



**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE  
MEZCLAS ARTESANALES DE SUELOS ESTABILIZADOS CON  
CEMENTO PARA PISOS 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**

Otaola Rengel, Julio C.  
Jcotaola.12@gmail.com  
Ponte Sandoval, Ricardo A.  
Rickyponete@hotmail.com

**PROFESOR GUÍA**

Ing. Echezuria, Heriberto.

**FECHA**

Caracas, junio de 2019.



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE  
MEZCLAS ARTESANALES DE SUELOS ESTABILIZADOS  
CON CEMENTO PARA PISOS DE VIVIENDAS DE BAJO  
COSTO**

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

PROFESOR GUÍA:

Nombre: Heriberto Echeverría

Firma: 

JURADO EXAMINADOR:

Nombre: Guillermo Bonté

Firma: 

Nombre: Roque Govea Ruiz

Firma: 

Realizado por:

Otaola Rengel, Julio Cesar.

Ponte Sandoval, Ricardo.



Caracas, Junio 2019



Scanned with  
CamScanner

"Análisis de la Incidencia del Índice de Plasticidad y la Granulometría en las  
Propiedades de Suelos Estabilizados con Cemento y/o Cal"

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres Julio José y María de Lourdes por siempre apoyarnos y estar pendiente de la realización de este TEG.

A mi compañero Ricardo por estos meses de arduo trabajo y lograr sacar adelante este TEG.

Al Ing. Echezuria, Heriberto por darnos la oportunidad de profundizar uno de sus temas de estudio, por su dedicación y apoyo a lo largo de esta investigación.

Al Ing. Pérez Ayala, Hugo por su apoyo en la realización de este TEG, ya sea en sus conocimientos en lo referente al tema así como la disponibilidad en todo momento del laboratorio de suelos de la UCAB.

Al Sr. Villegas, Jesús por siempre prestarnos la ayuda necesaria en el laboratorio de suelos de la UCAB.

Julio César Otaola Rengel.

Primero que nada, agradecer a Dios, por darme salud y permitirme tanto terminar esta etapa tan importante en mi vida como vivir el momento junto a mis seres queridos y amistades cercanas.

Agradezco a mis padres Miguel Ponte e Indira Sandoval, por siempre estar para mí en todo momento, por sus consejos, su apoyo y que durante toda mi vida gracias a ellos nunca me faltó nada para salir adelante y cumplir mis metas. Los Amo.

A mis hermanos Gabriela Ponte, Miguel Ponte y Wilfredo Ponte, por sus valiosos consejos, regaños y por las grandes lecciones que me enseñaron a lo largo de mi vida que me ayudaron a ser la persona que soy hoy en día. Los Amo.

A mi compañero de TEG Julio Otaola, por tanta paciencia, tantos días de trabajos tantos ensayos, tantos errores, pero tan buen equipo que formamos para llevar este tema adelante y lograr presentar un trabajo excepcional.

A nuestro tutor Ing. Echezuria, Heriberto, por estar siempre para nosotros aclarando cualquier duda que tuviéramos, por tantos regaños con el fin que leyéramos y a prendiéramos acerca del tema de estudio.

Gracias infinitas al Ing, Pérez Ayala, Hugo por ponernos a disposición el laboratorio de la UCAB para realizar nuestros ensayos y asesorarnos en todo momento, así como también al Sr. Villegas, Jesús por siempre estar pendiente de nosotros y ayudarnos en todo momento.

A mis compañeros de promoción, que ya se graduaron y que están por graduarse, que influyeron de manera significativa en este logro. Muchísimas Gracias.

Ricardo Andrés Ponte Sandoval.

*INDICE*

**ÍNDICE DE CONTENIDO**

ÍNDICE DE CONTENIDO .....	II
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	IX
SINOPSIS.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XIII
CAPITULO I. EL PROBLEMA .....	1
I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
I.2 ANTECEDENTES .....	2
I.3 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	4
I.4 OBJETIVOS.....	4
I.4.1 Objetivo General.....	4
I.4.2 Objetivos Específicos.....	5
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	6
II.1 EL SUELO Y SUS TIPOS.....	6
II.1.1 Definición de Suelo.....	6
II.1.2 Clasificación de Suelos .....	6
II.1.2.1 Según Sistema Unificado.....	6
II.1.2.2 Según Sistema AASHTO.....	8
II.1.2.3 Definición de Suelo Limo Arcilloso .....	11
II.1.2.4 Definición de Suelo Arcilloso.....	11

*INDICE*

II.1.2.5	Definición de Suelo Arenoso.....	12
II.1.2.6	Definición de Suelo Limoso.....	12
II.2	MATERIALES CEMENTANTES UTILIZADOS .....	13
II.2.1	Cemento.....	13
II.2.2	Cal.....	13
II.2.3	Alumbre .....	14
II.3	MÉTODO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS .....	14
II.3.1	Definición de Estabilización de Suelos .....	14
II.3.1.1	Estabilización Física.....	14
II.3.1.2	Estabilización Química.....	15
II.3.1.3	Estabilización Físico – Química.....	15
II.3.2	Método del Suelo - Cemento .....	15
II.3.3	Diferencia entre Estabilización y Mejoramiento de Suelos.....	15
II.4	ELABORACIÓN DE BRIQUETAS .....	16
II.4.1	Normas Utilizadas .....	16
II.4.2	Características del Material a Introducir en las Briquetas .....	17
II.4.3	Diagrama Textural de la USDA.....	17
II.5	HIDRATACIÓN DE LOS MATERIALES CEMENTANTES .....	19
II.5.1	Hidratación del Cemento .....	19
II.5.2	Hidratación de la Cal .....	21
II.5.3	Hidratación del Alumbre .....	21
II.6	CURADO DE LAS MUESTRAS.....	22
II.6.1	Definición de Curado.....	22

*INDICE*

II.6.2	Método Empleado y Comparaciones .....	22
II.6.3	Cámara de Curado Propia .....	22
II.7	ENSAYOS PARA CUMPLIR LOS OBJETIVOS PLANTEADOS .....	23
II.7.1	Compresión No Confinada.....	23
II.7.1.1	Caping.....	23
II.7.2	Durabilidad ante Exceso de Agua .....	23
CAPITULO III.	MARCO METODOLÓGICO.....	25
III.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	25
III.2	MATERIALES UTILIZADOS .....	25
III.3	PROCEDIMIENTO. ....	26
III.3.1	Ensayos de Caracterización del Suelo.....	27
III.3.1.1	Granulometría por Tamices .....	27
III.3.1.2	Granulometría por Hidrómetro .....	27
III.3.1.3	Humedad.....	27
III.3.1.4	Gravedad Específica .....	27
III.3.1.5	Límite Líquido.....	27
III.3.1.6	Límite Plástico .....	27
III.3.1.7	Medida de pH .....	28
III.3.2	Métodos de Separación de los Tipos de Suelo .....	28
III.3.2.1	Sedimentación.....	28
III.3.2.2	Decantación .....	28
III.3.3	Materiales Cementantes Utilizados.....	28
III.3.3.1	Cemento.....	28

*INDICE*

III.3.3.2	Cal .....	29
III.3.3.3	Alumbre.....	29
III.3.4	Elaboración de Briquetas.....	30
III.3.5	Curado de las Muestras.....	31
III.3.6	Ensayos para Cumplir los Objetivos Planteados .....	32
III.3.6.1	Compresión No Confinada.....	32
III.3.6.2	Durabilidad ante Exceso de Agua .....	33
CAPITULO IV.	DESARROLLO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	34
IV.1	CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS .....	34
IV.1.1	Granulometría por Tamices .....	34
IV.1.2	Granulometría por Hidrómetro .....	35
IV.1.3	Curva Granulométrica .....	36
IV.1.4	Humedad.....	36
IV.1.5	Gravedad Especifica .....	37
IV.1.6	Límites de Atterberg.....	39
IV.1.7	Porcentaje de Limos y Arcillas en Pasante #200.....	41
IV.1.8	Medida de pH .....	42
IV.2	MÉTODO DE SEPARACIÓN DE LOS TIPOS DE SUELO .....	42
IV.2.1	Sedimentación por Ley de Stokes.....	42
IV.3	PLANIFICACIÓN DE BRIQUETAS .....	43
IV.4	ENSAYO DE COMPRESIÓN NO CONFINADA .....	46
IV.4.1	Suelo Limo Arcilloso.....	46
IV.4.2	Suelo Arcilloso .....	53

*INDICE*

IV.4.3 Suelo Arenoso .....	57
IV.4.4 Suelo Limoso .....	60
IV.5 DURABILIDAD ANTE EXCESO DE AGUA .....	66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	68
CONCLUSIONES .....	68
RECOMENDACIONES .....	69
BIBLIOGRAFÍA .....	70

*INDICE*

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Clasificación del Suelo según Sistema Unificado.....	7
Tabla 2. Clasificación del Suelo según el Sistema AASHTO.....	11
Tabla 3. Características de Cada Uno de los Suelos Evaluados en TEG. ....	18
Tabla 4. Ensayo Granulometría por Tamices.....	34
Tabla 5. Resultados de Humedad.....	36
Tabla 6. Valores Obtenidos de Gravedad Específica.....	37
Tabla 7. Valores Promedio de Gravedad Específica en los Principales Minerales de las Arcillas. .	38
Tabla 8. Límites de Atterberg (Límite Líquido; Límite Plástico; Índice de Plasticidad) para los Diferentes Tipos de Suelos.....	39
Tabla 9. Valores de Sedimentación al Pasante #200 sin Defloculante. ....	41
Tabla 10. Valores por Hidrómetro al Pasante #200 con Defloculante.....	41
Tabla 11. Ensayo de pH. ....	42
Tabla 12. Ensayo de Sedimentación por Ley de Stokes. ....	42
Tabla 13. Planificación de Briquetas de Suelo Limo - Arcilloso.....	44
Tabla 14. Planificación de Briquetas de Suelo Arcilloso.....	45
Tabla 15. Planificación de Briquetas de Suelo Arenoso. ....	45
Tabla 16. Planificación de Briquetas de Suelo Limoso. ....	46
Tabla 17. Valores de Esfuerzos Máximos para Briquetas de Suelo Limo Arcilloso. ....	46
Tabla 18. Valores de Esfuerzos Máximos de Briquetas de Suelo Arcilloso.....	53
Tabla 19. Valores de Esfuerzos Máximos de Briquetas de Suelo Arenoso. ....	57
Tabla 20. Valores de Esfuerzos Máximos de Briquetas de Suelo Limoso.....	60
Tabla 21. Valores Obtenidos en Ensayo de Durabilidad. ....	67

*INDICE*

**ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1. Diagrama Textural de la USDA. ....	18
Ilustración 2. Proceso de Hidratación del Cemento.....	19
Ilustración 3. Desarrollo de Resistencia en el Concreto según cada Fase. ....	20
Ilustración 4. Grado de Hidratación por Componente del Concreto. ....	20
Ilustración 5. Suelo Limo Arcilloso .....	25
Ilustración 6. Producto del Tamizado: Arena Media, Arena Fina y Pasante # 200.....	26
Ilustración 7. Cemento Utilizado.....	29
Ilustración 8. Cal Utilizada.....	29
Ilustración 9. Alumbre Utilizado.....	30
Ilustración 10. Cámara de Curado Creado por Otaola y Ponte con Briquetas en su Interior. ....	32
Ilustración 11. Cámara de Curado Creada por Otaola y Ponte Sellada con Briquetas en su Interior.	32
Ilustración 12. Presencia del Mineral Mica en el Suelo. ....	38
Ilustración 13. Detalle de las Capas en Ensayo de Sedimentación.....	43
Ilustración 14. Expansión con Alumbre en Granos.....	52

*INDICE*

**ÍNDICE DE GRÁFICOS**

Gráfico 1. Granulometría por Tamices. ....	34
Gráfico 2. Granulometría por Hidrómetro. ....	35
Gráfico 3. Curva Granulométrica.....	36
Gráfico 4. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Limo Arcilloso sin Material Cementante....	47
Gráfico 5. Curva Esfuerzo - Deformación Promedio para Suelo Limo Arcilloso con 3% de Cemento. .....	47
Gráfico 6. Curva Esfuerzo - Deformación Promedio para Suelo Limo Arcilloso con 7% de Cemento. .....	48
Gráfico 7. Curva Esfuerzo - Deformación Promedio para Suelo Limo Arcilloso con 5% de Cal... 49	
Gráfico 8. Curva Esfuerzo - Deformación Promedio para Suelo Limo Arcilloso con 9% de Cal... 50	
Gráfico 9. Curva Esfuerzo Deformación de Briquetas de Suelo Limo Arcilloso con 8% de Alumbre y 12,33 % de Agua. ....	51
Gráfico 10. Curva Esfuerzo - Deformación de Briquetas de Suelo Limo Arcilloso con 9% de Alumbre y 10,41 % de Agua. ....	51
Gráfico 11. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arcilloso sin Material Cementante. ....	53
Gráfico 12. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arcilloso con 5 % de Cemento. ....	54
Gráfico 13. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arcilloso con 7 % de Cemento. ....	54
Gráfico 14. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arcilloso con 5,5 % de Cal. ....	55
Gráfico 15. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arcilloso con 7,5 % de Cal. ....	55
Gráfico 16. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arcilloso con 8% de Alumbre y 21,42% de Agua. ....	56
Gráfico 17. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arenoso sin Material Cementante.....	57
Gráfico 18. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arenoso con 3 % de Cemento.....	58

*INDICE*

Gráfico 19. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arenoso con 7% de Cemento. ....	58
Gráfico 20. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arenoso con 5% de Cal. ....	59
Gráfico 21. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arenoso con 9 % de Cal. ....	59
Gráfico 22. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arenoso con 9 % de Alumbre y 12,82 % de Agua. ....	60
Gráfico 23. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Limoso sin Material Cementante. ....	61
Gráfico 24. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Limoso con 3 % de Cemento. ....	61
Gráfico 25. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Limoso con 7 % de Cemento. ....	62
Gráfico 26. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Limoso con 5 % de Cal. ....	62
Gráfico 27. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Limoso con 9 % de Cal. ....	63
Gráfico 28. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Limoso con 9 % de Alumbre y 15,41 % de Agua. ....	63
Gráfico 29. Complemento de Graficas de Cemento TEG Delgado - Meza, Duran - López y Otaola - Ponte. ....	65
Gráfico 30. Complemento de Graficas de Cal TEG Delgado - Meza, Duran - López y Otaola - Ponte. .....	65
Gráfico 31. Resultados de Distintos Contenidos de Material y Cementantes de Distintos TEG. ....	66

*SINOPSIS*

# **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MEZCLAS ARTESANALES DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA PISOS DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO**

## **Trabajo Especial de Grado**

**Autores:**

Br. Otaola, Julio

Br. Ponte, Ricardo

**Tutor:**

Ing. Echezuria, Heriberto

## **SINOPSIS**

El presente Trabajo de Grado, tiene como objeto principal, analizar las propiedades mecánicas de suelos estabilizados con cemento como alternativa para la construcción de pisos de viviendas de bajo costo, esto mediante la comparación de los resultados del ensayo a la compresión no confinada de diversas briquetas en las cuales se diferencia un suelo limo arcilloso, un suelo arcilloso, un suelo arenoso y un suelo limoso, mezclados cada uno de ellos con materiales cementantes tales como cemento, cal y alumbre.

La investigación es de tipo exploratoria - explicativa según Castillero, Oscar (2019) “No parte de teorías muy detalladas, se concentra en analizar aspectos que no han sido analizados en profundidad y a su vez intenta determinar las causas y consecuencias de un fenómeno en concreto”. Para este caso, el estudio va determinado a qué tipo de suelo variando su índice de plasticidad genera la mayor resistencia a la compresión no confinada mediante la técnica del suelo estabilizado con materiales cementantes (cemento, cal o alumbre).

## *SINOPSIS*

En este Trabajo de Grado se suministra una información completa de valores obtenidos en ensayos de granulometría, hidrometría, humedad, límite líquido, límite plástico, gravedad específica y cantidades a utilizar para la elaboración de cada una de las briquetas de los distintos tipos de suelos.

También se ofrece un manual o guía que se pretende sirva para futuros Trabajos Especiales de Grado (TEG), relacionados al tema estudiado, en el cual se explica tanto el paso a paso de la realización de cada uno de los ensayos antes mencionados, así como también la elaboración de las briquetas y la aplicación de la técnica de los suelos estabilizados con materiales cementantes.

Se documentan diferentes tipos de resultados que se presentan al momento de ensayar a los 28 días las briquetas elaboradas, lo que resulta interesante y proporciona una idea de las distintas soluciones que se pueden adoptar ante diferentes configuraciones de suelos estabilizados según el material predominante.

Una conclusión importante que se obtuvo de la realización del presente es que el tipo de suelo más resistente de los estudiados es el Limoso, también que el Alumbre generó resultados positivos que no eran esperados y que si se desea obtener altos valores de resistencia la Cal viva (óxido de calcio) no es el material recomendado para los suelos considerados.

Se pretende que el trabajo realizado represente un complemento a trabajos previamente realizados, ya que es una solución económica del aprovechamiento del suelo para la elaboración de pisos de viviendas, lo cual para el contexto actual que está viviendo Venezuela es de gran importancia para el ahorro de recursos del estado y la necesidad de satisfacer a las personas en situación de calle con hogares dignos y seguros.

*INTRODUCCIÓN***INTRODUCCIÓN**

En el presente Trabajo de Grado, se estudia la resistencia a la compresión no confinada generada a los 28 días por briquetas constituidas por mezclas de suelos estabilizados en los que se destacan el Suelo Limo Arcilloso, Suelo Arcilloso, Suelo Arenoso y Suelo Limoso, los cuales fueron incorporados a distintos materiales cementantes tales como Cemento, Cal y Alumbre. A su vez se evaluaron las características de preparación de suelos estabilizados con diferentes granulometrías e índice de plasticidad y la facilidad de colocación de las mezclas mencionadas anteriormente en la construcción de pisos de viviendas de bajo costo.

La motivación de estudiar el análisis del comportamiento mecánico de mezclas artesanales de suelos estabilizados con cemento para pisos de viviendas de bajo costo, está en que como ya es sabido Venezuela vive en la actualidad una crisis en progreso en todos los sectores, sin embargo como pareja decidimos dar a conocer esta propuesta aplicada en otros países para demostrar que si es posible el aprovechamiento de suelos y el ahorro de recursos con la utilización de la misma, para así fomentar la evolución en el país. También es importante mencionar que es un tema que en la actualidad no tiene mucho renombre en el país, por lo que esperamos que este TEG sirva de base a muchas otras personas que quieran estudiar acerca del tópico.

Bajo este contexto se presenta esta investigación, que documenta y compara los ensayos a la compresión de briquetas variando tanto el suelo como el material cementante, así como también las características de preparación y facilidad de colocación, con la finalidad de proponer una metodología común de proyecto, la cual es dar a conocer a partir de los resultados obtenidos que tipo de suelo y cual material cementante según su proporción es el que genera la mayor resistencia a la compresión, además ofrecer información didáctica útil a la Escuela de Ingeniería Civil y la creación de un manual en el que se explica el paso a paso de cada uno de los ensayos y procedimientos aplicados para futuros trabajos relacionados al tema planteado, así como

## *INTRODUCCIÓN*

también generar una referencia para las personas que quieran aplicar la técnica del suelo estabilizado con materiales cementantes para la construcción de pisos de viviendas.

El contenido de este Trabajo Especial de Grado se encuentra estructurado de la siguiente manera:

**CAPÍTULO I. EL PROBLEMA:** Se describe el planteamiento del problema y su justificación, se presentan una serie de antecedentes que hacen referencia a investigaciones previas en esta línea de trabajo, se plantean los alcances, las limitaciones y se mencionan los objetivos generales y específicos.

**CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO:** Contiene los fundamentos teóricos relacionados a los ensayos iniciales para la clasificación de suelos, elaboración de briquetas y argumentos de del ensayo de compresión a los 28 días.

**CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO:** Se identifican el tipo y diseño de investigación, explicando los procedimientos realizados para el cumplimiento de los objetivos planteados.

**CAPÍTULO IV. DESARROLLO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS:** Se plantean los resultados obtenidos para los 4 tipos de suelos con sus respectivas variaciones de materiales cementantes y porcentajes de los mismos para luego discutir los valores obtenidos.

**CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:** se exponen las conclusiones alcanzadas en la investigación y se proponen recomendaciones para futuros desarrollos investigativos.

*CAPITULO I***CAPITULO I. EL PROBLEMA****I.1 Planteamiento del Problema**

Según Ponce, María (2019), “Actualmente en Venezuela alrededor de 13 millones de habitantes viven en pobreza y en viviendas de bajos recursos. En términos aproximados esto lleva a decir que más de un tercio de la población se encuentra en esta situación”, por su parte ENCOVI (2018), afirma que “87% de los hogares venezolanos se encontrarían en situación de pobreza, esto según una encuesta realizada sobre condiciones de vida en el año 2017. En esta encuesta se destaca que el 61,7 % de los hogares se encuentran en situación de pobreza, estos indicadores que se han venido variando y agravando con el paso de los años. Adicionalmente hay que decir que cada año se hace necesario construir alrededor de 100.000 nuevas unidades para los sectores pobres”.

Todo esto mencionado anteriormente sobre el nivel de pobreza que viven los venezolanos en la actualidad y que está tomando un crecimiento de forma notable, hace mirar a formas básicas y elementales para la construcción de pisos artesanales utilizando suelo cemento en casas de bajos recursos. Todo esto con la finalidad de crear una propuesta económica y viable que pueda ser implementada por distintos organismos para contribuir con la construcción de viviendas a las personas de bajos recursos.

El término suelo cemento es definido por Portland Cement Association (1997), como “una mezcla íntima de suelo, convenientemente pulverizado, con determinadas porciones de agua y cemento que se compacta y cura para obtener mayor densidad. Cuando el cemento se hidrata la mezcla se transforma en un material duro, durable y rígido” esto da a entender que es relativamente fácil de aplicar, se ahorraría gran cantidad de dinero al no utilizar grandes volúmenes de concreto y los materiales son muy abundantes en nuestro entorno. El suelo es

## CAPITULO I

considerado una fuente importante en relación a los materiales de construcción y son recursos renovables pensando en un futuro.

En este mismo orden el suelo cemento también permite reducir substancialmente el tiempo de construcción y también los costos. En casos de urgencias constructivas, su aplicación permite reducir considerablemente los tiempos de construcción siempre y cuando se utilicen las técnicas y maquinarias adecuadas. Finalmente hay que decir que las propiedades del suelo cemento en relación a la resistencia aumentan con el tiempo, lo que favorece que su conservación sea mínima y tenga una prolongada vida útil.

### I.2 Antecedentes

Juan M. Quintero E.; *Suelo – cemento con sustitución en franja granulométrica con concreto reciclado*. Universidad de Lasalle. Bogotá, Colombia. (2017).

Este trabajo de grado estudia el comportamiento de un suelo estabilizado con cemento, sustituyendo una fracción con concreto hidráulico reciclado y esto se llevó a cabo analizando el comportamiento mecánico de una mezcla de suelo cemento con sustitución de concreto reciclado en una franja granulométrica. La idea principal de este proyecto fué encontrar un menor consumo de cemento en la estabilización del suelo y mayor resistencia a la compresión simple de cada mezcla experimental.

Carlos F. Bayancela E.; *Análisis comparativo entre Suelo Cemento y Hormigón Pobre, como Material de Sustento para diferentes tipos de Cimentación Superficial, que requieren estas alternativas*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. (2016).

El objetivo principal de este trabajo de grado es comparar el material de sustento entre Suelo Cemento y Hormigón Pobre para diferentes tipos de cimentación superficial. Esto se llevó a cabo analizando la utilización del suelo cemento u hormigón pobre como material de sustento y también analizando las cimentaciones superficiales que tengan alguna complejidad.

## CAPITULO I

Darko Nesterenko C.; *Desempeño de suelos estabilizados con polímeros en Perú*. Universidad de Piura. Lima, Perú. (2018).

El objetivo principal de este proyecto fue el de definir el procedimiento constructivo de estabilización de suelos mediante el uso del polímero poliacrilamida, acorde a la realidad peruana, incorporando variables propias como lo pueden ser el tipo de equipos de ejecución y rendimiento constructivos. Para esto se realizaron ensayos de laboratorio en muestras de suelo virgen y en muestras estabilizadas con polímeros. Finalmente se pudo concluir que el uso de polímeros como estabilizador de suelos, evidencia una mejora de sus características físico-mecánicas.

Raúl R. Berlingieri.; *Caracterización de bloques de suelo cemento como mampuesto*. Universidad Nacional de Córdoba. Buenos Aires, Argentina. (2017).

El objetivo principal de este proyecto de grado fue el de lograr el estudio de un bloque de cemento que cumpla con las normativas vigentes en Argentina. Se indica que el suelo cemento al ser una mezcla íntima y homogénea de suelo pulverizado con determinadas cantidades de agua y cemento y con un determinado grado de compactación. Lo que se buscó básicamente con este proyecto fué obtener un material de suelo cemento con distintas densidades y características resistentes.

