



**EVALUACION DE LA ESTABILIZACION DE ARCILLAS EXPANSIVAS EN  
LABORATORIO IMPLEMENTANDO PILOTINES CON SAL Y CAL**

**GERMAN AUGUSTO SOLANO RICO  
OSCAR FERNANDO NIÑO CARREÑO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
FACULTAD DE INGENIERAS FÍSICO-MECÁNICAS  
BUCARAMANGA**

**2010**

**EVALUACION DE LA ESTABILIZACION DE ARCILLAS EXPANSIVAS EN  
LABORATORIO IMPLEMENTANDO PILOTINES CON SAL Y CAL**

**GERMAN AUGUSTO SOLANO RICO  
OSCAR FERNANDO NIÑO CARREÑO**

**Trabajo de grado por El titulo de Ingeniero civil**

Director

**WILFREDO DEL TORO  
Ingeniero civil M, Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
FACULTAD DE INGENIERAS FÍSICO-MECÁNICAS  
BUCARAMANGA**

**2010**

*A Dios por darme la oportunidad de vivir este momento  
A mis padres por haberme apoyado siempre.  
A mis hermanos por tener siempre una voz de ánimo  
A mi querida novia liza, q siempre estuvo a mi lado  
En especial a esa gran persona que ya no está con nosotros,  
A Édgar José, va por usted mi hermano del alma*

*German s.*

*A Dios por ir siempre delante de mí,  
A mis padres por todo su apoyo y formación todos estos años,  
A mi hijo Juan Esteban mi gran orgullo y mi fuerza motivadora,  
A mis hermanos Henry y Connie para que luchen por sus sueños,  
A Marcela por su gran amor y cariño,  
A mis amigos y compañeros,  
Y en memoria de Edgar Cubillos.*

*Oscar Ñ.*

## AGRADECIMIENTOS

**En calidad de autores de este proyecto brindamos los siguientes agradecimientos**

A Dios por ser el guía de nuestros actos

A nuestras familias por su apoyo incondicional

Al ingeniero Wilfredo del Toro, director de este proyecto por orientarnos en la elaboración del mismo.

A Germán Hernández auxiliar del laboratorio de suelos por ofrecernos su ayuda y conocimientos en la realización de los laboratorios

A Jairo Hernández, auxiliar del laboratorio de hormigón por su disponibilidad de tiempo ante cualquier inquietud en la realización de los laboratorios.

A nuestro compañero y amigo Luis Felipe Díaz Tanco que nos colaboro de forma incondicional en nuestro proyecto de grado con todos sus conocimientos en la diferentes áreas trabajadas.

A María Cristina por toda la colaboración brindada.

A nuestros amigos y compañeros de estudio por su apoyo en la realización de este proyecto.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	20
OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1. MARCO TEORICO	4
1.1 GENERALIDADES DE LAS ESTABILIZACIONES	4
1.1.1 Razones para estabilizar un suelo	6
1.1.2 Propiedades afectadas con la estabilización	6
1.2 TIPOS DE ESTABILIZACION	8
1.3 PROCESO GENERAL DE LA ESTABILIZACION	9
1.4 CLASIFICACION DE LOS SUELOS	10
1.5 TIPOS DE ARCILLAS, CLASIFICACION DE LAS ARCILLAS	14
1.6 DESCRIPCION DE EL SUELO UTILIZADO PARA LA INVESTIGACION	18
1.6.1 Proceso de extracción del suelo estudiado.	20
1.7 CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE LOS SUELOS EXPANSIVOS	22
1.8 DETECCION DE SUELOS EXPANSIVOS	24
1.9 PRODUCTOS EMPLEADOS EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS EXPANSIVOS	27
1.9.1 Estabilización con productos químicos	29
1.9.2 Estabilización con sales	29
1.10 ESTABILIZACION CON CAL	30
1.10.1 La importancia de la cal en la estabilización de suelos	31
1.11 ESTABILIZACION DE SUELOS CON CLORURO DE SODIO	32
1.11.1 Comportamiento de suelos estabilizados con cloruro de sodio	34
2. PROCEDIMIENTO GENERAL	35

2.1 CARACTERIZACION DEL SUELO	35
2.1.1 Granulometría por hidrómetro (I.N.V.E-124-07)	36
2.1.2 Limite líquido (I.N.V.E 125-07)	40
2.1.3 Limite plástico (I.N.V.E 126-07)	42
2.1.4 Índice de plasticidad	43
2.1.5 Limite de contracción	45
2.1.6 Gravedad especifica	47
2.1.7 Humedad natural	48
2.2 ENSAYOS DE EXPANSION	49
2.2.1 Expansión en consolidometro (I.N.V.E 132-07)	49
2.2.2 Presión de expansión	57
2.3 CARACTERIZACION Y PRUEBAS DE EXPANSION DEL SUELO CON ADITIVOS	62
2.3.1 Limites de Attemberg (con el aditivo “cal”)	63
2.3.2 Limites de Attemberg (con el aditivo “sal”)	65
2.4 ENSAYOS DE PRESION DE EXPANSION CON ADITIVOS	68
2.4.1 Presion de expansion para cal con 5 pilotines	68
2.4.2 Presión de expansión para cal con 8 pilotines	69
2.4.3 Presión de expansión para sal con 8 pilotines	70
2.4.4 Presion de expansion para sal con 5 pilotines	70
2.5 SATURACION Y LECTURAS DE EXPANSION EN MUESTRAS-CAJAS	72
2.5.1 Caja 1: Sal con 5 pilotines	73
2.5.2 Caja 2: Sal con 8 pilotines	75
2.5.3 Caja 3: Cal con 5 pilotines.	76
2.5.4 Caja 4: Cal con 8 pilotines	77
2.5.5 Caja 5: Sin pilotines (arcilla sin aditivos)	79
3. ANÁLISIS Y COMPARACION DE RESULTADOS	82
3.1 LÍMITE LÍQUIDO	82
3.2 LÍMITE PLASTICO	83
3.3 INDICE DE PLASTICIDAD	83

3.4 INDICE DE HINCHAMIENTO	85
3.5 PRESIÓN DE EXPANSIÓN	86
4. PRUEBA DE DISTANCIAMIENTO INTERLAMINAR	87
5. ANALISIS ECONOMICO	92
6. CONCLUSIONES	95
7. RECOMENDACIONES	97
BIBLIOGRAFIA	98
ANEXOS	99

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Clasificación de suelos	12
Tabla 2. Propiedades ingenieriles de los componentes del suelo	13
Tabla 3. Propiedades del suelo utilizado.	19
Tabla 4. Propiedades y especificaciones de la Montmorillonita	23
Tabla 5. Potencial expansivo de los suelos	24
Tabla 6. Potencial de cambio volumétrico	25
Tabla 7. Criterios de Holtz y Gibs	25
Tabla 8. Pruebas de identificación Criterios de Holtz.	26
Tabla 9. Evaluación del potencial de expansión de acuerdo con NSR-98	27
Tabla 10. Respuesta a la estabilización de los principales tipos de suelos (Fernández L. C. 1982)	28
Tabla 11. Ensayo de gravedad específica	48
Tabla 12. Ensayo de humedad natural	48
Tabla 13. Resultados expansión muestras en cajas	80
Tabla 14. Presupuesto proceso de excavación para la cimentación de una casa de interés social sin pilotines.	92
Tabla 15. Presupuesto proceso de excavación para la cimentación de una casa de interés social (utilizando la técnica de pilotines)	94

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Clasificación de los suelos	11
Figura 2. Ubicación de los suelos dentro de la carta de plasticidad	14
Figura 3. Extracción muestras inalteradas Barrancabermeja.	20
Figura 4. Estructura de la arcilla expansiva (Montmorillonita)	22
Figura 5. Tipos de enlaces de las arcillas más comunes caolinita, montmorillonita e illita	23
Figura 6. Grado de expansión por zonas.	26
Figura 7. Hidrometro 152 H	36
Figura 8. Dimensionamiento granulometría por hidrometro	36
Figura 9. Curva granulométrica	38
Figura 10. Prueba de Granulometría por hidrometro	40
Figura 11. Prueba Límite líquido	40
Figura 12. Prueba límite plástico	43
Figura 13. Ubicación del suelo investigado dentro de la carta de plasticidad	44
Figura 14. Prueba gravedad específica	47
Figura 15. Relación de vacíos VS Logaritmo de carga	51
Figura 16. Prueba de expansión en consolidómetro	56
Figura 17. Curva para determinar el PVC de expansión (según Lambe)	61
Figura 18. Máquina utilizada para Prueba de presión de expansión	62
Figura 19. Caja muestra tipo	73
Figura 20. Vista superior caja 5 pilotines sal	73
Figura 21. Muestra-caja 5 pilotines con sal	74
Figura 22. Vista superior 8 pilotines con sal	75
Figura 23. Muestra-caja 8 pilotines con sal	75
Figura 24. Vista superior 5 pilotines con cal	76

Figura 25. Muestra-caja 5 pilotines con cal	76
Figura 26. Vista superior 8 pilotines con cal	77
Figura 27. Muestra-caja 8 pilotines con cal	78
Figura 28. Muestra-caja sin pilotines	79
Figura. 29 Perfil y planta de la cimentacion	93

## LISTA DE GRAFICAS

	<b>Pág.</b>
Grafica1. Resultado curva granulometrica prueba1	38
Grafica 2. Resultado curva granulometrica prueba2	39
Grafica 3. L.L. prueba 1	41
Grafica 4. L.L. prueba 2	42
Grafica 5. Limites de Attemberg Arcilla sin aditivos prueba1	46
Grafica 6. Curva de compresibilidad .	52
Grafica 7. Curva de compresibilidad escala logaritmica .	52
Grafica 8. Curva de consolidacion	53
Grafica 9. Altura de la probeta	53
Grafica 10. Expansion por dia	54
Grafica 11. Expansion-consolidacion diaria	54
Grafica 12. Indice de Hinchamiento vs tiempo	58
Grafica 13. Indices de hinchamiento arcilla sin aditivos.	59
Grafica 14. Presion de expansion-Arcillas sin aditivos	59
Grafica 15. Presion de expansion –Arcilla sin aditivos.	60
Grafica 16. L.L. para el % correspondiente 5 pilotines con CAL	64
Grafica 17. L.L. para % correspondiente 8 pilotines con CAL	64
Grafica 18. L.L. para el % correspondiente 5 pilotines con sal	65
Grafica 19. L.L. para el % correspondiente 8 pilotines con sal	66
Grafica 20. Indice de hinchamiento 5 pilotines con cal	68
Grafica 21. Índice de hinchamiento 8 pilotines con cal	69
Grafica 22. Índice de hinchamiento 8 pilotines con sal	70
Grafica 23. Índice de hinchamiento 5 pilotines con sal	71
Grafica 24. Expansion en mm de las cajas.	81
Grafica 25. % de expansion con respecto a la caja sin pilotines.	81

Grafica 26. Comparacion de limites liquidos cal y sal	82
Grafica 27. Comparacion de Limites liquidos	82
Grafica 28. Comparacion de limites plasticos	83
Grafica 29. Comparación de índices de plasticidad con cal y sal	84
Grafica 30. Comparacion de indices de plasticidad	84
Grafica 31. Comparacion de indices de hinchamiento	85
Grafica 32. Comparacion de presion de expansion	86
Grafica 33. Comparacion de presion de expansion cal y sal	86
Grafica 34. Prueba de distanciamiento interlaminar arcilla normal .	90
Grafica 35. Prueba de distanciamiento interlaminar arcilla modificada.	91

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO A.</b> Memorias ensayos de caracterización suelo sin pilotines.	99
<b>ANEXO B.</b> Memorias ensayos de caracterización suelo con pilotines de cal.	110
<b>ANEXO C.</b> Memorias ensayos de caracterización suelo con pilotines de sal.	117

## RESUMEN

**TITULO:** EVALUACION DE LA ESTABILIZACION DE ARCILLAS EXPANSIVAS EN LABORATORIO IMPLEMENTANDO PILOTINES CON SAL Y CAL\*

**AUTORES:** **NIÑO CARREÑO** Oscar Fernando  
**SOLANO RICO** German Augusto\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Arcillas expansivas, estabilización, potencial de expansión, cal, sal.

### DESCRIPCION:

Reconociendo la importancia de la problemática a través de los años en el campo de la ingeniería civil de suelos expansivos y las grandes pérdidas económicas que estos han generado, se buscó realizar el estudio y el correspondiente análisis a un tipo de suelo expansivo utilizando cal y sal por medio de la técnica de pilotines.

Se utilizaron dos aditivos estabilizadores (cal, y sal) con el fin de disminuir las propiedades expansivas de una arcilla extraída de las inmediaciones del municipio de Barrancabermeja, se evaluaron y compararon las ventajas técnicas de cada alternativa bajo condiciones críticas. Para tal fin se realizaron una serie de pilotines (2 (dos) cajas con 5 (cinco) pilotines y 2 (dos) cajas con 8 (ocho) pilotines) en cada una de las cajas-muestras 4 (cuatro) con diferentes distribuciones y cantidades para cotejar los resultados. Se realizaron ensayos de caracterización y expansión que permitieron analizar el comportamiento de cada una de ellas.

Se encontró que la sal requiere ser adicionada en cantidades considerables para lograr la disminución del potencial de expansión y por ende ser viable como agente estabilizador.

Con la cal se encontró un comportamiento muy bueno en las cajas-muestras tanto en la de 5 (cinco) pilotines como en la de 8 (ocho) pilotines, se logró una reducción considerable en las propiedades expansivas de la arcilla.

Es evidente que una densidad mayor de los pilotines llevaron a un mejor comportamiento en términos de estabilidad.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Ingeniero civil M, Sc., WILFREDO DEL TORO

## ABSTRACT

**TITLE:** EVALUATION OF THE STABILIZATION OF EXPANSIVE CLAYS IN LABORATORY IMPLEMENTING PILOTINES WITH SALT AND LIME\*

**AUTHORS:** NIÑO CARREÑO Oscar Fernando

SOLANO RICO German Augusto\*\*

**KEY WORDS:** Expansive clays, stabilization, potential of expansion, lime, salt.

### DESCRIPTION:

Recognizing the importance of the issue over the years in the field of civil engineering expansive soils and large economic losses that they have generated, are seeking to conduct the study and the subsequent analysis of a type of expansive soil using lime and salt through little piles technique.

Using two stabilizing additives (lime, and salt) to reduce the expansive properties of a clay extracted from near the town of Barrancabermeja, were evaluated and compared the technical merits of each alternative under critical conditions. To this end, a series of little piles (2 (two) boxes of 5 (five) little piles and 2 (two) boxes of 8 (eight) little piles) in each of the boxes-samples 4 (four) with different distributions and amounts to collate the results. Characterization tests were performed and expansion that analyze the behavior of each.

It was found that salt be added in amounts required to achieve significant reduction in the potential expansion and thus be viable as a stabilizing agent.

With lime was found a very good behavior in-boxes in both samples of 5 (five) little piles as in the 8 (eight) little piles, achieved a considerable reduction in the expansive properties of the clay. Clearly, a higher density of little piles led to better performance in terms of stability.

---

\* Grade project

\*\* Faculty of Engineerings Fisicomecánicas, School of Civil Engineering. Director. Ingeniero civil M, Sc., WILFREDO DEL TORO

## INTRODUCCIÓN

Los efectos de las arcillas expansivas han sido un problema que cada año se ve reflejado en cuantiosas pérdidas de dinero en el área de la construcción. Este problema se ha venido mitigando con la utilización de diversos métodos que principalmente se orientan hacia su estabilización, bien sea física o electroquímica, entre los cuales se destacan la cal, la sal y los aceites sulfonados, que han sido estudio de otras investigaciones.

Cuando se trata de cimentaciones superficiales, ya sea de zapatas, o bien de losas de cimentación para edificación o cuando se trata de construir una estructura para un pavimento, por ejemplo, en muchas ocasiones nos encontramos con que el suelo del sitio, al nivel en que requerimos apoyar nuestra estructura, se encuentra formado por un material de características inadecuadas. En este caso nos referiremos específicamente a un suelo arcilloso, de características plásticas.

Los suelos con arcillas expansivas están presentes en toda Centroamérica y el Caribe. Estudios hechos en los Estados Unidos prueban que el daño causado a la propiedad por los suelos expansivos resultan en un costo de billones de dólares, más que el daño causado por los temblores, huracanes y tornados combinados.

La arcilla expansiva está sujeta a una baja capacidad de soporte y a ciclos de hinchamiento y contracción debido a los cambios de humedad. Esto causa cambios significativos de volumen que producen presiones en la zona activa de las estructuras y fundaciones.

Suelos expansivos sin tratar pueden producir problemas en las fundaciones, problemas en las paredes puertas y ventanas. Estos problemas pueden ser muy serios. Por esta razón es importante el estudio de este tipo de suelo, para encontrar productos o técnicas que logren su estabilización volumétrica.

La estabilización de un suelo consiste en modificar algunas de sus características indeseables para el propósito de uso que queremos darle a dicho suelo. Entonces, si el suelo va a ser empleado para apoyar a una cimentación, ya sea para cimentación de una edificación o bien de un pavimento, las principales características indeseables de una arcilla plástica serán: Un Índice Plástico alto que significa un alto valor de expansión (o bien su opuesta contracción), así como una capacidad para soportar carga que será demasiado baja.

Existen diferentes formas de tratar de estabilizar una arcilla plástica, acá se estudio la estabilización utilizando cal y sal implementando la técnica de pilotines. La utilización de la arcilla como muestra con presunta capacidad de expansión permiten mediante un trabajo en el laboratorio con ensayos de caracterización física y mecánica determinar cuál aditivo y dosificación se comporta mejor en el ambiente más crítico, para lo cual se utilizan diferentes combinaciones de pilotines tanto con cal como con sal.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Analizar el comportamiento de un suelo arcilloso expansivo en laboratorio estabilizado con cal y sal (NaCl), mediante la técnica de pilotines.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Caracterizar una muestra de suelo arcilloso expansivo sin ningún aditivo ni técnica estabilizadora.
- ✓ Caracterizar una muestra de suelo arcilloso expansivo usando la técnica de pilotines con cal y otra muestra con sal, determinando la influencia de estos compuestos en las propiedades físicas y mecánicas del suelo, logrando en teoría la esperada estabilidad volumétrica.
- ✓ Evaluar dos tipos de distribuciones de los pilotines para cada aditivo y así poder ver cual distribución da mejores resultados.
- ✓ Evaluar con cual aditivo se encontraron resultados más efectivos en la estabilización de dicha arcilla.
- ✓ Aportar en el desarrollo infraestructural presente en nuestro país, en donde en múltiples regiones o zonas, es factible encontrar este tipo de terrenos y para eso contar con métodos y alternativas para estabilizarlo y hacerlo viable sin tener que desistir de él.

## 1. MARCO TEORICO

### 1.1 GENERALIDADES DE LAS ESTABILIZACIONES

Desde la antigüedad existía ya la estabilización de variados tipos de suelos para cimientos, siendo los métodos empleados muy primitivos. A través de los años se han desarrollado gran variedad de especificaciones técnicas para seleccionar los materiales adecuados para la construcción de obras civiles, en estas especificaciones se busca emplear materiales de optima calidad y obtenidos a costos razonables en relación con los beneficios de la obra.

Considerando que hoy en día los materiales de construcción que cumplen con esos requisitos necesarios, se han vuelto escasos y muy costosos para conseguir, el ingeniero civil a la hora de tratar con suelos no adecuados para sus obras de ingeniería, por no cumplir con los requisitos especificados contempla las siguientes opciones:

- Admitir el suelo natural y efectuar el diseño con las características propias del suelo.
- Remover total o parcialmente el suelo natural y sustituirlo por un suelo de condiciones adecuadas.
- Alterar o cambiar las propiedades mecánicas del suelo mediante un método de estabilización, el cual permita adecuar sus propiedades a las condiciones del proyecto.

Esta última alternativa constituye el objetivo general de la estabilización de suelos. Este proceso comienza con la caracterización del suelo en estado natural, seguido por la formulación del proceso que mejore sus propiedades para que se cumplan las especificaciones de la obra.

Cabe señalar que el uso de materiales in situ es una alternativa que ofrece la ventaja de la reducción de tiempo de construcción y costos de acarreo; sin embargo, la mayoría de los materiales in situ no proporcionan una cimentación adecuada sin un cierto tratamiento y considerando que es muy costoso remover el material para reemplazarlo por otro, es ahí cuando la estabilización del suelo adquiere importancia dentro de la realización de un proyecto determinado.

Las propiedades físico-mecánicas del suelo se pueden alterar de muchas maneras, como puede ser por medios mecánicos, drenaje, medios eléctricos, cambios de temperatura o adición de agentes estabilizantes. Se debe tener cuidado siempre, que debido a la gran diversidad de suelos, cada método resulta aplicable solamente a un número limitado de ellos.

Se debe tener una clara evaluación de las propiedades que se desee mejorar, pues este requisito específico es un elemento muy importante para tomar la decisión correcta, acerca de la conveniencia de la estabilización.

Entre las principales propiedades de un suelo que interesan a un ingeniero podemos contar a las siguientes:

- Compresibilidad
- Resistencia mecánica
- Permeabilidad
- Estabilidad volumétrica
- Durabilidad

Por otro lado, no debe pensarse en el uso de la estabilización solamente como una medida correctiva sino también como medida preventiva o de seguridad contra condiciones adversas que se desarrollen durante la construcción o durante la vida de la estructura.

Se debe tener en cuenta en el proceso para estabilizar suelos, los siguientes puntos:

- Diagnostico de las propiedades de los suelos, antes de proceder a estabilizarlos: se determina entonces la prioridad de estabilizarlos teniendo en cuenta el futuro uso de los suelos.
- Los tipos de estabilización dependerán de su efectividad en lograr el mejoramiento en las propiedades de los suelos, si el tipo de estabilización es disponible en el sitio de construcción, y teniendo en cuenta además, las variables económicas.

**1.1.1 Razones para estabilizar un suelo.** La necesidad de estabilizar suelos puede deberse a algunos o varios de estos requerimientos:

- Subrasante de condiciones pobres, con posibilidad de cambios volumétricos excesivos, baja capacidad de soporte y altas deformaciones frente a la aplicación de cargas.
- Mejorar los materiales de base
- Control de humedad, control de polvo.
- Disminución de asentamientos de estructuras
- Disminución del potencial de expansión y contracción de los suelos.
- Aumentar la resistencia de los suelos, reducir la permeabilidad de ciertos suelos.

**1.1.2 Propiedades afectadas con la estabilización.** Entre las propiedades afectadas al realizarse la estabilización de un suelo podemos citar la *compresibilidad* (presentada especialmente en finos); la *resistencia mecánica* que por lo general es baja en suelos finos húmedos, finos con alto porcentaje de materia orgánica y granulares con gradación pobre (los suelos finos son más sensibles a la humedad pues le deben su resistencia a la cohesión, mientras que

en los suelos granulares, el ángulo de fricción es la característica primordial para determinar la resistencia); la *permeabilidad* que se plantea en dos problemas básicos: lo relacionado con la presión de poros y con el flujo de agua a través del suelo; la *durabilidad* que es la resistencia a los procesos de intemperización, erosión y abrasión. Es una propiedad cuya deficiencia es más notoria en los costos de mantenimiento que en las fallas estructurales.

Y como principal propiedad a estudiar en este trabajo de investigación, la *estabilidad volumétrica* ya que muchos suelos se expande y se contraen con los cambios de humedad. Si las presiones de expansión que se desarrollen debido a un incremento en la humedad no se controlan en alguna forma, estas presiones pueden levantar pavimentos, inclinar postes, fracturar muros, romper tubos de drenaje, etc. Por lo cual es de vital importancia detectar los suelos expansivos, su composición y el tratamiento más adecuado para evitar los anteriores inconvenientes.

En soluciones para evitar cambios volumétricos en suelos expansivos es común aplicar cargas que equilibren la presión de expansión, apoyar la estructura a profundidades tales que no se registre alta variación en la humedad o tratar de impermeabilizar el suelo por medio de una membrana o compactación, buscando pesos volumétricos altos. Debe tenerse presente que la humedad de compactación juega también un papel muy importante en el fenómeno de los cambios volumétricos altos, pues si bien es cierto que una arcilla altamente densificada ofrece una alta impermeabilidad, existe la probabilidad de que una vez que dicha arcilla se sature alcance presiones de expansión mas altas, a medida que se vaya compactando con menor humedad.

Otra manera de modificar la arcilla expansiva, transformándola en una masa rígida y granular cuyas partículas estén lo suficientemente ligadas para resistir la presión expansiva interna de la arcilla, es por medios químicos o térmicos.

## 1.2 TIPOS DE ESTABILIZACION

La estabilización puede ser básicamente mecánica, química y fisicoquímica; sin embargo, existen otros métodos que aunque son costosos, están siendo sometidos a arduas investigaciones, ellos son los llamados térmicos y eléctricos.

- **Estabilización Mecánica:** Es el mejoramiento del suelo por cambio de gradación, consiste en mezclar dos o mas suelos naturales para obtener un material compuesto que sea superior a cualquiera de sus componentes. El método incluye también la adición de roca triturada o el tamizado para remover las partículas de cierto tamaño que son perjudiciales para fines ingenieriles. Este tipo de estabilización se lleva a cabo por compactación, vibración y uso de explosivos.
- **Estabilización Química:** La estabilización química consiste en unir las partículas del suelo con un agente cementante, acción que se produce por medio de una reacción química al interior del suelo. Tal reacción no incluye necesariamente las partículas del suelo, aunque en la unión si están implicadas las fuerzas intermoleculares del mismo.  
Entre los agentes químicos mas utilizados se encuentran el cemento Portland, asfalto, cloruro de sodio, cenizas volantes, cloruro de calcio y desperdicios de fabricas de papel; estos materiales se usan para modificar la plasticidad, controlar el cambio de volumen y mejorar la resistencia.
- **Estabilización Fisicoquímica:** Consiste en cambiar las propiedades de los granos de suelo, principalmente de los minerales arcillosos y de su agua absorbida. La estructura atómica de la arcilla puede cambiar los cationes absorbidos en su película superficial, las caolinitas son menos susceptibles de

intercambiar sus cationes que las montmorillonitas y las illitas poseen la propiedad en grado intermedio; la capacidad de intercambio crece con el grado de acidez de los minerales arcillosos, es decir, la capacidad aumenta si el pH es menor.

### **1.3 PROCESO GENERAL DE LA ESTABILIZACION**

Se denomina estabilización de suelos al proceso por el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo deformación de los mismos. Se define simplemente, la estabilización, como el proceso artificial por el que las partículas de suelo son obligadas a estar más en contacto las unas con las otras, disminuyendo la cantidad de vacíos, utilizando para ello métodos mecánicos, químicos (como en este caso) y fisicoquímicos.

El diseño de estabilizaciones con aditivo, consiste en primer término en llevar a cabo una adecuada clasificación del suelo, con base en lo cual se determina el tipo y cantidad de estabilizante, así como el procedimiento para efectuar la estabilización. El método de diseño depende del uso que se pretenda dar al suelo estabilizado. Este diseño resulta aun más complicado por la gran dificultad que existe al tratar de juzgar adecuadamente los efectos inmediatos y permanentes que producirán en el suelo diferentes tipos de agentes, por ejemplo, un cemento Portland puede rigidizar el suelo mientras que un asfalto lo hace flexible.

Se debe tener en cuenta las características que se desean en el suelo estabilizado, condiciones que nos pueden indicar la importancia relativa de propiedades tales como la resistencia a la compresión, resistencia a agentes abrasivos, trabajabilidad del suelo, etc. Es indispensable también conocer de antemano las características originales del suelo que se pretendían estabilizar, para poder predecir el resultado que se lograra con la adición del agente estabilizante, en este caso, sal y cal.

## 1.4 CLASIFICACION DE LOS SUELOS

La clasificación es basada en las propiedades de plasticidad y en la distribución del tamaño de grano, según esta última, el sistema divide el suelo en dos grandes categorías:

- Suelos Grueso granulares: Son aquellos materiales en los cuales el porcentaje retenido en la malla No.200 es superior al 50%. Dentro de ellos están las fracciones de arena y grava.
- Suelo Fino granulares: Son los suelos en los cuales en 50% o más pasa la malla No.200. En estos suelos se incluyen las fracciones limo y arcilla, así como las fracciones de carácter orgánico.

La simbología utilizada para la clasificación del suelo es la siguiente:

- Tamaño de partículas:

G: (del término Inglés *Gravel*) Fracción de suelo más grueso o tamaño grava.

S: (del término Inglés *Sand*): Fracción del suelo con tamaño de grano comprendido entre malla No.4 y malla No.200.

M: (del término sueco *Mo*): Fracción fina del suelo que no posee propiedades de plasticidad, o de tener, es muy baja.

C: (del término Inglés *Clay*): Fracción fina del suelo que posee propiedades de plasticidad.

- Respecto a la distribución de las partículas en el suelo:

W: (del término Inglés *Well*): Buena gradación del suelo, o sea que dentro de la masa de suelo hay predominio de un tamaño de grano.

P: (del término Inglés *Poorly*): Mala gradación. Significa que dentro de la masa de suelo hay variedad en el tamaño de grano, aunque haya predominio de uno de ellos.

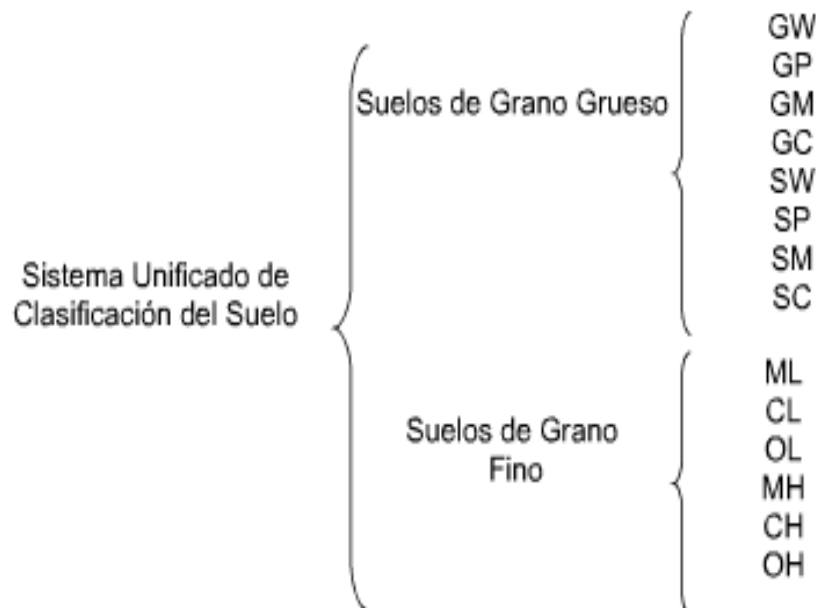
Respecto a la Plasticidad:

L: (del término Inglés *Low*): Suelos con baja plasticidad, son aquellos donde  $LL < 50$

H: (del término Inglés *High*): Suelos con alta plasticidad, aquellos donde  $LL > 50$

Figura 1. Clasificación de los suelos

<b>G</b> = Gravas (Gravel)	<b>W</b> = Buena Gradación (Well)
<b>S</b> = Arenas (Sand)	<b>P</b> = Poca Gradación (Poor)
<b>M</b> = Limos (Mud)	<b>L</b> = Baja Plasticidad (Low)
<b>C</b> = Arcillas (Clay)	<b>H</b> = Alta Plasticidad (High)
	<b>O</b> = Orgánicas (Organic)



Fuente: Tomada de "Resumen sobre arcillas expansivas, arcillas dispersivas e hidráulica de suelos" (Ing. José V. Heredia T.) pg2

Tabla 1. Clasificación de suelos

<b>Símbolo</b>	<b>Denominaciones usuales</b>	<b>Clasificación en Campo (Se excluyen partículas mayores de 3")</b>	<b>Información necesaria para la descripción de los suelos</b>
GW	Grava o grava arenosa bien gradada	Amplia escala en el tamaño de las partículas y cantidades sustanciales de los tamaños intermedios	<p>Dése la denominación usual, indique los porcentajes aproximados de grava y arena, tamaños máximos, angulosidad, condiciones de la superficie y dureza de las partículas gruesas, denominación regional o geológica y otras informaciones descriptivas pertinentes; su símbolo entre paréntesis.</p> <p>Para suelos inalterados se agrega la información sobre estratificación, grado de compactación, cimentación, condiciones de humedad y características de drenaje.</p>
GP	Grava o grava arenosa pobremente gradada	Predomina un tamaño o serie de tamaños con ausencia de algunos intermedios	
GM	Grava limosa, mezcla de grava y limo	Finos no plásticos o con poca plasticidad	
GC	Grava arcillosa, mezcla de grava y arcilla	Finos plásticos	
SW	Arena o arena gravosa arenosa bien gradada	Escala amplia en el tamaño de los granos y cantidades sustanciales de los intermedios	
SP	Arena o arena gravosa pobremente gradada	Predomina un tamaño o serie de tamaños con ausencia de algunos intermedios	
SM	Arena limosa, mezcla de arena y limo	Finos no plásticos o con poca plasticidad	
SC	Arena arcillosa, mezcla de arena y arcilla	Finos plásticos	
		Procedimiento de identificación sobre la fracción menor que la malla No.40	
		Resistencia a la compresión seca	Dilatancia Tenacidad

ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o limos arcillosos con ligera plasticidad	Ninguna a Ligera	Rápida a lenta	Nula	Dése la denominación usual, indique carácter y grado de plasticidad, tamaño máximo y cantidad de las partículas gruesas, color en condiciones húmedas, olor si hay, nombre regional o geológico, y otras informaciones descriptivas pertinentes. Su símbolo entre paréntesis.  Para suelos inalterados añadir información sobre estructura, estratificación, consistencia en estado alterado e inalterado, condiciones de drenaje y humedad
CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas pobres	Media a alta	Nula a muy lenta	Media	
OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	Ligera a media	Lenta	Ligera	
MH	Limos inorgánicos, suelos limosas o arenas finas diatomáceos o micáceas, limos elásticos	Ligera a media	Lenta a nula	Ligera a media	
CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad	Alta a muy alta	Nula	Alta	
OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.	Media a alta	Nula a muy lenta	Ligera a media	
Pt	Turba y otros suelos con alto contenido de material orgánico	Fácilmente identificables por el color, olor, tacto esponjoso y con frecuencia su textura fibrosa			

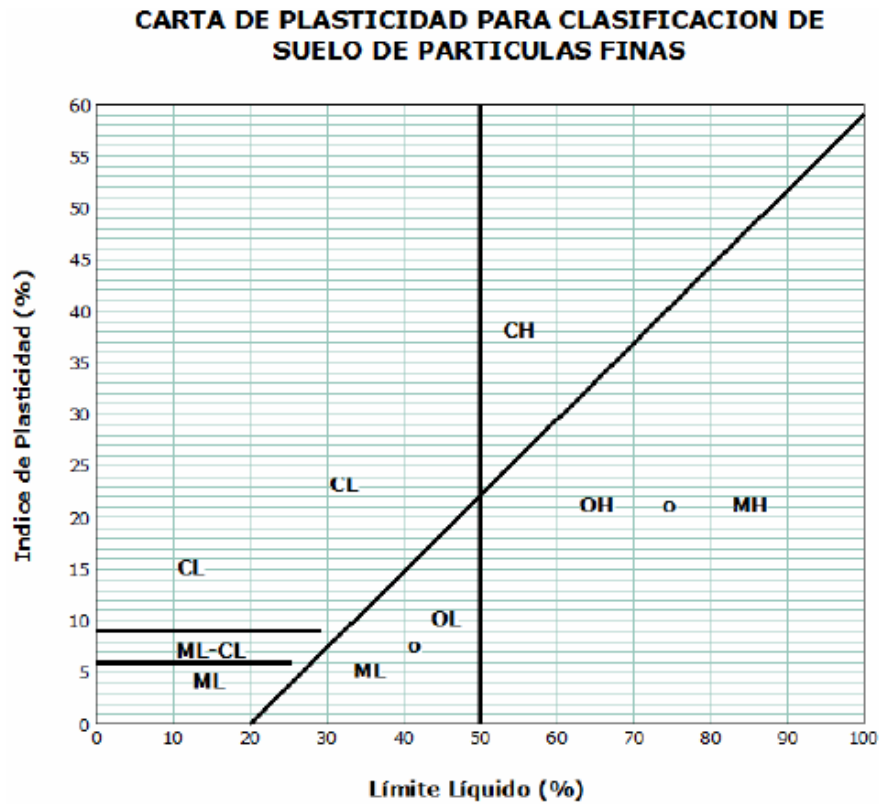
Tabla 2. Propiedades ingenieriles de los componentes del suelo

Componente ⇒	ARENA	LIMO	MICA	CARBONATO	SULFATO	CAOLINITA	ILLITA	MONTMORILLO NITA	MATERIA ORGÁNICA	ALOFANO
Permeabilidad seco	++	-	M	m	m	-	--	--	++	m
Permeabilidad húmedo	++	+	+	m	m	-	--	--	++	++
Estabilidad volumétrica	++	++	++	++	++	+	-	--	+	m
Plasticidad – cohesión	+	--	-	-	-	m	-	++	m	++
Resistencia seco		+	+	+	+	m	+	++	-	m
Resistencia húmedo		--	m	+	m	-	m	--	--	-
Compactación (ω óptima)	+	m	--	++	+	-	m	--	--	++

++ = muy alto + = alto m = moderado - = bajo -- = muy bajo.

