

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE SUELO
ESTABILIZADO CON CEMENTO O CAL PARA ACABADOS LUCIDOS DE
PAREDES, LOSAS DE PISO Y TECHOS DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO.**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR

Delgado González, Tábbata
Meza Lugo, Andreina

PROFESOR GUÍA

Ing. Echezuria, Heriberto.

Caracas, Junio de 2019



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE SUELO
ESTABILIZADO CON CEMENTO O CAL PARA ACABADOS LUCIDOS DE
PAREDES, LOSAS DE PISO Y TECHOS DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO.

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: Dieciocho (18).

JURADO EXAMINADOR

Firma: [Firma] .. Firma: [Firma] .. Firma: [Firma]
Nombre: Gustavo B... Nombre: Angelo Marinilli Nombre: Heriberto Echezurria

Realizado por:

Delgado González, Tábbata
Meza Lugo, Andreina

Profesor guía:

Ing. Echezuria, Heriberto.



Caracas, junio de 2019

Dedicatoria

A mis padres, por siempre brindarme una excelente educación, por siempre estar para mí, por apoyarme incondicionalmente, por creer en mí, por hacer muchos esfuerzos para yo llegar a donde estoy hoy y por todo el amor que me dan.

A mi hermano Daniel por apoyarme y darme ánimos cuando lo necesito.

A mi tía Lourdes Adriana, por acompañarme a lo largo de este camino, consentirme y mantenerse presente en todo momento.

A todos mis amigos por estar a mi lado en este importante trayecto desde su propio espacio.

Tábbata Delgado

Dedicatoria

Este Trabajo Especial de Grado es dedicado especialmente a mis padres, que han sido apoyo incondicional a lo largo de esta carrera y durante mi vida. Por esforzarse en todo momento para lograr formar un buen ser humano y la gran profesional que aspiro ser.

A todos aquellos que me apoyaron en el camino y siguen presentes en la lejanía.

Andreina Meza

Agradecimientos

A Dios por ser nuestra base, por darnos fortaleza cuando más lo necesitamos y ayudarnos a lograr esta meta tan grande.

A nuestro tutor Heriberto Echezuria por brindarnos esta oportunidad de realizar tan interesante investigación.

Al profesor Hugo Pérez Ayala y al Sr. Villegas por habernos brindando su apoyo incondicional en el Laboratorio de Suelos de la UCAB.

A las profesoras Antonietta Melone y Maria Isabel López por su colaboración y dedicación en recibirnos para aclarar temas que no estaban a nuestro alcance.

Al Laboratorio de Química de la UCAB que en compañía de la profesora Antonietta Melone y el Sr. Orestes nos brindaron apoyo en las prácticas y ensayos necesarios para culminar nuestro TEG.

Por último, a nuestra casa de estudios por formarnos como profesionales.

Índice General

Dedicatoria.....	I
Dedicatoria.....	I
Agradecimientos.....	II
Índice General.....	III
Índice de Gráficas.....	VI
Índice de Ilustraciones.....	VII
Índice de Tablas.....	VIII
Introducción.....	IV
Capítulo I.....	1
• 1.1 Planteamiento del problema.....	1
• 1.2 Antecedentes.....	1
1.2.1 Suelo Cemento.....	1
1.2.2 Suelo Cal.....	2
1.2.3 Sábila.....	3
• 1.3 Alcance y Limitaciones.....	3
• 1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	4
Capítulo II.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
• 2.1 Mejoramiento o Estabilización de Suelos.....	5

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE SUELO
ESTABILIZADO CON CEMENTO O CAL PARA ACABADOS LUCIDOS DE
PAREDES, LOSAS DE PISO Y TECHOS DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO.

2.2 Estabilización de suelos con cal:	6
• 2.3 Suelo Cemento	7
• 2.4 Sábila	8
• 2.5 Capacidad de intercambio catiónico de las arcillas	8
• 2.6 Revestimiento y acabados en paredes, losas de piso y techos	10
2.6.1 Los Frisados (frisos bases)	10
2.6.2 Enlucidos o acabados (frisos finos o acabados)	11
• 2.7 Hidratación del cementante	12
• 2.8 Curado de la mezcla	13
• 2.9 Trabajabilidad de la mezcla	14
• 2.10 Decantación	14
• 2.11 Relación agua/cementante real y aparente	14
• 2.12 Compresión simple o no confinada	14
• 2.13 Tipos de rotura	15
• 2.14 Ley de Stokes	15
Capítulo III	16
MARCO METODOLÓGICO	16
.....	18
Capítulo IV	19
DESARROLLO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	19
• 4.1 Resultados de ensayos característicos del material	19
4.1.1 Composición granulométrica por tamizado	19
4.1.2 Granulometría por Hidrómetro	20

4.1.3 Gravedad Específica de Suelos	20
4.1.4 Límites de Consistencia	21
• 4.2 Ensayo a Compresión Simple.....	22
4.2.1 Frisos Convencionales.....	24
4.2.2 Suelo Limoso Arcilloso Tipo 1	25
.....	27
4.2.3 Suelo Limoso Arcilloso tipo 2 con adición de Gel de Sábila.....	27
4.2.4 Suelo Arenoso con adición de Gel de Sábila	29
4.4 Suelo sin adición del Gel de Sábila.....	31
4.4.1 Suelo Limoso Arcilloso tipo 2	31
4.4.3 Suelo Arenoso	34
4.4.4 Consistencia del suelo	35
4.4.5 Fallas	36
• 4.7 Disgregabilidad.....	38
Conclusiones.....	39
Recomendaciones	41
Bibliografía.....	42
Anexos.....	44
• A-1 Ensayos Característicos realizados para los materiales.....	44
• A-1.1 Granulometría por Tamices	44
• A-1.2 Granulometría por hidrómetro.....	44
• A-1.3 Gravedad Específica de los componentes del suelo	45
• A-1.4 Gravedad Específica suelo limoso arcilloso tipo 1.....	45

• A-1.5 Decantación: Ley de Stokes	46
• A-1.6 Límites de Atterberg	46
A-1.6.1 Límite Líquido	46
A-1.6.2 Límite Plástico	47
A-1.6.3 Índice de Plasticidad	48
• A-2 Resistencia a la Compresión Simple	49
A-2.1 Suelo Limoso Arcilloso tipo 1, cemento 1%	49
A-2.2 Suelo Limoso Arcilloso tipo 1, cemento 4%	50
A-2.3 Suelo Limoso Arcilloso tipo 1, Cal 1%	51
A-2.4 Suelo Limoso Arcilloso tipo 1, Cal 4%	52
A-2.5 Suelo Limoso Arcilloso tipo 2, cemento 1%	53
A-2.6 Suelo Limoso Arcilloso tipo 2, cemento 4%	54
A-2.7 Suelo Limoso Arcilloso tipo 2, cal 1%	55
A-2.8 Suelo Limoso Arcilloso tipo 2, cal 4%	56
A-2.9 Suelo Arenoso, cemento 1%	57
A-2.10 Suelo Arenoso, cemento 4%	58
A-2.11 Suelo Arenoso, cal 1%	59
A-2.12 Suelo Arenoso, cal 4%	60

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Curva Granulométrica del suelo estudiado.....	19
Gráfica 2. Ensayo de Hidrometría del suelo estudiado.	20
Gráfica 3. Frisos Convencionales.....	25
Gráfica 4. Suelo Limoso Arcilloso tipo 1, ce 1% y 4%.....	26

Gráfica 5. Suelo Limoso Arcilloso tipo 1, cal 1% y 4%.	27
Gráfica 6. Suelo Limoso Arcilloso tipo 2, ce 1% y 4%.....	28
Gráfica 7. Suelo Limoso Arcilloso tipo 2, cal 1% y 4%.	28
Gráfica 8. Suelo Arenoso con cal 1% y 4%.	30
Gráfica 9. Suelo Arenoso con cemento 1% y 4%.....	30
Gráfica 10. Suelo Limoso Arcilloso tipo 2, ce 1% y 4%.....	32
Gráfica 11. Suelo Limoso Arcilloso tipo 2, cal 1% y 4 %.	33
Gráfica 12. Suelo Arenoso con cemento 1% y 4%.....	34

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Ión Sodio Hidratado. Fuente: Ayala (2017)	9
Ilustración 2. Proporciones para Mezclas de Morteros para Frisado. Fuente: Norma MOP 1962	11
Ilustración 3. Proporciones para Mezclas de Morteros para Enlucidos. Fuente: Norma MOP-1962	12
Ilustración 4. Ruptura del Enlace químico de la Molécula de agua. Fuente: Heredia (S/F) 13	
Ilustración 5. Tamices. Fuente: Propia.	17
Ilustración 6. Realización de mezclas. Fuente: Propia	17
Ilustración 7. Muestras. Fuente: Propia	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 8. Sedimentación. Fuente: Propia.	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 9. Muestras. Fuente: Propia.	18
Ilustración 10. Prueba de Disgregación. Fuente: Propia.	18
Ilustración 11. Falla Rígida. Fuente: Propia	36
Ilustración 12. Falla Rígida. Fuente: Propia	37
Ilustración 13. Falla Rígida. Fuente: Propia.	37

Índice de Tablas

Tabla 1. Capacidad de Intercambio Catiónico. Fuente: Heredia.....	10
Tabla 2. Frisos Convencionales.....	24
Tabla 3. Compresión Simple Suelo Limoso Arcilloso Tipo 1.	25
Tabla 4. Compresión Simple Suelo Limoso Arcilloso Tipo 2.	27
Tabla 5. Compresión Simple Suelo Arenoso.	29
Tabla 6. Compresión Simple Suelo Limoso sin gel de Sábila con cemento.	31
Tabla 7. Compresión Simple Suelo Limoso Arcilloso sin gel de Sábila con cal.	33
Tabla 8. Compresión Simple Suelo Arenoso sin gel de Sábila con cemento.	34
Tabla 9. Consistencia del Suelo.....	35

Introducción

El presente Trabajo de Grado tiene como objetivo, evaluar las propiedades mecánicas del suelo estabilizado con cemento o cal con diferentes granulometrías e índice de plasticidad aplicables para acabados lucidos de paredes, losas de piso y techos para viviendas de bajo costo. Esto se logra realizando inicialmente ensayos para el estudio del suelo y una vez conocidas sus características se procede a la gradación del material a utilizar, este será tamizado en tres fracciones: completa, media y fina. Considerando la fracción completa como el pasante del Tamiz #4, la fracción media como lo retenido en el Tamiz #200 y la fracción fina como el pasante del Tamiz #200, de acuerdo con las normas COVENIN 277 y ASTM C33.

El índice de plasticidad viene dado por la diferencia entre el Límite Líquido y el Límite Plástico. Para el ensayo de Límite Líquido se hace uso del Equipo de Casagrande, aplicando una cantidad de golpes a cada mezcla cuarteada sobre la Copa de Casagrande hasta observar la unión de ambos lados del cuarteo, se extrae la parte de la muestra con unión, se pesa y se seca en el horno. El Procedimiento se realiza para mezclas con diferentes estados de humedad. Para el ensayo de Límite Plástico se hace uso de un vidrio o una superficie totalmente lisa para amasar cada muestra formando tiras en forma de tabacos, a medida que se resquebrajen se separa, se pesan y se secan al horno.

Las mezclas estabilizadas se realizaron variando las proporciones de cementantes de 1% al 5% con respecto al peso de la muestra, con sábila y sin sábila. Las mismas se prepararán en briquetas de pvc de 2" de diámetro con 4" de altura. Se dejarán en curado para posteriormente realizar las pruebas físicas a la edad de 28 días.

Capítulo I

1.1 Planteamiento del problema

Venezuela actualmente está atravesando un periodo de crisis que ha disminuido notablemente la construcción de viviendas, debido al encarecimiento y escasez de los materiales para llevar a cabo las obras planificadas de manera convencional, como el concreto reforzado, acero y elementos de mampostería.

Debido a esto, se desea proponer mezclas de suelo estabilizado, fuera de lo convencional, para la construcción de viviendas de bajo costo de una forma artesanal con la misma resistencia y acabado que se requiere, con materiales como arcilla, arena, cal, cemento y sábila. De esta manera cualquier persona puede tener acceso a una vivienda digna con el sistema antes mencionado. Esta mezcla de suelo estabilizado con cemento o cal estará limitada para el acabado de paredes, losas de piso, techos y adobes de mampostería para construcción de paredes. Específicamente las paredes y el techo tendrán acabados impermeables de suelo estabilizado con cemento o cal para evitar la filtración de agua.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Suelo Cemento

A partir de la revisión bibliográfica se encontraron diferentes estudios y experimentos que permiten tener referencia acerca de los resultados a esperar con este estudio, a continuación se presentan los más relevantes con relación directa con la presente investigación:

Diseño y construcción de un muro confinado de bloques aligerados, presentado ante la Universidad Central de Venezuela por Fernández y Valera en Noviembre de 2012, que consistió en la elaboración de bloques para la construcción de un paño de mampostería, pilas de tres bloques y muretes casi cuadrados donde se determinaron las propiedades mecánicas del muro construido. Éste fue sometido a un ensayo bajo cargas alternantes. El sistema constructivo con suelo-cemento es sencillo abriendo la posibilidad para que

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE SUELO
ESTABILIZADO CON CEMENTO O CAL PARA ACABADOS LUCIDOS DE
PAREDES, LOSAS DE PISO Y TECHOS DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO.

comunidades de bajos recursos o de ubicación geográfica aislada, fabriquen sus propias viviendas en procesos de autogestión.

También en la *Factibilidad de utilización de un aditivo en los diseños de mezcla de suelo-cemento para la fabricación de bloques*, presentado ante la Universidad Central de Venezuela por Rondón y Sánchez en Diciembre de 2017, donde se elaboraron mezclas de suelo cemento, con distintas dosificaciones de aditivos para uso y fabricación de bloques. Se realizaron pruebas de campo y de laboratorio, ensayos de resistencia y durabilidad (compresión, flexión, erosión por cepillo y absorción). Los resultados obtenidos en este trabajo dieron a conocer que las mezclas con suelo-cemento (10%) –cal (3%) y suelo-cemento (12%) se comportaron mejor, desde el punto de vista de resistencia y durabilidad, y se consideraron las más adecuadas para su aplicación en la elaboración de bloques. Sin embargo, como la diferencia de valores obtenidos no es tan representativa, la selección de una u otra, dependerá más de la situación del mercado de la construcción, la disponibilidad y precio de los materiales y del entorno de la obra a realizar.

1.2.2 Suelo Cal

Se revisó la bibliografía sobre la estabilización de suelos con cal y se encontró que en general el suelo-cal es aplicable en pavimentos, como lo indica el trabajo de grado realizado por Alexandra Stoddart Realizado en 2010 Presentado para la Universidad Católica Andrés Bello, Titulado *Adecuación y Actualización de los apuntes para la cátedra de pavimentos*, donde se explica que los suelos pueden ser estabilizados con cal, la cual reduce las características plásticas de los mismos, haciéndolos más friables, aumentando relativamente su valor soporte y reduciendo la susceptibilidad al agua de los suelos cohesivos. Es posible mezclar la cal con otros materiales dando como resultado sistemas mixtos de estabilización. De la misma manera la cal facilita la pulverización de los suelos, pudiendo así ser utilizada para asistir en esta fase de la estabilización de los suelos con cemento. La estabilización con cal se realiza siempre sobre la vía, empleando el procedimiento que se utiliza para la estabilización con cualquier otro material.

Igualmente en el Trabajo de Grado realizado por Nohelia Guillen presentado ante la Universidad José Antonio Páez, en Enero de 2013, titulado *Formulación de propuestas para la Adecuación de Pavimento y Sistema de recolección de aguas de lluvia en el área de estacionamiento de la empresa RESIMON, C.A*, indica que se utilizó un tipo de base para el pavimento tratada con cal.