María A. Sánchez A.; *Estabilización de suelos expansivos con cal y cemento en el sector Calcical del Canton Tosagua Provincia de Manabi*. Universidad Católica del Ecuador. Quito. Ecuador. (2014).

El presente trabajo se centró en la investigación del comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo del sector Calcical del cantón Tosagua. El estudio se basó en la adhesión de un agente estabilizador al suelo, tal es el caso de la cal viva y el cemento Portland con la finalidad de analizar la variación en el comportamiento expansivo del suelo. Para realizar dicho estudio se realizaron ensayos para determinar las propiedades índices del suelo, así como

## *CAPITULO I*

su presión de hinchamiento y el porcentaje de expansión que esta representa tanto en estado natural como en la presencia de porcentaje estabilizante.

### **I.3 Alcances y Limitaciones**

El objeto de estudio de este Trabajo Especial de Grado, se centra en determinar el tipo de suelo según la variación de los componentes del mismo, ya sea suelo limo arcilloso, limoso, arenoso o arcilloso así como también la variación tanto del material cementante, ya sea cemento, cal o alumbre, como la cantidad del mismo que genere la mayor resistencia a los esfuerzos, tenga características óptimas en su preparación y además la facilidad de colocación en sitio sea resaltante con el fin de la construcción de pisos de viviendas de bajo costo.

Para efectos de este Trabajo Especial de Grado, el alcance del mismo va destinado a generar las recomendaciones más convenientes o una guía detallada dirigida a las personas que les interese el tema para que puedan seguir unos pasos para la aplicación en campo del método suelo cemento según el tipo de suelo.

Por su parte las limitaciones vienen dadas ya que una vez se ha introducido el cemento en el suelo y se hace el humedecido del mismo, la colocación y compactación de las capas debe hacerse con gran rapidez para evitar el fraguado anticipado, otra limitación es que se estudiará una cantidad limitada de tipos de suelo y finalmente que el trabajo de grado estará destinado únicamente a viviendas rurales.

### **I.4 Objetivos**

#### **I.4.1 Objetivo General**

- Analizar las propiedades mecánicas de suelos estabilizados con cemento como alternativa para la construcción de pisos de viviendas de bajo costo.

## *CAPITULO I*

### **I.4.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar la resistencia a la compresión de suelos estabilizados con cemento para la construcción de pisos en viviendas de bajo costo.
- Evaluar las características de preparación de suelos estabilizados con cemento con diferentes granulometrías e índices de plasticidad para la construcción de pisos en viviendas de bajo costo.
- Evaluar la facilidad de colocación de distintas mezclas de suelos estabilizados con cemento para la construcción de pisos en viviendas de bajo costo.

## CAPITULO II

# CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.

## II.1 EL SUELO Y SUS TIPOS

### II.1.1 Definición de Suelo

Barros, Javier (2017), afirma “Es la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas por acción de la temperatura, la humedad y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre él.

Son muchos los procesos que pueden contribuir a crear un suelo particular, algunos de estos son: la deposición eólica, sedimentación en cursos de agua, meteorización, y deposición de material orgánico. Es una estructura de vital importancia para el desarrollo de la vida, sirve de soporte a las plantas y le proporciona los elementos nutritivos necesarios para subdesarrollo”.

### II.1.2 Clasificación de Suelos

#### II.1.2.1 Según Sistema Unificado

El sistema de clasificación unificado USCS (Unified Soil Classification System), designación ASTM D-2487, originalmente fue desarrollado por A. Casagrande (1948) para la construcción de aeródromos durante la segunda guerra mundial. Este sistema de clasificación fue posteriormente modificado en 1952 por el mismo autor y el cuerpo de ingenieros de la armada de los Estados Unidos quienes hicieron que este sistema sea más aplicable a los propósitos de ingeniería, es decir que ya no era solo aplicable al campo de la aviación.

El sistema de clasificación USCS está basado en la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el índice de plasticidad. Este sistema de clasificación también se basa en la gráfica de plasticidad, que fue obtenida por medio de

investigaciones realizadas en laboratorio por A. Casagrande (1932). Este sistema de clasificación presenta las siguientes características según la norma ASTM D-2487:

**1.1** Clasifica a los suelos en cuatro principales categorías, cada una de estas categorías usa un símbolo que define la naturaleza del suelo:

- **Suelos de grano grueso.** Son de naturaleza tipo grava y arena con menos del 50% pasando por el tamiz N° 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo G para la grava o suelo gravoso del inglés “Gravel” y S para la arena o suelo arenoso del inglés “Sand”.
- **Suelos de grano fino.** Son aquellos que tienen 50% o más pasando por el tamiz N° 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M para limo inorgánico del sueco “mo y mjala”, C para arcilla inorgánica del inglés “Clay”.
- **Suelos orgánicos.** Son limos y arcillas que contienen materia orgánica importante, a estos se los denomina con el prefijo O del inglés “Organic”.
- **Turbas.** El símbolo Pt se usa para turbas del inglés “peat”, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

SISTEMA CLASIFICACION USCS							
GRUESOS (< 50 % pasa 0.08 mm)							
Tipo de Suelo	Símbolo	% pasa 5 mm.***	% pasa 0.08 mm.	CU	CC	** IP	
Gravas	GW	< 50	< 5	> 4	1 a 3		
	GP			≤ 6	<16>3		
	GM		> 12				< 0.73 (wl-20) ó <4
	GC						> 0.73 (wl-20) ó >7
Arenas	SW	> 50	< 5	> 6	1 a 3		
	SP			≤ 6	<16>3		
	SM		> 12				< 0.73 (wl-20) ó <4
	SC						> 0.73 (wl-20) y >7
* Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC.							
*** respecto a la fracción retenida en el tamiz 0.080 mm							
** Si IP ≥ 0.73 (wl-20) ó si IP entre 4 y 7 e IP > 0.73 (wl-20), usar símbolo doble: GM-GC, SM-SC.							
En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica Ej: GW-GM en vez de GW-GC.							
$C_u = (D_{60}) / (D_{10})$				$C_c = (D_{30}^2) / (D_{60} \cdot D_{10})$			

**Tabla 1. Clasificación del Suelo según Sistema Unificado.**

Fuente: Norma ASTM D-2487.

### **II.1.2.2 Según Sistema AASHTO**

La American Association of State Highway Officials adoptó este sistema de clasificación de suelos (AASHTO M 145), tras varias revisiones del sistema adoptado por el Bureau of Public Roads de Estados Unidos, en el que los suelos se agrupan en función de su comportamiento como capa de soporte o asiento del firme. Es el sistema más utilizado en la clasificación de suelos en carreteras.

En esta clasificación los suelos se clasifican en siete grupos que van desde el A-1 hasta el A-7 según su granulometría y plasticidad. Más concretamente, en función del porcentaje que pasa por los tamices n° 200, 40 y 10, y de los Límites de Atterberg de la fracción que pasa por el tamiz n° 40. Estos siete grupos se corresponden a dos grandes categorías de suelos, suelos granulares (con no más del 35% que pasa por el tamiz n° 200) y suelos limo-arcillosos (más del 35% que pasa por el tamiz n° 200).

La categoría de los suelos granulares; gravas, arenas y zahorras; está compuesta por los grupos A-1, A-2 y A-3, y su comportamiento en explanadas es, en general, de bueno a excelente, salvo los subgrupos A-2-6 y A-2-7, que se comportan como los suelos arcillosos debido a la alta plasticidad de los finos que contiene, siempre que el porcentaje de estos supere el 15%. Los grupos incluidos por los suelos granulares son los siguientes:

A-1: Corresponde a una mezcla bien graduada de gravas, arenas (gruesa y fina) y finos no plásticos o muy plásticos. También se incluyen en este grupo las mezclas bien graduadas de gravas y arenas sin finos.

A-1-a: Incluye los suelos con predominio de gravas, con o sin material fino bien graduado

A-1-b: Incluye suelos constituidos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien graduado.

## CAPITULO II

A-2: Este grupo comprende a todos los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz n° 200 y que no pueden ser clasificados en los grupos A-1 y A-3, debido a que el porcentaje de finos o la plasticidad de estos (o ambas cosas) están por encima de los límites fijados para dichos grupos. Por todo esto, este grupo contiene una gran variedad de suelos granulares que estarán entre los correspondientes a los grupos A-1 y A-3 y a los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.

A-2-4 y A-2-5: En estos subgrupos se incluyen los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz n° 200 y cuya fracción que pasa por el tamiz n° 40 tiene las características de los grupos A-4 y A-5, de suelos limosos. En estos subgrupos están incluidos los suelos compuestos por grava y arena gruesa con contenidos de limo o índices de plasticidad por encima de las limitaciones del grupo A-1, y los suelos compuestos por arena fina con una proporción de limo no plástico que excede la limitación del grupo A-3.

A-2-6 y A-2-7: En estos subgrupos se incluyen suelos como los descritos para en los subgrupos A-2-4 y A-2-5, excepto que los finos contienen arcilla plástica con tienen las características de los grupos A-6 y A-7.

A-3: Corresponde, típicamente, a suelos constituidos por arena fina de playa o de duna, de origen eólico, sin finos limosos o arcillosos o con una pequeña cantidad de limo no plástico. También incluyen este grupo, los depósitos fluviales de arena fina mal graduada con pequeñas cantidades de arena gruesa o grava.

La categoría de los suelos limo-arcillosos está compuesta por los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, cuyo comportamiento en explanadas va de regular a malo. En esta categoría los suelos se clasifican en los distintos grupos atendiendo únicamente a su límite líquido y a su índice de plasticidad, según las zonas del siguiente gráfico de plasticidad. De esta forma se clasifican también los suelos del grupo A-2 en los distintos subgrupos.

Los grupos incluidos en los suelos granulares son los siguientes:

## CAPITULO II

A-4: El suelo típico de este grupo es un suelo limoso no plástico o moderadamente plástico, que normalmente tiene un 75% o más de material que pasa por el tamiz n° 200. También se incluyen en este grupo los suelos constituidos por mezclas de suelo fino limosos y hasta un 64% de gravas y arenas.

A-5: El suelo típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-4, salvo que suele tener carácter diatomáceo o micáceo, y pueden ser muy compresibles, como indica su elevado límite líquido.

A-6: El suelo típico de este grupo es un suelo arcilloso plástico, que normalmente tiene un 75% o más de material que pasa por el tamiz n° 200. También se incluyen en este grupo las mezclas de suelo fino arcilloso y hasta un 64% de gravas y arenas. Estos suelos, experimentan generalmente grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo.

A-7: El suelo típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-6, salvo que que tiene las características de elevado límite líquido del grupo A-5, y puede ser elástico y estar sujeto a grandes cambios de volumen.

A-7-5: Se incluyen en este subgrupo los suelos con un índice de plasticidad moderado en relación con el límite líquido y que pueden ser altamente compresibles, además de estar sujetos a importantes cambios de volumen.

A-7-6: Se incluyen en este subgrupo los suelos con un índice de plasticidad elevado en relación con el límite líquido y que están sujetos a cambios de volumen muy importantes.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)						Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)				
	A-1		A-3 <sup>A</sup>	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...	...		B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. <sup>B</sup>
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno						Regular a malo				

<sup>A</sup> La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

<sup>B</sup> El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

**Tabla 2. Clasificación del Suelo según el Sistema AASHTO.**

Fuente: Norma AASHTO.

### II.1.2.3 Definición de Suelo Limo Arcilloso

Es el suelo característico de una zona en particular, este tipo de suelo va a servir como variable inicial para los diversos tipos de suelo con los que se va a comparar en la investigación. Para fines de este Trabajo Especial de Grado el suelo patrón a considerar será el extraído en la obra del Profesor Ing. Salvatorelli, Ricardo ubicada en la zona de Colinas de Valle Arriba en Caracas, Venezuela.

### II.1.2.4 Definición de Suelo Arcilloso

Gago, Marina (2017), afirma “El suelo arcilloso es aquel en el que predomina la arcilla (45% o más) sobre otras partículas de otros tamaños, la arcilla es un conjunto de partículas minerales muy pequeñas, de menos de 0,001 mm de diámetro. Se caracteriza por tener una elevada retención de agua, nutrientes, posee una baja porosidad lo que genera que carezca de

## CAPITULO II

aireación, son terrenos difíciles de trabajar por su alta viscosidad y muestra gran resistencia a la penetración de las raíces.

Presenta un color amarillo que indica la presencia de óxido de hierro hidratado, son excelentes depósitos de agua que encierran minerales que pueden ser utilizados con facilidad, sin embargo, esto puede generar excesos de agua que no favorecen del todo al desenvolvimiento del mismo”.

### II.1.2.5 Definición de Suelo Arenoso

Gago, Marina (2017), afirma “Está formado por el 75% de arena, tienen una buena absorción de agua mas no tienen la capacidad de retenerla por lo tanto tampoco conserva los nutrientes que necesitan las plantas, tienen grandes concentraciones en sales como calcio, potasio, magnesio y sodio.

Mayormente presentan colores claros que indican presencia de minerales tales como: Cuarzo, yeso y caolín. Poseen una contextura áspera, un dato para saber que es arenoso es que al tomar un poco de él en nuestras manos se nos escapa con facilidad y por más que se manipule seguirá suelto”.

### II.1.2.6 Definición de Suelo Limoso

Gago, Marina (2017), afirma “Es un tipo de suelo muy compacto, pero sin llegar el nivel de los arcillosos, el limo es un tipo de material muy fino que ha sido llevado a un lugar a través de los ríos o arrastrado por el viento o las lluvias por lo que son muy fértiles. Sabemos que se trata de suelos limosos porque, al igual que los arcillosos, permiten formar bolas aunque estas se rompen con facilidad. A diferencia de los arcillosos no nos permiten formar cintas entre los dedos.

Entre sus características tenemos: Son pedregosos, de color oscuro, filtran el agua con bastante rapidez, son suelos muy fértiles, la materia orgánica presente en este tipo de suelos se descompone con rapidez, por esto es un suelo rico en nutrientes”.

## II.2 MATERIALES CEMENTANTES UTILIZADOS

### II.2.1 Cemento

Cementos Tequendama (2017), afirma “Es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse después de ponerse en contacto con el agua. El producto resultante de la molienda de estas rocas es llamada Clinker y se convierte en cemento cuando se le agrega una pequeña cantidad de yeso para evitar la contracción de la mezcla al fraguar cuando se le añade agua y al endurecerse posteriormente. Mezclado con agregados pétreos (grava y arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétreo, su uso está muy generalizado en la construcción y la ingeniería civil”.

La Corporación Socialista de Cemento (2019), afirma “El cemento tipo CPCA 1 tiene una composición del tipo: 64% óxido de calcio, 21% óxido de silicio, 5,5% óxido de aluminio, 4,5% óxido de hierro, 2,4% óxido de magnesio, 1,6% sulfatos y 1% otros materiales, entre los cuales principalmente agua”.

### II.2.2 Cal

Tovar, Rafael (2019), afirma “Es una sustancia alcalina de color blanco o blanco grisáceo que al contacto con el agua, se hidrata o se apaga, desprendiendo calor. Es un término que designa todas las formas físicas en las que puede aparecer el óxido de calcio (CaO). Se obtiene como resultado de la calcinación de las rocas calizas o dolomías.

La cal se ha usado desde la más remota antigüedad como conglomerante en la construcción, también para pintar muros y fachadas de los edificios construidos con adobes o tapial típico en las antiguas viviendas mediterráneas. Son de resistencia menor y fraguado más lento que los morteros de Cemento, pero asimismo más trabajables que éstos”.

## CAPITULO II

### II.2.3 Alumbre

Martínez, Clara (2018), afirma “El sulfato de aluminio es una sal de fórmula  $Al_2(SO_4)_3$ , es sólido y blanco (en el caso del sulfato de aluminio tipo A, con un contenido de hierro inferior 0.5%) y marrón para el caso del sulfato de aluminio tipo B (contenido de hierro inferior al 1,5%). Es ampliamente usada en la industria, comúnmente como coagulante en la purificación de agua potable y en la industria del papel.

Es un tipo de sulfato triple compuesto por el sulfato de un metal trivalente, como el aluminio, y otro de un metal monovalente. También se pueden crear dos soluciones: una solución saturada en caliente y una solución saturada en frío”.

Una característica destacable de los alumbres es que son equimoleculares, porque por cada molécula de sulfato de aluminio hay una molécula de sulfato del otro metal, y cristalizan hidratados con 12 moléculas de agua en un sistema cúbico.

## II.3 MÉTODO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

### II.3.1 Definición de Estabilización de Suelos

Heredia, José (1997) afirma “Se considera estabilización cuando se ha perdido el equilibrio natural o que se encuentra en condición de equilibrio inestable (factor de seguridad igual a 1). En otros casos también es tratado lo que fue desestabilizado por fenómenos naturales o por acciones provocadas por el hombre tales como: Talud de montaña afectado por un deslave, flujos torrenciales, deslizamientos, entre otros”.

Echezuria, Heriberto (2019) afirma “En relación a esto en geotecnia se considera estabilización de suelos a toda acción destinada a proteger taludes naturales o producto de movimientos de tierra planificados o no, excavaciones de todo tipo”. Entre ellos se encuentra:

#### II.3.1.1 Estabilización Física

Responde a la aplicación de energía cinética o energía física propia para la estabilización de suelos mediante artefactos como compactadores.

### **II.3.1.2 Estabilización Química**

Responde a la aplicación de productos químicos, los que generalmente son productos que poseen una “patente” con la finalidad que la estabilización se realice mediante intercambio de iones e hidratación de los mismos, como:

Cal, Cemento Pórtland, productos asfálticos, Cloruro de sodio y cloruro de calcio, escorias de fundición, Polímeros, hule de neumáticos, entre otros.

### **II.3.1.3 Estabilización Físico – Química**

Responde a la combinación de los métodos de estabilización tanto físicos como químicos, es decir, utilizar compactadores y a la vez agregar materiales cementantes que contribuyan al objetivo, este tipo corresponde al Trabajo Especial de Grado.

### **II.3.2 Método del Suelo - Cemento**

La Portland Cement Association propone la definición siguiente: El suelo-cemento es una mezcla íntima de suelo, convenientemente pulverizado, con determinadas porciones de agua y cemento que se compacta y cura para obtener mayor densidad. Cuando el cemento se hidrata la mezcla se transforma en un material' duro, durable y rígido. Se le usa principalmente como base en los pavimentos de carreteras, calles y aeropuertos.

El Grupo Holandés de Trabajo rrn41 lo define así: El suelo-cemento y también el suelo estabilizado con cemento son una mezcla homogénea de suelo con cemento y agua que se compacta adecuadamente. El suelo tratado endurece por la reacción del cemento y el agua, por lo que mejora sus propiedades ingenieriles, lo cual favorece su uso en la construcción de carreteras.

### **II.3.3 Diferencia entre Estabilización y Mejoramiento de Suelos**

Heredia, José (1997), afirma “La diferencia está enmarcada en que el mejoramiento consiste en obtener mejor desempeño del suelo para diferentes propiedades geotécnicas, como puede ser: Compactarlo para aumentar su resistencia o disminuir las deformaciones,

## CAPITULO II

seleccionarlo o tamizarlo para obtener mezclas mal gradadas y así aumentar su permeabilidad, o por el contrario, mezclas bien gradadas para disminuir el flujo de agua a través de ellos. Por su parte la estabilización consiste como se explicó anteriormente en añadir materiales cementantes con la finalidad de aumentar distintas características del suelo”.

### II.4 ELABORACIÓN DE BRIQUETAS

#### II.4.1 Normas Utilizadas

Se utilizaron como referencia las normas del equipo Harvard Miniatura entre las que se encuentran:

La compactación en el equipo Harvard Miniatura se realiza aplicando presión a la muestra mediante un vástago de  $\frac{1}{2}$ ” de diámetro que este acoplado en un extremo de un mango que encierra un resorte comprimido en su interior y que se ajusta con una tuerca situada en el extremo opuesto. Este resorte está calibrado para transmitir por la punta del vástago 20 o 40 libras por cada aplicación.

El número de capas y aplicaciones por capa queda a criterio del usuario, dependen de la densidad o peso unitario seco que se desee alcanzar en un pequeño molde cilíndrico de acero. Para el caso de este Trabajo Especial de Grado se utilizaron 5 capas en cada briqueta, escarificando cada una de ellas para una mayor cohesión de las mismas y aplicando posteriormente 25 golpes por capa con el vástago compactador. A cada aplicación con el vástago se le aplica la energía manual necesaria para vencer el resorte (producir pequeña separación del mango y la tuerca de ajuste al extremo). La energía se aplica comprimiendo el vástago dentro de la muestra.

El molde de acero utilizado en nuestro laboratorio tiene un diámetro interno de 3,34 cm y una altura de 7,15 cm. Por razones de escala el suelo debe ser pasante tamiz n°10 (2 mm), el material debe prepararse previamente a la humedad que deseamos compactar (humedad de preparación), en una cantidad no menor a 200 gramos por probeta.

A diferencia del equipo Harvard Miniatura las briquetas a realizar para este Trabajo Especial de Grado fueron realizadas en tubos de PVC de 2 pulgadas de diámetro cortados de tal manera que la altura de los mismos fuera 4 pulgadas. Finalmente, se les colocó una tapa de los envases de guardado de muestras de perforaciones para así mantener los lados de las briquetas lisos y en perfecto estado.

#### **II.4.2 Características del Material a Introducir en las Briquetas**

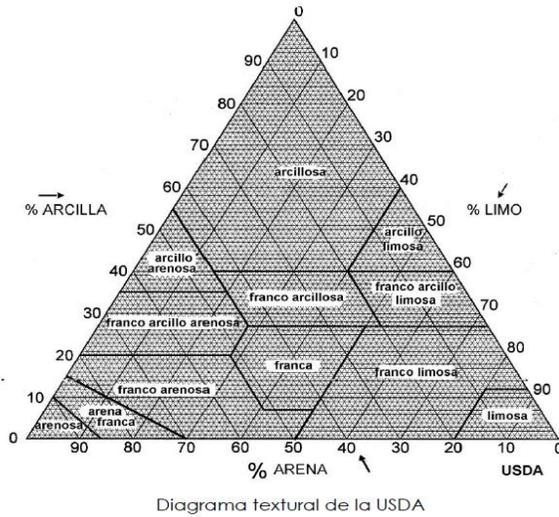
Este trabajo contempla 4 tipos de suelos diferentes tales como: Suelo patrón, suelo arcilloso, suelo limoso y suelo arenoso. Cada uno de ellos evaluados mediante briquetas de suelo únicamente, otras adicionando cemento en dos tipos de porcentaje, adicionando cal en dos tipos de porcentaje y adicionando alumbre en un solo porcentaje.

#### **II.4.3 Diagrama Textural de la USDA**

USDA (1951), afirma “El diagrama es una herramienta para obtener las clases texturales en función de los porcentajes de arena, limo y arcilla, es un triángulo equilátero, en el que a cada lado de éste se sitúa cada una de las fracciones cuyo valor cero corresponde al 100 de la anterior y su 100 con el cero de la siguiente, siempre según el movimiento de las agujas del reloj.

Cada muestra de suelo viene definida por un punto del interior del triángulo. Este punto se obtiene al hacer interceptar dos valores de porcentaje de la fracción de partículas. La intersección de dichos puntos, se obtiene al trazar una recta desde una fracción textural a la otra fracción en función de los porcentajes”.

**CAPITULO II**



**Ilustración 1. Diagrama Textural de la USDA.**

Fuente: Norma USDA.

Gracias a él se pudo establecer los componentes de cada uno de los tipos de suelos a evaluar, generando así los porcentajes de cada material en cada una de las muestras como se muestra a continuación:

Tipo de Suelo	% Arena Media	% Arena Fina	% Limos	% Arcillas
Limo Arcilloso	19.39	27.81	30.37	22.43
Arcilloso	-	10	30	60
Arenoso	30	30	23	17
Limoso	10	20	40.26	29.75

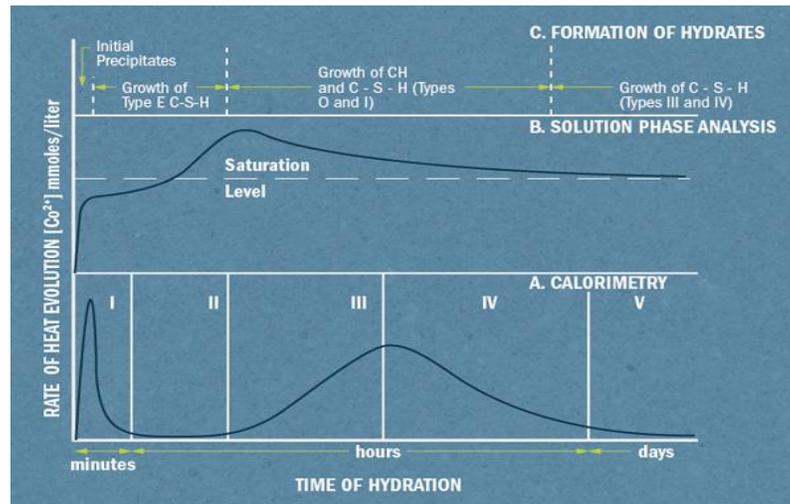
**Tabla 3. Características de Cada Uno de los Suelos Evaluados en TEG.**

Fuente: Elaboración Propia.

