



UNIVERSIDAD DE CUENCA

**Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Civil**

Métodos para controlar el potencial expansivo en suelos arcillosos de la ciudad de Cuenca

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

AUTORES:

Pablo Esteban Bravo Heredia

CI: 0105672067

Pablo Andrés Daza Orellana

CI: 0105524722

DIRECTORA:

Ing. Karla Johanna Santacruz Reyes, PhD.

CI: 0301731394

Cuenca – Ecuador

17 de abril de 2019



RESUMEN

Existen diferentes tipos de suelos con características que generan complicaciones a las estructuras asentadas sobre los mismos, un claro ejemplo son los suelos expansivos. Estos materiales sufren cambios en su volumen debido a la variación de contenido de agua en sus poros. Al incrementar su contenido de agua se hinchan y generan presiones de expansión, en ciertos casos tan altas que llegan a levantar estructuras; al contrario, cuando estos suelos pierden humedad, sufren contracciones, igualmente dañinas para las estructuras. Existen varios métodos para controlar este comportamiento no deseado en suelos expansivos.

En el presente trabajo, se analizarán 3 tipos de suelos expansivos de la ciudad de Cuenca, y se seleccionará el que posea las propiedades más desfavorables, posteriormente se aplicarán diferentes tratamientos para controlar su potencial expansivo, se constatará el efecto de cada tratamiento.

El suelo a ser usado será seleccionado de entre suelos provenientes de los sectores de Baños, Challuabamba y Miraflores; de todos los suelos se realizará su caracterización, a través de ensayos de laboratorio como: granulometría por cribado e hidrómetro, límites de Atterberg, expansión libre, presión de expansión, método de las probetas, ensayo de Lambe en suelos inalterados y remoldeados.

Posteriormente, se aplicarán diferentes tipos de tratamientos químicos para estabilizar el suelo más expansivo; se usarán aditivos tales como: cal, cemento, ceniza volante, humo de sílice (SikaFume) y yeso.

El procedimiento consistirá en adicionar al suelo remoldeado diferentes estabilizantes con una dosificación específica para cada uno; posteriormente revisar el hinchamiento que presenten las muestras mejoradas de suelo, y conjuntamente con un breve análisis de costos e impacto ambiental, elegir el método más adecuado para reducir el carácter expansivo del suelo.

Palabras clave:

Arcillas. Suelos expansivos. Suelo inalterado. Suelo remoldeado. Tratamiento químico del suelo. Estabilizante.



ABSTRACT

There are different types of soil's properties that can complicate structures above them, a clear example are the expansive soils. These materials suffer changes in their volume due to the variation of water content in their pores. By increasing their water content, they swell and generate expansion pressures, in certain cases is so high that they even lift up structures; to the contrary, when these soils lose moisture, they suffer contractions, which are equally harmful to structures. There are several methods to control this unwanted behavior in expansive soils.

In the following work, three types of expansive soils of the city of Cuenca will be analyzed, and the one with the most unfavorable properties will be selected, later different treatments will be applied to control their expansive potential, the effect of each treatment will be verified.

The soil to be used will be selected from soils coming from the sections of Baños, Challuabamba and Miraflores; of all the soils will be characterized, through laboratory tests such as: method of sieve analysis and hydrometer, Atterberg limits, free expansion, pressure expansion, test tube method, Lambe method, and tests in unaltered and remodeled soils.

Subsequently, different types of chemical treatments will be applied to stabilize the most expansive soil; additives such as lime, cement, fly ash, silica fume (SikaFume) and gypsum will be used.

The procedure will consist in adding different stabilizers to the remodeled soil with a specific dosage for each one; later review the swelling presented by the improved soil samples, and together with a brief analysis of costs and environmental impact, choose the most appropriate method to reduce the expansive nature of the soil.

Keywords:

Clays. Expansive soil. Unaltered soil. Remodeled soil. Chemical soil treatment. Stabilizer.



Contenido

1. INTRODUCCIÓN 15

1.1. Justificación 16

1.2. Objetivos 16

1.2.1. Objetivo general 16

1.2.2. Objetivos específicos 16

2. MARCO TEÓRICO 17

2.1. Origen de los suelos a analizar 17

2.1.1. Ubicación de las muestras 17

2.1.2. Geología de las zonas de estudio 18

2.1.2.1. Miraflores 18

2.1.2.2. Challuabamba 19

2.1.2.3. Baños 20

2.2. Arcillas 21

2.2.1. Identificación en campo de suelos arcillosos 22

2.2.2. Minerales arcillosos 24

2.3. Suelos expansivos 26

2.4. Ensayos para caracterizar suelos 27

2.4.1. Distribución granulométrica 27

2.4.2. Límites de Atterberg 29

2.4.3. Clasificación del suelo 30

2.4.4. Relaciones volumétricas y gravimétricas 31

2.5. Ensayos para determinar el carácter expansivo de los suelos 35

2.5.1. Expansión libre y presión de expansión 35

2.5.2. Ensayo de Lambe 36

2.5.3. Método de las probetas 37

2.5.4. Intercambio Catiónico y pH del suelo 38

2.6. Estabilización de arcillas expansivas 39

2.6.1. Estabilizantes 40

2.6.1.1. Cal 41

2.6.1.2. Cemento 42

2.6.1.3. Ceniza volante 43

2.6.1.4. Humo de Sílice 44

2.6.1.5. Yeso 44

2.7. Afección en estructuras por arcillas expansivas 45

3. MATERIALES Y MÉTODOS 47



3.1.	Obtención de las muestras en campo	47
3.2.	Distribución granulométrica por cribado	49
3.3.	Distribución granulométrica por hidrómetro	50
3.4.	Límites de Atterberg	52
3.4.1.	Límite Líquido.....	53
3.4.2.	Límite Plástico.....	53
3.5.	Clasificación del suelo	54
3.5.1.	Clasificación S.U.C.S.....	54
3.5.2.	Clasificación AASHTO	54
3.6.	Densidad aparente	55
3.7.	Gravedad específica.....	56
3.8.	Expansión libre y presión de expansión	57
3.8.1.	Expansión libre	57
3.8.2.	Presión de expansión	58
3.9.	Ensayo de Lambe.....	60
3.10.	Método de las probetas	60
3.11.	Intercambio Catiónico	62
3.12.	Determinación del pH	63
3.13.	Procesos para la estabilización del suelo	63
3.13.1.	Estabilizantes	64
3.13.2.	Preparación y compactación de las muestras.....	65
4.	RESULTADOS	66
4.1.	Caracterización de los suelos seleccionados	66
4.1.1.	Distribución granulométrica	66
4.1.2.	Límites de Atterberg.....	67
4.1.3.	Gravedad específica	69
4.1.4.	Clasificación de suelos	69
4.2.	Determinación del carácter expansivo de los suelos seleccionados	72
4.2.1.	Expansión libre	72
4.2.2.	Presión de expansión	76
4.2.3.	Ensayo de Lambe	78
4.2.4.	Método de las probetas	79
4.2.5.	Intercambio catiónico y pH	80
4.2.6.	Síntesis de resultados	81
4.3.	Estabilización.....	81
4.3.1.	Muestras remoldeadas sin estabilizantes	82



4.3.2.	Procesos de mejoramiento	83
4.3.2.1.	Densidad de campo	83
4.3.2.2.	Densidad reducida	90
4.4.	Contaminación y limitaciones de uso de estabilizantes	96
5.	COSTOS	98
6.	CONCLUSIONES.....	105
7.	RECOMENDACIONES	107
8.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	108
9.	ANEXOS.....	111
	Anexo 1. Sistema SUCS de Clasificación de Suelos.....	111
	Anexo 2. Clasificación de materiales para subrasantes de carreteras (AASHTO) .	112
	Anexo 3. Calibración de anillo de Lambe.....	113
	Anexo 4. Intercambio Catiónico.....	114
	Anexo 5. Tabla de clasificación de arcillas	115
	Anexo 6. pH del suelo.....	0
	Anexo 7. Ensayos de laboratorio.....	1

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 1 - Coordenadas UTM WGS 84 de puntos de extracción.....	17
Tabla 2. Límites de tamaño de suelos separados de (Das, 2011).....	22
Tabla 3. Densidad de sólidos de minerales de (Das, 2011).....	34
Tabla 4. Porosidad, relación de vacíos, y peso volumétrico de suelos típicos en estado natural de (Hanson, 1983).....	35
Tabla 5. Clasificación del potencial expansivo del suelo utilizando EI de (ASTM D-4829).....	36
Tabla 6. Cambio de volumen potencial del suelo de (INV E-132)	37
Tabla 7. Grados de expansión del suelo de (Sridharan & Prakash, 2000).....	38
Tabla 8. Capacidad de intercambio catiónico de los minerales de la arcilla de (Hanson, 1983).....	39
Tabla 9. Serie de tamices para distribución granulométrica.	49
Tabla 10. Porcentaje de estabilización con cal.....	64
Tabla 11. Porcentaje de estabilizante	65
Tabla 12. Porcentaje de suelo que pasa la malla N°200.	66
Tabla 13. Relación entre los límites de Atterberg y el potencial expansivo del suelo de (INV E-132).....	68
Tabla 14 - Límites de Atterberg.....	68
Tabla 15 - Clasificación cualitativa de expansividad mediante relación con límite líquido.	68
Tabla 16 - Clasificación cualitativa de expansividad mediante relación con índice de plasticidad.....	68
Tabla 17 - Densidad relativa (Gs)	69
Tabla 18 - Distribución granulométrica.	69
Tabla 19 - Relaciones fundamentales iniciales.	72
Tabla 20 - Resultados Expansión libre sector de Challuabamba.	73
Tabla 21 - Resultados expansión libre Baños.	74
Tabla 22 - Resultados expansión libre Miraflores.....	75
Tabla 23 - resultados expansión controlada sector de Challuabamba.	77
Tabla 24 - Resultados expansión controlada sector de Baños.....	77
Tabla 25 - Resultados expansión controlada sector de Miraflores	78
Tabla 26 - Resultados medidor de cambio volumétrico.	79
Tabla 27 - Cálculo de índice de expansión.....	80
Tabla 28 - Síntesis de resultados de ensayos de expansión.	81
Tabla 29 - Expansión máxima de muestras remoldeadas.	82
Tabla 30 - Resultados a los 3 días con densidad de campo.....	83
Tabla 31 – Resultados a los 7 días con densidad de campo.....	84
Tabla 32. Porcentaje de reducción del potencial expansivo con densidad de campo. 84	
Tabla 33 - Resultados a los 3 días con densidad reducida.....	90
Tabla 34 - Resultados a los 7 días con densidad reducida.....	91
Tabla 35. Porcentaje de reducción del potencial expansivo con densidad reducida. ..	91
Tabla 36. Variación de la saturación entre densidad de campo y densidad reducida. 92	
Tabla 37. Resumen de costos unitarios.....	104

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación de la extracción de muestras.	18
Ilustración 2. Ubicación geológica de la muestra de Miraflores (Azogues CT-ÑV-E Hoja 73).	19
Ilustración 3. Ubicación geológica de la muestra de Challuabamba (Azogues CT-ÑV-E Hoja 73).	20
Ilustración 4. Ubicación geológica de la muestra de Baños (Cuenca CT-NV-F Hoja 53).	21
Ilustración 5. Suelo del sector de Challuabamba.	23
Ilustración 6. Tetraedro de sílice y Lámina de sílice (Das, 2011).	24
Ilustración 7. Octaedro de alúmina y lámina octaédrica (Das, 2011).	25
Ilustración 8. Límites de Atterberg de (Das, 2011).	29
Ilustración 9. Relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo de (Das, 2011).	31
Ilustración 10. Diagrama de flujo de estabilización de suelos de (Sandoval, 2012).	40
Ilustración 11. Cal molida.	42
Ilustración 12. Cemento portland.	42
Ilustración 13. Ceniza Volante	43
Ilustración 14. Humo de sílice (SikaFume)	44
Ilustración 15. Mineral de yeso del sector de Challuabamba	45
Ilustración 16. Fisuras típicas en paredes por efecto de expansión del suelo en el sector de Miraflores.	45
Ilustración 17. Rotura del pavimento y levantamiento de la vereda en el sector de Miraflores	46
Ilustración 18. Fallas típicas en edificaciones pesadas por procesos expansivos de (Hanson, 1983).	46
Ilustración 19. Pozos para extracción de muestras.	48
Ilustración 20. Inserción de anillos metálicos para obtención de muestras inalteradas en el sector de Baños.	48
Ilustración 21. Probetas con muestras de suelo y probeta con defloculante.	51
Ilustración 22. Ensayo de expansión libre.	58
Ilustración 23. Ensayo de presión de expansión.	59
Ilustración 24. Ensayo de Lambe.	60
Ilustración 25. Probetas con muestra de suelo en tetracloruro de carbono.	61
Ilustración 26. Probetas con muestra de suelo en agua destilada.	61
Ilustración 27. Granulometría por cribado.	66
Ilustración 28 - Granulometría por hidrómetro.	67
Ilustración 29 - Carta de plasticidad.	71
Ilustración 30. Expansión a lo largo del tiempo (periodo inicial) sector de Challuabamba.	73
Ilustración 31 - Expansión a lo largo del tiempo (periodo inicial) sector de Baños.	74
Ilustración 32 - Expansión a lo largo del tiempo (ensayo completo) sector de Baños.	75
Ilustración 33 - Expansión a lo largo del tiempo sector de Miraflores.	76
Ilustración 34 - Curva de calibración de anillo de Lambe.	78
Ilustración 35 - Curvas de expansión de muestras remoldeadas.	82
Ilustración 36 - Curvas de expansión, 3 días de curado con densidad de campo.	86
Ilustración 37 - Curvas de expansión, 7 días de curado con densidad de campo.	86
Ilustración 38 - Curvas de expansión, 3 días de curado con densidad de campo, tiempo total.	88
Ilustración 39 - Curvas de expansión, 7 días de curado con densidad de campo, tiempo total.	89



Ilustración 40 - Curvas de expansión, 3 días de curado con densidad reducida.	92
Ilustración 41 - Curvas de expansión, 7 días de curado con densidad reducida.	93
Ilustración 42 - Curvas de expansión, 3 días de curado con densidad reducida, tiempo total.	94
Ilustración 43 - Curvas de expansión, 7 días de curado con densidad reducida, tiempo total.	95



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Pablo Esteban Bravo Heredia en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Métodos para controlar el potencial expansivo en suelos arcillosos de la ciudad de Cuenca", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, abril 2019

Pablo Esteban Bravo Heredia

C.I: 0105672067



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Pablo Andrés Daza Orellana en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Métodos para controlar el potencial expansivo en suelos arcillosos de la ciudad de Cuenca”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, abril 2019

Pablo Daza Orellana.

Pablo Andrés Daza Orellana

C.I: 0105524722



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Pablo Esteban Bravo Heredia, autor/a del trabajo de titulación "Métodos para controlar el potencial expansivo en suelos arcillosos de la ciudad de Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, abril 2019

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "P. Bravo Heredia", written over a horizontal line.

Pablo Esteban Bravo Heredia

C.I: 0105672067



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Pablo Andrés Daza Orellana, autor/a del trabajo de titulación "Métodos para controlar el potencial expansivo en suelos arcillosos de la ciudad de Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, abril 2019

Pablo Daza Orellana.

Pablo Andrés Daza Orellana

C.I: 0105524722



Agradecimientos

En primer lugar, queremos agradecer a nuestros padres y amigos por toda la confianza y apoyo que nos brindaron en todo momento, a nuestra directora de tesis la Ing. Karla Santacruz por su ayuda constante en todo el transcurso del proyecto, a nuestros lectores el Ing. Jaime Bojorque y el Ing. Alfredo Vazquez por sus consejos para elaborar un buen trabajo.

Así mismo, a las doctoras del Laboratorio de Sanitaria y a los laboratoristas del Laboratorio de Suelos de la facultad de Ingeniería por su colaboración.

Pablo Bravo y Pablo Daza



Dedicatoria

Dedico este proyecto de titulación a mi madre Patricia por su apoyo incondicional a lo largo de toda mi formación académica, a mi padre Eduardo por su guía y ayuda a incrementar mis conocimientos y valores a lo largo de mi vida, a mi hermana por su cariño y paciencia, finalmente a mis abuelos que aportaron en mi formación.

Pablo Bravo

A mis padres Evita y Henry, a mi hermana Majo les agradezco por su apoyo, confianza y amor incondicional que han depositado en mí en todo momento de mi vida, gracias a ellos he logrado cumplir esta meta. A mi abuelita que siempre me aconsejo que nunca debo rendirme y siempre tengo que mirar hacia adelante. A mis amigos y futuros colegas por todos los buenos momentos que pasamos en la universidad.

Pablo Daza

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años, el estudio de las propiedades de los suelos expansivos y sus características físicas, han sido factores estudiados debido a la necesidad de brindar información pertinente para el diseño de un soporte firme en las construcciones. La razón por la cual se empezó a investigar acerca de este problema se debió a que se realizaban construcciones sin ninguna precaución sobre suelos expansivos, provocando que muchas edificaciones cayeran, generando gastos millonarios alrededor del mundo (Patrone & Prefumo, 2005). La aparición de grietas en las paredes, grandes daños en edificaciones cercanas a este tipo de suelo, o en el peor de los casos que la cimentación falle y que toda la edificación colapse de manera espontánea, dio paso al estudio de nuevas metodologías de control en suelos altamente expansivos producidos por el cambio volumétrico en su estructura (Jones, 2012).

Una de las problemáticas presentadas en ciertos sectores es la aparición de fisuras en paredes, asentamientos, daños en losas de construcciones livianas, desplomes, derrumbes parciales o totales, debido a esfuerzos ejercidos por los suelos arcillosos en donde fueron cimentadas dichas estructuras; los suelos arcillosos expansivos tienen la capacidad de aumentar su volumen considerablemente, al estar en contacto con agua estas generan presiones de expansión que las estructuras no son capaces de contrarrestar (Patrone & Prefumo, 2005). Por consiguiente, este inconveniente ha generado la necesidad de buscar tratamientos químicos y físicos para controlar el potencial expansivo de la arcilla existente en el suelo.

Tomando en cuenta estudios previos realizados sobre las características mecánicas del suelo en la ciudad de Cuenca tales como como expansión libre y presión de expansión (Vélez, 2012; Brito & Delgado, 2007; Arizaga & Sanchez, 2005), se ve la necesidad de implementar métodos correctivos mediante el uso de tratamientos químicos que representen una alternativa viable para la construcción sobre los mismos. Los suelos a estudiar serán elegidos tomando como base mapas geológicos para tener una localización previa de materiales con posible comportamiento expansivo.

Las investigaciones a ser efectuadas en cada sector seleccionado, permitirán determinar el comportamiento de este tipo de material cuando se encuentre ante condiciones climatológicas adversas o en contacto con fugas de agua, fallos en alcantarillas, infiltraciones, etc., que puedan perjudicar directamente al generar expansión en las arcillas y contracción cuando pierdan humedad.

El presente trabajo analizará diferentes métodos de mejoramiento de suelo expansivo con materiales como cal, cemento, yeso, humo de sílice y ceniza volante. De esta manera será posible determinar el estabilizante más eficiente para un suelo expansivo específico de la ciudad de Cuenca, al realizar ensayos de laboratorio en muestras de suelo inalteradas y remoldeadas, obteniendo una caracterización inicial del suelo con el que se trabajará, posteriormente se realizará un análisis e interpretación de los resultados, que permitirán determinar el aditivo óptimo para este suelo en específico.

El objetivo principal del proyecto es proporcionar alternativas de materiales y métodos para corregir o controlar el potencial expansivo que tienen los suelos arcillosos en el área urbana de la ciudad de Cuenca, utilizando la menor cantidad de recursos económicos, y evaluando la afección hacia el medio ambiente en relación al daño que ocasionan el aditivo a la flora y fauna, asimismo al personal que emplea los estabilizantes en campo.

1.1. Justificación

El presente trabajo aporta de manera significativa al estudio de suelos expansivos de la ciudad de Cuenca, a través de la caracterización y posterior análisis que se puede realizar para determinar el potencial expansivo de un suelo; y, por otro lado, el análisis de diferentes tratamientos químicos que se podrían aplicar para controlar su comportamiento expansivo.

El desconocimiento de la población acerca del suelo sobre el cual se encuentran construidas sus edificaciones, la falta de una caracterización previa del suelo de fundación son factores que aumentan el riesgo de que en un futuro se presenten daños costosos o irreparables en las obras. Para caracterizar el potencial expansivo de un suelo existen varios métodos, muchos de ellos sencillos, el presente trabajo analiza varios de estos métodos de caracterización de suelo expansivo y contrasta su resultado.

Por otro lado, es necesario establecer la eficiencia de métodos físico - químicos para tratar suelo expansivo y sentar bases para continuar con el estudio de este tipo de tratamiento o aplicarlos en suelos de la ciudad. Al tratar con distintos tipos de estabilizantes permitirá determinar el mejor tratamiento que se aplicará al suelo; así se evaluará la afección ambiental y económica de tal manera que su aplicación sea la óptima para los fines requeridos.

Con los diferentes resultados obtenidos se buscará determinar estabilizantes que contribuyan con la reducción del potencial expansivo de los suelos, debido al escaso manejo de datos sobre arcillas expansivas y a la problemática presente en la ciudad de Cuenca, así también las escasas consideraciones que se toman al momento de construir edificaciones pequeñas.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Encontrar el mejor tratamiento químico para contrarrestar el potencial expansivo de un suelo arcilloso de la ciudad de Cuenca.

1.2.2. Objetivos específicos

- Seleccionar tres suelos con potencial expansivo dentro de la ciudad mediante mapas geológicos y afecciones en estructuras de la zona.
- Aplicar diferentes métodos para caracterizar el potencial expansivo de suelos naturales de la ciudad de Cuenca, analizar sus resultados y seleccionar un suelo que posea las propiedades más desfavorables.
- Realizar los ensayos necesarios para comprobar la efectividad de diferentes estabilizantes.
- Hacer un análisis de los datos obtenidos en los ensayos, con la finalidad de determinar el mejor estabilizante para el suelo.

- Efectuar un análisis de costos y contaminación ambiental con la finalidad de seleccionar el estabilizante que tenga más beneficios en campo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Origen de los suelos a analizar

Los suelos con los que se trabajó están ubicados dentro de la ciudad de Cuenca, en la provincia del Azuay, al sur del Ecuador.

Las muestras fueron recolectadas de 3 distintos sectores dentro de la ciudad a una profundidad de 1.2 metros, evitando que estos contengan materia orgánica y sean homogéneos en su estrato; los suelos se tomaron de los sectores de Miraflores, Challuabamba y Baños.

2.1.1. Ubicación de las muestras

Se tiene 3 ubicaciones en las que se recogieron las muestras de suelo, cada una de estas se las recogió en terrenos baldíos alejados de la vía principal. El suelo seleccionado en Miraflores se encontró en un terreno ubicado entre la Avenida del Concierto y la Avenida el Acordeón, el suelo de Challuabamba está a 500 metros de la Autopista Cuenca-Azogues y el suelo de Baños se recogió en una colina a 200 metros de la escuela Rafael Borja. A continuación, la Tabla 1 muestra las coordenadas UTM WGS 84 zona 17s para cada ubicación. La Ilustración 1 ubica las zonas de extracción con respecto a la ciudad.

Tabla 1 - Coordenadas UTM WGS 84 de puntos de extracción.

Locación	Este [m]	Sur [m]	Altitud [m]	Zona
-				-
Baños	716366	9677038	2625	17 S
Miraflores	722742	9681459	2577	17 S
Challuabamba	731618	9683711	2411	17 S



Ilustración 1. Ubicación de la extracción de muestras.

2.1.2. Geología de las zonas de estudio

La ubicación geológica de los suelos a analizar permitió conocer acerca del tipo de estratos y formaciones de cada sector, de los cuales se extrajeron las muestras de suelos para los ensayos posteriores, el análisis geológico sirvió como una determinación previa del tipo de suelo con el que se trabajó.

A continuación, se muestra la geología local para cada sitio de extracción de suelo, para esta información se emplearon los mapas geológicos de Azogues CT-ÑV-E Hoja 73 y el mapa de Cuenca CT-NV-F Hoja 53 elaborados por el Instituto Geográfico Militar (I.G.M.)

2.1.2.1. Miraflores

Según el mapa geológico de Azogues CT-ÑV-E Hoja 73, en el sector de Miraflores se localizan Arcillas Varvadas (Qv), su edad geológica se remonta al Pleistoceno y se encuentran al Norte de la ciudad de Cuenca. Es un depósito de arcillas, limos y limolitas finalmente estratificadas, que presentan alta expansividad. Poseen un color habano claro a habano oscuro. Suelen estar cubiertas por un residuo delgado de terraza. Las arcillas varvadas tienen una consistencia de mediana a baja cuando se encuentran en estado seco, son sensibles a la saturación y al remoldeo.

La Ilustración 2 muestra un extracto del mapa geológico de Azogues CT-ÑV-E Hoja 73, para la zona en análisis.

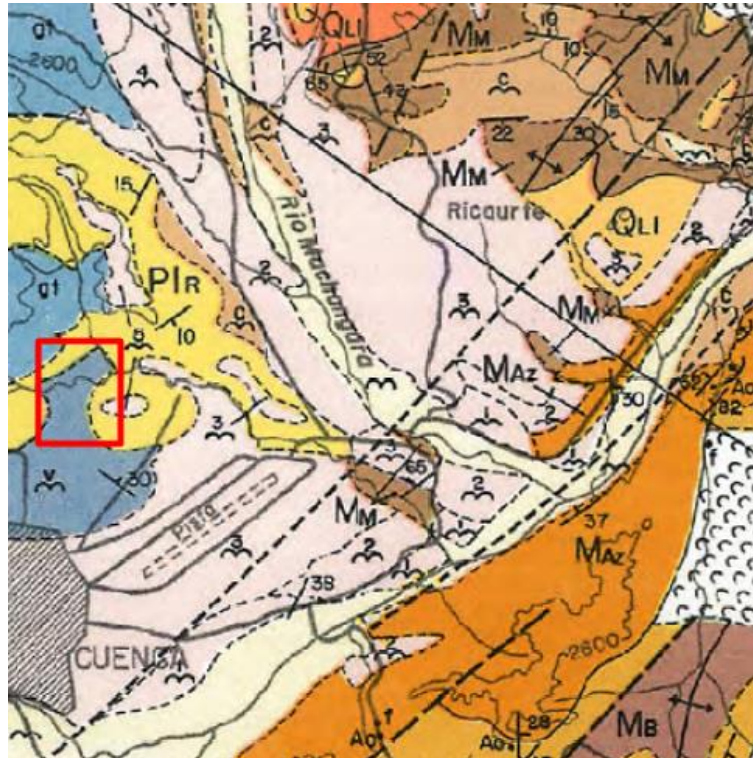


Ilustración 2. Ubicación geológica de la muestra de Miraflores (Azogues CT-ÑV-E Hoja 73).

2.1.2.2. Challuabamba

Las muestras recogidas en el sector de Challuabamba se encuentran ubicadas dentro de las formaciones Loyola (M_L) y Azogues (M_{Az}).

Según el mapa geológico de Azogues CT-ÑV-E Hoja 73, la edad geológica de la formación Loyola corresponde al Mioceno Inferior, es una formación sedimentaria clástica finogranular; compuesta de lutitas y limolitas meteorizadas, las lutitas poseen un color gris oscuro, amarillo claro y rojizo, el color de las arcillas producidas por las limolitas son principalmente blanco y habano. La formación se caracteriza por la abundante presencia de yeso generalmente en superficies alteradas, el yeso se encuentra en abundancia en casi todos los niveles. La estructura del suelo está dividida en varios sistemas de estratificación, fracturación y desecación.

Según el mapa geológico de Azogues CT-ÑV-E Hoja 73, la formación Azogues pertenece al Mioceno Medio, presenta un entrecruce con la Formación Loyola en su zona basal. La estratigrafía presenta areniscas tobaceas, teniendo adicionalmente depósitos que no superan el metro de espesor conformados por arcillas y limolitas. Se puede encontrar un conglomerado bien desarrollado en la base de la formación cuando este ha propasado las subyacentes.

Según la litología del material, el suelo obtenido pertenecería a la formación Loyola, debido a que existe la presencia de arcillas de color blanco y habano, además vetas de yeso dispersas por la zona.

La Ilustración 3 muestra un extracto del mapa geológico de Azogues CT-ÑV-E Hoja 73, para la zona en análisis.

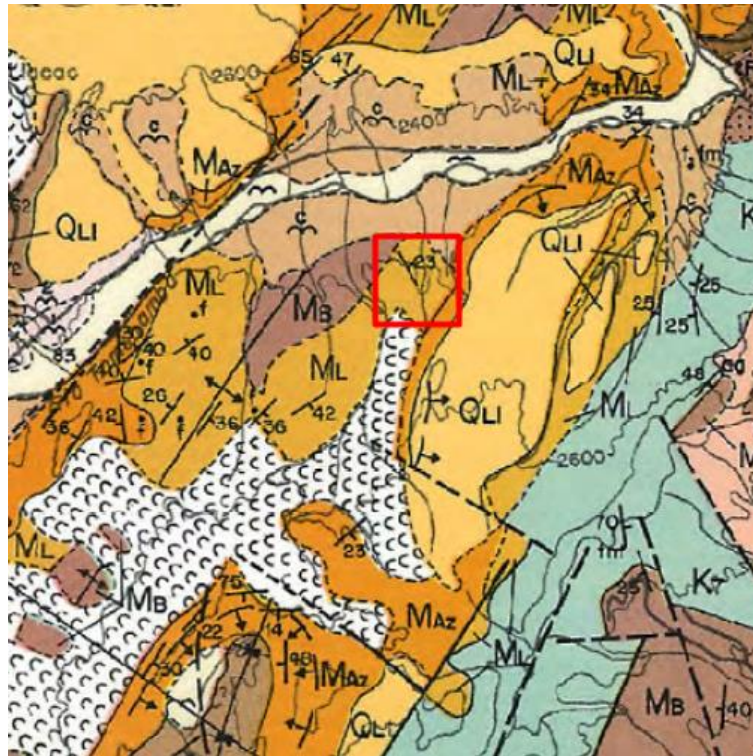


Ilustración 3. Ubicación geológica de la muestra de Challuabamba (Azogues CT-ÑV-E Hoja 73).

2.1.2.3. Baños

En suelo del sector de Baños existe la presencia de depósitos aluviales y de la Formación Turi (P_{TU}).

La edad geológica de los depósitos aluviales corresponde al Holoceno, generalmente estos depósitos se encuentran ubicados en la parte inferior de los valles y en depresiones aisladas. Su litología está compuesta por arenas, arcillas, guijarros, gránulos, cantos y bloques de forma redondeada o angulosa.

Según el mapa geológico de Cuenca CT-NV-F Hoja 53, la Formación Turi pertenece al período del Pleistoceno, posee una gran diversidad estratigráfica en su litología, está compuesta de conglomerados basales, tobas, arenas y arcillas. Los conglomerados están constituidos por una matriz afanítica grisácea, además de fenocristales de homblenda y feldespatos, siendo estos materiales de origen volcánico.

El material encontrado en la zona pertenece a la Formación Turi, la litología correspondiente a la zona de extracción presenta suelo con coloración amarillenta y grisácea, con textura fina y poca presencia de material grueso.

La Ilustración 4 muestra un extracto del mapa geológico de Cuenca CT-NV-F Hoja 53, para la zona en análisis.

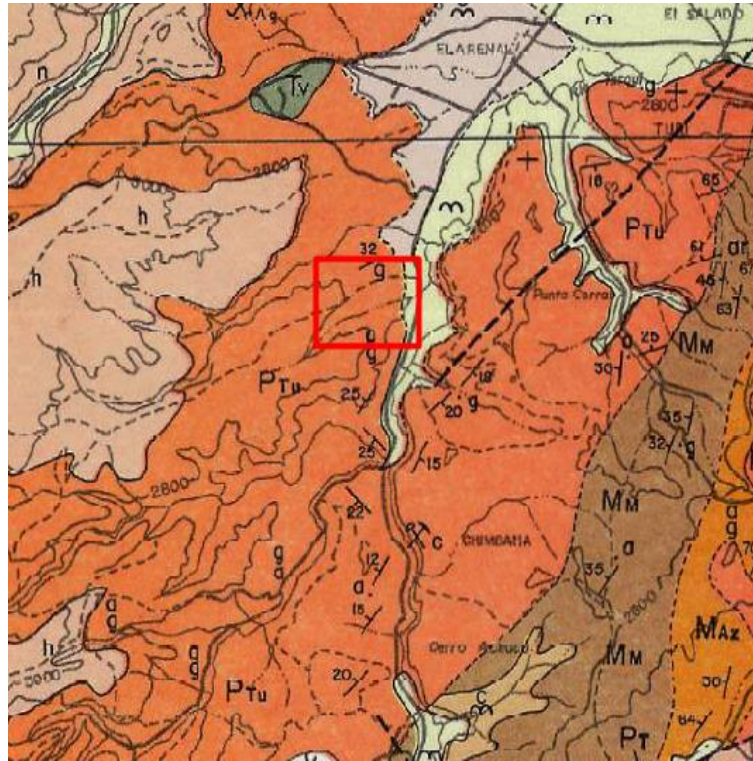


Ilustración 4. Ubicación geológica de la muestra de Baños (Cuenca CT-NV-F Hoja 53).

2.2. Arcillas

Las arcillas son materiales conformados de minerales arcillosos y partículas submicroscópicas en forma de mica, los cuales tienen la capacidad de variar su plasticidad al entrar en contacto con agua (Grim, 1953).

Las partículas que poseen un diámetro menor a 0.002 mm e incluso partículas de diámetro entre 0.002 y 0.005 mm son clasificadas como partículas “tamaño arcilla”, se diferencian de las partículas de arcilla debido a que no necesariamente desarrollan plasticidad al entrar en contacto con agua (Braja, 2011).

Según Das (2011) se tiene una clasificación del tipo de grano que conforma el suelo dependiendo del tamaño de sus partículas tal como se muestra en la Tabla 2. Según los sistemas AASHTO y SUCS con los que se realizaron las clasificaciones del proyecto, estos poseen rangos más amplios que permiten determinar un suelo arcilloso, en comparación con las metodologías MIT y USDA para clasificación de suelos.

Tabla 2. Límites de tamaño de suelos separados de (Das, 2011).

Nombre de la organización	Tamaño del grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)	> 2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	< 0.002
Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	> 2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	< 0.002
Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	< 0.002
Sistema unificado de clasificación de suelos (U.S. Army Corps of Engineers; U.S. Bureau of Reclamation; American Society for Testing and Materials)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (es decir, limos y arcillas) < 0.075	

La superficie específica es una propiedad muy importante dentro del estudio de las arcillas. La relación entre el tamaño de partícula y la plasticidad del mineral arcilloso es inversamente proporcional puesto que, a mayor tamaño, su superficie específica es menor, así se reducirá la capacidad de absorción de agua en la superficie de la partícula disminuyendo su plasticidad (Fenili et al., 2004).

Debido a que existe una imprecisión conceptual del término arcilla dependiendo de la rama de aplicación, se usará la plasticidad del material como guía para este estudio.

2.2.1. Identificación en campo de suelos arcillosos

En campo, una evaluación preliminar de los suelos a extraer permitirá identificar con mayor eficacia los suelos arcillosos que puedan presentar problemas de hinchamiento y contracción. Los suelos se diferenciarán entre limos y arcillas por sus características plásticas (Lara et al., 2012). Existen diferentes metodologías para una identificación previa del suelo con el que se deseará trabajar.

- *Identificación visual*

El cambio climatológico de las zonas influirá directamente, puesto que, en épocas de invierno y verano, se presentarán grietas en el suelo debido al cambio de humedad.

Los suelos que presenten grietas en varias direcciones en su superficie usualmente contienen arcillas en su composición. Como se muestra en la Ilustración 5, existe la presencia de grietas distribuidas por todo el terreno de Challuabamba por cambios de humedad.



Ilustración 5. Suelo del sector de Challuabamba.

- *Dilatancia o reacción al sacudimiento*

Este ensayo se utiliza generalmente para la detección de suelos finos. Se toma una muestra con un volumen representativo de suelo húmedo y se la coloca en la palma de la mano, posterior a esto se agita la mano horizontalmente golpeando la palma en donde se encuentra la muestra con la palma de la otra mano, se repite este procedimiento varias veces. Lo que se busca mediante este ensayo es la aparición o afloramiento de agua en la superficie de la muestra, además de que su superficie adquiere una forma irregular (Villalaz, 2004).

Se puede decir que, si existe una aparición de agua en la superficie de la muestra, el suelo estará compuesto generalmente de material limoso de baja plasticidad, por el contrario si no existe la presencia de agua en la superficie se puede decir que es un material arcilloso de mediana a alta plasticidad (Lara et al., 2012).

- *Resistencia al quebramiento en estado seco*

Se moldeará una muestra de suelo hasta que alcance la consistencia de una pasta blanda, se la deja secar al sol o al aire con la finalidad de comprobar su resistencia al esfuerzo de corte al romperla y desmoronarla utilizando los dedos. La resistencia que ejerza la muestra al esfuerzo que se le aplique corresponde a una medida del tipo y cantidad de la fracción más fina que contenga el suelo (Villalaz, 2004).

Si la muestra de suelo seco se desmorona con gran dificultad, se considera como una arcilla, o lo que es similar a un suelo de alta plasticidad.

- *Tenacidad*

Este procedimiento se lo ejecutará posterior al ensayo de dilatancia, se elaborará nuevamente una muestra de suelo húmedo que tenga la consistencia de una pasta. Con la palma de las manos se formará cilindros que alcancen un diámetro de aproximadamente 3 mm. El ensayo consistirá en que el cilindro que se forme se debe ir rompiendo en varias partes hasta alcanzar el diámetro requerido, en el caso de que no

ocurra esto, se vuelve a mezclar la muestra de suelo y se repetirá el número de veces que sea necesario, hasta alcanzar el diámetro requerido. El tiempo de mezclado de la muestra indica la plasticidad que tendrá el suelo. Un breve tiempo de mezclado significa que existe baja plasticidad, en cambio prolongados tiempos de mezclado indican una plasticidad alta (Lara et al., 2012).

Mientras mayor sea la deformación que se produzca en el suelo, se tendrá una mayor plasticidad y a su vez se dice que contendrá una mayor cantidad de arcilla.

Para el estudio se realizaron en campo los ensayos de reconocimiento visual y tenacidad debido a su rápida aplicación, y mayor facilidad al momento de identificar un suelo arcilloso.

2.2.2. Minerales arcillosos

Los minerales arcillosos, también llamados arcillas naturales, están compuestos en su mayoría por silicatos de aluminio hidratados. Son materiales provenientes de la meteorización de rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, que a su vez se encuentran compuestas de feldespatos, granitos y pegmatitas. Los minerales arcillosos se generan a causa de factores climáticos como el viento, cambios de temperatura, precipitaciones, entre otros, los cuales proporcionan sus propiedades plásticas (Lara et al., 2012).

A la arcilla se la considera como un material heterogéneo conformado principalmente por aluminosilicatos cristalinos o amorfos a los cuales se los define como materiales arcillosos, además contienen minerales no arcillosos como óxidos, geles, silicatos, entre otros (Besoain, 1985).

Los silicatos de aluminio están compuestos por dos componentes estructurales básicos: el octaedro de alúmina y el tetraedro de silicio-oxígeno.

Los tetraedros están formados por cuatro átomos de oxígeno ubicados alrededor de un átomo de sílice, la unión de un conjunto de tetraedros de silicio-oxígeno da como resultado una lámina de sílice como lo indica la Ilustración 6. A su vez los tres átomos de oxígeno que se encuentran en la base son compartidos por tetraedros vecinos (Das, 2011).

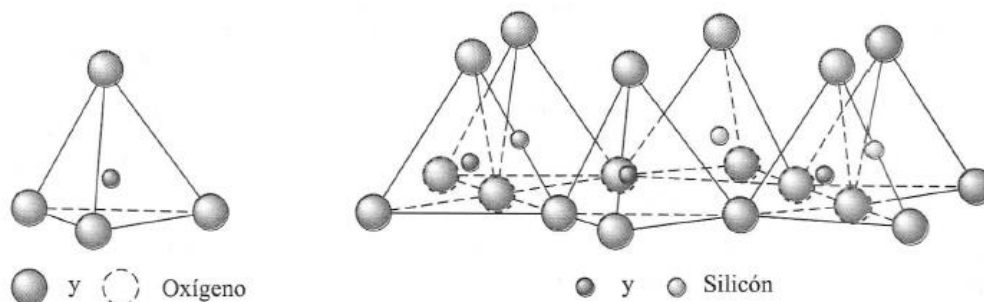


Ilustración 6. Tetraedro de sílice y Lámina de sílice (Das, 2011).

Por otro lado, las unidades octaédricas están formadas por seis hidroxilos que se colocan alrededor de un átomo de aluminio. Las uniones de varias unidades octaédricas dan como resultado una lámina de octaedros de hidroxilos de aluminio como se muestra

en la Ilustración 7, también se la conoce como lámina de gibsita o lámina octaédrica (Grim, 1953).

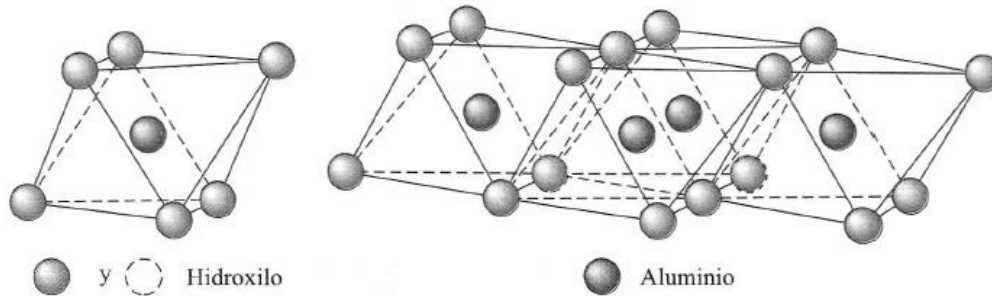


Ilustración 7. Octaedro de alúmina y lámina octaédrica (Das, 2011).

Se puede clasificar a los minerales arcillosos en tres principales grupos:

- *Grupo Caolinita*

Las caolinitas se forman a partir de la meteorización de los feldespatos ortoclasa localizados en el granito, generalmente se encuentran en depósitos de suelo sedimentario. La composición química de la caolinita es $(Al_4Si_4O_{10}(OH)_8)$, además se conoce que es el principal componente del caolín y de arcillas destinadas a la fabricación de porcelana. Las caolinitas poseen forma de pequeñas hojuelas hexagonales, compuestas por dos láminas de sílice y gibsita (Grim, 1953).

Las capas de caolinita tienen un espesor de 7.2 Å aproximadamente y se mantienen juntos entre sí por la presencia de enlaces hidrogénicos. Las capas tienen una dimensión lateral que varía entre los 100 a 1000 Å y un espesor que puede estar entre los 100 a 1000 Å. Tienen una superficie específica de 15 m²/g (Das, 2011).

Los minerales de caolinita no sufren efectos de hinchamiento o contracción cuando tienen variaciones en la humedad debido a la baja absorción de agua que presentan sus partículas. La caolinita se presenta con una forma plana o escamosa (Zeevaert, 1997).

La dickita y la halosita son minerales de arcilla que pertenecen al grupo de la caolinita, tienen la misma composición, pero difieren en el orden de sus laminas (Grim, 1953).

- *Grupo Illita*

“La illita de suelos tiene una morfología intermedia entre las micas verdaderas y la montmorillonita. Se caracteriza por exhibir partículas planas, de bordes irregulares y angulosos, a veces en forma de tablas semitransparentes y a menudo en forma de agregados irregulares” (Grim, 1953).

La illita está compuesta por dos láminas de sílice en los exteriores y una lámina octaédrica en su zona central. Las capas de illita tienen un espesor de 10 a 50 Å y se mantienen enlazadas entre sí por iones de potasio. Las capas tienen una dimensión lateral que va desde 1000 a 5000 Å. Tienen una superficie específica de aproximadamente 800 m²/g (Das, 2011).

Las illitas poseen una estructura similar a las montmorillonitas, pero sus partículas son más delgadas y pequeñas. Debido a que la composición interna de sus enlaces es más débil en comparación de las caolinitas, estas presentan una tendencia a formar grumos, que disminuyen el área en contacto con el agua, esto produce que se tenga un hinchamiento de las partículas menor que la de las montmorillonitas (Zeevaert, 1997).

- *Grupo Montmorillonita*

“La montmorillonita es el constituyente principal de la bentonita y otras variedades similares de arcilla. Son el resultado de la meteorización del feldespato plagioclasas en los depósitos de ceniza volcánica. Su estructura fundamental consiste de distribuciones de tres láminas, cuya lámina octaédrica intermedia suele ser gibsita o en otro caso brucita” (Grim, 1953).

Las capas de montmorillonita poseen un espesor de 10 a 50 Å y tienen una dimensión lateral que varía de 1000 a 5000 Å. Las partículas de montmorillonita tienen una superficie específica de aproximadamente 800 m²/g (Das, 2011).

Existen otros minerales arcillosos comunes como la halosita, clorita, vermiculita y atapulgita, estos pertenecen a los tres grupos principales que son la caolinita, illita y montmorillonita. Una característica particular que diferencia a estos minerales es su capacidad para absorber las partículas de agua, debido a que poseen una gran afinidad con las moléculas de agua, las cuales llegan a formar parte de la estructura molecular del mineral (Zeevaert, 1997).

Debido a la variada composición química y estructural que existe en los diferentes tipos de arcilla, las propiedades de cada arcilla mineral serán diferentes. Las variaciones en la cantidad de material arcilloso existente en el suelo pueden influir de manera considerable en sus propiedades, como principal ejemplo se tiene la montmorillonita, a un mayor contenido de este mineral existirá un aumento en las propiedades hinchamiento que presente el suelo.

2.3. Suelos expansivos

Un suelo expansivo es aquel que cambia de volumen en relación con los cambios en su contenido de agua. Los suelos expansivos poseen dos propiedades características que son el potencial expansivo y de contracción. Mientras mayor sea el contenido de arcilla de los suelos mayor será el potencial expansivo que presenten, uno de los casos que se puede evidenciar es un suelo con alta presencia de montmorillonita que al entrar en contacto con agua tendrá un comportamiento de hinchamiento y contracción mayor a otros suelos (Patrone & Prefumo, 2005).

Mientras el contenido de agua próximo a la zona donde se encuentra el suelo expansivo sea mayor, este presentará un elevado hinchamiento y viceversa, si el suelo tiene poca humedad la contracción del suelo en la superficie será más evidente. Generalmente la actividad significativa donde ocurren estos fenómenos se da en aproximadamente 3 m de profundidad (Driscoll, 1983).

El hinchamiento y la contracción de los suelos no son procesos completamente reversibles (Holtz & Kovacs, 1981). El proceso de contracción genera grietas, que al

humedecerse nuevamente no se cierran a la perfección, provocando que se dé mejor acceso para que el agua se infiltre entre las grietas y cada vez aumente el proceso de hinchamiento.

En algunos suelos arcillosos el aumento de volumen cuando existe la presencia de agua, ocasionan esfuerzos tales que pueden romper carreteras y estructuras.

2.4. Ensayos para caracterizar suelos

Para realizar la caracterización de suelos expansivos, es necesario hacer los ensayos preliminares con la finalidad de obtener una clasificación previa acerca del tipo de suelo con el que se trabajará. Los ensayos efectuados son: método por cribado, método hidrométrico, límite líquido, límite plástico, clasificación del suelo y gravedad específica.

El proceso específico para cada ensayo se presenta en el capítulo de Materiales y Métodos.

2.4.1. Distribución granulométrica

La distribución granulométrica de un suelo corresponde a la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo, se la divide en diferentes fracciones las cuales están comprendidas entre un rango de valores máximos y mínimos (Villalaz, 2004), dependiendo el criterio de clasificación que se emplee

Para la realización de la distribución granulométrica se utiliza el método por cribado y el método hidrométrico, estos se aplican para tamaños de partículas mayores de 0.075 mm y para tamaños de partículas menores de 0.075 mm de diámetro respectivamente (Das, 2011).

- *Método por Cribado*

El análisis mediante cribado permite determinar la curva de distribución granulométrica para suelos que tengan partículas mayores de 0.075 mm o que se retengan en la malla N°200, consiste en tamizar una muestra de suelo a través de un grupo de mallas que se encuentran apiladas desde la malla con mayor abertura que se sitúa en la parte superior hasta la malla que tenga la abertura más pequeña.

El resultado del análisis granulométrico del proceso de cribado se puede expresar mediante el tamaño de las partículas que son retenidas en cada malla, por un número indicativo, o por símbolos que indiquen la fracción del suelo en la que se retuvo la mayor cantidad de material.

En este ensayo se utiliza la norma ASTM C-136.

- *Método hidrométrico*

El análisis mediante hidrómetro se realiza para obtener la distribución granulométrica de suelos que pasen a través de la malla N°200 hasta partículas de 0.002 mm o tamaño arcilla. El método consiste en el principio de la sedimentación de granos de suelo en

agua. Cuando una muestra de suelo se dispersa en agua, las partículas se sedimentan a diferentes velocidades, esto dependerá de su tamaño, forma y peso. (Das, 2011).

Aunque las partículas de suelo sean de varias formas y tamaños, por simplicidad en el análisis se considera que las partículas son esferas y que la velocidad de las partículas se expresa por la ley de Stokes, en la cual se relaciona la velocidad de una esfera en este caso la partícula de suelo que caen a través de un fluido, con el diámetro de la partícula tal como lo indica la Ecuación 1:

$$v = \frac{\rho_s - \rho_w}{18\eta} D^2$$

Ecuación 1

Donde:

v : velocidad [mm/hora]

ρ_s : densidad de las partículas de suelo [g/cm^3]

ρ_w : densidad del agua [g/cm^3]

η : viscosidad del agua a la temperatura indicada [poise]

D : diámetro de las partículas de suelo [mm]

Se puede reemplazar la Ecuación 2 y Ecuación 3 en la Ecuación 1:

$$v = \frac{\text{Distancia}}{\text{Tiempo}} = \frac{L}{t}$$

Ecuación 2

$$\rho_s = G_s \rho_w$$

Ecuación 3

Combinando ambas ecuaciones se obtiene:

$$D = \sqrt{\frac{30\eta}{(G_s - 1)\rho_w}} * \sqrt{\frac{L}{t}}$$

Ecuación 4

Donde:

D : diámetro de las partículas de suelo [mm]

G_s : gravedad específica

ρ_w : densidad del agua [g/cm^3]

η : viscosidad del agua a la temperatura indicada [poise]

L : longitud [cm]

t : tiempo [min]

Con este método se determina cuantitativamente la distribución de tamaño de las partículas más finas del suelo, empleando la norma ASTM-D422.

2.4.2. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg permiten determinar la plasticidad de los suelos cuando se los deforma hasta cierto límite sin que lleguen a fragmentarse o romperse, en el caso de los suelos arcillosos estos presentan propiedades de plasticidad en grado variable dependiendo el tipo de arcilla que posean. Los límites de Atterberg separan los cuatro estados de consistencia de los suelos cohesivos según indica la Ilustración 8, en donde se muestran cuatro consistencias del suelo: sólida, semisólida, plástica y líquida. A medida que la humedad incrementa en un suelo arcilloso, este cambia su consistencia progresivamente desde sólida hasta líquida.

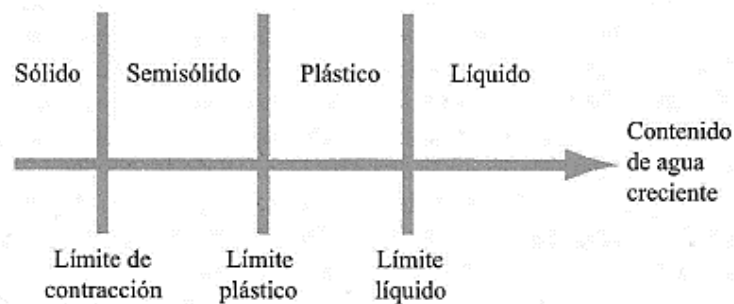


Ilustración 8. Límites de Atterberg de (Das, 2011).

Los límites que separan las diferentes consistencias en el suelo son: Límite Líquido (L.L.), Límite Plástico (L.P.) y Límite de Contracción (L.C.). Estos límites permiten dar una referencia del tipo de suelo con el que se trabajará. Los límites en los que se encuentre el suelo tanto para líquido, plástico y de contracción dependen del tipo y cantidad de arcilla presente en el suelo, en el caso de suelos arenosos y limosos el límite plástico puede ser nulo, así se descarta la presencia de arcillas en el suelo. (Villalaz, 2004). Para la determinación del límite líquido y límite plástico se emplea la norma ASTM-D4318.

- *Límite Líquido*

Corresponde al porcentaje de humedad con respecto al peso seco de la muestra, para que el suelo pase de un estado líquido a plástico, o al aumentar su humedad de un estado plástico a líquido. En el límite líquido para suelos plásticos o suelos finos se tiene una resistencia a cortante muy pequeña de aproximadamente 25 g/cm^2 (Villalaz, 2004).

- *Límite Plástico*

Se define como el límite en el que un suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido. Se determina el porcentaje de agua añadida a la mezcla de suelo, con la cual el suelo al ser enrollado en forma de cilindros de 3 mm de diámetro se rompe o desmorona (Das, 2011).

2.4.3. Clasificación del suelo

La clasificación del suelo permite conocer de una manera preliminar el tipo de suelo con el que se trabaja, mediante una categorización por medio de grupos y subgrupos se puede conocer las características de cada suelo. En la actualidad dos sistemas de clasificación son usados comúnmente por los ingenieros en suelos, estos son el Sistema de Clasificación AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS (Das, 2011). Para poder realizar el proceso se requiere los resultados de distribución por tamaño de grano y la plasticidad de los suelos a analizar.

- *Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS*

Como puede observarse en el Anexo 1, los suelos de partículas gruesas y los suelos de partículas finas se distinguen mediante el tamizado del material a través la malla N°200. Un suelo se considera grueso si más del 50% de las partículas del mismo son retenidas en la malla N°200, y fino si el 50% o más de sus partículas son menores a dicha malla.

Según Das (2011), para una clasificación apropiada con este sistema, debe conocerse la siguiente información:

- Con la fracción de suelo que pasa la malla de 3 pulgadas y es retenida en la malla N°4, se determina el porcentaje de grava.
- Con la fracción de suelo que pasa la malla N°4 y es retenida en la malla N°200, se determina el porcentaje de arena.
- La fracción de finos que pasan la malla N°200, se determinan el porcentaje de limo y arcilla que posee en el suelo.
- El suelo que pasa la malla N°40 sirve para realizar los ensayos para determinar el límite líquido e índice de plasticidad.

La clasificación mediante SUCS permite designar a los suelos mediante símbolos de grupo, cada símbolo de grupo consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos corresponden a los seis principales tipos de suelos que son grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turba, la primera letra de los prefijos es la inicial de los nombres de los suelos mencionados en idioma inglés; mientras que los sufijos se refieren a las subdivisiones que existen en cada grupo (Villalaz, 2004).

- *Sistema de Clasificación AASHTO*

El sistema AASHTO permite realizar la clasificación del suelo en base a los resultados obtenidos de los ensayos de distribución granulométrica, límite líquido y el límite plástico (Hanson, 1983).

Los suelos que poseen un comportamiento similar dentro de un mismo grupo, se los puede diferenciar mediante un parámetro conocido como índice de grupo. Dependiendo el valor de índice de grupo se determina si un suelo está conformado por materiales granulares, arcillosos o materiales limo arcillosos; este parámetro permite determinar la calidad del suelo con el que se trabaja.

El comportamiento geotécnico que puede tener un suelo varía inversamente con su índice de grupo, es decir un suelo que posea un índice igual o próximo a cero será un

material bueno para la construcción de carreteras, y un suelo con índice de grupo igual a 20 o mayor, indicará que se tiene un material muy malo para la construcción.

Los materiales que se clasifican dentro de los grupos A-1, A-2, A-3 corresponden a suelos granulares de los cuales 35% o menos de sus partículas pasan a través de la malla N°200; por otro lado los suelos en los que a través de la malla N°200 pasa más del 35% de partículas se clasifican dentro de los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, a estos suelos se los cataloga como limos y arcillas.

Un suelo grueso se diferencia entre A-1, A-2, A-3 por el porcentaje de material que pasa por las mallas N°10, N°40 y N°200 y por las características de límite líquido e índice de plasticidad.

Un suelo fino se diferencia entre A-4, A-5, A-6 y A-7 por el índice de grupo al que pertenezcan.

El Anexo 2 muestra la clasificación completa por la metodología AASHTO.

2.4.4. Relaciones volumétricas y gravimétricas

La estructura del suelo está constituida por partículas sólidas rodeadas por espacios vacíos en los cuales se almacenan partículas de agua y aire (Villalaz,2004). En los suelos se distinguen tres fases: sólida, líquida y gaseosa.

- La fase sólida que se encuentra formada por partículas orgánicas y minerales del suelo.
- La fase líquida está formada generalmente por agua, que llena una parte o todos los vacíos del suelo, también puede estar conformada por otros líquidos.
- La fase gaseosa corresponde al aire que llena una parte o todos los vacíos, que no fueron completados luego de la fase líquida.

La fase líquida y fase gaseosa son las que conforman el volumen de vacíos de una muestra de suelo, mientras que la fase sólida constituye el volumen de sólidos, esta representación esquemática se indica en la Ilustración 9.

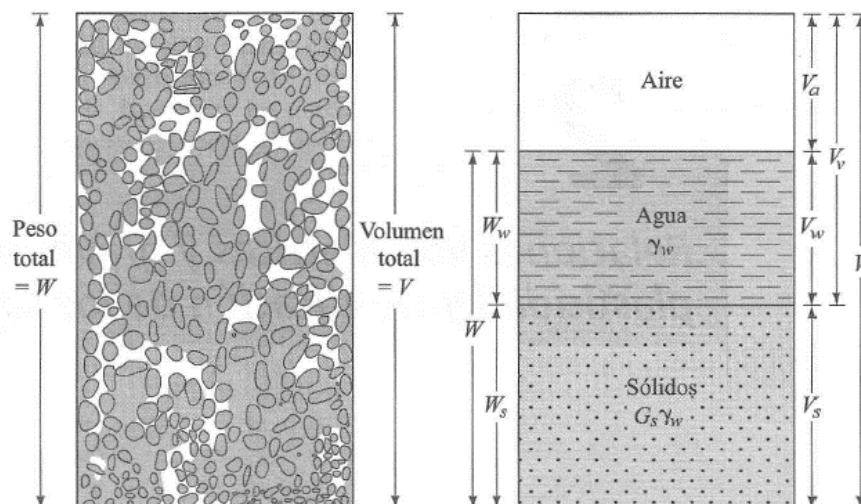


Ilustración 9. Relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo de (Das, 2011).



Según Das (2011), a continuación, se indican las diferentes relaciones gravimétricas y volumétricas:

- *Relación de vacíos*

Se define como el volumen que ocupan los vacíos en el volumen de los sólidos.

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Ecuación 5

Donde:

e : relación de vacíos

V_v : volumen de vacíos

V_s : volumen de sólidos del suelo

- *Porosidad*

Se define como el porcentaje de volumen que ocupan los vacíos en el volumen total de la muestra.

$$n = \frac{V_v}{V}$$

Ecuación 6

Donde:

n : porosidad

V_v : volumen de vacíos

V : volumen total

- *Grado de saturación*

Mide el porcentaje de saturación de una muestra de suelo, es decir el volumen del agua respecto al volumen de los vacíos.

$$S = \frac{V_w}{V_v}$$

Ecuación 7

Donde:

S : saturación

V_w : volumen de agua en los vacíos

V_v : volumen de vacíos

- *Contenido de humedad*

Es el porcentaje que representa el peso del agua con relación al peso de las partículas de los sólidos.

$$w\% = \frac{W_w}{W_s}$$

Ecuación 8

Donde:

$w\%$: contenido de humedad

W_w : peso del agua

W_s : peso de los sólidos del suelo

También se puede calcular en función del peso de la muestra húmeda y seca:

$$w\% = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} * 100$$

Ecuación 9

Para obtener el peso seco de una muestra se coloca el suelo en el horno durante un lapso de 24 horas a temperatura de 110+- 5 grados centígrados.

- *Peso específico*

Corresponde al peso de los sólidos incluido el del agua por unidad de volumen total del suelo.

$$\gamma = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_w + V_a} = \frac{W}{V}$$

Ecuación 10

Donde:

γ : peso específico

W : peso total del suelo

V : volumen total del suelo

- *Peso específico seco*

Corresponde al peso de los sólidos por unidad de volumen total del suelo.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

Ecuación 11

Donde:

γ_d : peso específico seco

W_s : peso de los sólidos

V : volumen total del suelo

- *Gravedad específica del suelo*

Se define como la relación entre el peso específico de los sólidos y el peso específico del agua condiciones normales. Se representa con la nomenclatura G_s , y también se la puede calcular utilizando cualquier relación de peso de la sustancia a peso del agua siempre y cuando se consideren volúmenes iguales de material y agua.

$$G_s = \frac{\gamma}{\gamma_w}$$

Ecuación 12

Donde:

G_s : gravedad específica

γ : peso específico de los sólidos

γ_w : peso específico del agua

La gravedad específica de los minerales del suelo para arcillas y limos se encuentra dentro del rango de 2.6 a 2.9 (Das, 2011).

La Tabla 3 proporciona la gravedad específica de los componentes de los suelos más importantes.

Tabla 3. Densidad de sólidos de minerales de (Das, 2011).

