

**Evaluación del mejoramiento mecánico de suelos arcillosos utilizando el bagazo
extraído de la caña de azúcar**

Integrantes:

Andrea del Pilar Sarmiento Pinilla

ID:000308728

Christian Camilo Delgado Moreno

ID:000310661

Escuela de Ingenierías

Facultad de Ingeniería Civil

Universidad Pontificia Bolivariana

2020

**Evaluación del mejoramiento mecánico de suelos arcillosos utilizando el bagazo extraído de
la caña de azúcar**

Andrea del Pilar Sarmiento Pinilla

ID:000308728

Christian Camilo Delgado Moreno

ID:000310661

Proyecto de grado presentado como requisito para obtener el título de Ingeniero Civil

Director:

Ing. Julián Andre Galvis Florez

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingenierías

Facultad de Ingeniería Civil

2020

Nota de aceptación:

Presidente jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga, 2020

Nuestra tesis la dedicamos principalmente a Dios y nuestros padres que son los mayores ejemplos de nuestras vidas y las personas que desde el principio de nuestras carreras han estado apoyándonos y siempre disponibles para nosotros en todo momento, siendo nuestro motor y mayor motivación tanto personal como profesionalmente, sin el apoyo de ellos no seríamos las personas que somos hoy en día ni los profesionales que seremos una y mil veces gracias y esto es para ustedes.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestra gratitud en estas líneas a cada una de las personas que han sido participes en nuestra formación universitaria, a cada uno de los docentes que semestre a semestre nos han formado como profesionales íntegros , a nuestros amigos y familiares que con su apoyo y palabras justas en cada momento han sido un soporte incondicional para ir escalando cada peldaño de lo que ha sido una increíble vida universitaria, a nuestros padres quienes proporcionaron los recursos para que pudiéramos emprender este camino y finalmente pero no menos importante a nuestro director de tesis el Ingeniero Julián Galvis que junto con los laboratoristas Rubén Bonilla, Luis Manrique y Ramiro Díaz fueron de gran ayuda en cada duda y aclaración necesaria para que pudiéramos llevar acabo nuestra tesis. Para todos ustedes que hicieron esto posible GRACIAS.

A si mismo deseamos brindar nuestro reconocimiento a la UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA “SECCIONAL BUCARAMANGA” por ser la sede de todo el conocimiento adquirido durante estos años y a todas las personas que con su trabajo y esfuerzo hacen de la misma la mejor universidad de la región.

Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Justificación	16
2. Objetivos	17
2.1 Objetivo general.....	17
2.2 Objetivos específicos	17
3. Delimitación del problema.....	18
4. Antecedentes	19
5. Marco teórico	24
5.1 ¿Qué es una técnica de mejoramiento de suelo?	24
5.2 Tipos de técnicas de mejoramiento de suelos	24
5.2.1 Estabilización de suelo con cal	24
5.2.2 Estabilización de suelo con cemento	26
5.2.3 Estabilización de suelo con asfalto	26
5.2.4 Estabilización de suelo con Cloruro de Sodio	27
5.3 Obtención del material bagazo de caña como residuo de producción	27
5.4 Inclusiones	28
5.5 Granulometría	29
5.6 Límites de Atterberg	29
5.7 Proctor modificado	30
5.8 Compresión simple	31

5.9 CBR	31
5.10 Ensayo de consolidación	32
5.11 Resistencia al corte directo	33
6. Desarrollo metodología.....	34
6.1 Granulometría	35
6.2 Límites de Atterberg	36
6.3 Proctor Modificado	37
6.4 Compresión simple	39
6.5 CBR	42
6.6 Corte directo	44
7. Análisis de resultados	46
7.1 Granulometría	46
7.2 Límites de Atterberg	46
7.2.1 Limite Líquido	46
7.2.2 Limite plástico	47
7.2.3 Índice de plasticidad	47
7.3 Proctor Modificado	47
7.3.1 Adiciones	48
7.4 Compresión simple	49
7.5 CBR	51
7.6 Corte directo	52
8. Conclusiones	54
9. Recomendaciones	55

Referencias bibliográficas..... 56

Apéndices..... 58

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Antecedentes</i>	19
Tabla 2. <i>Propiedades físicas-químicas del bagazo de caña.</i>	28
Tabla 3. <i>Resultados granulometría</i>	36
Tabla 4. <i>Resultados limite líquido y limite plástico</i>	37
Tabla 5. <i>Tabla de humedades óptimas</i>	39
Tabla 6. <i>Resultados para compresión simple material sin adición</i>	40
Tabla 7. <i>Resultados para compresión simple material con adición de 1 cm al 0,3%</i>	41
Tabla 8. <i>Resultados para compresión simple 1 cm al 0,5%</i>	41
Tabla 9. <i>Resultados para compresión simple con adición de 1,5 cm al 0,3%</i>	41
Tabla 10. <i>Resultados para compresión simple con adición de 1,5 cm al 0,5%</i>	42
Tabla 11. <i>Resultado porcentaje de expansión ensayo de CBR</i>	43
Tabla 12. <i>Resultado CBR de diseño</i>	44
Tabla 14. <i>Resultados datos de ángulos de fricción</i>	45
Tabla 15. <i>Tabla comparación fuerzas de compresión simple</i>	49

Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Clasificación de suelo según el tamaño promedio de sus partículas. Adaptado de Revista Intagri. Disponible en: www.intagri.com	24
<i>Figura 2.</i> Ensayo de Granulometría. Fuente: Elaboración propia.	35
<i>Figura 3.</i> Ensayo de límites de Atterberg <i>Figura:</i> Muestras ensayo limite líquido y plástico Fuente: Elaboración propia	37
<i>Figura 4.</i> Muestras ensayo límite líquido y plástico Fuente: Elaboración propia	37
<i>Figura 5.</i> Ensayo Proctor modificado Fuente: Elaboración propia	38
<i>Figura 6.</i> Ensayo de compresión simple. Fuente: Elaboración propia	39
<i>Figura 7.</i> Muestras compresión simple. Fuente: Elaboración propia.....	39
<i>Figura 8.</i> Ensayo de CBR. Fuente: Elaboración propia	43
<i>Figura 9.</i> Comparación Proctor modificado	49
<i>Figura 10.</i> Comparación de esfuerzos. Fuente: Elaboración propia.	50
<i>Figura 11.</i> Comparación CBR de diseño. Fuente: Elaboración propia	51
<i>Figura 12.</i> Comparación resultados corte directo. Fuente: Elaboración propia	52

Lista de apéndices

	Pág.
Apéndice A. Ensayo de granulometría	58
Apéndice B. Ensayo Límites de Atterberg	60
Apéndice C. Ensayo de proctor modificado	62
Apéndice D. Análisis ensayo de compresión simple	71
Apéndice E. Ensayo de CBR	103
Apéndice F. Ensayo de corte directo	123

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO:	Evaluación del mejoramiento mecánico de suelos arcillosos utilizando el bagazo extraído de la caña de azúcar
AUTOR(ES):	Christian Camilo Delgado Moreno Andrea del Pilar Sarmiento Pinilla
PROGRAMA:	Facultad de Ingeniería Civil
DIRECTOR(A):	Julian Andre Galvis Florez

RESUMEN

Una vez elegido el tema se procede a plantear los objetivos y la delimitación del problema que se plantea abordar con el estudio, a partir de estas bases se procede con la tarea de indagar que otros procesos se habían realizado en el pasado, los cuales trataran de resolver nuestro problema previamente delimitado, para evitar que se incurra en cualquier tipo de estudio repetitivo o que se acercara de manera muy similar al planteamiento investigativo propuesto en este proyecto de grado, de esta manera se fue dando forma al estado del arte. Al tener planteado y estructurado el curso a seguir para el desarrollo de dicho trabajo de grado, se procede a formular la metodología que se pensó sería la ideal. Se comienza con la evaluación de las características de las muestras de suelo las cuales fueron obtenidas en el municipio de Zapatoca, por medio de una granulometría y posteriormente un ensayo de límites de Atterberg, lo que arrojó que la muestra evaluada era una arcilla. Luego de determinar lo anterior se prosiguió con la tarea de evaluar la humedad y las características mecánicas de la muestra, a través de los estudios de Proctor modificado, compresión simple, corte directo y CBR. Esto se realizó con la muestra sin ningún tipo de fibra adicionada y posteriormente con adición de 0,3% y 0,5% de adición bagazo respecto al peso inicial del suelo. En base a esto se evidencia que ninguna de estas adiciones mencionadas anteriormente logró mejorar las propiedades mecánicas del suelo.

PALABRAS CLAVE:

Bagazo, arcilla, ensayos, fibra, adición.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: Evaluation of the mechanical improvement of clay soils using the bagasse extracted from the sugar cane.

AUTHOR(S): Christian Camilo Delgado Moreno
Andrea del Pilar Sarmiento Pinilla

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Julian Andre Galvis Florez

ABSTRACT

Once we have chosen the subject of study for our thesis "evaluation of the mechanical improvement of clay soils using bagasse extracted from sugar cane", we proceeded to consider the objectives and the delimitation of the problem that we propose to address with our research, based on this we took on the task of investigating that other studies had been carried out in the past, which would try to solve our previously defined problem, to avoid incurring in any repetitive study or approached very similarly to our investigation, In this way we were shaping our state of the art. Having raised and structured the course to follow for the development of our degree work we proceeded to formulate the methodology that we thought would be the ideal to progressively reach the results we were looking for and that would allow us to reach the expected conclusions. We began with the evaluation of the characteristics of our soil samples which were obtained in zapatoca village, by means of a granulometry and later an Atterberg limit test, which showed us that our sample was a clay. After determining the previously stuff, we set out to evaluate the humidity and the mechanical characteristics of our sample, through the studies of modified proctor, simple compression, direct cutting and CBR. This was done with the sample without any fiber added and subsequently with 0.3% addition and 0.5% bagasse addition to the initial soil weight. Based on this it is evident that none of these additions mentioned it did not improve the mechanical properties of the soil.

KEYWORDS:

bagasse, clay, test, fiber, addition.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

Introducción

Con el fin de conocer y evaluar un poco más acerca de la viabilidad del uso de fibras naturales para el mejoramiento de suelos, se planteó la posibilidad de lograr dicha mejoría por medio de la adición de fibras de caña de azúcar, las cuales son un subproducto de la producción de panela, lo anterior teniendo en cuenta que en Santander se encuentran ubicados decenas de trapiches dedicados a la producción de la misma lo que facilita y asegura la obtención de la materia prima para el desarrollo de los ensayos pertinentes.

En el ámbito de la ingeniería se le han dado diversas aplicaciones al uso de fibras tanto naturales como sintéticas, algunos de los más destacados son el uso de fibras para la solución de problemas geotécnicos y como agregado en materiales compuestos de matriz polimérica entre otros.

Durante las últimas décadas se ha incrementado significativamente el uso de materiales con adiciones de fibras vegetales en las más diversas aplicaciones, debido a algunas importantes ventajas frente a otros materiales, como la facilidad de procesamiento, la productividad que puede alcanzarse en su obtención, su baja densidad y su bajo costo. Es una práctica frecuente mejorar las propiedades de los materiales mediante la incorporación de partículas, tejidos o fibras de diferente naturaleza, lo que permite sustentar teóricamente la viabilidad del proyecto.

Este proyecto de grado analizó y demostró los efectos de la adición de fibras de caña de azúcar en el mejoramiento mecánico en suelos arcillosos, por medio de ensayos de caracterización de suelos y el análisis de los parámetros de resistencia de los mismos con el uso de la fibra y sin ella.

Inicialmente se realizaron pruebas de clasificación de suelo para determinar que efectivamente se utilice para el proyecto de suelos arcillosos, una vez se haya determinado lo anterior se procedió

a la evaluación del material mediante su compresión para determinar las características mecánicas del suelo con y sin la adición de la fibra de caña.

1. Justificación

En el ámbito de la ingeniería civil, el hombre ha desarrollado durante las últimas décadas diversos métodos con el fin de optimizar el comportamiento mecánico de los suelos. Esto con el fin de evitar deformaciones que pueden poner en peligro y/o comprometer la estabilidad estructural de una obra civil. Si bien el mejoramiento de suelos mediante la adición de fibras vegetales es una práctica relativamente antigua, su estudio y posteriores pruebas se han venido desarrollando en las últimas tres décadas, entendiéndose que actualmente las tecnologías y mejoras a nivel tecnológico van enfocadas al aprovechamiento óptimo de los recursos y la responsabilidad social empresarial, el uso de bagazo de caña de azúcar para el mejoramiento de suelos sería una alternativa viable para minimizar el impacto ambiental, ya que este es un subproducto de la elaboración de la panela, que rara vez es aprovechado, siendo su fin más común la incineración, por lo cual tiene gran potencial para el sector de la construcción de demostrarse sus características de mejoramiento esperadas.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Estudiar la viabilidad del material orgánico bagazo para el posible mejoramiento de las características mecánicas de un suelo arcilloso.

2.2 Objetivos específicos

- Analizar las características mecánicas de los suelos para determinar sus propiedades de resistencia, y establecer el tipo de suelo a emplear.
- Determinar la cantidad de material orgánico óptimo por medio de la interpretación de los resultados obtenidos, y deducir si el material orgánico bagazo es factible como métodos para mejorar las propiedades mecánicas del suelo.

3. Delimitación del problema

En el proceso de extracción del dulce de la caña de azúcar, se genera un subproducto conocido como Bagazo, este proyecto de grado contiene la evaluación del comportamiento de un suelo arcilloso mezclado con la fibra obtenida del proceso de extracción anteriormente mencionado, con el fin de mejorar las propiedades mecánicas del suelo puesto a prueba (principalmente su resistencia). El material a utilizar para el proyecto fue obtenido del municipio de Mogotes, Santander de un trapiche ubicado en la vereda Guayaguata, en la finca el Rosedal, el suelo a mejorar se extrajo de Zapatoca, Santander. Por otra parte, el proyecto de mejoramiento y las pruebas se llevaron a cabo en el laboratorio de suelos y pavimentos de la UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA. Principalmente se realizaron pruebas de granulometría, límites de Atterberg, compresión simple, corte directo, compactación y CBR, evaluando el comportamiento del suelo con el material y sin él.

Este proyecto servirá como guía y soporte para futuras investigaciones y posteriores aplicaciones tanto para profesores, como para estudiantes e investigadores.

4. Antecedentes

A continuación, se encuentran las investigaciones realizadas previamente a la realización del proyecto, las cuales permitieron determinar las actividades propuestas que aportaron el conocimiento necesario para alcanzar los objetivos establecidos.

Tabla 1. Antecedentes

Título del artículo o proyecto de grado	Autor (es)	Resumen	Nombre de revista o modalidad
Estado del arte acerca de diversas técnicas usadas para el mejoramiento de suelos en el mundo	Badillo Torres, Jorge Andrés	En el trabajo de grado se expresan distintas técnicas de mejoramiento de suelo utilizadas alrededor del mundo, como drenes verticales, soil mixing, inyección de lechada, entre otros, en donde se explican sus ventajas y desventajas. Se demuestra que a la hora de hacer un mejoramiento de suelo se debe tener en cuenta factores como: viabilidad de adquisición de equipos, experiencias de personal que implementara la técnica, carga a proyectar y análisis económico [1]	Modalidad: Teórico
Estudio de la compresibilidad de bagazo a escala de laboratorio	Gil Ortiz, José M Gil Ortiz, José A Santos, William Suarez ²	El estudio tuvo como objetivo analizar qué tan compresible es el bagazo al aplicarle una fuerza externa, el ensayo se hizo sometiendo el material a una prensa en la cual se encontró que la compresibilidad del material está sujeta a la preparación de la caña y la tensión superficial que se genera	Tecnología química

por el jugo retenido en la capa porosa del mismo [2]

Tabla 1. (Continuación)

Título del artículo o proyecto de grado	Autor (es)	Resumen	Nombre de revista o modalidad
Beneficio de la resistencia de la enmienda al aserrín/ceniza de madera en la estabilización de cemento de un suelo expansivo.	James, Jijo	Se evaluaron los beneficios obtenidos al utilizar cenizas de polvo de sierra, se agregaron 5%,10% y 20% respecto al peso natural del suelo para estabilizarlo, se encontró un 26% de mejora temprana y 20% de mejora tardía y se obtuvo según los resultados de CBR que la capa de pavimentos se puede reducir hasta en un 8.3% [3]	Revista facultad de ingeniería UPTC
Caracterización de ceniza de bagazo de la caña de azúcar; cómo material suplementario del cemento portland.	Agredo, J. Torres de Gutiérrez, R. Mejía Giraldo, C. E. Escandón Salcedo, L. O. González	En este estudio se considera la viabilidad técnica de la ceniza de bagazo (CBA) como reemplazo parcial del cemento Portland; se usaron muestras de una industria azucarera colombiana, en los cuales se presentó una alta concentración de sílice en un 76.3% y 63.2%. Las características mineralógicas y morfológicas fueron determinadas por difracción de rayos x, análisis térmico y microscopía electrónica de barrido, la actividad puzolánica fue evaluada utilizando el ensayo de frattini y el índice de actividad por resistencia mecánica (IAR). Comparándola con la ASTM C618 la cual dice que para clasificar un material como puzolánico debe tener como mínimo el 75% en el IAR lo cual fue alcanzado en el ensayo. Y se consideró que la CBA puede reciclarse como material puzolánico. [4]	Revista de ingeniería e investigación.

Tabla 1. (Continuación)

Título del artículo o proyecto de grado	Autor (es)	Resumen	Nombre de revista o modalidad
Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal.	Manals-Cutiño, Enma M. Penedo-Medina, Margarita Salas-Tort, Dolores	Este trabajo tiene como finalidad evaluar las diferentes propiedades químicas y físicas de diferentes muestras de bagazo de caña se tomaron partículas desde fino polvo hasta partículas irregulares de gran tamaño, las mayores acumulaciones fueron obtenidas para para partículas desde 0.5 hasta 1 mm de diámetro. Para este estudio se desarrollaron los métodos diferencial y acumulativo el diámetro promedio de bagazo en general es de 0.453 mm; se obtuvo que la influencia del tamaño para la humedad y el carbono fijo no existe una tendencia definida. En el caso de contenidos volátiles existe una tendencia al aumento conforme aumenta el diámetro ocurriendo lo contrario para el contenido de cenizas. [5]	Tecnología química

Tabla 1. (Continuación)

Título del artículo o proyecto de grado	Autor (es)	Resumen	Nombre de revista o modalidad
Posible utilización de la fibra de fique para el mejoramiento de suelos.	Ramiro Rangel Parra	Esta tesis nos habla del estudio sobre la posible utilización de fibras de fique tratadas químicamente para su preservación, en el proceso de adición como fibra natural para el posible mejoramiento de suelos principalmente finos en el departamento de Santander, donde se usan 4 muestras tomadas de diferentes suelos en el departamento de Santander y a su vez 3 diferentes longitudes de 1 cm, 1.5 cm y 2 cm respectivamente para cada suelo. Se realizaron los ensayos de compactación de Harvard (Proctor miniatura), compresión simple, corte directo, Relación de soporte de california CBR, límites de Atterberg y granulometría respectivamente. Estos ensayos dieron como resultado como optimo la longitud de 2 cm y 0.5% de adición en peso para los suelos. [6]	Biblioteca Alejandría, Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

5. Marco teórico

5.2 Tipos de técnicas de mejoramiento de suelos

5.1 ¿Qué es una técnica de mejoramiento de suelo?

Un mejoramiento de suelos consiste en mejorar las características ya sean físicas, químicas o en algunos casos ambas por medio de procesos mecánicos como por ejemplo las vibraciones, las cargas y sobrecargas al suelo, o por la inclusión en el suelo de ya sea materias primas como el cemento y la cal o inclusión en el suelo de una mezcla de suelo con un material más resistente. Con el fin de:

- Aumentar la capacidad y/o resistencia al corte.
- Disminuir los asentamientos.
- Disminuir o eliminar los riesgos de licuefacción. [7]



Figura 1. Clasificación de suelo según el tamaño promedio de sus partículas. Adaptado de Revista Intagri. Disponible en: www.intagri.com

En términos generales se procura, según el tipo de suelo, actuar sobre las características de compresibilidad, incrementando su estabilidad volumétrica, especialmente ante la absorción o pérdida de agua, su resistencia al esfuerzo cortante y la respuesta de esfuerzo y deformación. De la misma manera se busca que no sea susceptible a agrietamiento, mejorar su resistencia a la erosión y, en casos específicos, se trata de disminuir su permeabilidad. En el caso de que se decida efectuar el mejoramiento de un suelo, el tratamiento a realizar dependerá de su tipo, sus dimensiones y la estructura a fundar.

5.2.1 Estabilización de suelo con cal

Este tipo de estabilización de suelo es el más respaldado, el mejor consolidado y establecido ya que a través del tiempo se le ha realizado distintos ensayos de laboratorio, diseños y técnicas de construcción, todo esto para hacer posible que el suelo resista cualquier tipo de carga que se le aplique.

Este tipo de estabilización es utilizado comúnmente para suelos que son arcillosos, los cuales contienen altos márgenes de humedad y una plasticidad alta, este proceso se realiza formando una mezcla entre el suelo y la cal, la cual se ha comprobado que a los pocos días de ser aplicada se obtiene mayores resistencias y resultados efectivos

Para obtener la compactación del terreno agregándole cal, es necesario adicionar entre 4 a 10 kg de cal por cada m² y una profundidad de 20 a 40 cm aproximadamente, normalmente para establecer este tipo de valores se debe hacer un estudio previo. Se establece la mezcla homogénea y esta es compactada con cualquier tipo de maquina ya sea un pistón o un rodillo compactador los cuales deben cumplir con todas las normas pertinentes. [8]

5.2.2 Estabilización de suelo con cemento

Antes de comenzar se debe clasificar el suelo haciéndole ensayos de granulometría, límites de Atterberg, para identificar el suelo el cual será mejorado. Una vez realizado el proceso anterior y conociendo las características físicas, basándose en estos datos se puede escoger el tipo de conglomerante más efectivo que asegure la resistencia y la capacidad de soporte requerida.

En algunos casos la estabilización con cemento se mezcla con un porcentaje de cal, ya que este material ayuda a disminuir la humedad del suelo.

Para estimar cuanto cemento será utilizado, se deben hacer varios ensayos de laboratorio en las cuales se utilicen diferentes porcentajes de cemento utilizando el suelo que será mejorado en las cuales se utilizara la humedad optima establecida en el ensayo de Proctor, teniendo en cuenta los pasos anteriores se estima la cantidad de cemento necesaria para utilizar. [9]

5.2.3 Estabilización de suelo con asfalto

La estabilización del suelo con asfalto es recomendada en suelos finos los cuales normalmente están compuestos por arcilla y arena, este tipo de suelos tienen presencia de humedad alta y un aumento de volumen por presencia de agua que ocasiona adobes erosionables.

5.2.3.1 Requisitos

Granulometría: Para SUCS, todo el material que pasa por el tamiz N° 200 son limos y arcillas, los cuales son los suelos requeridos para hacer este tipo de ensayos

Contenido de sales solubles en agua: Max porcentaje permisible es de 0.2% [10]

5.2.3.2 Estabilizador asfáltico más recomendado

Asfalto RC-250: Sustancia viscosa cuya temperatura ideal de mezclado esta entre 27°C y 66°C.

5.2.4 Estabilización de suelo con Cloruro de Sodio

El cloruro de sodio es un producto de fácil acceso, se encuentra en procesos industrial, es extraído de pozos naturales. Su solubilidad es de 60g por cada 100 c.c. de agua destilada a 0°C.

Al ser aplicado en el suelo mejora la cohesión, disminuye la fuerza de repulsión entre las arcillas, incrementa los pesos volumétricos en un 11% cuando se adiciona 3% respecto al peso del suelo. También se ha demostrado que ayuda a mantener una humedad constante y no permite variaciones evitando que el suelo se vuelva expansivo ya que es capaz de absorber hasta 10 veces su propio peso, este método es mayormente utilizado cuando el camino tiene un tránsito ligero, para que sea más efectivo se debe tener en cuenta:

- Contenido de minerales en el suelo que reaccionen de buena manera al ser combinados con sal
- El nivel freático no se encuentre en un punto en el cual la sal pueda extenderse
- El medio ambiente no contenga altos porcentajes de humedad. [11]

5.3 Obtención del material bagazo de caña como residuo de producción

El bagazo de caña es un subproducto en el proceso de extracción del dulce presente en la caña de azúcar, existen diferentes usos para el ya mencionado dulce de caña, en este caso el bagazo que

usaremos será el usado en el proceso de la elaboración de la panela. Este proceso se lleva a cabo por medio de la molienda de la caña, una vez molida obtenemos el bagazo, el cual se pone a secar para ser utilizado ya sea como abono o simplemente para ser desechado.

Es un material fibroso, heterogéneo es de baja densidad y presenta un alto contenido de humedad.

La composición de este material es aproximadamente 50% humedad, 5% solidos solubles y 45% solidos insolubles o fibra solida cruda. [12]

Tabla 2. *Propiedades físicas-químicas del bagazo de caña.*

Humedad (%)	4
Tamaño de la partícula (mm)	0,5 – 1
Densidad (g/cc)	0,12
Volátil (%)	68 – 70
Cenizas (%)	1,26
Carbón fijo (%)	28,7 – 30,7
C (%)	48,58
H (%)	5,97
O (%)	38,94
N (%)	0,20

Fuente: Elaboración propia

5.4 Inclusiones

Es un mejoramiento con elementos los cuales tienen mejores propiedades que las del suelo sin ningún tipo de adición. Son utilizadas en métodos que tienen como finalidad reducir los asentamientos, incremento de resistencia al esfuerzo y reducción de licuación que se presente por

un sismo o una vibración importante. Una inclusión rígida puede ser conformada por un elemento estructural o por una mezcla que se haga in situ de suelo con material.

5.5 Granulometría

El análisis granulométrico tiene como objetivo la determinación cuantitativa de distribución de tamaños de partículas de un suelo, esta composición es muy importante para poder realizar una correcta clasificación y posterior análisis del comportamiento de un suelo.

Para hacer una granulometría primero se toma una cantidad representativa de tierra, posteriormente se seca, se separa y se pesa el conjunto. Una vez hecho lo anterior se procede a hacer pasar dicha tierra por los diferentes tamices, dispuestos de mayor a menor abertura. Finalmente se pesa el material retenido en cada tamiz, usando estos datos se crea la curva granulométrica. [13]

5.6 Límites de Atterberg

Se definen como los límites de los contenidos de humedad que caracterizan los cuatro estados de consistencia de un suelo de grano fino los cuales son el estado sólido, estado semisólido, estado plástico y estado semilíquido o viscoso.

El límite entre los estados sólido y semisólido se denomina límite de retracción, el límite entre los estados semisólido y plástico se llama límite plástico y el límite entre los estados plástico y semilíquido, límite líquido. Primero para determinar el límite líquido se usa la cuchara de Casagrande dejándola caer primero de 15 a 25 veces, luego de 20 a 30 veces y finalmente de 25 a

35 veces todo lo anterior desde una altura de 1 cm, luego se extrae una muestra de cada rango y se pesa para posteriormente ingresar cada una de estas al horno durante 24 horas. Finalmente se vuelven a pesar las muestras y se comparan con los pesos de las mismas que fueron tomados previamente, todo esto para determinar la humedad existente en la tierra.

El límite plástico se determina mediante la formación de pequeños cilindros en la palma de la mano, posteriormente dichos cilindros se pasan sobre un vidrio esmerilado con el propósito de extraer la humedad, una vez la humedad es extraída, el cilindro comienza a cuartearse, cuando esto ocurre se procede a pesar el material, luego de pesarlo se mete al horno por 24 horas, finalmente se saca del horno y se pesa nuevamente para ser comparado con su peso previo a dicho procedimiento. Dicha diferencia nos da como resultado el peso del agua y con dicho peso se procede a promediar los resultados y así se obtiene el índice plástico.

Una vez se determinan estos dos índices, se obtiene el índice plástico $IP = LL-LP$ y con dicho índice se hace referencia a la carta de plasticidad para determinar qué tipo de suelo se está evaluando. [13]

5.7 Proctor modificado

Este ensayo busca determinar la densidad seca máxima de un suelo y la humedad óptima necesaria para alcanzar esta densidad. Para esto se utiliza un molde cilíndrico de aproximadamente 1 litro de capacidad que se rellena con 5 capas de material debidamente compactadas mediante un martillo de 10 lb que se deja caer libremente una altura de 18 pulgadas.

El material a ensayar tiene que ser previamente secado y posteriormente tamizado usando un tamiz No 4 y finalmente humedecido con diferentes valores.

Para la compactación de cada capa de material se usan 25 golpes del martillo los distribuidos homogéneamente sobre la superficie del cilindro. Vale la pena resaltar que las 5 capas deben tener aproximadamente la misma altura de tierras. Una vez compactado el material, se deja a ras el molde y se mide la densidad y la humedad de una muestra tomada del centro del mismo, posteriormente se repite el proceso varias veces con distintos contenidos de humedad, todo esto con el fin de trazar la curva de proctor y definir de esta manera la relación entre la densidad seca y la humedad. [13]

5.8 Compresión simple

Este ensayo tiene por finalidad determinar la resistencia a la compresión no confinada de una probeta cilíndrica formada a partir de la muestra de suelo, de manera que se pueda obtener de forma indirecta la resistencia al corte de la muestra, dicha probeta debe tener una relación de aspecto altura igual a dos el diámetro. Para lo anterior se somete una muestra de suelo a un esfuerzo vertical con la deformación controlada, y se mide la máxima carga que dicha muestra es capaz de resistir. [13]

5.9 CBR

Se emplea para evaluar la capacidad portante de terrenos compactados como terraplenes, capas de firme, explanadas, así como en la clasificación de terrenos y recibe su nombre de la frase en ingles California Beraring Ratio y proviene que este ensayo fue desarrollado por el Departamento de Transportes de California.

La prueba consiste básicamente en compactar la muestra de suelo en unos moldes de acero estandarizados, sumergirlos en agua y aplicar un punzonamiento sobre la superficie de la muestra mediante un pistón estandarizado según la norma. [13]

5.10 Ensayo de consolidación

También conocido como ensayo edométrico, permite determinar los asentos y tiempos de consolidación de terraplenes, losas, zapatas, entre otros en suelos blandos saturados como las arcillas. Por medio de este se puede obtener una información muy valiosa para la caracterización de suelos blandos imposible de obtener con otros ensayos geotécnicos.

El ensayo de consolidación consiste básicamente en un montaje con un anillo rígido de acero cuyas tapas están formadas por piedras porosas que permiten la salida del agua y en cuyo interior del anillo se coloca la muestra de suelo, sobre la placa superior porosa se coloca una placa rígida y posteriormente se sumerge todo el conjunto emulando las condiciones de saturación, finalmente se aplican unas cargas crecientes en escalones sucesivos para posteriormente decrecer las cargas en uno o varios ciclos.

Los escalones de carga se mantienen el tiempo suficiente para garantizar que el proceso de consolidación se ha completado satisfactoriamente, normalmente suelen ser en un periodo de 24 horas. [13]

5.11 Resistencia al corte directo

Es una propiedad de suma importancia en la caracterización del comportamiento mecánico de un suelo, de dicha resistencia dependen la estabilidad de los taludes, a su vez que la capacidad de carga de un suelo, la estabilidad de una cimentación y la presión lateral sobre estructuras de retención de tierras.

La resistencia al corte directo es la resistencia interna por área unitaria que la masa de suelo ofrece para resistir una falla o fractura y por deslizamiento o flujo plástico deslizamiento a lo largo de cualquier plano usando el criterio de Mohr-Coulomb, el cual considera que la resistencia de un material se puede medir a través del esfuerzo cortante que puede soportar. Según dicho criterio la resistencia se calcula usando la siguiente formula $\tau = C + \sigma * \tan\phi$, en donde:

τ es la resistencia al esfuerzo constante

C es la cohesión del suelo, debido a la atracción de las fuerzas moleculares

σ es el esfuerzo normal o de confinamiento

ϕ es el Angulo de fricción interna del material, el cual depende del tamaño, la distribución y la forma de los gránulos. [13]

6. Desarrollo metodología

A continuación, se encuentra el procedimiento paso a paso el cual fue realizado para desarrollar este proyecto de grado, iniciando con el motivo por el cual se eligió este tema para la misma, pasando por cada uno de los pasos y ensayos que se implementaron durante el proceso y finalizando en la entrega de resultados.

Inicialmente abordando la necesidad latente del sector de la construcción por encontrar materiales capaces de mejorar las características mecánicas de los suelos se decidió indagar que posibles materiales o fibras podrían mejorar dichas propiedades y de la misma manera que estos materiales fuesen amigables con el medio ambiente para que de esta forma su desarrollo e inclusión puedan hacerse de manera sostenible. Indagando acerca de las propiedades de las fibras vegetales, se decidió basar este proyecto en el subproducto de la elaboración de la panela, es decir el bagazo de caña de azúcar.

Para el desarrollo de este trabajo de grado primero se buscó la manera de encontrar la fibra de forma tal que pudiera cubrir las necesidades de cantidad para la elaboración de los posteriores ensayos, por lo que se dispuso visitar los trapiches cercanos a la ciudad de Bucaramanga los cuales estuvieron dispuestos a regalar la fibra.

Una vez se eligió el tema del proyecto y una vez asegurada la materia prima para los ensayos, se comenzó a realizar el proyecto de grado sobre todo lo que se consideró importante para el desarrollo del mismo, lo cual concluyó con la elaboración del estado del arte y posteriormente el marco teórico los cuales dieron las pautas iniciales para el desarrollo e implementación de los ensayos prácticos.

6.1 Granulometría

Para poder comenzar a realizar con este ensayo primero se tuvo que proceder a secar la muestra inicial de suelo en el horno del laboratorio durante 24 horas. Una vez terminado el proceso descrito anteriormente, se pesó la muestra y se obtuvo un primer dato el cual fue **1742,5g**. Posteriormente se lavó el material usando un tamiz No 200 y se reingresó al horno por otro periodo de 24 horas buscando con esto eliminar completamente la humedad de la muestra.

A continuación, se pesa la muestra luego de su segundo periodo en el horno, dicho dato fue de **578,4g**. Acto seguido el material se pasó por una serie de tamices de 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", $\frac{1}{4}$ ", No 4, No 10, No 20, No 40, No 60, No 100, No 200, buscando con esto el porcentaje retenido de suelo, para su posterior clasificación, la cual fue suelo fino con un 69.29%, 30,45% de arenas y 0,26% de gravas.



Figura 2. Ensayo de Granulometría.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Resultados granulometría

Porcentaje de grava	0,26 %
Porcentaje de arena	30,45 %
Porcentaje de finos	69,29 %

Fuente: Elaboración propia

6.2 Límites de Atterberg

Se tamizaron 300 gr de la muestra de suelo, usando el tamiz No 40, luego se tomó 200gr ya tamizados y se agregó agua progresivamente para realizar el ensayo de La Cazuela de Casagrande y así obtener los datos en los rangos acorde a la norma, es decir de 15 a 25 golpes, 20 a 30 golpes y 25 a 35 golpes. Los datos obtenidos fueron para 23 golpes una humedad del 42,3%, para 29 golpes una humedad de 41,93% y para 34 golpes una humedad de 40,68%. Dichos valores se usaron para trazar la gráfica de imite líquido, obteniendo así un límite líquido de 42,2%.

Para poder hallar el índice de plasticidad se procedió a encontrar el límite plástico, el cual es el resultado de la resta del límite líquido y el límite plástico.

Con dicho fin se tomó material proveniente del primer punto del límite líquido y se procedió a extraer la humedad existente en el mismo, usando las manos para formar pequeñas esferas y luego con el vidrio esmerilado aplanándolas hasta que se quebraron por sí mismas, lo que arrojó que la muestra estaba suficientemente seca, es decir que se encontró su límite plástico. Este proceso se realiza 3 veces obteniendo así 3 valores de humedad. Los cuales fueron 15.33%, 16.39% y 16.19%, usando el promedio de estos 3 datos se obtiene el valor del limite el plástico el cual es 15.97% y con este dato como se enunció anteriormente se obtuvo el índice de plasticidad, que en este caso es 26,22%.



Figura 4. Muestras ensayo límite líquido y plástico
Fuente: Elaboración propia



Figura 3. Ensayo de límites de Atterberg
Figura: Muestras ensayo limite líquido y plástico Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Resultados límite líquido y límite plástico

Límite plástico	15,97
Límite líquido	42,2
Índice de plasticidad	26,22

Fuente: Elaboración propia

6.3 Proctor Modificado

Se comenzó tamizando 3 kilogramos de material usando un tamiz No 4 y se procedió a agregarle una humedad inicial del 5%, para de esta manera continuar con el ensayo mezclando de manera homogénea el material para rellenar el cilindro de acero con este, antes de rellenarlo se pesó el molde usando la base y sin collarín, a su vez se le tomó sus diferentes dimensiones en 3 puntos distintos.

El cilindro relleno teniendo en cuenta que para se deben usar 5 capas, y propinar 25 golpes a cada una de ellas, usando el martillo de 10 lb. Una vez se hecho esto, se enrazó y pesó el cilindro nuevamente, esto se hace sin el collarín.

A continuación, se tomó una muestra directamente del cilindro y se tomó su respectivo peso. Este dato se le tomó a cada muestra hasta lograr el valor deseado.

Tras realizar lo previamente establecido se aumentó la humedad de la muestra en 3% y esto se hizo hasta lograr que el peso del cilindro, sumado a la base y el material sea menor al predecesor.

Una vez se obtuvo que la muestra cumpla con dichos parámetros, se continuó tomando las muestras anteriormente seleccionadas y se ingresaron al horno por un periodo de 24 horas, con el fin de extraer su humedad, luego de esto se pesaron todas las muestras y usando estos datos se obtuvo la humedad de cada punto, densidad humedad, densidad seca, peso unitario seco, con los valores arrojados en este ensayo se trazó la curva de humedad y finalmente tras analizarla se obtuvo el dato de la humedad óptima. Todo el proceso descrito anteriormente se repitió 4 veces más, es decir una vez más por cada adición de fibra previamente establecida.