1.2.3 Sábila

A partir de la revisión bibliográfica se encontraron diferentes estudios y experimentos que permiten tener referencia acerca de los resultados a esperar con este estudio, a continuación se presentan los más relevantes con relación directa con la presente investigación:

Evaluación de agentes orgánicos como inhibidores de corrosión en un sistema de flujo continuo, presentado ante la Universidad Central de Venezuela en 2015 por Bárbara Hernández y Amanda Urdaneta. En este estudio se utilizó el gel de sábila como inhibidor orgánico, dando como resultado un mejor desempeño en comparación al resto de los inhibidores orgánicos. Los inhibidores orgánicos trabajan a través de las pectinas, las cuales son coloides que tienen la propiedad de absorber una gran cantidad de agua, pertenecen al grupo de los polisacáridos y se encuentran en la mayoría de los vegetales especialmente en los frutos cítricos.

1.3 Alcance y Limitaciones

El siguiente Trabajo Especial de Grado va destinado a la evaluación del comportamiento de suelo estabilizado con cemento o cal para la elaboración de paredes, losas de piso, y techos en viviendas de bajo costo.

La impermeabilidad en paredes, losas de piso y techos se estudió al agregarle a la mezcla de suelo estabilizado con cemento o cal y una porción de sábila que actúa como un material que evita filtraciones.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Evaluar las propiedades mecánicas de suelo estabilizado con cemento o cal con diferentes granulometrías e índice de plasticidad aplicables para acabados lucidos de paredes, losas de piso y techos para viviendas de bajo costo.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Establecer la resistencia de la mezcla de suelo estabilizado con cemento o cal y sábila para acabados lucidos de losas de piso, paredes y base de techos.
- Establecer la disgregabilidad de las mezclas de suelo estabilizado mediante su inundación en agua.

Capítulo II

MARCO TEÓRICO

Para comprender un poco más la temática abordada, es pertinente aclarar los conceptos básicos. A continuación, se presentan los fundamentos teóricos y diferentes conceptos que se consideran más relevantes con referencia a este trabajo especial de grado, para crear contexto acerca de los temas tratados:

2.1 Mejoramiento o Estabilización de Suelos

En la Geotecnia las frases mejoramiento y estabilización de un suelo, se utilizan a veces como sinónimos, aunque técnicamente no lo son.

De acuerdo a la literatura de José Vicente Heredia sobre el Mejoramiento químico y electroquímico de suelos, pág. 8, el mejoramiento de un suelo consiste en obtener el mejor desempeño de este, para diferentes propiedades geomecánicas, como puede ser: compactarlo para aumentar su resistencia o disminuir las deformaciones, seleccionarlo o tamizarlo para obtener mezclas mal gradadas y así aumentar su permeabilidad, por el contrario, mezclas bien gradadas para disminuir el flujo de agua a través de ellos.

En la mayoría de los casos las acciones mecánicas, estáticas o dinámicas no son suficientes y además del agua que es el catalizador universal, deben agregarse otras sustancias que faciliten el proceso como: estabilizantes químicos, bioquímicos, derivados del petróleo, polímeros, sales, soluciones salinas o aglomerantes como la cal y el cemento.

De acuerdo a la literatura de José Vicente Heredia sobre el Mejoramiento químico y electroquímico de suelos, pág 9, considera que sólo se estabiliza algo que ha perdido el equilibrio natural o que se encuentra en condición de equilibrio inestable. También es tratado lo que fue desestabilizado por fenómenos naturales o por acciones conscientes o no, provocadas por el hombre. Un suelo natural siempre tiene un equilibrio propio, hasta el momento que es afectado por cualquier obra de ingeniería, como pavimentos, terraplenes,

acueductos, edificaciones y presas. Las nuevas cargas o esfuerzos que actúan sobre el suelo producen deformaciones o asentamientos excesivos.

Cuando se hable de estabilizantes o mejoradores de suelos, se estará identificando a productos disponibles en el mercado, fabricados bajo patentes industriales o no, de origen químico, natural o mixto, que mezclados al suelo producen modificación de sus propiedades.

En este trabajo de grado el concepto de suelo estabilizado tiene como definición el mejoramiento del suelo mediante la estabilización química, ya que esta sucede cuando se le agregan aglomerantes como cal y cemento.

2.2 Estabilización de suelos con cal:

La estabilización del suelo cambia considerablemente las características de este, produciendo resistencia y estabilidad, en forma permanente.

Se debe tener en cuenta ciertas consideraciones que permiten seleccionar a la cal como un estabilizador apto para un suelo específico; como la granulometría y la plasticidad del suelo. La cal reaccionará con los suelos de mediana y alta plasticidad produciendo un decremento en el índice de plasticidad, aumento de trabajabilidad, disminución de expansión, y aumento de resistencia. Esta es utilizada para la estabilización de una gran variedad de suelos incluyendo los de baja resistencia, transformándolos en una superficie de trabajo. En general, los suelos arcillosos se consideran buenos candidatos para la estabilización, mientras que los suelos que contienen cantidades significativas de material orgánico pueden requerir mayor cantidad de cal y/o procedimientos de construcción especiales.

Según la literatura de José Vicente Heredia sobre el Mejoramiento químico y electroquímico de suelos, la cal es un cementante desde el punto de vista de la química más simple y con menor poder de endurecimiento. Esto indica que, no tienen igual comportamiento para la misma granulometría; de hecho, el control de calidad para un suelo

cemento se basa en su resistencia a la compresión y de un suelo cal, en su valor CBR (resistencia a la penetración) pero en este caso estudiaremos únicamente la resistencia a la compresión para ambos tipos de suelo.

2.3 Suelo Cemento

Es un material producto de una mezcla apropiada de suelo, cemento y agua, que se compacta y construye con determinadas técnicas y tiene un campo de aplicación muy amplio; es relativamente fácil de usar y los materiales que lo componen son económicos y muy abundantes.

Según las proporciones de cemento, suelo y agua que entren a formar parte en el suelo tratado con cemento se distinguen por su comportamiento real los tipos siguientes: suelo-cemento compactado, suelo-cemento, suelo-cemento plástico y suelo modificado con cemento.

En este trabajo de investigación utilizaremos el término suelo modificado con cemento, este se define como una mezcla, dura o semidura, íntima de suelo pulverizado, agua y pequeñas cantidades de cemento que se compacta. Por lo que se distingue del suelo-cemento compactado exclusivamente en la menor cantidad de cemento que se le adiciona. La cantidad de cemento en peso varía entre el 1 y 4%. Se utiliza principalmente cuando se requiere obtener mayor resistencia del suelo, aunque no muy alta, para compactar el terreno en condiciones más favorables y para hacer más impermeables determinados suelos.

En principio cualquier cemento puede utilizarse en la estabilización de los suelos. El cemento Portland normal tipo I permite a la mezcla alcanzar mayor resistencia, pues contiene mayor cantidad de aluminato tricálcico, este tipo de cemento fue utilizado en el presente trabajo de grado.

El tratamiento del suelo con cemento ha sido considerado como en las notas históricas de la ingeniería como un aporte importante al desarrollo tecnológico, ya que

permite ampliar considerablemente la utilización de casi todos los suelos como materiales de construcción.

2.4 Sábila

El aditivo botánico que se empleó en esta investigación es la sábila. Como es una planta que se desarrolla en medios áridos y semiáridos, esta absorberá gran cantidad de agua. Por esa razón, a la mezcla se le deberá agregar una mayor cantidad de agua, comparada con la cantidad necesaria para fabricar una pasta sin adiciones botánicas. Generalmente se recomienda usar porcentajes bajos con respecto al peso de la muestra entre 1 y 4%, esto según una investigación realizada por el Ing. Cesar Eduardo Celis Martínez, de la Universidad Marista de Querétaro, México, 2010. Titulada *Mejora en la durabilidad de materiales base cemento, utilizando adiciones deshidratadas de dos cactáceas*.

2.5 Capacidad de intercambio catiónico de las arcillas

Se relaciona con la acidez relativa (pH) del agua contenida en el suelo, si la solución es neutra (pH=7) la capacidad de intercambio de los minerales será: Kaolinita 3-8meq, Illita 40 meq y Montmorillonita 80 meq (meq por 100 gr de suelo). Si la solución es ácida (pH<7) se forman zonas con cargas positivas lo que reduce la capacidad de intercambio catiónico y transformando al mineral en bipolar. Si la solución es básica o alcalina (pH>7) los bordes se cargan negativamente y la capacidad de intercambio catiónico incrementa y los bordes se repelen con las caras. Según la literatura de José Vicente Heredia sobre el Mejoramiento químico y electroquímico de suelos.

Al dejar caer una partícula de arcilla en agua se forma una doble capa, donde el agua se encuentra atraída por la partícula por estar unida por iones intercambiables que también son atraídos por la partícula en su superficie. En la Ilustración 1 se muestra el cambio volumétrico en el ión Sodio (Na⁺) hidratado.

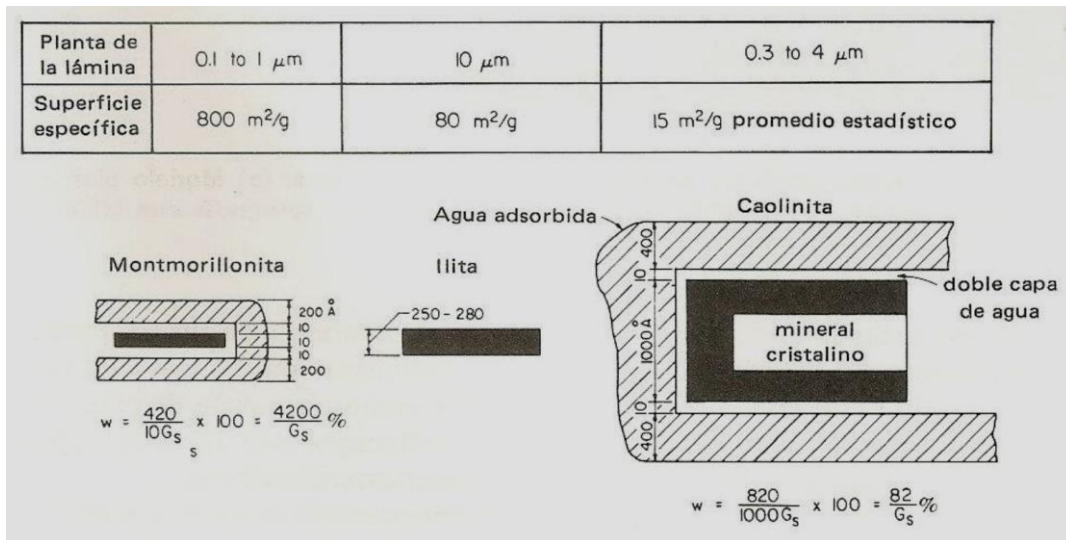


Ilustración 1.IÓN Sodio Hidratado. Fuente: Ayala (2017)

Las cargas negativas de las caras externas de las placas de suelos arcillosos atraen iones o partículas de agua. Debido a que la atracción es eléctrica es agua muy difícil de separar del suelo, aun colocándolo en el horno. Esta agua hace crecer el tamaño efectivo de las partículas de suelo y es la responsable de los suelos expansivos. Braja Das, (2010)

La tabla 1 muestra los rangos de capacidad de intercambio catiónico en (meq/100gr) en miliequivalentes cada 100 gramos de material en los rangos de los suelos de Venezuela

Material de intercambio	Promedio (meq/100g)	CIC (meq/100 g) Rango
Materia orgánica	200	100-300
Vermiculita	150	100-150
Montmorillonita	80	60-100
Clorita	30	20-40
Illita	30	20-40
Caolinita	8	2-16
Sesquióxidos: Gibbsita, Goethita	0	0

Tabla 1. Capacidad de Intercambio Catiónico. Fuente: Heredia y los promedios de cada rango.

2.6 Revestimiento y acabados en paredes, losas de piso y techos

Comprende la ejecución de todos los acabados y revestimientos, los cuales se realizarán de acuerdo con los sitios indicados en los planos y cuadros de acabado. De acuerdo con lo indicado en la sección de revestimiento y acabados en paredes y otros elementos de las Normas para la Construcción de Edificios MOP 1962.

2.6.1 Los Frisados (frisos bases)

Toda superficie a revestir será limpia y suficientemente rugosa, y estará libre de compuestos bituminosos y otros materiales perjudiciales. Cuando la mampostería tenga tendencia a producir eflorescencias, se retardará la aplicación del revoque (friso base común) hasta hacerlas desaparecer mediante un cepillado en seco. Todas las superficies lisas de concreto se salpicarán con una capa de mortero, preparado en la proporción de dos (2) partes de arena por una (1) de cemento. Una vez preparada la superficie se colocarán los puntos de referencia y correderas para lograr que la primera capa (frisado) resulte perfectamente plana, cuidando que la superficie de revoque tenga la rugosidad apropiada para la aplicación de la capa siguiente. El mezclado de los morteros se hará siguiendo las proporciones indicadas en la Ilustración 2.

El frisado se dejará endurecer por un periodo de 24 horas y se humedecerá sin saturarla para proceder a enlucir (friso liso o acabado).

N° DE REF.	UTILIZACIÓN DEL MORTERO	AGLOMERANTE		PROPORCIONES EN VOLUMEN			
		BÁSICO	ADICIONAL	AGL. BÁSICO	AGL. ADICIONAL	ARENA	ADITIVO
1	PREPARACIÓN DE SUPERFICIES	CEMENTO	—	1 PARTE	—	2 PARTES	(*) SE ACUERDO CON LAS INSTRUCCIONES DEL FABRICANTE.
2	PREPARACIÓN DE SUPERFICIES	YESO DE ADHESIÓN ESPECIAL	—	100 %	—	NO	—
3	REVOQUES INTERIORES Y EXTERIORES	CAL EN PASTA O HIDRÁULICA	CEMENTO (**)	1 PARTE	20% DEL VOLUMEN DE CAL	3 PARTES	—
4	REVOQUES EXTERIORES	CAL EN PASTA O EN POLVO	CEMENTO	1 ½ P. CAL EN PASTA O 2 P. DE CAL EN POLVO.	1 PARTE	10 PARTES	—
5	REVOQUES INTERIORES Y EXTERIORES	CEMENTO	CAL EN POLVO O EN PASTA	1 PARTE	10% DEL VOLUMEN DE CEMENTO	5 PARTES	—
6	REVOQUES INTERIORES	YESO FIBRADO	—	1 PARTE	—	3 PARTES	—
7	IMPERMEABILIZACIÓN PARA ESTANQUES	CEMENTO	—	1 PARTE	—	DE 2 A 3 PARTES	—
8	IMPERMEABILIZACIÓN PARA ESTANQUES	CEMENTO	—	1 PARTE	—	3 PARTES	HIDROFUGO SIGUIENDO LAS INSTRUCCIONES DEL FABRICANTE

Ilustración 2. Proporciones para Mezclas de Morteros para Frisado. Fuente: Norma MOP 1962

2.6.2 Enlucidos o acabados (frisos finos o acabados)

Se denomina la capa final del revestimiento. Para enlucido interior y exterior la mezcla es preparada en la proporción de una parte y media (1 ½) del aglomerante básico (cal) y una parte (1) del aglomerante adicional (cemento).

El mezclado de los morteros se hará siguiendo las proporciones indicadas en la Ilustración 3.