Mineral	Densidad de sólidos, G_s
Cuarzo	2.65
Caolinita	2.6
Ilita	2.8
Monmorilonita	2.65 – 2.80
Haloisita	2.0 – 2.55
Feldespato de potasio	2.57
Feldespato de sodio y calcio	2.62 – 2.76
Clorita	2.6 – 2.9
Biotita	2.8 – 3.2
Moscovita	2.76 – 3.1
Hornablenda	3.0 – 3.47
Limonita	3.6 – 4.0
Olivina	3.27 – 3.37

La relación de vacíos o la porosidad de cualquier suelo usualmente no indica directamente su comportamiento, en este caso no se puede determinar si un suelo sufre hinchamiento; pero estos parámetros si permiten conocer el tipo de suelo con el que se trabaja tal como lo indica la Tabla 4, así como los cambios que se producen una vez que se aplique los estabilizantes para controlar su expansión.

Tabla 4. Porosidad, relación de vacíos, y peso volumétrico de suelos típicos en estado natural de (Hanson, 1983).

Descripción	Porosidad (<i>n</i>)	Relación de vacíos (<i>e</i>)	Humedad (<i>w</i>) ^a	Peso volumétrico			
				g/cm ³		lb/pie ³	
				γ_d^b	γ_{sat}^c	γ_d	γ_{sat}
1. Arena uniforme, suelta	0.46	0.85	32	1.43	1.89	90	118
2. Arena uniforme, compacta	0.34	0.51	19	1.75	2.09	109	130
3. Mezclas de arena, sueltas	0.40	0.67	25	1.59	1.99	99	124
4. Mezclas de arena, compactas	0.30	0.43	16	1.86	2.16	116	135
5. Limo eólico (loes)	0.50	0.99	21	1.36	1.86	85	116
6. Morrena, granos muy mezclados	0.20	0.25	9	2.12	2.32	132	145
7. Arcilla glacial blanda	0.55	1.2	45	1.22	1.77	76	110
8. Arcilla gracial dura	0.37	0.6	22	1.70	2.07	106	129
9. Arcilla blanda con poca mat. orgánica	0.66	1.9	70	0.93	1.58	58	98
10. Arcilla blanda con mucha mat. orgánica	0.75	3.0	110	0.68	1.43	43	89
11. Arcilla blanda montmorillonítica (bentonita cálcica)	0.84	5.2	194	0.43	1.27	27	80

2.5. Ensayos para determinar el carácter expansivo de los suelos

Existen varios métodos para determinar el potencial expansivo de un suelo, entre los ensayos realizados en este proyecto se tiene: expansión libre, presión de expansión, ensayo de Lambe y método de las probetas; también se realizan dos ensayos químicos que son de pH e intercambio catiónico.

El proceso específico para cada ensayo se presenta en el capítulo de Materiales y Métodos.

2.5.1. Expansión libre y presión de expansión

Según Patrone & Prefumo (2005), para determinar la expansión libre y presión de expansión se requiere el uso de cámaras de consolidación y edómetros respectivamente, los ensayos permiten simular el fenómeno de hinchamiento de las muestras cuando se desarrolla in situ. Para lograr determinar la expansión de las muestras se han propuesto diferentes metodologías experimentales, las cuales presentan diferentes divergencias dependiendo las condiciones en campo que se deseen simular, las principales son:

- Cantidad de muestras recolectadas para el ensayo
- Característica de la muestra a ensayar, forma y tamaño
- Condiciones de humedad inicial de las muestras
- Saturación a la que se logre el hinchamiento máximo de la muestra
- Dispositivos para medir la expansión de las muestras
- Dificultad para simular las condiciones de campo con el edómetro
- Las cargas aplicadas a las muestras para determinar la presión de expansión

- *Expansión libre*

“Definido como el porcentaje de la elevación máxima para presión definida en relación a la longitud inicial de la probeta” (Vélez, 2012). El ensayo se lo efectúa mediante el uso de una cámara de consolidación, saturando la muestra de suelo hasta obtener un valor del hinchamiento final en un tiempo dado según lo indica la normativa.

Se puede verificar la potencial expansivo que tendrá un suelo mediante la Tabla 5, clasificándolo de una manera cualitativa desde muy bajo hasta muy alto.

Tabla 5. Clasificación del potencial expansivo del suelo utilizando EI de (ASTM D-4829)

Expansion Index, EI Potential	
	Expansion
0–20	Very Low
21–50	Low
51–90	Medium
91–130	High
>130	Very High

- *Presión de expansión*

“Definida como la presión aplicada sobre una muestra de suelo expansivo para que, una vez en contacto con agua, la probeta mantenga su volumen inicial, es decir que la variación de volumen sea nula” (Vélez, 2012).

El ensayo se lo efectúa mediante la aplicación de cargas en un edómetro en un tiempo dado, según como lo indica la normativa. Existe una gran discrepancia en los valores obtenidos en este ensayo por la influencia de variables como el grado de saturación que llegue la muestra, así como las cargas aplicadas para evitar nulificar el cambio volumétrico (Patrone & Prefumo, 2005).

2.5.2. Ensayo de Lambe

“El ensayo de Lambe permite determinar el valor de la tensión máxima de hinchamiento que se produce en el suelo” (Franch, 2013), de esta manera es posible realizar una clasificación cualitativa del material en relación al cambio de volumen potencial que presenta.

A estos efectos, el cambio de volumen potencial de un suelo queda comprendido dentro de uno de los cuatro grupos que se indican en la Tabla 6:

Tabla 6. Cambio de volumen potencial del suelo de (INV E-132)

CVP	CONDICIÓN PARA EL SUELO
< 2	No crítica
2 – 4	Marginal
4 – 6	Crítica
> 6	Muy crítica

El ensayo de Lambe corresponde netamente a un ensayo de identificación, por ello no sustituye a ensayos realizados con muestras inalteradas o compactadas en las mismas condiciones de obra.

2.5.3. Método de las probetas

También conocido como prueba de hinchamiento libre, este método consiste en el aumento en el volumen de un suelo sin ningún efecto externo o restricción, al momento de la inmersión en agua. El hinchamiento libre se lo presenta como el aumento en el volumen del suelo expresado como un porcentaje del volumen inicial (Sridharan et al.,2000). Para el ensayo se requiere la muestra de suelo seca en horno, tamizada por la malla N°40, agua destilada y un líquido no polar (tetracloruro de carbono).

El mayor inconveniente de este método, radica en la medición del volumen del suelo ya que se requiere una identificación visual, por lo tanto, se incluye el juicio personal como un factor más. El índice de hinchamiento libre se lo calcula mediante la Ecuación 13:

$$FSI = \frac{(V_d - V_k)}{V_k} * 100$$

Ecuación 13

Donde:

FSI : índice de hinchamiento libre

V_d : volumen de 10 g de suelo medido en agua destilada

V_k : volumen de 10 g de suelo medido en un líquido no polar

Se puede verificar el potencial expansivo que tendrá un suelo mediante la Tabla 7, en la cual se han desarrollado criterios a partir de los resultados de otros ensayos.

Tabla 7. Grados de expansión del suelo de (Sridharan & Prakash, 2000)

GRADO DE EXPANSIÓN	CONTENIDO DE COLOIDES (% MENOR DE 0.001 mm)	LÍMITE DE CONTRACCIÓN	ÍNDICE DE CONTRACCIÓN ^A	ÍNDICE DE EXPANSIÓN LIBRE ^B (%)	PORCENTAJE DE EXPANSIÓN EN ODÓMETRO (HOLTZ Y GIBBS) ^C	PORCENTAJE DE EXPANSIÓN EN EDÓMETRO (SEED et al.) ^D
Bajo	< 17	> 13	< 15	< 50	< 10	0 – 1.5
Medio	12 – 27	8 – 18	15 – 30	50 – 100	10 – 20	1.5 – 5.0
Alto	18 – 37	6 – 12	30 – 60	100 – 200	20 – 30	5 – 25
Muy alto	> 27	< 10	> 60	> 200	> 30	> 25

2.5.4. Intercambio Catiónico y pH del suelo

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) de un suelo, está sujeta a tres factores principales como el contenido de arcilla, tipo de arcilla y pH. Las relaciones entre estos factores pueden presentar una gran variabilidad debido a que los minerales de arcilla poseen diferente CIC (Miller, 1970).

Por este motivo se requiere realizar ensayos químicos como la capacidad de intercambio catiónico y de pH, para determinar la factibilidad al momento de aplicar los estabilizantes en el suelo. Estos ensayos indican si un suelo es apto o no para recibir un tratamiento con la finalidad de poder controlar su potencial expansivo.

- *Intercambio Catiónico*

“La capacidad de intercambio catiónico se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede absorber a un determinado pH. Es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral” (Domínguez & Schifter, 1995).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se mide en miliequivalentes para 100 gramos de suelo (meq/100 gr). (Hanson, 1983)

En la Tabla 8 se dan los intervalos típicos de capacidades de intercambio catiónico de los 3 principales grupos de minerales.

Tabla 8. Capacidad de intercambio catiónico de los minerales de la arcilla de (Hanson, 1983).

Mineral de la Arcilla	Capacidad de Intercambio Catiónico en Miliequivalentes por 100 g
Caolinita	3-15
Illita	10-40
Montmorillonita	70-100

- *pH del suelo*

El pH corresponde a una medida de la acidez o alcalinidad en los suelos. Mide la actividad de los H⁺ libres en la solución del suelo y de los H⁺ fijados sobre el complejo de cambio.

El pH puede variar desde 0 a 14 y de acuerdo con esta escala los suelos se clasifican en:

- Suelos ácidos que poseen un pH inferior a 6.
- Suelos neutros que poseen un pH entre 6.6 y 7.5
- Suelos básicos que poseen un pH superior a 7.5

Además del contenido de arcilla y materia orgánica, el pH tiene un efecto directo en la CIC. A medida que exista un aumento en el pH del suelo, la capacidad de intercambio catiónico cambia debido a que el suelo posee sitios de intercambio que se van activando (Carrol, 1959).

2.6. Estabilización de arcillas expansivas

La estabilización es un procedimiento físico y/o químico que permite modificar las propiedades de un suelo, obteniendo un material apto para su utilización. “La estabilización busca mejorar las propiedades tales como: resistencia, durabilidad, plasticidad, permeabilidad, estabilización volumétrica, compresibilidad, trabajabilidad y permanencia de las propiedades adquiridas” (Sandoval, 2012).

Según López-Lara (2010), los procedimientos de estabilización más comunes para suelos expansivos son:

- Por drenaje.
- Por medios mecánicos, en el que la compactación es el más destacado.
- Con el uso de medios eléctricos, en donde los pilotes electrometálicos y la electroósmosis son los más destacados.
- Por empleo de calor y calcinación.
- Estabilización por medios químicos en los cuales se usan aditivos en la mezcla con el suelo.

Para la estabilización de arcillas expansivas se seleccionó la estabilización por medios químicos. El procedimiento en síntesis sobre la estabilización de los suelos se presenta en la Ilustración 10.

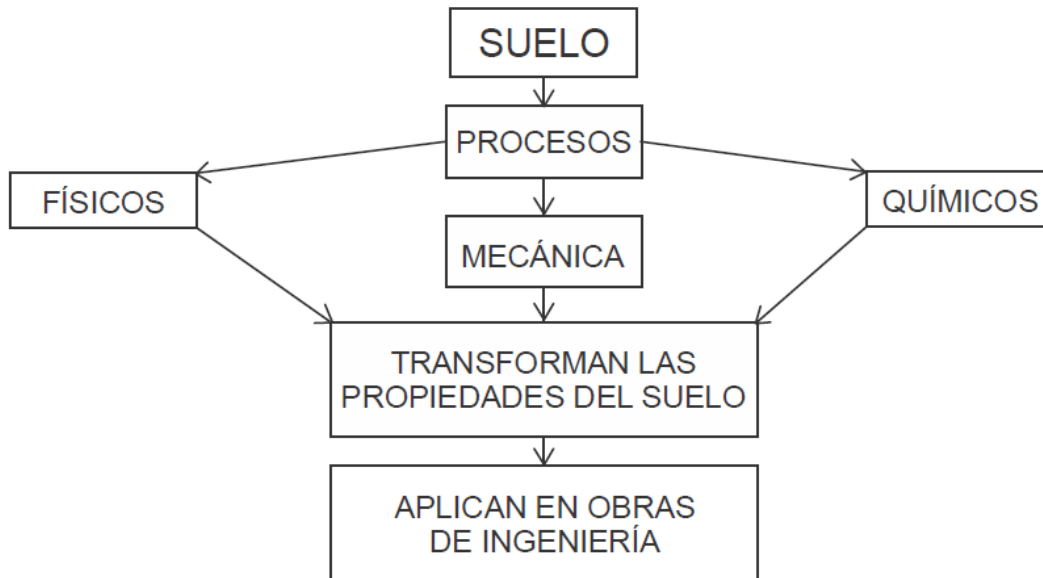


Ilustración 10. Diagrama de flujo de estabilización de suelos de (Sandoval, 2012)

La adición de estabilizantes permite controlar la expansión del suelo cuando este entre en contacto con el agua, y así disminuir los daños que se generan en las construcciones.

2.6.1. Estabilizantes

Para el mejoramiento del suelo se seleccionaron 5 estabilizantes: cal, cemento, ceniza volante, humo de sílice y yeso; los cuales fueron escogidos por tener propiedades que ayudan a la estabilización y control del cambio volumétrico en las arcillas. El cemento y la cal son elementos con un amplio historial de uso para reducir el efecto del potencial de expansión en arcillas (Sandoval, 2012; Camacho, 2006). La ceniza volante se utiliza debido a que es un material con amplia disponibilidad, se lo considera como un material reciclable y además de tener un costo reducido (Sower, 1994).; el humo de sílice ha sido un componente indispensable para la fabricación de hormigones de alta resistencia por disponer de partículas con carácter cementicio, al poseer una notable efectividad química y gran finura en sus partículas (Gutiérrez & Cánovas, 1999), se lo considera para estabilizar el suelo seleccionado.

El yeso, es un material presente naturalmente en algunos sitios, se observó que en el sector de Challuabamba la arcilla con un historial expansivo significativo se mostraba bastante estable en el sitio donde se extrajo yeso, es por esto que se incorpora este elemento para determinar su potencial contra la expansión en suelos arcillosos.

Las dosificaciones para la aplicación de los estabilizantes dependerán del tipo de arcilla que se tenga en campo, de las características que se deseen mejorar y del tipo de estabilizante que se añada al suelo. Por ejemplo, si una arcilla tiene un alto contenido de montmorillonita esta tendrá un mayor hinchamiento cuando entre en contacto con agua, a esta se tendrá que agregar una dosificación del aditivo dependiendo del tipo de

estabilizante que se utilizará, los estabilizantes con mayor contenido en calcio requerirán menores concentraciones para colocarlas en el suelo como son el cemento y el calcio, los estabilizantes de humo de sílice y ceniza volante serán materiales con un bajo contenido de calcio por lo tanto su dosificación será mayor para lograr una estabilización del suelo.

La estabilización del suelo no es directamente proporcional a la cantidad de estabilizante con la que se trate de mejorar el suelo. Se requiere estudiar una relación entre la mineralogía y la estabilización que produce cada aditivo.

A continuación, se explica cada estabilizante indicando: su composición e interacción con el suelo.

2.6.1.1. Cal

La cal es un nombre general que se da a todas las variaciones del material óxido de calcio, el cual se obtiene como resultado de la calcinación de rocas calizas.

El efecto que se tiene al mezclar cal con suelos que posean grandes cantidades de arcillas ha dado resultados favorables a lo largo de los tiempos, puesto que controla el potencial de hinchamiento del suelo mostrando una disminución en la absorción de agua. El uso de cal como material estabilizante ha sido utilizado para disminuir el hinchamiento en suelos expansivos, comúnmente se emplea en obras de ingeniería vial como estabilizador de subrasantes, para plataformas de zonas industriales, vías férreas, entre otras (Patrone & Prefumo, 2005).

Al ser la cal uno de los estabilizantes más utilizados para controlar la expansión se ha comprobado que existe una variación en la floculación, el intercambio catiónico y la aglomeración de partículas, esto se debe a un cambio en las propiedades químicas del suelo. En los suelos que se estabilizan con cal las condiciones de resistencia mejoran y se incrementa la durabilidad de los suelos de grano fino (Sandoval, 2012).

Existen varios tipos de cal que se pueden encontrar, pero el más utilizado al momento de estabilización de suelos es la llamada cal viva que se obtiene mediante la calcinación de la piedra caliza que al desprender dióxido de carbono se transforma en óxido de calcio, se presenta en forma de granos o también polvo.

Mediante experimentos realizados se observa que la mezcla de cal con el suelo, genera que esta reacción absorbiendo agua y generando calor lo que provoca una disminución del contenido de agua en el suelo y a su vez el aumento de calor ayuda a la evaporación del agua que contiene el suelo, esto ayuda a disminuir los efectos adversos del agua dentro de la masa del suelo.

La cal molida que se presenta en la Ilustración 11, una vez mezclada con el suelo permite modificar sus características plásticas, reduciendo el límite líquido y el índice plástico, ocasionando que los cambios volumétricos también disminuyan, así también existe un incremento en la manejabilidad y permeabilidad del suelo (Das, 2001)



Ilustración 11. Cal molida.

2.6.1.2. Cemento

El cemento portland (Ilustración 12) es un producto formado a base de silicato tricálcico (SC3), silicato bicálcico (SC2), aluminato tricálcico (AC3) y ferritoaluminato tetracálcico (C4AF) (Pinerlo, 2016); además de un agente para controlar el fraguado que por lo general es puzolanas.

Las características que debe cumplir un cemento para la estabilización de suelos arcillosos según Pinerlo (2016):

- El tiempo inicial y final de fraguado deberán ser prolongados para que se obtenga un tiempo considerado en el cual el suelo mejorado sea trabajable
- El calor de hidratación será moderado, para de este modo limitar efectos de fisuración por retracción, en especial en temporadas de altas temperaturas
- Desarrollo lento de resistencia a edades tempranas, recuperándola a largo plazo; así se ayuda a disminuir los fenómenos de fatiga inicial



Ilustración 12. Cemento portland.

El uso de cemento como estabilizante además de disminuir los cambios volumétricos del suelo, ayuda a mejorar la durabilidad y proporciona a la mezcla una mayor resistencia mecánica (Arizaga & Sanchez, 2005).

2.6.1.3. Ceniza volante

Las cenizas volantes se obtienen como un residuo de la industria del ladrillo, están constituidas por partículas esféricas vítreas de granulometría muy fina como se muestra en la Ilustración 13. La composición de cada una de los tipos de ceniza y el porcentaje de carbón encontrado en estas dependerán del proceso que se realice para obtenerlas, ya que pueden producirse del proceso de combustión en centrales térmicas o en las industrias donde se produce la pulverización del carbón para la elaboración del ladrillo. “Las cenizas son granos finos compuestos básicamente por silicatos, aluminios, cal libre y algunos óxidos que permiten una reacción puzolánica con el suelo que al igual que otras sustancias reduce el índice de expansión” (Kosmatka, 2004).

Según Sower (1994) una dosificación del 25% de cenizas en el suelo resulta beneficiosa, ya que reduce tanto límite líquido y el índice plástico del suelo, modifica la granulometría y reduce el hinchamiento de los suelos arcillosos. Además de modificar las propiedades del suelo la mezcla con ceniza volante mejora las estructuras viales puesto que existe un aumento en la capacidad de soporte de las subrasante.

La ceniza volante dependiendo de su composición podrá tener un comportamiento puzolánico, pero a largo plazo, es decir los efectos inmediatos de secado del suelo pueden aparecer, pero a largo plazo la ganancia de resistencia del suelo puede demorar más en comparación con el cemento o la cal.



Ilustración 13. Ceniza Volante

La ceniza volante adquirida que se utiliza como estabilizante en el proyecto presenta un alto contenido de escoria de carbón que no llega a quemarse en la elaboración de los ladrillos, por lo que se la tamiza para retirar las partículas mayores a la malla N°100.

Debido a que la ceniza volante es un material de desperdicio, se lo considerará como material reciclado.

2.6.1.4. Humo de Sílice

El humo de sílice, también conocido como microsílíce, humo de sílice condensado o sílice activa, es un subproducto que se usa en la elaboración de hormigones de alta resistencia. “Este subproducto es el resultado de la reducción del cuarzo de alta pureza con carbón en hornos eléctricos durante la producción de liga de silicio o ferrosilicio” (Kosmatka, 2004).

Es un material con partículas extremadamente finas, menores de 1 mm de diámetro y con un diámetro promedio de 0.1 μm , aproximadamente 100 veces menor que el promedio de las partículas de cemento (Gutiérrez & Cánovas, 1999), posee un color azul oscuro y granos finos como se observa en la Ilustración 14.



Ilustración 14. Humo de sílice (SikaFume)

Existe una reducción en el límite de contracción, expansión libre y presión de expansión con la adición de humo de sílice con suelos expansivos, puede deberse a la adición de partículas no expansivas de extremadamente finas al suelo y a la interacción química entre el suelo y el humo de sílice (AL-Soudany, 2018).

El humo de sílice que se usará en el trabajo es de la marca SikaFume.

2.6.1.5. Yeso

El yeso en estado natural está compuesto por de sulfato de calcio anhidro y agua, es considerado como una piedra sedimentaria, incolora o blanca en estado puro, sin embargo, generalmente presenta impurezas que le confieren variadas colocaciones teniendo tonalidades amarillentas, grisáceas, rojizas y hasta negras.

Se pudo determinar que se trató de yeso por sus características físicas al estar compuesto por capas flexibles y que se pueden doblar ligeramente, por tener una consistencia semidura, y ser translúcida como se observa en la Ilustración 15.



Ilustración 15. Mineral de yeso del sector de Challuabamba

El yeso que se utilizó como estabilizante, se lo encontró en estado natural en el sector de Challuabamba donde se extrajeron las muestras de suelo.

2.7. Afección en estructuras por arcillas expansivas

El comportamiento los suelos arcillosos expansivos frente a cambios de humedad da lugar a variaciones de volumen, estos producen hinchamientos y contracciones en el suelo generando grandes esfuerzos de levantamiento que son causados por la expansión, también pueden provocar agrietamiento y ruptura en cimentaciones, cerramientos, edificaciones, vías, etc.

Los daños estructurales más comunes son:

- Grietas y fisuras verticales e inclinadas en cerramientos (Ver Ilustración 16).
- Rotura de elementos estructurales
- Fallo en las cimentaciones
- Deformaciones y rotura de infraestructura poco flexible sobre o bajo el suelo (pavimentos, conducciones subterráneas)



Ilustración 16. Fisuras típicas en paredes por efecto de expansión del suelo en el sector de Miraflores.

En relación a lo anteriormente expuesto, los principales daños producidos por arcillas expansivas, afectan a edificaciones livianas debido a las a las bajas cargas transmitidas al suelo. El daño se presenta en agrietamientos de paredes, losas del primer piso, o elementos estructurales más cercanos al suelo de cimentación. Estos problemas ocurren puesto que los incrementos de volumen no se generan de una manera uniforme.

Las arcillas expansivas también generan grandes daños a los pavimentos tanto rígidos como flexibles, y esto se lo observa en la Ilustración 17 en donde se presentan fisuras, grietas, hundimientos y elevaciones tanto en el pavimento como en las veredas, estas imágenes corresponden al sector de Miraflores.



Ilustración 17. Rotura del pavimento y levantamiento de la vereda en el sector de Miraflores

Aunque la mayoría de inconvenientes suceden en edificaciones livianas como ya se mencionó. La afección que genera los suelos expansivos en edificaciones pesadas se produce por el empuje lateral de adentro hacia afuera, estos esfuerzos horizontales que se generan producen la desestabilización de las fundaciones (Ver Ilustración 18).

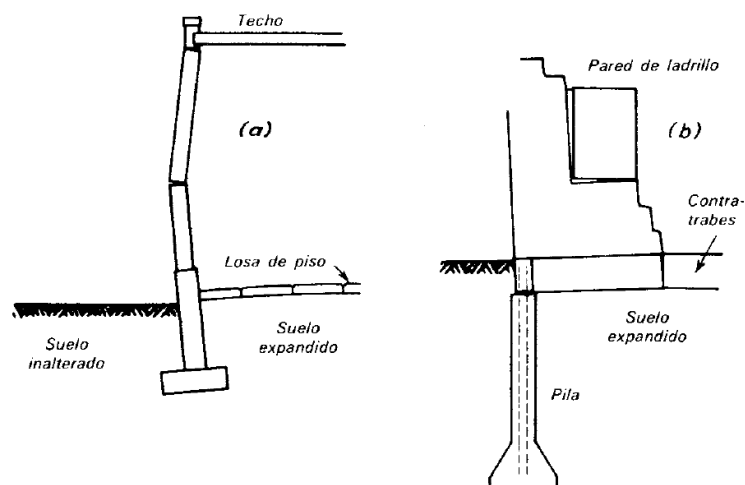


Ilustración 18. Fallas típicas en edificaciones pesadas por procesos expansivos de (Hanson, 1983).

Para reducir o evitar los efectos que producen los suelos expansivos en las estructuras se suelen utilizar tres métodos generales para reducir o evitar los efectos de la expansión. Estos son aislar la estructura de los materiales expansivos, proyectar una

estructura que soporte sin daño la expansión y la reducción de la expansión con agentes estabilizantes. Este último procedimiento es el que se efectúa en el análisis del proyecto.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Este capítulo detalla la metodología empleada para la obtención de muestras del suelo a ser analizado, para determinar las propiedades de los suelos recolectados y los ensayos para establecer sus características expansivas. Posteriormente se elige el suelo con un mayor potencial expansivo, del cual se presenta la metodología utilizada para aplicar el tratamiento estabilizante a las diferentes muestras remoldeadas.

A continuación, se muestran los procedimientos utilizados en campo y en laboratorio para la obtención de los resultados requeridos.

3.1. Obtención de las muestras en campo

Los distintos tipos de suelos con los que se trabajaron fueron seleccionados en varios sectores de la ciudad de Cuenca, dependiendo de las formaciones geológicas de cada lugar se determinaron las mejores locaciones para proceder a la obtención del suelo para la realización de los ensayos requeridos correspondientes a la caracterización de los suelos y posterior estabilización del suelo con un mayor potencial de expansión.

Para el desarrollo del presente trabajo se requirió suelos que presenten cierta tendencia expansiva; por lo tanto, se busca suelos arcillosos naturales en la ciudad de Cuenca. Analizando la geología de la ciudad y la litología que se describe en los diferentes mapas geológicos, se puso principal interés en descripciones de material tipo arcilla, poniendo énfasis en la presencia de un material arcilloso de alta plasticidad y que presente algún indicio de propiedades expansivas; por otro lado, se revisó sitios que históricamente presentaron algún tipo de inestabilidad causado por la variación de humedad y posibles problemas con estructuras en el sitio debido al comportamiento desfavorable del material fino natural sobre el cual están asentados. Según las consideraciones mencionadas se eligieron tres sectores de la ciudad: Miraflores, Challuabamba y Baños.

Para los 3 sectores seleccionados (Miraflores, Baños y Challuabamba) se buscó un lugar que se pueda extraer las muestras de manera continua puesto que se necesitó material para los ensayos de granulometría, gravedad específica, densidad aparente, límites de Atterberg, pH, intercambio catiónico; así también muestras de suelo inalteradas para los ensayos de expansión libre, expansión controlada, ensayo de Lambe, método de las probetas. Para la realización de los ensayos se recolectaron las muestras en distintas fechas asegurándonos que las condiciones climatológicas tengan características similares para que la variabilidad de la humedad no sea representativa.

Para todos los casos se excavaron pozos de aproximadamente 1 metro de ancho y 1.2 metros de profundidad; posterior al retiro de las muestras de suelo se volvieron a tapar los pozos, así se evitó que se contaminaran en el caso de que se requiera extraer material en una fecha posterior. La Ilustración 19 presenta un pozo que se realizó para la extracción de muestras en el sector de Challuabamba, los pozos de Miraflores y Baños tendrán las mismas características.



Ilustración 19. Pozos para extracción de muestras.

La obtención de las muestras dependió de los ensayos mencionados anteriormente. Para los ensayos de clasificación se procedió a tomar muestras de suelo evitando que este contenga materia orgánica y sea homogéneo, sin cambios de estrato en el suelo.

Para las muestras inalteradas se retiraron bloques de suelo y en estos se insertaron anillos metálicos para proceder a los ensayos de expansión como se muestra en la ilustración 20. Al extraer este tipo de muestras se las envolvió en fundas plásticas para conservar su humedad hasta realizar los ensayos en el laboratorio. Los anillos con las muestras de suelo se las deben transportar con cuidado puesto que, si el suelo se desprende de los anillos, esto afectaría directamente a los resultados de expansión.



Ilustración 20. Inserción de anillos metálicos para obtención de muestras inalteradas en el sector de Baños.

Una vez realizada la recolección de muestras de material, se procedió a realizar los ensayos de caracterización del suelo y posteriormente los ensayos para la

determinación del potencial expansivo. A continuación, se explica la metodología de los ensayos realizados.

3.2. Distribución granulométrica por cribado

La distribución granulométrica mediante cribado permite determinar cuantitativamente la cantidad de material que pasa por cada uno de los tamices utilizados para el ensayo. En este análisis se emplea la norma ASTM C-136, con el fin de obtener una curva de distribución granulométrica se colocan los tamices de mayor a menor abertura como se explica en la Tabla 9.

Debido a que no se tuvo a disposición la malla N°10 como lo indica la normativa; se realizó un cambio por la malla N°8.

Tabla 9. Serie de tamices para distribución granulométrica.

Serie de tamices	
N°	Abertura (mm)
N°4	4.75
N°8	8.36
N°16	1.18
N°30	0.600
N°50	0.300
N°100	0.150
N°200	0.075

Equipos utilizados en el ensayo según como indica la normativa ASTM C-136:

- Balanza con precisión de 0.1g
- Serie de tamices
- Agitador mecánico

El ensayo inicia tomando una cantidad de suelo de aproximadamente 1 kg, se la cuartea con la finalidad de obtener una muestra uniforme entre 300 a 500 g de suelo. Se lava la muestra sobre la malla N° 200 eliminando el material fino, la muestra que queda retenida se pesa y se seca al aire hasta obtener una masa constante y así evitar realizar correcciones de humedad. Posterior al secado del material, se procede a colocar el suelo seco en la primera malla perteneciente a la serie de tamices que debe estar ordenada de mayor a menor diámetro de abertura además de un fondo al inicio de dicha serie para recolectar material fino remanente del proceso de lavado. Se coloca la tapa sobre el tamiz con mayor diámetro de abertura, posteriormente se ubica la serie de tamices en un agitador mecánico por un lapso de 5 minutos. Al finalizar el proceso se debe pesar el material retenido en cada uno de los tamices y anotarlos para el pos proceso correspondiente.

Con el peso de material retenido en cada malla, y tomando como el total al material seco pesado antes de empezar el ensayo, se obtiene el porcentaje de suelo que se retiene

en cada una de las mallas para posteriormente calcular el porcentaje que pasa por cada malla. Finalmente, se realiza la curva granulométrica en la que se representa el porcentaje de suelo que pasa vs. el tamaño de partícula.

Este procedimiento se lo realiza para los 3 suelos escogidos.

3.3. Distribución granulométrica por hidrómetro

El análisis se basa en el principio de la sedimentación de granos de suelo en agua. El ensayo para determinar la distribución granulométrica mediante el hidrómetro se lo realiza cuando se tengan partículas de suelo que posean un tamaño inferior a 0.075 mm, es decir que pasen la malla N°200. Para este ensayo se emplea como guía la norma ASTM D-422.

Equipos y materiales utilizados en el ensayo según como lo indica la norma ASTM D-422:

- Balanza con precisión de 0.1 g
- Hidrómetro modelo 151H
- 2 probetas de 1000 ml
- Agente defloculante (hexametafostato de sodio)
- Termómetro
- Agua destilada

El procedimiento del ensayo comienza tomando 50 gramos de suelo seco y pulverizado, este previamente deberá ser tamizado por la malla N°10. Posteriormente se prepara una solución de hexametafostato de sodio al 4% que sirve como defloculante. Se mezcla el suelo con 125 ml de la solución en un recipiente y se deja reposar por un período de 8 a 12 horas.

Para calcular el valor correspondiente a la corrección por defloculante se debe realiza una comparación entre la medición del hidrómetro colocado en una probeta de 1000 ml únicamente aforada con agua destilada y otra medición del mismo hidrómetro realizada en una probeta en la que se coloca 875 ml de agua destilada y 125 ml de hexametafosfato de sodio. Para evitar posibles errores, la lectura de todas las mediciones realizadas al hidrómetro se las debe realizar en la parte superior del menisco. Para los cálculos del porcentaje que pasa y los diámetros de las partículas de suelo se debe encontrar la diferencia entre la medida tomada a nivel del menisco y la superficie del líquido en la probeta.

Se coloca la muestra de suelo mezclada con los 125 ml de defloculante en una probeta asegurándose de que absolutamente nada del suelo quede en el recipiente, se agrega agua destilada hasta llegar aproximadamente a los dos tercios de la capacidad de dicha probeta y se agita para mezclar todo por un lapso de 2 minutos. Acto seguido se afora la probeta hasta llegar a los 1000 ml. Para evitar la acumulación de material en los costados y el fondo de la probeta se debe colocar un tapón o usar la palma de la mano a manera de tapón en la boca de la probeta y agitar la muestra girando la probeta en un arco de 180 grados.

Se sitúan las probetas en un lugar en donde no se produzcan cambios bruscos de temperatura ni humedad como se muestra en la Ilustración 21, se debe colocar el hidrómetro de una manera lenta y cuidadosa para evitar el re suspensión de las partículas de suelo procurando no tocar las paredes de la probeta. Se empieza a tomar las cuatro primeras lecturas con el hidrómetro a los 15, 30, 60 y 120 segundos después de haber posicionado la probeta sobre la superficie estable. Una vez realizada la lectura a los 120 segundos se coloca rápidamente el hidrómetro extraído de la mezcla en agua destilada. Este proceso debe repetirse cada que se realice una lectura a lo largo de las 48 horas de ensayo que manda la norma para evitar que el material se adhiera al bulbo del hidrómetro.



Ilustración 21. Probetas con muestras de suelo y probeta con defloculante.

Para la respectiva corrección, se debe tomar la temperatura de la mezcla cada que se realice una medida del hidrómetro a lo largo del ensayo. Las probetas se las deben colocar en un lugar en donde la temperatura tenga variaciones mínimas y se mantenga cercana a los 20°C.

Este procedimiento se lo realiza para los 3 suelos escogidos.

El porcentaje de suelo en suspensión se determinará a través de la ecuación 14:

$$P = \left[\frac{100000}{W} * \frac{G}{G - G_1} \right] * (R - G_1)$$

Ecuación 14

Donde:

P : porcentaje de suelo en suspensión

R : lectura del hidrómetro corregido

W : masa total de suelo seco dispersado para la prueba

G : gravedad específica del suelo

G_1 : gravedad específica del líquido de la suspensión

El diámetro de las partículas suspendidas en la mezcla se calcula mediante la Ecuación 15:

$$D = \sqrt{\left[\frac{30 * \eta}{1980 * (G - G_1)} \right] * \frac{L}{T}}$$

Ecuación 15

Donde:

D : diámetro de la partícula [mm]

η : viscosidad del agua a la temperatura indicada [poise]

L : distancia desde la superficie al centro de gravedad del hidrómetro [cm]

T : tiempo acumulado desde el inicio de la sedimentación [min]

G : gravedad específica del suelo

G_1 : gravedad específica del líquido de la suspensión

Las partículas que se encuentran en suspensión en un tiempo determinado T , se dice que tienen un diámetro de partícula menor al valor D encontrado mediante la ecuación anterior.

Calculado el porcentaje de suelo aun en suspensión en un tiempo determinado T y el valor de L , se puede calcular el porcentaje de material que pasa el diámetro D . Con los valores obtenidos se podrá realizar las correcciones correspondientes y finalmente la curva diámetro vs. porcentaje que pasa dicho diámetro.

3.4. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg permiten caracterizar el comportamiento plástico de los suelos finos, se aplica la norma ASTM D-4318 para determinar el límite líquido y el límite plástico. Con estos se puede obtener el índice de plasticidad de los suelos que se calcula mediante la Ecuación 16:

$$IP = LL - LP$$

Ecuación 16

3.4.1. Límite Líquido

El límite líquido corresponde a la cantidad de agua que posee un suelo para que pase de un estado semilíquido a un estado plástico. Los equipos empleados para el ensayo son los que se indican a continuación:

- Tamiz N°40
- Cuchara de Casagrande
- Ranurador
- Pozuelo de goma
- Espátula

Se da inicio al ensayo triturando el suelo y se lo tamiza a través de la malla N°40, a este material se le añade agua formando una mezcla homogénea hasta obtener una pasta de consistencia plástica. Con la ayuda de una espátula, se coloca una porción de la pasta en la cuchara de Casagrande, verificando que esta no se salga de los bordes y quede horizontal. Con el ranurador se divide la muestra por la mitad haciendo que quede visible la base de la cuchara. Se procede a girar la manivela a una velocidad de 2 golpes/seg, hasta que la parte media del material se una aproximadamente 12 mm. Tomar una muestra de 10 – 15 g del fondo de la cuchara de Casagrande para obtener su humedad. Se anota los datos del número de golpes y humedad de la muestra. Este procedimiento se lo realiza hasta llegar al número de golpes requeridos. Se recomienda que se realicen 2 puntos por debajo de los 25 golpes, 2 superiores a los 25 golpes y uno cercano a los 25 golpes, en todas estas repeticiones se obtiene una muestra de la humedad.

Con los resultados se elabora una curva de humedad en porcentaje vs. el número de golpes en escala logarítmica. Se determina mediante interpolación la humedad cuando el número de golpes sea igual a 25.

3.4.2. Límite Plástico

El límite plástico corresponde a la cantidad de agua en el suelo para que este pase de un estado plástico a un estado semisólido. Según la normativa ASTM D-4318, los equipos empleados para el ensayo son los que se indican a continuación:

- Tamiz N°40
- Placa de vidrio
- Pozuelo de goma
- Calibrador
- Espátula

El procedimiento comienza de la misma manera que se realiza para la obtención del límite líquido; se inicia triturando el suelo y tamizándolo a través de la malla N°40, al material que pasa se le añade agua formando una mezcla homogénea hasta obtener una pasta que no se pegue en las manos pero que sea moldeable. Se empieza haciendo una especie de cilindro de suelo con la palma de la mano sobre la placa de vidrio hasta



que alcance un diámetro de 3 mm. Si no aparecen grietas al alcanzar el diámetro mencionado se debe a que el contenido de humedad es demasiado alto. Entonces, amasar en la mano para que pierda humedad y volver a hacer el cilindro. Si las grietas aparecen antes de alcanzar el diámetro de 3 mm, entonces volver a preparar la muestra agregando más agua. El ensayo se da por finalizado cuando los cilindros tengan fisuras al alcanzar los 3 mm de diámetro. Esta muestra de suelo servirá para determinar la humedad a la que se ha alcanzado el límite plástico.

3.5. Clasificación del suelo

Las muestras de suelo usadas en el proyecto son clasificadas mediante el método SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) y el método AASHTO. A continuación, se expone las directrices para realizar la clasificación por cada método.

3.5.1. Clasificación S.U.C.S

Para este método de clasificación se necesitan los resultados de los ensayos de laboratorio mencionados en la norma ASTM D-2487 realizados previamente. Los valores que se necesitan para este método son: límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, humedad de la muestra y granulometrías. Los parámetros mencionados mostrarán el grado de plasticidad del material utilizado además de la distribución granulométrica de las partículas que componen la muestra.

“Para clasificar apropiadamente un suelo utilizando este sistema, deben conocerse el porcentaje de grava, el porcentaje de arena, el porcentaje de limo y arcilla y el límite líquido e índice de plasticidad” (Das, 2011). La partícula con un diámetro mayor a los 2 mm se considera como grava, si se encuentra entre 4.75 mm y 0.075 mm se considera arena y si es menor a 0.075 se considera limo o arcilla sin distinción entre estas.

El método SUCS clasifica a los suelos en dos grandes categorías principales: los suelos que más del 50% de sus partículas son retenidos en la malla N°200 son considerados como suelos de grano grueso, en los que se puede encontrar arena y/o grava. Por otro lado, los suelos que más del 50% de sus partículas logran pasar la malla N°200 son considerados suelos finos.

Su clasificación se realizará de acuerdo a la tabla del Anexo 1.

3.5.2. Clasificación AASHTO

La clasificación según la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes está basada principalmente en la distribución granulométrica que posee el suelo estudiado además de sus características plásticas visualizadas mediante el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. Se divide en 7 principales grupos que van desde A-1 al A-7.

La clasificación inicial que se debe dar al suelo se realiza de la siguiente manera:



- Los suelos que se encuentran en los grupos A-1, A-2, A-3 son materiales granulares donde el 35% o menos pasan por la malla N°200.
- Los suelos clasificados como A-4, A-5, A-6 o A-7 son aquellos que más del 35% pasan por la malla N°200.

El método de clasificación de la AASHTO utiliza un valor llamado índice de grupo que sirve para comparar los suelos de un mismo grupo, se lo calcula según la Ecuación 17.

$$IG = (F - 35) * [0.2 + 0.005 * (LL - 40) + 0.01 * (F - 15) * (IP - 10)]$$

Ecuación 17

Donde:

IG: Índice de grupo

F: Porcentaje en peso que pasa por la malla N°200 del material inferior a 75 mm, expresado en número entero

LL: Límite líquido

IP: Índice de plasticidad.

La clasificación preliminar que se menciona anteriormente permite definir el suelo estudiado como un material granular o limo-arcilloso. En el Anexo 2 se presentan las tablas en las que se encuentran las referencias para dar una clasificación más detallada al suelo.

3.6. Densidad aparente

La densidad aparente es conocida como a la cantidad de masa que un suelo posee por unidad de volumen, el método aplicado para la obtención de la densidad es el de la parafina sólida, cuyo procedimiento está basado en el principio de Arquímedes. Esto significa, que el volumen de la muestra sumergida se traducirá en el volumen del agua desplazada. En el ensayo se emplea la norma ASTM D-4531. Los equipos empleados para el ensayo son los que se indican a continuación:

- Parafina
- Probeta

El proceso comienza calentando la parafina para que esta se diluya llegando a un estado líquido a una temperatura de entre 60° y 70°C. Se toma una muestra de suelo inalterada y se la talla tan suavemente como sea posible; posteriormente pesar y registrar la masa húmeda del bloque remoldeado. Se sumerge la muestra de suelo en la parafina formando una capa, repetir varias veces el procedimiento con el propósito de sellar la muestra, y se la deja enfriar a temperatura ambiente. De esta manera se evita que la muestra sufra una alteración en su humedad de campo debido a infiltraciones de agua.

Se toma la lectura del volumen de agua que existe antes sumergir la muestra de suelo con parafina, se introduce el bloque y se lee nuevamente el volumen final. Una vez terminado el ensayo se procede a obtener la humedad de la muestra retirando la capa de parafina.

Cálculo de la densidad húmeda del suelo de acuerdo a la Ecuación 18:

$$\rho_w = \frac{M}{V_{pc} - V_p}$$

Ecuación 18

Donde:

ρ_w : densidad húmeda [g/cm³]

M : peso inicial de la muestra [g]

V_{pc} : volumen de agua desplazada de la muestra con parafina [cm³]

V_p : volumen de parafina [cm³]

Para determinar la densidad aparente del suelo, se debe realizar la corrección del volumen de la capa de parafina de acuerdo a la Ecuación 19:

$$V_p = \frac{M_{pc} - M}{\rho_p}$$

Ecuación 19

Donde:

M_{pc} : peso de la muestra con parafina [g]

M : peso inicial de la muestra [g]

ρ_w : densidad de la parafina [g/cm³]

3.7. Gravedad específica

La gravedad específica se representa con la nomenclatura G_s , y se define como el peso específico del material dividido para el peso específico del agua a una temperatura definida. Debido a que todo el material perteneciente al suelo ensayado pasa por la malla de 4.75 mm se utilizara el método presentado por la norma ASTM D-854. Los equipos empleados para el ensayo son los que se indican a continuación:

- Matraz
- Picnómetro
- Termómetro
- Tamiz N°4

Se comienza desmenuzando la muestra de suelo, posteriormente se tamiza por la malla N°4, así se evita tener partículas de suelo mayores a las permitidas por la norma ASTM D-854. Comenzar pesando el matraz con agua hasta una marca determinada, posteriormente introducir la muestra de aproximadamente 50 g dentro del matraz, agregar agua al matraz y mezclar para lograr una solución homogénea, pesar y anotar este nuevo valor. Al matraz con suelo se coloca a baño maría para eliminar el aire de

atrapado entre las partículas de suelo, cuando las burbujas empiecen a desaparecer se lo retira y se llena con agua nuevamente hasta la marca determinada, pesar y anotar este nuevo valor. Se vierte la solución en un recipiente y se lo coloca en el horno, este proceso servirá para determinar el peso seco del material.

Se requiere tomar la temperatura para posteriormente realizar las correcciones respectivas. La gravedad específica se calcula con la Ecuación 20:

$$G_s = \frac{K * W_{suelo}}{W_{mt+a} + W_{suelo} - W_{mt+a+suelo}}$$

Ecuación 20

Donde:

G_s : gravedad específica [g/cm³]

W_{suelo} : peso del suelo seco al horno [g]

W_{mt+a} : peso del matraz con agua [g]

$W_{mt+a+suelo}$: peso del matraz con agua y suelo [g]

K : coeficiente para corrección de temperatura

3.8. Expansión libre y presión de expansión

Estos ensayos consisten en medir el hinchamiento que se produce en el suelo al entrar en contacto con agua al no tener una carga que limite esa variación de volumen graficándose dicha variación con respecto al paso del tiempo. Además, se tomará en cuenta la fuerza que se debe ejercer sobre la muestra saturada para que esta no tenga una variación de volumen. Los dos ensayos mencionados permiten definir el potencial expansivo del suelo mediante la expansión libre de este y su presión de expansión. Para estos ensayos se utiliza la norma ASTM D-4829.

3.8.1. Expansión libre

La expansión libre o hinchamiento libre del suelo se conoce al porcentaje que representa la variación de la altura inicial y final del suelo durante el ensayo con respecto a la altura inicial de la muestra. Los equipos utilizados en el ensayo se indican a continuación:

- Cámara para expansión
- Piedras porosas
- Deformímetro
- Anillo metálico

Una vez obtenidas las muestras inalteradas en campo, se enrazan hasta obtener una superficie plana en ambas caras con la finalidad de que no existan incrementos

diferenciales que produzcan errores en la toma de datos. Las muestras a ensayarse son medidas y pesadas para obtener el peso específico, además se obtiene la humedad inicial de la muestra. Con los datos anteriormente determinados se calcula el porcentaje de vacíos, porosidad y grado de saturación. Se ubica la muestra entre las piedras porosas y se coloca en la parte superior la tapa de la cámara de expansión. Una vez colocada la tapa se adapta el deformímetro que permitirá medir la deformación que sufre el suelo. Se inunda la cámara y se registra las deformaciones después de varios lapsos de tiempo. Se toman las lecturas del deformímetro para 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 15.0, y 30 minutos, y 1, 2, 3, 4, 24, 48 y 72 horas con la finalidad de ver la evolución de la deformación como lo indica la norma ASTM D-4829. El método de aplicación del ensayo de expansión se muestra en la Ilustración 22:



Ilustración 22. Ensayo de expansión libre.

Una vez culminado el ensayo se desmonta la cámara, se extrae el anillo con la muestra y se pesa con la finalidad de obtener la humedad final, porcentaje de vacíos, porosidad y saturación.

3.8.2. Presión de expansión

Presión de expansión o presión de hinchamiento se conoce a la fuerza que se debe ejercer, en el consolidómetro, sobre un suelo que está sumergido en agua para que este no sufra ningún cambio volumétrico, dividido para el área de la muestra que se está ensayando. Los equipos utilizados en el ensayo se indican a continuación:

- Cámara para expansión
- Piedras porosas
- Deformímetro
- Anillo metálico
- Pesas

El procedimiento inicial se lo realiza de la misma manera que para el ensayo de expansión libre. Una vez obtenidas las muestras inalteradas en campo, se enraza hasta obtener una superficie plana en ambas caras con la finalidad de que no existan incrementos diferenciales que produzcan errores en la toma de datos. Las muestras a ensayarse son medidas y pesadas para obtener el peso específico, además se obtiene la humedad inicial de la muestra. Con los datos anteriormente determinados se calcula el porcentaje de vacíos, porosidad y grado de saturación. Ubicar la muestra, entre las piedras porosas y colocar en la parte superior la tapa de la cámara de expansión. Posteriormente colocar en el consolidómetro e inundar la muestra. Para evitar que la muestra de suelo se expanda, colocar pesas en el consolidómetro. Se debe considerar que el deformímetro no supere el valor de ± 0.03 mm, preferiblemente que las lecturas sean próximas a cero. Transcurridas 48 horas de iniciado el ensayo se toman las respectivas lecturas y se pesa el anillo con la muestra para obtener la humedad final, porcentaje de vacíos, porosidad y saturación. El ensayo de presión de expansión se presenta en la Ilustración 23:



Ilustración 23. Ensayo de presión de expansión.

La presión de expansión se calcula mediante la Ecuación 21:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Ecuación 21

Donde:

σ : Presión de hinchamiento [g/cm^2]

P : Carga última [kg]

A : Área [cm^2]

3.9. Ensayo de Lambe

En ensayo de Lambe es un método de rápida aplicación que busca evaluar la susceptibilidad que tiene un suelo al cambio de humedad. Para la ejecución del ensayo se sigue la norma INV E-120. Los equipos utilizados en el ensayo son:

- Aparato de Lambe
- Piedras porosas

Una vez obtenidas las muestras inalteradas en campo, se enrazan hasta obtener una superficie plana en ambas caras. Se coloca el anillo con la muestra dentro de la célula del equipo de Lambe. Se da una fuerza inicial al pistón de carga leyendo el deformímetro hasta llegar a una deformación equivalente a 40 N, posteriormente se coloca agua hasta aforar casi en su totalidad la célula del equipo de Lambe, se inicia el cronometro y se procede a tomar las lecturas del deformímetro siguiendo los periodos dados por la norma. Luego de dos horas una vez finalizado el ensayo, se toma la lectura del deformímetro que servirá, mediante la ecuación de calibración obtenida, para el cálculo de la fuerza que representa dicha deformación. La presión que ejerce el suelo viene dada por la relación entre la fuerza obtenida dividida para la superficie de la muestra. En la Ilustración 24 se presenta el aparato armado al momento de la realización del ensayo.



Ilustración 24. Ensayo de Lambe.

3.10. Método de las probetas

Este ensayo permite determinar el índice de expansión libre del suelo cuando se sumerge en agua. El método indica el aumento de volumen que sufre un suelo sin restricciones externas. Para la ejecución del ensayo se sigue la norma INV E-132.

Los equipos y materiales utilizados en el ensayo son:

- Probeta 100 ml
- Tetracloruro de carbono
- Tamiz N°40
- Agua destilada
- Varilla de vidrio

Se inicia el ensayo tamizando una muestra disgregada y seca de suelo por la malla N°40 para posteriormente tomar dos muestras de 10 g cada una y colocándolas en dos probetas graduadas de 100 ml de capacidad cada una. Una de las probetas se afora con tetracloruro de carbono (Ilustración 25) y la otra con agua destilada (Ilustración 26) hasta llegar a los 100 ml. Se debe agitar el contenido de las probetas de tal manera que se deje escapar todo el aire atrapado entre las partículas de suelo.



Ilustración 25. Probetas con muestra de suelo en tetracloruro de carbono.



Ilustración 26. Probetas con muestra de suelo en agua destilada.

Se debe dejar reposar la mezcla de suelo y el líquido de cada una de las probetas por un lapso de 24 horas para que se alcance una estabilidad volumétrica además de permitir que todas las partículas se sedimenten. Se procede a la lectura de del volumen al que llegó el suelo en cada una de las probetas, el volumen del suelo que se encuentra en el tetracloruro de carbono se tomara como referencia de volumen de partida debido a que este líquido no produce un cambio volumétrico en el suelo.

El índice de expansión libre se determina mediante la Ecuación 13:

$$FSI = \frac{V_d - V_k}{V_k} * 100$$

Ecuación 13

Donde:

FSI: Índice de hinchamiento libre

V_w : Volumen de la muestra, leído en la probeta que contiene agua destilada [ml]

V_k : Volumen de la muestra, leído en la probeta que contiene tetracloruro de carbono [ml]

3.11. Intercambio Catiónico

La cantidad de cationes cargados positivamente (cationes básicos) que un suelo puede intercambiar es definido como la CIC, y se expresa en miliequivalentes por 100 gramos (meq/100 g) de suelo. Se lo puede considerar equivalente a la carga negativa del suelo o si se quiere a la cantidad de cationes fácilmente desplazables que se encuentran neutralizando cargas negativas. Para el ensayo se emplea el método de saturación con acetato de amonio.

Para el método del acetato de amonio se debe pesar 5 g de suelo y agregar 25 ml de solución saturadora (Acetato de amonio 1M). Poner en agitación mecánica durante 30 minutos y filtrar al vacío en un embudo bouchner. Posteriormente lavar el exceso de sal con 5 ml de alcohol etílico. Añadir 25 ml de solución extractora (cloruro de sodio) y filtrar, repetir el proceso 5 veces. Agregar 10 ml de solución de formaldehído y tres gotas de fenolftaleína. Titule con hidróxido de sodio hasta obtener un color rosado y pálido permanente.

La capacidad de intercambio catiónico se determina mediante la Ecuación 22:

$$CIC = \frac{V * 0.1 * 100}{pm}$$

Ecuación 22



Donde:

CIC: Capacidad de intercambio catiónico [Meq/100 g]

100: referencia de unidad de masa

pm: Peso de la muestra

0.1: Molaridad del NaOH

El ensayo se lo realizó en el laboratorio tecnológico de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca.

3.12. Determinación del pH

En los suelos, el pH es usado como un indicador de la acidez o alcalinidad de estos y es medido en unidades de pH. El pH es una de las propiedades más importantes del suelo ya que afecta directamente a la capacidad de intercambio catiónico y la capacidad que tiene el suelo de estabilizarse cuando se lo mezcla con aditivos.

El ensayo se lo realizó en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca.

3.13. Procesos para la estabilización del suelo

Una vez realizados todos los procedimientos para la clasificación de los suelos y ensayos de expansión, se determina el suelo que posea el mayor potencial de hinchamiento siendo este el más desfavorable para la construcción, en el cual se realiza los procedimientos de mejoramiento para disminuir su potencial expansivo.

Una vez obtenidos todos los resultados de la caracterización general y determinación del grado de expansividad de las diferentes muestras de suelo, se determina el material que presenta el mayor carácter expansivo. A dicho material se le aplican diferentes estabilizantes para controlar su hinchamiento; cinco diferentes tipos de elementos estabilizantes son probados con el suelo base para comparar su efecto.

A su vez se escoge el ensayo de expansión libre debido a la existencia de valores de referencia normados con los cuales se puede comparar los resultados de los suelos estabilizados además de su versatilidad y fácil aplicación. Se descartan los otros tres ensayos debido a que el método de las probetas no tiene una precisión confiable y el ensayo de expansión controlada y método de Lambe, de la forma que se aplicó en este trabajo, no poseen un rango de valores para la clasificación cualitativa del potencial expansivo.

A continuación, se detalla el proceso de mezclado y generación de las muestras tratadas para ser ensayadas bajo el ensayo de expansión libre.

3.13.1. Estabilizantes

Se proponen cinco estabilizantes para reducir el cambio volumétrico del suelo seleccionado; los materiales con los que se trabaja son: cal, cemento, yeso natural, humo de sílice (SikaFume) y ceniza volante. Las adiciones de estos compuestos al suelo permitirán modificar las características físico-químicas de las arcillas.

Para los ensayos de expansión libre con muestras remoldeadas, se mezcla el suelo con diferentes dosificaciones de estabilizante. Esto varía para cada aditivo dependiendo de las dosificaciones máximas utilizadas por distintos autores.

Para el caso de la estabilización con cal se toma el porcentaje máximo de 8% tal como lo indica la Tabla 10 de la “Guía para el diseño y construcción de capas estructurales de pavimentos estabilizadas mediante procesos químicos” según Sandoval (2012).

Tabla 10. Porcentaje de estabilización con cal

Material	Estabilización			
	Mecánica	Cemento	Cal	Emulsión
Grava natural	Puede ser necesaria la adición de finos para prevenir desprendimientos	Probablemente este no es necesario, salvo si hay finos plásticos. Cantidad de 2% - 4%	No es necesaria salvo que los finos sean plásticos. Cantidad de 2% - 4%.	Apropiada si hay deficiencias de finos, aproximadamente el 3% de asfalto residual
Arena limpia	Adición de gruesos para dar estabilidad y de finos para prevenir desprendimientos	Inadecuada: produce material quebradizo	Inadecuada: No hay reacción	Muy adecuada. De 3% a 5% de asfalto residual
Arena arcillosa	Adición de gruesos para mejorar resistencia	4% - 8%	Es factible dependiendo del contenido de arcilla	Se puede emplear. De 3% a 4% de asfalto residual
Arcilla arenosa	Usualmente no es aconsejable	4% - 12%	4% a 8% dependiendo del contenido de arcilla	Se puede emplear pero no es muy aconsejable
Arcilla pesada	Inadecuada	No es muy aconsejable. La mezcla puede favorecer con un pretratamiento con 2% de cal y luego entre el 8% y 15% de cemento	Muy adecuada, entre el 4% y 8% dependiendo del contenido de arcilla	Inadecuada

Para el caso del cemento se tienen porcentajes óptimos que varían entre varios autores, teniendo un 10% según Horpibulsuk et al. (2010) y entre 4%-12% según Sandoval (2012). En este caso consideramos un valor promedio de 8% que coincidirá con la cantidad de aditivo de cal agregada al suelo, para permitir una comparación en costos.

Según Camacho (2006) y Bhuvaneshwari (2005), cambiar un 25% de un suelo expansivo con el equivalente a ese peso, pero de ceniza volante afecta directamente a los cambios volumétricos del suelo.

Según Kalkan (2011), una aplicación del 25% de humo de sílice como estabilizante reduce el potencial expansivo de un suelo arcilloso, disminuye la expansión libre y la presión de expansión casi estabilizando en su totalidad al suelo de estudio.

Para el caso del yeso, puesto que no se tiene información sobre los porcentajes de aditivo que se debe colocar al suelo por ser este material encontrado en la zona de estudio, se considera el caso más desfavorable de un 25% de estabilizante.

La Tabla 11 muestra los porcentajes utilizados de los diferentes estabilizantes en el suelo de Miraflores.

Tabla 11. Porcentaje de estabilizante

ADITIVO	% DE ESTABILIZANTE
Cal	8%
Cemento	8%
Yeso	25%
Humo de Sílice	25%
Ceniza volante	25%

El yeso natural encontrado en el sector de Challuabamba, se tritura hasta dejarlo en polvo con la finalidad de permitir que se realice una mezcla homogénea con el suelo.

En los estabilizantes de cal, cemento y humo de sílice no se requiere realizar ningún procedimiento antes del remoldeo con el suelo.

3.13.2. Preparación y compactación de las muestras

El suelo obtenido en campo se seca a bajas temperaturas hasta conseguir un peso uniforme para luego ser disgregado hasta conseguir un tamaño homogéneo. Con el promedio de las densidades secas de todos los ensayos realizados en el proceso de caracterización se calcula el peso necesario de material seco que debe ser remoldeado para cada muestra dependiendo el anillo a usarse. La cantidad de agua agregada a la mezcla es la necesaria para llegar a la menor humedad natural en la que se encontraron las muestras de suelo ensayadas para la caracterización.

Se realiza el cálculo para ver el peso de material estabilizante que se adiciona a la muestra con respecto a los porcentajes presentados en la Tabla 11, cabe recalcar que la adición del estabilizante se la realiza con respecto al peso seco del suelo. Para este procedimiento se recomienda que el remoldeo no exceda los 2 minutos para evitar una disminución significativa en la humedad de las muestras. Una vez culminado el remoldeo se compacta el suelo dentro de los anillos metálicos en 4 capas con la misma cantidad de material, evitando que sobre material o que la superficie del suelo remoldeado sea inferior a los bordes del anillo. Culminado estos pasos se procede a realizar el ensayo de expansión libre cuyo procedimiento se indica en la sección 3.8.1.

Todas las muestras se someten a un proceso de curado durante 3 y 7 días para cada estabilizante, asegurándose de dejarlas en un ambiente que pueda alterar la humedad de la muestra.

Con la finalidad de obtener información adicional sobre los cambios volumétrico del suelo tomando como referencia al estudio realizado por Patrone & Prefumo (2005), se procede a preparar la muestra con una menor densidad a la encontrada en campo. En este caso se realiza el mismo procedimiento descrito anteriormente.

4. RESULTADOS

Los procedimientos y ensayos presentados en esta sección responden a la necesidad de una caracterización de las propiedades físicas de suelos expansivos provenientes de la ciudad de Cuenca, además de su respectiva clasificación.

Una vez realizada la caracterización de los suelos estudiados se eligió el que presentó características de expansividad más desfavorables para proceder a su estabilización mediante los métodos anteriormente señalados. Esta etapa se basó en la comparación del comportamiento en expansión libre del suelo estabilizado al tener un curado de 3 y 7 días previo al ensayo.

Adicionalmente, se presenta el análisis de costos de estabilización del suelo tratado, daños medioambientales y afecciones a la salud del personal que producen los estabilizantes cuando se trabajen en campo.

4.1. Caracterización de los suelos seleccionados

4.1.1. Distribución granulométrica

Una vez realizado el procedimiento establecido se tiene que los tres suelos estudiados poseen una gran cantidad de finos, como se muestra en la Tabla 12. La Ilustración 27 muestra las curvas granulométricas del suelo de Challuabamba, Baños y Miraflores obtenidas del proceso de cribado.