Fuente: Tomada de “Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres” (Garnica, Pérez. Public. Tec. No 201 Sanfandalia, Qro, 2002) pg9

Figura 2. Ubicación de los suelos dentro de la carta de plasticidad



Fuente: Tomada de “Determinación de los módulos elástico, plástico y de rotura” (Pérez y Pachón. 2003)

## 1.5 TIPOS DE ARCILLAS, CLASIFICACION DE LAS ARCILLAS

Las arcillas son cualquier sedimento o depósito mineral que es plástico cuando se humedece y que consiste de un material granuloso muy fino, formado por intemperismo o alteración hidrotermal de silicatos hidratados ricos en aluminio; Sus impurezas por lo general son el cuarzo o limonitas. Las arcillas transportadas y depositadas forman estratos tabulares o lentes. Sus partículas son muy pequeñas (tamaño inferior a 4 micras). Los análisis de propiedades técnicas dependen del uso que se quiera dar a las arcillas.

Son mineralógicamente filosilicatos de tamaño de grano muy fino y morfología laminar, lo que les confiere un elevado valor de superficie específica y por lo tanto una amplia superficie de reacción fisicoquímica que facilita su interacción con multitud de sustancias, en especial con compuestos polares como el agua. De ello se derivan sus propiedades plásticas y geológicas y su capacidad de cambio catiónico.

A continuación se presenta un glosario de los apelativos más comunes de algunas arcillas:

**Arcillas Comunes:** Las arcillas comunes se utilizan en cerámica roja, es decir para fabricación de ladrillos, tejas, greda, baldosines y cerámica tosca.

Tienen aplicación fundamentalmente en la cerámica industrial (pavimentos, revestimientos y cerámica estructural) y alfarería.

**Fundentes:** Se pueden subdividir en relación a su contenido en carbonatos, desde nulo a medio hasta elevado. Las de bajo contenido en carbonato se suelen utilizar en pavimentos de monococción, mientras las de contenidos medios y altos suelen utilizarse en revestimientos porosos de monococción.

**Refractarias:** Suelen emplearse en la fabricación de pavimentos de extrusión esmaltados.

**Arcilla figulina:** es aquella que contiene impurezas como la arena, la caliza y los óxidos de hierro.

**Arcillas Plásticas:** De uso típico en cerámica blanca: sanitarios, azulejos, utensilios de loza, otros. Su uso en cerámica debe tener en cuenta que la tridimita y cristobalita son inestables, al ser calentadas sufren un cambio

mineralógico acompañado por la reducción de volumen, lo cual deforma a los objetos cerámicos durante la "quema".

El caolín blanco, por sus propiedades específicas sirve para elaborar porcelana, y como carga industrial en papel, pinturas, barnices y caucho.

**Arcilla roja:** esta clase la integra generalmente un depósito de tipo marino formado por los restos de materiales calcáreos y ferrígenos, polvo volcánico, restos de esponjas silíceas, dientes de tiburón, etc. El color rojizo proviene por lo común de sus componentes férricos. Se ha encontrado que estos depósitos son muy extensos, y cubren hasta el 60% de la superficie marina.

**Arcilla ferruginosa:** contiene en su composición diferentes cantidades y tipos de óxido de hierro y puede ser de color amarillo, ocre e inclusive negra (tierras de Siena) debido al óxido de hierro hidratado, mientras que las arcillas rojas contienen, por lo general, un óxido conocido como hematita.

**Arcilla de batán:** llamadas también *tierra de batán*, debido al uso que tuvieron en el "batanado" de las telas y de las fibras vegetales como el algodón.

**Arcilla marga:** es un material impermeable y frágil, con un contenido de caliza de entre 20 y 60%, aproximadamente.

**Arcillas de esquisto o pizarra:** las constituyen formaciones antiguas que se presentan en forma de estratos o de plaquetas paralelas que se han dividido por la presión del suelo.

**Arcilla bentonita:** Bentonita es el nombre comercial de la arcilla formada por silicatos de la familia de montmorillonitas (esmectitas), las que, tratadas con compuestos químicos aminados se vuelven repelentes al agua — hidrofóbicas—, aunque mantienen gran afinidad por las especies orgánicas, en particular los aceites, las grasas y los colorantes o pigmentos naturales. Las bentonitas puras son de color crema o blanco, se les divide en sódicas, cálcica y magnesiana.

La bentonita magnesiana o tierra de Fuller decoloran los aceites sin este tratamiento. También se usa en el proceso de intercambio iónico, como clarificante en jugos de frutas y otros; tales bentonitas llevan el nombre de atapulgita y se caracteriza por la presencia de montmorillonita entre 80 y 90 %.

De acuerdo con su estructura, los minerales de arcilla se clasifican en tres grupos:

### **Caolinitas, montmorillonitas e illitas.**

- Las caolinitas ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) están formadas por una lámina silícica y otra alumínica, que se superponen indefinidamente. La unión entre todas las retículas es lo suficientemente firme para no permitir la penetración de moléculas de agua entre ellas (adsorción). En consecuencia, las arcillas caoliníticas son relativamente estables en presencia de agua.
- Las montmorilonitas ( $(\text{OH})_4\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) están formadas por una lámina alumínica entre dos silícicas, superponiéndose indefinidamente. En este caso la unión entre las retículas del mineral es débil, por lo que las moléculas de agua pueden introducirse en la estructura con relativa facilidad a causa de las fuerzas eléctricas generadas por su naturaleza dipolar. Lo anterior, produce un incremento en el volumen de los cristales, lo que se traduce en expansión. Las

arcillas montmoriloníticas, especialmente en presencia de agua, presentarán fuerte tendencia a la inestabilidad. Las bentonitas son arcillas del grupo montmorilonítico, originadas por la descomposición química de las cenizas volcánicas y presentan la expansividad típica del grupo en forma particularmente aguda, lo que las hace sumamente críticas en su comportamiento mecánico.

- Las illitas ((OH)  $4.Ky$  (Si<sub>8-y</sub>.Al<sub>y</sub>) (Al<sub>4</sub>.Fe<sub>4</sub>.Mg<sub>4</sub>.Mg<sub>6</sub>) O<sub>20</sub>, con y, por lo general, igual a 1.5) están estructuradas análogamente que las montmorilonitas, pero su constitución interna manifiesta tendencia a formar grumos de materia, que reducen el área expuesta al agua por unidad de volumen; por ello, su potencial de expansión es menor que el de las montmorilonitas y su comportamiento mecánico es más favorable para el ingeniero.

Para entender mejor la respuesta de los suelos finos a la estabilización es importante conocer los aspectos físico-químicos de estos. En general, se considera, que las partículas arcillosas tienen un tamaño del orden de 2 micras o menores y presentan una actividad eléctrica importante, que rige su comportamiento dada su gran superficie específica en relación con su volumen y aún su masa.

## **1.6 DESCRIPCION DE EL SUELO UTILIZADO PARA LA INVESTIGACION**

El suelo extraído de forma inalterada (como se puede apreciar en las fotografías), es un suelo arcilloso de color claro, con pintas entre rojas, naranjas y amarillas; Fue extraído de las afueras de Barrancabermeja, en la zona de las ladrilleras (camino de la carretera Nacional), en las inmediaciones del barrio Boston.

En cuanto a su caracterización, se obtuvieron entre sus resultados:

Para la granulometría un porcentaje de finos igual a 100%, limite líquido de 54%, limite plástico 27% para un IP igual a 28%, limite de contracción de 13%.; así pues se puede clasificar el suelo según S.U.C.S. como CH. Humedad natural de 34% y gravedad específica de 2,45; Presión de expansión de 0,51 Kg/cm<sup>2</sup>, índice de hinchamiento de 0.05 N/mm<sup>2</sup> y una expansión libre del 5 %.

Tabla 3. Propiedades del suelo utilizado.

PROPIEDAD	UNIDAD	SUELO BARRANCABERMEJA
LIMITE LIQUIDO	%	54
LIMITE PLASTICO	%	27
INDICE DE PLAST	%	28
LIMITE DE CONTRACCION	%	13
PARTICULAS SUPERIORES A 0,002	%	33
PARTICULAS INFERIORES A 0.002	%	67
HUMEDAD NATURAL	%	34
GRAVEDAD ESPECIFICA	unidad	2.65
PESO ESPECIFICO HUMEDO	g/cm <sup>3</sup>	2,48
PESOESPECIFICO SECO	g/cm <sup>3</sup>	1,26
RELACION DE VACIOS	unidad	0.96
PRESION DE EXPANSION	KG/CM <sup>2</sup>	0.5
INDICE DE HINCHAMIENTO	N/mm <sup>2</sup>	0,05
EXPANSION LIBRE	%	5

### 1.6.1 Proceso de extracción del suelo estudiado.

Figura 3. Extracción muestras inalteradas Barrancabermeja.

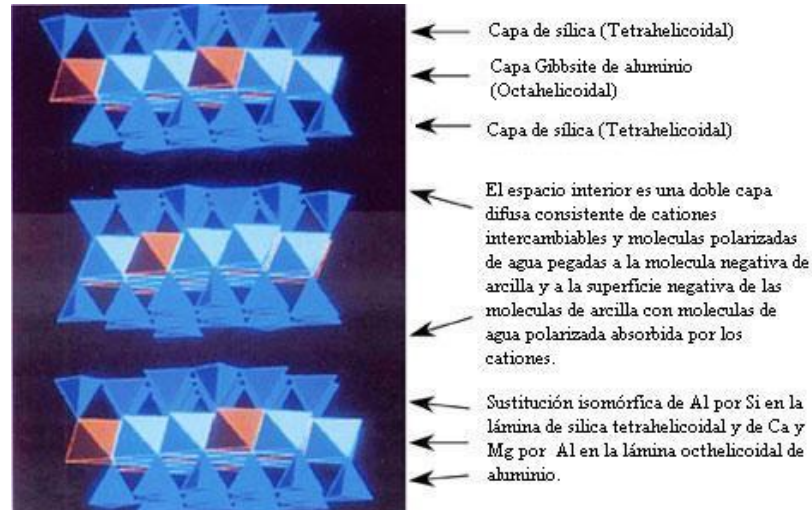




Fuente: Tomadas por los autores

## 1.7 CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE LOS SUELOS EXPANSIVOS

Figura 4. Estructura de la arcilla expansiva



Las arcillas están básicamente compuestas por silicatos de aluminio que en algunos casos pueden ser reemplazados por silicato de magnesio o de calcio, cuyas partículas tienen una estructura químicamente definida, donde los átomos se precisan en láminas.

Los suelos arcillosos no solamente son expansivos debido a la estructura química que hace parte de estos, sino que además la permite presencia de minerales como la montmorillonita mayores índices de hinchamiento.

Las características expansivas de diferentes tipos de bentonitas estudiadas alrededor del mundo se encuentran dentro de los siguientes valores:

- Límites líquidos mayores a 140%, los cuales pueden llegar a ser de 650%
- Límites plásticos entre 63.87% y 26.67%
- Índices de plasticidad superiores a 80.6%

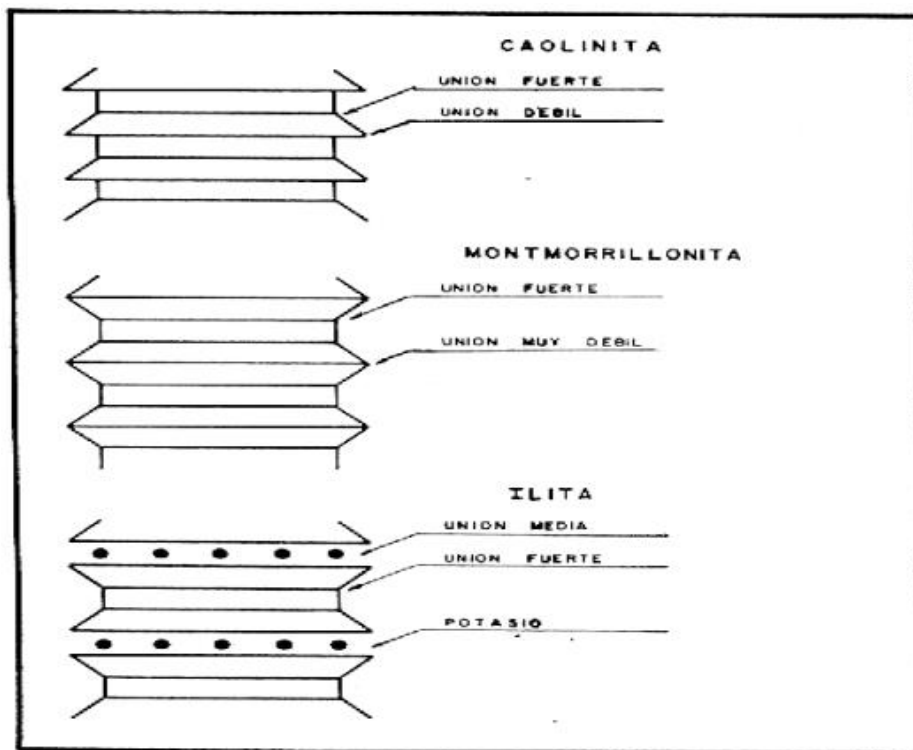
- Contenidos de montmorillonita entre el 48 y 80%
- Capacidad de intercambio catiónico con valores cercanos a 1.035 meq/g

Tabla 4. Propiedades y especificaciones de la Montmorillonita

Propiedades	Especificaciones
Humedad a 105 C(%)	Máximo 12
Viscosidad 600 rpm /300 rpm	Mínimo 20/16
Hinchamiento	Mínimo 23
Granulometría, % pasa malla 200	Mínimo 80% pasa malla 200
pH	Máximo 11

Fuente: Tomada de “Evaluación de Aditivos usados en el tratamiento de arcillas expansivas” (Javier F Camacho, Oscar J Reyes, Catalina Mayorga, Dolly F Méndez. Vol. 16 No 2 Dic. 2006) pg. 47

Figura 5. Tipos de enlaces de las arcillas más comunes caolinita, montmorillonita e illita



Fuente: Tomada de “Resumen sobre arcillas expansivas, arcillas dispersivas e hidráulica de suelos” (Ing. José V. Heredia T.) pg14

Una de las teorías más aceptadas, hasta ahora desarrolladas, para explicar la estructura interna de las arcillas es la que menciona que la superficie de cada partícula de suelo posee carga eléctrica negativa. La intensidad de la carga depende de la estructuración y composición de la arcilla. La partícula atrae a los iones positivos del agua ( $H^+$ ) y a cationes de diferentes elementos químicos, tales como  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Al^{+++}$ ,  $Fe^{+++}$ , etc., se tiene entonces, en primer lugar, al hecho de que cada partícula individual de arcilla se ve rodeada en forma definida y ligadas a su estructura (agua absorbida).

Las caolinitas son menos susceptibles de intercambiar sus cationes que las montmorilonitas y las ilitas poseen la propiedad en grado intermedio. La capacidad de intercambio crece con el grado de acidez de los cristales, es decir es mayor si el pH del suelo es menor ; la actividad catiónica se hace notable, en general, para valores del pH menores que 7. La capacidad de intercambio también crece con la velocidad y concentración de la solución que circule por la masa de suelo.

## 1.8 DETECCIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS

El potencial de expansión de un suelo puede determinarse mediante los límites de Atterberg y la succión natural del suelo.

Empleando los métodos normales del INV se determinan el Límite Líquido (LL), norma INV E – 125, el Índice de Plasticidad (IP), norma INV E – 126 y la succión del suelo con humedad natural ( $nat \ t$ ), norma INV E – 157.

Tabla 5. Potencial expansivo de los suelos

Grado de Expansión	LL	IP	$\tau_{nat}^{tsf}$ (KPa)
Elevado	> 60	> 35	> 383
Marginal	50-60	25-35	144 - 383
Bajo	< 50	< 25	< 144

Fuente: Tomada de "INVE-132-07". E132-1

Mediante el aparato de expansión desarrollado por Lambe, se puede medir la presión de expansión máxima desarrollada por un espécimen de suelo remoldeado y compactado en laboratorio, bajo condiciones preestablecidas después de 2 horas de inmersión (índice de expansividad), para predecir en forma preliminar su Potencial de Cambio Volumétrico (PCV), norma INV E – 120, así:

Tabla 6. Potencial de cambio volumétrico

PCV	Condición para el Suelo
< 2	No crítica
2 – 4	Marginal
4 – 6	Crítica
> 6	Muy crítica

Fuente: Tomada de “INVE-132-07”. E132-1

El PVC también se puede definir a partir del Índice de Plasticidad y del Límite de Contracción de acuerdo con los valores de la Tabla según **Holtz y Gibs**

Tabla 7. Criterios de Holtz y Gibs

PCV	IP		Límite de Contracción
	Zona Seca	Zona Húmeda	
Bajo	0-15	0-30	>12
Moderado	15-30	30-50	10-12
Alto	> 30	> 50	< 10

Fuente: Tomada de “INVE-132-07”. E132-4

La identificación de arcillas expansivas es en función de diversos factores como el índice plástico y el índice de contracción. Juárez Badillo utiliza como método de identificación de arcillas expansivas el criterio de W. G. Holtz.

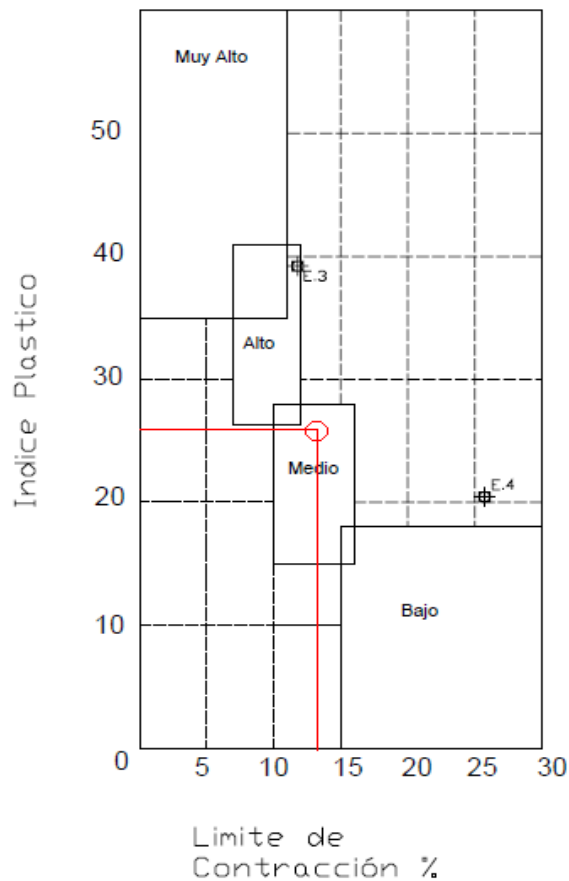
Tabla 8. Pruebas de identificación Criterios de Holtz.

Datos de pruebas de identificación			Expansión probable, cambio volumétrico % (seco a saturado)	Grado de Expansión
contenido coloidal (%<.001mm)	Índice de Plasticidad	Limite de contracción %		
>28	>35	<11	>30	Muy alto
20-31	25-41	7- 12	20-30	Alto
13-23	15-28	10-16	10-20	Medio
<15	<18	>15	<10	Bajo

(Juárez , Rico, 1972, p.404)

Malagon, et al (1980) proponen la siguiente grafica, para determinar el grado de expansión del suelo en función de su índice plástico y límite de contracción.

Figura 6. Grado de expansión por zonas.



Muchos estudios coinciden en que los suelos con índices de plasticidad mayores a 35% y un límite líquido superior a 60% son altamente expansivos, un ejemplo claro se aprecia en las Normas Colombianas Sismoresistentes de 1998 las cuales determinan como identificar los suelos expansivos.

Tabla 9. Evaluación del potencial de expansión de acuerdo con NSR-98

Potencial de expansión	Expansión Consolidómetro (%)	LL (%)	LC (%)	IP (%)	Partículas menores 1 $\mu$ (%)	Expansión libre en probeta (%)
Muy alto	> 30	>63	<10	>32	> 37	>100
Alto	20-30	50-63	6-12	23-45	18-37	>100
Medio	10-20	39-50	8-18	12-34	12-37	50-100
Bajo	< 10	<39	>13	<20	<17	<50

Fuente: Tomada de “Evaluación de Aditivos usados en el tratamiento de arcillas expansivas” (Javier F Camacho, Oscar J Reyes, Catalina Mayorga, Dolly F Méndez. Vol. 16 No 2 Dic. 2006) pg.

47

Como vemos al final del utilizar múltiples criterios y tablas de diferentes estudios y autores, concluimos que tenemos **un suelo arcilloso de media-baja expansividad**, lo que en cierta medida nos priva un poco de lo que visualmente y analíticamente esperábamos en términos de estabilidad volumétrica, pero sigue siendo bueno para comprobar la efectividad de la técnica estabilizadora.

## 1.9 PRODUCTOS EMPLEADOS EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS EXPANSIVOS

Entre los aditivos usados en la estabilización de los suelos se encuentran los siguientes (Sowers, 1994):

- Aditivos que retienen humedad: sales comunes y cloruro de calcio.
- Aditivos resistentes a la humedad: agentes impermeabilizantes resinosos e hidrófugos, materiales bituminosos y asfaltos rebajados.

- Mezcla de suelo-cemento, en la mayoría de los casos se hace con cementos Pórtland.
- Cal y cemento: reacciona con el suelo químicamente permitiendo reacciones puzolánicas.
- Agentes dispersante: entre los cuales se encuentran el silicato de sodio y poli fosfato de sodio que reducen el límite líquido, el índice plástico y la permeabilidad.

En la Tabla 10 se presenta la respuesta de los principales tipos de suelos a la estabilización con diversos aditivos.

Tabla 10.Respuesta a la estabilización de los principales tipos de suelos (Fernández L. C. 1982)

Componente dominante	Estabilizante recomendado	Objetivos
Arenas	Arcilla de baja plasticidad	Para estabilización mecánica
	Cemento Pórtland	Incrementar el peso volumétrico y la cohesión
	Asfaltos	Incrementar la cohesión
Limos	Dependerá del tipo de minerales que contenga.	-----
Alófanos	Cal	Acción puzolánica e incremento en el peso volumétrico
Caolín	Arena	Para estabilización mecánica
	Cemento	Para resistencias tempranas
	Cal	Trabajabilidad y resistencia tardía
Iilita	Cemento	Igual que el caolín
	Cal	Igual que el caolín
Montmorilonita	Cal	Trabajabilidad y resistencia reducción de expansiones y contracciones

Fuente: Tomada de “Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres” (Paul Garnica, Alfonso Pérez, José A Gómez, Edda Y Obil. Publicación técnica No 201 Sanfandalia, Qro, 2002) pg. 10

En lo que sigue se presenta, en forma muy breve, lo más importante sobre el uso de algunos aditivos empleados para la estabilización de suelos.

**1.9.1 Estabilización con productos químicos.** En la actualidad se ha aplicado un gran número de productos químicos con este fin, la mayoría de ellos con resultados satisfactorios. Aunque es poco común, la estabilización con productos ácidos está adquiriendo en la actualidad bastante difusión y experimentación. De los ácidos que han demostrado ser efectivos para modificar favorablemente algunos suelos, algunos son económicamente competitivos contra otros productos más comunes; sin embargo, como en el caso de los otros productos hasta aquí mencionados, se debe contar con la asesoría de especialistas en la materia, tanto durante la etapa de diseño como de construcción de la estabilización, pues en este caso se involucran peligros tanto para las personas como para los equipos.

**1.9.2 Estabilización con sales.** Las sales se forman a partir de la neutralización de un ácido con una base. Las sales normales tales como el cloruro de sodio (NaCl), cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) o cloruro de potasio (KCl) son sales completamente neutralizadas, es decir que no contienen exceso de iones ácidos de hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) ni básicos de hidróxido ( $\text{OH}^-$ ).

Se designan como sales ácidas aquellas que contienen exceso de iones de hidrógeno, como el bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) y a las que contienen exceso de iones hidroxilo se les designa como sales básicas.

En el laboratorio, se han estudiado, un gran número de sales (NaCl,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{BaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ , KCl) pero tanto la economía como su disponibilidad han hecho que solamente se utilicen algunas, siendo las más utilizadas el cloruro de sodio y el cloruro de calcio.

En el presente trabajo se analiza el comportamiento de suelos arcillosos expansivos, utilizando pilotines con cloruro de sodio. Es importante destacar que las sales han sido estudiadas, con fines de estabilización, desde hace varias

décadas, entre las que se pueden citar el cloruro de potasio, el cloruro de magnesio, cloruro de bario, nitrato de sodio, carbonato de sodio, cloruro de calcio, cloruro de sodio, entre otros, sin embargo, solo algunas de ellas, por razones económicas, han podido ser aplicadas a la estabilización de terracerías.

Particularmente, el cloruro de sodio por su bajo costo, es de los que más se han empleado en carreteras, en algunos casos con mayor o menor éxito dependiendo de las condiciones particulares del caso que se trate.

### **1.10 ESTABILIZACION CON CAL**

La cal permite la reducción de límite líquido y el índice plástico, de tal manera que los cambios volumétricos también se disminuyan, así mismo produce reacciones Químicas como intercambio catiónico, reacciones puzolánicas, incrementa la manejabilidad y permeabilidad, mejora las propiedades de resistencia, incrementa el límite de contracción y disminuye el índice plástico al igual que el límite líquido. (Braja, 2001).

Cal y cemento: reacciona con el suelo químicamente permitiendo reacciones puzolánicas.

La cal es uno de los productos más usados y más útiles para la estabilización de suelos, pero este material no es válido para todo tipo de suelo.

Por tanto, lo primero que debemos hacer es investigar de qué se compone nuestro suelo para después cuestionarnos con qué materiales estabilizarlo.

En general los suelos arcillosos de grano fino que exceda del 10 % de plasticidad, son los perfectos para la estabilización con cal.

**1.10.1 La importancia de la cal en la estabilización de suelos.** La cal obra un favorable efecto en el comportamiento de una arcilla plástica, al modificar el valor de sus Límites de Consistencia (Límites de Atterberg). En infinidad de pruebas llevadas a cabo durante el transcurso del tiempo, se ha encontrado que el valor del Límite Plástico de una arcilla plástica tiende a incrementarse cuando dicha arcilla es mezclada con cal. Al producirse dicho incremento en el valor del Límite Plástico, como consecuencia lógica, el Índice Plástico tenderá a disminuir de valor, lo cual a su vez quiere decir que se mejora el comportamiento plástico de la arcilla tratada, para lo fines generalmente buscados en la construcción.

La cal más utilizada para el tratamiento y por tanto estabilización de suelos, es la cal alta en calcio que contiene un máximo de un 5% de óxido o hidróxido de magnesio. Sin embargo también muchas veces se utiliza la cal dolomítica, que tiene entre un 35 y 45% de óxido de magnesio.

Con la cal dolomítica se puede asegurar mejor la estabilización de suelos, aunque la fracción de magnesio reacciona más lentamente que la de calcio.

La cal sola o la combinación con otros materiales, es utilizada en una gama de tipo de suelos. Las propiedades mineralógicas del suelo determinarán su grado de reactividad con la cal y la resistencia final que las capas estabilizadoras desarrollarán.

Aunque hay distintos procesos de aplicación de la cal, lo cierto es que dependiendo del suelo, debe aplicarse una cantidad de cal y de un modo concreto. Por último una de las utilidades más importantes de la cal es para secar los suelos, ya que combinada químicamente con el agua es perfecta para el secado. Además, otras de las ventajas del uso de la cal en la estabilización de suelos, es que ayuda a la compactación.

## 1.11 ESTABILIZACION DE SUELOS CON CLORURO DE SODIO

En lo que respecta a la estabilización de suelos con Cloruro de Sodio se ha discutido mucho en lo concerniente al cambio en el peso volumétrico de una arcilla con la adición de esta sal, en lo que si parece existir un común acuerdo, es en que la adición de sal hace que se disminuya la humedad óptima. Se admite teóricamente que el cloruro de sodio ocasiona que la arcilla se estructure en forma dispersa, produciéndose así un acercamiento entre las partículas y en consecuencia un mayor peso volumétrico (El peso por unidad de volumen o *peso volumétrico*  $g$  es una de las propiedades físicas más importantes de un suelo. Por ejemplo, deberá conocerse para poder calcular la presión de tierra o la producida por sobrecargas.

Por definición:  $Peso\ volumétrico, g = W / V$   
, en la que  $W$  es el peso total del suelo incluyendo el agua y  $V$  es el volumen total).

Al agregar la sal se considera que se reduce la evaporación del agua debido al incremento en la tensión superficial. Sin embargo, cuando la aportación de agua a la superficie expuesta es menor que la evaporación, la superficie se empieza a secar y el cloruro de sodio se cristaliza en la superficie y en los vacíos, lo que puede ayudar a formar una barrera que impedirá posteriores evaporaciones.

Es de suma importancia tener conocimiento de la reacción íntima entre la sal y el suelo, así como la permanencia a través del tiempo de la estabilización lograda y sus efectos colaterales que causaría, en algunos elementos de la estructura.

Se tiene que se ha logrado mayor efectividad y durabilidad de los efectos de la sal a medida que el límite líquido es más alto. Según lo manifiestan algunos

investigadores, la adición de sal en una arcilla produce un decremento en la contracción volumétrica o lineal y estos cambios físicos, la reducción de la variación en la humedad que mantienen más unidas las partículas no arcillosas.

Las técnicas empleadas para la incorporación de sal a un suelo, son generalmente las mismas empleadas en otros tipos de aditivos y varían desde la sofisticada mezcla en plantas con alto grado de control, hasta la simple mezcla en el lugar realizada con el equipo tradicional, y la que se propone en este trabajo, utilizando pilotines.

Ahora bien, la sal se adiciona al agua en pequeños porcentajes, ésta se disuelve rápidamente pero a medida que el porcentaje adicionado va siendo más elevado, la sal se disuelve con más dificultad y se tendrá un cierto porcentaje más allá del cual la sal ya no se disuelve.

En las partículas arcillosas el tipo de intercambio importante es el catiónico es decir, intercambio de iones positivos, debido a que las superficies de las partículas están cargadas negativamente.