## II.5 HIDRATACIÓN DE LOS MATERIALES CEMENTANTES

### II.5.1 Hidratación del Cemento

Silva, Omar (2018), afirma “La hidratación del cemento es el proceso mediante el cual este material, al mezclarse con el agua, reacciona y empieza a generar enlaces o estructuras cristalinas, que lo convierten en un material aglutinante. Las reacciones químicas, aunque son muy complejas se pueden describir de una manera relativamente sencilla observando el gráfico adjunto por etapas que van desde los minutos iniciales de la reacción química a los días siguientes”.

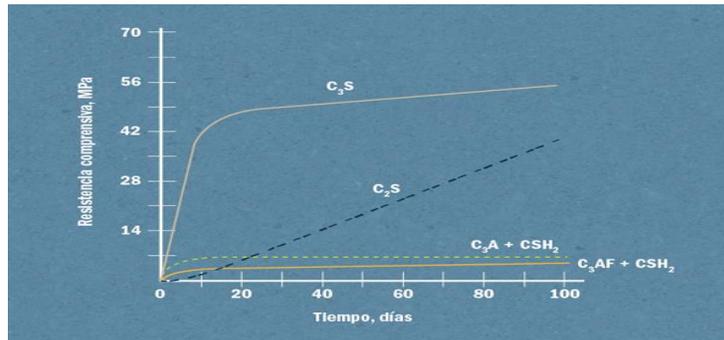


**Ilustración 2. Proceso de Hidratación del Cemento.**

Fuente: Ing. Silva, Omar. Argos. 360 en Concreto, Colombia.

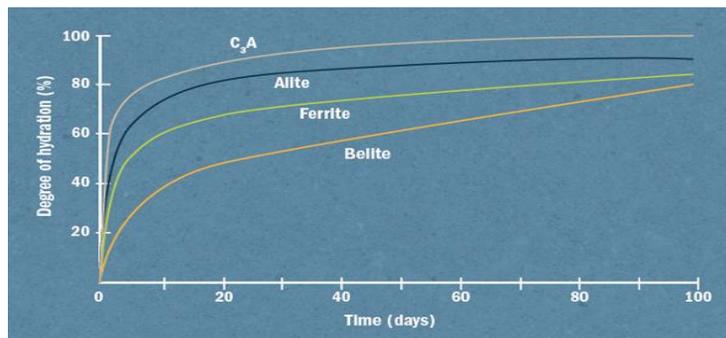
Silva, Omar (2018), afirma “La reacción química inicial denominada fase Alita, aporta la mayor resistencia mecánica, desarrolla un mayor calor de hidratación, fragua rápido y afecta la resistencia inicial. Seguidamente la fase Belita desarrolla su resistencia lentamente con la acción del agua, por lo cual su calor de hidratación es más bajo y su resistencia a compresión se empieza a desarrollar a los 7 días. A continuación, se muestra cómo es el desarrollo de las resistencias de cada componente”:

## CAPITULO II



**Ilustración 3. Desarrollo de Resistencia en el Concreto según cada Fase.**

Fuente: Ing. Silva, Omar. Argos. 360 en Concreto, Colombia.



**Ilustración 4. Grado de Hidratación por Componente del Concreto.**

Fuente: Ing. Silva, Omar. Argos. 360 en Concreto, Colombia.

Dónde:

C3S = Silicato Tricálcico.

C2S = Silicato Dicálcico.

C3A = Aluminato Tricálcico.

C4AF = Ferro Aluminato Tetracálcico.

MgO = Oxido de Magnesio.

CAO = Cal Libre.

### II.5.2 Hidratación de la Cal

Corporacion Flexicon (2015), afirma “La cal apagada es un compuesto que se utiliza en el sector de la construcción como mortero para el recubrimiento de las paredes, El óxido de calcio es un producto con un pH básico (cabe recordar que contiene un elemento alcalinotérreo, el calcio, que le confiere este pH), y que forma hidróxido en contacto con el agua, cabe remarcar también que los hidróxidos (OH-) tienen afinidad por los ácidos (H+) para formar agua (H<sub>2</sub>O). La reacción que ocurre es la que se muestra a continuación:



Inicialmente el contacto de la cal viva con el agua no genera variación de temperatura, sin embargo, pasados 10 minutos la temperatura de la mezcla aumenta aproximadamente el cuádruple lo que se denomina: Calores de reacción, los cuales se fundamentan en los cambios de energía producidos durante la ruptura-configuración de los enlaces químicos que forman las sustancias químicas. Estos cambios de calor pueden clasificarse en exotérmicos y endotérmicos, según si lo que notamos durante la reacción es frío (endotérmicas) o calor (exotérmicas)”.

### II.5.3 Hidratación del Alumbre

EcuRed (2017) afirma “El alumbre pertenece a una familia de sales dobles cuya fórmula en general contiene un catión los cuales solo tienen existencia cuando el mismo se encuentra en estado sólido, forman cristales por lo general grandes y bien constituidos. Sin embargo, al disolverse en agua quedan sus constituyentes independientes, de modo que estas soluciones de alumbres se comportan como mezclas de los sulfatos del cual este conformado por ejemplo Aluminio o Potasio.

Es importante mencionar que el alumbre sobresaturado de agua de hidratación y expuesto a la acción del calor sufre de disolución acuosa (ya que el mayor componente es el agua), también cuando se aumenta la temperatura en la mezcla se producen pérdidas de agua de

## CAPITULO II

hidratación en la estructura del mismo aquí es cuando se denomina alumbre calcinado, finalmente si la temperatura es extremadamente elevada la alúmina reacciona sobre el sulfato alcalino, desaloja el ácido y genera la pérdida total de agua formando aluminatos”.

### II.6 CURADO DE LAS MUESTRAS

#### II.6.1 Definición de Curado

Silva, Omar (2018), afirma “El curado se realiza durante el proceso de fraguado del concreto para asegurar su adecuada humedad, adoptando las medidas oportunas durante el plazo que se establezca en las Especificaciones Técnicas, en función del tipo, clase y categoría del cemento, de la temperatura y grado de humedad del ambiente. A los cuatro días el concreto tiene una resistencia adecuada para quitar la formaleta y el periodo de curado debe ser por 10 días para no tener problemas en la resistencia proyectada del concreto. El método ideal es usar el agua para ayudar a la hidratación de la pasta de cemento.

Se puede tratar de retener la humedad mediante un material protector adecuado o mediante riego controlado, evitando producir deslavado. El curado debe durar hasta que, como mínimo, el concreto haya alcanzado el 70% de la resistencia de proyecto. Entre los métodos especiales de curado, destacan el curado por calor, inmersión o mediante vapor de agua que se iniciará una vez transcurrido el período antes del fraguado”.

#### II.6.2 Método Empleado y Comparaciones

Para efectos del Trabajo de Grado como las briquetas realizadas son en su mayoría compuestas por suelo y no de concreto en sí, se tuvo que idear un sistema de curado diferente que permitiera cumplir las funciones del mismo, pero sin desintegrar la muestra ya que estas no se pueden sumergir en agua por prolongado tiempo.

#### II.6.3 Cámara de Curado Propia

Consiste en un envase de plástico con un fondo de piedra picada, el cual posee una especie de escalón que va a permitir la colocación de una bandeja de madera elaborada por el

grupo destinada a la colocación de las briquetas. El envase es llenado de agua hasta justo antes del nivel de la bandeja y posteriormente cerrado y sellado para conservar la humedad en el interior del mismo.

## **II.7 ENSAYOS PARA CUMPLIR LOS OBJETIVOS PLANTEADOS**

### **II.7.1 Compresión No Confinada**

Ensayo de referencia: ASTM 2166 para muestras de suelos cohesivos, modificaciones según ASTM D5102 para muestras de suelo-cal. Este ensayo tiene por finalidad determinar la resistencia a la compresión no confinada de una probeta cilíndrica de suelo, de manera de poder obtener de forma indirecta la resistencia al corte de la muestra. Para lo anterior se somete una muestra de suelo a un esfuerzo vertical con la deformación controlada, y se mide la máxima carga que resiste.

#### **II.7.1.1 Caping**

Se utiliza para que los esfuerzos generados en la briquea por la máquina del ensayo a compresión no confinada se distribuyan de manera uniforme en toda la cara de aplicación, esto debido a que existen casos en que las briquetas sufren desprendimientos en sus bordes y esto puede ocasionar al momento del ensayo lecturas erróneas, para evitar esto de la mayor manera se utilizó un fieltro que es colocado tanto en la parte superior como en la inferior de la briquea al momento de realizar el ensayo de compresión no confinada.

### **II.7.2 Durabilidad ante Exceso de Agua**

Este ensayo se tomó de referencia de la norma ASTM C-88, la misma estima la resistencia del agregado al deterioro por acción de los agentes climáticos durante la vida útil de la obra, en nuestro caso exposición directa al agua. Puede aplicarse tanto en agregado grueso como fino.

El ensayo se realiza exponiendo una muestra de agregado a ciclos alternativos de baño de inmersión en agua, en este caso un ciclo continuo de 48 horas. El resultado del ensayo es el

## *CAPITULO II*

porcentaje total de pérdida de peso sobre varios tamices para un número requerido de ciclos. Los valores máximos de pérdida son aproximadamente de 10 a 20% para cinco ciclos de inmersión-secado.

## CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO.

### III.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.

De acuerdo al problema planteado referido al Análisis del Comportamiento Mecánico de Mezclas Artesanales de Suelos Estabilizados con Cemento para Pisos de Viviendas de Bajo Costo, y en función de los objetivos, se incorpora una investigación exploratoria - explicativa, que tiene como finalidad avanzar en el conocimiento donde una problemática no está lo suficientemente desarrollada, en este caso la temática del método suelo cemento con la finalidad de desarrollar una guía y la obtención de ciertos resultados que enmarquen las soluciones más adecuadas en los pisos de bajo costo de viviendas rurales.

### III.2 MATERIALES UTILIZADOS

Suelo Limo Arcilloso, material obtenido directamente de obra para luego ser tamizado por el cedazo #4. A partir de este suelo limo arcilloso se obtuvieron los suelos limoso, arcilloso y arenoso.



**Ilustración 5. Suelo Limo Arcilloso**

Fuente: Fotografía Tomada por Otaola y Ponte.

### CAPITULO III

Material Fino Plástico, luego de ser tamizado el Suelo Limo Arcilloso, posteriormente se procedió a tamizar por el cedazo #10 para obtener el material fino.

Los materiales mencionados a continuación se lograron obtener mediante diferentes métodos, después de tamizar el Suelo Limo Arcilloso por el cedazo #10.

Arenas Medias, es el material retenido en el tamiz #40.

Arenas Finas, es el material pasante del tamiz #40.

Limos y Arcillas, es el material pasante #200.

Arcillas, es el material obtenido luego de aplicar una sedimentación a gran escala, en este caso denominada decantación.



**Ilustración 6. Producto del Tamizado: Arena Media, Arena Fina y Pasante # 200.**

Fuente: Fotografía Tomada por Otaola y Ponte.

### III.3 PROCEDIMIENTO.

Inicialmente todo lo relacionado al material de suelo utilizado en este Trabajo de Grado fue obtenido de una obra de Ingeniería Civil ubicada en Colinas de Valle Arriba en Caracas, Venezuela con la ayuda del Profesor Ing. Salvatorelli, Ricardo. Este material fue colocado en

sus respectivos sacos para luego ser transportado al Laboratorio de Suelos de la Universidad Católica Andrés Bello para su futura utilización.

### **III.3.1 Ensayos de Caracterización del Suelo**

#### **III.3.1.1 Granulometría por Tamices**

La granulometría por tamices se realizó por medio del procedimiento planteado en la ASTM D-422 y la AASHTO T-87 y T-88.

#### **III.3.1.2 Granulometría por Hidrómetro**

La granulometría por hidrómetro fue realizada con el fin de determinar la cantidad de finos en porcentaje que se encuentran en el pasante del tamiz # 200. Esta granulometría esta basada en la Ley de Stokes y se realizó por medio del procedimiento planteado en la ASTM D-422 y la AASHTO T-87 y T-88.

#### **III.3.1.3 Humedad**

La realización de este ensayo se llevó a cabo siguiendo el procedimiento estipulado en la norma ASTM D-2216 y la AASTHO -T265 aplicado a la muestra de Suelo Limo Arcilloso.

#### **III.3.1.4 Gravedad Específica**

La realización de este ensayo se llevó a cabo de acuerdo con el procedimiento establecido en la norma ASTM D - 854 y la AASHTO T- 100.

#### **III.3.1.5 Límite Líquido**

La realización de este ensayo se llevó a cabo siguiendo el procedimiento en la norma ASTM D- 4318 y la AASHTO T- 89 y 90.

#### **III.3.1.6 Límite Plástico**

La realización de este ensayo se llevó a cabo siguiendo el procedimiento estipulado en la norma ASTM D-4318 y la AASHTO T-89 y 90.

## *CAPITULO III*

### **III.3.1.7 Medida de pH**

La realización de este ensayo se llevó a cabo siguiendo el procedimiento estipulado en la guía de Laboratorio del Profesor Ing. Melone, Antonietta, aplicado a la muestra de Suelo Limo Arcilloso pasante del tamiz #20.

### **III.3.2 Métodos de Separación de los Tipos de Suelo**

#### **III.3.2.1 Sedimentación**

La realización de este ensayo se llevó a cabo siguiendo el procedimiento estipulado en la guía de Laboratorio del Profesor Ing. Pérez Ayala, Hugo, aplicado a la muestra de Suelo Limo Arcilloso y basándose en la aplicación de la Ley de Stokes para la estimación de los tiempos.

#### **III.3.2.2 Decantación**

La realización de este ensayo se llevó a cabo siguiendo el procedimiento estipulado en la guía de Laboratorio del Profesor Ing. Pérez Ayala, Hugo, aplicado a la muestra de Suelo Limo Arcilloso y basándose en la aplicación de la Ley de Stokes para la estimación de los tiempos, con la finalidad de lograr separar los Limos de las Arcillas.

### **III.3.3 Materiales Cementantes Utilizados**

#### **III.3.3.1 Cemento**

El cemento utilizado fue tipo Portland CPCA 1 obtenido por la Corporación Socialista del Cemento S.A.

### CAPITULO III



**Ilustración 7. Cemento Utilizado.**

Fuente: Fotografía Tomada por Otaola y Ponte.

#### III.3.3.2 Cal

La cal utilizada es del tipo viva obtenida por Industrias SB C.A.



**Ilustración 8. Cal Utilizada**

Fuente: Fotografía Tomada por Otaola y Ponte.

#### III.3.3.3 Alumbre

El alumbre utilizado es específicamente sulfato de aluminio en granos.

### CAPITULO III



**Ilustración 9. Alumbre Utilizado.**

Fuente: Fotografía Tomada por Otaola y Ponte.

#### III.3.4 Elaboración de Briquetas

La realización de las briquetas se llevó a cabo siguiendo las Normas del equipo Harvard Miniatura.

El procedimiento utilizado fue el siguiente:

Se supuso un peso inicial de 350 gr de suelo (ya sea en las briquetas de Suelo Limo Arcilloso, Suelo Arcilloso, Suelo Limoso o Suelo Arenoso). Esto debido a que el valor mínimo que podrían contener las briquetas fue estipulado pesando en la balanza una briqueta con material en su interior.

En relación al peso de agua que se agregaría a dichas briquetas se tomó en cuenta el límite plástico de cada una de las mezclas (Limo Arcilloso, Arenoso, Arcilloso o Limoso) para plantear el mismo de la siguiente manera:

En relación al peso del material cementante (Cemento, Cal o Alumbre), se determinaron dichos pesos en función al porcentaje de los mismos que se escogieron previamente en la planificación.

Posteriormente para determinar el peso de la muestra que se va a introducir en las briquetas se obtuvo con la diferencia entre el peso inicial, el peso del material cementante y el peso del agua.

Una vez conocidos los diferentes % de cada integrante de la mezcla, se procedió con lo siguiente: Se colocó la mezcla (suelo + material cementante) en una tara, luego se agregó agua según lo indicado anteriormente y se mezclaron hasta conseguir que se combinaran de la mejor manera todos los componentes.

Luego se agregó la mezcla (suelo + material cementante + agua) dentro del molde de las briquetas colocando 5 capas en total. En donde a medida que se colocó una capa, se procedió a compactar mediante el vástago con resorte aplicando 25 golpes, para luego proceder a escarificar la muestra para mayor cohesión entre capas.

Luego se enrazó la muestra para que el tope quede lo más liso posible, ya que de lo contrario a la hora de ensayar puede traer inconvenientes y resultados erróneos.

### **III.3.5 Curado de las Muestras**

Una vez obtenida cada una de las diferentes briquetas con sus respectivos porcentajes de material estabilizante, se elaboró una cámara de curado en donde se dejarían las muestras por 28 días con ciertas características.

Dicha cámara de curado es una caja de plástico con una tapa para garantizar que la misma este sellada, en la cual se le colocó una especie de cesta de madera para colocar en ella las briquetas.

Las briquetas no deben estar en contacto directo con agua durante prolongado tiempo, en el fondo de la caja se colocaron piedras para que se mantenga la humedad respectiva durante el proceso de curado de 28 días. Dicha caja también se mantuvo sellada durante el periodo de curado.

### *CAPITULO III*



**Ilustración 10. Cámara de Curado Creado por Otaola y Ponte con Briquetas en su Interior.**

Fuente: Fotografía Tomada por Otaola y Ponte.



**Ilustración 11. Cámara de Curado Creada por Otaola y Ponte Sellada con Briquetas en su Interior.**

Fuente: Fotografía Tomada por Otaola y Ponte.

### **III.3.6 Ensayos para Cumplir los Objetivos Planteados**

#### **III.3.6.1 Compresión No Confinada**

La realización de este ensayo se llevó a cabo siguiendo el procedimiento estipulado en la guía de Laboratorio del Profesor Ing. Pérez Ayala, Hugo, aplicada a las diferentes briquetas

elaboradas según el tipo de suelo y el tipo de material cementante. Entre los equipos utilizados se tiene:

### **III.3.6.2 Durabilidad ante Exceso de Agua**

La realización de este ensayo se llevó a cabo siguiendo el procedimiento estipulado en la norma ASTM C-88, aplicada a las diferentes briquetas elaboradas según el tipo de suelo y el tipo de material cementante.

El procedimiento utilizado fue el siguiente:

Se utilizó un envase de plástico el cual pudiera contener en su interior al menos una briqueta de cada tipo de suelo y cada tipo de material cementante. Luego se llenó el envase a un nivel mayor de 4 pulgadas de altura de agua. Luego se introdujeron todas las briquetas y se determinó el tiempo en el que cada una de ellas perdía su consistencia rígida.

*CAPITULO IV*

**CAPITULO IV. DESARROLLO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

**IV.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS**

**IV.1.1 Granulometría por Tamices**

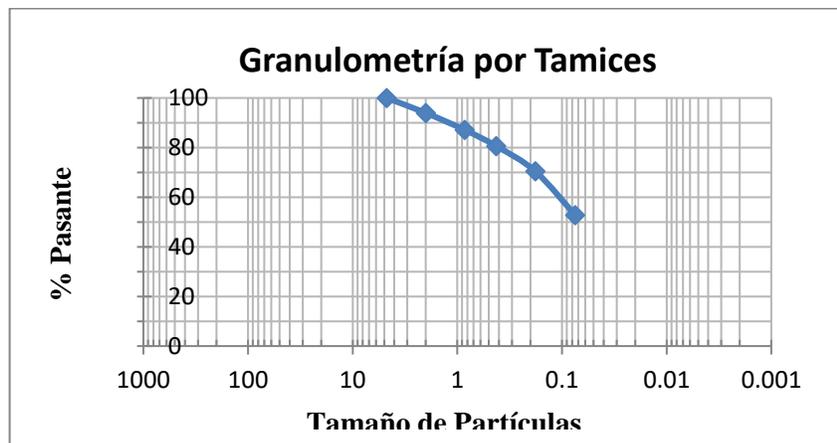
Peso Total Muestra (gr)	192,32	Porcentaje Pasante #200 (%)	52,8
-------------------------	--------	-----------------------------	------

Diámetro tamiz (mm)	# Tamiz	Retenido por Tamiz (gr)	Retenido Acumulado (gr)	% Pasante por Tamiz
9,52	3/8"	0,00	0,00	100,00
4,75	4	0,00	0,00	100,00
2	10	11,59	11,59	93,97
0,85	20	13,15	24,74	87,14
0,425	40	24,14	37,29	80,61
0,18	80	32,63	56,77	70,48
0,075	200	58,14	90,77	52,80
0,075	Pasante 200	43,41	101,55	-

**Tabla 4. Ensayo Granulometría por Tamices.**

Fuente: Elaboración propia.



**Gráfico 1. Granulometría por Tamices.**

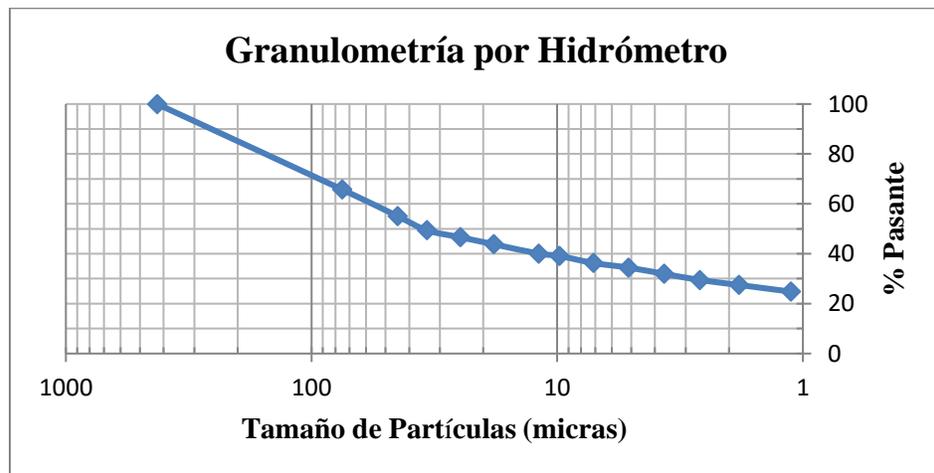
Fuente: Elaboración propia.

**CAPITULO IV**

En el material granular a simple vista hay un predominio importante de finos, el análisis granulométrico se realizó con la finalidad de conocer la distribución de las partículas, mediante la aplicación de tamizado por los cedazos #4, #10, #20, #40, #80 y #200; se obtuvo que se está en presencia de un material bien gradado, ya que, la muestra presenta porcentajes retenidos en cada tamiz, es decir, presenta variedad de tamaños de partículas.

La muestra presenta un 47,20 % retenido por el tamiz #200 donde se evidencia la presencia de arenas medias y finas, a su vez presenta un 52,80% de material pasante por el tamiz #200 caracterizado por limos, arcillas y coloides.

**IV.1.2 Granulometría por Hidrómetro**



**Gráfico 2. Granulometría por Hidrómetro.**

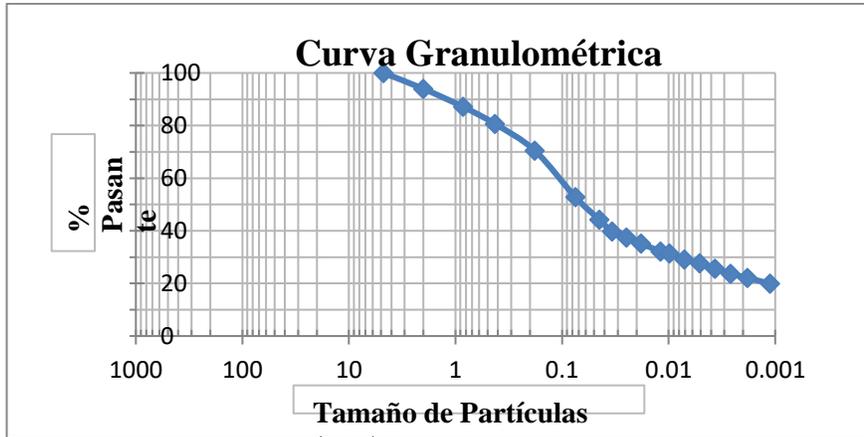
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el ensayo de hidrómetro el material estudiado es una arcilla limosa, inorgánica de media plasticidad con un 30,37% de limo y 22,43% de arcillas más coloides de la muestra total, lo que significaría un 57,51% y 42,49% respectivamente del pasante por el tamiz #200.

**CAPITULO IV**

**IV.1.3 Curva Granulométrica**

A continuación, se muestra el Gráfico 3, el cual plantea la unión de los resultados obtenidos en la granulometría por tamices y por hidrómetro en una curva denominada granulométrica:



Según Traxco, S.A. (2019), el porcentaje de humedad obtenido evidencia un suelo poco húmedo o muy seco, lo que hace más difícil la absorción de agua por las raíces con posible estado de marchitez permanente.

#### IV.1.5 Gravedad Específica

Tipo de Suelo	Gravedad Específica
Limo – Arcilloso	2,76
Arcilloso	2,82
Arenoso	2,67
Limoso	2,66

**Tabla 6. Valores Obtenidos de Gravedad Específica.**

Fuente: Elaboración propia.