Tabla 12. Porcentaje de suelo que pasa la malla N°200.

	Challuabamba	Baños	Miraflores
Porcentaje	96.64%	70.05%	96.00%

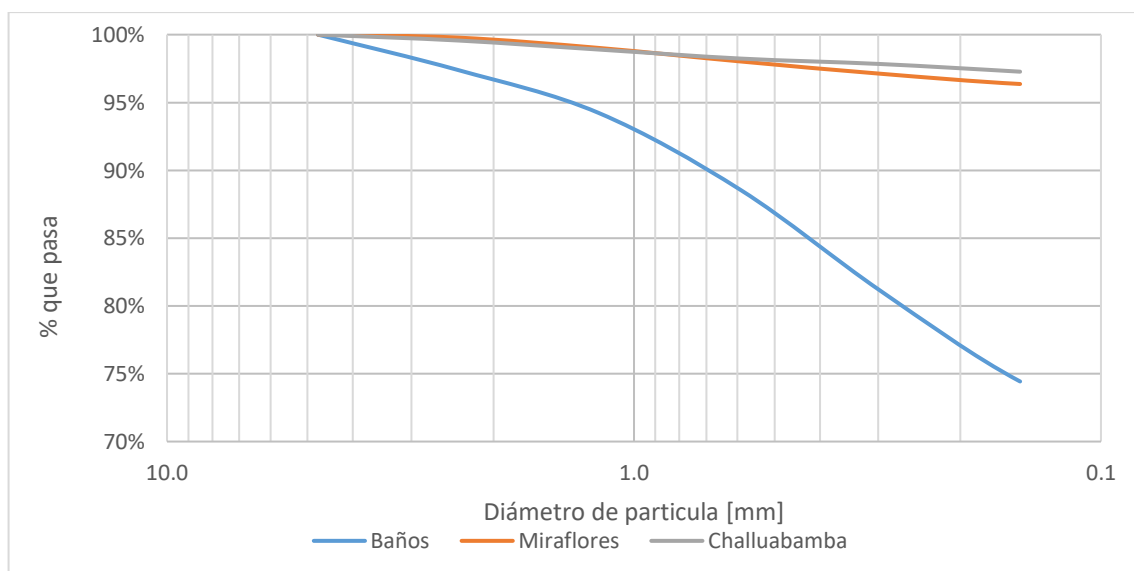


Ilustración 27. Granulometría por cribado.

Se observa que las tres muestras están compuestas principalmente por material fino que pasa la malla N°200 lo que, para medios del estudio, es favorable puesto que este material es el que provee características expansivas al suelo.

Dado que la mayor parte del material estudiado pasó la malla N°200 como se presenta en la Tabla 12, se completó la curva granulométrica de las muestras mediante el ensayo del hidrómetro ASTM D-422, gracias a lo cual se pudo cuantificar la cantidad de arcilla o limo que existe en las zonas de estudio basándose en el diámetro de partícula encontrada y no en el comportamiento frente a la presencia de agua.

La Ilustración 28 presenta las curvas granulométricas obtenidas por el ensayo de hidrómetro de los tres suelos ensayados. Se tiene como resultado que en Miraflores existe un 28.96%, Challuabamba un 22.54% y Baños un 17.33% de material con un diámetro menor a 0.002 mm lo que se interpreta como arcilla según la clasificación AASHTO.

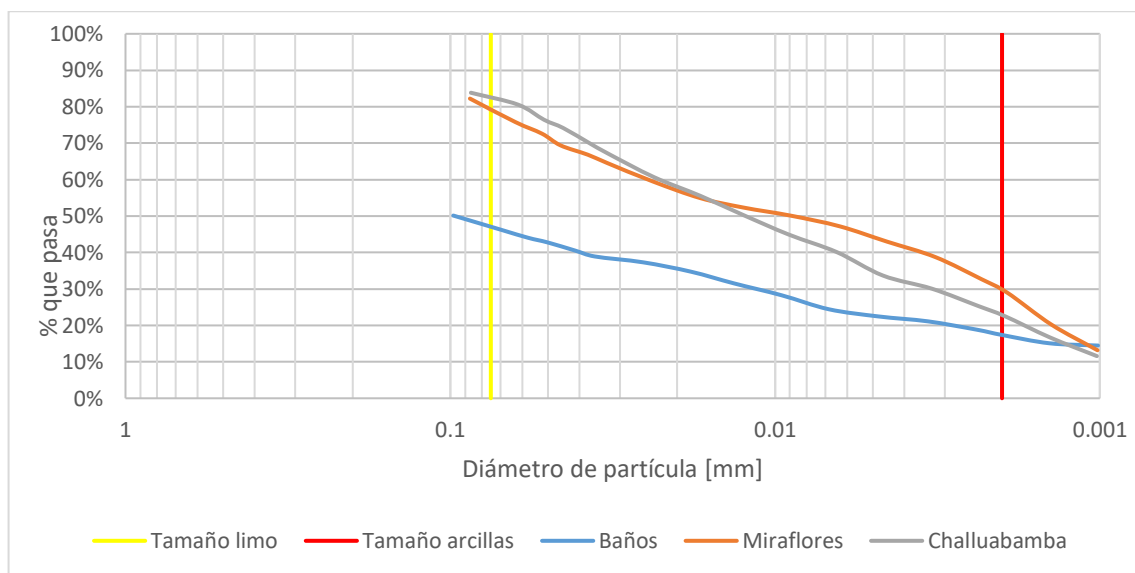


Ilustración 28 - Granulometría por hidrómetro.

En este análisis la granulometría por hidrómetro es más representativa que la granulometría por cribado, debido a la gran cantidad de material fino que pasa por la malla N°200, la granulometría por cribado únicamente sirvió como uno de los criterios para la clasificación por AASHTO y SUCS.

Los valores obtenidos del ensayo de granulometría al igual que todos los cálculos previos a la obtención de los resultados y curvas mostradas en esta sección se encuentran en los Anexos de ensayos de laboratorio.

4.1.2. Límites de Atterberg

Se realizaron los ensayos para la determinación de límite líquido y límite plástico, además se determinó el valor del índice de plasticidad de cada suelo que interviene en el estudio dado con el afán de completar los parámetros necesarios para la clasificación de las muestras. Asimismo, se utilizó estos datos como una referencia sobre el nivel de expansión del suelo que se encuentra en los sectores estudiados mediante la comparación con los rangos presentados en la normativa INV E-132 (Tabla 13).

Tabla 13. Relación entre los límites de Atterberg y el potencial expansivo del suelo de (INV E-132).

Grado de Expansión	LL %	IP %	τ nat (Ton/pie ²)
Elevado	> 60	> 35	> 4
Marginal	50-60	25-35	1.5-4
Bajo	< 50	< 25	< 1.5

Siguiendo los procedimientos establecidos se obtienen los valores de dichos parámetros como se observa en la Tabla 14.

Tabla 14 - Límites de Atterberg

Muestra	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
Challuabamba	79.25%	37.98%	41.27%
Baños	67.27%	32.95%	34.32%
Miraflores	86.41%	34.14%	52.27%

Comparando los valores de límite líquido con los rangos de clasificación presentados en la Tabla 13 se puede tomar un primer parámetro que define el potencial expansivo de los suelos elegidos como se presenta en la Tabla 15, teniendo que:

Tabla 15 - Clasificación cualitativa de expansividad mediante relación con límite líquido.

Muestra	Rango	Grado de expansión
Challuabamba	LL>60	Elevado
Baños	LL>60	Elevado
Miraflores	LL>60	Elevado

Al igual que con el límite líquido, comparando los valores obtenidos de la relación de índice de plasticidad con la Tabla 13, se tiene la clasificación que se muestra en la Tabla 16:

Tabla 16 - Clasificación cualitativa de expansividad mediante relación con índice de plasticidad

Muestra	Rango	Grado de expansión
Challuabamba	IP>35	Elevado
Baños	25<IP<35	Marginal
Miraflores	IP>35	Elevado

Debido a que los rangos presentados en la Tabla 13 para grado de expansión basándose en el límite líquido son mayores a 60%, dan para los tres suelos un grado elevado de expansión siendo Miraflores con un 86.41% el más alto.

Lo que se debe tener presente es que el resultado perteneciente a la zona de Baños con respecto a índice de plasticidad cae dentro del rango de 25%-35% lo que clasifica al suelo de baños con un grado de expansión marginal y a los suelos de Challuabamba

y Miraflores, cuyo límite de plasticidad es superior a 35%, con un grado elevado de expansión.

4.1.3. Gravedad específica

Como se mencionó, la gravedad específica es un valor adimensional que representa la relación entre el peso específico de los sólidos y el peso específico del agua. Es un parámetro importante para muchas de las relaciones que se presentarán en los próximos puntos del estudio.

La gravedad específica o G_s de cada uno de los suelos estudiados se presentan en la Tabla 17, los valores indican que los tres suelos están dentro del rango presentado por Braja M. Das para considerarlos como un suelo arcilloso o limoso, ya que este rango comprende los valores desde 2.6 a 2.9.

Tabla 17 - Densidad relativa (G_s)

	Challuabamba	Baños	Miraflores
G_s	2.76	2.65	2.73

4.1.4. Clasificación de suelos

Con los resultados de los ensayos previamente realizados se obtienen los parámetros requeridos para la clasificación de los tres suelos. Los parámetros necesarios para dicho fin son: distribución granulométrica obtenida por el método de cribado que se presenta en la Tabla 18, los límites de Atterberg presentados en la Tabla 14 y como comprobación se tiene un rango de valores para gravedad específica de cada uno de los suelos que debe estar en concordancia con el rango establecido en la sección 4.1.3.

Tabla 18 - Distribución granulométrica.

Tamiz N°	Abertura [mm]	Muestra		
		Challuabamba	Baños	Miraflores
		% Pasa	% Pasa	% Pasa
N°4	4.750	100.00	100.00	100.00
N°8	2.380	99.57	97.39	99.78
N°16	1.190	98.90	94.23	99.02
N°30	0.590	98.24	88.53	98.02
N°50	0.297	97.84	81.13	97.12
N°100	0.149	97.27	74.43	96.36
N°200	0.074	96.64	70.05	96.00

Se clasificaron los suelos mediante la metodología de la SUCS y la metodología de la AASHTO, teniendo los siguientes resultados:

La muestra obtenida de Miraflores se clasificó como una arcilla de alta plasticidad mediante la metodología de la SUCS y como un tipo de suelo A-7-5 mediante la metodología de la AASHTO a causa de los siguientes parámetros:

- Metodología de AASHTO
 - El porcentaje de material que pasa la malla N°200 es de 96% siendo mayor a 35% que es el límite inferior para ser clasificado como material fino (limo o arcilla)
 - Teniendo un límite líquido de 86.41%, superior al mínimo de este tipo de suelo que es 41 y un índice de plasticidad de 52 igualmente superior al mínimo de 11 se dice que es un suelo A-7.
 - Puesto que hay dos tipos de suelo A-7 se comprueba la relación $IP \leq LL-30$ teniendo que $52 \leq (86-30=56)$ se concluye que es un suelo A-7-5.

- Metodología de SUCS
 - El límite líquido es mayor a 50%.
 - Es un material inorgánico.
 - Según las características del suelo, éste se encuentra sobre la línea A de la carta de plasticidad Ilustración 29.
 - Menos del 30% de material excede la malla N°200 por lo que es un tipo de suelo CH.
 - Además, como menos del 15% de material excede la malla N°200, se dice que es una arcilla de alta plasticidad.

La muestra obtenida de Baños se clasificó como una arcilla de alta plasticidad con arena mediante la metodología de la SUCS y como un tipo de suelo A-7-5 mediante la metodología de la AASHTO a causa de los siguientes parámetros:

- Metodología de la AASHTO
 - El porcentaje de material que pasa la malla N°200 es de 70.05% siendo mayor a 35% que es el límite inferior para ser clasificado como material fino (limo o arcilla).
 - Teniendo un límite líquido de 67.27%, superior al mínimo de este tipo de suelo que es 41 y un índice de plasticidad de 34 igualmente superior al mínimo 11 se dice que es un suelo A-7.
 - Puesto que hay dos tipos de suelo A-7 se comprueba la relación $IP \leq LL-30$ teniendo que $34 \leq (67-30=37)$ se concluye que es un suelo A-7-5.

- Metodología de SUCS
 - El límite líquido es mayor a 50.
 - Es un material inorgánico.
 - Según las características del suelo, éste se encuentra sobre la línea A de la carta de plasticidad Ilustración 29.
 - Menos del 30% de material excede la malla N°200 por lo que es un tipo de suelo CH.
 - Además, como más del 29% de material excede la malla N°200 y no existen gravas, se dice que es una arcilla de alta plasticidad con arena.

La muestra obtenida de Challuabamba se clasificó como un limo elástico mediante la metodología de la SUCS y como un tipo de suelo A-7-5 mediante la metodología de la AASHTO a causa de los siguientes parámetros:

- Metodología de la AASHTO
 - El porcentaje de material que pasa la malla N°200 es de 96.64% siendo mayor a 35% que es el límite inferior para ser clasificado como material fino (limo o arcilla)
 - Teniendo un límite líquido de 79.25%, superior al mínimo de este tipo de suelo que es 41 y un índice de plasticidad de 41 igualmente superior al mínimo 11 se dice que es un suelo A-7.
 - Puesto que hay dos tipos de suelo A-7 se comprueba la relación $IP \leq LL-30$ teniendo que $41 \leq (79-30=49)$ se concluye que es un suelo A-7-5.

- Metodología de SUCS
 - El límite líquido es mayor a 50.
 - Es un material inorgánico.
 - Según las características del suelo, éste se encuentra bajo la línea A de la carta de plasticidad Ilustración 29.
 - Menos del 30% de material excede la malla N°200 por lo que es un tipo de suelo MH.
 - Además, como menos del 15% de material excede la malla N°200, se dice que es un limo elástico.

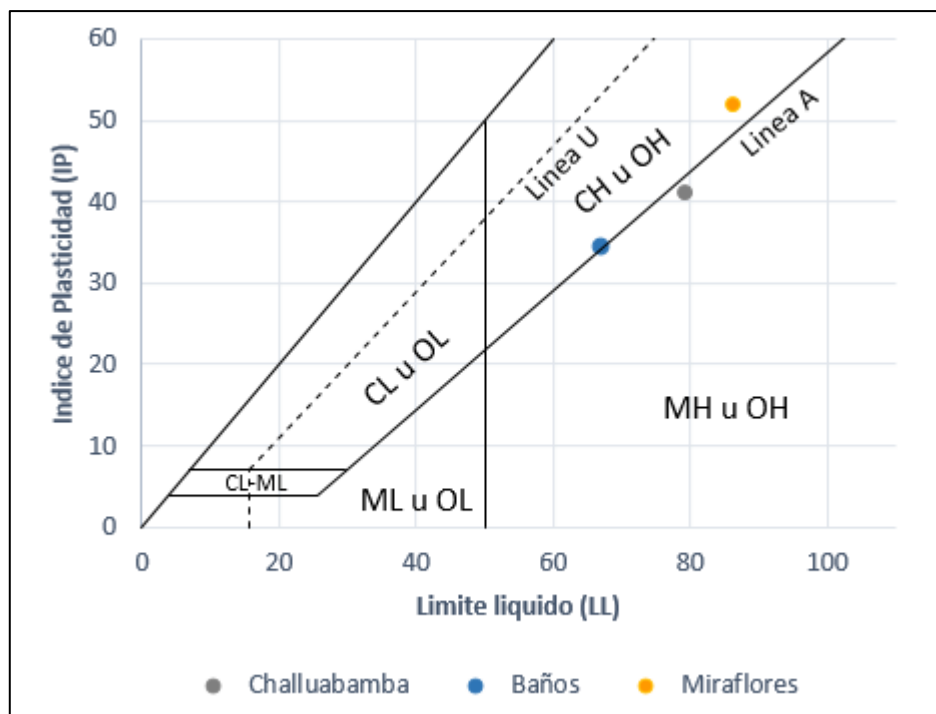


Ilustración 29 - Carta de plasticidad

Se puede apoyar la clasificación dada mediante el valor del G_s de cada suelo. Comparando los valores de la Tabla 17, se llegó a la conclusión de que efectivamente se trata de un suelo arcilloso o limoso ya que todos los valores de G_s están dentro del rango de 2.6 a 2.9 según Das (2011).

4.1.5. Relaciones fundamentales

Se realizó el cálculo de las relaciones fundamentales para cada una de las muestras de suelo natural y se las presenta en la Tabla 19.

Tabla 19 - Relaciones fundamentales iniciales.

Relación fundamental		Challuabamba	Baños	Miraflores
Relación de vacíos	e	0.96	0.95	0.88
Porosidad	n	48.95%	48.52%	46.61%
Grado de Saturación	S	84.40%	74.09%	76.89%
Contenido de humedad	ω	29.28%	26.23%	24.53%
Peso específico	γ	1.82 g/cm ³	1.72 g/cm ³	1.82 g/cm ³
Peso específico seco	γ_s	1.41 g/cm ³	1.37 g/cm ³	1.46 g/cm ³
Gravedad específica	G _s	2.76	2.65	2.73

Los valores presentados en la Tabla 19 sirvieron como un punto de referencia para los resultados que se obtuvieron luego de realizar los ensayos para determinar el hinchamiento, es decir, se pudo ver el incremento de saturación que existe al momento de aumentar el contenido de humedad del suelo.

4.2. Determinación del carácter expansivo de los suelos seleccionados

4.2.1. Expansión libre

Para que los datos obtenidos tengan una validez, se optó por realizar los ensayos a tres muestras inalteradas de cada una de las zonas de interés. Se tomaron los datos de expansión según los tiempos especificados en la norma ASTM D-4829, mediante los cuales se generaron curvas de expansión que muestra el cambio de volumen del suelo a corto y a largo plazo.

Se ensayaron las muestras con las características del suelo que se encontraron en campo, una de las más importantes fue la humedad. Cabe recalcar que se decidió dejar el tiempo máximo que contempla la norma a todas las muestras, aunque su cambio volumétrico no varíe por más de un periodo de 8 horas, esto para que las condiciones de saturación sean las mismas en cada una de ellas. Con el propósito de que los resultados obtenidos del ensayo tengan una mayor exactitud, se tomó las medidas de diámetro, altura y peso de todos los anillos utilizados por separado y con estas se realizaron los cálculos respectivos en cada muestra.

Los datos más importantes que se obtuvieron del ensayo fueron; el porcentaje de expansión, la curva de expansión a lo largo del ensayo, la humedad y saturación antes y después del ensayo, y la densidad, esta última necesaria para realizar el proceso de remodelado con materiales estabilizantes.

Para obtener el índice de expansión, se utilizó las fórmulas de la norma ASTM D-4829, que permiten realizar la clasificación de expansividad cualitativa del suelo al comparar su resultado con los rangos encontrados en la Tabla 5 que se encuentra en la sección 3.5.1.

A continuación, se presentan en la Tabla 20 los resultados obtenidos de los ensayos realizados con muestras obtenidas de la zona de Challuabamba:

Tabla 20 - Resultados Expansión libre sector de Challuabamba.

Muestra	Porcentaje de expansión	Humedad inicial	Saturación inicial	Humedad final	Saturación final	Densidad seca	Índice de expansión
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g/cm ³]	
M1-C	3.81	29.28	87.76	34.14	94.89	1.44	38.11
M2-C	3.32	29.28	80.90	35.86	89.92	1.38	33.20
M3-C	2.75	29.28	84.52	34.73	92.29	1.41	27.46

Se obtuvo valores de humedad inicial iguales de 29.28% para el sector de Challuabamba, debido que las muestras inalteradas se recolectaron de un mismo bloque. Tomando los resultados de la Tabla 20 se muestra que debido a que la saturación al finalizar el ensayo se encuentra próxima al 100% para las tres muestras, se tuvo que, el suelo desarrolló su expansividad casi totalmente. Comparando el índice de expansividad perteneciente a la Tabla 20 con los rangos de la Tabla 5, todas las muestras son clasificadas con un potencial expansivo “bajo” ya que se encuentran dentro del rango de 21 - 50 para índice de expansión.

En cuanto a los resultados obtenidos de la zona de Challuabamba se tuvo que la mayor expansión a causa de la hidratación de la muestra ocurrió en las primeras dos horas aproximadamente, para posteriormente llegar a una tendencia casi horizontal de expansión como se muestra en la Ilustración 30.

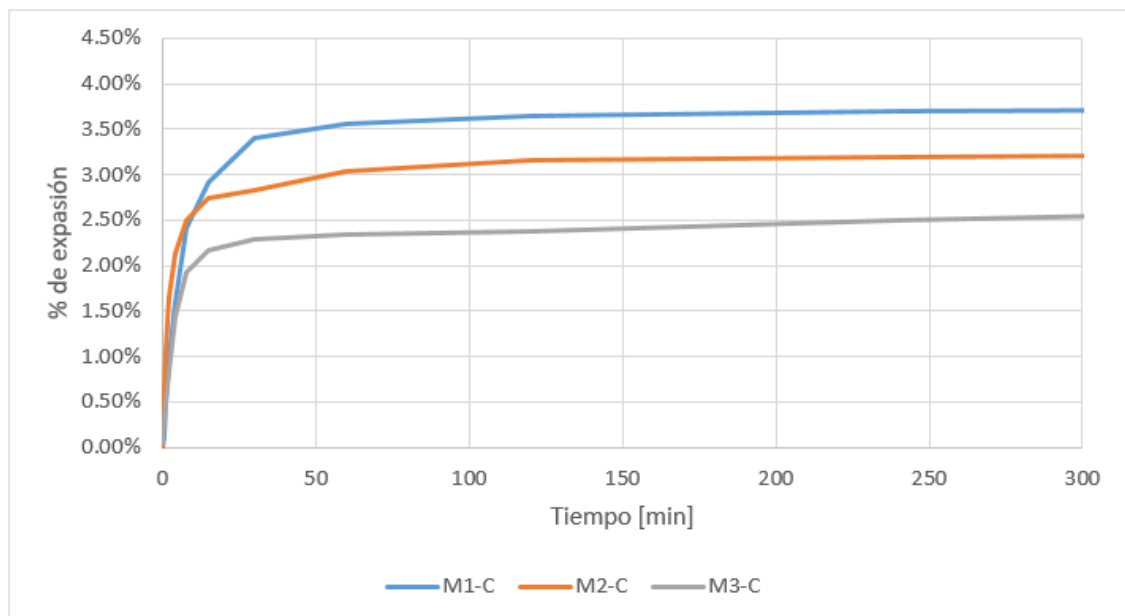


Ilustración 30. Expansión a lo largo del tiempo (periodo inicial) sector de Challuabamba.

A continuación, se presentan en la Tabla 21 los resultados obtenidos de los ensayos realizados con muestras obtenidas de la zona de Baños:

Tabla 21 - Resultados expansión libre Baños.

Muestra	Porcentaje de expansión	Humedad inicial	Saturación inicial	Humedad final	Saturación final	Densidad seca	Índice de expansión
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g/cm ³]	
M1-B	2.56	27.21	69.75	37.44	82.87	1.30	25.58
M2-B	2.86	24.27	83.54	28.62	91.18	1.50	28.64
M3-B	3.25	27.21	68.98	34.30	78.40	1.30	32.49

Debido a una menor humedad obtenida en campo, según la Tabla 21 se tiene que la saturación con la que se inicia el ensayo es menor a la de las muestras del sector de Challuabamba, por lo que se espera un mayor potencial expansivo.

La Ilustración 31 muestra el comportamiento de expansión libre en las primeras dos horas de ensayo.

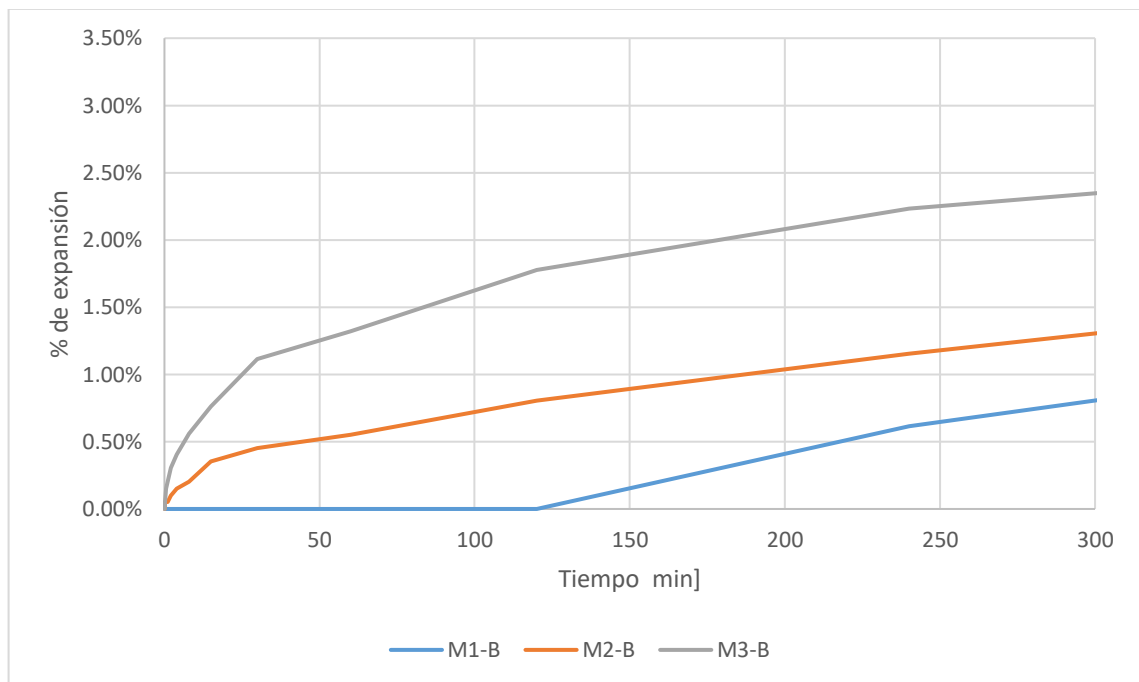


Ilustración 31 - Expansión a lo largo del tiempo (periodo inicial) sector de Baños.

A diferencia de la curva de expansión obtenida para el suelo de Challuabamba, se tiene que Baños posee un hinchamiento representativo hasta el final del ensayo, por lo cual podría seguir expandiéndose por un tiempo mayor al regulado por la norma como se muestra en la Ilustración 32 , al tener una saturación final menor al 90% en dos de las tres muestras esto contribuye para que el suelo continúe expandiéndose, debido a la posibilidad de un aumento en la humedad a causa del porcentaje de vacíos llenos de aire que aún posee el suelo.

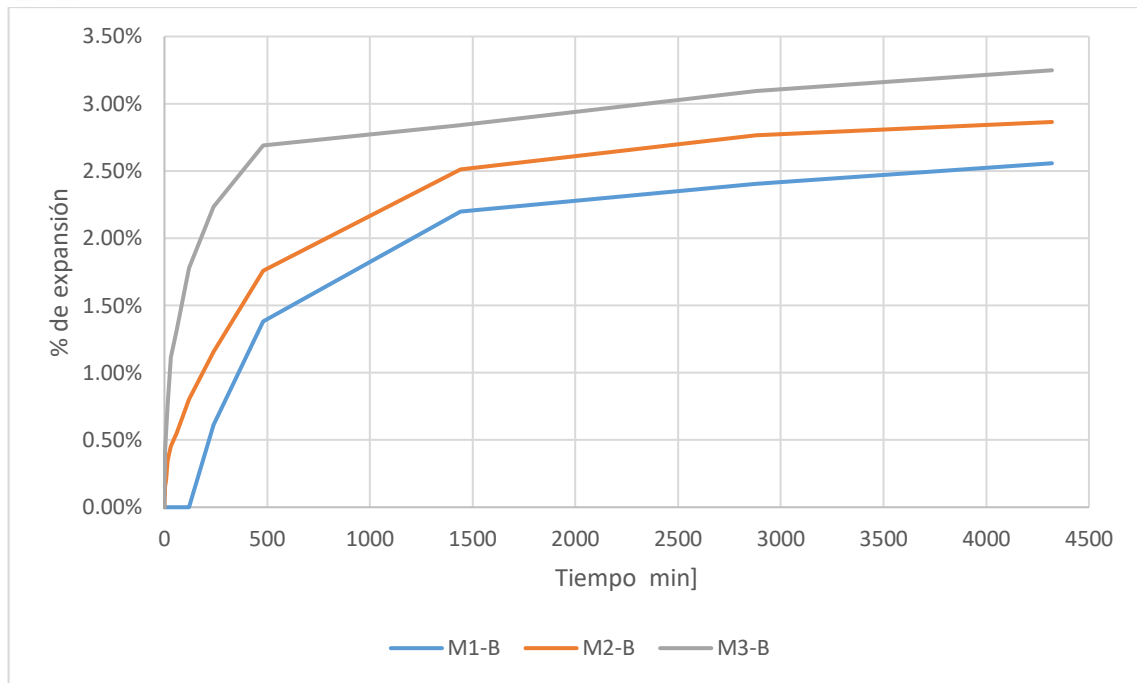


Ilustración 32 - Expansión a lo largo del tiempo (ensayo completo) sector de Baños.

Comparando el índice de expansividad presentada en la Tabla 21 con los rangos de la Tabla 5, todas las muestras son clasificadas con un potencial expansivo “bajo” debido a que se encuentran dentro del rango de 21 - 50 para índice de expansión.

Aunque el suelo de Baños puede seguir expandiéndose, no es posible que el índice de expansión incremente lo suficiente para cambiar de rango de clasificación de “bajo” a “medio” debido a las características del suelo.

A continuación, se presentan en la Tabla 22 los resultados obtenidos de los ensayos realizados con muestras obtenidas de la zona de Miraflores:

Tabla 22 - Resultados expansión libre Miraflores.

Muestra	Porcentaje de expansión	Humedad inicial	Saturación inicial	Humedad final	Saturación final	Densidad seca	Índice de expansión
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g/cm ³]	
M1-M	41.85	26.78	88.54	33.79	99.55	1.50	418.46
M2-M	48.42	25.49	71.64	48.59	99.45	1.39	484.19
M3-M	51.73	21.33	70.49	41.16	99.95	1.50	517.26

La Tabla 22 muestra que, aunque la saturación inicial del suelo no es baja, el hinchamiento que se consiguió en el ensayo en todas las muestras es considerable teniendo valores superiores a 400 de índice de expansión. A causa de las características del suelo de este sector, la absorción de agua fue tal que la saturación de la muestra fue cercana al 100% al ser sometida a las mismas condiciones que los ensayos de expansión de las otras zonas, por lo que se prevé que el suelo no tendrá una expansión adicional al dejarla más tiempo del estipulado en la norma.

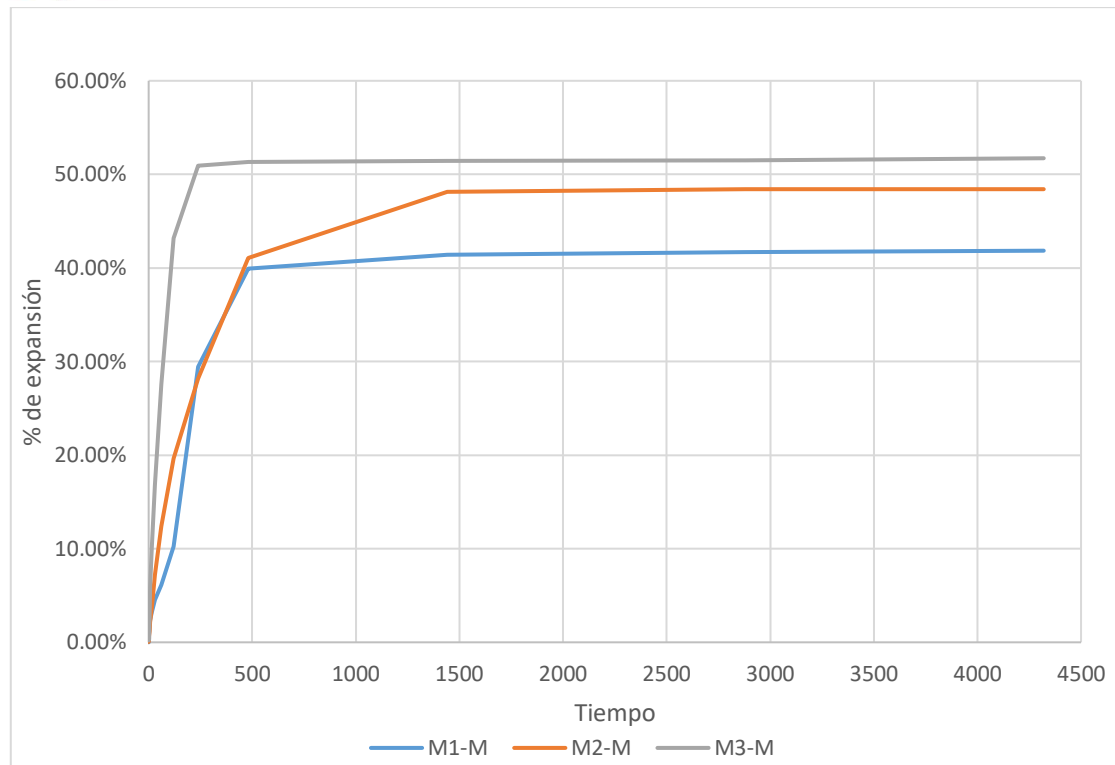


Ilustración 33 - Expansión a lo largo del tiempo sector de Miraflores.

Al igual que la gráfica de expansión para Challuabamba, la Ilustración 33 muestra que la tendencia de la curva llega a un punto en el cual se estabiliza y es prácticamente ya no existe un cambio volumétrico.

Comparando el índice de expansividad con los rangos que se muestran en la Tabla 5, todas las muestras son clasificadas con un potencial expansivo “muy alto” puesto que se encuentran sobrepasando el valor máximo de 160 de índice de expansividad.

La razón por la que la humedad inicial del suelo es diferente en cada una de las muestras, es debido a que para este ensayo no se debe alterar las características y propiedades físicas con las que se extrae el suelo; al no haber un cambio en las propiedades se considera que el material a ensayar reaccionará de la misma manera que el suelo in- situ reaccionará frente al contacto con el agua.

Todos los ensayos realizados tuvieron una duración total de 72 horas (4320 minutos), pero no se presentó el total de los resultados en las curvas de expansión debido a que, a partir del límite presentado en las ilustraciones, la expansión del suelo tenía una variación mínima por lo que se consideró que no presenta una mayor relevancia.

Se presenta los resultados obtenidos en laboratorio en cada uno de los ensayos de expansión libre de una manera detallada en los Anexos de ensayos de laboratorio.

4.2.2. Presión de expansión

En este ensayo, se tomaron 3 muestras de cada zona de estudio para obtener datos con una mayor confiabilidad.

Se siguió la norma ASTM D-4829 para el ensayo de presión de expansión, al tener solamente muestras prácticamente superficiales, no se da una presión inicial al ensayo. Para trabajar en igualdad de condiciones, todos los ensayos tuvieron una duración final de 48 horas a partir del contacto de la muestra con el agua.

A continuación, se presenta en la Tabla 23 los resultados obtenidos de las muestras del sector de Challuabamba:

Tabla 23 - resultados expansión controlada sector de Challuabamba.

Muestra	Presión de expansión	Humedad inicial	Saturación inicial	Humedad final	Saturación final	Densidad seca
	[kg/cm ²]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g/cm ³]
M1P-C	0.08	21.82	61.22	28.82	72.45	1.39
M2P-C	0.32	21.82	65.79	25.15	71.73	1.44
M3P-C	0.31	21.82	63.60	23.86	67.22	1.42

Las muestras utilizadas para los ensayos de expansión controlada de la zona de Challuabamba poseen la misma humedad de campo debido a que fueron extraídas de un solo bloque. A causa de lo mencionado anteriormente se consiguen valores de saturación similares al finalizar el ensayo, la muestra M2P-C tiene una presión de expansión de 0.32 kg/cm² y la M3P-C de 0.31 kg/cm², por lo que su variación es relativamente baja siendo de 0.01 kg/cm². Al ser tan próximos estos valores, se acepta como presión de expansión al promedio de los dos resultados dando un valor de 0.315 kg/cm², lo que no significa un peligro para las construcciones que pueden llevarse a cabo en la localidad de muestreo.

Los resultados de la muestra M1P-C se descarta para el promedio por no ser representativa en comparación de las otras dos muestras.

Al igual que en Challuabamba, en el sector de Baños también se obtuvieron las muestras de un mismo bloque por lo que la humedad inicial fue la misma y la saturación no tuvo una variación significativa.

Tabla 24 - Resultados expansión controlada sector de Baños

	Presión de expansión	Humedad inicial	Saturación inicial	Humedad final	Saturación final	Densidad seca
	[kg/cm ²]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g/cm ³]
M1P-B	0.08	27.21%	79.14%	30.44%	84.06%	1.39
M2P-B	0.08	27.21%	73.44%	29.91%	77.42%	1.34
M3P-B	0.08	27.21%	75.61%	34.73%	86.08%	1.36

Se llegó a una saturación mayor no obstante la presión de hinchamiento fue baja, con un valor de 0.08 kg/cm² para todos los ensayos, lo que se considera despreciable para causar daño en construcciones pequeñas.

El muestreo en el sector de Miraflores se lo realizó básicamente en el mismo punto, pero cada uno de los anillos para el ensayo se extrajeron de diferentes bloques de muestra por lo que se decidió obtener la humedad inicial de cada una de ellas.

Tabla 25 - Resultados expansión controlada sector de Miraflores

	Presión de expansión	Humedad inicial	Saturación inicial	Humedad final	Saturación final	Densidad seca
	[kg/cm ²]	[%]	[%]	[%]	[%]	[g/cm ³]
M1P-M	15.32	25.49%	69.65%	33.01%	80.56%	1.37
M2P-M	12.1	23.40%	66.16%	34.52%	82.47%	1.39
M3P-M	13.06	23.64%	66.56%	33.66%	81.39%	1.39

Puesto que los bloques se encontraron cercanos entre sí, no se presentó una variación significativa en la humedad de las muestras, teniendo una variación no mayor al 2.09%.

La saturación final tampoco presentó una variación considerable en las muestras. La presión de expansión que ocurrió finalizado el ensayo es considerablemente alta en comparación con los suelos de Challuabamba y Baños. Se tiene un promedio de 13.49 kg/cm² de presión de expansión lo que puede afectar a construcciones pequeñas al momento que el suelo entre en contacto con agua.

4.2.3. Ensayo de Lambe

Se utilizó el equipo medidor de variación de volumen o también conocido como equipo Lambe únicamente como un medidor de presión para un periodo corto de tiempo, en este caso 2 horas.

Se realizó la calibración del anillo de carga de manera empírica, variando la carga sometida y observando la deformación que esta forma. De esta manera se recolectaron puntos en un plano en el cual el eje de las ordenadas representa la deformación y el eje de las abscisas representa la carga a la que se sometió el anillo, al momento de realizar una regresión lineal se obtuvo una ecuación general para cualquier deformación que se pueda conseguir.

En la Ilustración 34 se presenta la curva obtenida y la Ecuación 23 indica la ecuación de la calibración del anillo de carga.

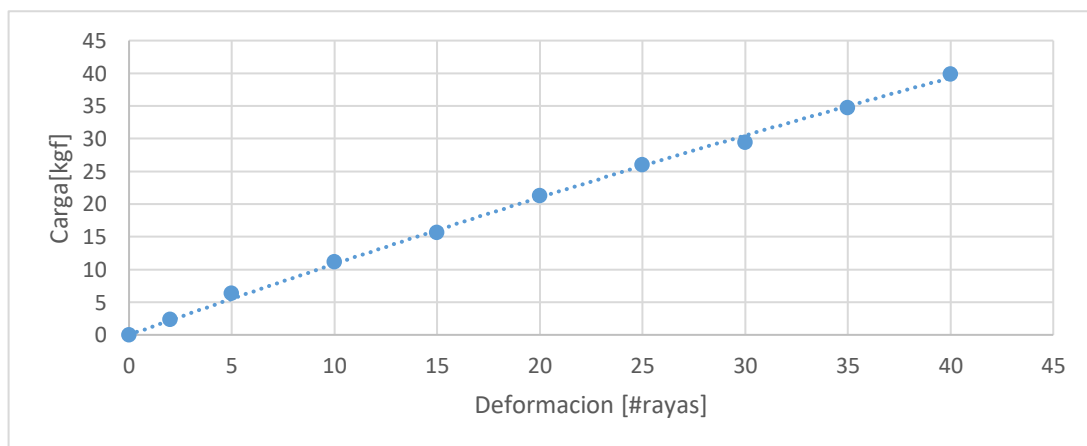


Ilustración 34 - Curva de calibración de anillo de Lambe.

$$C = -0.0034 * D^2 + 1.1182 * D$$

Ecuación 23

Donde:

C: carga [kgf]

D: Numero de rayas tomadas del deformímetro del equipo de Lambe.

En el Anexo 3 se encuentran los datos completos de la calibración del equipo de Lambe.

Al ocupar el equipo de Lambe de esta manera únicamente sirvió como una base de comparación del potencial expansivo entre los tres suelos, tomando en cuenta que las condiciones a lo largo del ensayo son las mismas. Al igual que en los ensayos anteriormente presentados, se utilizó tres muestras de cada una de las zonas. En la Tabla 26 se presenta los datos obtenidos al final de un periodo de 2 horas de ensayo de cada una de las zonas.

Tabla 26 - Resultados medidor de cambio volumétrico.

	Muestra 1 [kg/cm ²]	Muestra 2 [kg/cm ²]	Muestra 3 [kg/cm ²]
Challuabamba	0.14	0.14	0.14
Baños	0.14	0.14	0.14
Miraflores	2.93	2.61	2.19

Las muestras de Baños y Challuabamba no produjeron una carga considerable por lo que la lectura del dial se mantuvo en la lectura equivalente a 0.14 kg/cm² debido al bajo que presentan estos suelos. Por el contrario, las muestras obtenidas de la zona de Miraflores presentaron una magnitud de expansión considerable en comparación con Baños y Challuabamba, por lo que se define mediante este método como el suelo más desfavorable para la construcción y por esta razón el principal candidato para la estabilización.

4.2.4. Método de las probetas

Siguiendo el procedimiento presentado se realizó el ensayo para la determinación del índice de expansión por el método de las probetas.

Se empleó tetracloruro de carbono como líquido no polar para obtener V_k de la Ecuación 13 y como indica la norma, agua destilada, para la obtención del volumen V_d referente al volumen de suelo expandido. En la Tabla 27 se presenta los resultados obtenidos del ensayo realizado además del valor del índice de expansión.

Tabla 27 - Cálculo de índice de expansión.

	Volumen en agua destilada [ml]	Volumen en Tetracloruro de carbono (CCl ₄) [ml]	IEL
Challuabamba	17.0	10.5	61.9
Baños	14.0	10.0	40.0
Miraflores	21.0	10.5	100.0

Acorde a lo presentado en el Tabla 7, se realizó una clasificación cualitativa de los suelos estudiados tomando como referencia su índice de expansión libre, teniendo como resultado que Baños tiene un grado de expansividad "BAJO" al encontrarse en el rango ($0 < IEL < 50$) del ensayo B de la Tabla 7.

La muestra obtenida de Challuabamba presentó un grado de expansividad "MEDIO" al estar en el rango de ($50 < IEL < 100$). Finalmente se observó que la muestra obtenida de Miraflores tiene un grado de expansión "ALTO" ya que se encuentra en el límite inferior del rango de ($100 < IEL < 200$) de la Tabla 7.

El resultado del ensayo de las probetas no es totalmente confiable debido a que la medida del volumen inicial y volumen expandido del suelo no se realiza de una manera precisa a causa de la graduación de la probeta y del error humano al momento de la toma de la lectura.

4.2.5. Intercambio catiónico y pH

Como resultado del estudio de capacidad de intercambio catiónico se tiene como característica general que todos los suelos tienen una alta capacidad de intercambio por la cual es posible su estabilización, cabe recalcar que el proceso de intercambio catiónico por sí solo no garantiza la estabilización de los suelos expansivos (Petry & Armstrong, 1989). La tabla de resultados del estudio de capacidad de intercambio catiónico se presenta en el Anexo 4.

Mediante el valor obtenido de capacidad de intercambio catiónico se realizó una determinación del principal material por el cual está conformado los suelos estudiados, dando como resultado, al tener Challuabamba un valor de 46.878 meq/100 g de CIC y Baños de 48.960 meq/100 g, se consideran que son suelos del tipo Metahalosita o Halosita $4H_2O$.

Por otro lado, los valores que presentó el ensayo de Miraflores; CIC de 31.380 meq/100 g, da como resultado que este suelo está compuesto por Illitas lo que significaría que es un material no expansivo. Por otro lado, tomando de referencia los resultados obtenidos por la caracterización física de este suelo que indican que es altamente expansivo, y basado en el estudio realizado por Faust y Murata en 1953 se dice que existe una posibilidad mayor a que este suelo pertenezca al tipo montmorillonita. Se acepta este punto de vista debido a que existen tipos de este mineral que poseen una pobre sustitución o intercambio en la capa o unidad tetraédrica produciendo una reducción significativa en la CIC según Carroll (1959). La tabla de clasificación de arcillas en base a su intercambio catiónico se presenta en el Anexo 5.

Los valores de pH que presentan las muestras de suelo de Baños y Miraflores que son 7.5 y 8.2 respectivamente, corresponden a los niveles normales que debe poseer una arcilla en estado natural debido a que generalmente son suelos alcalinos, por el contrario, el pH de Challuabamba resulta ser muy bajo para el tipo de suelo encontrado con un valor de 5.4, lo que significaría la presencia de algún compuesto externo que acidifica la zona de extracción de las muestras, se debería corroborar esta sospecha mediante ensayos químicos especializados. Los valores obtenidos de pH de cada suelo estudiado se presentan en el Anexo 6.

4.2.6. Síntesis de resultados

La Tabla 28 presenta un resumen de los resultados de los ensayos correspondientes a expansión acompañados de la clasificación cualitativa que se le puede dar al resultado de cada ensayo.

Tabla 28 - Síntesis de resultados de ensayos de expansión.

	Ensayo de Lambe		Expansión Libre		Expansión Controlada		Método de probetas	
	Resultado	Clasificación	Resultado	Clasificación	Resultado	Clasificación	Resultado	Clasificación
	[kg/cm ²]		-		[kg/cm ²]		-	
Challuabamba	0.14	-	32.92	Baja	0.24	-	61.90	Medio
Baños	0.14	-	28.90	Baja	0.08	-	40.00	Bajo
Miraflores	2.58	Mayor	473.30	Muy alta	13.49	Mayor	100.00	Alto

Cabe recalcar que no es posible dar una clasificación mediante el ensayo de Lambe debido al procedimiento seguido y al tipo de muestra que se empleó, por el contrario, se utiliza únicamente como una comparación interna entre los tres suelos estudiados, teniendo como resultado que la presión ejercida por la muestra de Miraflores es la “Mayor” entre los tres suelos.

Con respecto a los resultados del ensayo de presión de expansión, no existe una clasificación en base a este parámetro por lo que, al igual que en el ensayo de Lambe, únicamente servirá como una comparación entre las muestras, en el cual al que presenta más expansión se la indicará como “Mayor”.

4.3. Estabilización

En base a la clasificación presentada en la tabla resumen (Tabla 28) el suelo con un potencial expansivo mayor es el encontrado en el sector de Miraflores ya que los 4 indicadores principales señalaron que los resultados de este suelo fueron los más desfavorables. Además, los indicadores secundarios como límite líquido e índice de plasticidad también señalaron que este es el suelo más expansivo como se indica en la sección 4.1.2.

Para la estabilización se utilizaron cinco aditivos, los cuales, mediante el ensayo de expansión libre, servirán para encontrar el que mejor realice el proceso de estabilización y posteriormente comparar el resultado costo-beneficio entre dichos materiales.

4.3.1. Muestras remoldeadas sin estabilizantes

Como un punto anterior al proceso de estabilización del suelo, se realizó el ensayo con muestras remodeladas en el laboratorio, simulando el peso específico seco de campo que varió en un rango de 1.36 a 1.5 g/cm³, la cual para facilidad de los cálculos se utilizó un promedio dando un valor de 1.4 g/cm³ y otra con una menor densidad de 1.2 g/cm³.

A continuación, se presenta la expansión máxima conseguida por dos muestras ensayadas en expansión libre de cada una de las densidades trabajadas, como se indica en la Tabla 29

Tabla 29 - Expansión máxima de muestras remoldeadas.

Peso específico seco [g/cm ³]	Porcentaje de expansión [%]	
	Muestra 1	Muestra 2
1.2	22.02	17.98
1.4	32.23	36.09

La Ilustración 35 muestra la curva de expansión de las muestras remoldeadas y de la muestra inalterada con mayor expansión que se obtuvo a lo largo del tiempo de ensayo.

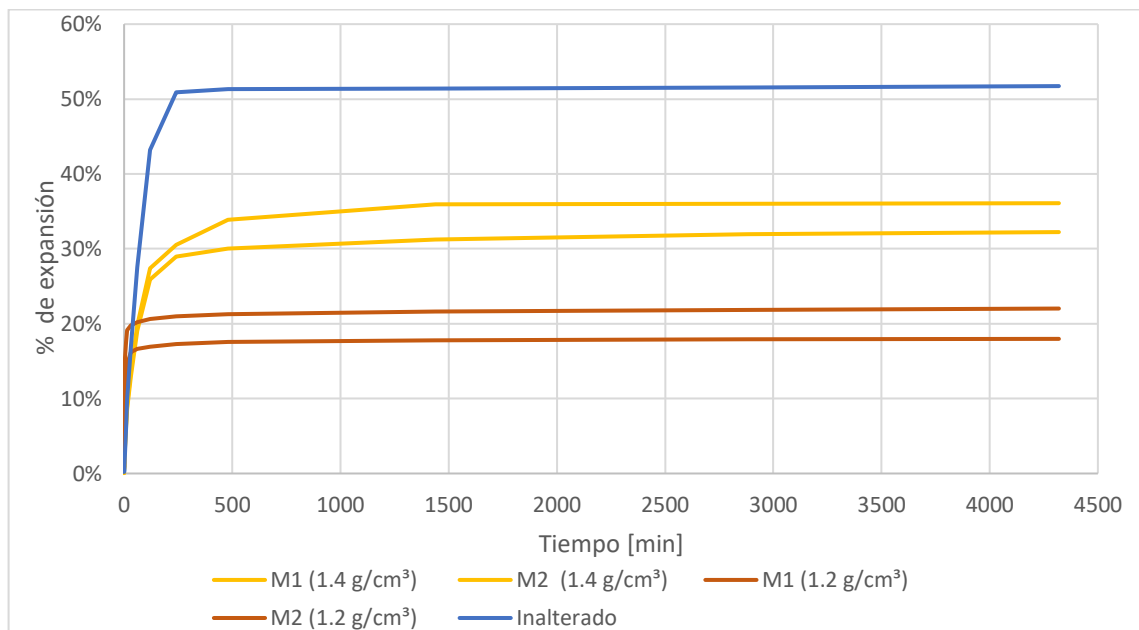


Ilustración 35 - Curvas de expansión de muestras remoldeadas.

Los ensayos realizados dan como resultado que, si se posee una menor densidad en el remoldeo de la muestra, la expansión final disminuye.

Comparando el hinchamiento que sufre el suelo al ser ensayado con muestras inalteradas y remoldeadas, se observa que en un suelo sin manipulación el porcentaje de expansión es mayor al que se obtiene de una muestra remoldeada, ya sea en cualquiera de las dos densidades trabajadas en este proyecto.

4.3.2. Procesos de mejoramiento

Se presenta en la siguiente sección la estabilización del suelo obtenido de la zona de Miraflores remoldeado con dos densidades diferentes, la primera densidad es la obtenida en campo y la segunda se realizó con una reducción del 15% de la densidad normal de campo. Se utilizó el ensayo de expansión libre como medio para la obtención del porcentaje de expansión del suelo para mediante este valor comparar la efectividad de los estabilizantes.

4.3.2.1. Densidad de campo

A partir de las muestras utilizadas para la caracterización de los suelos expansivos se obtuvieron tres parámetros necesarios para encontrar un peso específico, los cuales fueron utilizados para el remoldeo de las muestras estabilizadas, estos parámetros se indican a continuación: peso de la muestra, volumen que ocupa dicho material y la humedad a la que es extraído de campo. Al promediar los pesos específicos secos de cada muestra se obtuvo como resultado que las muestras remoldeadas debían tener 1.4 g/cm^3 de peso específico seco para que los resultados puedan ser comparados con material inalterado.

En las tablas 30 y 31 se presenta los porcentajes de expansión máximos al que llega cada una de las muestras posterior al ensayo de expansión libre, asimismo se encuentra las propiedades iniciales y las propiedades finales que son directamente influenciadas por el uso de los diferentes aditivos estabilizantes. Los resultados de los ensayos corresponden a un tiempo de curado de 3 y 7 días respectivamente.

Tabla 30 - Resultados a los 3 días con densidad de campo.

Estabilizante	Muestra	Porcentaje de expansión	Humedad inicial	Saturación inicial	Humedad final	Saturación final	Índice de expansión
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
Cal	M 1	1.42	20.69	58.86	34.80	79.93	14.20
	M 2	2.07	20.17	57.90	36.58	82.03	20.70
Cemento	M 1	16.97	21.46	60.25	41.84%	87.65	169.70
	M 2	16.18	21.65	60.59	41.65	87.46	161.80
Yeso	M 1	24.32	24.36	65.67	54.73	99.35	243.20
	M 2	26.05	24.11	65.65	52.66	98.27	260.50
Ceniza volante	M 1	18.90	18.78	57.54	46.00	94.84	189.00
	M 2	17.56	18.76	58.43	46.51	96.57	175.60
Humo de sílice	M 1	26.92	18.33	53.98	54.50	98.17	269.20
	M 2	28.23	18.39	54.10	52.66	96.76	282.30

Tabla 31 – Resultados a los 7 días con densidad de campo.

Estabilizante	Muestra	Porcentaje de expansión	Humedad inicial	Saturación inicial	Humedad final	Saturación final	Índice de expansión
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
Cal	M 1	0.81	20.69	58.96	34.73	79.96	8.10
	M 2	1.02	20.17	58.35	33.40	78.76	10.20
Cemento	M 1	9.10	21.46	61.04	37.58	84.11	91.00
	M 2	10.04	21.65	61.38	37.96	84.53	100.40
Yeso	M 1	9.49	24.36	67.40	51.94	99.37	94.90
	M 2	8.97	24.11	66.98	51.31	98.87	89.70
Ceniza volante	M 1	12.70	18.78	56.71	44.54	92.34	127.00
	M 2	13.77	18.76	56.67	45.29	93.05	137.70
Humo de sílice	M 1	26.24	18.33	53.09	55.42	97.54	262.40
	M 2	27.97	18.39	53.21	56.52	98.34	279.70

El material utilizado para las muestras ensayadas a los 3 y 7 días se tomó de una misma mezcla compuesta por el suelo de Miraflores y cada uno de los estabilizantes utilizados, es decir cada muestra M1 tanto para 3 y 7 días de curado provino de la misma mezcla de cal, cemento, yeso, ceniza volante o humo de sílice. El mismo procedimiento se realizó con las muestras M2.

Comparando los resultados obtenidos en estos ensayos de las muestras con materiales estabilizantes y las muestras inalteradas, se puede ver la disminución en la expansión como se muestra la Tabla 32, tomando en consideración a la mayor expansión obtenida de 51.73% correspondiente a la muestra inalterada M3-M.

Tabla 32. Porcentaje de reducción del potencial expansivo con densidad de campo.

Estabilizante	Porcentaje de reducción de expansión libre	
	Tiempo de curado	
	3 días	7 días
	[%]	[%]
Cal	96.63	98.23
Cemento	67.96	81.50
Yeso	51.31	82.16
Ceniza volante	64.76	74.41
Humo de sílice	46.69	47.60

En las tablas presentadas anteriormente se puede observar que el material utilizado como estabilizante que cumplió mejor su cometido es la cal, teniendo una disminución de 96.63% y 98.23% a los 3 y 7 días de curado respectivamente. Dicha estabilización de potencial expansivo se produjo por la capacidad que tiene el suelo de intercambiar los cationes de menor valencia por los cationes de calcio provenientes del material estabilizante en este caso la cal.



Se consideró que una de las razones por las que un material estabilizó el suelo más que otro, fue por la alta concentración de calcio y fósforo que poseen, esto ocurrió en mayor relevancia en estabilizantes como la cal y el cemento, aunque la dosificación de estabilizante colocada haya sido del 8%, mucho menor a la dosificación para los otros estabilizantes.

Un claro ejemplo de una mayor concentración de cal en un estabilizante se dio al comparar los resultados obtenidos de expansión entre yeso y cemento. La variación entre dichos estabilizantes fue menor al 1% pero la dosificación de cemento fue menor al tercio del 25% que se utilizó para el yeso.

Otro aspecto que indica la estabilización de la muestra es la disminución de la saturación al finalizar el ensayo de expansión libre, para muestras inalteradas se tuvo una saturación que llegó hasta 99.95% y la muestra de suelo con cal que fue el mejor estabilizante llegó hasta 82.03%. Al realizarse la estabilización se dice que el material absorbe una cantidad menor de agua, disminuyendo su expansión, como se muestra en la Tabla 30 y Tabla 31.

Cabe mencionar que el tiempo de curado de la muestra mezclada con el estabilizante afectó directamente los resultados para disminuir el porcentaje de expansión indistintamente del material adicionado como se puede ver en la Tabla 32. Por otro lado, si el material elegido para la estabilización es la cal los tiempos de curado no representan una mejora considerable teniendo una variación menor al 1%. En los dos casos para la cal se dio una expansión menor o próxima a 20 para índice de expansión, lo que clasificaría a este suelo con un potencial expansivo "Muy Bajo" según la Tabla 5, lo cual ya no representa un problema para las construcciones livianas.

En la Ilustración 36 se observa las curvas obtenidas por el ensayo de expansión libre de las muestras con un tiempo de curado de 3 días, en las que vemos que en las primeras 2 horas la expansión del suelo llegó casi a su totalidad para luego mantenerse casi estable, es decir se tiene una expansión a partir de las dos horas hasta el final del ensayo de 3.3% para el caso más desfavorable que corresponde a la ceniza volante.

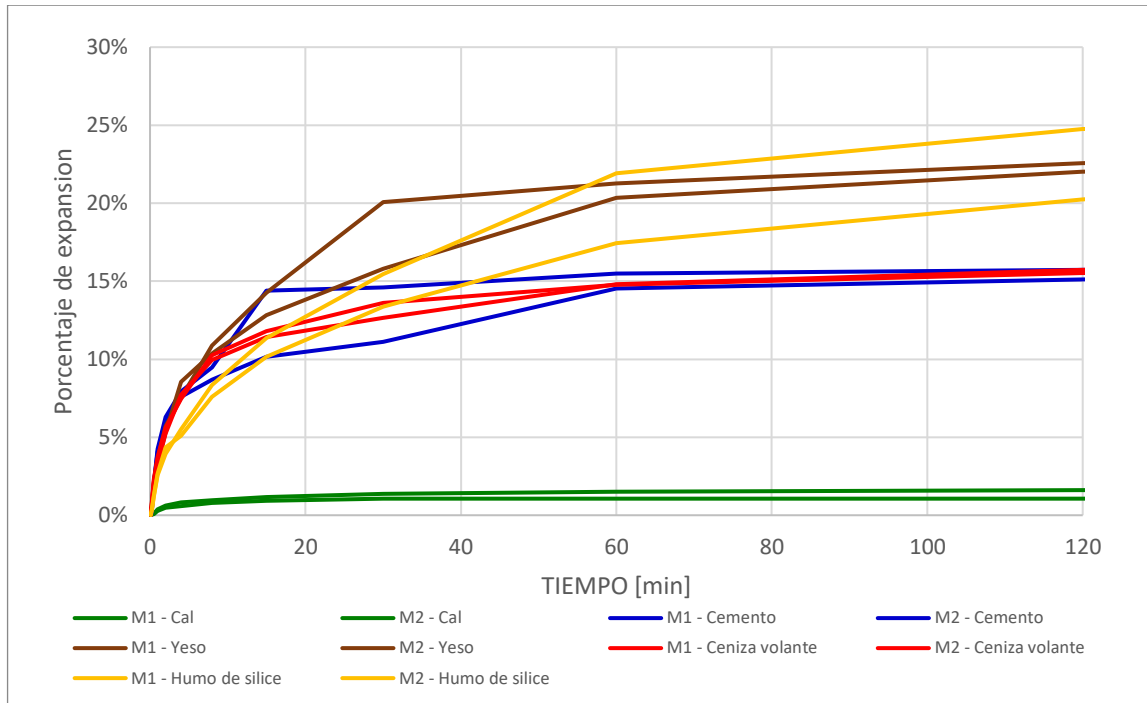


Ilustración 36 - Curvas de expansión, 3 días de curado con densidad de campo.

Este fenómeno se repitió en la Ilustración 37, que muestra la curva de expansión de las muestras ensayadas a los 7 días de curado.