N° DE REF	UTILIZACIÓN DEL MORTERO	AGLOMERANE		MATERIAL INERTE	PROPORCIONES EN VOLUMEN			
		BÁSICO	ADICIONAL		AGL. BÁSICO	AGL. ADICION	MATERIAL INERTE	ADITIVO
1	ENLUCIDO INTERIOR Y EXTERIOR	CAL	CEMENTO	ARENA	1 ½ PARTE	1 PARTE	12 PARTES	—
2	ENLUCIDO INTERIOR Y EXTERIOR	CAL	CEMENTO	POLVO DE MARMOL	1 ½ PARTE	1 PARTE	12 PARTES	—
3	ENLUCIDO INTERIOR Y EXTERIOR	CAL	CEMENTO	POLVO DE PIEDRA	1 ½ PARTE	1 PARTE	12 PARTES	—
4	IMPERMEABILIZACIÓN PARA ESTANQUES	CEMENTO	—	ARENA	1 PARTE	—	DE 2 A 3 PARTES	HIDROFUGO SIGUIENDO LAS INSTRUCCIONES DEL FABRICANTE
5	IMPERMEABILIZACIÓN PARA ESTANQUES	CEMENTO	—	ARENA	1 PARTE	—	3 PARTES	—
6	IMPERMEABILIZACIÓN PARA ESTANQUES	CEMENTO	—	ARENA	1 PARTE	—	DE 2 A 3 PARTES	—
7	ENLUCIDO INTERIOR RUSTICO	YESO (ESTUCO)	—	ARENA	1 PARTE	—	2 PARTES	—
8	ENLUCIDO INTERIOR RUSTICO	YESO	CAL EN PASTA	—	1 PARTE	3 PARTES	—	—

Ilustración 3. Proporciones para Mezclas de Morteros para Enlucidos.

Fuente: Norma MOP-1962

2.7 Hidratación del cementante

Según Heredia, la hidrólisis permite que se rompa el enlace entre la partícula de arcilla y el agua absorbida facilitando así el intercambio catiónico. Es la ruptura del enlace químico de la molécula del agua, se muestra en la Ilustración 11, al quedar la partícula libre una acción de compactación producirá mejoramiento de las propiedades geomecánicas de los suelos.

La hidrólisis e hidratación del cementante producen un incremento en el pH y liberan calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), debido a esto las partículas de arcilla son atacadas químicamente y causarán el rompimiento de los silicatos y alúminas amorfas; éstas se combinan con el calcio para una segunda reacción cementante.

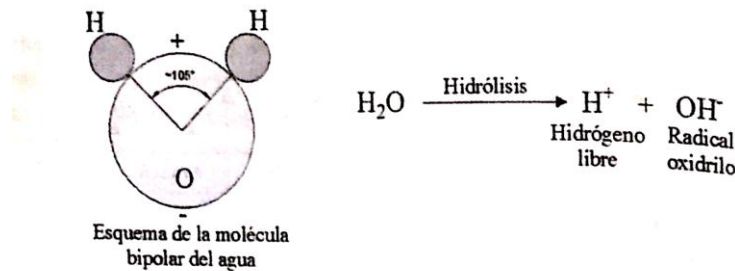


Ilustración 4. Ruptura del Enlace químico de la Molécula de agua. Fuente: Heredia (S/F)

Por su parte la cal y su interacción con los limos y las arcillas presentan dos tipos de reacciones:

- El intercambio catiónico y la floculación
- La carbonatación y la formación de nuevas partículas

La carbonatación es un proceso de tipo acidificante por la presencia del ion H^+ y el CO_2 en el agua que ataca a metales alcalinos como Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , solubilizándolos rápidamente, todos estos fenómenos permiten el desarrollo de las cargas eléctricas de las arcillas.

Las arcillas pueden clasificarse de menos a más hidrofílicas, donde las más hidrofílicas desarrollarán menor resistencia después de tratadas. El orden será, Montmorillonitas, Kaolinitas e Iilitas.

2.8 Curado de la mezcla

Al igual que en los concretos ordinarios, realizar un buen curado de la mezcla es necesario para alcanzar mejores resistencias. Por otra parte, un curado prolongado en exceso aumentará el agrietamiento.

Es frecuente que se haga el curado con materiales como el papel impermeable, plásticos, paja húmeda, mallas de algodón húmedas o de otra fibra.

La temperatura durante el curado de las mezclas influye en la resistencia, siendo mayor la que se alcanzará a más elevada temperatura hasta cierto límite.

2.9 Trabajabilidad de la mezcla

Es la facilidad que presenta la muestra para ser mezclada, colocada, compactada y acabada sin segregación.

Las mezclas más húmedas permiten mejor manejabilidad, pero producen mayor agrietamiento final, lo que es un inconveniente serio en las arcillosas.

2.10 Decantación

Es una técnica que permite separar un sólido mezclado heterogéneamente con un líquido en el que es insoluble o bien en dos líquidos inmiscibles con densidades diferentes.

Si el sólido es bastante denso y grueso, tal vez se depositará en el fondo del recipiente. Así pues, inclinado el recipiente, se puede separar el líquido o sobrenadante, derramándose en otro recipiente sin que se caiga el sólido o sedimento.

2.11 Relación agua/cementante real y aparente

Se entiende como relación agua/cementante aparente a la totalidad de agua que existe en la muestra, sin tomar en cuenta la cantidad que aporta la sábila y la que pasa a formar parte de la doble capa en la arcilla, con respecto al peso del suelo seco.

Mientras que la real es la cantidad de agua verdadera que queda disponible para reaccionar con el cemento o la cal y lograr su efecto como agente conglomerante en la muestra de suelo estabilizado.

2.12 Compresión simple o no confinada

Tiene por finalidad, determinar la resistencia a la compresión no confinada, de un cilindro de suelo. El ensayo de compresión simple o no confinado es un ensayo que permite medir la carga última a la que un suelo sometido a compresión, falla.

2.13 Tipos de rotura

Según Pérez Ayala (2017) se presentan tres tipos de fallas en el suelo como son, por aplastamiento, donde no se presenta ningún tipo de agrietamiento y sus dimensiones cambian aumentando el diámetro en el tramo central y disminuyendo su altura, esta falla se considera dúctil. Cuando los suelos presentan mayor rigidez, la falla toma una dirección diagonal considerándose frágil, en ocasiones si un suelo rígido tiene fisuras preexistentes o internas, la falla suele ocurrir en la dirección de la fisura, puede ser vertical. Los suelos que se clasifican como intermedios entre las fallas anteriores presentan agrietamiento en varias direcciones.

2.14 Ley de Stokes

Según Pérez Ayala (2017) para partículas de igual peso específico y forma esférica de las de mayor tamaño sedimentan más rápido que las pequeñas y alcanzan una velocidad terminal en un fluido para una trayectoria conocida. La Ley de Stokes determina la velocidad terminal de partículas esféricas en un líquido, a una distancia preestablecida, donde la misma es directamente proporcional al cuadrado del diámetro de la esfera.

Capítulo III

MARCO METODOLÓGICO

La metodología aplicada en el presente Trabajo de Grado fue de tipo aplicada experimental a través de ensayos de laboratorio controlados, el material base estuvo conformado por arenas, limos y arcillas.

Inicialmente se realizó una evaluación geotécnica al material, se separó la muestra de suelo a partir de tamices con diferentes aperturas en su malla, se realizó una sedimentación de la muestra con el propósito de determinar los porcentajes de limos y arcillas pasantes del tamiz #200, se encontró el porcentaje de humedad de la muestra, se consiguieron los diferentes estados de consistencia del material fino y por último se determinó el pH del suelo.

Se realizaron tres tipos de mezclas base, a estas mezclas se les agregó el cementante en diferentes porcentajes, con 1% en peso de gel de sábila. Las mezclas fueron limoso arcilloso tipo 1, limoso arcilloso tipo 2 y arenosa. Se realizaron también muestras de friso convencional que sirvieron como punto de comparación en cuanto a la resistencia y el acabado final.

Se evaluó la capacidad de resistencia mecánica que soportó cada una de las briquetas, tanto las de suelo estabilizado como las de friso convencional. Para la prueba de disgregabilidad, se observó el efecto y la naturaleza de la acción producida por el agua en cada una de las muestras, estos efectos pueden ser por, agrietamiento, hendidura, exfoliación o desmoronamiento, siguiendo la Norma Covenin 271-78.

Seguidamente se muestran los procedimientos realizados en las imágenes 5, 6, 7, 8, 9 y 10.



Ilustración 5. Tamices.
Fuente: Propia.



Ilustración 6. Realización de
mezclas. Fuente: Propia



Ilustración 7. Muestras.
Fuente: Propia



Ilustración 8. Sedimentación.
Fuente: Propia

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE SUELO
ESTABILIZADO CON CEMENTO O CAL PARA ACABADOS LUCIDOS DE
PAREDES, LOSAS DE PISO Y TECHOS DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO.



Ilustración 9. Muestras. Fuente:
Propia.

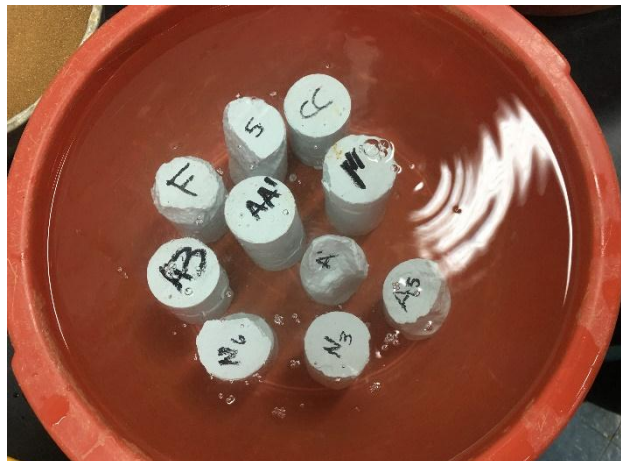


Ilustración 10. Prueba de Disgregación. Fuente:
Propia.

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE SUELO
ESTABILIZADO CON CEMENTO O CAL PARA ACABADOS LUCIDOS DE
PAREDES, LOSAS DE PISO Y TECHOS DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO.

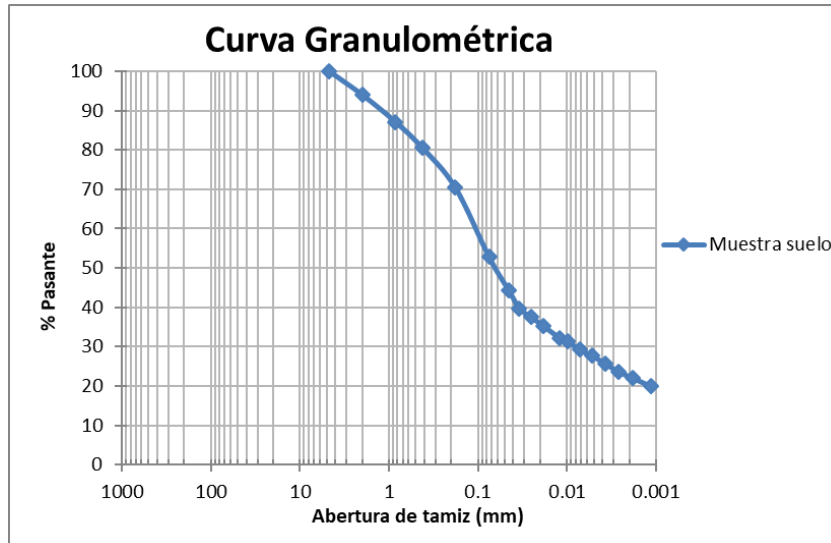
Capítulo IV

DESARROLLO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Resultados de ensayos característicos del material

4.1.1 Composición granulométrica por tamizado

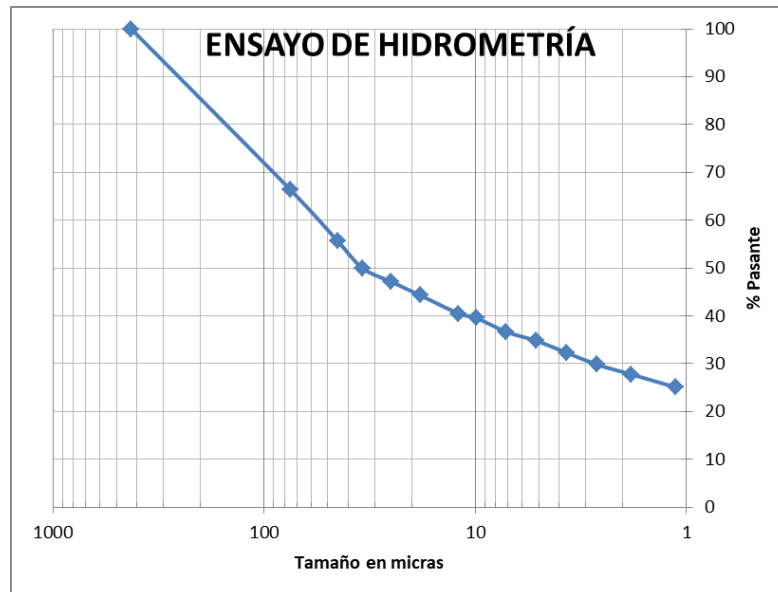
Se observó en la Gráfica 1 que se está en presencia de un suelo bien gradado, ya que la muestra presentó porcentajes retenidos en cada tamiz, es decir, presenta variedad de tamaño de partículas. La muestra completa presentó 47,20% de material grueso, la cual quedó distribuida de la siguiente manera: 6,03% arena gruesa, 33,83% arena media y 7,34% arena fina, aunque es un porcentaje elevado de suelo grueso, no se clasifica como suelo granular, debido a que la muestra presenta 52,80% de material pasante por el tamiz #200 (arcillas y limos) y se puede considerar como un suelo fino, ya que, contiene más de 35% de material pasante por dicho tamiz, según la clasificación de los suelos (AASHTO). También presentó un porcentaje de humedad 2.15%. Ver Anexo A-1.1



Gráfica 1. Curva Granulométrica del suelo estudiado.

4.1.2 Granulometría por Hidrómetro

A partir del análisis granulométrico se clasificó según el sistema unificado de clasificación unificado (SUCS) como una arcilla ligera arenosa (CL) y por el sistema de asociación americana de oficiales de carreteras estatales y transportes (AASHTO) como un grupo A-4, donde el material típico de este grupo es un suelo limoso no plástico o moderadamente plástico. De la granulometría resultó un contenido de material grueso de 47,20% y material fino 22,45% arcilla y 30,35% de limo. Ver anexo A-1.2.



los resultados la arcilla estudiada está en los valores de las Illitas. Ver anexos A-1.3 y A-1.4.

Seguidamente se estudió el suelo limoso arcilloso tipo 1, una muestra pasante del Tamiz #40 que contenía arenas medias, arenas finas, limos, arcillas y coloides. El cálculo arrojó un valor de Gravedad Específica de 2,70 y se observó un color bastante oscuro en las arenas con rastros brillantes, lo que según Pérez Ayala (2017), una arena de color oscuro puede contener un valor entre 2,65 y 2,70 por la presencia predominante de minerales de cuarzo en presencia de micas. Ver anexo A-1.5.

4.1.4 Límites de Consistencia

Se estudió el rango de plasticidad, la humedad y el comportamiento de los materiales finos y cohesivos para cada una de las mezclas de suelo a estabilizar (Suelo Limoso Arcilloso tipo 1, Suelo Limoso Arcilloso tipo 2 y Suelo Arenoso). Los resultados obtenidos se muestran en el Anexo A-1.6.

Se observó que el valor del Límite Líquido de la muestra de Suelo Limoso Arcilloso tipo 1 es 29% de humedad, es un valor relativamente bajo comparado con el Suelo Limoso Arcilloso tipo 2 que 31% de humedad, lo que es correcto ya que el Suelo Limoso Arcilloso tipo 1 al ser pasante del Tamiz #40 contiene arenas medias y finas y menos cantidad de material fino pasante del Tamiz #200, cuyo material requiere mayor porcentaje de humedad para llegar a su liquidez, al contrario del Suelo Limoso Arcilloso tipo 2 que contiene un 60% material fino pasante del Tamiz #200. El Suelo Arenoso tiene un valor de 32%.

Para el Límite Plástico se observan los valores de humedad donde el suelo pierde su plasticidad, 19% para el Suelo Limoso Arcilloso tipo 1, 9% para el Suelo Limoso Arcilloso tipo 2 y 7% para el Suelo Arenoso. Esto refleja que, a menor porcentaje de humedad, el suelo pierde más rápido su plasticidad.

