Análisis de consolidación y corte directo en arcillas en Subrasantes Viales
Consolidation and direct cutting analysis on clays of road subgrades

Camilo Andrés Higuera Rubio
Universidad Piloto de Colombia
Laboratorio de Ciencias Básicas e Ingenierías
Correo: camilo-higuera@upc.edu.co

Johan Orlando Rubiano Rincón
Universidad Piloto de Colombia
Laboratorio de Ciencias Básicas e Ingenierías
Correo: Johan-rubiano@upc.edu.co

Valentina Garzón Páez
Universidad Piloto de Colombia
Laboratorio de Ciencias Básicas e ingenierías
Correo: valentina-martinez@upc.edu.co

Henry Giovanni Martínez Mendoza
Universidad Piloto de Colombia
Laboratorio de Ciencias Básicas e ingenierías
Correo: hmartinez80@upc.edu.co

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo analizar de forma sistemática la consolidación y el corte directo en una muestra de arcilla tomada de la subrasante vial en el barrio San Marcos en la localidad de Engativá, Bogotá, Colombia, conociendo y estudiando el comportamiento físico de la arcilla como lo es, la porosidad, a medida que pasa un fluido o el aire atrapado en los vacíos entre los granos del suelo. En este sentido, los autores efectuaron ensayos a la muestra de arcilla para determinar sus propiedades mecánicas y físicas, los cuales son: consolidación unidimensional, humedad, gravedad específica, hidrometría, determinación de los tamaños de las partículas y del límite líquido y plástico de los suelos, compactación (Proctor estándar), en los cuales se presentan las gráficas respectivas. Con base en los resultados y el análisis correspondiente se realiza la clasificación de el material por medio de la gráfica de plasticidad de la USCS (Unified Soil Classification System). Los métodos utilizados este proyecto, fueron con base a la normativa INVIAS (Instituto Nacional de Vías) , NTC (Norma Técnica Colombiana).

Palabras clave

- Vía, Subrasante, Arcilla, Ensayo, Expansión

Abstract

The objective of this research project is to systematically analyze the consolidation and direct cutting of a clay taken from the road subgrades in the San Marcos neighborhood, in Engativá, Bogotá, Colombia, knowing and studying physical behavior of the clay as it is, porosity, as a fluid passes or air trapped in the voids between the grains of the ground. In this sense, the authors carried out tests on the clay sample to determine its mechanical and physical properties, which are: one dimensional consolidation, humidity, specific gravity, hydrometry, determination of particle sizes and the liquid and plastic limit of the ground compaction (Standard Proctor), in which the respective graphics are presented. Based on the results and the corresponding analysis, the material is classified using the plasticity graph of the USCS ((Unified Soil Classification System). The methods used in this project were based on the INVIAS (National Highway Institute), NTC (Colombian Technical Standard) regulations.

Keywords
- Road, Subgrade, Clay, Test, Expansion

Introducción

En el presente proyecto de investigación se estudia las propiedades físicas y mecánicas de dos muestras de arcilla tomadas de una subrasante vial barrio San Marcos en la localidad de Engativá, Bogotá, Colombia (imagen 1). El conocimiento de estas propiedades conllevara a que poder analizar y realizar la clasificación, del tipo de suelo por medio de la gráfica de plasticidad de la USCS y así, determinar soluciones óptimas para el mejoramiento de la subrasante.

Imagen 1. Subrasante Vial, fuente: elaboración propia

Al ser este material una arcilla y de acuerdo con la investigación "Expansive Soil Stabilization - General Considerations", el material usado como subrasante se deben identificar y tener en cuenta las propiedades del suelo, la variación volumétrica efectuada por la sensibilidad del suelo a la humedad, la variación del agua en relación al tiempo y las estructuras que se encuentran construidas o futuras a construir, con el fin de poder clasificar y tomar decisiones respecto a los resultados obtenidos para una mejora de la subrasante.

La subrasante tiene una gran influencia en las operaciones de construcción del pavimento y en la eficiencia del mismo, ya que al momento de contar con una subrasante inestable se presentarán problemas relativos a la colocación y compactación de los materiales de base o subbase; siendo las respuestas estructurales de la base (esfuerzos, desplazamientos y agrietamientos) las que más influyen en la subrasante.

Materiales y métodos

Técnica de trabajo

Al tener dos muestras de la subrasante arcillosa, se realizan los siguientes ensayos veces para cada muestra.

- **Humedad**

Las arcillas estudiadas (muestra uno y muestra dos), tal cual se reciben, se toma una proporción de esta para llevarla al horno por 24 horas (o hasta obtener una masa constante) a una temperatura de 110 °C (230 °F), realizando el procedimiento de la norma INV E-122-13, se debe tomar lecturas de peso antes y después del secado de la muestra para poder obtener el porcentaje de humedad de la arcilla.

- **Masa unitaria**

Las arcillas estudiadas (muestra uno y muestra dos), tal cual se reciben, se toma una proporción y se prepara la muestra, para el apisonamiento de agregados con tamaños máximos nominales de 37,5mm o menores, o por el procedimiento de golpeo para agregados que tienen un tamaño máximo nominal superior a los 35.5mm y que no exceda los 150 mm, realizando el procedimiento de la norma NTC-92, se deben tomar lecturas de masa del agregado más el molde, masa del molde, volumen

del molde y factor para el molde, para poder obtener la masa unitaria de agrado, y con esta poder obtener el porcentaje de vacíos.

- **Temperatura**

Las arcillas estudiadas (muestra uno y muestra dos), tal cual se reciben, se procede a ingresar el termómetro digital, para luego de que se estabilice tomar su respectivo dato de temperatura siendo este el grado o nivel térmico de las muestras.

- **Hidrometría**

Las muestras de arcillas estudiadas (muestra uno y muestra dos), tal cual se reciben, se toma una porción y se prepara la muestra, la cantidad requerida para suelos arenosos es 100 g y para limos y arcillas de 50 g (Masa seca). La masa exacta de la muestra en suspensión puede ser determinada antes o después del ensayo. Sin embargo, el secado al horno de algunas arcillas antes del ensayo puede causar cambios permanentes en los tamaños de granos aparentes; las muestras de estos suelos deben ser conservadas con su contenido de humedad natural, y ensayadas sin ser secadas al horno, luego se realiza el procedimiento de la norma INV E 124-13, para luego preceder a tomar de distancia desde el cuello del bulbo hasta la marca en el hidrómetro correspondientes a la lectura (R), la distancia desde el cuello hasta la punta inferior del bulbo (h), volumen del bulbo (Vb), y área del cilindro graduado (A), para así obtener la profundidad efectiva, diámetro máximo del grano y el porcentaje más fino.

- **Corte directo**

Las arcillas estudiadas (muestra uno y muestra dos), se realiza el ensayo de corte directo, para la preparación de la muestra se debe efectuar de tal manera que la pérdida de humedad sea insignificante, la muestra se talla sobre medida para las dimensiones del dispositivo de corte directo, Para muestras inalteradas de suelos sensibles, se debe tener extremo cuidado al labrar las muestras, para evitar la alteración de su estructura natural. Se determina la masa inicial de la muestra para el cálculo posterior del contenido inicial de humedad de acuerdo con la norma INV E 122-13. Si se utilizan muestras de suelos compactados, la compactación se deberá hacer con las condiciones de humedad y densidad deseadas. Se puede efectuar directamente en el dispositivo de corte, en un molde de dimensiones iguales a las del dispositivo de corte o en un molde mayor para recortarlas, El diámetro mínimo de las muestras circulares o el ancho mínimo para muestras rectangulares debe ser alrededor de 50 mm (2"), pero no menor de diez veces el tamaño máximo de las partículas del suelo. El espesor mínimo de la muestra de ensayo debe ser alrededor de 13 mm (1/2"), pero no menor de seis veces el tamaño máximo de las partículas del suelo, luego de tener preparada nuestra muestra realizaos el procedimiento de la norma INV E 154-13, para luego calcular el contenido inicial de humedad, densidad seca inicial y densidad húmeda inicial, esfuerzos normales y de corte, esfuerzo de corte donde utilizamos la fuerza de corte y el área del dispositivo de corte y para el esfuerzo normal es fuerza normal sobre área.

- **Consolidación**

Las arcillas estudiadas (muestra uno y muestra dos), tal cual se reciben, Las muestras se moldeará de acuerdo con el interior del diámetro del consolidómetro, forzándola directamente dentro del mismo. Se cortará cuando haya que emparejarla con la superficie plana del anillo. En suelos blandos a medianos, deberá usarse una sierra de alambre para

cortar la parte superior e inferior de la muestra con el fin de disminuir las zonas con agrietamientos. Se deberán tomar precauciones para disminuir la alteración del suelo o los cambios en la humedad y masa unitaria durante el transporte y preparación de la muestra, y se deberá evitar para la misma cualquier vibración, distorsión y compresión, luego de tener preparado nuestra muestra realizamos el procedimiento de la norma INV E 151-13, para luego a partir de los incrementos de carga para los cuales se obtienen las lecturas del tiempo, se dibujan las curvas: deformación contra el logaritmo del tiempo (en minutos) y contra la raíz cuadrada del tiempo, (en minutos).

- **Límites de atterberg**

Las arcillas estudiadas (muestra uno y muestra dos), tal cual se reciben, se toma una muestra para el límite líquido que pese aproximadamente 100 g. de una porción de material completamente mezclado que pase el tamiz de 0.425 mm (No.40), obtenido de acuerdo con el método descrito en las normas INV E – 106 e INV E – 107. Y para el procedimiento lo observamos en la norma INV E 125-13 para consecuentemente calcular el contenido de humedad del suelo, expresándolo como porcentaje de la masa del suelo secado al horno, para el 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, para liego calcular el contenido de humedad (masa del agua sobre masa del suelo secado al horno por cien. Luego para el límite plástico, norma INV E 126-13, luego se prepara la muestra donde se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 425 µm (No.40), obtenidos de acuerdo con las Normas INV E-106 o INV E-107 (Preparación en seco y en húmedo de muestras de suelo para análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas). Se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con la masa de suelo. Se toma una porción de unos 6 g de dicha esfera, luego se realiza el procedimiento de la norma INV E 126-13, para luego calcular limite plástico que es igual al peso del agua sobre el peso de suelo secado al horno y por consiguiente el Índice de Plasticidad se calculara mediante el Límite Líquido - Límite Plástico.

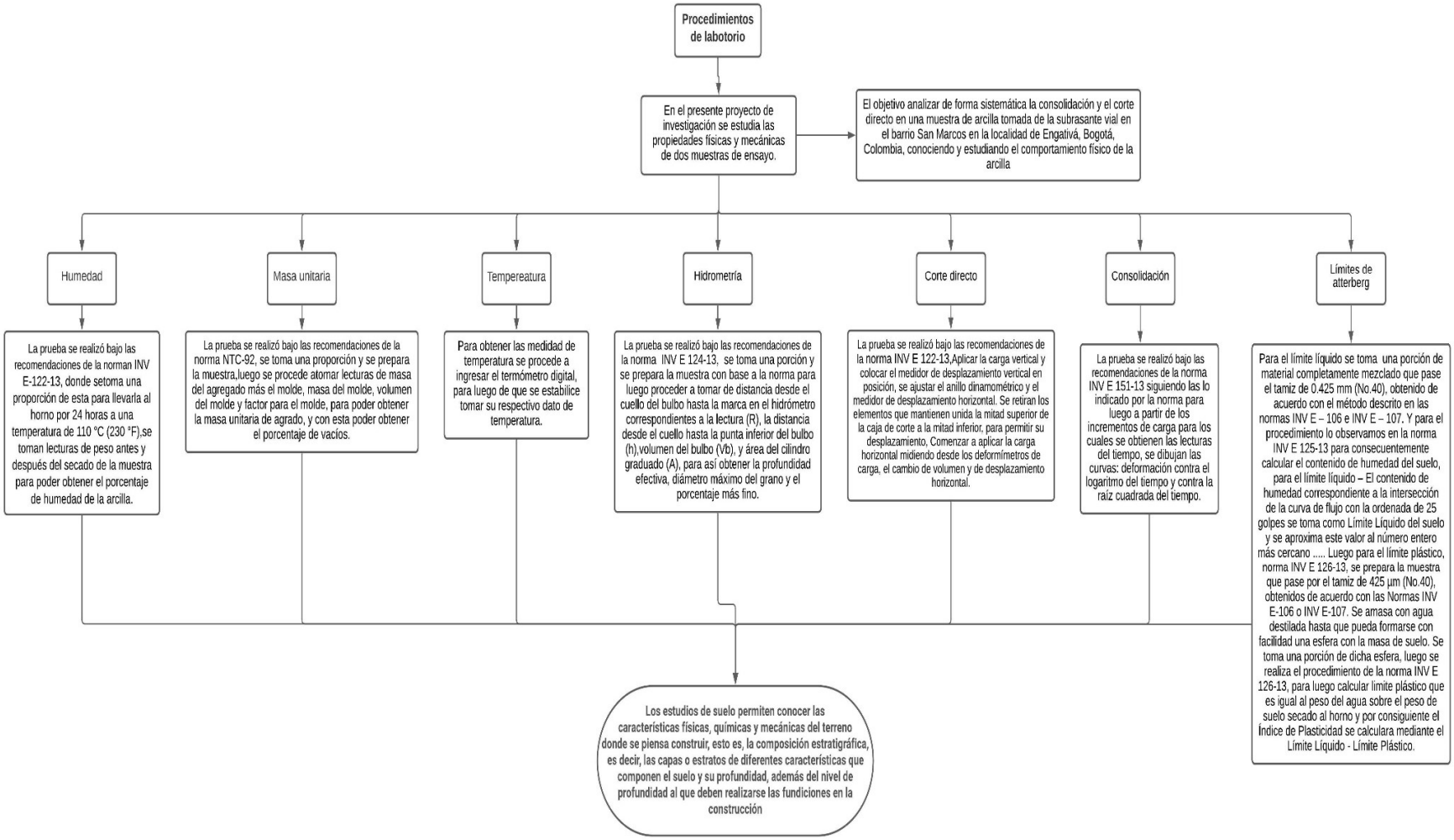


Ilustración 1 flujograma de procedimiento-Fuente: elaboración propia

Análisis de resultados Obtenidos

- **Humedad**

Determinación Contenido de Humedad		
Ensayo	**Muestra 1**	**Ensayo Muestra 2**
Peso del recipiente + muestra (g)	**568.80**	**785.20**
Peso del recipiente + muestra seca (g)	**522.50**	**689.90**
Peso del recipiente (g)	**371.10**	**370.20**
Humedad (%)	**30.58**	**29.81**

Tabla 1. Contenido de Humedad (dos muestras)

Al realizar el análisis de la muestra uno, se obtiene una humedad de 30,58% y de la muestra dos se obtiene una humedad de 29,81%, teniendo así una variación del 0.77%, esta variación puede ser causa de la variación de humedad en el ambiente al momento del transporte.

- **Masa Unitaria**

En los resultados de masa unitaria al realizar el respectivo ensayo para cada muestra, en el cual por cada ensayo realizado se debe repetir el procedimiento cinco veces, para el ensayo nombrado anteriormente se encuentra las dimensiones del molde, las cuales son:

Dimensiones del molde	
Diámetro (m)	**0.17**
Altura (m)	**0.16**
Volumen (m^3)	**0.0035**
Peso (kg)	**1.92**

Tabla 2. Dimensiones de molde

Al realizar el ensayo correspondiente se encuentran los siguientes resultados:

DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y LOS VACÍOS ENTRE ARTICULAS – MUESTRA 1			
Ensayo			
MASA UNITARIA SUELTA		**MASA UNITARIA COMPACTA**	
W CON MOLDE (kg)	**W SIN MOLDE (kg)**	**W CON MOLDE (kg)**	**W SIN MOLDE (kg)**
5.92	**4.01**	**6.15**	**4.23**
5.87	**3.95**	**6.05**	**4.13**
5.89	**3.97**	**6.12**	**4.21**
5.89	**3.98**	**6.15**	**4.23**
5.91	**4.00**	**6.03**	**4.11**
PROMEDIO (kg)	**3.9816**	**PROMEDIO (kg)**	**4.18**
MASA UNITARIA (kg/m^3)	**1139.58**	**MASA UNITARIA (kg/m^3)**	**1197.34**

MASA UNITARIA (g/cm³)	**1.14**	**MASA UNITARIA (g/cm³)**	**1.20**
DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y LOS VACÍOS ENTRE ARTICULAS – MUESTRA 2			
Ensayo			
MASA UNITARIA SUELTA		**MASA UNITARIA COMPACTA**	
W CON MOLDE (kg)	**W SIN MOLDE (kg)**	**W CON MOLDE (kg)**	**W SIN MOLDE (kg)**
5.90	**3.98**	**6.13**	**4.22**
6.06	**4.15**	**6.17**	**4.26**
6.04	**4.12**	**6.18**	**4.27**
6.02	**4.10**	**6.17**	**4.25**
6.03	**4.11**	**6.15**	**4.23**
PROMEDIO (kg)	**4.09**	**PROMEDIO (kg)**	**4.25**
MASA UNITARIA (kg/m³)	**1171.07**	**MASA UNITARIA (kg/m³)**	**1214.86**
MASA UNITARIA (g/cm³)	**1.17**	**MASA UNITARIA (g/cm³)**	**1.22**

Tabla 3. Datos iniciales para la determinación de masa unitaria

RESULTADOS	
MUESTRA 1	
MASA UNITARIA SUELTA (g/cm³)	**1.14**
MASA UNITARIA COMPACTA (g/cm³)	**1.20**
MUESTRA 2	
MASA UNITARIA SUELTA (g/cm³)	**1.17**
MASA UNITARIA COMPACTA (g/cm³)	**1.20**

Tabla 3. Determinación de masa unitaria

Al realizar el análisis de los resultados que se evidencian en la tabla 3, tanto de la muestra uno como de la muestra dos, se obtiene que la masa unitaria suelta respectivamente es de 1.14 g/cm³ para la muestra uno y de 1.17 g/cm³ para la muestra dos, siendo así, la masa unitaria compacta en las dos muestras es de 1.20 g/cm³, como es de esperarse el valor de masa unitaria compacta es mayor en un 2.5%, ya que se tiene una menor relación de vacíos.

- **Hidrometría**

Para el ensayo de Hidrometría, para ambas muestras, se evidencian las siguientes características del hidrómetro, temperatura y correcciones del mismo para obtener el ensayo con la mayor precisión posible:

MUESTRA 1

CORRECCIÓN POR MENISCO	
HIDRÓMETRO	**VALOR USUAL**
TIPO 152 H	**1.00 g/litro**
CORRECCIÓN POR TEMPERATURA	
HIDRÓMETRO	**TEMPERATURA °C**

TIPO 152 H		19.50	
CORRECCIÓN POR DEFLOCULANTE Y PUNTO CERO Cd			
T´	Cm	Ct	Cd
2.30	1.00	-0.18	3.12
Humedad (%)		13.80	

Tabla 4. Características, temperatura y correcciones de Hidrómetro

DATOS DEL ENSAYO									
T (min.)	TP (°C)	R'	R''	R	Rt	L (mm)	K	% M. F.	D (mm)
1	19.50	50.00	51.00	1.00	-0.15	81.00	0.004	15.00	0.030
2	19.50	46.00	47.00	1.00	-0.15	88.00	0.004	14.00	0.020
5	19.50	43.00	44.00	1.00	-0.15	92.00	0.004	13.00	0.012
15	19.50	40.00	41.00	1.00	-0.15	97.00	0.004	12.00	0.007
30	19.50	37.00	38.00	1.00	-0.15	102.00	0.004	11.00	0.005
60	19.50	35.00	36.00	1.00	-0.15	106.00	0.004	11.00	0.003
120	19.50	34.00	35.00	1.00	-0.15	107.00	0.004	10.00	0.002
240	19.50	31.00	32.00	1.00	-0.15	112.00	0.004	10.00	0.001
1140	20.00	25.00	26.00	1.00	0.00	122.00	0.004	8.00	0.000

Tabla 5. Datos de ensayo muestra 1

- T = Tiempo
- TP = Temperatura
- R' = Lectura no corregida
- R'' = Lectura corregida
- R = Lectura corregida por menisco
- D = Diámetro de las partículas
- Rt = Lectura corregida por temperatura
- L = Profundidad efectiva
- K = Constante
- % M. F. = % Mas fino

Para el análisis del ensayo de hidrometría según los resultados obtenidos se obtiene que, para la muestra de ensayo, contiene un 15.00% de porcentaje mas fino con un diámetro de las partículas de 0.030 mm y un 8.00% de porcentaje más fino con un diámetro de las partículas inferior al 0.001 mm.

- **Corte directo**

Ya que el ensayo de corte directo se realizó en condición consolidada drenada (CD), se demuestran la consolidación hasta la carga de 1 kilogramo, para efectuar el corte en la muestra.

MUESTRA 1

CONSOLIDACIÓN PARA CORTE DIRECTO – MUESTRA 1			
DEFORMACIÓN (MM)	E UNITARIA AXIAL (%)	RELACIÓN DE VACIOS (%)	TIEMPO (min)
1.49	5.38	94.62	0.00
1.60	5.77	94.23	0.10
1.61	5.81	94.19	0.25
1.62	5.85	94.16	0.50
1.63	5.89	94.11	1.00
1.65	5.96	94.04	2.00

1.68	**6.07**	**93.93**	**4.00**
1.74	**6.26**	**93.74**	**8.00**
1.80	**6.40**	**93.60**	**15.00**
1.82	**6.56**	**93.44**	**30.00**
1.87	**6.72**	**93.28**	**60.00**
1.89	**6.82**	**93.18**	**120.00**
1.92	**6.91**	**93.10**	**240.00**
1.92	**6.92**	**93.08**	**480.00**
1.92	**6.93**	**93.07**	**720.00**
1.93	**6.94**	**93.06**	**1440.00**

Tabla 6. Datos de ensayo consolidación para corte directo – muestra 1

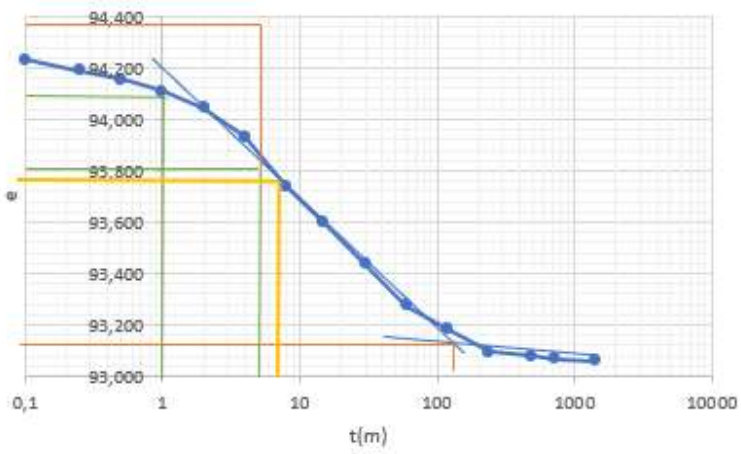


Figura 1. *Consolidación hasta carga de 1 kg para realización de ensayo de corte, con relación 1 a 4 para determinación de velocidad de corte. Muestra 1 – Ensayo 1.*

Para la figura uno, resultante de los datos obtenidos de la tabla 6, corresponde a la gráfica de deformación vs logaritmo de tiempo, se tiene una consolidación primaria al 100% en el minuto 140 aproximadamente, este ensayo de consolidación con carga de 1kg se realiza con el fin de terminar la velocidad de corte, para el ensayo anteriormente nombrado, una vez de terminada la velocidad se realiza el ensayo de corte directo consolidado no drenado, teniendo así los datos resultantes del ensayo representados en la tabla 7.

El procedimiento anteriormente nombrado se aplica de igual manera para la muestra dos, siendo así, la tabla 8 los datos obtenidos de la consolidación y la figura 5 la gráfica resultante de la misma, disminuyendo para esta muestra el tiempo de consolidación primaria a 90 minutos aproximadamente.

Esta disminución de tiempo de la muestra dos con respecto a la muestra uno, puede ser debido a que las muestras en estudio no se tomaron dentro de una distancia cercana una de la otra, por lo cual, pueden tener una consolidación en campo diferente

DEFORMACIÓN HORIZONTAL (MM)	CARGA = 1 KILOGRAMO		
	DEFORMACIÓN VERTICAL (mm)	**CARGA (kN)**	**Ʈ (kN/m²)**
0.00	**1.97**	**0.000000**	**0.00**
0.10	**1.99**	**0.000000**	**0.00**

0.20	**2.00**	**0.000000**	**0.00**
0.30	**2.00**	**0.000004**	**0.00**
0.40	**2.00**	**0.000012**	**0.01**
0.50	**2.01**	**0.000017**	**0.01**
0.60	**2.01**	**0.000020**	**0.01**
0.70	**2.01**	**0.000022**	**0.01**
0.80	**2.01**	**0.000025**	**0.02**
0.90	**2.01**	**0.000028**	**0.02**
1.00	**2.02**	**0.000032**	**0.02**
1.50	**2.05**	**0.000032**	**0.02**
2.00	**2.07**	**0.000032**	**0.02**
2.50	**2.10**	**0.000034**	**0.02**
3.00	**2.14**	**0.000036**	**0.02**
3.50	**2.14**	**0.000037**	**0.02**
4.00	**2.15**	**0.000037**	**0.02**
4.50	**2.20**	**0.000043**	**0.03**
5.00	**2.21**	**0.000043**	**0.03**

Tabla 7. Datos de ensayo corte directo consolidado no drenado – muestra 1

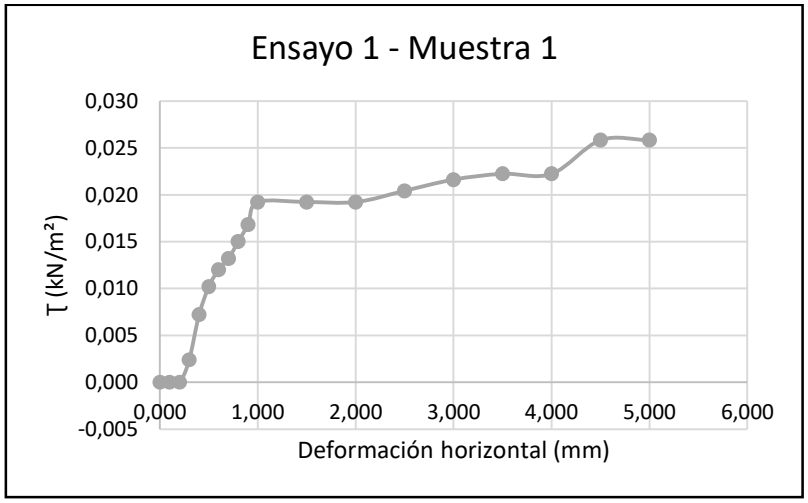


Figura 2. *Gráfica resultante de ensayo resistencia al corte hasta el 5% de área respecto a la muestra (5 mm aprox. para este caso). Muestra 1.*

El esfuerzo cortante resultante del ensayo, con respecto al 5% del área de la muestra es de 0,025 kN/m^2

CONSOLIDACIÓN PARA CORTE - MUESTRA 2			
DEFORMACIÓN (MM)	**E UNITARIA AXIAL (%)**	**RELACIÓN DE VACIOS (%)**	**TIEMPO (min)**
2.01	**7.24**	**92.76**	**0.00**
2.12	**7.63**	**92.38**	**0.10**
2.12	**7.64**	**92.36**	**0.25**
2.13	**7.66**	**92.34**	**0.50**
2.14	**7.70**	**92.30**	**1.00**
2.15	**7.75**	**92.25**	**2.00**

2.16	7.784	92.22	4.00
2.17	7.81	92.20	8.00
2.19	7.87	92.13	15.00
2.20	7.91	92.09	30.00
2.21	7.96	92.04	60.00
2.21	7.98	92.02	120.00
2.22	8.00	91.99	240.00
2.23	8.03	91.97	480.00
2.23	8.03	91.97	720.00
2.23	8.03	91.97	1440.00

Tabla 8. Datos de ensayo consolidación para corte – muestra 2

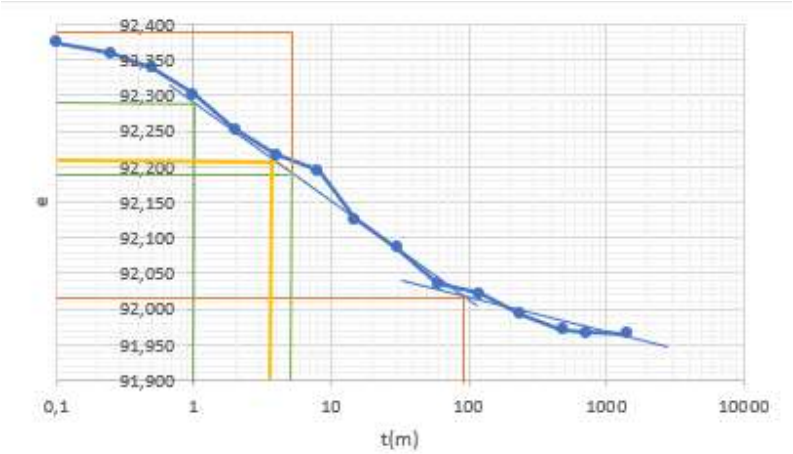


Figura 5. *Consolidación hasta carga de 1 kg para realización de ensayo de corte, con relación 1 a 4 para determinación de velocidad de corte. Muestra 2*

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO

DEFORMACIÓN HORIZONTAL (MM)	CARGA = 1 KILOGRAMO		
	DEFORMACIÓN VERTICAL (mm)	**CARGA (kN)**	**Ʈ (kN/m²)**
0.00	**0.02**	**0.000000**	**0.000**
0.10	**0.03**	**0.000001**	**0.001**
0.20	**0.03**	**0.000001**	**0.001**
0.30	**0.04**	**0.000001**	**0.001**
0.40	**0.04**	**0.000001**	**0.001**
0.50	**0.04**	**0.000001**	**0.001**
0.60	**0.03**	**0.000001**	**0.001**
0.70	**0.02**	**0.000001**	**0.001**
0.80	**0.02**	**0.000002**	**0.001**
0.90	**0.02**	**0.000003**	**0.002**
1.00	**0.03**	**0.000003**	**0.002**
1.50	**0.04**	**0.000003**	**0.002**
2.00	**0.05**	**0.000004**	**0.002**
2.50	**0.07**	**0.000005**	**0.003**
3.00	**0.13**	**0.000006**	**0.004**
3.50	**0.18**	**0.000007**	**0.004**