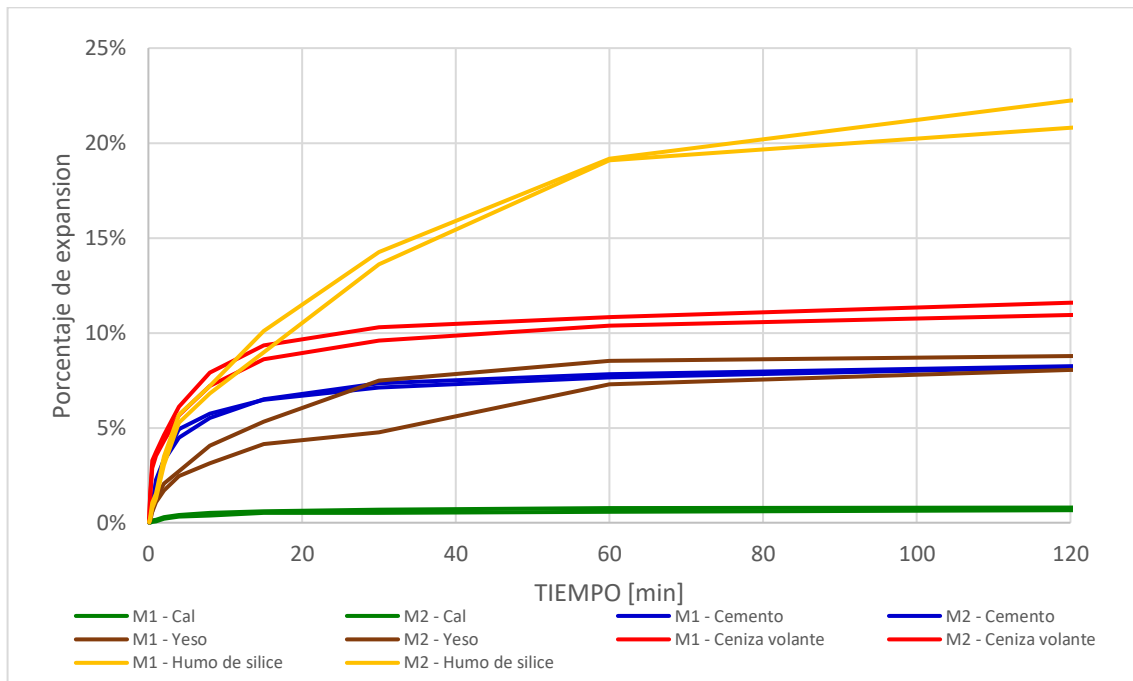


Ilustración 37 - Curvas de expansión, 7 días de curado con densidad de campo.

Como se observa en la Ilustración 37, para las muestras de cal, cemento, yeso y ceniza volante la mayor variación entre las 2 y las 72 horas fue de 2.17% que pertenece a la muestra estabilizada con ceniza volante. El único material que se salió del rango



presentado fue la muestra estabilizada con humo de sílice al tener una variación del 5.74% a partir de las dos horas hasta finalizar el ensayo.

Las Ilustraciones 38 y 39 presentan las curvas de expansión durante las 72 horas de ensayo de expansión libre para las muestras con estabilizantes en un periodo de curado de 3 y 7 días respectivamente.

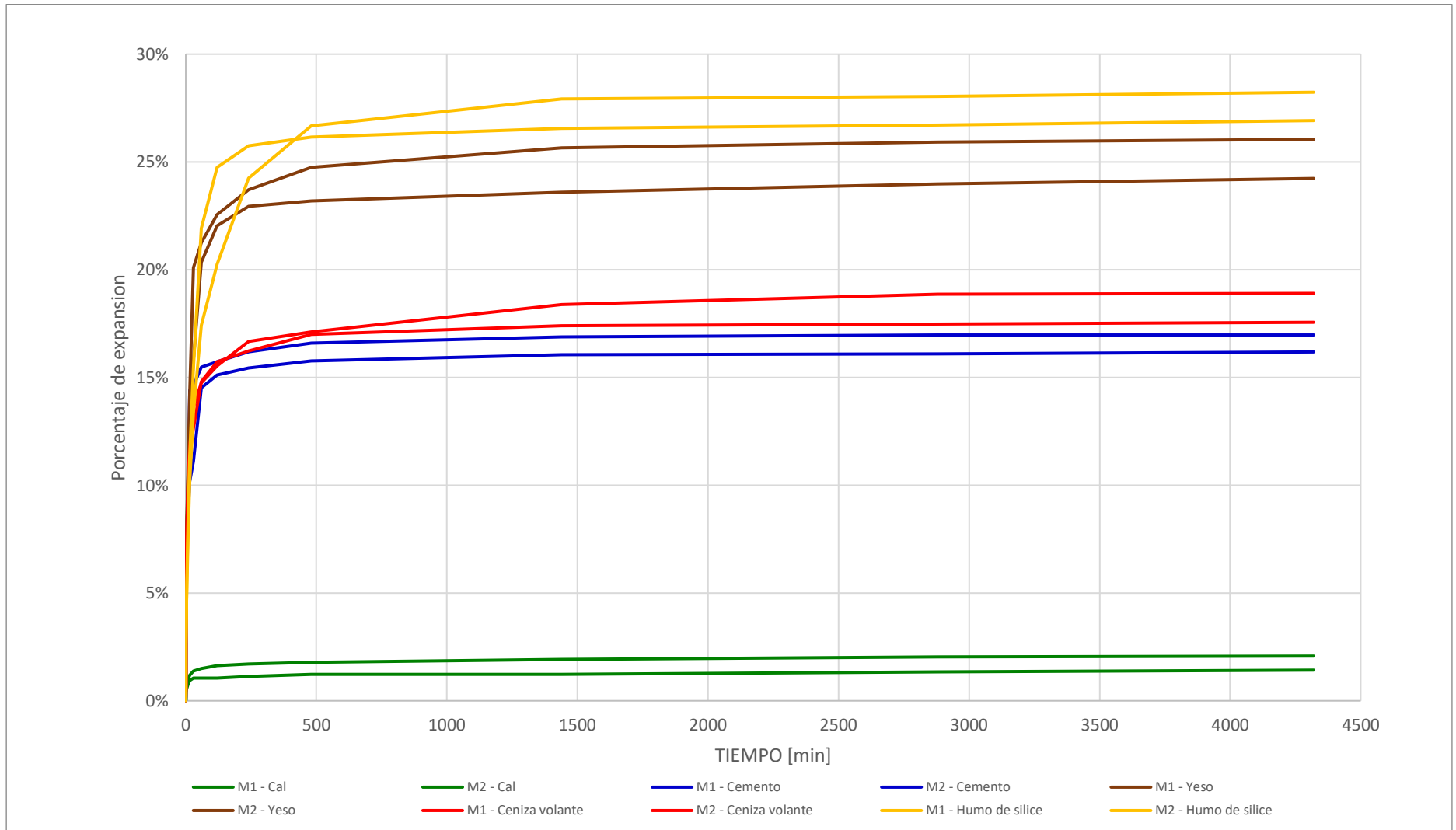


Ilustración 38 - Curvas de expansión, 3 días de curado con densidad de campo, tiempo total.

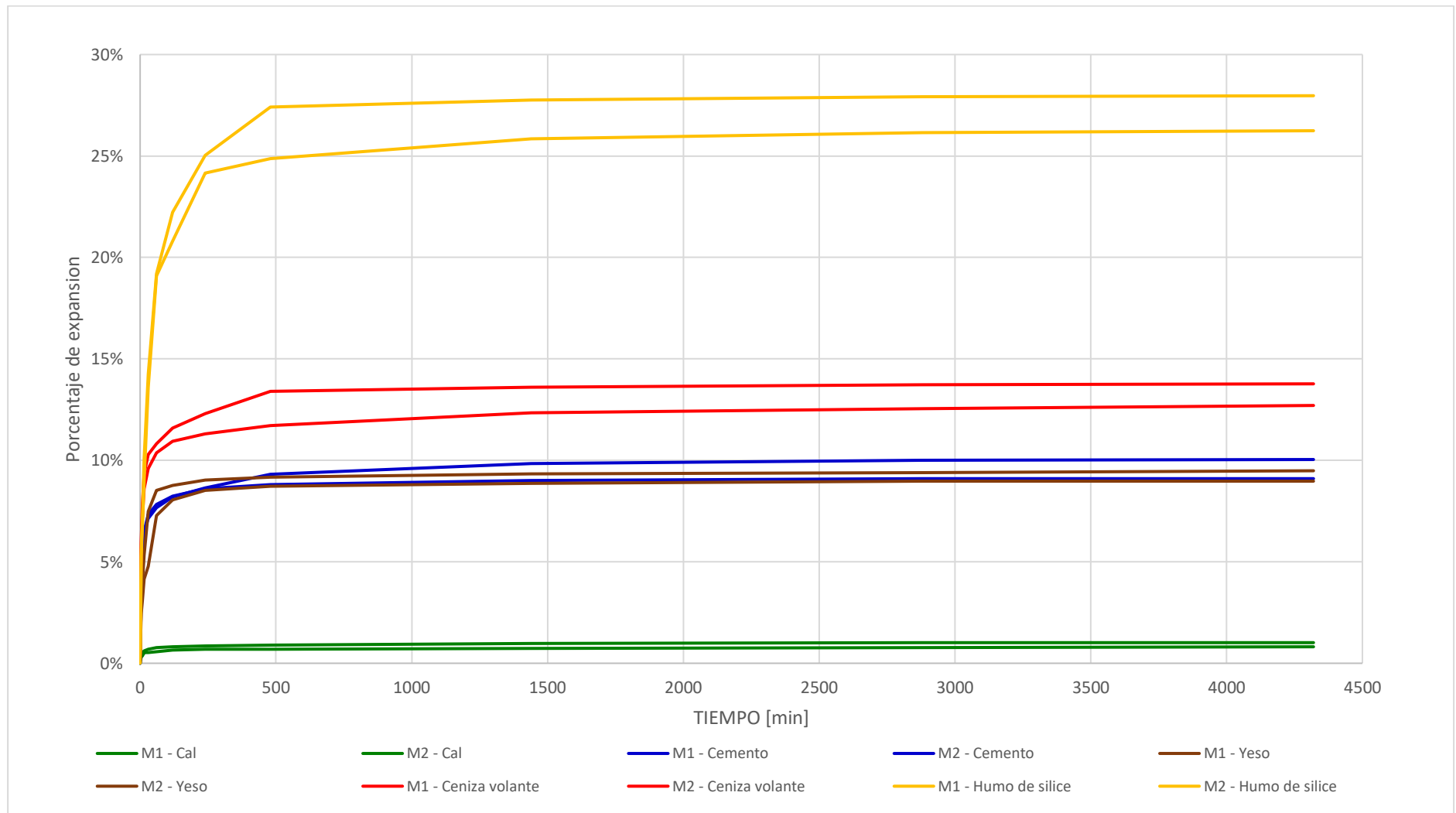


Ilustración 39 - Curvas de expansión, 7 días de curado con densidad de campo, tiempo total.

La importancia de las Ilustraciones 38 y 39 radica en la visualización de todo el proceso de expansión durante las setenta y dos horas de ensayo.

Para los materiales de cemento y ceniza volante se observó una disminución de aproximadamente el 5% con respecto a los tiempos de curado de 3 y 7 días. Para el humo de sílice y la cal la disminución de la estabilización para los dos tiempos de curado no supera el 1.5% por lo que dejarlo curar no representa un gasto necesario. El yeso tuvo un comportamiento distinto al resto de estabilizantes, se vio una disminución considerable de 16.5% siendo este estabilizante una muestra de la influencia que tiene el tiempo de curado cuando ocurra una mezcla de suelo con estabilizante.

4.3.2.2. Densidad reducida

Se decidió llegar a una densidad menor para comprobar la variabilidad de los resultados de estabilización con respecto a la estabilización realizada con material remoldeado a una densidad natural del terreno. Dicha densidad elegida es de 1.2g/cm³ que corresponde a 15% menos que la densidad de campo.

En las tablas 33 y 34 se presenta el porcentaje de expansión máximo al que llegó cada una de las muestras posterior al ensayo de expansión libre, asimismo se encontraron las propiedades iniciales y finales que son directamente influenciadas por el uso de los diferentes aditivos estabilizantes, de las muestras que poseen un tiempo de curado de 3 y 7 días respectivamente.

Tabla 33 - Resultados a los 3 días con densidad reducida.

Estabilizante	Muestra	Porcentaje de expansión	Humedad inicial	Saturación inicial	Humedad final	Saturación final	Índice de expansión
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
Cal	M 1	3.05	22.67	45.84	49.87	72.77	30.50
	M 2	6.27	22.67	45.48	49.32	71.87	62.70
Cemento	M 1	10.18	21.81	43.04	51.64	71.69	101.80
	M 2	4.32	21.81	43.96	48.33	70.69	43.20
Yeso	M 1	10.52	22.72	45.79	58.00	77.96	105.20
	M 2	13.74	22.72	45.55	55.61	76.13	137.40
Ceniza volante	M 1	24.83	17.26	37.61	60.97	79.55	248.30
	M 2	27.07	17.26	37.61	62.24	80.28	270.70
Humo de sílice	M 1	17.28	17.73	38.73	57.32	78.03	172.80
	M 2	22.27	17.73	38.73	61.07	80.26	222.70

Tabla 34 - Resultados a los 7 días con densidad reducida.

Estabilizante	Muestra	Porcentaje de expansión	Humedad inicial	Saturación inicial	Humedad final	Saturación final	Índice de expansión
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
Cal	M 1	1.15	21.51	43.11	49.97	70.64	11.50
	M 2	1.70	21.51	44.67	50.14	73.00	17.00
Cemento	M 1	5.83	21.81	43.11	48.02	69.25	58.30
	M 2	5.32	21.81	43.04	46.96	68.37	53.20
Yeso	M 1	7.57	22.72	44.57	59.03	76.78	75.70
	M 2	8.83	22.72	45.29	61.79	79.44	88.30
Ceniza volante	M 1	15.02	17.26	36.47	54.50	73.67	150.20
	M 2	14.98	17.26	37.82	57.64	77.95	149.80
Humo de sílice	M 1	16.17	17.73	37.89	60.56	78.53	161.70
	M 2	14.72	17.73	37.81	58.64	77.26	147.20

Al igual que con la densidad de campo de 1.4 g/cm^3 , el material estabilizante que mejor cumplió su cometido fue la cal al reducir un 90.99% y 97.25% a los 3 y 7 días de curado respectivamente.

Tabla 35. Porcentaje de reducción del potencial expansivo con densidad reducida.

Estabilizante	Porcentaje de reducción de expansión libre	
	Tiempo de curado	
	3 días	7 días
	[%]	[%]
Cal	90.99	97.25
Cemento	85.98	89.22
Yeso	76.55	84.15
Ceniza volante	49.83	71.00
Humo de sílice	61.77	70.14

Un punto que se debe tomar en cuenta es que, al tener una menor densidad, las muestras remoldeadas poseen una mayor cantidad de poros entre sus partículas. A causa de lo mencionado, la humedad final que se encuentra en el suelo con densidad reducida es mayor al obtenida de las muestras con densidad de campo como se puede comparar entre las Tablas 30 y 31 con las Tablas 33 y 34.

Por otro lado, al tener un mismo tiempo de exposición al agua, la cantidad de líquido que absorbe el suelo no alcanza a llenar en su totalidad los poros, lo que, si se consigue en una mayor densidad, dando como resultado una variación de saturación entre las dos densidades de hasta un 21.77% a los 3 días y de 21.01% a los 7 días. La variación en saturación final se presenta en la Tabla 36.

Tabla 36. Variación de la saturación entre densidad de campo y densidad reducida.

Estabilizante	Variación de saturación final	
	3 Días	7 Días
	[%]	[%]
Cal	8.66%	7.54%
Cemento	16.37%	15.51%
Yeso	21.77%	21.01%
Ceniza Volante	15.79%	16.89%
Humo de sílice	18.32%	20.05%

El tiempo de curado del material estabilizado con los diferentes elementos influye en el mejor resultado de reducción del potencial expansivo como se dio en el caso para la densidad de campo. El estabilizante que alcanza la menor variación en reducción de expansión para los dos tiempos de curado es el cemento con un 3.24% de reducción. Seguido de la cal, yeso, humo de sílice y ceniza volante que tiene la mayor variación con un 21.17%.

En la Ilustración 40 a las dos horas de ensayo se llega a una estabilización cercana a la total que corresponde a las setenta y dos horas de ensayo, teniendo una variación máxima de 4.32% para humo de sílice.

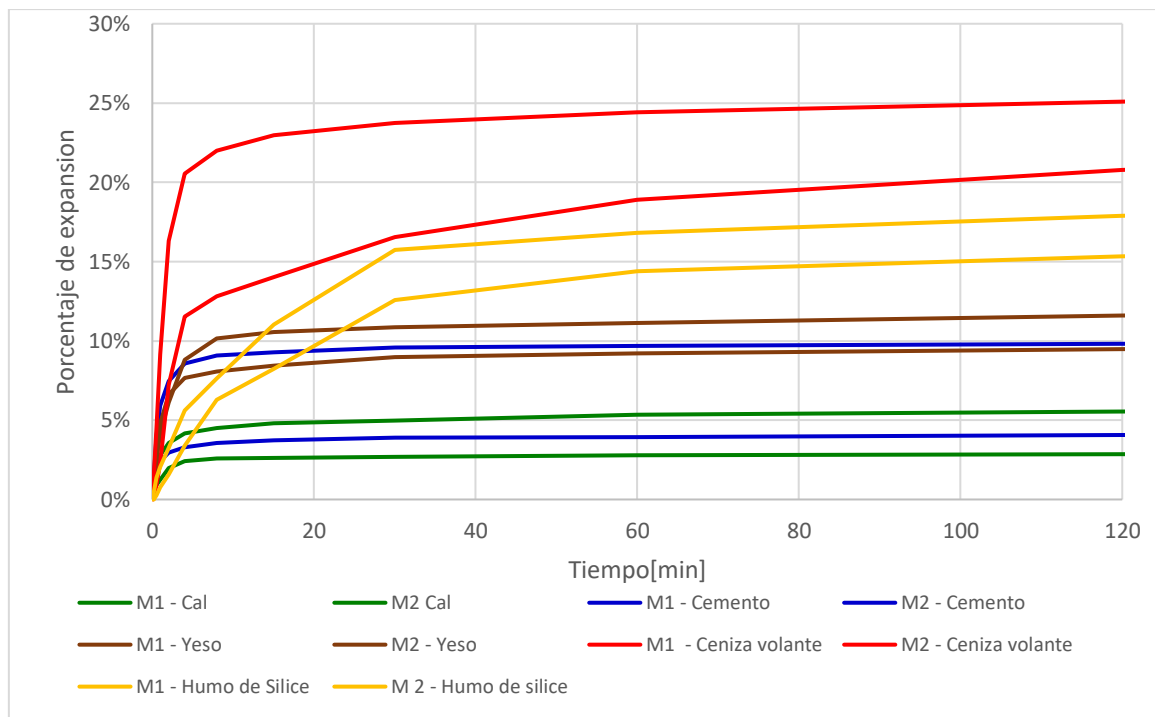


Ilustración 40 - Curvas de expansión, 3 días de curado con densidad reducida.

Para la Ilustración 41 se tiene un menor cambio entre la variación de la expansión entre las dos, y setenta y dos horas de ensayo de 2.45% debido a que se tuvo un tiempo de curado mayor. La mayor variación se presentó de igual manera para el estabilizante de humo de sílice.

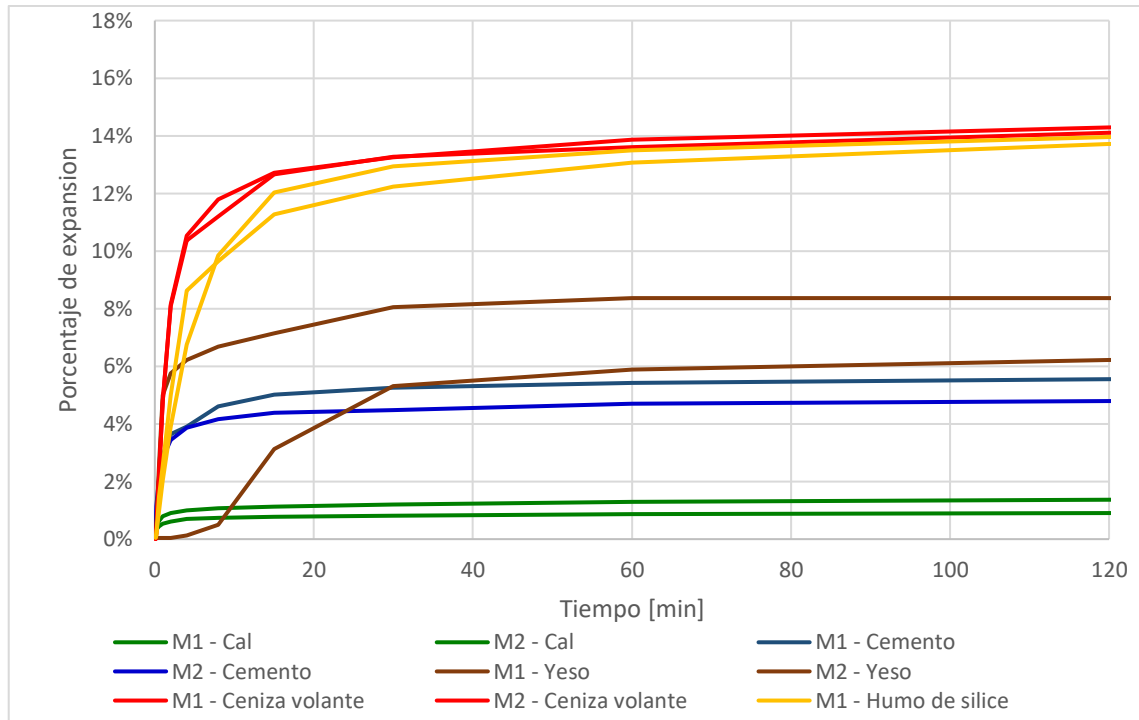


Ilustración 41 - Curvas de expansión, 7 días de curado con densidad reducida.

En la Ilustración 42 y 43 se observa que cuando se ensaya las muestras con estabilizante luego de curarlo durante 3 días, las curvas no presentan una tendencia establecida en cuanto a la expansión del suelo, en comparación con las muestras curadas durante 7 días que tienen una disposición marcada.

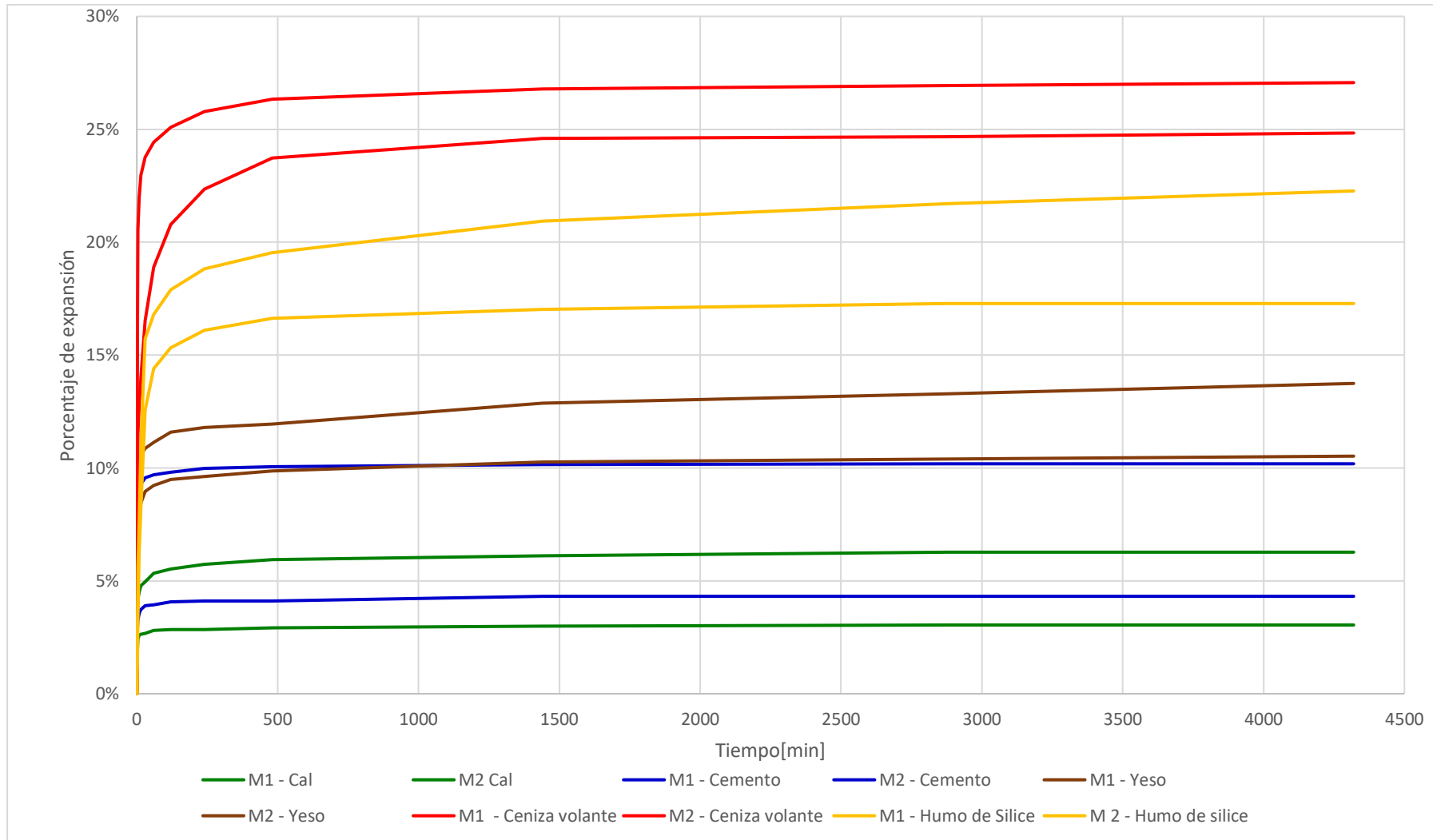


Ilustración 42 - Curvas de expansión, 3 días de curado con densidad reducida, tiempo total.

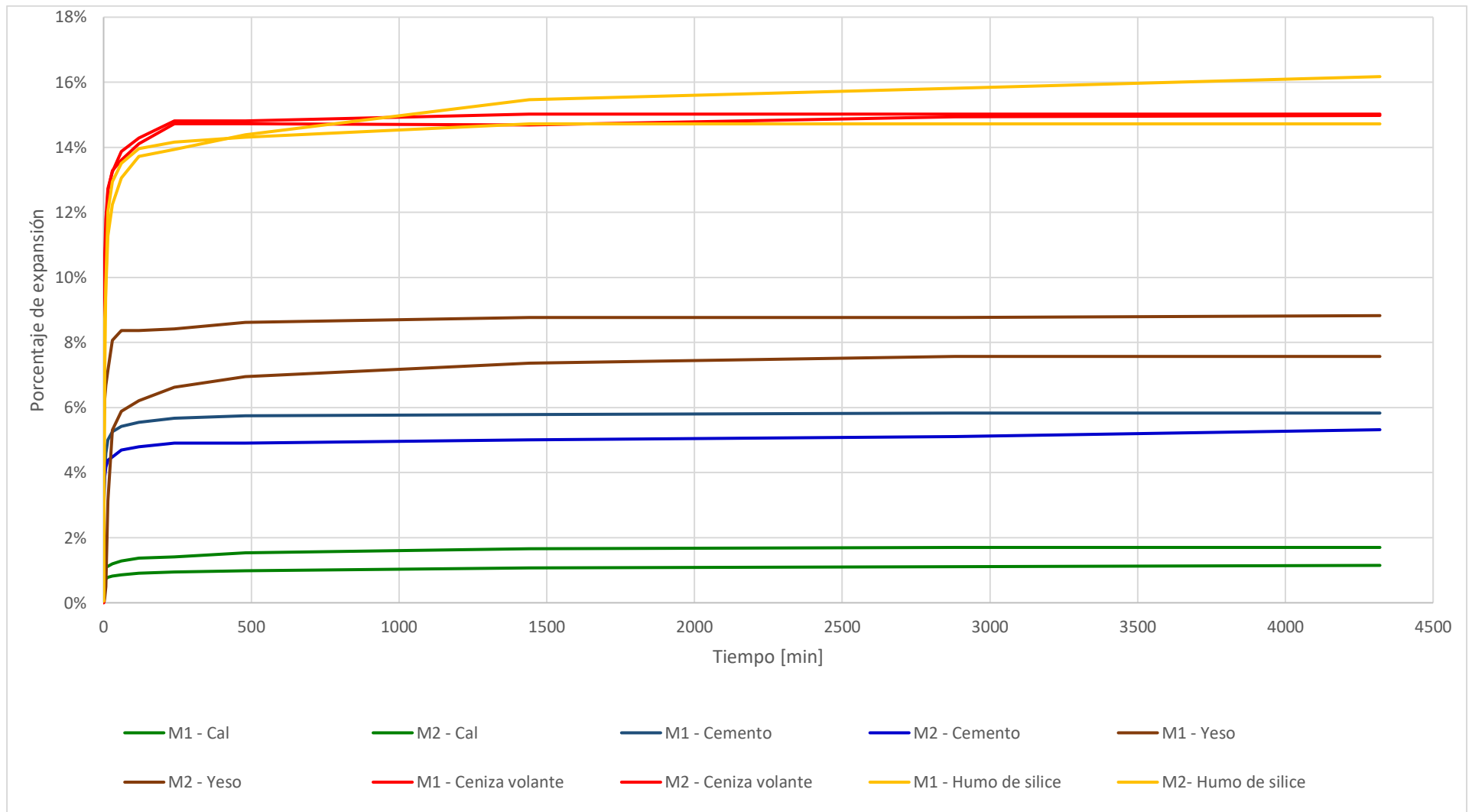


Ilustración 43 - Curvas de expansión, 7 días de curado con densidad reducida, tiempo total.

La muestra estabilizada con cemento presenta la mayor variación entre sus resultados con un 5.87% a los 3 días hasta tener una variación de 0.51% a los 7 días, por el contrario, el suelo estabilizado con yeso tiene la menor variación con un 3.22% a los 3 días hasta un 1.25% a los 7 días de curado. Los valores presentados no influyen en la reducción total de la expansión del suelo, únicamente es una comparación entre los resultados finales de las dos muestras de cada estabilizante.

Al comparar los resultados del proceso de estabilización con las dos densidades se puede decir que cuando una muestra de suelo de Miraflores se encuentre más densa, mayor será su potencial expansivo. A una mayor densidad existe una mayor expansión en el suelo. El único material que es capaz de llegar a una estabilización casi total en las dos densidades estudiadas es la cal ya que se llega a un 98.23% de reducción a los 7 días de curado con una densidad de campo.

4.4. Contaminación y limitaciones de uso de estabilizantes

Una consideración que se debe tomar en cuenta al momento de hacer la elección de un material externo a la composición original del suelo, para lograr una reducción del potencial expansivo, debe ser la afección que este estabilizante causaría al entorno en el cual se desarrolla el proyecto, al igual que los efectos que producirá en los trabajadores encargados de realizar el mezclado con el suelo al momento de su manipulación.

Se presenta una descripción general de los efectos que podría causar en campo y a las personas cada uno de los estabilizantes adicionados.

- *Estabilización con Cal*

La cal como material estabilizante no afecta directamente al medio ambiente al momento de su colocación ya que su uso se limita a la zona marcada por los límites del proyecto. Pero en el caso de que se presente un derrame o una mala manipulación por parte del personal encargado se generaría daño a la flora o fauna que entre en contacto directo con el estabilizante, afecciones a las vías respiratorias de los operarios debido al grado de alcalinidad del material. Aun que se dice que la mayor afectación que se produce con el uso de la cal es al momento de producir el estabilizante, ya que se la debe calcinar produciendo CO₂ en grandes cantidades.

Al momento de la aplicación de la cal como estabilizante, el personal encargado, deberá de manera obligatoria usar guantes de proyección para evitar el contacto directo con la piel, ya que la cal es causante de irritación y quemaduras, al igual que mascarilla puesto que si se inhala una cantidad considerable es posible la afección a las mucosas del sistema respiratorio (Altamirano, 1986).

- *Estabilización con Cemento Portland*

La afección principal del cemento hacia el medio ambiente se produce durante su fabricación debido a la gran cantidad de CO₂ generado, el polvo y hasta contaminación auditiva en las cercanías de la planta que puede perjudicar a la población aledaña a la planta cementicia (Cabrera, 2017). Por otro lado, al producirse un derrame o un mal

manejo de este material y al entrar en contacto con plantas y animales, estos son afectados directamente debido a su alta alcalinidad.

El manejo de este material estabilizante debe realizarse con guantes, botas, gafas y con ropa necesaria para no permitir el contacto con la piel puesto que causa irritación e incluso quemaduras químicas. Asimismo, se debe utilizar mascarillas ya que la absorción de cemento produce irritación en las mucosas del sistema respiratorio además de producir tos, producción de flema, deterioro de la función pulmonar, fibrosis, enfisema y carcinoma pulmonar al estar expuesto por largos periodos de tiempo (Meo, 2004).

La posibilidad de ingesta es alta si las condiciones de trabajo no son las adecuadas lo que causa inflamación de la mucosa gástrica, abrasión dental, daños severos en el estómago y el hígado (Meo, 2004).

- *Estabilización con Yeso*

Al ser un material encontrado en la naturaleza en el sector de Challuabamba, y que tiene como único proceso previo a su uso la trituración, no presenta ningún tipo de afección al medio ambiente ni al personal que lo maneja ni al personal que emplea el estabilizante.

- *Estabilización con Humo de Sílice (SikaFume)*

Este material es considerado como un residuo no peligroso según el Catalogo Europeo de Residuos(CER) por lo que no afecta al medio ambiente al momento de ser utilizado en obra.

Se debe tener ciertas consideraciones al momento de manipular y aplicar este material, el principal es evitar respirar las partículas del humo de sílice. Para aplicar este aditivo se debe utilizar guantes y gafas puesto que puede causar irritación a la mucosa de las vías respiratorias y silicosis, además produce irritación en la piel (Hoja técnica de producto, 2014).

- *Estabilización con Ceniza volante*

No presenta una afección negativa importante cuando entra en contacto con el suelo, en ciertas partes del mundo se usa la ceniza o escoria de hornos para estabilizar suelos ácidos.

Por el contrario, se debe tener precaución al manipular este material, debido a la composición que se tiene dependiendo de la materia prima que se usa para la combustión. Se requiere utilizar gafas y mascarilla al momento de manipularlo y no se debe exponer durante un tiempo prolongado por que puede provocar enfisema pulmonar y diversas afecciones respiratorias como fibrosis pulmonar (Borm, 1997).



5. COSTOS

Se realiza el cálculo del costo por metro cúbico de suelo estabilizado a usarse como material de relleno en un terraplén. Dicho costo servirá como parámetro para la elección del mejor material de estabilización.

Se consideran los costos referentes a maquinaria y mano de obra utilizada para el proceso, además de los materiales estabilizantes con los porcentajes definidos en relación con el peso seco del suelo; cemento 8%, cal 8%, yeso 25%, ceniza volante 25% y humo de sílice 25%.



ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO

RUBRO: Relleno y compactado de suelo estabilizado con cal.

ITEM:

DETALLE:

UNIDAD: m³

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D = C*R
Cargadora	1.00	\$50.00	\$50.00	0.04	\$1.75
Excavadora	1.00	\$60.00	\$60.00	0.04	\$2.10
Motoniveladora	1.00	\$45.00	\$45.00	0.04	\$1.58
Compactador de rodillo	1.00	\$38.00	\$38.00	0.04	\$1.33
SUBTOTAL M					\$6.76
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D = C*R
Op. Cargadora	1.00	\$3.93	\$3.93	0.04	\$0.14
Op. Excavadora	1.00	\$3.93	\$3.93	0.04	\$0.14
Op. Motoniveladora	1.00	\$3.93	\$3.93	0.04	\$0.14
Ayudante de maquinaria	1.00	\$3.51	\$3.51	0.04	\$0.12
SUBTOTAL N					\$0.54
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A*B	
Agente estabilizante (Cal)	kg	112.8	\$0.20	\$22.11	
SUBTOTAL O				\$22.11	
TRANSPORTE					
SUBTOTAL P					0
		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+P+O)			\$28.86
		INDIRECTOS Y UTILIDADES %		0.00%	\$0.00
		OTROS INDIRECTOS			
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			\$28.86



ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO

RUBRO: Relleno y compactado de suelo estabilizado con cemento.

ITEM:

DETALLE:

UNIDAD: m³

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D = C*R
Cargadora	1.00	\$50.00	\$50.00	0.04	\$1.75
Excavadora	1.00	\$60.00	\$60.00	0.04	\$2.10
Motoniveladora	1.00	\$45.00	\$45.00	0.04	\$1.58
Compactador de rodillo	1.00	\$38.00	\$38.00	0.04	\$1.33
SUBTOTAL M					\$6.76
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D = C*R
Op. Cargadora	1.00	\$3.93	\$3.93	0.04	\$0.14
Op. Excavadora	1.00	\$3.93	\$3.93	0.04	\$0.14
Op. Motoniveladora	1.00	\$3.93	\$3.93	0.04	\$0.14
Ayudante de maquinaria	1.00	\$3.51	\$3.51	0.04	\$0.12
SUBTOTAL N					\$0.54
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A*B	
Agente estabilizante (Cemento)	kg	112.8	\$0.18	\$19.85	
SUBTOTAL O				\$19.85	
TRANSPORTE					
SUBTOTAL P					0
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+P+O)					\$26.61
INDIRECTOS Y UTILIDADES %				0.00%	\$0.00
OTROS INDIRECTOS					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					\$26.61



ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO

RUBRO: Relleno y compactado de suelo estabilizado con yeso.

ITEM:

DETALLE:

UNIDAD: m³

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D = C*R
Cargadora	1.00	\$50.00	\$50.00	0.04	\$1.75
Excavadora	1.00	\$60.00	\$60.00	0.04	\$2.10
Motoniveladora	1.00	\$45.00	\$45.00	0.04	\$1.58
Compactador de rodillo	1.00	\$38.00	\$38.00	0.04	\$1.33
SUBTOTAL M					\$6.76
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D = C*R
Op. Cargadora	1.00	\$3.93	\$3.93	0.04	\$0.14
Op. Excavadora	1.00	\$3.93	\$3.93	0.04	\$0.14
Op. Motoniveladora	1.00	\$3.93	\$3.93	0.04	\$0.14
Ayudante de maquinaria	1.00	\$3.51	\$3.51	0.04	\$0.12
SUBTOTAL N					\$0.54
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A*B	
Agente estabilizante (Yeso)	kg	352.5	\$0.13	\$45.83	
SUBTOTAL O				\$45.83	
TRANSPORTE					
SUBTOTAL P					0
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+P+O)					\$52.58
INDIRECTOS Y UTILIDADES %				0.00%	\$0.00
OTROS INDIRECTOS					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					\$52.58



ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO

RUBRO: Relleno y compactado de suelo estabilizado con ceniza volante.

ITEM:

DETALLE:

UNIDAD: m³

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D = C*R
Cargadora	1.00	\$50.00	\$50.00	0.04	\$1.75
Excavadora	1.00	\$60.00	\$60.00	0.04	\$2.10
Motoniveladora	1.00	\$45.00	\$45.00	0.04	\$1.58
Compactador de rodillo	1.00	\$38.00	\$38.00	0.04	\$1.33
SUBTOTAL M					\$6.76
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D = C*R
Op. Cargadora	1.00	\$3.93	\$3.93	0.04	\$0.14
Op. Excavadora	1.00	\$3.93	\$3.93	0.04	\$0.14
Op. Motoniveladora	1.00	\$3.93	\$3.93	0.04	\$0.14
Ayudante de maquinaria	1.00	\$3.51	\$3.51	0.04	\$0.12
SUBTOTAL N					\$0.54
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A*B	
Agente estabilizante (Ceniza volante)	kg	352.5	\$0.17	\$58.75	
SUBTOTAL O				\$58.75	
TRANSPORTE					
SUBTOTAL P					0
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+P+O)					\$65.51
INDIRECTOS Y UTILIDADES %				0.00%	\$0.00
OTROS INDIRECTOS					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					\$65.51



ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO

RUBRO: Relleno y compactado de suelo estabilizado con humo de sílice.

ITEM:

DETALLE:

UNIDAD: m³

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D = C*R
Cargadora	1.00	\$50.00	\$50.00	0.04	\$1.75
Excavadora	1.00	\$60.00	\$60.00	0.04	\$2.10
Motoniveladora	1.00	\$45.00	\$45.00	0.04	\$1.58
Compactador de rodillo	1.00	\$38.00	\$38.00	0.04	\$1.33
SUBTOTAL M					\$6.76
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D = C*R
Op. Cargadora	1.00	\$3.93	\$3.93	0.04	\$0.14
Op. Excavadora	1.00	\$3.93	\$3.93	0.04	\$0.14
Op. Motoniveladora	1.00	\$3.93	\$3.93	0.04	\$0.14
Ayudante de maquinaria	1.00	\$3.51	\$3.51	0.04	\$0.12
SUBTOTAL N					\$0.54
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A*B	
Agente estabilizante (Humo de Sílice)	kg	352.5	\$4.65	\$1640.30	
SUBTOTAL O				\$1640.30	
TRANSPORTE					
SUBTOTAL P					0
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+P+O)					\$1647.06
INDIRECTOS Y UTILIDADES %				0.00%	\$0.00
OTROS INDIRECTOS					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					\$1647.06



Una vez realizado el análisis de precios unitarios de metro cúbico de material estabilizado se tienen los siguientes resultados.

Tabla 37. Resumen de costos unitarios.

	Unidad	Costo
Cal	m3	\$28.86
Cemento	m3	\$26.61
Yeso	m3	\$52.58
Ceniza Volante	m3	\$65.51
Humo de sílice	m3	\$1,647.06

Si se realiza únicamente un estudio de beneficio en base al costo de la estabilización se dice que el yeso y la ceniza volante sería lo más conveniente para la estabilización. Por otro lado, hay que tener en cuenta de que la ceniza volante no se encuentra fácilmente a gran escala, asimismo si se desea estabilizar con yeso mineral del sector Challuabamba se deberá considerar la implementación de una cantera para extraer el mineral a gran escala y a un menor precio.

6. CONCLUSIONES

- Realizados los ensayos de granulometría por cribado, granulometría por hidrómetro, límites de Atterberg y relaciones gravimétricas y volumétricas para los suelos de Miraflores, Baños y Challuabamba; se determina que el suelo de Miraflores corresponde a una Arcilla densa, posee las propiedades más desfavorables tanto para límites de Atterberg con un valor de 86.41% de límite líquido y un 52.27% de índice de plasticidad, así como una presión de expansión de 15.32 kg/cm² y un porcentaje de expansión final de 51.73%. En este suelo se aplican los estabilizantes seleccionados para disminuir su potencial expansivo.
- Se considera que una de las razones por las que el suelo de Challuabamba no resulta tener un potencial expansivo alto como en bibliografía consultada, se debe a la presencia de yeso, mineral disgregado en la zona de extracción de las muestras, puesto que al utilizar este estabilizante en un suelo expansivo se logra reducir su hinchamiento en un porcentaje de hasta 82.16%.
- El ensayo de expansión libre resultó el más útil para determinar el hinchamiento del suelo dentro de este estudio, puesto que ensayos como el de presión de expansión posee una gran variabilidad en sus resultados debido a que la norma indica un rango de ± 0.03 mm de expansión leída en el deformímetro; así también métodos como el de las probetas o Lambe serán ensayos rápidos que solo servirán para determinar si el suelo posee propiedades expansivas. El ensayo de expansión libre permite cuantificar y comparar directamente la expansión que se genere.
- Dentro de este estudio, los límites de Atterberg no resultan un indicativo confiable para la determinación del carácter expansivo de un suelo; según los límites de Atterberg obtenidos, los tres suelos se clasifican con un grado de expansión “elevado” dando una contradicción con respecto a los resultados obtenidos en los suelos de Baños y Challuabamba, en los que los ensayos para determinar el potencial expansivo los clasificaron con una expansividad “muy baja”.
- Se toma en cuenta que el lapso más crítico de expansión corresponde a las primeras 2 horas del ensayo puesto que se llega a tener una expansión superior al 80%, en el caso más desfavorable, en relación con la expansión máxima que sufre el suelo al culminar el ensayo, siendo el hinchamiento posterior muy bajo y hasta en ciertas mezclas de suelo con estabilizante, no representativo al llegar a un 94% de hinchamiento con respecto al hinchamiento final.
- Al tener las muestras remoldeadas una expansión de 22.02% con una densidad de 1.2 g/cm³ y 36.09% con una densidad de 1.4 g/cm³, se concluye que para el suelo extraído del sector de Miraflores, a una mayor densidad el potencial de expansión aumenta debido a la mayor cantidad de material arcilloso que se encuentra en las muestras.
- Se logra la reducción del potencial expansivo del suelo de Miraflores, únicamente destruyendo la estructura original de sus partículas a través de la disgregación y

remoldeo de las muestras, teniendo una reducción del 51.73% de potencial expansivo al 36.09%.

- Las dosificaciones empleadas en la investigación corresponden a un análisis de los porcentajes máximos utilizados en distintos proyectos de investigación y trabajos de titulación como se citó a lo largo del trabajo, con las que el suelo disminuye su hinchamiento, pero no necesariamente corresponde a la dosificación óptima.
- La cal es el mejor estabilizante para el suelo expansivo de Miraflores; ya que en las muestras remoldeadas a los 3 y 7 días de curado, para las dos densidades ensayadas, los resultados obtenidos fueron los más favorables, dando como resultado una estabilización hasta el 98.23% en relación al hinchamiento de la muestra inalterada extraída en campo.
- El porcentaje de saturación del suelo luego de realizado el ensayo es un indicativo directo de la mejora que presenta el material estabilizado, se puede verificar lo mencionado puesto que al estabilizar con cal, el porcentaje de saturación disminuye de 80.98% a un 71.82%, y para el yeso se llega a tener una reducción de 21.77% en la saturación final.
- La comparación costo-beneficio da como resultado que los mejores estabilizantes para el suelo de Miraflores son la cal y el cemento, teniendo como valores de reducción de expansión de 98.23% y 81.5% respectivamente y un costo por metro cúbico estabilizado de \$28.86 para la cal y \$26.61 para el cemento. Aunque el costo de la estabilización con cemento sea menor, no se considera como el estabilizante óptimo para el suelo, por tener una variación notable en la reducción de expansión con respecto a la cal y a al ser el estabilizante que tiene el grado de contaminación más elevado entre todos los aditivos.
- Los estabilizantes con los que se requiera mejorar amplias extensiones de terreno deben ser de fácil accesibilidad a los constructores, por ende, materiales como humo de sílice no son factibles por su disponibilidad y alto costo de aproximadamente \$1647.06 por metro cúbico.
- Los estabilizantes con mayor contenido de calcio es su composición, son más beneficiosos al momento de estabilizar un suelo expansivo, ya que el intercambio catiónico se realiza con mayor facilidad, lo que genera una reducción en el potencial expansivo y contribuye a la estabilización del suelo.

7. RECOMENDACIONES

- Las condiciones climatológicas cuando se recolecten las muestras inalteradas serán de gran importancia en los resultados, puesto a que si se tiene suelo con una alta saturación el porcentaje de expansión disminuirá hasta el punto de ser considerado casi nulo. Se recomienda obtener las muestras en épocas en las que no se presente lloviznas o esperar hasta que el suelo pierda humedad.
- Para la construcción de una edificación sobre suelos expansivos se recomienda realizar adicionalmente ensayos para medir la capacidad portante del suelo como: compresión simple, corte directo o triaxial, ya que la aplicación de estabilizantes para controlar el potencial expansivo no siempre mejoran la resistencia del suelo.
- Puesto que el yeso es un estabilizante con un potencial de reducción de expansión alto, se recomienda para el sector de Challuabamba, estudiar en el sitio, el efecto de la presencia de yeso en el comportamiento del material y considerar su uso para estabilizar el suelo en el sector.
- Es de suma importancia el correcto manejo de los aditivos para estabilizar el suelo, debido a que contactos prolongados con la piel pueden producir afecciones a la salud de los trabajadores.
- Se recomienda probar distintas dosificaciones para estabilizar el suelo utilizando cal, con la finalidad de obtener el porcentaje óptimo y así disminuir el costo cuando se requiera una aplicación en campo.
- Se debe realizar todo el procedimiento mencionado para encontrar el mejor estabilizante de un suelo arcilloso expansivo, puesto que cada suelo tiene una estructura propia y los estabilizantes actúan de diferente manera.
- Se sugiere realizar un ensayo de capacidad de intercambio catiónico después de aplicar los aditivos para estabilizar el suelo, así se podrá encontrar una relación entre la capacidad de intercambio y la reducción del potencial expansivo.
- Realizar un estudio comparativo más profundo entre los diferentes ensayos usados para determinar el carácter expansivo de un suelo. Se puede conseguir una caracterización óptima al utilizar ensayos más sencillos y menos costosos, siempre y cuando sea posible caracterizar de manera correcta el potencial expansivo del material.

8. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- ASTM C 136. (2001). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. ASTM Standards International, 04.
- ASTM D 422. (2002). Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. ASTM Standard Test Method, 04(Reapproved 2002), 1-8.
- ASTM D 4318. (2000). Standard Test Methods for Liquid Limit, and Plasticity Index of Soils. ASTM Standards International, 04 (March 2010), 1-14.
- ASTM D 2487. (2000). Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). AASRM Standards International, 04.
- ASTM D 854. (2002). Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. ASTM Standards International, 04.
- ASTM D 4829. (2011). Standard Test Method for Expansion Index of Soils. ASTM International, PA.
- I.N.V.E-120. (2007). Determinación del Potencial de Expansividad de un Suelo en el Aparato de Lambe.
- I.N.V.E-132. (2007). Determinación de Suelos Expansivos.
- ASTM C 593. (1995). Standard Specification for Fly Ash and Other Pozzolans for use with Lime. ASTM Standards International.
- HOJA GEOLOGICA CUENCA No.53. DGGM, edición provisional 1980.
- HOJA GEOLOGICA AZOGUES No.73. DGGM, edición provisional 1980.
- Grim, R.E. (1953). Clay Mineralogy, McGraw-Hill, New York
- Besoain, E. (1985). Mineralogía de arcillas de suelos (No. 60). Bib. Orton IICA/CATIE
- Fenili, E.P., Biz, F.M., Boa Hora, P.R.M., Madeira, R., Modesto, C.O., Bernardin, A.M. (2004). Determinación de la plasticidad de las arcillas: El método de Indentación comparado con el método de Pfeffekorn. Departamento de Engenharia de Materiais. Universidade do Extremo Sul Catarinense.
- Lara L., Lopez M., Castellanos D. (2012). Identificación visual de suelos, toma de muestras y exploración. Universidad distrital Francisco Jose de Caldas.
- Dominguez J. M., (1995). Las arcillas: el barro noble, Fondo de Cultura Economica, 2° edición, Mexico, D.F.
- Zeevaert, L. (1997). La Investigación del Suelo por su Estructura y Comportamiento Reológico. Mexico.
- Driscoll, R. (1983). The influence of vegetation on the swelling and shrinking of clay soils in Britain. Geotechnique, 33, 93-105.
- Holrz,R.D. & Kovacs, W.D. (1981). An introduction to geotechnical engineering. Prentice-Hall, New Jersey.
- Villalaz, C. C. (2004). Mecánica de suelos y cimentaciones. Editorial Limusa.
- Hanson, R.P.W. (1983). Ingeniería de cimentaciones (Vol. 26). Capítulos.
- Sridharan, A., & Prakash, K. (2000). Classification procedures for expansive soils. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering, 143 (4), 235-240.
- Holtz W. G. and Gibbs H. J. (1956). Engineering properties of expansive clays. Transactions of ASCE.

- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). Ceniza Volante, Escoria, Humo de Sílice y Puzolanas Naturales. Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association, 77-94.
- Horpibulsuk, S., Rachan, R., Chinkulkijniwat, A., Raksachon, Y., & Suddeepong, A. (2010). Analysis of strength development in cement-stabilized silty clay from microstructural considerations. *Construction and building materials*, 24(10), 2011-2021.
- Mengel, D. B. (2012). Fundamentals of soil cation exchange capacity. Publication of Purdue University Cooperative Extension Service, West Lafayette, USA.
- Sowers, G. (1992). Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones. México D.F, Limusa S.A.
- Sandoval, C. H. H., Cristancho, J.C.G., & Naranjo, O. E. P. (2012). Caracterización de un suelo arcilloso tratado con hidróxido de calcio. *Facultad de Ingeniería*, 21(32), 21-40.
- Bhuvaneshwari, S., Robinson, R. G., & Gandhi, S. R. (2005). Stabilization of expansive soils using fly ash. *Fly Ash India*, 8, 5-1.
- Baca Pinerlo, J. F., & Boy Sanchez, J. R. (2016). Influencia del porcentaje y tipo de acelerante, sobre la resistencia a la compresión en la fabricación de un concreto de rápido fraguado.
- Petry, T. M., & Armstrong, J. C. (1989). Stabilization of expansive clay soils. *Transportation Research Record*, (1219).
- Carroll, D. (1959). Ion exchange in clays and other minerals. *Geological Society of America Bulletin*, 70(6), 749-779.
- Kalkan, E. (2011). Impact of wetting–drying cycles on swelling behavior of clayey soils modified by silica fume. *Applied Clay Science*, 52(4), 345-352
- Miller, W.F. (1970). Inter-regional predictability of cation-exchange capacity by multiple regression. *Plant Soil* 33:721 – 725.
- Jones, L. D., & Jefferson, I. (2012). Expansive soils (pp. 413-441). ICE Publishing.
- Camacho Tauta, J. F., Reyes Ortiz, O. J., Mayorga Antolínez, C., & Méndez, D. F. (2006). Evaluación de aditivos usados en el tratamiento de arcillas expansivas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 16(2).
- Patrone, J., & Prefumo, J. E. (2005). La acción de los suelos expansivos sobre las cimentaciones: métodos de prevención y control. *Primeras jornadas de ingeniería de cimentaciones*.
- Das, B. M. (2001). Fundamentos de ingeniería geotécnica (No. 624.13). Thomson Learning.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). Soil mechanics in engineering practice. John Wiley & Sons.
- Petry, T. M., & Armstrong, J. C. (1989). Stabilization of expansive clay soils. *Transportation Research Record*, (1219).
- Lopez Lara, T., Hernandez Zaragoza, J., Horta Rangel, J., Coronado Marquez, A., Castaño Meneses, V.(2010). Estabilización volumétrica de arcillas con polímeros. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 11 (3),159-168.
- Tejashri, R., S. (2016). Stabilization of Expansive Soil. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 5 (12), 71-77.
- AL-Soudany, K. Y. (2018). Improvement of expansive soil by using silica fume. *Kufa Journal of Engineering*, 9(1), 222-239.



- Gutiérrez, M. P. A., & Cánovas, M. F. (1999). El coeficiente de eficacia del humo de sílice. *Materiales de Construcción*, 49(253), 57-63.
- Meo, S. A. (2004). Health hazards of cement dust. *Saudi medical journal*, 25(9), 1153-1159.
- Borm, P. J. (1997). Toxicity and occupational health hazards of coal fly ash (CFA). A review of data and comparison to coal mine dust. *The Annals of occupational hygiene*, 41(6), 659-676.
- Hoja técnica de producto. SikaFume. Edición N°2, 04 – 2014.
- Franch, Joan. (2014). *Estudios Geotécnicos*. Departamento de Geología-Geotecnia. Siena
- Cabrera, E & Macancela, M. (2017). Síntomas respiratorios en población adulta residente en zonas aledañas a la fábrica de cemento “Guapán”. (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Altamirano, A., Cabrera, L., Liguichuzca, D., Verdugo, A. (1986). Accidentes de trabajo y enfermedades profesionales a los que están expuestos los trabajadores de la cal. (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Arizaga, J & Sanchez, E. (2005). Estudio de los suelos expansivos en el sector de Miraflores en la ciudad de Cuenca (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Guncay, C & Morocho, G. (2005). Estudio de los suelos expansivos en Cuenca: sector parroquia Bellavista (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Brito, A & Delgado, P. (2007). Determinación de presión de expansión en arcillas expansivas en la ciudad de Cuenca (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Velez, P. (2012). Comprobación de las correlaciones de la presión de expansión con las propiedades índices en suelos del sector Challuabamba, Cuenca, recomendaciones para la construcción de cimentaciones (Tesis de maestría). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

9. ANEXOS

Anexo 1. Sistema SUCS de Clasificación de Suelos.

Fuente: "Ingeniería de cimentaciones" de (Hanson, 1983)

IDENTIFICACION EN EL CAMPO		SIMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIOS DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO						
SUELOS DE GRANO GRUESO - MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO POR EL TAMIZ # 200	GRAVAS - MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA ES RETENIDA POR EL TAMIZ # 4	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	GW	GRAVA BIEN GRADUADA, MEZCLA DE GRAVA Y ARENA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS	<p>DETERMINENSE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA A PARTIR DE LA CURVA GRANULOMETRICA SEGUN EL PORCENTAJE DE FINOS (FRACCION QUE PASA POR EL TAMIZ # 200) LOS SUELOS GRUESOS DE CLASIFICAN COMO SIGUE:</p> <p>GW, GP, SW, SP GM, GC, SM, SC</p> <p>MEJORES DEL 5% MAS DEL 12% 5% AL 12%</p> <p>CASOS LIMITES QUE REQUIEREN EL USO DE SIMBOLOS DOBLES</p> $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \text{ MAYOR DE } 4; C_r = \frac{(D_{60})^2}{D_{10} \times D_{30}} \text{ ENTRE } 1 \text{ Y } 3$ <p>NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS GW</p> <p>LIMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LINEA "A" O I_p MENOR QUE 4</p> <p>LIMITES DE ATTERBERG POR ENCIMA DE LA LINEA "A" O I_p MAYOR QUE 7</p> $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \text{ MAYOR DE } 6; C_r = \frac{(D_{60})^2}{D_{10} \times D_{30}} \text{ ENTRE } 1 \text{ Y } 3$ <p>NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS SW</p> <p>LIMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LINEA "A" O I_p MENOR QUE 4</p> <p>LIMITES DE ATTERBERG POR ENCIMA DE LA LINEA "A" O I_p MAYOR QUE 7</p> <p>CASOS LIMITES QUE REQUIEREN EL USO DE SIMBOLOS DOBLES</p>					
		FREDDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	GP	GRAVAS MAL GRADUADAS, MEZCLAS DE ARENA Y GRAVA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS						
	GRAVAS CON FINOS (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	FRACCION FINA NO PLASTICA (PARA LA IDENTIFICACION VER EL GRUPO ML MAS ABAJO)	GM	GRAVAS LIMOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y LIMO						
		FINOS PLASTICOS (PARA IDENTIFICARLOS VER EL GRUPO CL MAS ABAJO)	GC	GRAVAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y ARCILLA						
SUELOS DE GRANO FINO - MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA PASA POR EL TAMIZ # 4	ARENAS LIMPIAS (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	SW	ARENAS BIEN GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS						
		FREDDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	SP	ARENAS MAL GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS						
	ARENAS CON FINO (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	FINOS NO PLASTICOS (PARA IDENTIFICACION VER EL GRUPO ML MAS ABAJO)	SM	ARENAS LIMOSAS, MEZCLAS DE ARENA Y LIMO MAL GRADUADAS						
		FINOS PLASTICOS (PARA IDENTIFICACION VER EL GRUPO CL MAS ABAJO)	SC	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE ARENAS O ARCILLAS						
METODOS DE IDENTIFICACION PARA LA FRACCION QUE PASA POR EL TAMIZ # 40										
SUELOS DE GRANO FINO - MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA POR EL TAMIZ # 200	LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (A LA DESGREGACION)	DILATANCIA (REACCION A LA AGITACION)	TERNCIDAD (CONSISTENCIA CERCA DEL LIMITE PLASTICO)	ML	LIMOS INORGANICOS Y ARENAS MUY FINAS, POLVO DE ROCA, ARENAS FINAS LIMOSAS O ARCILLAS CON LIGERA PLASTICIDAD				
		NULA A LIGERA	RAPIDA A LENTA	NULA						
		MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	MEDIA						
	LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50	LIGERA A MEDIA	LENTA	LIGERA	OL	LIMOS ORGANICOS Y ARCILLAS LIMOSAS ORGANICAS DE BAJA PLASTICIDAD				
		LIGERA A MEDIA	LENTA A NULA	LIGERA A MEDIA	MH	LIMOS INORGANICOS, SUELOS LIMOSOS O ARENOSOS FINOS MICACEOS O CON DIATOMEAS, LIMOS ELASTICOS				
		ALTA A MUY ALTA	NULA	ALTA	CH	ARCILLAS INORGANICAS DE PLASTICIDAD ELEVADA, ARCILLAS GRASAS				
<table border="1"> <tr> <td>MEDIA A ALTA</td> <td>NULA A MUY LENTA</td> <td>LIGERA A MEDIA</td> <td>OH</td> <td>ARCILLAS ORGANICAS DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA</td> </tr> </table>	MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	LIGERA A MEDIA	OH	ARCILLAS ORGANICAS DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA					
MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	LIGERA A MEDIA	OH	ARCILLAS ORGANICAS DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA						
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS	FACILMENTE IDENTIFICABLES POR SU COLOR, OLO, SENSACION ESPONJOSA Y FRECUENTEMENTE POR SU TEXTURA FIBROSA		Pt	TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS						

LINEA A: $I_p = 0.73(WL - 20)$

COMPARANDO CON SUELOS CON EL MISMO LIMITE LIQUIDO

GRAFICO DE PLASTICIDAD PARA LA CLASIFICACION EN LABORATORIO DE SUELOS DE GRANO FINO

Anexo 2. Clasificación de materiales para subrasantes de carreteras (AASHTO)

Fuente: "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica" de (Das, 2011)

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos de la muestra que pasa la malla No. 200)						
	A-1			A-2			
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis por cribado (porcentaje que pasa las mallas)							
No. 10	50 máx.						
No. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
No. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción que pasa la malla No. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de materiales componentes significativos							
	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Tasa general de los subrasantes				De excelente a bueno			
Clasificación general	Materiales limo-arcilla (más del 35% de la muestra que pasa la malla No. 200)						
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†			
Análisis por cribado (porcentaje que pasa por las mallas)							
No. 10							
No. 40							
No. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.			
Características de la fracción que pasa por la malla No. 40							
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.			
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.			
Tipos usuales de materiales componentes significativos							
	Suelos limosos		Suelos arcillosos				
Tasa general de los sobrantes			De mediano a pobre				
*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$							
†Para A-7-6, $PI > LL - 30$							

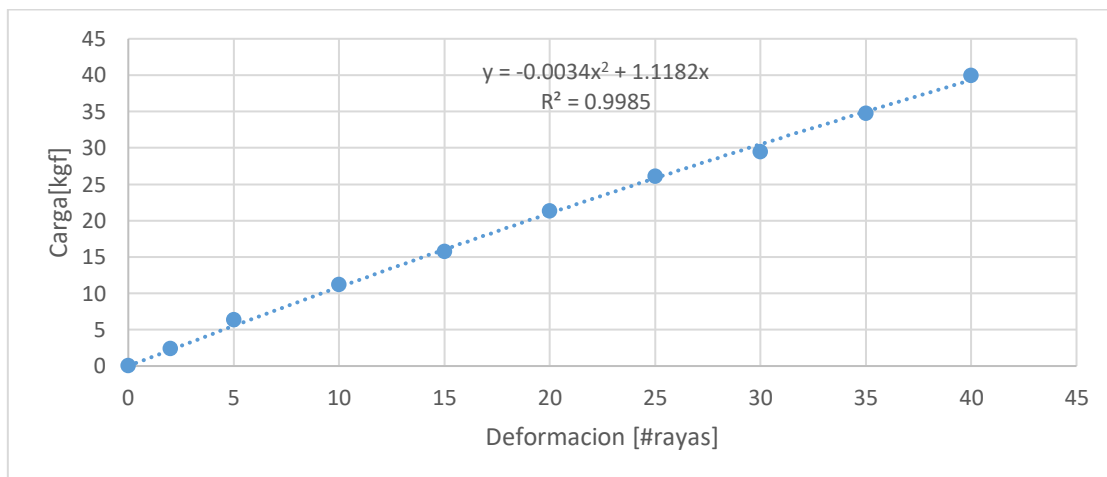
Anexo 3. Calibración de anillo de Lambe

CALIBRACION DE ANILLO DE LAMBE

Datos obtenidos

def	Mediciones[kgf]						Promedio[kgf]
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	
0	0	0	0	0	0	0	0.00
2	2.4	2.4	2.4		2.4	2.4	2.40
5	6.4	6.3	6.4	6.3		6.3	6.34
10	11.2	11.2	11.2		11.2	11.2	11.20
15	15.6	15.2	15.4			16.6	15.70
20	21.4		20.5		22	21.2	21.28
25	26.4	25.9	25.9			26.1	26.08
30		29.8	29.8			28.8	29.47
35	35.7	34.7	34.7			33.9	34.75
40	40.6	39.7	40.6			38.7	39.90

Se obtiene una regresión lineal con los promedios de los datos obtenidos vs. la deformación en número de rayas que presenta el dial del anillo de carga.



