumétrico	Expansión (%)	2.33	2.09
Capacidad de soporte	CBR al 100%	20.18	14.29
	CBR al 95%	18.787	11.77

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1.1.1 Para la estabilización con polipropileno expandido

Evaluación de la densidad seca máxima y la humedad óptima

Al evaluar el ensayo de compactación se determina que la mezcla con estabilizante de polipropileno al 1.0% en la muestra de suelo, es la que logra alcanzar Mayor densidad seca y a un porcentaje Mayor a este la misma disminuye.

Evaluación de la expansión y la capacidad de soporte alcanzada en el ensayo CBR.

Se determina que al porcentaje de 1.0% de estabilizante la muestra de suelo logra disminuir significativamente sus valores de expansión respecto a los iniciales del suelo natural, factor que influye directamente en el cambio volumétrico que sufrirá nuestra sub rasante al estar está sometida a saturación de agua y con presión del tráfico vehicular.

Así mismo la muestra de suelo logra alcanzar niveles más altos de porcentaje de CBR con el 1.0% de estabilizante, respecto a los valores del suelo natural tanto al 100% con 20.18 y al 95% con 18.787 llegando a ofrecer sub rasantes de elevada calidad.

4.4.1.1.2 Para la estabilización con cal

Evaluación de la densidad seca máxima y la humedad óptima

Al evaluar el ensayo de compactación se determina que la mezcla con estabilizante al 7.0 % en la muestra de suelo, es la que logra alcanzar Mayor densidad seca y a un porcentaje Mayor a este la misma disminuye.

Evaluación de la expansión y la capacidad de soporte alcanzada en el ensayo CBR.

Se determina que al porcentaje de 7.0 % de estabilizante la muestra de suelo logra disminuir significativamente sus valores de expansión respecto a los iniciales del suelo natural, factor que influye directamente en el cambio volumétrico que sufrirá nuestra sub rasante al estar está sometida a saturación de agua y con presión del tráfico vehicular.

Se puede observar que, a más cantidad de cal adicionado en la estabilización, más baja el porcentaje de expansión teniendo incluso valores negativos lo que también puede llegar a ser malo si es elevado porque puede provocar asentamientos que luego necesiten ser rellenados para nivelar el terreno.

Así mismo la muestra de suelo logra alcanzar niveles de porcentaje de CBR con el 7.0% de estabilizante, respecto a los valores del suelo natural tanto al 100% con 14.29 y al 95% con 11.77 llegando a ofrecer sub rasantes de elevada calidad.

4.4.2 Comparación económica

Para la estabilización con polipropileno expandido

Ítem. o Actividad	Costo total \$u\$/m ³	Costo total Bs/m ³
Estabilización suelo – 1.0 % Polipropileno expandido	115.80	806.00

Para la estabilización con asfalto espumado

Ítem. o Actividad	Costo total \$u\$/m ³	Costo total Bs/m ³
Estabilización suelo – 7.00 % cal	29.88	205.00

4.4.3 Comparación ambiental

Para la estabilización con polipropileno expandido

Tabla 4.17 estabilización con polipropileno expandido

Impacto ambiental causado por la estabilización con polipropileno expandido	
Actividad	Impacto ambiental
Conformación y nivelado	Contaminación a la fauna y flora del entorno con la pérdida de cobertura vegetal y generación de polvos
Esparcimiento del Asfalto E.	Generación de polvo, contaminación del aire con la generación de ruido y calor. Pedazos de polipropileno expandido sueltos o esparcidos por el viento
Humectación de suelo	Explotación de recursos naturales con el uso de agua de fuentes de ríos y quebradas.

Fuente: Elaboración propia.

Para la estabilización con cal

El análisis de impacto ambiental que puede causar la realización o que se pueden presentar dentro del proceso de estabilización con asfalto espumado, solo se lo realiza detallando que actividades principales pueden causar algún efecto sobre el medio ambiente:

Tabla 4.18 Impacto ambiental causado por la estabilización con cal

Impacto ambiental causado por la estabilización con cal	
Actividad	Impacto ambiental
Conformación y nivelado	Contaminación a la flora del entorno con la pérdida de cobertura vegetal y generación de polvos
Esparcimiento del Asfalto E.	Generación de polvo, contaminación del aire con la generación de ruido y calor.
Humectación de suelo	Explotación de recursos naturales con el uso de agua de fuentes de ríos.

Fuente: Elaboración propia.