Cuando se intente la estabilización con sal deberán tenerse presentes las siguientes limitaciones:

- El cloruro de sodio es muy útil en climas con problemas de congelamiento.
- Se puede esperar un mejor resultado si el suelo contiene material fino que reaccione con la sal.
- La materia orgánica inhibe la acción de la sal.
- El rodillo pata de cabra no ha dado buenos resultados en la compactación de suelos con sal adicionada.
- Es indispensable la intervención de un técnico especializado en todo estudio de estabilización con sal, incluyendo las pruebas correspondientes.

**1.11.1 Comportamiento de suelos estabilizados con cloruro de sodio.** Pocos son los trabajos publicados que presentan en detalle el comportamiento esfuerzo-deformación de suelos estabilizados con cloruro de sodio. Existen varios autores que han estudiado el efecto del cloruro de sodio en las propiedades de los suelos, principalmente en las propiedades físicas y entre las principales observaciones podemos citar las siguientes:

- a. El peso volumétrico seco y la resistencia a la compresión se incrementan al adicionar cloruro de sodio hasta en un 3%. El límite líquido y el índice plástico se reducen al adicionar cloruro de sodio (Ogawa et al, 1963).
- b. La cohesión y el ángulo de fricción interna parecen disminuir al adicionar cloruro de sodio y en especímenes en los que no se permita la pérdida de humedad. Parece que si se permite el secado antes de ensayar los especímenes tanto la cohesión como el ángulo de fricción aumentan de manera importante (Ogura & Uto, 1963).
- c. Las partículas de roca caliza parecen ser solubles a soluciones de cloruro de sodio (Wood, 1969).
- d. La capacidad de retención de humedad aumenta en los suelos tratados con cloruro de sodio (Marks et al 1970).

A partir de la revisión en la literatura se parece evidenciar, en todo caso, que existen suelos que al parecer no responden a la estabilización con cloruro de sodio.

## **2. PROCEDIMIENTO GENERAL (EJECUCION DE ENSAYOS)**

En este proyecto se pretende conocer las características del suelo arcilloso expansivo, antes y después de ser sometido al método o a la técnica de pilotines con cal y sal (NaCl), lo que en teoría le dará características químicas más favorables para uso en ingeniería. Se busco un suelo tipo “arcilla expansiva” obtenido del municipio de Barrancabermeja Santander, el cual fue trasladado hasta la ciudad de Bucaramanga a las instalaciones de la universidad industrial de Santander UIS, lugar donde fue estudiado en condiciones similares a las reales, para obtener su caracterización. Después mediante un proceso establecido se aplicaron las técnicas de estabilización con cal y sal, a partir de estos resultados hallados en el laboratorio con los diversos ensayos, se estableció las nuevas propiedades adquiridas por el suelo.

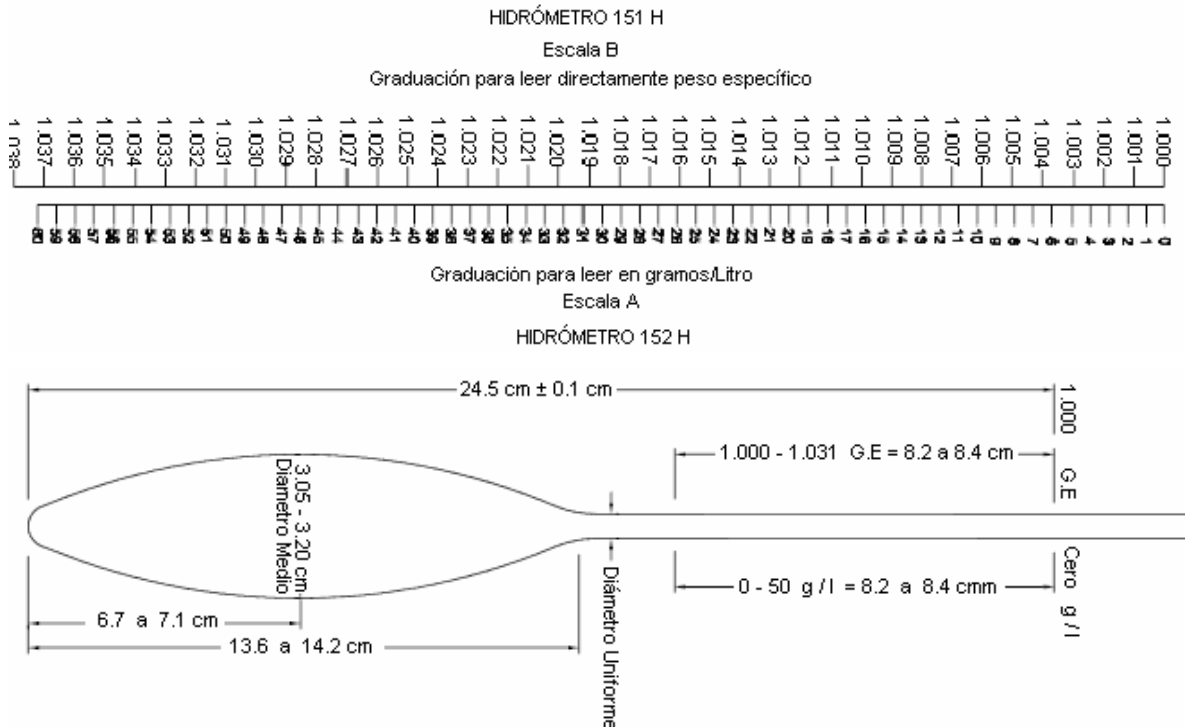
Así pues, se realizo un paralelo de “antes de” y “después de”, obteniendo tanto conclusiones y por ende aportes en el desarrollo de el tema, que como en todo proyecto u investigación son el fin propio.

### **2.1 CARACTERIZACION DEL SUELO**

Se realizaron ensayos para estudiar la variación de algunas propiedades físicas del material que son afectadas por la sustancia adicionada y que sirven de indicador de la naturaleza expansiva del material resultante. En este capítulo se presentan los resultados correspondientes a los ensayos de límite líquido (LL) y e índice de plasticidad (IP). La ventaja de estos ensayos de caracterización es que son sencillos y económicos de realizar.

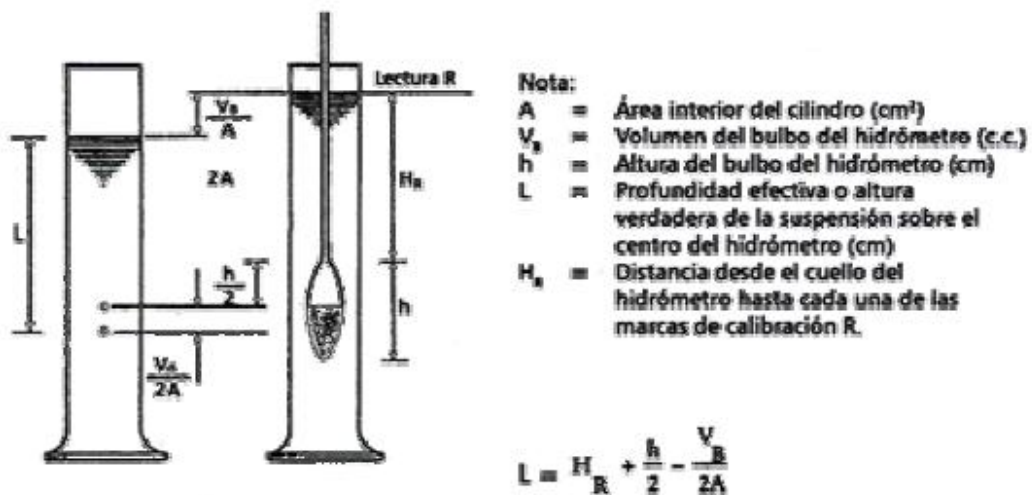
### 2.1.1 Granulometría por hidrómetro (I.N.V.E-124-07)

Figura 7. Hidrómetro 152 H



Fuente: Tomada de "INVE-124-07". E124-7

Figura 8. Dimensionamiento granulometría por hidrómetro



Fuente: Tomada de "INVE-124-07". E124-9

El tipo de hidrómetro utilizado fue el 152 H

## CÁLCULOS

- Lectura de hidrómetro corregida:

$$R = R' + Cm$$

- Cálculo del diámetro de las partículas (D):

$$D = \sqrt{\left[ \frac{30\eta}{981 (G_s - 1)\gamma_w} \right] \times \frac{L}{T}}$$

El diámetro de las partículas de suelo en suspensión en el momento de realizar cada lectura de hidrómetro se puede calcular también con la fórmula siguiente:

$$D (mm) = K \sqrt{\frac{L}{T}}$$

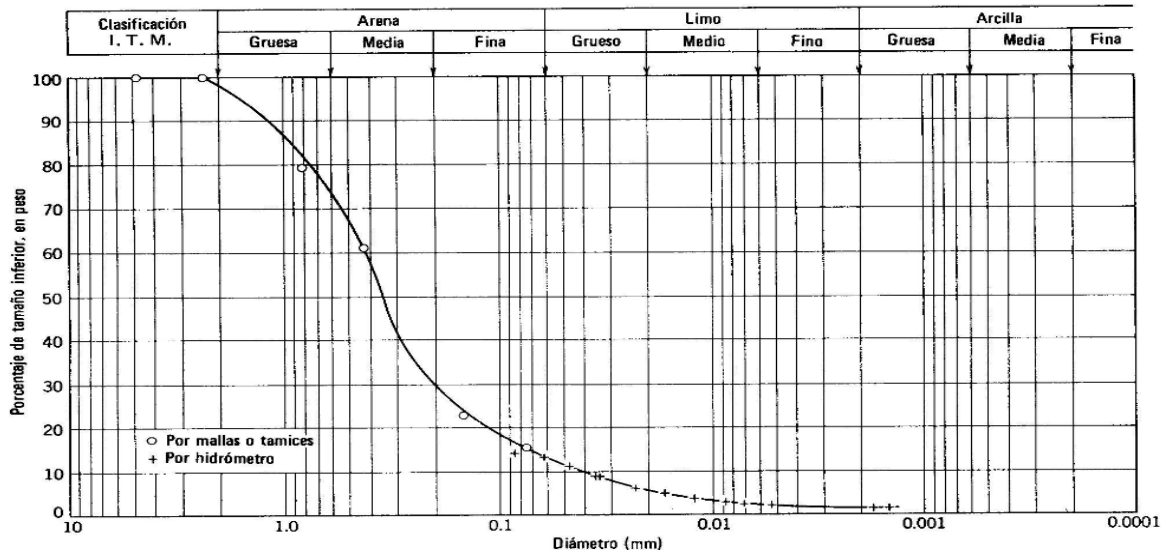
- Cálculo del porcentaje más fino al tamaño “D” o Porcentaje de suelo en Suspensión:

*Para hidrómetros 152 H*

$$\% \text{ más fino} = \frac{R_{\text{corregida}} \times \alpha}{W_o} \times 100$$

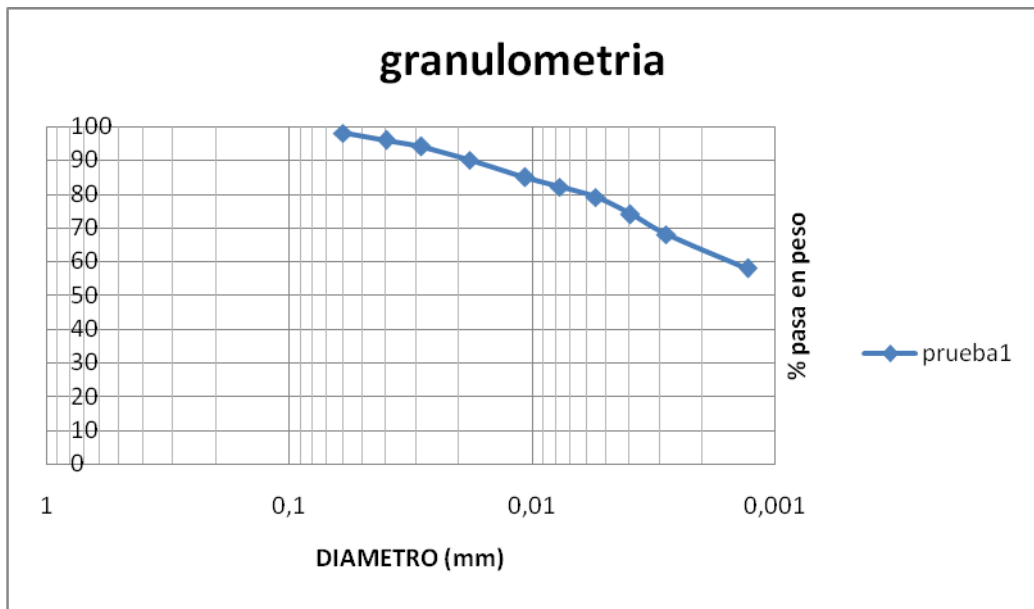
$$\alpha = \frac{2.6500 - 1.000}{2.6500} \times \frac{G_s}{G_s - 1.000}$$

Figura 9. Curva granulométrica

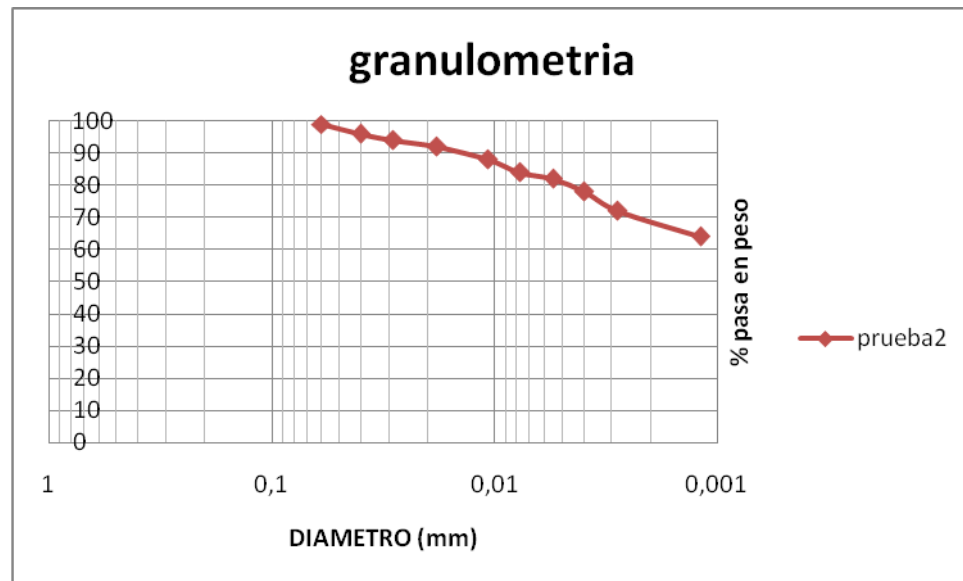


Se realizaron dos ensayos de granulometría por hidrómetro arrojando como resultados para la prueba 1, con porcentaje de arena del 1%, un 37 % material que es superior 0.002 mm en lo que a su diámetro refiere, y el 62 % restante inferior a 0.002mm. El suelo se cataloga dentro del cuadro de texturas como suelo arcilloso.

Grafica1. Resultado curva granulométrica prueba1



Grafica 2. Resultado curva granulométrica prueba2



Para la prueba 2, el 1% es arena, 66 % de las partículas del suelo es inferior 0.002 mm(arcilla) , 33 % restante superior a 0.002 mm (limo), suelo arcilloso es el resultado de este ensayo de granulometría por hidrómetro, esto sujeto al margen de error presente en el mismo, en donde existen muchas variables y se puede incurrir en errores fácilmente.

GRANULOMETRIA	% ARENAS	% LIMOS	%FINOS
PRUEBA 1	1%	37	62
PRUEBA2	1%	33	66

Se encontró que el suelo presenta un alto porcentaje de arcilla, tal como era de preverse lo que sin duda alguna dará la base en términos de resultados para seguir adelante con la investigación. Se realizaron 2 pruebas para tener seguridad en términos de resultados ya que no es un secreto que el ensayo demanda mucha precisión y muchos factores que fácilmente hubiesen podido alterar el mismo. Se siguió paso a paso lo indicado en la norma I.N.V.E 124-07.

Figura 10. Prueba de Granulometría por hidrómetro



Fuente: Tomadas por los autores

**2.1.2 Limite líquido (I.N.V.E 125-07).** El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico.

Figura 11. Prueba Límite líquido



Fuente: Tomadas por los autores

## CÁLCULOS

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Masa del agua}}{\text{Masa del suelo secado al horno}} \times 100$$

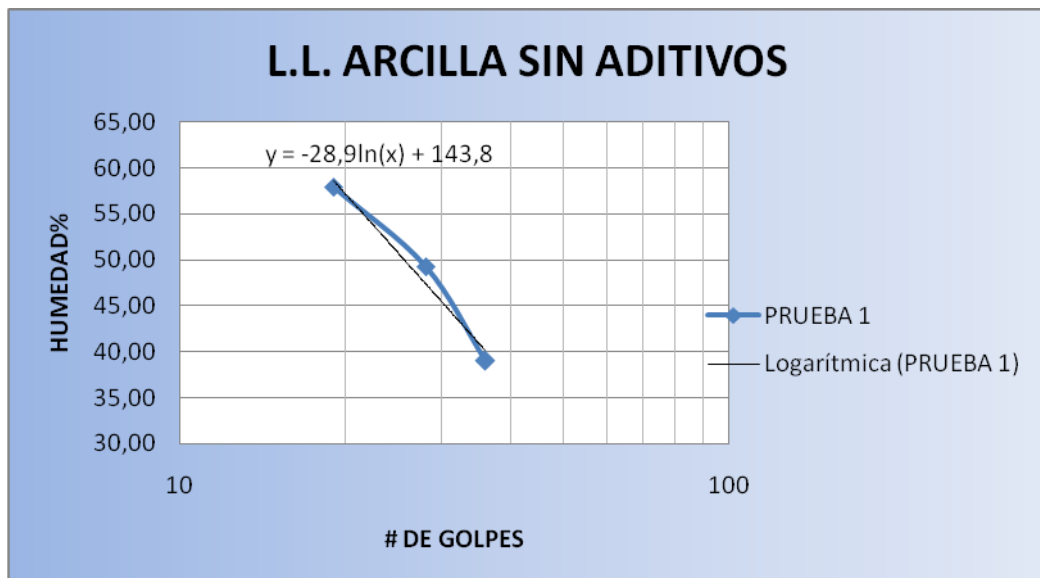
- Preparación de la curva de fluidez
- Límite Líquido

El contenido de humedad correspondiente a la intersección de la curva de flujo con la ordenada de 25 golpes se toma como Límite Líquido del suelo y se aproxima este valor al número entero más cercano.

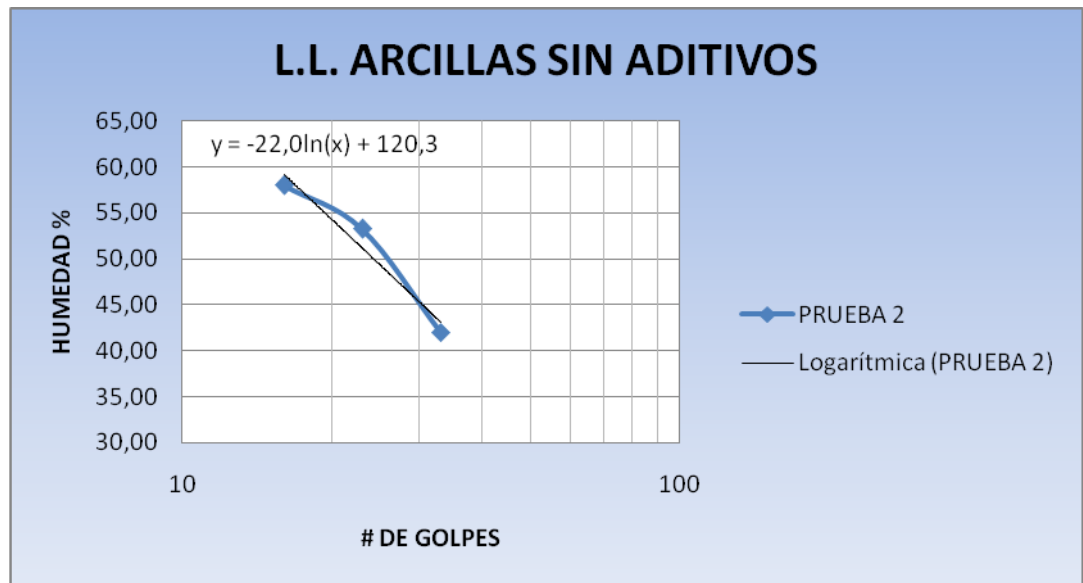
Se realizaron \_\_ pruebas obteniéndose:

LIMITES LIQUIDOS	%
PRUEBA1	55
PRUEBA2	53

Grafica 3. L.L. prueba 1



Grafica 4. L.L. prueba 2



Las pruebas para determinar el limite liquido dio resultados de % considerable, de término medio en lo que se refiere a su clasificación o ubicación en los criterios de expansión, tal como se aprecia anteriormente en las tablas de detección de suelos expansivos.

El resultado es de casi 55% de límite líquido, lo que hasta el momento indicaría un buen síntoma para efectos del objetivo deseado en la investigación.

**2.1.3 Limite plástico (I.N.V.E 126-07).** El límite plástico de un suelo es el contenido más bajo de agua, determinado por este procedimiento, en el cual el suelo permanece en estado plástico.

### CÁLCULOS

$$L.P = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de suelo seco al horno}} \times 100$$

Se registra el Limite Plástico, aproximado al número entero más cercano.

Figura 12. Prueba limite plástico



Fuente: Tomadas por los autores

Se realizaron dos pruebas obteniéndose los siguientes resultados:

LIMITES PLASTICOS	%
PARA PRUEBA 1	26,97
PARA PRUEBA 2	26,1

**2.1.4 Índice de plasticidad.** El índice de plasticidad de un suelo es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el material está en un estado plástico.

Se puede definir el Índice de Plasticidad (IP) de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$\text{Índice de Plasticidad} = \text{Límite Líquido} - \text{Límite Plástico}$$

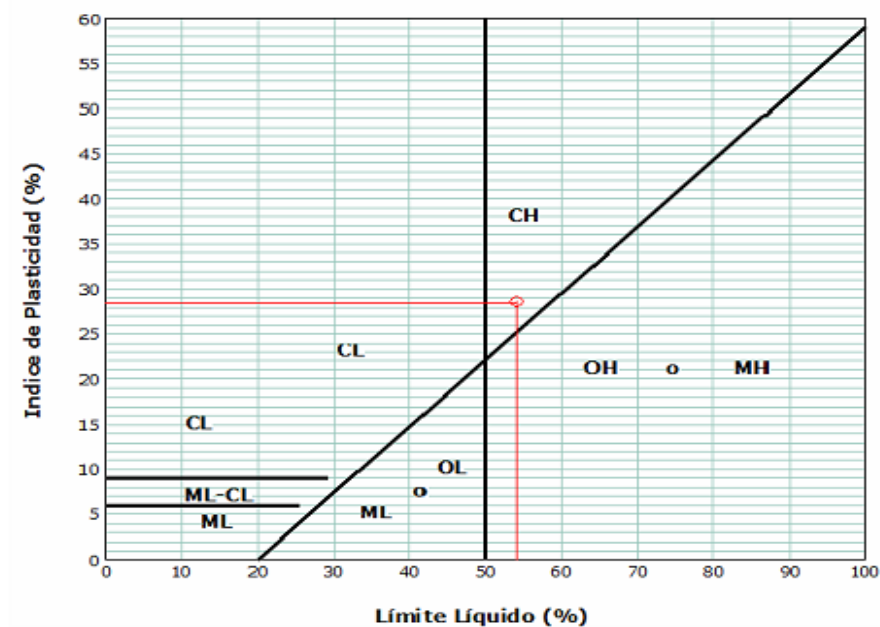
Para las pruebas realizadas se obtuvieron como resultados los siguientes índices de plasticidad:

INDICE DE PLASTICIDAD	RESULTADO
PRUEBA 1	28,03
PRUEBA 2	27

Estos resultados son propios de un suelo medianamente expansivo, lo que podemos corroborar en las tablas de clasificación para suelos que presentan esta característica y están expuestas en los apartados anteriores.

El límite plástico en las diferentes pruebas arroja un resultado de 27%, lo que consecuentemente permite sacar el índice de plasticidad, que para la arcilla sola (sin aditivos) es de 28, situación que en las tablas de clasificación para suelos expansivos, ubica el suelo estudiado en un término medio-bajo. Se estima que los suelos con potencial expansivo deben estar o tener un índice de plasticidad superior a 35, el rango de 25-35 es catalogado como término medio, los I.P. inferiores a 25 son considerados de bajo potencial de expansión. Teniendo conocimiento ya de estos resultados de estas pruebas, el panorama muestra los primeros indicios, resultados y análisis del suelo, que en este punto lo clasifican como una arcilla expansiva de baja-media capacidad de expansión.

Figura 13. Ubicación del suelo investigado dentro de la carta de plasticidad



Fuente: Tomada de "Determinación de los módulos elástico, plástico y de rotura" (Pérez y Pachón. 2003)

**2.1.5 Limite de contracción.** Se supone normalmente que el término límite de contracción en porcentaje, expresado como un contenido de agua, representa la cantidad de agua necesaria para llenar los vacíos de un suelo cohesivo dado, cuando se halle en su relación de vacíos más baja, obtenido ese valor por secado (generalmente en el horno). Así, el concepto del límite de contracción se puede emplear para evaluar el potencial de contracción, es decir, la posibilidad que se desarrollen grietas en obras que incluyen suelos cohesivos.

### CÁLCULO DEL CONTENIDO DE AGUA

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \times 100$$

### CÁLCULO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN

El límite de contracción de un suelo se define como el contenido máximo de agua, por debajo del cual una reducción de la cantidad de agua, no causa una disminución de volumen de la muestra de suelo, pero al cual un aumento en el contenido de agua sí produce un aumento en el volumen de la masa de suelo.

$$LC = w - \frac{(V - V_0) \gamma_w}{W_0} \times 100$$

### CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE CONTRACCIÓN

$$R = \frac{W_0}{V_0}$$

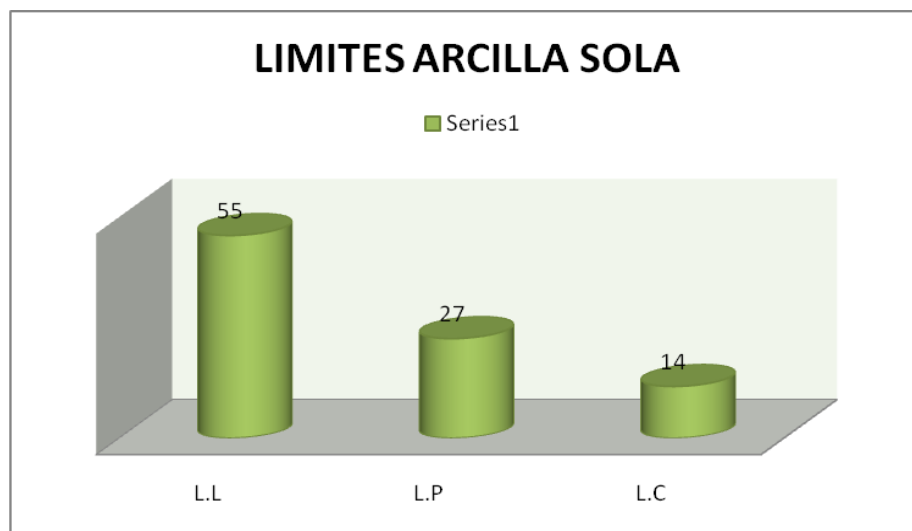
Se realizaron dos pruebas de limite de contraccion :

LIMITE DE CONTRACCION	%
PRUEBA1	13,26
PRUEBA2	13,89

El suelo presenta limite de contraccion que según las tablas de clasificacion para suelos expansivos lo ubicaria dentro de los suelos con expansion baja-media.

A continuacion se presenta la grafica representativa sobre la caracterizacion de la arcilla sin ningun aditivo,obtenida de los limites de Attemberg.

Grafica 5. Limites de Attemberg Arcilla sin aditivos prueba1



En la grafica 5 se muestran los resultados de la caracterización de la arcilla sola sin agentes estabilizadores, estos resultados son coherentes y propios de un suelo con características expansivas entre los rangos medio y bajo. Los datos son recopilados en base a múltiples pruebas realizadas en las instalaciones de la universidad industrial de Santander.

**2.1.6 Gravedad específica.** Es la relación entre la masa de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada y la masa del mismo volumen de agua destilada y libre de gas, a la misma temperatura.

### CÁLCULOS

Las siguientes cantidades se obtienen por pesada directa.

a) Masa del picnómetro + agua + sólidos a la temperatura del ensayo =  $W_b$  (g).

b) Masa suelo seco =  $W_s$  (g).

La gravedad específica de los sólidos se calcula con tres decimales, mediante la siguiente fórmula:

$$G_{s\ 20^{\circ}C} = \frac{W_s \times K}{W_s + W_b - W_a}$$

El resultado de este ensayo es que el suelo presenta una gravedad específica de

**$G_s = 2,62$**

Figura 14. Prueba gravedad específica



Fuente: Tomadas por los autores

Tabla 11. Ensayo de gravedad específica

<b>ENSAYO GRAVEDAD ESPECIFICA</b>	
Peso Arcilla (gr)	100
Peso Picnómetro (gr)	918,1
Peso Picnómetro (gr) + Peso Agua (gr)	1953,1
Peso Picnómetro (gr) + Peso Arcilla (gr)	1018,1
Peso Picnómetro (gr) + Peso Arcilla (gr) + Peso Agua (gr)	2053,1
(Peso Picnómetro (gr) + Peso Arcilla (gr) + Peso Agua (gr))*	2014,87

\*después de sacar los vacíos

Gs =	2,62
------	------

**2.1.7 Humedad natural.** Este método cubre la determinación de laboratorio del contenido de agua (Humedad) de suelo, roca, y mezclas de suelo-agregado por peso.

### CÁLCULOS

Se calcula el contenido de agua del material así:

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Tabla 12. Ensayo de humedad natural

<b>HUMEDAD NATURAL</b>	
w= contenido de agua %	34,01
W1= masa del recipiente y del espécimen húmedo gr	65,45
W2= masa del recipiente y del espécimen seco gr	51,6
Wc= masa del recipiente gr	10,88

Se encontró una humedad natural del 34%.

Esta propiedad física del suelo es de gran utilidad en todas los ensayos posteriores para determinar las propiedades y características expansivas de nuestra muestra, se obtiene de una manera sencilla, pues el comportamiento y la resistencia de los suelos en la construcción están regidos, por la cantidad de agua que contienen. El contenido de humedad de un suelo es la relación del cociente del peso de las partículas sólidas y el peso del agua que guarda, esto se expresa en términos de porcentaje.

## **2.2 ENSAYOS DE EXPANSION**

Se realizaron dos tipos de ensayo para determinar las características expansivas del material: Ensayo de Presión de Expansión y el ensayo de expansión en consolidometro. El ensayo de presión de expansión (PE) tiene como objetivo determinar la presión de expansión que una muestra de suelo es capaz de ejercer cuando es sumergida en agua, la prueba tiene una duración de dos horas y se requiere de un anillo de carga y de una cámara muy semejante a las que se usan en el ensayo de consolidación.

**2.2.1 Expansión en consolidometro (I.N.V.E 132-07).** La finalidad del ensayo es determinar en primera instancia el porcentaje de expansión libre que presenta la muestra, evaluar las condiciones de la misma frente a diferentes cargas, determinar la velocidad y grado de asentamiento que experimento la muestra de suelo arcilloso, al ser saturado y sometido a incrementos de presión o carga.

El fenómeno de consolidación, se origina debido a que si un suelo parcial o totalmente saturado se carga, en un comienzo el agua existente en los poros absorberá parte de dicha carga puesto que esta es incompresible, pero con el transcurso del tiempo, escurrirá y el suelo irá absorbiendo esa carga paulatinamente. Este proceso de transferencia de carga, origina cambios de volumen en la masa de suelo, iguales al volumen de agua drenada. En suelos

granulares, la reducción del volumen de vacíos se produce casi instantáneamente cuando se aplica la carga, sin embargo en suelos arcillosos tomará mayor tiempo, dependiendo de factores como el grado de saturación, el coeficiente de permeabilidad, la longitud de la trayectoria que tenga que recorrer el fluido expulsado, las condiciones de drenaje y la magnitud de la sobre carga.