Se obtiene la ecuación de la recta:

$$C = -0.0035 * R^2 + 1.1182 * R$$


Donde:

C: Carga en kgf.

R: Numero de rayas del dial de carga.

Anexo 4. Intercambio Catiónico

Ensayo de Intercambio Catiónico realizado en el laboratorio tecnológico de la facultad de Ingeniería Química



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
LABORATORIO DE SUELOS

Página: Página 1 de 1


FECHA: 19 de noviembre de 2018
 CLIENTE: SR. PABLO DAZA
 MUESTRAS: MUESTRAS DE SUELOS

RESULTADO DEL ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO.

MÉTODO: MÉTODO DE SATURACIÓN CON ACETATO DE AMONIO

MUESTRA	CODIGO DE LABORATORIO	CATIONES ASIMILABLES (meq/100 gr suelo)				CATIONES SOLUBLES (meq/100 gr suelo)				CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO TOTAL (meq/100 gr suelo)
		Sodio	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio	Potasio	Calcio	Magnesio	
MUESTRA PROCEDENTE DE BAÑOS-CUENCA	LSA-26	0.696	9.231	31.000	8.333	0.043	0.256	0.000	0.000	48.960
MUESTRA PROCEDENTE DE CHALLABAMBA-CUENCA	LSA-27	0.304	0.751	52.000	6.667	0.261	0.333	11.000	1.250	46.878
MUESTRA PROCEDENTE DE MIRAFLORES-CUENCA	LSA-28	0.304	0.795	21.000	10.000	0.174	0.128	0.250	0.167	31.380

OBSERVACIONES: _____



...
Firma del Analista

UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ciencias Químicas
Laboratorio Tecnológico


Anexo 5. Tabla de clasificación de arcillas

Fuente: *Ion Exchange in clays and other minerals* de (Carrol, 1959).

Mineral	Structural control	Ex- change capacity, m.e./100 g at pH 7
Kaolinite	Unsatisfied valences on edges of structural units	3-15
Halloysite (2H ₂ O)	Unsatisfied valences on edges of structural units	5-10
Halloysite (4H ₂ O)	Unsatisfied valences on edges of structural units and on internal surface between the layers	40-50
Montmorillonite group	Substitutions in the octahedral and tetrahedral units giving excess negative charge; unsatisfied valences on edges of units.	70-100*
"Illites" (hydrous micas)	As in montmorillonite, plus deficiency of K ⁺ between the layers	10-40
Vermiculite	Replacement of interlayer cations, substitution within the units, and unsatisfied valences on edges of units	100-150
Chlorite	No data. Possible deficiency of charge due to substitution in the brucite layer	10-40?
Glauconite	As in "illites"	11-20+
Palygorskite group	Substitution of Al ³⁺ for Si ⁴⁺ in structural units, unsatisfied exchange sites within channels in the structure	20-30
Allophane	Porous amorphous structure with unsatisfied valences	~70

Anexo 6. pH del suelo


Ensayo de pH realizado en el laboratorio de Ingeniería sanitaria, de la Facultad de Ingeniería.

 UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS				
Muestras Procedencia:	Challuabamba, Baños, Miraflores.- Cantón Cuenca.- Provincia del Azuay			
Tipo de Fuente:	Suelo			
Fecha de Toma:	28 de septiembre de 2018			
Fecha de Análisis:	17 de octubre de 2018			
Análisis solicitado por:	Señores: Pablo Daza - Pablo Bravo			

PARÁMETROS	#1	#2	#3	UNIDAD
	Challuabamba	Baños	Miraflores	
PARÁMETROS QUÍMICOS				
pH	5,4	7,5	8,2	

Responsable:


Dra. Guillermina Pauta C.
DIRECTORA DE LABORATORIO

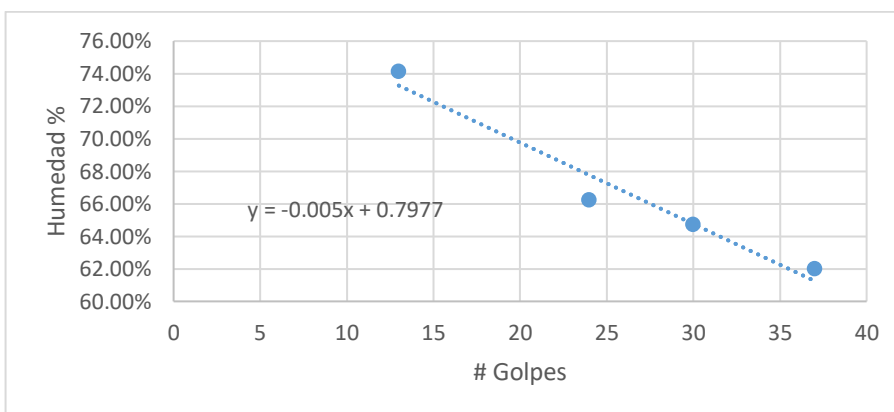
UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería
LABORATORIO DE
INGENIERIA SANITARIA

Anexo 7. Ensayos de laboratorio

ENSAYO DE CLASIFICACION DE SUELO					
BAÑOS					
GRANULOMETRIA					
TAMÍZ #.	ABERTURA mm.	PESO RETEN. g	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
N.4	4.75	2.5	0.49%	0.49%	100.00%
N.8	2.38	10.8	2.12%	2.61%	97.39%
N.16	1.19	16.1	3.16%	5.77%	94.23%
N.30	0.59	29	5.70%	11.47%	88.53%
N.50	0.297	37.7	7.40%	18.87%	81.13%
N.100	0.149	34.1	6.70%	25.57%	74.43%
N.200	0.074	22.3	4.38%	29.95%	70.05%
Fondo T	0	357.8	70.27%	100.22%	0.00%
Fondo	1.2		100.22%		

HUMEDAD INICIAL							
	Peso Tara	Peso húmedo	Peso seco	Suelo húmedo	Suelo Seco	% Humedad	
Tara 1	43.9	60.5	57.3	16.6	13.4	23.88%	24.27%
Tara 2	41.3	60	56.3	18.7	15	24.67%	

LÍMITE LÍQUIDO					
Tara #	# Golpes	Peso Tara	Peso húmedo	Peso seco	H %
1	13	50.3	65.1	58.8	74.12%
2	24	40.9	53.2	48.3	66.22%
3	30	50.3	64.3	58.8	64.71%
4	37	44.1	60.3	54.1	62.00%



LÍMITE PLÁSTICO					
Tara #	Peso Tara	Peso húmedo	Peso seco	Humedad [%]	
1	45.6	51.5	50	34.09%	33.08%
2	41.2	46.4	45.1	33.33%	
3	42	47.8	46.4	31.82%	

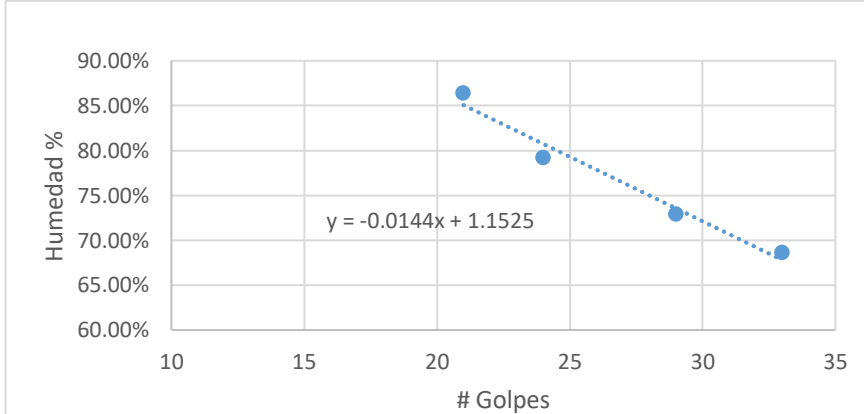
TABLA RESUMEN		
Humedad natural		24.27%
Límite líquido		67.27%
Límite plástico		33.08%
Índice de plasticidad		34.19%

CLASIFICACION	
SUCS	Limo elástico con arena
AASHTO	A-7-5

ENSAYO DE CLASIFICACION DE SUELO					
CHALLUABAMBA					
GRANULOMETRIA					
TAMÍZ #.	ABERTURA mm.	PESO RETEN. g	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
N.4	4.75	0	0.00%	0	1
N.8	2.38	1.3	0.43%	0.43%	99.57%
N.16	1.19	2	0.67%	1.10%	98.90%
N.30	0.59	2	0.67%	1.76%	98.24%
N.50	0.297	1.2	0.40%	2.16%	97.84%
N.100	0.149	1.7	0.57%	2.73%	97.27%
N.200	0.074	1.9	0.63%	3.36%	96.64%
Fondo T	0	289.3	96.34%	99.70%	0.00%
Fondo	0.2		99.70%		

HUMEDAD INICIAL							
	Peso Tara	Peso húmedo	Peso seco	Suelo húmedo	Suelo Seco	% Humedad	
Tara 1	45	58.4	55.3	13.4	10.3	30.10%	29.28%
Tara 2	41.2	59.7	55.6	18.5	14.4	28.47%	

LÍMITE LÍQUIDO					
Tara #	# Golpes	Peso Tara	Peso húmedo	Peso seco	H %
1	21	44.9	60	53	86.42%
2	24	46.6	60.4	54.3	79.22%
3	29	43.9	54.1	49.8	72.88%
4	33	43.7	52.3	48.8	68.63%



LÍMITE PLÁSTICO					
Tara #	Peso Tara	Peso húmedo	Peso seco	Humedad [%]	
1	44.9	46.7	46.2	38.46%	37.98%
2	43.9	45.6	45.1	41.67%	
3	41.2	42.3	42	37.50%	

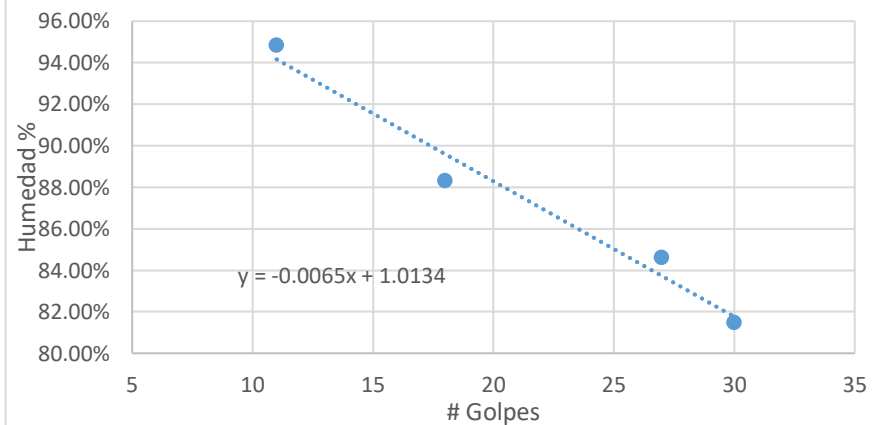
TABLA RESUMEN		
Humedad natural		29.28%
Límite líquido		79.25%
Límite plástico		37.98%
Índice de plasticidad		41.27%

CLASIFICACION	
SUCS	Limo elástico
AASHTO	A-7-5

MIRAFLORES					
GRANULOMETRIA					
TAMÍZ #.	ABERTURA mm.	PESO RETEN. g	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
N.4	4.75	0	0.00%	0.00%	100.00%
N.8	2.38	1.1	0.22%	0.22%	99.78%
N.16	1.19	3.8	0.76%	0.98%	99.02%
N.30	0.59	5	1.00%	1.98%	98.02%
N.50	0.297	4.5	0.90%	2.88%	97.12%
N.100	0.149	3.8	0.76%	3.64%	96.36%
N.200	0.074	1.8	0.36%	4.00%	96.00%
Fondo T	0	485.5	97.10%	101.10%	0.00%
Fondo			101.10%		

HUMEDAD INICIAL							
	Peso Tara	Peso húmedo	Peso seco	Suelo húmedo	Suelo Seco	% Humedad	
Tara 1	51	70.2	65.7	19.2	14.7	30.61%	31.10%
Tara 2	43.1	58.1	54.5	15	11.4	31.58%	

LÍMITE LÍQUIDO					
Tara #	# Golpes	Peso Tara	Peso húmedo	Peso seco	H %
1	11	42.4	53.7	48.2	94.83%
2	18	45.4	59.9	53.1	88.31%
3	27	44.4	58.8	52.2	84.62%
4	30	42.2	52	47.6	81.48%

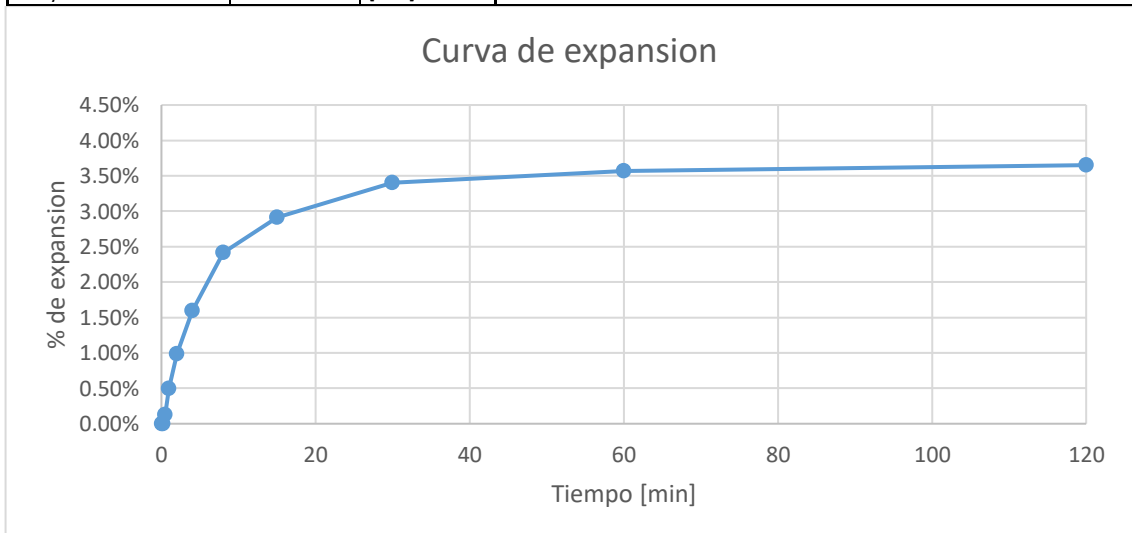


LÍMITE PLÁSTICO					
Tara #	Peso Tara	Peso húmedo	Peso seco	Humedad [%]	
1	43.9	47.6	46.6	37.04%	37.75%
2	46.6	48.7	48.2	31.25%	
3	51	52.8	52.3	38.46%	

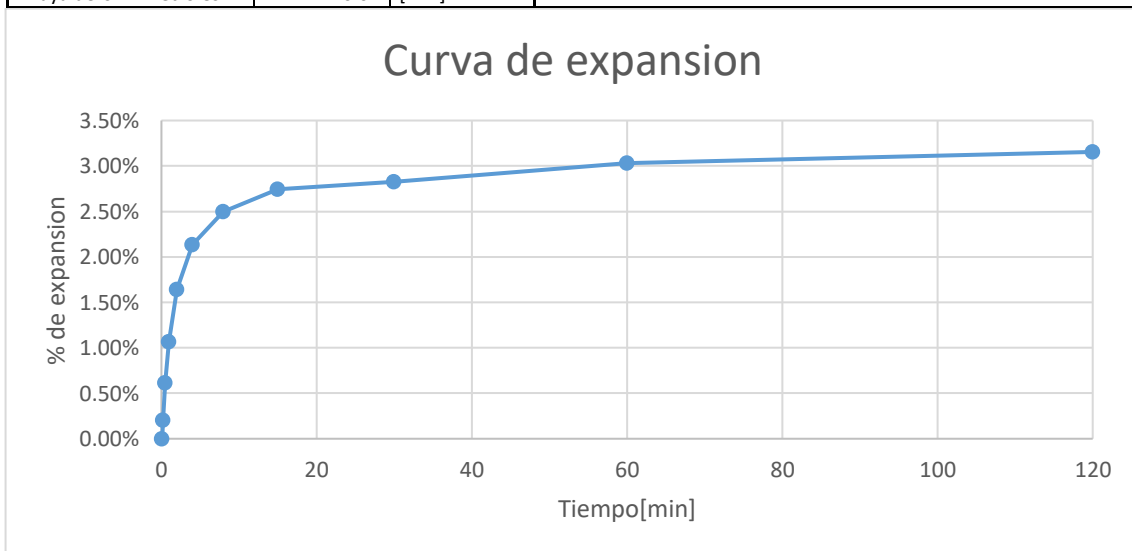
TABLA RESUMEN	
Humedad natural	31.10%
Límite líquido	86.41%
Límite plástico	37.75%
Índice de plasticidad	48.66%

CLASIFICACION	
SUCS	Arcilla densa
AASHTO	A-7-5

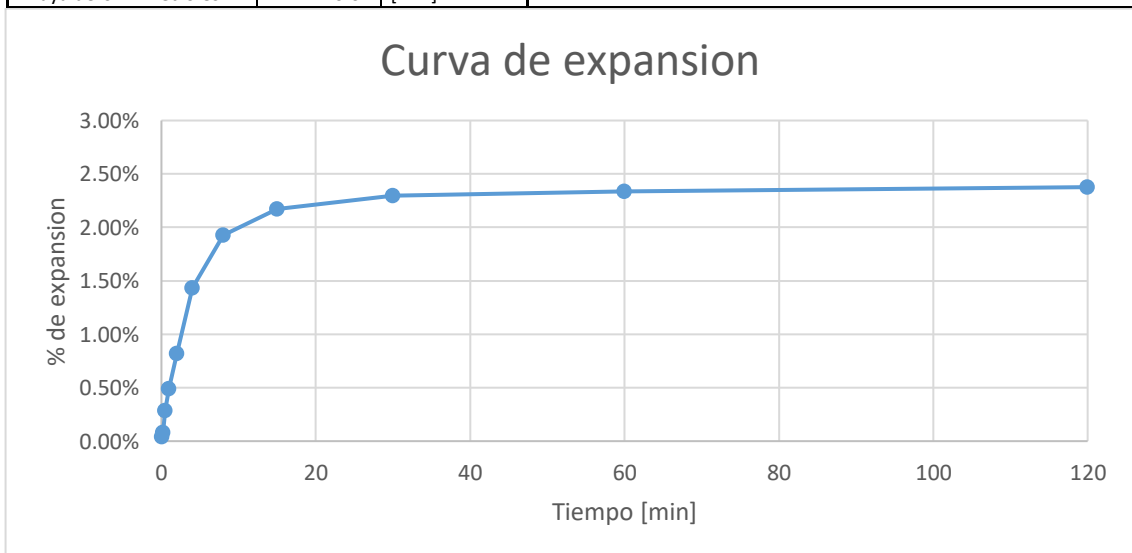
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
Muestra 1 - Challuabamba inalterada (M1-C)					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
Diámetro[cm]	6.335	Humedad			
Altura[cm]	2.44		Tara 1	Tara 2	
Área[cm ²]	31.52	Peso T+S húmedo[grf]	81.4	71.3	
Volumen[cm ³]	76.91	Peso T+S seco[grf]	73.7	63.4	
Peso anillo[grf]	112.7	Peso Tara[grf]	50.6	40.8	
Peso anillo + suelo[grf]	255.6	Humedad [%]	33.33%	34.96%	
Peso suelo[grf]	142.9	Humedad promedio[%]	34.14%		
Datos iniciales muestra		G _s	2.76		
y _h [grf/cm ³]	1.86	e	0.99		
y _s [grf/cm ³]	1.44	n	0.50		
Humedad inicial[%]	29.28%	s	94.89%		
G _s	2.76	% Expansión	3.81%		
e	0.92				
n	0.48				
s	87.76%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[<u>min</u>]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
21/08/2018	12:20:06 PM	0.1(6seg)	0	0	0.00%
21/08/2018	12:20:12 PM	0.2(12seg)	0	0	0.00%
21/08/2018	12:20:30 PM	0.5(30seg)	3	0.03	0.12%
21/08/2018	12:21:00 PM	1	12	0.12	0.49%
21/08/2018	12:22:00 PM	2	24	0.24	0.98%
21/08/2018	12:24:00 PM	4	39	0.39	1.60%
21/08/2018	12:28:00 PM	8	59	0.59	2.42%
21/08/2018	12:35:00 PM	15	71	0.71	2.91%
21/08/2018	12:50:00 PM	30	83	0.83	3.40%
21/08/2018	1:20:00 PM	60(1hora)	87	0.87	3.57%
21/08/2018	2:20:00 PM	120(2hora)	89	0.89	3.65%
21/08/2018	4:20:00 PM	240(4hora)	90	0.9	3.69%
21/08/2018	8:20:00 PM	480(8hora)	91	0.91	3.73%
22/08/2018	12:20:00 PM	1440(24hora)	91	0.91	3.73%
23/08/2018	12:20:00 PM	2880(48hora)	93	0.93	3.81%
24/08/2018	12:20:00 PM	4320(72hora)	93	0.93	3.81%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



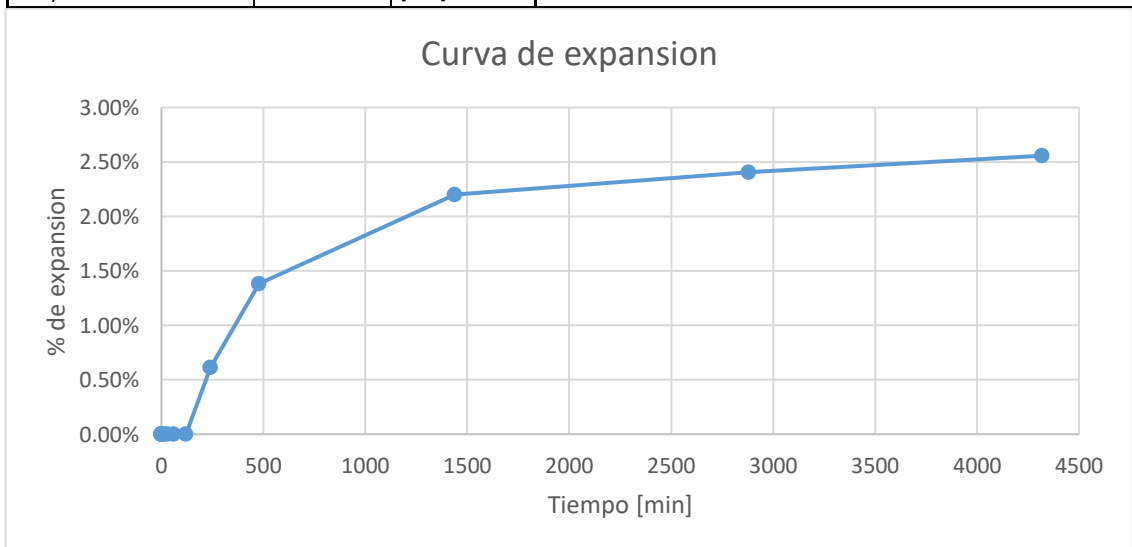
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
Muestra 2 - Challuabamba inalterada (M2-C)					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
Diámetro[cm]	6.33		Humedad		
Altura[cm]	2.44			Tara 1	Tara 2
Área[cm ²]	31.47		Peso T+S húmedo[grf]	70.3	82.1
Volumen[cm ³]	76.79		Peso T+S seco[grf]	63.5	73.6
Peso anillo[grf]	106.8		Peso Tara[grf]	44.2	50.3
Peso anillo + suelo[grf]	243.9		Humedad [%]	35.23%	36.48%
Peso suelo[grf]	137.1		Humedad promedio[%]	35.86%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.76	
γh[grf/cm ³]	1.79		e	1.10	
γs[grf/cm ³]	1.38		n	0.52	
Humedad inicial[%]	29.28%		s	89.92%	
Gs	2.76		% Expansión	3.32%	
e	1.00				
n	0.50				
s	80.90%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[<u>min</u>]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
21/08/2018	12:40:06 PM	0.1(6seg)	0	0	0.00%
21/08/2018	12:40:12 PM	0.2(12seg)	5	0.05	0.20%
21/08/2018	12:40:30 PM	0.5(30seg)	15	0.15	0.61%
21/08/2018	12:41:00 PM	1	26	0.26	1.07%
21/08/2018	12:42:00 PM	2	40	0.4	1.64%
21/08/2018	12:44:00 PM	4	52	0.52	2.13%
21/08/2018	12:48:00 PM	8	61	0.61	2.50%
21/08/2018	12:55:00 PM	15	67	0.67	2.75%
21/08/2018	1:10:00 PM	30	69	0.69	2.83%
21/08/2018	1:40:00 PM	60(1hora)	74	0.74	3.03%
21/08/2018	2:40:00 PM	120(2hora)	77	0.77	3.16%
21/08/2018	4:40:00 PM	240(4hora)	78	0.78	3.20%
21/08/2018	8:40:00 PM	480(8hora)	79	0.79	3.24%
22/08/2018	12:40:00 PM	1440(24hora)	79	0.79	3.24%
23/08/2018	12:40:00 PM	2880(48hora)	80	0.8	3.28%
24/08/2018	12:40:00 PM	4320(72hora)	81	0.81	3.32%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



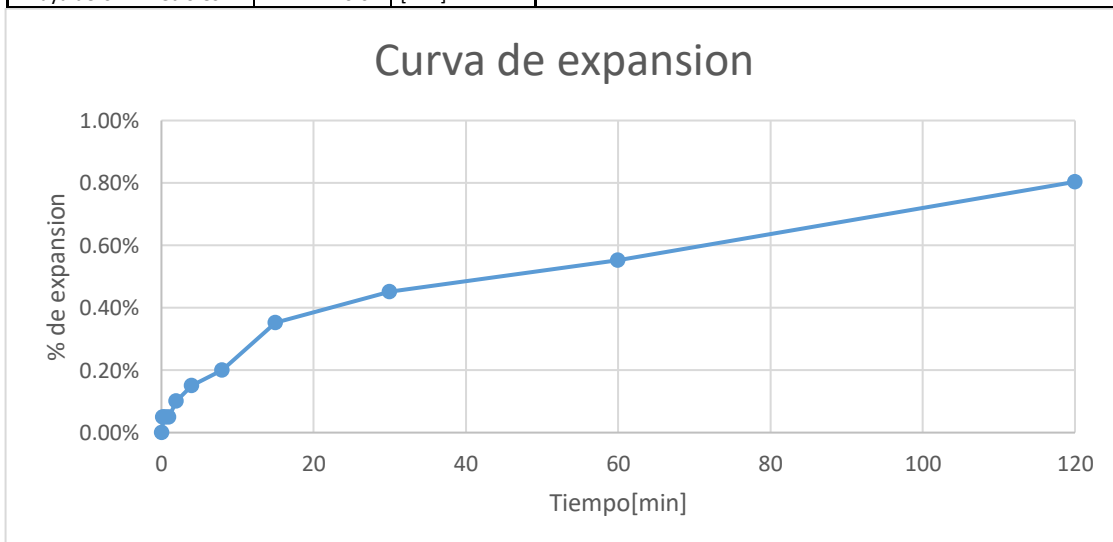
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
Muestra 3 - Challuabamba inalterada (M3-C)					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
Diámetro[cm]	6.33		Humedad		
Altura[cm]	2.44			Tara 1	Tara 2
Área[cm ²]	31.47		Peso T+S húmedo[grf]	76.6	82.7
Volumen[cm ³]	76.79		Peso T+S seco[grf]	68.4	73
Peso anillo[grf]	115.5		Peso Tara[grf]	45.4	44.3
Peso anillo + suelo[grf]	255.6		Humedad [%]	35.65%	33.80%
Peso suelo[grf]	140.1		Humedad promedio[%]	34.73%	
Datos iniciales muestra			G _s	2.76	
γ _h [grf/cm ³]	1.82		e	1.04	
γ _s [grf/cm ³]	1.41		n	0.51	
Humedad inicial[%]	29.28%		s	92.29%	
G _s	2.76		% Expansión	2.75%	
e	0.96				
n	0.49				
s	84.52%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[<i>min</i>]	Lecturas[#rayas]	Deformación[<i>mm</i>]	% de Expansión
21/08/2018	1:00:06 PM	0.1(6seg)	1	0.01	0.04%
21/08/2018	1:00:12 PM	0.2(12seg)	2	0.02	0.08%
21/08/2018	1:00:30 PM	0.5(30seg)	7	0.07	0.29%
21/08/2018	1:01:00 PM	1	12	0.12	0.49%
21/08/2018	1:02:00 PM	2	20	0.2	0.82%
21/08/2018	1:04:00 PM	4	35	0.35	1.43%
21/08/2018	1:08:00 PM	8	47	0.47	1.93%
21/08/2018	1:15:00 PM	15	53	0.53	2.17%
21/08/2018	1:30:00 PM	30	56	0.56	2.30%
21/08/2018	2:00:00 PM	60(1hora)	57	0.57	2.34%
21/08/2018	3:00:00 PM	120(2hora)	58	0.58	2.38%
21/08/2018	5:00:00 PM	240(4hora)	61	0.61	2.50%
21/08/2018	9:00:00 PM	480(8hora)	65	0.65	2.66%
22/08/2018	1:00:00 PM	1440(24hora)	66	0.66	2.70%
23/08/2018	1:00:00 PM	2880(48hora)	67	0.67	2.75%
24/08/2018	1:00:00 PM	4320(72hora)	67	0.67	2.75%
1 raya deformímetro es		0.01	[<i>mm</i>]		



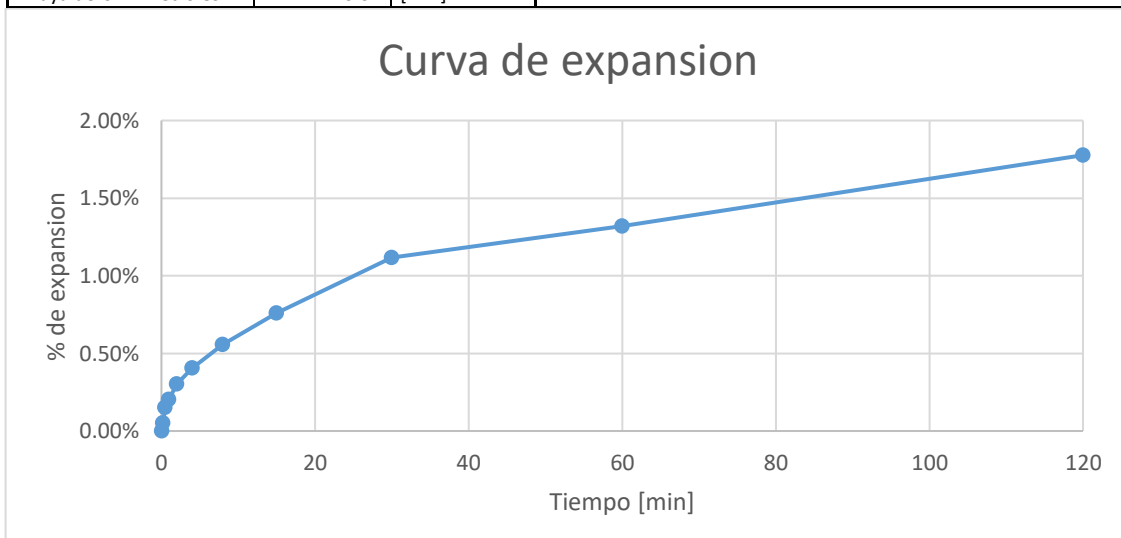
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
Muestra 1 – Baños inalterada (M1-B)					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
Diámetro[cm]	5.04	Humedad			
Altura[cm]	1.955		Tara 1	Tara 2	
Área[cm ²]	19.95	Peso T+S húmedo[grf]	65.8	55.7	
Volumen[cm ³]	39.00	Peso T+S seco[grf]	61.6	51.7	
Peso anillo[grf]	58.3	Peso Tara[grf]	50.6	40.8	
Peso anillo + suelo[grf]	123	Humedad [%]	38.18%	36.70%	
Peso suelo[grf]	64.7	Humedad promedio[%]	37.44%		
Datos iniciales muestra		Gs	2.65		
yh[grf/cm ³]	1.66	e	1.20		
ys[grf/cm ³]	1.30	n	0.55		
Humedad inicial[%]	27.21%	s	82.87%		
Gs	2.65	% Expansión	2.56%		
e	1.04				
n	0.51				
s	69.75%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
28/08/2018	8:20:06 AM	0.1(6seg)	0	0	0.00%
28/08/2018	8:20:12 AM	0.2(12seg)	0	0	0.00%
28/08/2018	8:20:30 AM	0.5(30seg)	0	0	0.00%
28/08/2018	8:21:00 AM	1	0	0	0.00%
28/08/2018	8:22:00 AM	2	0	0	0.00%
28/08/2018	8:24:00 AM	4	0	0	0.00%
28/08/2018	8:28:00 AM	8	0	0	0.00%
28/08/2018	8:35:00 AM	15	0	0	0.00%
28/08/2018	8:50:00 AM	30	0	0	0.00%
28/08/2018	9:20:00 AM	60(1hora)	0	0	0.00%
28/08/2018	10:20:00 AM	120(2hora)	0	0	0.00%
28/08/2018	12:20:00 AM	240(4hora)	12	0.12	0.61%
28/08/2018	4:20:00 PM	480(8hora)	27	0.27	1.38%
29/08/2018	8:20:00 AM	1440(24hora)	43	0.43	2.20%
30/08/2018	8:20:00 AM	2880(48hora)	47	0.47	2.40%
31/08/2018	8:20:00 AM	4320(72hora)	50	0.5	2.56%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



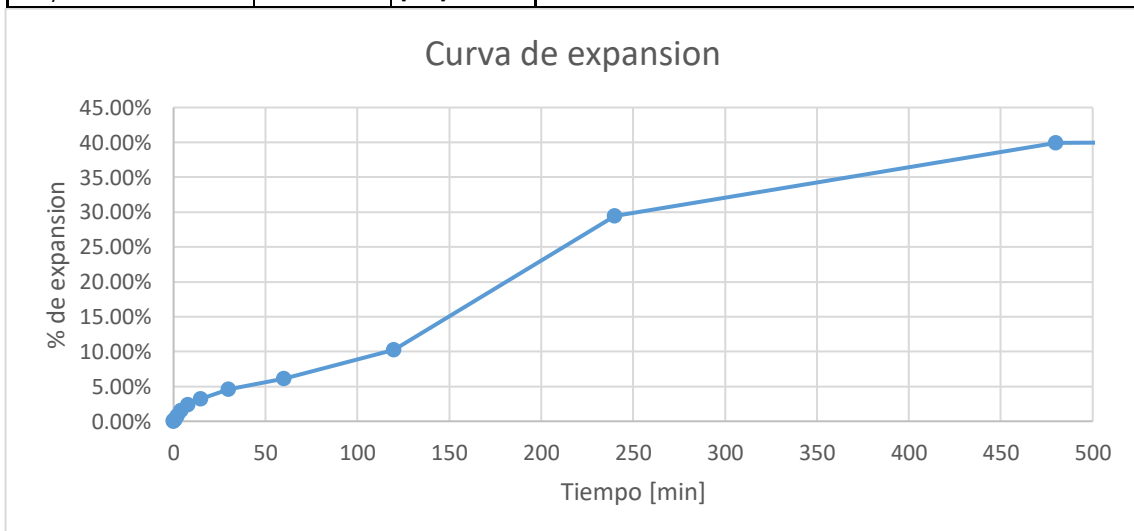
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
Muestra 2 – Baños inalterada (M2-B)					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
Diámetro[cm]	7.15	Humedad			
Altura[cm]	1.99		Tara 1	Tara 2	
Área[cm ²]	40.15	Peso T+S húmedo[grf]	72.7	57.9	
Volumen[cm ³]	79.90	Peso T+S seco[grf]	66.8	54.8	
Peso anillo[grf]	83	Peso Tara[grf]	45.3	44.4	
Peso anillo + suelo[grf]	231.8	Humedad [%]	27.44%	29.81%	
Peso suelo[grf]	148.8	Humedad promedio[%]	28.62%		
Datos iniciales muestra		Gs	2.65		
γh[grf/cm ³]	1.86	e	0.83		
γs[grf/cm ³]	1.50	n	0.45		
Humedad inicial[%]	24.27%	s	91.18%		
Gs	2.65	% Expansión	2.86%		
e	0.77				
n	0.44				
s	83.54%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
10/25/2018	11:00:06 AM	0.1(6seg)	0	0	0.00%
10/25/2018	11:00:12 AM	0.2(12seg)	1	0.01	0.05%
10/25/2018	11:00:30 AM	0.5(30seg)	1	0.01	0.05%
10/25/2018	11:01:00 AM	1	1	0.01	0.05%
10/25/2018	11:02:00 AM	2	2	0.02	0.10%
10/25/2018	11:04:00 AM	4	3	0.03	0.15%
10/25/2018	11:08:00 AM	8	4	0.04	0.20%
10/25/2018	11:15:00 AM	15	7	0.07	0.35%
10/25/2018	11:30:00 AM	30	9	0.09	0.45%
10/25/2018	12:00:00 PM	60(1hora)	11	0.11	0.55%
10/25/2018	1:00:00 PM	120(2hora)	16	0.16	0.80%
10/25/2018	3:00:00 PM	240(4hora)	23	0.23	1.16%
10/25/2018	7:00:00 PM	480(8hora)	35	0.35	1.76%
10/26/2018	11:00:00 AM	1440(24hora)	50	0.5	2.51%
10/27/2018	11:00:00 AM	2880(48hora)	55	0.55	2.76%
10/28/2018	11:00:00 AM	4320(72hora)	57	0.57	2.86%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



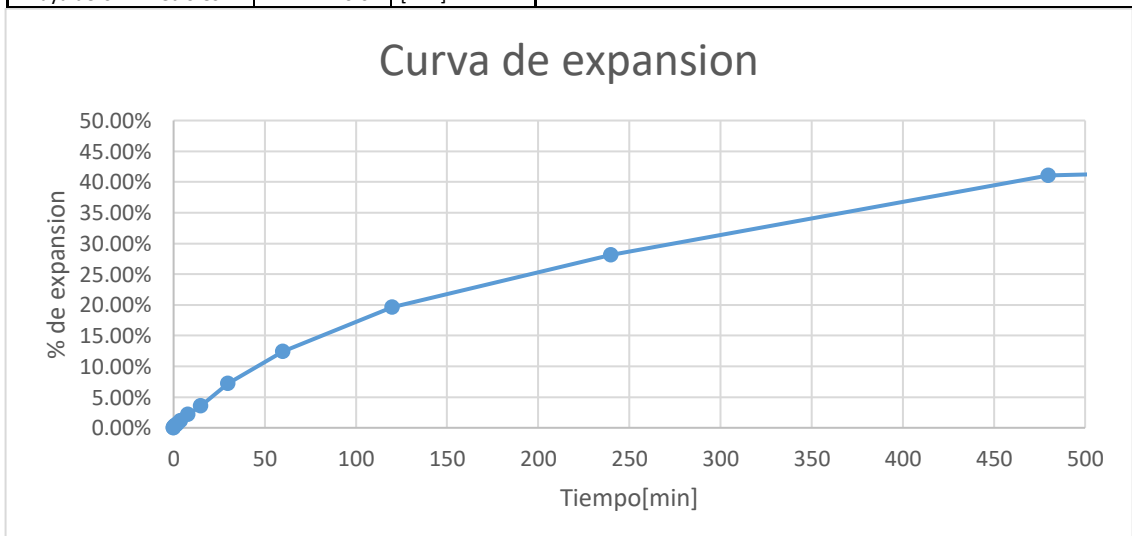
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
Muestra 3 – Baños inalterada (M3-B)					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
diámetro[cm]	5.035	Humedad			
Altura[cm]	1.97		Tara 1	Tara 2	
Área[cm ²]	19.91	Peso T+S húmedo[grf]	61.6	62.3	
Volumen[cm ³]	39.22	Peso T+S seco[grf]	57.2	58	
Peso anillo[grf]	58.6	Peso Tara[grf]	45.3	44.4	
Peso anillo + suelo[grf]	123.3	Humedad [%]	36.97%	31.62%	
Peso suelo[grf]	64.7	Humedad promedio[%]	34.30%		
Datos iniciales muestra		Gs	2.65		
yh[grf/cm ³]	1.65	e	1.16		
ys[grf/cm ³]	1.30	n	0.54		
Humedad inicial[%]	27.21%	s	78.40%		
Gs	2.65	% Expansión	3.25%		
e	1.05				
n	0.51				
s	68.98%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
28/08/2018	8:10:06 AM	0.1(6seg)	0	0	0.00%
28/08/2018	8:10:12 AM	0.2(12seg)	1	0.01	0.05%
28/08/2018	8:10:30 AM	0.5(30seg)	3	0.03	0.15%
28/08/2018	8:11:00 AM	1	4	0.04	0.20%
28/08/2018	8:12:00 AM	2	6	0.06	0.30%
28/08/2018	8:14:00 AM	4	8	0.08	0.41%
28/08/2018	8:18:00 AM	8	11	0.11	0.56%
28/08/2018	8:25:00 AM	15	15	0.15	0.76%
28/08/2018	8:40:00 AM	30	22	0.22	1.12%
28/08/2018	9:10:00 AM	60(1hora)	26	0.26	1.32%
28/08/2018	10:10:00 AM	120(2hora)	35	0.35	1.78%
28/08/2018	12:10:00 AM	240(4hora)	44	0.44	2.23%
28/08/2018	4:10:00 PM	480(8hora)	53	0.53	2.69%
29/08/2018	8:10:00 AM	1440(24hora)	56	0.56	2.84%
30/08/2018	8:10:00 AM	2880(48hora)	61	0.61	3.10%
31/08/2018	8:10:00 AM	4320(72hora)	64	0.64	3.25%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



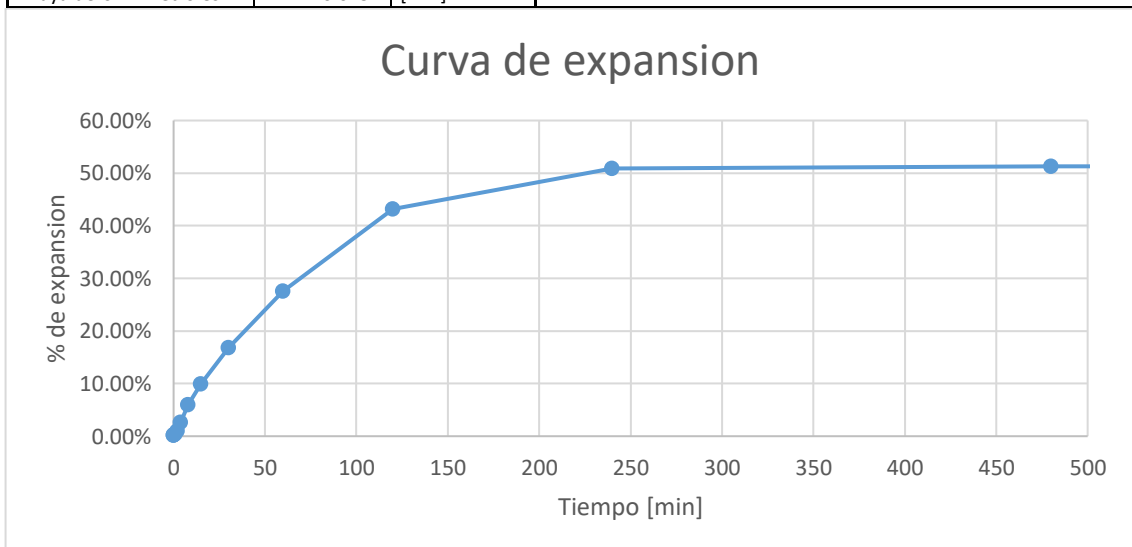
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
Muestra 1 – Miraflores inalterada (M1-M)					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
diámetro[cm]	5.04	Humedad			
Altura[cm]	1.95		Tara 1(bl3)	Tara 2(ml3)	
Área[cm ²]	19.95	Peso T+S húmedo[grf]	82.3	69.8	
Volumen[cm ³]	38.90	Peso T+S seco[grf]	72.6	62.9	
Peso anillo[grf]	58.6	Peso Tara[grf]	44	42.4	
Peso anillo + suelo[grf]	132.4	Humedad [%]	33.92%	33.66%	
Peso suelo[grf]	73.8	Humedad promedio[%]	33.79%		
Datos iniciales muestra		Gs	2.73		
yh[grf/cm ³]	1.90	e	0.93		
ys[grf/cm ³]	1.50	n	0.48		
Humedad inicial[%]	26.78%	s	99.55%		
Gs	2.73	% Expansión	41.85%		
e	0.83				
n	0.45				
s	88.54%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
11/08/2018	10:15:06 PM	0.1(6seg)	0	0	0.00%
11/08/2018	10:15:12 PM	0.2(12seg)	1	0.01	0.05%
11/08/2018	10:15:30 PM	0.5(30seg)	3	0.03	0.15%
11/08/2018	10:16:00 PM	1	5	0.05	0.26%
11/08/2018	10:17:00 PM	2	15	0.15	0.77%
11/08/2018	10:18:00 PM	4	30	0.3	1.54%
11/08/2018	10:23:00 PM	8	46	0.46	2.36%
11/08/2018	10:30:00 PM	15	62	0.62	3.18%
11/08/2018	10:45:00 PM	30	89	0.89	4.56%
11/08/2018	11:15:00 PM	60(1hora)	120	1.2	6.15%
11/09/2018	12:15:00 AM	120(2hora)	200	2	10.26%
11/09/2018	2:15:00 AM	240(4hora)	574	5.74	29.44%
11/09/2018	6:15:00 AM	480(8hora)	779	7.79	39.95%
11/09/2018	10:15:06 PM	1440(24hora)	807	8.07	41.38%
11/10/2018	10:15:06 PM	2880(48hora)	813	8.13	41.69%
11/11/2018	10:15:06 PM	4320(72hora)	816	8.16	41.85%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



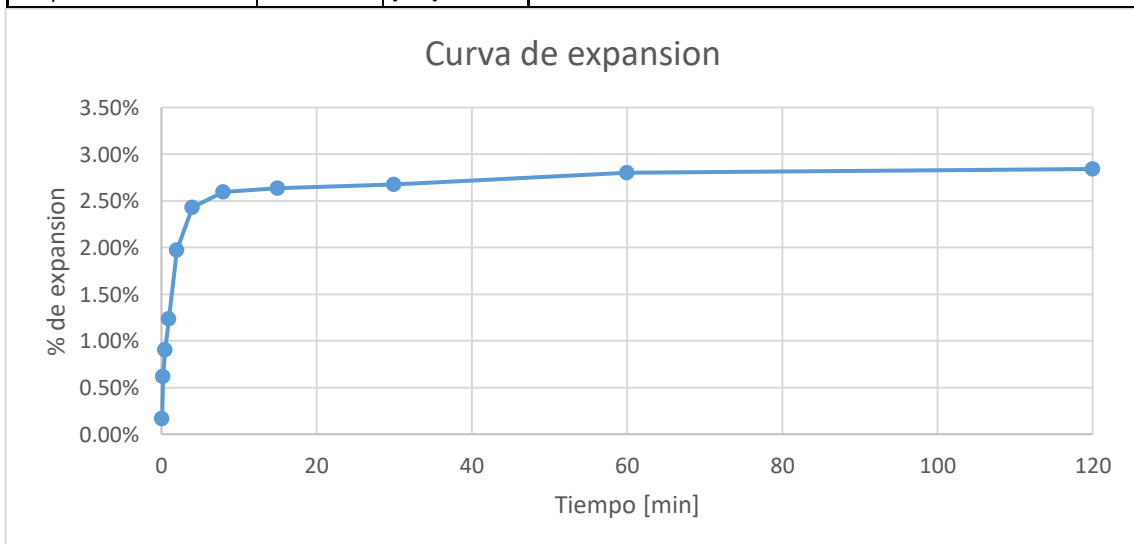
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
Muestra 2 – Miraflores inalterada (M2-M)					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	6.39		Humedad		
Altura[cm]	2.34			Tara 1(ml1)	Tara 2(hc1)
Área[cm ²]	32.07		Peso T+S húmedo[grf]	104.8	84.5
Volumen[cm ³]	75.04		Peso T+S seco[grf]	85.6	70.7
Peso anillo[grf]	116.3		Peso Tara[grf]	46.5	42
Peso anillo + suelo[grf]	246.8		Humedad [%]	49.10%	48.08%
Peso suelo[grf]	130.5		Humedad promedio[%]	48.59%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm ³]	1.74		e	1.34	
ys[grf/cm ³]	1.39		n	0.57	
Humedad inicial[%]	25.49%		s	99.45%	
Gs	2.73		% Expansión	48.42%	
e	0.97				
n	0.49				
s	71.64%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
11/08/2018	10:30:06 PM	0.1(6seg)	1	0.01	0.04%
11/08/2018	10:30:12 PM	0.2(12seg)	1	0.01	0.04%
11/08/2018	10:30:30 PM	0.5(30seg)	5	0.05	0.21%
11/08/2018	10:31:00 PM	1	8	0.08	0.34%
11/08/2018	10:32:00 PM	2	14	0.14	0.60%
11/08/2018	10:34:00 PM	4	27	0.27	1.15%
11/08/2018	10:38:00 PM	8	52	0.52	2.22%
11/08/2018	10:45:00 PM	15	84	0.84	3.59%
11/08/2018	11:00:00 PM	30	169	1.69	7.22%
11/08/2018	11:30:00 PM	60(1hora)	290	2.9	12.39%
11/09/2018	12:30:00 AM	120(2hora)	459	4.59	19.62%
11/09/2018	2:30:00 AM	240(4hora)	659	6.59	28.16%
11/09/2018	6:30:00 AM	480(8hora)	961	9.61	41.07%
11/09/2018	10:30:00 PM	1440(24hora)	1127	11.27	48.16%
11/10/2018	10:30:00 PM	2880(48hora)	1133	11.33	48.42%
11/11/2018	10:30:00 PM	4320(72hora)	1133	11.33	48.42%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



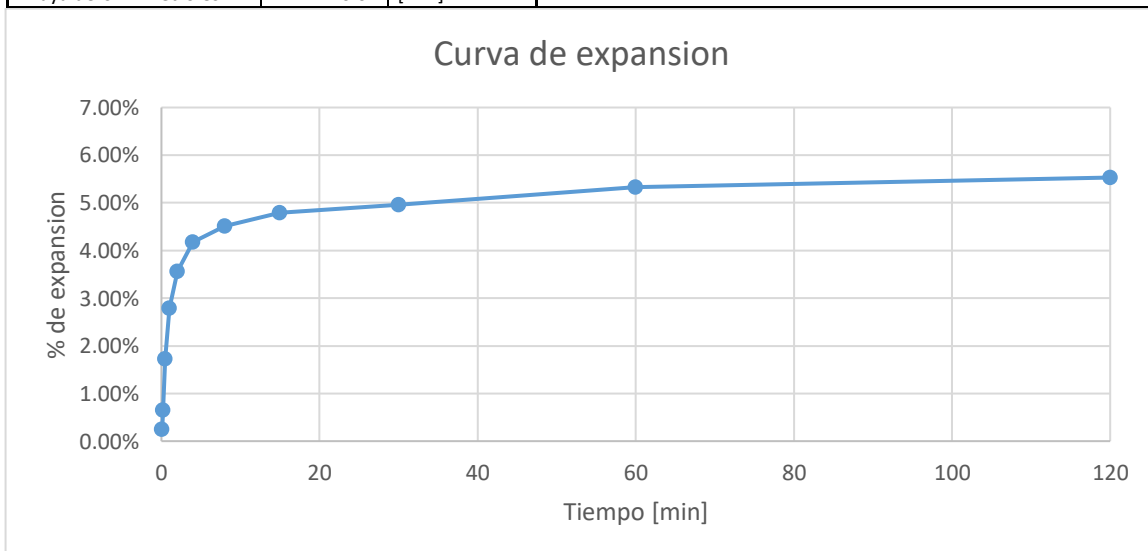
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
Muestra 3 – Miraflores inalterada (M3-M)					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	6.33		Humedad		
Altura[cm]	2.47			Tara 1(ch1)	Tara 2(bl3)
Área[cm ²]	31.47		Peso T+S húmedo[grf]	82.2	90.8
Volumen[cm ³]	77.73		Peso T+S seco[grf]	71.5	76.9
Peso anillo[grf]	111.9		Peso Tara[grf]	45.6	43
Peso anillo + suelo[grf]	253		Humedad [%]	41.31%	41.00%
Peso suelo[grf]	141.1		Humedad promedio[%]	41.16%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm ³]	1.82		e	1.13	
ys[grf/cm ³]	1.50		n	0.53	
Humedad inicial[%]	21.33%		s	99.95%	
Gs	2.73		% Expansión	51.73%	
e	0.83				
n	0.45				
s	70.49%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[<u>min</u>]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
11/08/2018	10:45:06 PM	0.1(6seg)	2	0.0508	0.21%
11/08/2018	10:45:12 PM	0.2(12seg)	2	0.0508	0.21%
11/08/2018	10:45:30 PM	0.5(30seg)	3	0.0762	0.31%
11/08/2018	10:46:00 PM	1	4	0.1016	0.41%
11/08/2018	10:47:00 PM	2	10	0.254	1.03%
11/08/2018	10:49:00 PM	4	26	0.6604	2.67%
11/08/2018	10:53:00 PM	8	58	1.4732	5.96%
11/08/2018	11:00:00 PM	15	97	2.4638	9.97%
11/08/2018	11:15:00 PM	30	164	4.1656	16.86%
11/08/2018	11:45:00 PM	60(1hora)	268	6.8072	27.56%
11/09/2018	12:45:00 AM	120(2hora)	420	10.668	43.19%
11/09/2018	2:45:00 AM	240(4hora)	495	12.573	50.90%
11/09/2018	6:45:00 AM	480(8hora)	499	12.6746	51.31%
11/09/2018	10:45:00 PM	1440(24hora)	500	12.7	51.42%
11/10/2018	10:45:00 PM	2880(48hora)	501	12.7254	51.52%
11/11/2018	10:45:00 PM	4320(72hora)	503	12.7762	51.73%
1 raya deformímetro es		0.0254	[mm]		



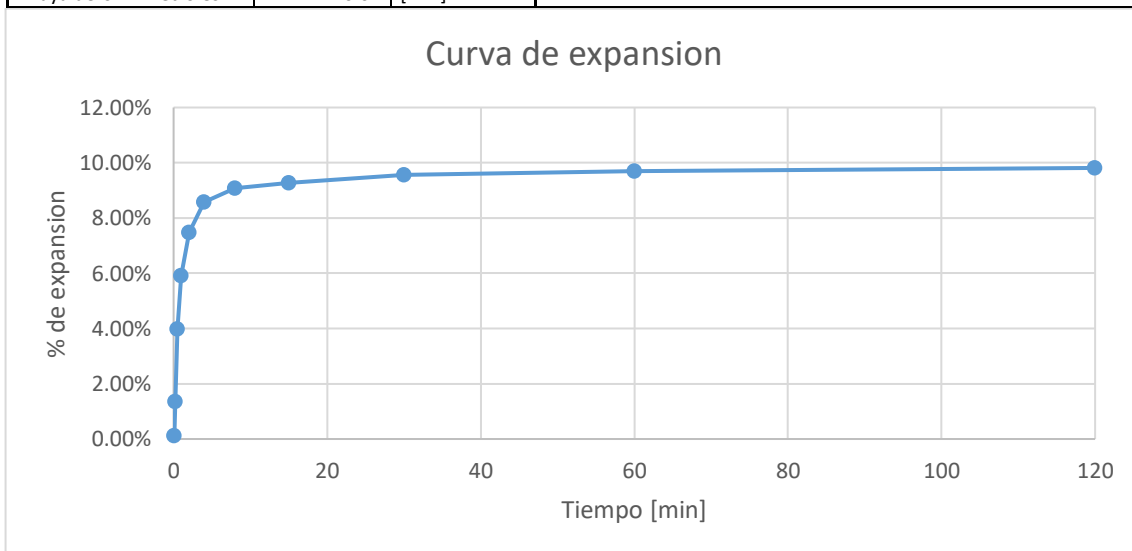
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M1 – Cal – Densidad reducida – 3 días					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	6.3		Humedad		
Altura[cm]	2.43		Tara 1(hc1)	Tara 2(hm2)	
Área[cm ²]	31.17		Peso T+S húmedo[grf]	61.8	54.9
Volumen[cm ³]	75.75		Peso T+S seco[grf]	55.5	50.3
Peso anillo[grf]	115.5		Peso Tara[grf]	43.1	40.9
Peso anillo + suelo[grf]	223.5		Humedad [%]	50.81%	48.94%
Peso suelo[grf]	108		Humedad promedio[%]	49.87%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm ³]	1.43		e	1.87	
ys[grf/cm ³]	1.16		n	0.65	
Humedad inicial[%]	22.67%		s	72.77%	
Gs	2.73		% Expansión	3.05%	
e	1.35				
n	0.57				
s	45.84%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
10/27/2018	5:00:06 PM	0.1(6seg)	4	0.04	0.16%
10/27/2018	5:00:12 PM	0.2(12seg)	15	0.15	0.62%
10/27/2018	5:00:30 PM	0.5(30seg)	22	0.22	0.91%
10/27/2018	5:01:00 PM	1	30	0.3	1.23%
10/27/2018	5:02:00 PM	2	48	0.48	1.98%
10/27/2018	5:04:00 PM	4	59	0.59	2.43%
10/27/2018	5:08:00 PM	8	63	0.63	2.59%
10/27/2018	5:15:00 PM	15	64	0.64	2.63%
10/27/2018	5:30:00 PM	30	65	0.65	2.67%
10/27/2018	6:00:00 PM	60(1hora)	68	0.68	2.80%
10/27/2018	7:00:00 PM	120(2hora)	69	0.69	2.84%
10/27/2018	9:00:00 PM	240(4hora)	69	0.69	2.84%
10/28/2018	1:00:00 AM	480(8hora)	71	0.71	2.92%
10/28/2018	5:00:00 PM	1440(24hora)	73	0.73	3.00%
10/29/2018	5:00:00 PM	2880(48hora)	74	0.74	3.05%
10/30/2018	5:00:00 PM	4320(72hora)	74	0.74	3.05%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



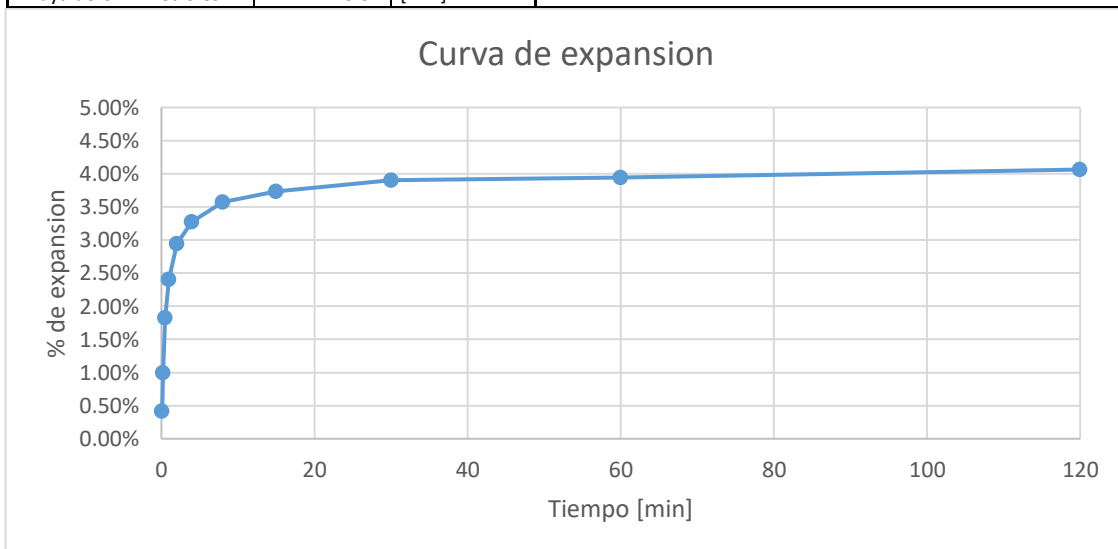
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M2 – Cal – Densidad reducida – 3 días					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
diámetro[cm]	6.31	Humedad			
Altura[cm]	2.44		Tara 1(bp3)	Tara 2(bl3)	
Área[cm ²]	31.27	Peso T+S húmedo[grf]	61.9	75.7	
Volumen[cm ³]	76.30	Peso T+S seco[grf]	55.4	65.2	
Peso anillo[grf]	112.3	Peso Tara[grf]	42.1	44.1	
Peso anillo + suelo[grf]	220.6	Humedad [%]	48.87%	49.76%	
Peso suelo[grf]	108.3	Humedad promedio[%]	49.32%		
Datos iniciales muestra		Gs	2.73		
yh[grf/cm ³]	1.42	e	1.88		
ys[grf/cm ³]	1.16	n	0.65		
Humedad inicial[%]	22.67%	s	71.87%		
Gs	2.73	% Expansión	6.27%		
e	1.36				
n	0.58				
s	45.48%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
10/27/2018	5:20:06 PM	0.1(6seg)	6	0.06	0.25%
10/27/2018	5:20:12 PM	0.2(12seg)	16	0.16	0.66%
10/27/2018	5:20:30 PM	0.5(30seg)	42	0.42	1.72%
10/27/2018	5:01:00 PM	1	68	0.68	2.79%
10/27/2018	5:22:00 PM	2	87	0.87	3.57%
10/27/2018	5:24:00 PM	4	102	1.02	4.18%
10/27/2018	5:28:00 PM	8	110	1.1	4.51%
10/27/2018	5:35:00 PM	15	117	1.17	4.80%
10/27/2018	5:50:00 PM	30	121	1.21	4.96%
10/27/2018	6:20:00 PM	60(1hora)	130	1.3	5.33%
10/27/2018	7:20:00 PM	120(2hora)	135	1.35	5.53%
10/27/2018	9:20:00 PM	240(4hora)	140	1.4	5.74%
10/28/2018	1:20:00 AM	480(8hora)	145	1.45	5.94%
10/28/2018	5:20:00 PM	1440(24hora)	149	1.49	6.11%
10/29/2018	5:20:00 PM	2880(48hora)	153	1.53	6.27%
10/30/2018	5:20:00 PM	4320(72hora)	153	1.53	6.27%
1 raya deformímetro es		0.01 [mm]			



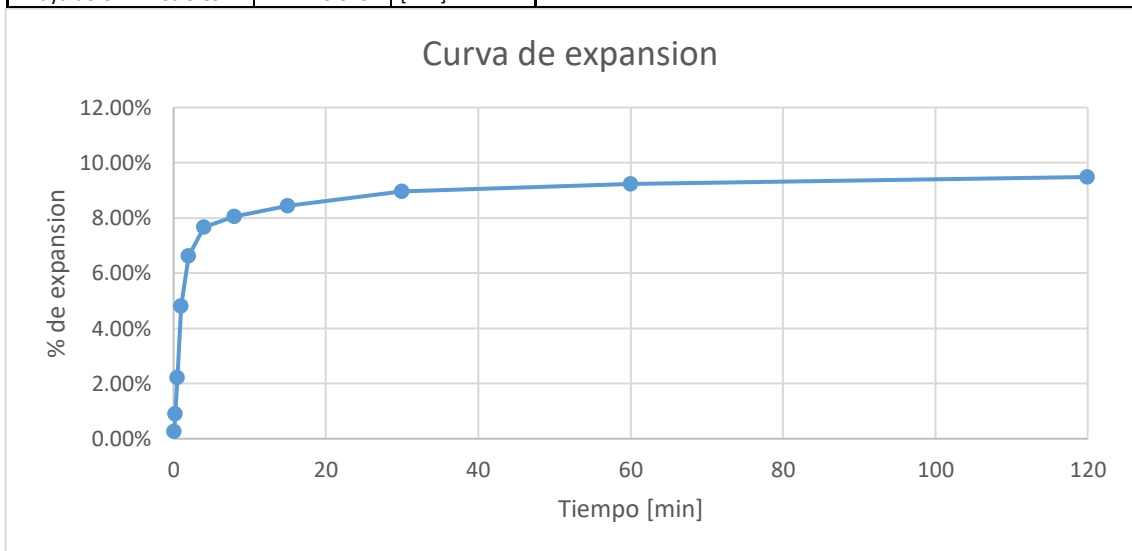
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M1 – Cemento – Densidad reducida – 3 días					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	6.36		Humedad		
Altura[cm]	2.435			Tara 1(mp2)	Tara 2(bp2)
Área[cm ²]	31.77		Peso T+S húmedo[grf]	62.5	83.5
Volumen[cm ³]	77.36		Peso T+S seco[grf]	57.1	69
Peso anillo[grf]	106.2		Peso Tara[grf]	46.5	41.3
Peso anillo + suelo[grf]	214.2		Humedad [%]	50.94%	52.35%
Peso suelo[grf]	108		Humedad promedio[%]	51.64%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm ³]	1.40		e	1.97	
ys[grf/cm ³]	1.15		n	0.66	
Humedad inicial[%]	21.81%		s	71.69%	
Gs	2.73		% Expansión	10.18%	
e	1.38				
n	0.58				
s	43.04%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
10/27/2018	11:00:06 PM	0.1(6seg)	3	0.03	0.12%
10/27/2018	11:00:12 PM	0.2(12seg)	33	0.33	1.36%
10/27/2018	11:00:30 PM	0.5(30seg)	97	0.97	3.98%
10/27/2018	11:01:00 PM	1	144	1.44	5.91%
10/27/2018	11:02:00 PM	2	182	1.82	7.47%
10/27/2018	11:04:00 PM	4	209	2.09	8.58%
10/27/2018	11:08:00 PM	8	221	2.21	9.08%
10/27/2018	11:15:00 PM	15	226	2.26	9.28%
10/27/2018	11:30:00 PM	30	233	2.33	9.57%
10/28/2018	12:00:00 AM	60(1hora)	236	2.36	9.69%
10/28/2018	1:00:00 AM	120(2hora)	239	2.39	9.82%
10/28/2018	3:00:00 AM	240(4hora)	243	2.43	9.98%
10/28/2018	7:00:00 AM	480(8hora)	245	2.45	10.06%
10/28/2018	11:00:00 PM	1440(24hora)	247	2.47	10.14%
10/29/2018	11:00:00 PM	2880(48hora)	248	2.48	10.18%
10/30/2018	11:00:00 PM	4320(72hora)	248	2.48	10.18%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



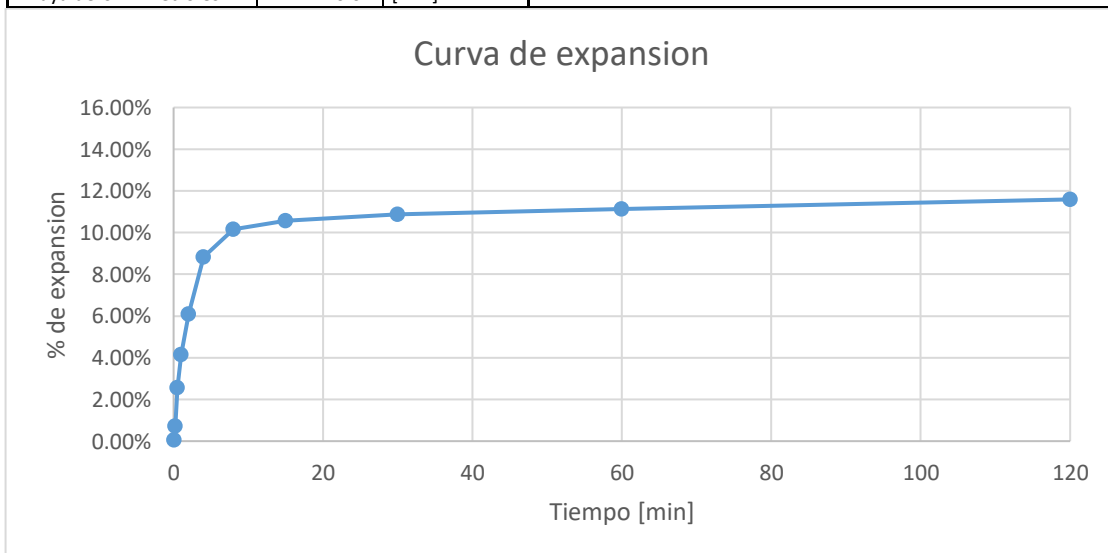
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M2 – Cemento – Densidad reducida – 3 días					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	6.36		Humedad		
Altura[cm]	2.41		Tara 1(ml1)	Tara 2(mp3)	
Área[cm ²]	31.77		Peso T+S húmedo[grf]	91	97.7
Volumen[cm ³]	76.56		Peso T+S seco[grf]	75.4	82.2
Peso anillo[grf]	106.8		Peso Tara[grf]	42.2	51
Peso anillo + suelo[grf]	215		Humedad [%]	46.99%	49.68%
Peso suelo[grf]	108.2		Humedad promedio[%]	48.33%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm ³]	1.41		e	1.87	
ys[grf/cm ³]	1.16		n	0.65	
Humedad inicial[%]	21.81%		s	70.69%	
Gs	2.73		% Expansión	4.32%	
e	1.36				
n	0.58				
s	43.96%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
10/27/2018	11:30:06 PM	0.1(6seg)	10	0.1	0.41%
10/27/2018	11:30:12 PM	0.2(12seg)	24	0.24	1.00%
10/27/2018	11:00:30 PM	0.5(30seg)	44	0.44	1.83%
10/27/2018	11:31:00 PM	1	58	0.58	2.41%
10/27/2018	11:32:00 PM	2	71	0.71	2.95%
10/27/2018	11:34:00 PM	4	79	0.79	3.28%
10/27/2018	11:38:00 PM	8	86	0.86	3.57%
10/27/2018	11:45:00 PM	15	90	0.9	3.73%
10/28/2018	12:00:00 AM	30	94	0.94	3.90%
10/28/2018	12:30:00 AM	60(1hora)	95	0.95	3.94%
10/28/2018	1:30:00 AM	120(2hora)	98	0.98	4.07%
10/28/2018	3:30:00 AM	240(4hora)	99	0.99	4.11%
10/28/2018	7:30:00 AM	480(8hora)	99	0.99	4.11%
10/28/2018	11:30:00 PM	1440(24hora)	104	1.04	4.32%
10/29/2018	11:30:00 PM	2880(48hora)	104	1.04	4.32%
10/30/2018	11:30:00 PM	4320(72hora)	104	1.04	4.32%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



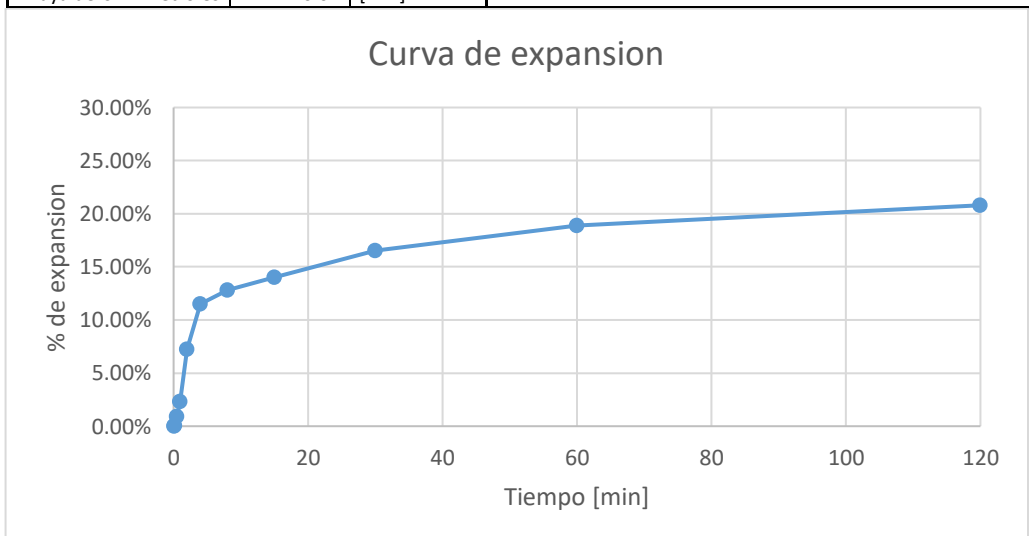
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M1 – Yeso – Densidad reducida – 3 días					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	5.025		Humedad		
Altura[cm]	1.955			Tara 1(ml3)	Tara 2(bp1)
Área[cm2]	19.83		Peso T+S húmedo[grf]	76.8	79.6
Volumen[cm3]	38.77		Peso T+S seco[grf]	65.2	67.2
Peso anillo[grf]	58.6		Peso Tara[grf]	45.4	45.6
Peso anillo + suelo[grf]	113.8		Humedad [%]	58.59%	57.41%
Peso suelo[grf]	55.2		Humedad promedio[%]	58.00%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm3]	1.42		e	2.03	
ys[grf/cm3]	1.16		n	0.67	
Humedad inicial[%]	22.72%		s	77.96%	
Gs	2.73		% Expansión	10.52%	
e	1.36				
n	0.58				
s	45.79%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
10/27/2018	11:15:06 PM	0.1(6seg)	2	0.0508	0.26%
10/27/2018	11:15:12 PM	0.2(12seg)	7	0.1778	0.91%
10/27/2018	11:15:30 PM	0.5(30seg)	17	0.4318	2.21%
10/27/2018	11:16:00 PM	1	37	0.9398	4.81%
10/27/2018	11:17:00 PM	2	51	1.2954	6.63%
10/27/2018	11:19:00 PM	4	59	1.4986	7.67%
10/27/2018	11:23:00 PM	8	62	1.5748	8.06%
10/27/2018	11:30:00 PM	15	65	1.651	8.45%
10/27/2018	11:45:00 PM	30	69	1.7526	8.96%
10/28/2018	12:15:00 AM	60(1hora)	71	1.8034	9.22%
10/28/2018	1:15:00 AM	120(2hora)	73	1.8542	9.48%
10/28/2018	3:15:00 AM	240(4hora)	74	1.8796	9.61%
10/28/2018	7:15:00 AM	480(8hora)	76	1.9304	9.87%
10/28/2018	11:15:00 PM	1440(24hora)	79	2.0066	10.26%
10/29/2018	11:15:00 PM	2880(48hora)	80	2.032	10.39%
10/30/2018	11:15:00 PM	4320(72hora)	81	2.0574	10.52%
1 raya deformímetro es		0.0254	[mm]		



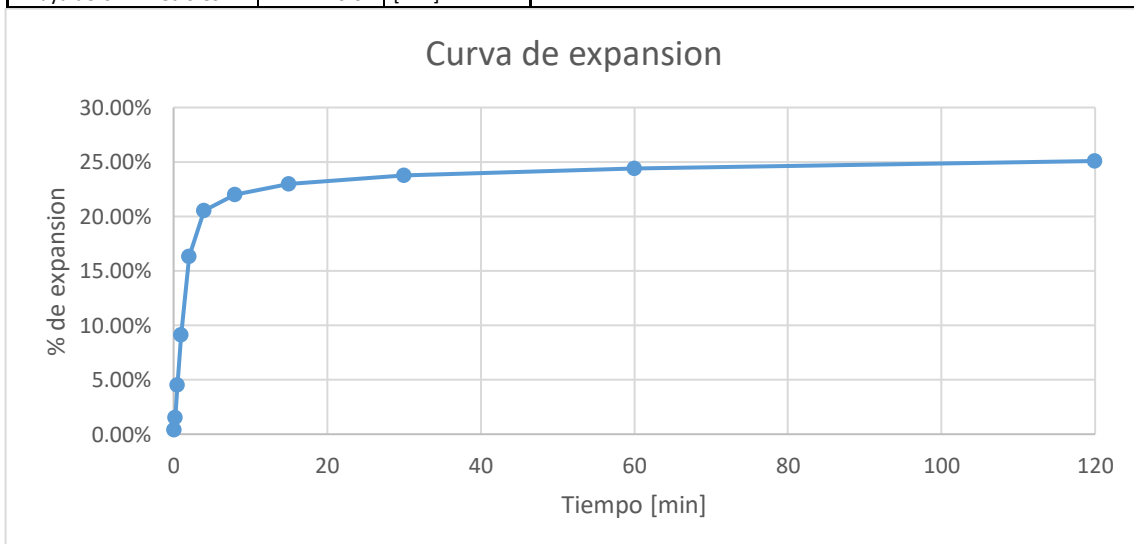
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M2 – Yeso – Densidad reducida – 3 días					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	5.03		Humedad		
Altura[cm]	1.95		Tara 1(ch1)	Tara 2(hc1)	
Área[cm ²]	19.87		Peso T+S húmedo[grf]	78.2	72.6
Volumen[cm ³]	38.75		Peso T+S seco[grf]	66.4	62
Peso anillo[grf]	58.3		Peso Tara[grf]	45	43.1
Peso anillo + suelo[grf]	113.3		Humedad [%]	55.14%	56.08%
Peso suelo[grf]	55		Humedad promedio[%]	55.61%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm ³]	1.42		e	2.00	
ys[grf/cm ³]	1.16		n	0.67	
Humedad inicial[%]	22.72%		s	76.13%	
Gs	2.73		% Expansión	13.74%	
e	1.36				
n	0.58				
s	45.55%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
10/27/2018	5:40:06 PM	0.1(6seg)	1	0.01	0.05%
10/27/2018	5:40:12 PM	0.2(12seg)	14	0.14	0.72%
10/27/2018	5:40:30 PM	0.5(30seg)	50	0.5	2.56%
10/27/2018	5:41:00 PM	1	81	0.81	4.15%
10/27/2018	5:42:00 PM	2	119	1.19	6.10%
10/27/2018	5:44:00 PM	4	172	1.72	8.82%
10/27/2018	5:48:00 PM	8	198	1.98	10.15%
10/27/2018	5:55:00 PM	15	206	2.06	10.56%
10/27/2018	6:10:00 PM	30	212	2.12	10.87%
10/27/2018	6:40:00 PM	60(1hora)	217	2.17	11.13%
10/27/2018	7:40:00 PM	120(2hora)	226	2.26	11.59%
10/27/2018	9:40:00 PM	240(4hora)	230	2.3	11.79%
10/28/2018	1:40:00 AM	480(8hora)	233	2.33	11.95%
10/28/2018	5:40:00 PM	1440(24hora)	251	2.51	12.87%
10/29/2018	5:40:00 PM	2880(48hora)	259	2.59	13.28%
10/30/2018	5:40:00 PM	4320(72hora)	268	2.68	13.74%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



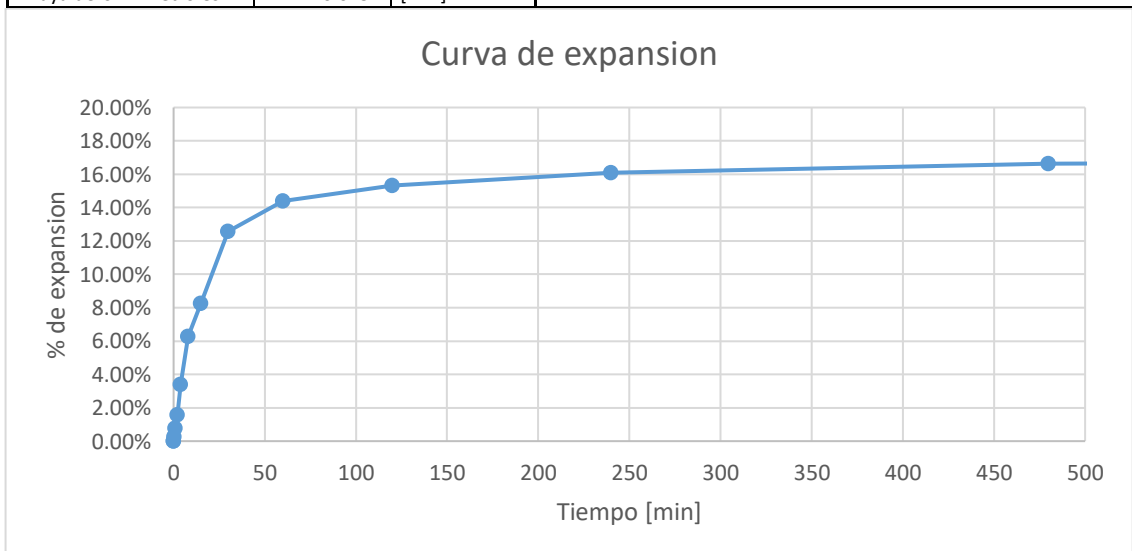
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M1 - Ceniza volante– Densidad reducida – 3 días					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
diámetro[cm]	6.322	Humedad			
Altura[cm]	2.42		Tara 1(bp1)	Tara 2(bp2)	
Área[cm ²]	31.39	Peso T+S húmedo[grf]	61.2	55.7	
Volumen[cm ³]	75.97	Peso T+S seco[grf]	55.3	50.2	
Peso anillo[grf]	115	Peso Tara[grf]	45.6	41.2	
Peso anillo + suelo[grf]	223	Humedad [%]	60.82%	61.11%	
Peso suelo[grf]	108	Humedad promedio[%]	60.97%		
Datos iniciales muestra		Gs	2.73		
yh[grf/cm ³]	1.42	e	2.09		
ys[grf/cm ³]	1.21	n	0.68		
Humedad inicial[%]	17.26%	s	79.55%		
Gs	2.73	% Expansión	24.83%		
e	1.25				
n	0.56				
s	37.61%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
10/20/2018	5:00:06 PM	0.1(6seg)	0	0	0.00%
10/20/2018	5:00:12 PM	0.2(12seg)	1	0.01	0.04%
10/20/2018	5:00:30 PM	0.5(30seg)	22	0.22	0.91%
10/20/2018	5:01:00 PM	1	56	0.56	2.31%
10/20/2018	5:02:00 PM	2	175	1.75	7.23%
10/20/2018	5:04:00 PM	4	279	2.79	11.53%
10/20/2018	5:08:00 PM	8	310	3.1	12.81%
10/20/2018	5:15:00 PM	15	339	3.39	14.01%
10/20/2018	5:30:00 PM	30	400	4	16.53%
10/20/2018	6:00:00 PM	60(1hora)	457	4.57	18.88%
10/20/2018	7:00:00 PM	120(2hora)	503	5.03	20.79%
10/20/2018	9:00:00 PM	240(4hora)	541	5.41	22.36%
10/21/2018	1:00:00 AM	480(8hora)	574	5.74	23.72%
10/21/2018	5:00:00 PM	1440(24hora)	595	5.95	24.59%
10/22/2018	5:00:00 PM	2880(48hora)	597	5.97	24.67%
10/23/2018	5:00:00 PM	4320(72hora)	601	6.01	24.83%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



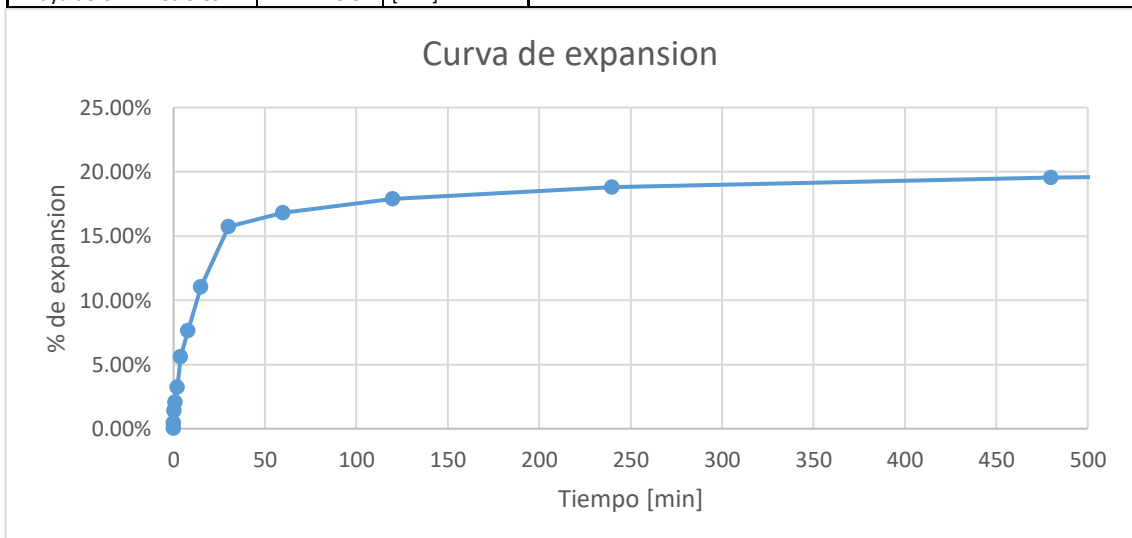
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M2 - Ceniza volante – Densidad reducida – 3 días					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
diámetro[cm]	6.322	Humedad			
Altura[cm]	2.42		Tara 1(ml1)	Tara 2(mp2)	
Área[cm2]	31.39	Peso T+S húmedo[grf]	61.3	67.3	
Volumen[cm3]	75.97	Peso T+S seco[grf]	53.9	59.4	
Peso anillo[grf]	115.4	Peso Tara[grf]	42.2	46.5	
Peso anillo + suelo[grf]	223.4	Humedad [%]	63.25%	61.24%	
Peso suelo[grf]	108	Humedad promedio[%]	62.24%		
Datos iniciales muestra		Gs	2.73		
yh[grf/cm3]	1.42	e	2.12		
ys[grf/cm3]	1.21	n	0.68		
Humedad inicial[%]	17.26%	s	80.28%		
Gs	2.73	% Expansión	27.07%		
e	1.25				
n	0.56				
s	37.61%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
10/20/2018	5:20:06 PM	0.1(6seg)	10	0.1	0.41%
10/20/2018	5:20:12 PM	0.2(12seg)	37	0.37	1.53%
10/20/2018	5:20:30 PM	0.5(30seg)	109	1.09	4.50%
10/20/2018	5:01:00 PM	1	221	2.21	9.13%
10/20/2018	5:22:00 PM	2	395	3.95	16.32%
10/20/2018	5:24:00 PM	4	497	4.97	20.54%
10/20/2018	5:28:00 PM	8	532	5.32	21.98%
10/20/2018	5:35:00 PM	15	556	5.56	22.98%
10/20/2018	5:50:00 PM	30	575	5.75	23.76%
10/20/2018	6:20:00 PM	60(1hora)	591	5.91	24.42%
10/20/2018	7:20:00 PM	120(2hora)	607	6.07	25.08%
10/20/2018	9:20:00 PM	240(4hora)	624	6.24	25.79%
10/21/2018	1:20:00 AM	480(8hora)	637	6.37	26.32%
10/21/2018	5:20:00 PM	1440(24hora)	648	6.48	26.78%
10/22/2018	5:20:00 PM	2880(48hora)	652	6.52	26.94%
10/23/2018	5:20:00 PM	4320(72hora)	655	6.55	27.07%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



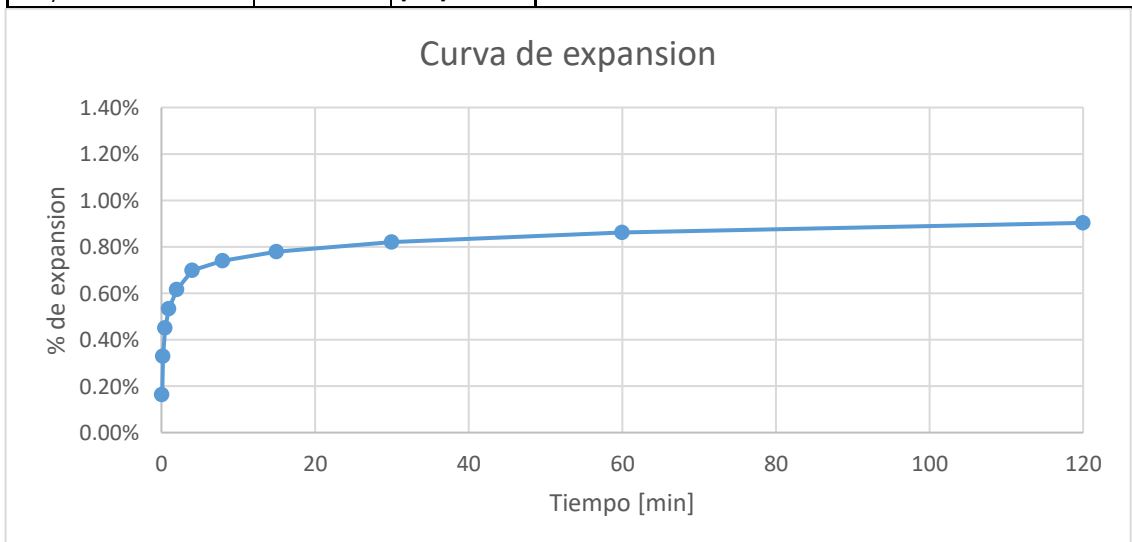
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M1 - Humo de Sílice – Densidad reducida – 3 días					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	5.025		Humedad		
Altura[cm]	1.94		Tara 1(mp1)	Tara 2(ml3)	
Área[cm ²]	19.83		Peso T+S húmedo[grf]	65.1	68.8
Volumen[cm ³]	38.47		Peso T+S seco[grf]	57.3	60.4
Peso anillo[grf]	58.5		Peso Tara[grf]	44	45.4
Peso anillo + suelo[grf]	113.5		Humedad [%]	58.65%	56.00%
Peso suelo[grf]	55		Humedad promedio[%]	57.32%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm ³]	1.43		e	2.01	
ys[grf/cm ³]	1.21		n	0.67	
Humedad inicial[%]	17.73%		s	78.03%	
Gs	2.73		% Expansión	17.28%	
e	1.25				
n	0.56				
s	38.73%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
10/20/2018	11:15:06 AM	0.1(6seg)	0	0	0.00%
10/20/2018	11:15:12 AM	0.2(12seg)	0	0	0.00%
10/20/2018	11:15:30 AM	0.5(30seg)	2	0.0508	0.26%
10/20/2018	11:16:00 AM	1	6	0.1524	0.79%
10/20/2018	11:17:00 AM	2	12	0.3048	1.57%
10/20/2018	11:19:00 AM	4	26	0.6604	3.40%
10/20/2018	11:23:00 AM	8	48	1.2192	6.28%
10/20/2018	11:30:00 AM	15	63	1.6002	8.25%
10/20/2018	11:45:00 AM	30	96	2.4384	12.57%
10/20/2018	12:15:00 PM	60(1hora)	110	2.794	14.40%
10/20/2018	1:15:00 PM	120(2hora)	117	2.9718	15.32%
10/20/2018	3:15:00 PM	240(4hora)	123	3.1242	16.10%
10/20/2018	7:15:00 PM	480(8hora)	127	3.2258	16.63%
10/21/2018	11:15:00 AM	1440(24hora)	130	3.302	17.02%
10/22/2018	11:15:00 AM	2880(48hora)	132	3.3528	17.28%
10/23/2018	11:15:00 AM	4320(72hora)	132	3.3528	17.28%
1 raya deformímetro es		0.0254	[mm]		



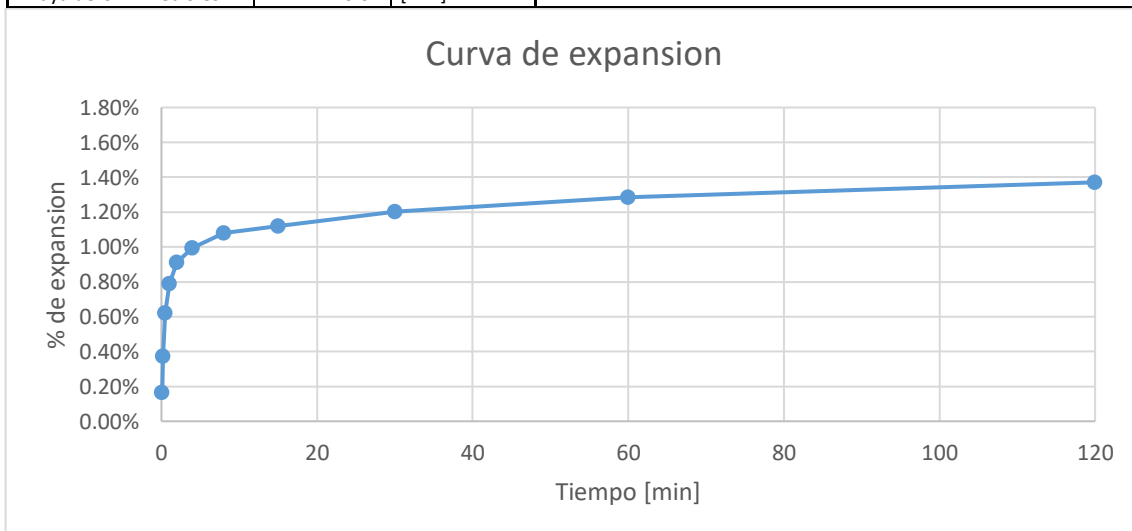
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M 2 - Humo de sílice – Densidad reducida – 3 días					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	5.025		Humedad		
Altura[cm]	1.94			Tara 1(ch1)	Tara 2(bl3)
Área[cm ²]	19.83		Peso T+S húmedo[grf]	59	59.9
Volumen[cm ³]	38.47		Peso T+S seco[grf]	53.7	53.9
Peso anillo[grf]	58.4		Peso Tara[grf]	45	44.1
Peso anillo + suelo[grf]	113.4		Humedad [%]	60.92%	61.22%
Peso suelo[grf]	55		Humedad promedio[%]	61.07%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm ³]	1.43		e	2.08	
ys[grf/cm ³]	1.21		n	0.68	
Humedad inicial[%]	17.73%		s	80.26%	
Gs	2.73		% Expansión	22.27%	
e	1.25				
n	0.56				
s	38.73%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
10/20/2018	5:40:06 PM	0.1(6seg)	1	0.01	0.05%
10/20/2018	5:40:12 PM	0.2(12seg)	9	0.09	0.46%
10/20/2018	5:40:30 PM	0.5(30seg)	27	0.27	1.39%
10/20/2018	5:41:00 PM	1	40	0.4	2.06%
10/20/2018	5:42:00 PM	2	63	0.63	3.25%
10/20/2018	5:44:00 PM	4	109	1.09	5.62%
10/20/2018	5:48:00 PM	8	148	1.48	7.63%
10/20/2018	5:55:00 PM	15	214	2.14	11.03%
10/20/2018	6:10:00 PM	30	305	3.05	15.72%
10/20/2018	6:40:00 PM	60(1hora)	326	3.26	16.80%
10/20/2018	7:40:00 PM	120(2hora)	347	3.47	17.89%
10/20/2018	9:40:00 PM	240(4hora)	365	3.65	18.81%
10/21/2018	1:40:00 AM	480(8hora)	379	3.79	19.54%
10/21/2018	5:40:00 PM	1440(24hora)	406	4.06	20.93%
10/22/2018	5:40:00 PM	2880(48hora)	421	4.21	21.70%
10/23/2018	5:40:00 PM	4320(72hora)	432	4.32	22.27%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



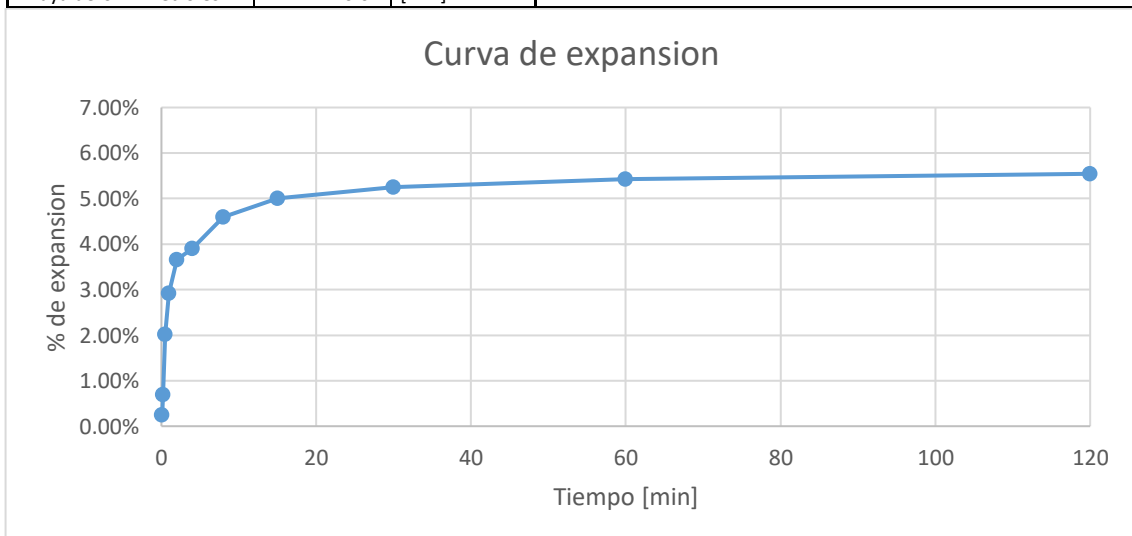
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M1 – Cal – Densidad reducida – 7 días					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
diámetro[cm]	6.36	Humedad			
Altura[cm]	2.435		Tara 1(bp3)	Tara 2(bp1)	
Área[cm ²]	31.77	Peso T+S húmedo[grf]	76.4	84.1	
Volumen[cm ³]	77.36	Peso T+S seco[grf]	65.7	71.5	
Peso anillo[grf]	105.7	Peso Tara[grf]	44.1	46.5	
Peso anillo + suelo[grf]	213.8	Humedad [%]	49.54%	50.40%	
Peso suelo[grf]	108.1	Humedad promedio[%]	49.97%		
Datos iniciales muestra		Gs	2.73		
yh[grf/cm ³]	1.40	e	1.93		
ys[grf/cm ³]	1.15	n	0.66		
Humedad inicial[%]	21.51%	s	70.64%		
Gs	2.73	% Expansión	1.15%		
e	1.38				
n	0.58				
s	42.70%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
11/05/2018	4:30:06 PM	0.1(6seg)	4	0.04	0.16%
11/05/2018	4:30:12 PM	0.2(12seg)	8	0.08	0.33%
11/05/2018	4:30:30 PM	0.5(30seg)	11	0.11	0.45%
11/05/2018	4:31:00 PM	1	13	0.13	0.53%
11/05/2018	4:32:00 PM	2	15	0.15	0.62%
11/05/2018	4:34:00 PM	4	17	0.17	0.70%
11/05/2018	4:38:00 PM	8	18	0.18	0.74%
11/05/2018	4:45:00 PM	15	19	0.19	0.78%
11/05/2018	5:00:00 PM	30	20	0.2	0.82%
11/05/2018	5:30:00 PM	60(1hora)	21	0.21	0.86%
11/05/2018	6:30:00 PM	120(2hora)	22	0.22	0.90%
11/05/2018	8:30:00 PM	240(4hora)	23	0.23	0.94%
11/06/2018	12:30:00 AM	480(8hora)	24	0.24	0.99%
11/06/2018	4:30:00 AM	1440(24hora)	26	0.26	1.07%
11/07/2018	4:30:00 AM	2880(48hora)	27	0.27	1.11%
11/08/2018	4:30:00 AM	4320(72hora)	28	0.28	1.15%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



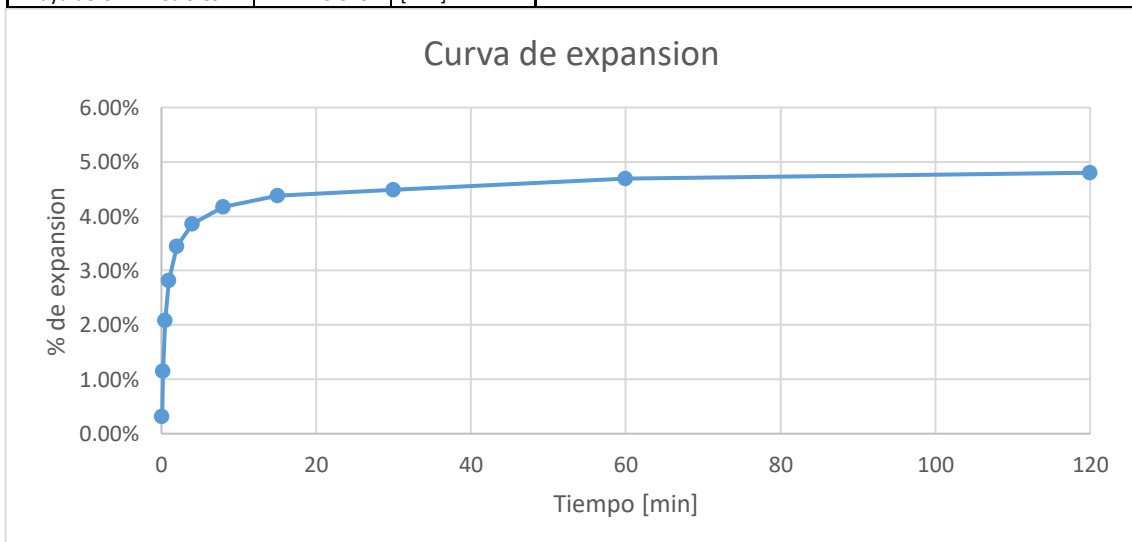
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M2 – Cal – Densidad reducida – 7 días					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	6.325		Humedad		
Altura[cm]	2.41			Tara 1(bl3)	Tara 2(ml3)
Área[cm ²]	31.42		Peso T+S húmedo[grf]	93.2	82.2
Volumen[cm ³]	75.72		Peso T+S seco[grf]	76.5	69
Peso anillo[grf]	112.7		Peso Tara[grf]	44	42
Peso anillo + suelo[grf]	220.7		Humedad [%]	51.38%	48.89%
Peso suelo[grf]	108		Humedad promedio[%]	50.14%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm ³]	1.43		e	1.88	
ys[grf/cm ³]	1.17		n	0.65	
Humedad inicial[%]	21.51%		s	73.00%	
Gs	2.73		% Expansión	1.70%	
e	1.33				
n	0.57				
s	44.25%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
11/05/2018	4:45:06 PM	0.1(6seg)	4	0.04	0.17%
11/05/2018	4:45:12 PM	0.2(12seg)	9	0.09	0.37%
11/05/2018	4:45:30 PM	0.5(30seg)	15	0.15	0.62%
11/05/2018	4:46:00 PM	1	19	0.19	0.79%
11/05/2018	4:47:00 PM	2	22	0.22	0.91%
11/05/2018	4:49:00 PM	4	24	0.24	1.00%
11/05/2018	4:53:00 PM	8	26	0.26	1.08%
11/05/2018	5:00:00 PM	15	27	0.27	1.12%
11/05/2018	5:15:00 PM	30	29	0.29	1.20%
11/05/2018	5:45:00 PM	60(1hora)	31	0.31	1.29%
11/05/2018	6:45:00 PM	120(2hora)	33	0.33	1.37%
11/05/2018	8:45:00 PM	240(4hora)	34	0.34	1.41%
11/06/2018	12:45:00 AM	480(8hora)	37	0.37	1.54%
11/06/2018	4:45:00 PM	1440(24hora)	40	0.4	1.66%
11/07/2018	4:45:00 PM	2880(48hora)	41	0.41	1.70%
11/08/2018	4:45:00 PM	4320(72hora)	41	0.41	1.70%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



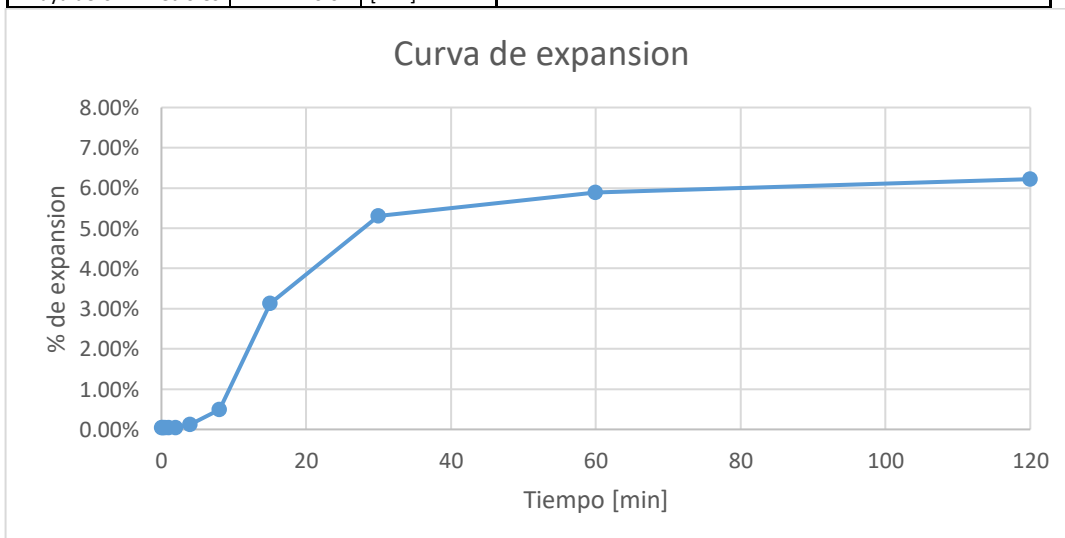
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M1 – Cemento – Densidad reducida – 7 días					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	6.36		Humedad		
Altura[cm]	2.435			Tara 1(bl2)	Tara 2(mp2)
Área[cm ²]	31.77		Peso T+S húmedo[grf]	66.4	72.9
Volumen[cm ³]	77.36		Peso T+S seco[grf]	58	64.4
Peso anillo[grf]	105.7		Peso Tara[grf]	40.7	46.5
Peso anillo + suelo[grf]	213.8		Humedad [%]	48.55%	47.49%
Peso suelo[grf]	108.1		Humedad promedio[%]	48.02%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm ³]	1.40		e	1.90	
ys[grf/cm ³]	1.15		n	0.65	
Humedad inicial[%]	21.81%		s	69.25%	
Gs	2.73		% Expansión	5.83%	
e	1.38				
n	0.58				
s	43.11%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
10/31/2018	10:00:06 AM	0.1(6seg)	6	0.06	0.25%
10/31/2018	10:00:12 AM	0.2(12seg)	17	0.17	0.70%
10/31/2018	10:00:30 AM	0.5(30seg)	49	0.49	2.01%
10/31/2018	10:01:00 AM	1	71	0.71	2.92%
10/31/2018	10:02:00 AM	2	89	0.89	3.66%
10/31/2018	10:04:00 AM	4	95	0.95	3.90%
10/31/2018	10:08:00 AM	8	112	1.12	4.60%
10/31/2018	10:15:00 AM	15	122	1.22	5.01%
10/31/2018	10:30:00 AM	30	128	1.28	5.26%
10/31/2018	11:00:00 AM	60(1hora)	132	1.32	5.42%
10/31/2018	12:00:00 PM	120(2hora)	135	1.35	5.54%
10/31/2018	2:00:00 PM	240(4hora)	138	1.38	5.67%
10/31/2018	6:00:00 PM	480(8hora)	140	1.4	5.75%
11/01/2018	10:00:00 AM	1440(24hora)	141	1.41	5.79%
11/02/2018	10:00:00 AM	2880(48hora)	142	1.42	5.83%
11/03/2018	10:00:00 AM	4320(72hora)	142	1.42	5.83%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



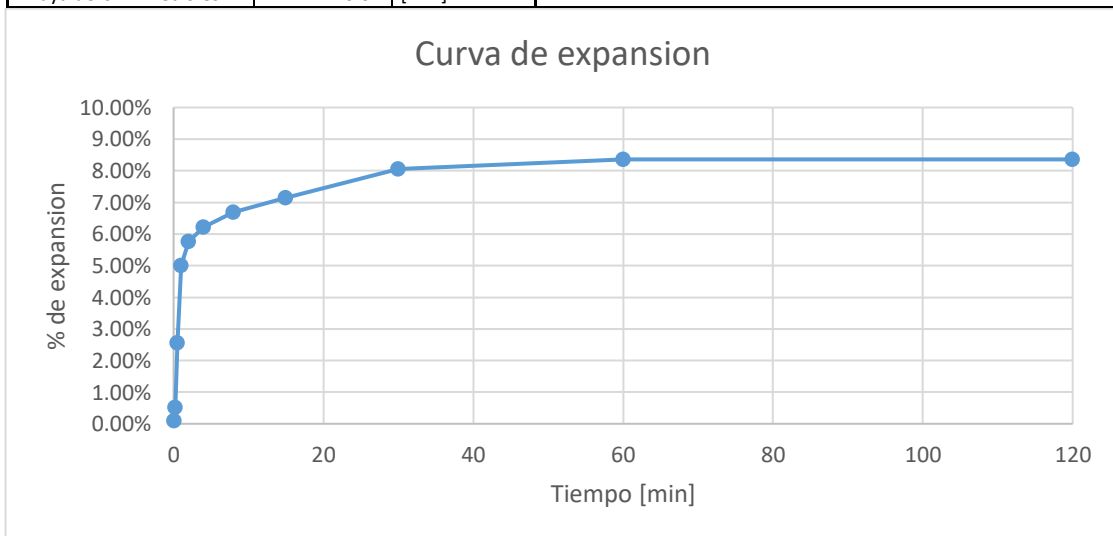
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M2 – Cemento – Densidad reducida – 7 días					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	6.36		Humedad		
Altura[cm]	2.435			Tara 1(bp1)	Tara 2(bp2)
Área[cm ²]	31.77		Peso T+S húmedo[grf]	72.1	73.8
Volumen[cm ³]	77.36		Peso T+S seco[grf]	63.7	63.3
Peso anillo[grf]	105.7		Peso Tara[grf]	45.6	41.2
Peso anillo + suelo[grf]	213.7		Humedad [%]	46.41%	47.51%
Peso suelo[grf]	108		Humedad promedio[%]	46.96%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm ³]	1.40		e	1.88	
ys[grf/cm ³]	1.15		n	0.65	
Humedad inicial[%]	21.81%		s	68.37%	
Gs	2.73		% Expansión	5.32%	
e	1.38				
n	0.58				
s	43.04%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
10/31/2018	10:15:06 AM	0.1(6seg)	3	0.0762	0.31%
10/31/2018	10:15:12 AM	0.2(12seg)	11	0.2794	1.15%
10/31/2018	10:15:30 AM	0.5(30seg)	20	0.508	2.09%
10/31/2018	10:16:00 AM	1	27	0.6858	2.82%
10/31/2018	10:17:00 AM	2	33	0.8382	3.44%
10/31/2018	10:19:00 AM	4	37	0.9398	3.86%
10/31/2018	10:23:00 AM	8	40	1.016	4.17%
10/31/2018	10:30:00 AM	15	42	1.0668	4.38%
10/31/2018	10:45:00 AM	30	43	1.0922	4.49%
10/31/2018	11:15:00 AM	60(1hora)	45	1.143	4.69%
10/31/2018	12:15:00 PM	120(2hora)	46	1.1684	4.80%
10/31/2018	2:15:00 PM	240(4hora)	47	1.1938	4.90%
10/31/2018	6:15:00 PM	480(8hora)	47	1.1938	4.90%
11/01/2018	10:15:00 AM	1440(24hora)	48	1.2192	5.01%
11/02/2018	10:15:00 AM	2880(48hora)	49	1.2446	5.11%
11/03/2018	10:15:00 AM	4320(72hora)	51	1.2954	5.32%
1 raya deformímetro es		0.0254	[mm]		



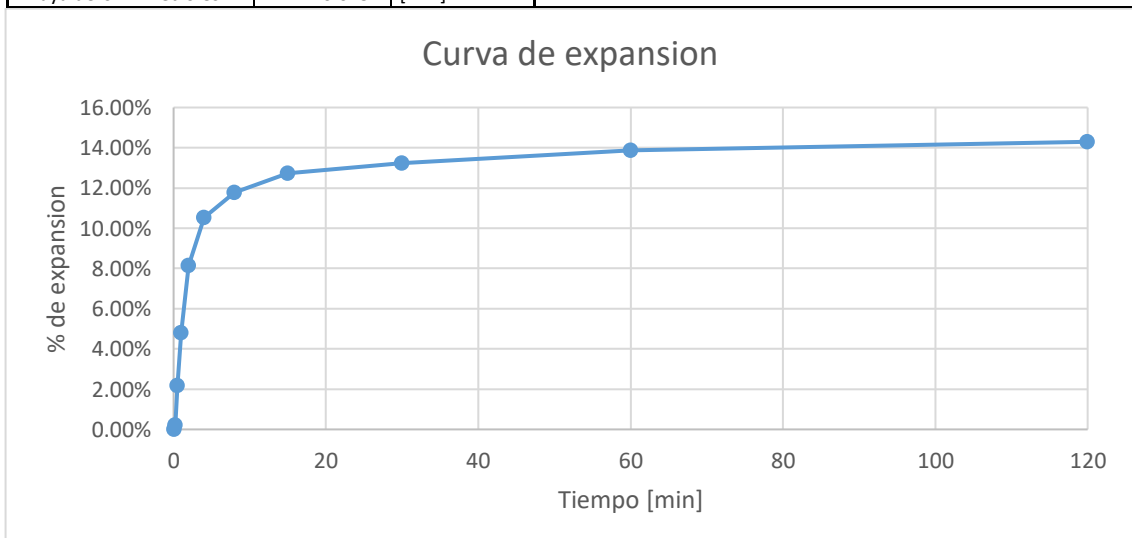
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M1 – Yeso – Densidad reducida – 7 días					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	6.36		Humedad		
Altura[cm]	2.43		Tara 1(ml1)	Tara 2(hc1)	
Área[cm2]	31.77		Peso T+S húmedo[grf]	73.9	71.2
Volumen[cm3]	77.20		Peso T+S seco[grf]	62.1	60.8
Peso anillo[grf]	105.7		Peso Tara[grf]	42.2	43.1
Peso anillo + suelo[grf]	213.9		Humedad [%]	59.30%	58.76%
Peso suelo[grf]	108.2		Humedad promedio[%]	59.03%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm3]	1.40		e	2.10	
ys[grf/cm3]	1.14		n	0.68	
Humedad inicial[%]	22.72%		s	76.78%	
Gs	2.73		% Expansión	7.57%	
e	1.39				
n	0.58				
s	44.57%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
10/31/2018	4:30:06 PM	0.1(6seg)	1	0.01	0.04%
11/05/2018	4:30:12 PM	0.2(12seg)	1	0.01	0.04%
11/05/2018	4:30:30 PM	0.5(30seg)	1	0.01	0.04%
11/05/2018	4:31:00 PM	1	1	0.01	0.04%
11/05/2018	4:32:00 PM	2	1	0.01	0.04%
11/05/2018	4:34:00 PM	4	3	0.03	0.12%
11/05/2018	4:38:00 PM	8	12	0.12	0.49%
11/05/2018	4:45:00 PM	15	76	0.76	3.13%
11/05/2018	5:00:00 PM	30	129	1.29	5.31%
11/05/2018	5:30:00 PM	60(1hora)	143	1.43	5.88%
11/05/2018	6:30:00 PM	120(2hora)	151	1.51	6.21%
11/05/2018	8:30:00 PM	240(4hora)	161	1.61	6.63%
11/06/2018	12:30:00 AM	480(8hora)	169	1.69	6.95%
11/06/2018	4:30:00 AM	1440(24hora)	179	1.79	7.37%
11/07/2018	4:30:00 AM	2880(48hora)	184	1.84	7.57%
11/08/2018	4:30:00 AM	4320(72hora)	184	1.84	7.57%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



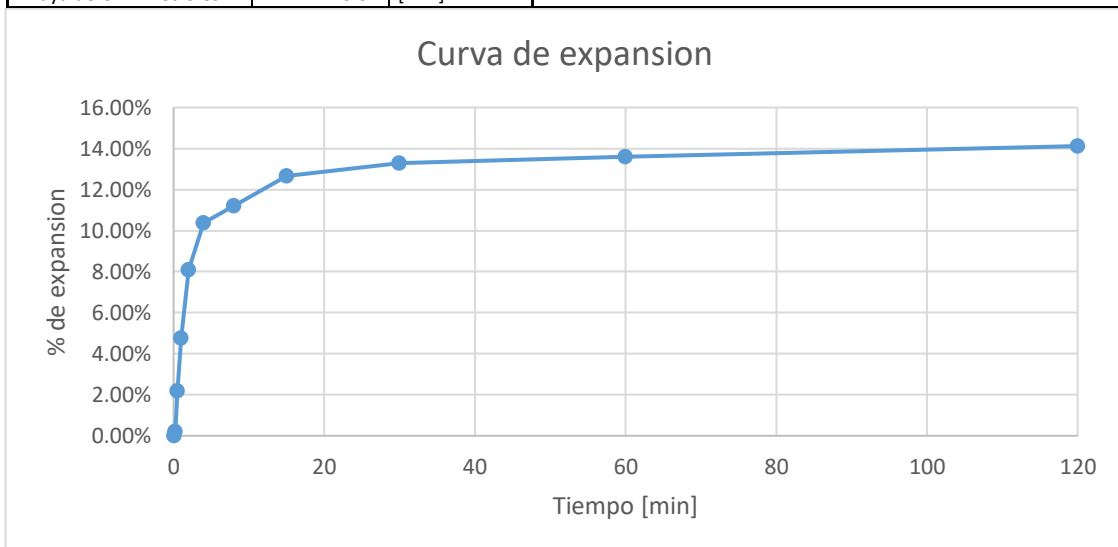
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M2 – Yeso – Densidad reducida – 7 días					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	5.03		Humedad		
Altura[cm]	1.96			Tara 1(ch1)	Tara 2(bl3)
Área[cm ²]	19.87		Peso T+S húmedo[grf]	65.1	68.1
Volumen[cm ³]	38.95		Peso T+S seco[grf]	57.4	59
Peso anillo[grf]	60.2		Peso Tara[grf]	45	44.2
Peso anillo + suelo[grf]	115.3		Humedad [%]	62.10%	61.49%
Peso suelo[grf]	55.1		Humedad promedio[%]	61.79%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm ³]	1.41		e	2.13	
ys[grf/cm ³]	1.15		n	0.68	
Humedad inicial[%]	22.72%		s	79.44%	
Gs	2.73		% Expansión	8.83%	
e	1.37				
n	0.58				
s	45.29%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
11/05/2018	4:45:06 PM	0.1(6seg)	2	0.02	0.10%
11/05/2018	4:45:12 PM	0.2(12seg)	10	0.1	0.51%
11/05/2018	4:45:30 PM	0.5(30seg)	50	0.5	2.55%
11/05/2018	4:46:00 PM	1	98	0.98	5.00%
11/05/2018	4:47:00 PM	2	113	1.13	5.77%
11/05/2018	4:49:00 PM	4	122	1.22	6.22%
11/05/2018	4:53:00 PM	8	131	1.31	6.68%
11/05/2018	5:00:00 PM	15	140	1.4	7.14%
11/05/2018	5:15:00 PM	30	158	1.58	8.06%
11/05/2018	5:45:00 PM	60(1hora)	164	1.64	8.37%
11/05/2018	6:45:00 PM	120(2hora)	164	1.64	8.37%
11/05/2018	8:45:00 PM	240(4hora)	165	1.65	8.42%
11/06/2018	12:45:00 AM	480(8hora)	169	1.69	8.62%
11/06/2018	4:45:00 PM	1440(24hora)	172	1.72	8.78%
11/07/2018	4:45:00 PM	2880(48hora)	172	1.72	8.78%
11/08/2018	4:45:00 PM	4320(72hora)	173	1.73	8.83%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



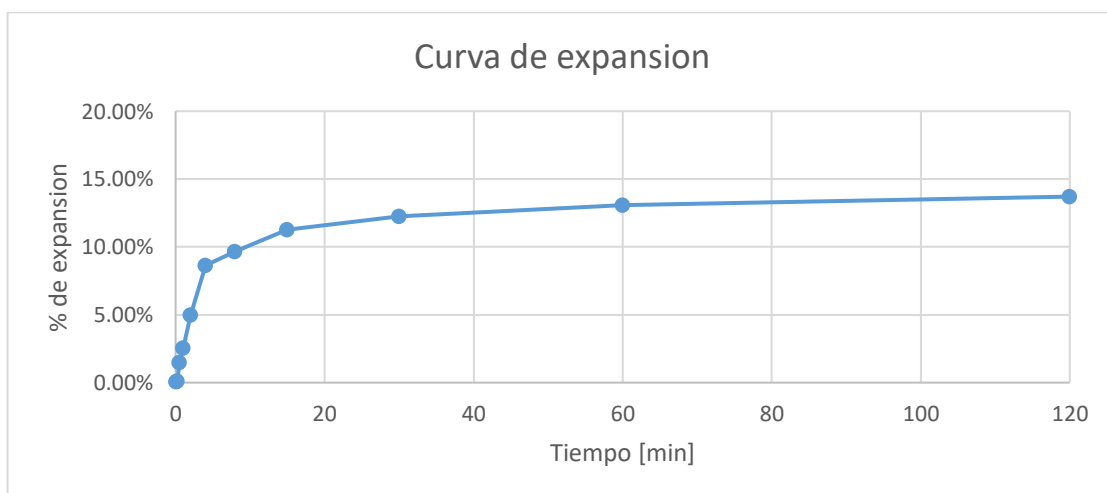
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M1 - Ceniza volante – Densidad reducida – 7 días					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	6.36		Humedad		
Altura[cm]	2.435			Tara 1(bl3)	Tara 2(ml3)
Área[cm ²]	31.77		Peso T+S húmedo[grf]	77	77.7
Volumen[cm ³]	77.36		Peso T+S seco[grf]	65.2	66.5
Peso anillo[grf]	105.7		Peso Tara[grf]	44.1	45.4
Peso anillo + suelo[grf]	213.8		Humedad [%]	55.92%	53.08%
Peso suelo[grf]	108.1		Humedad promedio[%]	54.50%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm ³]	1.40		e	2.02	
ys[grf/cm ³]	1.19		n	0.67	
Humedad inicial[%]	17.26%		s	73.67%	
Gs	2.73		% Expansión	15.02%	
e	1.29				
n	0.56				
s	36.47%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
10/24/2018	11:15:06 PM	0.1(6seg)	0	0	0.00%
10/24/2018	11:15:12 PM	0.2(12seg)	2	0.0508	0.21%
10/24/2018	11:15:30 PM	0.5(30seg)	21	0.5334	2.19%
10/24/2018	11:16:00 PM	1	46	1.1684	4.80%
10/24/2018	11:17:00 PM	2	78	1.9812	8.14%
10/24/2018	11:19:00 PM	4	101	2.5654	10.54%
10/24/2018	11:23:00 PM	8	113	2.8702	11.79%
10/24/2018	11:30:00 PM	15	122	3.0988	12.73%
10/24/2018	11:45:00 PM	30	127	3.2258	13.25%
10/25/2018	12:15:00 AM	60(1hora)	133	3.3782	13.87%
10/25/2018	1:15:00 AM	120(2hora)	137	3.4798	14.29%
10/25/2018	3:15:00 AM	240(4hora)	142	3.6068	14.81%
10/25/2018	7:15:00 AM	480(8hora)	142	3.6068	14.81%
10/25/2018	11:15:00 PM	1440(24hora)	144	3.6576	15.02%
10/26/2018	11:15:00 PM	2880(48hora)	144	3.6576	15.02%
10/27/2018	11:15:00 PM	4320(72hora)	144	3.6576	15.02%
1 raya deformímetro es		0.0254	[mm]		



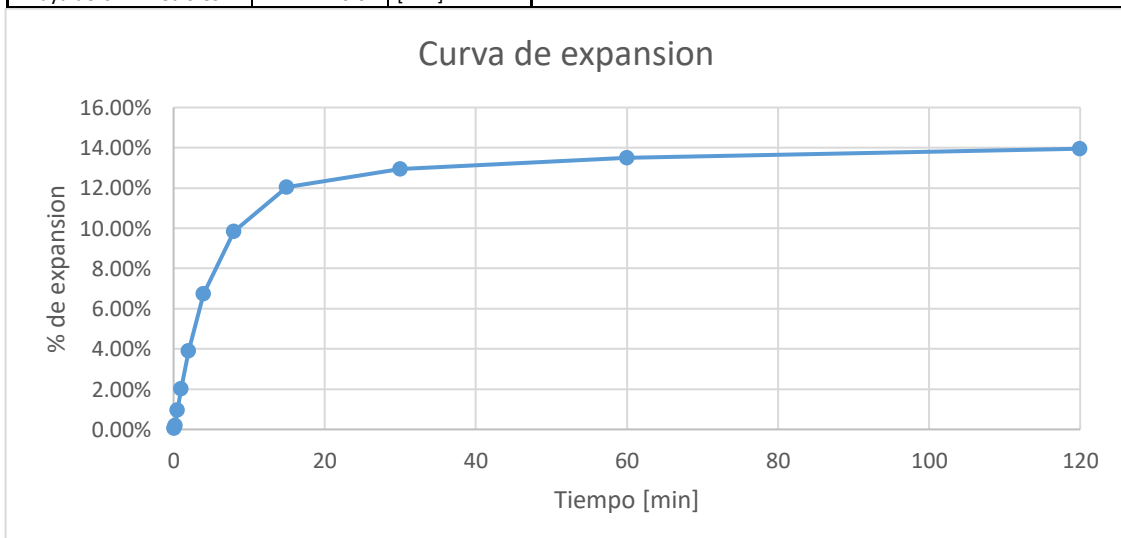
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M2 - Ceniza volante – Densidad reducida – 7 días					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	6.325		Humedad		
Altura[cm]	2.41			Tara 1(mp1)	Tara 2(mp3)
Área[cm ²]	31.42		Peso T+S húmedo[grf]	71.7	81
Volumen[cm ³]	75.72		Peso T+S seco[grf]	61.6	70
Peso anillo[grf]	112.7		Peso Tara[grf]	44	51
Peso anillo + suelo[grf]	220.7		Humedad [%]	57.39%	57.89%
Peso suelo[grf]	108		Humedad promedio[%]	57.64%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm ³]	1.43		e	2.02	
ys[grf/cm ³]	1.22		n	0.67	
Humedad inicial[%]	17.26%		s	77.95%	
Gs	2.73		% Expansión	14.98%	
e	1.25				
n	0.56				
s	37.82%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[<u>min</u>]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
10/24/2018	11:15:06 PM	0.1(6seg)	0	0	0.00%
10/24/2018	11:15:12 PM	0.2(12seg)	5	0.05	0.21%
10/24/2018	11:15:30 PM	0.5(30seg)	53	0.53	2.20%
10/24/2018	11:16:00 PM	1	115	1.15	4.77%
10/24/2018	11:17:00 PM	2	195	1.95	8.09%
10/24/2018	11:19:00 PM	4	250	2.5	10.37%
10/24/2018	11:23:00 PM	8	270	2.7	11.20%
10/24/2018	11:30:00 PM	15	305	3.05	12.66%
10/24/2018	11:45:00 PM	30	320	3.2	13.28%
10/25/2018	12:15:00 AM	60(1hora)	328	3.28	13.61%
10/25/2018	1:15:00 AM	120(2hora)	340	3.4	14.11%
10/25/2018	3:15:00 AM	240(4hora)	355	3.55	14.73%
10/25/2018	7:15:00 AM	480(8hora)	355	3.55	14.73%
10/25/2018	11:15:00 PM	1440(24hora)	354	3.54	14.69%
10/26/2018	11:15:00 PM	2880(48hora)	360	3.6	14.94%
10/27/2018	11:15:00 PM	4320(72hora)	361	3.61	14.98%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



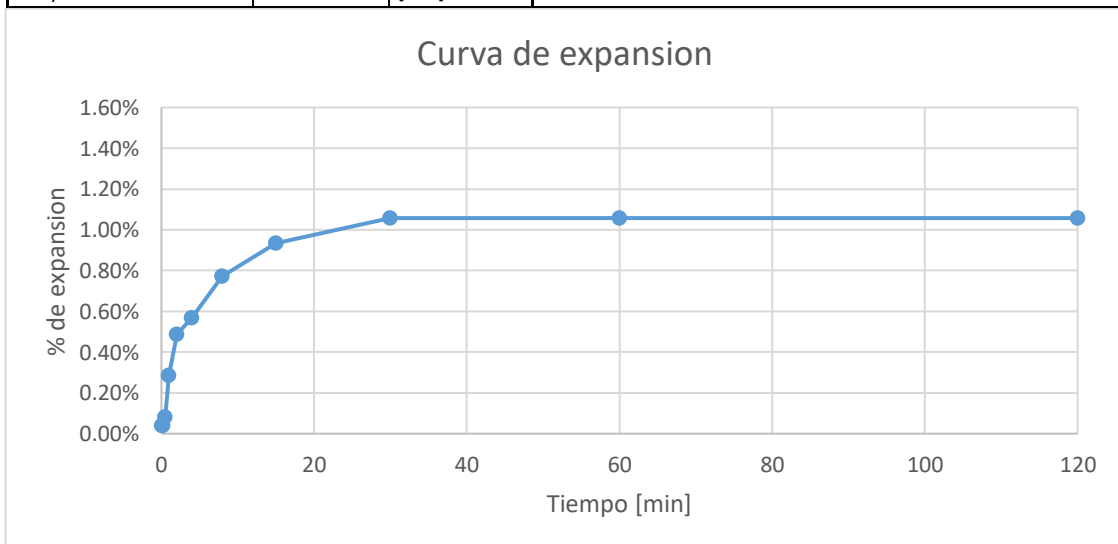
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M1 - Humo de sílice – Densidad reducida – 7 días					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
diámetro[cm]	5.03	Humedad			
Altura[cm]	1.96		Tara 1(ml1)	Tara 2(bp2)	
Área[cm ²]	19.87	Peso T+S húmedo[grf]	62.6	73.3	
Volumen[cm ³]	38.95	Peso T+S seco[grf]	54.9	61.2	
Peso anillo[grf]	60.2	Peso Tara[grf]	42.2	41.2	
Peso anillo + suelo[grf]	115.2	Humedad [%]	60.63%	60.50%	
Peso suelo[grf]	55	Humedad promedio[%]	60.56%		
Datos iniciales muestra		Gs	2.73		
yh[grf/cm ³]	1.41	e	2.11		
ys[grf/cm ³]	1.20	n	0.68		
Humedad inicial[%]	17.73%	s	78.53%		
Gs	2.73	% Expansión	16.17%		
e	1.28				
n	0.56				
s	37.89%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
10/24/2018	11:00:06 PM	0.1(6seg)	1	0.01	0.05%
10/24/2018	11:00:12 PM	0.2(12seg)	2	0.02	0.10%
10/24/2018	11:00:30 PM	0.5(30seg)	29	0.29	1.48%
10/24/2018	11:01:00 PM	1	50	0.5	2.55%
10/24/2018	11:02:00 PM	2	98	0.98	5.00%
10/24/2018	11:04:00 PM	4	169	1.69	8.62%
10/24/2018	11:08:00 PM	8	189	1.89	9.64%
10/24/2018	11:15:00 PM	15	221	2.21	11.28%
10/24/2018	11:30:00 PM	30	240	2.4	12.24%
10/25/2018	12:00:00 AM	60(1hora)	256	2.56	13.06%
10/25/2018	1:00:00 AM	120(2hora)	269	2.69	13.72%
10/25/2018	3:00:00 AM	240(4hora)	273	2.73	13.93%
10/25/2018	7:00:00 AM	480(8hora)	282	2.82	14.39%
10/25/2018	11:00:00 PM	1440(24hora)	303	3.03	15.46%
10/26/2018	11:00:00 PM	2880(48hora)	310	3.1	15.82%
10/27/2018	11:00:00 PM	4320(72hora)	317	3.17	16.17%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



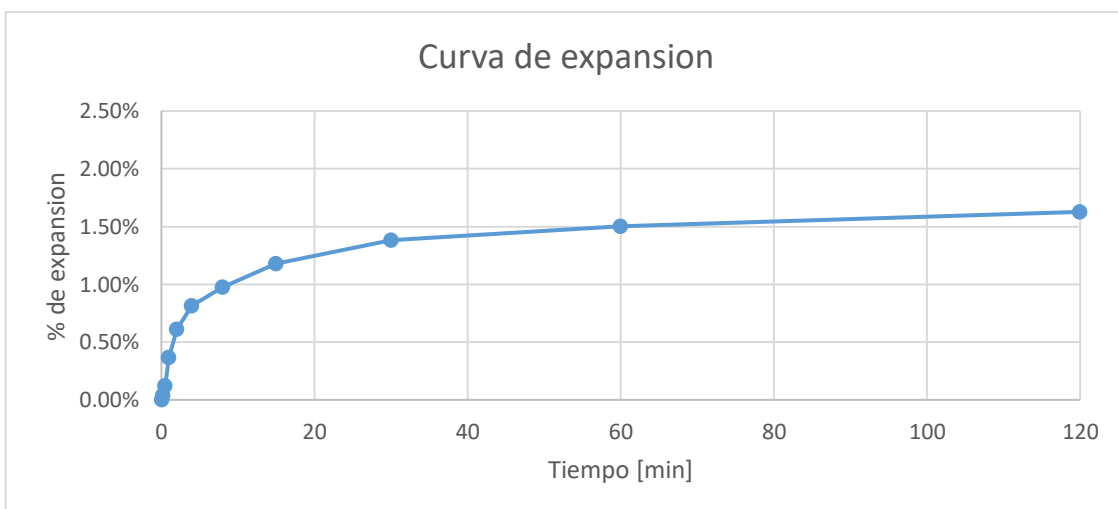
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M2- Humo de sílice – Densidad reducida – 7 días					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	5.025		Humedad		
Altura[cm]	1.97			Tara 1(bp3)	Tara 2(bp1)
Área[cm ²]	19.83		Peso T+S húmedo[grf]	61.3	65.9
Volumen[cm ³]	39.07		Peso T+S seco[grf]	54.2	58.4
Peso anillo[grf]	60.1		Peso Tara[grf]	42.1	45.6
Peso anillo + suelo[grf]	115.2		Humedad [%]	58.68%	58.59%
Peso suelo[grf]	55.1		Humedad promedio[%]	58.64%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm ³]	1.41		e	2.07	
ys[grf/cm ³]	1.20		n	0.67	
Humedad inicial[%]	17.73%		s	77.26%	
Gs	2.73		% Expansión	14.72%	
e	1.28				
n	0.56				
s	37.81%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
10/24/2018	11:00:06 PM	0.1(6seg)	1	0.01	0.05%
10/24/2018	11:00:12 PM	0.2(12seg)	4	0.04	0.20%
10/24/2018	11:00:30 PM	0.5(30seg)	19	0.19	0.96%
10/24/2018	11:01:00 PM	1	40	0.4	2.03%
10/24/2018	11:02:00 PM	2	77	0.77	3.91%
10/24/2018	11:04:00 PM	4	133	1.33	6.75%
10/24/2018	11:08:00 PM	8	194	1.94	9.85%
10/24/2018	11:15:00 PM	15	237	2.37	12.03%
10/24/2018	11:30:00 PM	30	255	2.55	12.94%
10/25/2018	12:00:00 AM	60(1hora)	266	2.66	13.50%
10/25/2018	1:00:00 AM	120(2hora)	275	2.75	13.96%
10/25/2018	3:00:00 AM	240(4hora)	279	2.79	14.16%
10/25/2018	7:00:00 AM	480(8hora)	282	2.82	14.31%
10/25/2018	11:00:00 PM	1440(24hora)	290	2.9	14.72%
10/26/2018	11:00:00 PM	2880(48hora)	290	2.9	14.72%
10/27/2018	11:00:00 PM	4320(72hora)	290	2.9	14.72%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



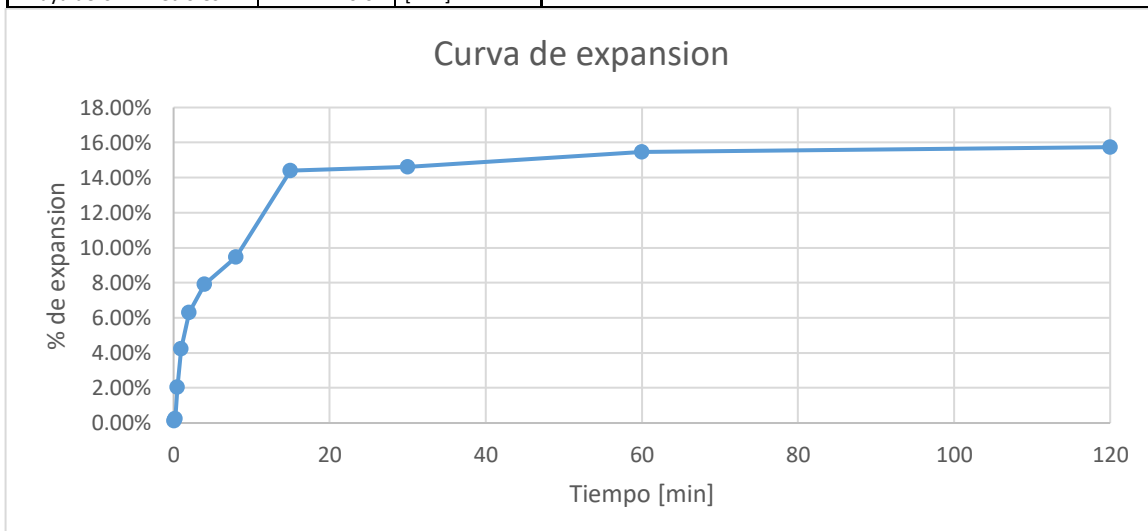
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M1 – Cal – Densidad normal – 3 días					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
diámetro[cm]	6.37	Humedad			
Altura[cm]	2.46		Tara 1(mp3)	Tara 2(bl2)	
Área[cm ²]	31.87	Peso T+S húmedo[grf]	98.4	83.9	
Volumen[cm ³]	78.40	Peso T+S seco[grf]	86	72.9	
Peso anillo[grf]	106.3	Peso Tara[grf]	50.9	40.8	
Peso anillo + suelo[grf]	238.2	Humedad [%]	35.33%	34.27%	
Peso suelo[grf]	131.9	Humedad promedio[%]	34.80%		
Datos iniciales muestra		Gs	2.73		
yh[grf/cm ³]	1.68	e	1.19		
ys[grf/cm ³]	1.39	n	0.54		
Humedad inicial[%]	20.69%	s	79.93%		
Gs	2.73	% Expansión	1.42%		
e	0.96				
n	0.49				
s	58.86%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[<i>min</i>]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
11/12/2018	3:45:06 PM	0.1(6seg)	1	0.01	0.04%
11/12/2018	3:45:12 PM	0.2(12seg)	1	0.01	0.04%
11/12/2018	3:45:30 PM	0.5(30seg)	2	0.02	0.08%
11/12/2018	3:46:00 PM	1	7	0.07	0.28%
11/12/2018	3:47:00 PM	2	12	0.12	0.49%
11/12/2018	3:49:00 PM	4	14	0.14	0.57%
11/12/2018	3:53:00 PM	8	19	0.19	0.77%
11/12/2018	4:00:00 PM	15	23	0.23	0.93%
11/12/2018	4:15:00 PM	30	26	0.26	1.06%
11/12/2018	4:45:00 PM	60(1hora)	26	0.26	1.06%
11/12/2018	5:45:00 PM	120(2hora)	26	0.26	1.06%
11/12/2018	7:45:00 PM	240(4hora)	28	0.28	1.14%
11/12/2018	11:45:00 PM	480(8hora)	30	0.3	1.22%
11/13/2018	3:45:00 PM	1440(24hora)	30	0.3	1.22%
11/14/2018	3:45:00 PM	2880(48hora)	33	0.33	1.34%
11/15/2018	3:45:00 PM	4320(72hora)	35	0.35	1.42%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



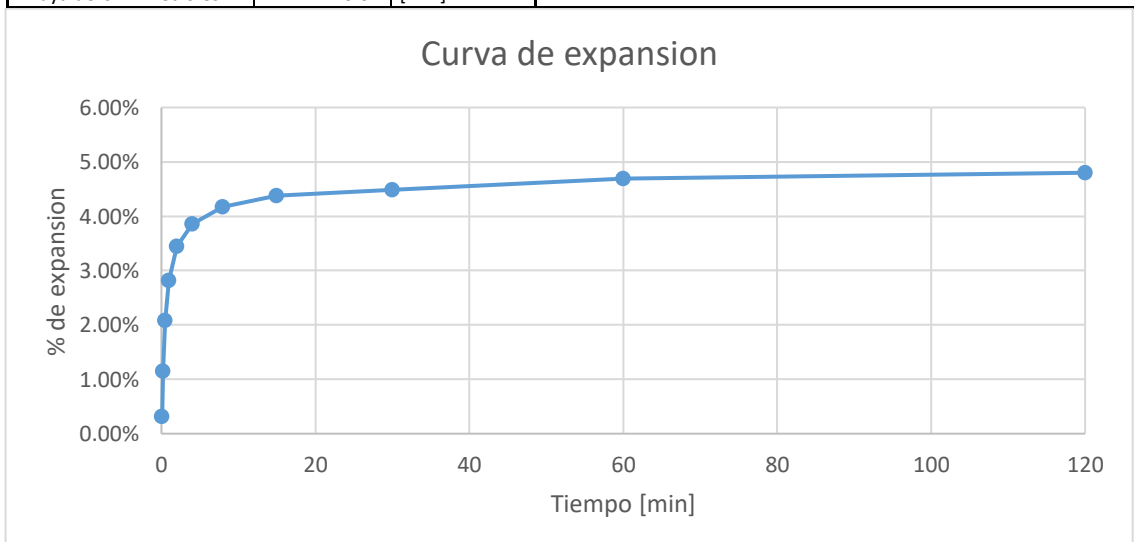
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M2 – Cal – Densidad normal – 3 días					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
diámetro[cm]	6.37	Humedad			
Altura[cm]	2.46		Tara 1(mp3)	Tara 2(bl2)	
Área[cm ²]	31.87	Peso T+S húmedo[grf]	85.1	88.8	
Volumen[cm ³]	78.40	Peso T+S seco[grf]	75.9	76	
Peso anillo[grf]	106.3	Peso Tara[grf]	50.9	40.8	
Peso anillo + suelo[grf]	238.2	Humedad [%]	36.80%	36.36%	
Peso suelo[grf]	131.9	Humedad promedio[%]	36.58%		
Datos iniciales muestra		Gs	2.73		
yh[grf/cm ³]	1.68	e	1.22		
ys[grf/cm ³]	1.40	n	0.55		
Humedad inicial[%]	20.17%	s	82.03%		
Gs	2.73	% Expansión	2.07%		
e	0.95				
n	0.49				
s	57.90%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[<i>min</i>]	Lecturas[#rayas]	Deformación[<i>mm</i>]	% de Expansión
11/20/2018	3:45:06 PM	0.1(6seg)	0	0	0.00%
11/20/2018	3:45:12 PM	0.2(12seg)	1	0.01	0.04%
11/20/2018	3:45:30 PM	0.5(30seg)	3	0.03	0.12%
11/20/2018	3:46:00 PM	1	9	0.09	0.37%
11/20/2018	3:47:00 PM	2	15	0.15	0.61%
11/20/2018	3:49:00 PM	4	20	0.2	0.81%
11/20/2018	3:53:00 PM	8	24	0.24	0.98%
11/20/2018	4:00:00 PM	15	29	0.29	1.18%
11/20/2018	4:15:00 PM	30	34	0.34	1.38%
11/20/2018	4:45:00 PM	60(1hora)	37	0.37	1.50%
11/20/2018	5:45:00 PM	120(2hora)	40	0.4	1.63%
11/20/2018	7:45:00 PM	240(4hora)	42	0.42	1.71%
11/20/2018	11:45:00 PM	480(8hora)	44	0.44	1.79%
11/21/2018	3:45:00 PM	1440(24hora)	47	0.47	1.91%
11/22/2018	3:45:00 PM	2880(48hora)	50	0.5	2.03%
11/23/2018	3:45:00 PM	4320(72hora)	51	0.51	2.07%
1 raya deformímetro es		0.01	[<i>mm</i>]		



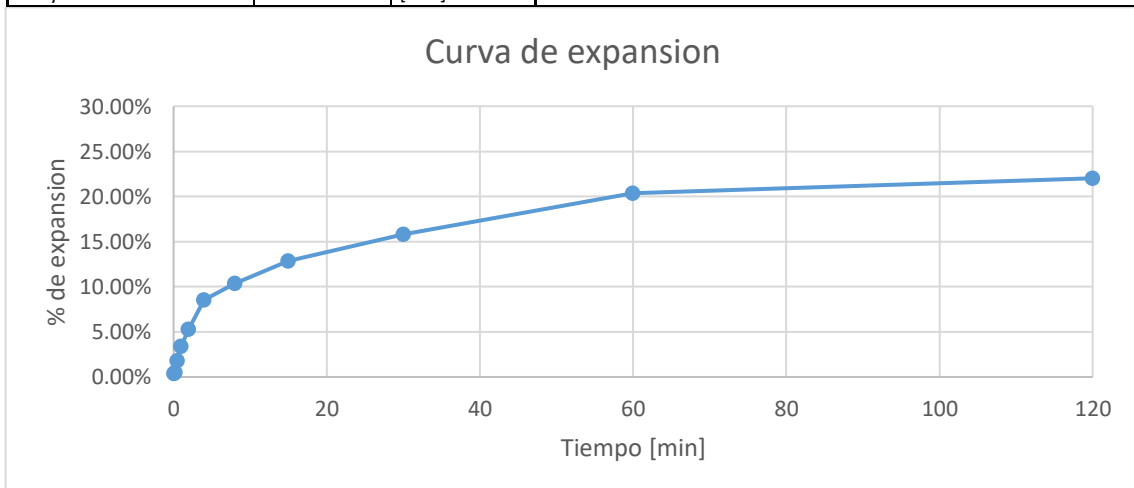
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M1 – Cemento – Densidad normal – 3 días					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
diámetro[cm]	6.36	Humedad			
Altura[cm]	2.41		Tara 1(mp1)	Tara 2(bp1)	
Área[cm ²]	31.77	Peso T+S húmedo[grf]	86.7	96.2	
Volumen[cm ³]	76.56	Peso T+S seco[grf]	74	81.4	
Peso anillo[grf]	105.7	Peso Tara[grf]	44	45.6	
Peso anillo + suelo[grf]	234.5	Humedad [%]	42.33%	41.34%	
Peso suelo[grf]	128.8	Humedad promedio[%]	41.84%		
Datos iniciales muestra		Gs	2.73		
yh[grf/cm ³]	1.68	e	1.30		
ys[grf/cm ³]	1.39	n	0.57		
Humedad inicial[%]	21.46%	s	87.65%		
Gs	2.73	% Expansión	16.97%		
e	0.97				
n	0.49				
s	60.25%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[<u>min</u>]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
11/12/2018	4:00:06 PM	0.1(6seg)	3	0.03	0.12%
11/12/2018	4:00:12 PM	0.2(12seg)	6	0.06	0.25%
11/12/2018	4:00:30 PM	0.5(30seg)	49	0.49	2.03%
11/12/2018	4:01:00 PM	1	102	1.02	4.23%
11/12/2018	4:02:00 PM	2	152	1.52	6.31%
11/12/2018	4:04:00 PM	4	191	1.91	7.93%
11/12/2018	4:08:00 PM	8	228	2.28	9.46%
11/12/2018	4:15:00 PM	15	347	3.47	14.40%
11/12/2018	4:30:00 PM	30	352	3.52	14.61%
11/12/2018	5:00:00 PM	60(1hora)	373	3.73	15.48%
11/12/2018	6:00:00 PM	120(2hora)	379	3.79	15.73%
11/12/2018	8:00:00 PM	240(4hora)	390	3.9	16.18%
11/12/2018	12:00:00 PM	480(8hora)	400	4	16.60%
11/13/2018	4:00:00 PM	1440(24hora)	407	4.07	16.89%
11/14/2018	4:00:00 PM	2880(48hora)	409	4.09	16.97%
11/15/2018	4:00:00 PM	4320(72hora)	409	4.09	16.97%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



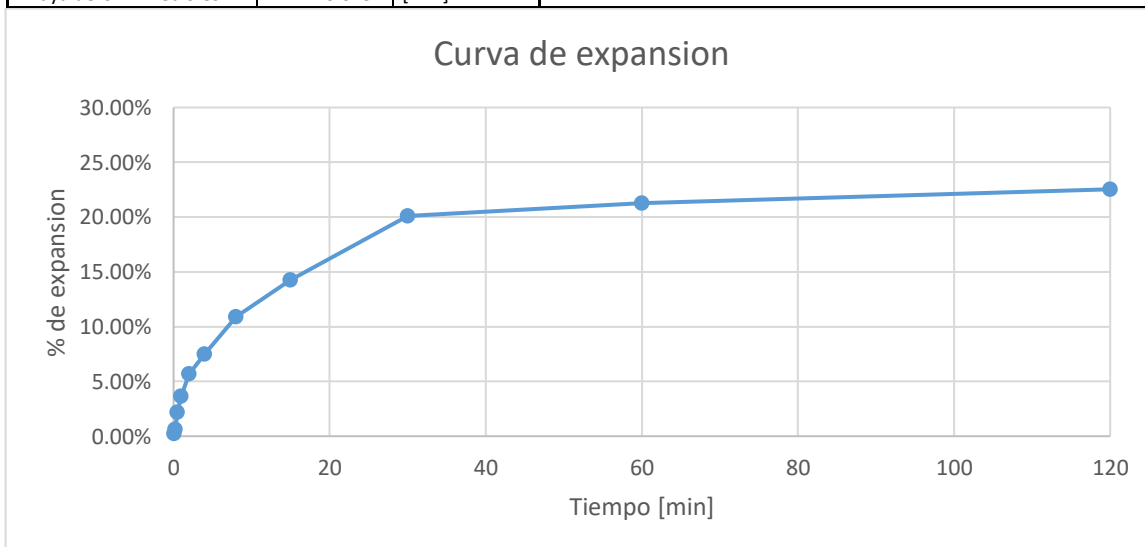
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M2 – Cemento – Densidad normal – 3 días					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
diámetro[cm]	6.36	Humedad			
Altura[cm]	2.41		Tara 1(mp1)	Tara 2(bp1)	
Área[cm ²]	31.77	Peso T+S húmedo[grf]	73.1	75	
Volumen[cm ³]	76.56	Peso T+S seco[grf]	64.5	66.4	
Peso anillo[grf]	105.7	Peso Tara[grf]	44	45.6	
Peso anillo + suelo[grf]	234.5	Humedad [%]	41.95%	41.35%	
Peso suelo[grf]	128.8	Humedad promedio[%]	41.65%		
Datos iniciales muestra		Gs	2.73		
yh[grf/cm ³]	1.68	e	1.30		
ys[grf/cm ³]	1.38	n	0.57		
Humedad inicial[%]	21.65%	s	87.46%		
Gs	2.73	% Expansión	16.18%		
e	0.98				
n	0.49				
s	60.59%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
11/20/2018	4:00:06 PM	0.1(6seg)	0	0	0.00%
11/20/2018	4:00:12 PM	0.2(12seg)	4	0.04	0.17%
11/20/2018	4:00:30 PM	0.5(30seg)	48	0.48	1.99%
11/20/2018	4:01:00 PM	1	98	0.98	4.07%
11/20/2018	4:02:00 PM	2	142	1.42	5.89%
11/20/2018	4:04:00 PM	4	183	1.83	7.59%
11/20/2018	4:08:00 PM	8	209	2.09	8.67%
11/20/2018	4:15:00 PM	15	245	2.45	10.17%
11/20/2018	4:30:00 PM	30	268	2.68	11.12%
11/20/2018	5:00:00 PM	60(1hora)	350	3.5	14.52%
11/20/2018	6:00:00 PM	120(2hora)	364	3.64	15.10%
11/20/2018	8:00:00 PM	240(4hora)	372	3.72	15.44%
11/20/2018	12:00:00 PM	480(8hora)	380	3.8	15.77%
11/21/2018	4:00:00 PM	1440(24hora)	387	3.87	16.06%
11/22/2018	4:00:00 PM	2880(48hora)	388	3.88	16.10%
11/23/2018	4:00:00 PM	4320(72hora)	390	3.9	16.18%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



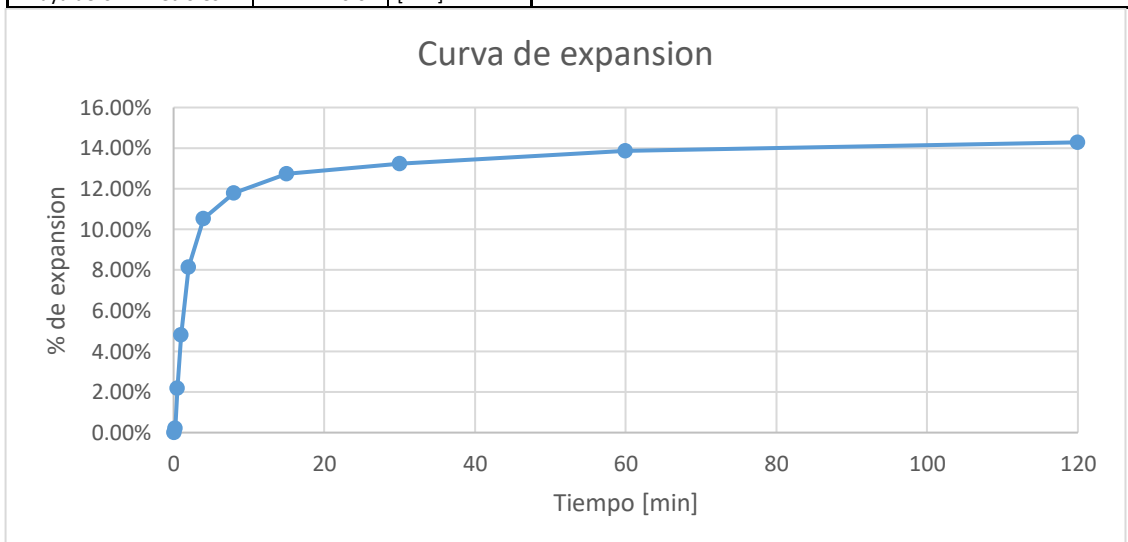
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M1 – Yeso – Densidad normal – 3 días					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
diámetro[cm]	5.04	Humedad			
Altura[cm]	1.96		Tara 1(ml2)	Tara 2(mp2)	
Área[cm ²]	19.95	Peso T+S húmedo[grf]	85.7	76.1	
Volumen[cm ³]	39.10	Peso T+S seco[grf]	70	65.9	
Peso anillo[grf]	58.7	Peso Tara[grf]	42.4	46.5	
Peso anillo + suelo[grf]	124.7	Humedad [%]	56.88%	52.58%	
Peso suelo[grf]	66	Humedad promedio[%]	54.73%		
Datos iniciales muestra		Gs	2.73		
yh[grf/cm ³]	1.69	e	1.51		
ys[grf/cm ³]	1.36	n	0.60		
Humedad inicial[%]	24.36%	s	99.35%		
Gs	2.73	% Expansión	24.23%		
e	1.01				
n	0.50				
s	65.67%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[<u>min</u>]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
11/12/2018	3:30:06 PM	0.1(6seg)	3	0.0762	0.39%
11/12/2018	3:30:12 PM	0.2(12seg)	4	0.1016	0.52%
11/12/2018	3:30:30 PM	0.5(30seg)	14	0.3556	1.81%
11/12/2018	3:31:00 PM	1	26	0.6604	3.37%
11/12/2018	3:32:00 PM	2	41	1.0414	5.31%
11/12/2018	3:34:00 PM	4	66	1.6764	8.55%
11/12/2018	3:38:00 PM	8	80	2.032	10.37%
11/12/2018	3:45:00 PM	15	99	2.5146	12.83%
11/12/2018	4:00:00 PM	30	122	3.0988	15.81%
11/12/2018	4:30:00 PM	60(1hora)	157	3.9878	20.35%
11/12/2018	5:30:00 PM	120(2hora)	170	4.318	22.03%
11/12/2018	7:30:00 PM	240(4hora)	177	4.4958	22.94%
11/12/2018	11:30:00 PM	480(8hora)	179	4.5466	23.20%
11/13/2018	3:30:00 PM	1440(24hora)	182	4.6228	23.59%
11/14/2018	3:30:00 PM	2880(48hora)	185	4.699	23.97%
11/15/2018	3:30:00 PM	4320(72hora)	187	4.7498	24.23%
1 raya deformímetro es		0.0254	[mm]		



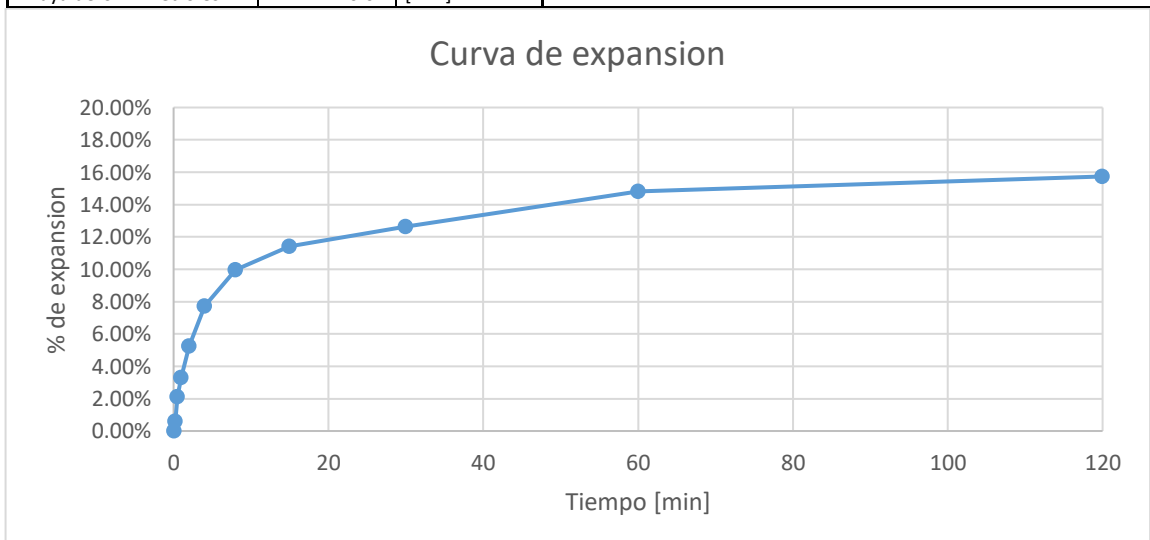
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M2 – Yeso – Densidad normal – 3 días					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
diámetro[cm]	5.04	Humedad			
Altura[cm]	1.96	Tara 1(ml2)	Tara 2(mp2)		
Área[cm2]	19.95	Peso T+S húmedo[grf]	76	72.9	
Volumen[cm3]	39.10	Peso T+S seco[grf]	64.4	63.8	
Peso anillo[grf]	58.7	Peso Tara[grf]	42.4	46.5	
Peso anillo + suelo[grf]	124.9	Humedad [%]	52.73%	52.60%	
Peso suelo[grf]	66.2	Humedad promedio[%]	52.66%		
Datos iniciales muestra		Gs	2.73		
yh[grf/cm3]	1.69	e	1.46		
ys[grf/cm3]	1.36	n	0.59		
Humedad inicial[%]	24.11%	s	98.27%		
Gs	2.73	% Expansión	26.05%		
e	1.00				
n	0.50				
s	65.65%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
11/20/2018	3:30:06 PM	0.1(6seg)	2	0.0508	0.26%
11/20/2018	3:30:12 PM	0.2(12seg)	5	0.127	0.65%
11/20/2018	3:30:30 PM	0.5(30seg)	17	0.4318	2.20%
11/20/2018	3:31:00 PM	1	28	0.7112	3.63%
11/20/2018	3:32:00 PM	2	44	1.1176	5.70%
11/20/2018	3:34:00 PM	4	58	1.4732	7.52%
11/20/2018	3:38:00 PM	8	84	2.1336	10.89%
11/20/2018	3:45:00 PM	15	110	2.794	14.26%
11/20/2018	4:00:00 PM	30	155	3.937	20.09%
11/20/2018	4:30:00 PM	60(1hora)	164	4.1656	21.25%
11/20/2018	5:30:00 PM	120(2hora)	174	4.4196	22.55%
11/20/2018	7:30:00 PM	240(4hora)	183	4.6482	23.72%
11/20/2018	11:30:00 PM	480(8hora)	191	4.8514	24.75%
11/21/2018	3:30:00 PM	1440(24hora)	198	5.0292	25.66%
11/22/2018	3:30:00 PM	2880(48hora)	200	5.08	25.92%
11/23/2018	3:30:00 PM	4320(72hora)	201	5.1054	26.05%
1 raya deformímetro es		0.0254	[mm]		



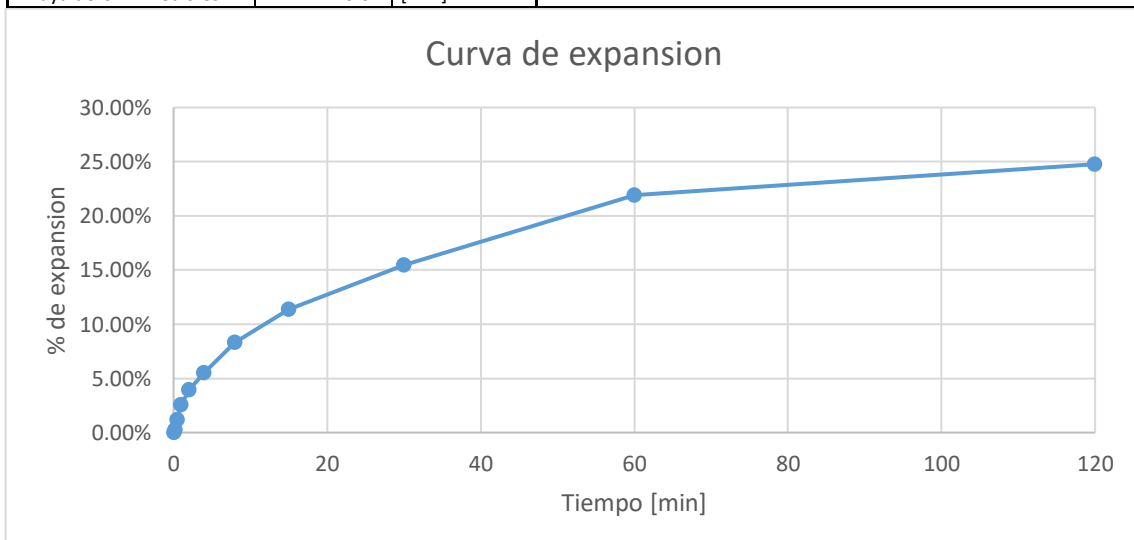
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M1 - Ceniza volante – Densidad normal – 3 días					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
diámetro[cm]	6.31	Humedad			
Altura[cm]	2.46		Tara 1(bp3)	Tara 2(hc1)	
Área[cm ²]	31.27	Peso T+S húmedo[grf]	82.5	77.8	
Volumen[cm ³]	76.93	Peso T+S seco[grf]	69.7	66.9	
Peso anillo[grf]	115.5	Peso Tara[grf]	42	43.1	
Peso anillo + suelo[grf]	247.5	Humedad [%]	46.21%	45.80%	
Peso suelo[grf]	132	Humedad promedio[%]	46.00%		
Datos iniciales muestra		Gs	2.73		
yh[grf/cm ³]	1.72	e	1.33		
ys[grf/cm ³]	1.44	n	0.57		
Humedad inicial[%]	18.78%	s	94.84%		
Gs	2.73	% Expansión	18.90%		
e	0.89				
n	0.47				
s	57.54%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[<i>min</i>]	Lecturas[#rayas]	Deformación[<i>mm</i>]	% de Expansión
11/12/2018	3:15:06 PM	0.1(6seg)	3	0.03	0.12%
11/12/2018	3:15:12 PM	0.2(12seg)	19	0.19	0.77%
11/12/2018	3:15:30 PM	0.5(30seg)	57	0.57	2.32%
11/12/2018	3:16:00 PM	1	92	0.92	3.74%
11/12/2018	3:17:00 PM	2	138	1.38	5.61%
11/12/2018	3:19:00 PM	4	183	1.83	7.44%
11/12/2018	3:23:00 PM	8	252	2.52	10.24%
11/12/2018	3:30:00 PM	15	290	2.9	11.79%
11/12/2018	3:45:00 PM	30	335	3.35	13.62%
11/12/2018	4:15:00 PM	60(1hora)	363	3.63	14.76%
11/12/2018	5:15:00 PM	120(2hora)	382	3.82	15.53%
11/12/2018	7:15:00 PM	240(4hora)	410	4.1	16.67%
11/12/2018	11:15:00 PM	480(8hora)	421	4.21	17.11%
11/13/2018	3:15:00 PM	1440(24hora)	452	4.52	18.37%
11/14/2018	3:15:00 PM	2880(48hora)	464	4.64	18.86%
11/15/2018	3:15:00 PM	4320(72hora)	465	4.65	18.90%
1 raya deformímetro es		0.01	[<i>mm</i>]		



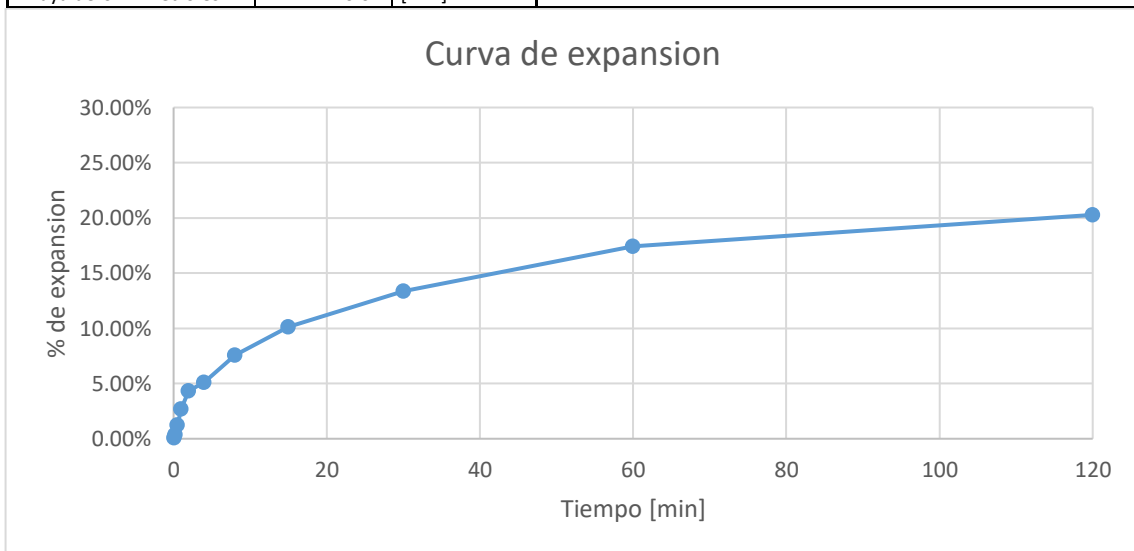
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M2 - Ceniza volante – Densidad normal – 3 días					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
diámetro[cm]	6.31	Humedad			
Altura[cm]	2.46		Tara 1(bp3)	Tara 2(hc1)	
Área[cm ²]	31.27	Peso T+S húmedo[grf]	94.1	88	
Volumen[cm ³]	76.93	Peso T+S seco[grf]	77.5	73.8	
Peso anillo[grf]	115.5	Peso Tara[grf]	42	43.1	
Peso anillo + suelo[grf]	248.5	Humedad [%]	46.76%	46.25%	
Peso suelo[grf]	133	Humedad promedio[%]	46.51%		
Datos iniciales muestra		Gs	2.73		
yh[grf/cm ³]	1.73	e	1.32		
ys[grf/cm ³]	1.46	n	0.57		
Humedad inicial[%]	18.76%	s	96.57%		
Gs	2.73	% Expansión	17.56%		
e	0.88				
n	0.47				
s	58.43%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[<small>min</small>]	Lecturas[#rayas]	Deformación[<small>mm</small>]	% de Expansión
11/20/2018	3:15:06 PM	0.1(6seg)	0	0	0.00%
11/20/2018	3:15:12 PM	0.2(12seg)	15	0.15	0.61%
11/20/2018	3:15:30 PM	0.5(30seg)	52	0.52	2.11%
11/20/2018	3:16:00 PM	1	81	0.81	3.29%
11/20/2018	3:17:00 PM	2	129	1.29	5.24%
11/20/2018	3:19:00 PM	4	190	1.9	7.72%
11/20/2018	3:23:00 PM	8	245	2.45	9.96%
11/20/2018	3:30:00 PM	15	281	2.81	11.42%
11/20/2018	3:45:00 PM	30	311	3.11	12.64%
11/20/2018	4:15:00 PM	60(1hora)	364	3.64	14.80%
11/20/2018	5:15:00 PM	120(2hora)	387	3.87	15.73%
11/20/2018	7:15:00 PM	240(4hora)	399	3.99	16.22%
11/20/2018	11:15:00 PM	480(8hora)	418	4.18	16.99%
11/21/2018	3:15:00 PM	1440(24hora)	428	4.28	17.40%
11/22/2018	3:15:00 PM	2880(48hora)	430	4.3	17.48%
11/23/2018	3:15:00 PM	4320(72hora)	432	4.32	17.56%
1 raya deformímetro es		0.01	[<small>mm</small>]		



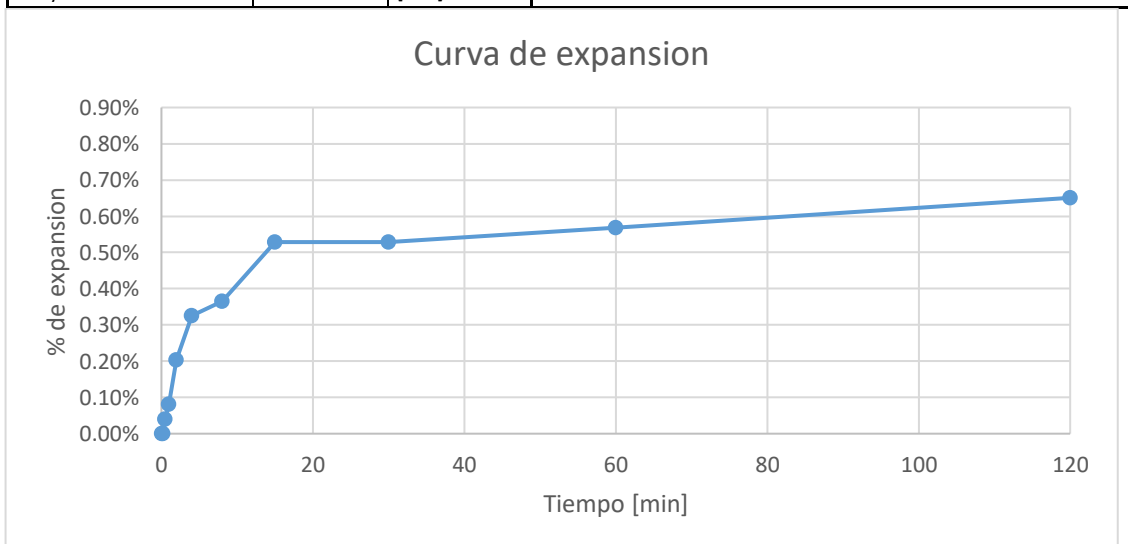
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M1 - Humo de sílice – Densidad normal – 3 días					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
diámetro[cm]	5.03	Humedad			
Altura[cm]	1.98		Tara 1(bp2)	Tara 2(ch1)	
Área[cm ²]	19.87	Peso T+S húmedo[grf]	80.4	82.9	
Volumen[cm ³]	39.35	Peso T+S seco[grf]	66.2	69.9	
Peso anillo[grf]	62.8	Peso Tara[grf]	41.2	45	
Peso anillo + suelo[grf]	128.8	Humedad [%]	56.80%	52.21%	
Peso suelo[grf]	66	Humedad promedio[%]	54.50%		
Datos iniciales muestra		Gs	2.73		
yh[grf/cm ³]	1.68	e	1.52		
ys[grf/cm ³]	1.42	n	0.60		
Humedad inicial[%]	18.33%	s	98.17%		
Gs	2.73	% Expansión	26.92%		
e	0.93				
n	0.48				
s	53.98%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
11/12/2018	3:00:06 PM	0.1(6seg)	0	0	0.00%
11/12/2018	3:00:12 PM	0.2(12seg)	5	0.05	0.25%
11/12/2018	3:00:30 PM	0.5(30seg)	24	0.24	1.21%
11/12/2018	3:01:00 PM	1	51	0.51	2.58%
11/12/2018	3:02:00 PM	2	78	0.78	3.94%
11/12/2018	3:04:00 PM	4	109	1.09	5.51%
11/12/2018	3:08:00 PM	8	165	1.65	8.33%
11/12/2018	3:15:00 PM	15	225	2.25	11.36%
11/12/2018	3:30:00 PM	30	306	3.06	15.45%
11/12/2018	4:00:00 PM	60(1hora)	434	4.34	21.92%
11/12/2018	5:00:00 PM	120(2hora)	490	4.9	24.75%
11/12/2018	7:00:00 PM	240(4hora)	510	5.1	25.76%
11/12/2018	11:00:00 PM	480(8hora)	518	5.18	26.16%
11/13/2018	3:00:00 PM	1440(24hora)	526	5.26	26.57%
11/14/2018	3:00:00 PM	2880(48hora)	529	5.29	26.72%
11/15/2018	3:00:00 PM	4320(72hora)	533	5.33	26.92%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



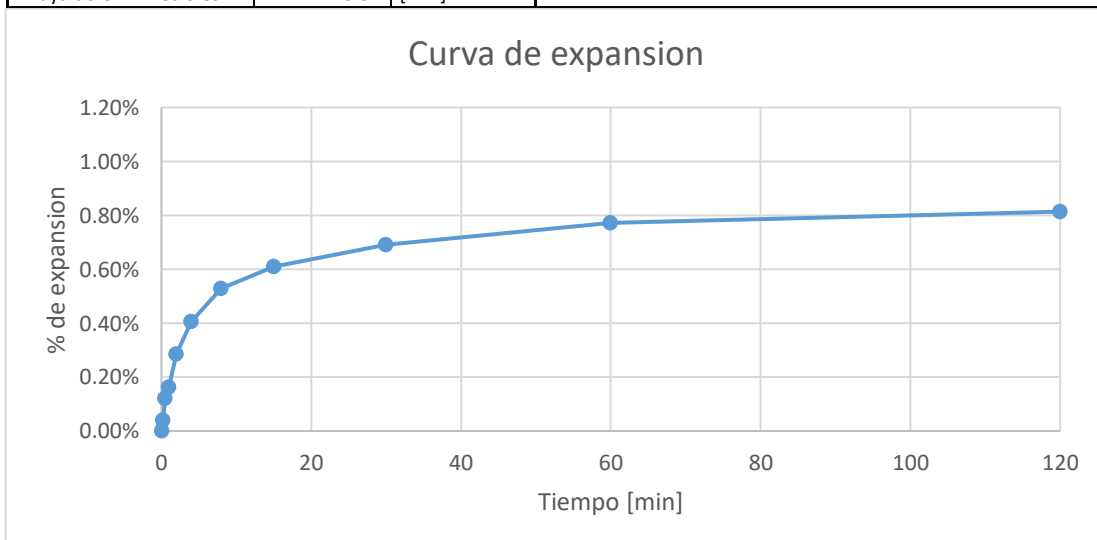
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M2 - Humo de sílice – Densidad normal – 3 días					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
diámetro[cm]	5.03	Humedad			
Altura[cm]	1.98		Tara 1(bp2)	Tara 2(ch1)	
Área[cm ²]	19.87	Peso T+S húmedo[grf]	75.1	80.1	
Volumen[cm ³]	39.35	Peso T+S seco[grf]	63.4	68	
Peso anillo[grf]	62.8	Peso Tara[grf]	41.2	45	
Peso anillo + suelo[grf]	128.8	Humedad [%]	52.70%	52.61%	
Peso suelo[grf]	66	Humedad promedio[%]	52.66%		
Datos iniciales muestra		Gs	2.73		
yh[grf/cm ³]	1.68	e	1.49		
ys[grf/cm ³]	1.42	n	0.60		
Humedad inicial[%]	18.39%	s	96.76%		
Gs	2.73	% Expansión	28.23%		
e	0.93				
n	0.48				
s	54.10%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
11/20/2018	3:00:06 PM	0.1(6seg)	2	0.02	0.10%
11/20/2018	3:00:12 PM	0.2(12seg)	7	0.07	0.35%
11/20/2018	3:00:30 PM	0.5(30seg)	25	0.25	1.26%
11/20/2018	3:01:00 PM	1	53	0.53	2.68%
11/20/2018	3:02:00 PM	2	86	0.86	4.34%
11/20/2018	3:04:00 PM	4	101	1.01	5.10%
11/20/2018	3:08:00 PM	8	150	1.5	7.58%
11/20/2018	3:15:00 PM	15	201	2.01	10.15%
11/20/2018	3:30:00 PM	30	265	2.65	13.38%
11/20/2018	4:00:00 PM	60(1hora)	345	3.45	17.42%
11/20/2018	5:00:00 PM	120(2hora)	401	4.01	20.25%
11/20/2018	7:00:00 PM	240(4hora)	480	4.8	24.24%
11/20/2018	11:00:00 PM	480(8hora)	528	5.28	26.67%
11/21/2018	3:00:00 PM	1440(24hora)	553	5.53	27.93%
11/22/2018	3:00:00 PM	2880(48hora)	555	5.55	28.03%
11/23/2018	3:00:00 PM	4320(72hora)	559	5.59	28.23%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



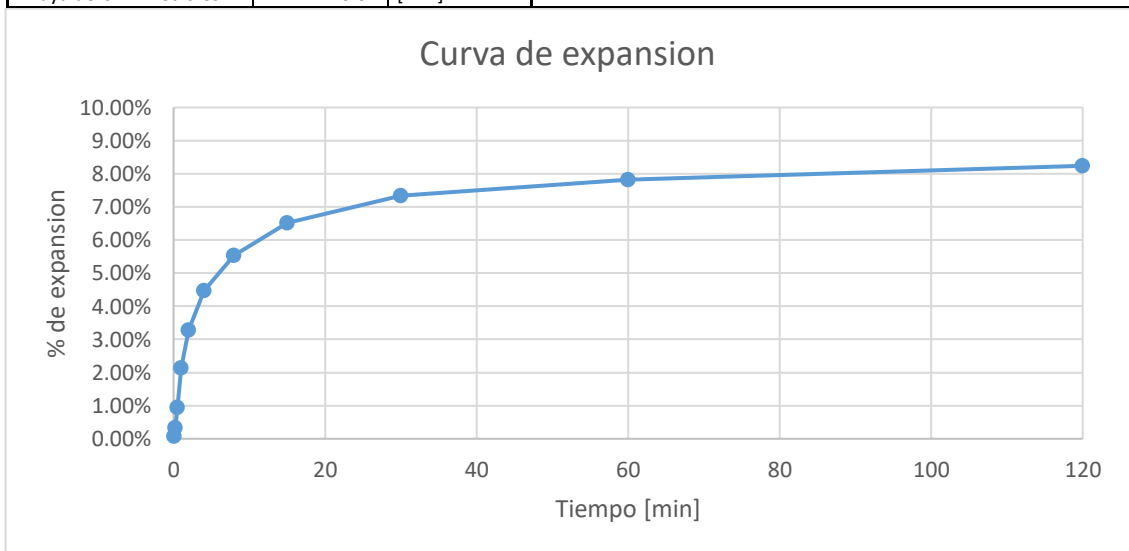
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M1 – Cal – Densidad normal – 7 días					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
diámetro[cm]	6.37	Humedad			
Altura[cm]	2.46		Tara 1(mp3)	Tara 2(bl2)	
Área[cm ²]	31.87	Peso T+S húmedo[grf]	102.9	88.5	
Volumen[cm ³]	78.40	Peso T+S seco[grf]	89.5	76.2	
Peso anillo[grf]	106.3	Peso Tara[grf]	50.9	40.8	
Peso anillo + suelo[grf]	238.3	Humedad [%]	34.72%	34.75%	
Peso suelo[grf]	132	Humedad promedio[%]	34.73%		
Datos iniciales muestra		Gs	2.73		
yh[grf/cm ³]	1.68	e	1.19		
ys[grf/cm ³]	1.40	n	0.54		
Humedad inicial[%]	20.69%	s	79.96%		
Gs	2.73	% Expansión	0.81%		
e	0.96				
n	0.49				
s	58.96%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[<i>min</i>]	Lecturas[#rayas]	Deformación[<i>mm</i>]	% de Expansión
11/16/2018	3:15:06 PM	0.1(6seg)	0	0	0.00%
11/16/2018	3:15:12 PM	0.2(12seg)	0	0	0.00%
11/16/2018	3:15:30 PM	0.5(30seg)	1	0.01	0.04%
11/16/2018	3:16:00 PM	1	2	0.02	0.08%
11/16/2018	3:17:00 PM	2	5	0.05	0.20%
11/16/2018	3:19:00 PM	4	8	0.08	0.33%
11/16/2018	3:23:00 PM	8	9	0.09	0.37%
11/16/2018	3:30:00 PM	15	13	0.13	0.53%
11/16/2018	3:45:00 PM	30	13	0.13	0.53%
11/16/2018	4:15:00 PM	60(1hora)	14	0.14	0.57%
11/16/2018	5:15:00 PM	120(2hora)	16	0.16	0.65%
11/16/2018	7:15:00 PM	240(4hora)	17	0.17	0.69%
11/16/2018	11:15:00 PM	480(8hora)	17	0.17	0.69%
11/17/2018	3:15:00 PM	1440(24hora)	18	0.18	0.73%
11/18/2018	3:15:00 PM	2880(48hora)	19	0.19	0.77%
11/19/2018	3:15:00 PM	4320(72hora)	20	0.2	0.81%
1 raya deformímetro es		0.01	[<i>mm</i>]		