Figura 5. Ensayo Proctor modificado
Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Tabla de humedades óptimas

Tipo de suelo	Humedades óptimas	Peso específico seco Kn/m ³
Suelo sin adición	11,2%	
Suelo con adición de 1 cm al 0,3%	14,00%	17,57
Suelo con adición de 1 cm al 0,5%	15,50%	17,01
Suelo con adición de 1,5 cm al 0,3%	17,20%	16,74
Suelo con adición de 1,5 cm al 0,5%	17,30%	16,74

Fuente: Elaboración propia

6.4 Compresión simple

Usando la muestra se elaboraron cilindros con cada una de las adiciones de fibra vegetal establecidas anteriormente, esto cilindros deben ser de 1000 cm³. En total se elaboraron 5 cilindros.

Posteriormente se realizaron 3 cilindros de prueba por cada cilindro que se tenía anteriormente, con material extraído de cada uno de los mismos los cuales fueron fallados y se determinó la resistencia a la compresión no confinada.



Figura 6. Ensayo de compresión simple.

Fuente: Elaboración propia



Figura 7. Muestras compresión simple.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Resultados para compresión simple material sin adición

Resultados para compresión simple material sin adición		
Muestra	Deformación unitaria máxima %	Esfuerzo máximo (Kpa)
Material sin adición	3,49	700
Material sin adición (2)	3,3	400
Material sin adición (3)	3,4	1090
Promedios	3,397	730

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Resultados para compresión simple material con adición de 1 cm al 0,3%**Resultados para compresión simple con adición de 1 cm al 0,3%**

Muestra	Deformación unitaria máxima %	Esfuerzo máximo (Kpa)
Material con adición 1 cm al 0,3%	4,9	249,13
Material con adición 1 cm al 0,3% (2)	4,7	206,4
Material con adición 1 cm al 0,3% (3)	4,67	226,49
Promedios	4,76	227,34

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Resultados para compresión simple 1 cm al 0,5%**Resultados para compresión simple con adición de 1 cm al 0,5%**

Muestra	Deformación unitaria máxima %	Esfuerzo máximo (Kpa)
Material con adición 1 cm al 0,5%	7,3	209,5
Material con adición 1 cm al 0,5% (2)	6,47	164,93
Material con adición 1 cm al 0,5% (3)	7,53	113,63
Promedios	7,10	162,69

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Resultados para compresión simple con adición de 1,5 cm al 0,3%**Resultados para compresión simple con adición de 1,5 cm al 0,3%**

Muestra	Deformación unitaria máxima %	Esfuerzo máximo (Kpa)
Material con adición 1,5 cm al 0,3%	7,17	344,26
Material con adición 1,5 cm al 0,3% (2)	3,5	124,83
Material con adición 1,5 cm al 0,3% (3)	9,13	398,62
Promedios	6,60	289,23

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Resultados para compresión simple con adición de 1,5 cm al 0,5%**Resultados para compresión simple con adición de 1,5 cm al 0,5%**

Muestra	Deformación unitaria máxima	Esfuerzo máximo (Kpa)
Material con adición 1,5 cm al 0,5%	4,52	150,52
Material con adición 1,5 cm al 0,5% (2)	9,12	174,04
Material con adición 1,5 cm al 0,5% (3)	5,8	181,87
Promedios	6,48	168,81

Fuente: Elaboración propia

6.5 CBR

Teniendo como base la humedad óptima que se obtuvo previamente del ensayo de Proctor modificado, se elaboraron 3 cilindros, cada uno de estos con 5 capas de material, posterior a esto los cilindros se pesaron, se midieron, se les colocó un falso fondo y un filtro. Dichos cilindros están diferenciados entre sí por el número de golpes que se le impartieron a cada uno, el primero recibió 10 golpes, 25 el segundo y el tercero 56.

Luego de esto se procedió a someter cada cilindro a un peso específico (acorde a la norma), para medir su expansión. Después se sumergieron los cilindros en agua por un periodo de 96 horas, una vez cumplido este tiempo se midió nuevamente la expansión sin sacar los cilindros del agua. Una vez hecho esto se dejaron escurrir durante 15 minutos para finalmente fallarlo en la máquina para compresión inconfinaada.

Para fallarlo se colocó un falso fondo y dos pesas de media luna dentro del cilindro.

Por último, se sacó una muestra de cada uno de los cilindros para medir la humedad de la misma, determinando así la densidad seca y la densidad húmeda, basándonos en estos datos hallar el porcentaje de CBR, en este caso siguiendo lo estipulado en INV-E.148-13, se calculó la relación de soporte para el esfuerzo máximo.



Figura 8. Ensayo de CBR.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Resultado porcentaje de expansión ensayo de CBR

Tipo de muestra	Porcentaje de expansión %		
	10 golpes	25 golpes	56 golpes
Muestra sin adición	3,47	4,32	2,64
Muestra con adición de 1,0 cm al 0,3%	2,53	3,34	4,21
Muestra con adición de 1,0 cm al 0,5%	3,69	3,16	2,51
Muestra con adición de 1,5 cm al 0,3%	5,08	3,58	3,62
Muestra con adición de 1,5 cm al 0,5%	2,68	2,90	1,83

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Resultado CBR de diseño

Tipo de muestra	CBR de diseño %
Muestra sin adición	4
Muestra con adición de 1,0 cm al 0,3%	1
Muestra con adición de 1,0 cm al 0,5%	2,9
Muestra con adición de 1,5 cm al 0,3%	2,1
Muestra con adición de 1,5 cm al 0,5%	1,22

Fuente: Elaboración propia

6.6 Corte directo

Se elaboraron 5 cilindros de acuerdo a cada una de las adiciones de fibra correspondientes, posteriormente se extrajo material de los mismos para hacer 1 pastilla de muestra por cada cilindro que se tenía, dichas pastillas se sometieron a la máquina de consolidación, saturando la muestra al máximo aumentando la carga que el material va a soportar cada 24 horas iniciando en 1kg, posteriormente 2kg y finalmente 4kg, con estos datos se obtuvieron los tiempos de consolidación T90 y t50 para hallar la velocidad de corte, en este caso las gráficas para muestra sin adición, muestra con adición de 1,0 cm al 0,3%, 0,5% y muestra con adición de 1,5 cm al 0,5% no satisficieron los numerales 8.10.1 y 8.10.2 de la norma INV-E-145-13 se halló el tiempo de falla con el numeral 8.10.3 de la misma, por otro lado la muestra con adición de 1,5 cm al 0,3% al trazarse la curva con la raíz cuadrada del tiempo la fórmula utilizada con la cual se halló el tiempo hasta la falla es la nombrada en el numeral 8.10.2 de la norma INV-E-154-13.

Tabla 14. Resultados datos de ángulos de fricción

Adiciones	C [Kpa]	ϕ [°]
Muestra sin adición	270,8	25,77
Muestra con adición de 1cm al 0,3%	74,4	21,44
Muestra con adición de 1cm al 0,5%	54	14,75
Muestra con adición de 1,5cm al 0,3%	71,2	7,44
Muestra con adición de 1,5cm al 0,5%	82,5	8,23

Fuente: Elaboración propia

7. Análisis de resultados

Una vez se han llevado a cabo todos y cada uno de los ensayos enunciados anteriormente para el desarrollo íntegro del proyecto, se procedió a aplicar los instrumentos de recolección de la información para de esta manera iniciar el análisis correspondiente de los datos obtenidos, con el fin de establecer las conclusiones a las cuales llega el proyecto de grado, de manera asertiva y concreta.

A continuación, se encuentran los respectivos análisis de todos los ensayos que se realizaron.

7.1 Granulometría

Se realizó el ensayo de granulometría por tamizado, obteniendo como resultado que de la muestra inicial un 69,29% de material logró por el tamiz No 200, lo que indicó que la muestra es un suelo fino.

7.2 Límites de Atterberg

Ya que el valor es mayor al 50% pertenece al grupo 4, por lo que se remite a la carta de plasticidad con el índice de plasticidad (IP), y el límite líquido (LL).

7.2.1 Límite Líquido

La grafica arroja un resultado en el golpe 25 de límite líquido del 42,2 %, tomando como referencia los valores previamente establecidos: Baja plasticidad $LL < 35\%$; plasticidad intermedia

LL= 35-50 %, alta plasticidad= 50-70%, plasticidad muy alta= 70-90%, plasticidad extremadamente alta >90% [14]

7.2.2 Límite plástico

Con un límite plástico del 15.97% se halló el índice de plasticidad que es de 26.22%.

7.2.3 Índice de plasticidad

El índice de plasticidad de 26.22% se comparó con los valores previamente establecidos para el rango de plasticidad según el IP, lo que arrojó como resultado una plasticidad media que se encuentra en el rango IP de 16 – 30. [15]

7.2.3.1 Nombre del material:

Teniendo en cuenta los anteriores resultados y usando a la carta de plasticidad se apreció que el suelo es una **arcilla de baja plasticidad CL**.

7.3 Proctor Modificado

Analizando material **sin adición** se obtuvo el dato de una humedad óptima del 11.18% lo cual indicó una humedad óptima aproximada a las arcillas inorgánicas las cuales tienen un rango de (12-24%) [16]

7.3.1 Adiciones

Se denotó una diferencia en la parte de compactación puesto que el material orgánico (Bagazo) aporta un volumen significativo siendo más notable dicho aporte en la adición del 0,5% la cual, por poco igualó al volumen del suelo, esto hizo que la cantidad de suelo compactado en el cilindro disminuyera. De la misma manera se observó la variación del peso específico y humedad óptima respectivamente.

7.3.1.1 Adición de 1cm

En la adición de 0,3% se presenta una relación directa de 1:10 la cual solo afecta específicamente a la humedad, en el caso de la adición de 0,5% notamos una tendencia muy similar a la anterior con una relación un poco más pequeña; por otra parte, el peso específico disminuye de manera inversamente proporcional a manera de adiciones tanto para 0,3% como para 0,5%.

7.3.1.2 Adición de 1,5cm

En las adiciones tanto de 0,3% como 0,5% se encontraron valores muy cercanos tanto a humedad como al peso específico por lo que se repitió el ensayo con la adición de 0,5 obteniendo valores muy cercanos, por lo cual se dedujo que el tamaño de la partícula si influye, ya que dificulta la mezcla del suelo con la tierra lo que hace que el volumen del bagazo sea mayor al del suelo en el recipiente lo que genera una mayor absorción de agua.

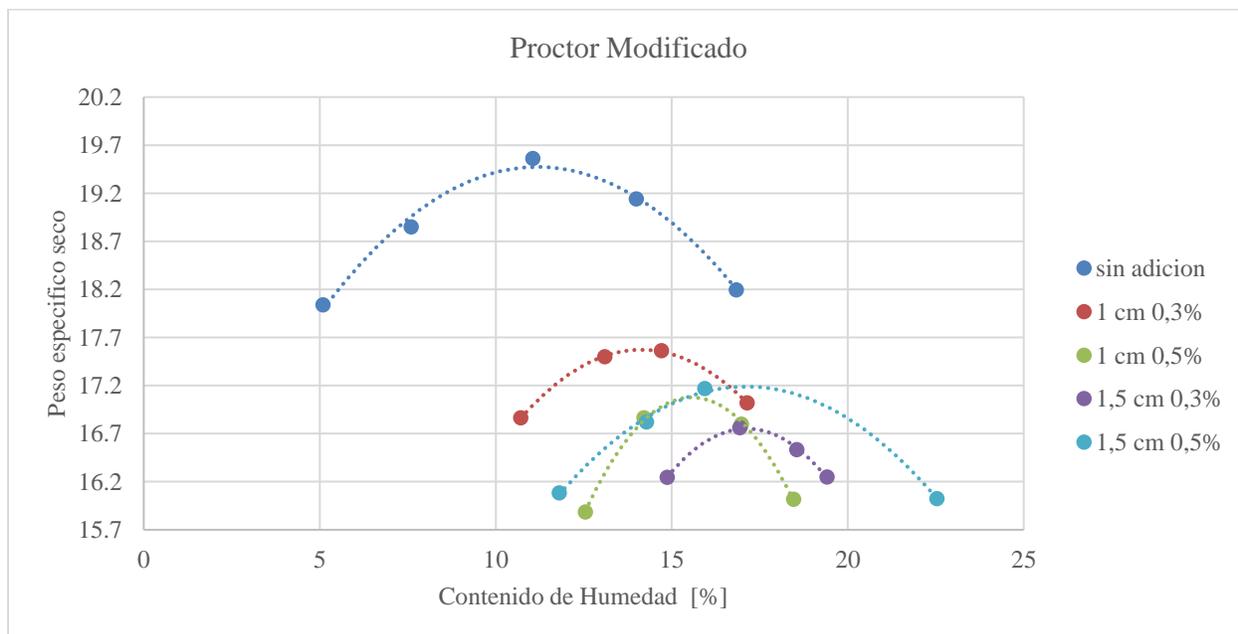


Figura 9. Comparación Proctor modificado

Fuente: Elaboración propia

7.4 Compresión simple

En este ensayo se evidenció una diferencia mayor, entre el material con adición y sin adición de fibra vegetal, siendo los resultados los siguientes

Tabla 15. Tabla comparación fuerzas de compresión simple

Ensayo	Promedio de esfuerzos 3 probetas [kpa]	Porcentaje comparado basándonos en el ensayo previo sin adición
Sin adición	730	-----
1 cm adición 0,3%	227,24	31,14%
1 cm adición 0,5%	162,69	22,29%
1,5 cm adición 0,3%	289,23	39,62%
1,5 cm adición 0,5%	168,81	23,12%

Fuente: Elaboración propia

Se puede notar una diferencia de más del 60% en cuanto a la resistencia de compresión no confinada, soportando en el mejor de los casos un 39,62% de la resistencia sin adición.

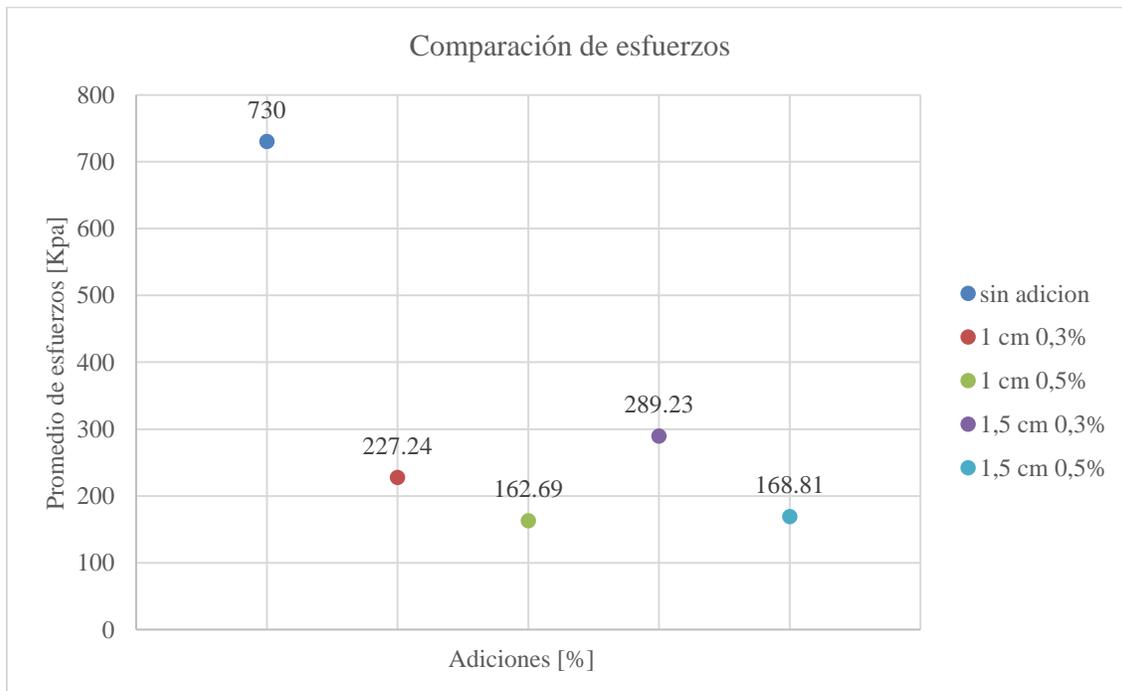


Figura 10. Comparación de esfuerzos. Fuente: Elaboración propia.

Se observa que, al momento de adicionar bagazo al material inicial, este pierde resistencia, es decir al ser sometidos a un esfuerzo se rompen con mayor facilidad en comparación del material sin adición.

7.5 CBR

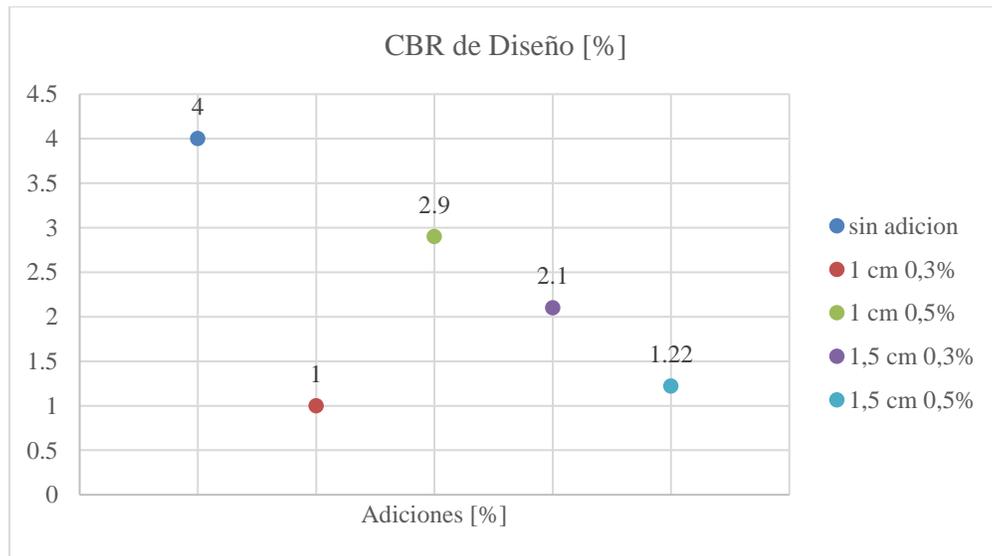


Figura 11. Comparación CBR de diseño. Fuente: Elaboración propia

En la gráfica anterior se puede observar que el CBR de diseño para el material utilizado sin ningún tipo de adición es del 4%, siendo este un porcentaje adecuado para suelos de clasificación CL el cual se encuentra en un rango de 4 a 15%, establecido para CL, OL.

Para las muestras con adición de bagazo es evidente un menor resultado respecto a la arcilla sin adición, siendo la muestra con adición de 1 cm al 0,5% la que presenta un mejor comportamiento.

Según la clasificación que se les da a los suelos para evaluar su viabilidad se prueba que los valores de CBR que oscilan entre 0% a 3%, tienen una clasificación muy pobre, rango en el cual todas las muestras que contienen una adición de bagazo se catalogan.

7.6 Corte directo

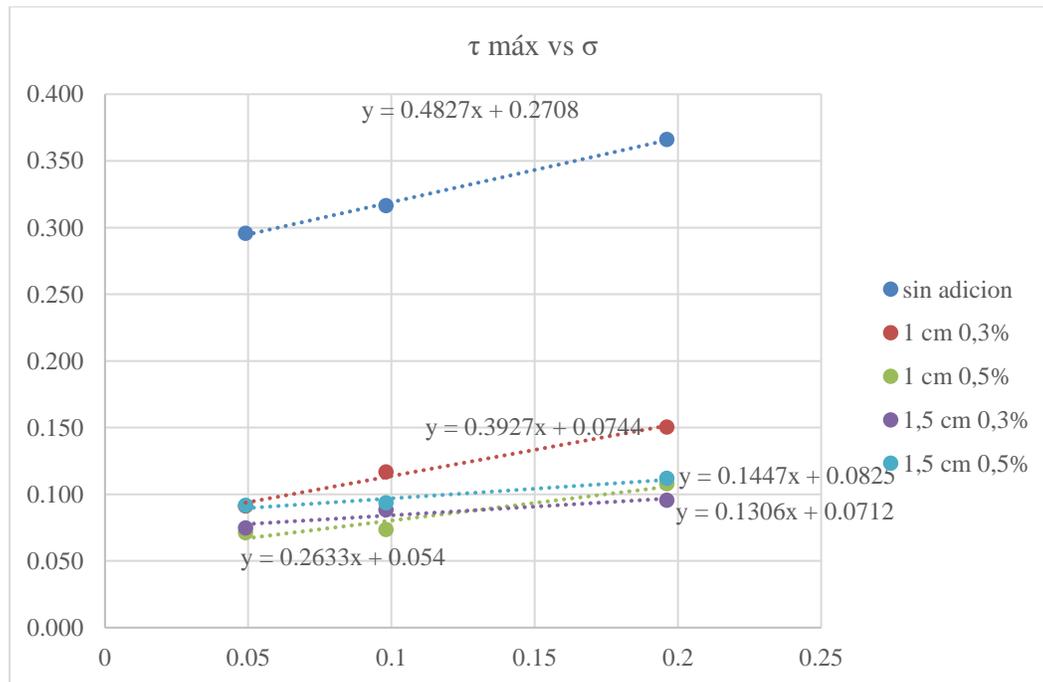


Figura 12. Comparación resultados corte directo. Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se evidencia que las muestras que contienen fibra vegetal presentan una mayor resistencia al esfuerzo cortante, siendo la más representativa la de 1cm con 0,3% de adición volumétrica, representando aproximadamente las $\frac{2}{5}$ partes de la resistencia máxima registrada en el ensayo.

Los resultados arrojan que la variación entre las últimas muestras con sus respectivas adiciones es muy cercana, lo cual se debe a que la fibra genera un aumento de vacíos en la muestra haciendo que esta falle a un esfuerzo mucho menor debido a que la cohesión disminuye y de igual manera se reduce el ángulo de fricción.

Cabe resaltar que la muestra con adición de fibra que arroja mejores resultados se reduce a ser la 0,27 parte de la cohesión del suelo sin adición, mientras que el ángulo de fricción se reduce solo

en $4,33^\circ$ pero aun manteniéndose en el rango de las arcillas. Por otra parte, se puede ver la máxima cohesión en la muestra de 1,5cm con 0,5% de fibra, con una cohesión del 82,5% la cual representa la 0.30 parte de la cohesión sin adición.

8. Conclusiones

- Tomando en cuenta los resultados de los ensayos de proctor modificado, resistencia al corte directo, resistencia a la compresión inconfiada y CBR que se realizaron en este trabajo de grado, se evidencia que ninguna adición de bagazo de caña propuesta para dichos ensayos logro mejorar las propiedades mecánicas del suelo.
- Se infiere que cada una de las muestras con sus respectivas adiciones presenta mejores comportamientos mecánicos en las diferentes pruebas, es decir que cada adición reaccionó favorablemente a un ensayo.
- El bagazo de caña de azúcar se ve afectado de manera desfavorable por el porcentaje de agua que se le adiciona al suelo, ocasionando que se reduzca su resistencia ya que el mismo es un material orgánico susceptible a la humedad.
- Tras analizar las propiedades y características mecánicas de los suelos se determinó que las arcillas son las más indicadas para este tipo de proyectos.
- El bagazo de caña de azúcar es un material que no presenta ninguna mejoría en las características geomecánicas de un suelo arcilloso.

9. Recomendaciones

- Para futuros ensayos se recomienda tratar químicamente el bagazo de caña con el fin de mejorar su resistencia a la humedad.
- Probar una relación volumétrica en lugar de la relación de peso usada para los ensayos de este proyecto de grado.
- Realizar otros ensayos de comportamiento mecánico utilizando nuevos tamaños de la fibra de caña y diferentes porcentajes de adición de la misma.
- Utilizar para futuros ensayos diferentes tipos de suelos, extraídos de regiones variadas con el fin de evaluar más profundamente las propiedades de la fibra al ser adicionada a cada tipo de suelo.

Referencias bibliográficas

- [1] J. A. Flórez Badillo, Estado del arte acerca de diversas tecnicas usadas para el mejoramiento de suelos en el mundo, Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga, escuela de ingenierias, facultad de ing civil, 2016.
- [2] J. M. Gil Ortiz, A., J. Gil Ceballo y W. Santos Suárez, «Estudio de la compresibilidad del bagazo a escala de laboratorio.,» *tecnología química*, vol. 18, nº 12, pp. 69-74, 1998.
- [3] J. James, «Strength benefit of sawdust/wood ash amendment in cement stabilization of an expansive soil,» *revista facultad de ingenieria UPTC*, vol. 28, nº 50, pp. 44-61, 2010.
- [4] J. Agredo, R. Torres de Gutierrez, C. Mejia Giraldo, L. Escadon Salcedo y Gonzáles, «Characterization of sugar cane bagasse ash as supplementary material for Portland cement.,» *Revista de ingenieria e investigacion*, vol. 34, nº 1, pp. 5 - 10, 2014.
- [5] E. M. Manals-Cutiño, M. Penedo-Medina y D. Salas-Tort, «Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal.,» *Tecnología Química*, vol. 35, nº 2, pp. 179-192, 2015.
- [6] R. R. Parra, Posible utilizacion de la fibra de fique para el mejoramiento de suelos, Piedecuesta: Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, 2000.
- [7] NECS, «grupoNECS,» [En línea]. Available: <http://www.gruponecs.com.mx/que-es-el-mejoramiento-de-suelos.shtml>. [Último acceso: 2 junio 2019].
- [8] H. Castellanos, «civilgeeks,» 13 agosto 2011. [En línea]. Available: <https://civilgeeks.com/2011/08/13/mejoramiento-suelos/> . [Último acceso: 2 junio 2019].
- [9] A. C. d. p. d. c. Asocreto, «360 en concreto,» 9 octubre 2015. [En línea]. Available: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/estabilizacion-de-suelos-con-cemento>. [Último acceso: 2 junio 2019].

- [10] CivilGeek, «civilgeeks,» 30 noviembre 2011. [En línea]. Available: <https://civilgeeks.com/2011/11/30/estabilizacion-de-suelos-con-asfalto/>. [Último acceso: 2 junio 2019].
- [11] P. Garnica Anguas, A. Pérez Salazar, J. A. Gómez López y E. Y. Obil Veiza, estabilizacion de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vias terrestres, Sanfandila: Secretaria de comunicaciones y transporte, instituto mexicano de transporte., 2002.
- [12] r. solar, «Cuba Solar,» 2019. [En línea]. Available: www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar05/HTML/articulo01.htm. [Último acceso: 2 junio 2019].
- [13] INVIAS, Normas de ensayo de materiales para carreteras, INVIAS, 2013.
- [14] E. d. c. y. p. d. l. r. ARQHYS.COM, «Cimientos sobre arcillas expansivas,» *ARQHYS*, p. 02, 2012.
- [15] H. y. Kovacs, «Geotecnia-sor,» 25 noviembre 2010. [En línea]. Available: geotecnia-sor.blogspot.com/2010/11/consistencia-del-suelo-limites-de_2498.html. [Último acceso: 22 febrero 2020].
- [16] F. a. a. o. o. t. u. nations, «Fao,» 2012. [En línea]. Available: http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s10.htm. [Último acceso: 21 febrero 2020].

Apéndices

Con el fin de complementar, profundizar y aclarar cualquier posible duda sobre el resultado de los ensayos o el análisis de los datos obtenidos, se presentan a continuación los anexos correspondientes a cada uno de los mismos.

Apéndice A. Ensayo de granulometría

Tabla 16 *Análisis granulométrico*

Tamiz	Abertura [mm]	Peso retenido [gr]	% Ret. Parcial	% Pasa
1"	25	0	0,00%	100,00%
3/4"	19,05	12,4	0,71%	99,29%
1/2"	12,7	4,2	0,24%	99,76%
3/8"	9,52	3,6	0,21%	99,79%
1/4"	6,35	11,5	0,66%	99,34%
No. 4	4,75	4,60	0,26%	99,74%
No. 10	2,00	19,20	1,10%	98,63%
No. 20	0,84	53,30	3,06%	95,58%
No. 40	0,42	151,30	8,68%	86,89%
No. 60	0,18	102,40	5,88%	81,02%
No. 100	0,15	108,50	6,23%	74,79%
No. 200	0,07	95,80	5,50%	69,29%
Fondo	0,00	1175,70	67,47%	1,82%
		1742,50	100,00%	

Fuente: Elaboración propia

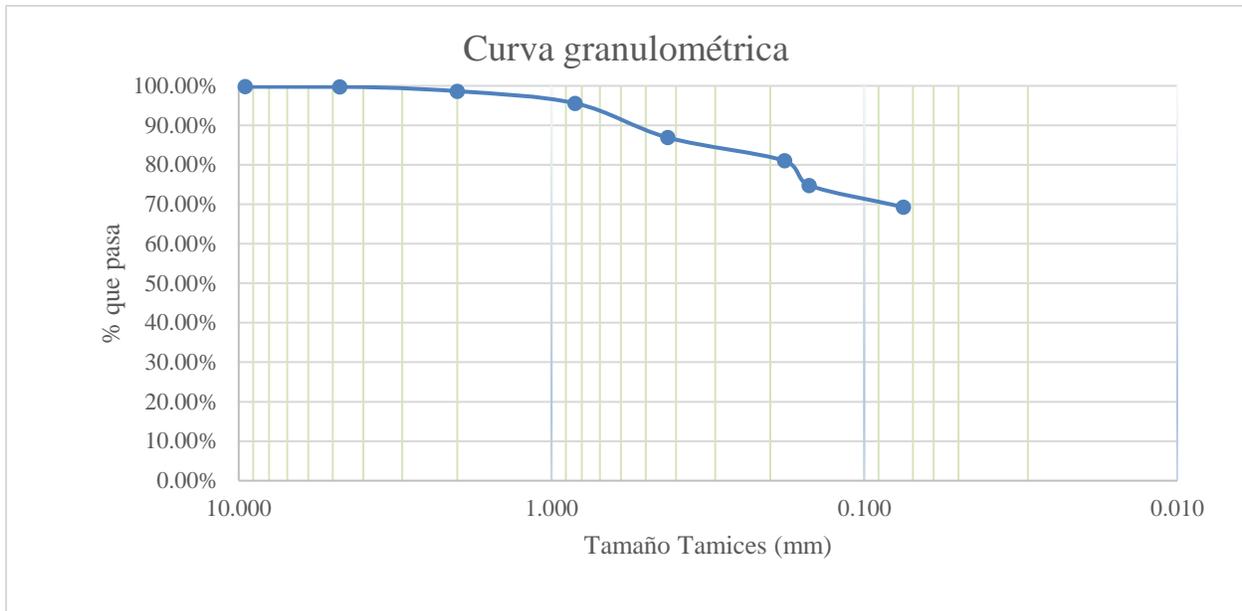


Figura 5. Curva granulométrica

Fuente: Elaboración propia

Apéndice B. Ensayo Límites de Atterberg

Tabla 17. Análisis ensayo límites líquido

	Limite líquido		
No. Cápsula	61	40	2
Golpes	34	23	29
Peso cápsula	21,69	10,71	18,43
Peso suelo húmedo + cápsula	46,83	37,99	58,74
Peso suelo seco + cápsula	39,56	29,88	46,83
Peso suelo húmedo	25,14	27,28	40,31
Peso suelo seco	17,87	19,17	28,4
Peso agua	7,27	8,11	11,91
Contenido de humedad	40,68%	42,30%	41,93%

Fuente: Elaboración propia

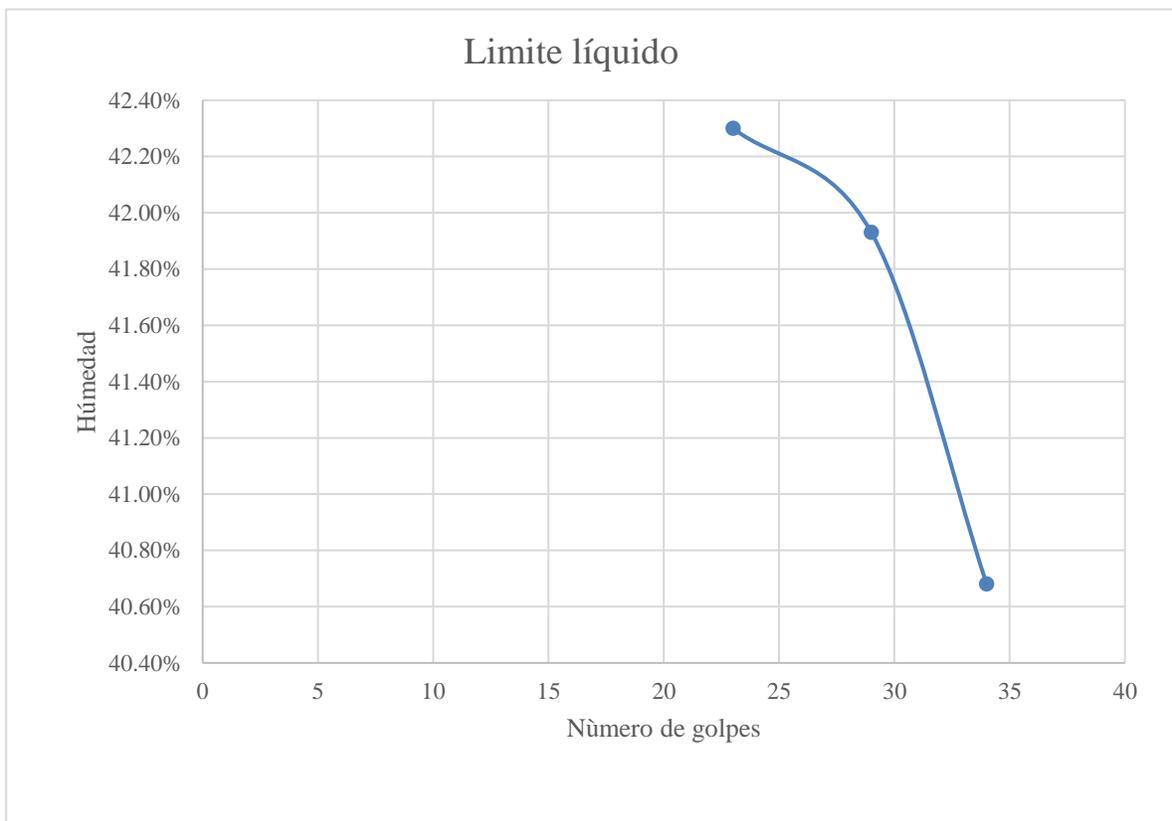


Figura 6. Gráfica límite líquido

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Resultados límite plástico

	Límite plástico		
No. Cápsula	37	47	15
Peso cápsula	18,5	10,96	18,19
Peso suelo húmedo + cápsula	28,2	20,12	26,01
Peso suelo seco + cápsula	26,91	18,83	24,92
Peso suelo húmedo	9,7	9,16	7,82
Peso suelo seco	8,41	7,87	6,73
Peso agua	1,29	1,29	1,09
Contenido de humedad %	15,33%	16,39%	16,19%

Fuente: Elaboración propia

Apéndice C. Ensayo de proctor modificado

- Suelo sin adición

Tabla 19. Datos Proctor para suelo sin adición

Cápsula #	Peso cápsula [g]	Peso cápsula + suelo húmedo [g]	Peso cápsula + suelo seco [g]	W [%]
58	40,9	168,7	162,5	5,1
3	40,4	134,2	127,5	7,6
4	27,1	158,2	145,1	11,1
5	27	143,5	129,2	14,0
33	18,7	129,1	113,1	16,8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Tabla densidad húmeda y densidad seca proctor modificado material sin adición

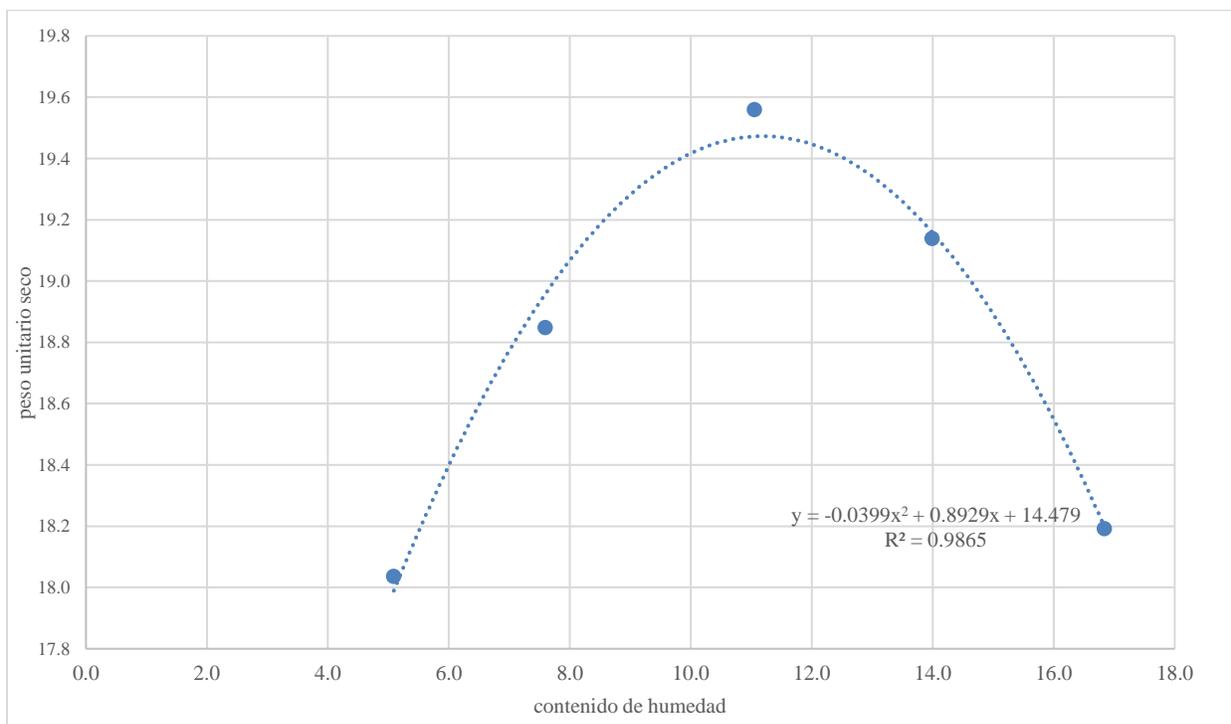
Humedad [%]	Peso molde + suelo	Densidad húmeda [g/cm ³]	Densidad seca [g/cm ³]
5,7	5390	1,93	0,03
8,7	5515	2,06	0,03
11,7	5651	2,21	0,03
14,7	5660	2,22	0,04
17,7	5607	2,16	0,04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Tabla densidad seca Proctor modificado para material sin adición