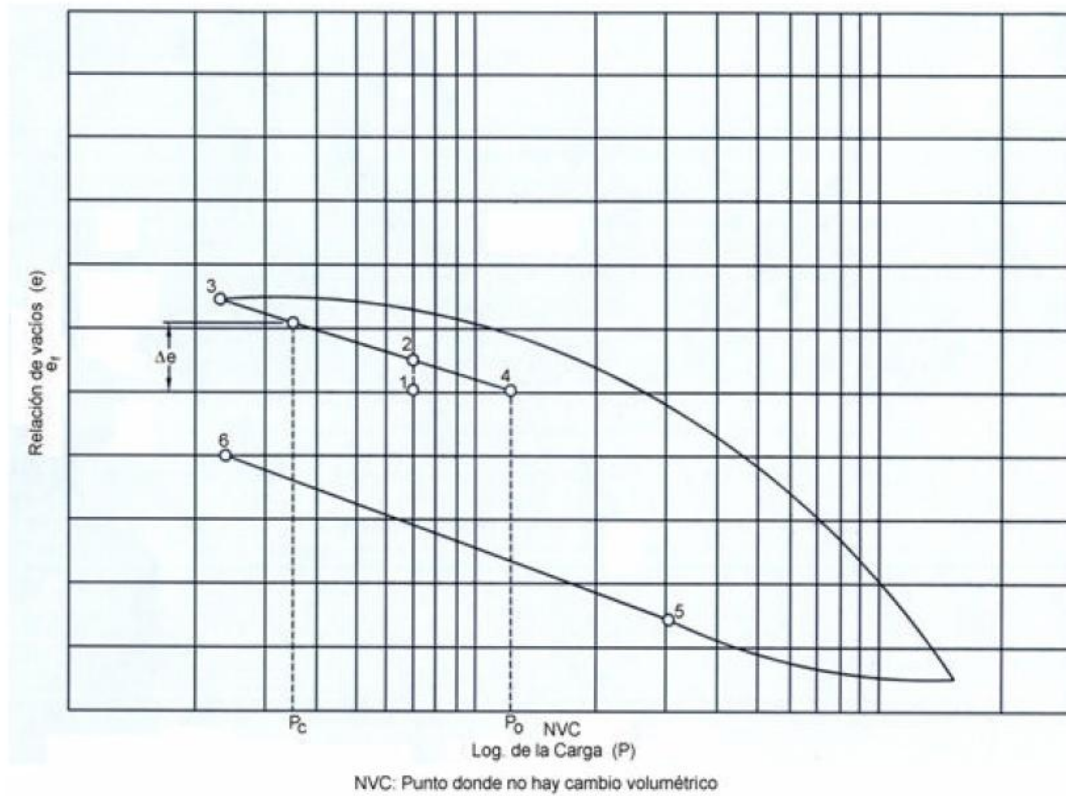
*Ensayo de expansión con sobrecarga: Procedimiento de predicción.*

Este procedimiento de carga hace retornar la muestra, en cuanto es posible, a la relación de vacíos de campo real y a la condición en el terreno, ya que la extrusión permite que las muestras inalteradas reboten inmediatamente en forma elástica. Las condiciones reales en el terreno están definidas por el punto (1) de la Figura 15. En seguida se inunda la muestra y se le deja alcanzar equilibrio como se indicó anteriormente. Esta condición se define, entonces, con el punto (2) en la misma figura. La muestra se descarga luego mediante las disminuciones de carga normalmente empleadas en el laboratorio, hasta la presión deseada, obteniéndose en esta forma una curva de expansión desde el punto (2) hasta el (3). A partir de este último punto, se prosigue con un ensayo normal de consolidación con rebote (Ver norma INV E-151).

Las curvas de carga -expansión forman aproximadamente líneas rectas en un gráfico semilogarítmico. La presión que no implica cambio de volumen, se determina entonces extrapolando las curvas de expansión entre los puntos 2 y 3, hasta intersectar la relación de vacíos en el terreno ( $e_f$ ), representada por el punto (4). Esta última se determina en la siguiente forma:

$$e_f = \frac{\text{Humedad en campo} \times \text{Gravedad específica}}{\% \text{ de Saturación}} = \frac{\% w \times G_s}{\% S}$$

Figura 15. Relación de vacíos VS Logaritmo de carga



Fuente: Tomada de "INVE-132-07". E132-6

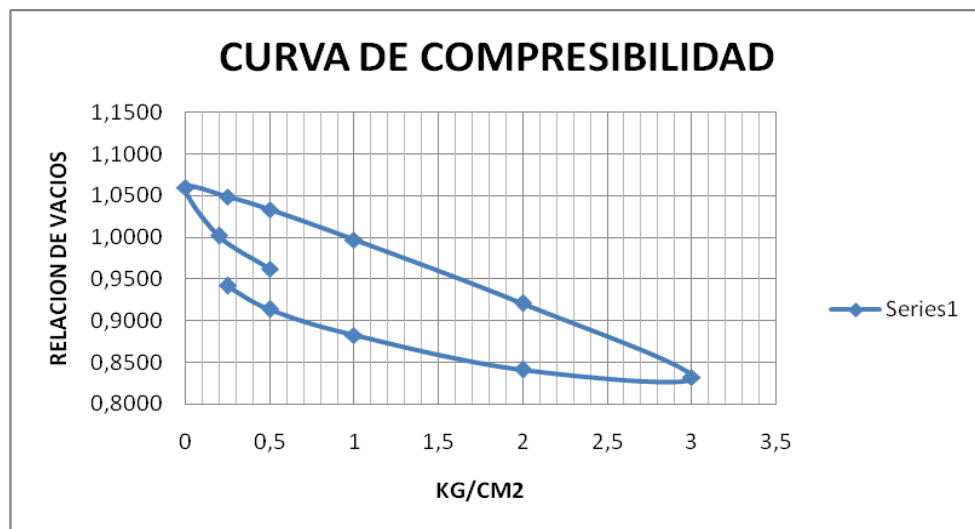
Como resultados de las pruebas realizadas se obtuvo:

EXP. EN CONSOLIDOMETRO	EXP.LIBRE %	CONSOLIDACION %	RECUPERACION%
PRUEBA 1	4,98	6,63	5,61
PREUBA 2	4,9	6,55	5,31

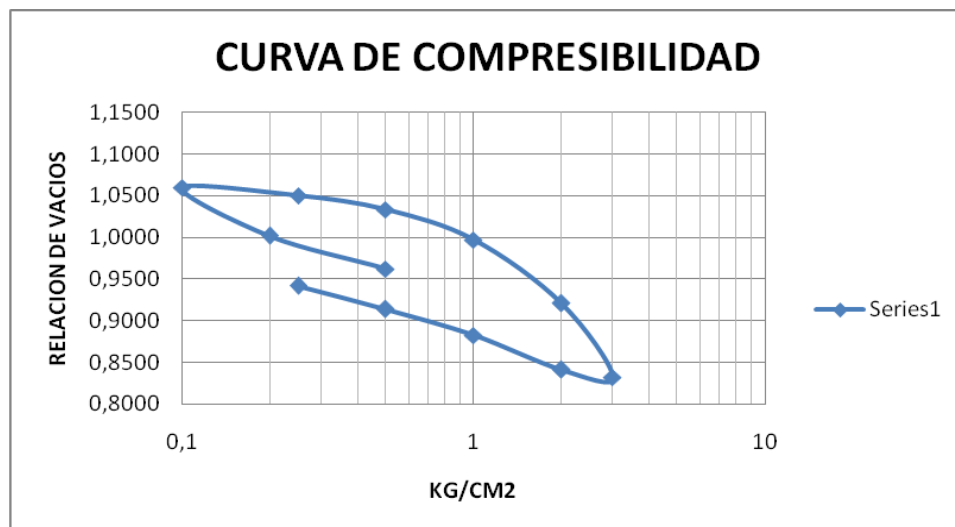
*Prueba 1:* Exp Libre = 4.98%, una compresión máxima de 6.63%, y una recuperación en el rebote del 1.02 % para recuperar su volumen inicial. En términos de milímetros la expansión de la probeta que en su estado inicial es de 20 mm, tras realizar el proceso de expansión libre alcanza los 20.99 mm, en el proceso de carga se comprime hasta 18.67 mm, y en el proceso de descarga o rebote alcanza a recuperarse hasta los 19.79 mm.

*Prueba 2:* Exp Libre = 4.90%, una compresión máxima de 6.55%, y una recuperación en el rebote del 1.24 % para recuperar su volumen inicial. En términos de milímetros la expansión de la probeta que en su estado inicial es de 20.00 mm, tras realizar el proceso de expansión libre alcanza los 20.90 mm, en el proceso de carga se comprime hasta 18.69 mm, y en el proceso de descarga o rebote alcanza a recuperarse hasta los 19.75 mm.

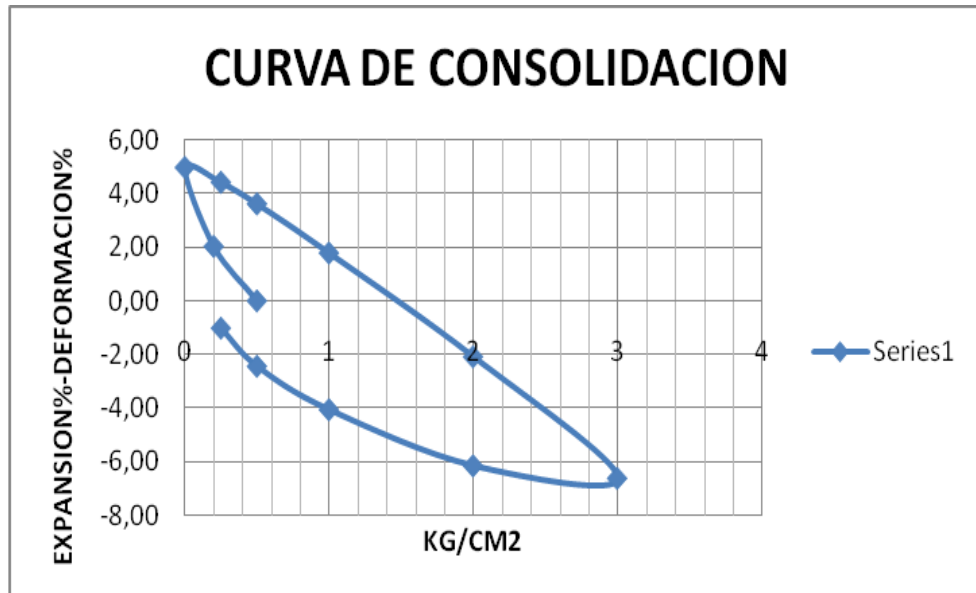
Grafica 6. Curva de compresibilidad .



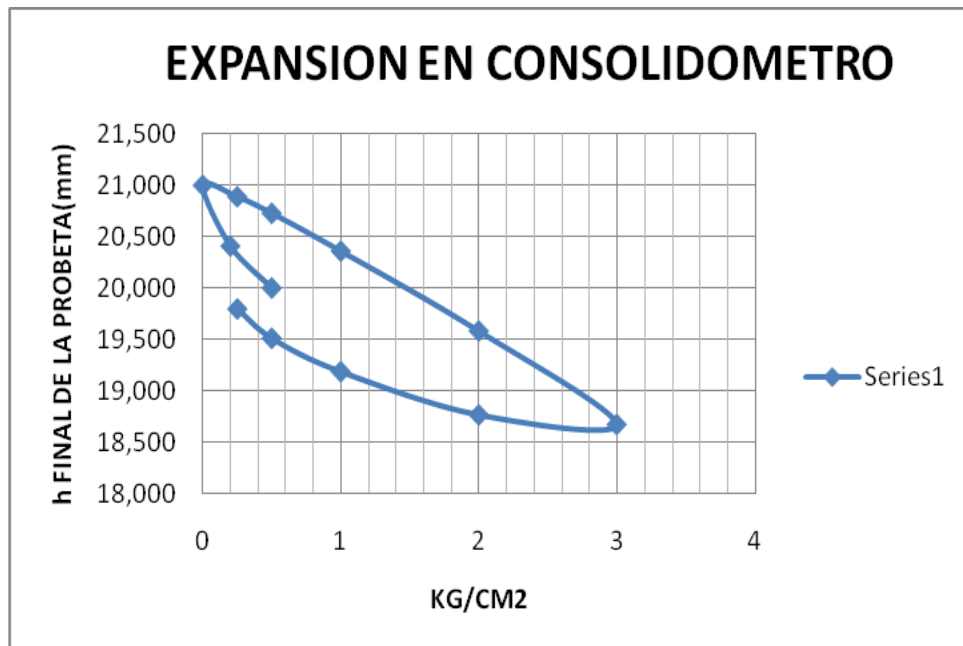
Grafica 7. Curva de compresibilidad escala logaritmica .



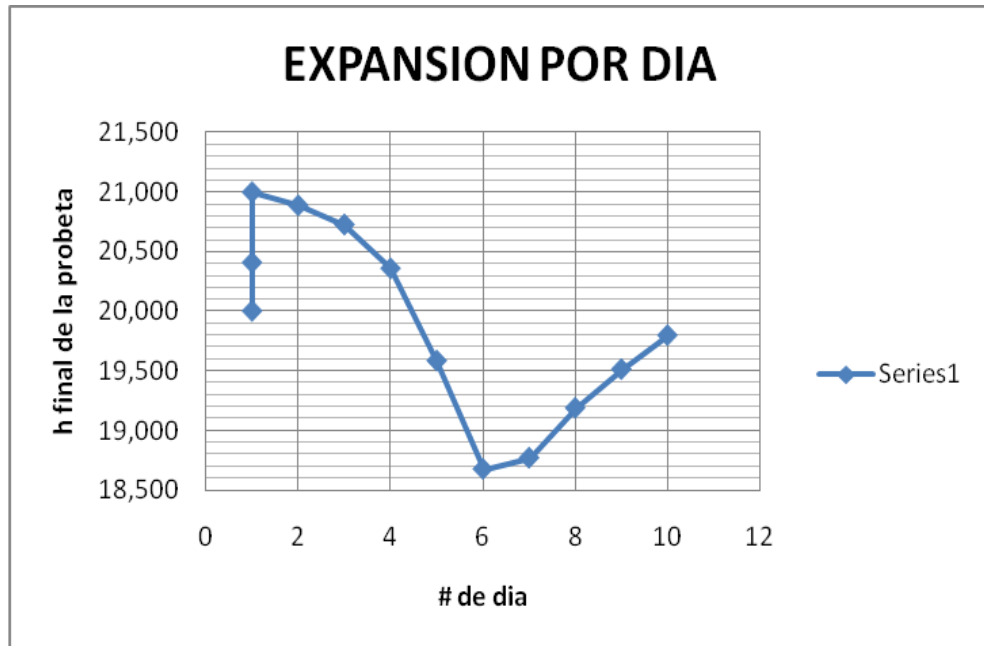
Grafica 8. Curva de consolidacion



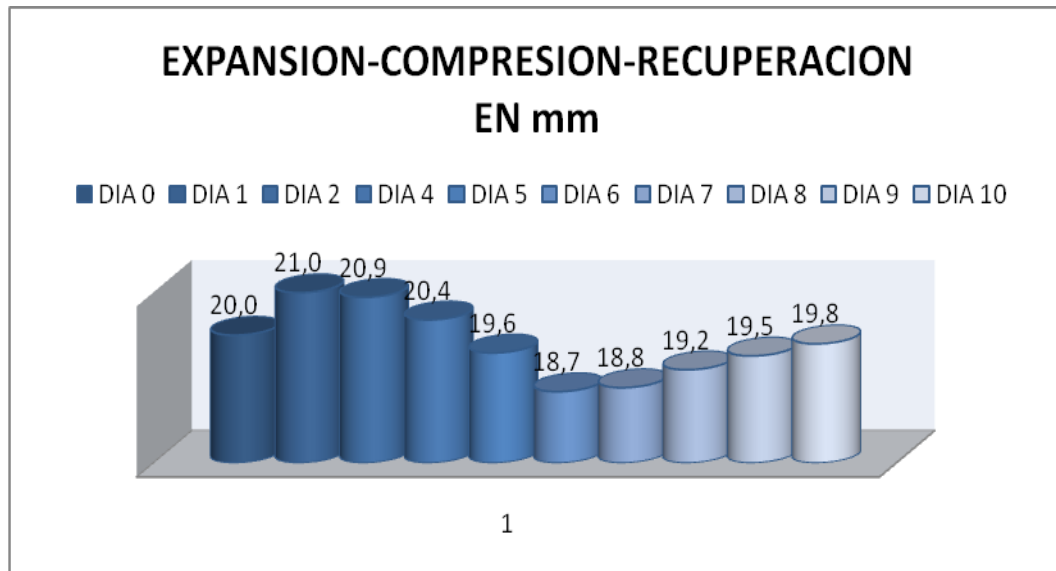
Grafica 9. Altura de la probeta



Grafica 10. Expansion por dia



Grafica 11. Expansion-consolidacion diaria



Como se observa en la curva, la expansión libre, que comprende la primera parte del ensayo, marca que la muestra presenta expansión libre del orden del 5%, lo que no es un porcentaje tan elevado, pero no deja de ser importante.

Además de esto el ensayo de expansión en consolidometro deja ver el comportamiento del suelo en condiciones críticas de humedad a través del tiempo aplicando cargas progresivas mostrando la deformación del mismo y también en el proceso inverso, que es retirarlas de forma secuencial y progresiva para apreciar su capacidad de recuperación.

En primera instancia se tiene una sobrecarga existente para simular las condiciones reales del terreno, en este caso se ha supuesto una sobrecarga de  $0.5\text{kg/cm}^2$ , se empieza a saturar y desde ahí empieza lo que se conoce como expansión libre en probeta, se hace una descarga cronológica y paulatina hasta llegar a tener la muestra totalmente descargada y siempre saturada, al cabo de 24 horas se toma la lectura final de la expansión libre, ahí se prosigue con un ensayo de consolidación con rebote normal para ver así la capacidad de el suelo de recuperar su estado original; se empieza a cargar con  $.025$ ,  $0.5$ ,  $1$   $2$  y  $3\text{ kg/cm}^2$  (se logra en este punto y como es obvio, la menor relación de vacíos registrada en la prueba, el menor espesor de la galleta y la mayor deformación o consolidación).

Seguidamente se empieza la etapa de rebote en un proceso regresivo en donde en primera instancia se vuelve a tener una carga de  $2\text{ kg/cm}^2$ , de  $1$ , de  $0.5$  de  $0.25$ , es de anotar que la muestra presenta una buena recuperación, no llegando a estar de vuelta en los valores iniciales pero si mostrando una curva de expansión en el rebote más que importante.

El porcentaje inicial de expansión, es decir lo que se denomina expansión libre es del 5%, y el porcentaje máximo de consolidación es del 7%, en términos de mm, la probeta de esta pruebas es de  $20\text{ mm}$ , llega casi hasta  $21$  en la expansión libre,

en el proceso de carga que es de 5 días llega a estar en algo más de 18.5 mm, en la curva de recuperación posterior , en los posteriores 4 días se recupera hasta los 19.75 mm, como se puede apreciar en las graficas.

Figura 16. Prueba de expansión en consolidometro



Fuente: Tomadas por los autores

**2.2.2 Presión de expansión.** Se describe un método para la identificación rápida de suelos que puedan presentar problemas de expansión, es decir de cambio de volumen, como consecuencia de variaciones en su contenido de humedad.

El método consiste en valorar la expansión que experimenta una probeta de suelo compactado, en unas condiciones de humedad establecidas.

A estos efectos, el cambio de volumen potencial de un suelo queda comprendido dentro de uno de los cuatro grupos siguientes:

- No crítico
- Marginal
- Crítico
- Muy crítico

La pertenencia a uno u otro grupo, se deduce mediante el Índice de Hinchamiento, que se define como la presión necesaria para reducir el hinchamiento de la muestra a un valor muy pequeño en las condiciones que se fijan más adelante. Esa magnitud y las condiciones iniciales de humedad del suelo ensayado, permiten determinar el cambio de volumen potencial (PVC).

## CÁLCULOS

- Índice de hinchamiento: El índice de hinchamiento es el cociente entre el valor de la fuerza calculada anteriormente, expresada en N, y la sección de la probeta, expresada en mm<sup>2</sup>. El índice de hinchamiento se expresa en MPa.

**Nota** 1 MPa = 1 N/mm<sup>2</sup>

1 MPa = 10,197162 kp/cm<sup>2</sup>

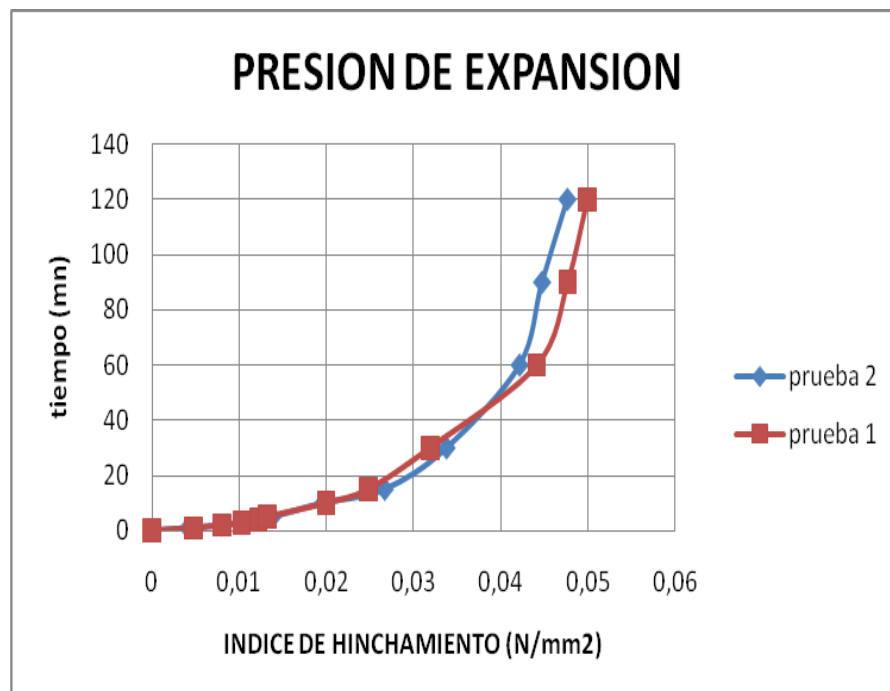
- Obtención del cambio de volumen potencial (PVC):

Una vez determinado el valor del índice de hinchamiento, se entra en la curva correspondiente del gráfico de la Figura 17, de acuerdo con las condiciones iniciales de humedad del suelo ensayado, y se lee en el eje de abscisas el valor del cambio de volumen potencial (PVC), expresándose éste como: No crítico, Marginal, Crítico o Muy Crítico.

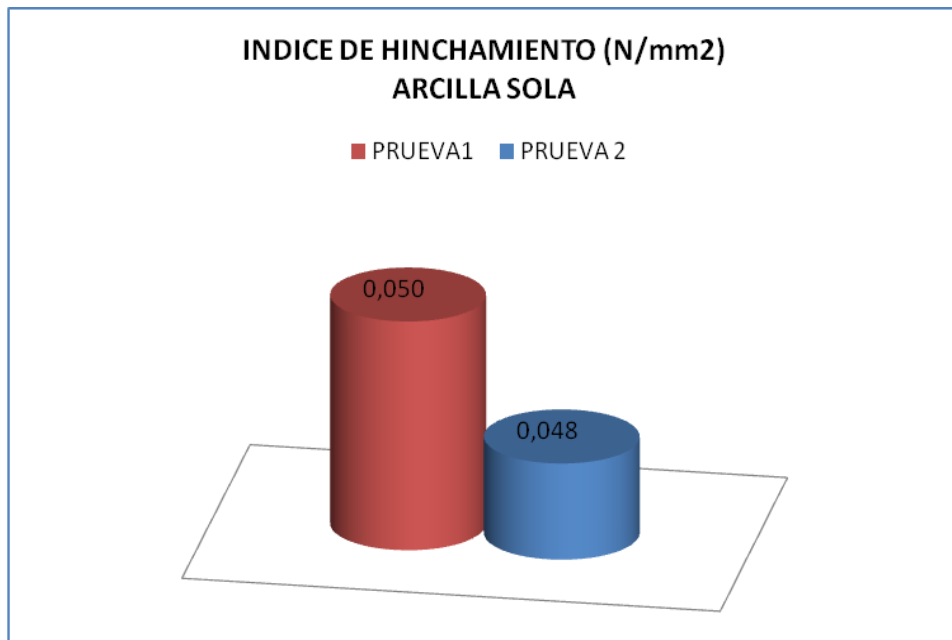
Se llevaron a cabo 2 pruebas de presión de expansión para una probeta de suelo sin aditivos, llegando a los siguientes resultados:

PRESION DE EXPANSION	KG/CM2	N/mm2
PRUEBA 1	0,5	0,051
PRUEBA2	0,48	0,048

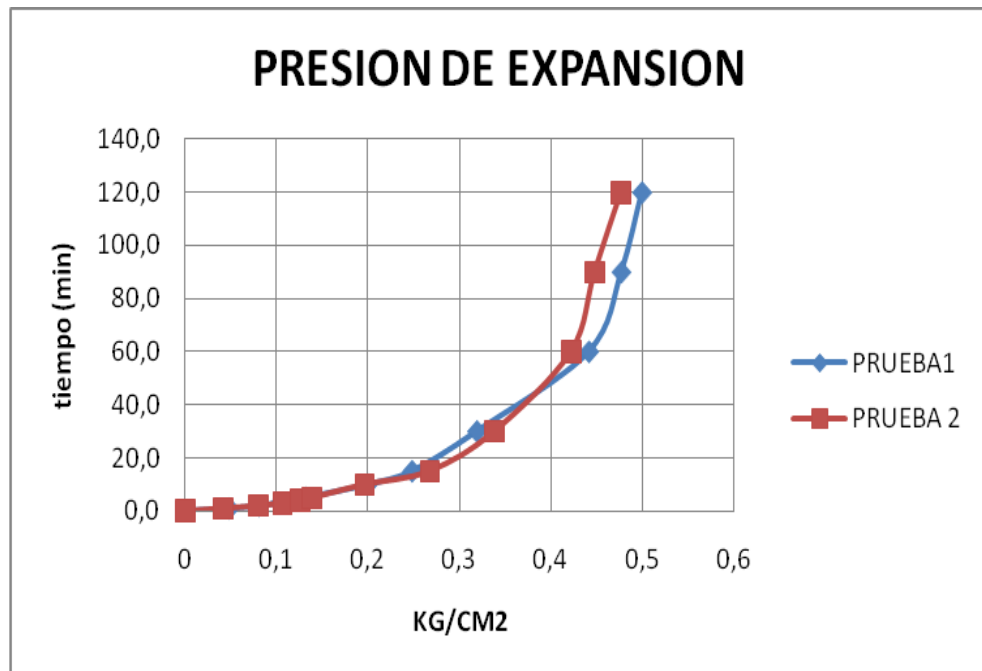
Grafica 12. Indice de Hinchamiento vs tiempo



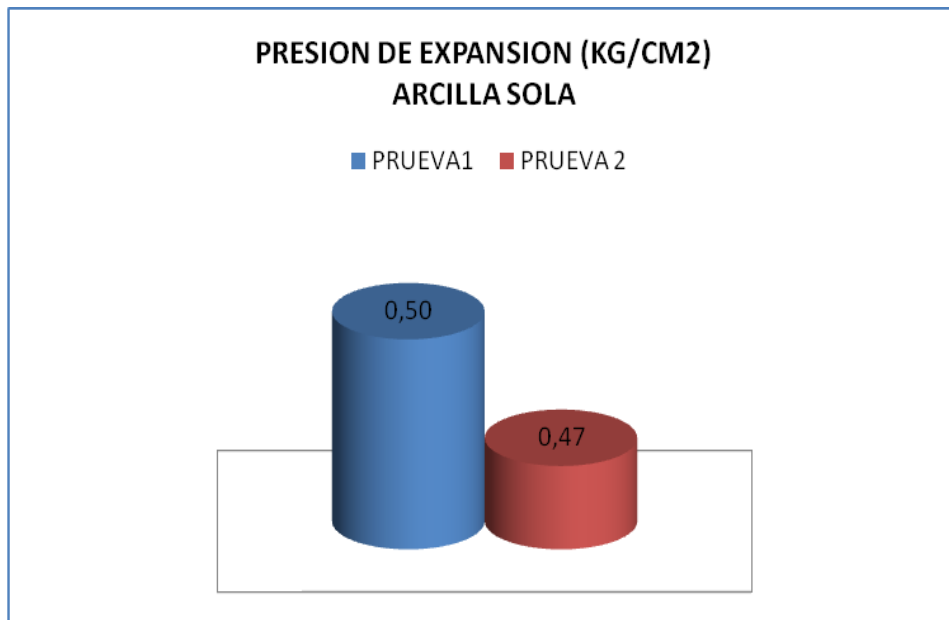
Grafica 13. Indices de hinchamiento arcilla sin aditivos.



Grafica 14. Presion de expansion-Arcillas sin aditivos



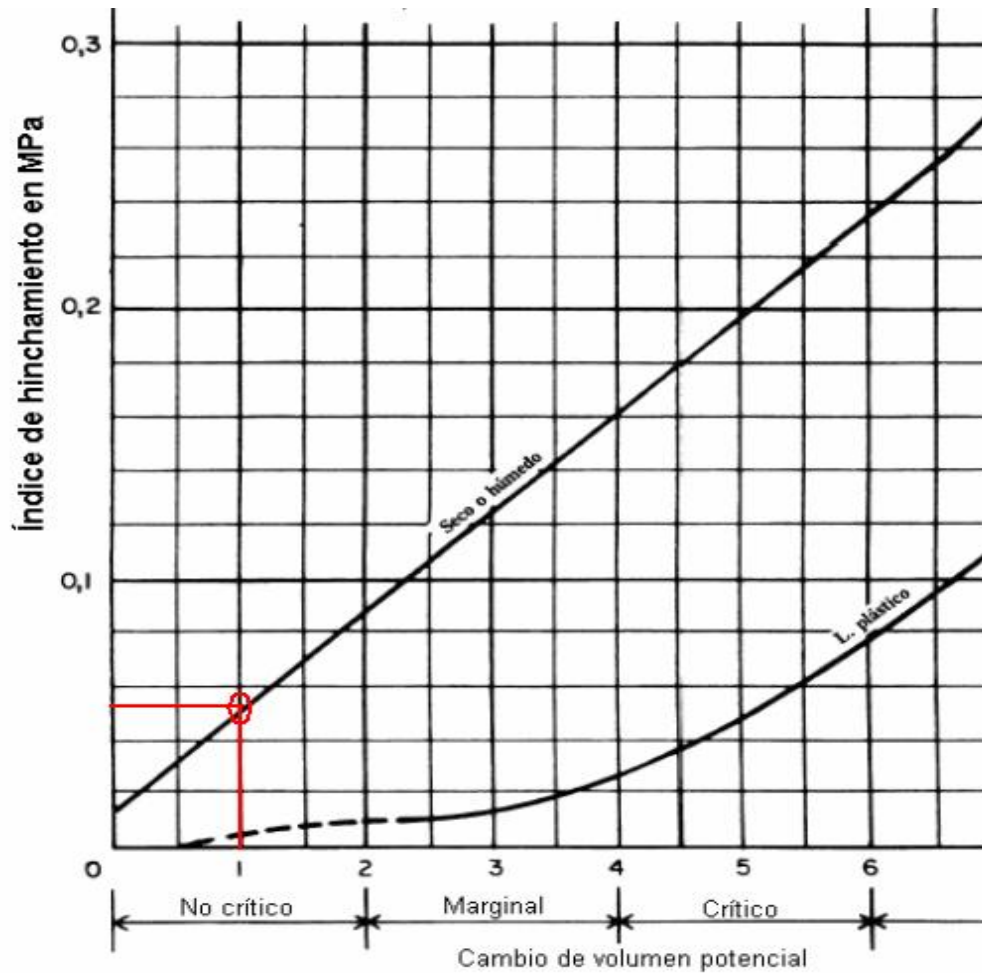
Grafica 15. Presion de expansion –Arcilla sin aditivos.



El ensayo de presión de expansión, arrojó resultados de índice de hinchamiento no tan altos, pero de igual forma considerables y a tener en cuenta. El suelo en un estado crítico de saturación adquiere presiones del orden de 0.5 kg/cm<sup>2</sup> o lo que es igual, 5 ton/m<sup>2</sup>. Como podemos ver esta presión no es grande en términos de expansión pero igual es una fuerza que podría ocasionar daños en cierto tipo de edificaciones.

Estos resultados permite afirmar casi que con gran certeza, que según dichas presiones de expansión, el suelo estudiado tiene propiedades de expansión bajas, al ingresar a la grafica de índice de hinchamiento, el cambio de potencial de volumen se clasifica en el rango de no crítico, para pasar al rango de marginal es necesario un índice de hinchamiento superior a 0.1 MPa.

Figura 17. Curva para determinar el PVC de expansión (según Lambe)



Fuente: Tomada de "INVE-132-07". E132-3

El potencial de cambio volumétrico según la figura 17 es "NO CRITICO", aunque cabe recordar que al entrar con cualquier valor a la grafica, ya se trata de suelos con características expansivas. Para estar catalogado en un rango 'CRITICO', el suelo debe presentar presión de expansión superior a 1.6 kg/cm<sup>2</sup>.

Figura 18. Maquina utilizada para Prueba de presión de expansión



Fuente: Tomadas por los autores

### 2.3 CARACTERIZACION Y PRUEBAS DE EXPANSION DEL SUELO CON ADITIVOS

Las muestras utilizadas en esta investigación, estaban contenidas en cajas de 40\*40\*40 cm, con sellamiento en 5 de sus 6 caras, lo que obligaba a la muestra en términos de expansión a hacerlo por el sitio más fácil y obvio, que era la cara superior de las cajas. Se calculo el volumen de cada uno de los pilotines, los cuales fueron ejecutados con un diámetro de  $\frac{1}{2}$ ', con profundidad de 30 cm (longitud efectiva de la broca del taladro utilizado para su realización), teniendo ya este valor simplemente se procedía a multiplicar por el numero de pilotines

presentes en cada caja-muestra y con ello se obtuvo el volumen total de agente estabilizante utilizado por caja. Del mismo modo se calculo el volumen efectivo de arcilla a estabilizar, el área de influencia por nombrarlo de algún modo, y se comparaba con la cantidad total de cal o sal para obtener así el porcentaje presente de estos últimos.

El volumen de un pilotín es de 38cm<sup>3</sup>, el volumen de 5 pilotines es de 190 cm<sup>3</sup>, el de 8 pilotines es de 304cm<sup>3</sup>.

El área efectiva comprende la zona sobre la cual va a estar colocado el peso representativo de una zapata a escala, esta zona es de 13\*13\*39 cm que es igual a 6591 CM<sup>3</sup>.

El porcentaje de cal o sal presente en las muestras con 5 pilotines es de 3%, y el de la muestra presente con 8 pilotines es de aproximadamente el 5%. Entonces Con base en esto se procedía a preparar muestra para realizar las pruebas de caracterización con aditivos, necesarias para nuestra investigación.