Con resultados anteriores de Límite Líquido e Índice de Plasticidad se clasificó cada tipo de suelo según los grupos sugeridos por la AASHTO. El Suelo Limoso Arcilloso tipo 1

y el Suelo Limoso Arcilloso tipo 2 corresponden al grupo A-4, mientras que el Suelo Arenoso corresponde al grupo A-2.

4.2 Ensayo a Compresión Simple

El ensayo se realizó con una máquina de Multiensayo Master Loader, cuya lectura ofreció datos de Carga axial vs Desplazamiento axial. Se realizaron gráficas de Tensión vs Deformación Unitaria, donde se consiguió la resistencia máxima que posee el suelo. Se muestra con más detalle todas las resistencias a compresión en el anexo A-2.

La relación agua/cementante en general es la que controla la resistencia del gel producto de la hidrólisis durante la hidratación del cementante. Ahora bien, para lograr la manejabilidad adecuada de la muestra fue necesario agregar un contenido de humedad mayor del LL del suelo y, adicionalmente, la sábila aporta también un contenido de humedad adicional que queda disponible para la reacción química del cementante. En consecuencia, resulta sumamente complicado llevar un control estricto de la relación agua/cementante debido a los dos tipos de procesos químicos que ocurren con ambos cementantes, los cuales se explican a continuación, considerando que el proceso de preparación de las mezclas incorpora el suelo y el cementante en estado seco. Una vez homogenizada la mezcla se agregó el agua junto con el gel de sábila.

De acuerdo con López y Melone (2019) en el caso del cemento, al encontrar suficiente agua disponible para la reacción, los iones de calcio comienzan a hidrolizarse inmediatamente, lo cual reduce el contenido de humedad. No obstante, la cantidad de agua continúa siendo alta con relación a la cantidad de cemento, debido al aporte adicional que está haciendo la sábila, el cual no es posible controlar, por lo tanto, se espera que existan relaciones agua/cemento altas.

Similarmente, según López y Melone (2019) en el caso de la cal, esta debe hidratarse primero para lograr el equilibrio iónico. Durante esta etapa la cal no puede reaccionar. Una vez alcanzado el equilibrio iónico entonces comienza el proceso de hidratación de la cal hidrolizando el agua. Por esta razón las reacciones con la cal toman

más tiempo que las reacciones con el cemento. En este caso el exceso de agua aportado por la sábila contribuye en parte al proceso de disolución, pero se observó que el mismo no fue suficiente, debido a que la pasta desmejoró su trabajabilidad comparada con el mismo contenido de humedad utilizado para la pasta de cemento.

En ambos casos, es decir para el cemento y la cal, debido a que el pH inicial del suelo es ácido (6.0) la hidrólisis ocurrió sin problemas y el resultado final es que el balance iónico alcanza valores de alcalinidad de $\text{pH} = 11,1$ para el cemento y $\text{pH} = 11,8$ para la cal. Esta condición produce reacciones de cementación permanentes.

Por otra parte, las resistencias a la compresión de las mezclas de suelo estabilizado fueron comparables con los rangos obtenidos para frisos convencionales lúcidos, preparados con cal y una porción de cemento, estos valores se encuentran entre 2.21 kgf/cm^2 y 2.88 kgf/cm^2 .

Sin embargo, según Rico A. y Del Castillo H, 1977, se requiere un mínimo aproximado de 7% de cemento para formar una buena pasta y que exista una adherencia y las resistencias estén próximas a las máximas.

De igual manera, Rico A. y Del Castillo H, 1977, sugieren que para arcillas arenosas se utilice aproximadamente 5% de cal para una buena adherencia y resistencia en la pasta de cal.

En este trabajo de investigación se evidenció que al realizar las mezclas con cemento y con cal, la que presentó mejor manejabilidad fue la de cemento.

Se consideró que la mezcla que cumple los requisitos necesarios en cuanto a resistencia a la compresión y acabado lúcido, es el suelo limoso arcilloso con cemento debido a que alcanzó la resistencia requerida con respecto al friso convencional de acabado limpio. Ahora bien, con respecto al acabado, este suelo no presentó agrietamiento ni retracción.

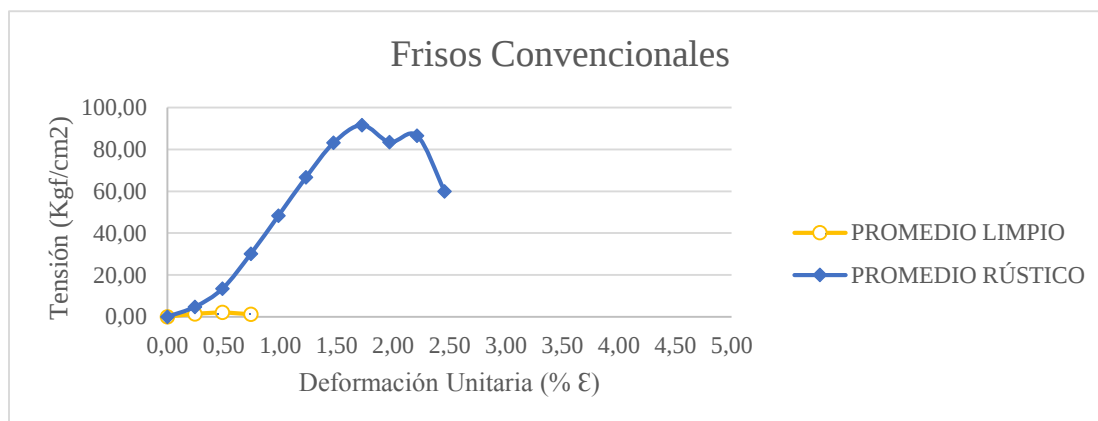
4.2.1 Frisos Convencionales

Se realizaron los ensayos de compresión simple para cada una de las muestras de acabado limpio y acabado rústico; se analizaron mediante gráficas de Tensión vs Deformación Unitaria. Los resultados sirvieron de comparación para las resistencias de las mezclas de Suelo Estabilizado estudiado.

Tabla 2. Frisos Convencionales.

Frisos Convencionales	Compresión Simple (Kgf/cm²)
Rústico	94,37
	92,21
	94,58
Promedio	93,72
Limpio	1,81
	1,91
	2,57
Promedio	2,10

Se observó que el acabado rústico es más resistente en comparación al limpio, esto se debe principalmente al elevado contenido de cemento que contiene la primera mezcla, lo que en consecuencia aumenta su resistencia a la compresión cumple en un considerable porcentaje. Por otro lado, el acabado limpio al contener bajo porcentaje de cemento y elevado contenido de cal, su resistencia a la compresión simple no resultó muy elevada.



Gráfica 3. Frisos Convencionales.

4.2.2 Suelo Limoso Arcilloso Tipo 1

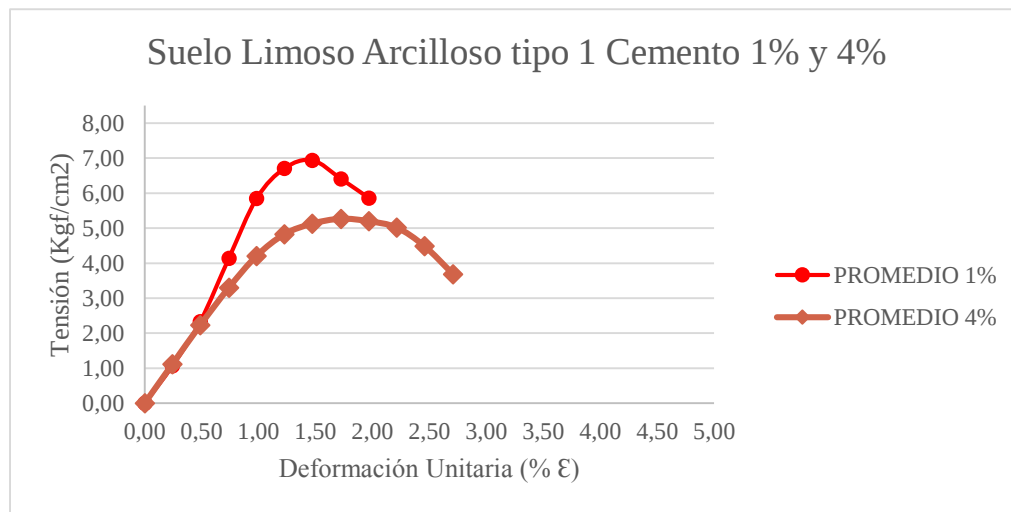
Se realizaron los ensayos de compresión simple a los 28 días, para cada uno de los porcentajes de cementante de las muestras de este suelo y se analizaron mediante gráficas de Tensión vs Deformación Unitaria.

Tabla 3. Compresión Simple Suelo Limoso Arcilloso Tipo 1.

Muestra	Compresión Simple (Kgf/cm²)			
	Porcentaje de Cemento		Porcentaje de Cal	
	1%	4%	1%	4%
1	7,45	4,73	5,58	4,78
2	7,19	6,39	4,38	3,42
3	7,19	5,28	4,93	4,02
Promedio	7,28	5,47	4,96	4,07

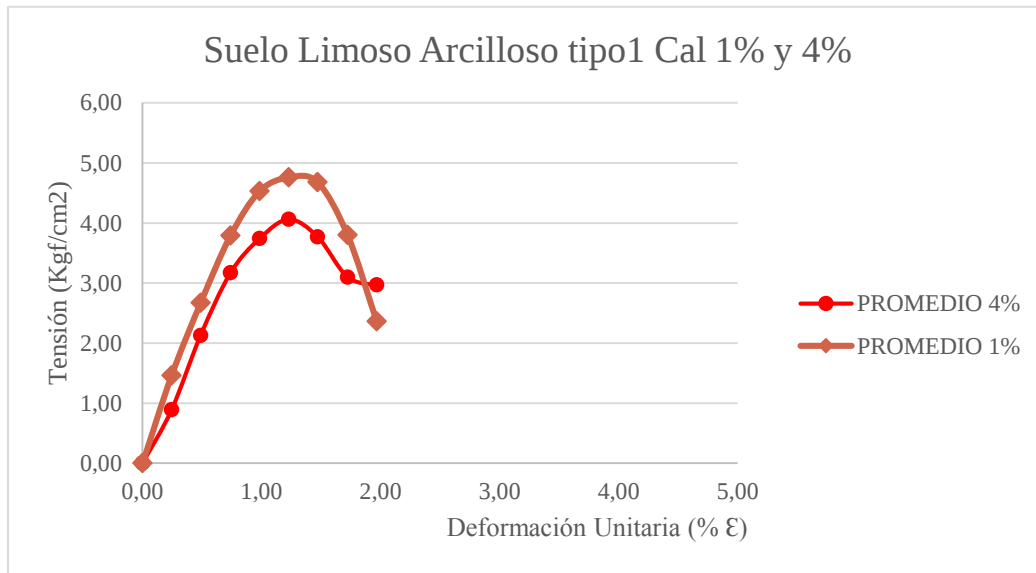
En la gráfica 4, se realizó el promedio para las muestras tanto de cemento 1% y 4%, generando dos curvas Tensión vs Deformación Unitaria. Se observó como la deformación unitaria y la resistencia a la compresión varían linealmente, sin embargo, la curva de 1% se mantuvo lineal hasta aproximadamente 6 kgf/cm², esta alcanzó un promedio de resistencia máxima de 7,30 kgf/cm², mientras que la de 4% en 4 kgf/cm² cambio la pendiente de forma

ascendente hasta alcanzar un promedio de resistencia de 5,50 kgf/cm², con un poco de dispersión con respecto a la resistencia máxima. Lo que indicó que al añadirle menor porcentaje de cemento aumentó la resistencia, caso contrario al porcentaje de 4%, esto se debió al encapsulamiento que existe entre las partículas del suelo con respecto al cemento según Lavalle, E. d. (2013).



Gráfica 4. Suelo Limoso Arcilloso tipo 1, ce 1% y 4%.

En la gráfica 5, se realizó el promedio para las muestras tanto de cal 1% y 4%, generando dos curvas Tensión vs Deformación Unitaria. Se observó como la deformación unitaria y la resistencia a la compresión varían linealmente, sin embargo, la curva de 1% se mantuvo lineal hasta aproximadamente 4,50 kgf/cm², está alcanzó un promedio de resistencia máxima de 4,96 kgf/cm², mientras que la de 4% en aproximadamente 4 kg/cm² cambio la pendiente de forma ascendente hasta alcanzar un promedio de resistencia de 4,07 kgf/cm², con una pequeña diferencia con respecto a la resistencia máxima, esto se debe a lo que se explicó en párrafos anteriores.



Gráfica 5. Suelo Limoso Arcilloso tipo 1, cal 1% y 4%.

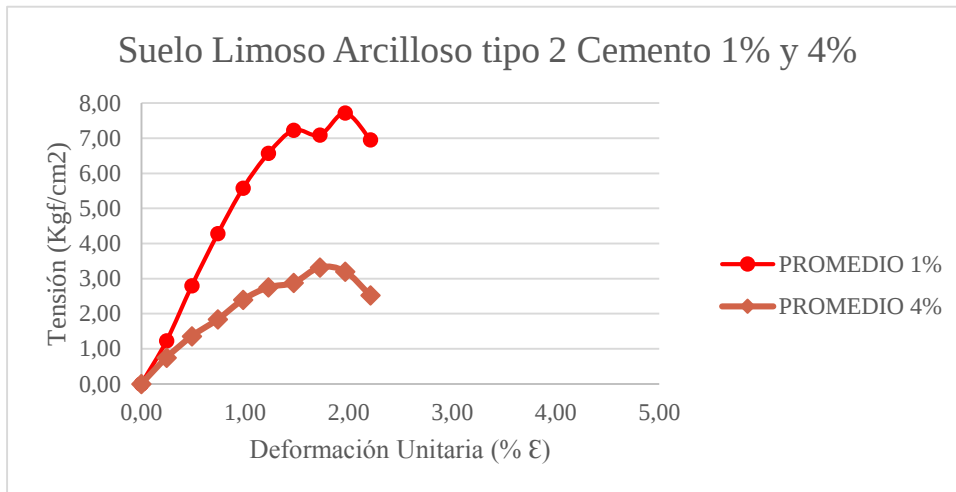
4.2.3 Suelo Limoso Arcilloso tipo 2 con adición de Gel de Sábila

Se realizaron ensayos de compresión simple a los 28 días después de preparadas, resultando que la resistencia disminuyó en la misma proporción en ambos casos debido a la presencia de la sábila explicada anteriormente. Se analizaron mediante gráficas de Tensión vs Deformación Unitaria. Los resultados se muestran en la Tabla 4.

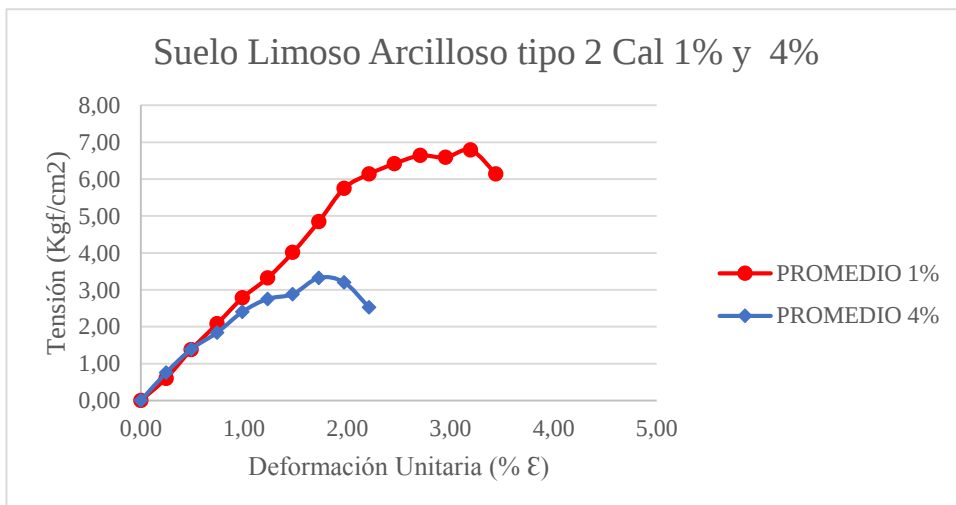
Tabla 4. Compresión Simple Suelo Limoso Arcilloso Tipo 2.