Humedad [%]	Densidad húmeda [g/cm ³]	Densidad seca [g/cm ³]
5,1	1,93	1,83
7,6	2,06	1,92
11,1	2,21	1,99
14,0	2,22	1,95
16,8	2,16	1,85

Fuente: Elaboración propia

**Figura 7. Gráfica contenido de humedad Vs. Densidad seca para material sin adición**

Fuente: Elaboración propia

- Suelo con adición de 1 cm al 0,3%

Tabla 22. Datos suelo con adición de 1 cm al 0,3%

Datos		
Golpe/Capa	25/5	
No. Capas	5	
Peso del martillo	44,48	N
Dimensiones del molde		
Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]
10,1	11,7	938

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Determinación del contenido de humedad para suelo con adición de 1 cm al 0,3%

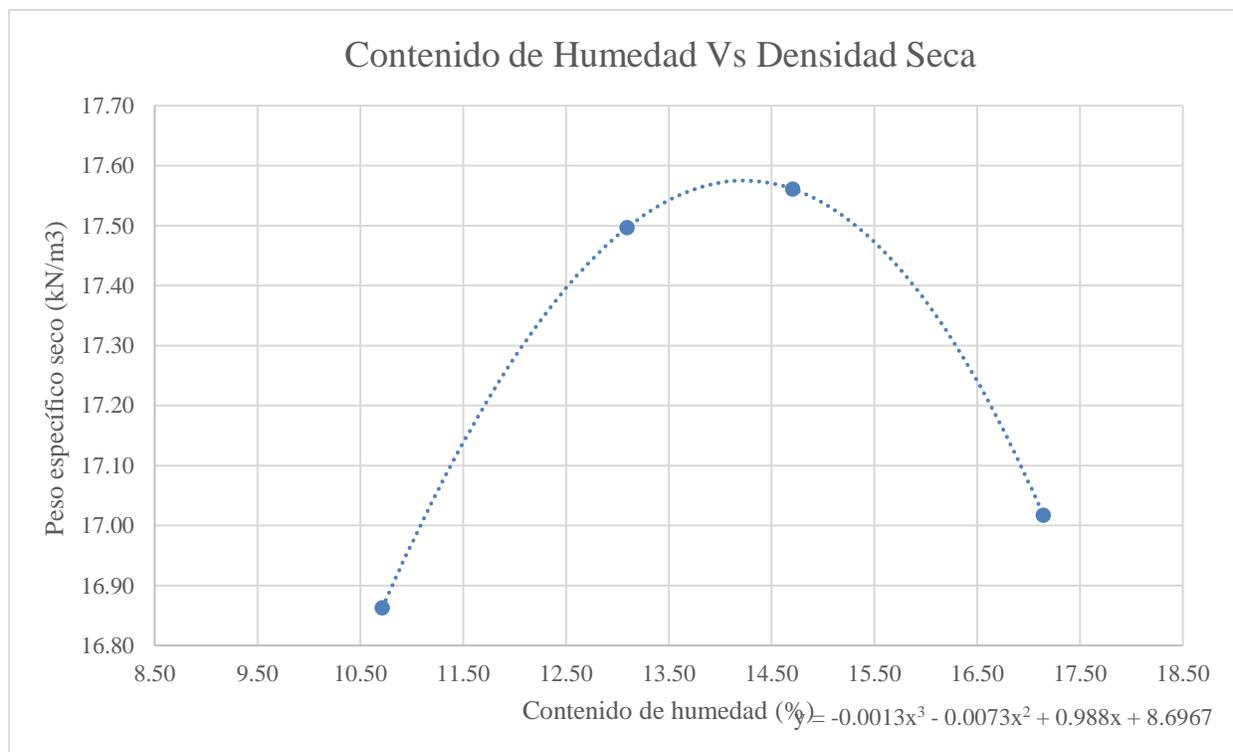
Determinación del contenido de humedad				
Muestra No.	1	2	3	4
No. De lata	1	13	67	6
Peso de lata + suelo húmedo [gr]	134,0	122,0	98,0	62,0
Peso de lata + suelo seco [gr]	125,0	111,0	88,0	56,0
Peso del agua [gr]	9	11	10	6
Peso de la lata [gr]	41,0	27,0	20,0	21,0
Peso del suelo seco [gr]	84	84	68	35
Contenido de humedad W _n [%]	10,71	13,10	14,71	17,14

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Determinación de la densidad para suelo con adición de 1 cm al 0,3%

Determinación de la densidad				
Contenido de humedad deseado [%]	8	11	14	17
Contenido de humedad Wn [%]	10,71	13,10	14,71	17,14
Peso del suelo + molde [gr]	5515	5622	5656	5636
Peso del molde [gr]	3729			
Peso del suelo seco en molde [gr]	1786	1893	1927	1907
Peso específico húmedo [KN/m ³]	18,67	19,79	20,1	19,9
Peso específico seco [KN/m ³]	16,86	17,50	17,56	17,02

Fuente: Elaboración propia

**Figura 8. Gráfica contenida de humedad vs densidad seca para suelo con adición de 1 cm al 0,3%**

Fuente: Elaboración propia

- Suelo con adición de 1 cm al 0,5%

Tabla 25. Determinación del contenido de humedad para suelo con adición de 1 cm al 0,5%

Determinación del contenido de humedad				
Muestra No.	1	2	3	4
No. De lata	100	61	107	399
Peso de lata + suelo húmedo [gr]	88,9	127,0	89,0	118,0
Peso de lata + suelo seco [gr]	82,0	116,3	80,0	106,0
Peso del agua [gr]	6,9	10,7	9	12
Peso de la lata [gr]	27,0	41,0	27,0	41,0
Peso del suelo seco [gr]	55	75,3	53	65
Contenido de humedad Wn [%]	12,55	14,21	16,98	18,46

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Determinación de la densidad para suelo con adición de 1 cm al 0,5%

Determinación de la densidad				
Contenido de humedad deseado [%]	8	11	14	17
Contenido de humedad Wn [%]	12,55	14,21	16,98	18,46
Peso del suelo + molde [gr]	5370	5501	5538	5474
Peso del molde [gr]	3673			
Peso del suelo seco en molde [gr]	1697	1828	1865	1801
Peso específico húmedo [KN/m ³]	17,88	19,26	19,6	19,0
Peso específico seco [KN/m ³]	15,88	16,86	16,80	16,02

Fuente: Elaboración propia

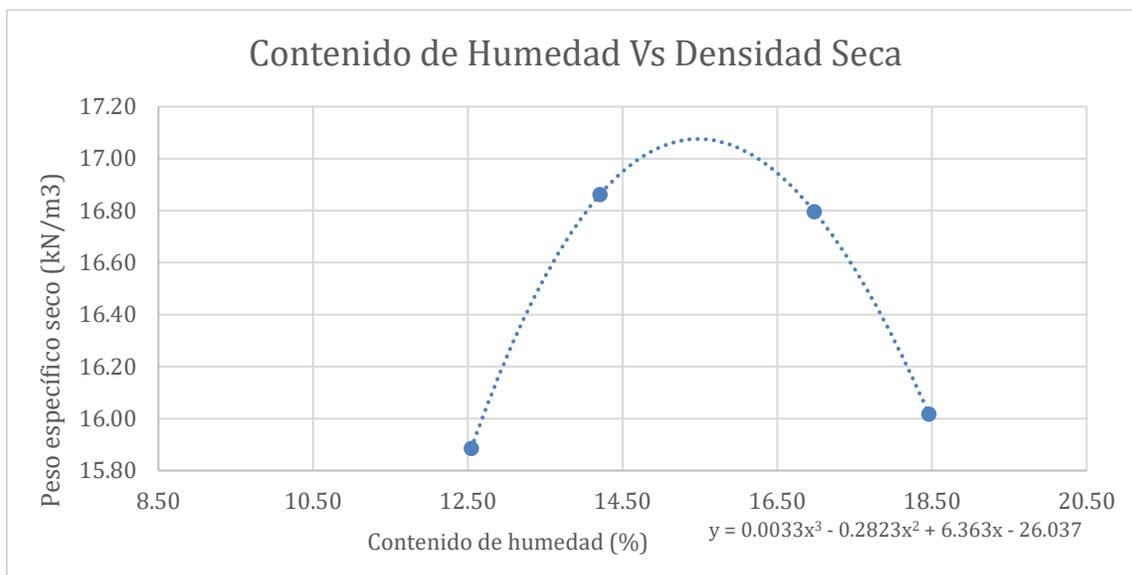


Figura 9. Contenido de humedad vs densidad seca para adición de 1 cm al 0,5

Fuente: Elaboración propia

- Suelo con adición de 1,5 cm al 0,3%

Tabla 27. Determinación del contenido de humedad para suelo con adición de 1,5 cm al 0,3%

Determinación del contenido de humedad

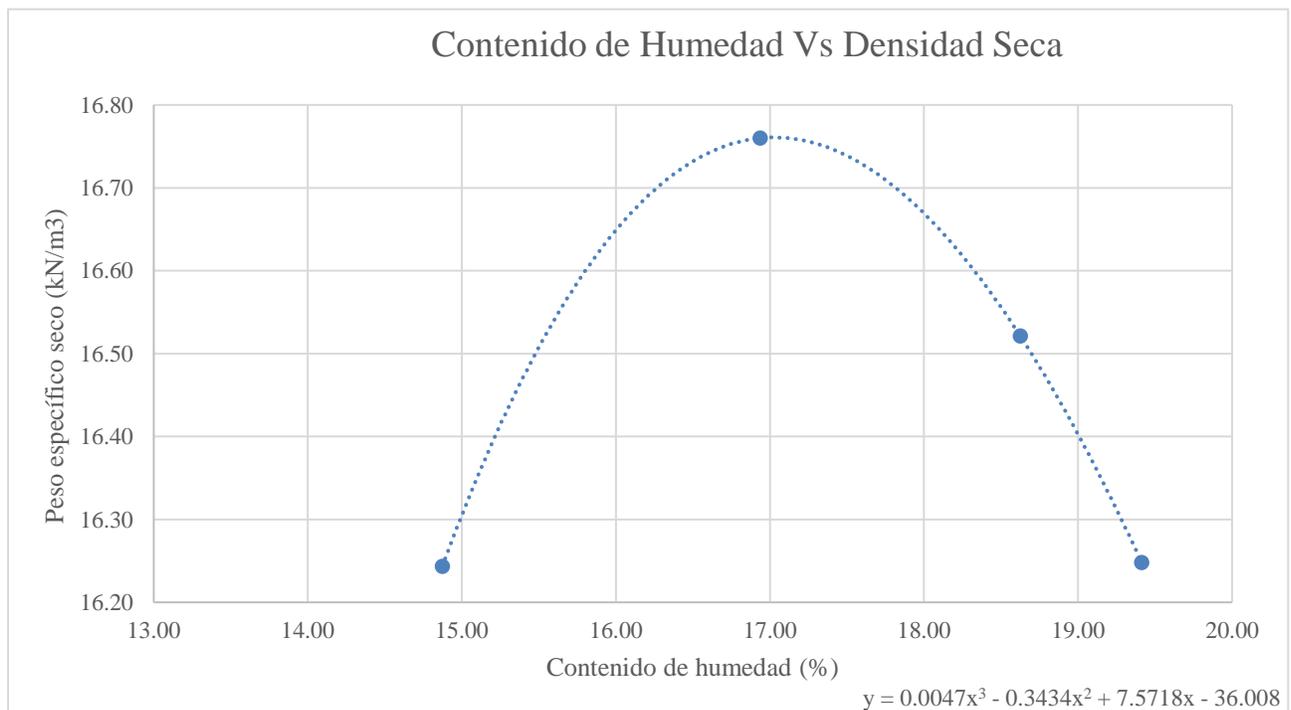
Muestra No.	1	2	3	4
No. De lata	399	38	110	1
Peso de lata + suelo húmedo [gr]	136,0	115,9	106,4	125,6
Peso de lata + suelo seco [gr]	123,7	101,0	94,0	111,8
Peso del agua [gr]	12,3	14,9	12,38	13,83
Peso de la lata [gr]	41,0	21,0	20,9	40,6
Peso del suelo seco [gr]	82,7	80	73,1	71,24
Contenido de humedad W_n [%]	14,87	18,63	16,94	19,41

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Determinación de la densidad para suelo con adición de 1,5 cm al 0,3%

Determinación de la densidad				
Contenido de humedad deseado [%]	8	11	14	17
Contenido de humedad W_n [%]	14,87	18,63	16,94	19,41
Peso del suelo + molde [gr]	6036	6127	6127	6108
Peso del molde [gr]	4228			
Peso del suelo seco en molde [gr]	1808	1899	1899	1880
Peso específico húmedo [KN/m ³]	18,66	19,60	19,6	19,4
Peso específico seco [KN/m ³]	16,24	16,52	16,76	16,25

Fuente: Elaboración propia

**Figura 10. Contenido de Humedad Vs Densidad seca para suelo con adición de 1,5 cm al 0,3%**

Fuente: Elaboración propia

- Suelo con adición de 1,5 cm al 0,5%

Tabla 29 Determinación del contenido de humedad para suelo con adición de 1,5 cm al 0,5%

Determinación del contenido de humedad				
Muestra No.	1	2	3	4
No. De lata	50	3	2	6
Peso de lata + suelo húmedo [gr]	91,1	96,0	128,0	105,5
Peso de lata + suelo seco [gr]	85,8	89,0	116,0	90,0
Peso del agua [gr]	5,3	7	12	15,5
Peso de la lata [gr]	40,9	40,0	40,7	21,2
Peso del suelo seco [gr]	44,9	49	75,3	68,8
Contenido de humedad W_n [%]	11,80	14,29	15,94	22,53

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Determinación de la densidad para suelo con adición de 1,5 cm al 0,5%

Determinación de la densidad				
Contenido de humedad deseado [%]	8	11	14	17
Contenido de humedad W_n [%]	11,80	14,29	15,94	22,53
Peso del suelo + molde [gr]	5447	5566	5631	5605
Peso del molde [gr]	3729			
Peso del suelo seco en molde [gr]	1718	1837	1902	1876
Peso específico húmedo [KN/m ³]	17,83	19,06	19,7	19,5
Peso específico seco [KN/m ³]	15,94	16,68	17,02	15,89

Fuente: Elaboración propia

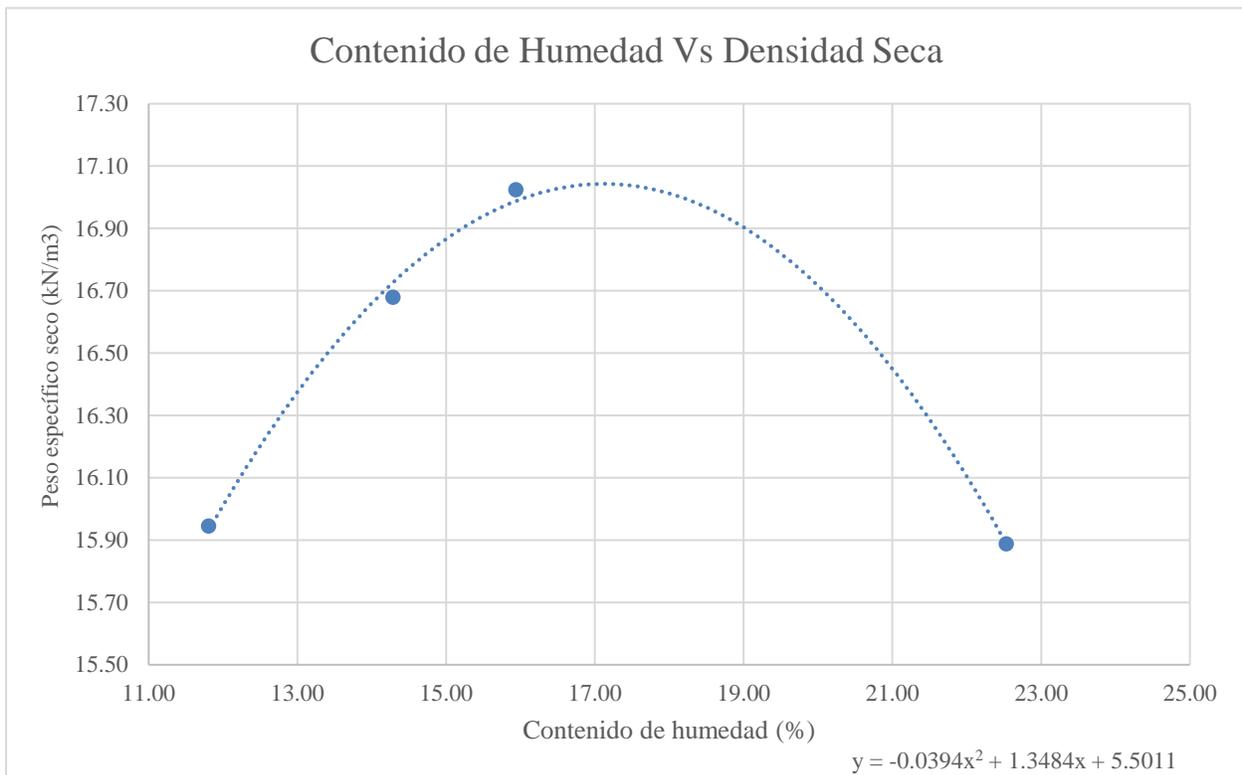


Figura 11. Gráfica de contenido de humedad Vs Densidad seca para suelo con adición de 1,5 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

Apéndice D. Análisis ensayo de compresión simple

- Material sin adición

Muestra 1 material sin adición

Tabla 31. Datos muestra 1 material sin adición

Datos			
Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Ángulo de rotura
3,51	7,12	69	45

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32. Resultados muestra 1 para material sin adición

Tiempo [seg]	Carga [lbf]	Carga [KN]	Def [In]	Deformación [mm]	Deformación unitaria [%]	Área corregida [cm ²]	Esfuerzo sobre la muestra [KPa]
15	55,00	0,24	0,01	0,25	0,35	9,68	252,55
30	79,00	0,35	0,01	0,48	0,67	9,68	362,76
45	97,00	0,43	0,02	0,73	1,03	9,68	445,41
60	113,00	0,50	0,03	0,99	1,39	9,68	518,88
75	123,00	0,55	0,04	1,19	1,67	9,68	564,80
90	134,00	0,60	0,05	1,47	2,06	9,68	615,31
105	142,00	0,63	0,06	1,72	2,42	9,68	652,04
120	147,00	0,65	0,07	1,95	2,74	9,68	675,00
135	150,00	0,67	0,08	2,20	3,10	9,68	688,78
150	151,00	0,67	0,09	2,46	3,46	9,68	693,37
165	143,00	0,64	0,10	2,69	3,78	9,68	656,63
180	117,00	0,52	0,11	2,94	4,13	9,68	537,25

Fuente: Elaboración propia

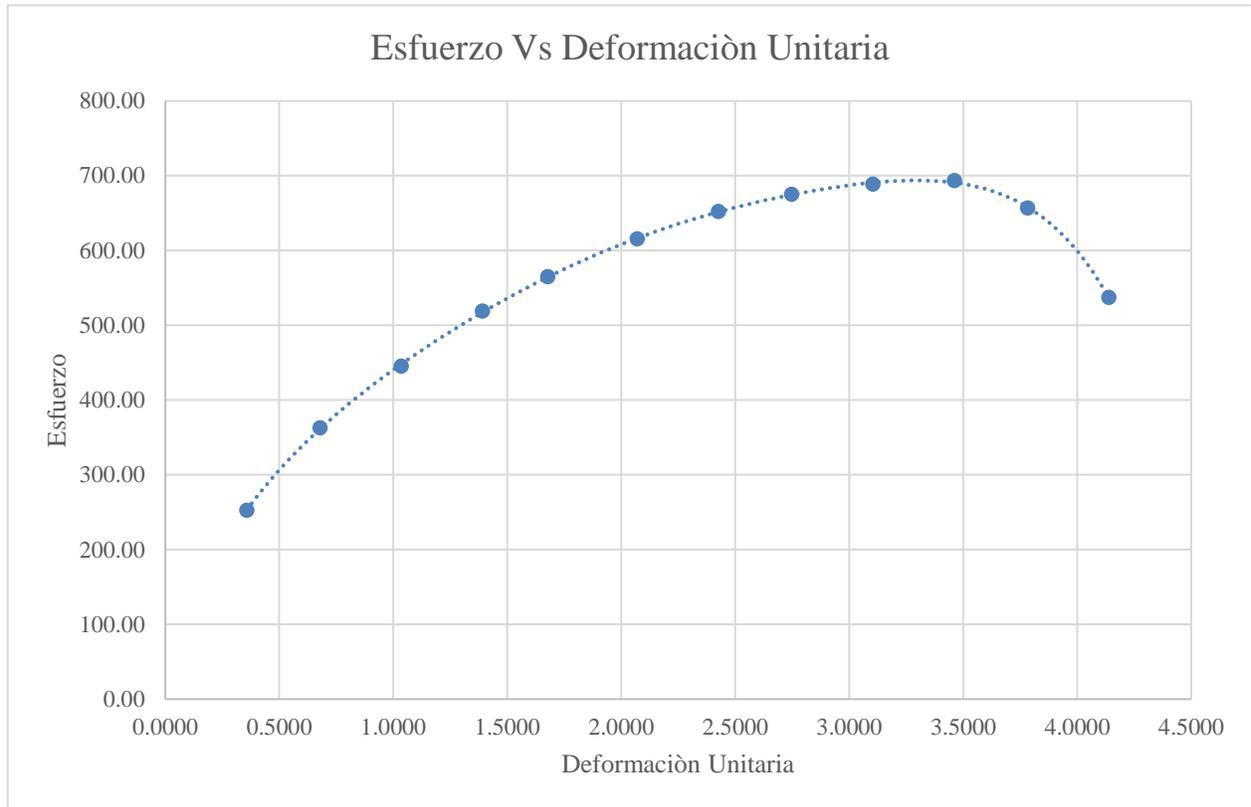


Figura 12. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria para material sin adición

Fuente: Elaboración propia

Muestra 2 material sin adición

Tabla 33. Datos muestra 2 material sin adición

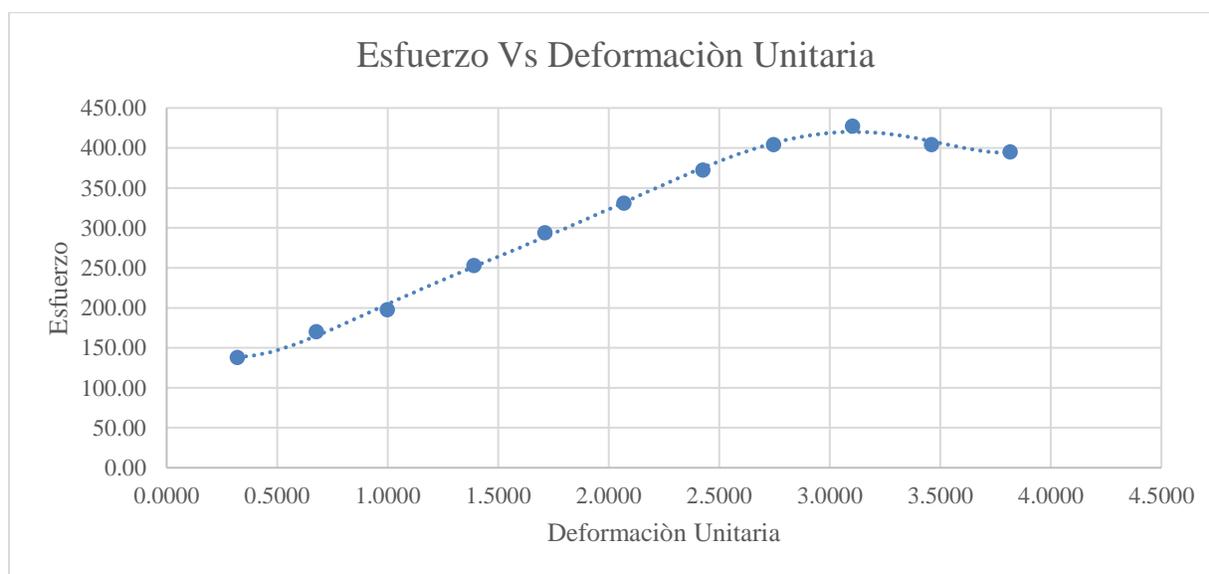
Datos			
Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Angulo de rotura
3,51	7,12	69,0	45

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34. Resultados muestra 2 para material sin adición

Tiempo [seg]	Carga [lbf]	Carga [KN]	Def [In]	Deformación [mm]	Deformación unitaria [%]	Área corregida [cm ²]	Esfuerzo sobre la muestra [KPa]
15	30,00	0,13	0,00	0,22	0,32	9,68	137,76
30	37,00	0,16	0,01	0,48	0,67	9,68	169,90
45	43,00	0,19	0,02	0,71	0,99	9,68	197,45
60	55,00	0,24	0,03	0,99	1,39	9,68	252,55
75	64,00	0,28	0,04	1,21	1,71	9,68	293,88
90	72,00	0,32	0,05	1,47	2,06	9,68	330,61
105	81,00	0,36	0,06	1,72	2,42	9,68	371,94
120	88,00	0,39	0,07	1,95	2,74	9,68	404,08
135	93,00	0,41	0,08	2,20	3,10	9,68	427,04
150	88,00	0,39	0,09	2,46	3,46	9,68	404,08
165	86,00	0,38	0,10	2,71	3,81	9,68	394,90

Fuente: Elaboración propia

**Figura 13. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria muestra 2 material sin adición**

Fuente: Elaboración propia

Muestra 3 material sin adición

Tabla 35. Datos compresión simple muestra 3 material sin adición

Datos			
Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Ángulo de rotura
3,51	7,12	69,0	45

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36. Resultados muestra 3 para material sin adición

Tiempo [seg]	Carga [lbf]	Carga [KN]	Def [In]	Deformación [mm]	Deformación unitaria [%]	Área corregida [cm ²]	Esfuerzo sobre la muestra [KPa]
15	23,00	0,10	0,00	0,22	0,32	9,68	105,61
30	57,00	0,25	0,02	0,50	0,71	9,68	261,74
45	97,00	0,43	0,02	0,73	1,03	9,68	445,41
60	130,00	0,58	0,03	0,96	1,35	9,68	596,94
75	150,00	0,67	0,04	1,21	1,71	9,68	688,78
90	185,00	0,82	0,05	1,47	2,06	9,68	849,49
105	206,00	0,92	0,06	1,72	2,42	9,68	945,92
120	220,00	0,98	0,07	1,95	2,74	9,68	1010,21
135	233,00	1,04	0,08	2,20	3,10	9,68	1069,90
150	236,00	1,05	0,09	2,43	3,42	9,68	1083,68
165	232,00	1,03	0,10	2,69	3,78	9,68	1065,31
180	178,00	0,79	0,11	2,94	4,13	9,68	817,35

Fuente: Elaboración propia

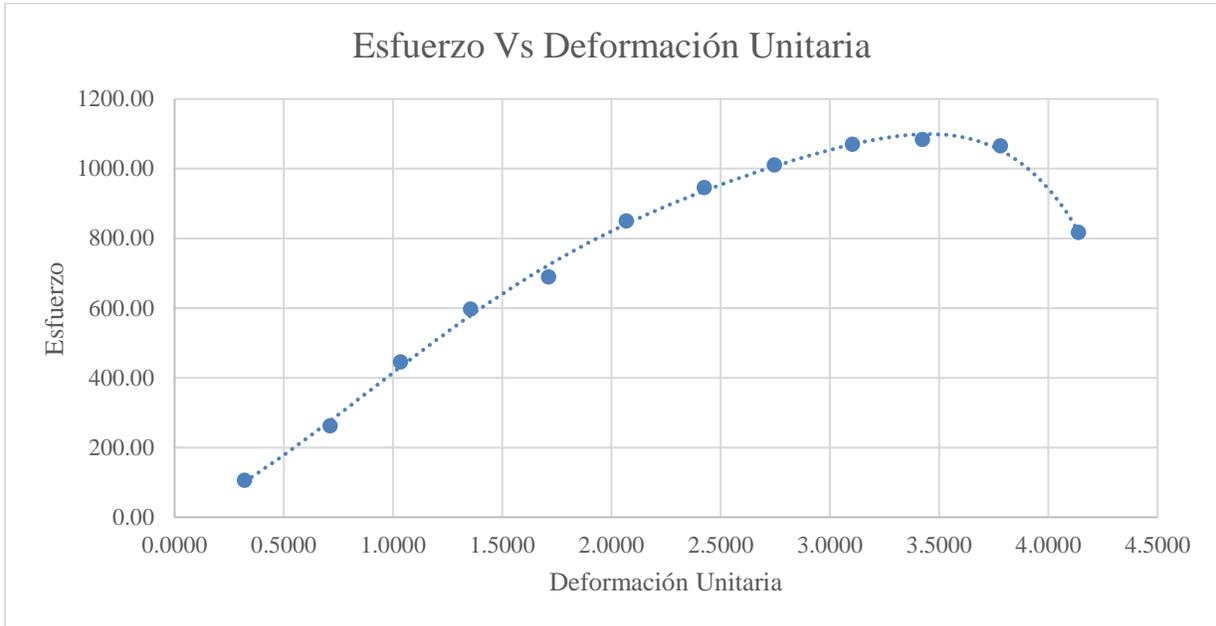


Figura 14. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria muestra 3 material sin adición

Fuente: Elaboración propia

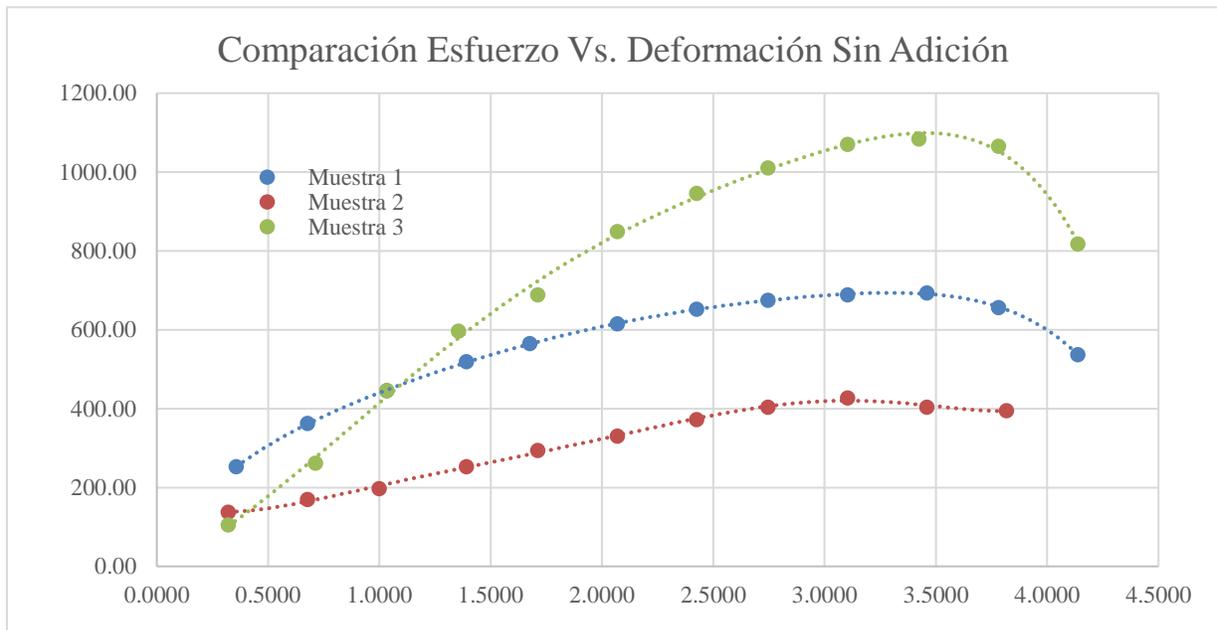


Figura 15. Gráfica comparación Esfuerzo vs. Deformación material sin adición

Fuente: Elaboración propia

- **Material con adición de 1 cm al 0,3%**

Tabla 37. Datos compresión simple para muestra 1 material con adición de 1 cm al 0,3 %

Datos			
Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Ángulo de rotura
3,53	7,07	69,4	43

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38. Resultados muestra 1 para material con adición de 1 cm al 0,3%

Tiempo [seg]	Carga [lbf]	Carga [KN]	Def [In]	Deformación [mm]	Deformación unitaria [%]	Área corregida [cm ²]	Esfuerzo sobre la muestra [KPa]
15	7,00	0,03	0,01	0,25	0,35	9,82	31,71
30	10,00	0,04	0,02	0,50	0,71	9,82	45,30
45	19,00	0,08	0,03	0,76	1,07	9,82	86,06
60	25,00	0,11	0,04	1,01	1,43	9,82	113,24
75	27,00	0,12	0,05	1,27	1,79	9,82	122,30
90	34,00	0,15	0,06	1,52	2,15	9,82	154,01
105	39,00	0,17	0,07	1,77	2,51	9,82	176,66
120	42,00	0,19	0,07	2,00	2,83	9,82	190,25
135	45,00	0,20	0,08	2,23	3,16	9,82	203,84
150	51,00	0,23	0,09	2,48	3,52	9,82	231,02
165	52,00	0,23	0,10	2,74	3,88	9,82	235,55
180	54,00	0,24	0,11	2,97	4,20	9,82	244,61
195	55,00	0,24	0,12	3,22	4,56	9,82	249,13
210	55,00	0,24	0,13	3,50	4,95	9,82	249,13
225	55,00	0,24	0,14	3,75	5,31	9,82	249,13
240	54,00	0,24	0,15	3,96	5,60	9,82	244,61
255	50,00	0,22	0,16	4,24	5,99	9,82	226,49

Fuente: Elaboración propia

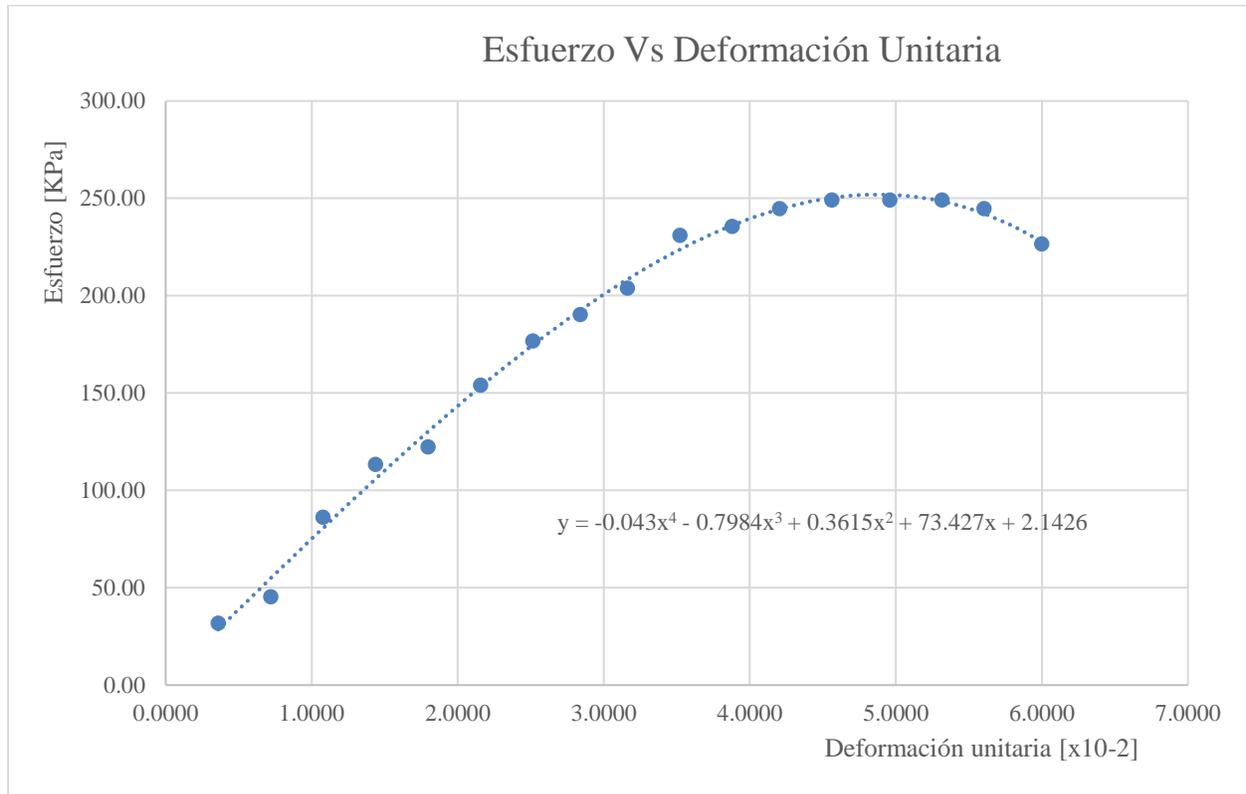


Figura 16. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria muestra 1 para material con adición de 1 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

Muestra 2 Material con adición de 1 cm al 0,3%

Tabla 39. Datos compresión simple muestra 2 para material con adición de 1 cm al 0,3%

Datos			
Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Ángulo de rotura
3,51	7,10	68,9	55

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40. Resultados muestra 2 para material con adición de 1 cm al 0,3%

Tiempo [seg]	Carga [lbf]	Carga [KN]	Def [In]	Deformación [mm]	Deformación unitaria [%]	Área corregida [cm ²]	Esfuerzo sobre la muestra [KPa]
45	17,00	0,08	0,01	0,12	0,17	9,69	77,97
60	23,00	0,10	0,01	0,38	0,53	9,69	105,49
75	27,00	0,12	0,02	0,63	0,89	9,69	123,84
90	30,00	0,13	0,03	0,86	1,21	9,69	137,60
105	34,00	0,15	0,04	1,14	1,60	9,69	155,95
120	38,00	0,17	0,05	1,39	1,96	9,69	174,29
135	39,00	0,17	0,06	1,65	2,32	9,69	178,88
150	42,00	0,19	0,07	1,87	2,64	9,69	192,64
165	43,00	0,19	0,08	2,13	3,00	9,69	197,22
180	44,00	0,20	0,09	2,38	3,36	9,69	201,81
195	45,00	0,20	0,10	2,66	3,75	9,69	206,40
210	45,00	0,20	0,11	2,87	4,04	9,69	206,40
225	45,00	0,20	0,12	3,14	4,43	9,69	206,40
240	45,00	0,20	0,13	3,40	4,79	9,69	206,40
255	45,00	0,20	0,14	3,65	5,15	9,69	206,40
270	43,00	0,19	0,15	3,91	5,50	9,69	197,22
285	43,00	0,19	0,16	3,92	5,51	9,69	197,22