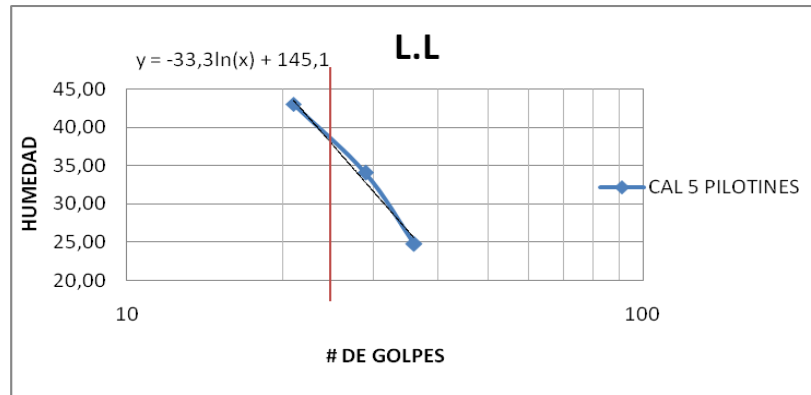
### 2.3.1 Limites de Attemberg (con el aditivo “cal”)

#### 2.3.1.1 Con cal para 5 pilotines

Se obtuvieron los siguientes resultados:

LIM. DE ATTEMBERG CAL 5 PILOTINES	L.L %	L.P %	I.P
PRUEBA 1	37.50	28,14	9

Grafica 16. L.L. para el % correspondiente 5 pilotines con CAL



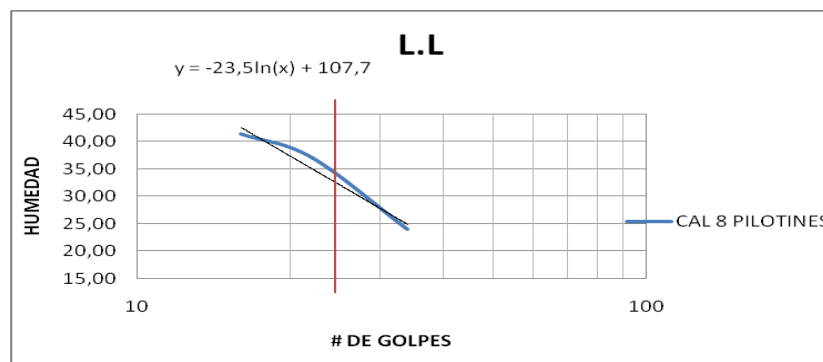
Como se puede apreciar el límite líquido de esta muestra representativa para la caja de cal con 5 pilotines, es de 37.5%, reduciéndose un poco más del 32% respecto al límite líquido obtenido para la arcilla sola.

### 2.3.1.2 Con cal para 8 pilotines

Se obtuvieron los siguientes resultados:

LIM. DE ATTEMBERG CAL 8 PILOTINES	L.L %	L.P %	I.P
PRUEBA 1	35,75	29	7

Grafica 17. L.L. para % correspondiente 8 pilotines con CAL



El L.L. es de 35.75%, esto es una reducción del 35% respecto al límite líquido de la arcilla sola. El límite plástico es del 29%, lo que nos da como resultado para esta muestra un índice de plasticidad de 7%. Se presentan condiciones mejores en términos de estabilidad en primera instancia.

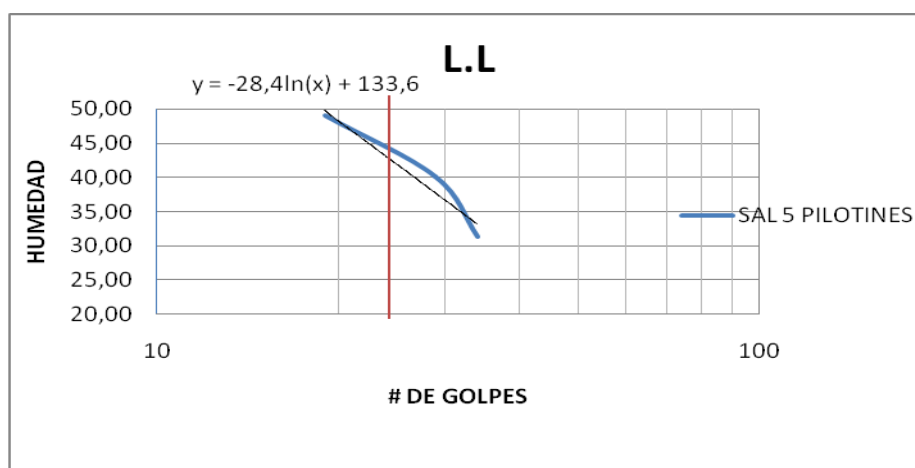
### 2.3.2 Límites de Attemberg (con el aditivo “sal”)

#### 2.3.2.1 Con sal para 5 pilotines

Se obtuvieron los siguientes resultados:

LIM. DE ATTEMBERG SAL 5 PILOTINES	L.L %	L.P %	I.P
PRUEBA 1	44	26,47	17.53

Grafica 18. L.L. para el % correspondiente 5 pilotines con sal



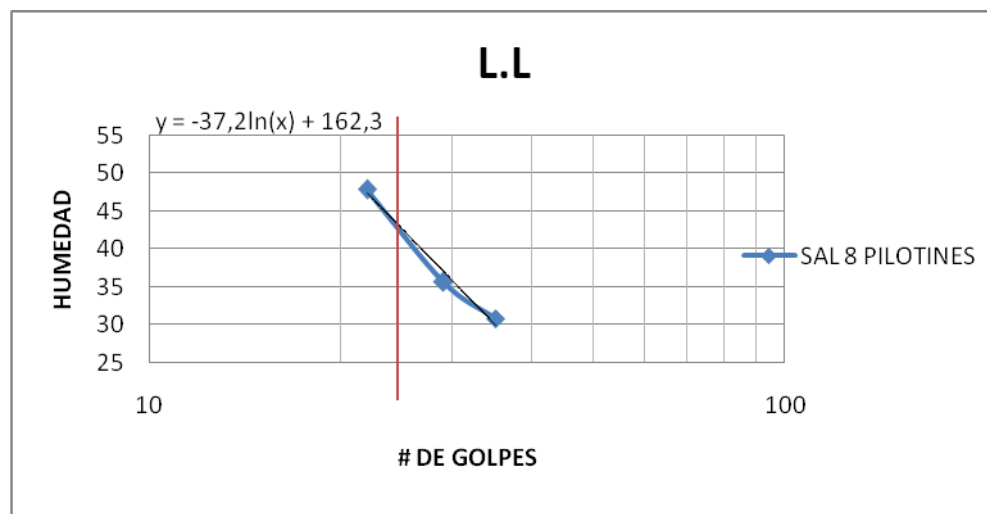
El límite líquido fue del 44%, para una reducción del 20 % en el L.L. respecto a las condiciones iniciales del suelo. El límite plástico para esta muestra es del 26,5% para un índice de plasticidad del 18%.

### 2.3.2.2 Con sal para 8 pilotines

Se obtuvieron los siguientes resultados:

LIM. DE ATTEMBERG SAL 8 PILOTINES	L.L %	L.P %	I.P
PRUEBA 1	42	27,54	14,46

Grafica 19. L.L. para el % correspondiente 8 pilotines con sal



En esta prueba el límite líquido es del 42%, lo que en principio no es una variación tan grande como sucedió con la cal, aunque indudablemente mostro resultados aceptables en cuanto a lo que nuestra investigación refiere. El límite plástico fue del 27.54% para un índice de plasticidad del 15%.

Se realizaron los ensayos de límites líquidos y límites plásticos para cada una de las condiciones a evaluar en las cajas de prueba en la investigación, los límites de la arcilla con cal tuvieron una disminución mucho más marcada tal como era esperado, los límites de la arcilla con sal no presentaron porcentajes tan bajos, llevando a pensar que se tiene un mejor desempeño de la arcilla con pilotes de cal en condiciones extremas de saturación.

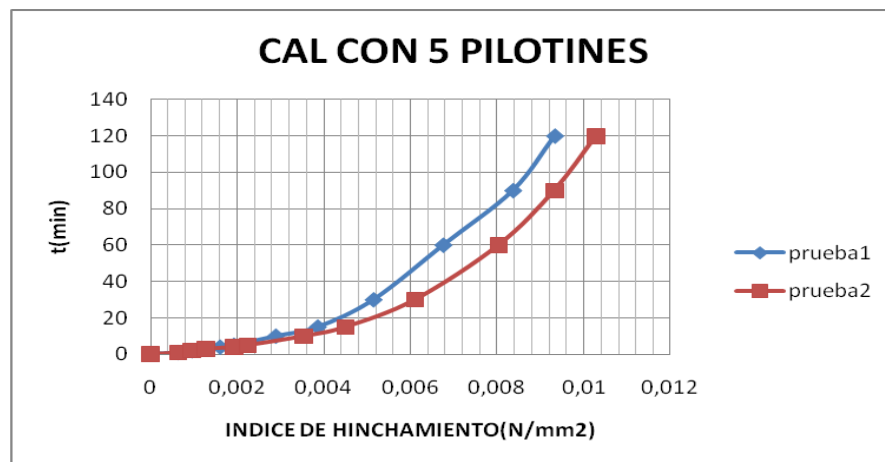
Se realizaron estos ensayos de caracterización tomando como base una relación simple entre la cantidad de cal o sal utilizada en los diferentes casos, se calculó el porcentaje que se requirió para conformar los pilotes teniendo en cuenta su volumen frente al volumen de la arcilla “efectiva”.

## 2.4 ENSAYOS DE PRESION DE EXPANSION CON ADITIVOS

**2.4.1 Presión de expansión para cal con 5 pilotines.** Las presiones de expansión obtenidas en las pruebas realizadas fueron las siguientes:

PRESION DE EXPANSION CAL 5 PILOTINES	KG/CM2	N/mm2
PRUEBA 1	0,093	0,009
PRUEBA2	0,1	0,01

Grafica 20. Índice de hinchamiento 5 pilotines con cal



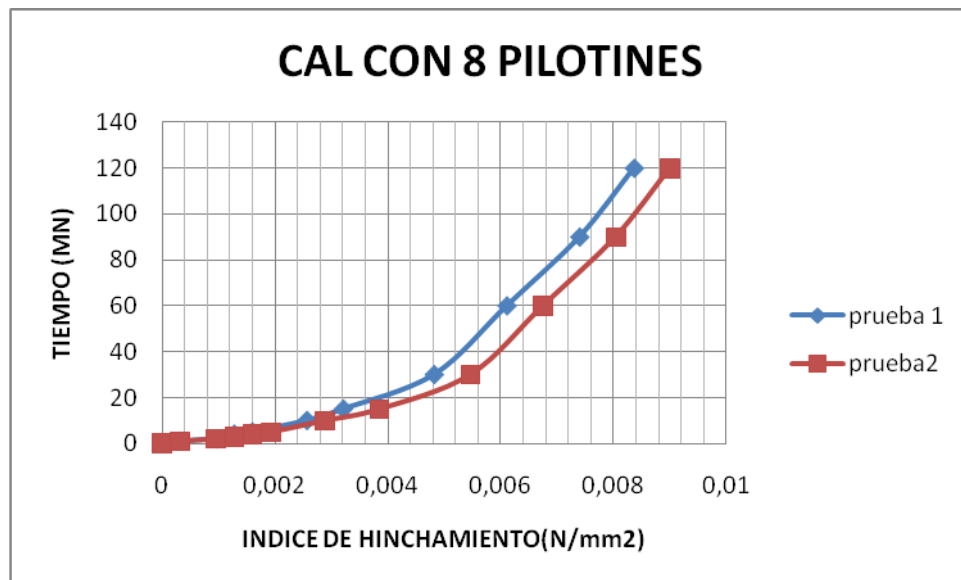
La presión de expansión se disminuye para la muestra estabilizada hasta 0.01 MPA, o lo que es lo mismo 0.1 kg/cm<sup>2</sup>. Esta reducción es muy significativa teniendo en cuenta que la presión de expansión para la arcilla sola es de 0.05 MPA, la reducción es del 79% en términos de expansión.

Se realizaron dos pruebas con el porcentaje equivalente a la cal con 5 pilotines, las cuales arrojaron valores muy parecidos. Las graficas muestran como la variación en las muestras compactadas para el mismo porcentaje es casi nula, lo que es lógico y evidente en este tipo de ensayos en donde se trabaja con la mayor precisión posible.

**2.4.2 Presión de expansión para cal con 8 pilotines.** Las presiones de expansión obtenidas en las pruebas realizadas fueron las siguientes:

PRESION DE EXPANSION CAL 8 PILOTINES	KG/CM2	N/mm2
PRUEBA 1	0,083	0,008
PRUEBA2	0,089	0,009

Grafica 21. Índice de hinchamiento 8 pilotines con cal



La presión de expansión para la cal con 8 pilotines es de 0.09 kg/cm<sup>2</sup> y el índice de hinchamiento de 0.009 MPA, se presenta una reducción del 82% en términos de expansión. Resultado muy optimo en la búsqueda de la disminución en el cambio volumétrico del suelo.

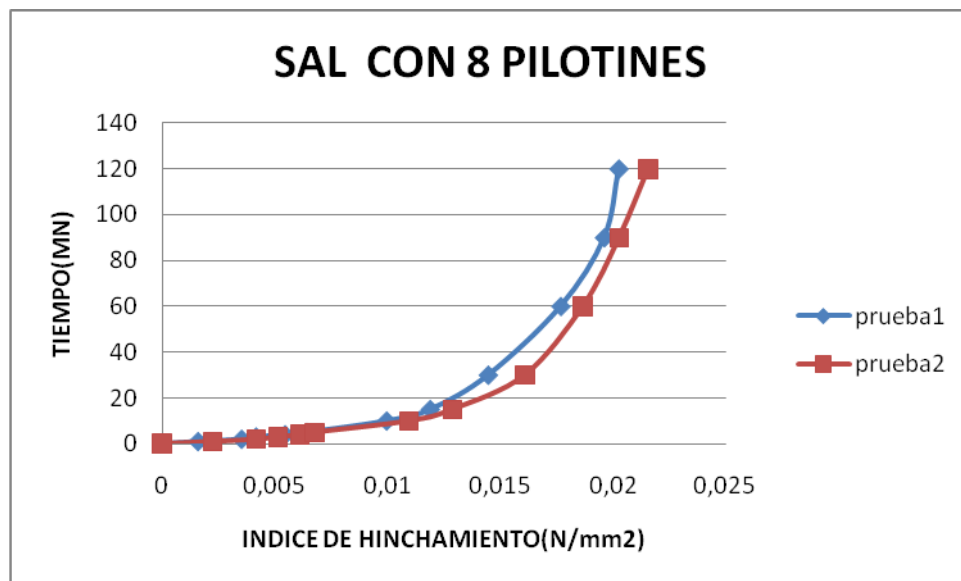
Los ensayos de presión de expansión para la cal marcaron una disminución muy notable en lo que refiere al índice de hinchamiento, volviéndolo casi nulo, como lo podemos apreciar en los resultados arrojados en la probeta utilizada para el %

equivalente de la caja de 8 pilotines con cal, de igual forma aunque un poco menos marcada sucedió para la prueba de cal con 5 pilotines.

**2.4.3 Presión de expansión para sal con 8 pilotines.** Las presiones de expansión obtenidas en las pruebas realizadas fueron las siguientes:

PRESION DE EXPANSION SAL 8 PILOTINES	KG/CM2	N/mm2
PRUEBA 1	0,202	0,02
PRUEBA2	0,214	0,021

Grafica 22. Índice de hinchamiento 8 pilotines con sal

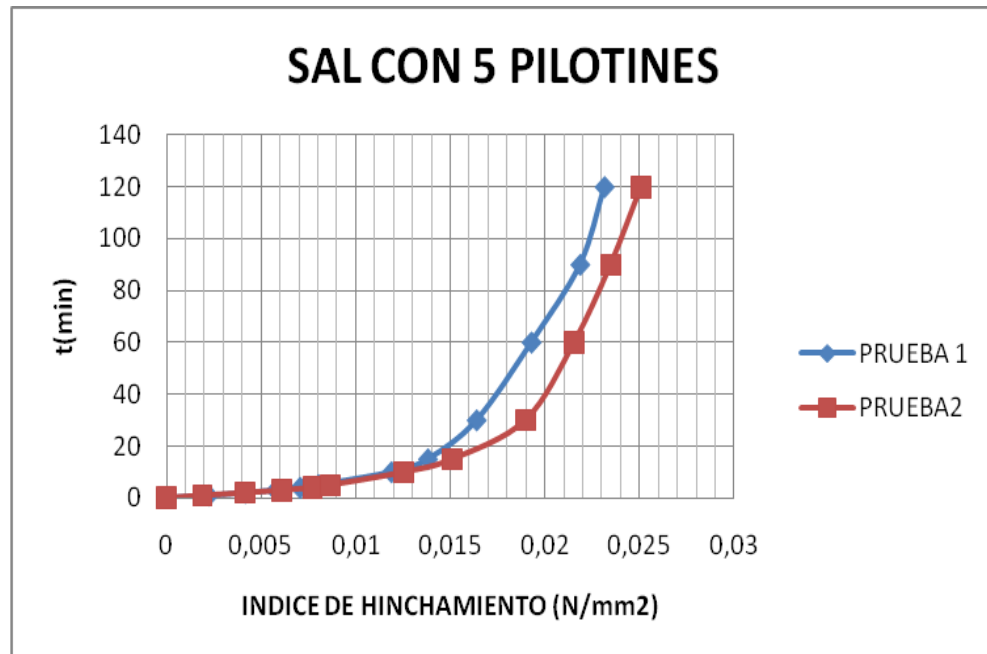


Las pruebas de presión de expansión para el % correspondiente a sal con 8 pilotines es de 0.02 MPA o lo que es igual a 0.2 kg/cm<sup>2</sup>, como se ve la reducción es menos significativa que con la cal, el porcentaje de reducción comparado a la presión de expansión de la arcilla sola es del 60%.

**2.4.4 Presión de expansión para sal con 5 pilotines.** Las presiones de expansión obtenidas en las pruebas realizadas fueron las siguientes:

PRESION DE EXPANSION SAL 5 PILOTINES	KG/CM2	N/mm2
PRUEBA 1	0,23	0,023
PRUEBA2	0,25	0,025

Grafica 23. Índice de hinchamiento 5 pilotines con sal



Para la probeta con % perteneciente a la caja con 5 pilotines de sal se encontraron presiones de expansión del orden de 0.23 kg/cm<sup>2</sup>, índice de hinchamiento de 0.023 MPA y una reducción del 54 % comparada a la presión de expansión de la arcilla sola.

En este apartado de la investigación se puede anotar como el índice de hinchamiento disminuye con la sal pero no de forma tan pronunciada como sucede con la cal, en la probeta de prueba para este ensayo perteneciente a la caja de 5 pilotines se encontro un índice de hinchamiento igual a 0,023 MP lo que marca una mejora de las condiciones del suelo pero no llega a ser optimo. Para la prueba equivalente de sal con 8 pilotines se presenta un mejor resultado 0,020 MP, que

no es muy diferente, lo que llevaría a concluir de forma preliminar , que sin duda la cal disminuye en mucha mejor medida esta propiedad de la arcilla .

## **2.5 SATURACION Y LECTURAS DE EXPANSION EN MUESTRAS-CAJAS**

Las cajas contienen las muestras de suelo, las cuales se trataron de mantener en unas condiciones medianamente propicias , guardando en cierta medida la razón inicial del por que se trajeron en bloque, inalteradas, se recubrieron con parafina hasta el momento de su utilización, las cajas tenían medidas de 40\*40\*40 cm, las cuales fueron llenadas a tope, se hicieron los pilotines con taladro de media pulgada hasta una profundidad de 30 cm; estas perforaciones fueron rellenas con los aditivos de la siguiente forma:

- 2 cajas con 5 pilotines (una con pilotines de cal y la otra con sal),
- 2 cajas con 8 pilotines (una con cal y la otra con sal),
- 1 quinta caja sin pilotines, arcilla sola, tal como se trajo de Barrancabermeja.

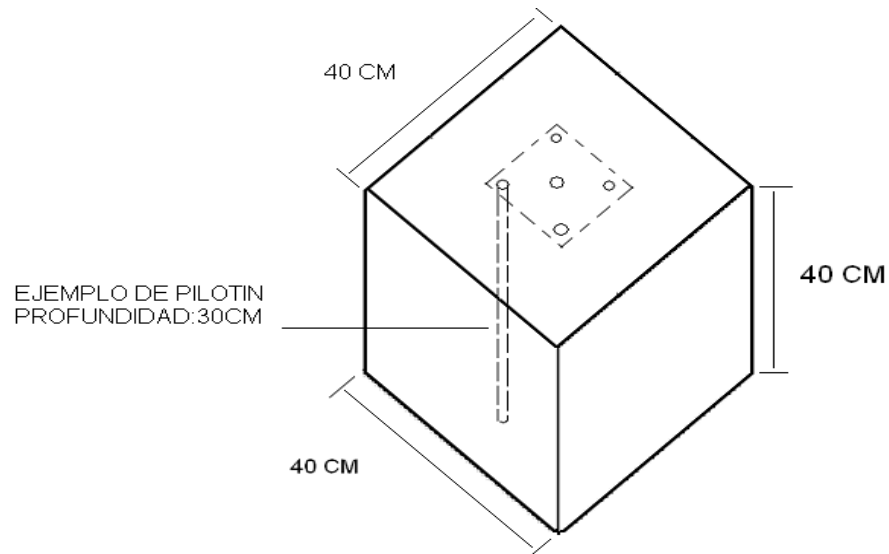
De esta forma esperamos tener referencia de cual es el comportamiento volumétrico tanto con los dos aditivos como sin ellos.

Se trabajó con un peso de 13\*13\*1 cm, que hacía las veces de zapata, aproximadamente de 2 KG, es decir 0.012 KG/CM<sup>2</sup>; sobre ellos se ubicaban los deformímetros en forma estratégica y después de 4 días de saturación continua, marcarían una expansión.

La muestra-caja se tuvo bajo saturación constante, durante la noche se continuó el proceso con el equipo médico de inyección de suero con 2 bolsas de 1000 ml llenas de agua para ser distribuidas en cada caja, que si bien no es mucha

cantidad, proveía a la muestra en forma continua y cronológicamente de el liquido en las horas nocturnas, ya que por obvias razones nos era imposible acceder a las instalaciones de la UIS y ejecutar el proceso manual.

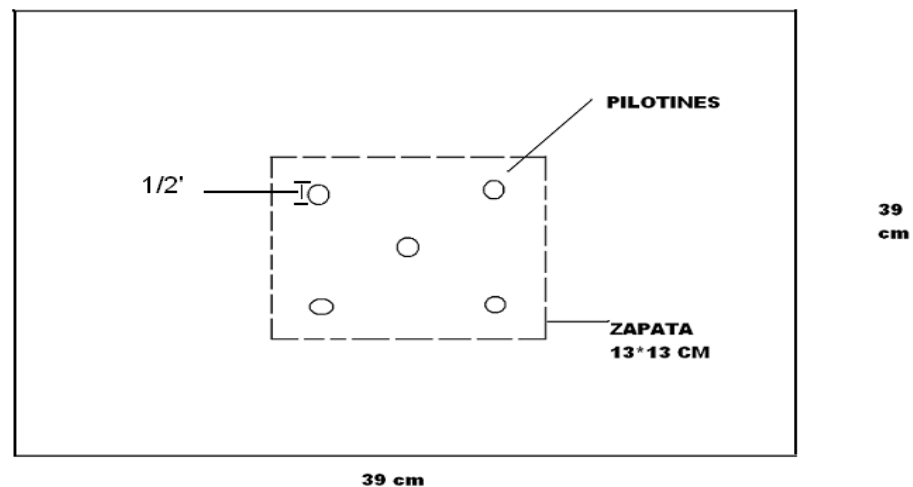
Figura 19. Caja muestra tipo



Fuente: Autores

### 2.5.1 Caja 1: Sal con 5 pilotines

Figura. 20. Vista superior caja 5 pilotines sal



Fuente: Autores

Figura 21. Muestra-caja 5 pilotines con sal

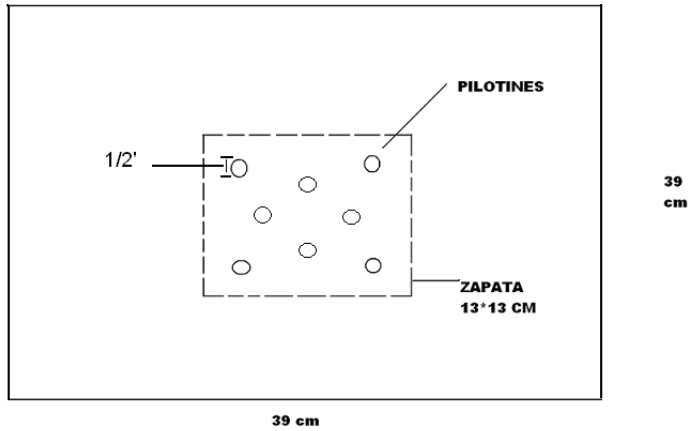


Fuente: Tomadas por los autores

. Esta caja-muestra con 5 pilotines de sal presento una expansión aproximada de **5mm** durante este proceso, los deformímetros se ubicaron de forma estratégica sobre la zapata para tener la mayor precisión posible. El % de expansión con respecto a la caja que mas presento cambio volumétrico (la caja de muestra inalterada sin aditivos) fue de 55 %.

### 2.5.2 Caja 2: Sal con 8 pilotines

Figura 22. Vista superior 8 pilotines con sal



Fuente: Autores

Figura 23. Muestra-caja 8 pilotines con sal

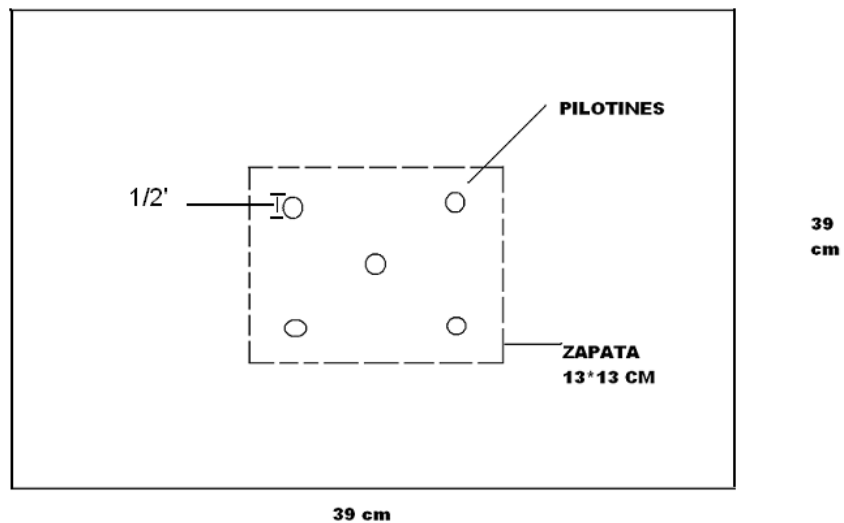


Fuente: Tomadas por los autores

La caja muestra con 8 pilotines de sal presento una expansión aproximada de **4 mm**, lo que mejora en 1 mm la expansión de la caja sal con 5 pilotines. El porcentaje de reducción con respecto a la caja sin pilotines es de 44.44%.

### 2.5.3 Caja 3: Cal con 5 pilotines.

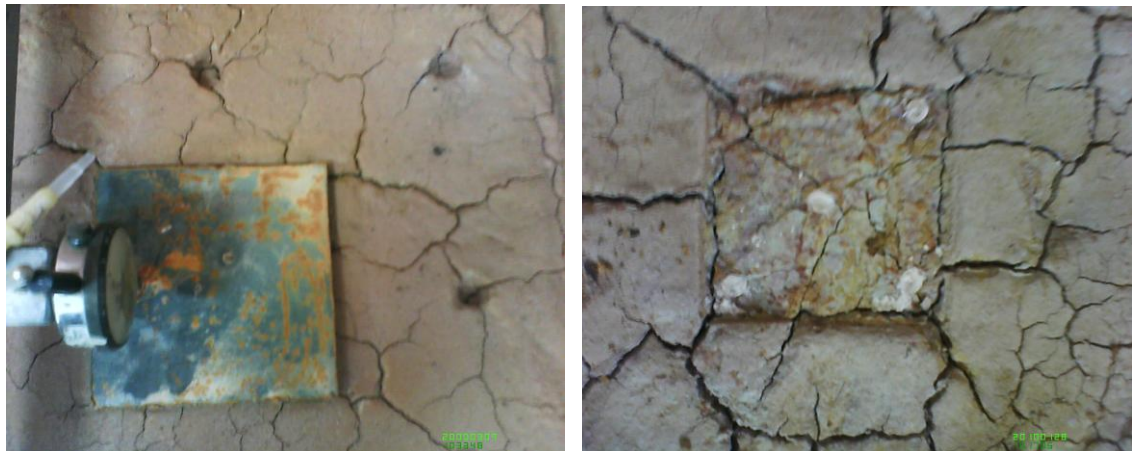
Figura 24. Vista superior 5 pilotines con cal



Fuente: Autores

Figura 25. Muestra-caja 5 pilotines con cal



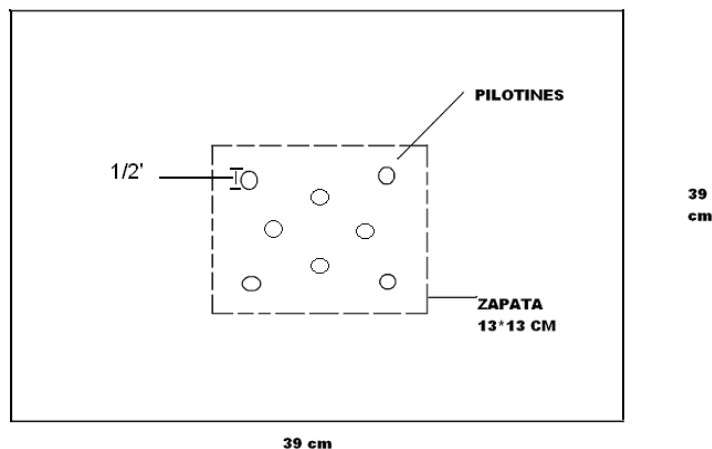


Fuente: Tomadas por los autores

La expansión que presentó la caja-muestra de cal con 5 pilotines es de **1.5 mm**, mostrando indudablemente un muy buen comportamiento en materia de estabilidad volumétrica, la apariencia de la zona de influencia que es un recuadro de 13\*13 cm (área que ocupa la carga que simula una zapata) es buena, presenta un buen comportamiento, poco agrietamiento, se debe tener en cuenta que el peso ejercido por la zapata es bastante pequeño comparado con la presión de expansión del suelo, claramente las propiedades expansivas del mismo superan por largo margen el peso propuesto para este análisis.

#### 2.5.4 Caja 4: Cal con 8 pilotines

Figura 26. Vista superior 8 pilotines con cal



Fuente: Autores

Figura 27. Muestra-caja 8 pilotines con cal



Fuente: Tomadas por los autores

Esta caja-muestra presenta una expansión muy baja, casi que nula, menor al milímetro, de **0.75 mm**, esto debido a una densidad importante en la zona activa de nuestro análisis, la apariencia es muy buena, presenta muy poco agrietamiento, un muy buen comportamiento en términos generales, sin duda es la caja con la mejor distribución, con el mejor aditivo, que presento mejores resultados.

La expansión con respecto a la caja sin pilotines apenas fue del 8.33%, lo que es un porcentaje supremamente bajo en materia de expansión.

2.5.5 Caja 5: Sin pilotines (arcilla sin aditivos)

Figura 28. Muestra-caja sin pilotines



Fuente: Tomadas por los autores

La caja sin pilotines presenta una expansión aproximada 9 mm, lo que globalmente es un porcentaje cercano al 4%,(tomando como referencia la altura inicial de la muestra 380 mm) teniendo en cuenta que hay una fuerza distribuida sobre la zona de expansión medida, la zapata de 13\*13 cm con un peso por cm<sup>2</sup> de 0.013. La muestra presento un porcentaje considerable en términos de expansión.

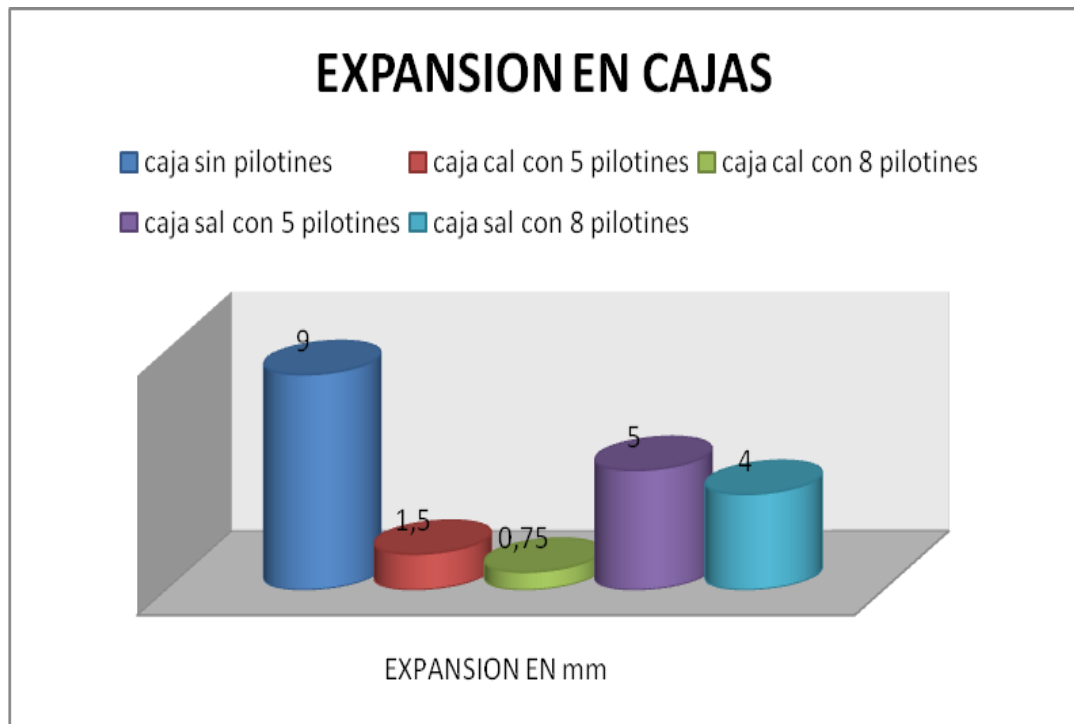
Sin duda alguna la técnica presenta beneficios marcados y esperados, como es sabido la cal es un excelente estabilizante, lo que se pretende evaluar en mayor medida es la técnica de cómo emplearla en estos casos, por medio de los pilotines, y según lo visto y comparado el siguiente paso sería verificar un análisis económico y mirar que tan viable es la relación costo beneficio para tratar de emplearlo ya en tamaño real. Un proceso constructivo de una casa de interés social sería un buen punto de partida.