Muestra	Compresión Simple (Kgf/cm²)			
	Porcentaje de Cemento		Porcentaje de Cal	
	1%	4%	1%	4%
1	8,65	2,72	5,38	3,82
2	6,94	3,52	9,41	2,82
3	7,75	3,12	6,79	2,46
Promedio	7,78	3,12	7,19	3,03

En la gráfica 6, se muestran las curvas promedio de resistencia a la compresión de la muestra de cemento, se observó que en presencia de un mayor contenido de cemento (4%) el comportamiento deja de ser lineal y se reducen sus valores considerablemente.



Gráfica 6. Suelo Limoso Arcilloso tipo 2, ce 1% y 4%.



Gráfica 7. Suelo Limoso Arcilloso tipo 2, cal 1% y 4%.

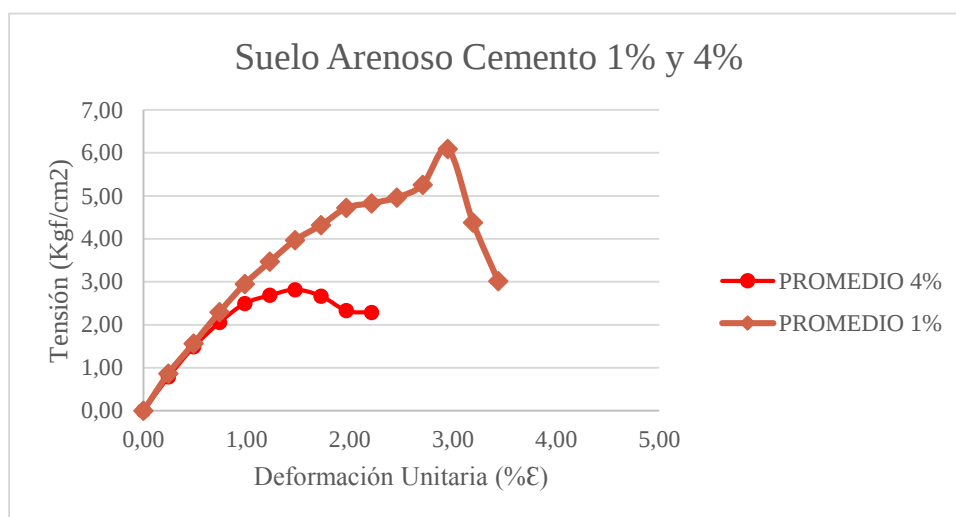
En la gráfica 7, se muestran las curvas promedio de resistencia a la compresión de la muestra de cal, observando que en presencia de un mayor contenido de cal (4%) el comportamiento inicial ha sido completamente lineal aproximadamente hasta los puntos 2,78 Kgf/cm² y 1,40 Kgf/cm² de 1% y 4% respectivamente.

4.2.4 Suelo Arenoso con adición de Gel de Sábila

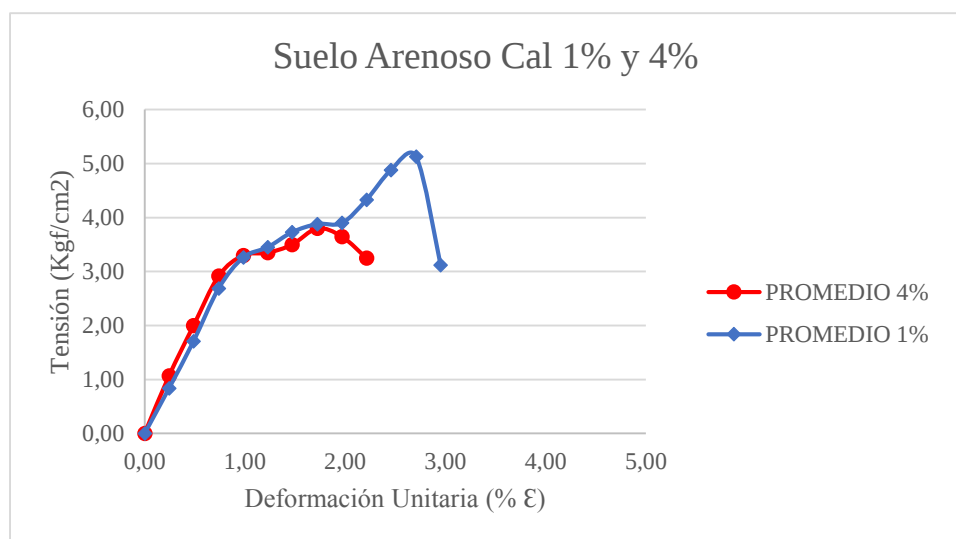
Se realizaron ensayos de compresión simple a los 28 días después de preparadas, resultando que la resistencia disminuyó en ambos casos debido a la presencia de la sábila explicada anteriormente. Se analizaron mediante gráficas de Tensión vs Deformación Unitaria. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Compresión Simple Suelo Arenoso.

Muestra	Compresión Simple (Kgf/cm ²)			
	Porcentaje de Cemento		Porcentaje de Cal	
	1%	4%	1%	4%
1	4,28	3,02	5,13	4,48
2	5,18	2,62	4,93	3,97
3	5,53	3,02	4,02	4,58
4	6,09	2,87	-	-
Promedio	5,27	2,88	4,69	4,34



Gráfica 9. Suelo Arenoso con cemento 1% y 4%.



Gráfica 8. Suelo Arenoso con cal 1% y 4%.

En la gráfica 8, se observan las curvas de resistencia promedio de ambos porcentajes de cemento (1% y 4%). Las mismas presentan un comportamiento lineal desde su inicio hasta los puntos 2,30 Kg/cm² y 2,06 Kg/cm², donde cambia la pendiente de la

curva hasta alcanzar una máxima resistencia de 5,27 Kgf/cm² y 2,88 Kgf/cm², con deformaciones de 3% y 1,50% respectivamente.

En la gráfica 9, se observan las curvas Tensión vs Deformación Unitaria promedios entre las máximas resistencias a la compresión de las muestras de cal 1% y 4%. A medida que aumenta el porcentaje de cal, la resistencia disminuye, esto se debe a que la sábila crea un conducto con el cementante donde este absorbe más cantidad de agua que la que requiere, incluyendo la de la doble capa de las arcillas, por ende, en vez de aumentar la resistencia la disminuye.

4.4 Suelo sin adición del Gel de Sábila

Se observó que al no presentar gel de sábila en las muestras como en casos anteriores, la resistencia aumentó en todos los porcentajes de cementantes agregados a las mezclas para paredes, losas de piso, techos y adobes para paredes.

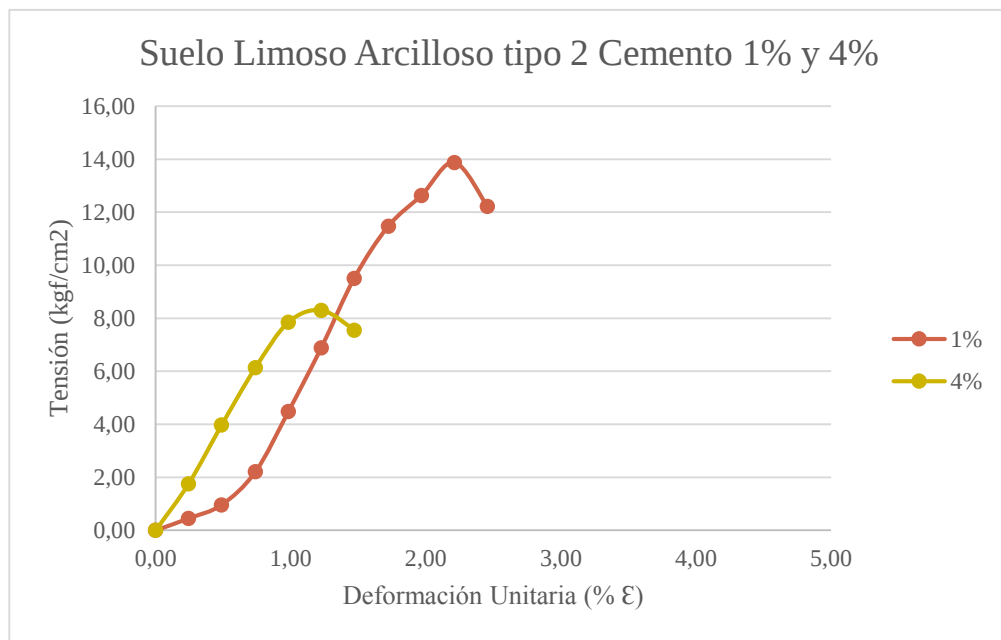
En los resultados del suelo limoso arcilloso tipo 2 y arenoso se pudo observar que, al agregar mayor porcentaje de cemento con mayor porcentaje de humedad, bajó la resistencia. Este comportamiento atípico se debe a las reacciones químicas e interacciones fisicoquímicas entre los materiales, el análisis de este comportamiento es un tema para investigar en otro trabajo de grado, ya que no se encuentra dentro de los objetivos de esta investigación.

4.4.1 Suelo Limoso Arcilloso tipo 2

Tabla 6. Compresión Simple Suelo Limoso sin gel de Sábila con cemento.

Compresión Simple (Kgf/cm ²)	
Porcentaje de Cemento	
1%	4%
13,88	8,30

En la gráfica 10, se observa en la muestra de 4% de cemento que la deformación unitaria y la resistencia a la compresión aumentaron linealmente hasta aproximadamente 8 Kgf/cm², donde poco después alcanzó una resistencia de 8,30 Kgf/cm², mientras que la muestra de 1% no inicio de forma lineal por problemas de ajuste entre el pistón de la máquina y la superficie de la muestra, sin embargo, obtuvo una resistencia máxima de 13,88 Kgf/cm² entre ambas muestras.



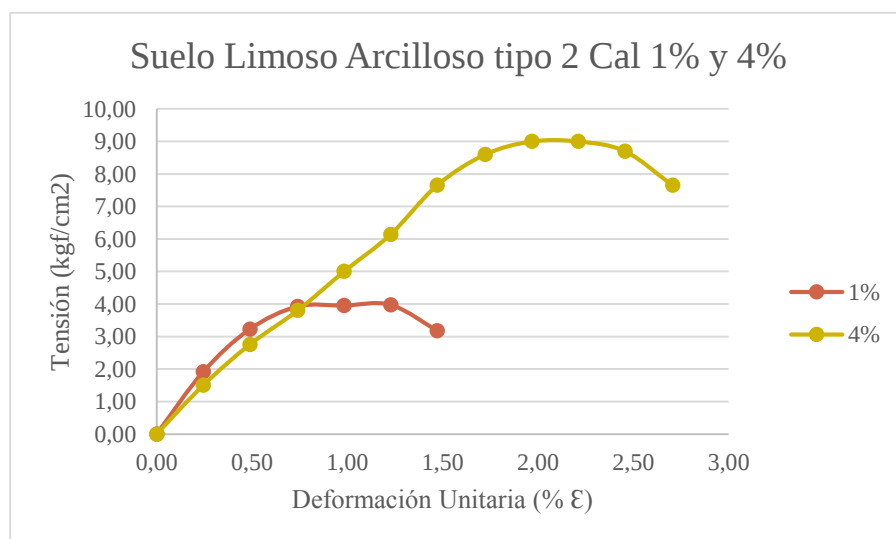
Gráfica 10. Suelo Limoso Arcilloso tipo 2, ce 1% y 4%

Este caso de cal es particular, debido a que se observó que mientras mayor es el porcentaje de cal la resistencia aumentó considerablemente. Vale destacar que no se puede afirmar de manera definitiva el aumento de la resistencia, ya que, al no realizar varias réplicas, no se sabe con certeza si afectó la variación local de como se hizo el ensayo, por lo que se puede inferir que este tipo de análisis debe ser sujeto a nuevas pruebas que permitan mayor certeza en las resistencias a la compresión.

Tabla 7. Compresión Simple Suelo Limoso Arcilloso sin gel de Sábila con cal.

Compresión Simple (Kgf/cm ²)	
Porcentaje de Cal	
1%	4%
3,97	9,00

En la gráfica 11, se observó que en ambas muestras la deformación unitaria y la resistencia a la compresión aumentaron linealmente hasta un punto de variación de pendiente ascendente, mientras que la muestra de 1% obtuvo 3,97 Kgf/cm², la muestra de 4% alcanzó la resistencia máxima de 9,0 Kgf/cm².



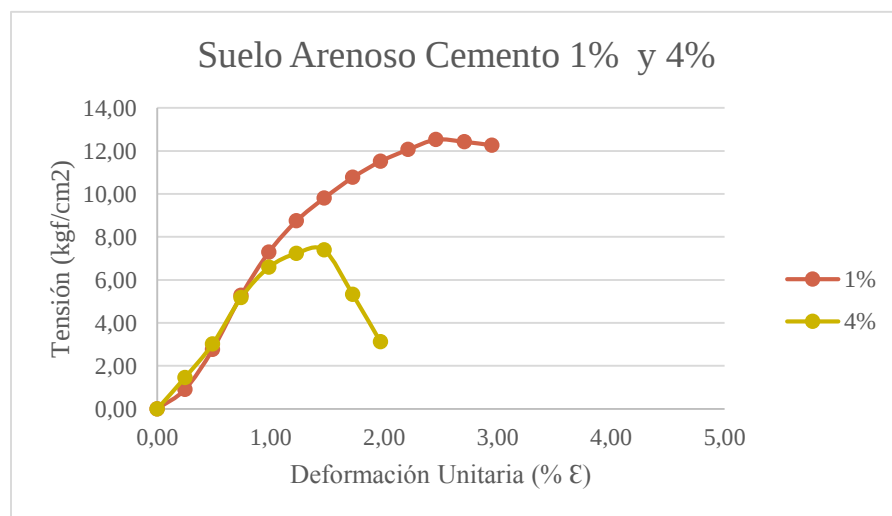
Gráfica 11. Suelo Limoso Arcilloso tipo 2, cal 1% y 4 %.

4.4.3 Suelo Arenoso

Tabla 8. Compresión Simple Suelo Arenoso sin gel de Sábila con cemento.

Compresión Simple (Kgf/cm ²)	
Porcentaje de Cemento	
1%	4%
12,53	7,4

En la gráfica 12, se observó de forma similar al suelo anterior con respecto a los porcentajes de cemento que, la muestra de 4% de cemento, la deformación unitaria y la resistencia a la compresión aumentaron linealmente hasta aproximadamente 3 Kgf/cm², donde alcanzó una resistencia de 7,40 Kgf/cm², mientras que la muestra de 1% no inicio de forma lineal por problemas de ajuste, sin embargo, obtuvo una resistencia máxima de 12,53 Kgf/cm².



Gráfica 12. Suelo Arenoso con cemento 1% y 4%.

No se realizaron las mezclas con 1% y 4% de cal para este tipo de suelo, debido a que anteriormente se analizó que el suelo limoso arcilloso tipo 1 y 2 y arenoso con y sin gel de sábila las resistencias son más altas con cemento y la trabajabilidad del material es mejor que con cal.

4.4.4 Consistencia del suelo

Conociendo la resistencia máxima a compresión simple, se obtuvo el tipo de consistencia que el suelo presentaba, según la tabla de Terzaghi y Peck, 1955.