Fuente: Elaboración propia

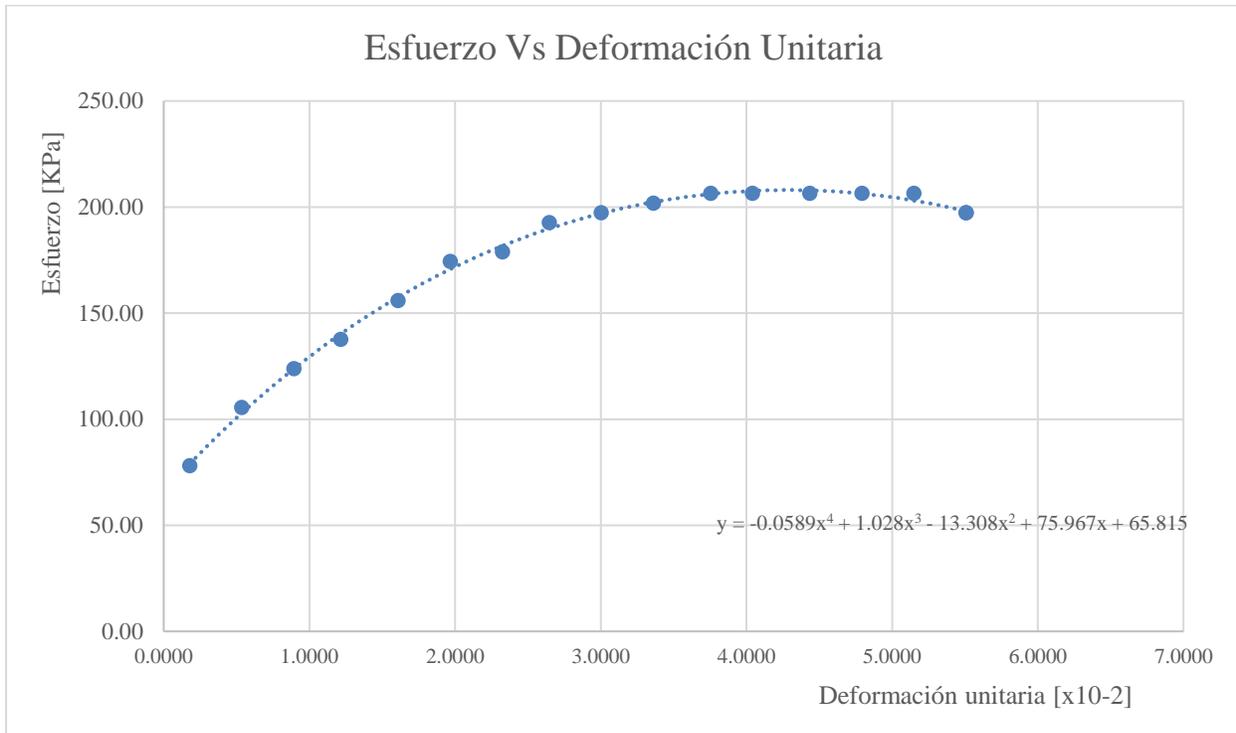


Figura 17. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria muestra 2 para material con adición de 1 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

Muestra 3 material con adición de 1 cm al 0,3%

Tabla 41. Datos muestra 3 de material con adición de 1 cm al 0,3%

Datos			
Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Ángulo de rotura
3,53	7,07	69,4	66

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41. Resultados muestra 3 de material con adición de 1 cm al 0,3%

Tiempo [seg]	Carga [lbf]	Carga [KN]	Def [In]	Deformación [mm]	Deformación unitaria [%]	Área corregida [cm ²]	Esfuerzo sobre la muestra [KPa]
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00
15	11,00	0,05	0,03	0,81	1,14	9,820	49,83
30	20,00	0,09	0,04	1,04	1,47	9,820	90,59
45	27,00	0,12	0,05	1,29	1,83	9,820	122,30
60	33,00	0,15	0,06	1,54	2,19	9,820	149,48
75	37,00	0,16	0,07	1,80	2,55	9,820	167,60
90	38,00	0,17	0,08	2,05	2,91	9,820	172,13
105	40,00	0,18	0,09	2,28	3,23	9,820	181,19
120	47,00	0,21	0,10	2,56	3,62	9,820	212,90
135	49,00	0,22	0,11	2,79	3,95	9,820	221,96
150	51,00	0,23	0,11	3,02	4,27	9,820	231,02
165	50,00	0,22	0,13	3,30	4,67	9,820	226,49
180	50,00	0,22	0,14	3,55	5,02	9,820	226,49
195	49,00	0,22	0,15	3,81	5,38	9,820	221,96

Fuente: Elaboración propia

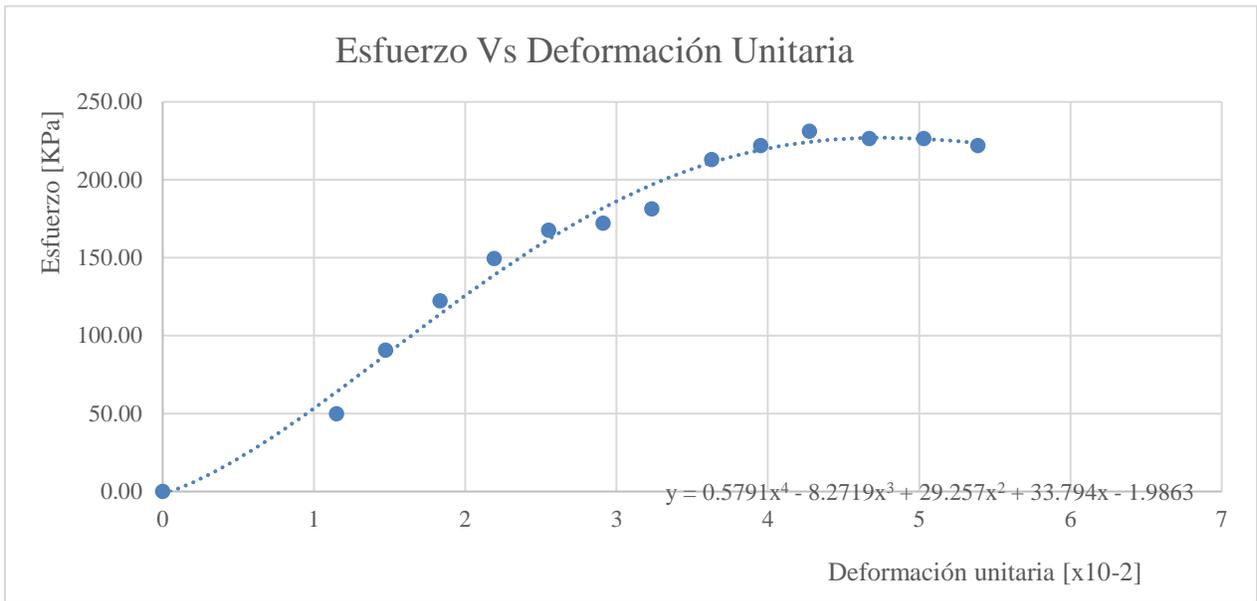


Figura 18. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria muestra 3 de material con adición de 1 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

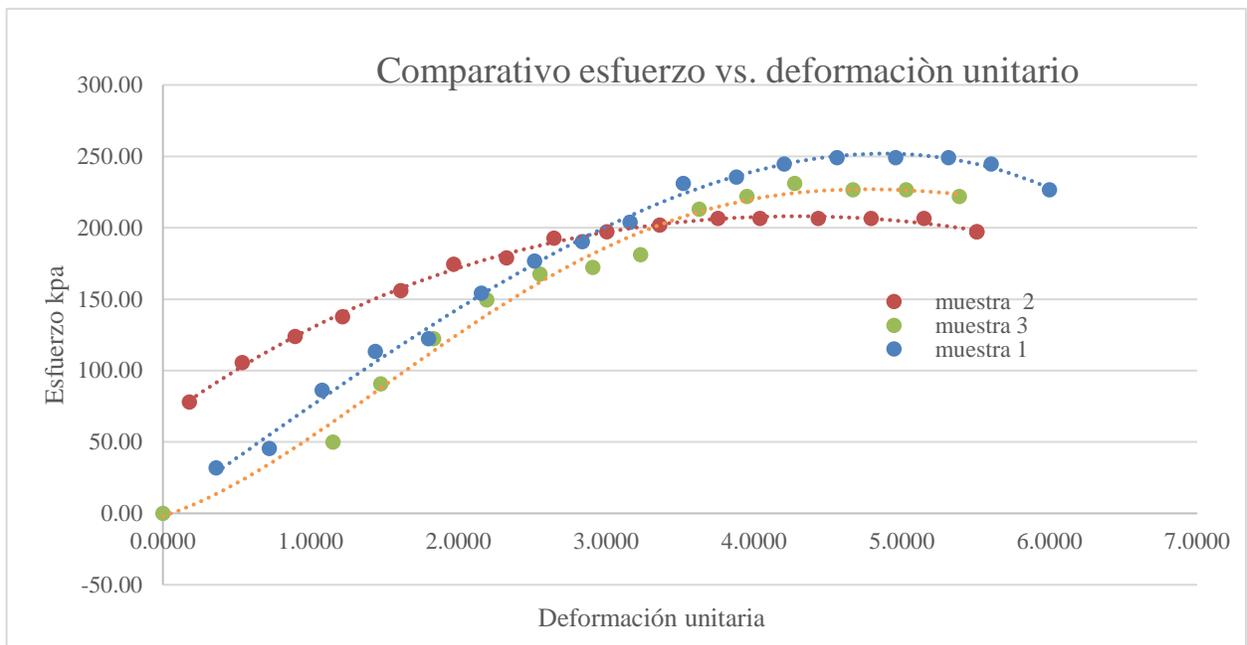


Figura 19. Comparativo esfuerzo vs. deformación unitario para muestra 3 de material con adición de 1 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

- **Material con adición de 1 cm al 0,5%**

Tabla 43. Datos muestra 1 de material con adición de 1 cm al 0,5%

Datos			
Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Ángulo de rotura
3,52	7,20	70,4	45

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44. Resultados muestra 1 de material con adición de 1 cm al 0,5%

Tiempo (seg)	Carga [lbf]	Carga [KN]	Def [In]	Deformación [mm]	Deformación unitaria [%]	Área corregida[cm ²]	Esfuerzo sobre la muestra [KPa]
75	20,00	0,09	0,00	0,05	0,07	9,76	91,11
90	23,00	0,10	0,01	0,30	0,42	9,76	104,78
105	22,00	0,10	0,02	0,55	0,77	9,76	100,22
120	24,00	0,11	0,03	0,78	1,09	9,76	109,33
135	27,00	0,12	0,04	1,04	1,44	9,76	123,00
150	29,00	0,13	0,05	1,29	1,79	9,76	132,11
165	29,00	0,13	0,06	1,54	2,14	9,76	132,11
180	36,00	0,16	0,07	1,77	2,46	9,76	164,00
195	38,00	0,17	0,08	2,03	2,81	9,76	173,11
210	38,00	0,17	0,09	2,28	3,17	9,76	173,11
225	39,00	0,17	0,09	2,51	3,48	9,76	177,66
240	40,00	0,18	0,10	2,76	3,84	9,76	182,22
255	41,00	0,18	0,11	3,02	4,19	9,76	186,77
270	42,00	0,19	0,12	3,27	4,54	9,76	191,33
285	43,00	0,19	0,13	3,53	4,89	9,76	195,88
300	43,00	0,19	0,14	3,78	5,25	9,76	195,88
315	44,00	0,20	0,15	4,03	5,60	9,76	200,44
330	44,00	0,20	0,16	4,29	5,95	9,76	200,44

Tiempo (seg)	Carga [lbf]	Carga [KN]	Def [In]	Deformación [mm]	Deformación unitaria [%]	Área corregida[cm ²]	Esfuerzo sobre la muestra [KPa]
345	45,00	0,20	0,17	4,54	6,30	9,76	205,00
360	46,00	0,20	0,18	4,80	6,66	9,76	209,55
375	46,00	0,20	0,19	5,05	7,01	9,76	209,55
390	46,00	0,20	0,20	5,30	7,36	9,76	209,55
405	47,00	0,21	0,21	5,53	7,68	9,76	214,11
420	47,00	0,21	0,22	5,79	8,03	9,76	214,11
435	43,00	0,19	0,23	6,01	8,35	9,76	195,88

Fuente: Elaboración propia

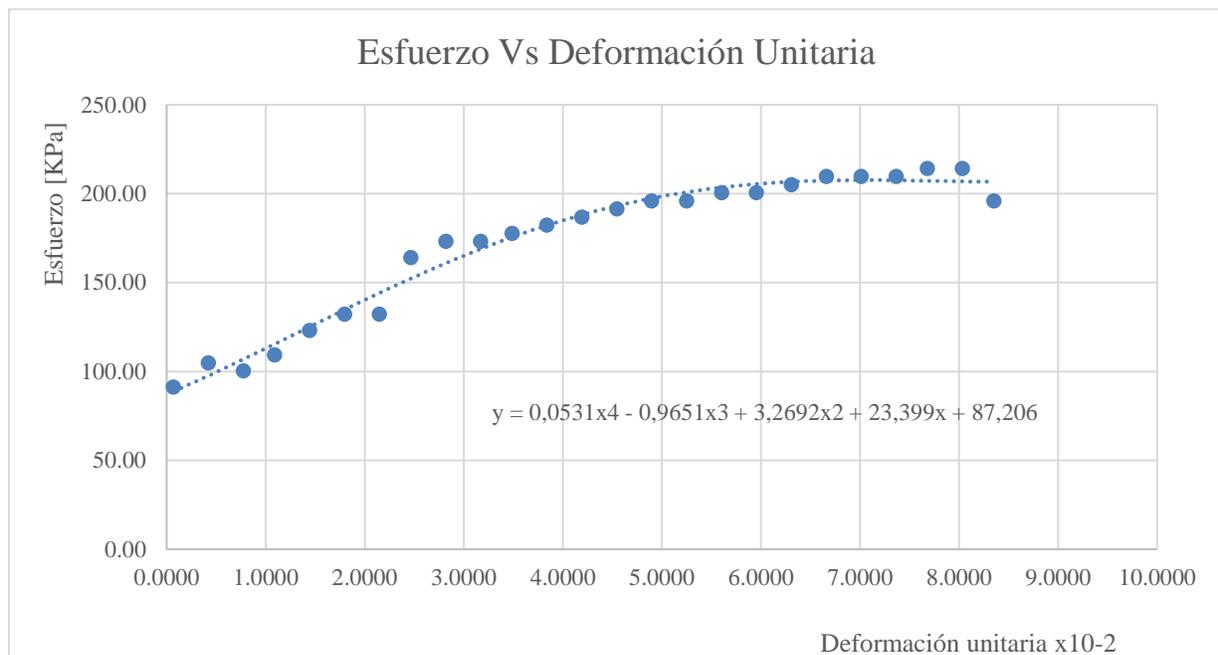


Figura 20. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria muestra 1 de material con adición de 1 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

Muestra 2 material con adición de 1 cm al 0,5%

Tabla 45. Datos muestra 2 de material con adición de 1 cm al 0,5%

Dimensiones del molde			
Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Angulo de rotura
3,51	7,10	69,0	43

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46. Resultados muestra 2 de material con adición de 1 cm al 0,5%

Tiempo[seg]	Carga [lbf]	Carga [KN]	Def [In]	Deformación [mm]	Deformación unitaria [%]	Área corregida [cm ²]	Esfuerzo sobre la muestra [KPa]
45	13,00	0,06	0,00	0,12	0,17	9,70	59,56
60	17,00	0,08	0,01	0,38	0,53	9,70	77,88
75	19,00	0,08	0,02	0,60	0,85	9,70	87,05
90	20,00	0,09	0,03	0,86	1,21	9,70	91,63
105	23,00	0,10	0,04	1,11	1,57	9,70	105,37
120	25,00	0,11	0,05	1,34	1,89	9,70	114,54
135	26,00	0,12	0,06	1,62	2,28	9,70	119,12
150	28,00	0,12	0,07	1,85	2,61	9,70	128,28
165	29,00	0,13	0,08	2,10	2,96	9,70	132,86
180	30,00	0,13	0,09	2,33	3,28	9,70	137,44
195	31,00	0,14	0,10	2,59	3,64	9,70	142,02
210	32,00	0,14	0,11	2,84	4,00	9,70	146,60
225	33,00	0,15	0,12	3,09	4,36	9,70	151,19
240	34,00	0,15	0,13	3,32	4,68	9,70	155,77
255	34,00	0,15	0,14	3,58	5,04	9,70	155,77

Tiempo[seg]	Carga [lbf]	Carga [KN]	Def [In]	Deformación [mm]	Deformación unitaria [%]	Área corregida [cm ²]	Esfuerzo sobre la muestra [KPa]
270	35,00	0,16	0,15	3,86	5,43	9,70	160,35
285	35,00	0,16	0,16	4,11	5,79	9,70	160,35
300	35,00	0,16	0,17	4,34	6,11	9,70	160,35
315	36,00	0,16	0,18	4,59	6,47	9,70	164,93
330	35,00	0,16	0,19	4,85	6,83	9,70	160,35
345	35,00	0,16	0,20	5,08	7,15	9,70	160,35
360	34,00	0,15	0,21	5,35	7,54	9,70	155,77

Fuente: Elaboración propia

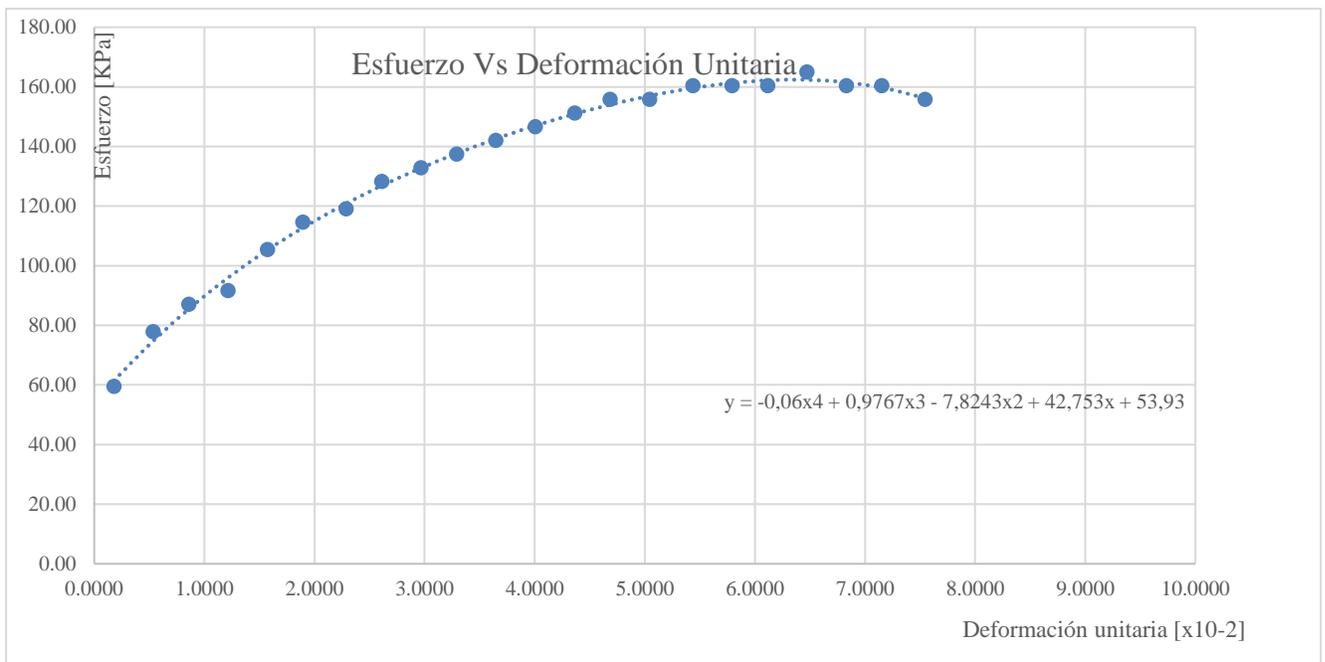


Figura 21. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria muestra 2 de material con adición de 1 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

Muestra 3 material con adición de 1 cm al 0,5%

Tabla 47. Datos muestra 3 de material con adición de 1 cm al 0,5%

Datos			
Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Ángulo de rotura
3,53	7,25	71	60

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Resultados muestra 3 de material con adición de 1 cm al 0,5%

Tiempo [seg]	Carga [lbf]	Carga [KN]	Def [In]	Deformación unitaria [%]	Área promedio [cm ²]	Esfuerzo sobre la muestra [KPa]
45	11,00	0,05	0,01	0,31	9,78	50,00
60	13,00	0,06	0,01	0,63	9,78	59,09
75	15,00	0,07	0,02	0,98	9,78	68,18
90	16,00	0,07	0,03	1,29	9,78	72,72
105	17,00	0,08	0,04	1,68	9,78	77,27
120	19,00	0,08	0,05	1,99	9,78	86,36
135	19,00	0,08	0,06	2,34	9,78	86,36
150	20,00	0,09	0,07	2,69	9,78	90,90
165	21,00	0,09	0,08	3,01	9,78	95,45
180	21,00	0,09	0,09	3,36	9,78	95,45
195	22,00	0,10	0,10	3,71	9,78	99,99
210	22,00	0,10	0,11	4,06	9,78	99,99
225	23,00	0,10	0,12	4,41	9,78	104,54
240	23,00	0,10	0,13	4,76	9,78	104,54
255	24,00	0,11	0,14	5,22	9,78	109,08
270	24,00	0,11	0,15	5,57	9,78	109,08
285	25,00	0,11	0,16	5,78	9,78	113,63

Tiempo [seg]	Carga [lbf]	Carga [KN]	Def [In]	Deformación unitaria [%]	Área promedio [cm ²]	Esfuerzo sobre la muestra [KPa]
300	25,00	0,11	0,17	6,16	9,78	113,63
315	25,00	0,11	0,18	6,51	9,78	113,63
330	25,00	0,11	0,19	6,83	9,78	113,63
345	25,00	0,11	0,20	7,18	9,78	113,63
360	25,00	0,11	0,21	7,53	9,78	113,63
375	25,00	0,11	0,22	7,88	9,78	113,63
390	25,00	0,11	0,23	8,28	9,78	113,63
405	23,00	0,10	0,24	8,65	9,78	104,54

Fuente: Elaboración propia

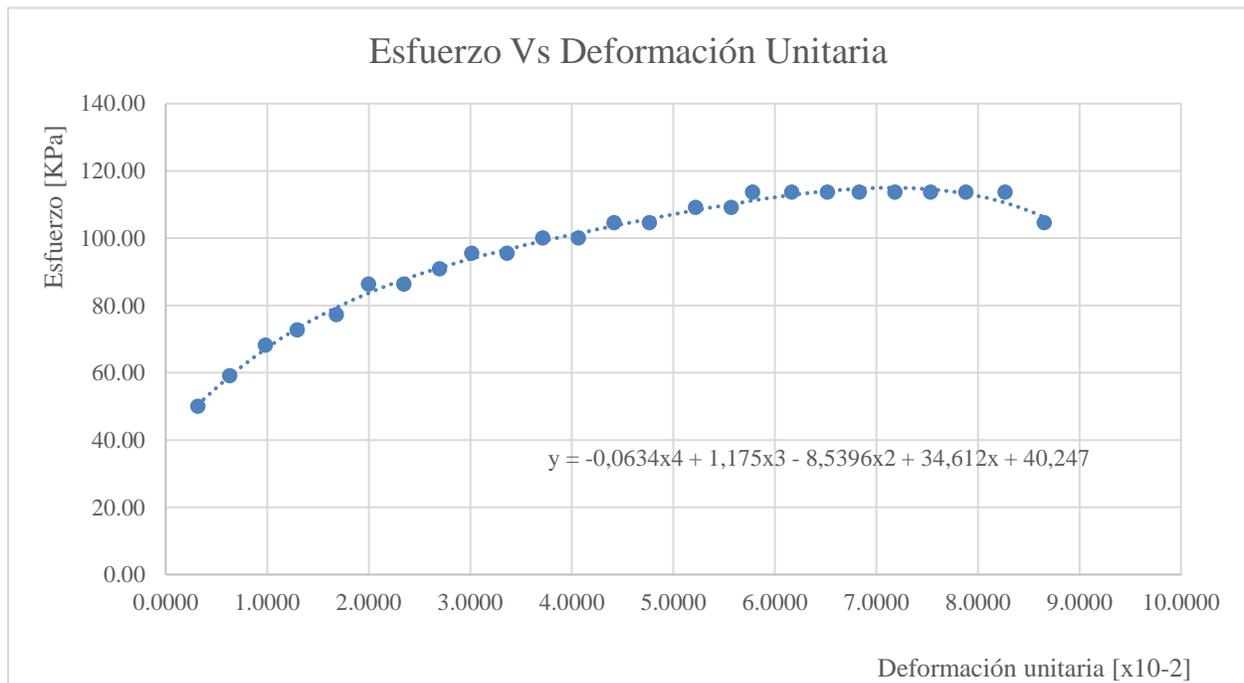


Figura 22. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria muestra 3 de material con adición de 1 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

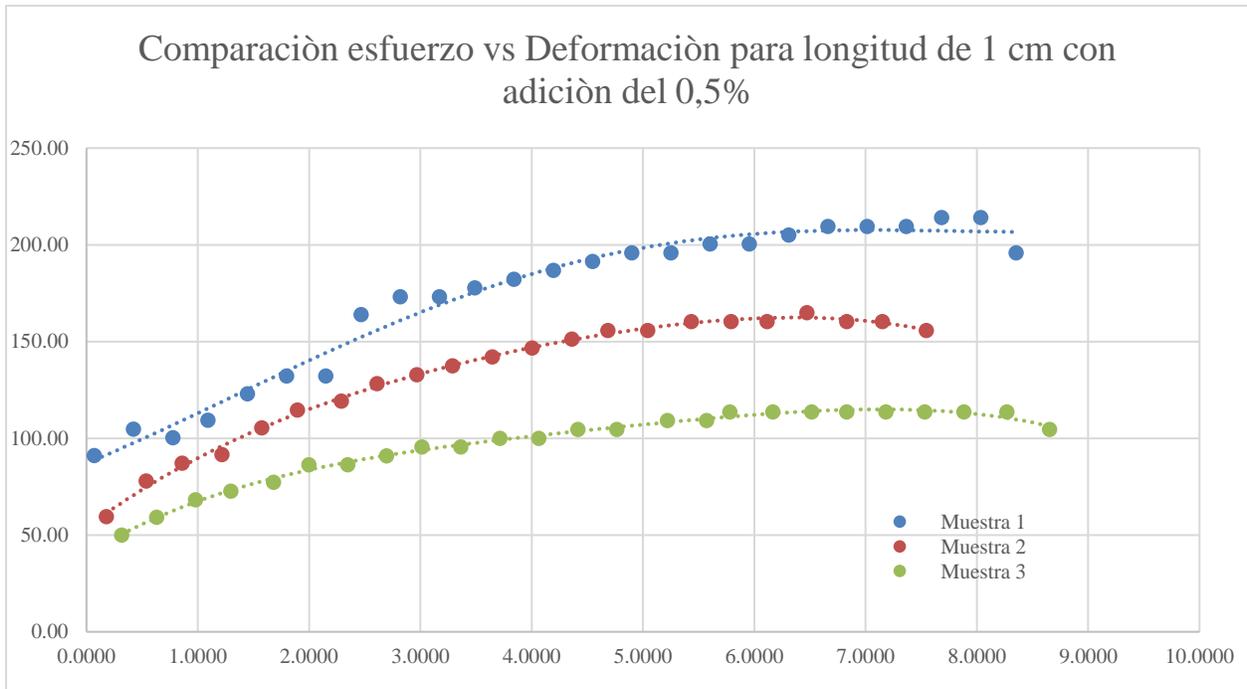


Figura 23. Comparativo esfuerzo vs. deformación unitario de material con adición de 1 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

- **Material con adición de 1,5 cm al 0,3%**

Tabla 49. Datos compresión simple muestra 1 para material con adición de 1,5 cm al 0,3%

Datos			
Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	ángulo de rotura
3,53	7,12	69,9	62

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50. Resultados muestra 1 de material con adición de 1,5 cm al 0,3%

Tiempo [seg]	Carga [lbf]	Carga [KN]	Def [In]	Deformación [mm]	Deformación unitaria [%]	Área corregida [cm ²]	Esfuerzo sobre la muestra [KPa]
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,82	0,00
15	7,00	0,03	0,01	0,22	0,32	9,82	31,71
30	18,00	0,08	0,01	0,40	0,57	9,82	81,54
45	37,00	0,16	0,03	0,83	1,17	9,82	167,60
60	43,00	0,19	0,04	1,11	1,56	9,82	194,78
75	49,00	0,22	0,05	1,37	1,92	9,82	221,96
90	55,00	0,24	0,06	1,62	2,28	9,82	249,13
105	58,00	0,26	0,07	1,87	2,63	9,82	262,72
120	62,00	0,28	0,08	2,13	2,99	9,82	280,84
135	65,00	0,29	0,09	2,38	3,35	9,82	294,43
150	67,00	0,30	0,10	2,61	3,67	9,82	303,49
165	69,00	0,31	0,11	2,87	4,03	9,82	312,55
180	70,00	0,31	0,12	3,14	4,42	9,82	317,08
195	71,00	0,32	0,13	3,37	4,74	9,82	321,61
210	72,00	0,32	0,14	3,63	5,10	9,82	326,14
225	73,00	0,32	0,15	3,86	5,42	9,82	330,67
240	73,00	0,32	0,16	4,11	5,77	9,82	330,67
255	73,00	0,32	0,17	4,36	6,13	9,82	330,67
270	73,00	0,32	0,18	4,62	6,49	9,82	330,67
285	77,00	0,34	0,19	4,87	6,84	9,82	348,79
300	76,00	0,34	0,20	5,10	7,17	9,82	344,26
315	75,00	0,33	0,21	5,35	7,52	9,82	339,73
330	75,00	0,33	0,22	5,58	7,84	9,82	339,73

Fuente: Elaboración propia

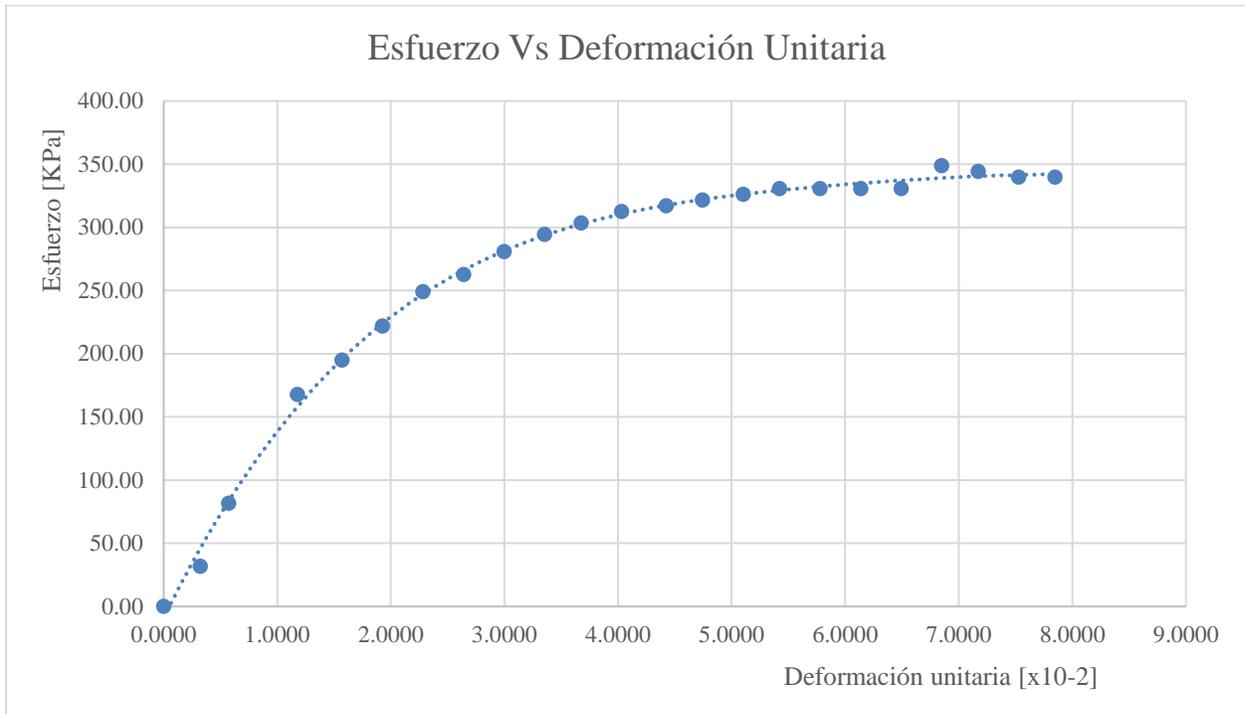


Figura 24. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria muestra 1 de material con adición de 1,5 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

Muestra 2

Tabla 51. Datos compresión simple muestra 2 para material con adición de 1,5 cm al 0,3%

Datos

Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	ángulo de rotura
3,5	7,10	68,3	71

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52. Resultados muestra 2 de material con adición de 1,5 cm al 0,3%

Tiempo [seg]	Carga [lbf]	Carga [KN]	Def [In]	Deformación [mm]	Deformación unitaria [%]	Área corregida [cm ²]	Esfuerzo sobre la muestra [KPa]
15	16,00	0,07	0,00	0,22	0,32	9,62	73,97
30	19,00	0,08	0,01	0,48	0,67	9,62	87,84
45	20,00	0,09	0,02	0,73	1,03	9,62	92,47
60	22,00	0,10	0,03	0,96	1,35	9,62	101,71
75	23,00	0,10	0,04	1,24	1,75	9,62	106,34
90	24,00	0,11	0,05	1,49	2,10	9,62	110,96
105	25,00	0,11	0,06	1,72	2,43	9,62	115,58
120	25,00	0,11	0,07	1,98	2,78	9,62	115,58
135	27,00	0,12	0,08	2,26	3,18	9,62	124,83
150	27,00	0,12	0,09	2,48	3,50	9,62	124,83
165	26,00	0,12	0,10	2,74	3,86	9,62	120,21
180	25,00	0,11	0,11	2,97	4,18	9,62	115,58
195	23,00	0,10	0,12	3,22	4,54	9,62	106,34
210	21,00	0,09	0,13	3,47	4,89	9,62	97,09

Fuente: Elaboración propia

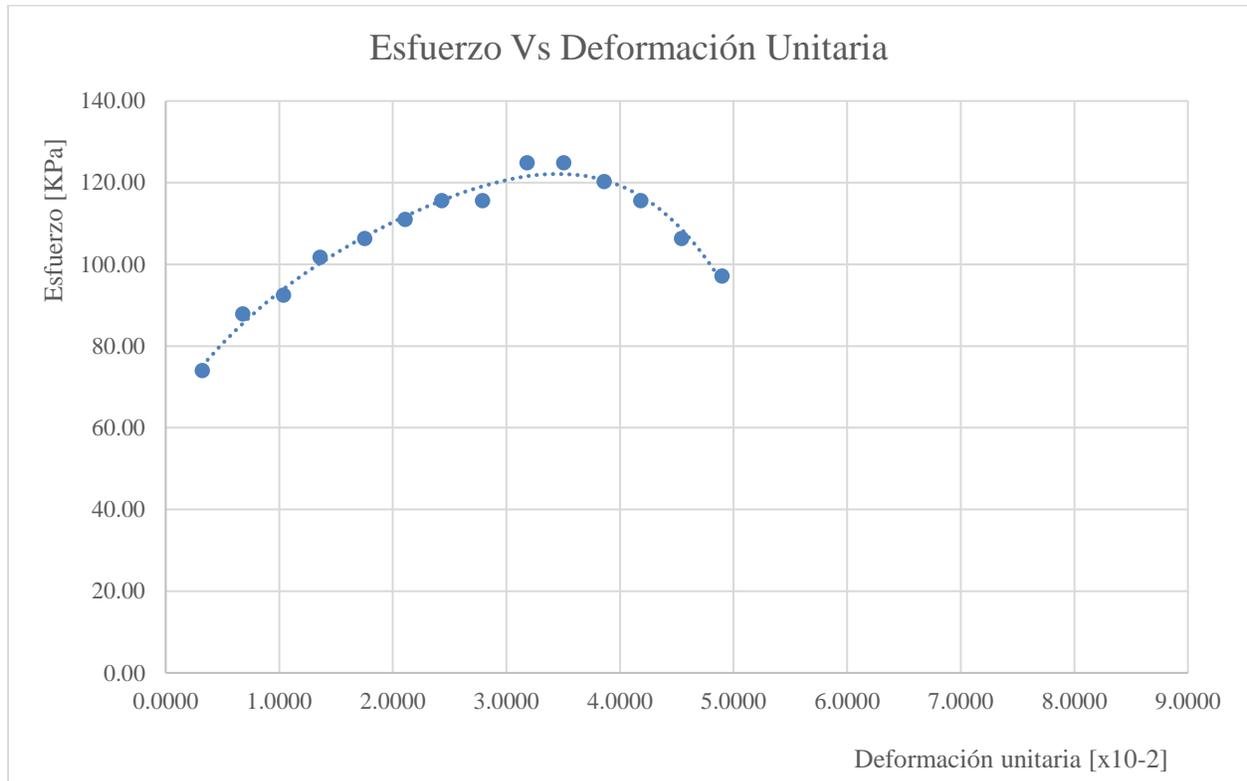


Figura 25. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria muestra 2 de material con adición de 1,5 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

Muestra 3

Tabla 52. Datos compresión simple muestra 3 para material con adición de 1,5 cm al 0,3%

Datos

Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	ángulo de rotura
3,53	7,12	70	45

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54. Resultados muestra 3 de material con adición de 1,5 cm al 0,3%