Las gravedades específicas de un suelo donde predominen las arcillas son de 2,67 – 2,90, las arenas son de 2,65 – 2,67, los limos son de 2,65 – 2,7, en suelos sin embargo en nuestro caso el valor obtenido en cada uno de los distintos tipos de suelo fue mayor.

Por esta razón mediante el lavado total de la muestra se pudo observar destellos brillantes en la misma, lo que evidenció la presencia del mineral Mica el cual fue la razón principal del aumento de la gravedad específica en cada uno de los casos.

*CAPITULO IV*



**Ilustración 12. Presencia del Mineral Mica en el Suelo.**

Fuente: Fotografía Tomada por Otaola y Ponte.

Debido al valor obtenido de la gravedad específica de la fracción de arcillas de 2,82 el cual coincide con los rangos característicos de 2,60 - 2,86, existe la hipótesis que el material estudiado contiene Illitas sódicas. Es importante mencionar que para confirmar esta teoría se debe estudiar el límite líquido de la fracción de arcilla, ya que, si el mismo presenta un valor en el orden de 120, estaríamos haciendo la suposición correcta.

Minerales arcillosos	Gravedad específica (Gs)
Caolinita	2,62 - 2,66
Montmorillonita	2,75 - 2,78
Ilita	2,60 - 2,86
Clorita	2,60 - 2,96

**Tabla 7. Valores Promedio de Gravedad Específica en los Principales Minerales de las Arcillas.**

Fuente: Ing. Echezuria, Heriberto. (2017), Cambios del comportamiento plástico a no plástico de arcillas y su relación con la gravedad específica.

#### IV.1.6 Límites de Atterberg

Tipo de Suelo	% Finos	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad
Arenoso	17,00% Arcillas y 23,00% Limos	27,35	21,85	5,50
Limoso	29,74% Arcillas y 40,26% Limos	30,54	22,53	8,01
Limo – Arcilloso	22,43% Arcillas y 30,37% Limos	28,77	19,01	9,76
Arcilloso	60% Arcillas y 30% Limos	38,28	26,30	11,98

**Tabla 8. Límites de Atterberg (Límite Líquido; Límite Plástico; Índice de Plasticidad) para los Diferentes Tipos de Suelos.**

Fuente: Elaboración Propia.

Según los resultados obtenidos para muestras arenosas el límite líquido es de 27,35 lo cual es el menor valor experimentado, pasando por muestra de suelo limo arcilloso con un valor de 28,77 y luego por el suelo limoso con un valor de 30,54 en las cuales se evidencia un aumento del límite líquido, hasta llegar al suelo arcilloso que es el que tiene la mayor fracción de arcilla (60%), presenta el mayor valor con 38,28.

Esto confirma la teoría la cual plantea que los límites tanto líquido como plástico, pero específicamente el líquido, son controlados primero por la fracción fina plástica (cantidad de arcilla) y luego por la fracción no plástica, ya que al aumentar la cantidad de arcillas el límite líquido aumenta su valor.

#### CAPITULO IV

A mayor porcentaje de arcilla en su estado puro en una mezcla, el índice de plasticidad aumenta debido a que es un material plástico, por su parte al agregarse limos o arenas a una mezcla que contenga gran cantidad de arcilla, esta va a disminuir su rango plástico, lo que afecta directamente al índice de plasticidad.

Según estos valores obtenidos se puede clasificar el suelo limo arcilloso por la norma AASHTO en el grupo A-4, debido a la gran cantidad de pasante por el tamiz #200 la norma tiene la consideración que en estos casos (mayores al 50%) no se tome en cuenta la restricción por este valor, a su vez el valor de límite líquido máximo por norma es 40 y en nuestro caso obtuvimos un resultado de 28,77. También el valor de índice de plasticidad máximo por norma es 10 y en nuestro caso obtuvimos un resultado de 9,76 por lo que en ambas condiciones nos encontramos dentro del rango.

Según estos valores obtenidos se puede clasificar el suelo arcilloso por la norma AASHTO en el grupo A-6, debido a la gran cantidad de pasante por el tamiz #200 la norma tiene la consideración que en estos casos (mayores al 50%) no se tome en cuenta la restricción por este valor, a su vez el valor de límite líquido máximo por norma es 40 y en nuestro caso obtuvimos un resultado de 38.28. También el valor de índice de plasticidad máximo por norma es mínimo 11 y en nuestro caso obtuvimos un resultado de 11.98 por lo que en ambas condiciones nos encontramos dentro del rango.

Según estos valores obtenidos se puede clasificar el suelo arenoso por la norma AASHTO en el grupo A-4, debido a que el valor mínimo de pasante por el tamiz #200 es 36% y en nuestro caso es 40%, a su vez el valor de límite líquido máximo por norma es 40 y en nuestro caso obtuvimos un resultado de 27.35. También el valor de índice de plasticidad máximo por norma es 10 y en nuestro caso obtuvimos un resultado de 5.50 por lo que en ambas condiciones nos encontramos dentro del rango.

Según estos valores obtenidos se puede clasificar el suelo limoso por la norma AASHTO en el grupo A-4, debido a la gran cantidad de pasante por el tamiz #200 la norma tiene la

**CAPITULO IV**

consideración que en estos casos (mayores al 50%) no se tome en cuenta la restricción por este valor, a su vez el valor de límite líquido máximo por norma es 40 y en nuestro caso obtuvimos un resultado de 30.54. También el valor de índice de plasticidad mínimo por norma es 11 y en nuestro caso obtuvimos un resultado de 8,01 por lo que en ambas condiciones nos encontramos dentro del rango.

**IV.1.7 Porcentaje de Limos y Arcillas en Pasante #200**

Inicialmente se utilizó el proceso de sedimentación durante 10 horas, para que en este tiempo se depositaran las partículas de limos proveniente del Pasante #200 en el fondo de los cilindros graduados, obteniendo los siguientes resultados:

# Tara	Peso Inicial (gr)	Peso Limo (gr)	Porcentaje Limo (%)	Peso Arcilla (gr)	Porcentaje Arcilla (%)
1	200,00	184,80	92,40	15,20	7,60
3	200,00	190,40	95,20	9,60	4,80

**Tabla 9. Valores de Sedimentación al Pasante #200 sin Defloculante.**

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente para obtener resultados más exactos, se procedió a realizar la granulometría por hidrómetro incluyendo Metafosfato de Sodio como defloculante al Pasante #200 durante 24 horas, con la finalidad de dispersar las moléculas y separar en gran parte las mismas de los limos y las arcillas, obteniendo los siguientes resultados según la muestra total:

Tamiz	Porcentaje Limo (%)	Porcentaje Arcilla (%)
Pasante #200	30,37	22,43

**Tabla 10. Valores por Hidrómetro al Pasante #200 con Defloculante.**

Fuente: Elaboración propia.

**CAPITULO IV**

**IV.1.8 Medida de pH**

# Vaso Precipitado	Agua Destilada (ml)	Muestra Suelo Patrón (gr)	pH
20	50,00	20,00	6,00
21	50,00	20,00	6,00
22	50,00	20,00	6,00

**Tabla 11. Ensayo de pH.**

Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados obtenidos evidencian una muestra acida, caracterizada por iones de calcio adheridos a la arcilla en su cara negativa. Por otro lado, al agregar cemento, cal, alumbre el pH de las muestras aumenta hasta un valor de 12 transformándolos así hasta muestras básicas caracterizadas por la presencia de silicatos de calcio, calcio y aluminio respectivamente.

**IV.2 MÉTODO DE SEPARACIÓN DE LOS TIPOS DE SUELO**

**IV.2.1 Sedimentación por Ley de Stokes**

Tipo de Partícula	PE suelo (gr/cm <sup>3</sup> )	PE agua (gr/cm <sup>3</sup> )	Fino		Grueso		Tiempo 1	Unidades	Tiempo 2	Unidades
			Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Vs 1 (cm/s)	Vs 2 (cm/s)				
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	Mínuto
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 <sup>2</sup> )	0,00001
H (cm)	30,00

**Tabla 12. Ensayo de Sedimentación por Ley de Stokes.**

Fuente: Elaboración propia.

Mediante los tiempos de sedimentación calculados por la Ley de Stokes, se pudo proceder a realizar la decantación del material como método de separación del mismo, destacando que las partículas de mayor diámetro de arenas sedimentan en 0.58 segundos y en

1.8 segundos las partículas más finas, por su parte las partículas de mayor diámetro de limos sedimentan en 1 minuto y en 24 horas las partículas más finas. Para el caso de las arcillas debido a que son de diámetros más finos es proceso que podría durar varios días en sedimentar por completo.

Es importante mencionar que este principio solo es aplicable al intervalo de tamaños de 2 a 50 micras, esto debido a que la ley de Stokes solo es válida para esferas que tienen la forma más compacta de volumen o área superficial, por lo tanto, las partículas con formas irregulares poseerán más área superficial y por ende caerían más lento y ofrecerían mayor resistencia a su propio movimiento. Además, la arcilla en contacto con el agua forma un coloide y para que sedimente es muy difícil por esta razón en el proceso de coagulación se añade aluminio.



**Ilustración 13. Detalle de las Capas en Ensayo de Sedimentación.**

Fuente: Fotografía Tomada por Otaola y Ponte.

### IV.3 PLANIFICACIÓN DE BRIQUETAS

Se utilizaron 4 tipos de suelos los cuales son limo arcilloso, arcilloso, limoso y arenoso, variando en cada uno de ellos para la elaboración de las briquetas dos % de cemento, dos % de cal y un % de alumbre, para finalmente vincularlos entre sí y con el suelo sin ningún material cementante.

<b>Tipo de Suelo</b>	<b>Porcentaje y Material Cementante</b>	<b># Briquetas</b>
Limo - Arcilloso	Suelo Solo	3
Limo - Arcilloso	3% Cemento	4
Limo - Arcilloso	7% Cemento	4
Limo - Arcilloso	5% Cal	4
Limo - Arcilloso	9% Cal	4
Limo - Arcilloso	9% Alumbre y 12,33% Agua	3
Limo - Arcilloso	9% Alumbre y 10,41% Agua	3

**Tabla 13. Planificación de Briquetas de Suelo Limo - Arcilloso.**

Fuente: Elaboración Propia.

<b>Tipo de Suelo</b>	<b>Porcentaje y Material Cementante</b>	<b># Briquetas</b>
Arcilloso	Suelo Solo	3
Arcilloso	5% Cemento	3
Arcilloso	7% Cemento	3
Arcilloso	5,50% Cal	3
Arcilloso	7,50% Cal	3

Arcilloso	8% Alumbre y 21,42% Agua	3
-----------	--------------------------	---

**Tabla 14. Planificación de Briquetas de Suelo Arcilloso.**

Fuente: Elaboración Propia.

Tipo de Suelo	Porcentaje y Material Cementante	# Briquetas
Arenoso	Suelo Solo	3
Arenoso	3% Cemento	3
Arenoso	7% Cemento	3
Arenoso	5,% Cal	3
Arenoso	9% Cal	3
Arenoso	9% Alumbre y 12,82% Agua	3

**Tabla 15. Planificación de Briquetas de Suelo Arenoso.**

Fuente: Elaboración Propia.

Tipo de Suelo	Porcentaje y Material Cementante	# Briquetas
Limoso	Suelo Solo	3
Limoso	3% Cemento	3

**CAPITULO IV**

Limoso	7% Cemento	3
Limoso	5,% Cal	3
Limoso	9% Cal	3
Limoso	9% Alumbre y 15,41% Agua	3

**Tabla 16. Planificación de Briquetas de Suelo Limoso.**

Fuente: Elaboración Propia.

**IV.4 ENSAYO DE COMPRESIÓN NO CONFINADA**

**IV.4.1 Suelo Limo Arcilloso**

Tipo de Suelo	Material	% Material	Esfuerzo Máximo (kg/cm <sup>2</sup> )
Limo Arcilloso	Suelo Solo	-	6,78
	Cemento	3,00	3,90
	Cemento	7,00	9,00
	Cal	5,00	2,94
	Cal	9,00	2,10
	Alumbre	9,00 - 45,00 gr Agua	3,19
	Alumbre	9,00 - 38,00 gr Agua	9,88

**Tabla 17. Valores de Esfuerzos Máximos para Briquetas de Suelo Limo Arcilloso.**

Fuente: Elaboración propia.

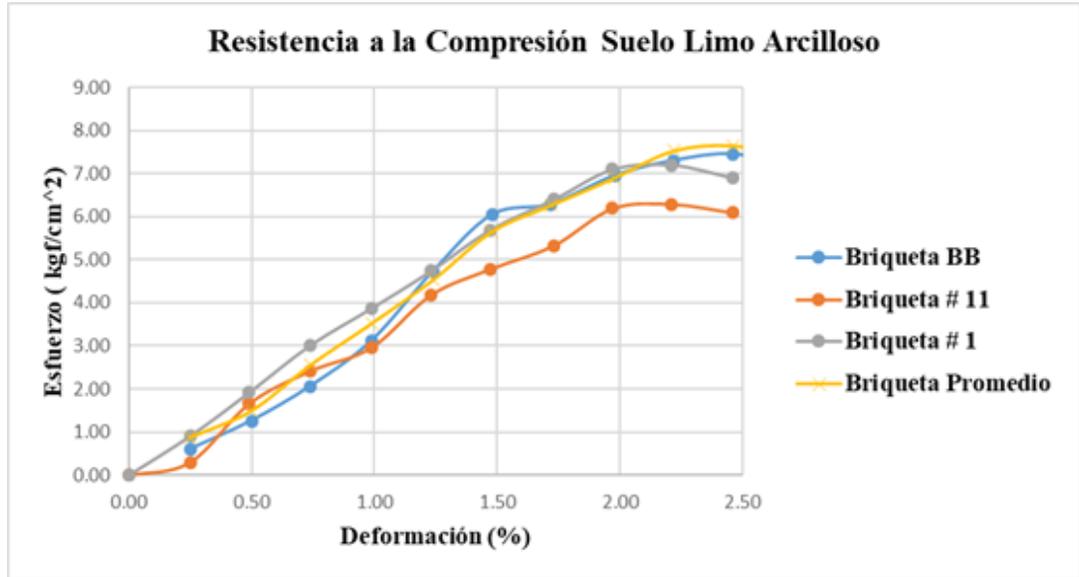


Gráfico 4. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Limo Arcilloso sin Material Cementante.

Fuente: Elaboración propia.

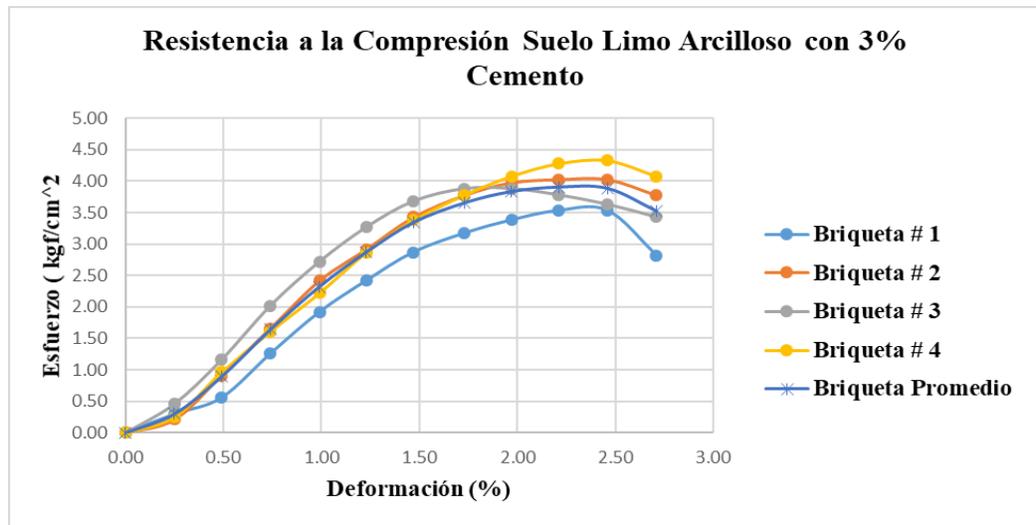


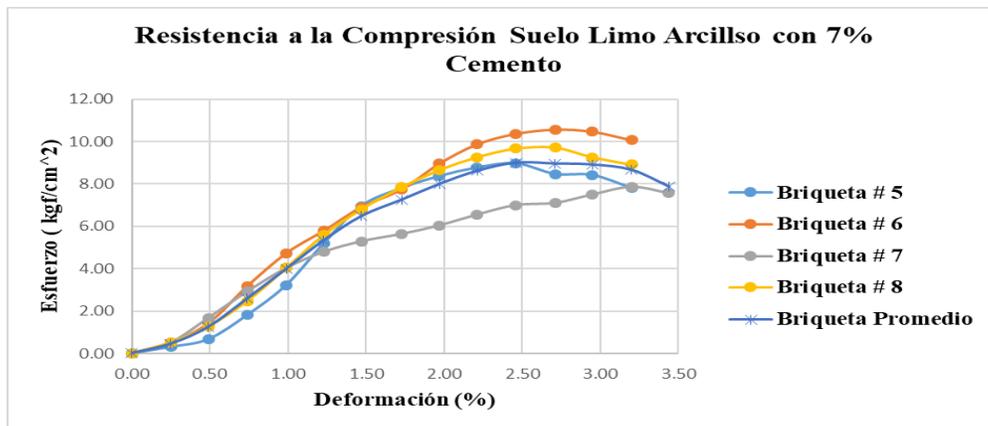
Gráfico 5. Curva Esfuerzo - Deformación Promedio para Suelo Limo Arcilloso con 3% de Cemento.

Fuente: Elaboración propia.

**CAPITULO IV**

Según De la Fuente, Eduardo. (2013), en su libro “Suelo-Cemento” expresa que a bajos contenidos de cemento la resistencia a la compresión en mezclas con suelos predominantemente arcillosos puede no aumentar y aun disminuir apreciablemente. Ese autor considera que este efecto de disminución es debido a que con estos contenidos pequeños de cemento se produce una situación de encapsulamiento de las partículas de arcilla sobre las de mayor tamaño del cemento; obteniéndose por ende una estructura interna de la briqueta débil, en este caso menos resistente que la que presenta el suelo sin cemento.

Esto sucede frecuentemente con porcentajes pequeños de cemento que van del 2% al 4% en peso, lo cual probablemente sea consecuencia de la complejidad de las reacciones químicas y la interacción físico – química que ocurren en el proceso. Lo planteado por este autor se asemeja a lo ocurrido en este TEG debido a que el esfuerzo máximo promedio de las briquetas de suelo patrón sin material cementante es de 6,78 kgf/cm<sup>2</sup> a diferencia de las briquetas con 3 % de cemento las cuales disminuyeron a 3,90 kgf/cm<sup>2</sup>.



**Gráfico 6. Curva Esfuerzo - Deformación Promedio para Suelo Limo Arcilloso con 7% de Cemento.**

Fuente: Elaboración propia.

La resistencia a la compresión de 7% de cemento es mayor a la de suelo limo arcilloso sin ningún material cementante y a la de 3% de cemento, es importante mencionar el TEG de

CAPITULO IV

Delgado y Meza. (2019), en donde elaboraron mezclas con porcentajes de cemento de 1% y 4%, en esta investigación se determinó que las briquetas presentan una disminución en su resistencia de 7,28 kg/cm<sup>2</sup> a 5,47 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Por ende en porcentaje de cemento entre 1 – 4% se presenta una disminución en el esfuerzo máximo, sin embargo a partir de 4% y hasta el estudiado de 7% se presenta un aumento en el esfuerzo máximo.

En estas graficas se puede observar una concavidad hacia arriba en su inicio característica de problemas de contacto entre el pistón y la briqueeta, es decir, un mal ajuste entre la superficie de contacto y el pistón de la máquina.

Es importante resaltar que según Melone, Antonietta. (2019), debido a la gran cantidad de componentes que posee el cemento, en la hidratación del mismo se crea un balance de equilibrios múltiples, ya que los componentes químicos compiten entre sí para hidratarse.

A su vez este mayor porcentaje de cemento crea dentro de la briqueeta una estructura mejor definida que el de menor porcentaje, lo que proporciona una mayor resistencia de la misma. Según Rico y Del Castillo. (1977), en su libro “La Ingeniería de Suelos”, expresan que para suelos donde predominan los limos y las arcillas los valores de resistencia más altos estarían asociados a porcentajes de cemento en el orden de 8% al 13% en peso.

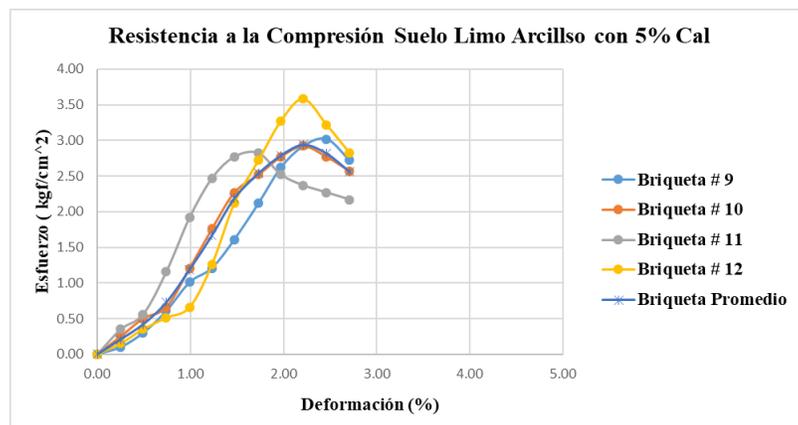
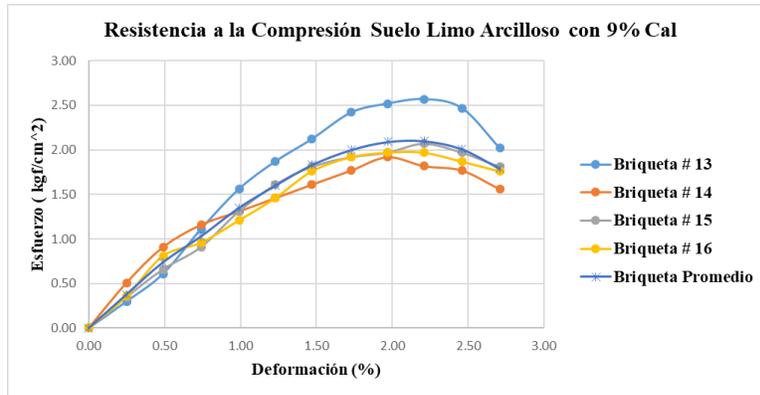


Gráfico 7. Curva Esfuerzo - Deformación Promedio para Suelo Limo Arcilloso con 5% de Cal.

CAPITULO IV

Fuente: Elaboración propia.



**Gráfico 8. Curva Esfuerzo - Deformación Promedio para Suelo Limo Arcilloso con 9% de Cal.**

Fuente: Elaboración propia.

La cal (CaO) posee iones de calcio +2 los cuales al mezclarse con agua generan una disolución de velocidad de reacción muy lenta en la muestra, caracterizada por la extracción de gran cantidad de agua en la misma, luego la mezcla (Ca en equilibrio) se hidroliza, formando así el hidróxido de calcio, generando un doble equilibrio. Estos iones se adhieren a la cara negativa de las partículas de arcilla por atracción química y la estabilizan.

Según Rico y Del Castillo. (1977), en su libro “La Ingeniería de Suelos”, expresan que los porcentajes de cal asociados a las resistencias a la compresión mayores para suelos donde predominan limos están en el orden de 1% a 3% en peso. Esto mencionado anteriormente y comparado con los resultados que obtuvieron Delgado y Meza. (2019), en su TEG confirma la teoría, debido a que a menor porcentaje de cal (1%) se obtienen la mayor resistencia 4,96 kgf/cm<sup>2</sup> que a mayores porcentajes de cal (9%) relacionados a la menor resistencia 2,10 kgf/cm<sup>2</sup>.

CAPITULO IV

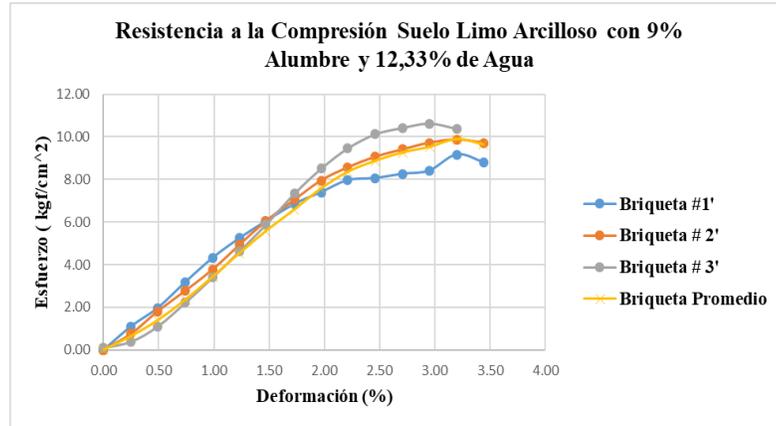


Gráfico 9. Curva Esfuerzo Deformación de Briquetas de Suelo Limo Arcilloso con 8% de Alumbre y 12,33 % de Agua.