Tabla 9. Consistencia del Suelo.

Consistencia del suelo	Resistencia a la compresión (Kgf/cm ²)
Muy blanda	<0,25
Blanda	0,25-0,50
Media	0,50-1,00
Firme	1,00-2,00
Muy firme	2,00-4,00
Dura	>4,00

Según la tabla 9 de Terzaghi y Peck, la consistencia de la mayoría de los suelos estudiados en este trabajo de grado se clasificó como dura, debido a que superaron la tensión de 4 kgf/cm² que corresponde a esta caracterización. Sin embargo, el suelo limoso arcilloso con gel de sábila para el porcentaje de 4% tanto de cal como de cemento alcanzaron resistencias de 3,03 Kgf/cm² y 3,12 Kgf/cm² respectivamente, para el suelo arenoso con gel de sábila el porcentaje de 4% con cemento dio 2,88 Kgf/cm² y el suelo limoso arcilloso sin sábila para 1% de cal corresponde a 3,97 Kgf/cm², por lo tanto, se clasificaron como suelo muy firme.

4.4.5 Fallas

Las fallas presentes en este trabajo de investigación son frágiles según Pérez Ayala (2017), cuando los suelos presentan mayor rigidez, la falla toma una dirección diagonal considerándose frágil. En ocasiones si un suelo rígido tiene fisuras preexistentes o internas, la falla suele ocurrir en la dirección de la fisura, puede ser vertical.

4.4.5.1 Suelo Limoso Arcilloso tipo 1

- Todas las fallas para este tipo de suelo fueron de tipo rígida. En la siguiente ilustración se observa una de ellas.



Ilustración 11. Falla Rígida.
Fuente: Propia

4.4.5.2 Suelo Limoso Arcilloso tipo 2

- Todas las fallas para este tipo de suelo fueron de tipo rígida. En la siguiente ilustración se observa una de ellas.



Ilustración 12. Falla Rígida.
Fuente: Propia

4.4.5.3 Suelo Arenoso

- Todas las fallas para este tipo de suelo fueron de tipo rígida. En la siguiente ilustración se observa una de ellas.



Ilustración 13. Falla
Rígida. Fuente: Propia.

4.7 Disgregabilidad

Se empleó un método para determinar la disgregabilidad de las muestras de Suelo Estabilizado con cemento o cal con y sin adición de gel de sábila, sometidos a la acción de la intemperie. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Para muestras regulares sin ningún tipo de recubrimiento, presentaron desmoronamiento inmediato. Lo que reflejó la permeabilidad de las muestras y que no deben estar expuestas a la intemperie sin una debida protección o impermeabilizante.

Para muestras cubiertas con mezcla de cal y sal, presentaron fallas por agrietamiento y desmoronamiento en todo su cuerpo durante los primeros 5 minutos. Solo la muestra de Suelo Limoso Arcilloso tipo 1 con 4% de cemento soportó 2 horas y media presentando agrietamiento en la cubierta y desmoronamiento en su base.

Para muestras cubiertas con pintura de caucho para exteriores, las fallas presentadas se iniciaron desde el agrietamiento, pasando por la exfoliación y seguido por el desmoronamiento parcial de las muestras. Sin embargo, este tipo de recubrimiento fue de gran efectividad ya que, aunque las primeras probetas se vieron afectadas a partir de la primera media hora, las mezclas de Limoso Arcilloso tipo 2 con Sábila y cemento 1%, Arenoso con Sábila y cemento 4%, Limoso Arcilloso tipo 1 con cemento 4% y Limoso Arcilloso tipo 1 con cal 4%, cumplieron con el objetivo de no disgregarse durante las 24 horas que fueron sumergidas.

Conclusiones

Luego de realizar las mezclas de los suelos limosos arcillosos y arenosos para determinar la resistencia de las muestras, se puede concluir lo siguiente:

Se escogió el suelo limoso arcilloso con cemento para los acabados lucidos en paredes, losas de piso y techos, debido a que cumplieron con las resistencias del friso convencional y no presentaron agrietamiento ni retracción.

- Suelo Limoso Arcilloso Tipo 1, Limoso Arcilloso Tipo 2 y Arenoso:
 - ✓ La mezcla es más manejable con cemento que con cal.
 - ✓ Se determinó que el suelo limoso arcilloso con cemento es el indicado para frisar paredes, losas de piso y techos, tanto por su resistencia alcanzada, la manejabilidad al realizar la mezcla como por el acabado limpio que esta presenta al secarse.
 - ✓ Se observó que al tener un suelo ácido con $\text{pH} = 6$ y agregarle cal o cemento a la mezcla, estos aumentan el pH , siendo ahora un suelo estabilizado con pH básico.
 - ✓ Se demostró que los suelos limoso arcilloso y arenoso con cal a partir de aproximadamente 5% disminuyó su resistencia para las condiciones expuestas.

- En el Suelo Limoso Arcilloso tipo 2 y Arenoso con sábila:
 - ✓ Se determinó que la sábila no impermeabiliza a las muestras de suelo.
 - ✓ Se determinó que la sábila disminuyó el doble la resistencia de la muestra.
 - ✓ Se determinó que tanto el cemento como la cal crean un conducto directo con la sábila para absorber el agua que esta posee, al igual que absorben toda el agua posible de la doble capa de las arcillas, esto disminuyó la resistencia.

- Disgregabilidad en los suelos:
 - ✓ Se observó que pintar las muestras de suelo estabilizado con pintura de caucho para exteriores, algunas muestras se volvieron impermeables al sumergirlas durante 24 horas, fueron las siguientes: Limoso Arcilloso tipo 2 con Sábila y cemento 1%, Arenoso con Sábila y cemento 4%, Limoso Arcilloso tipo 1 con cemento 4% y con cal 4%.
 - ✓ Se comprobó que pintar las muestras con cal y sal se disgregaron a los pocos minutos, ya que la cal se disuelve en agua.

Recomendaciones

Luego de revisar los resultados obtenidos y con la finalidad de profundizar más en el tema de manera más efectiva, se recomienda lo siguiente:

- Utilizar las mezclas de suelo limoso arcilloso y arenoso como material de friso exterior, se debe impermeabilizar con pintura de caucho para exteriores.
- En la estabilización de un suelo con cal curar los especímenes al aire libre a una temperatura razonable o en sitio con baja humedad, para lograr el secado correcto y evitar fracturas prematuras.
- Preparar las mezclas sin sábila, ya que no cumple con la función de impermeabilización.
- Cernir la cal antes de colocarla en la mezcla para mejor manejabilidad y acabado.
- La mejor manera de usar la cal para construcción y suelos estabilizados, es con cal hidratada ya que se observó anteriormente que la viva no da muy buenos resultados tanto de calidad de la mezcla al formar una buena pasta equilibrada y con adherencia entre las partículas del suelo, resultando así resistencias coherentes y sin disgregabilidad a largo plazo.

Bibliografía

- AASHTO. (s.f.). *Clasificación de los suelos*.
- ASTM. (1950). *Procedimiento para la clasificación de los suelos*.
- Ayala, H. I. (Septiembre de 2017). Laboratorio de Mecánica de Suelos para Ingenieros. Caracas, Venezuela.
- Celis, C., Torres, A., Martínez, W., & Lomelí, M. (2010). Mejora en la durabilidad de materiales base cemento, utilizando adiciones deshidratadas de dos cactáceas. México.
- Covenin, 2.-7. (1978). Método de Ensayo para Determinar la Disgregabilidad de Agregados por Medio del Sulfato de Sodio o Sulfato de Magnesio. Caracas: FONDONORMA.
- Das, B. M. (2010). Principles of Geotechnical Engineering. Stamford, USA.
- Echezuría, H. (S/F). Pavimento de Suelo-Cemento para mejorar el proceso constructivo en obras grandes durante los inviernos.
- Fernandez, V., & Varela, E. (12 de Noviembre de 2012). *Diseño y Construcción de un muro confinado de bloques aligerados de suelo-cemento*. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela.
- Heredia, J. V. (s.f.). Mejoramiento de Suelos para carreteras, ferrocarriles y aeropuertos.
- Hernández, B., & Urdaneta, A. (2015). *Evaluación de agentes orgánicos como inhibidores de corrosión en un sistema de flujo continuo*. Caracas, Venezuela.
- Lavalle, E. d. (2013). Suelo-Cemento. *Suelo-Cemento Sus usos, propiedades y aplicaciones*. México.
- Luna, G. I. (2004). *Guía de construcción de obras arquitectónicas*.
- Melone, A., & López, M. (Junio de 2019). Sesión Presencial, Comunicación Personal.
- Normas para la construcción de edificios MOP. (1962).
- Rondón, A., & Sánchez, C. (13 de Diciembre de 2017). *Factibilidad de Utilización de un aditivo en los diseños de mezcla de suelo-cemento para la fabricación de bloques*. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela.

Stoddart, A. (2010). *Adecuación y Actualización de los apuntes para la cátedra de pavimentos*. Caracas, Venezuela: Universidad Católica Andrés Bello.

Anexos

A-1 Ensayos Característicos realizados para los materiales

A-1.1 Granulometría por Tamices

TAMIZ	RETENIDO	DIÁMETRO	PASANTE
	Acumulado		
Nº	gramos	mm	%
3	0	75	100
1.5	0	37.5	100
3/4	0	19	100
3/8	0	9.5	100
4	0	4.75	100
10	11.59	2	93.97
20	24.74	0.85	87.14
40	37.29	0.425	80.61
80	56.77	0.18	70.48
200	90.77	0.075	52.80
200	101.55	0.075	

A-1.2 Granulometría por hidrómetro

Temperatura (°C)	Tiempo (seg, min, hrs)	Lectura R
23.08	30 seg	60
23.08	1 min	54
23.08	2	51
23.08	4	50
23.08	10	44
23.08	15	43
23.08	30	40
23.08	60	38
24.08	2 hrs	35
25.08	4	32
28.08	8	30
25.3	24	27

A-1.3 Gravedad Específica de los componentes del suelo

	ARENA		ARCILLA		LIMO	
Picnómetro	7	A4	1	2	1	7
Muestra Seca	22,60	22,60	22,40	22,40	25,00	25,00
Peso picnómetro	64,80	53,50	68,20	66,20	68,40	64,90
Picnom+agua	164,70	153,10	167,70	165,30	167,70	164,70
Picnom+agua+muestra	178,80	167,30	182,10	179,80	183,60	180,00
Ww1	99,90	99,60	99,50	99,10	99,30	99,80
Ww2	91,40	91,20	91,50	91,20	90,20	90,10
Ww	8,50	8,40	8,00	7,90	9,10	9,70
Gs	2,66	2,70	2,80	2,83	2,75	2,58
Gs 24°	2,66	2,70	2,80	2,83	2,74	2,57
Gsprom	2.67		2.81		2.66	

A-1.4 Gravedad Específica suelo limoso arcilloso tipo 1

Picnómetro	1	2
Peso picnómetro	15,25	168,16
Picnom+agua	652,6	666,8
Picnom+agua+muestra	708,5	722,7
Muestra Seca	88,7	88,8
Ww1	498,35	498,64
Ww2	465,55	465,74
Ww	32,8	32,9
Gs	2,704	2,699
Gs 24°	2,702	2,697
Gsprom	2.70	

A-1.5 Decantación: Ley de Stokes

Tipo	PE suelo (gr/cm ³)	PE agua (gr/cm ³)	Fino	Grueso	Vs 1 (cm/s)	Vs 2 (cm/s)	T 1	U	T 2	U
			D1 (cm)	D2 (cm)						
Arcillas	2.75	1.00	0.00004	0.0001	1.56E-05	9.72E-05	22.00	Días	85.71	Horas
Limos	2.67	1.00	0.00019	0.0074	3.35E-04	5.08E-01	24.88	Horas	1.00	Minuto
Arena	2.66	1.00	0.0425	0.075	1.67E+01	5.19E+01	1.80	Segundos	0.58	Segundos

M (gr*s/cm ²)	0.00001
H (cm)	30.00

A-1.6 Límites de Atterberg

A-1.6.1 Límite Líquido

Limoso

Arcilloso 1

Muestra	Tara (gr)	Tara+ muestra	Tipo muestra	# golpes	Tara+ muestra (seco)	Muestra Seca	Vw	%H	LL
1	26.1	37	SECA	37	34.6	8.5	2.4	28.2	29
	31.5	53.9	ORIGINAL	21	49.1	17.6	4.8	27.3	
2	31.3	53.9	SECA	30	49.2	17.9	4.7	26.3	
	29.7	47.2	ORIGINAL	18	43.4	13.7	3.8	27.7	
	27.9	49.2	HÚMEDA	17	44.4	16.5	4.8	29.1	

**Limoso
Arcilloso 2**

Muestra	Tara (gr)	Tara+ muestra	Tipo muestra	# golpes	Tara+ muestra (seco)	Muestra Seca	Vw	%H	LL
1	38.47	53.9	SECA	26	50.4	11.93	3.5	29.3	31
	40.26	53.1	ORIGINAL	22	49.9	9.64	3.2	33.2	
	25.5	40.6	HÚMEDA	29	37.1	11.6	3.5	30.2	
2	33.8	51.6	SECA	26	47.4	13.6	4.2	30.9	
	26.1	42.3	ORIGINAL	30	38.6	12.5	3.7	29.6	
	27.9	46.8	HÚMEDA	17	42	14.1	4.8	34.0	

Arenoso

Muestra	Tara (gr)	Tara+ muestra	Tipo muestra	# golpes	Tara+ muestra (seco)	Muestra Seca	Vw	%H	LL
1	41.52	80.2	SECA	18	71.3	29.78	8.9	29.9	32
	38.8	50	ORIGINAL	16	47.3	8.5	2.7	31.8	
2	42.5	58.2	HÚMEDA	9	54.2	11.7	4	34.2	
	40.81	65.6	SECA	20	59.8	18.99	5.8	30.5	

A-1.6.2 Límite Plástico

Muestra	Tara	Tara+tabaquitos	Tara+tabaquitos (seco)	%Humedad	LP
1	40.3	52.9	50.8	20	19
2	33.8	44.9	43.2	18.1	

Muestra	Tara	Tara+tabaquitos	Tara+tabaquitos (seco)	%Humedad	LP
1	31.5	40.8	39.1	22.37	23
2	29.8	38.4	36.8	22.86	
3	31.3	40.6	38.9	22.37	

Muestra	Tara	Tara+tabaquitos	Tara+tabaquitos (seco)	%Humedad	LP
1	45.8	49.4	48.6	28.6	25
2	39.2	48.3	46.6	23.0	
3	50.5	58.9	57.4	21.7	
4	40.4	48.1	46.5	26.2	

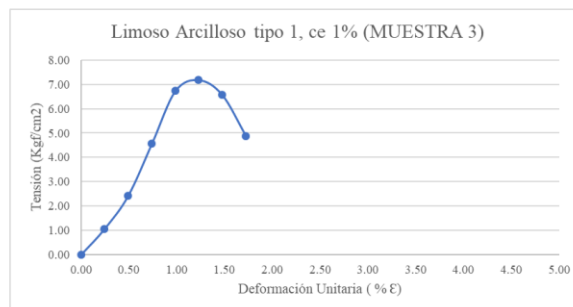
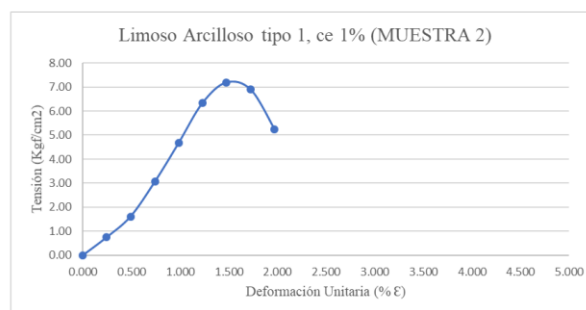
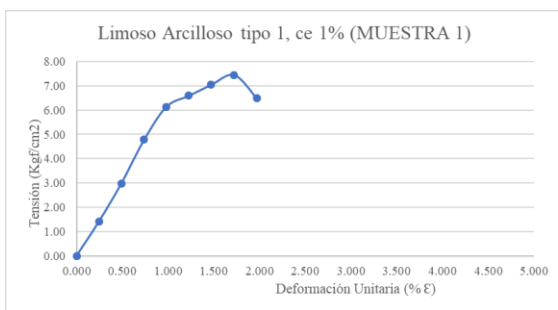
A-1.6.3 Índice de Plasticidad