Tiempo [seg]	Carga [lbf]	Carga [KN]	Def [In]	Deformación [mm]	Deformación unitaria [%]	Área corregida [cm ²]	Esfuerzo sobre la muestra [KPa]
15	8,00	0,04	0,01	0,25	0,35	9,82	36,24
30	23,00	0,10	0,01	0,48	0,67	9,82	104,18
45	33,00	0,15	0,03	0,76	1,07	9,82	149,48
60	44,00	0,20	0,03	0,76	1,07	9,82	199,31
75	54,00	0,24	0,05	1,27	1,78	9,82	244,61
90	60,00	0,27	0,06	1,52	2,14	9,82	271,78
105	66,00	0,29	0,07	1,77	2,49	9,82	298,96
120	70,00	0,31	0,08	2,03	2,85	9,82	317,08
135	74,00	0,33	0,09	2,28	3,21	9,82	335,20
150	76,00	0,34	0,10	2,54	3,56	9,82	344,26
165	78,00	0,35	0,10	2,76	3,88	9,82	353,32
180	79,00	0,35	0,11	3,02	4,24	9,82	357,85
195	79,00	0,35	0,12	3,25	4,56	9,82	357,85
210	80,00	0,36	0,13	3,50	4,92	9,82	362,38
225	80,00	0,36	0,14	3,75	5,27	9,82	362,38
240	82,00	0,36	0,15	4,01	5,63	9,82	371,44
255	82,00	0,36	0,16	4,26	5,99	9,82	371,44
270	83,00	0,37	0,17	4,52	6,35	9,82	375,97
285	84,00	0,37	0,18	4,77	6,70	9,82	380,50
300	84,00	0,37	0,19	5,02	7,06	9,82	380,50
315	85,00	0,38	0,20	5,25	7,38	9,82	385,03
330	85,00	0,38	0,21	5,48	7,70	9,82	385,03
345	85,00	0,38	0,22	5,74	8,06	9,82	385,03
360	86,00	0,38	0,23	5,99	8,41	9,82	389,56

Tiempo [seg]	Carga [lbf]	Carga [KN]	Def [In]	Deformación [mm]	Deformación unitaria [%]	Área corregida [cm ²]	Esfuerzo sobre la muestra [KPa]
375	87,00	0,39	0,24	6,24	8,77	9,82	394,09
390	88,00	0,39	0,25	6,50	9,13	9,82	398,62
405	88,00	0,39	0,26	6,75	9,48	9,82	398,62
420	88,00	0,39	0,27	7,01	9,84	9,82	398,62
435	88,00	0,39	0,28	7,26	10,20	9,82	398,62
450	86,00	0,38	0,29	7,49	10,52	9,82	389,56

Fuente: Elaboración propia

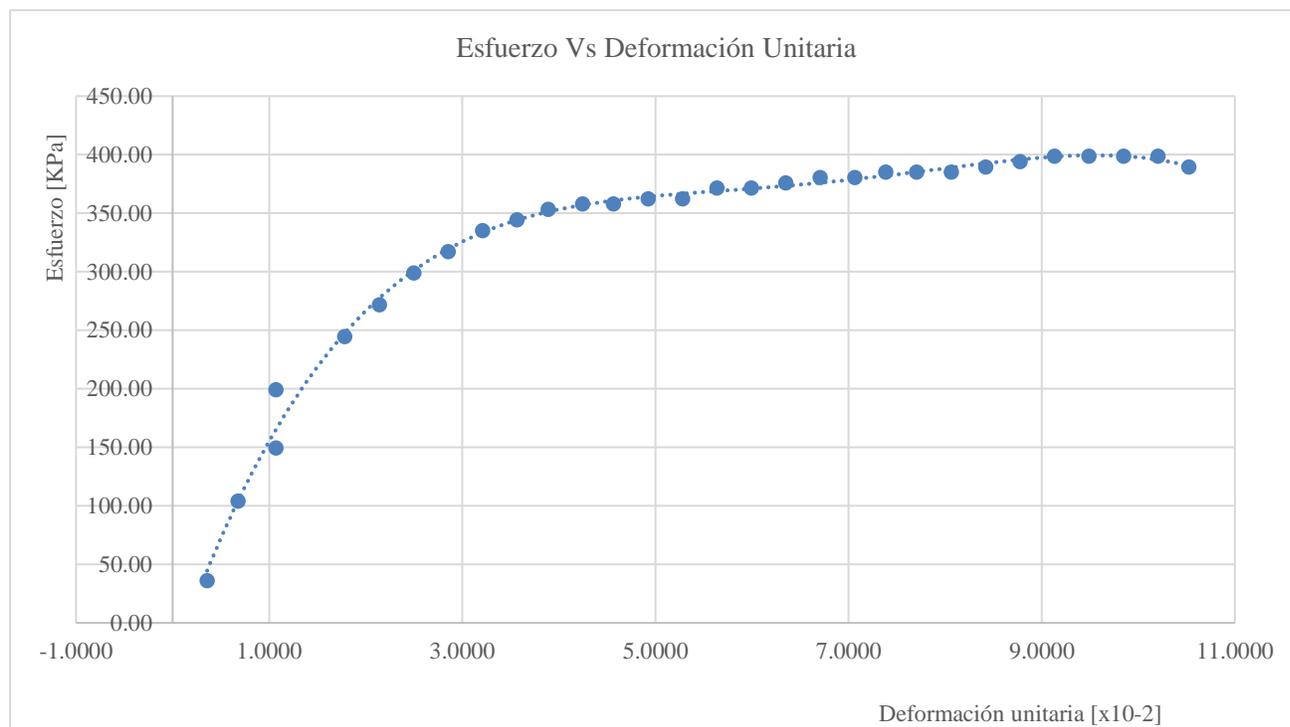


Figura 26. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria muestra 3 de material con adición de 1,5 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

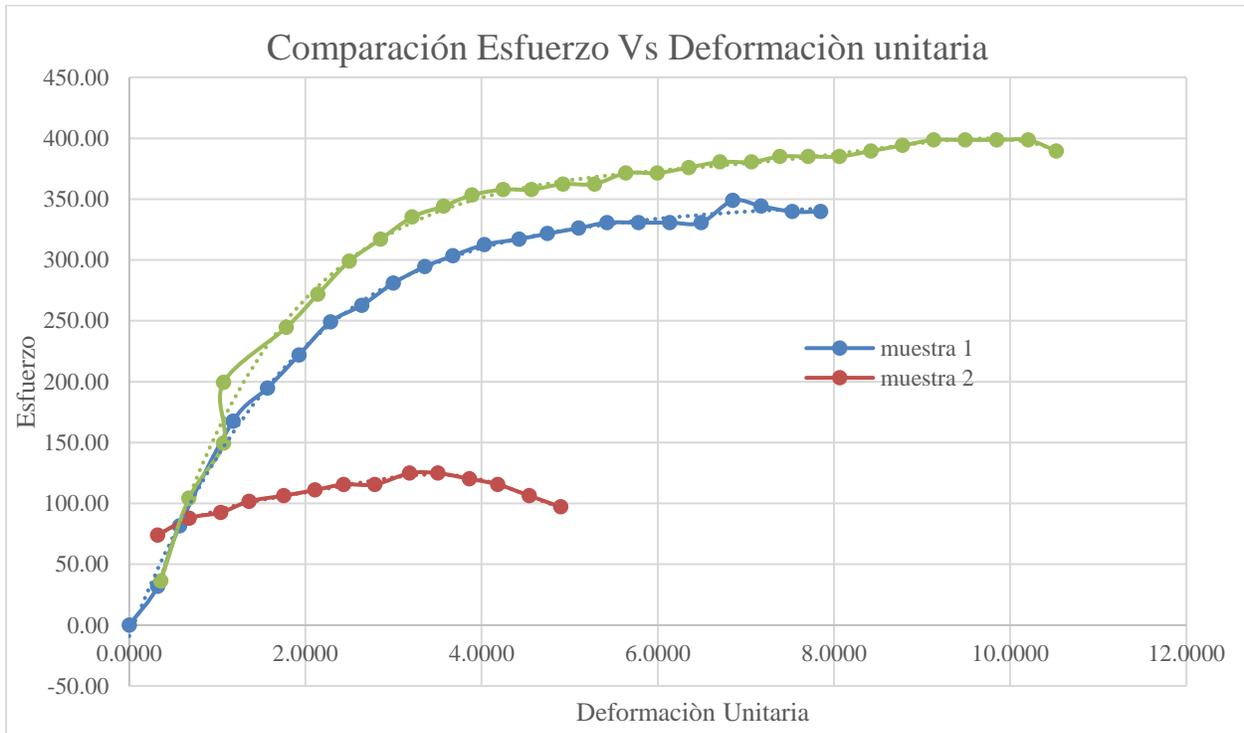


Figura 27. Comparativo esfuerzo vs. deformación unitario de material con adición de 1,5 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

- **Material con adición de 1,5 cm al 0,5%**

Tabla 55. Datos compresión simple muestra 1 para material con adición de 1,5 cm al 0,5%

Datos			
Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Ángulo de rotura
3,47	7,13	67,4	68

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56. Resultados muestra 1 de material con adición de 1,5 cm al 0,5%

Tiempo [seg]	Carga [lbf]	Carga [KN]	Def [In]	Deformación [mm]	Deformación unitaria [%]	Área corregida [cm ²]	Esfuerzo sobre la muestra [KPa]
15	5,00	0,02	0,01	0,25	0,35	9,45	23,52
30	5,00	0,02	0,01	0,45	0,64	9,45	23,52
45	11,00	0,05	0,02	0,71	0,99	9,45	51,74
60	16,00	0,07	0,03	0,96	1,35	9,45	75,26
75	19,00	0,08	0,04	1,24	1,74	9,45	89,37
90	21,00	0,09	0,05	1,49	2,10	9,45	98,78
105	24,00	0,11	0,06	1,72	2,42	9,45	112,89
120	25,00	0,11	0,07	1,98	2,77	9,45	117,59
135	28,00	0,12	0,08	2,23	3,13	9,45	131,70
150	29,00	0,13	0,09	2,48	3,49	9,45	136,41
165	29,00	0,13	0,10	2,74	3,84	9,45	136,41
180	31,00	0,14	0,11	2,97	4,16	9,45	145,81
195	32,00	0,14	0,12	3,22	4,52	9,45	150,52
210	32,00	0,14	0,13	3,45	4,84	9,45	150,52
225	30,00	0,13	0,14	3,73	5,23	9,45	141,11
240	31,00	0,14	0,15	3,98	5,59	9,45	145,81
255	31,00	0,14	0,16	4,24	5,94	9,45	145,81

Fuente: Elaboración propia

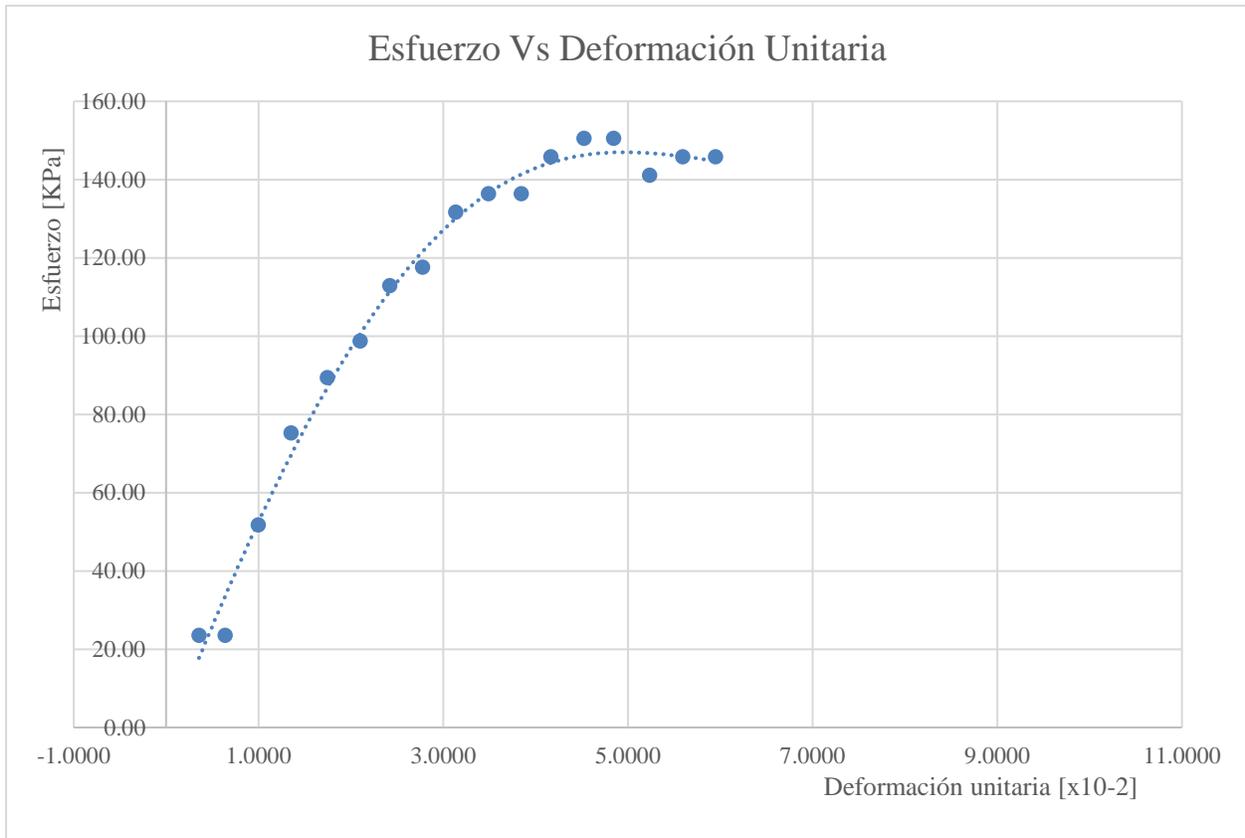


Figura 28. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria muestra 1 de material con adición de 1,5 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

Muestra 2

Tabla 58. Datos compresión simple muestra 2 para material con adición de 1,5 cm al 0,5%

Datos			
Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Ángulo de rotura
3,47	7,18	67,9	68

Fuente: Elaboración propia

Tabla 59. Resultados muestra 2 de material con adición de 1,5 cm al 0,5%

Tiempo	Carga	Carga	Def	Deformación	Deformación	Área promedio	Esfuerzo
[seg]	[lbf]	[KN]	[In]	[mm]	unitaria [%]	[cm ²]	[KPa]
15	7,00	0,03	0,01	0,25	0,35	9,45	32,93
30	5,00	0,02	0,02	0,50	0,70	9,45	23,52
45	11,00	0,05	0,03	0,76	1,06	9,45	51,74
60	12,00	0,05	0,04	1,01	1,41	9,45	56,44
75	15,00	0,07	0,05	1,27	1,768	9,45	70,56
90	17,00	0,08	0,06	1,54	2,15	9,45	79,96
105	19,00	0,08	0,07	1,77	2,47	9,45	89,37
120	21,00	0,09	0,07	2,00	2,79	9,45	98,78
135	23,00	0,10	0,08	2,26	3,14	9,45	108,18
150	25,00	0,11	0,09	2,51	3,50	9,45	117,59
165	26,00	0,12	0,10	2,76	3,85	9,45	122,30
180	28,00	0,12	0,11	3,02	4,20	9,45	131,70
195	29,00	0,13	0,12	3,25	4,52	9,45	136,41
210	30,00	0,13	0,13	3,53	4,91	9,45	141,11
225	32,00	0,14	0,14	3,75	5,23	9,45	150,52
240	33,00	0,15	0,15	4,01	5,58	9,45	155,22
255	34,00	0,15	0,16	4,29	5,97	9,45	159,93
270	34,00	0,15	0,17	4,52	6,29	9,45	159,93
285	34,00	0,15	0,18	4,77	6,65	9,45	159,93
300	35,00	0,16	0,19	5,05	7,03	9,45	164,63
315	35,00	0,16	0,20	5,30	7,39	9,45	164,63
330	36,00	0,16	0,21	5,53	7,71	9,45	169,33
345	36,00	0,16	0,22	5,79	8,06	9,45	169,33
360	36,00	0,16	0,23	6,01	8,38	9,45	169,33
375	36,00	0,16	0,24	6,29	8,77	9,45	169,33
390	37,00	0,16	0,25	6,55	9,12	9,45	174,04
405	37,00	0,16	0,26	6,80	9,48	9,45	174,04
420	34,00	0,15	0,27	7,03	9,79	9,45	159,93
435	33,00	0,15	0,28	7,28	10,15	9,45	155,22

Fuente: Elaboración propia

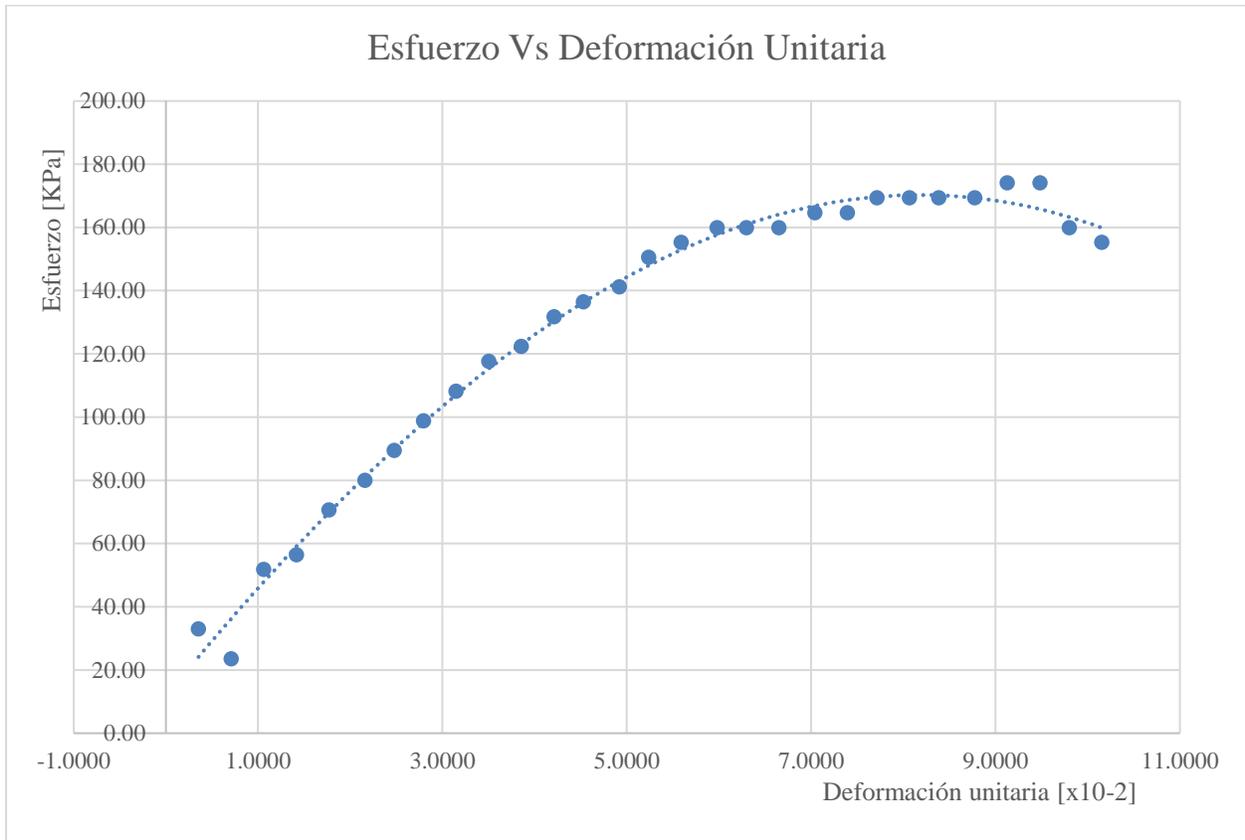


Figura 29. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria muestra 2 de material con adición de 1,5 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

Muestra 3

Tabla 60. Datos compresión simple muestra 2 para material con adición de 1,5 cm al 0,5%

Datos			
Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	ángulo de rotura
3,44	7,08	65,8	45

Fuente: Elaboración propia

Tabla 61. Resultados muestra 3 de material con adición de 1,5 cm al 0,5%

Tiempo [seg]	Carga [lbf]	Carga [KN]	Def [In]	Deformación [mm]	Deformación unitaria [%]	Área corregida [cm ²]	Esfuerzo sobre la muestra [KPa]
15	1,00	0,00	0,01	0,27	0,39	9,29	4,79
30	3,00	0,01	0,02	0,53	0,75	9,29	14,36
45	9,00	0,04	0,03	0,81	1,14	9,29	43,07
60	12,00	0,05	0,04	1,04	1,47	9,29	57,43
75	17,00	0,08	0,05	1,29	1,82	9,29	81,36
90	21,00	0,09	0,06	1,52	2,15	9,29	100,51
105	27,00	0,12	0,07	1,80	2,54	9,29	129,22
120	30,00	0,13	0,08	2,03	2,87	9,29	143,58
135	32,00	0,14	0,09	2,28	3,22	9,29	153,15
150	34,00	0,15	0,10	2,54	3,58	9,29	162,73
165	34,00	0,15	0,11	2,79	3,94	9,29	162,73
180	34,00	0,15	0,12	3,04	4,30	9,29	162,73
195	36,00	0,16	0,12	3,22	4,55	9,29	172,30
210	37,00	0,16	0,14	3,58	5,05	9,29	177,08
225	38,00	0,17	0,16	4,11	5,81	9,29	181,87

Tiempo [seg]	Carga [lbf]	Carga [KN]	Def [In]	Deformación [mm]	Deformación unitaria [%]	Área corregida [cm ²]	Esfuerzo sobre la muestra [KPa]
240	38,00	0,17	0,17	4,36	6,17	9,29	181,87
255	38,00	0,17	0,18	4,62	6,52	9,29	181,87
270	38,00	0,17	0,19	4,85	6,85	9,29	181,87
285	38,00	0,17	0,20	5,10	7,21	9,29	181,87
300	37,00	0,16	0,21	5,33	7,53	9,29	177,08
315	36,00	0,16	0,22	5,58	7,89	9,29	172,30
330	36,00	0,16	0,22	5,79	8,17	9,29	172,30

Fuente: Elaboración propia

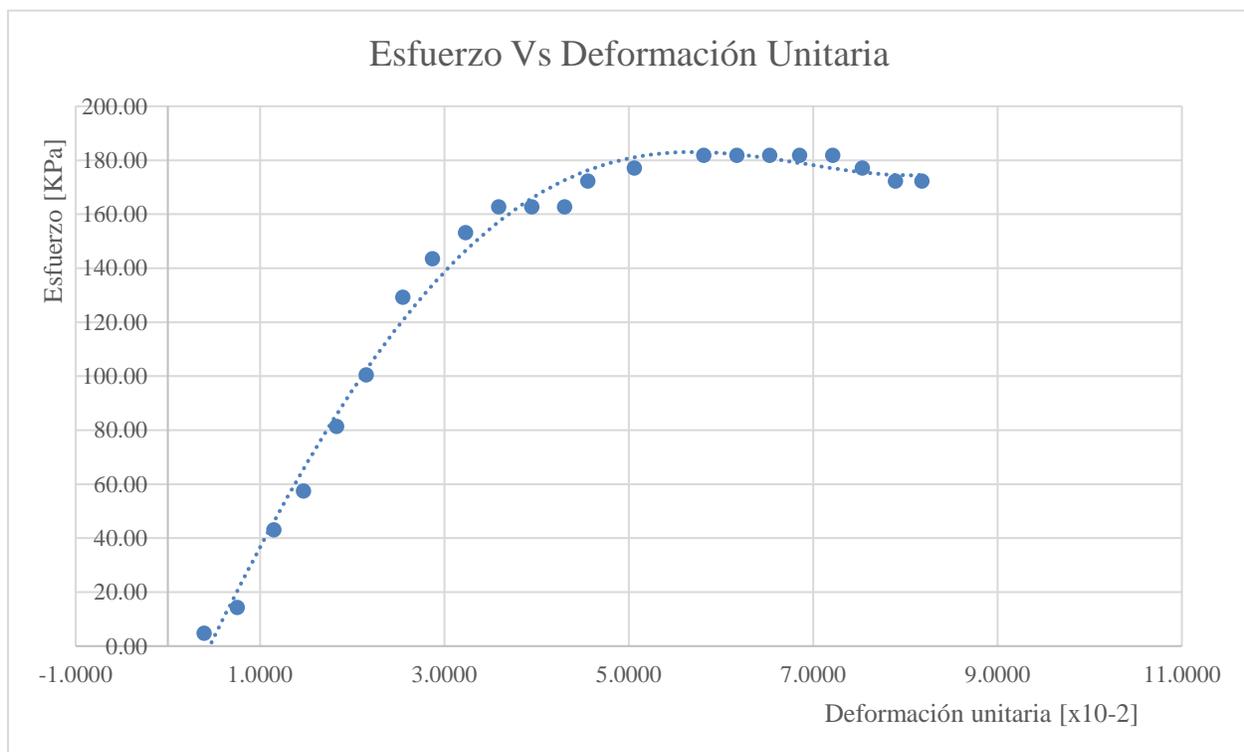


Figura 30. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria muestra 3 de material con adición de 1,5 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

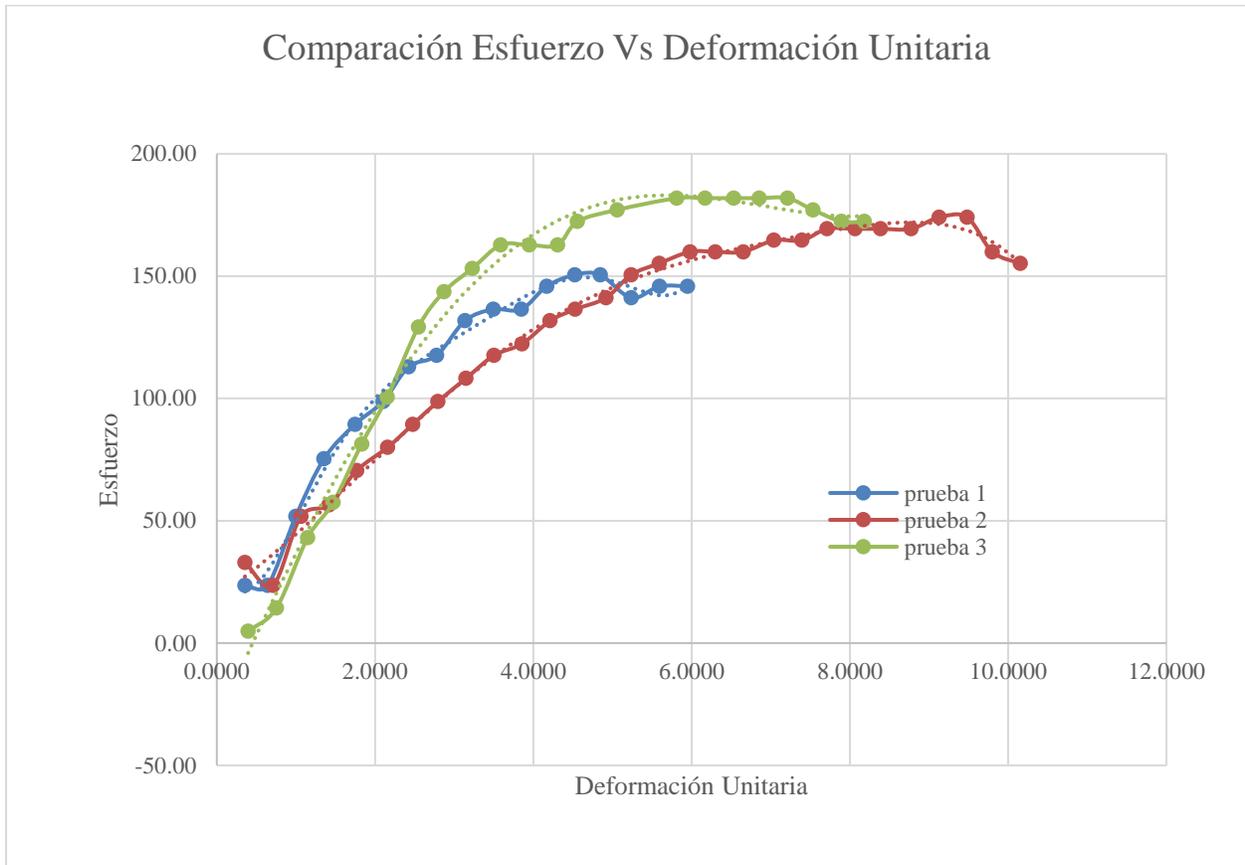


Figura 31. Comparativo esfuerzo vs. deformación unitaria de material con adición de 1,5 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

Apéndice E. Ensayo de CBR

Ensayo material sin adición

Tabla 62. Datos ensayo CBR material sin adición

Ensayo	10 golpes	25 golpes	56 golpes
Peso muestra compactada + molde (gr)	12524,00	12817,00	13157,00
Peso molde (gr)	8691,00	8217,00	8714,00
No. Cápsula	304,00	6,00	390,00
Peso cápsula (gr)	40,58	21,19	40,59
Peso cápsula + suelo húmedo(gr)	118,84	90,15	122,87
Peso cápsula + suelo seco (gr)	105,00	75,00	109,00
Peso muestra compactada	3833,00	4600,00	4443,00
Peso del agua	13,84	15,15	13,87
Peso muestra seca	64,42	53,81	68,41
Contenido de humedad %	21,48	28,15	20,27
Volumen	2103,31	2095,12	2080,49
Densidad húmeda gr/cm ³	1,82	2,20	2,14
Densidad seca gr/cm ³	1,50	1,71	1,78

Fuente: Elaboración propia

Tabla 63. Porcentaje de expansión ensayo CBR para material sin adición

No. Golpes	10 golpes	25 golpes	56 golpes
Lectura inicial (mm)	10,08	1,62	3,65
Lectura final (mm)	14,12	6,65	6,73
Diferencia (mm)	4,04	5,03	3,07
% Expansión	3,47	4,32	2,64

Fuente: Elaboración propia

Tabla 64. Datos de carga ensayo de CBR para material sin adición

Penetración (plg)	10 golpes			25 golpes			56 golpes		
	Carga (lbf)	Carga lbf/plg ²	Carga (Mpa)	Carga lbf	Carga lbf/plg ²	Carga (Mpa)	Carga (lbf)	Carga lbf/plg ²	Carga (mpa)
0	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,005	18	6,00	0,04	22	7,33	0,05	29	9,67	0,06
0,025	36	12,00	0,08	49	16,33	0,11	70	23,33	0,16
0,05	45	15,00	0,10	75	25,00	0,17	122	40,67	0,28
0,075	57	19,00	0,13	99	33,00	0,22	163	54,33	0,37
0,1	68	22,67	0,15	121	40,33	0,27	195	65,00	0,44
0,125	76	25,33	0,17	135	45,00	0,31	221	73,67	0,50
0,15	79	26,33	0,18	153	51,00	0,35	243	81,00	0,55
0,2	92	30,67	0,21	175	58,33	0,40	281	93,67	0,64
0,25	97	32,33	0,22	182	60,67	0,41	295	98,33	0,67
0,3	118	39,33	0,27	216	72,00	0,49	329	109,67	0,75
0,4	134	44,67	0,30	252	84,00	0,57	340	113,33	0,78
0,5	159	53,00	0,36	280	93,33	0,64	350	116,67	0,80

Fuente: Elaboración propia

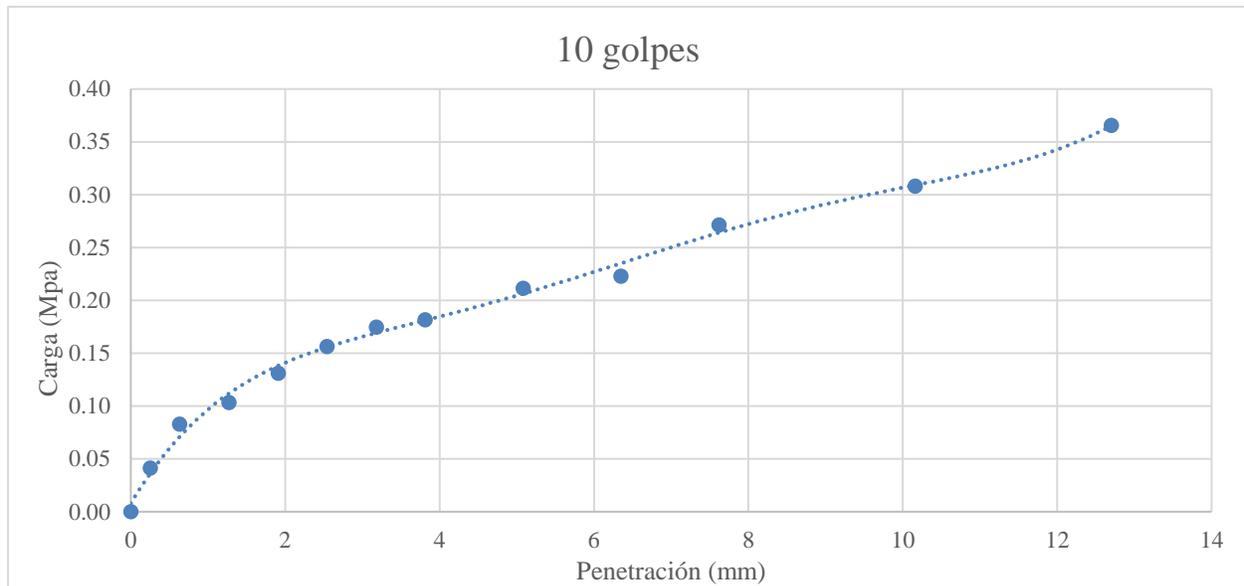


Figura 32. Carga Vs. penetración para 10 golpes de material sin adición

Fuente: Elaboración propia

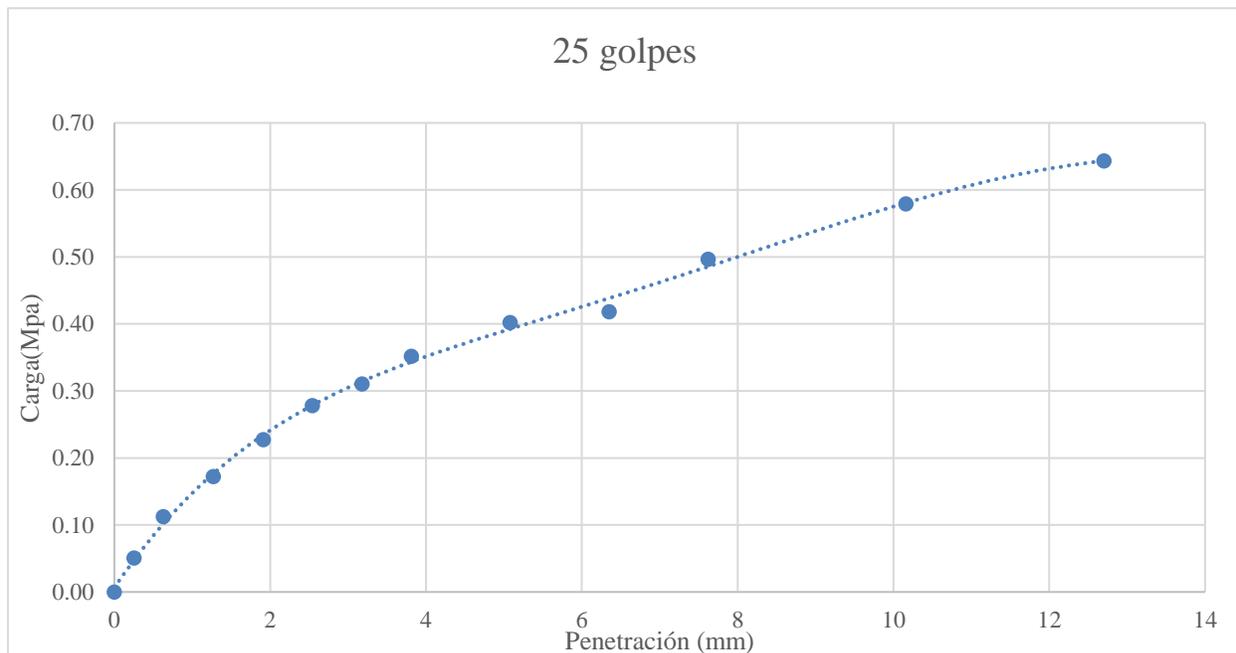


Figura 33. Carga Vs. penetración para 25 golpes de material sin adición

Fuente: Elaboración propia

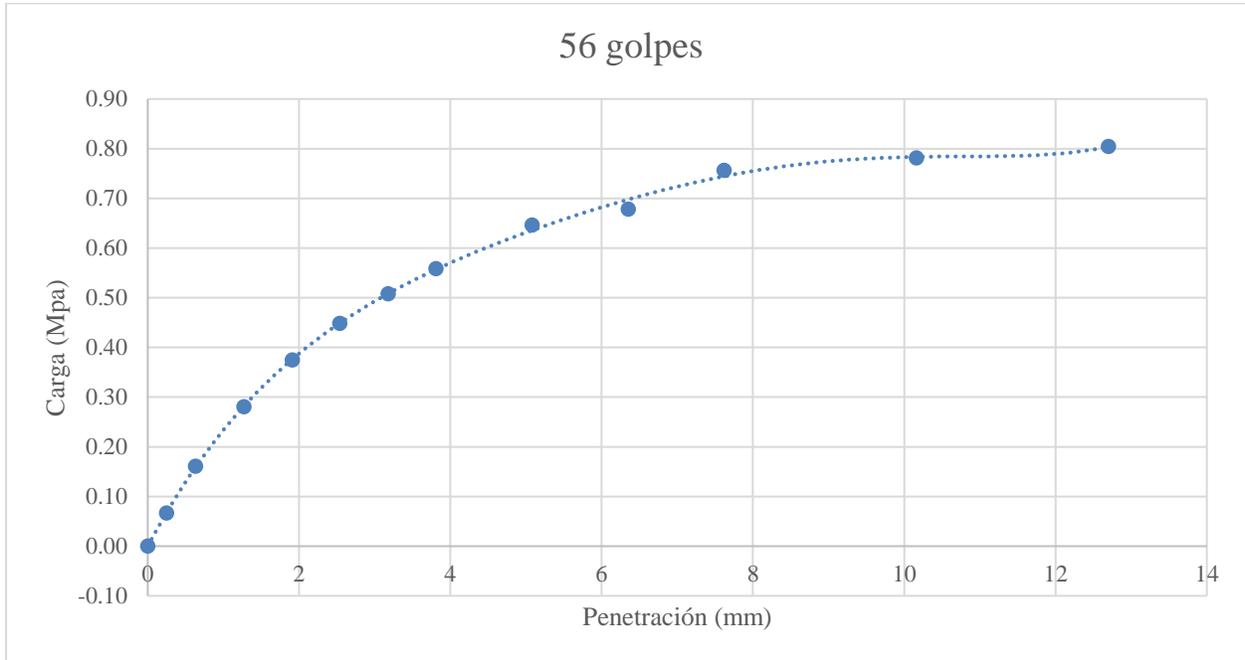


Figura 34. Carga Vs. penetración para 56 golpes de material sin adición

Fuente: Elaboración propia

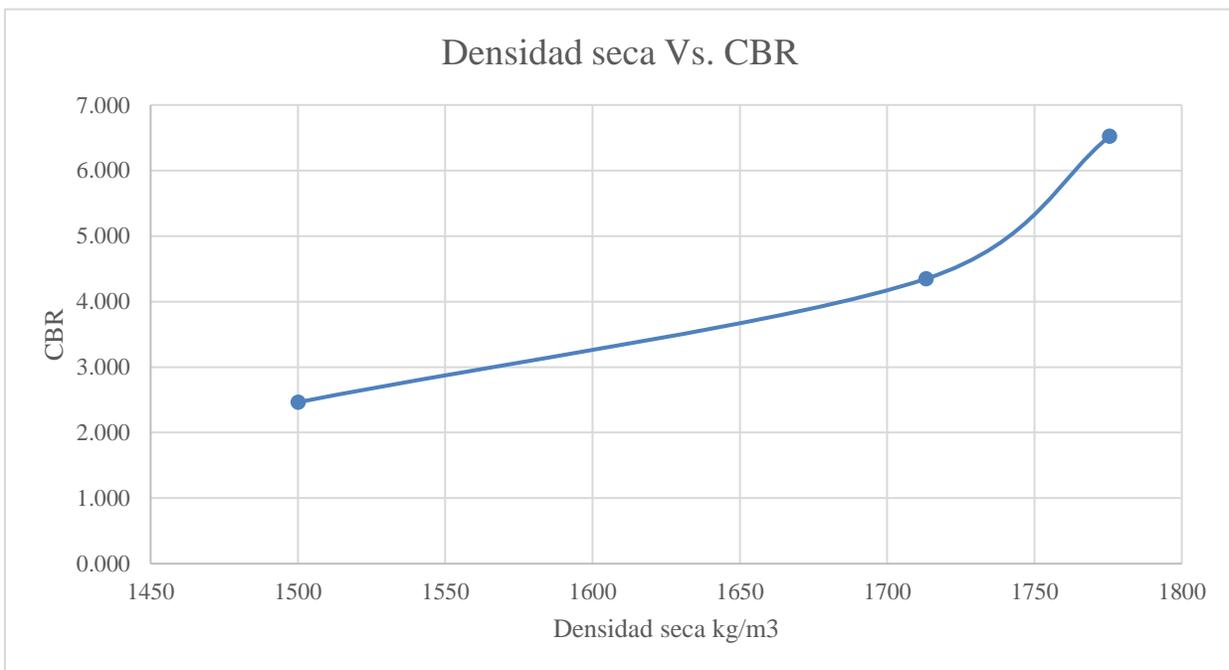


Figura 35. Densidad seca Vs. CBR para material sin adición

Fuente: Elaboración propia

Ensayo material con adición de 1 cm al 0,3%

Tabla 65. Datos ensayo CBR material con adición de 1 cm al 0,3%

Ensayo	10 golpes	25 golpes	56 golpes
Peso muestra compactada + molde (gr)	12135,00	12527,00	11432,00
Peso molde (gr)	8608,00	8633,00	7327,00
No. Cápsula	25	23	77
Peso cápsula (gr)	31,95	21,00	21,23
Peso cápsula + suelo húmedo(gr)	91,49	85,00	101,42
Peso cápsula + suelo seco (gr)	78,00	72,40	85,10
Peso muestra compactada	3527,00	3894,00	4105,00
Peso del agua	13,49	12,60	16,32
Peso muestra seca	46,05	51,40	63,87
Contenido de humedad %	29,29	24,51	25,55
Volumen	2090,96	2082,70	2096,35
Densidad húmeda gr/cm ³	1,69	1,87	1,96
Densidad seca gr/cm ³	1,30	1,50	1,56

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66. Porcentaje de expansión ensayo CBR para material con adición de 1 cm al 0,3%

	10 golpes	25 golpes	56 golpes
Lectura inicial (mm)	11,81	1,67	5,20
Lectura final (mm)	14,76	5,56	10,10
Diferencia (mm)	2,95	3,89	4,90
% Expansión	2,53	3,34	4,21

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67. Datos de carga ensayo de CBR para material con adición de 1 cm al 0,3%

Penetración (plg)	10 golpes			25 golpes			56 golpes		
	Carga (lbf)	Carga lbf/plg ²	Carga (Mpa)	Carga lbf	Carga lbf/plg ²	Carga (Mpa)	Carga (lbf)	Carga lbf/plg ²	Carga (mpa)
0	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,005	7	2,33	0,01	7	2,33	0,01	4	1,33	0,00
0,025	9	3,00	0,02	24	8,00	0,05	19	6,33	0,04
0,05	19	6,33	0,04	40	13,33	0,09	39	13,00	0,08
0,075	29	9,67	0,06	52	17,33	0,11	56	18,67	0,12
0,1	32	10,67	0,07	64	21,33	0,14	70	23,33	0,16
0,125	37	12,33	0,08	71	23,67	0,16	84	28,00	0,19
0,15	46	15,33	0,10	85	28,33	0,19	98	32,67	0,22
0,2	52	17,33	0,11	104	34,67	0,23	120	40,00	0,27
0,25	58	19,33	0,13	113	37,67	0,25	131	43,67	0,30
0,3	70	23,33	0,16	142	47,33	0,32	159	53,00	0,36
0,4	88	29,33	0,20	180	60,00	0,41	191	63,67	0,43
0,5	100	33,33	0,22	217	72,33	0,49	224	74,67	0,51

Fuente: Elaboración propia

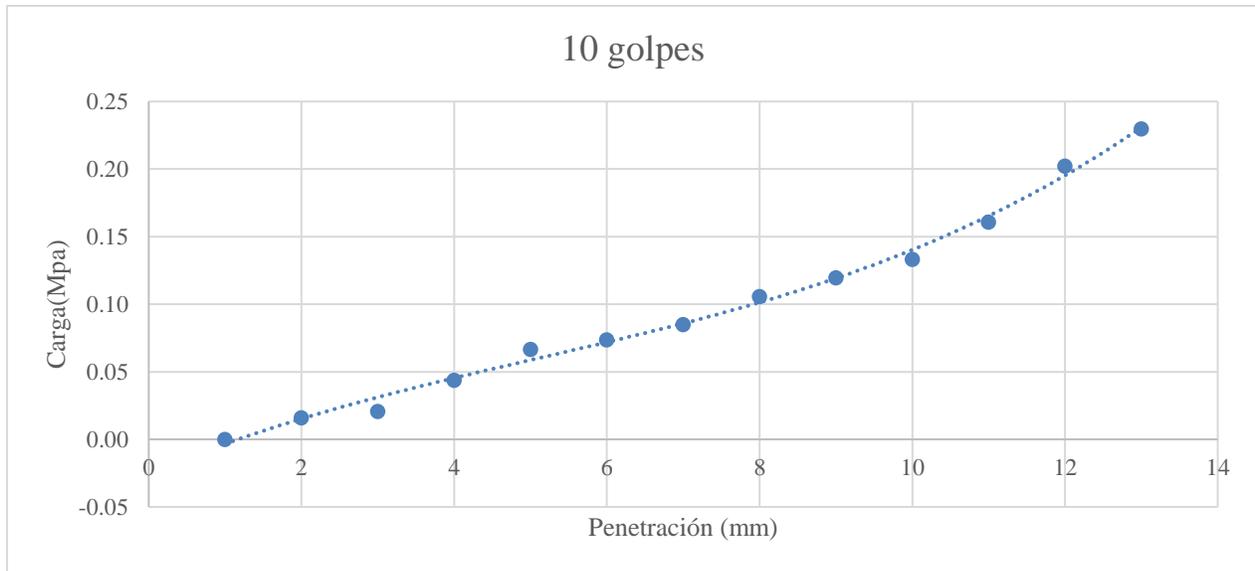


Figura 36. Carga Vs. penetración para 10 golpes de material con adición de 1 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

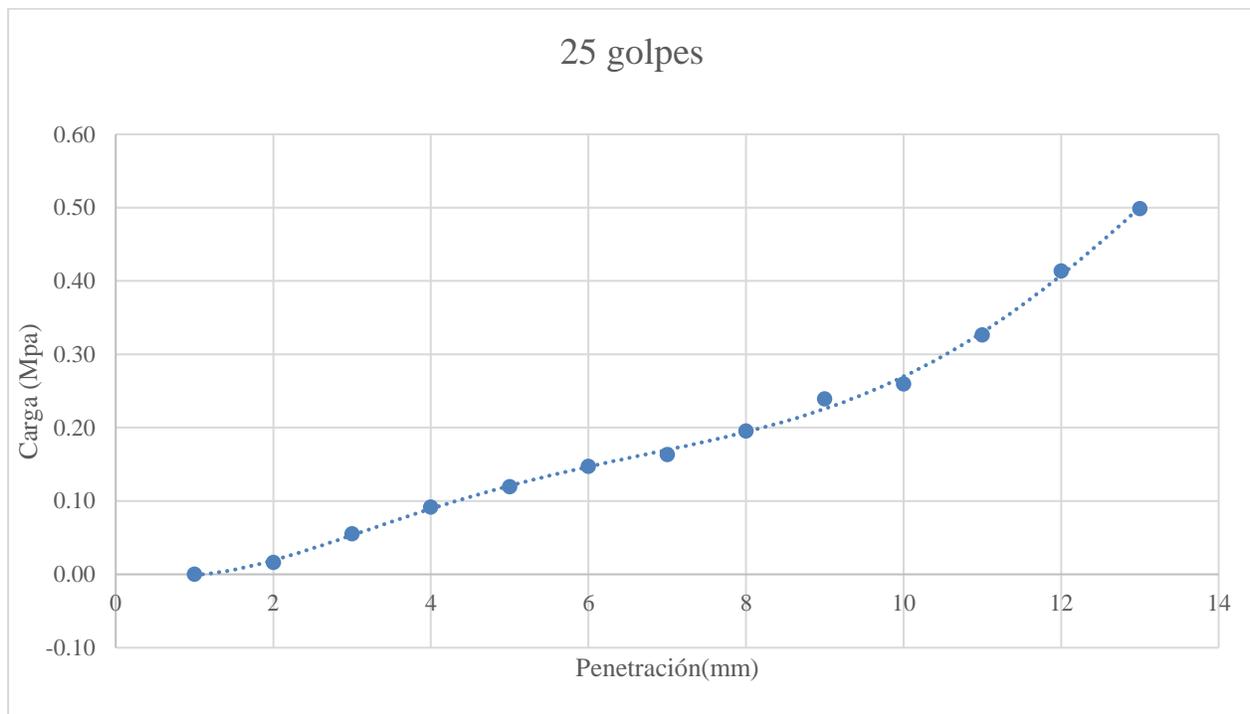


Figura 37. Carga Vs. penetración para 25 golpes de material con adición de 1 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

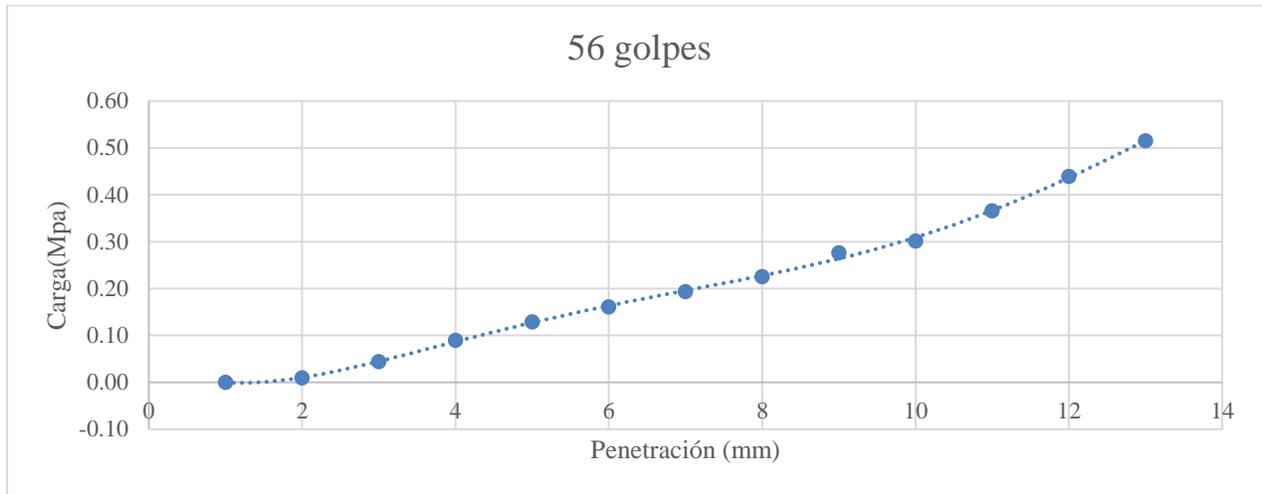


Figura 38. Carga Vs. penetración para 56 golpes de material con adición de 1 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

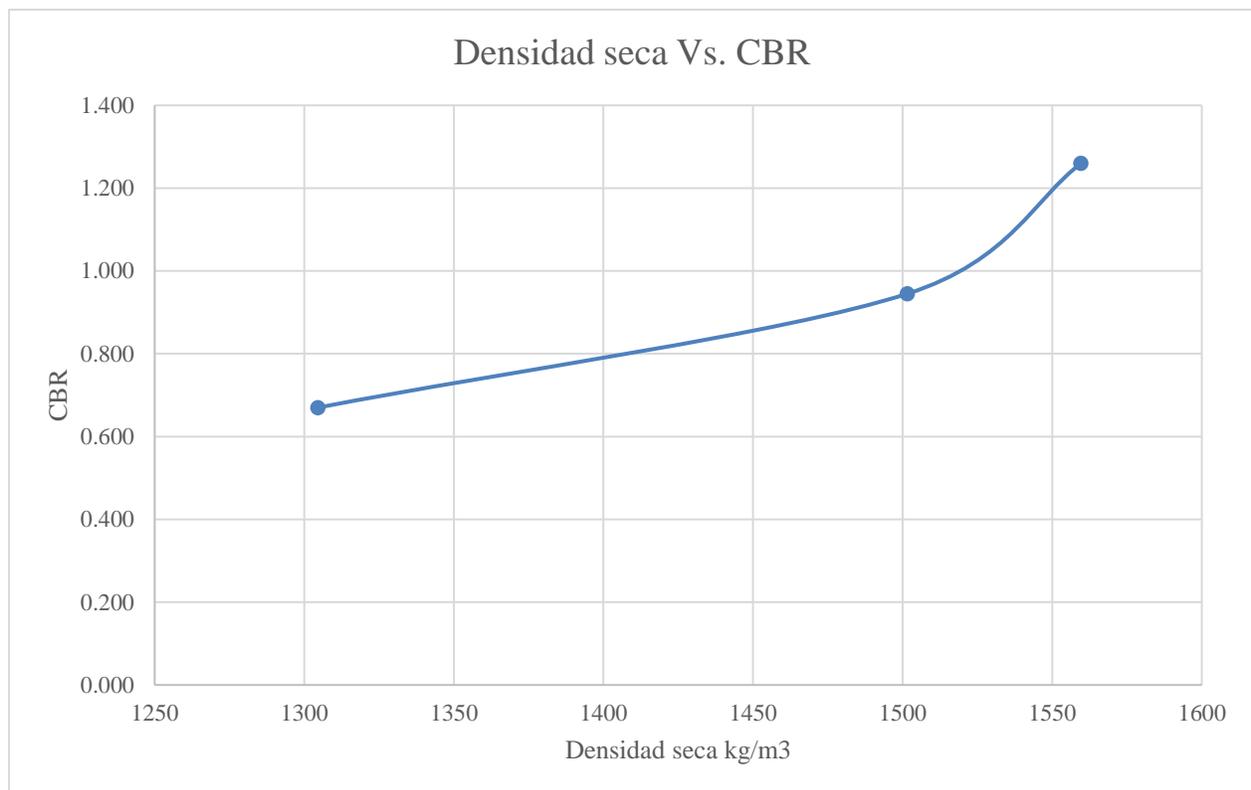


Figura 39. Densidad seca Vs. CBR para material con adición de 1 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

Ensayo material con adición de 1 cm al 0,5%

Tabla 68. Datos ensayo CBR material con adición de 1 cm al 0,5%

Ensayo	10 golpes	25 golpes	56 golpes
Peso muestra compactada + molde (gr)	12033,00	12486,00	12486,00
Peso molde (gr)	8721,00	8714,00	8691,00
No. Cápsula	100	53	25
Peso cápsula (gr)	40,64	20,95	31,92
Peso cápsula + suelo húmedo(gr)	103,84	83,02	70,98
Peso cápsula + suelo seco (gr)	87,80	67,80	62,20
Peso muestra compactada	3312,00	3772,00	3795,00
Peso del agua	16,04	15,22	8,78
Peso muestra seca	47,16	46,85	30,28
Contenido de humedad %	34,01	32,49	29,00
Volumen	2095,12	2080,49	2013,31
Densidad húmeda gr/cm ³	1,58	1,81	1,88
Densidad seca gr/cm ³	1,18	1,37	1,46

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69. Porcentaje de expansión ensayo CBR para material con adición de 1 cm al 0,5%

	10 golpes	25 golpes	56 golpes
Lectura inicial (mm)	1,14	2,00	4,24
Lectura final (mm)	5,44	5,68	7,16
Diferencia (mm)	4,29	3,68	2,92
% Expansión	3,69	3,16	2,51

Fuente: Elaboración propia

Tabla 70. Datos de carga ensayo de CBR para material con adición de 1 cm al 0,5%

Penetración (plg)	10 golpes				25 golpes			56 golpes		
	Carga (lbf)	Carga lbf/plg ²	Carga (Mpa)	Carga lbf	Carga lbf/plg ²	Carga (Mpa)	Carga (lbf)	Carga lbf/plg ²	Carga (mpa)	
0	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
0,005	6	2,00	0,01	13	4,33	0,02	7,00	2,33	0,01	
0,025	18	6,00	0,04	26	8,67	0,05	22	7,33	0,05	
0,05	26	8,67	0,05	48	16,00	0,11	42	14,00	0,09	
0,075	35	11,67	0,08	61	20,33	0,14	61	20,33	0,14	
0,1	48	16,00	0,11	73	24,33	0,16	79	26,33	0,18	
0,125	55	18,33	0,12	86	28,67	0,19	97	32,33	0,22	
0,15	61	20,33	0,14	92	30,67	0,21	109	36,33	0,25	
0,2	71	23,67	0,16	106	35,33	0,24	139	46,33	0,31	
0,25	79	26,33	0,18	112	37,33	0,25	153	51,00	0,35	
0,3	95	31,67	0,21	138	46,00	0,31	187	62,33	0,42	
0,4	114	38,00	0,26	180	60,00	0,41	225	75,00	0,51	
0,5	134	44,67	0,30	233	77,67	0,53	264	88,00	0,60	

Fuente: Elaboración propia

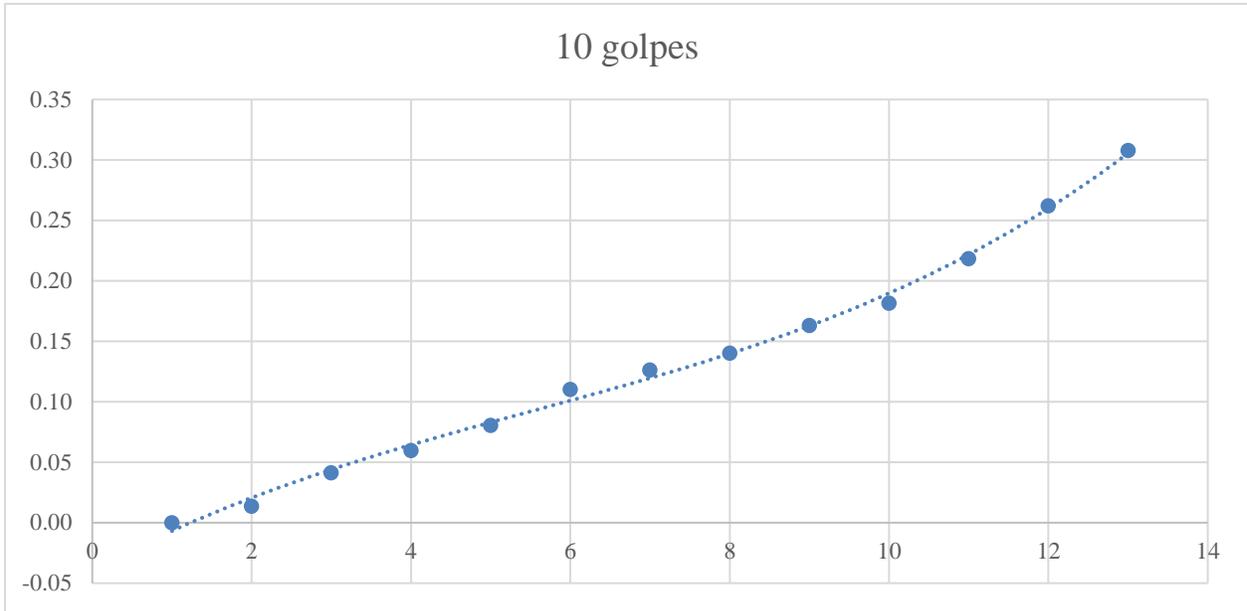


Figura 40. Carga Vs. penetración para 10 golpes de material con adición de 1 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

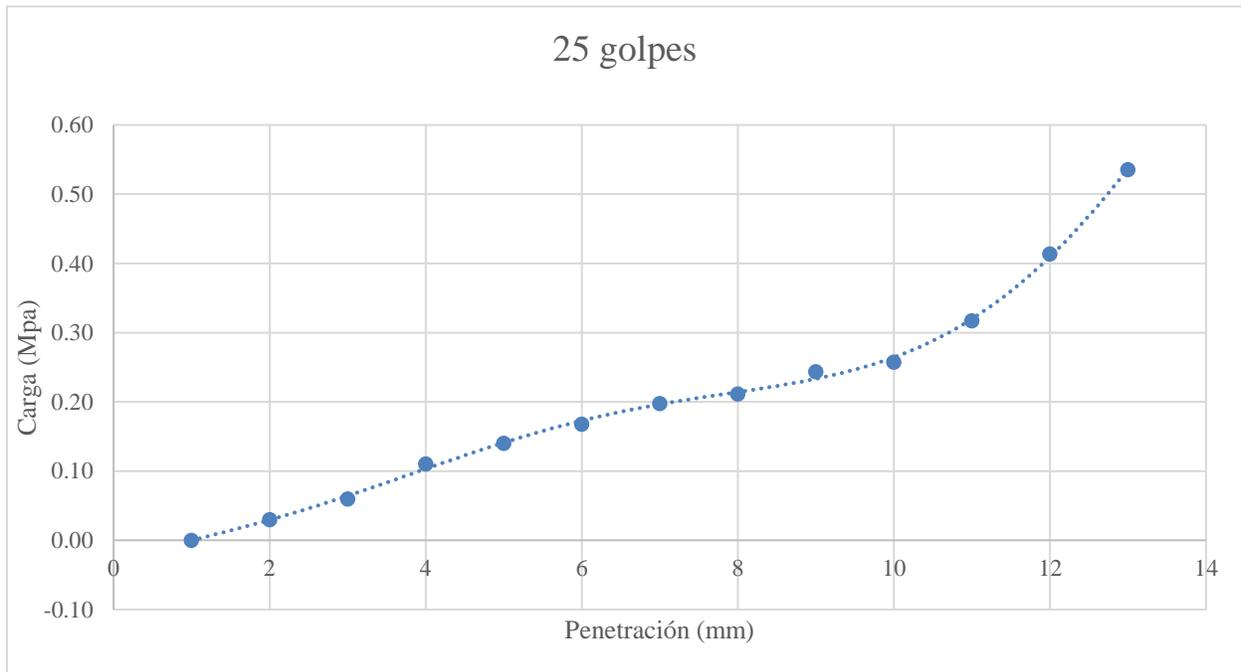


Figura 41. Carga Vs. penetración para 25 golpes de material con adición de 1 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

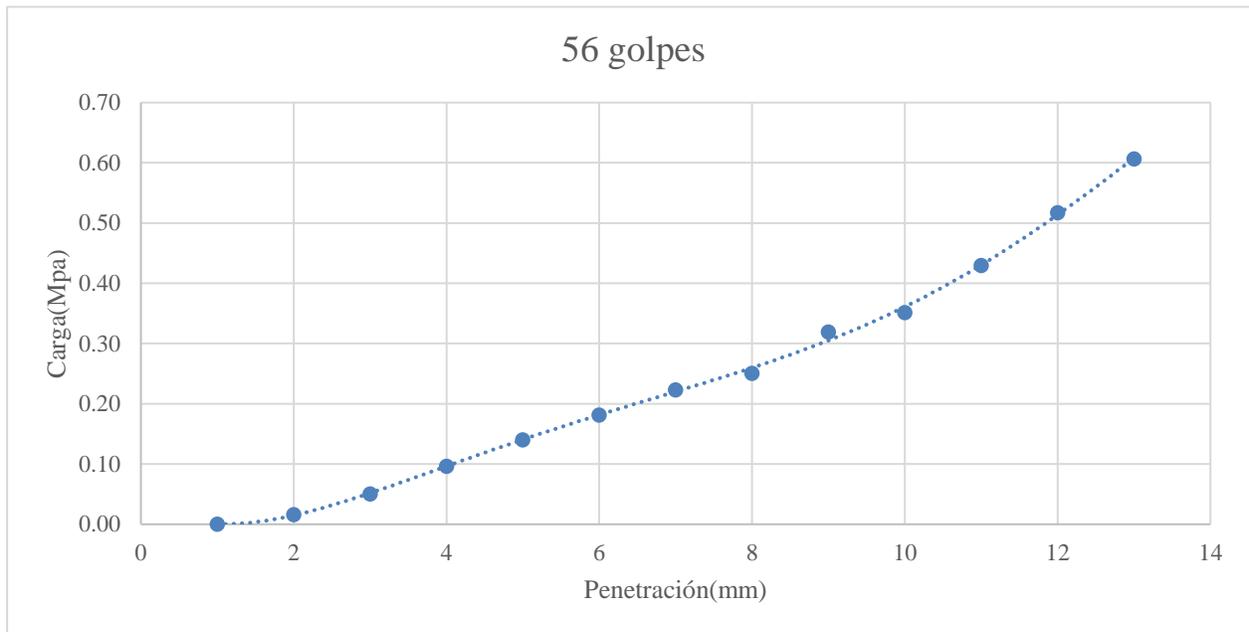


Figura 42. Carga Vs. penetración para 56 golpes de material con adición de 1 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

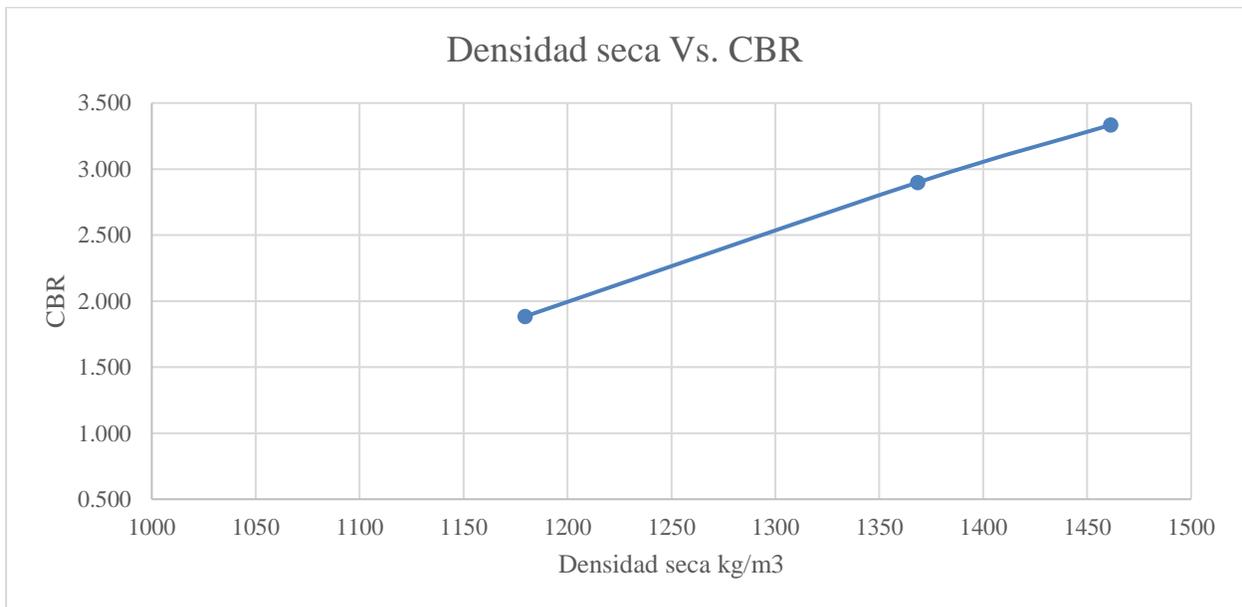


Figura 43. Densidad seca Vs. CBR para material con adición de 1 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

Ensayo material con adición de 1,5 cm al 0,3%

Tabla 71. Datos ensayo CBR material con adición de 1,5 cm al 0,3%

Ensayo	10 golpes	25 golpes	56 golpes
Peso muestra compactada + molde (gr)	12830,00	12680,00	12844,00
Peso molde (gr)	8472,00	8789,00	8769,00
No. Cápsula	810	50	2
Peso cápsula (gr)	40,35	40,93	40,67
Peso cápsula + suelo húmedo(gr)	118,77	125,20	109,71
Peso cápsula + suelo seco (gr)	90,00	105,00	95,60
Peso muestra compactada	4358,00	3891,00	4075,00
Peso del agua	28,77	20,20	14,11
Peso muestra seca	49,65	64,07	54,93
Contenido de humedad %	57,95	31,53	25,69
Volumen	2066,32	2100,60	2156,60
Densidad húmeda gr/cm ³	2,11	1,85	1,89
Densidad seca gr/cm ³	1,34	1,41	1,50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 72. Porcentaje de expansión ensayo CBR para material con adición de 1,5 cm al 0,3%

	10 golpes	25 golpes	56 golpes
Lectura inicial (mm)	3,73	1,11	3,45
Lectura final (mm)	9,65	5,28	7,67
Diferencia (mm)	5,92	4,17	4,22
% Expansión	5,08	3,58	3,62

Fuente: Elaboración propia

Tabla 73. Datos de carga ensayo de CBR para material con adición de 1,5 cm al 0,3%

Penetración (plg)	10 golpes			25 golpes			56 golpes		
	Carga (lbf)	Carga lbf/plg ²	Carga (Mpa)	Carga lbf	Carga lbf/plg ²	Carga (Mpa)	Carga (lbf)	Carga lbf/plg ²	Carga (mpa)
0	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,005	8	2,67	0,0184	10	3,33	0,0230	12	4,00	0,02758013
0,025	13	4,33	0,0299	14	4,67	0,0322	15	5,00	0,03447516
0,05	26	8,67	0,0598	20	6,67	0,0460	25	8,33	0,0574586
0,075	34	11,33	0,0781	23	7,67	0,0529	34	11,33	0,07814369
0,1	40	13,33	0,0919	43	14,33	0,0988	43	14,33	0,09882879
0,125	46	15,33	0,1057	53	17,67	0,1218	50	16,67	0,11491719
0,15	52	17,33	0,1195	66	22,00	0,1517	58	19,33	0,13330394
0,2	60	20,00	0,1379	84	28,00	0,1931	78	26,00	0,17927082
0,25	65	21,67	0,1494	94	31,33	0,2160	102	34,00	0,23443107
0,3	71	23,67	0,1632	121	40,33	0,2781	141	47,00	0,32406648
0,4	89	29,67	0,2046	155	51,67	0,3562	176	58,67	0,40450852
0,5	102	34,00	0,2344	187	62,33	0,4298	190	63,33	0,43668533

Fuente: Elaboración propia

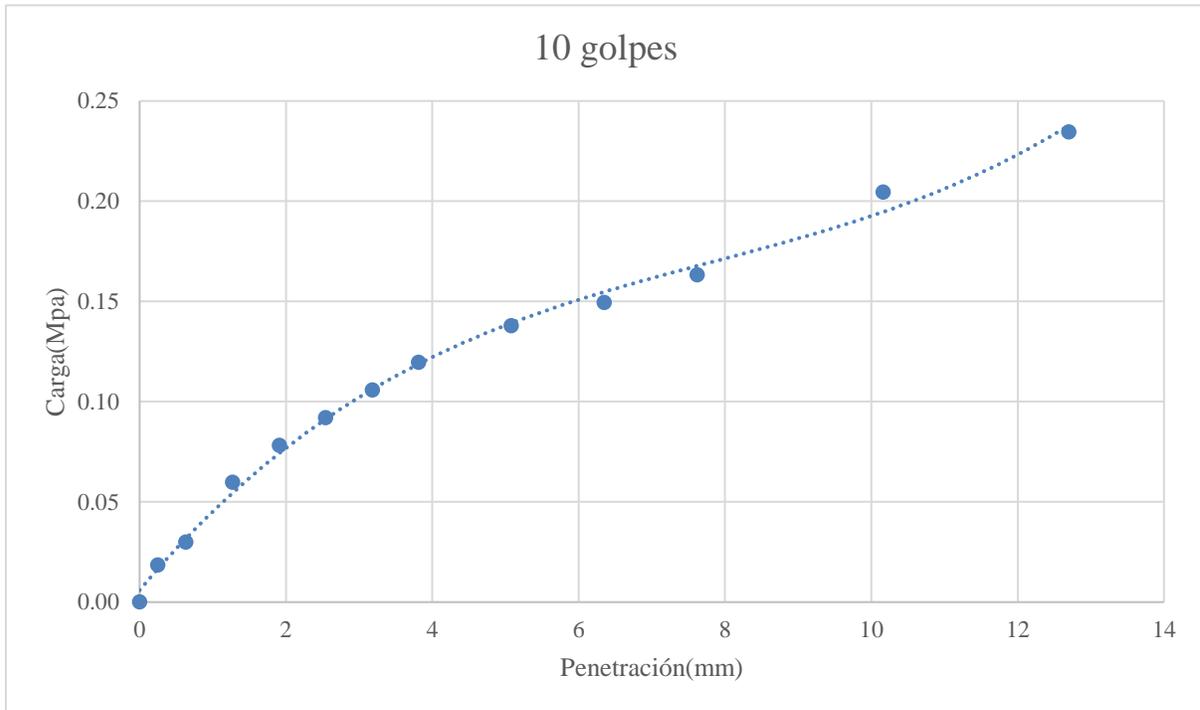


Figura 44. Carga Vs. penetración para 10 golpes de material con adición de 1,5 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

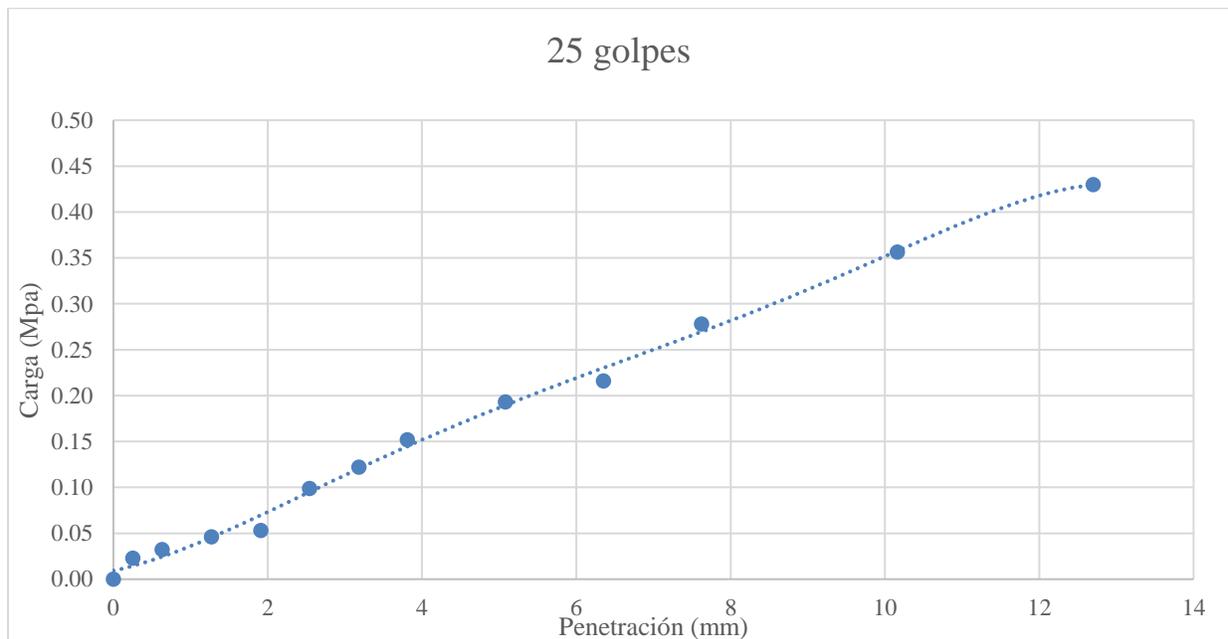


Figura 45. Carga Vs. penetración para 25 golpes de material con adición de 1,5 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

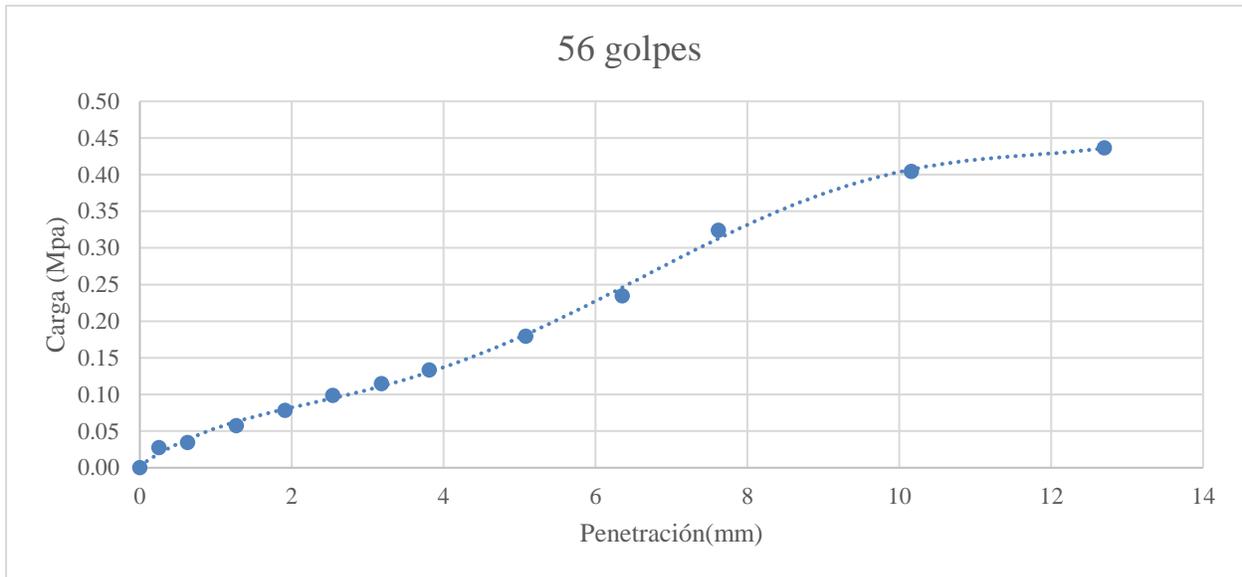


Figura 46. Carga Vs. penetración para 56 golpes de material con adición de 1,5 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

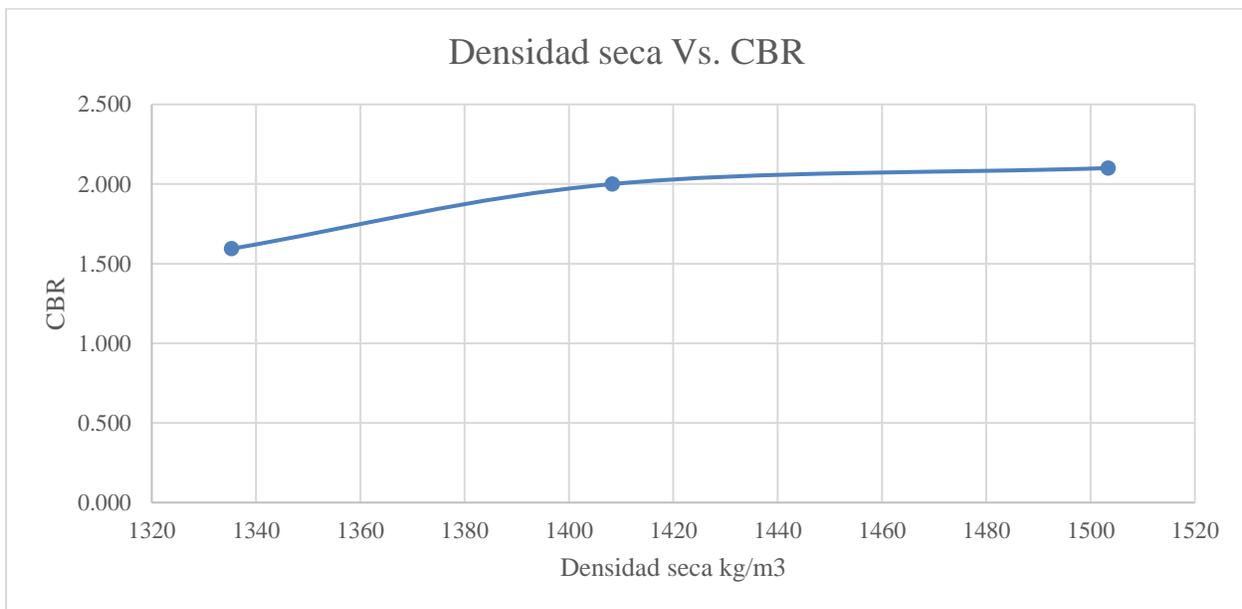


Figura 47. Densidad seca Vs. CBR para material con adición de 1,5 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

Ensayo material con adición de 1,5 cm al 0,5%

Tabla 74. Datos ensayo CBR material con adición de 1,5 cm al 0,5%

Ensayo	10 golpes	25 golpes	56 golpes
Peso muestra compactada + molde (gr)	10378,00	11019,00	12432,00
Peso molde (gr)	6936,00	7366,00	8573,00
No. Cápsula	38	67	29
Peso cápsula (gr)	20,56	21,10	18,58
Peso cápsula + suelo húmedo(gr)	97,49	71,16	74,08
Peso cápsula + suelo seco (gr)	82,30	61,10	63,60
Peso muestra compactada	3442,00	3653,00	3859,00
Peso del agua	15,19	10,06	10,48
Peso muestra seca	61,74	40,00	45,02
Contenido de humedad %	24,60	25,15	23,28
Volumen	2085,60	2103,55	2077,30
Densidad húmeda gr/cm ³	1,65	1,74	1,86
Densidad seca gr/cm ³	1,32	1,39	1,51

Fuente: Elaboración propia

Tabla 75. Porcentaje de expansión ensayo CBR para material con adición de 1,5 cm al 0,5%

	10 golpes	25 golpes	56 golpes
Lectura inicial (mm)	1,70	1,47	2,67
Lectura final (mm)	4,83	4,85	4,80
Diferencia (mm)	3,12	3,38	2,13
% Expansión	2,68	2,90	1,83

Fuente: Elaboración propia

Tabla 76. Datos de carga ensayo de CBR para material con adición de 1,5 cm al 0,5%

Penetración (plg)	10 golpes			25 golpes			56 golpes		
	Carga (lbf)	Carga lbf/plg ²	Carga (Mpa)	Carga lbf	Carga lbf/plg ²	Carga (Mpa)	Carga (lbf)	Carga lbf/plg ²	Carga (mpa)
0	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,005	8	2,67	0,01	6	2,00	0,01	8	2,67	0,01
0,025	24	8,00	0,05	25	8,33	0,05	25	8,33	0,05
0,05	37	12,33	0,08	48	16,00	0,11	43	14,33	0,09
0,075	53	17,67	0,12	66	22,00	0,15	61	20,33	0,14
0,1	61	20,33	0,14	83	27,67	0,19	78	26,00	0,17
0,125	72	24,00	0,16	99	33,00	0,22	93	31,00	0,21
0,15	82	27,33	0,18	116	38,67	0,26	108	36,00	0,24
0,2	102	34,00	0,23	143	47,67	0,32	134	44,67	0,30
0,25	113	37,67	0,25	164	54,67	0,37	160	53,33	0,36
0,3	129	43,00	0,29	179	59,67	0,41	179	59,67	0,41
0,4	152	50,67	0,34	211	70,33	0,48	218	72,67	0,50
0,5	172	57,33	0,39	237	79,00	0,54	250	83,33	0,57

Fuente: Elaboración propia

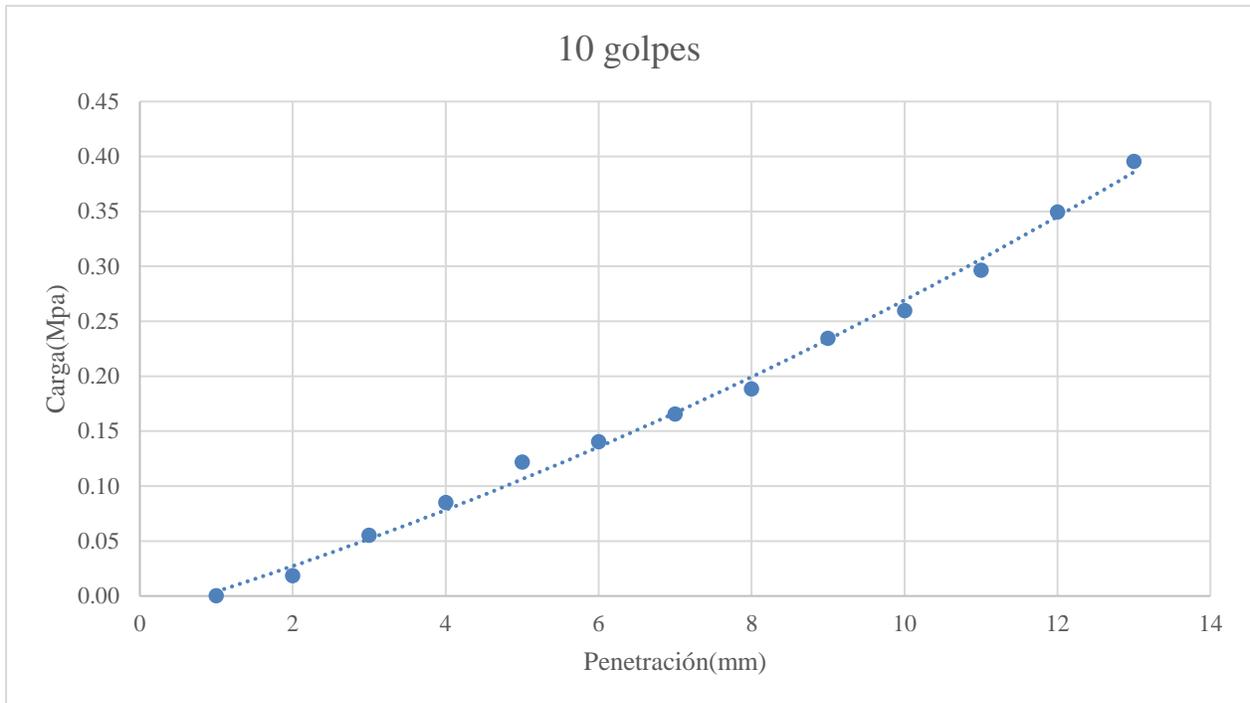


Figura 48. Carga Vs. penetración para 10 golpes de material con adición de 1,5 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

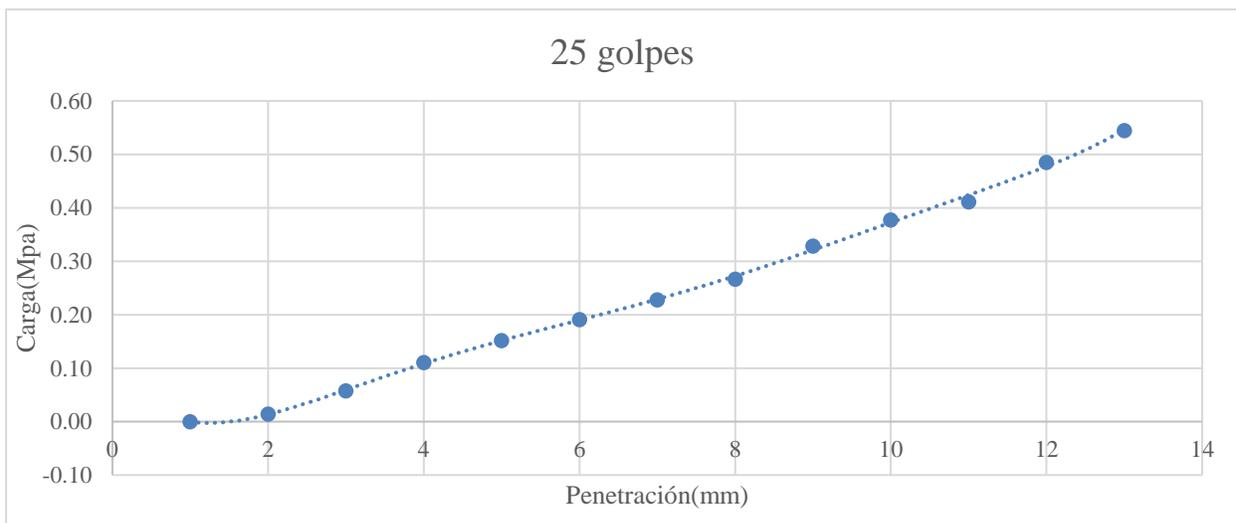


Figura 49. Carga Vs. penetración para 25 golpes de material con adición de 1,5 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

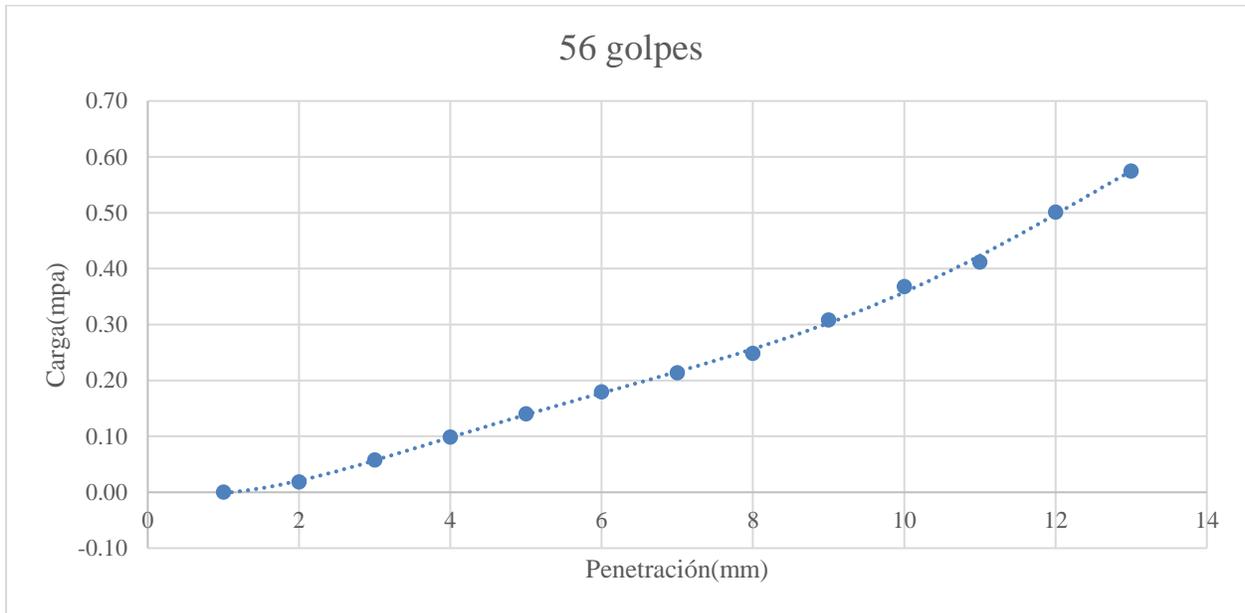


Figura 50. Carga Vs. penetración para 56 golpes de material con adición de 1,5 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

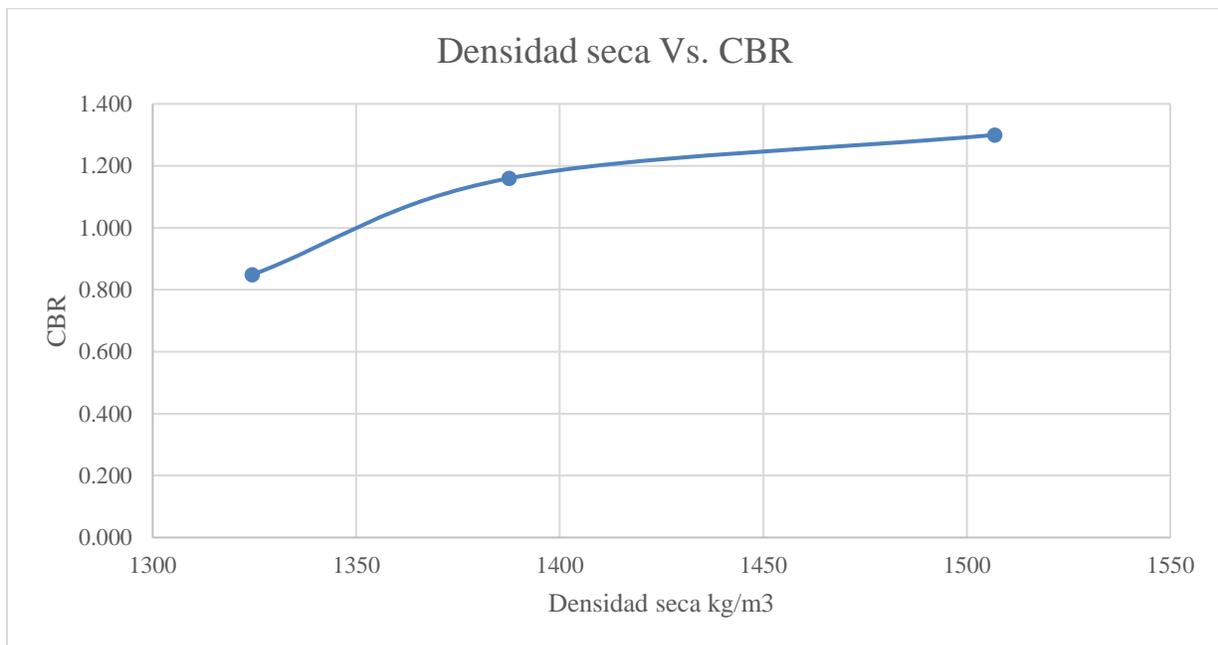


Figura 51. Densidad seca Vs. CBR para material con adición de 1,5 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

Apéndice F. Ensayo de corte directo

- **Consolidación**

Material sin adición

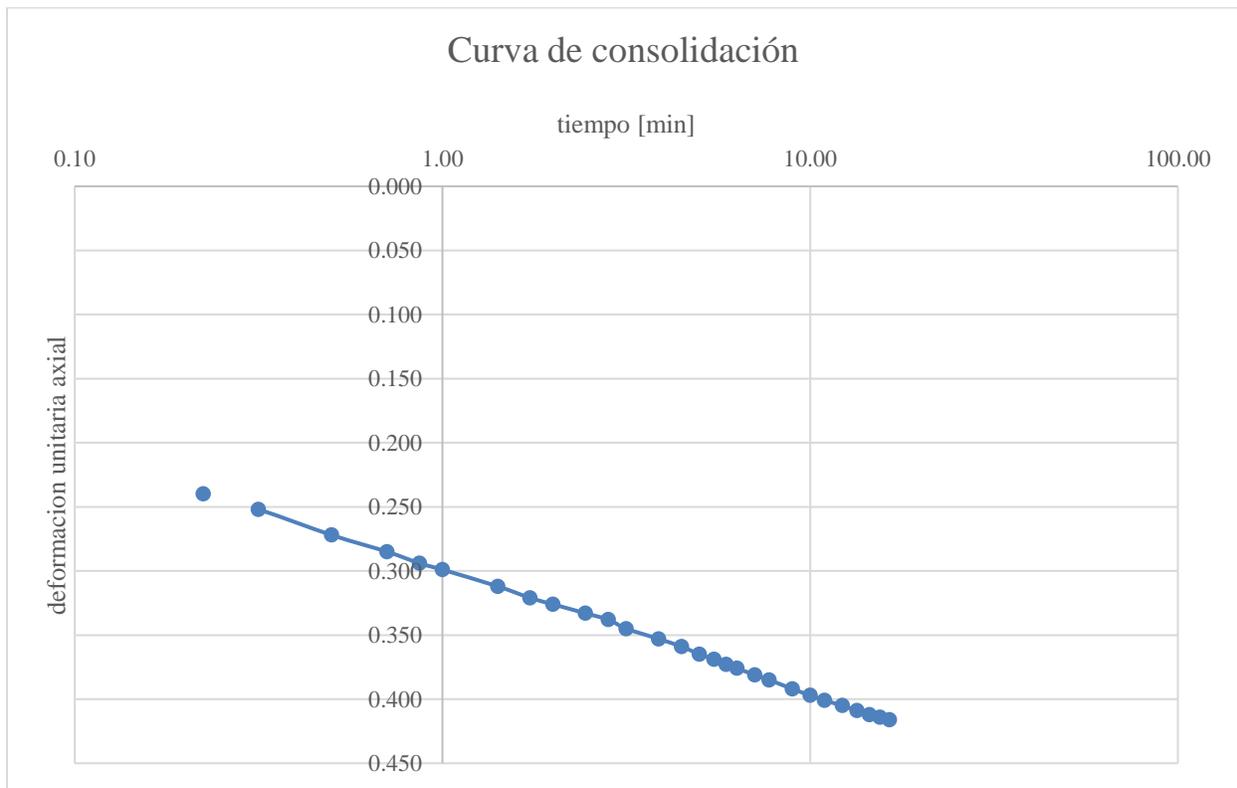


Figura 52. Curva de consolidación material sin adición

Fuente: Elaboración propia

Material con adición de 1 cm al 0,3%

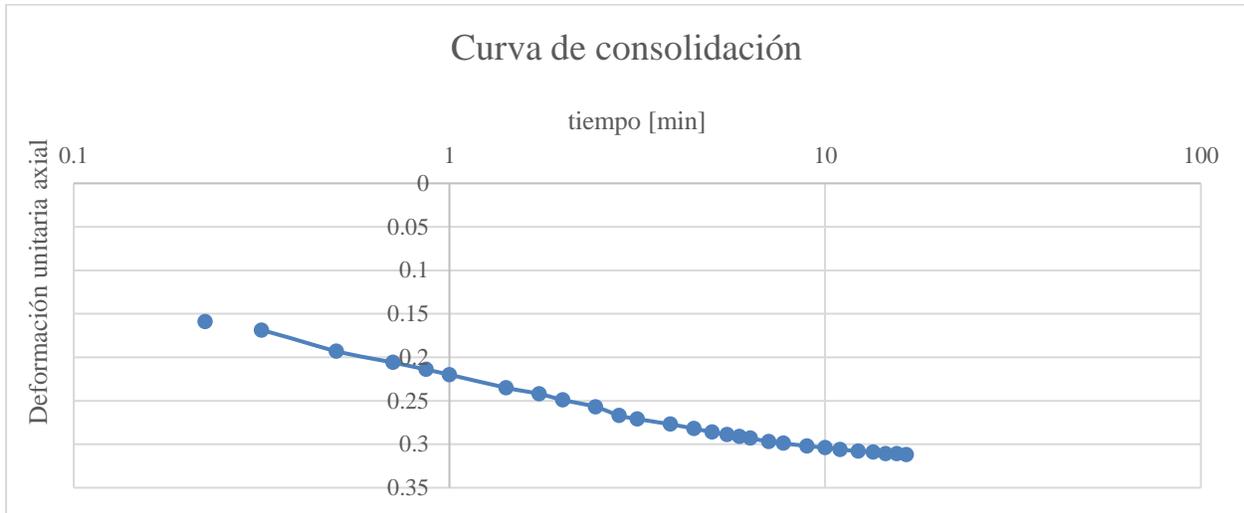


Figura 53. Curva de consolidación material con adición de 1 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

Material con adición de 1 cm al 0,5%

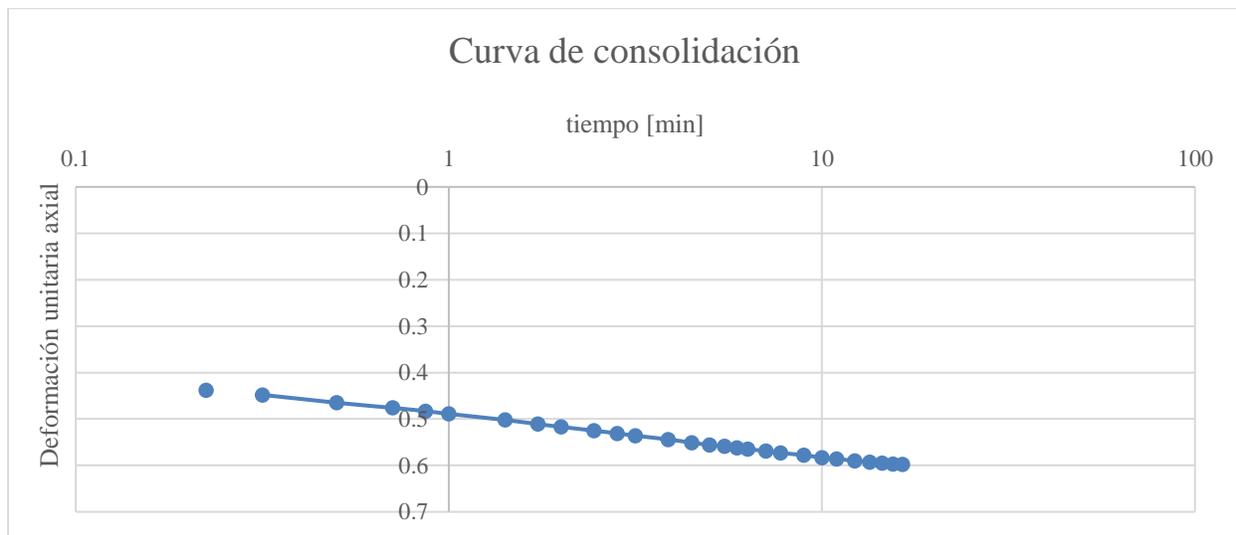


Figura 54. Curva de consolidación material con adición de 1 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

Material con adición de 1,5 cm al 0,3%

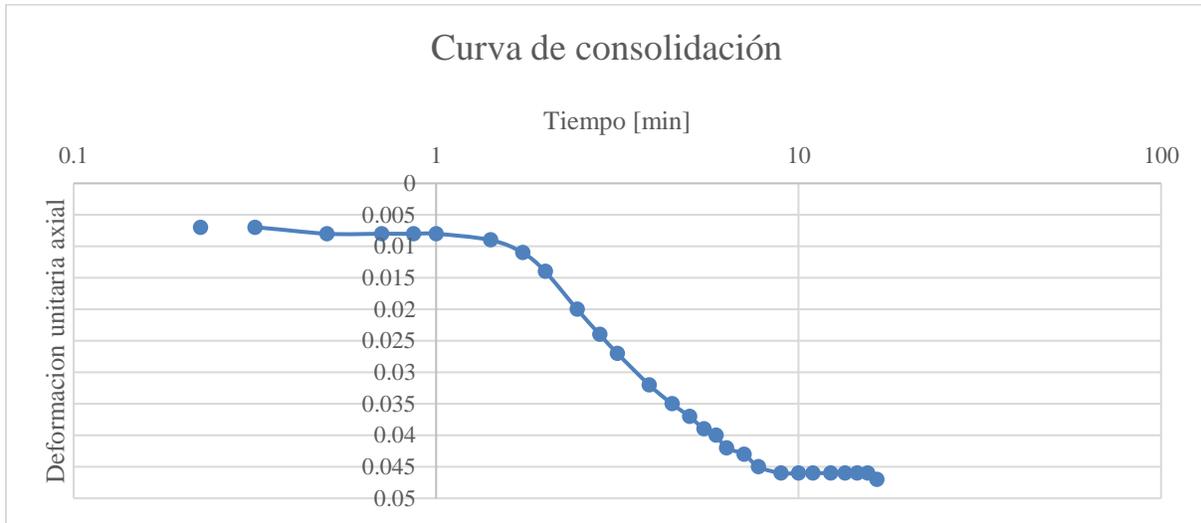


Figura 55. Curva de consolidación material con adición de 1,5 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

Material con adición de 1,5 cm al 0,5%

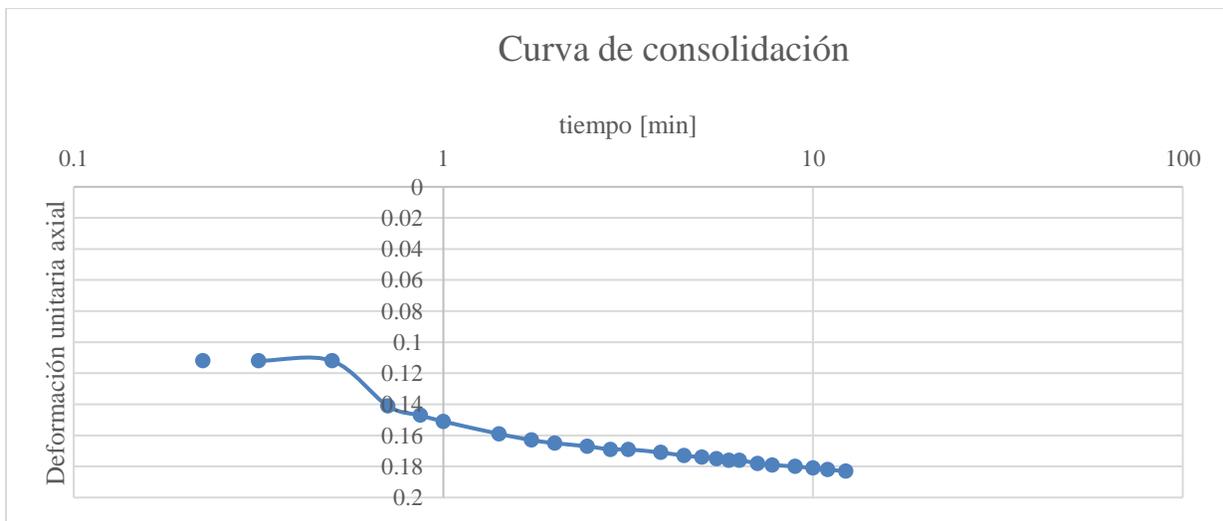


Figura 56. Curva de consolidación material con adición de 1,5 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de corte directo para material sin adición

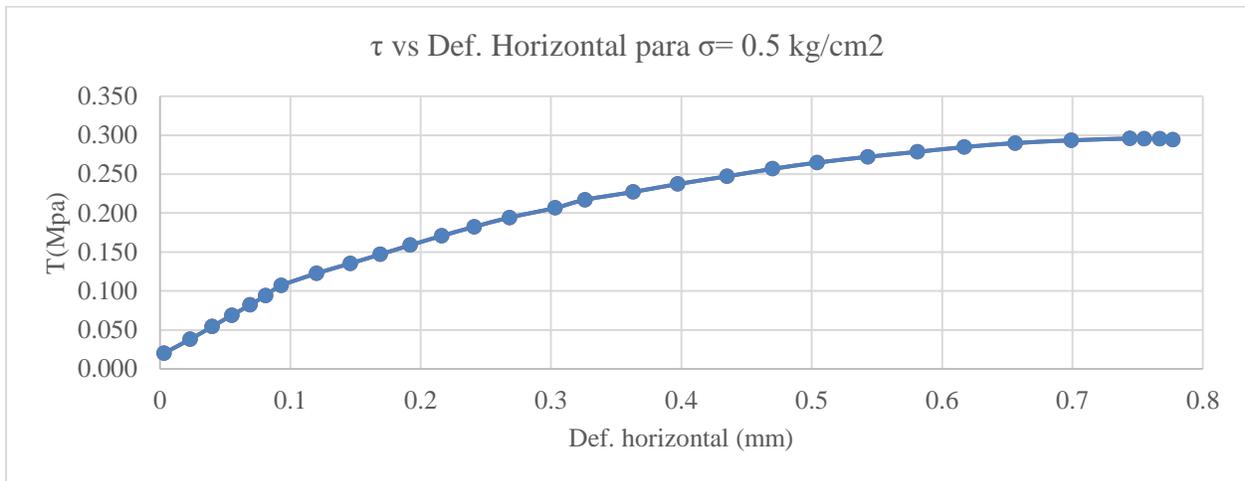


Figura 57. Ensayo de corte directo grafica T vs deformación horizontal para $\sigma = 0.5 \text{ kg/cm}^2$, material sin adición

Fuente: Elaboración propia

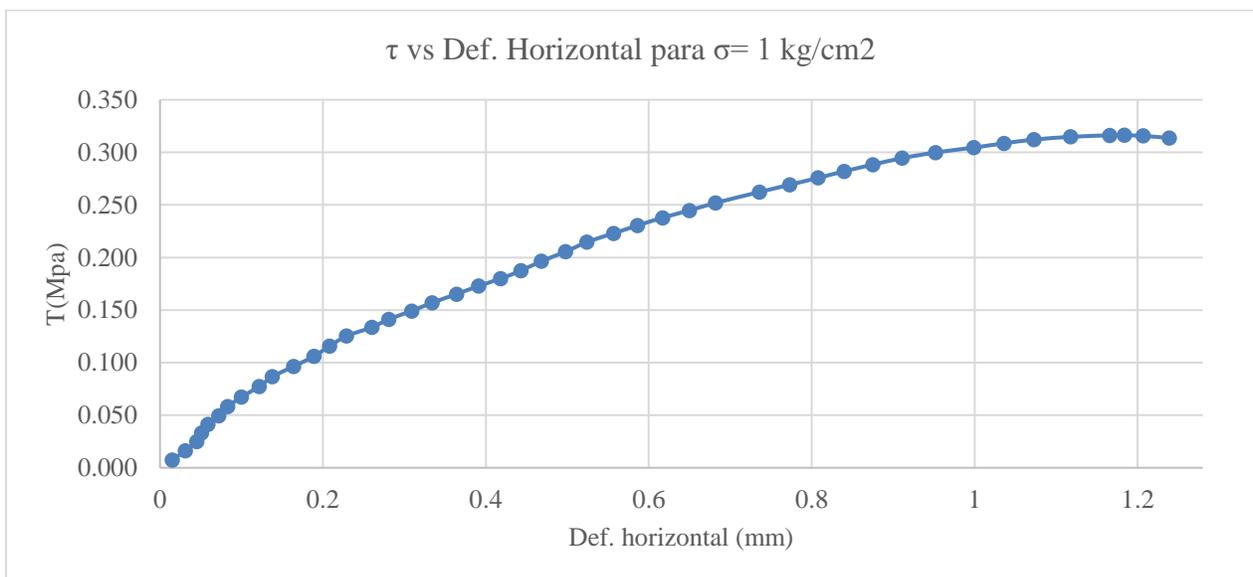


Figura 58. Ensayo de corte directo grafica T vs deformación horizontal para $\sigma = 1 \text{ kg/cm}^2$, material sin adición

Fuente: Elaboración propia

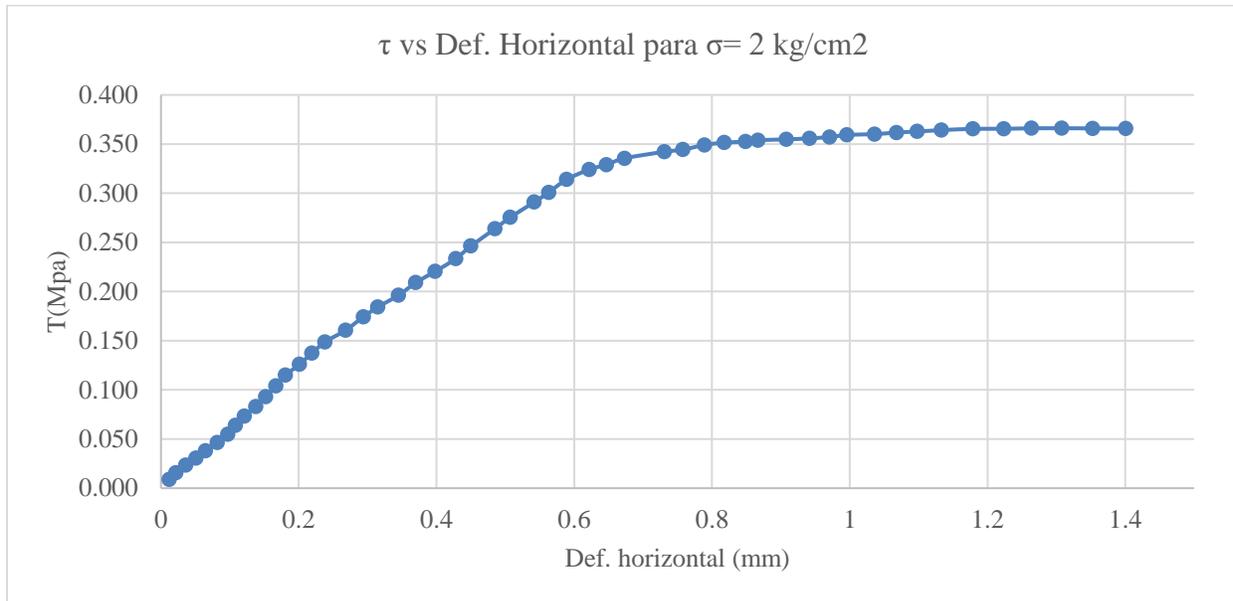


Figura 59. Ensayo de corte directo grafica T vs deformación horizontal para $\sigma = 2 \text{ kg/cm}^2$, material sin adición

Fuente: Elaboración propia

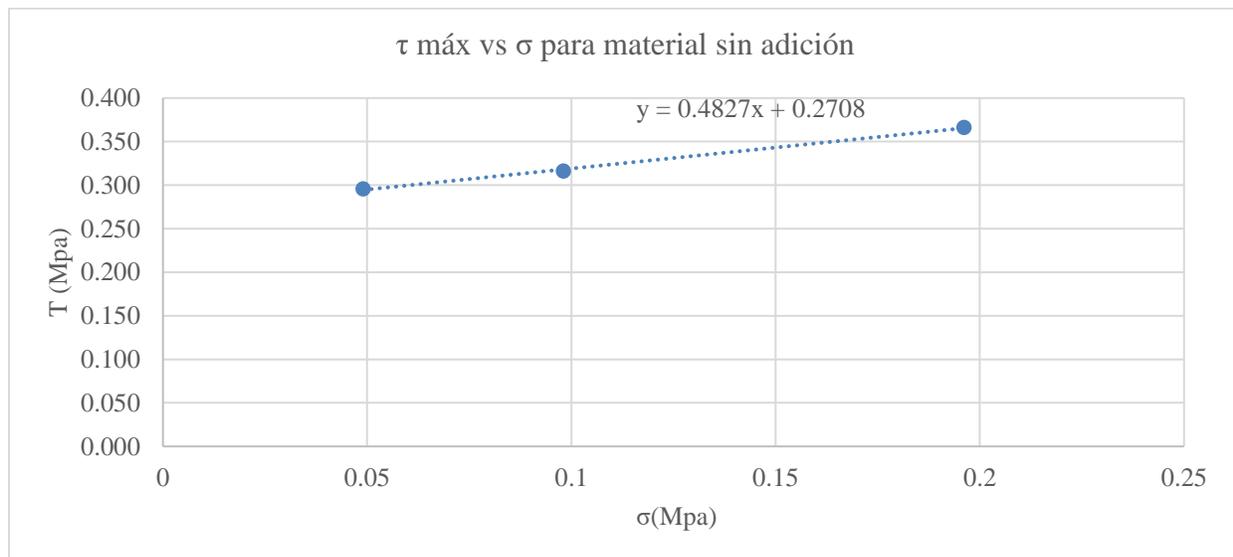


Figura 60. Gráfica τ máx vs σ para material sin adición

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de corte directo para material con adición de 1 cm al 0,3%