Fuente: Elaboración Propia.

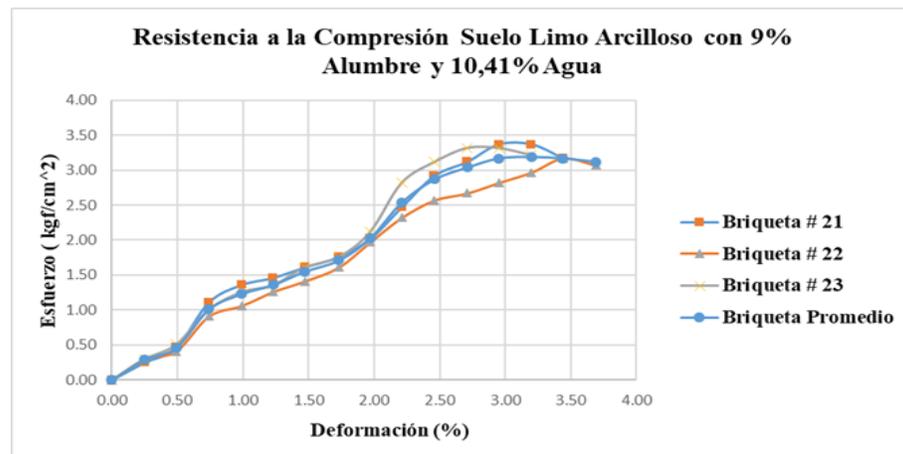


Gráfico 10. Curva Esfuerzo - Deformación de Briquetas de Suelo Limo Arcilloso con 9% de Alumbre y 10,41 % de Agua.

Fuente: Elaboración Propia.

El alumbre contiene aluminio el cual posee valencia +3, los cuales al mezclarse con el agua y el suelo limo arcilloso producen una disolución de velocidad rápida debido a que es una sal. Los iones positivos del alumbre se relacionan con los negativos en la capa de la arcilla generando así al igual que en el proceso de coagulación que el alumbre se adhiera a la arcilla,

#### CAPITULO IV

para producir luego la hidrólisis. La fuerza de atracción es tan grande debido a tener valencia +3 que el aluminio es capaz de posicionarse y desplazar de su lugar a los iones de sodio, adhiriéndose por completo a la arcilla.

En este mismo orden, al agregarse 77 gramos de agua a la briqueta con alumbre el proceso de fraguado fue tan lento y la absorción de agua fue tan poca que a los 28 días se tuvieron que desechar las briquetas porque no tenían consistencia, por otro lado reduciendo la cantidad de agua la estructura dentro de la briqueta esta mejor formada y más rígida, lo que además de generar que se pueda ensayar la briqueta se obtenga una mayor resistencia que con mayor cantidad de agua 12,33% y 10,41% de agua respectivamente.

Es importante mencionar que el alumbre en granos género que las briquetas se ensancharan y hasta cierto punto perdieran su forma, por esto se tuvo que triturar, tamizar y posteriormente diluir en agua el alumbre para un trabajo más eficiente.



**Ilustración 14. Expansión con Alumbre en Granos.**

Fuente: Fotografía Tomada por Otaola y Ponte.

CAPITULO IV

IV.4.2 Suelo Arcilloso

Tipo de Suelo	Material	% Material	Esfuerzo Máximo (kg/cm <sup>2</sup> )
Arcilloso	Suelo Solo	-	4,10
	Cemento	5,00	5,24
	Cemento	7,00	6,67
	Cal	5,50	1,34
	Cal	7,50	2,17
	Alumbre	8,00 - 75,00 gr Agua	0,66

Tabla 18. Valores de Esfuerzos Máximos de Briquetas de Suelo Arcilloso.

Fuente: Elaboración Propia.

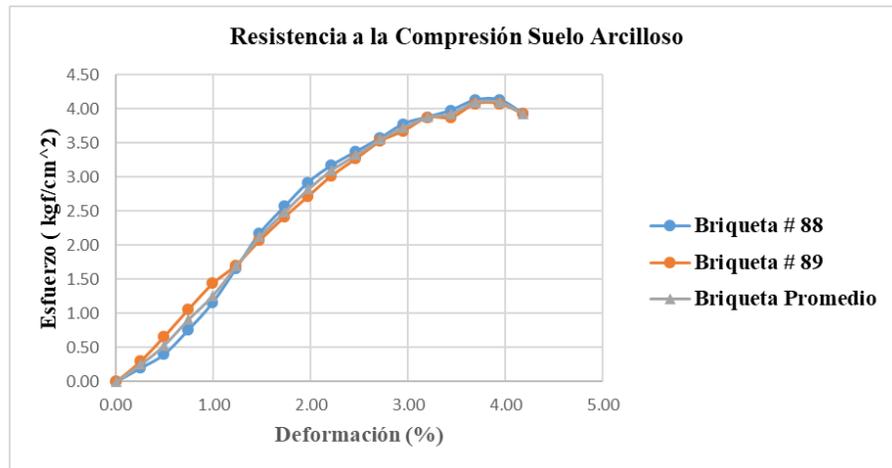
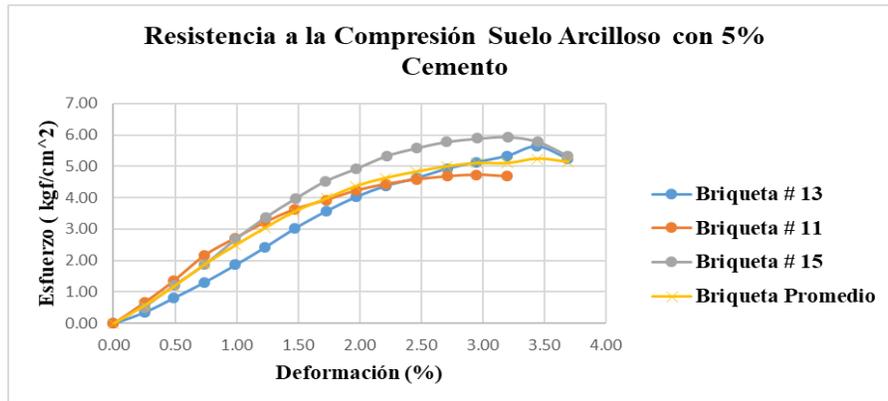


Gráfico 11. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arcilloso sin Material Cementante.

Fuente: Elaboración Propia.

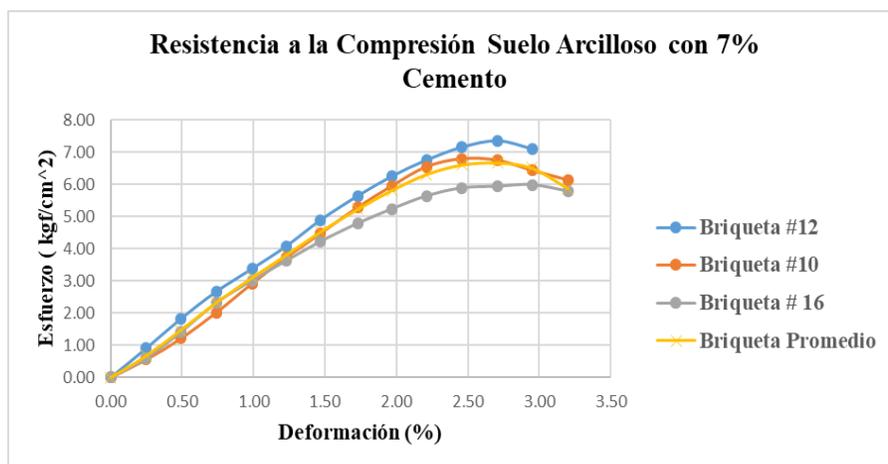
CAPITULO IV



**Gráfico 12. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arcilloso con 5 % de Cemento.**

Fuente: Elaboración Propia.

La resistencia a la compresión no confinada generada por 5% de cemento es mayor a la del suelo sin aplicar ningún tipo de material cementante con valores de 5,24 kg/cm<sup>2</sup> y 4,10 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Esto es lo contrario a la ocurrido en la muestra de suelo patrón, debido a que a partir de 5% de cemento se forma una estructura cada vez más sólida y compacta dentro de la briqueta lo que se ve reflejado en su aumento de resistencia.



**Gráfico 13. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arcilloso con 7 % de Cemento.**

Fuente: Elaboración Propia.

CAPITULO IV

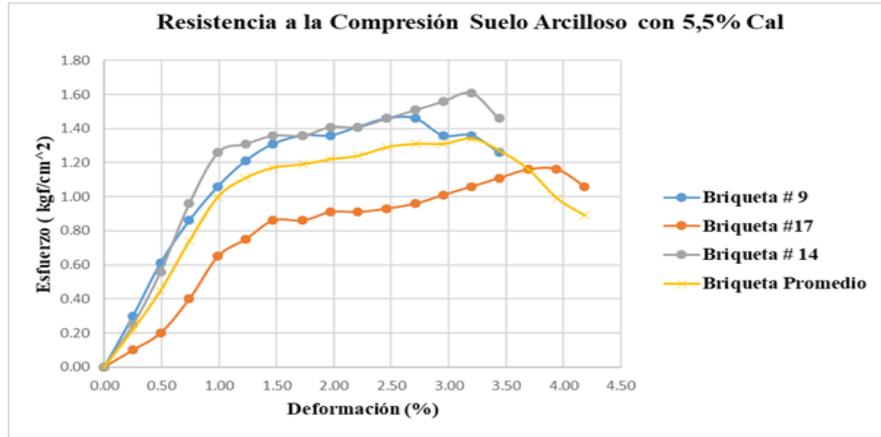


Gráfico 14. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arcilloso con 5,5 % de Cal.

Fuente: Elaboración Propia.

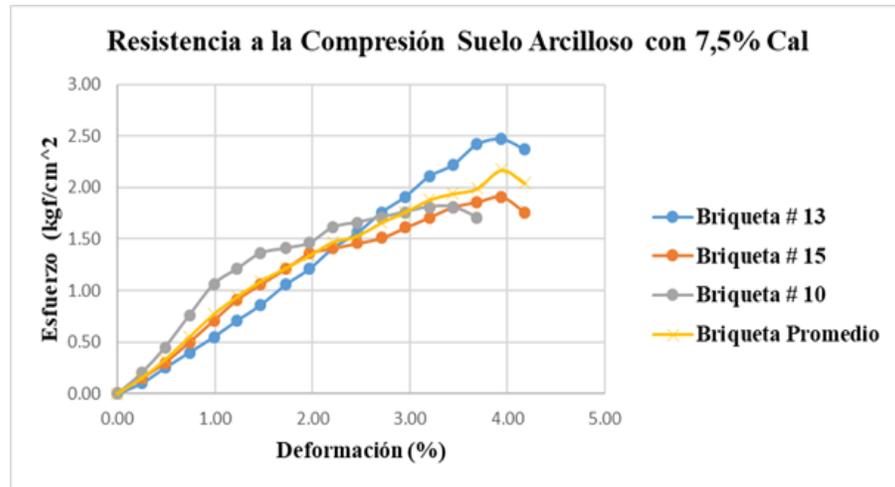


Gráfico 15. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arcilloso con 7,5 % de Cal.

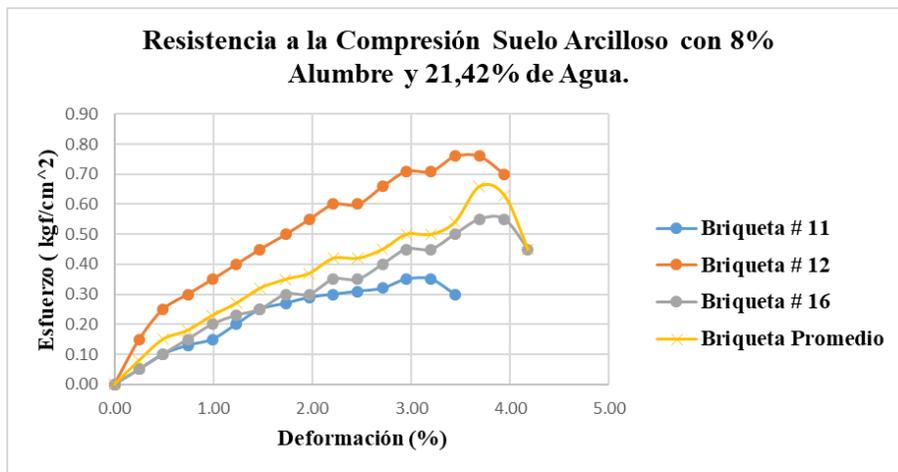
Fuente: Elaboración Propia.

Según De la Fuente, Eduardo. (2013), en su libro “Suelo-Cemento” expresa que la cal es una buena opción para modificar las propiedades del suelo a corto plazo, ya que esta puede modificar casi todos los suelos finos, sin embargo, la mejoría llega más que todo en suelos arcillosos de alta plasticidad. Este autor menciona que esto ocurre ya que los iones de calcio

**CAPITULO IV**

migran hacia la superficie de las partículas de arcilla y desplazan el agua y los iones, por lo que el suelo se vuelve más friable y granular, mejorando así su trabajabilidad y compactación.

Lo planteado por este autor se asemeja a lo ocurrido en este TEG debido a que a diferencia del suelo limo arcilloso, en este caso a menor cantidad de cal (5,5%) añadida menor fue la resistencia obtenida (1,34 kg/cm<sup>2</sup>) y viceversa (7,5% 2,17 kg/cm<sup>2</sup>). Estos resultados fueron comprobados debido a que en la investigación de Duran y López. (2019), utilizaron un porcentaje de cal de 9% para este mismo tipo de suelo, el cual generó una resistencia a la compresión de 3,91 kg/cm<sup>2</sup>, por ende, se concluye que, en suelos arcillosos a mayor porcentaje de cal, mayor es la resistencia obtenida.



**Gráfico 16. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arcilloso con 8% de Alumbre y 21,42% de Agua.**

Fuente: Elaboración Propia.

### IV.4.3 Suelo Arenoso

Tipo de Suelo	Material	% Material	Esfuerzo Máximo (kg/cm <sup>2</sup> )
Arenoso	Suelo Solo	-	11,50
	Cemento	3,00	5,83
	Cemento	7,00	15,54
	Cal	5,00	2,64
	Cal	9,00	2,10
	Alumbre	9,00 - 50,00 gr Agua	3,53

Tabla 19. Valores de Esfuerzos Máximos de Briquetas de Suelo Arenoso.

Fuente: Elaboración Propia.

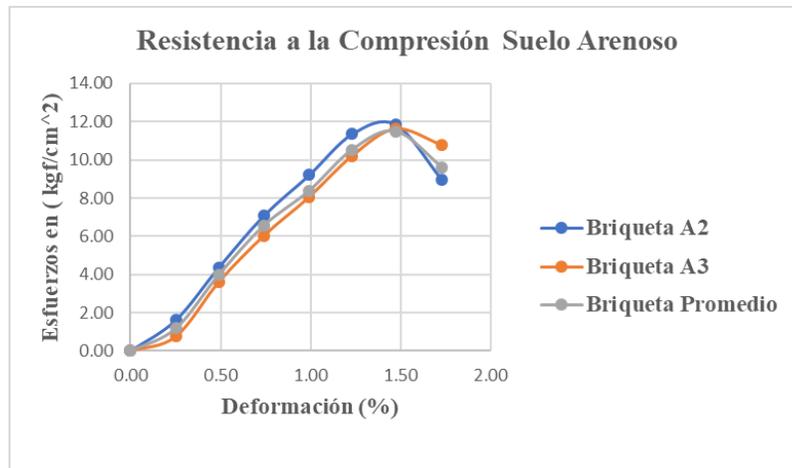


Gráfico 17. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arenoso sin Material Cementante.

Fuente: Elaboración Propia.

CAPITULO IV

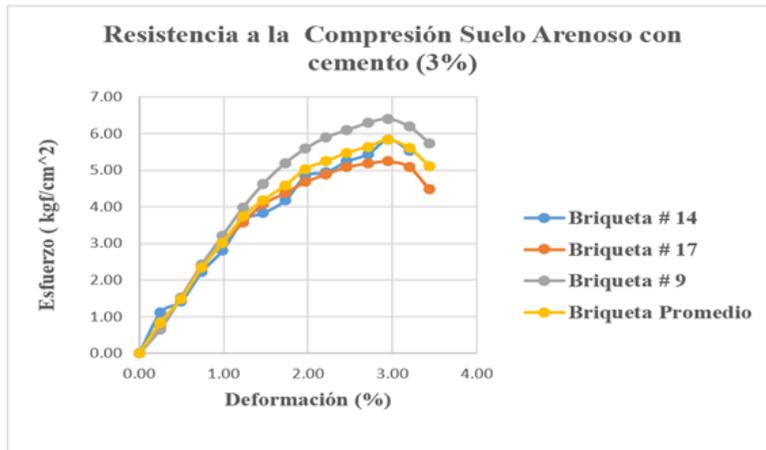


Gráfico 18. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arenoso con 3 % de Cemento.

Fuente: Elaboración Propia.

En este tipo de suelos ocurre algo similar a lo explicado en el suelo limo arcilloso ya que, la resistencia a la compresión del suelo arenoso sin ningún material cementante es mayor a la resistencia añadiendo 3% de cemento. Por su parte al agregar 7% de cemento ya la resistencia alcanza su mayor valor lo que vuelve a confirmar la teoría de Rico y Del Castillo.

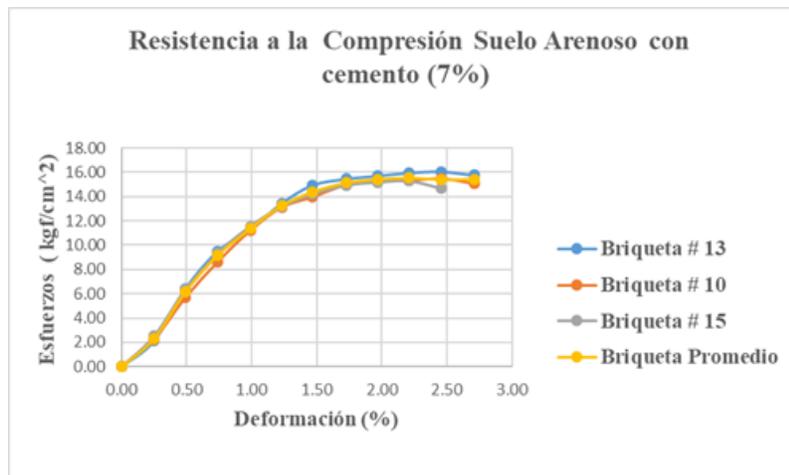


Gráfico 19. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arenoso con 7% de Cemento.

Fuente: Elaboración Propia.

CAPITULO IV

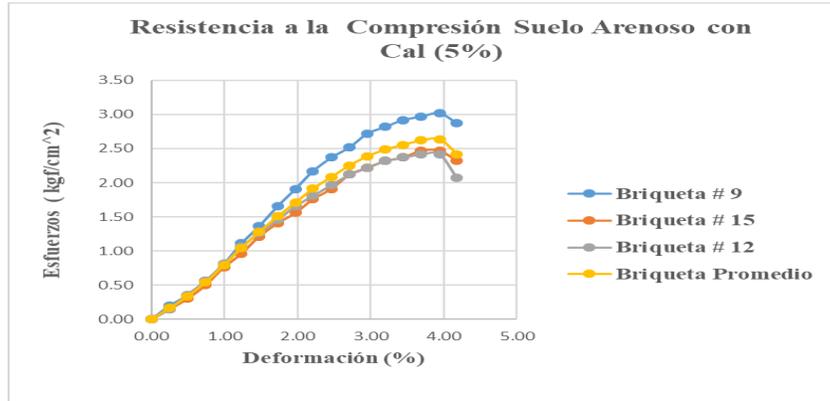


Gráfico 20. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arenoso con 5% de Cal.

Fuente: Elaboración Propia.

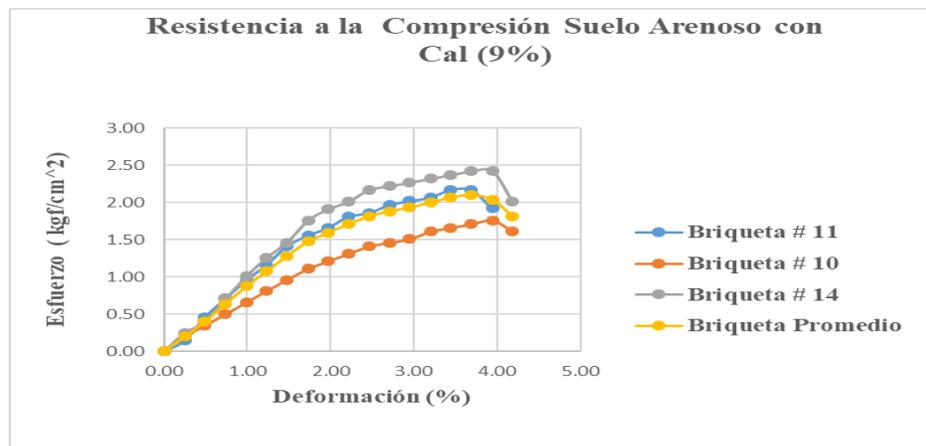


Gráfico 21. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arenoso con 9 % de Cal.

Fuente: Elaboración Propia.

En este tipo de suelos ocurre algo similar a lo explicado en el suelo limo arcilloso ya que, la resistencia a la compresión del suelo arenoso con poco porcentaje de cal (1%) según el TEG de Delgado y Meza. (2019), es mayor a la resistencia añadiendo 9% de cal.

CAPITULO IV

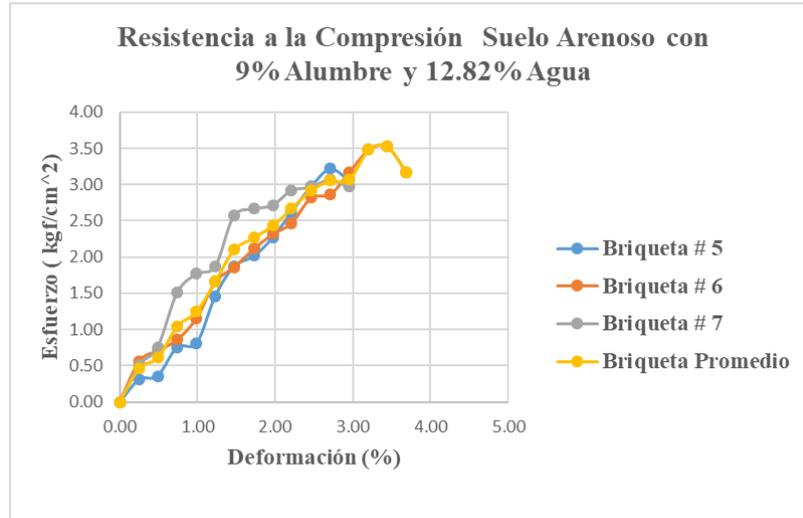


Gráfico 22. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Arenoso con 9 % de Alumbre y 12,82 % de Agua.

Fuente: Elaboración Propia.

IV.4.4 Suelo Limoso

Tipo de Suelo	Material	% Material	Esfuerzo Máximo (kg/cm <sup>2</sup> )
Limoso	Suelo Solo	-	12,21
	Cemento	3,00	4,99
	Cemento	7,00	20,71
	Cal	5,00	6,29
	Cal	9,00	3,52
	Alumbre	9,00 - 57,00 gr Agua	

Tabla 20. Valores de Esfuerzos Máximos de Briquetas de Suelo Limoso.

Fuente: Elaboración Propia.

CAPITULO IV

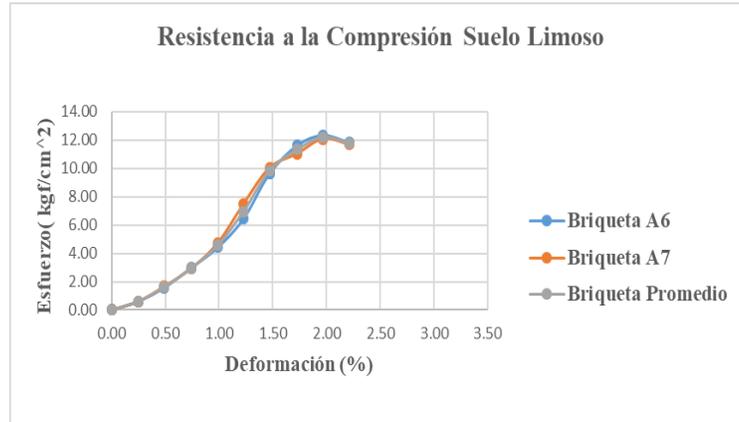


Gráfico 23. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Limoso sin Material Cementante.

Fuente: Elaboración Propia.