Suelo	IP
Limoso Arcilloso 1	10
Limoso Arcilloso 2	9
Arenoso	7

A-2 Resistencia a la Compresión Simple

A-2.1 Suelo Limoso Arcilloso tipo 1, cemento 1%

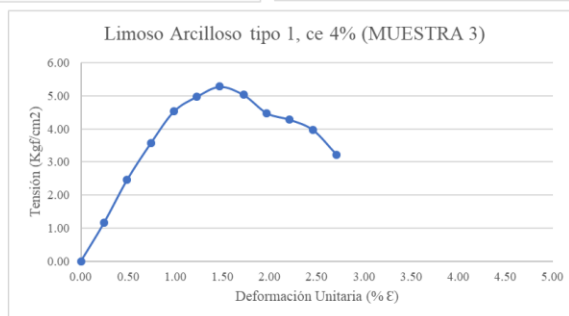
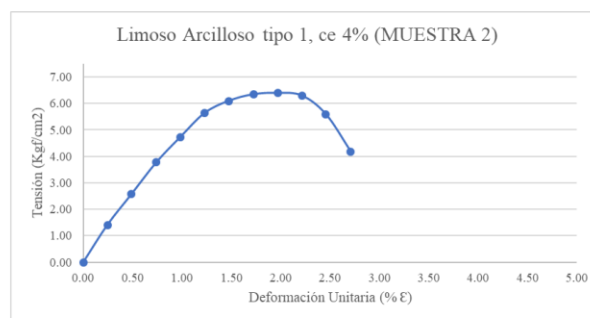
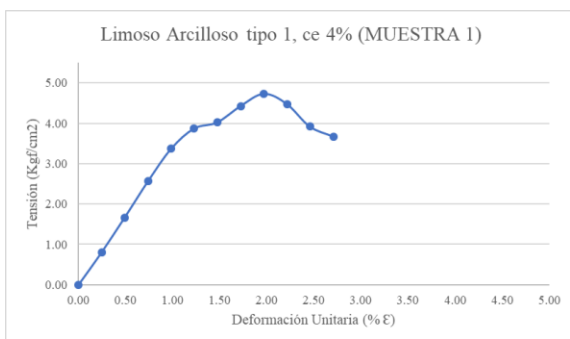
LIMOSO ARCILLOSO 1	Ce 1%	Humedad=30%	
Briquetas	1	2	3
Deformación Unitaria (ε)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,24	1,41	0,75	1,06
0,49	2,97	1,61	2,41
0,74	4,78	3,07	4,58
0,98	6,14	4,68	6,74
1,23	6,59	6,34	7,19
1,47	7,04	7,19	6,59
1,72	7,45	6,89	4,88
1,97	6,49	5,23	-



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO O CAL PARA ACABADOS LUCIDOS DE PAREDES, LOSAS DE PISO Y TECHOS DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO.

A-2.2 Suelo Limoso Arcilloso tipo 1, cemento 4%

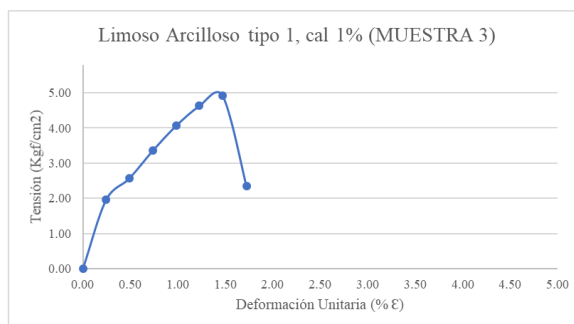
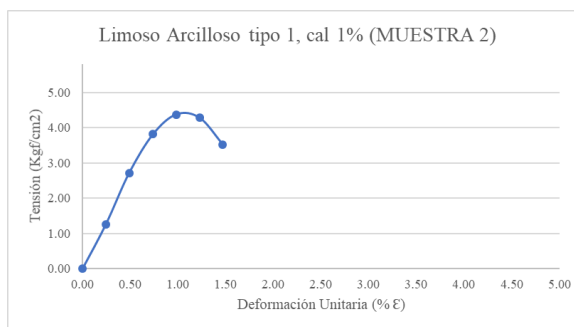
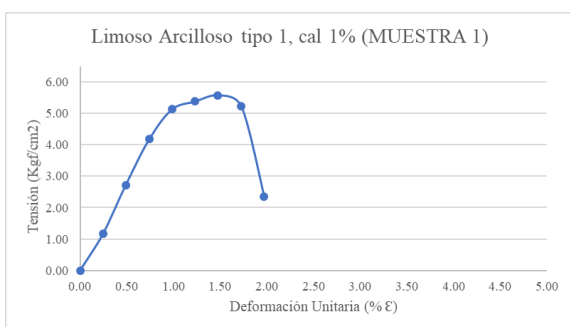
LIMOSO ARCILLOSO 1	Ce 4%	Humedad=31%	
Briquetas	1	2	3
Deformación Unitaria (ε)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
0.24	0.80	1.41	1.16
0.49	1.66	2.57	2.46
0.74	2.57	3.77	3.57
0.98	3.37	4.73	4.53
1.23	3.87	5.63	4.98
1.47	4.02	6.09	5.28
1.72	4.43	6.34	5.03
1.97	4.73	6.39	4.48
2.21	4.48	6.29	4.28
2.46	3.92	5.58	3.97
2.71	3.67	4.18	3.22



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO O CAL PARA ACABADOS LUCIDOS DE PAREDES, LOSAS DE PISO Y TECHOS DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO.

A-2.3 Suelo Limoso Arcilloso tipo 1, Cal 1%

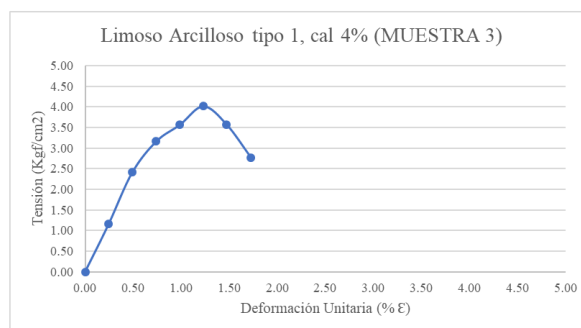
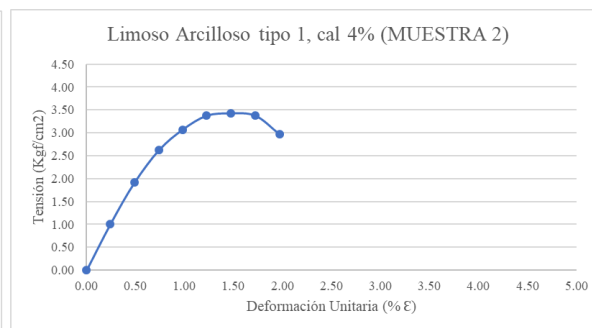
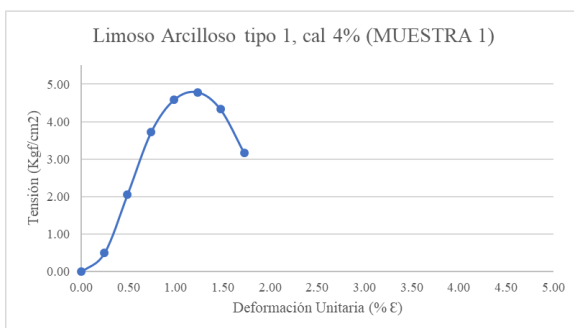
LIMOSO ARCILLOSO 1	Cal 1%	Humedad=31%	
Briquetas	1	2	3
Deformación Unitaria (ε)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
0.24	1.16	1.26	1.96
0.49	2.72	2.72	2.57
0.74	4.18	3.82	3.37
0.98	5.13	4.38	4.07
1.23	5.38	4.28	4.63
1.47	5.58	3.52	4.93
1.72	5.23	-	2.36
1.97	2.36	-	-



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO O CAL PARA ACABADOS LUCIDOS DE PAREDES, LOSAS DE PISO Y TECHOS DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO.

A-2.4 Suelo Limoso Arcilloso tipo 1, Cal 4%

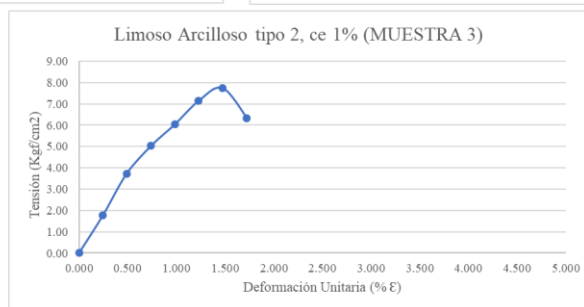
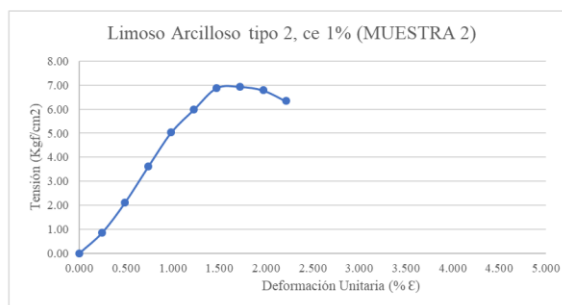
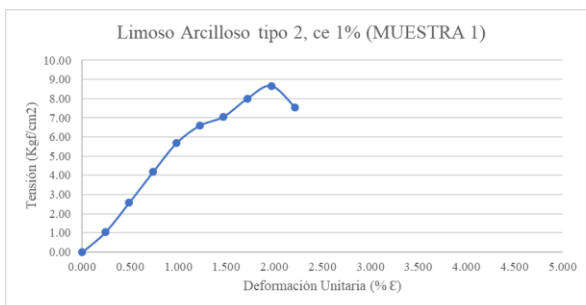
LIMOSO ARCILLOSO 1	Cal 4%	Humedad=32.5%	
Briquetas	1	2	3
Deformación Unitaria (ε)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
0.24	0.50	1.01	1.16
0.49	2.06	1.91	2.41
0.74	3.72	2.62	3.17
0.98	4.58	3.07	3.57
1.23	4.78	3.37	4.02
1.47	4.33	3.42	3.57
1.72	3.17	3.37	2.77
1.97	-	2.97	-



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO O CAL PARA ACABADOS LUCIDOS DE PAREDES, LOSAS DE PISO Y TECHOS DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO.

A-2.5 Suelo Limoso Arcilloso tipo 2, cemento 1%

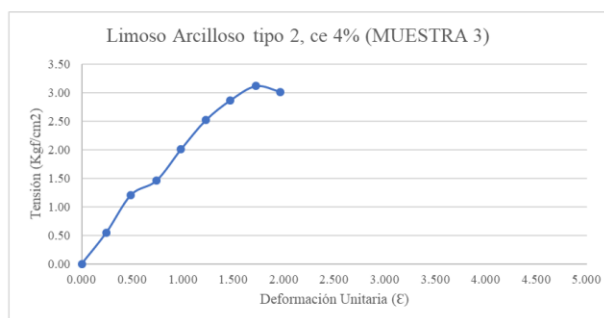
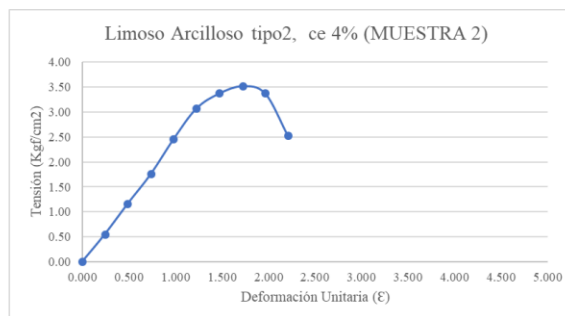
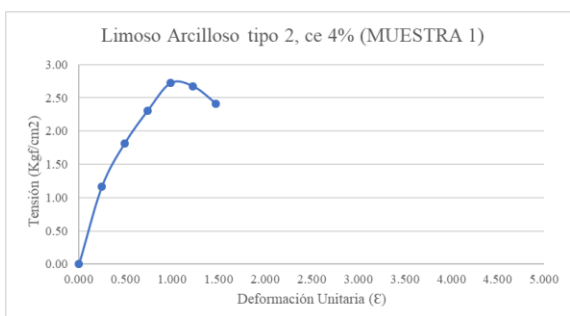
LIMOSO ARCILLOSO 2	Ce 1%	Humedad=39.5%	
Briquetas	1	2	3
Deformación Unitaria (ε)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
0.24	1.06	0.86	1.76
0.49	2.57	2.11	3.72
0.74	4.18	3.62	5.03
0.98	5.68	5.03	6.04
1.23	6.59	5.99	7.14
1.47	7.04	6.89	7.75
1.72	8.00	6.94	6.34
1.97	8.65	6.79	-
2.21	7.55	6.34	-



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO O CAL PARA ACABADOS LUCIDOS DE PAREDES, LOSAS DE PISO Y TECHOS DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO.

A-2.6 Suelo Limoso Arcilloso tipo 2, cemento 4%

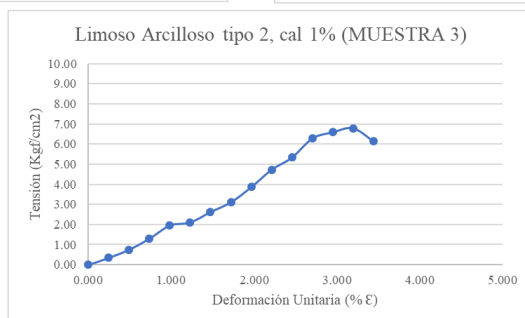
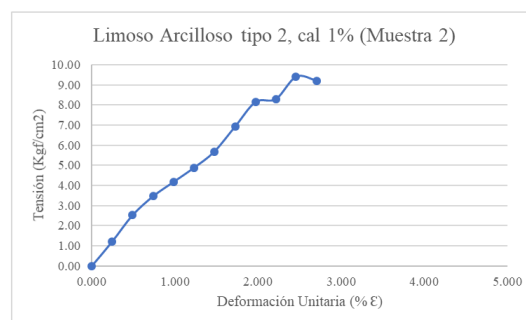
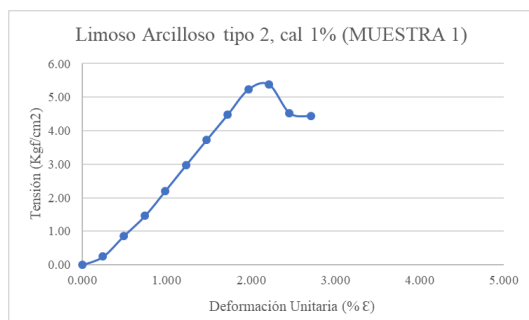
LIMOSO ARCILLOSO 2	Ce 4%	Humedad=41%	
Briquetas	1	2	3
Deformación Unitaria (ε)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
0.24	1.16	0.55	0.55
0.49	1.81	1.16	1.21
0.74	2.31	1.76	1.46
0.98	2.72	2.46	2.01
1.23	2.67	3.07	2.52
1.47	2.41	3.37	2.87
1.72	-	3.52	3.12
1.97	-	3.37	3.02
2.21	-	2.52	-



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO O CAL PARA ACABADOS LUCIDOS DE PAREDES, LOSAS DE PISO Y TECHOS DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO.