### Resultados de expansión muestra en cajas (mm)

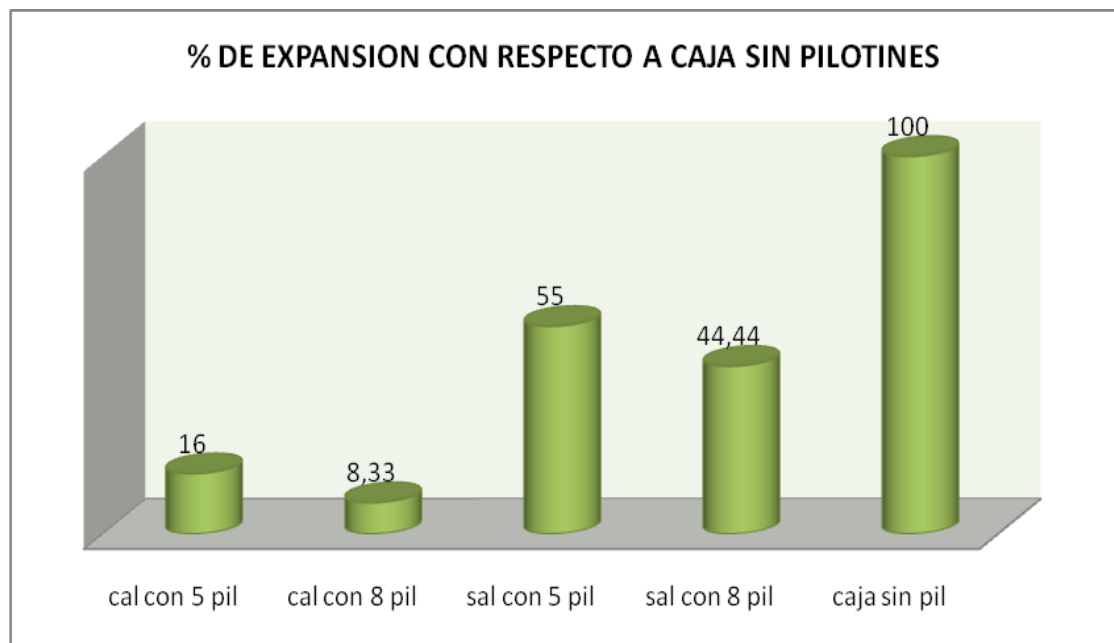
Tabla 13. Resultados expansión muestras en cajas

TIPO	EXPANSION
caja cal con 5 pilotines	1.5mm
caja cal con 8 pilotines	0.75mm
caja sal con 5 pilotines	5mm
caja sal con 8 pilotines	4mm
caja sin pilotines	9mm

Grafica 24. Expansion en mm de las cajas.



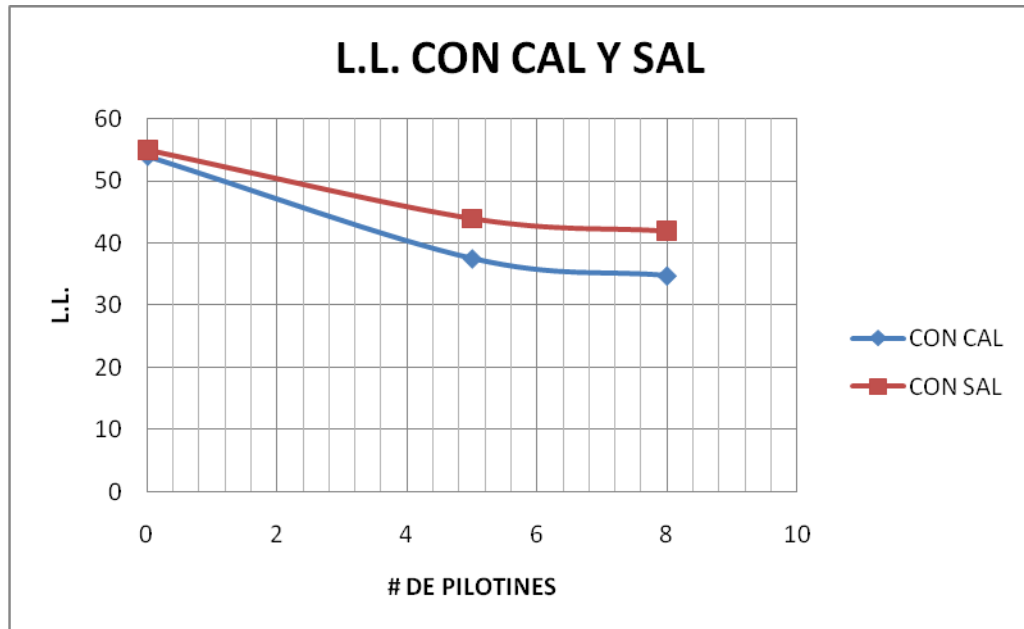
Grafica 25. % de expansion con respecto a la caja sin pilotines.



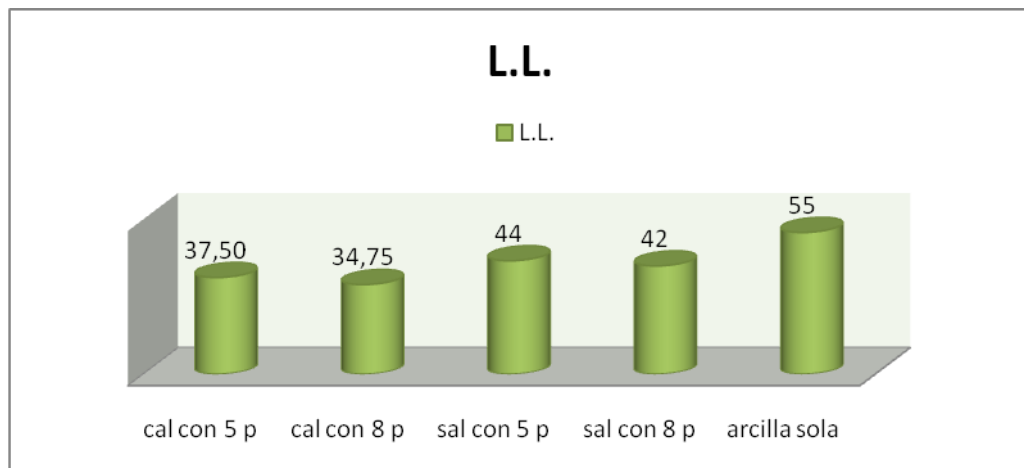
### 3. ANÁLISIS Y COMPARACION DE RESULTADOS

#### 3.1 LÍMITE LÍQUIDO

Grafica 26. Comparacion de limites liquidos cal y sal



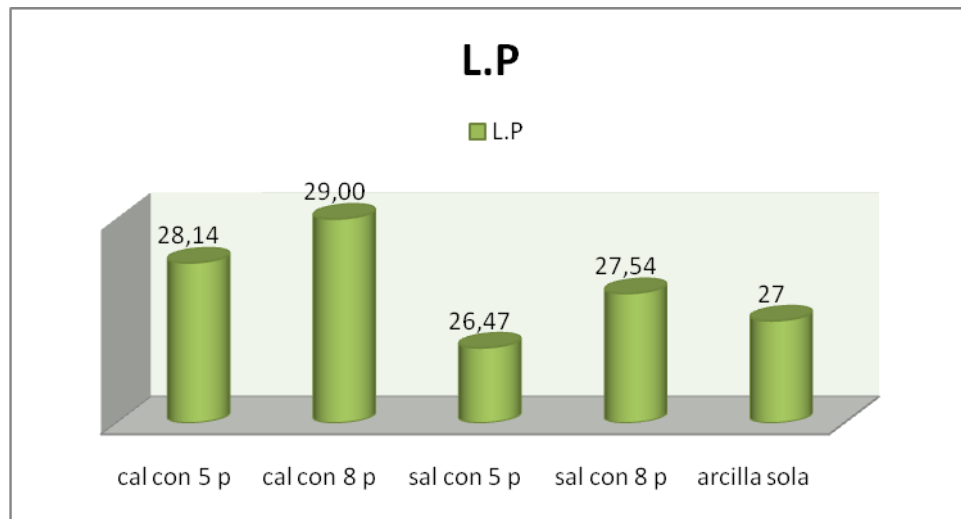
Grafica 27. Comparacion de Limites liquidos



En la grafica podemos verificar como el comportamiento de las muestras que tienen contenido de cal bajan notablemente los limites líquidos. Las muestras que tiene contenido de sal también presentan disminución pero menos marcada con respecto a la muestra con 0 pilotines, es decir arcilla sola. Los limites liquido encontrados para la cal como se puede ver en el diagrama de barras disminuyen con respecto al L.L encontrado inicialmente en la arcilla sola cerca de un 32% y 37% respectivamente para 5 y 8 pilotines con cal.

### 3.2 LÍMITE PLASTICO

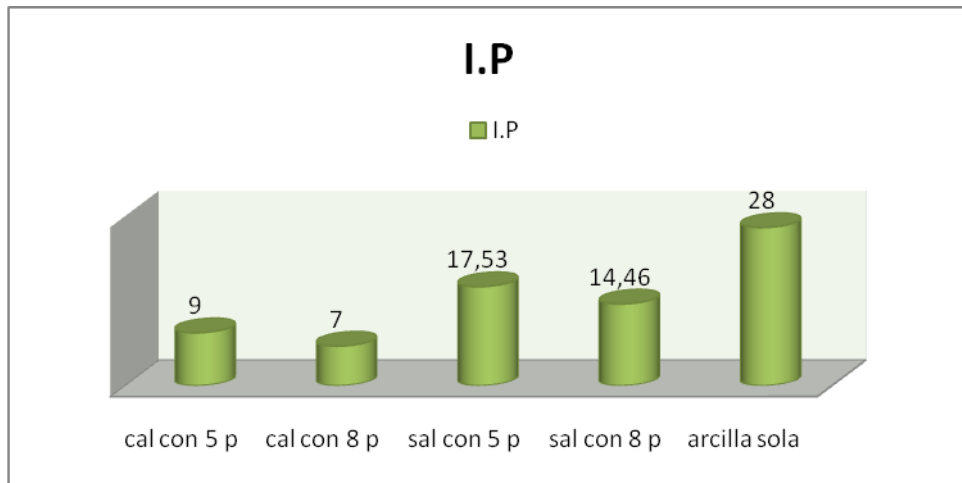
Grafica 28. Comparacion de limites plasticos



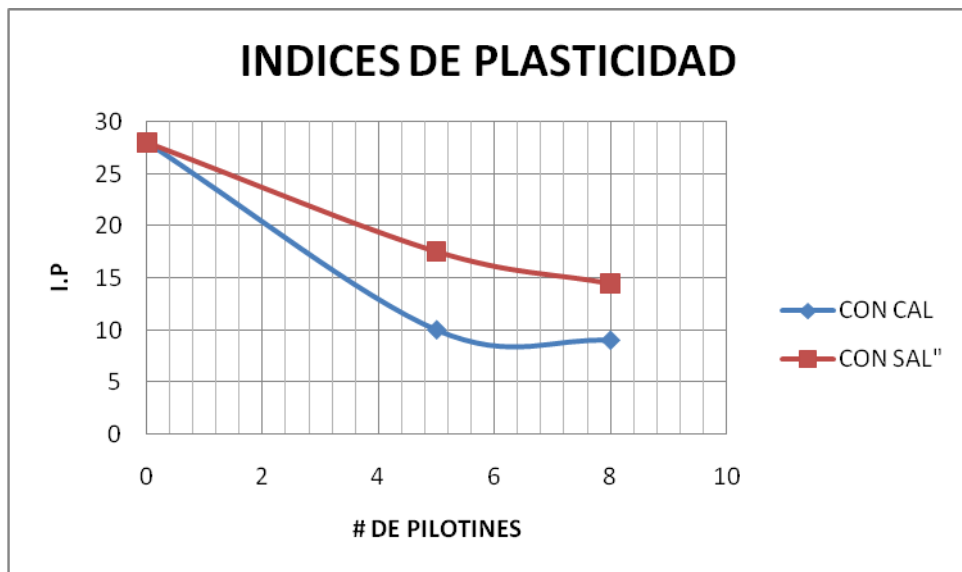
Los límites plásticos para las muestras con cal aumentan en un 5% y 8% para la cal con 5 y 8 pilotines respectivamente, tomando como referencia el L.p encontrado en la arcilla sin aditivos

### 3.3 INDICE DE PLASTICIDAD

Grafica 29. Comparación de índices de plasticidad con cal y sal



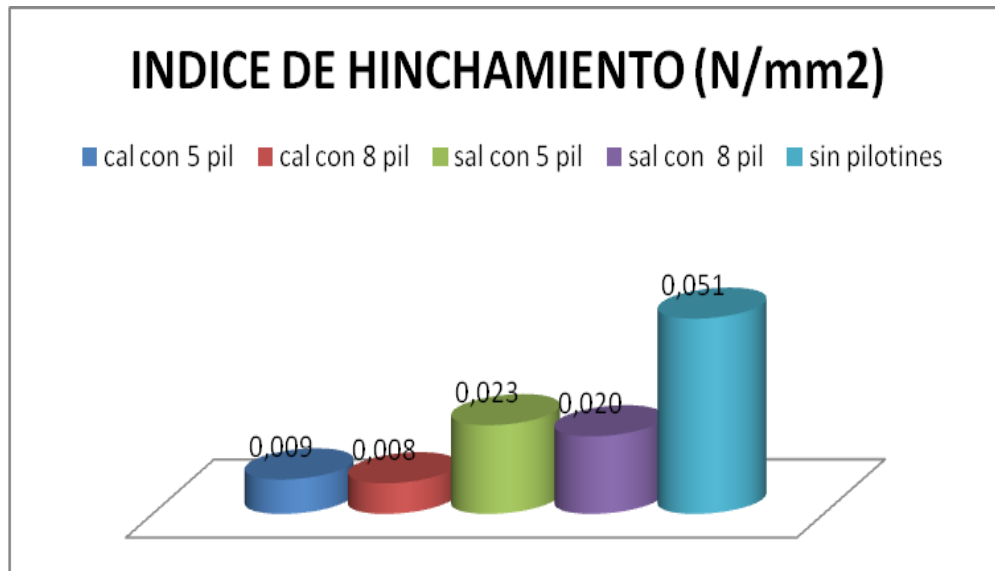
Grafica 30. Comparacion de indices de plasticidad



El índice de plasticidad es un parámetro muy importante en la determinación de suelos expansivos, como vemos el 28 % que obtuvimos en primera instancia nos clasifico en un término medio–bajo de expansividad, índices de plasticidad inferiores a 20 son considerados de bajo y nula característica expansiva

### 3.4 INDICE DE HINCHAMIENTO

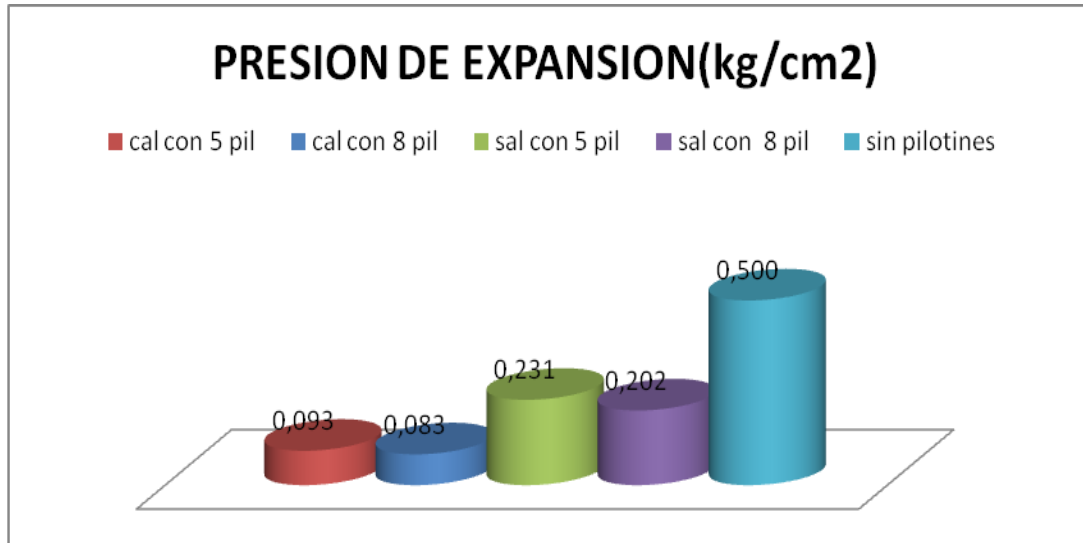
Grafica 31. Comparacion de indices de hinchamiento



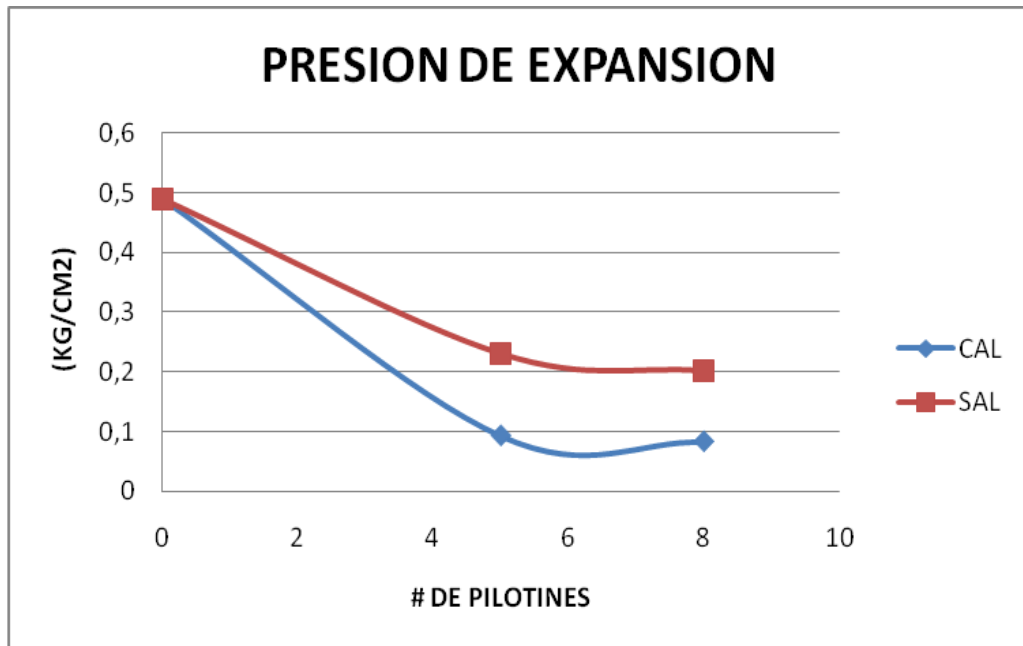
El índice de hinchamiento de la muestra sin aditivos clasifica el suelo dentro de un potencial de cambio volumétrico (PVC) “bajo”, el índice de hinchamiento se mide en MPA, el resultado obtenido fue de 0.05 N/mm<sup>2</sup>, las muestras con cal disminuyeron por el orden de 0.01 N/mm<sup>2</sup> y las muestras con sal están por el orden del 0.022N/mm<sup>2</sup>. Si bien no se anula del todo la presión de expansión y el índice de hinchamiento, se neutralizan en gran medida los mismos, dejando la posibilidad inequívoca de trabajar con arcillas expansivas empleando la técnica.

### 3.5 PRESIÓN DE EXPANSIÓN

Grafica 32. Comparacion de presion de expansion



Grafica 33. Comparacion de presion de expansion cal y sal



## 4. PRUEBA DE DISTANCIAMIENTO INTERLAMINAR

### METODOLOGÍA

#### 1. Preparación y Montaje de las muestras

Las muestras en polvo fueron pulverizadas en un mortero de ágata y llevadas a un tamaño de 38  $\mu\text{m}$  (400 mesh). El espécimen seleccionado de cada muestra fue montado en un portamuestra de aluminio mediante la técnica de llenado lateral.

#### 2. Toma de datos de difracción

Se realizó en un difractómetro de polvo marca RIGAKU modelo D/MAX IIIB bajo las siguientes condiciones:

Voltaje	40(kV)
Corriente	30(mA)
Rendijas (Slits)	DS 1.0° RS 0.3mm SS 1.0°
Muestreo	0.02° (2 $\theta$ )
Rango de Medición	2-20° (2 $\theta$ )
Radiación	CuK $\alpha$ 1
Monocromador	Grafito
Detector	Centelleo
Tipo de barrido	a pasos
Tiempo de muestreo	1 segundo

### 3. Tipo de Análisis

#### Análisis Cualitativo

El análisis cualitativo de las fases presentes en la muestra se realizó mediante comparación del perfil observado con los perfiles de difracción reportados en la base de datos PDF-2 del *International Centre for Diffraction Data* (ICDD).

### 4. Información suministrada por el cliente

**Análisis elemental:** No.

**Fases de interés:** Identificación de fases arcillosas.

## RESULTADOS

### 1. ARCILLA NORMAL (C1TJ)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
<i>Cristalinos</i>	K Al <sub>2</sub> (Si, Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	000-58-2034	Moscovita
	Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (OH) <sub>4</sub>	010-80-0886	Caolinita
	Al (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (OH)	010-83-1805	Pirofilita
	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	000-09-0453	Halloisita

## 2. ARCILLA MODIFICADA (C1TK)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
<i>Cristalinos</i>	K Al <sub>2</sub> (Si, Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	000-58-2034	Moscovita
	Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (OH) <sub>4</sub>	010-80-0886	Caolinita
	Al (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (OH)	010-83-1805	Pirofilita
	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	000-09-0453	Halloisita
	Ca (OH) <sub>2</sub>	000-04-0733	Portlandita

### Observaciones:

Se recomienda realizar análisis elemental para corroborar la presencia de las fases reportadas.

### Elaboró:

**Qco. José Luis Pinto C.**

Profesional Analista

PQ. 2009

### Revisó:

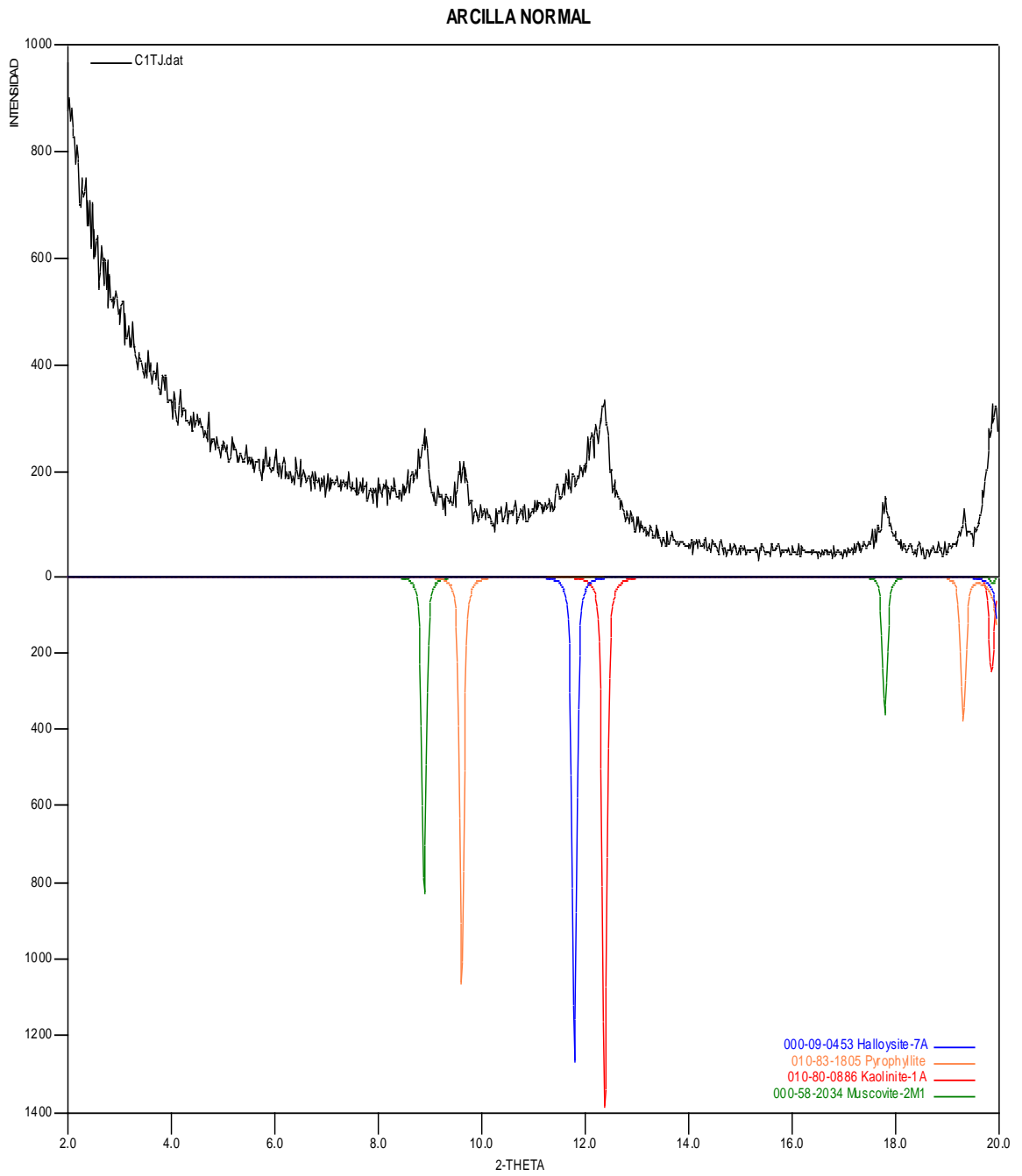
**Qco. MSc. Jesús Andelfo Pinilla A.**

Director Técnico

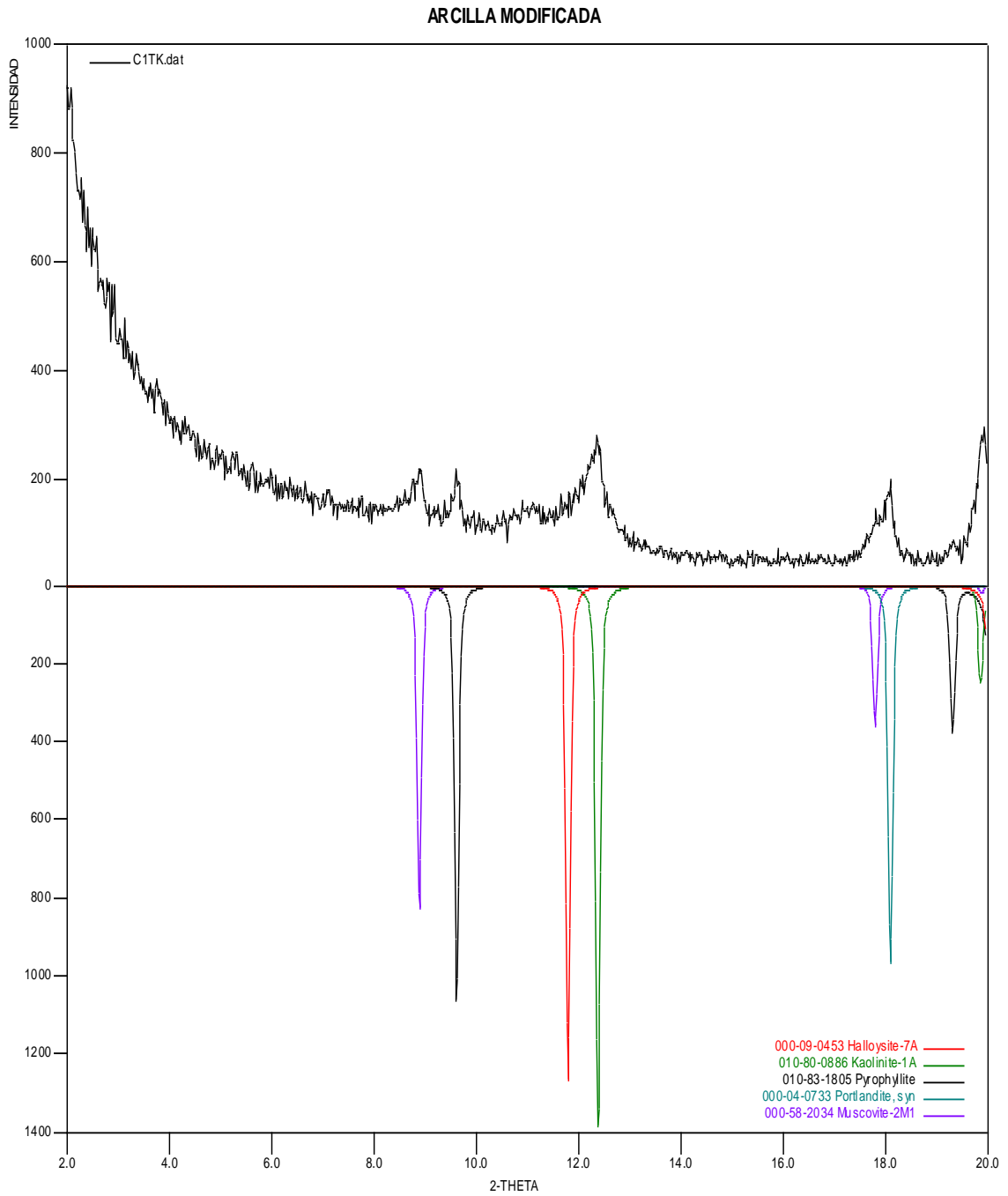
PQ. 1985

Esta prueba de distanciamiento interlaminar da resultados tipo cualitativo sobre la composición mineralógica del suelo estudiado, y como se mostro en dichos resultados, el suelo no presenta el componente tipo esmectita montmorillonita, esto indica que la arcilla no presenta cualidades marcadas de expansión y en cambio si esta presente la caolinita que puede darle un grado de expansión menor. Una vez la arcilla se le ha agregado la cal se puede apreciar la aparición de Portlandita que no es otra cosa que la misma cal al sufrir un proceso de hidratación.

Grafica 34. Prueba de distanciamiento interlaminar arcilla normal .



Grafica 35. Prueba de distanciamiento interlaminar arcilla modificada.



## 5. ANALISIS ECONOMICO

Se analizo el proceso de excavación para la cimentación tipo zapata corrida de una vivienda de interés social, obteniendo el costo por metro lineal sin utilizar los pilotines en primer lugar, y posteriormente utilizando dichos pilotines.

MATERIAL	CANTIDAD	VALOR
CAL	1 M3	\$ 48.000

Para este análisis se propuso la cal como composición de los pilotines ya que como se observo en los ensayos hechos en el laboratorio, con ella se obtuvieron los mejores resultados. 1 m3 de Cal (600 kg) tiene un precio en el mercado (al por mayor) de \$ 48.000.

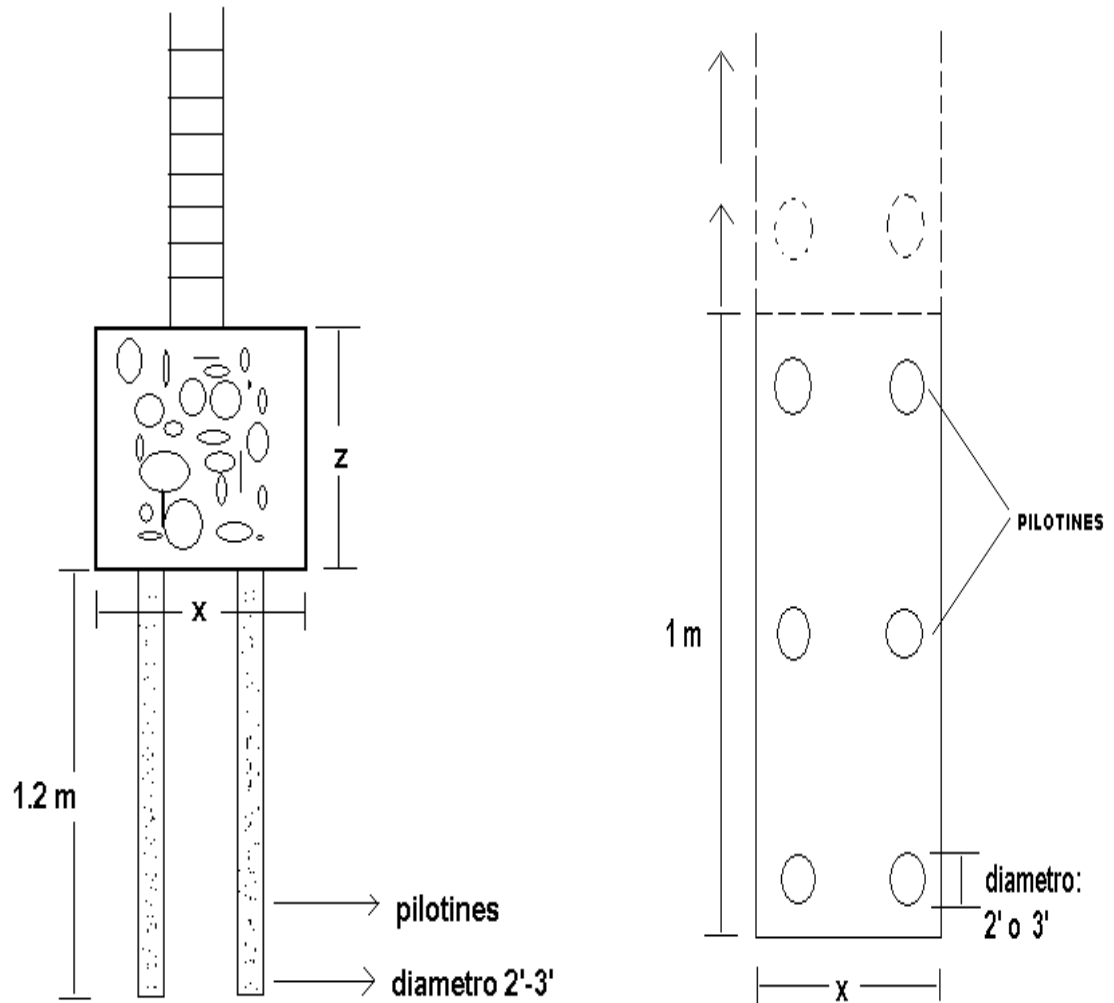
Tabla14. Presupuesto proceso de excavacion para la cimentacion de una casa de interes social sin pilotines.