4.5 Validación de resultados

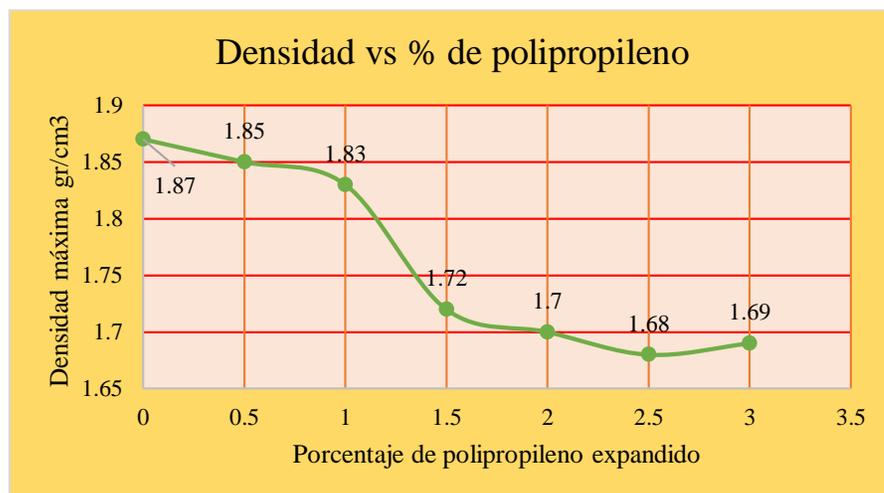
Tabla 4.19 Resultados de la selección del tipo de polipropileno expandido

	Polipropileno expandido forma alargada			Polipropileno expandido forma granular		
	1%	2%	3%	1%	2%	3%
CBR 100% Dmax	20.18	9.87	8.99	3.1	3.1	2.7
CBR 95% Dmax	19.82	9.35	8.54	2.6	2.7	2.4

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que el mejor resultado se obtuvo del polipropileno en forma alargada tanto en el CBR al 100% y al 95%, respecto a al polipropileno en forma granular que presenta valores muy bajos por ejemplo al 1% de incorporación de polipropileno expandido en forma alargada es de 20.18% de la densidad máxima al 100% mientras que en la forma granular e resultado obtenido es de 3.1% de la densidad maxima.

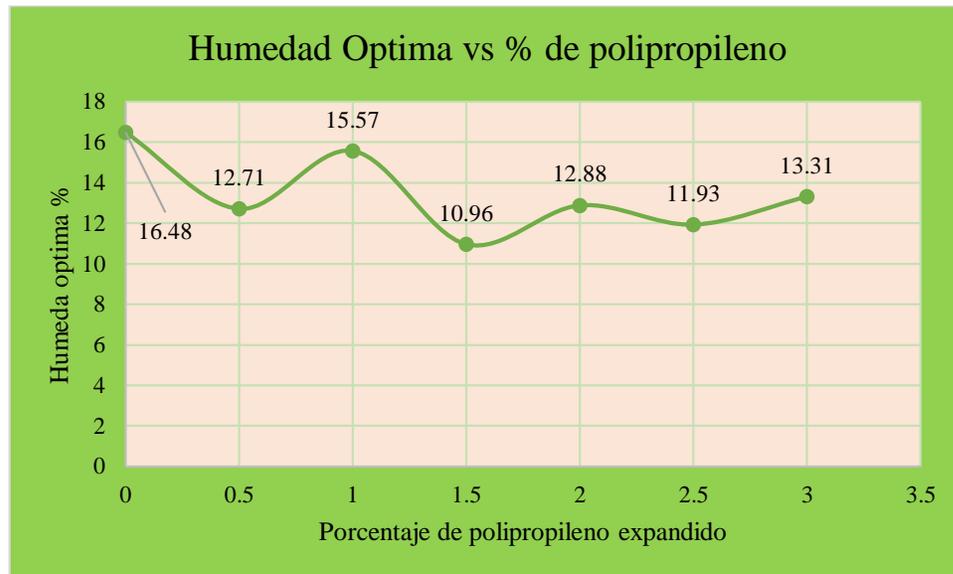
Gráfica 4.13 Densidad del suelo natural vs incorporando el polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

Para los ensayos de compactación en suelos de subrasantes finos en estado natural se obtuvo 1.87 gr/cm y se observa que la misma disminuye en cuanto se va incorporando mayor material de polipropileno expandido.

Gráfica 4.14 Humedad óptima de compactación vs % de polipropileno expandido



Fuente: Elaboración propia.

A diferencia de la densidad en la humedad óptima se observan resultados más similares con la incorporación de polipropileno expandido si bien en el suelo natural se presenta la mayor humedad con la incorporación del polipropileno expandido el porcentaje que más humedad presenta es el 1% con un resultado de 15.57%.

Gráfica 4.15 CBR suelo Natural vs CBR suelo modificado

	CBR 100% D.máx	CBR 95% D.Máx.
Suelo natural	4.250	4.140
Suelo modificado	20.188	18.787

Fuente: Elaboración propia.