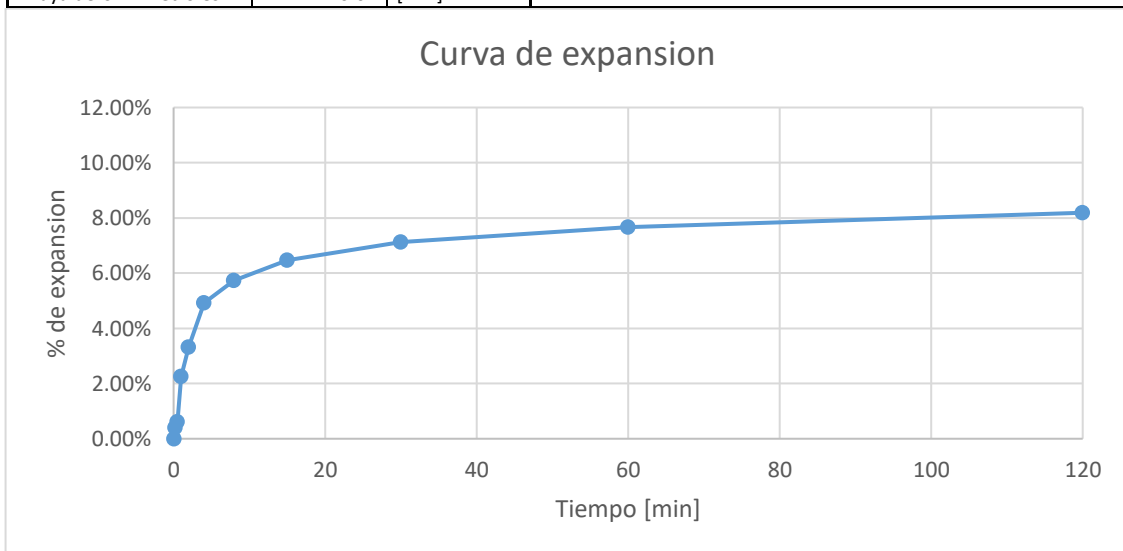
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M2 – Cal – Densidad normal – 7 días					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
diámetro[cm]	6.37	Humedad			
Altura[cm]	2.46		Tara 1(mp3)	Tara 2(bl2)	
Área[cm ²]	31.87	Peso T+S húmedo[grf]	100.8	85.6	
Volumen[cm ³]	78.40	Peso T+S seco[grf]	88.4	74.3	
Peso anillo[grf]	106.3	Peso Tara[grf]	50.9	40.8	
Peso anillo + suelo[grf]	238.7	Humedad [%]	33.07%	33.73%	
Peso suelo[grf]	132.4	Humedad promedio[%]	33.40%		
Datos iniciales muestra		Gs	2.73		
yh[grf/cm ³]	1.69	e	1.16		
ys[grf/cm ³]	1.41	n	0.54		
Humedad inicial[%]	20.17%	s	78.76%		
Gs	2.73	% Expansión	1.02%		
e	0.95				
n	0.49				
s	58.35%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
11/24/2018	3:15:06 PM	0.1(6seg)	0	0	0.00%
11/24/2018	3:15:12 PM	0.2(12seg)	1	0.01	0.04%
11/24/2018	3:15:30 PM	0.5(30seg)	3	0.03	0.12%
11/24/2018	3:16:00 PM	1	4	0.04	0.16%
11/24/2018	3:17:00 PM	2	7	0.07	0.28%
11/24/2018	3:19:00 PM	4	10	0.1	0.41%
11/24/2018	3:23:00 PM	8	13	0.13	0.53%
11/24/2018	3:30:00 PM	15	15	0.15	0.61%
11/24/2018	3:45:00 PM	30	17	0.17	0.69%
11/24/2018	4:15:00 PM	60(1hora)	19	0.19	0.77%
11/24/2018	5:15:00 PM	120(2hora)	20	0.2	0.81%
11/24/2018	7:15:00 PM	240(4hora)	21	0.21	0.85%
11/24/2018	11:15:00 PM	480(8hora)	22	0.22	0.89%
11/25/2018	3:15:00 PM	1440(24hora)	24	0.24	0.98%
11/26/2018	3:15:00 PM	2880(48hora)	25	0.25	1.02%
11/27/2018	3:15:00 PM	4320(72hora)	25	0.25	1.02%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



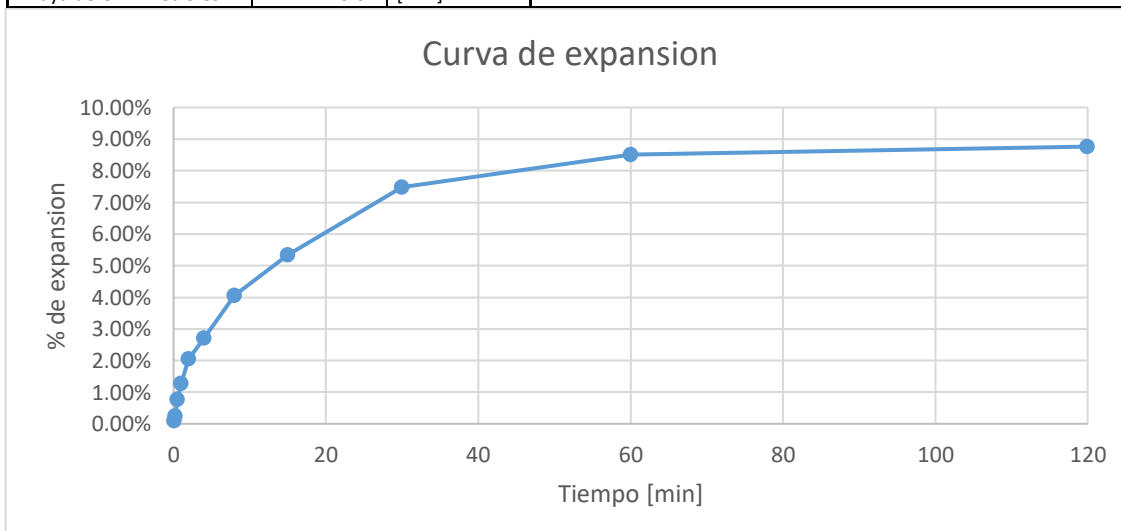
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M1 – Cemento – Densidad normal – 7 días					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	6.33		Humedad		
Altura[cm]	2.44			Tara 1(mp1)	Tara 2(bp1)
Área[cm ²]	31.47		Peso T+S húmedo[grf]	90.7	100.7
Volumen[cm ³]	76.79		Peso T+S seco[grf]	77.9	85.7
Peso anillo[grf]	113		Peso Tara[grf]	44	45.6
Peso anillo + suelo[grf]	243		Humedad [%]	37.76%	37.41%
Peso suelo[grf]	130		Humedad promedio[%]	37.58%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm ³]	1.69		e	1.22	
ys[grf/cm ³]	1.39		n	0.55	
Humedad inicial[%]	21.46%		s	84.11%	
Gs	2.73		% Expansión	9.10%	
e	0.96				
n	0.49				
s	61.04%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[<u>min</u>]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
11/16/2018	3:00:06 PM	0.1(6seg)	2	0.02	0.08%
11/16/2018	3:00:12 PM	0.2(12seg)	8	0.08	0.33%
11/16/2018	3:00:30 PM	0.5(30seg)	23	0.23	0.94%
11/16/2018	3:01:00 PM	1	52	0.52	2.13%
11/16/2018	3:02:00 PM	2	80	0.8	3.28%
11/16/2018	3:04:00 PM	4	109	1.09	4.47%
11/16/2018	3:08:00 PM	8	135	1.35	5.53%
11/16/2018	3:15:00 PM	15	159	1.59	6.52%
11/16/2018	3:30:00 PM	30	179	1.79	7.34%
11/16/2018	4:00:00 PM	60(1hora)	191	1.91	7.83%
11/16/2018	5:00:00 PM	120(2hora)	201	2.01	8.24%
11/16/2018	7:00:00 PM	240(4hora)	210	2.1	8.61%
11/16/2018	11:00:00 PM	480(8hora)	215	2.15	8.81%
11/17/2018	3:00:00 PM	1440(24hora)	220	2.2	9.02%
11/18/2018	3:00:00 PM	2880(48hora)	222	2.22	9.10%
11/19/2018	3:00:00 PM	4320(72hora)	222	2.22	9.10%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



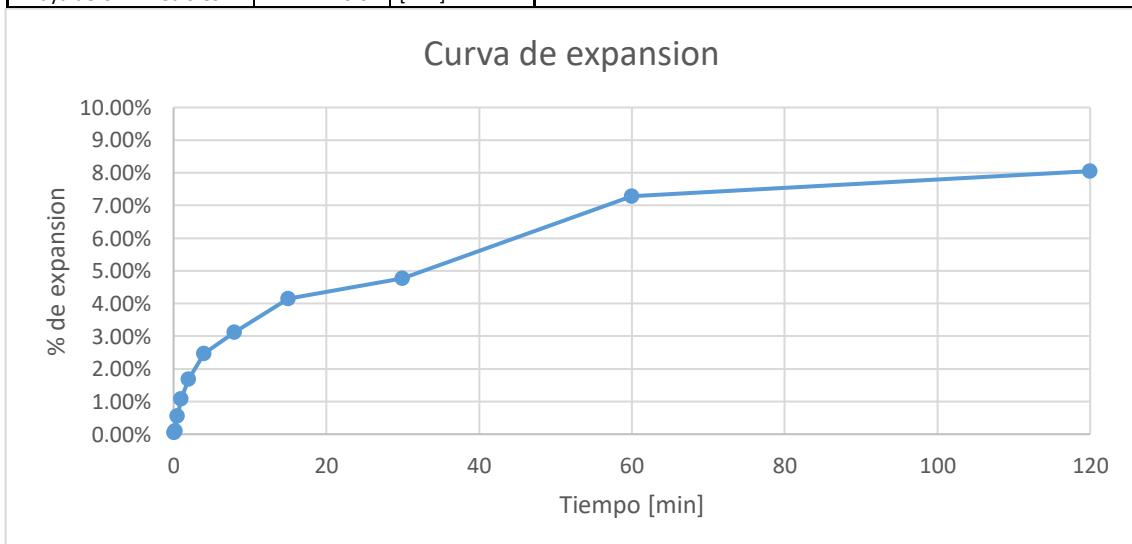
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M2 – Cemento – Densidad normal – 7 días					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	6.33		Humedad		
Altura[cm]	2.44		Tara 1(mp1)	Tara 2(bp1)	
Área[cm ²]	31.47		Peso T+S húmedo[grf]	69.4	78
Volumen[cm ³]	76.79		Peso T+S seco[grf]	62.4	69.1
Peso anillo[grf]	113		Peso Tara[grf]	44	45.6
Peso anillo + suelo[grf]	243		Humedad [%]	38.04%	37.87%
Peso suelo[grf]	130		Humedad promedio[%]	37.96%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm ³]	1.69		e	1.23	
ys[grf/cm ³]	1.39		n	0.55	
Humedad inicial[%]	21.65%		s	84.53%	
Gs	2.73		% Expansión	10.04%	
e	0.96				
n	0.49				
s	61.38%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[<u>min</u>]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
11/24/2018	3:00:06 PM	0.1(6seg)	0	0	0.00%
11/24/2018	3:00:12 PM	0.2(12seg)	10	0.1	0.41%
11/24/2018	3:00:30 PM	0.5(30seg)	15	0.15	0.61%
11/24/2018	3:01:00 PM	1	55	0.55	2.25%
11/24/2018	3:02:00 PM	2	81	0.81	3.32%
11/24/2018	3:04:00 PM	4	120	1.2	4.92%
11/24/2018	3:08:00 PM	8	140	1.4	5.74%
11/24/2018	3:15:00 PM	15		1.58	6.48%
11/24/2018	3:30:00 PM	30	174	1.74	7.13%
11/24/2018	4:00:00 PM	60(1hora)	187	1.87	7.66%
11/24/2018	5:00:00 PM	120(2hora)	200	2	8.20%
11/24/2018	7:00:00 PM	240(4hora)	211	2.11	8.65%
11/24/2018	11:00:00 PM	480(8hora)	227	2.27	9.30%
11/25/2018	3:00:00 PM	1440(24hora)	240	2.4	9.84%
11/26/2018	3:00:00 PM	2880(48hora)	244	2.44	10.00%
11/27/2018	3:00:00 PM	4320(72hora)	245	2.45	10.04%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



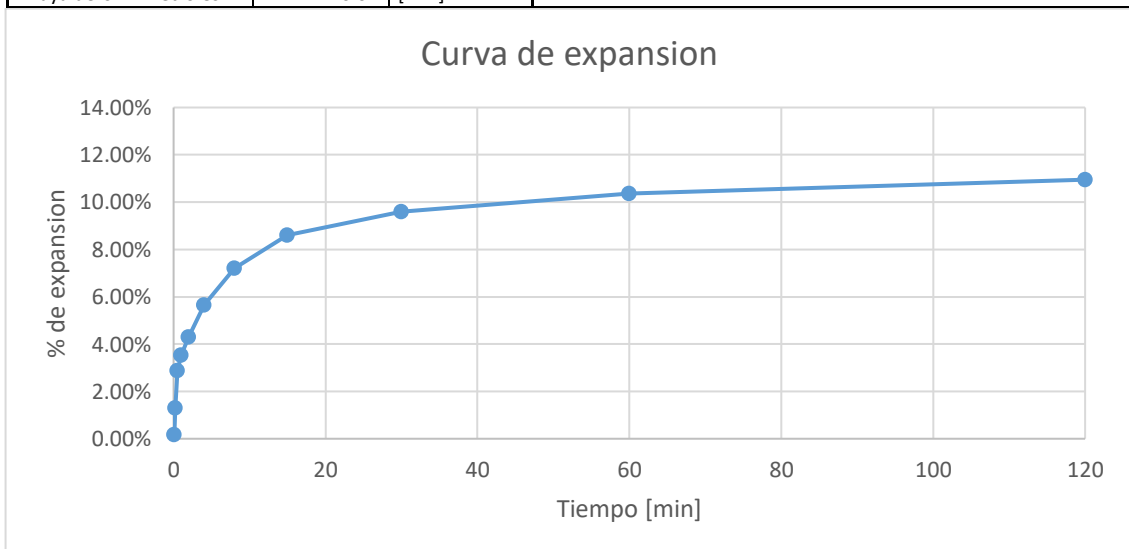
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M1 – Yeso – Densidad normal – 7 días					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	5.02		Humedad		
Altura[cm]	1.95			Tara 1(ml2)	Tara 2(mp2)
Área[cm2]	19.79		Peso T+S húmedo[grf]	82.1	78.4
Volumen[cm3]	38.60		Peso T+S seco[grf]	68.4	67.6
Peso anillo[grf]	58.3		Peso Tara[grf]	42.4	46.5
Peso anillo + suelo[grf]	124.3		Humedad [%]	52.69%	51.18%
Peso suelo[grf]	66		Humedad promedio[%]	51.94%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm3]	1.71		e	1.43	
ys[grf/cm3]	1.38		n	0.59	
Humedad inicial[%]	24.36%		s	99.37%	
Gs	2.73		% Expansión	9.49%	
e	0.99				
n	0.50				
s	67.40%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
11/16/2018	3:30:06 PM	0.1(6seg)	2	0.02	0.10%
11/16/2018	3:30:12 PM	0.2(12seg)	5	0.05	0.26%
11/16/2018	3:30:30 PM	0.5(30seg)	15	0.15	0.77%
11/16/2018	3:31:00 PM	1	25	0.25	1.28%
11/16/2018	3:32:00 PM	2	40	0.4	2.05%
11/16/2018	3:34:00 PM	4	53	0.53	2.72%
11/16/2018	3:38:00 PM	8	79	0.79	4.05%
11/16/2018	3:45:00 PM	15	104	1.04	5.33%
11/16/2018	4:00:00 PM	30	146	1.46	7.49%
11/16/2018	4:30:00 PM	60(1hora)	166	1.66	8.51%
11/16/2018	5:30:00 PM	120(2hora)	171	1.71	8.77%
11/16/2018	7:30:00 PM	240(4hora)	176	1.76	9.03%
11/16/2018	11:30:00 PM	480(8hora)	179	1.79	9.18%
11/17/2018	3:30:00 PM	1440(24hora)	182	1.82	9.33%
11/18/2018	3:30:00 PM	2880(48hora)	183	1.83	9.38%
11/19/2018	3:30:00 PM	4320(72hora)	185	1.85	9.49%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



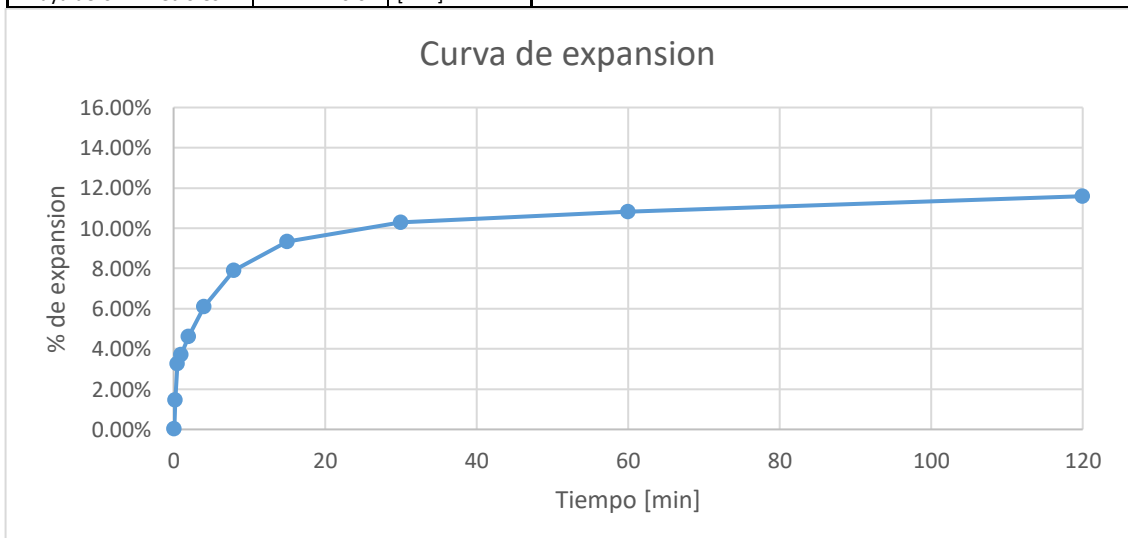
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M2 – Yeso – Densidad normal – 7 días					
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra			
diámetro[cm]	5.02	Humedad			
Altura[cm]	1.95		Tara 1(ml2)	Tara 2(mp2)	
Área[cm ²]	19.79	Peso T+S húmedo[grf]	98.7	81.2	
Volumen[cm ³]	38.60	Peso T+S seco[grf]	79.5	69.5	
Peso anillo[grf]	58.3	Peso Tara[grf]	42.4	46.5	
Peso anillo + suelo[grf]	124.3	Humedad [%]	51.75%	50.87%	
Peso suelo[grf]	66	Humedad promedio[%]	51.31%		
Datos iniciales muestra		Gs	2.73		
yh[grf/cm ³]	1.71	e	1.42		
ys[grf/cm ³]	1.38	n	0.59		
Humedad inicial[%]	24.11%	s	98.87%		
Gs	2.73	% Expansión	8.97%		
e	0.98				
n	0.50				
s	66.98%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[<u>min</u>]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
11/24/2018	3:30:06 PM	0.1(6seg)	1	0.01	0.05%
11/24/2018	3:30:12 PM	0.2(12seg)	2	0.02	0.10%
11/24/2018	3:30:30 PM	0.5(30seg)	11	0.11	0.56%
11/24/2018	3:31:00 PM	1	21	0.21	1.08%
11/24/2018	3:32:00 PM	2	33	0.33	1.69%
11/24/2018	3:34:00 PM	4	48	0.48	2.46%
11/24/2018	3:38:00 PM	8	61	0.61	3.13%
11/24/2018	3:45:00 PM	15	81	0.81	4.15%
11/24/2018	4:00:00 PM	30	93	0.93	4.77%
11/24/2018	4:30:00 PM	60(1hora)	142	1.42	7.28%
11/24/2018	5:30:00 PM	120(2hora)	157	1.57	8.05%
11/24/2018	7:30:00 PM	240(4hora)	166	1.66	8.51%
11/24/2018	11:30:00 PM	480(8hora)	170	1.7	8.72%
11/25/2018	3:30:00 PM	1440(24hora)	173	1.73	8.87%
11/26/2018	3:30:00 PM	2880(48hora)	175	1.75	8.97%
11/27/2018	3:30:00 PM	4320(72hora)	175	1.75	8.97%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



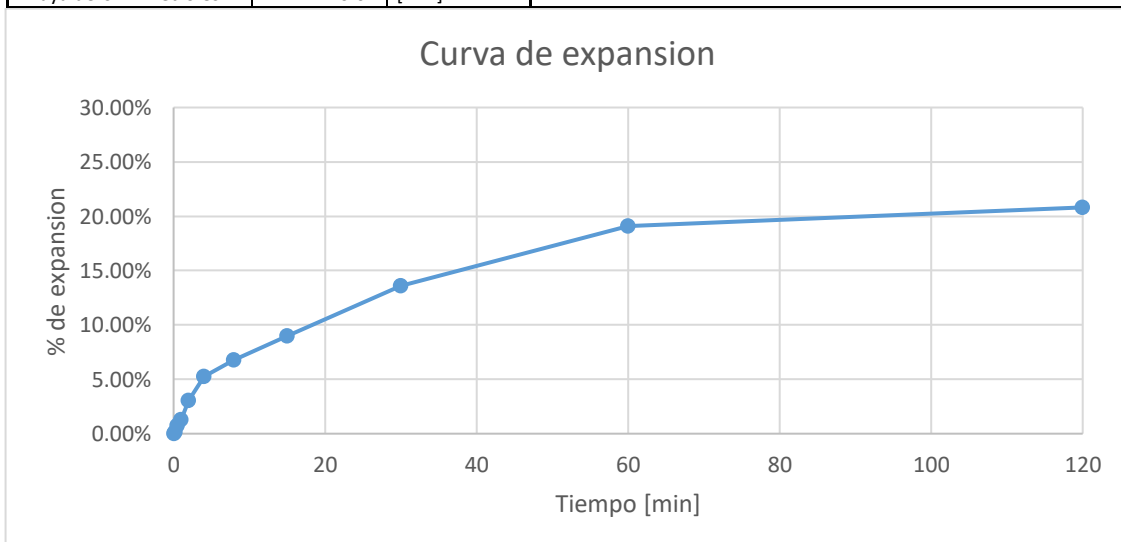
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M1 - Ceniza volante – Densidad normal – 7 días					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	6.36		Humedad		
Altura[cm]	2.44			Tara 1(bp3)	Tara 2(hc1)
Área[cm ²]	31.77		Peso T+S húmedo[grf]	94.8	90
Volumen[cm ³]	77.52		Peso T+S seco[grf]	78.7	75.4
Peso anillo[grf]	106.8		Peso Tara[grf]	42	43.1
Peso anillo + suelo[grf]	238.9		Humedad [%]	43.87%	45.20%
Peso suelo[grf]	132.1		Humedad promedio[%]	44.54%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm ³]	1.70		e	1.32	
ys[grf/cm ³]	1.43		n	0.57	
Humedad inicial[%]	18.78%		s	92.34%	
Gs	2.73		% Expansión	12.70%	
e	0.91				
n	0.48				
s	56.71%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[<i>min</i>]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
11/16/2018	3:45:06 PM	0.1(6seg)	4	0.04	0.16%
11/16/2018	3:45:12 PM	0.2(12seg)	32	0.32	1.31%
11/16/2018	3:45:30 PM	0.5(30seg)	70	0.7	2.87%
11/16/2018	3:46:00 PM	1	86	0.86	3.52%
11/16/2018	3:47:00 PM	2	105	1.05	4.30%
11/16/2018	3:49:00 PM	4	138	1.38	5.66%
11/16/2018	3:53:00 PM	8	176	1.76	7.21%
11/16/2018	4:00:00 PM	15	210	2.1	8.61%
11/16/2018	4:15:00 PM	30	234	2.34	9.59%
11/16/2018	4:45:00 PM	60(1hora)	253	2.53	10.37%
11/16/2018	5:45:00 PM	120(2hora)	267	2.67	10.94%
11/16/2018	7:45:00 PM	240(4hora)	276	2.76	11.31%
11/16/2018	11:45:00 PM	480(8hora)	286	2.86	11.72%
11/17/2018	3:45:00 PM	1440(24hora)	301	3.01	12.34%
11/18/2018	3:45:00 PM	2880(48hora)	306	3.06	12.54%
11/19/2018	3:45:00 PM	4320(72hora)	310	3.1	12.70%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



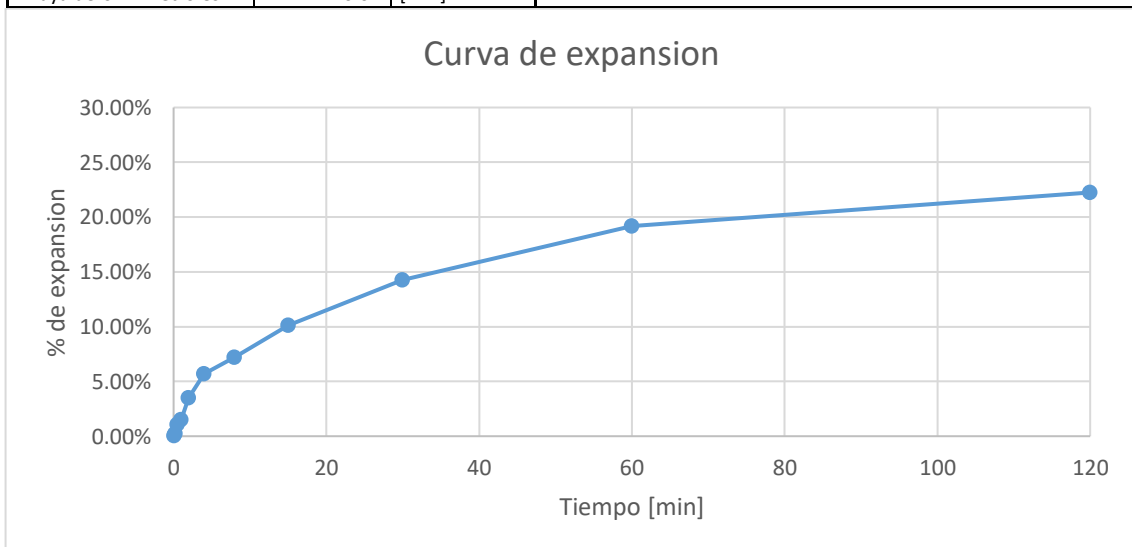
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M2 - Ceniza volante – Densidad normal – 7 días					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	6.36		Humedad		
Altura[cm]	2.44		Tara 1(bp3)	Tara 2(hc1)	
Área[cm ²]	31.77		Peso T+S húmedo[grf]	69.1	76.6
Volumen[cm ³]	77.52		Peso T+S seco[grf]	60.7	66.1
Peso anillo[grf]	106.8		Peso Tara[grf]	42	43.1
Peso anillo + suelo[grf]	238.9		Humedad [%]	44.92%	45.65%
Peso suelo[grf]	132.1		Humedad promedio[%]	45.29%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm ³]	1.70		e	1.33	
ys[grf/cm ³]	1.43		n	0.57	
Humedad inicial[%]	18.76%		s	93.05%	
Gs	2.73		% Expansión	13.77%	
e	0.90				
n	0.48				
s	56.67%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[<i>min</i>]	Lecturas[#rayas]	Deformación[<i>mm</i>]	% de Expansión
11/24/2018	3:45:06 PM	0.1(6seg)	1	0.01	0.04%
11/24/2018	3:45:12 PM	0.2(12seg)	36	0.36	1.48%
11/24/2018	3:45:30 PM	0.5(30seg)	80	0.8	3.28%
11/24/2018	3:46:00 PM	1	91	0.91	3.73%
11/24/2018	3:47:00 PM	2	113	1.13	4.63%
11/24/2018	3:49:00 PM	4	149	1.49	6.11%
11/24/2018	3:53:00 PM	8	193	1.93	7.91%
11/24/2018	4:00:00 PM	15	228	2.28	9.34%
11/24/2018	4:15:00 PM	30	251	2.51	10.29%
11/24/2018	4:45:00 PM	60(1hora)	264	2.64	10.82%
11/24/2018	5:45:00 PM	120(2hora)	283	2.83	11.60%
11/24/2018	7:45:00 PM	240(4hora)	300	3	12.30%
11/24/2018	11:45:00 PM	480(8hora)	327	3.27	13.40%
11/25/2018	3:45:00 PM	1440(24hora)	332	3.32	13.61%
11/26/2018	3:45:00 PM	2880(48hora)	335	3.35	13.73%
11/27/2018	3:45:00 PM	4320(72hora)	336	3.36	13.77%
1 raya deformímetro es		0.01	[<i>mm</i>]		



ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M1 - Humo de sílice – Densidad normal – 7 días					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	5.04		Humedad		
Altura[cm]	1.97			Tara 1(bp2)	Tara 2(ch1)
Área[cm ²]	19.95		Peso T+S húmedo[grf]	66.4	77.3
Volumen[cm ³]	39.30		Peso T+S seco[grf]	57.4	65.8
Peso anillo[grf]	59.2		Peso Tara[grf]	41.2	45
Peso anillo + suelo[grf]	124.6		Humedad [%]	55.56%	55.29%
Peso suelo[grf]	65.4		Humedad promedio[%]	55.42%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm ³]	1.66		e	1.55	
ys[grf/cm ³]	1.41		n	0.61	
Humedad inicial[%]	18.33%		s	97.54%	
Gs	2.73		% Expansión	26.24%	
e	0.94				
n	0.49				
s	53.09%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[<u>min</u>]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
11/16/2018	4:00:06 PM	0.1(6seg)	0	0	0.00%
11/16/2018	4:00:12 PM	0.2(12seg)	3	0.03	0.15%
11/16/2018	4:00:30 PM	0.5(30seg)	15	0.15	0.76%
11/16/2018	4:01:00 PM	1	25	0.25	1.27%
11/16/2018	4:02:00 PM	2	60	0.6	3.05%
11/16/2018	4:04:00 PM	4	104	1.04	5.28%
11/16/2018	4:08:00 PM	8	134	1.34	6.80%
11/16/2018	4:15:00 PM	15	177	1.77	8.98%
11/16/2018	4:30:00 PM	30	268	2.68	13.60%
11/16/2018	5:00:00 PM	60(1hora)	376	3.76	19.09%
11/16/2018	6:00:00 PM	120(2hora)	410	4.1	20.81%
11/16/2018	8:00:00 PM	240(4hora)	476	4.76	24.16%
11/16/2018	12:00:00 PM	480(8hora)	490	4.9	24.87%
11/17/2018	4:00:00 PM	1440(24hora)	509	5.09	25.84%
11/18/2018	4:00:00 PM	2880(48hora)	515	5.15	26.14%
11/19/2018	4:00:00 PM	4320(72hora)	517	5.17	26.24%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		



ENSAYO DE EXPANSION LIBRE					
M2 - Humo de sílice – Densidad normal – 7 días					
Datos anillo y muestra			Datos finales muestra		
diámetro[cm]	5.04		Humedad		
Altura[cm]	1.97			Tara 1(bp2)	Tara 2(ch1)
Área[cm ²]	19.95		Peso T+S húmedo[grf]	68.1	72.1
Volumen[cm ³]	39.30		Peso T+S seco[grf]	58.4	62.3
Peso anillo[grf]	59.2		Peso Tara[grf]	41.2	45
Peso anillo + suelo[grf]	124.6		Humedad [%]	56.40%	56.65%
Peso suelo[grf]	65.4		Humedad promedio[%]	56.52%	
Datos iniciales muestra			Gs	2.73	
yh[grf/cm ³]	1.66		e	1.57	
ys[grf/cm ³]	1.41		n	0.61	
Humedad inicial[%]	18.39%		s	98.34%	
Gs	2.73		% Expansión	27.97%	
e	0.94				
n	0.49				
s	53.21%				
Lecturas					
Fecha	Hora	Tiempo[min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	% de Expansión
11/24/2018	4:00:06 PM	0.1(6seg)	1	0.01	0.05%
11/24/2018	4:00:12 PM	0.2(12seg)	5	0.05	0.25%
11/24/2018	4:00:30 PM	0.5(30seg)	21	0.21	1.07%
11/24/2018	4:01:00 PM	1	30	0.3	1.52%
11/24/2018	4:02:00 PM	2	69	0.69	3.50%
11/24/2018	4:04:00 PM	4	112	1.12	5.69%
11/24/2018	4:08:00 PM	8	142	1.42	7.21%
11/24/2018	4:15:00 PM	15	199	1.99	10.10%
11/24/2018	4:30:00 PM	30	281	2.81	14.26%
11/24/2018	5:00:00 PM	60(1hora)	378	3.78	19.19%
11/24/2018	6:00:00 PM	120(2hora)	438	4.38	22.23%
11/24/2018	8:00:00 PM	240(4hora)	493	4.93	25.03%
11/24/2018	12:00:00 PM	480(8hora)	540	5.4	27.41%
11/25/2018	4:00:00 PM	1440(24hora)	547	5.47	27.77%
11/26/2018	4:00:00 PM	2880(48hora)	550	5.5	27.92%
11/27/2018	4:00:00 PM	4320(72hora)	551	5.51	27.97%
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]		





ENSAYO DE EXPANSION CONTROLADA						
Muestra 1 - Challuabamba						
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra				
diámetro[cm]	6.285	Humedad				
Altura[cm]	2.39		Tara 1	Tara 2		
Área[cm ²]	31.02	Peso T+S húmedo[grf]	70.5	62.9		
Volumen[cm ³]	74.15	Peso T+S seco[grf]	65.1	57.9		
Peso anillo[grf]	110.4	Peso Tara[grf]	45.6	41.2		
Peso anillo + suelo[grf]	236.1	Humedad [%]	27.69%	29.94%		
Peso suelo[grf]	125.7	Humedad promedio[%]	28.82%			
Datos iniciales muestra		Gs	2.76			
yh[grf/cm ³]	1.70	e	1.10			
ys[grf/cm ³]	1.39	n	0.52			
Humedad inicial[%]	21.82%	s	72.45%			
Gs	2.76	Presión de Expansión[kg/cm ²]	0.08			
e	0.98					
n	0.50					
s	61.22%					
Lecturas						
Fecha	Hora	Tiempo [min]	Lecturas[#rayas]	Deformación [mm]	Carga acumulada [g]	Presión de Expansión[g/cm ²]
08/29/2018	11:10:00 AM	0	1	0.01	0	0.00
08/29/2018	12:10:00 PM	60	0	0	250	80.58
08/29/2018	3:10:00 PM	240	0	0	250	80.58
08/29/2018	4:20:00 PM	310	0	0	250	80.58
08/30/2018	10:00:00 AM	1370	-1	-0.01	250	80.58
08/30/2018	3:20:00 PM	1690	-1	-0.01	250	80.58
08/30/2018	4:20:00 PM	1750	-1	-0.01	250	80.58
08/31/2018	10:20:00 AM	2830	-1	-0.01	250	80.58
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
1	raya de deformímetro es	0.01	[mm]			



ENSAYO DE EXPANSION CONTROLADA						
Muestra 2 - Challuabamba						
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra				
diámetro[cm]	6.32	Humedad				
Altura[cm]	2.46		Tara 1	Tara 2		
Área[cm ²]	31.37	Peso T+S húmedo[grf]	69.2	68.7		
Volumen[cm ³]	77.17	Peso T+S seco[grf]	64.3	64.1		
Peso anillo[grf]	112.9	Peso Tara[grf]	43.9	46.6		
Peso anillo + suelo[grf]	248.4	Humedad [%]	24.02%	26.29%		
Peso suelo[grf]	135.5	Humedad promedio[%]	25.15%			
Datos iniciales muestra		Gs	2.76			
yh[grf/cm ³]	1.76	e	0.97			
ys[grf/cm ³]	1.44	n	0.49			
Humedad inicial[%]	21.82%	s	71.73%			
Gs	2.76	Presión de Expansión[kg/cm ²]	0.32			
e	0.92					
n	0.48					
s	65.79%					
Lecturas						
Fecha	Hora	Tiempo [min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	Carga acumulada [g]	Presión de Expansión[g/cm ²]
08/29/2018	11:10:00 AM	0	1	0.01	0	0.00
08/29/2018	12:10:00 PM	60	-1	-0.01	1000	322.33
08/29/2018	3:10:00 PM	240	-1	-0.01	1000	322.33
08/29/2018	4:20:00 PM	310	-1	-0.01	1000	322.33
08/30/2018	10:00:00 AM	1370	-1	-0.01	1000	322.33
08/30/2018	3:20:00 PM	1690	-1	-0.01	1000	322.33
08/30/2018	4:20:00 PM	1750	-1	-0.01	1000	322.33
08/31/2018	10:20:00 AM	2830	-1	-0.01	1000	322.33
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
1	raya de deformímetro es	0.01	[mm]			



ENSAYO DE EXPANSION CONTROLADA						
Muestra 3 - Challuabamba						
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra				
diámetro[cm]	6.36	Humedad				
Altura[cm]	2.44		Tara 1	Tara 2		
Área[cm ²]	31.77	Peso T+S húmedo[grf]	69.5	76.8		
Volumen[cm ³]	77.52	Peso T+S seco[grf]	64.7	71.6		
Peso anillo[grf]	106.8	Peso Tara[grf]	44.1	50.3		
Peso anillo + suelo[grf]	240.7	Humedad [%]	23.30%	24.41%		
Peso suelo[grf]	133.9	Humedad promedio[%]	23.86%			
Datos iniciales muestra		Gs	2.76			
yh[grf/cm ³]	1.73	e	0.98			
ys[grf/cm ³]	1.42	n	0.49			
Humedad inicial[%]	21.82%	s	67.22%			
Gs	2.76	Presión de Expansión[kg/cm ²]	0.31			
e	0.95					
n	0.49					
s	63.60%					
Lecturas						
Fecha	Hora	Tiempo [min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	Carga acumulada [g]	Presión de Expansión[g/cm ²]
08/29/2018	11:10:00 AM	0	5	0.05	500	161.16
08/29/2018	12:10:00 PM	60	1	0.01	950	306.21
08/29/2018	3:10:00 PM	240	-3	-0.03	500	161.16
08/29/2018	4:20:00 PM	310	1	0.01	470	151.49
08/30/2018	10:00:00 AM	1370	2	0.02	470	151.49
08/30/2018	3:20:00 PM	1690	2	0.02	600	193.40
08/30/2018	4:20:00 PM	1750	3	0.03	650	209.51
08/31/2018	10:20:00 AM	2830	2	0.02	650	209.51
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
1	raya deformímetro es	0.01	[mm]			



ENSAYO DE EXPANSION CONTOLADA						
Muestra 2 - Baños						
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra				
diámetro[cm]	6.4	Humedad				
Altura[cm]	2.445		Tara 1	Tara 2		
Área[cm ²]	32.17	Peso T+S húmedo[grf]	80.3	78		
Volumen[cm ³]	78.66	Peso T+S seco[grf]	72.1	70.4		
Peso anillo[grf]	106.2	Peso Tara[grf]	45.3	44.4		
Peso anillo + suelo[grf]	240.1	Humedad [%]	30.60%	29.23%		
Peso suelo[grf]	133.9	Humedad promedio[%]	29.91%			
Datos iniciales muestra		Gs	2.65			
yh[grf/cm ³]	1.70	e	1.03			
ys[grf/cm ³]	1.34	n	0.51			
Humedad inicial[%]	27.21%	s	77.42%			
Gs	2.65	Presión de Expansión[kg/cm ²]	0.08			
e	0.98					
n	0.50					
s	73.44%					
Lecturas						
Fecha	Hora	Tiempo[m in]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	Carga acumulada [g]	Presión de Expansión[g/cm ²]
09/03/2018	10:20:00 AM	0	0	0	0	0.00
09/03/2018	11:33:00 AM	73	0	0	0	0.00
09/03/2018	12:32:00 PM	132	0	0	200	62.17
09/03/2018	4:45:00 PM	325	0	0	250	77.71
09/04/2018	10:40:00 AM	1400	0	0	250	77.71
09/04/2018	5:00:00 PM	1780	0	0	250	77.71
09/05/2018	11:20:00 AM	2880	0	0	250	77.71
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
1	raya de deformímetro es	0.01	[mm]			



ENSAYO DE EXPANSION CONTROLADA						
Muestra 3 - Baños						
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra				
diámetro[cm]	6.33	Humedad				
Altura[cm]	2.44		Tara 1	Tara 2		
Área[cm ²]	31.47	Peso T+S húmedo[grf]	86.5	81.5		
Volumen[cm ³]	76.79	Peso T+S seco[grf]	76.1	73.7		
Peso anillo[grf]	115.5	Peso Tara[grf]	46.6	50.9		
Peso anillo + suelo[grf]	248.1	Humedad [%]	35.25%	34.21%		
Peso suelo[grf]	132.6	Humedad promedio[%]	34.73%			
Datos iniciales muestra		Gs	2.65			
yh[grf/cm ³]	1.73	e	1.07			
ys[grf/cm ³]	1.36	n	0.52			
Humedad inicial[%]	27.21%	s	86.08%			
Gs	2.65	Presión de Expansión[kg/c m ²]	0.08			
e	0.96					
n	0.49					
s	75.61%					
Lecturas						
Fecha	Hora	Tiempo[<u>min</u>]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	Carga acumulada [g]	Presión de Expansión[g/cm ²]
09/03/2018	10:20:00 AM	0	0	0	0	0.00
09/03/2018	11:33:00 AM	73	0	0	0	0.00
09/03/2018	12:32:00 PM	132	0	0	250	79.44
09/03/2018	4:45:00 PM	325	0	0	250	79.44
09/04/2018	10:40:00 AM	1400	0	0	250	79.44
09/04/2018	5:00:00 PM	1780	0	0	250	79.44
09/05/2018	11:20:00 AM	2880	0	0	250	79.44
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
1 raya deformímetro es		0.01	[mm]			

ENSAYO DE EXPANSION CONTROLADA						
Muestra 1 - Miraflores						
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra				
diámetro[cm]	5.04	Humedad				
Altura[cm]	1.97			Tara 1(ml3)	Tara 2(mp3)	
Área[cm ²]	19.95	Peso T+S húmedo[grf]	69.2		80.2	
Volumen[cm ³]	39.30	Peso T+S seco[grf]	62.8		73.1	
Peso anillo[grf]	59.2	Peso Tara[grf]	44		50.9	
Peso anillo + suelo[grf]	126.6	Humedad [%]	34.04%		31.98%	
Peso suelo[grf]	67.4	Humedad promedio[%]	33.01%			
Datos iniciales muestra		Gs	2.73			
yh[grf/cm ³]	1.71	e	1.12			
ys[grf/cm ³]	1.37	n	0.53			
Humedad inicial[%]	25.49%	s	80.56%			
Gs	2.73	Presión de Expansión[kg/cm ²]	15.32			
e	1.00					
n	0.50					
s	69.65%					
Lecturas						
Fecha	Hora	Tiempo [min]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	Carga acumulada [g]	Presión de Expansión[g/cm ²]
11/06/2018	9:45:00 AM	0	0	0	1000	325.95
11/06/2018	10:00:00 AM	15	-3	-0.03	12000	3911.39
11/06/2018	10:30:00 AM	30	-2	-0.02	17000	5541.14
11/08/2018	12:00:00 AM	2880	0	0	47000	15319.62
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
1	raya deformímetro es	0.01	[mm]			



ENSAYO DE EXPANSION CONTOLADA						
Muestra 2 - Miraflores						
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra				
diámetro[cm]	5.04	Humedad				
Altura[cm]	1.97		Tara 1	Tara 2		
Área[cm ²]	19.95	Peso T+S húmedo[grf]	55.9	61.5		
Volumen[cm ³]	39.30	Peso T+S seco[grf]	51.9	57.5		
Peso anillo[grf]	59.2	Peso Tara[grf]	40.7	45.5		
Peso anillo + suelo[grf]	126.6	Humedad [%]	35.71%	33.33%		
Peso suelo[grf]	67.4	Humedad promedio[%]	34.52%			
Datos iniciales muestra		Gs	2.73			
yh[grf/cm ³]	1.71	e	1.14			
ys[grf/cm ³]	1.39	n	0.53			
Humedad inicial[%]	23.40%	s	82.47%			
Gs	2.73	Presión de Expansión[kg/cm ²]	12.10			
e	0.97					
n	0.49					
s	66.16%					
Lecturas						
Fecha	Hora	Tiempo[m in]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	Carga acumulada [g]	Presión de Expansión[g/cm ²]
11/05/2018	9:45:00 AM	0	3	0.03	500	163.50
11/05/2018	9:55:00 AM	10	0	0	35000	11444.82
11/05/2018	11:07:00 AM	22	-2	-0.02	35000	11444.82
11/05/2018	3:00:00 PM	315	0	0	37000	12098.81
11/05/2018	6:00:00 PM	495	0	0	37000	12098.81
11/06/2018	9:45:00 AM	1440	0	0	37000	12098.81
11/07/2018	9:45:00 AM	2880	0	0	37000	12098.81
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
1	raya de deformímetro es	0.01	[mm]			

ENSAYO DE EXPANSION CONTOLADA						
Muestra 3 - Miraflores						
Datos anillo y muestra		Datos finales muestra				
diámetro[cm]	5.04	Humedad				
Altura[cm]	1.97		Tara 1	Tara 2		
Área[cm ²]	19.95	Peso T+S húmedo[grf]	65.2	75.3		
Volumen[cm ³]	39.30	Peso T+S seco[grf]	60.2	67.5		
Peso anillo[grf]	59.2	Peso Tara[grf]	45.3	44.4		
Peso anillo + suelo[grf]	126.6	Humedad [%]	33.56%	33.77%		
Peso suelo[grf]	67.4	Humedad promedio[%]	33.66%			
Datos iniciales muestra		Gs	2.73			
yh[grf/cm ³]	1.71	e	1.13			
ys[grf/cm ³]	1.39	n	0.53			
Humedad inicial[%]	23.64%	s	81.39%			
Gs	2.73	Presión de Expansión[kg/cm ²]	13.06			
e	0.97					
n	0.49					
s	66.56%					
Lecturas						
Fecha	Hora	Tiempo[m in]	Lecturas[#rayas]	Deformación[mm]	Carga acumulada[g]	Presión de Expansión[g/cm ²]
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	1000	317.76
01/00/1900	12:00:00 AM	15	0	0	5000	1588.81
01/00/1900	12:00:00 AM	75	1	0.01	15000	4766.44
01/00/1900	12:00:00 AM	315	0	0	23200	7372.09
01/00/1900	12:00:00 AM	495	0	0	40000	12710.50
01/00/1900	12:00:00 AM	1440	2	0.02	41000	13028.26
01/00/1900	12:00:00 AM	2880	1	0.01	41100	13060.04
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
01/00/1900	12:00:00 AM	0	0	0	0	0.00
1	raya deformímetro es	0.01	[mm]			

ENSAYO DE LAMBE		
Muestra 1 - Challuabamba		
Condiciones de la muestra		
	Antes del ensayo	Después del ensayo
diámetro[cm]	6.34	
Altura[cm]	1.99	
Área[cm ²]	31.57	
Peso del anillo + suelo humero[g]	165.4	176.55
Peso del anillo + suelo seco [g]	144.02	144.02
Peso del anillo[g]	74.3	
Peso de suelo húmedo[g]	91.1	102.25
Densidad[gr/cm ³]	1.45	1.63
Humedad inicial		
	Tara 1(ml1)	Tara 2(mp1)
Peso tara[gr]	42.2	44
Peso tara+suelo hum[gr]	55.9	56.3
Peso tara+suelo seco[gr]	52.7	53.4
Humedad [%]	30.48%	30.85%
Hum. Prom[%]	30.66%	
Humedad final		
	Tara 1(bl2)	Tara 2(bl3)
Peso tara[gr]	40.8	44.1
Peso tara+suelo hum[gr]	60.7	67.3
Peso tara+suelo seco[gr]	54.3	60
Humedad [%]	47.41%	45.91%
Hum. Prom[%]	46.66%	
Ensayo		
Tiempo[min]	Lectura dial[0.001mm]	Presión[kgf/cm ²]
1	4	0.14
2	4	0.14
3	4	0.14
4	4	0.14
5	4	0.14
10	4	0.14
15	4	0.14
30	4	0.14
60	4	0.14
90	4	0.14
120	4	0.14
Fuerza inicial[kgf]	4.1	

ENSAYO DE LAMBE		
Muestra 2 - Challuabamba		
Condiciones de la muestra		
	Antes del ensayo	Después del ensayo
diámetro[cm]	6.34	
Altura[cm]	1.99	
Área[cm ²]	31.57	
Peso del anillo + suelo humero[g]	185.6	191.60
Peso del anillo + suelo seco [g]	159.48	159.48
Peso del anillo[g]	74.3	
Peso de suelo húmedo[g]	111.3	117.30
Densidad[gr/cm ³]	1.77	1.87
Humedad inicial		
	Tara 1(ml1)	Tara 2(mp1)
Peso tara[gr]	42.2	44
Peso tara+suelo hum[gr]	55.9	56.3
Peso tara+suelo seco[gr]	52.7	53.4
Humedad [%]	30.48%	30.85%
Hum. Prom[%]	30.66%	
Humedad final		
	Tara 1(mp3)	Tara 2(bp3)
Peso tara[gr]	51	42
Peso tara+suelo hum[gr]	73.1	63
Peso tara+suelo seco[gr]	67.1	57.2
Humedad [%]	37.27%	38.16%
Hum. Prom[%]	37.71%	
Ensayo		
Tiempo[min]	Lectura dial[0.001mm]	Presión[kgf/cm ²]
1	4	0.14
2	4	0.14
3	4	0.14
4	4	0.14
5	4	0.14
10	4	0.14
15	4	0.14
30	4	0.14
60	4	0.14
90	4	0.14
120	4	0.14
Fuerza inicial[kgf]	4.1	

ENSAYO DE LAMBE		
Muestra 3 - Challuabamba		
Condiciones de la muestra		
	Antes del ensayo	Después del ensayo
diámetro[cm]	6.34	
Altura[cm]	1.99	
Área[cm ²]	31.57	
Peso del anillo + suelo humedo[g]	177.1	183.09
Peso del anillo + suelo seco [g]	152.98	152.98
Peso del anillo[g]	74.3	
Peso de suelo húmedo[g]	102.8	108.79
Densidad[gr/cm ³]	1.64	1.73
Humedad inicial		
	Tara 1(ml1)	Tara 2(ml1)
Peso tara[gr]	42.2	44
Peso tara+suelo hum[gr]	55.9	56.3
Peso tara+suelo seco[gr]	52.7	53.4
Humedad [%]	30.48%	30.85%
Hum. Prom[%]	30.66%	
Humedad final		
	Tara 1(ml2)	Tara 2(ml3)
Peso tara[gr]	41.2	45.3
Peso tara+suelo hum[gr]	63.3	68.7
Peso tara+suelo seco[gr]	57.3	62.1
Humedad [%]	37.27%	39.29%
Hum. Prom[%]	38.28%	
Ensayo		
Tiempo[min]	Lectura dial[0.001mm]	Presión[kgf/cm ²]
1	4	0.14
2	4	0.14
3	4	0.14
4	4	0.14
5	4	0.14
10	4	0.14
15	4	0.14
30	4	0.14
60	4	0.14
90	4	0.14
120	4	0.14
Fuerza inicial[kgf]	4.1	

ENSAYO DE LAMBE		
Muestra 1 - Baños		
Condiciones de la muestra		
	Antes del ensayo	Después del ensayo
diámetro[cm]	6.34	
Altura[cm]	1.99	
Área[cm]	31.57	
Peso del anillo + suelo humero[g]	182.6	184.87
Peso del anillo + suelo seco [g]	159.26	159.26
Peso del anillo[g]	74.3	
Peso de suelo húmedo[g]	108.3	110.57
Densidad[gr/cm3]	1.72	1.76
Humedad inicial		
	Tara 1(ml3)	Tara 2(bl3)
Peso tara[gr]	45.3	44.1
Peso tara+suelo hum[gr]	57.6	61.6
Peso tara+suelo seco[gr]	54.9	57.9
Humedad [%]	28.13%	26.81%
Hum. Prom[%]	27.47%	
Humedad final		
	Tara 1(bp2)	Tara 2(mp1)
Peso tara[gr]	41.2	44
Peso tara+suelo hum[gr]	60.7	72.4
Peso tara+suelo seco[gr]	56.2	65.8
Humedad [%]	30.00%	30.28%
Hum. Prom[%]	30.14%	
Ensayo		
Tiempo[min]	Lectura dial[0.001mm]	Presión[kgf/cm2]
1	4	0.14
2	4	0.14
3	4	0.14
4	4	0.14
5	4	0.14
10	4	0.14
15	4	0.14
30	4	0.14
60	4	0.14
90	4	0.14
120	4	0.14
Fuerza inicial[kgf]	4.1	

ENSAYO DE LAMBE		
Muestra 2 - Baños		
Condiciones de la muestra		
	Antes del ensayo	Después del ensayo
diámetro[cm]	6.34	
Altura[cm]	1.99	
Área[cm]	31.57	
Peso del anillo + suelo humero[g]	173	185.26
Peso del anillo + suelo seco [g]	151.73	151.73
Peso del anillo[g]	74.3	
Peso de suelo húmedo[g]	98.7	110.96
Densidad[gr/cm3]	1.57	1.77
Humedad inicial		
	Tara 1(ml3)	Tara 2(bl3)
Peso tara[gr]	45.3	44.1
Peso tara+suelo hum[gr]	57.6	61.6
Peso tara+suelo seco[gr]	54.9	57.9
Humedad [%]	28.13%	26.81%
Hum. Prom[%]	27.47%	
Humedad final		
	Tara 1(bl2)	Tara 2(mp3)
Peso tara[gr]	40.8	51
Peso tara+suelo hum[gr]	60.3	68.6
Peso tara+suelo seco[gr]	54.5	63.2
Humedad [%]	42.34%	44.26%
Hum. Prom[%]	43.30%	
Ensayo		
Tiempo[min]	Lectura dial[0.001mm]	Presión[kgf/cm2]
1	4	0.14
2	4	0.14
3	4	0.14
4	4	0.14
5	4	0.14
10	4	0.14
15	4	0.14
30	4	0.14
60	4	0.14
90	4	0.14
120	4	0.14
Fuerza inicial[kgf]	4.1	

ENSAYO DE LAMBE		
Muestra 3 - Baños		
Condiciones de la muestra		
	Antes del ensayo	Después del ensayo
diámetro[cm]	6.34	
Altura[cm]	1.99	
Área[cm]	31.57	
Peso del anillo + suelo humero[g]	179.4	186.64
Peso del anillo + suelo seco [g]	156.75	156.75
Peso del anillo[g]	74.3	
Peso de suelo húmedo[g]	105.1	112.34
Densidad[gr/cm3]	1.67	1.79
Humedad inicial		
	Tara 1(ml3)	Tara 2(bl3)
Peso tara[gr]	45.3	44.1
Peso tara+suelo hum[gr]	57.6	61.6
Peso tara+suelo seco[gr]	54.9	57.9
Humedad [%]	28.13%	26.81%
Hum. Prom[%]	27.47%	
Humedad final		
	Tara 1(bl1)	Tara 2(m22)
Peso tara[gr]	50.6	45
Peso tara+suelo hum[gr]	74.1	63.1
Peso tara+suelo seco[gr]	67.7	58.4
Humedad [%]	37.43%	35.07%
Hum. Prom[%]	36.25%	
Ensayo		
Tiempo[min]	Lectura dial[0.001mm]	Presión[kgf/cm2]
1	4	0.14
2	4	0.14
3	4	0.14
4	4	0.14
5	4	0.14
10	4	0.14
15	4	0.14
30	4	0.14
60	4	0.14
90	4	0.14
120	4	0.14
Fuerza inicial[kgf]	4.1	

ENSAYO DE LAMBE		
Muestra 1 - Miraflores		
Condiciones de la muestra		
	Antes del ensayo	Después del ensayo
diámetro[cm]	6.34	
Altura[cm]	1.99	
Área[cm]	31.57	
Peso del anillo + suelo humero[g]	192.1	201.45
Peso del anillo + suelo seco [g]	168.17	168.17
Peso del anillo[g]	74.3	
Peso de suelo húmedo[g]	117.8	127.15
Densidad[gr/cm3]	1.88	2.02
Humedad inicial		
	Tara 1()	Tara 2()
Peso tara[gr]	42	40.9
Peso tara+suelo hum[gr]	65.5	70
Peso tara+suelo seco[gr]	60.8	64
Humedad [%]	25.00%	25.97%
Hum. Prom[%]	25.49%	
Humedad final		
	Tara 1(ml1)	Tara 2(ml3)
Peso tara[gr]	42.1	45.4
Peso tara+suelo hum[gr]	70.9	72.4
Peso tara+suelo seco[gr]	63.4	65.3
Humedad [%]	35.21%	35.68%
Hum. Prom[%]	35.44%	
Ensayo		
Tiempo[min]	Lectura dial[0.001mm]	Presión[kgf/cm2]
1	6	0.21
2	8	0.28
3	11	0.39
4	13	0.46
5	16	0.57
10	25	0.88
15	33	1.17
30	55	1.94
60	89	3.14
90	119	4.20
120	140	4.94
Fuerza inicial[kgf]	4.1	

ENSAYO DE LAMBE		
Muestra 2 - Miraflores		
Condiciones de la muestra		
	Antes del ensayo	Después del ensayo
diámetro[cm]	6.34	
Altura[cm]	1.99	
Área[cm]	31.57	
Peso del anillo + suelo humero[g]	184.2	189.33
Peso del anillo + suelo seco [g]	157.14	157.14
Peso del anillo[g]	74.3	
Peso de suelo húmedo[g]	109.9	115.03
Densidad[gr/cm3]	1.75	1.83
Humedad inicial		
	Tara 1(bp2)	Tara 2(mp3)
Peso tara[gr]	41.2	50.9
Peso tara+suelo hum[gr]	61.5	73.7
Peso tara+suelo seco[gr]	56.4	68.2
Humedad [%]	33.55%	31.79%
Hum. Prom[%]	32.67%	
Humedad final		
	Tara 1(hc1)	Tara 2(bl2)
Peso tara[gr]	43.1	40.8
Peso tara+suelo hum[gr]	68.9	69.3
Peso tara+suelo seco[gr]	61.7	61.3
Humedad [%]	38.71%	39.02%
Hum. Prom[%]	38.87%	
Ensayo		
Tiempo[min]	Lectura dial[0.001mm]	Presión[kgf/cm2]
1	4	0.14
2	7	0.25
3	9	0.32
4	12	0.42
5	13	0.46
10	20	0.71
15	24	0.85
30	33	1.17
60	44	1.55
90	53	1.87
120	74	2.61
Fuerza inicial[kgf]	4.1	

Muestra 3 - Miraflores		
Condiciones de la muestra		
	Antes del ensayo	Después del ensayo
diámetro[cm]	6.34	
Altura[cm]	1.99	
Área[cm]	31.57	
Peso del anillo + suelo humero[g]	180.9	188.74
Peso del anillo + suelo seco [g]	156.47	156.47
Peso del anillo[g]	74.3	
Peso de suelo húmedo[g]	106.6	114.44
Densidad[gr/cm3]	1.70	1.82
Humedad inicial		
	Tara 1(hm2)	Tara 2(bp2)
Peso tara[gr]	40.9	41.2
Peso tara+suelo hum[gr]	50.9	50.4
Peso tara+suelo seco[gr]	48.6	48.3
Humedad [%]	29.87%	29.58%
Hum. Prom[%]	29.72%	
Humedad final		
	Tara 1(104)	Tara 2(1)
Peso tara[gr]	41.8	46.2
Peso tara+suelo hum[gr]	70.8	80
Peso tara+suelo seco[gr]	62.6	70.5
Humedad [%]	39.42%	39.09%
Hum. Prom[%]	39.26%	
Ensayo		
Tiempo[min]	Lectura dial[0.001mm]	Presión[kgf/cm2]
1	2	0.07
2	2	0.07
3	3	0.11
4	5	0.18
5	6	0.21
10	12	0.42
15	17	0.60
30	25	0.88
60	29	1.02
90	38	1.34
120	62	2.19
Fuerza inicial[kgf]	4.1	

ENSAYO DE PESO ESPECIFICO RELATIVO				
BAÑOS				
f	Matraz	#	1	2
Wfsw	Peso de matraz + agua+ muestra	g	702.3	695.7
T	Temperatura	°C	21	21
Wfw	Peso de matraz + agua	g	674.9	670
ws	peso suelo seco	g	44	41.2
γw1	peso especifico de agua	g/cm3	1	1

$$G_s = \frac{W_s * \gamma_w}{W_s + W_{fw} - W_{fsw}} = \begin{matrix} 2.65 & 2.66 \end{matrix}$$

Resultados	
Promedio gravedad especifica	
G _s =	2.65

ENSAYO DE PESO ESPECIFICO RELATIVO				
CHALLUABAMBA				
f	Matraz	#	1	2
Wfsw	Peso de matraz + agua+ muestra	g	696.8	694.3
T	Temperatura	°C	21	21
Wfw	Peso de matraz + agua	g	675.6	670.2
ws	peso suelo seco	g	33.4	37.6
γ_w1	peso especifico de agua	g/cm3	1	1

$$G_s = \frac{W_s * \gamma_w}{W_s + W_{fw} - W_{fsw}} = \begin{matrix} 2.74 & 2.79 \end{matrix}$$

Resultados	
Promedio gravedad especifica	
Gs =	2.76



ENSAYO DE PESO ESPECIFICO RELATIVO					
MIRAFLORES					
f	Matraz	#	1	2	3
Wfsw	Peso de matraz + agua+ muestra	g	703.2	708	696.1
T	Temperatura	°C	21	21	21
Wfw	Peso de matraz + agua	g	675.3	674.9	669.9
ws	peso suelo seco	g	44.2	52.1	41.2
γ_w1	peso especifico de agua	g/cm3	1	1	1

$$G_s = \frac{W_s * \gamma_w}{W_s + W_{fw} - W_{fsw}} = \begin{matrix} 2.71 & 2.74 & 2.75 \end{matrix}$$

Resultados	
Promedio gravedad especifica	
Gs =	2.73