Ítem	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
<b>1</b>	<b>PRELIMINARES</b>				
1,01	Localización y Replanteo	M2	0,40	\$ 1.336	\$ 534
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 534</b>
<b>2</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRA</b>				
2,01	Excavación manual en material común y/o conglomerado a mano, incluye transporte interno	M3	0,40	\$ 13.243	\$ 5.297
2,02	Relleno con material comun extraido	M3	0,24	\$ 13.243	\$ 3.178
2,03	Retiro de Sobrantes	M3	0,16	\$ 17.628	\$ 2.820
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 11.296</b>
<b>4</b>	<b>PISOS</b>				
4,02	Mortero de Nivelación e = 4 cm	M2	0,40	\$ 20.788	\$ 8.315
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 8.315</b>
				<b>SUBTOTAL COSTO OBRA (SCO)</b>	<b>\$ 20.146</b>
				<b>ADMINISTRACION (A = 10% SCO)</b>	<b>\$ 2.015</b>
				<b>IMPREVISTOS (I = 5%SCO)</b>	<b>\$ 1.007</b>
				<b>UTILIDAD (U = 5%SCO)</b>	<b>\$ 1.007</b>
				<b>IVA ( IVA = 16%U)</b>	<b>\$ 161</b>
				<b>TOTAL COSTO OBRA (TCO=SCO+A+I+U+IVA)</b>	<b>\$ 24.336</b>
				<b>TOTAL COSTO INTERVENTORIA (TCI= 0.05%TCO)</b>	<b>\$ 1.217</b>
				<b>TOTAL COSTO PROYECTO (TCP=TCO+TCI)</b>	<b>\$ 25.553</b>

Figura. 29 Perfil y planta de la cimentación

**PERFIL ZAPATA Y PILOTINES DE CAL/SAL**

**VISTA EN PLANTA**



El volumen de cal necesario para 1 metro lineal de estabilización es de 0,0328 m<sup>3</sup>, ya que se proponen 6 pilotines (por metro lineal) de 3 pulgadas de diámetro y 1,20 m de profundidad. A continuación se realiza el presupuesto para el proceso de estabilización y cimentación, con la utilización de los pilotines.

Tabla15. Presupuesto proceso de excavacion para la cimentacion de una casa de interes social (utilizando la tecnica de pilotines)

Ítem	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
<b>1</b>	<b>PRELIMINARES</b>				
1,01	Localización y Replanteo	M2	0,40	\$ 1.336	\$ 534
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 534</b>
<b>2</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRA</b>				
2,01	Excavación manual en material común y/o conglomerado a mano, incluye transporte interno	M3	0,40	\$ 13.243	\$ 5.297
2,02	Relleno con material comun extraido	M3	0,24	\$ 13.243	\$ 3.178
2,03	Retiro de Sobrantes	M3	0,16	\$ 17.628	\$ 2.820
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 11.296</b>
<b>3</b>	<b>PILOTES</b>				
3,01	Hincada de Pilotines	unid	6,00	\$ 2.485	\$ 14.910
3,02	Relleno compactado con Cal y/o sal	M3	0,03	\$ 48.000	\$ 1.574
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 16.484</b>
<b>4</b>	<b>PISOS</b>				
4,02	Mortero de Nivelación e = 4 cm	M2	0,40	\$ 20.788	\$ 8.315
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 8.315</b>
<b>SUBTOTAL COSTO OBRA (SCO)</b>					<b>\$ 36.630</b>
<b>ADMINISTRACION (A = 10% SCO)</b>					<b>\$ 3.663</b>
<b>IMPREVISTOS (I = 5%SCO)</b>					<b>\$ 1.832</b>
<b>UTILIDAD (U = 5%SCO)</b>					<b>\$ 1.832</b>
<b>IVA ( IVA = 16%U)</b>					<b>\$ 293</b>
<b>TOTAL COSTO OBRA (TCO=SCO+A+I+U+IVA)</b>					<b>\$ 44.249</b>
<b>TOTAL COSTO INTERVENTORIA (TCI= 0.05%TCO)</b>					<b>\$ 2.212</b>
<b>TOTAL COSTO PROYECTO (TCP=TCO+TCI)</b>					<b>\$ 46.462</b>

Como se observa, hay un incremento del 80% aproximadamente (+ó- \$20.000) en los costos para la ejecución de este proceso. Si bien es un alto incremento de costos en el proceso como tal, ya hablando y comparando con un presupuesto de obra global, es decir en la ejecución de un proyecto completo, este incremento se hace mínimo, si se compara el costo-beneficio, pues como se determino en esta investigación, la técnica da resultados satisfactorios para reducir considerablemente el problema de cambios volumétricos en este tipos de suelos. Además, se hace sencilla y económica la realización de estos pilotines por su dimensionamiento y porque para ello no se necesita de ningún tipo de maquinaria compleja.

## 6. CONCLUSIONES

Se estudio el comportamiento de la arcilla extraída inalterada desde el municipio de Barrancabermeja en el laboratorio, llevándose a cabo su caracterización con y sin aditivos, encontrándose que aunque el suelo estudiado no presentaba características de expansión alta, se logro disminuir su cambio volumétrico.

Entre los aditivos utilizados cal y sal, se encontró resultados mas óptimos con la cal que con la sal, obteniéndose una disminución significativa en los límites de Atterberg y en su potencial de expansión; con la sal también se pudo conseguir una disminución pero menos considerable.

Además, se puede concluir de acuerdo a los resultados en las cajas de muestras inalteradas, que la técnica de pilotines utilizada en esta investigación, puede ser una buena opción para tratar suelos con problemas de estabilidad volumétrica, ya que con esta técnica por lo menos en el laboratorio encontramos un muy resultado tanto visual, como técnico, muestra de ello fue que se logro disminuir el índice los limites y los índices de hinchamiento de las diferentes muestras en sus diferentes combinaciones y distribuciones..

En las cajas se encontró que entre las dos distribuciones de pilotines analizados, se produjo menos expansión para 8 pilotines y también menos agrietamiento del suelo en el área de aplicación de la carga (que simulaba la cimentación) a comparación que con 5 pilotines.

Es evidente que una densidad mayor de los pilotines con llevaron a un mejor comportamiento en términos de estabilidad, aunque se debe guardar cierta proporción ya que no se justifica tener un excesivo contenido de agente estabilizante, si hay un punto que genere excelentes prestaciones a un costo más que aceptable y considerable, ya en materia constructiva.

Se realizo en el laboratorio de difracción de rayos x, el ensayo de distanciamiento interlaminar arrojando resultados cualitativos sobre la composición mineralógica del suelo estudiado, y como conclusión se puede citar que el suelo presenta poca expansividad debido a su composición, presencia considerable de caolín y ausencia de esmectita; al mezclarse con la cal y en presencia de agua hizo aparición un nuevo compuesto, por lo demás no se presentaron cambios considerables.

## 7. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con el estudio de estabilización para suelos con mayores grados de expansión, al igual que probar con otras técnicas de estabilización además de los pilotines o con pilotines pero con otros productos o aditivos.

En la parte de la investigación como tal en el laboratorio se recomienda para lograr mejores resultados, más confiables, disponer de mayor presupuesto para la ejecución de ensayos especializados como los referentes a todas las propiedades expansivas, ya que desafortunadamente en la universidad no se cuentan con los equipos necesarios para dichos ensayos.

La estabilización con la sal puede resultar poco recomendable ya que la sal en la presencia de agua se diluye con facilidad y presentaría con el tiempo posibles fallas por el volumen vacío que deja debajo de la cimentación. Sería muy recomendable estudiar más detalladamente sobre las consecuencias generadas al utilizar este agente estabilizante con los pilotines.

## BIBLIOGRAFIA

CAMACHO Javier, REYES Oscar. MAYORGA Catalina, MÉNDEZ Dolly. Evaluación de aditivos usados en el tratamiento de arcillas expansivas. Vol. 16-No 2. Dic. 2006.

Manual de estabilización de suelo tratado con cal. Estabilización y modificación con cal. Publicación de la National Lime Association. Boletín 326. Enero 2004.

GARNICA, Paul. PÉREZ, Alfonso. GÓMEZ, José. OBIL, Edda. Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres. Publicación técnica No 201 Sanfandila, Qro, 2002.

HEREDIA, Jose. Resumen sobre arcillas expansivas, arcillas dispersivas e hidráulica de suelos. Juárez, Rico, 1972.

DIAZ, Jesús. MEJIA, Julio. Estabilización de suelos mediante el uso de un aditivo químico a base de compuestos inorgánicos. Tesis de pregrado. UIS Escuela de ingeniería civil.

GOMEZ, Ricardo. JEREZ, Carlos. Estabilización de suelos mediante la utilización de cenizas volantes y cal. Tesis de pregrado. UIS Escuela de ingeniería civil.

<http://www.galeon.com/geomecanica/cap3.pdf>

[http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a\\_labgeo/labgeo38\\_p.pdf](http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a_labgeo/labgeo38_p.pdf)

## **ANEXO A. MEMORIAS ENSAYOS DE CARACTERIZACION SUELOS SIN PILOTINES**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR HIDROMETRO 124-07**

**FECHA :** noviembre 26 de 2009  
**PROYECTO :** Estabilizacion de arcillas expansivas  
**LOCALIZACION:** Barrancabermeja

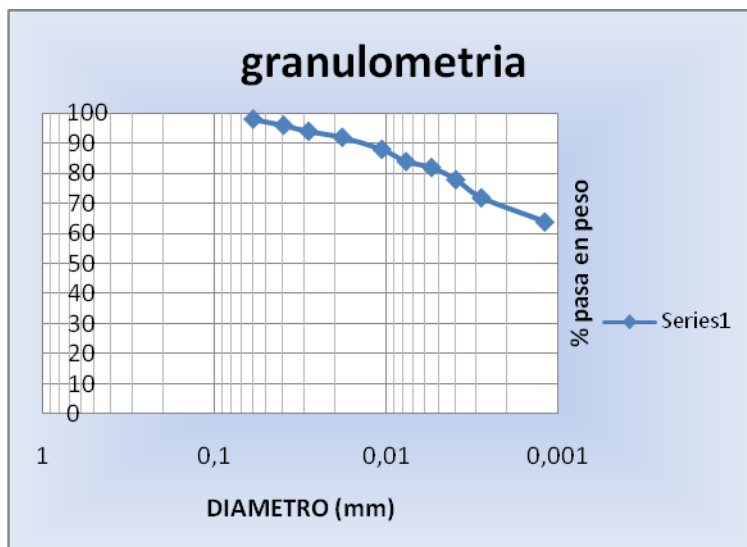
**SONDEO :** 1  
**MUESTRA :** 1  
**PROFUNDIDAD :** 0.5M

PESO TARA	9	gr
TARA+MUESTRA SECA	59	gr
solución de hexametafosfato de sodio(40g/l)	125	ml
GS	2,65	

**PESO INICIAL DE LA MUESTRA**  
 gr: 50gr

**PORCENTAJE DE ERROR**  
 %: 0,01

t (min)	R	Temp ( c )	L (mm)	Cm	R	K	D (mm)	$\alpha$	% mas fino
1	47	21	86	1	48	0,0043	0,03988	1	96,0
2	46	21	88	1	47	0,0043	0,02852	1	94,0
5	45	21	89	1	46	0,0043	0,01814	1	92,0
15	43	21	92	1	44	0,0043	0,01065	1	88,0
30	41	22	96	1	42	0,0043	0,00769	1	84,0
60	40	22	97	1	41	0,0043	0,00547	1	82,0
120	38	22	101	1	39	0,0043	0,00394	1	78,0
250	35	22	106	1	36	0,0043	0,00280	1	72,0
1440	31	21	111	1	32	0,0043	0,00119	1	64,0



GRAVAS= 0 %  
 ARENAS = 1,0 %  
 FINOS= 99,0 %

**CLASIFICACION SUCS:** CH (arcilla de media alta plasticidad)



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR HIDROMETRO 124-07**

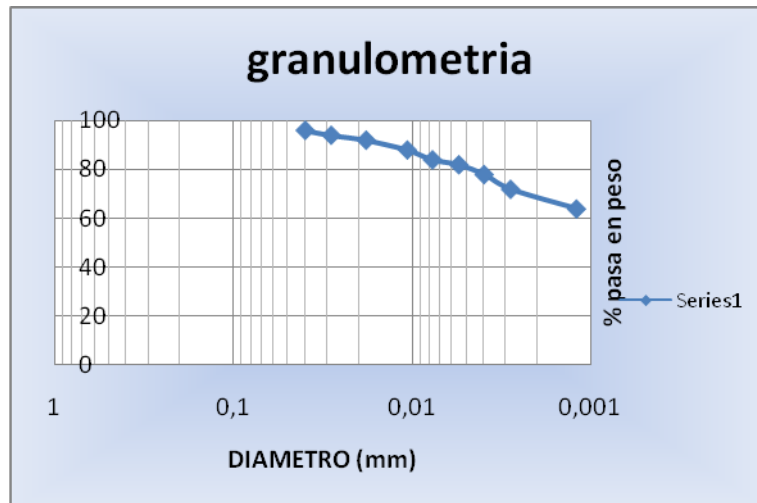
**FECHA :** noviembre de 2010  
**PROYECTO :** estabilizacion de arcillas expansivas  
**LOCALIZACION:** barrancabermeja

**SONDEO :** 1  
**MUESTRA :** 1  
**PROFUNDIDAD :** 0,5m

PESO TARA	9	gr
TARA+MUESTRA SECA	59	gr
solución de hexametafosfato de sodio(40g/l)	125	ml
GS	2,65	

**PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr:** 50  
**% DE ERROR** 0.01

t (min)	R	Temp ( c )	L (mm)	Cm	R	K	D (mm)	$\alpha$	% mas fino
1	45	21	89	1	46	0,0043	0,04057	1	92,0
2	43	21	92	1	44	0,0043	0,02916	1	88,0
5	42	21	94	1	43	0,0043	0,01864	1	86,0
15	40	21	97	1	41	0,0043	0,01093	1	82,0
30	38	22	101	1	39	0,0043	0,00789	1	78,0
60	36	22	104	1	37	0,0043	0,00566	1	74,0
120	33	22	107	1	34	0,0043	0,00406	1	68,0
250	31	22	111	1	32	0,0043	0,00287	1	64,0
1440	30	21	112	1	31	0,0043	0,00120	1	62,0



GRAVAS= 0,00 %  
 ARENAS = 1,00 %  
 FINOS= 99,00 %

**CLASIFICACION SUCS:** CH(arcilla de media alta plasticidad)



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126**

FECHA : noviembre 25 de 2010  
 PROYECTO : ESTABILIZACION DE ARCILLAS EXPANSIVAS  
 LOCALIZACION: BARRANCABERMEJA

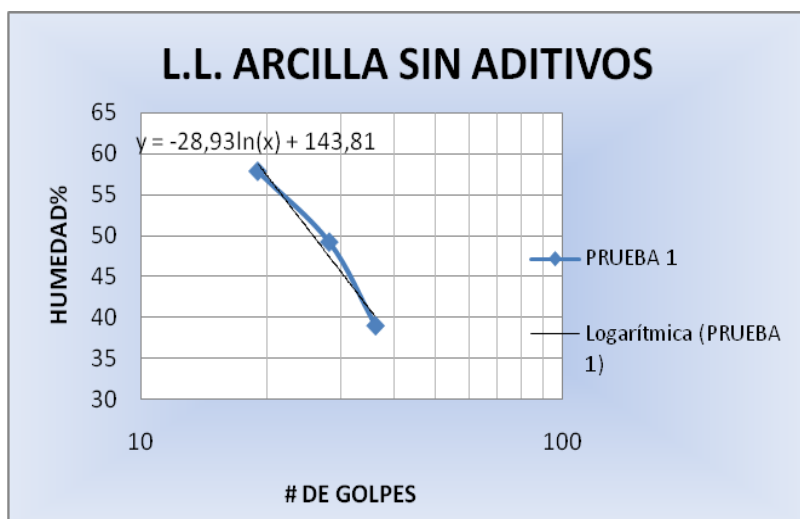
SONDEO : 1  
 MUESTRA : 1  
 PROFUNDIDAD : 0,50 M

**LIMITE LIQUIDO**

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA gr	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO gr	PESO CAPSULA + SUELO SECO gr	PESO DEL AGUA gr	PESO SUELO SECO gr	CONTENIDO DE AGUA %
8,2	21	6,84	23,91	17,65	6,26	10,81	57,91%
10,2	28	6,82	21,88	16,91	4,97	10,09	49,26%
6,2	36	7,00	21,32	17,3	4,02	10,3	39,03%

**LIMITE PLASTICO**

19,3	10,6	14,65	13,76	0,89	3,16	28,16%
20,3	10,7	13	12,5	0,5	1,8	27,78%



LIMITE LIQUIDO : 55%  
 LIM. PLASTICO : 27%  
 IND. DE PLASTI. : 28%  
 CLASIFICACION SUCS. : CH



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126**

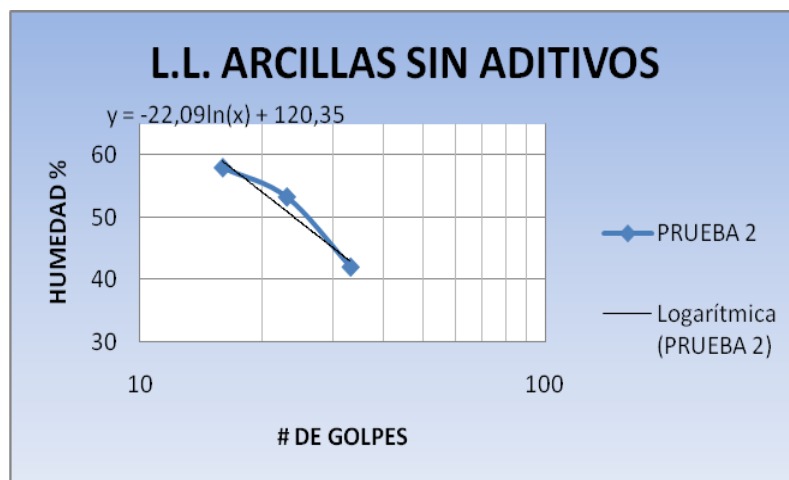
<b>FECHA</b> :	Noviembre de 2009	<b>SONDEO</b> :	1
<b>PROYECTO</b> :	ESTABILIZACION DE ARCILLAS EXPANSIVAS	<b>MUESTRA</b> :	1
<b>LOCALIZACION:</b>	BARRANCABERMEJA	<b>PROFUNDIDAD</b> :	0,50 M

**LIMITE LIQUIDO**

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA %
		gr	gr	gr	gr	gr	%
12,3	16	6,6	19,7	14,8	4,9	8,2	59,76%
5,2	23	7,6	26,3	19,8	6,5	12,2	54,28%
18,2	32	7,40	26,8	20,9	5,9	13,5	43,70%

**LIMITE PLASTICO**

9,2		7,01	8,94	8,52	0,42	1,51	27,51%
7,3		7,03	11,1	10,4	0,7	3,37	25,00%



<b>LIMITE LIQUIDO :</b>	<u>53%</u>
<b>LIM. PLASTICO :</b>	<u>26,10%</u>
<b>IND. DE PLASTI. :</b>	<u>27%</u>
<b>CLASIFICACION SUCS. :</b>	<u>CH</u>



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**LIMITE DE CONTRACCION-I.N.V E127-07**

FECHA : noviembre 26 de 2010

SONDEO : 1

PROYECTO : ESTABILIZACION DE ARCILLAS EXPANSIVAS

MUESTRA : 1

LOCALIZACION: BARRANCABERMEJA

PROFUNDIDAD : 0,50 M

Capsula No	Peso Cápsula+Suelo humedo (g)	Peso Cápsula+Suelo seco (g)	Peso Cápsula (g)	Peso Agua (g)	Peso Suelo Seco al Horno (g)	Contenido de Agua (%)
3	43,88	37,97	21,21	5,91	16,76	35,26
9	50,56	44,59	27,78	5,97	16,81	35,51

	Cápsula No	Peso Mercurio + Recipiente (g)	Peso Recipiente (g)	Peso Mercurio (g)	Densidad Mercurio (g/cm <sup>3</sup> )	Volumen Mercurio (cm <sup>3</sup> )
CAPSULA	3	208,06	21,21	186,85	13,53	13,81
	9	210,31	27,78	182,53	13,53	13,49
MUESTRA SECA	3(1)	175,70	38,75	136,95	13,53	10,12
	9(1)	170,95	38,75	132,20	13,53	9,77

Cápsula No	1	2
Límite de Contracción	13,26	13,39
Relación de Contracción	1,66	1,72
Gravedad Específica	2,62	2,64



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**LIMITE DE CONTRACCION-I.N.V E127-07**

FECHA : noviembre 26 de 2009  
 PROYECTO : ESTABILIZACION DE ARCILLAS EXPANSIVAS  
 LOCALIZACION: BARRANCABERMEJA

SONDEO : 1  
 MUESTRA : 1  
 PROFUNDIDAD : 0,50 M

Capsula No	Peso Cápsula+Suelo humedo (g)	Peso Cápsula+Suelo seco (g)	Peso Cápsula (g)	Peso Agua (g)	Peso Suelo Seco al Horno (g)	Contenido de Agua (%)
3	41,70	36,52	21,21	5,18	15,31	33,83
9	46,93	42,14	27,78	4,79	14,36	33,36

	Cápsula No	Peso Mercurio + Recipiente (g)	Peso Recipiente (g)	Peso Mercurio (g)	Densidad Mercurio (g/cm <sup>3</sup> )	Volumen Mercurio (cm <sup>3</sup> )
MUESTRA CAPSULA SECA	3	201,60	21,21	180,39	13,53	13,33
	9	198,01	27,78	170,23	13,53	12,58
MUESTRA CAPSULA SECA	3(1)	175,80	38,75	137,05	13,53	10,13
	9(1)	169,20	38,75	130,45	13,53	9,64

Cápsula No	1	2
Límite de Contracción	12,91	12,88
Relación de Contracción	1,51	1,49
Gravedad Específica	2,59	2,58





**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**DETERMINACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS-EXPANSION EN CONSOLIDOMETRO**  
**I.N.V. E - 132 - 07**

FECHA : noviembre de 2003

PROYECTO : estabilizacion de arcillas expansivas

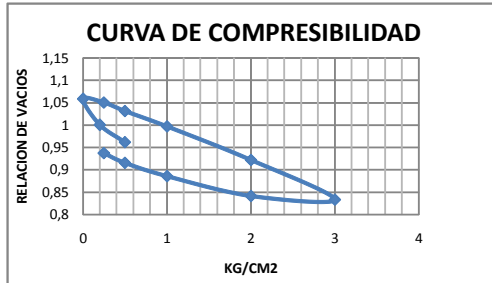
LOCALIZACION: barrancabermeja

SONDEO : 1

MUESTRA : 1

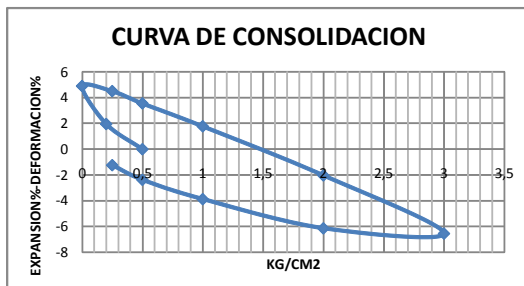
PROFUNDIDAD : 0,5m

Diametro del anillo	6,29	cm
Area del anillo	31,07	cm <sup>2</sup>
Altura del anillo	2	cm
Volumen del anillo	62,15	cm <sup>3</sup>
Peso del anillo	58,64	g
Peso anillo+ muestra humed	168,1	g
Peso anillo+ muestra seca	142,58	g
Peso humedo de la muestra:	109,46	g
Peso seco de la muestra	83,94	g
Humedad	30,40	%
Peso especifico humedo	1,76	g/cm <sup>3</sup>
Peso especifico seco	1,35	g/cm <sup>3</sup>
Gravedad especifica de los s	2,65	
Altura de los solidos	1,02	cm
Altura de vacios	0,98	
Relación de vacios	0,96	
Factor de corrección de la ca	11,00	



t (min)	Exp. Libre	Cargas (kg/cm <sup>2</sup> )						Descarga (rebote)		
		0,5 - 0,2 - 0,0	0,25	0,5	1	2	3	2	1	0,5
0,1	6,0	373,5	308,0	258,50	50,80	-104,50	-512,0	-426,80	-285,70	-141,50
0,25	18,6	371,2	303,5	248,10	-52,00	-122,70	-505,7	-415,50	-266,80	-135,20
0,5	45,4	368,7	299,6	227,00	-75,50	-160,60	-500,1	-398,40	-252,60	-130,00
1	60,7	365,4	296,7	215,50	-109,90	-235,00	-496,2	-385,00	-240,00	-124,80
2	104,5	363,9	294,7	207,60	-123,10	-298,70	-495,1	-376,80	-231,70	-120,50
4	136,2	361,5	292,9	161,20	-135,80	-354,30	-493,0	-367,00	-223,50	-113,40
8	173,0	360,1	291,4	157,00	-144,50	-405,50	-492,5	-360,50	-215,60	-108,50
15	209,4	358,6	290,2	153,60	149,60	-440,50	-491,2	-352,40	-208,70	-103,60
30	245,5	357,3	289,0	150,50	154,60	-464,00	-490,0	-342,50	201,20	-99,80
60	290,4	356,2	288,2	148,10	156,90	483,20	-489,1	-333,80	-192,50	-99,10
120	322,1	355,4	287,3	144,70	158,60	506,60	-487,2	-328,00	-189,00	-98,30
240	353,3	355,1	286,5	143,00	159,00	511,50	-485,4	-323,60	-188,20	-97,20
480	379,5	355,0	284,9	141,80	159,60	513,20	-484,1	321,30	-187,50	-96,60
1440	386,0	354,8	280,5	140,10	-160,10	-515,50	-483,4	-320,20	-186,90	-95,30

Esfuerzo [kg/cm <sup>2</sup> ]	Carga, P [kg]	corregida [Kg]	Lectura deformimetracumulada [mm]	deformación %	deformacion %	Altura final probeta [mm]	elacion de vacic final [e]	Coefficiente mpresibilidad	mv [cm <sup>2</sup> /kg]
0,5	15,537	1,412	0,000	0,000	0,000	20,000	0,962		
0,2	6,215	0,565	154,000	0,391	1,956	20,391	1,000	0,128	0,064
0	0,000	0,000	386,000	0,980	4,902	20,980	1,058	0,289	0,144
0,25	7,768	0,706	355,000	0,902	4,509	20,902	1,050	0,031	0,015
0,5	15,537	1,412	280,000	0,711	3,556	20,711	1,032	0,075	0,037
1	31,074	2,825	140,000	0,356	1,778	20,356	0,997	0,070	0,035
2	62,147	5,650	-160,100	-0,407	-2,033	19,593	0,922	0,075	0,037
3	93,221	8,475	-515,500	-1,309	-6,547	18,691	0,834	0,089	0,044
2	62,147	5,650	-483,600	-1,228	-6,142	18,772	0,841	0,008	0,004
1	31,074	2,825	-305,100	-0,775	-3,875	19,225	0,886	0,044	0,022
0,5	15,537	1,412	-186,900	-0,475	-2,374	19,525	0,915	0,059	0,029
0,25	7,768	0,706	-95,300	-0,248	-1,238	19,752	0,938	0,089	0,045



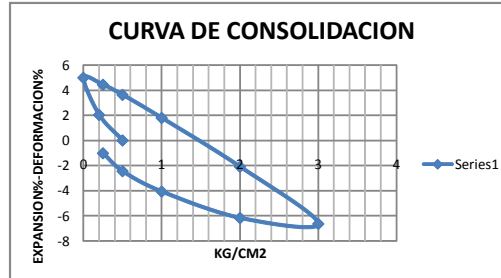


**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**DETERMINACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS-EXPANSION EN CONSOLIDOMETRO**  
**I.N.V. E – 132 – 07**

FECHA : noviembre 27 de 2009  
 PROYECTO : estabilizacion de arcillas expansivas  
 LOCALIZACION: barrancabermeja

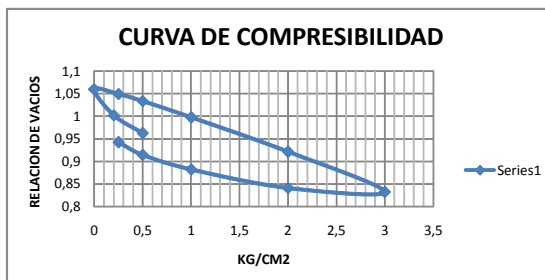
SONDEO : 1  
 MUESTRA : 1  
 PROFUNDIDAD : 0,5 m

Diametro del anillo	6,29	cm
Area del anillo	31,07	cm <sup>2</sup>
Altura del anillo	2	cm
Volumen del anillo	62,15	cm <sup>3</sup>
Peso del anillo	58,64	g
Peso anillo+ muestra humeda	168,1	g
Peso anillo+ muestra seca	142,58	g
Peso humedo de la muestra:	109,46	g
Peso seco de la muestra	83,94	g
Humedad	30,40	%
Peso especifico humedo	1,76	g/cm <sup>3</sup>
Peso especifico seco	1,35	g/cm <sup>3</sup>
Gravedad especifica de los solidos	2,65	
Altura de los solidos	1,02	cm
Altura de vacios	0,98	
Relacion de vacios	0,96	
Factor de corrección de la carga	11,00	



t (min)	Exp. Libre(kg/cm <sup>2</sup> )	Cargas (kg/cm <sup>2</sup> )						Descarga (Kg/cm <sup>2</sup> )			
	0,5 - 0,2 - 0,0	0,25	0,5	1	2	3	2	1	0,5	0,25	
0,1	6	375,50	308	258,5	50,8	-104,5	-512	-426,8	-285,7	-141,5	
0,25	18,6	371,20	303,5	248,1	-52	-122,7	-505,7	-415,5	-266,8	-135,2	
0,5	45,4	367,70	299,6	227	-75,5	-160,6	-500,1	-398,4	-252,6	-130	
1	60,7	364,80	296,7	215,5	-109,9	-235	-496,2	-385	-240	-124,8	
2	104,5	362,40	294,7	207,6	-123,1	-298,7	-495,1	-376,8	-231,7	-117,5	
4	136,2	360,20	292,9	161,2	-135,8	-354,3	-493	-367	-223,5	-108,1	
8	173	358,00	291,4	157	-144,5	-405,5	-492,5	-360,5	-217,5	-102,5	
15	215,4	355,90	290,2	153,6	-150	-440,5	-491,2	-352,4	-210,8	-94,5	
30	251,5	354,10	289	150,5	-153,7	-464	-490	-346,5	-205,5	-90,2	
60	296,4	352,30	288,2	148,1	-156,7	-485,2	-489,1	-340,8	-200	-87,5	
120	328,1	351,20	287,3	144,7	-159,8	-500,5	-487,2	-334	-196,8	-85,8	
240	359,3	350,00	286,5	143	-162	-511,4	-486,4	-329,2	-194,4	-83	
480	385,5	349,20	285,9	141,8	-163,5	-518	-486	-324,6	-193	-81,4	
1440	392,2	348,80	285,5	140,9	-164,5	-522,1	-485,4	-320,2	-192,4	-80,2	

Esfuerzo [kg/cm <sup>2</sup> ]	Carga, P [kg]	corregida [Kg]	Lectura deformimetrica acumulada [mm]	deformación %	deformacion %	Altura final probeta [mm]	relacion de vacio final [e]	Coefficiente mpresibilidad	mv [cm <sup>2</sup> /kg]
0,5	15,5368	1,41	0	0,0000	0,000	20,000	0,9620		
0,2	6,2147	0,56	160	0,4064	2,032	20,406	1,0019	0,1329	0,066
0	0,0000	0,00	392,2	0,9962	4,981	20,996	1,0597	0,2893	0,145
0,25	7,7684	0,71	348,8	0,8860	4,430	20,886	1,0489	0,0433	0,02161
0,5	15,5368	1,41	285,5	0,7252	3,626	20,725	1,0331	0,0631	0,03152
1	31,0736	2,82	140,9	0,3579	1,789	20,358	0,9971	0,0721	0,03600
2	62,1471	5,65	-164,5	-0,4178	-2,089	19,582	0,9210	0,0761	0,03801
3	93,2207	8,47	-522,1	-1,3261	-6,631	18,674	0,8319	0,0891	0,04451
2	62,1471	5,65	-485,4	-1,2329	-6,165	18,767	0,8410	0,0091	0,00457
1	31,0736	2,82	-320,2	-0,8133	-4,067	19,187	0,8822	0,0412	0,02056
0,5	15,5368	1,41	-192,4	-0,4887	-2,443	19,511	0,9141	0,0637	0,03181
0,25	7,7684	0,71	-80,2	-0,2037	-1,019	19,796	0,9420	0,1118	0,05586