A-2.7 Suelo Limoso Arcilloso tipo 2, cal 1%

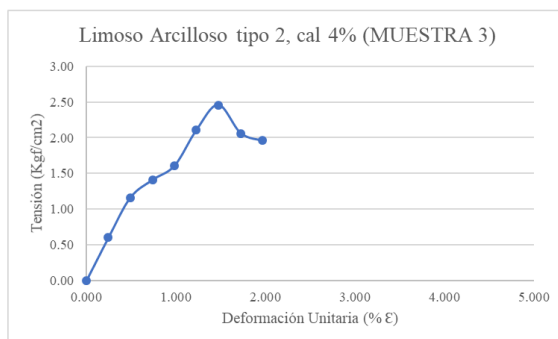
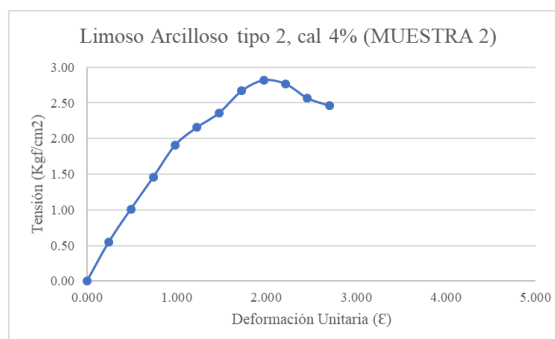
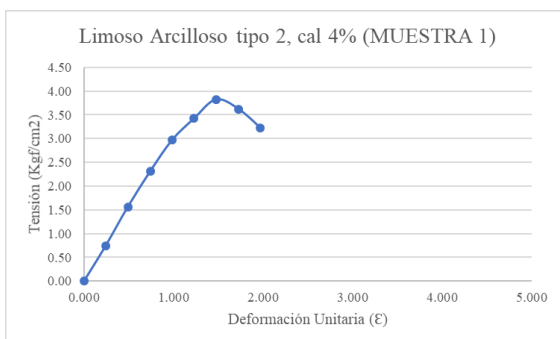
LIMOSO ARCILLOSO 2	Cal 1%	Humedad=41%	
Briquetas	1	2	3
Deformación Unitaria (ε)	Tensión (kgf/cm²)	Tensión (kgf/cm²)	Tensión (kgf/cm²)
0.00	0.00	0.00	0.00
0.24	0.25	1.21	0.35
0.49	0.86	2.52	0.75
0.74	1.46	3.47	1.31
0.98	2.21	4.18	1.96
1.23	2.97	4.88	2.11
1.47	3.72	5.68	2.62
1.72	4.48	6.94	3.12
1.97	5.23	8.15	3.87
2.21	5.38	8.30	4.73
2.46	4.53	9.41	5.33
2.71	4.43	9.21	6.29
2.95	-	-	6.59
3.20	-	-	6.79
3.44	-	-	6.14



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO O CAL PARA ACABADOS LUCIDOS DE PAREDES, LOSAS DE PISO Y TECHOS DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO.

A-2.8 Suelo Limoso Arcilloso tipo 2, cal 4%

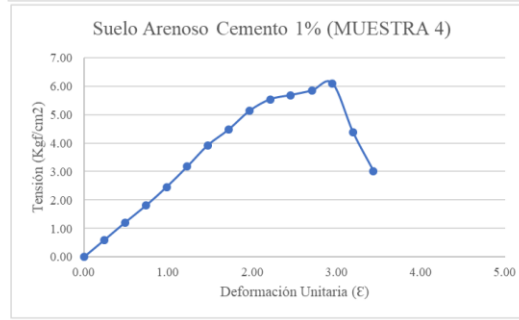
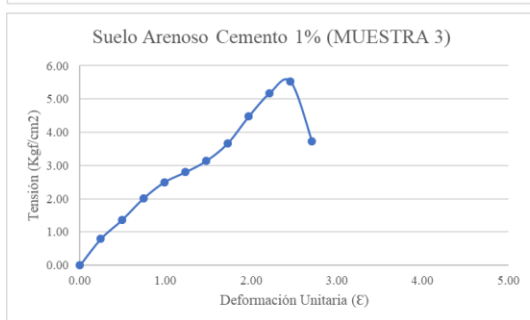
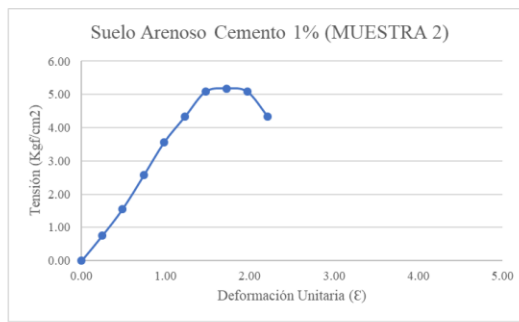
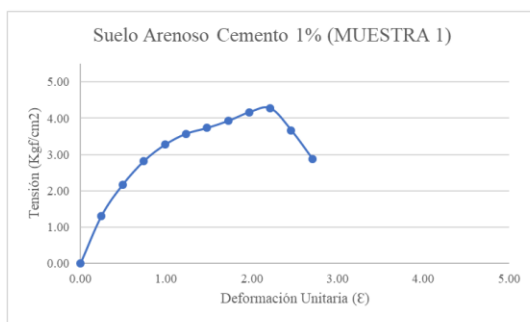
LIMOSO ARCILLOSO 2	Cal 4%	Humedad=44%	
Briquetas	1	2	3
Deformación Unitaria (ε)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
0.24	0.75	0.55	0.60
0.49	1.56	1.01	1.16
0.74	2.31	1.46	1.41
0.98	2.97	1.91	1.61
1.23	3.42	2.16	2.11
1.47	3.82	2.36	2.46
1.72	3.62	2.67	2.06
1.97	3.22	2.82	1.96
2.21	-	2.77	-
2.46	-	2.57	-
2.71	-	2.46	-



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO O CAL PARA ACABADOS LUCIDOS DE PAREDES, LOSAS DE PISO Y TECHOS DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO.

A-2.9 Suelo Arenoso, cemento 1%

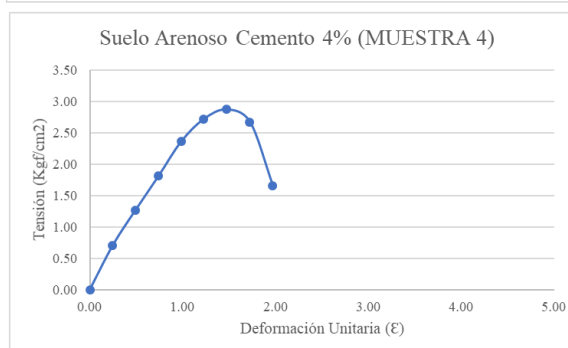
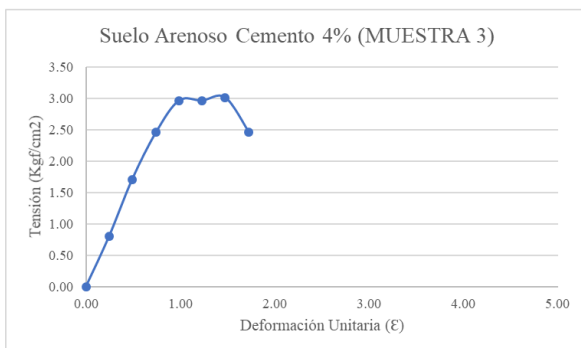
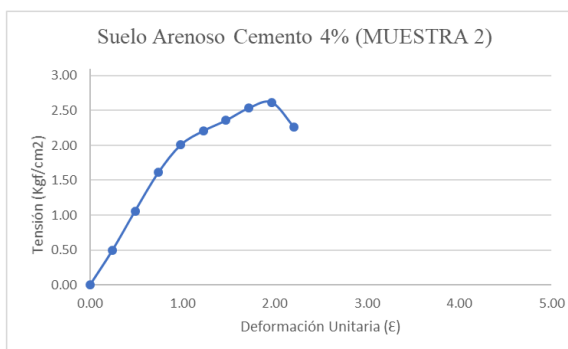
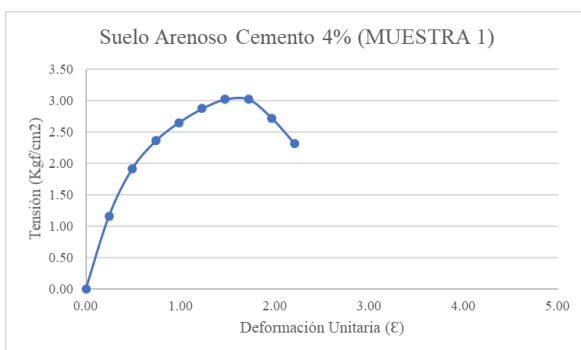
ARENOSO	Cemento 1%	Humedad=30 %		
Briquetas	1	2	3	4
Deformación Unitaria (ε)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.24	1.31	0.75	0.80	0.60
0.49	2.16	1.56	1.36	1.21
0.74	2.82	2.57	2.01	1.81
0.98	3.27	3.57	2.50	2.46
1.23	3.57	4.33	2.80	3.17
1.47	3.73	5.08	3.14	3.92
1.72	3.93	5.18	3.67	4.48
1.97	4.17	5.08	4.48	5.13
2.21	4.28	4.33	5.18	5.53
2.46	3.67	-	5.53	5.68
2.71	2.87	-	3.72	5.84
2.95	-	-	-	6.09
3.20	-	-	-	4.38
3.44	-	-	-	3.02



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO O CAL PARA ACABADOS LUCIDOS DE PAREDES, LOSAS DE PISO Y TECHOS DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO.

A-2.10 Suelo Arenoso, cemento 4%

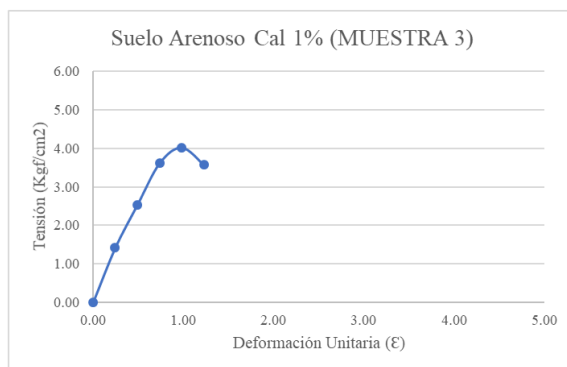
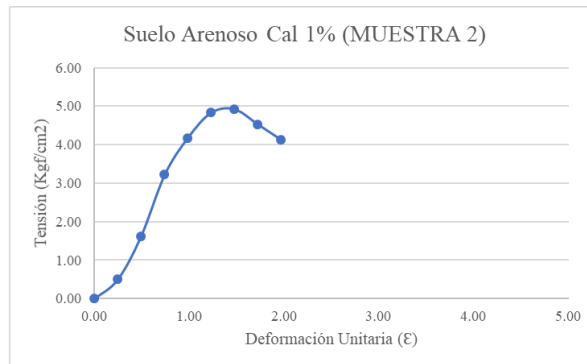
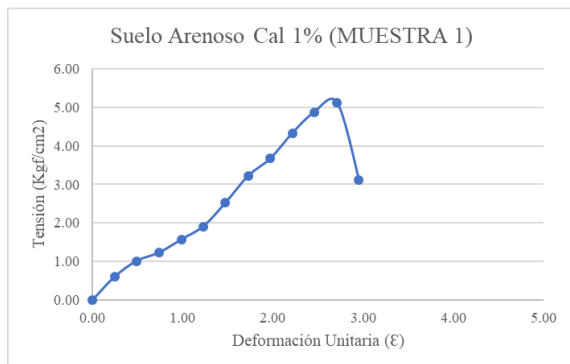
ARENOSO	Cemento 4%	Humedad=34.5 %		
Briquetas	1	2	3	4
Deformación Unitaria (ε)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.24	1.16	0.50	0.80	0.70
0.49	1.91	1.06	1.71	1.26
0.74	2.36	1.61	2.46	1.81
0.98	2.65	2.01	2.97	2.36
1.23	2.87	2.21	2.97	2.72
1.47	3.02	2.36	3.02	2.87
1.72	3.02	2.54	2.46	2.67
1.97	2.72	2.62	-	1.66
2.21	2.31	2.26	-	-



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO O CAL PARA ACABADOS LUCIDOS DE PAREDES, LOSAS DE PISO Y TECHOS DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO.

A-2.11 Suelo Arenoso, cal 1%

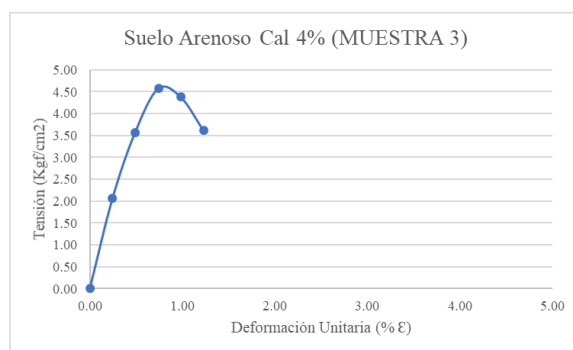
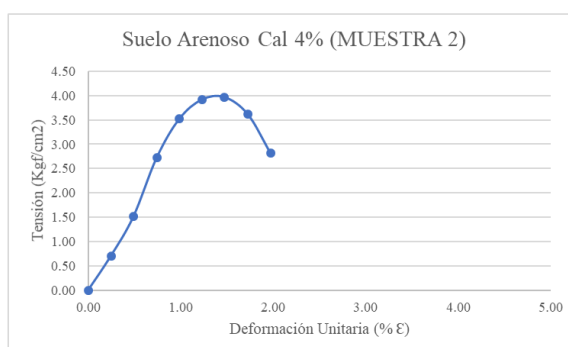
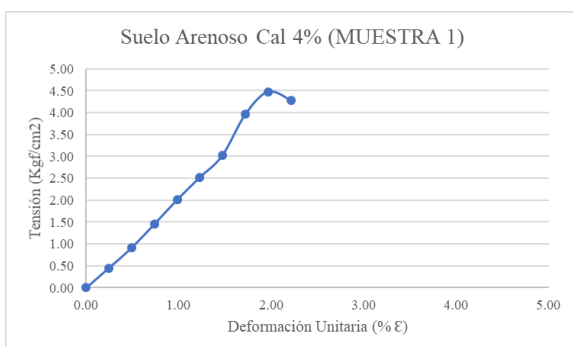
ARENOSO	Cal 1%	Humedad=31%	
Briquetas	1	2	3
Deformación Unitaria (ε)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
0.24	0.60	0.50	1.41
0.49	1.01	1.61	2.52
0.74	1.23	3.22	3.62
0.98	1.57	4.18	4.02
1.23	1.91	4.83	3.57
1.47	2.52	4.93	-
1.72	3.22	4.53	-
1.97	3.67	4.13	-
2.21	4.33	-	-
2.46	4.88	-	-
2.71	5.13	-	-
2.95	3.12	-	-



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO O CAL PARA ACABADOS LUCIDOS DE PAREDES, LOSAS DE PISO Y TECHOS DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO.

A-2.12 Suelo Arenoso, cal 4%

ARENOSO	Cal 4%	Humedad=39%	
Briquetas	1	2	3
Deformación Unitaria (ε)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)	Tensión (kgf/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
0.24	0.45	0.70	2.06
0.49	0.91	1.51	3.57
0.74	1.46	2.72	4.58
0.98	2.01	3.52	4.38
1.23	2.52	3.92	3.62
1.47	3.02	3.97	-
1.72	3.97	3.62	-
1.97	4.48	2.82	-
2.21	4.28	2.21	-



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO O CAL PARA ACABADOS LUCIDOS DE PAREDES, LOSAS DE PISO Y TECHOS DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO.