

ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL COLAPSO EN MUESTRAS COMPACTADAS  
DE UN SUELO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA (AMB).

MARÍA ISABEL MARTÍNEZ LÓPEZ  
EDITH JOHANA NOGUERA CASTIBLANCO



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2013

ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL COLAPSO EN MUESTRAS COMPACTADAS  
DE UN SUELO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA (AMB).

MARÍA ISABEL MARTÍNEZ LÓPEZ  
EDITH JOHANA NOGUERA CASTIBLANCO

Trabajo de Grado para Optar el título de  
INGENIERA CIVIL

Director  
VLADIMIR ERNESTO MERCHÁN



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA

2013

## **DEDICATORIA**

Primero a Dios por darme la vida, por la oportunidad de vivir en este mundo loco,  
por estar en cada momento acompañandome

A mis padres por su apoyo incondicional en cada momento de este proceso, por  
estar conmigo en cada etapa de mi vida, comprenderme en los momentos más  
difíciles y lo más importante darme un hermoso hogar

A mis hermanos quienes ven en mí un ejemplo y además han confiado en mis  
capacidades para salir adelante, por ellos mi fuerza para continuar

A todos mis demás familiares porque de una u otra manera me dieron su apoyo en  
este ciclo

A Maikol Ricardo Gómez Forero, quien acompañandome en todos los momentos  
vividos me ha dado una voz de aliento y quien hoy es el dueño de un gran  
pedacito de mi corazón

A todos los amigos y compañeros quienes en este paso por la Universidad me  
acompañaron y ayudaron a recorrer este camino

A mi mejor amiga de la U María Isabel ya que al estar unidas por esta meta me ha  
acompañado en todos los momentos difíciles y porque juntas unimos fuerzas para  
hacer este sueño realidad

**Edith Johana Noguera Castiblanco**

## **DEDICATORIA**

A Dios por ser la luz permanente en mi camino

A mis padres por su apoyo, por brindarme una familia unida y feliz, por hacer de mi lugar y de mi estadía en el planeta un cálido universo

A mis amadas hermanas, por ser el motor de superación en mi vida; para que esto sea un aliento en sus vidas, un ejemplo a seguir

A mi abuelita por regalarme su desbordado amor, por creer en mí

A todos mis tíos, primos y demás familiares, porque de una u otra manera aportaron su granito de arena en este proceso formativo

A Jesús Enrique Camargo, por estar ahí en los tiempos nublados y soleados, por robarte un pedacito de mi corazón.

A todos esos amigos que fueron y vinieron en estos años de experiencia UIS, estoy segura que estos años aunque sufridos estarán entre los mejores de mi vida.

**María Isabel Martínez López**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al profesor Vladimir Ernesto Merchán Jaimes, nuestro director de proyecto, por sus valiosos aportes y conocimientos, por estar atento a nuestras consultas a pesar de sus ocupaciones.

A nuestros padres, por su apoyo desde nuestras primeras épocas Universitarias, gracias por ser nuestros pilares, nuestro ejemplo a seguir.

A Héctor Torres Ortiz, por su amable y desinteresada colaboración.

A nuestros amigos, por regalarnos siempre una palabra de aliento siempre que la necesitábamos.

A la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, por forjar en nosotras un espíritu de fortaleza, por darnos la oportunidad de adquirir valiosos conocimientos y permitirnos ser las profesionales que somos hoy día.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	18
1. OBJETIVOS.....	20
1.1 OBJETIVO. GENERAL .....	20
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
2. MARCO TEÓRICO .....	21
2.1 COLAPSO.....	21
2.2 SUELOS COLAPSABLES POR HUMEDECIMIENTO:.....	22
2.3 POTENCIAL PORCENTUAL DE COLAPSO ( $I_c$ ).....	22
2.4 ÍNDICE DE COLAPSO (IE).....	24
2.5 MECANISMO DEL COLAPSO.....	25
2.6 MÉTODOS PARA ESTABLECER COLAPSO BASADO EN PARÁMETROS FÍSICOS DE SUELOS: .....	26
2.7 MÉTODO USADO PARA EL ANÁLISIS DE DATOS .....	27
3. CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA .....	30
3.1. LOCALIZACIÓN:.....	30
3.1.1 Localización del Proyecto .....	30
3.1.2 Características del Proyecto .....	30
3.1.3 Descripción del Sector .....	31
3.1.4 Clima.....	31
3.2 CLASIFICACIÓN .....	33
3.2.1 Granulometría .....	33
3.2.2 Límites de ATTERBERG.....	36
3.2.3 Determinación de Humedad Óptima.....	39
3.3 DESCRIPCIÓN .....	41
3.3.1 Procedimiento .....	41
3.3.2 Cálculos y representación de resultados .....	43
4. ESTUDIO EXPERIMENTAL .....	45

4.1 METODOLOGÍA .....	45
4.1.1 Requisitos .....	45
4.1.2 Resultados de muestras Remoldeada vs. Comparada .....	47
4.1.3 Comparación de resultados muestras Compactadas .....	51
4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	51
4.2.1 Análisis de muestras Remoldeada vs. Compactada.....	51
4.2.2 Comparación de resultados muestras Compactadas .....	52
CONCLUSIONES .....	54
BIBLIOGRAFÍA.....	56
ANEXOS .....	58

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación del Índice de Colapso .....	27
Figura 2. Diagrama de Fase Inicial .....	28
Figura 3. Diagrama de Fase, Comportamiento Expansivo .....	28
Figura 4. Diagrama de Fase, Comportamiento Contracción.....	29
Figura 5. Localización del Proyecto .....	32
Figura 6. Clasificación de Suelos por el método USCS .....	35
Figura 7. Carta de Plasticidad de ATTERBERG .....	35
Figura 8. Granulometría.....	38
Figura 9. Límites de Atterberg.....	39
Figura 10. Resultados.....	39
Figura 11. Grafica de Humedad Óptima .....	40
Figura 12. Curva típica de Colapso.....	44
Figura 13. Proceso de Compresión de Gas.....	45
Figura 14. Resultados Ensayo de Proctor Modificado .....	59

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Humedades utilizadas en el proyecto. ....	46
Tabla 2. Grafica de resultado Deformación vs. Tiempo obtenido en ensayos. ....	47
Tabla 3. Grafica de resultado Deformación vs. Tiempo obtenido en ensayos. ....	48
Tabla 4. Grafica de resultado Deformación vs. Tiempo obtenido en ensayos. ....	48
Tabla 5. Grafica de resultado Deformación vs. Tiempo obtenido en ensayos. ....	49
Tabla 6. Grafica de resultado Deformación vs. Tiempo obtenido en ensayos. ....	49
Tabla 7. Grafica de resultado Deformación vs. Tiempo obtenido en ensayos. ....	50
Tabla 8. Grafica de resultado Deformación vs. Tiempo obtenido en ensayos. ....	50
Tabla 9. Grafica de resultado Deformación vs. Tiempo obtenido en ensayos. ....	51
Tabla 10. Determinación de Potencial de colapso para la muestra analizada.....	53

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1. Caracterización en el laboratorio. ....	37
Fotografía 2. Proctor Modificado.....	58
Fotografía 3. Ensayo de Consolidación .....	60

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Proctor Modificado .....	58
Anexo B. Variación de Volumen por medio del ensayo de Consolidación.....	60
Anexo C. Datos tomados en el ensayo de Determinación del Potencial de Colapso .....	61

## RESUMEN

### TITULO:

ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL COLAPSO EN MUESTRAS COMPACTADAS DE UN SUELO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA (AMB).\*

### AUTORES:

MARTÍNEZ LÓPEZ, María Isabel  
NOGUERA CASTIBLANCO, Edith Johana\*\*

### PALABRAS CLAVES:

SUELOS, COLAPSO, HUMEDAD, COMPORTAMIENTO, ENSAYOS, CONSOLIDACIÓN, POTENCIAL DE COLAPSO.

### CONTENIDO:

En la Mecánica del Suelo suele hacerse una división de los suelos según sean los factores que determinen su comportamiento en: Suelos estructuralmente estables e inestables

Se define a los primeros como aquellos, cuyo comportamiento depende sólo de sus propiedades intrínsecas y de factores mecánicos; y a los segundos, como suelos cuyo comportamiento no sólo está en relación directa con las sollicitaciones mecánicas, sino que también está controlado por factores externos al suelo, como pueden ser las variaciones ambientales, entre otros.

La aplicación de este proyecto permite establecer el comportamiento que presentan los suelos en el Barrio San Francisco, ubicado en la comuna 3 de Bucaramanga debido al humedecimiento, uno de los principales fenómenos que afectan su estructura intergranular; El tipo de muestras que presentan estas características son denominados: suelos colapsables, incluidos dentro de los suelos estructuralmente inestables.

La metodología establecida para la elaboración de este proyecto de grado comprende cuatro etapas: la primera consiste en recopilar información que establezca el comportamiento de los suelos de la meseta de Bucaramanga. La segunda consiste en la búsqueda, obtención y clasificación de la muestra a analizar. La tercera consta de la realización de los ensayos pertinentes – cumpliendo las especificaciones establecidas en la norma INVIAS-, efectuando las respectivas variaciones establecidas al inicio del proyecto para obtener los datos requeridos; y finalmente la cuarta etapa consiste en la tabulación, análisis y consolidación de los resultados anteriores, para establecer el comportamiento estructural de la muestra a partir de una variación de humedad.

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Fisicomecánicas. escuela ingeniería civil Director Merchán Vladimir Ernesto

## ABSTRAC

### TITLE:

EXPERIMENTAL STUDY OF COLLAPSE IN SAMPLES COMPACTED SOIL IN METROPOLITAN AREA OF BUCARAMANGA (AMB).

### AUTHORS:

MARTÍNEZ LÓPEZ, Maria Isabel  
NOGUERA CASTIBLANCO, Edith Johana

### KEY WORDS:

SOILS, COLLAPSE, HUMIDITY, BEHAVIOR, TESTING, CONSOLIDATION, COLLAPSE POTENTIAL.

### CONTENT:

In soil mechanics usually made a division of soils as are the factors that determine their behavior: structurally stable and unstable soils.

The former is defined as those whose behavior depends only on its intrinsic properties and mechanical factors, and the latter, as soils whose behavior is not only directly related to the mechanical, but is also controlled by external factors to the ground , such as environmental variations, among others.

The implementation of this project allows for the behaviors of the soils in the San Francisco District, located in the municipality of Bucaramanga in March due to wetting, one of the main phenomena affecting intergranular structure, the type of samples that have these characteristics are called: collapsible soils, including within structurally unstable soils

The established methodology for the development of this project includes grade four stages: the first is to gather information to establish the behavior of the soils of the plateau of Bucaramanga. The second is the search, collection and classification of the test sample. The third consists of carrying out the relevant tests - meeting the specifications in the standard-INVIAS, making the respective changes established at the beginning of the project to obtain the required data, and finally the fourth step is the tabulation, analysis and consolidation of the results, to establish the structural behavior of the sample from a variation of moisture.

\* Work Degree

Faculty of physicommechanical \*\*. civil engineering school director Ernesto Vladimir Merchan

## INTRODUCCIÓN

La variación de volumen que presenta un determinado suelo, producida por el aumento de cualquier factor como contenido de humedad, grado de saturación, tensión de corte y presión de poros entre otros, que generan alteraciones tanto físicas como químicas; es lo que se define de manera general como “El Colapso”.

Los suelos que son propensos a este fenómeno tienen características notables en las que se destaca la poca fuerza de cohesión, estructura macroporosa con índice de poros relativamente alto, granulometría predominantemente fina (fracciones de limos y arcilla) y mala distribución microestructural.

En el área metropolitana de Bucaramanga e incluso a nivel nuestra nación (Colombia), se han realizado pocos estudios relacionados al colapso en materiales compactados; por lo anterior, se carece de información elemental sobre el estado en que se encuentran los suelos de esta área del departamento de Santander y del país en general. Esta falta de información, genera que los trabajos de ingeniería, cimentados sobre los suelos susceptibles al colapso en estas zonas, puedan verse afectados gravemente de manera inesperada, lo que a menudo induce a grandes asentamientos cuando estos son saturados después de la construcción. Los suelos susceptibles al colapso se encuentran en cualquier parte del mundo, lo que hace más importante la predicción del potencial de colapso para el diseño de estructuras de ingeniería.

Siendo consecuentes con lo anterior, se plantea el presente proyecto, en el cual se hará un estudio experimental para determinar el potencial de colapso en muestras compactadas de un suelo del **Barrio San Francisco de la Ciudad de Bucaramanga**. Para el desarrollo de este proyecto se ha incluido una serie de

ensayos tales como: proctor modificado, granulometría, consolidación y colapso en suelos parcialmente saturados, entre otros, los cuales se centran y fundamentan en las indicaciones expuestas por la norma INVIAS; sus resultados permitirán obtener la información necesaria para continuar con el proceso investigativo y así cumplir con el objetivo principal.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO. GENERAL**

Realizar un estudio experimental para un suelo del AMB y determinar el potencial de colapso en muestras saturadas y compactadas con carga axial constante

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Realizar una caracterización del material.
- Observar el comportamiento de la muestra cuando es sometida a una carga axial constante.
- Estudiar la influencia del contenido de humedad en el potencial de colapso de las muestras compactadas.
- Analizar la influencia de la densidad de la muestra en el potencial de colapso y su contribución en la falla.
- Determinar el comportamiento de la muestra bajo el esfuerzo de confinamiento.
- Calcular el potencial de colapso en una muestra saturada y parcialmente saturada

## 2. MARCO TEÓRICO

La principal finalidad de los estudios de Geotecnia es asegurar la estabilidad y permanencia de las obras civiles además de promover la utilización racional de los recursos, es por ello que para cimentaciones la Mecánica de Suelos ha diseñado el Ensayo de Consolidación, el cual permite determinar el Potencial de Colapso-entre otros comportamientos-, siendo este la base de este proyecto.

La realización de los estudios se define a partir del conocimiento que se tenga en cuanto al comportamiento del suelo, es decir, determinar los parámetros del mismo, de acuerdo con esto y asumiendo una gran escasez de información del suelo en el que realizará la cimentación se analizará como se mencionó previamente el potencial de colapso.

En la determinación del potencial de colapso los suelos a ser estudiados, se identifican principalmente por cambios bruscos en su volumetría, esta variación puede ser generada a partir de 2 causas: a) Someter la muestra a un incremento de carga, b) humedecerla o saturarla.

Para determinar la magnitud del potencial de colapso se requiere mencionar algunos parámetros que se encuentran establecidos en la norma I.N.V. E-157-07 (DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE COLAPSO DE UN SUELO PARCIALMENTE SATURADO), basados en ella se toman las siguientes definiciones:

### 2.1 COLAPSO.

Se define como la disminución de altura que experimenta una muestra de suelo en unas determinadas condiciones de estado (densidad y humedad), confinada lateralmente y sometida a un esfuerzo vertical constante, en el momento de ser

inundada. Un suelo con susceptibilidad al colapso puede experimentar deformaciones verticales pequeñas bajo el efecto de esfuerzos verticales importantes, mientras su contenido en humedad sea bajo; sin embargo, puede sufrir asentamientos importantes a partir del momento de ser inundado, manteniéndose constante la presión vertical.

## **2.2 SUELOS COLAPSABLES POR HUMEDECIMIENTO:**

Establecida la definición general de colapso, nuestro análisis se centrará en aquellos suelos en los cuales el colapso de la estructura del suelo es provocado por un incremento del contenido de humedad. Por lo tanto, en lo sucesivo cuando se hable de suelos colapsables, se entenderá que son aquellos suelos, en que un aumento en el contenido de humedad, provoca una brusca disminución de volumen, sin la necesidad de un aumento en la presión aplicada.

A partir de esta definición, se advierte:

- Por un lado una destrucción o un cambio en la estructura que el suelo tenía originalmente, y
- Por el otro lado, un agente externo: el agua, que provoca este fenómeno.

En la Mecánica de Suelos clásica de los suelos saturados o de los suelos secos el fenómeno de colapso generalmente viene asociado a un cambio en el estado tensional del suelo. En cambio aquí, y en una primera definición, estaría provocado por un agente externo (cambio en el contenido de humedad).

## **2.3 POTENCIAL PORCENTUAL DE COLAPSO ( $I_c$ ).**

Es el valor de colapso determinado, para una presión vertical cualquiera, como el porcentaje de disminución de altura que experimenta la probeta al ser inundada, una vez alcanzado el equilibrio bajo la acción de la presión vertical seleccionada, con respecto a la altura inicial de la probeta.

$$I_c = \left[ \frac{(d_f - d_0)}{h_0} - \frac{(d_i - d_0)}{h_0} \right] \times 100 = \frac{d_f - d_i}{h_0} \times 100 \quad (3.2.1)$$

Donde:

- **$d_0$**  = lectura en el deformímetro después de la carga de fijamiento en el momento en que se va a iniciar el ensayo, antes de aplicar el esfuerzo vertical predeterminado, en mm
- **$d_i$**  = lectura en el deformímetro correspondiente al equilibrio con el esfuerzo vertical predeterminado aplicado, antes de inundar, en mm
- **$d_f$**  = lectura en el deformímetro correspondiente al equilibrio con la presión vertical aplicada y después de inundar, en mm
- **$h_0$**  = altura inicial de la probeta en mm
- **$(d_f - d_0)/h_0$**  = deformación a causa del esfuerzo predeterminado después de la inundación
- **$(d_i - d_0)/h_0$**  = deformación a causa del esfuerzo predeterminado antes de la inundación.

La expresión se puede poner en función de la relación de vacíos:

$$I_c = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \times 100 \quad (3.2.2)$$

Donde:

- **$\Delta e$**  = variación de la relación de vacíos producida por la inundación, análogamente a la ecuación anterior
- **$e_0$**  = relación de vacíos inicial, análogamente a la ecuación anterior.

También se puede expresar de la siguiente forma, puesto que el ensayo es conducido como prueba en una sola dirección:

$$I_c = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100 \quad (3.2.3)$$

Dónde:

- $\Delta h$  = cambio de altura del espécimen por inundación, mm,
- $h_0$  = altura inicial del espécimen, mm.

## 2.4 ÍNDICE DE COLAPSO (IE)

Se calcula con la misma expresión del **IC**, la diferencia radica en el procedimiento seguido, esfuerzo predeterminado (se debe aplicar un esfuerzo vertical de 200 kPa) y fluido utilizado (agua destilada).

El valor para el Índice de colapso (**IE**) está clasificado en la figura 1.

**Tabla 1. Clasificación del Índice de Colapso**

<b>Grado de Colapso</b>	<b>Índice de Colapso</b>
Ninguno	0
Ligero	0.1 a 2.0
Moderado	2.1 a 6.0
Moderadamente Severo	6.1 a 10
Severo	> 10

Fuente. Instituto Nacional de Vías

## **2.5 MECANISMO DEL COLAPSO**

A continuación, se analizarán los diferentes mecanismos de colapso para distintas estructuras de suelos, para lo cual se seguirá, principalmente el trabajo de Dudley (1970).

Las siguientes condiciones generales son las que establece Dudley para que ocurra el colapso: <sup>1</sup>

- La estructura del suelo deberá tener ciertas características, de modo tal que se tienda a la ocurrencia de dicho fenómeno.
- Las partículas estarán unidas entre sí por fuerzas o materiales cementantes que son susceptibles, -tanto unas como otros- pueden ser anulados o reducidos cuando aumenta el contenido de humedad del suelo.
- Cuando este soporte es reducido o anulado, las partículas del suelo deslizan o ruedan, por una pérdida de la resistencia al corte.

Los suelos granulares, como las arenas y las gravas, presentan un tipo de estructura simple, también ampliable a los limos. En ella, las uniones entre granos son contactos reales debidos a fuerzas gravitacionales, fuerzas exteriores o

---

<sup>1</sup> REDOLFI, Emilio. Area Geotecnia. Facultad Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Univesidad Nacional de Cordoba – Argentina. Suelos Colapsables.2007.Pág. 36.

capilares. Estas últimas tienen un carácter temporal ya que dependen del grado de saturación que posea el suelo. La humedad del suelo puede variar entre el estado saturado y el seco, del mismo modo las tensiones capilares serán variables con el contenido de humedad y desaparecerán tanto al saturarse, como al secarse el suelo.

Si en este estado el suelo se satura, la presión efectiva disminuirá, y con ella la resistencia al corte, pudiendo provocar un deslizamiento relativo entre los granos de suelo.

Cuando la estructura es macroporosa, este deslizamiento entre granos se manifiesta en una importante disminución de volumen.

Este tipo de mecanismo de colapso o desmoronamiento puede ampliarse también para aquellas arenas en las que sus vínculos están formados por partículas de limos.

## **2.6 MÉTODOS PARA ESTABLECER COLAPSO BASADO EN PARÁMETROS FÍSICOS DE SUELOS<sup>2</sup>:**

En general, la mayoría de estos métodos de identificación tienen más bien un carácter cualitativo que cuantitativo. La clasificación consiste, habitualmente en establecer si el suelo es autocolapsable (colapsable bajo su propio peso) o bien si es condicionalmente colapsable (colapsable bajo carga externa).

En estas notas solamente se analizarán tres de ellos, que tienen en común que relacionan el límite líquido y el peso unitario seco.

- **Denison** (1961) establece el Coeficiente de Colapso ( $k$ ) igual a:

$$k = \frac{e_L}{e} \quad (3.5.1)$$

y el colapso ocurrirá cuando la relación de vacíos del suelo en estado natural ( $e$ ) es mayor que la relación de vacíos correspondiente al Límite Líquido ( $e_L$ ).

---

<sup>2</sup> DAS, Braja. Principio de Ingeniería de Cimentaciones. México. International Thomson Editores, S.A. de C.V. 2001. Pág. 880.

- **Gibbs (1961)** establece una Relación de Colapso (R) igual a:

$$R = \frac{w_{sat}}{w_L} \quad (3.5.2)$$

y el colapso ocurrirá cuando la humedad de saturación del suelo ( $w_{sat}$ ) es mayor que el Límite Líquido ( $w_L$ ).

- **Código de edificación de la U.R.S.S (1962)** establece un Índice de Colapso (R) igual a:

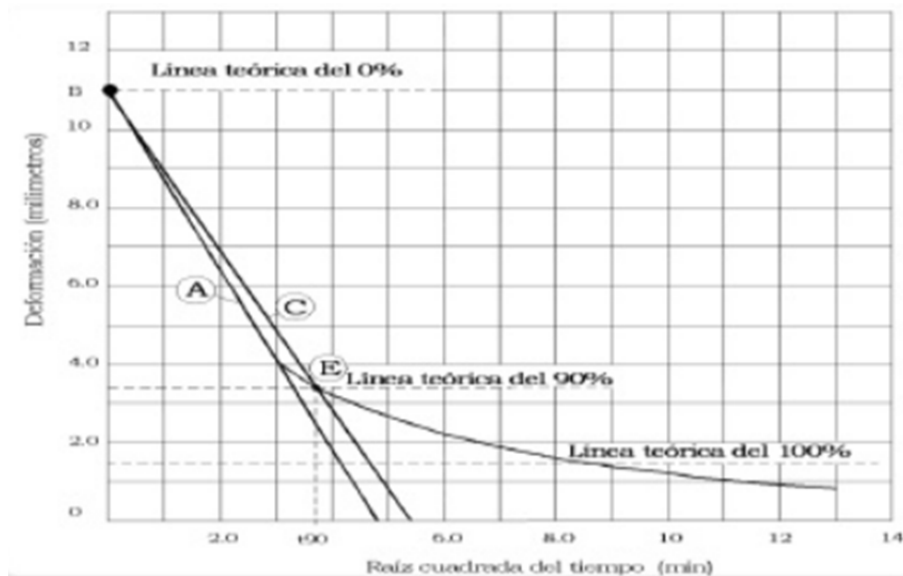
$$R = \frac{e_0 - e_L}{1 - e_0} \quad (3.5.3)$$

y el colapso ocurrirá cuando R sea mayor a 0.1 como lo indica la *tabla 1*.

## 2.7 MÉTODO USADO PARA EL ANÁLISIS DE DATOS

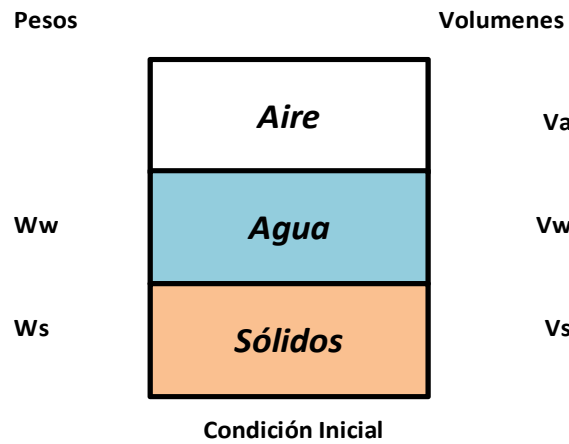
Con la recopilación y organización de los datos obtenidos del ensayo se procede a determinar un posible comportamiento estándar en la muestra. Para ello se usa el Método de la raíz cuadrada del tiempo (*figura 1*) tomada de la norma ASTM D 2435-90.

**Figura 1.** Clasificación del Índice de Colapso



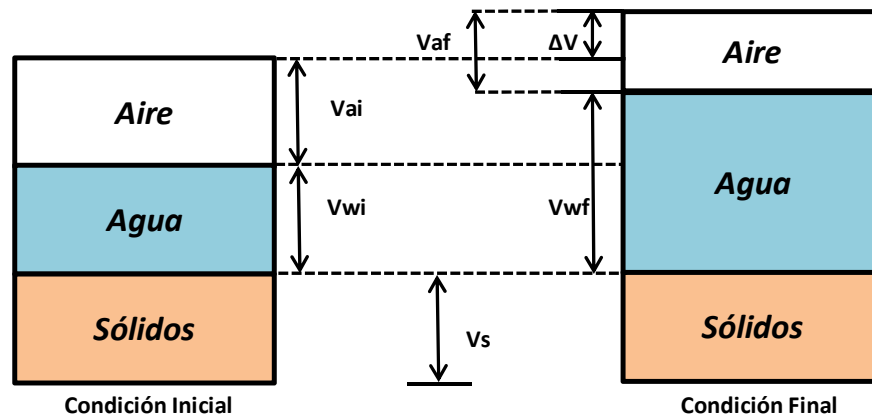
A partir de ello se puede observar que la estructura macroporosa del suelo se ha alterado, es decir, la diferencia de altura en la muestra conlleva a una re-estructuración molecular, entonces el volumen de aire, la relación de vacíos, la porosidad, entre otras, dependen directamente de la variación de la humedad. En términos generales la variación de humedad en un suelo puede presentarse con un aumento o disminución en el contenido de agua generando así una expansión o contracción respectivamente como se ilustra en las Figuras 3 y 4.

**Figura 2.** Diagrama de Fase Inicial



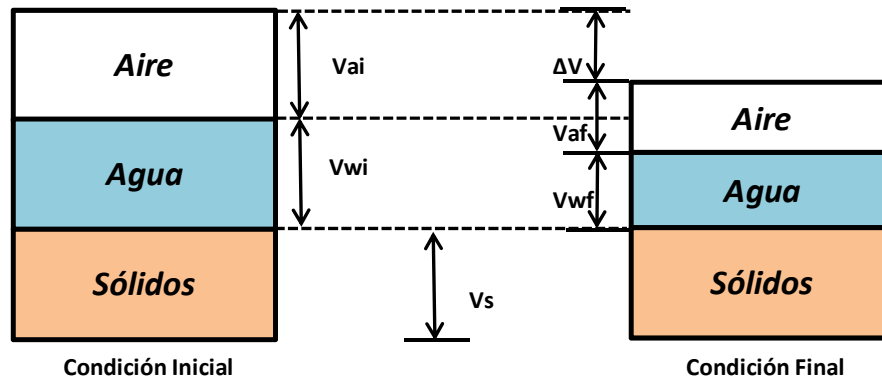
Fuente. Autor

**Figura 3.** Diagrama de Fase, Comportamiento Expansivo



Fuente. Autor

**Figura 4.** Diagrama de Fase, Comportamiento Contracción



**Fuente.** Autor

De acuerdo a las ilustraciones anteriores y analizando el comportamiento de la relación de vacíos se puede concluir que ésta en función de la ecuación:

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad \text{donde } V_v = V_a + V_w \quad (3.3.1)$$

En el caso de la expansión aumenta por el incremento del volumen de agua, efecto contrario sucede en la contracción debido a la pérdida de volumen de vacíos ( $V_v$ ). Así mismo ocurre con la porosidad, que depende directamente de la ecuación (3.3.1), definida como:

$$n (\%) = \frac{e}{1+e} \times 100 \quad (3.3.2)$$

Estos comportamientos dependen de la caracterización de un suelo, según la S.U.C.S los suelos se clasifican en GW, GP, GM, GM-GC, GC, SW, SP, SM, SM-SC, SC, OL, ML, ML-CL, CL, MH, OH y CH.

Habiendo clasificado el suelo, se busca la situación más crítica variando sus condiciones hasta el punto menos favorable, para este caso la humedad tomará valores antes y después de la humedad óptima, obtenida a partir del ensayo de Proctor Modificado.

### **3. CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA**

#### **3.1. LOCALIZACIÓN:**

##### **3.1.1 Localización del Proyecto**

El lote se encuentra localizado en el sector norte de la meseta de Bucaramanga en la carrera 26 entre calles 20 y 21. Limita al norte con la calle 21 al oriente con viviendas residenciales de un piso, al occidente con la carrera 26 y al sur con la calle 25. Su ubicación geográfica se establece por las coordenadas 7,128709, - 73,120191, según las indicaciones de google maps.

##### **3.1.2 Características del Proyecto**

El proyecto consiste en la construcción de un edificio, de acuerdo a las siguientes características:

- Altura en niveles: 10
- Sótanos: 1 (Profundidad 3.50 metros)
- Sistema estructural: Aporticado
- Sistema probable de cimentación: Zapatas independientes o combinadas unidas por vigas de amarre.

La muestra estudiada y analizada ha sido obtenida gracias a la ayuda de la empresa Torres Ingeniería, dirigida por el ingeniero Rubén Torres. Es extraída por medio de un sondeo de penetración estándar (SPT), siguiendo cada uno de los requerimientos que la norma NSR-10 en el título H.3 establece para la categoría de construcción a realizarse, para el proyecto a ser realizado en el sitio se clasifica dicha construcción como de categoría media.

### **3.1.3 Descripción del Sector**

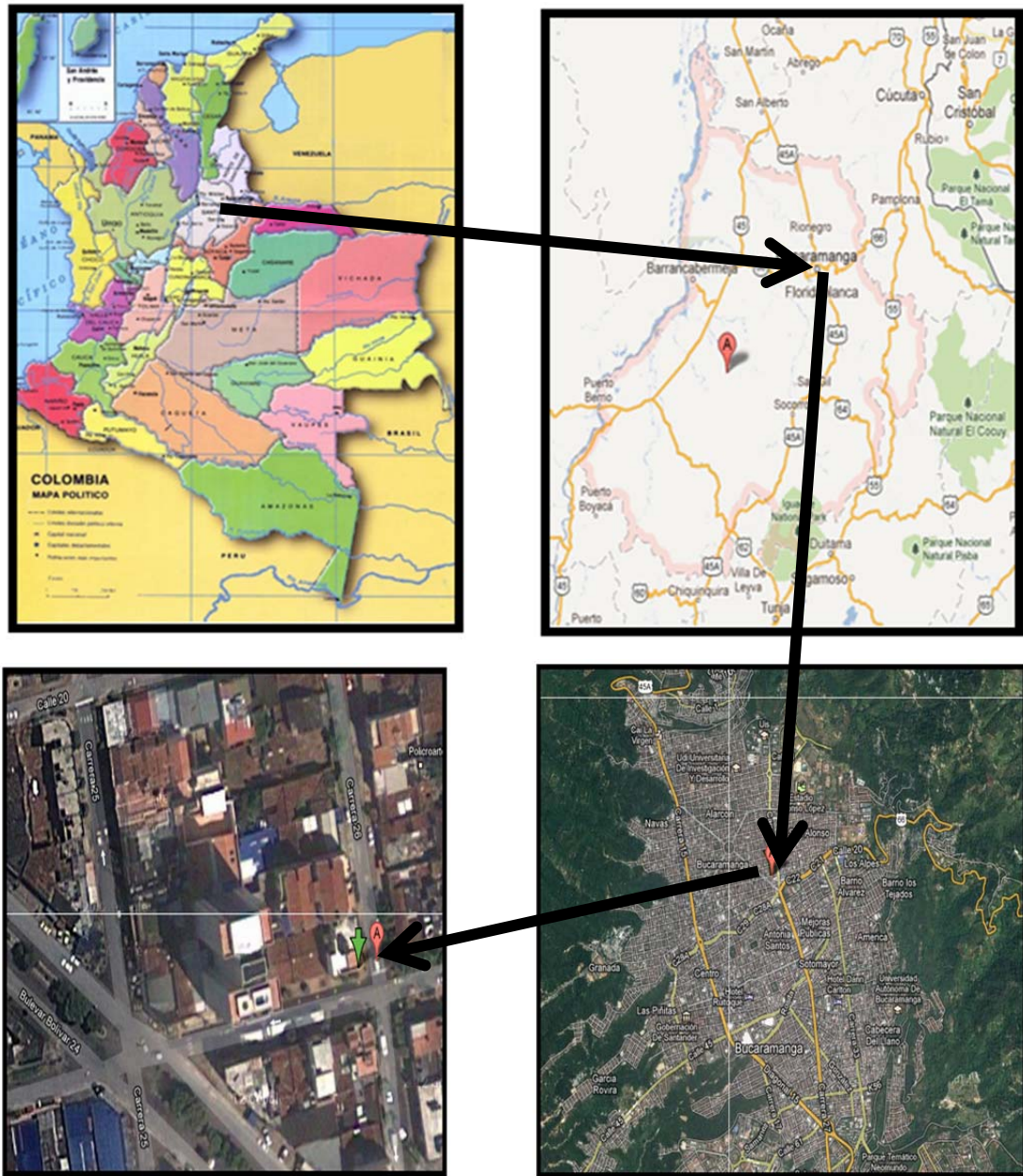
El barrio San Francisco se encuentra ubicado al norte de la Meseta de Bucaramanga, en la comuna 3 de este municipio según clasificación urbana de comunas. Topográficamente el barrio corresponde a una meseta alargada en dirección norte que presenta una ladera con poca pendiente hacia el oriente. En esta ladera se presentan pocos asentamientos.

### **3.1.4 Clima**

Bucaramanga se localiza ecológicamente en el bosque seco tropical con transición al fresco húmedo premontano. El piso térmico sobre el cual se encuentra la ciudad de Bucaramanga, es templado con variaciones importantes de temperatura. Las principales características del clima de la zona son las siguientes:

Temperatura: Bucaramanga presenta una temperatura media de 24° C con 23.7°C

Figura 5. Localización del Proyecto



Fuente. Google Earth

## 3.2 CLASIFICACIÓN

La muestra con la que se desarrolla el proyecto, presenta ciertas características que son de vital ayuda para la realización del análisis posterior. Para obtener éstas particularidades se realiza los respectivos ensayos.

### 3.2.1 Granulometría

El propósito del análisis granulométrico es determinar el tamaño de las partículas que constituyen el suelo y fijar, los parámetros que tienen implícitos. Este proceso de clasificación se puede establecer por medio de dos maneras:

- **El método mecánico:** Determinar la distribución de las partículas por medio del tamaño del suelo, a partir de unas mallas
- **El método del hidrómetro:** Cuando los suelos tienen un tamaño de grano pequeño y no sirven los tamices, entonces se clasifica por medio de una velocidad de sedimentación.

El método mecánico para separar un suelo en fracciones de distinto tamaño consiste en el uso de los tamices o granulometría mecánica, en este proyecto se hizo uso de este. Una vez realizado el ensayo, los resultados se tabulan de acuerdo con el sistema de clasificación del método AASTHO, y con base a su comportamiento los suelos están clasificados en dos grandes grupos, granulares y finos, que a su vez, cada uno tiene una subdivisión de grupos.

Los **suelos granulares** son aquellos que tienen 35% o menos del material fino que pasa el tamiz N° 200. Estos suelos forman los grupos A-1, A-2 y A-3.

- A-1: El material de este grupo comprende las mezclas bien graduadas, compuestas de fragmentos de piedra, grava, arena y material ligante poco

plástico. Se incluye también en este grupo mezclas bien graduadas que no tienen material ligante. Se subdivide en A-1a y A-1b.

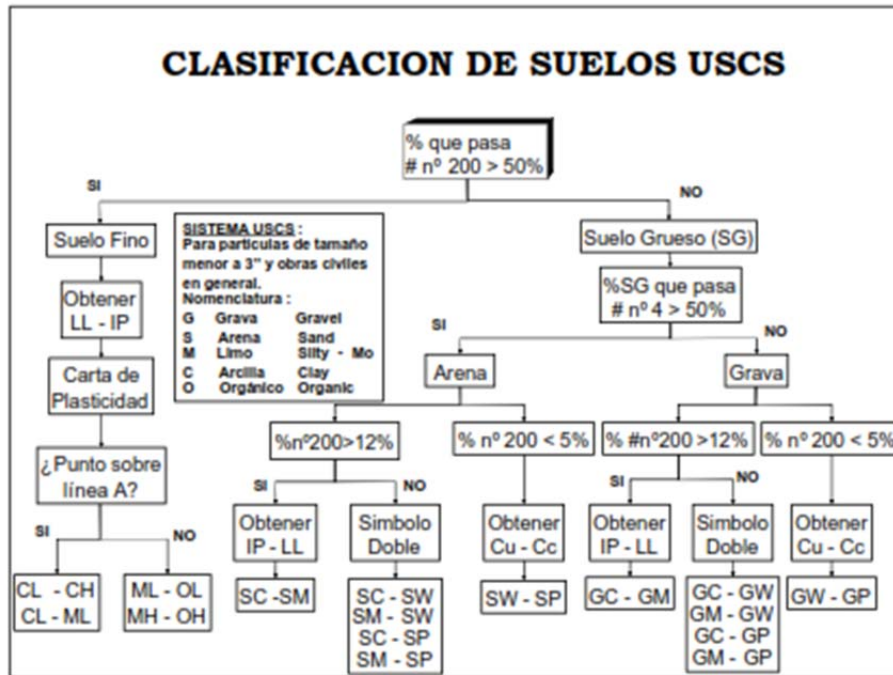
- A-2: Comprende una gran variedad de material granular que contiene menos del 35% del material fino.
- A-3. En este grupo se encuentran incluidas las arenas finas, de playa y aquellas con poca cantidad de limo

El restante, forma parte de los **suelos finos**, constituido por los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.

- A-4: Pertenecen a este grupo los suelos limosos poco o nada plásticos que tienen un 75% o más del material fino que pasa por el tamiz número. Además se incluye en este grupo las mezclas de limo con grava y arena hasta un 64%.
- A-5: Los suelos comprendidos en este grupo son semejantes a los del grupo anterior, pero contienen material micáceo o diatomáceo. Son elásticos, y tienen un límite líquido elevado.
- A-6: El material típico de este grupo es la arcilla plástica. Por lo menos el 75% de estos suelos debe pasar el tamiz número 200, pero se incluyen también las mezclas arcillo-arenosas cuyo porcentaje de arena y grava sea inferior al 64%. Estos materiales presentan, generalmente, grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo.
- A-7: Los suelos de este grupo son semejantes a los suelos A-6 pero son elásticos. Sus límites líquidos son elevados.

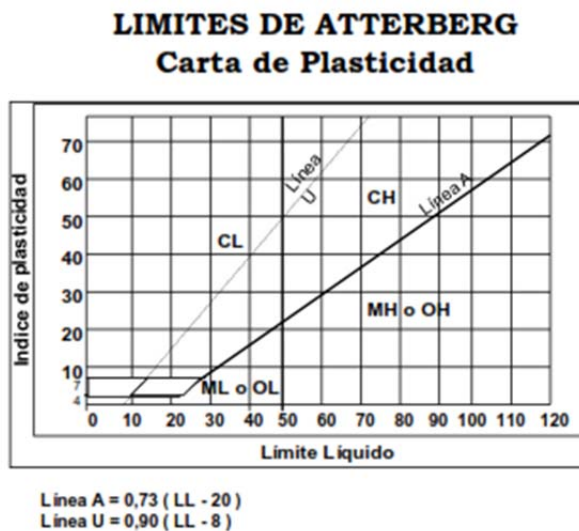
Sin embargo para tener mayor certeza y claridad del asunto, se ha utilizado también la clasificación por el método Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS), que tiene el mismo principio anterior, solo que para este caso es necesario se requiere saber el valor del Límite Líquido y Plástico respectivamente. Para ser más claros, la clasificación se puede resumir en:

**Figura 6.** Clasificación de Suelos por el método USCS



La línea A que se menciona en la *Figura 6* se refiere a línea que se encuentra en la carta de plasticidad de Atterberg (*Figura 7*).

**Figura 7.** Carta de Plasticidad de ATTERBERG



**Fuente.** Das.Braja. Pricipios de Ingeniería de Cimentaciones.2001

### 3.2.2 Límites de ATTERBERG

Los suelos que poseen algo de cohesión, según su naturaleza y cantidad de agua, pueden presentar propiedades que los incluyan dentro de un estado sólido, semi-sólido, plástico o semi-líquido. El contenido de agua o humedad con los cuales se produce los cambios de estado se denominan límites de Atterberg y puede variar de un suelo a otro<sup>3</sup>. Este ensayo cumple un papel importante en la clasificación de un suelo junto con el ensayo granulométrico. El ensayo de límites de Atterberg se compone de:

- **Límite Líquido (LL):** Humedad en la cual una muestra de suelo colocada en una cazuela de bronce (Cazuela de Casagrande), se cierra la ranura una longitud de media pulgada al caer 25 veces de una altura de un centímetro. En el laboratorio se repite esta parte del ensayo varias veces a diferentes humedades, anotando el número de golpes; luego en la correspondiente gráfica hallamos la humedad correspondiente a los 25 golpes.
- **Límite Plástico (LP):** Es el contenido más bajo de humedad en el cual un suelo al enrollarse con la mano se agrieta, formando un rollito con diámetro de 3 mm.
- **Índice de Plasticidad (IP):** Se encuentra en el intervalo de contenido de humedad, representado como un porcentaje de la masa seca del suelo, en el cual el material se encuentra en un estado plástico. Definiéndose como la diferencia entre el Límite líquido (LL) y el Límite Plástico (LP).

Según lo anterior y cumpliendo los requisitos establecidos en la norma INVIAS N° 125, 126 y 127 se calcula los límites, obteniendo los siguientes resultados:

- Límite Líquido: 40.5 %

---

<sup>3</sup> PEDROZA NIÑO, Orlando y VERA SARMIENTO, Jorge. Manual técnico para el desarrollo del laboratorio de caracterización de materiales I. Tesis de la Escuela de Ing. Civil. UIS. 2008. Pág. 187.

- Límite Plástico: 32.7 %
- Índice Plástico: 7.8

Con base a toda la teoría anterior, se concluye que la muestra presenta una clasificación:

- **Método AASTHO:** A-4
- **Método USCS:** ML

Es decir, el grupo ML comprende un límite líquido menor a 50% y un índice plástico inferior al 8%. Son materiales limosos de baja compresibilidad.

**Fotografía 1.** Caracterización en el laboratorio.



**Fuente.** Autor

**Figura 8. Granulometría**

**GRADACIÓN**

Peso inicial: 634,70 gr		Peso final: 241,90 gr			
Tamiz, plg	Tamiz, mm	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa
3"	76,10				
2 ½"	64,00				100,0%
2"	50,80				100,0%
1 ½"	38,10				100,0%
1"	25,40				100,0%
¾"	19,00				100,0%
½"	12,70				
3/8"	9,51				100,0%
4	4,76				100,0%
8	2,38				
10	2,00	1,4	0,2%	0,2%	99,8%
12	1,68				
16	1,19				
10	0,59	15,9	2,5%		
40	0,42	34,3	5,4%	8,1%	91,9%
50	0,30				
80	0,18				
100	0,15	137,3			
200	0,07	53,0	8,4%	38,1%	61,9%
Pasa 200		392,8	61,9%	100,0%	0,0%
Total		634,7			

**Fuente. Autor**

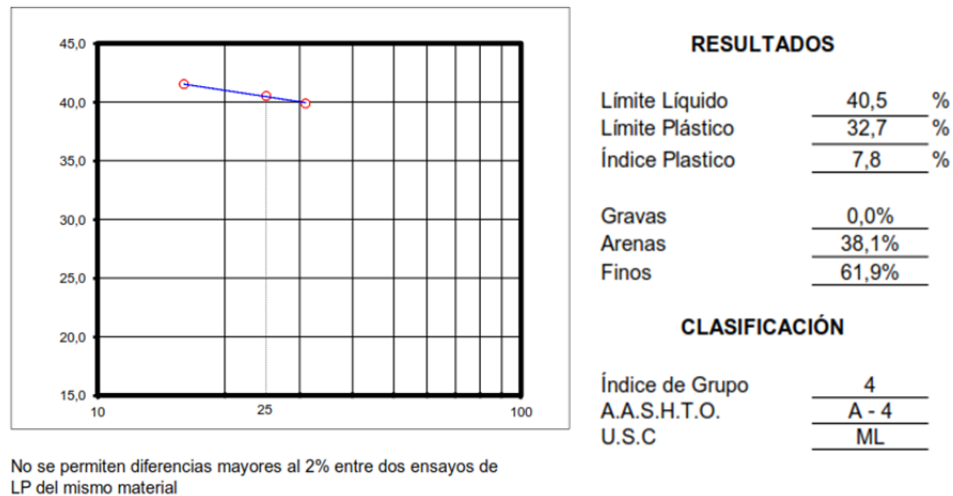
**Figura 9. Límites de Atterberg**

LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No	1	2	3
Número de Golpes	31	25	16
Recipiente No.	1	2	3
P <sub>1</sub>	40,1		40,5
P <sub>2</sub>	31		31,2
P <sub>3</sub>	8,2		8,8
P <sub>w</sub>	9,10		9,30
P <sub>s</sub>	22,80		22,40
W%	39,91	40,55	41,52

LÍMITE PLÁSTICO			Humedad Natural
Recipiente No.	40,00	400,00	4
P <sub>1</sub>	15,40	16,40	762,20
P <sub>2</sub>	13,20	14,30	645,00
P <sub>3</sub>	6,90	7,40	10,30
P <sub>w</sub>	2,20	2,10	117,20
P <sub>s</sub>	6,30	6,90	634,70
W%	34,92	30,43	18,47

Fuente. Autor

**Figura 10. Resultados**



Fuente. Autor

### 3.2.3 Determinación de Humedad Óptima

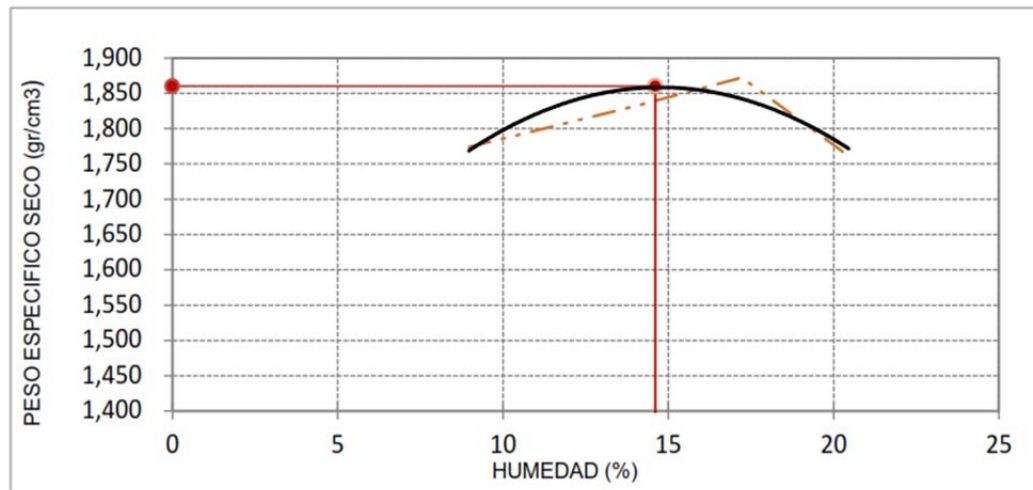
El ensayo de Proctor modificado tiene por finalidad determinar la relación humedad-densidad de un suelo compactado en un molde normalizado mediante

un pisón de masa normalizada, en caída libre y con una energía específica de compactación.

La compactación disminuye la cantidad de huecos en una masa de suelo, obligando a las partículas a un contacto más íntimo entre sí, es decir, a un aumento de la densidad de un material determinado, por medio de la variación de datos tales como la humedad y nivel de energía en la compactación.

Se realiza el ensayo establecido siguiendo los parámetros señalados en la norma INVIAS 148. Con lo anterior se obtiene

**Figura 11.** Grafica de Humedad Óptima



DENSIDAD MÁXIMA	<u>1,860</u>	gr/cm3
HUMEDAD OPTIMA	<u>14,6</u>	%

**Fuente.** Autor

### 3.3 DESCRIPCIÓN

#### 3.3.1 Procedimiento

Una vez clasificada y caracterizada la muestra, se procede a determinar el potencial de colapso del mismo por medio del ensayo de consolidación, aunque se realizan algunos ajustes para obtener los datos requeridos.

La susceptibilidad al colapso se evalúa a partir del asentamiento que presente la muestra una vez sea saturada y aplicada la carga axial constate, ya que evidentemente, se genera una pérdida de volumen, una alteración rápida de la resistencia y un desmoronamiento estructural interno en el momento en que el suelo absorbe cantidades importantes de agua, sin permitir que haya una variación de presiones exteriores.

Inicialmente, el ensayo comienza con la colocación de la muestra, ya sea la compactada o la remoldeada, en el interior de la base del consolidómetro la piedra porosa, luego se introduce el anillo que contiene la muestra del suelo a ensayar; Se debe resaltar que para fines comparativos el suelo en el anillo posee humedades variables, es decir, cada ensayo tiene una humedad diferente, que pueden encontrarse en un valor correspondiente a cada uno de los 7 (siete) que se han elegido teniendo en cuenta la humedad óptima (*Tabla 1.*), además, en el momento de la colocación en el molde se realiza de dos maneras diferentes con el fin de hacer el respectivo análisis:

- **Compactada (Miniproctor):** Se define este término como la introducción del material por medio de 5 capas compactadas con un mini-martillo al anillo, con el fin de disminuir volumen de vacíos, y realizar una reestructuración molecular.

- **Remoldeada:** Se hace referencia a la colocación del material en el anillo por medio de una sola capa, que es distribuida de manera manual, sin la ayuda de ninguna herramienta, permitiendo un libre contacto de partículas entre sí.

Seguido a ello se coloca sobre la muestra papel de filtro y la piedra porosa superior.

Posteriormente se fija con los tornillos correspondientes el anillo de sujeción de la piedra porosa superior, el que permite mantener agua sobre la muestra, para evitar pérdida de humedad por evaporación. Para prevenir que las piedras porosas tomen humedad de la muestra, deben estar libres de aire entrampado antes de montar la unidad. Es importante centrar correctamente las piedras porosas para prevenir el atascamiento contra el anillo durante la prueba.

Cuando está preparado para iniciar el ensayo, el extensiómetro para medir las deformaciones verticales debe ser puesto en cero, y la palanca de aplicación de carga debe estar en posición horizontal.

Después de armado, sobre el consolidómetro se asienta en la plataforma del mecanismo de transmisión de cargas una pesa con un valor establecido previamente de un (1) KgF -para todas los ensayos que se realicen-, ubicando el cabezal de carga sobre la piedra porosa superior.

Se comienza la recopilación de datos, se toma lecturas de tiempo y deformaciones verticales, para conocer los asentamientos correspondientes a diferentes tiempos. Se utiliza la secuencia de 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, etc., hasta que la muestra se estabilice. En ese instante se llenan de agua los tubos laterales que comunican con la piedra porosa inferior, comenzando la saturación de la muestra y se repite el procedimiento anterior, es decir, se detiene la

recopilación de datos, hasta que mínimo 3 datos consecutivos tengan la misma deformación.

### 3.3.2 Cálculos y representación de resultados

Una vez colocada la muestra en el anillo del consolidómetro, se pesa el conjunto, y como el peso del anillo es conocido, se puede determinar el peso húmedo de la muestra ( $W_h$ ).

Calculando previamente la humedad de la muestra, se puede obtener el peso seco ( $W_d$ ) y con ello la altura de sólidos ( $h_s$ ) y el peso específico seco inicial ( $\gamma_d$ ), utilizando las siguientes expresiones:

$$h_s = \frac{W_d}{A * G_s * \gamma_w} \quad (4.3.2.1)$$

$$\gamma_d = \frac{W_d}{V} \quad (4.3.2.2)$$

Donde:

- $W_d$  = peso del suelo seco en el anillo.
- $A$  = sección del anillo.
- $G_s$  = peso específico relativo de los sólidos.
- $\gamma_w$  = peso específico del agua.
- $V$  = volumen del anillo.

Luego es posible calcular para cada escalón la altura de la probeta ( $H_i$ ), y la altura de vacíos ( $h_{vi}$ ), por medio de las siguientes expresiones:

$$H_i = H_0 - \delta_i \quad (4.3.2.3)$$

$$h_{vi} = H_i - h_s \quad (4.3.2.4)$$

Donde:

- $H_i$  = altura final de la probeta para un escalón de carga.
- $H_0$  = altura inicial de la probeta.
- $\delta_i$  = asentamiento final para un escalón de carga.

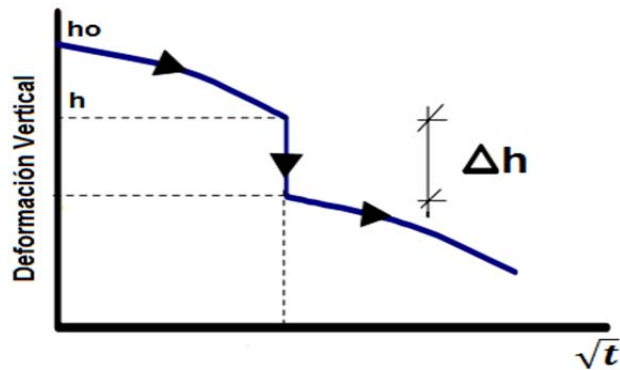
- $h_{vi}$  = altura de vacíos para un escalón de carga.
- $h_s$  = altura de sólidos de la probeta.

Con esto es posible calcular una relación de vacíos para cada escalón, de la siguiente manera:

$$e_i = \frac{h_{vi}}{h_s} \quad (4.3.2.5)$$

Todo ello, para finalmente realizar la curva que representa el colapso, donde la abscisa es representada por  $\sqrt{t}$ , y en la ordenada la lectura de la deformación vertical de la muestra.

**Figura 12.** Curva típica de Colapso.



**Fuente:** Norma INV. 157-07

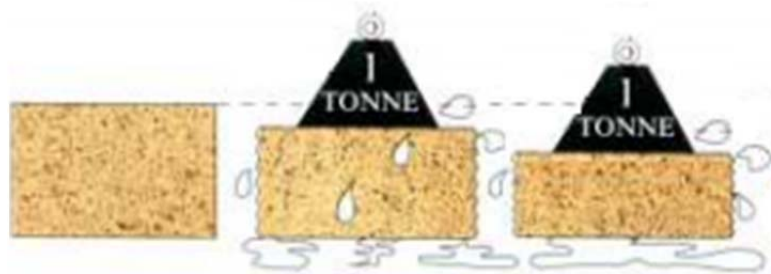
## 4. ESTUDIO EXPERIMENTAL

### 4.1 METODOLOGÍA

#### 4.1.1 Requisitos

Como se ha establecido en capítulos anteriores, el ensayo que se empleará para determinar el potencial de colapso es el de *consolidación*. Se parte de la idea que se conoce el volumen vacíos, el peso de la muestra húmeda y seca; En el momento en que se aplica la carga externa el suelo presenta unas deformaciones que son producto de la disminución de volumen total de la masa del suelo y particularmente de la relación de vacíos, ya que el volumen de los sólidos es constante, por lo tanto dichas deformaciones son producto de una disminución de la relación de vacíos del suelo como se muestra en la figura 10, como el suelo no solo posee en sus vacíos agua, sino también aire, la disminución de relación de vacíos se produce por una compresión de gas y poca expulsión de agua que se detendrá en un determinado tiempo.

**Figura 13.** Ensayo de Consolidación Unidimensional.



**Fuente:** Universidad Nacional del Rosario, Consolidación Unidimensional.

Geología y Geotecnia

Sin embargo, este proceso se presenta en la primera etapa de los ensayos, ya que una vez estabilizada la muestra, es decir, se detienen las deformaciones, se

procede a saturar la muestra, y este es el punto del ensayo que más interesa, ya que se observará el comportamiento de la misma.

Teniendo una idea clara del comportamiento del material, se continúa el procedimiento del laboratorio:

Una vez determinado el valor de la humedad Óptima: 14,6 % con una densidad máxima de 1,56 gr/cm<sup>3</sup> se establece las humedades que la muestra manejará, para este caso:

Para el caso en particular la única variable que se presenta entre ensayo y ensayo es el aumento de humedad.

**Tabla 1.** Humedades utilizadas en el proyecto.

Rango Bajo			Humedad Optima	Rango Alto		
8	10	12	14,6	16	18	20

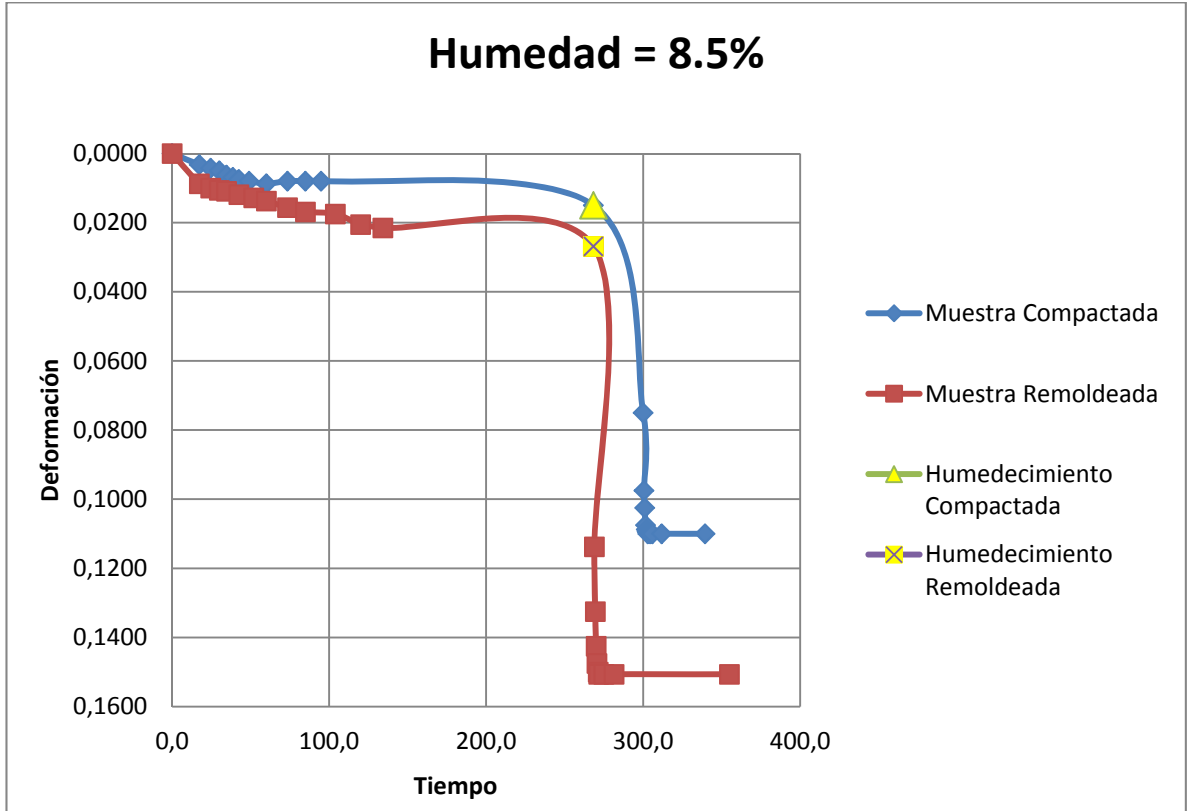
**Fuente.** Autor.

Para que se genere de nuevo los asentamientos, ósea disminución de volumen de vacíos debido a la carga externa aplicada, es decir, incremento de esfuerzos totales, se requiere que disminuya el volumen de líquido-considerado incompresible-, por lo tanto se pretende establecer si la única manera es que se produzca un flujo de líquido hacia algún estrato permeable ya que así la presión neutra se disipa mediante un flujo de agua exterior, cuya velocidad de drenaje depende de la permeabilidad del suelo o puede haber otra explicación para este comportamiento.

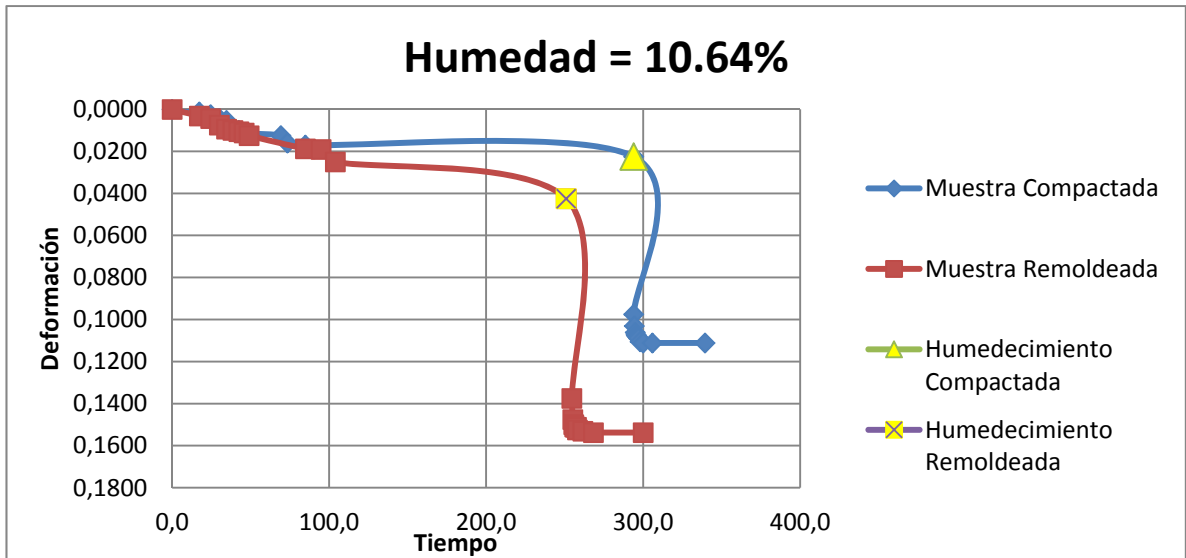
Sin embargo, para casos como los de esta muestra, suelos finos arcillosos, la permeabilidad es muy baja por lo que el flujo de agua es muy lento, y demora la disipación de presión a tal punto que el suelo no soporta el exceso y colapsa.

#### 4.1.2 Resultados de muestras Remoldeada vs. Comparada

**Tabla 2.** Grafica de resultado Deformación vs. Tiempo obtenido en ensayos.

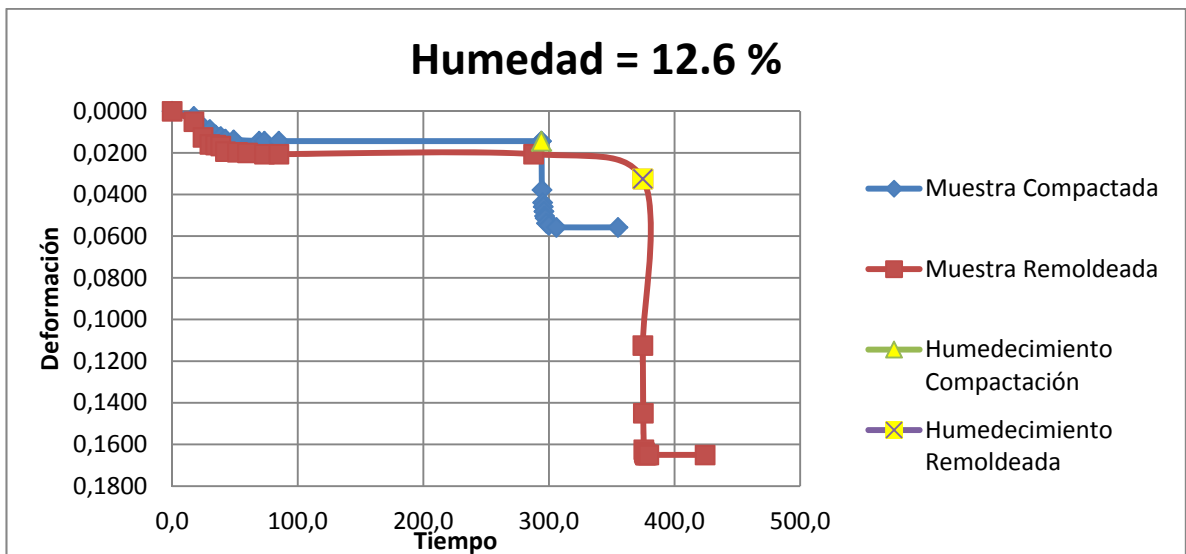


**Tabla 3.** Grafica de resultado Deformación vs. Tiempo obtenido en ensayos.



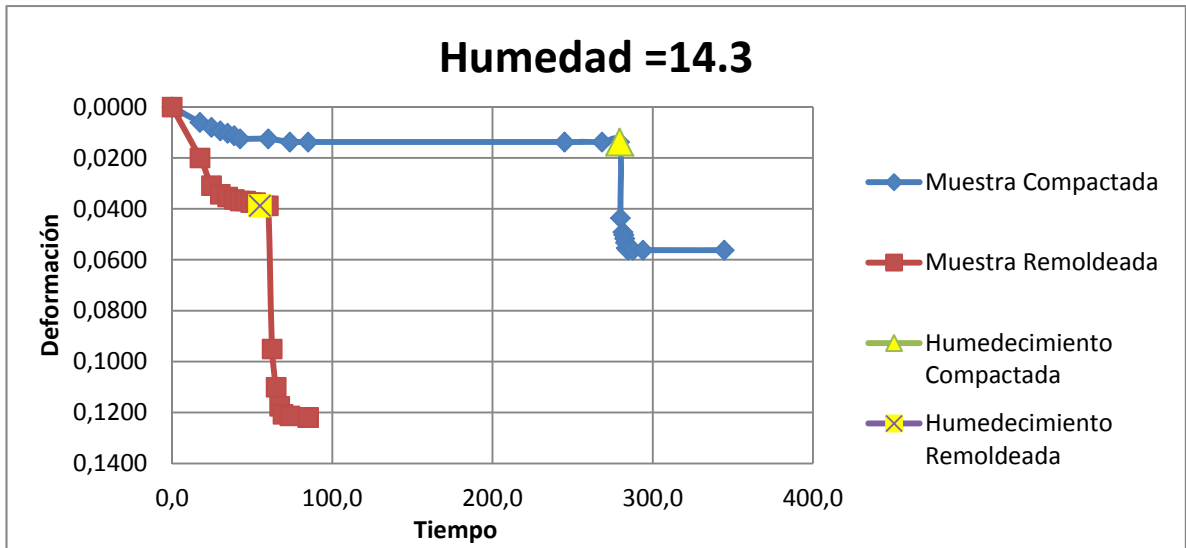
Fuente. Autor.

**Tabla 4.** Grafica de resultado Deformación vs. Tiempo obtenido en ensayos.



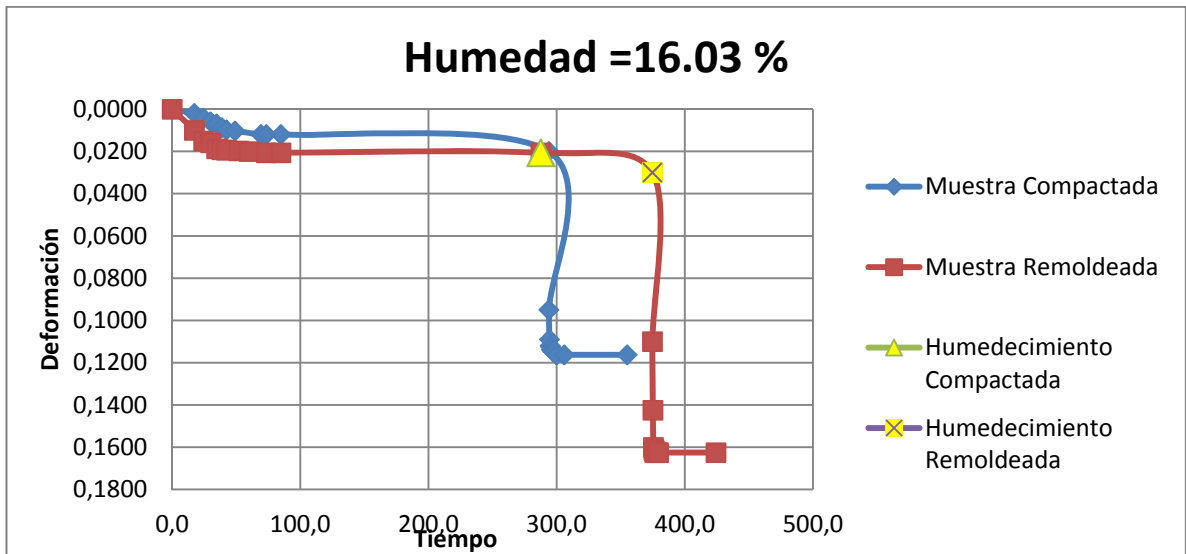
Fuente. Autor.

**Tabla 5.** Grafica de resultado Deformación vs. Tiempo obtenido en ensayos.



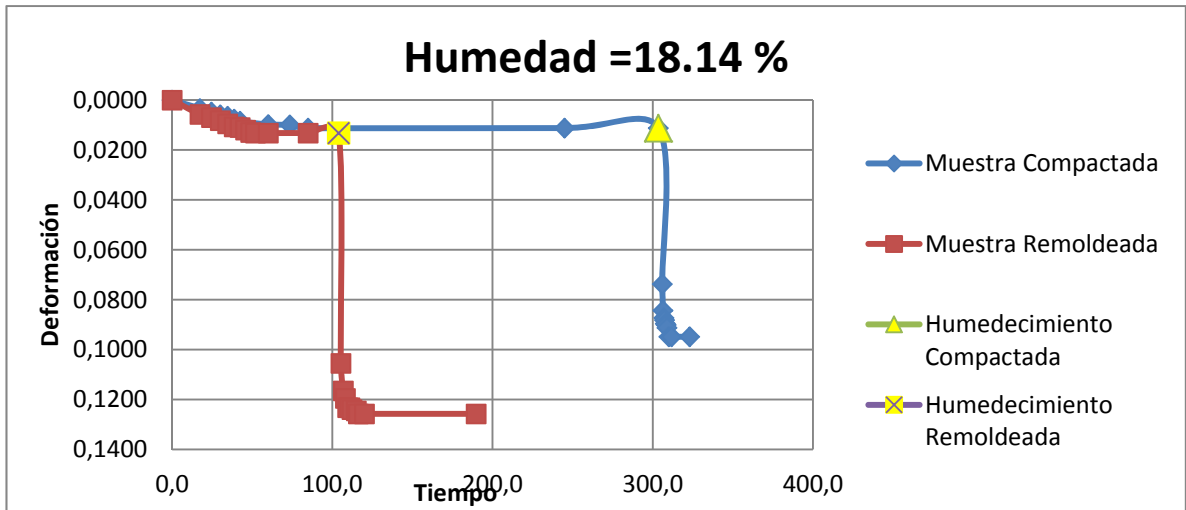
Fuente. Autor.

**Tabla 6.** Grafica de resultado Deformación vs. Tiempo obtenido en ensayos.



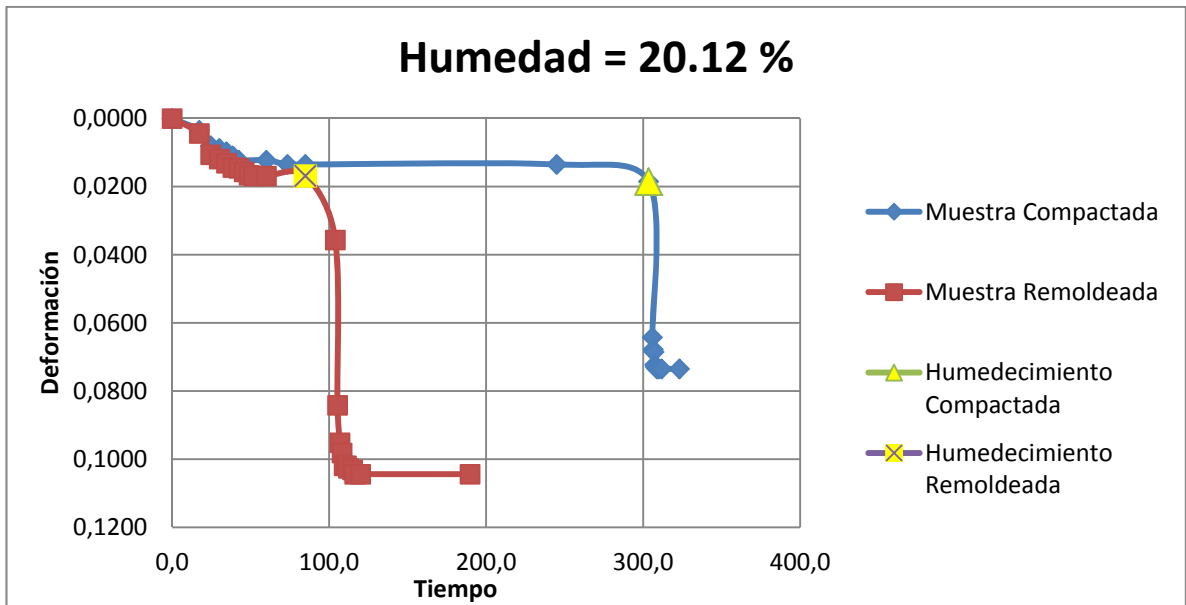
Fuente. Autor.

**Tabla 7.** Grafica de resultado Deformación vs. Tiempo obtenido en ensayos.



Fuente. Autor.

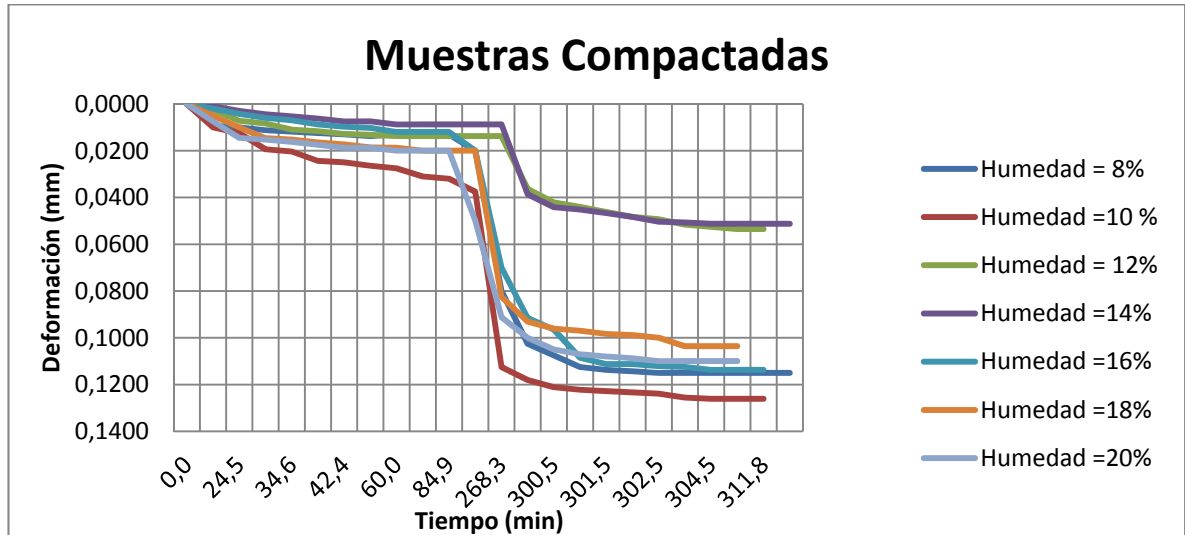
**Tabla 8.** Grafica de resultado Deformación vs. Tiempo obtenido en ensayos.



Fuente. Autor.

### 4.1.3 Comparación de resultados muestras Compactadas

**Tabla 9.** Grafica de resultado Deformación vs. Tiempo obtenido en ensayos.



Fuente. Autor.

## 4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.2.1 Análisis de muestras Remoldeada vs. Compactada

Después de un largo proceso para la obtención de datos generados a partir del ensayo de consolidación expuestos en el ítem anterior, se establece comparar las muestras compactadas con las remoldeadas, pues aunque los resultados del laboratorio se observan muy similares, en las gráficas anteriores se detalla mejor el comportamiento de cada una, es decir, se puede identificar que la muestra compactada no presenta cambios tan bruscos, en comparación con las remoldeadas.

De las características más destacadas que presentan las gráficas, se puede mencionar:

- El ensayo “Mini-proctor” realizado con la humedad óptima es el que menor deformación presenta debido a la compactación proporcionada en el ensayo de Proctor Modificado.
- Entre más lejanos sean los valores de la humedad con que se desarrolla los ensayos respecto a la humedad óptima, mayores son las deformaciones presentadas; Nótese que las gráficas 2,3 y 8 tienen los valores más grandes.
- El ensayo realizado con la humedad máxima de compactación, presenta una notable deformación, a pesar de la reestructuración producida por los golpes en el Proctor modificado.

Tanto en los ensayos compactados como los remoldeados presentan cambios en la deformación de la muestra, por tal motivo, se puede establecer que, al variar la humedad se genera un posible colapso.

#### 4.2.2 Comparación de resultados muestras Compactadas

Ya que de manera gráfica, se ha podido demostrar que la muestra presenta una tendencia al colapso, ahora se hace importante establecer este comportamiento por medio de cálculos; Se ha determinado calcular el potencial de colapso para las muestras compactadas, -ya que es el estado común presentado en la vida real-, como se ha definido en el primer capítulo por medio siguiente ecuación:

$$I_c = \left[ \frac{(d_f - d_0)}{h_0} - \frac{(d_i - d_0)}{h_0} \right] \times 100 = \frac{d_f - d_i}{h_0} \times 100$$

(5.1.3.1)

Donde:

- **do** = lectura en el deformímetro después de la carga de fijamiento en el momento en que se va a iniciar el ensayo, antes de aplicar el esfuerzo vertical predeterminado, en mm

- **di** = lectura en el deformímetro correspondiente al equilibrio con el esfuerzo vertical predeterminado aplicado, antes de inundar, en mm
- **df** = lectura en el deformímetro correspondiente al equilibrio con la presión vertical aplicada y después de inundar, en mm
- **ho** = altura inicial de la probeta en mm

Los resultados obtenidos, según la *ecuación 5.1.3.1* han sido:

**Tabla 10.** Determinación de Potencial de colapso para la muestra analizada

H%	Di	Df	Ho	Pc	Clasificación
8	0,01	0,12	25,50	0,40	Ligero
10	0,04	0,13	25,50	0,35	Ligero
12	0,01	0,07	25,50	0,24	Ligero
14	0,01	0,05	25,50	0,17	Ligero
16	0,01	0,09	25,50	0,31	Ligero
18	0,02	0,10	25,50	0,33	Ligero
20	0,02	0,11	25,50	0,35	Ligero

**Fuente.** Autor.

A partir de la tabla anterior, se determina que aunque no hay un grado de colapso severo, presenta una tendencia ligera a fallar, por lo cual, se debe tener algunas precauciones (básicas) cuando se trate de construir sobre un suelo como el analizado en este trabajo.

## CONCLUSIONES

Durante el proceso de análisis de muestras Compactadas vs. Remoldeadas se puede señalar que al realizar el mismo ensayo para los dos moldes, es decir, manteniendo el contenido de humedad constante se genera una gráfica con curva suave y continua sin agudos quiebres. Sin embargo al saturar las muestras se produce un importante cambio volumétrico, debido probablemente a un incremento de la presión de poros que origina una significativa disminución de resistencia al corte sin ser necesario aumentar la presión aplicada.

En la relación Deformación vs Tiempo, las muestras Remoldeadas presentan una mayor deformación comparada con las Compactadas, debido a la estructura macroporosa y poco uniforme, la segunda por su parte, debido a los golpes generados en el Proctor posee un volumen de vacíos poco significativo y por consecuencia una variación de altura mínima.

Se logró determinar que las muestras compactadas sometidas a carga con humedad óptima o cercana a ella, presentan comportamientos más estables comparados con las muestras con humedades alejadas de la óptima, es decir, en las primeras la variación de altura y volumen de vacíos es mínima pues se ha logrado la máxima densidad del suelo la cual es consecuencia de la cantidad exacta de agua para obtener la mayor compactación, caso contrario sucede con las alejadas de la Humedad Óptima - como se observa en la **Figura 12** – cuya densidad no es capaz de generar la máxima compactación.

El estudio se ha enfocado al análisis de un factor que influye a un posible fenómeno de colapso por humedecimiento. En esta clase particular de suelos – muestra extraída de la comuna 3 en el barrio San Francisco-, el factor externo que

desencadena dicha acción, es el agua. En estos suelos un incremento de humedad provoca una disminución o anulación de las fuerzas que vinculan unas partículas con otras, y por lo tanto cambia el estado de equilibrio en la estructura del suelo, a una condición inestable que genera la reducción de altura.

La presencia del agua no es un factor aislado en el AMB, aunque en esta zona del país existen periodos de lluvia bien definidos cabe mencionar que debido a los cambios climáticos no se puede asegurar que estos a futuro se mantengan con la misma frecuencia, dichos cambios pueden generar ciertos cambio en la estructura del suelo. Para este sector las alteraciones pueden generarse por ascenso del nivel freático, filtraciones en el suelo, concentración de aguas pluviales en los sitios de descarga, o por roturas de tuberías (acueductos, cloacas, drenajes, etc.). Si estas alteraciones se llegaran a presentar en la zona de estudio, el potencial de colapso generado está en los rangos de 0.1- 2.0 %, como se indica en la **Tabla 1**.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] LÓPEZ CORRAL, Antonio (1977). "Fenómenos de Colapso en las Arenas del Subsuelo de Madrid". Tesis Doctoral presentada en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, canales y Puertos de Madrid de la Universidad Politécnica de Madrid.

[2] REDOLFI R, Emilio. "Suelos Colapsables". Artículo presentado a la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba de Argentina.

[3] BALLY, R.J.; ANTONESCU, I.P. and PERLEA, V.D. (1973). "Hydrotechnical Structures on Loessial Collapsible Soils". Proc.of the 8<sup>o</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Moscú, URSS. Vol 2.2., Session 4/4, pp. 17 -22.

[4] DUDLEY, J.H. (1970). "Review of Collapsing Soils". Journal of Soils Mechanics and Foundation Division. ASCE. Vol 96 (SM3), pp. 925 - 947.

[5] INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Precipitación anual promedio de Colombia. 2002

[6] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Norma Técnica de ensayos para Análisis Granulométricos de suelos por tamizado. I.N.V. E-123. [2007].

[7] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Norma Técnica de ensayos para Determinación de Límite Líquido de los suelos. I.N.V. E-125. [2007].

[8] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Norma Técnica de ensayos para Determinación de Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los suelos. I.N.V. E-126. [2007].

[9] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Norma Técnica de ensayos para Consolidación Unidimensional de los suelos. I.N.V. E-151. [2007].

[10] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Norma Técnica de ensayos para Determinación del Índice de Colapso de un suelo Parcialmente Saturado. I.N.V. E-157. [2007].

[11] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Norma Técnica de ensayos para Proctor Modificado. I.N.V. E-142. [2007].

[12] DAS, Braja. Principio de Ingeniería de Cimentaciones. México. International Thomson Editores, S.A. de C.V. 2001.

[13] JUÁREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de Suelos. Tomo 1. Mexico. Limusa. 2005.644 p. ISBN: 968-18-0069-9

## ANEXOS

### Anexo A. Proctor Modificado

Determinación de la humedad óptima:

Fotografía 2. Proctor Modificado



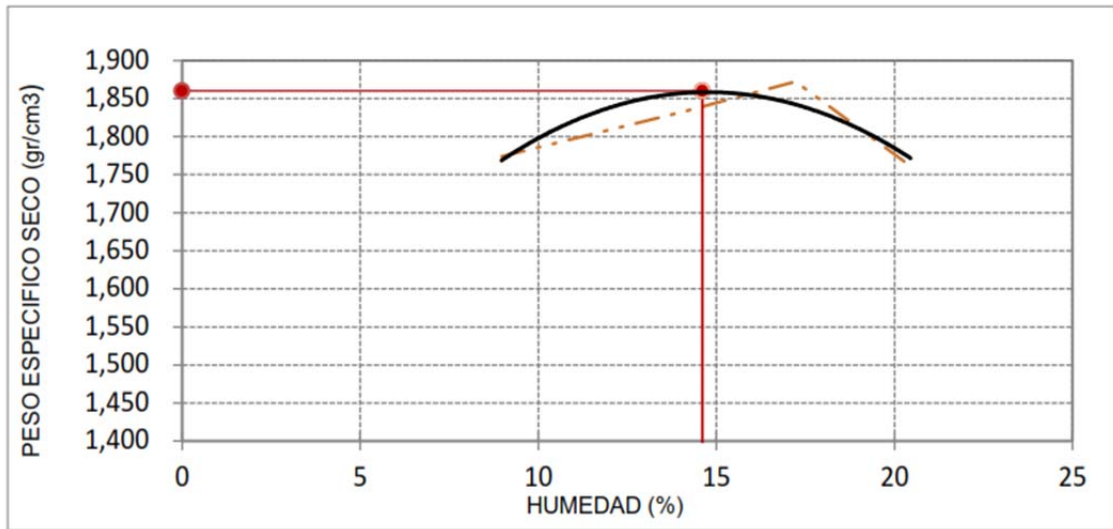
Fuente. Autor

**Figura 144.** Resultados Ensayo de Proctor Modificado

TIPO DE ENSAYO	MODIFICADO
NÚMERO DE CAPAS	5
NÚMERO DE GOLPES POR CARA	25
MOLDE No	24
DIÁMETRO MOLDE (cm)	10,00
ALTURA MOLDE (cm)	11,50
VOLUMEN MOLDE (cm <sup>3</sup> )	903,21

PESO TARA (gr)				
PESO DE TARA + SUELO HÚMEDO (gr)				
PESO DE TARA + SUELO SECO (gr)				
HUMEDAD %	8,97	14,06	17,22	20,45

PESO MOLDE (gr)	4284,0	4222,0	4222,0	4222,0
PESO DE MOLDE + SUELO HÚMEDO (gr)	6030,0	6110,0	6204,0	6138,0
PESO DEL SUELO HÚMEDO (gr)	1746,0	1888,0	1982,0	1916,0
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	1,93	2,09	2,19	2,12
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1,77	1,83	1,87	1,76



**DENSIDAD MÁXIMA**      1,860      gr/cm<sup>3</sup>  
**HUMEDAD ÓPTIMA**      14,6      %

**Fuente.** Autor.

## Anexo B. Variación de Volumen por medio del ensayo de Consolidación

Fotografía 3. Ensayo de Consolidación



Fuente. Autor

Anexo C. Datos tomados en el ensayo de Determinación del Potencial de Colapso

Tabla 11. Deformaciones para Humedad de 8%

humedad 8%	Tiempo(hora)	Deformación con W= 10 N	Deformación (mm)	Alturas (Hi= 25.5)	$\Delta H$
Consolidación	0.00	30.00	0.075	25.425	0.0000
	0.08	33.00	0.0825	25.4175	0.0093
	0.17	36.70	0.09175	25.40825	0.0100
	0.25	37.00	0.0925	25.4075	0.0113
	0.33	37.50	0.09375	25.40625	0.0119
	0.42	37.75	0.094375	25.405625	0.0125
	0.50	38.00	0.095	25.405	0.0130
	0.67	38.20	0.0955	25.4045	0.0138
	1.00	38.50	0.09625	25.40375	0.0130
	1.50	38.20	0.0955	25.4045	0.0130
	2.00	38.20	0.0955	25.4045	0.0130
	2.50	38.20	0.0955	25.4045	0.0200
SATURAR	20.00	41.00	0.1025	25.3975	0.0800
Colapso	25.00	65.00	0.1625	25.3375	0.1025
	25.08	74	0.185	25.315	0.1075
	25.17	76.00	0.19	25.31	0.1125
	25.25	78.00	0.195	25.305	0.1138
	25.33	78.50	0.19625	25.30375	0.1144
	25.42	78.75	0.196875	25.303125	0.1150
	25.50	79.00	0.1975	25.3025	0.1150
	25.75	79.00	0.1975	25.3025	0.1150
	26.00	79.00	0.1975	25.3025	0.1150
	27.00	79.00	0.1975	25.3025	0.1150
	32.00	79.00	0.1975	25.3025	0.1150

Fuente. Autor

**Tabla 12. Deformaciones para Humedad de 10%**

humedad 10%	Tiempo(hora)	Deformación con W= 10 N	Deformación (mm)	Alturas (Hi= 25.5)	$\Delta H$
<b>Consolidación</b>	0.00	20.00	0.05	25.45	0.0000
	0.08	24.00	0.06	25.44	0.0100
	0.17	25.00	0.0625	25.4375	0.0125
	0.25	27.75	0.069375	25.430625	0.0194
	0.33	28.13	0.0703125	25.4296875	0.0203
	0.42	29.75	0.074375	25.425625	0.0244
	0.50	30.00	0.075	25.425	0.0250
	0.67	30.56	0.0764	25.4236	0.0264
	1.33	31.00	0.0775	25.4225	0.0275
	1.50	32.40	0.081	25.419	0.0310
	2.00	32.80	0.082	25.418	0.0320
	24.00	35.00	0.0875	25.4125	0.0375
<b>SATURAR</b>	<b>24.01</b>	<b>65</b>	<b>0.1625</b>	<b>25.3375</b>	<b>0.1125</b>
<b>Colapso</b>	24.08	67.23	0.168075	25.331925	0.1181
	24.17	68.45	0.171125	25.328875	0.1211
	24.25	68.89	0.172225	25.327775	0.1222
	24.33	69.12	0.1728	25.3272	0.1228
	24.42	69.34	0.17335	25.32665	0.1233
	24.50	69.56	0.1739	25.3261	0.1239
	24.67	70.23	0.175575	25.324425	0.1256
	25.00	70.45	0.176125	25.323875	0.1261
	26.00	70.45	0.176125	25.323875	0.1261
	32.00	70.45	0.176125	25.323875	0.1261

**Fuente. Autor**

Tabla 13. Deformaciones para Humedad de 12%

humedad 12%	Tiempo(hora)	Deformación con W= 10 N	Deformación (mm)	Alturas (Hi= 25.5)	$\Delta H$
Consolidación	0.00	20.00	0.048	25.452	0.0000
	0.08	21.00	0.0504	25.4496	0.0024
	0.17	23.00	0.0552	25.4448	0.0072
	0.25	23.50	0.0564	25.4436	0.0084
	0.33	24.56	0.058944	25.441056	0.0109
	0.42	24.87	0.059688	25.440312	0.0117
	0.50	25.34	0.060816	25.439184	0.0128
	0.67	25.5	0.0612	25.4388	0.0132
	1.33	25.75	0.0618	25.4382	0.0138
	1.50	25.75	0.0618	25.4382	0.0138
	2.00	25.75	0.0618	25.4382	0.0138
	24.00	25.75	0.0618	25.4382	0.0138
	24.01	25.75	0.0618	25.4382	0.0138
	SATURAR	24.08	35.12	0.084288	25.415712
Colapso	24.17	37.54	0.090096	25.409904	0.0421
	24.25	38.34	0.092016	25.407984	0.0440
	24.33	39.25	0.0942	25.4058	0.0462
	24.42	40.12	0.096288	25.403712	0.0483
	24.50	40.54	0.097296	25.402704	0.0493
	24.67	41.5	0.0996	25.4004	0.0516
	25.00	41.9	0.10056	25.39944	0.0526
	26.00	42.3	0.10152	25.39848	0.0535
	35.00	42.3	0.10152	25.39848	0.0535

Fuente. Autor

Tabla 14. Deformaciones para Humedad de 14%

humedad 14%	Tiempo(hora)	Deformación con W= 10 N	Deformación (mm)	Alturas (Hi= 25.5)	$\Delta H$
Consolidación	0.00	10	0.025	25.475	0.0000
	0.08	10.5	0.026	25.474	0.0010
	0.17	11.2	0.028	25.472	0.0030
	0.25	11.75	0.029375	25.470625	0.0044
	0.33	12.12	0.0303	25.4697	0.0053
	0.42	12.50	0.03125	25.46875	0.0063
	0.50	13	0.0325	25.4675	0.0075
	1.00	13	0.0325	25.4675	0.0075
	1.50	13.5	0.03375	25.46625	0.0088
	2.00	13.5	0.03375	25.46625	0.0088
	16.67	13.5	0.03375	25.46625	0.0088
	20.00	13.5	0.03375	25.46625	0.0088
	21.67	13.5	0.03375	25.46625	0.0088
SATURAR	21.75	23.45	0.063625	25.436375	0.0386
Colapso	22.00	25.65	0.069125	25.430875	0.0441
	22.08	26.08	0.0702	25.4298	0.0452
	22.17	26.67	0.071675	25.428325	0.0467
	22.25	26.32	0.0733	25.4267	0.0483
	22.33	28.15	0.075375	25.424625	0.0504
	22.42	29.3	0.07575	25.42425	0.0508
	22.50	29.5	0.07625	25.42375	0.0513
	23.00	29.5	0.07625	25.42375	0.0513
	24.00	29.5	0.07625	25.42375	0.0513
	33.00	29.5	0.07625	25.42375	0.0513

Fuente. Autor

Tabla 15. Deformaciones para Humedad de 12%

humedad 16%	Tiempo(hora)	Deformación con W= 10 N	Deformación (mm)	Alturas (Hi= 25.5)	$\Delta H$
Consolidación	0.00	12.00	0.03	25.47	0.0000
	0.08	12.80	0.032	25.468	0.0020
	0.17	13.70	0.03425	25.46575	0.0042
	0.25	14.40	0.036	25.464	0.0060
	0.33	14.80	0.037	25.463	0.0070
	0.42	15.5	0.03875	25.46125	0.0087
	0.50	15.9	0.03975	25.46025	0.0098
	0.67	16.12	0.0403	25.4597	0.0103
	1.33	16.8	0.042	25.458	0.0120
	1.50	16.8	0.042	25.458	0.0120
	2.00	16.8	0.042	25.458	0.0120
	24.00	20	0.05	25.45	0.0200
	24.01	40	0.1	25.4	0.0700
	SATURAR	24.08	48.6	0.1215	25.3785
Colapso	24.17	50.6	0.1265	25.3735	0.0965
	24.25	55.4	0.1385	25.3615	0.1085
	24.33	56.5	0.14125	25.35875	0.1112
	24.42	56.5	0.14125	25.35875	0.1112
	24.50	56.87	0.142175	25.357825	0.1122
	24.67	57	0.1425	25.3575	0.1125
	25.00	57.5	0.14375	25.35625	0.1138
	26.00	57.5	0.14375	25.35625	0.1138
	35.00	57.5	0.14375	25.35625	0.1138

Fuente. Autor

Tabla 16. Deformaciones para Humedad de 12%

humedad 18%	Tiempo(hora)	Deformación con W= 10 N	Deformación (mm)	Alturas (Hi= 25.5)	$\Delta H$
Consolidación	0.00	20.00	0.05	25.45	0.0000
	0.08	22.00	0.055	25.445	0.0050
	0.17	24.00	0.06	25.44	0.0100
	0.25	25.87	0.064675	25.435325	0.0147
	0.33	26.12	0.0653	25.4347	0.0153
	0.42	26.57	0.066425	25.433575	0.0164
	0.50	26.9	0.06725	25.43275	0.0173
	1.00	27.43	0.068575	25.431425	0.0186
	1.50	27.5	0.06875	25.43125	0.0188
	2.00	28	0.07	25.43	0.0200
	16.67	28	0.07	25.43	0.0200
	25.58	28	0.07	25.43	0.0200
SATURAR	26.00	53	0.1325	25.3675	0.0825
Colapso	26.08	57.23	0.143075	25.356925	0.0931
	26.17	58.43	0.146075	25.353925	0.0961
	26.25	58.78	0.14695	25.35305	0.0969
	26.33	59.34	0.14835	25.35165	0.0983
	26.42	59.56	0.1489	25.3511	0.0989
	26.50	60	0.15	25.35	0.1000
	26.70	61.45	0.153625	25.346375	0.1036
	27.00	61.45	0.153625	25.346375	0.1036
	29.00	61.45	0.153625	25.346375	0.1036

Fuente. Autor

Tabla 17. Deformaciones para Humedad de 12%

humedad 20%	Tiempo(hora)	Deformación con W= 10 N	Deformación (mm)	Alturas (Hi= 25.5)	$\Delta H$
<b>Consolidación</b>	0.00	30.00	0.075	25.425	0.0000
	0.08	33.00	0.0825	25.4175	0.0075
	0.17	35.80	0.0895	25.4105	0.0145
	0.25	36.12	0.0903	25.4097	0.0153
	0.33	36.50	0.09125	25.40875	0.0162
	0.42	37.00	0.0925	25.4075	0.0175
	0.50	37.5	0.09375	25.40625	0.0188
	1.00	37.5	0.09375	25.40625	0.0188
	1.50	38	0.095	25.405	0.0200
	2.00	38	0.095	25.405	0.0200
	16.67	38	0.095	25.405	0.0200
<b>SATURAR</b>	<b>25.58</b>	<b>50</b>	<b>0.125</b>	<b>25.375</b>	<b>0.0500</b>
<b>Colapso</b>	26.00	66.5	0.16625	25.33375	0.0913
	26.08	70	0.175	25.325	0.1000
	26.17	72	0.18	25.32	0.1050
	26.25	72.8	0.182	25.318	0.1070
	26.33	73.2	0.183	25.317	0.1080
	26.42	73.5	0.18375	25.31625	0.1088
	26.50	74	0.185	25.315	0.1100
	26.70	74	0.185	25.315	0.1100
	27.00	74	0.185	25.315	0.1100
	29.00	74	0.185	25.315	0.1100

Fuente. Autor