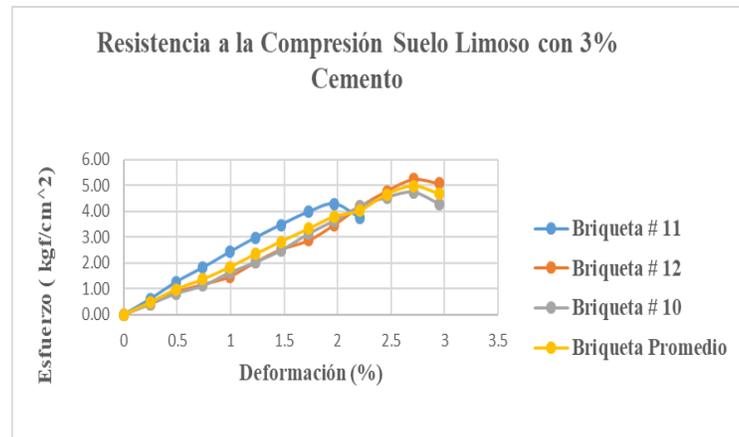


Gráfico 24. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Limoso con 3 % de Cemento.

Fuente: Elaboración Propia.

CAPITULO IV

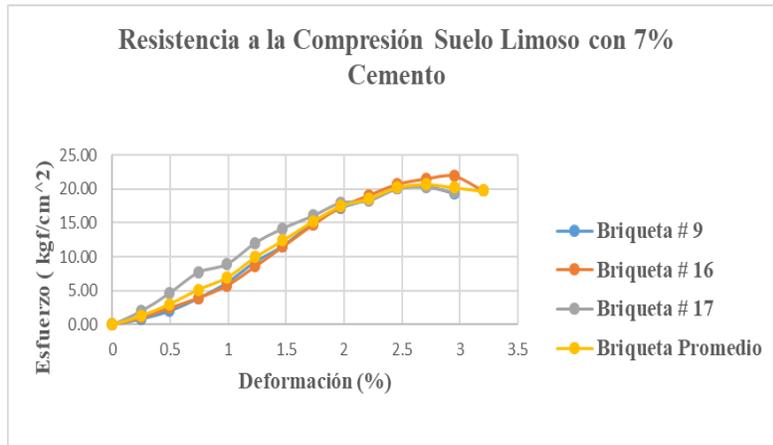


Gráfico 25. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Limoso con 7 % de Cemento.

Fuente: Elaboración Propia.

En este tipo de suelos ocurre algo similar a lo explicado en el suelo limo arcilloso y suelo arenoso ya que, la resistencia a la compresión del suelo limoso sin ningún material cementante es mayor a la resistencia añadiendo 3% de cemento. Por su parte al agregar 7% de cemento ya la resistencia alcanza su mayor valor, incluso de todos los tipos de suelo estudiados, lo que vuelve a confirmar la teoría de Rico y Del Castillo.

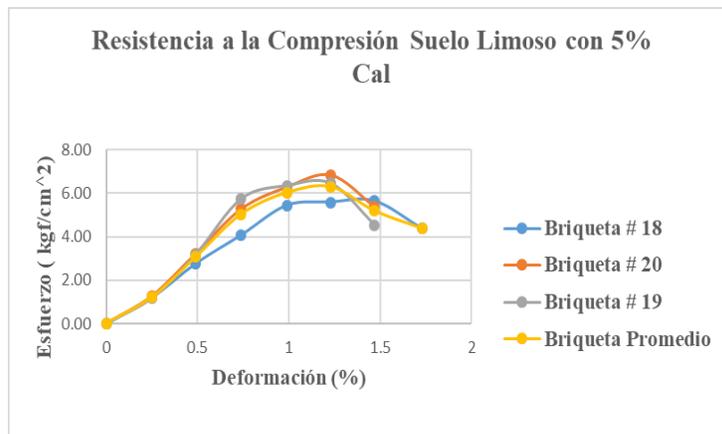


Gráfico 26. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Limoso con 5 % de Cal.

Fuente: Elaboración Propia.

CAPITULO IV

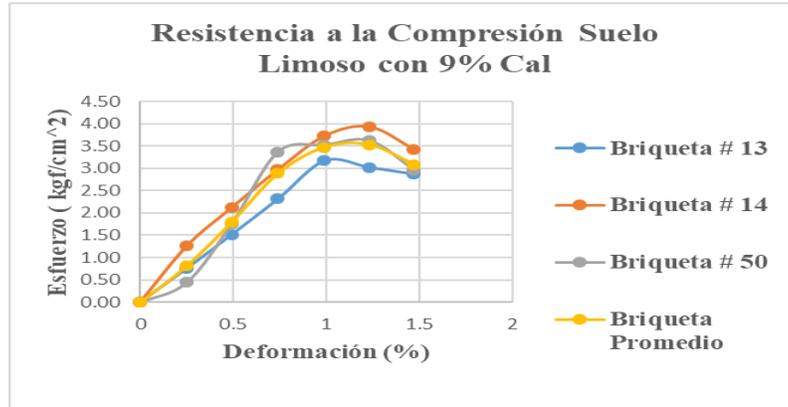


Gráfico 27. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Limoso con 9 % de Cal.

Fuente: Elaboración Propia.

En este tipo de suelos ocurre algo similar a lo explicado en el suelo limo arcilloso y suelo arenoso ya que, la resistencia a la compresión del suelo limoso con poco porcentaje de cal (1%) según el TEG de Delgado y Meza. (2019), es mayor a la resistencia añadiendo 9% de cal.

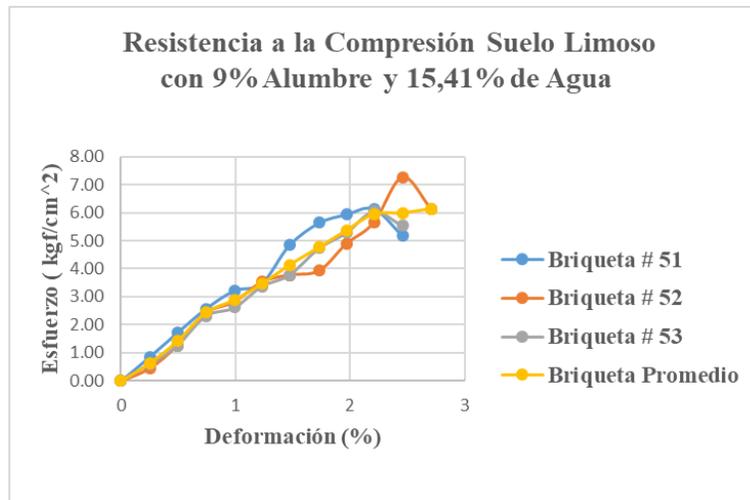


Gráfico 28. Curva Esfuerzo - Deformación para Suelo Limoso con 9 % de Alumbre y 15,41 % de Agua.

Fuente: Elaboración Propia.

En relación al alumbre se puede concluir que el agua es un factor influyente en su resistencia, se pudo notar con el suelo limo arcilloso que, manteniendo el porcentaje añadido de alumbre, al disminuir la cantidad de agua, aumentaba notablemente su resistencia. En comparación con los tipos de suelo arcilloso y arenoso se puede apreciar el mismo comportamiento ya que, para el caso del suelo limo arcilloso con 9% de alumbre y 77 gr de agua la briqueta ni siquiera fraguó por su parte el suelo arcilloso con 8% de alumbre y 21,42% de agua se logró una resistencia muy baja (0,66 kg/cm<sup>2</sup>).

Por otro lado, para el caso del suelo arenoso se aplicó 9% de alumbre y 12,82% de agua lo que generó una resistencia de 3,53 kg/cm<sup>2</sup>, valor similar a la resistencia del suelo limo arcilloso manteniendo la cantidad de alumbre, pero disminuyendo la cantidad de agua a 10,41%.

Sin embargo, para el caso del suelo limoso la resistencia a la compresión dio un valor más alto de 5,99 kg/cm<sup>2</sup>, utilizando la misma cantidad de 9% de alumbre, pero con una cantidad de agua mayor de 15,41%, esto debido a que se formó una pasta más fluida dentro de la briqueta lo que originó una estructura interna más rígida.

Todo lo explicado anteriormente se ejemplifica a continuación en el siguiente gráfico, el cual reúne todos los resultados de los TEG de Delgado – Meza, Duran – López y Otaola – Ponte, tanto para los diferentes porcentajes de material como para las diferentes resistencias máximas alcanzadas.

CAPITULO IV

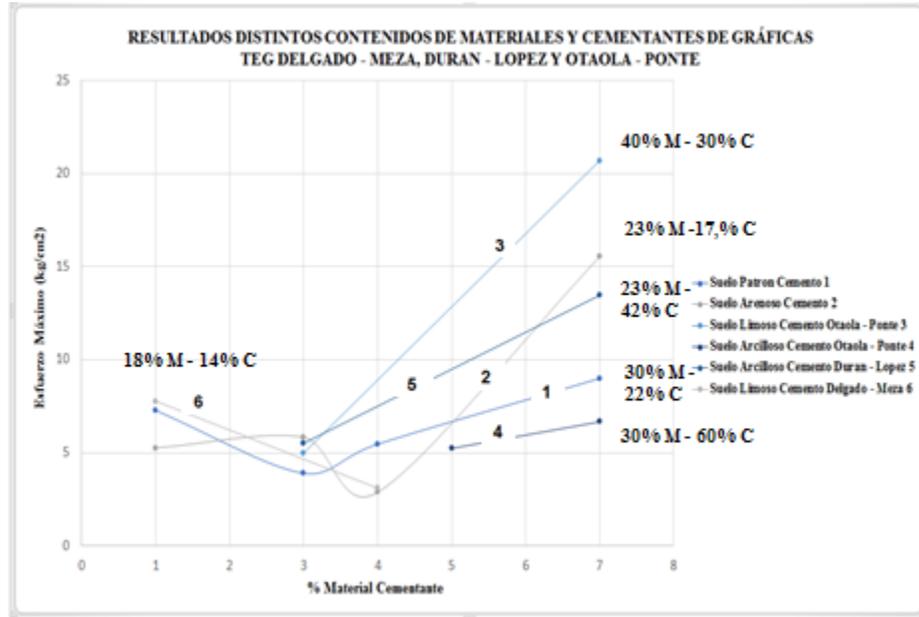


Gráfico 29. Complemento de Graficas de Cemento TEG Delgado - Meza, Duran - López y Otaola - Ponte.

Fuente: Elaboración Propia.

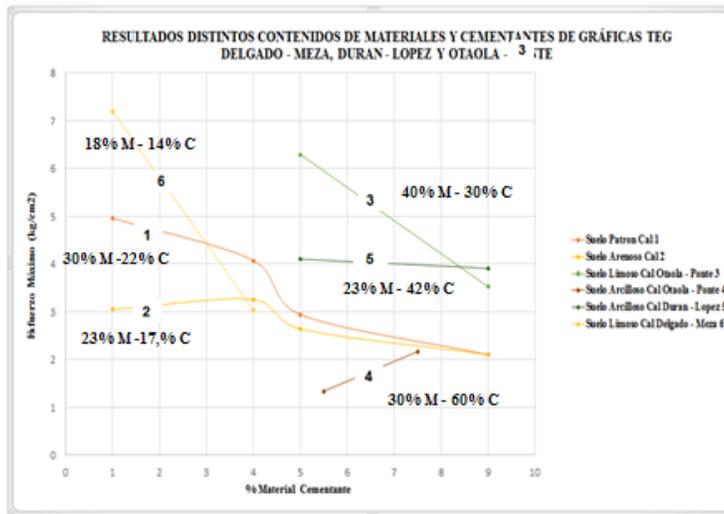


Gráfico 30. Complemento de Graficas de Cal TEG Delgado - Meza, Duran - López y Otaola - Ponte.

Fuente: Elaboración Propia.

CAPITULO IV

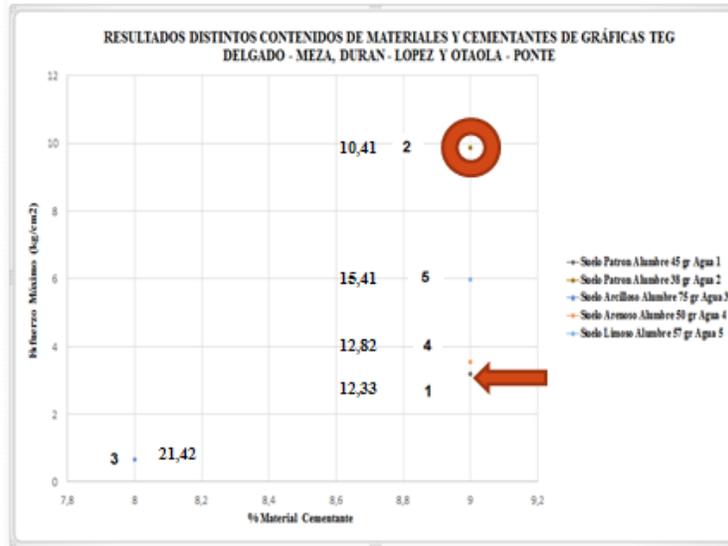


Gráfico 31. Resultados de Distintos Contenidos de Material y Cementantes de Distintos TEG.

Fuente: Elaboración Propia.

Es importante mencionar que de los tres tipos de materiales cementantes utilizados, el más difícil en torno a la facilidad de colocación es la cal, debido a que la gran absorción de agua genera que la masa de la briqueta a la hora de ser colocada y enrazada se vuelva una pasta de complicado moldeo, por su parte la colocación de las mezclas con alumbre es buena debido a que al hidratarse con velocidad lenta y al mantener el agua permite el moldeo y enrazado ideal en las muestras. En relación al cemento a pesar que tiene gran absorción de agua al ser menor que la generada con la cal también permite una buena trabajabilidad en las muestras.

IV.5 DURABILIDAD ANTE EXCESO DE AGUA

Siguiendo lo planteado por la norma ASTM C-88, en la cual se explica la inmersión de las briquetas en agua por un periodo de tiempo, en nuestro caso se obtuvieron los siguientes valores: suelo patrón es el suelo limo arcilloso mencionado anteriormente.

Todos los Suelos	Material Cementante	% Material Cementante	Tiempo Sumergido ( horas)	Estado
	Solo	-	5	Sin Consistencia
	Cemento	3,00	96	Rigido
	Cemento	7,00	96	Rigido
	Cal	5,00	96	Rigido
	Cal	9,00	96	Rigido
	Alumbre	9,00%	5	Sin Consistencia
	Alumbre	9,00%	5	Sin Consistencia

**Tabla 21. Valores Obtenidos en Ensayo de Durabilidad.**

Fuente: Elaboración Propia.

Para los tipos de suelo limo arcilloso, arcilloso, arenoso y limoso se dieron las mismas condiciones, es decir, las briquetas de suelo sin ningún material cementante y las briquetas con diversos porcentajes de alumbre resultaron sin consistencia y diluidas en el agua a las 5 horas de su inmersión. Por su parte, las briquetas de los distintos tipos de suelo estabilizadas con los variados porcentajes de cemento y cal a las 96 horas de inmersión todavía se encontraban en buen estado.

Esto da a entender que aunque los distintos tipos de suelos sin material cementante y agregándoles los diversos porcentajes de alumbre hayan generado una mayor resistencia que los porcentajes menores de cemento y tanto los porcentajes menores como los mayores de cal, si ocurre una eventualidad como por ejemplo una filtración o un bote de agua estos serían los primeros en colapsar, por esta razón se recomienda utilizar briketa con los porcentajes altos de cemento, ya que resisten valores mayores y a su vez a las 96 horas inmersas en agua aun mantenían su consistencia.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

La finalidad del presente Trabajo Especial de Grado es la de analizar el comportamiento mecánico de mezclas artesanales de suelos estabilizados con cemento para pisos de viviendas de bajo costo, específicamente los objetivos eran evaluar la resistencia a la compresión de las diferentes configuraciones de suelos y materiales cementantes, las características de preparación y la facilidad de colocación de los mismos.

En relación a esto, las conclusiones de esta investigación son las siguientes:

1. Para las briquetas en los distintos tipos de suelos ensayados (limo - arcilloso, arcilloso, arenoso y limoso), a bajos contenidos de cemento entre 1% - 4% se logran las menores resistencias a la compresión. Al aumentar los porcentajes de cemento en el orden del 5% - 7% se logran las mayores resistencias a la compresión.
2. Para las briquetas de suelo limo – arcilloso, arenoso y limoso, a bajos contenidos de cal entre 1% - 5% se logran las mayores resistencias a la compresión, pero está disminuye, cuando los porcentajes de cal aumenta del 6% - 9%.
3. Para las briquetas de suelo limo - arcilloso 9% de alumbre y 10.33% de agua, se logra la mayor resistencia a la compresión. Cualquier ligero aumento en el porcentaje de agua, 12,33%, disminuye notablemente su resistencia y si se aumenta aún más de 22.71% no ocurre ni siquiera el fraguado en las muestras.
4. La mejor preparación de todas las mezclas estudiadas (diferentes granulometrías e índices de plasticidad) corresponde a los suelos estabilizados con cemento para edades de 28 días.

5. La mayor facilidad de colocación corresponde a las muestras en las cuales se añadió cemento y alumbre, por su parte la colocación más difícil surgió en las muestras con altos porcentajes de cal.
6. Los suelos ensayados sin ningún material cementante y aquellos en los que se usó alumbre, se desintegraron antes de 5 horas después de haber sido inmersos en agua.
7. Los suelos estabilizados tanto con cemento como con cal tienen una duración de hasta 1 semana sin disgregarse al estar inmersos en agua.

### **RECOMENDACIONES**

Ya que para el cumplimiento de los objetivos se realizaron gran cantidad de briquetas y de ensayos como grupo notamos que para futuras investigaciones hay ciertos aspectos que se deben tomar en cuenta para corregir lo estudiado. Algunas de las recomendaciones que han surgido de la realización del presente Trabajo son las siguientes:

1. Considerar para próximos trabajos de investigación lo ocurrido en detalle para porcentajes de cemento en el orden de 1% - 4%.
2. Considerar para próximos trabajos de investigación el tópico de los procesos químicos e hidratación exacta que ocurre al hidrolizar el aluminio.
3. Realizar estos ensayos para otros tipos de suelo que los estudiados, específicamente unos más arcillosos o con índices de plasticidad mayores

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Academia. “Normas AASHTO”. Recuperado en [https://www.academia.edu/5560864/NORMAS\\_AASHTO](https://www.academia.edu/5560864/NORMAS_AASHTO). (2019).
- [2] Barrera. Vidal. 2010. “Guía de Laboratorio de Sanitaria I y II”. Caracas. UCAB.
- [3] Civil Geeks. “Guía para la Estabilización de Suelo”. Recuperado en <https://civilgeeks.com/2015/06/27/guia-la-estabilizacion-suelos/>.(2019).
- [4] Construmatica. “Características de la Cal”. Recuperado en <https://www.construmatica.com/construpedia/Cal>. (2019).
- [5] De la Fuente, L. E. (2013). “Suelo Cemento”. (1ra ed.). Editorial Soledad Moline. México.
- [6] Ecología Verde. “El Suelo Arcilloso”. Recuperado en <https://www.ecologiaverde.com/el-suelo-arcilloso-681.html>. (2019).
- [7] EcuRed. “Características del Alumbre”. Recuperado en [https://www.ecured.cu/EcuRed:Enciclopedia\\_cubana](https://www.ecured.cu/EcuRed:Enciclopedia_cubana). (2019).
- [8] Edafología.” Propiedades Físicoquímicas e Intercambio Iónico”. Recuperado en <http://www.edafologia.net/introeda/tema05/ccc.htm>. (2019).
- [9] Fundamentos de la Mecánica de Suelos”. Editorial Limusa. México.
- [10] González. Eduardo. “Ensayos de Hormigón Endurecido”. Recuperado en [https://campusvirtual.ull.es/ocw/pluginfile.php/2091/mod\\_page/content/1/FichasTemas/tema12-fabricacioncuradohor.pdf](https://campusvirtual.ull.es/ocw/pluginfile.php/2091/mod_page/content/1/FichasTemas/tema12-fabricacioncuradohor.pdf). (2019).
- [11] Head, K. H. 1980. “Manual of Solid Laboratory Testing”, Pentech Press, London.

[12] Heredia, T. José, V. “Mejoramiento Químico y Electroquímico de Suelos Para Carreteras, Ferrocarriles y Aeropuertos”.

[13] Ingeniería UNNE. “Cemento Portland”. Recuperado en <http://ing.unne.edu.ar/pub/quimica/cemento.pdf>. (2019).

[14] Juárez Badillo y Rico Rodríguez. 2005. “Mecánica de Suelo Tomo 1.

[15] Lambe T. William y Whitman Robert V. 2009. “Mecánica de Suelos”, Editorial Limusa. México.

[16] María. José. 2014. “La Química de la Cal Viva”. Recuperado en <https://rinconciencia.wordpress.com/2011/10/29/la-quimica-de-la-cal-viva/>.

[17] Pérez, A. Hugo. 2012.” Laboratorio Completo de Mecánica de Suelos I y II”. Caracas. UCAB.

[18] Silva. Javier. 2014. “Como se produce el Proceso de Hidratación del Cemento”. Recuperado en <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/proceso-hidratacion-del-cemento>. (2019).

[19] Zita. Ana. 2018. “Suelo”. Recuperado en <https://www.todamateria.com/suelo/>. (2019).

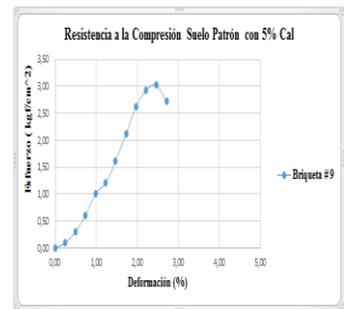
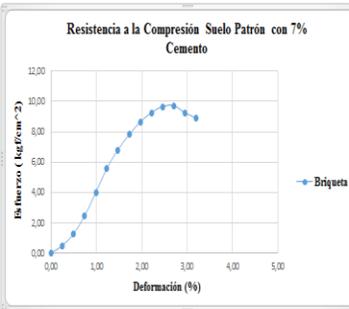
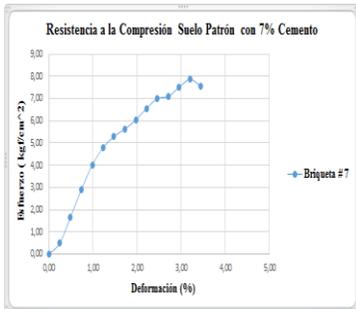
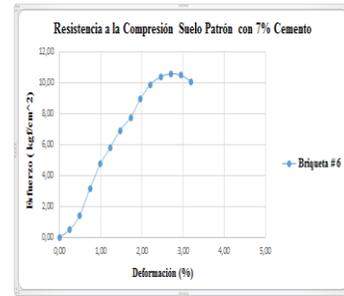
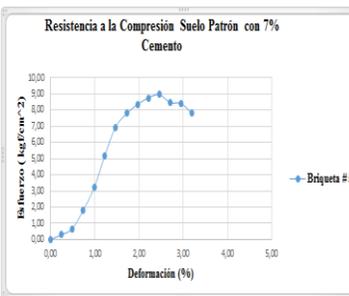
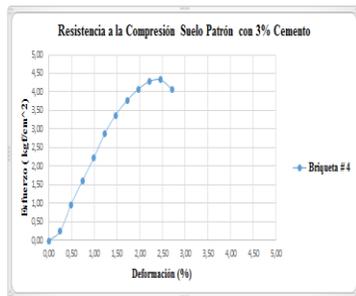
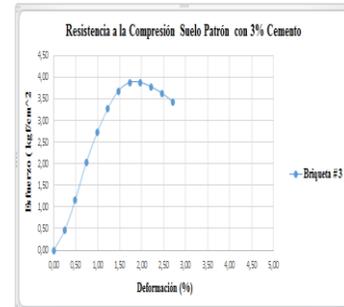
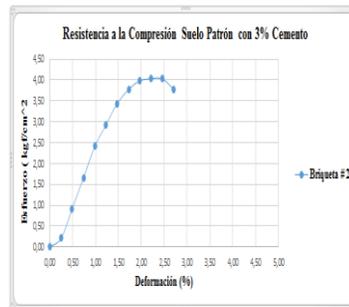
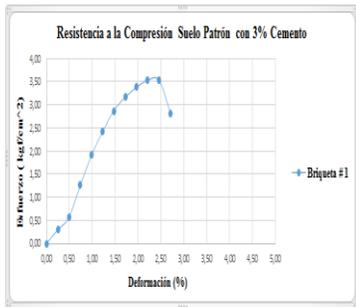
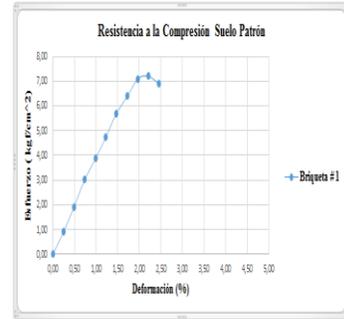
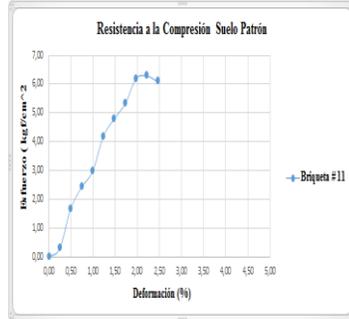
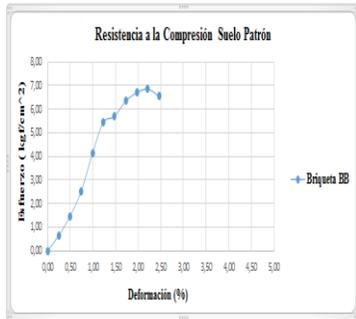
ANEXO

**ANEXOS**

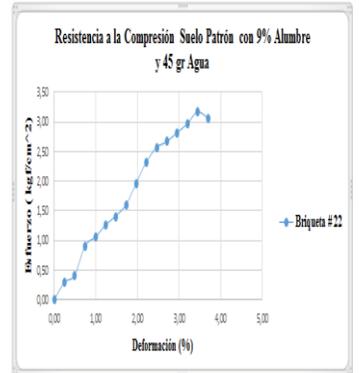
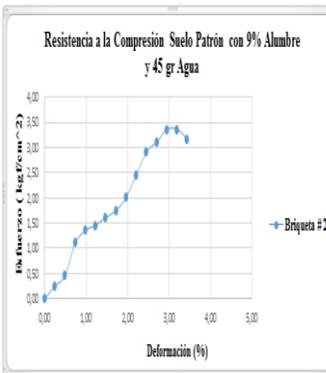
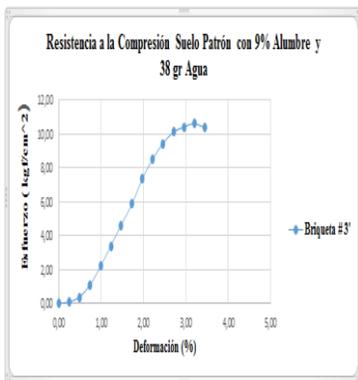
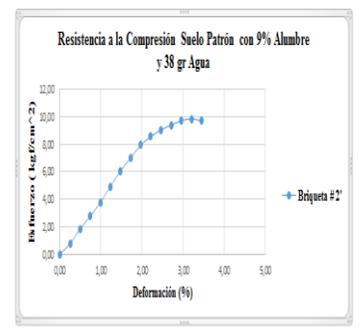
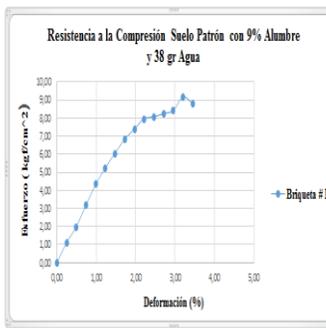
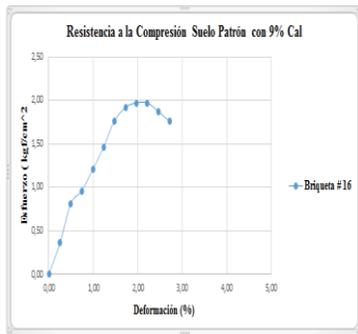
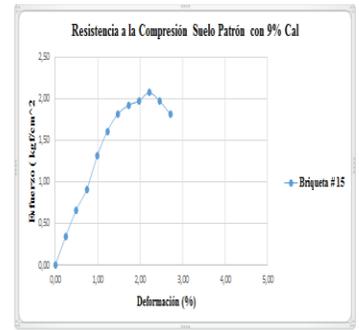
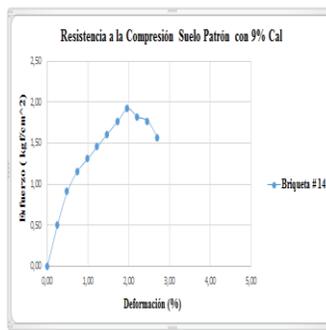
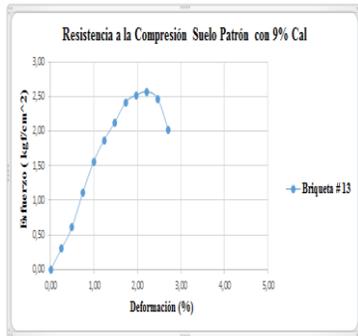
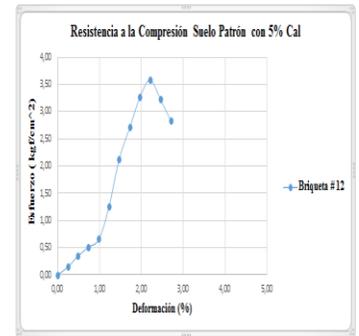
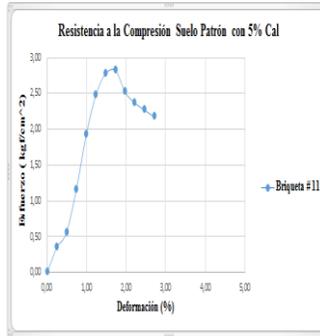
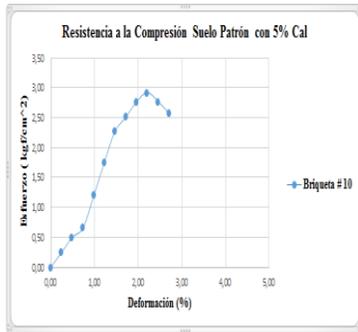


ANEXO

ANEXO B: GRÁFICAS COMPLEMENTARIAS DE SUELO PATRÓN



ANEXO



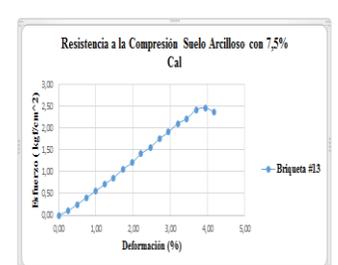
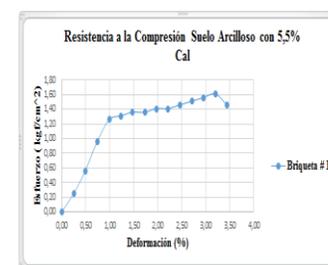
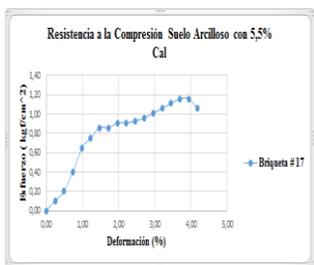
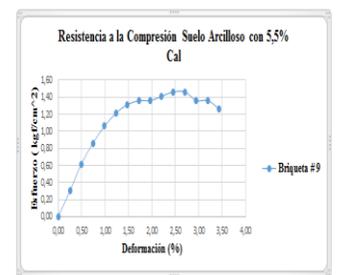
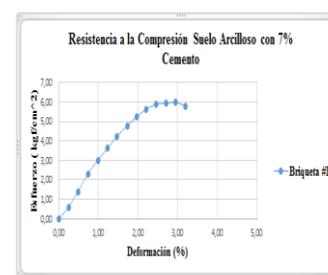
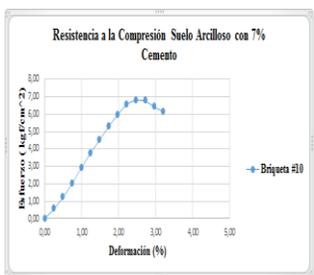
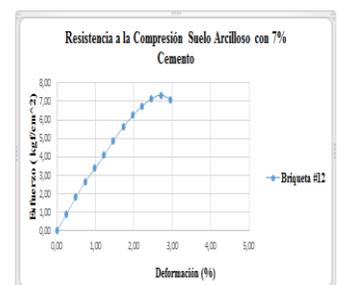
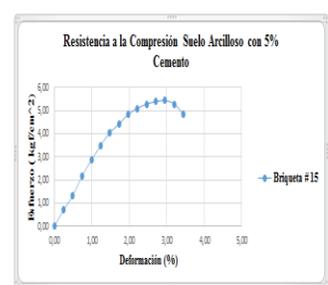
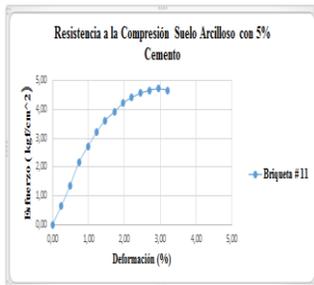
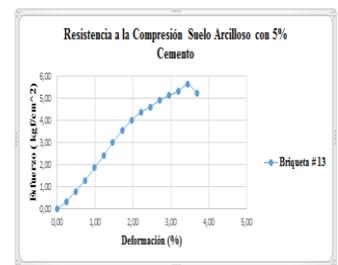
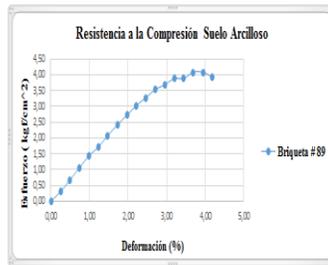
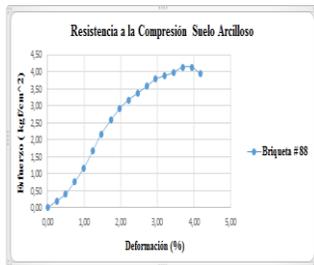
ANEXO

**ANEXO C: VALORES DE ESFUERZO – DEFORMACIÓN  
CALCULADOS EN BRIQUETAS DE SUELO ARCILLOSO**

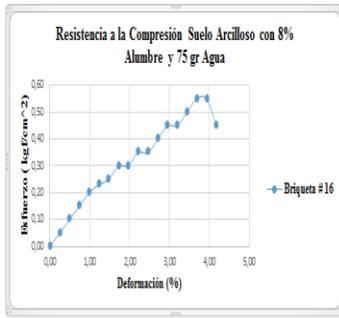
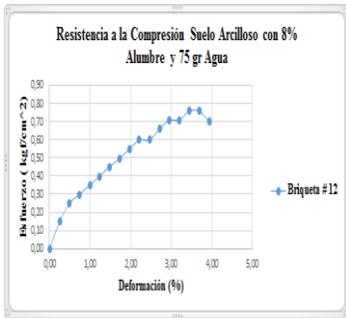
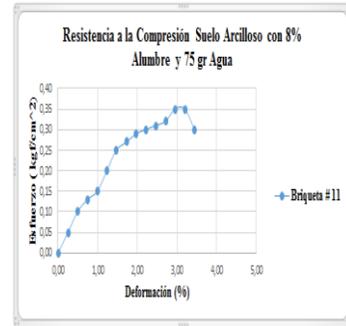
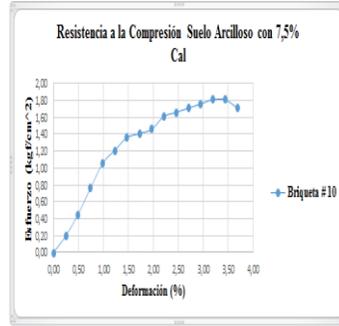
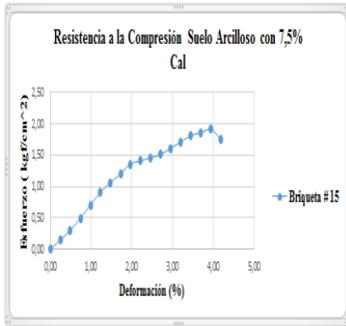
# Briqueta	Deformación (mm)	Esfuerzo (kgf/cm <sup>2</sup> )																						
		13	11	15	promedio	12	10	16	promedio	9	17	14	promedio	13	15	10	promedio	11	12	16	promedio	88	89	promedio
0.25	0.30	0.40	0.50	0.40	0.65	0.25	0.55	0.49	0.30	0.05	0.30	0.22	0.05	0.15	0.15	0.12	0.05	0.10	0.05	0.07	0.15	0.25	0.20	0.20
0.50	0.65	1.06	1.21	0.97	1.56	0.81	1.16	1.17	0.60	0.15	0.55	0.44	0.15	0.30	0.35	0.27	0.10	0.25	0.10	0.15	0.35	0.55	0.45	0.45
0.74	1.11	1.76	1.86	1.38	2.47	1.46	1.96	1.96	0.91	0.25	0.86	0.67	0.30	0.45	0.60	0.45	0.15	0.35	0.15	0.22	0.55	0.91	0.73	0.73
0.99	1.61	2.57	2.67	2.28	3.32	2.27	2.87	2.82	1.16	0.45	1.26	0.96	0.45	0.65	0.91	0.67	0.15	0.40	0.20	0.25	0.91	1.31	1.11	1.11
1.24	2.16	3.12	3.37	2.89	4.03	3.17	3.57	3.59	1.36	0.76	1.56	1.22	0.60	0.86	1.21	0.89	0.20	0.45	0.25	0.30	1.31	1.61	1.46	1.46
1.48	2.72	3.62	3.98	3.44	4.73	3.98	4.18	4.30	1.51	0.86	1.61	1.33	0.76	1.06	1.36	1.06	0.20	0.50	0.30	0.34	1.81	1.96	1.89	1.89
1.72	3.32	4.03	4.53	3.96	5.54	4.73	4.78	5.02	1.61	0.91	1.66	1.39	0.91	1.21	1.51	1.21	0.30	0.55	0.30	0.39	2.32	2.32	2.32	2.32
1.98	3.88	4.33	4.93	4.38	6.29	5.54	5.54	5.72	1.66	0.91	1.66	1.41	1.11	1.36	1.56	1.34	0.30	0.60	0.35	0.42	2.72	2.67	2.67	2.69
2.22	4.33	4.65	5.34	4.77	6.90	6.24	5.79	6.31	1.66	0.96	1.71	1.44	1.26	1.51	1.61	1.46	0.30	0.65	0.35	0.44	3.07	2.97	3.02	3.02
2.46	4.68	4.83	5.59	5.03	7.40	6.80	6.19	6.80	1.71	0.96	1.71	1.46	1.46	1.56	1.76	1.59	0.35	0.70	0.40	0.49	3.32	3.27	3.30	3.30
2.71	4.93	4.98	5.79	5.23	7.80	7.05	6.44	7.10	1.76	1.01	1.76	1.51	1.61	1.61	1.81	1.68	0.35	0.70	0.40	0.49	3.52	3.52	3.52	3.52
2.96	5.25	5.08	5.89	5.40	8.00	7.00	6.49	7.16	1.76	1.01	1.81	1.53	1.81	1.66	1.86	1.78	0.35	0.76	0.45	0.52	3.72	3.78	3.75	3.75
3.20	5.44	5.13	5.94	5.30	7.75	6.69	6.54	7.00	1.66	1.06	1.86	1.53	1.96	1.76	1.91	1.88	0.40	0.81	0.50	0.57	3.93	3.93	3.93	3.93
3.45	5.64	5.08	5.79	5.30	-	6.39	6.34	6.37	1.66	1.11	1.91	1.56	2.16	1.86	1.96	2.00	0.40	0.81	0.50	0.57	4.03	4.13	4.08	4.08
3.69	5.94	-	5.34	5.64	-	-	-	-	1.56	1.16	1.76	1.49	2.27	1.96	1.96	2.06	0.30	0.86	0.55	0.57	4.13	4.13	4.13	4.13
3.94	5.54	-	5.54	-	-	-	-	-	-	1.21	-	1.21	2.47	2.01	1.86	2.11	-	0.86	0.60	0.73	4.28	4.33	4.30	4.30
4.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.21	-	1.21	2.52	2.06	-	2.29	-	0.76	0.60	0.68	4.28	4.33	4.30	4.30
4.43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.11	-	1.11	2.42	1.91	-	2.16	-	-	0.50	0.50	4.08	4.18	4.13	4.13

ANEXO

## ANEXO D: GRÁFICAS COMPLEMENTARIAS DE SUELO ARCILLOSO



ANEXO



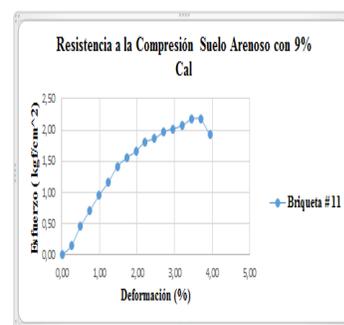
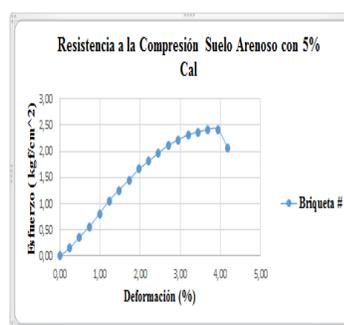
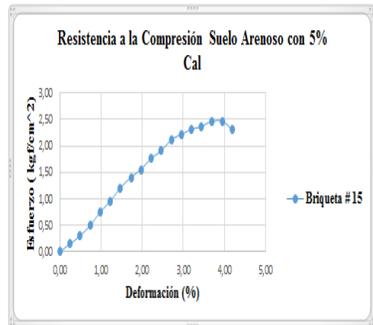
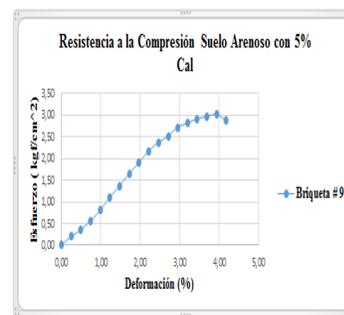
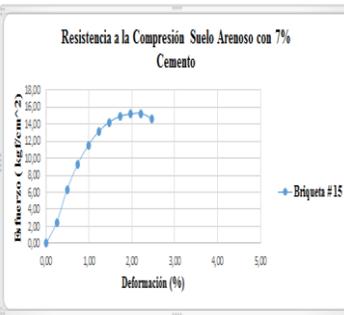
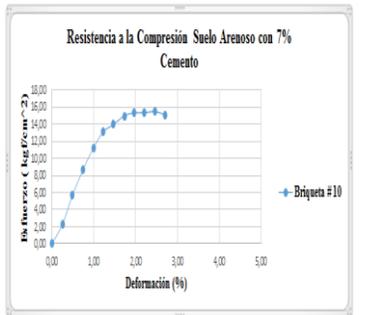
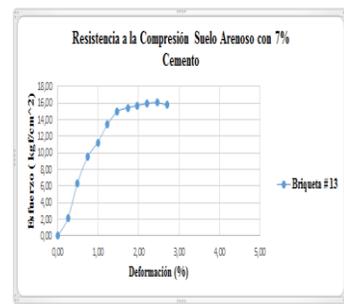
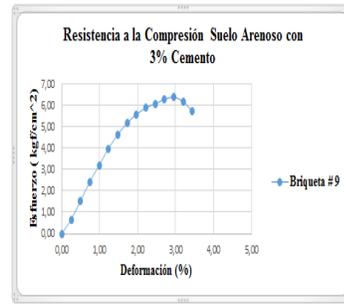
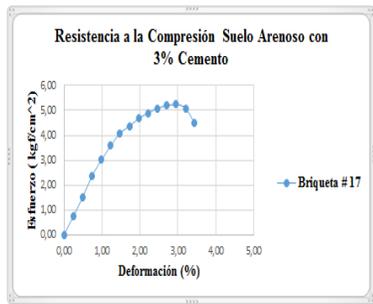
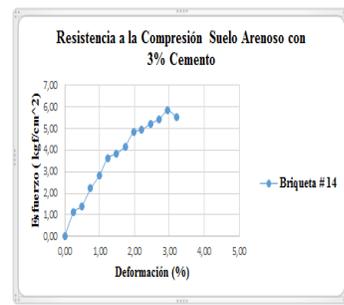
ANEXO

**ANEXO E: VALORES DE ESFUERZO – DEFORMACIÓN  
CALCULADOS EN BRIQUETAS DE SUELO ARENOSO**

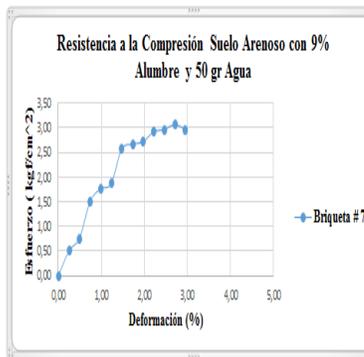
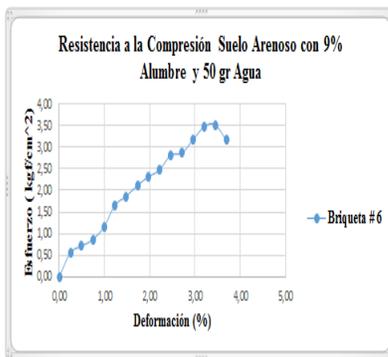
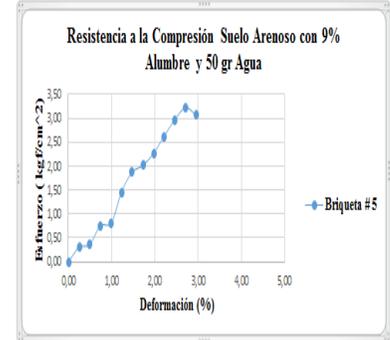
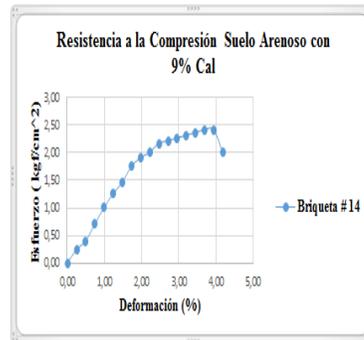
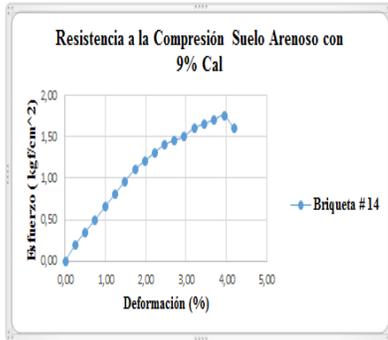
# Briqueta	14	17	9	promedio	13	10	15	promedio	9	15	12	promedio	11	10	14	promedio	5	6	7	promedio	A2	A3	promedio	
Deformación (mm)																								
0.25	0.45	0.40	0.45	0.44	0.65	0.86	0.96	0.82	0.20	0.20	0.40	0.27	0.35	0.15	0.20	0.23	0.50	0.30	0.50	0.44	1.01	1.51	1.26	
0.50	1.56	1.16	1.11	1.28	2.77	3.12	3.47	3.12	0.40	0.35	0.55	0.44	0.50	0.35	0.45	0.44	0.81	0.86	1.01	0.89	2.62	2.27	2.44	
0.74	1.86	1.91	1.96	1.91	7.05	6.54	7.30	6.96	0.55	0.50	0.76	0.60	0.81	0.50	0.60	0.64	0.86	1.01	1.26	1.04	5.39	5.13	5.26	
0.99	2.67	2.77	2.87	2.77	10.17	9.51	10.32	10.00	0.76	0.70	0.96	0.81	1.06	0.65	0.91	0.87	1.26	1.16	2.01	1.48	8.10	7.55	7.83	
1.24	3.27	3.42	3.67	3.46	11.95	12.08	12.53	12.18	1.01	0.96	1.21	1.06	1.31	0.81	1.21	1.11	1.51	1.46	2.27	1.68	10.22	9.06	9.64	
1.48	4.08	3.98	4.45	4.16	14.09	13.99	14.14	14.08	1.31	1.16	1.46	1.31	1.51	0.96	1.46	1.31	1.96	1.96	2.37	2.10	12.38	11.22	11.80	
1.72	4.28	4.48	5.08	4.61	15.60	14.85	15.20	15.22	1.56	1.41	1.66	1.54	1.76	1.11	1.66	1.51	2.37	2.16	3.07	2.53	12.89	12.63	12.76	
1.98	4.63	4.78	5.64	5.02	16.11	15.86	15.91	15.96	1.86	1.61	1.86	1.78	1.91	1.26	1.96	1.71	2.52	2.42	3.17	2.70	9.97	11.78	10.87	
2.22	5.29	5.08	6.04	5.47	16.36	16.21	16.16	16.24	2.11	1.76	2.06	1.98	2.01	1.36	2.11	1.83	2.77	2.62	3.22	2.87	-	-	-	
2.46	5.39	5.29	6.34	5.67	16.61	16.21	16.26	16.36	2.37	1.96	2.21	2.18	2.16	1.46	2.21	1.95	3.12	2.77	3.42	3.10	-	-	-	
2.71	5.69	5.49	6.54	5.91	16.71	16.36	15.65	16.24	2.57	2.11	2.37	2.35	2.21	1.56	2.37	2.05	3.47	3.12	3.47	3.36	-	-	-	
2.96	5.89	5.59	6.74	6.07	16.41	15.96	-	16.18	2.72	2.32	2.52	2.52	2.32	1.61	2.42	2.11	3.72	3.17	3.57	3.49	-	-	-	
3.20	6.29	5.64	6.85	6.26	-	-	-	-	2.92	2.42	2.62	2.65	2.37	1.66	2.47	2.16	3.57	3.47	3.47	3.51	-	-	-	
3.45	5.99	5.49	6.64	6.04	-	-	-	-	3.02	2.52	2.72	2.75	2.42	1.76	2.52	2.23	-	3.78	-	3.78	-	-	-	
3.69	-	4.88	6.19	5.54	-	-	-	-	3.12	2.57	2.77	2.82	2.52	1.81	2.57	2.30	-	3.83	-	3.83	-	-	-	
3.94	-	-	-	-	-	-	-	-	3.17	2.67	2.82	2.89	2.52	1.86	2.62	2.33	-	3.47	-	3.47	-	-	-	
4.19	-	-	-	-	-	-	-	-	3.22	2.67	2.82	2.90	2.27	1.91	2.62	2.27	-	-	-	-	-	-	-	
4.45	-	-	-	-	-	-	-	-	3.07	2.52	2.47	2.68	-	1.76	2.21	1.99	-	-	-	-	-	-	-	

ANEXO

ANEXO F: GRÁFICAS COMPLEMENTARIAS DE SUELO ARENOSO

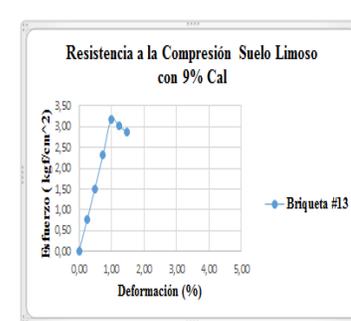
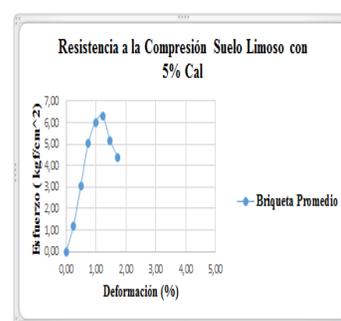
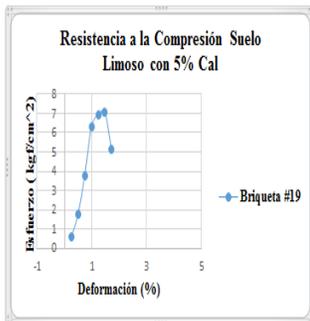
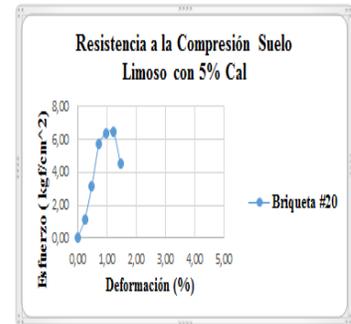
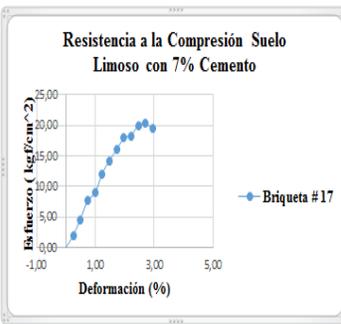
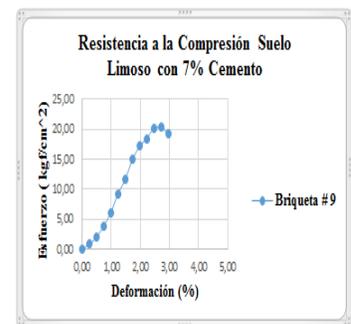
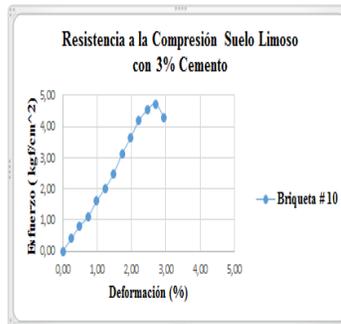
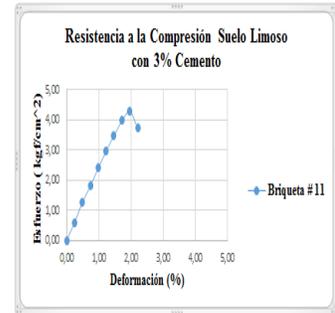
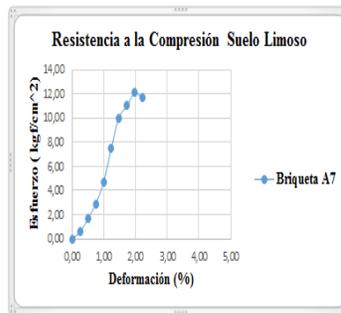


ANEXO

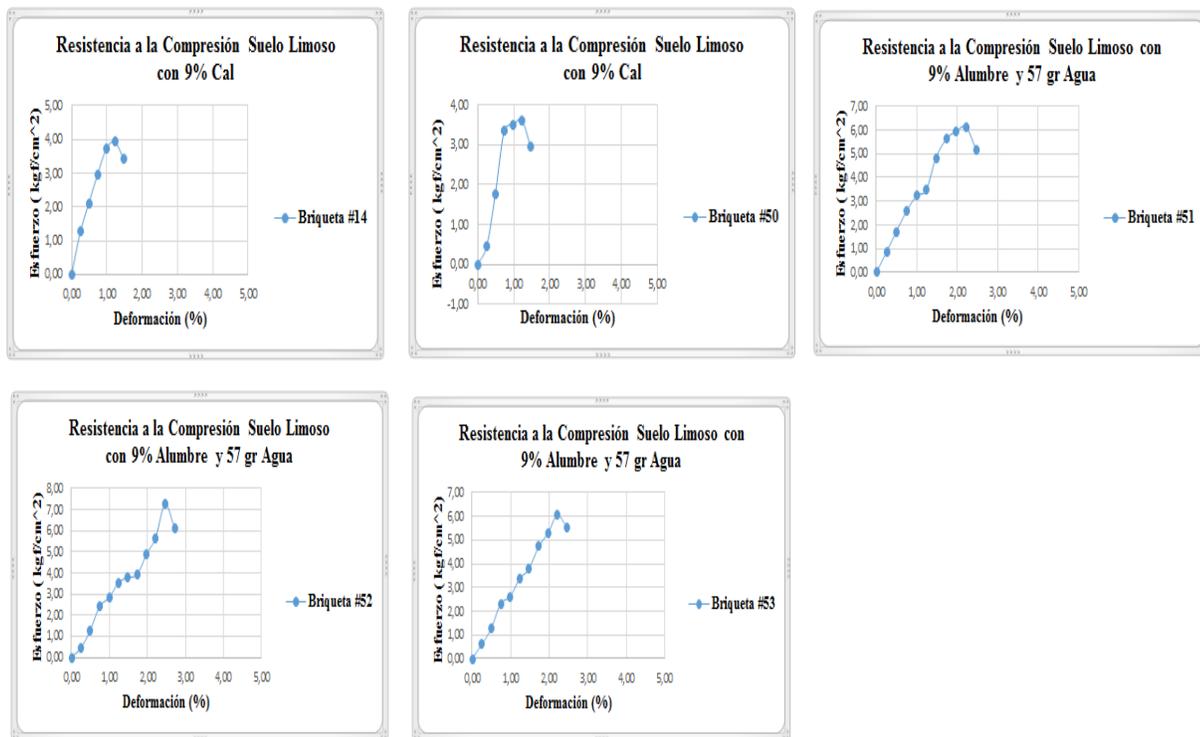




## ANEXO H: GRÁFICAS COMPLEMENTARIAS DE SUELO LIMOSO



ANEXO



BRIQUETAS SIN MATERIAL CEMENTANTE

Tipo de Suelo	# Briqueta	Peso Inicial (gr)	Peso Agua (gr)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo
Limo Arcilloso	BB	350.00	77.00	18/05/19	25/05/19
Limo Arcilloso	1	350.00	77.00	18/05/19	25/05/19
Limo Arcilloso	11	350.00	77.00	18/05/19	25/05/19
Arcilloso	88	350.00	113.75	18/05/19	25/05/19
Arcilloso	89	350.00	113.75	18/05/19	25/05/19
Limoso	A6	350.00	87.50	18/05/19	25/05/19
Limoso	A7	350.00	87.50	18/05/19	25/05/19
Arenoso	A2	350.00	76.48	18/05/19	25/05/19
Arenoso	A3	350.00	76.48	18/05/19	25/05/19

ANEXO

SUELO LIMO ARCILLOSO

# Briquea	Peso Inicial (gr)	Peso Agua (gr)	Material	% Material	Peso Material (gr)	Peso Muestra (gr)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo
1	350.00	77.00	Cemento	3.00	10.50	262.50	5/4/2019	3/5/2019
2	350.00	77.00	Cemento	3.00	10.50	262.50	5/4/2019	3/5/2019
3	350.00	77.00	Cemento	3.00	10.50	262.50	5/4/2019	3/5/2019
4	350.00	77.00	Cemento	3.00	10.50	262.50	5/4/2019	3/5/2019
5	350.00	77.00	Cemento	7.00	24.50	248.50	5/4/2019	3/5/2019
6	350.00	77.00	Cemento	7.00	24.50	248.50	5/4/2019	3/5/2019
7	350.00	77.00	Cemento	7.00	24.50	248.50	5/4/2019	3/5/2019
8	350.00	77.00	Cemento	7.00	24.50	248.50	5/4/2019	3/5/2019
9	350.00	77.00	Cal	5.00	17.50	255.50	3/4/2019	1/5/2019
10	350.00	77.00	Cal	5.00	17.50	255.50	3/4/2019	1/5/2019
11	350.00	77.00	Cal	5.00	17.50	255.50	3/4/2019	1/5/2019
12	350.00	77.00	Cal	5.00	17.50	255.50	3/4/2019	1/5/2019
13	350.00	77.00	Cal	9.00	31.50	241.50	3/4/2019	1/5/2019
14	350.00	77.00	Cal	9.00	31.50	241.50	3/4/2019	1/5/2019
15	350.00	77.00	Cal	9.00	31.50	241.50	3/4/2019	1/5/2019
16	350.00	77.00	Cal	9.00	31.50	241.50	3/4/2019	1/5/2019
17	350.00	77.00	Alumbre	9.00	31.50	241.50	Desechadas	Desechadas
18	350.00	77.00	Alumbre	9.00	31.50	241.50	Desechadas	Desechadas
19	350.00	77.00	Alumbre	9.00	31.50	241.50	Desechadas	Desechadas
20	350.00	77.00	Alumbre	9.00	31.50	241.50	Desechadas	Desechadas
21	361.50	45.00	Alumbre	9.00	31.50	285.00	3/4/2019	1/5/2019
22	361.50	45.00	Alumbre	9.00	31.50	285.00	3/4/2019	1/5/2019
23	361.50	45.00	Alumbre	9.00	31.50	285.00	3/4/2019	1/5/2019
1'	365.00	38.00	Alumbre	9.00	32.85	294.15	23/04/19	21/05/19
2'	365.00	38.00	Alumbre	9.00	32.85	294.15	23/04/19	21/05/19
3'	365.00	38.00	Alumbre	9.00	32.85	294.15	23/04/19	21/05/19

Limite Plástico	19.01
Valor A Utilizar	22.00

ANEXO

SUELO ARCILLOSO

# Brique	Peso Inicial (gr)	Peso Agua (gr)	Material	% Material	Peso Material (gr)	Peso Muestra (gr)	60%			10%			30%			Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo
							Peso Arcilla (gr)	Peso Arena Fina (gr)	Peso Limo (gr)	Peso Arcilla (gr)	Peso Arena Fina (gr)	Peso Limo (gr)	Peso Arcilla (gr)	Peso Arena Fina (gr)	Peso Limo (gr)		
1	350.00	113.75	Cemento	5.00	17.50	218.75	131.25	21.88	65.63	13.0419	11.852019	13.0419	65.63	11.852019	13.0419	11.852019	
1	350.00	113.75	Cemento	5.00	17.50	218.75	131.25	21.88	65.63	13.0419	11.852019	13.0419	65.63	11.852019	13.0419	11.852019	
1	350.00	113.75	Cemento	5.00	17.50	218.75	131.25	21.88	65.63	13.0419	11.852019	13.0419	65.63	11.852019	13.0419	11.852019	
1	350.00	113.75	Cemento	7.00	24.50	211.50	127.05	21.18	63.53	13.0419	11.852019	13.0419	63.53	11.852019	13.0419	11.852019	
1	350.00	113.75	Cemento	7.00	24.50	211.50	127.05	21.18	63.53	13.0419	11.852019	13.0419	63.53	11.852019	13.0419	11.852019	
1	350.00	113.75	Cemento	7.00	24.50	211.50	127.05	21.18	63.53	13.0419	11.852019	13.0419	63.53	11.852019	13.0419	11.852019	
1	350.00	113.75	Cal	5.50	19.25	217.00	130.20	21.70	65.10	13.0419	11.852019	13.0419	65.10	11.852019	13.0419	11.852019	
1	350.00	113.75	Cal	5.50	19.25	217.00	130.20	21.70	65.10	13.0419	11.852019	13.0419	65.10	11.852019	13.0419	11.852019	
1	350.00	113.75	Cal	5.50	19.25	217.00	130.20	21.70	65.10	13.0419	11.852019	13.0419	65.10	11.852019	13.0419	11.852019	
2	350.00	113.75	Cal	7.50	26.25	210.00	126.00	21.00	63.00	16.0419	14.6519	16.0419	63.00	14.6519	16.0419	14.6519	
2	350.00	113.75	Cal	7.50	26.25	210.00	126.00	21.00	63.00	16.0419	14.6519	16.0419	63.00	14.6519	16.0419	14.6519	
2	350.00	113.75	Cal	7.50	26.25	210.00	126.00	21.00	63.00	16.0419	14.6519	16.0419	63.00	14.6519	16.0419	14.6519	
2	350.00	75.00	Alumbre	8.00	28.00	247.00	148.20	24.70	74.10	16.0419	14.6519	16.0419	74.10	14.6519	16.0419	14.6519	
2	350.00	75.00	Alumbre	8.00	28.00	247.00	148.20	24.70	74.10	16.0419	14.6519	16.0419	74.10	14.6519	16.0419	14.6519	
2	350.00	75.00	Alumbre	8.00	28.00	247.00	148.20	24.70	74.10	16.0419	14.6519	16.0419	74.10	14.6519	16.0419	14.6519	

Limite Plástico	33.50
-----------------	-------

SUELO ARENOSO

#Bajqueta	Peso Inicial (gr)	Peso Agua (gr)	Material	% Material	Peso Material (gr)	Peso Muestra (gr)	40%			30%			Fecha de Ensayo
							Peso Limb + Arevilla (gr)	Peso Arena Fina (gr)	Peso Arena Medio (gr)	Peso Limb + Arevilla (gr)	Peso Arena Fina (gr)	Peso Arena Medio (gr)	
3	350.00	76.48	Cemento	3.00	10.50	263.05	105.21	78.91	78.91	78.91	78.91	19/04/19	17/06/19
3	350.00	76.48	Cemento	3.00	10.50	263.05	105.21	78.91	78.91	78.91	78.91	19/04/19	17/06/19
3	350.00	76.48	Cemento	3.00	10.50	263.05	105.21	78.91	78.91	78.91	78.91	19/04/19	17/06/19
3	350.00	76.48	Cemento	7.00	24.50	290.05	99.61	74.71	74.71	74.71	74.71	19/04/19	17/06/19
3	350.00	76.48	Cemento	7.00	24.50	290.05	99.61	74.71	74.71	74.71	74.71	19/04/19	17/06/19
3	350.00	76.48	Cemento	7.00	24.50	290.05	99.61	74.71	74.71	74.71	74.71	19/04/19	17/06/19
4	350.00	85.00	Cal	5.00	17.50	247.50	99.00	74.25	74.25	74.25	74.25	21/04/19	19/06/19
4	350.00	85.00	Cal	5.00	17.50	247.50	99.00	74.25	74.25	74.25	74.25	21/04/19	19/06/19
4	350.00	85.00	Cal	5.00	17.50	247.50	99.00	74.25	74.25	74.25	74.25	21/04/19	19/06/19
4	350.00	90.00	Cal	9.00	31.50	228.50	91.40	68.55	68.55	68.55	68.55	21/04/19	19/06/19
4	350.00	90.00	Cal	9.00	31.50	228.50	91.40	68.55	68.55	68.55	68.55	21/04/19	19/06/19
4	350.00	90.00	Cal	9.00	31.50	228.50	91.40	68.55	68.55	68.55	68.55	21/04/19	19/06/19
5	390.00	50.00	Alumbre	9.00	35.10	304.90	121.96	91.47	91.47	91.47	91.47	23/04/19	21/06/19
5	390.00	50.00	Alumbre	9.00	35.10	304.90	121.96	91.47	91.47	91.47	91.47	23/04/19	21/06/19
5	390.00	50.00	Alumbre	9.00	35.10	304.90	121.96	91.47	91.47	91.47	91.47	23/04/19	21/06/19

Límite Plástico	21.85
-----------------	-------

ANEXO

SUELO LIMOSO

	70%			10%			20%				
# Biqueta	Peso Inicial (gr)	Peso Agua (gr)	Material	% Material	Peso Material (gr)	Peso Muestra (gr)	Peso Limo + Arcilla (gr)	Peso Arena Medía (gr)	Peso Arena Fina (gr)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo
5	350.00	87.50	Cemento	3.00	10.50	252.00	176.40	25.20	50.40	23/04/19	21/05/19
5	350.00	87.50	Cemento	3.00	10.50	252.00	176.40	25.20	50.40	23/04/19	21/05/19
5	350.00	87.50	Cemento	3.00	10.50	252.00	176.40	25.20	50.40	23/04/19	21/05/19
5	350.00	87.50	Cemento	7.00	24.50	238.00	166.60	23.80	47.60	23/04/19	21/05/19
5	350.00	87.50	Cemento	7.00	24.50	238.00	166.60	23.80	47.60	23/04/19	21/05/19
5	350.00	87.50	Cemento	7.00	24.50	238.00	166.60	23.80	47.60	23/04/19	21/05/19
5	350.00	90.00	Cal	5.00	17.50	242.50	169.75	24.25	48.50	23/04/19	21/05/19
5	350.00	90.00	Cal	5.00	17.50	242.50	169.75	24.25	48.50	23/04/19	21/05/19
5	350.00	90.00	Cal	5.00	17.50	242.50	169.75	24.25	48.50	23/04/19	21/05/19
5	350.00	90.00	Cal	9.00	31.50	228.50	159.95	22.85	45.70	23/04/19	21/05/19
5	350.00	90.00	Cal	9.00	31.50	228.50	159.95	22.85	45.70	23/04/19	21/05/19
5	350.00	90.00	Cal	9.00	31.50	228.50	159.95	22.85	45.70	23/04/19	21/05/19
5	370.00	57.00	Alumbre	9.00	33.30	279.70	195.79	27.97	55.94	23/04/19	21/05/19
5	370.00	57.00	Alumbre	9.00	33.30	279.70	195.79	27.97	55.94	23/04/19	21/05/19
5	370.00	57.00	Alumbre	9.00	33.30	279.70	195.79	27.97	55.94	23/04/19	21/05/19

Laminé Plástico 25

ANEXO

Limite Liquido suelo limo arcilloso

# Tara	Peso Tara (gr)	Peso Tara + Muestra Húmeda (gr)	Número de Golpes	Peso Tara + Muestra Seca (gr)	W (% Humedad)	Limite Liquido
20	26.10	37.00	37.00	34.60	29.45	30.88
1	31.50	53.90	21.00	49.10	28.70	28.10
3	29.70	47.20	18.00	43.40	28.65	27.53
2	31.30	53.90	30.00	49.20	29.15	29.80
26	27.90	49.20	17.00	44.40	28.84	27.53
<b>Limite Liquido</b>						<b>28.77</b>

Limite Liquido suelo arcilloso

# Tara	Peso Tara (gr)	Peso Tara + Muestra Húmeda (gr)	Número de Golpes	Peso Tara + Muestra Seca (gr)	W (% Humedad)	Limite Liquido
11	40.10	63.00	45.00	56.90	36.31	38.99
1317	63.00	85.60	90.00	80.20	31.40	36.66
P68	40.90	61.10	20.00	55.30	40.28	39.20
<b>Limite Liquido</b>						<b>38.28</b>

Limite Liquido suelo arenoso

# Tara	Peso Tara (gr)	Peso Tara + Muestra Húmeda (gr)	Número de Golpes	Peso Tara + Muestra Seca (gr)	W (% Humedad)	Limite Liquido
63	33.80	56.10	10.00	50.90	30.41	27.22
92	40.30	61.80	23.00	57.10	27.98	27.70
20	26.10	47.60	30.00	43.10	26.47	27.06
26	27.90	47.30	35.00	43.20	26.80	27.91
90	38.50	59.90	15.00	55.20	28.14	26.46
15	25.50	46.20	8.00	41.20	31.85	27.75
<b>Limite Liquido</b>						<b>27.35</b>

ANEXO

Limite Liquido suelo limoso

# Tara	Peso Tara (gr)	Peso Tara + Muestra Húmeda (gr)	Número de Golpes	Peso Tara + Muestra Seca (gr)	W (% Humedad)	Limite Liquido
90	38.47	53.90	26.00	50.40	29.34	29.48
92	40.26	53.10	22.00	49.90	33.20	32.69
15	25.51	40.60	29.00	37.10	30.20	30.75
63	33.84	51.60	26.00	47.40	30.97	31.12
20	26.13	42.30	30.00	38.60	29.67	30.33
26	26.13	46.80	17.00	42.00	30.25	28.87
<b>Limite Liquido</b>						<b>30.54</b>

Limite Plástico Suelo Limo Arcilloso

# Tara	Peso Tara (gr)	Peso Tara + Muestra Húmeda (gr)	Peso Tara + Muestra Seca (gr)	% Humedad
92	40.30	52.90	50.80	20.00
63	33.80	44.90	43.20	18.09
90	38.50	49.80	48.00	18.95
<b>Limite Plástico</b>				<b>19.01</b>

Limite Plástico Suelo Arcilloso

# Tara	Peso Tara (gr)	Peso Tara + Muestra Húmeda (gr)	Peso Tara + Muestra Seca (gr)	% Humedad
P10	41.50	52.30	49.90	28.57
P65	38.80	48.40	46.60	23.08
P68	40.70	49.50	47.70	25.71
11	39.90	47.00	45.60	24.56
T2	40.20	51.30	48.90	27.59
P72	39.10	49.00	46.80	28.57
<b>Limite Plástico</b>				<b>26.35</b>

ANEXO

Limite Plástico Suelo Arenoso

# Tara	Peso Tara (gr)	Peso Tara + Muestra Húmeda (gr)	Peso Tara + Muestra Seca (gr)	% Humedad
1	31.60	37.50	36.50	20.41
2	31.30	37.10	36.10	20.83
3	29.80	36.50	35.30	21.82
4	32.30	36.90	36.00	24.32
<b>Límite Plástico</b>				<b>21.85</b>

Limite Plástico Suelo Limoso

# Tara	Peso Tara (gr)	Peso Tara + Muestra Húmeda (gr)	Peso Tara + Muestra Seca (gr)	% Humedad
10	31.50	40.80	39.10	22.37
6	31.30	40.60	38.90	22.37
65	29.80	38.40	36.80	22.86
<b>Límite Plástico</b>				<b>22.53</b>

Gravedad Especifica Suelo Limo Arcilloso

Picnómetro	Wb	W1	W2	Peso Agua (gr)	Peso Suelo Seco (gr)	Peso Agua 2 (gr)	Diferencia Peso Agua (gr)	Gs
	Peso Picnómetro (gr)	Peso Picnómetro + Agua (gr)	Peso Picnómetro + Agua + Suelo (gr)					
7	68,17	164,28	179,97	96,11	24,49	87,31	8,80	2,78
3	67,90	166,80	223,25	98,90	88,70	66,65	32,25	2,75
8	67,20	165,40	222,15	98,20	88,80	66,15	32,05	2,77
10	66,75	164,65	220,67	97,90	88,40	65,52	32,38	2,73

Gravedad Especifica	2,76
---------------------	------

ANEXO

Gravedad Especifica Suelo Arcilloso

	Wb	W1	W2					
Picnómetro	Peso Picnómetro (gr)	Peso Picnómetro + Agua (gr)	Peso Picnómetro + Agua + Suelo (gr)	Peso Agua (gr)	Peso Suelo Seco (gr)	Peso Agua 2 (gr)	Diferencia Peso Agua (gr)	Gs
1	68,20	167,70	182,10	99,50	22,40	91,50	8,00	2,80
2	66,20	165,30	179,80	99,10	22,40	91,20	7,90	2,84

Gravedad Especifica	2,82
---------------------	------

Gravedad Especifica Suelo Arenoso

	Wb	W1	W2					
Picnómetro	Peso Picnómetro (gr)	Peso Picnómetro + Agua (gr)	Peso Picnómetro + Agua + Suelo (gr)	Peso Agua (gr)	Peso Suelo Seco (gr)	Peso Agua 2 (gr)	Diferencia Peso Agua (gr)	Gs
7	64,80	164,70	178,80	99,90	22,60	91,40	8,50	2,66
A4	53,50	153,10	167,30	99,60	22,60	91,20	8,40	2,69

Gravedad Especifica	2,67
---------------------	------

Gravedad Especifica Suelo Limoso

	Wb	W1	W2					
Picnómetro	Peso Picnómetro (gr)	Peso Picnómetro + Agua (gr)	Peso Picnómetro + Agua + Suelo (gr)	Peso Agua (gr)	Peso Suelo Seco (gr)	Peso Agua 2 (gr)	Diferencia Peso Agua (gr)	Gs
1	68,40	167,70	183,60	99,30	25,00	90,20	9,10	2,75
7	64,90	164,70	180,00	99,80	25,00	90,10	9,70	2,58

Gravedad Especifica	2,66
---------------------	------