Luego del análisis se determina que a diferencia del suelo fino de subrasante natural que presenta valores de 4.25% al 100% de la densidad máxima y 4.140% al 95% de la densidad máxima la cantidad de polipropileno expandido añadida para estabilizar el suelo fino presenta mejores resultados al trabajar con una con la longitud de 7cm con el 1%, porque genera mayor resultado de CBR con el 20.188 al 100% de la densidad máxima de compactación y al 18.787 para el 95% de la densidad máxima de compactación .

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La adición de polipropileno expandido al suelo modificó las características de resistencia y carga del suelo.
- Se identificó la zona de extracción de la muestra la cual estaba ubicado en el barrio las Flores, zona de la segunda circunvalación, municipio de cercado la cual se encuentra ubicado a a un nivel de 1850 m.s.n.m.
- Las características físicas evaluadas en la muestra de estudio permiten clasificar el material como ML - Limo inorgánico de baja plasticidad (SUCS) y Suelos limosos A-4 (AASHTO).
- El polipropileno expandido empleado tienen una gravedad específica de 0.91 gr/cm^3 , no absorben agua, poseen una excelente resistencia a ácidos y álcalis y tienen una resistencia a la tensión de 70ksi (480MPa) estas características lo hacen favorable para el uso en el reforzamiento de suelos.
- Los valores obtenidos del ensayo de compactación estándar demostraron que el suelo limoso natural su densidad máxima es de 1.87 gr/cm^3 y su humedad óptima de compactación es de 16.48%
- Dentro de los valores encontrados de la compactación con 6 porcentajes de polipropileno expandido se obtuvo que para un 0.5% la densidad máxima fue 1.85 y para 1% 1.83 ambos valores fueron los más altos obtenidos.
- Se realizó el ensayo de CBR en estado natural suelo, el cual dio como resultado al 100% un valor de 4.25 y al 95%, 4.14.
- Para la selección del contenido óptimo de polipropileno expandido se obtuvo que se obtienen mejores resultados con la adicción de 1% de PPE equivalentes a 50 gr.

%	CBR 100% Dmax	CBR 95% Dmax
0.5	15.99	15.03
1	20.82	19.37
1.5	14.02	13.18
2	9.87	9.35
2.5	9.84	9.31
3	8.99	8.54

- Los valores obtenidos mediante los ensayos realizados demostraron la mejora de las características mecánicas del suelo arcilloso. Además, en base a los resultados se puede concluir que el porcentaje de 1 % de polipropileno expandido brinda un mejor resultado en comparación con las mezclas de menor proporción.
- Los resultados del ensayo CBR incorporando diferentes porcentajes de polipropileno expandidos son los siguientes:

Dimensión (cm)	CBR 50 gr (1%)		CBR 100 gr (2%)	
	100%	95%	100%	95%
1.75	14.68	13.83	9.31	8.81
3.5	17.73	16.62	16.11	15.14
7	21.52	20.04	10.96	10.37

- También se llevó a cabo ensayos de CBR una vez seleccionada la dimensión y porcentaje de polipropileno expandido para determinar su valor y poder encontrar valores más certeros, para posterior realizar un análisis estadístico. Se obtuvo los siguientes resultados:

N°	CBR con 1% Polipropileno, dimensión 7 cm	
	100%	95%
1	20.96	19.50
2	19.56	18.27
3	19.80	18.41
4	20.11	18.79
5	20.17	18.74
6	19.97	18.55
7	21.93	20.27

8	21.00	19.59
9	19.89	18.53
10	18.49	17.22

- La incorporación de polipropileno expandido en la arcilla incrementa la resistencia de la mezcla debido a que las partículas del suelo se adhieren con el mismo, transmiten las cargas y redistribuyen mediante esfuerzos de tracción.
- Se calculó el costo de estabilización por m³, dando como resultado:

Ítem. o Actividad	Costo total \$u\$/m ³	Costo total Bs/m ³
Estabilización suelo – 1.0 % Polipropileno expandido	115.80	806.00

5.2.RECOMENDACIONES

- Evaluar el comportamiento del suelo adicionado mayores porcentajes de EPP con la finalidad de identificar un porcentaje límite.
- Al momento de elaborar los moldes de CBR se recomienda calcular bien los días para que no exceda del límite de 4 días ya que a Mayor saturación el asfalto espumado comienza reblandecer y a salirse por la parte inferior de los moldes pudiendo así arrojar valores erróneos durante la prueba de resistencia en la prensa
- Determinar la manera óptima de incorporar el polipropileno expandido al suelo a reforzar para la aplicación en campo.
- Realizar una evaluación económica comparativa del método propuesto frente a alternativas existentes.
- Se recomienda la estabilización con asfalto espumado ya que este afecta positivamente a la sociedad, porque causa menos impactos ambientales que los métodos tradicionales, también porque se requiere de menos mantenimientos a la carretera por las propiedades que ofrece.