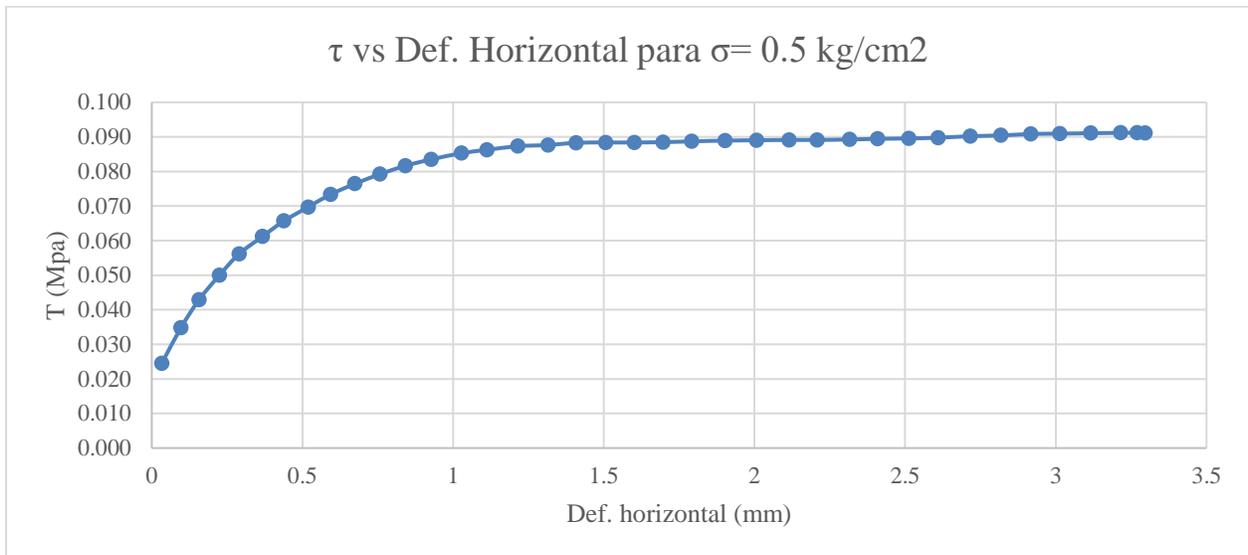


Figura 61. Ensayo de corte directo grafica T vs deformación horizontal para $\sigma=0,5 \text{ kg/cm}^2$, material con adición de 1 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

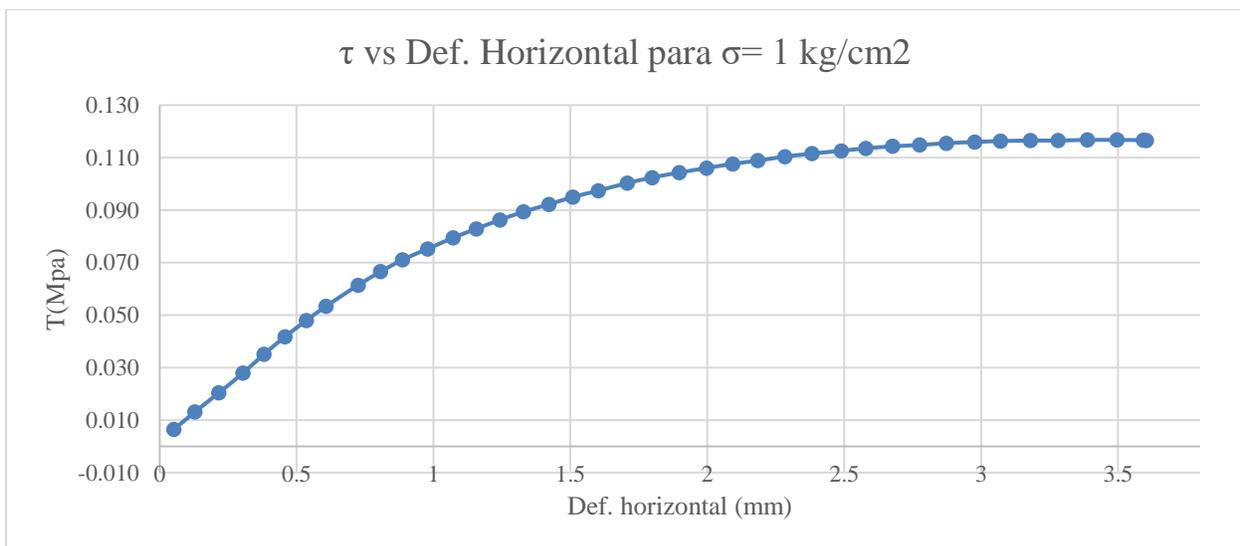


Figura 62. Ensayo de corte directo grafica T vs deformación horizontal para $\sigma= 1\text{kg/cm}^2$, material con adición de 1 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

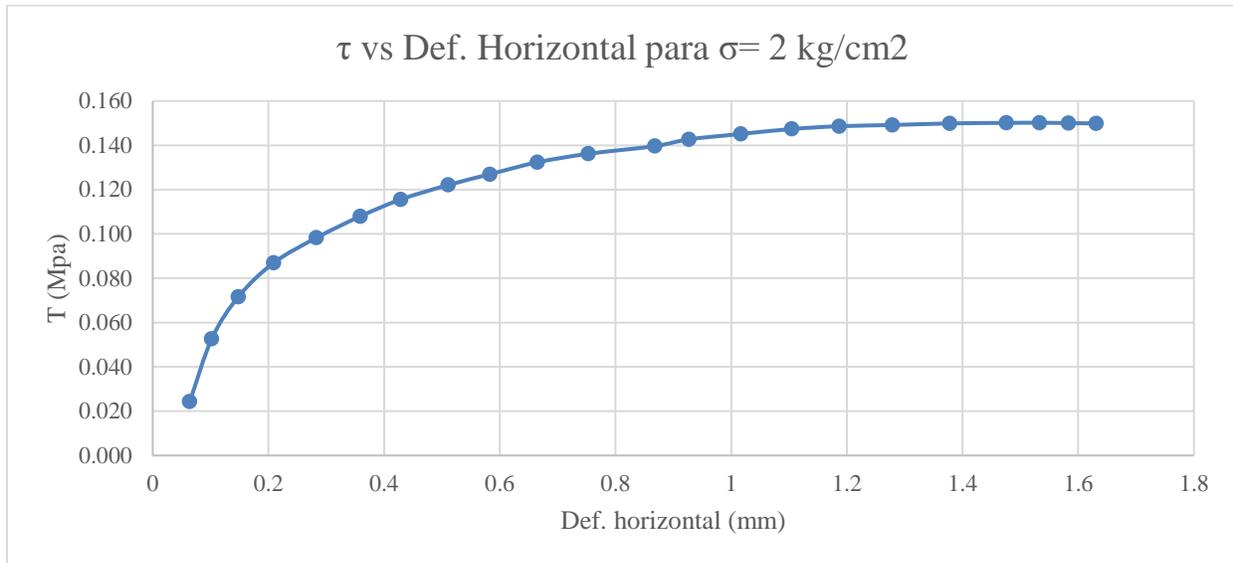


Figura 63. Ensayo de corte directo grafica T vs deformación horizontal para $\sigma = 2 \text{ kg/cm}^2$, material con adición de 1 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

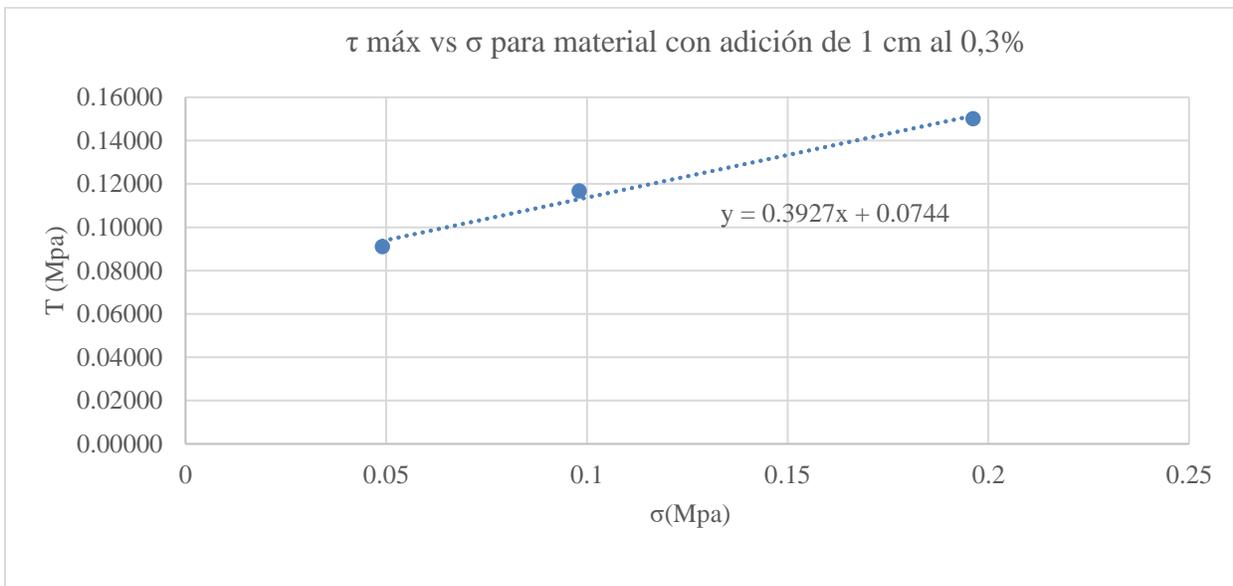


Figura 64. Gráfica τ máx vs σ para material con adición de 1 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de corte directo para material con adición de 1 cm al 0,5%

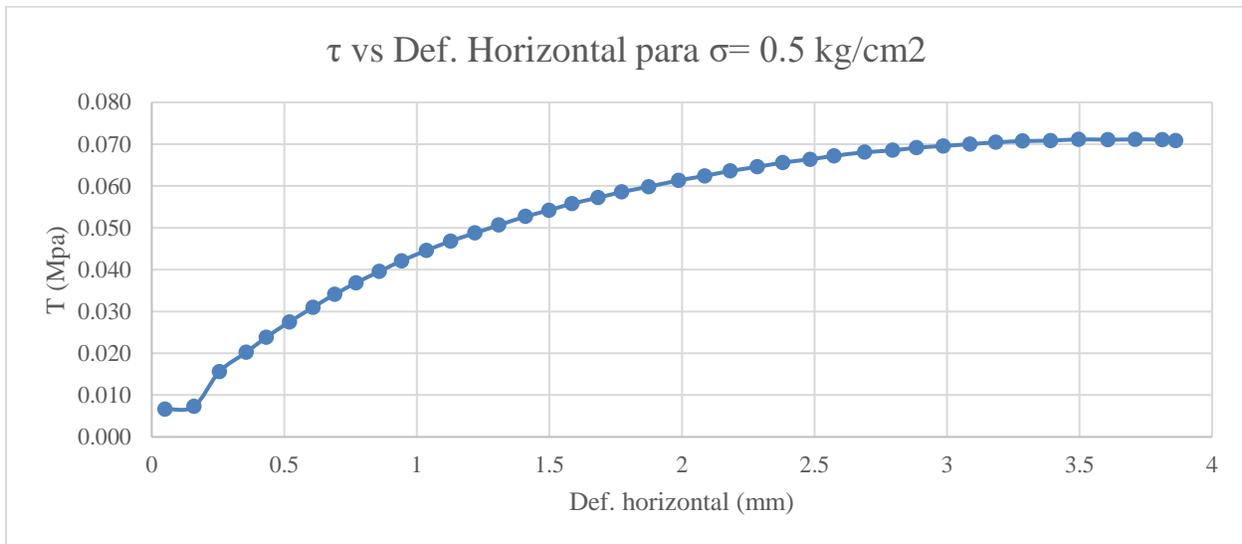


Figura 65. Ensayo de corte directo grafica T vs deformación horizontal para $\sigma = 0,5 \text{ kg/cm}^2$, material con adición de 1 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

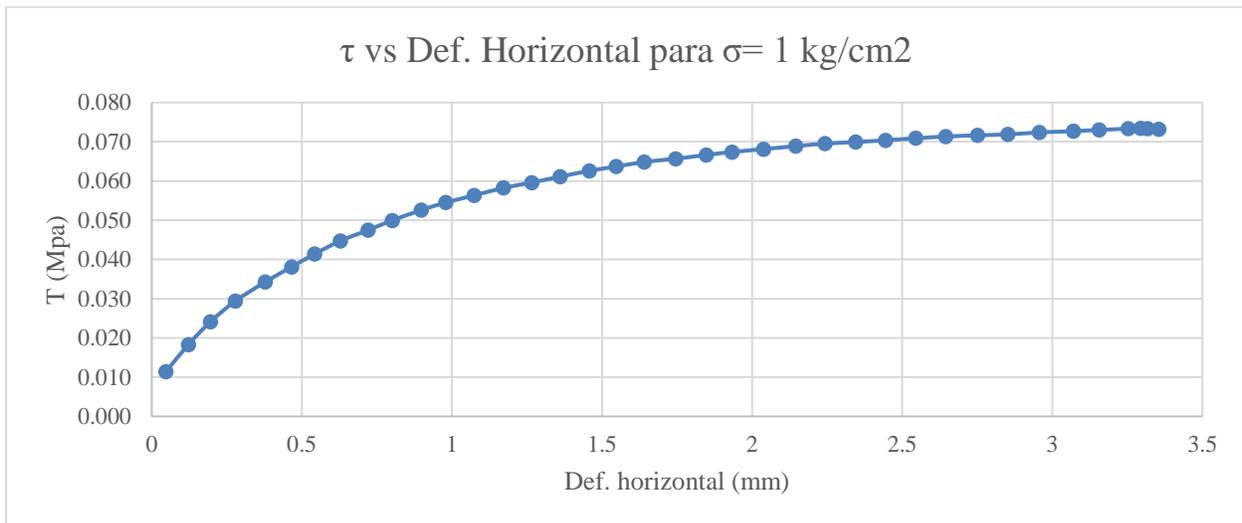


Figura 66. Ensayo de corte directo grafica T vs deformación horizontal para $\sigma = 1 \text{ kg/cm}^2$, material con adición de 1 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

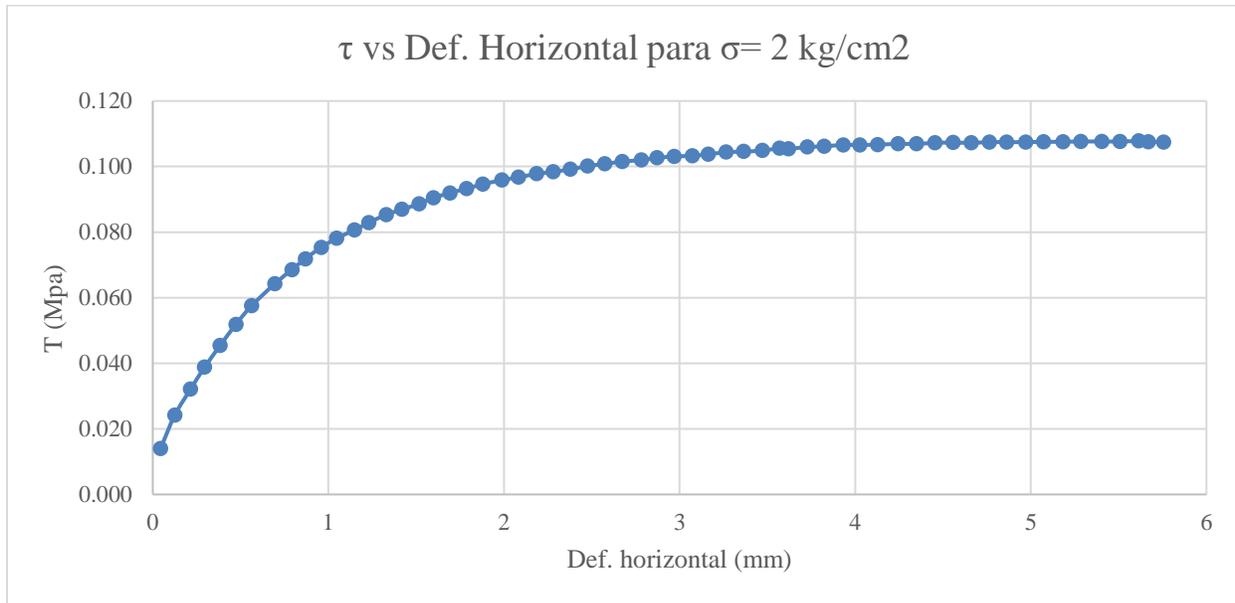


Figura 67. Ensayo de corte directo grafica T vs deformación horizontal para $\sigma = 2 \text{ kg/cm}^2$, material con adición de 1 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

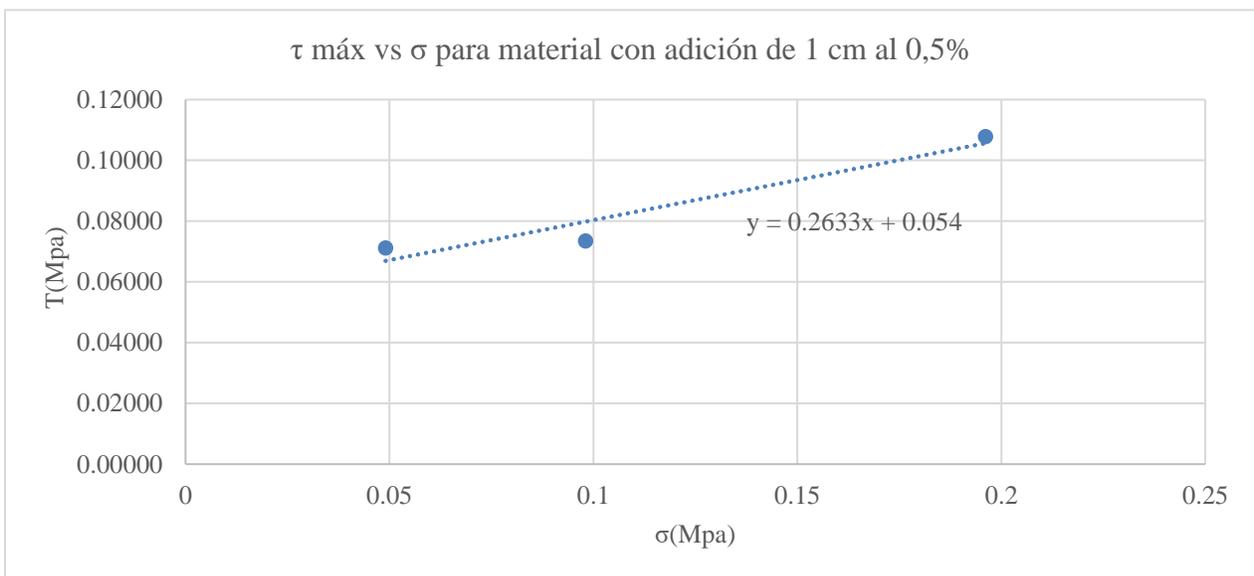


Figura 68. Gráfica τ máx vs σ para material con adición de 1 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de corte directo para material con adición de 1,5 cm al 0,3%

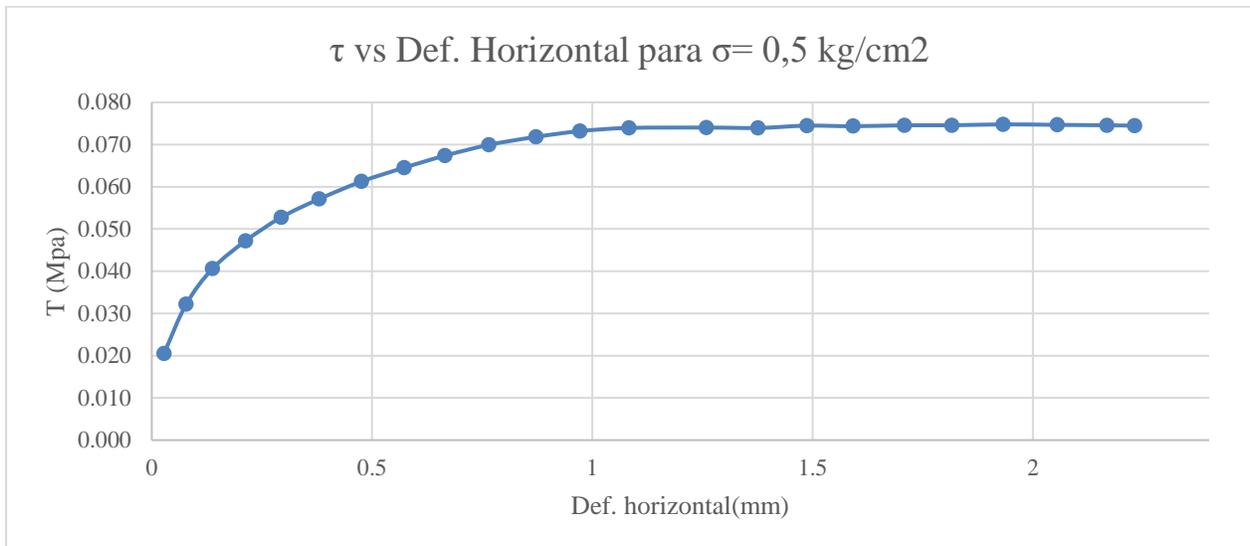


Figura 69. Ensayo de corte directo grafica T vs deformación horizontal para $\sigma = 0,5 \text{ kg/cm}^2$, material con adición de 1,5 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

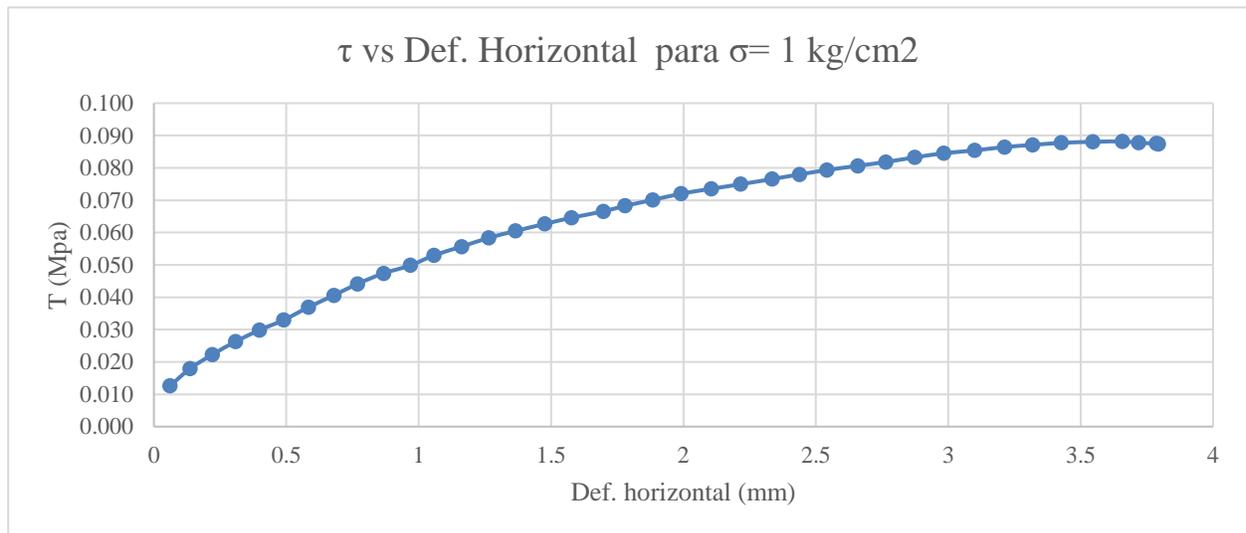


Figura 70. Ensayo de corte directo grafica T vs deformación horizontal para $\sigma = 1 \text{ kg/cm}^2$, material con adición de 1,5 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

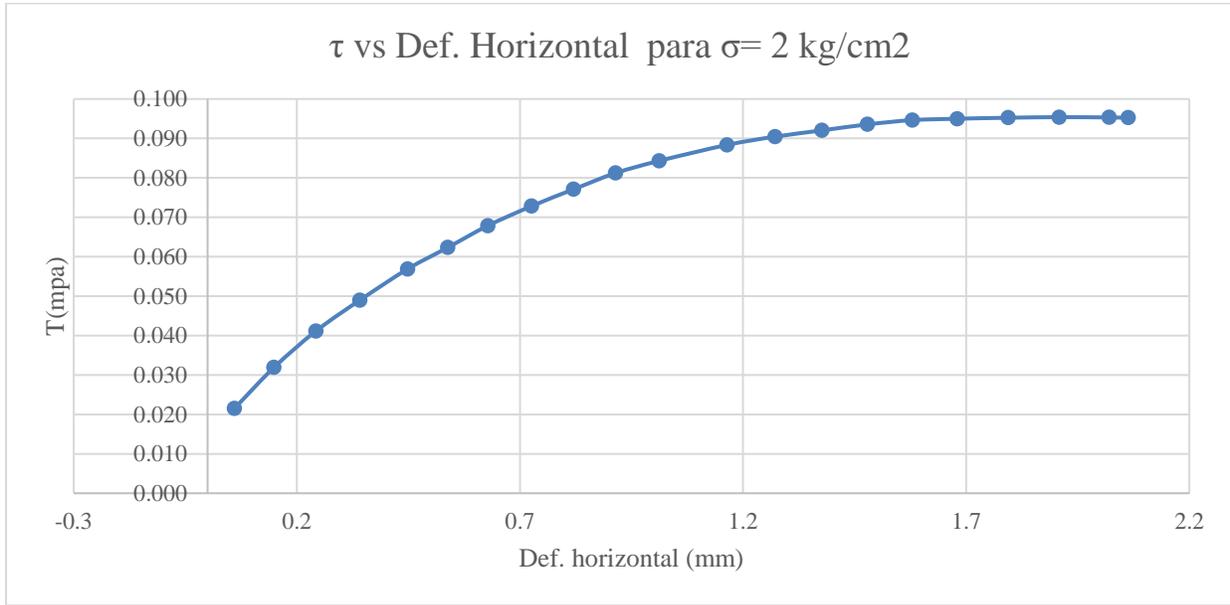


Figura 71. Ensayo de corte directo grafica T vs deformación horizontal para $\sigma=2 \text{ kg/cm}^2$, material con adición de 1,5 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

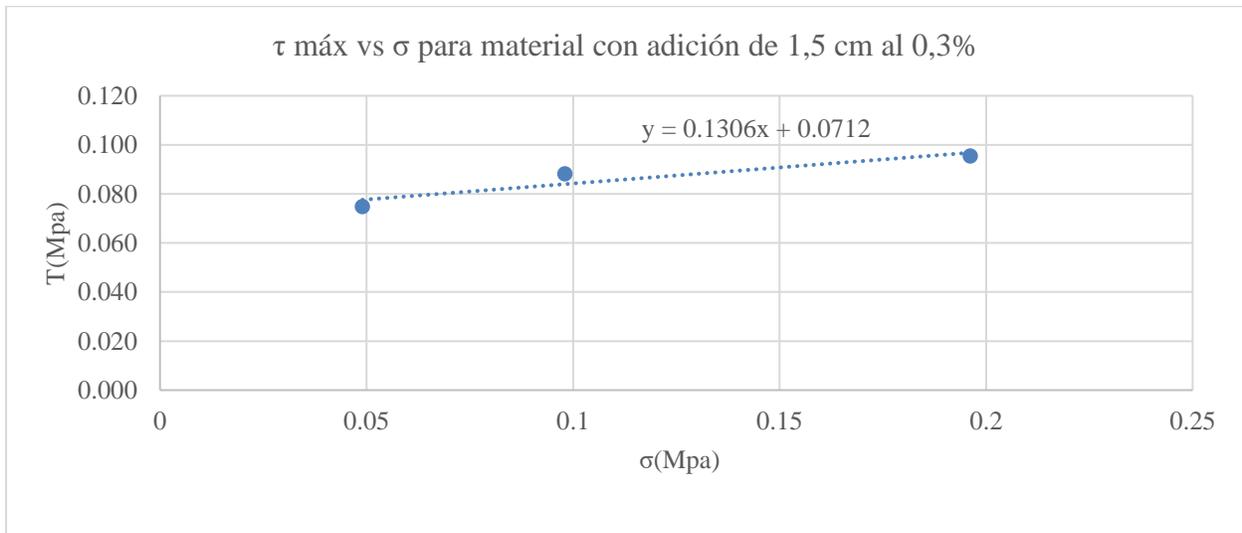


Figura 72. Gráfica τ máx vs σ para material con adición de 1,5 cm al 0,3%

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de corte directo para material con adición de 1,5 cm al 0,5%

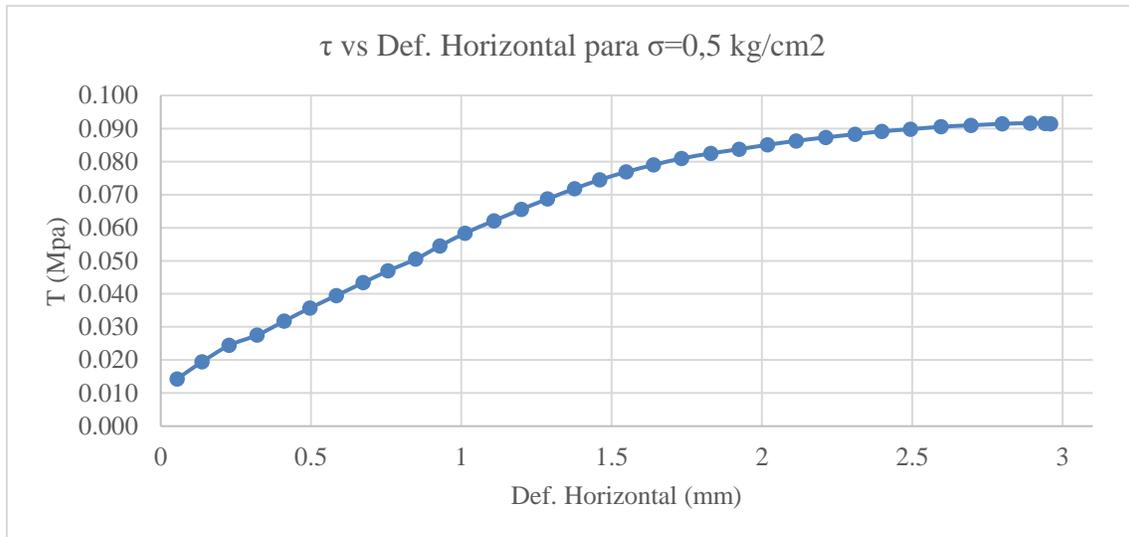


Figura 73. Ensayo de corte directo grafica T vs deformación horizontal para $\sigma=0,5 \text{ kg/cm}^2$, material con adición de 1,5 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

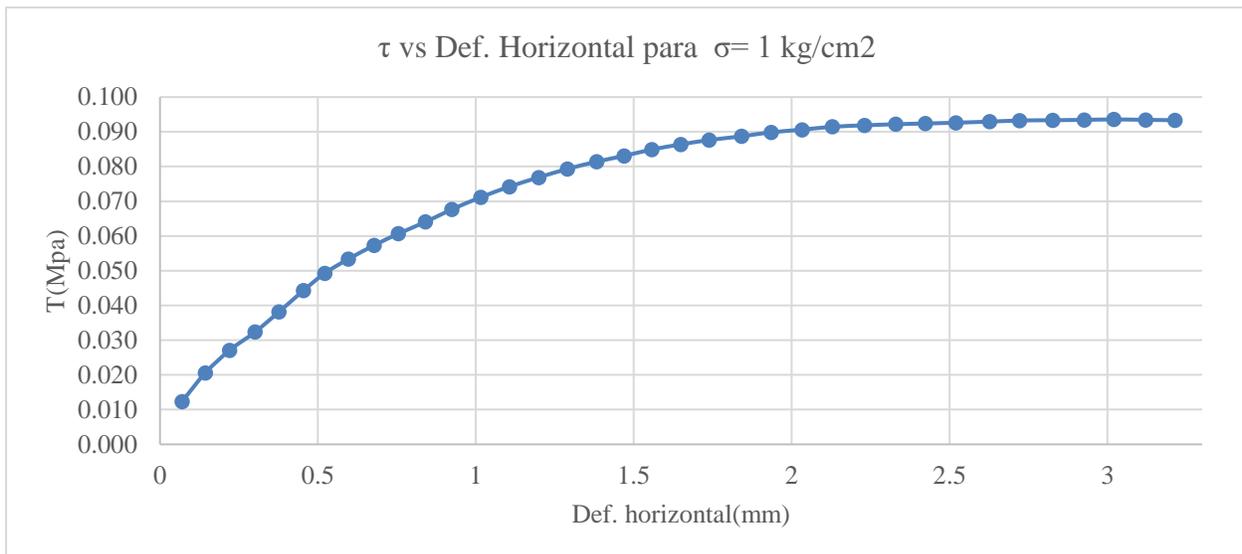


Figura 74. Ensayo de corte directo grafica T vs deformación horizontal para $\sigma=1 \text{ kg/cm}^2$, material con adición de 1,5 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

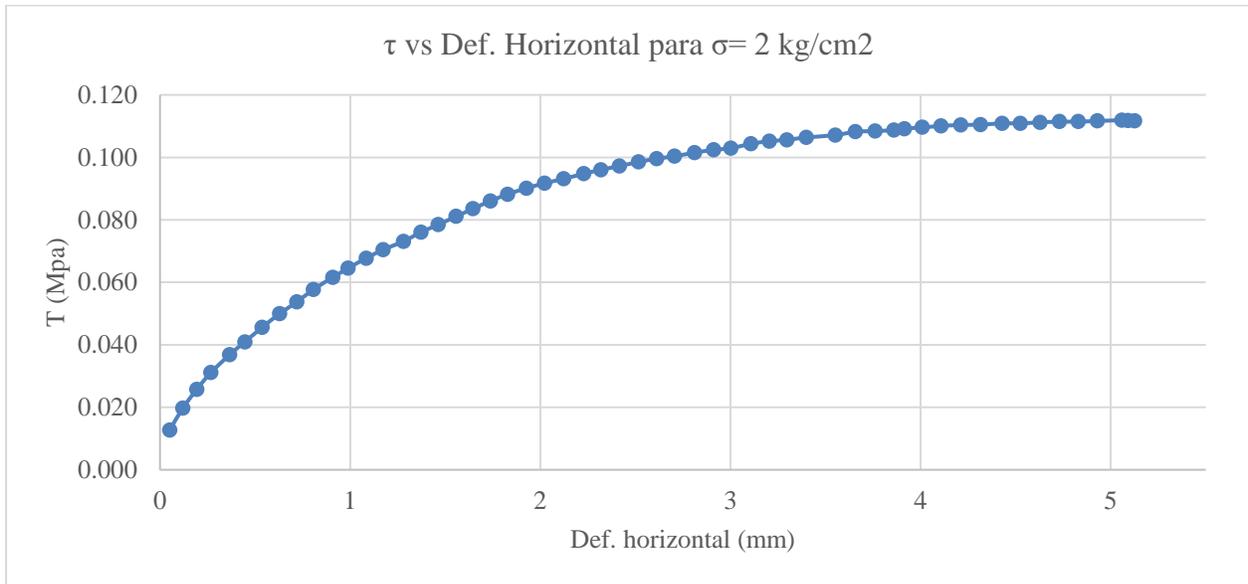


Figura 75. Ensayo de corte directo grafica T vs deformación horizontal para $\sigma=2 \text{ kg/cm}^2$, material con adición de 1,5 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia

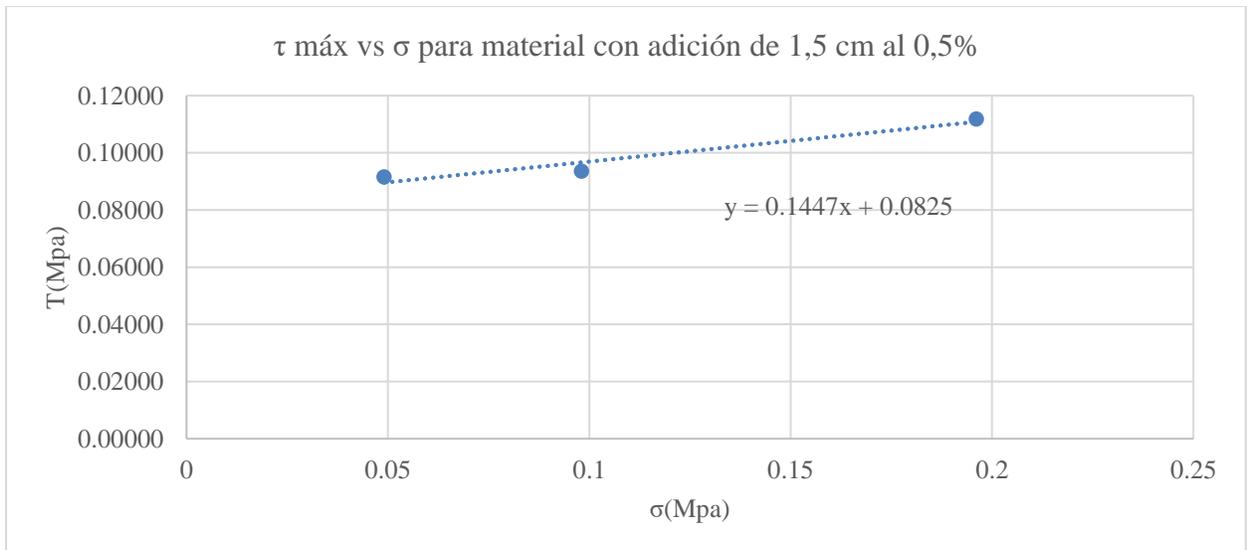


Figura 76. Gráfica τ máx vs σ para material con adición de 1,5 cm al 0,5%

Fuente: Elaboración propia