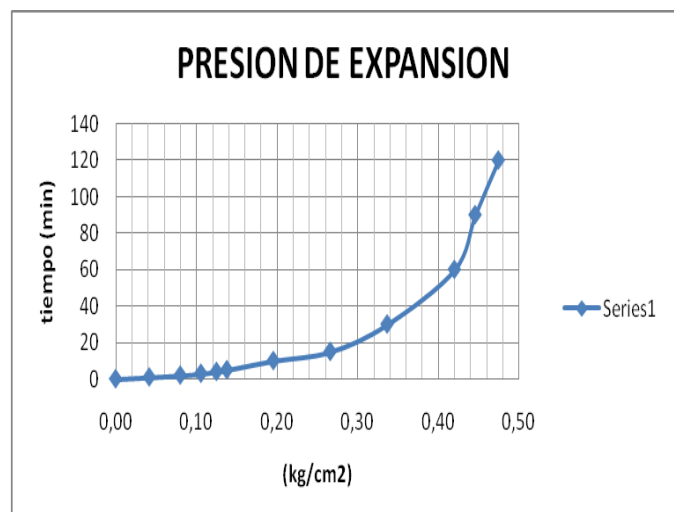


**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION**  
**ENSAYO DE PRESION DE EXPANSION-INV E 120-07**

<b>FECHA</b>	noviembre 28 de 2009	<b>SONDEO</b>	1
<b>PROYECTO</b>	estabilización de arcillas expansivas	<b>MUESTRA</b>	1
<b>LOCALIZACION</b>	Barrancabermeja	<b>PROFUNDIDAD</b>	0,5 m

Diametro del anillo	6,29	cm
Area del anillo	31,17	cm <sup>2</sup>
Altura del anillo	2	cm
Volumen del anillo	62,34	cm <sup>3</sup>
Peso del anillo	58,64	g

<b>PRESION DE EXPANSION</b>			
t(min)	Lectura (kg)	I.H (N/mm <sup>2</sup> )	presion (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0,00
1	1,3	0,004	0,04
2	2,5	0,008	0,08
3	3,3	0,011	0,11
4	3,9	0,013	0,13
5	4,3	0,014	0,14
10	6,1	0,020	0,20
15	8,3	0,027	0,27
30	10,5	0,034	0,34
60	13,1	0,042	0,42
90	13,9	0,045	0,45
120	14,8	0,048	0,47



Kg /cm2=	0,474789633
I.H (MP)	0,047634374
ton/m2	4,747896329

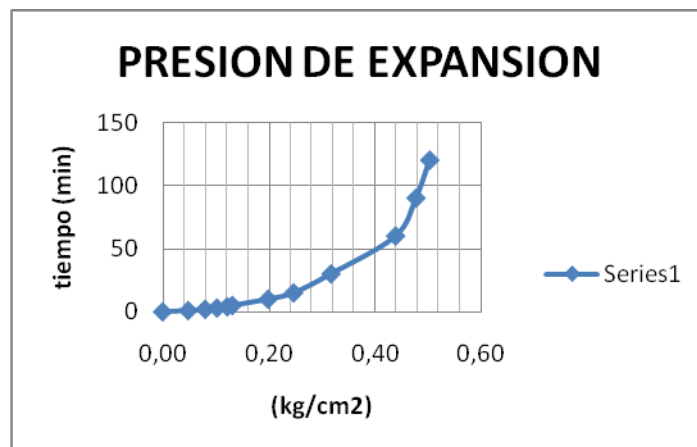


**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION  
ENSAYO DE PRESION DE EXPANSION-INV E 120-07**

<b>FECHA</b>	<u>noviembre de 2009</u>	<b>SONDEO</b>	<u>1</u>
<b>PROYECTO</b>	<u>estabilización de arcillas expansivas</u>	<b>MUESTRA</b>	<u>1</u>
<b>LOCALIZACION</b>	<u>Barrancabermeja</u>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<u>0,5 m</u>

Diametro del anillo	6,29 cm
Area del anillo	31,17 cm <sup>2</sup>
Altura del anillo	2 cm
Volumen del anillo	62,34 cm <sup>3</sup>

<b>PRESION DE EXPANSION</b>			
t(min)	Lectura (kg)	I.H (N/mm <sup>2</sup> )	presion (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0,00
1	1,5	0,005	0,05
2	2,5	0,008	0,08
3	3,2	0,010	0,10
4	3,8	0,012	0,12
5	4,1	0,013	0,13
10	6,2	0,020	0,20
15	7,7	0,025	0,25
30	9,9	0,032	0,32
60	13,7	0,044	0,44
90	14,9	0,048	0,48
120	15,7	0,051	0,50



Kg /cm2=	0,50
I.H (MP)	0,05
ton/m2	5,04

**ANEXOS B .MEMORIAS ENSAYOS DE CARACTERIZACION SUELO CON  
PILOTINES DE CAL.**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126**

FECHA : \_\_\_\_\_  
 PROYECTO : ESTABILIZACION DE ARCILLAS EXPANSIVAS  
 LOCALIZACION: BARRANCABERMEJA

SONDEO : 1  
 MUESTRA : 1  
 PROFUNDIDAD : 0,50 M

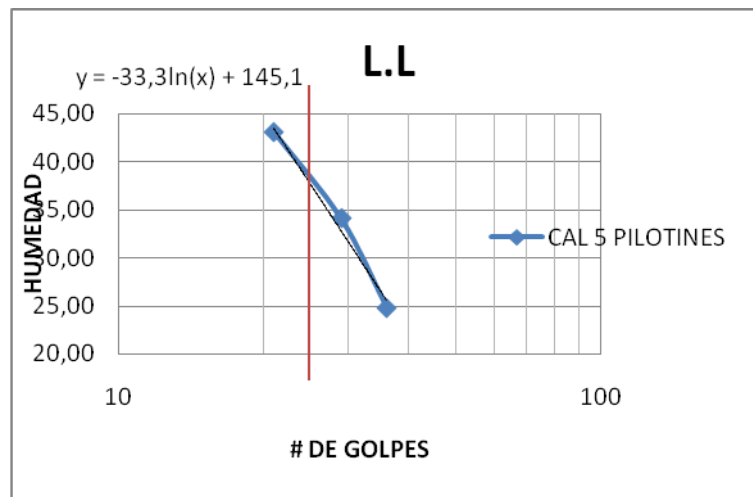
Para 5 pilotines con cal

**LIMITE LIQUIDO**

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA gr	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO gr	PESO CAPSULA + SUELO SECO gr	PESO DEL AGUA gr	PESO SUELO SECO gr	CONTENIDO DE AGUA %
8,2	22	6,84	22,8	18	4,8	11,16	43,01%
10,2	29	6,82	20,2	16,8	3,4	9,98	34,07%
6,2	35	7,00	20,1	17,5	2,6	10,5	24,76%

**LIMITE PLASTICO**

18,9	7,5	11,5	10,6	0,9	3,1	29,03%
9,2	8	11,78	10,95	0,83	2,95	28,14%



LIMITE LIQUIDO : 38%  
 LIM. PLASTICO : 28%  
 IND. DE PLASTI. : 9%  
 CLASIFICACION SUCS. : CH



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126**

FECHA : \_\_\_\_\_  
 PROYECTO : ESTABILIZACION DE ARCILLAS EXPANSIVAS  
 LOCALIZACION: BARRANCABERMEJA

SONDEO : 1  
 MUESTRA : 1  
 PROFUNDIDAD : 0,50 M

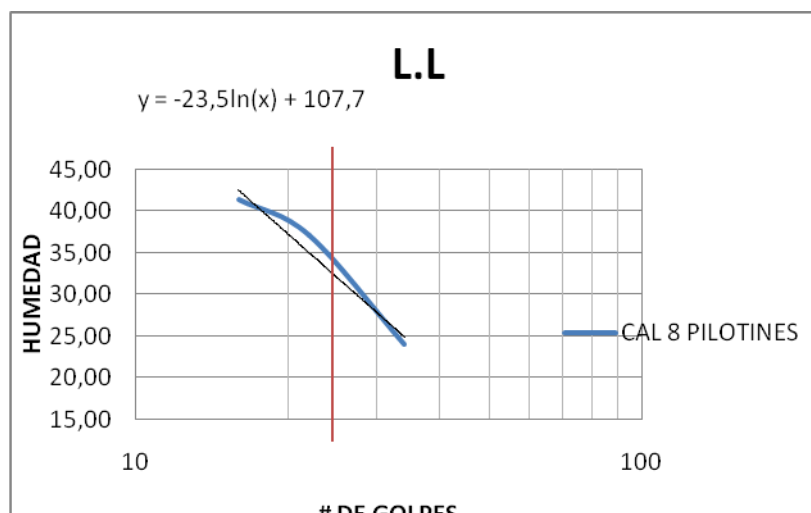
Para 8 pilotines con cal

**LIMITE LIQUIDO**

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA gr	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO gr	PESO CAPSULA + SUELO SECO gr	PESO DEL AGUA gr	PESO SUELO SECO gr	CONTENIDO DE AGUA %
18,2	16	7,4	26,2	20,7	5,5	13,3	41,35%
5,2	22	7,6	25,7	20,8	4,9	13,2	37,12%
12,3	34	6,60	18,5	16,2	2,3	9,6	23,96%

**LIMITE PLASTICO**

18,9	8	11,47	10,69	0,78	2,69	29,00%
7,3	7,6	11,3	10,49	0,81	2,89	28,03%



LIMITE LIQUIDO : 35%

LIM. PLASTICO : 29%

IND. DE PLASTI. : 6%

CLASIFICACION SUCS.  
: CH



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION**  
**ENSAYO DE PRESION DE EXPANSION-INV E 120-07**

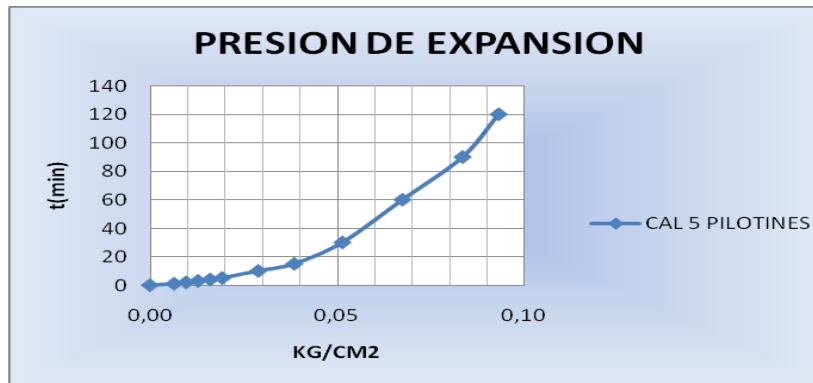
<b>FECHA</b>	<u>noviembre 27 de 2009</u>	<b>SONDEO</b>	<u>1</u>
<b>PROYECTO</b>	<u>Estabilizacion de arcillas expansivas</u>	<b>MUESTRA</b>	<u>1</u>
<b>LOCALIZACION</b>	<u>barrancabermeja</u>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<u>0,5 m</u>

Diametro del anillo	6,29	cm
Area del anillo	31,17	cm <sup>2</sup>
Altura del anillo	2	cm
Volumen del anillo	62,34	cm <sup>3</sup>
Peso del anillo	58,64	g

**cal 5 pil. prueba1**

<b>PRESION DE EXPANSION</b>			
t(min)	Lectura (kg)	I.H (N/mm <sup>2</sup> )	presion (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0,00
1	0,2	0,001	0,01
2	0,3	0,001	0,01
3	0,4	0,001	0,01
4	0,5	0,002	0,02
5	0,6	0,002	0,02
10	0,9	0,003	0,03
15	1,2	0,004	0,04
30	1,6	0,005	0,05

60	2,1	0,007	0,07
90	2,6	0,008	0,08
120	2,9	0,009	0,09



Kg /cm2=	0,0930
I.H (MP)	0,0090
ton/m2	0,9303



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION**  
**ENSAYO DE PRESION DE EXPANSION-INV E 120-**  
**07**

<b>FECHA</b>	<u>Noviembre 28 de 2009</u>	<b>SONDEO</b>	<u>1</u>
<b>PROYECTO</b>	<u>estabilizacion de arcillas expanivas</u>	<b>MUESTRA</b>	<u>1</u>
<b>LOCALIZACION</b>	<u>barrancabermeja</u>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<u>0,5 m</u>

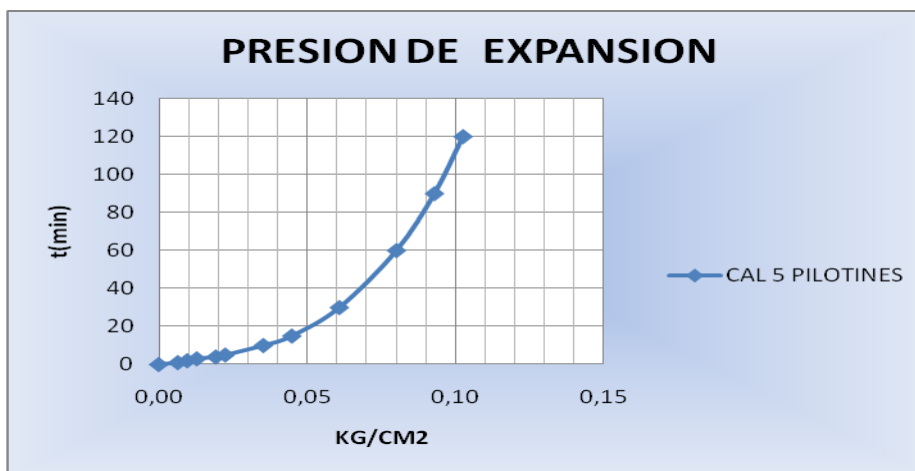
cal con 5 pil.pruoba 2

Diametro del anillo	6,29	cm
Area del anillo	31,17	cm <sup>2</sup>
Altura del anillo	2	cm
Volumen del anillo	62,34	cm <sup>3</sup>
Peso del anillo	58,64	g

**cal 5 pil prueba2**

<b>PRESION DE EXPANSION</b>			
t(min)	Lectura (kg)	I.H (N/mm <sup>2</sup> )	presion (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0,00

1	0,2	0,001	0,01
2	0,3	0,001	0,01
3	0,4	0,001	0,01
4	0,6	0,002	0,02
5	0,7	0,002	0,02
10	1,1	0,004	0,04
15	1,4	0,005	0,04
30	1,9	0,006	0,06
60	2,5	0,008	0,08
90	2,9	0,009	0,09
120	3,2	0,010	0,10



Kg /cm2=	0,103
I.H (MP)	0,010
ton/m2	1,027



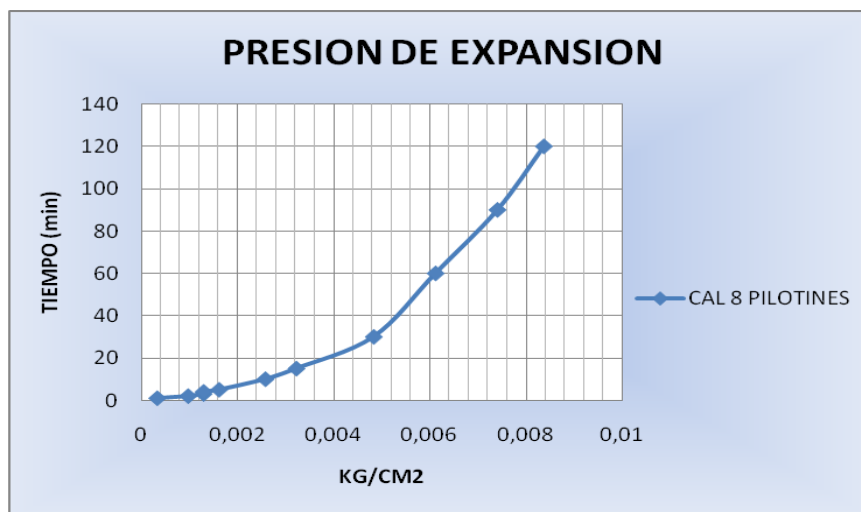
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION  
ENSAYO DE PRESION DE EXPANSION-INV E 120-07**

FECHA	<u>noviembre de 2009</u>	SONDEO	<u>1</u>
PROYECTO	<u>estabilizacion de arcillas expansivas</u>	MUESTRA	<u>1</u>
LOCALIZACION	<u>barrancabermeja</u>	PROFUNDIDAD	<u>0,5 m</u>

Diametro del anillo	6,29	cm
Area del anillo	31,17	cm <sup>2</sup>
Altura del anillo	2	cm
Volumen del anillo	62,34	cm <sup>3</sup>

**cal 8 pil prueba1**

<b>PRESION DE EXPANSION</b>			
t(min)	Lectura (kg)	I.H (N/mm2)	presion (kg/cm2)
0	0	0	0,00
1	0,1	0,000	0,00
2	0,3	0,001	0,01
3	0,4	0,001	0,01
4	0,4	0,001	0,01
5	0,5	0,002	0,02
10	0,8	0,003	0,03
15	1	0,003	0,03
30	1,5	0,005	0,05
60	1,9	0,006	0,06
90	2,3	0,007	0,07
120	2,6	0,008	0,08



Kg /cm2=	0,0834
I.H (MP)	0,0080
ton/m2	0,8341



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION**  
**ENSAYO DE PRESION DE EXPANSION-INV E 120-07**

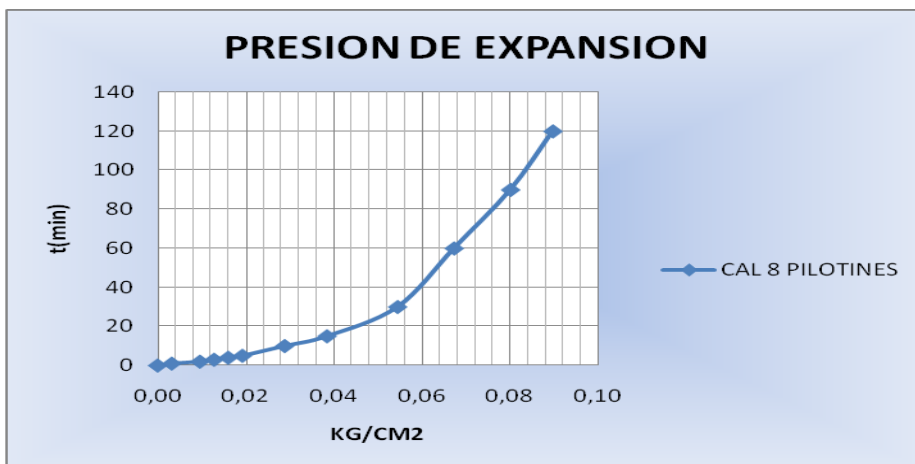
FECHA	NOVIEMBRE DE 2009	SONDEO	1
PROYECTO	estabilizacion de arcillas expansivas	MUESTRA	1

LOCALIZACION barrancabermeja PROFUNDIDAD 0,5 m

Diametro del anillo	6,29	cm
Area del anillo	31,17	cm <sup>2</sup>
Altura del anillo	2	cm
Volumen del anillo	62,34	cm <sup>3</sup>
Peso del anillo	58,64	g

**cal 8 pil prueba2**

PRESION DE EXPANSION			
t(min)	Lectura (kg)	I.H (N/mm <sup>2</sup> )	presion (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0,00
1	0,1	0,000	0,00
2	0,3	0,001	0,01
3	0,4	0,001	0,01
4	0,5	0,002	0,02
5	0,6	0,002	0,02
10	0,9	0,003	0,03
15	1,2	0,004	0,04
30	1,7	0,005	0,05
60	2,1	0,007	0,07
90	2,5	0,008	0,08
120	2,8	0,009	0,09



Kg /cm <sup>2</sup> =	0,08982507
I.H (MP)	0,009
ton/m <sup>2</sup>	0,8982507

**ANEXOS C .MEMORIAS ENSAYOS DE CARACTERIZACION SUELO CON  
PILOTINES DE SAL.**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126**

FECHA : \_\_\_\_\_ SONDEO : 1

PROYECTO : ESTABILIZACION DE ARCILLAS EXPANSIVAS  
 LOCALIZACION: BARRANCABERMEJA

MUESTRA : 1  
 PROFUNDIDAD : 0,50 M

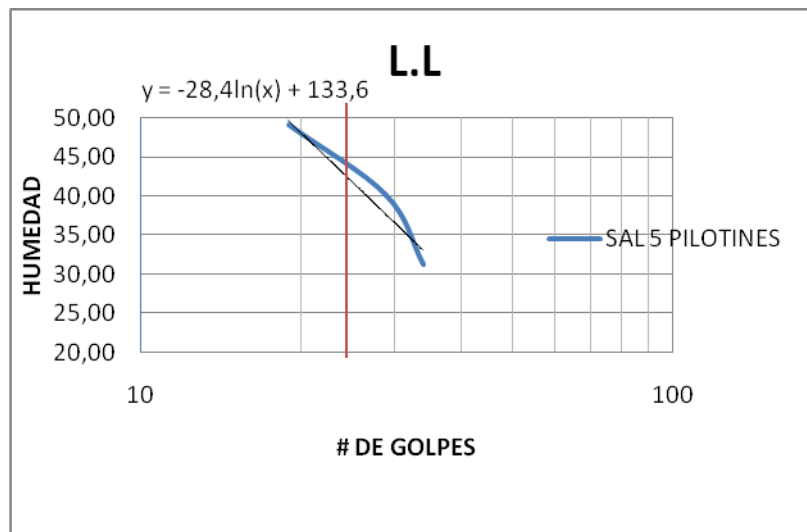
Para 5 pilotines con sal

### LIMITE LIQUIDO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%
8,2	20	6,84	22,95	17,65	5,3	10,81	49,03%
10,2	29	6,82	20,95	16,9	4,05	10,08	40,18%
6,2	33	7,00	21,72	18,21	3,51	11,21	31,31%

### LIMITE PLASTICO

5,19		6,9	11,2	10,3	0,9	3,4	26,47%
19,3		10,6	14,85	13,98	0,87	3,38	25,74%



LIMITE LIQUIDO : 44%  
 LIM. PLASTICO : 26%  
 IND. DE PLASTI. : 18%  
 CLASIFICACION SUCS. : CH



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126

FECHA : \_\_\_\_\_  
 PROYECTO : ESTABILIZACION DE ARCILLAS EXPANSIVAS  
 LOCALIZACION: BARRANCABERMEJA

SONDEO : 1  
 MUESTRA : 1  
 PROFUNDIDAD : 0,50 M

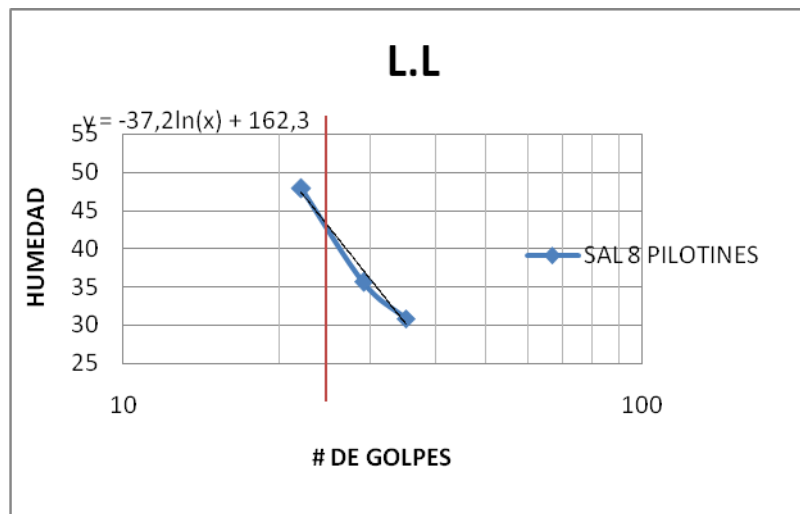
Para 8 pilotines con sal

## LIMITE LIQUIDO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA gr	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO gr	PESO CAPSULA + SUELO SECO gr	PESO DEL AGUA gr	PESO SUELO SECO gr	CONTENIDO DE AGUA %
18,2	22	6,84	22,9	17,7	5,2	10,86	47,88%
5,2	29	6,82	20,9	17,2	3,7	10,38	35,65%
12,3	35	7,00	21,2	17,85	3,35	10,85	30,88%

## LIMITE PLASTICO

5,19	6,9	11,3	10,35	0,95	3,45	27,54%
20,3	7,5	12,55	11,5	1,05	4	26,25%



LIMITE LIQUIDO : 42%  
 LIM. PLASTICO : 28%  
 IND. DE PLASTI. : 14%  
 CLASIFICACION SUCS. : CH



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

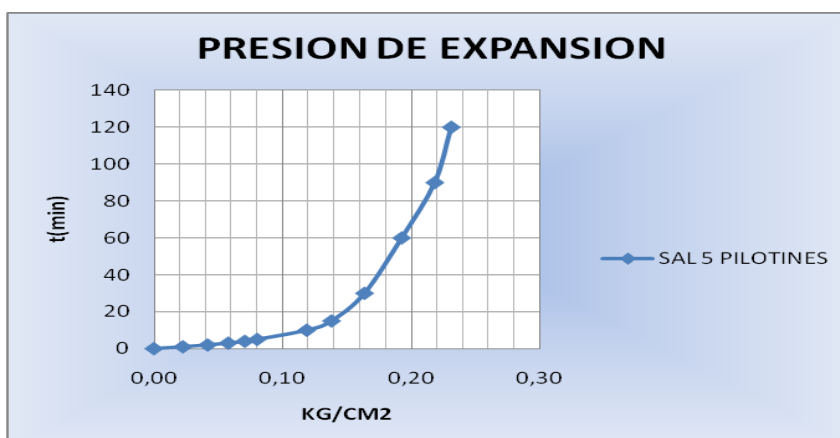
## CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION ENSAYO DE PRESION DE EXPANSION-INV E 120-07

FECHA	noviembre 29 de 2009	SONDEO	1
PROYECTO	estabilizacion de arcillas expansivas	MUESTRA	1
LOCALIZACION	barrancabermeja	PROFUNDIDAD	0,5 m

Diametro del anillo	6,29	cm
Area del anillo	31,17	cm <sup>2</sup>
Altura del anillo	2	cm
Volumen del anillo	62,34	cm <sup>3</sup>
Peso del anillo	58,64	g

sal 5 pil prueba1

PRESION DE EXPANSION			
t(min)	Lectura (kg)	I.H (N/mm <sup>2</sup> )	presion (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0,00
1	0,7	0,002	0,02
2	1,3	0,004	0,04
3	1,8	0,006	0,06
4	2,2	0,007	0,07
5	2,5	0,008	0,08
10	3,7	0,012	0,12
15	4,3	0,014	0,14
30	5,1	0,016	0,16
60	6	0,019	0,19
90	6,8	0,022	0,22
120	7,2	0,023	0,23



Kg /cm <sup>2</sup> =	0,23097874
I.H (MP)	0,023
ton/m <sup>2</sup>	2,3097874

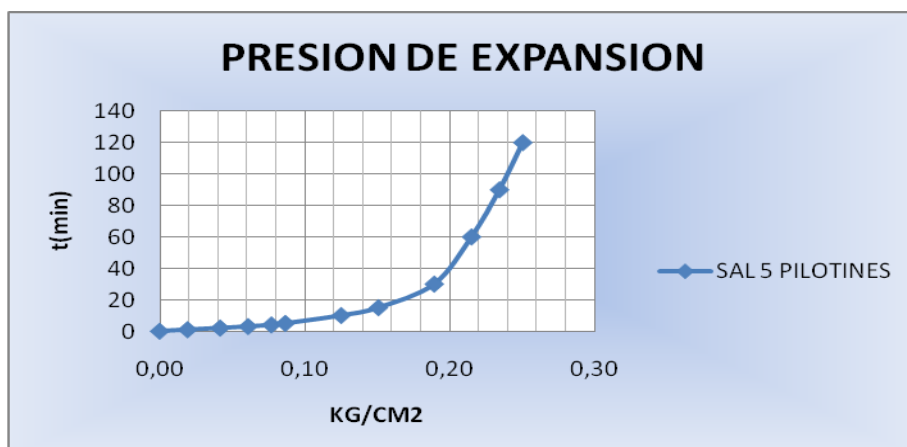


**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION**  
**ENSAYO DE PRESION DE EXPANSION-INV E 120-07**

<b>FECHA</b>	NOVIEMBRE 26 DE 2009	<b>SONDEO</b>	1
<b>PROYECTO</b>	estabilizacion de arcillas expansivas	<b>MUESTRA</b>	1
<b>LOCALIZACION</b>	barrancabermeja	<b>PROFUNDIDAD</b>	0,5 m

Diametro del anillo	6,29	cm
Area del anillo	31,17	cm <sup>2</sup>
Altura del anillo	2	cm
Volumen del anillo	62,34	cm <sup>3</sup>
Peso del anillo	58,64	g

<b>PRESION DE EXPANSION</b>			
t(min)	Lectura (kg)	I.H (N/mm <sup>2</sup> )	presion (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0,00
1	0,6	0,002	0,02
2	1,3	0,004	0,04
3	1,9	0,006	0,06
4	2,4	0,008	0,08
5	2,7	0,009	0,09
10	3,9	0,013	0,13
15	4,7	0,015	0,15
30	5,9	0,019	0,19
60	6,7	0,022	0,21
90	7,3	0,023	0,23
120	7,8	0,025	0,25





**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE**  
**CONSTRUCCION**  
**ENSAYO DE PRESION DE EXPANSION-INV E 120-07**

<b>FECHA</b>	<u>noviembre 26 de 2009</u>	<b>SONDEO</b>	<u>1</u>
<b>PROYECTO</b>	<u>estabilizacion de arcillas expansivas</u>	<b>MUESTRA</b>	<u>1</u>
<b>LOCALIZACION</b>	<u>barrancabermeja</u>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<u>0,5 m</u>

Diametro del anillo	6,29	cm
Area del anillo	31,17	cm <sup>2</sup>
Altura del anillo	2	cm
Volumen del anillo	62,34	cm <sup>3</sup>
Peso del anillo	58,64	g

**sal 8 pil prueba1**

<b>PRESION DE EXPANSION</b>			
t(min)	Lectura (kg)	I.H (N/mm <sup>2</sup> )	presion (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0,00
1	0,5	0,002	0,02
2	1,1	0,004	0,04
3	1,3	0,004	0,04
4	1,7	0,005	0,05
5	2	0,006	0,06
10	3,1	0,010	0,10
15	3,7	0,012	0,12
30	4,5	0,014	0,14
60	5,5	0,018	0,18
90	6,1	0,020	0,20
120	6,3	0,020	0,20



Kg /cm2=	0,2021
I.H (MP)	0,0200
ton/m2	2,0211



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION**  
**ENSAYO DE PRESION DE EXPANSION-INV E 120-07**

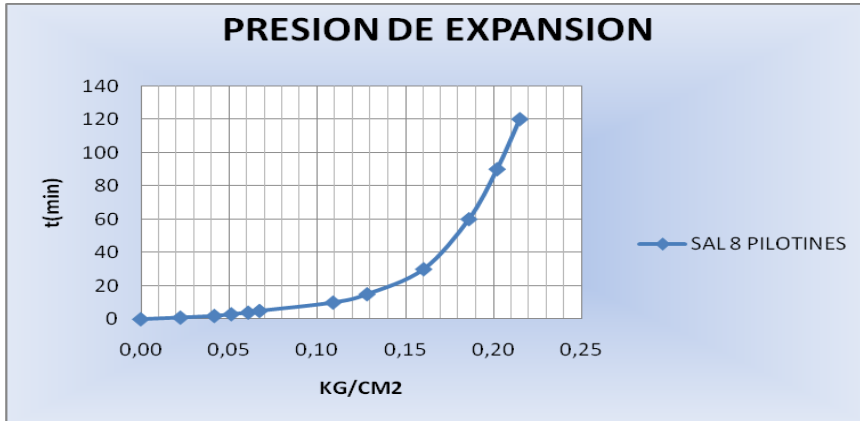
<b>FECHA</b>	noviembre de 2009	<b>SONDEO</b>	1
<b>PROYECTO</b>	estabilizacion de arcilla expansivas	<b>MUESTRA</b>	1
<b>LOCALIZACION</b>	barrancabermeja	<b>PROFUNDIDAD</b>	0,5 m

Diametro del anillo	6,29	cm
Area del anillo	31,17	cm <sup>2</sup>
Altura del anillo	2	cm
Volumen del anillo	62,34	cm <sup>3</sup>
Peso del anillo	58,64	g

**sal 8 pil prueba2**

<b>PRESION DE EXPANSION</b>			
t(min)	Lectura (kg)	I.H (N/mm <sup>2</sup> )	presion (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0,00
1	0,7	0,002	0,02
2	1,3	0,004	0,04
3	1,6	0,005	0,05
4	1,9	0,006	0,06
5	2,1	0,007	0,07
10	3,4	0,011	0,11
15	4	0,013	0,13
30	5	0,016	0,16
60	5,8	0,019	0,19

90	6,3	0,020	0,20
120	6,7	0,022	0,21



Kg /cm2=	0,2149
I.H (MP)	0,0220
ton/m2	2,1494