4.00	**0.21**	**0.000008**	**0.005**
4.50	**0.26**	**0.000010**	**0.006**
5.00	**0.29**	**0.000013**	**0.008**

Tabla 9. Datos de ensayo corte directo consolidado drenado– muestra 2

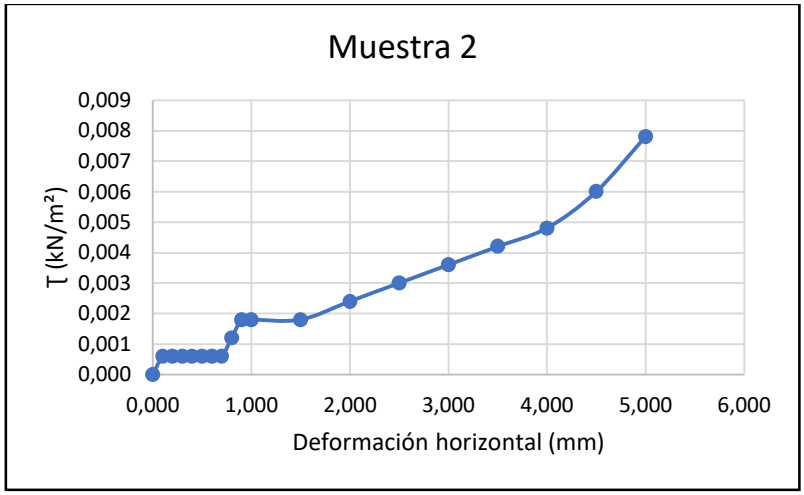


Figura 6. *Gráfica resultante de ensayo resistencia al corte hasta el 5% de área respecto a la muestra (5 mm aprox. para este caso). Muestra 2*

El esfuerzo cortante resultante del ensayo, con respecto al 5% del área de la muestra es de 0,008 kN/m^2

DEFORMACIÓN HORIZONTAL (MM)	CARGA = 1 KILOGRAMO		
	DEFORMACIÓN VERTICAL (mm)	**CARGA (kN)**	**Ʈ (kN/m²)**
0.00	**0.57**	**0,000000**	**0,00**
0.10	**0.57**	**0,000015**	**0,01**
0.20	**0.57**	**0,000016**	**0,01**
0.30	**0.57**	**0,000017**	**0,01**
0.40	**0.56**	**0,000020**	**0,01**
0.50	**0.55**	**0,000020**	**0,01**
0.60	**0.55**	**0,000021**	**0,01**
0.70	**0.55**	**0,000021**	**0,01**
0.80	**0.55**	**0,000021**	**0,01**
0.90	**0.55**	**0,000022**	**0,01**
1.00	**0.55**	**0,000023**	**0,01**
1.50	**0.56**	**0,000025**	**0,02**
2.00	**0.82**	**0,000029**	**0,02**
2.50	**0.53**	**0,000032**	**0,02**
3.00	**0.67**	**0,000033**	**0,02**
3.50	**0.65**	**0,000049**	**0,03**
4.00	**0.71**	**0,000050**	**0,03**
4.50	**0.74**	**0,000051**	**0,03**
5.00	**0.74**	**0,000051**	**0,03**

Tabla 10. Datos de ensayo corte directo consolidado no drenado– muestra 2

Los resultados obtenidos permiten conocer la resistencia que producen los materiales arcillosos a cargas horizontales aplicadas, ya que siendo alteradas o inalteradas mantienen gran resistencia dentro de su estructura debido a un comportamiento viscoelástico determinado por la cantidad de agua en el mismo, teniendo en cuenta que estos suelos naturales (subrasante) soportan cargas puntuales verticales, no muestran resistencia a su deformación lo que permitiría realizar un seguimiento total antes, durante y después de un mejoramiento del mismo.

- **Consolidación**

Para el ensayo de consolidación se realizaron los respectivos incrementos de carga cada 24 horas, los cuales se muestran en las siguientes tablas. Se realizaron los cálculos correspondientes y se obtuvieron las siguientes graficas con sus respectivas relaciones de vacíos:

MUESTRA 1

TIEMPO (t)		LECTURA DEL DIAL (kg/cm²)						
MINUTOS	RAIZ DE t	0.25	0.5	1	2	4	8	16
			0.317	1.77	1.97	2.37	3.38	4.36
0.10	0.32	0.05	0.414	1.80	1.99	2.49	3.57	4.53
0.25	0.50	0.06	0.608	1.82	2.00	2.51	3.59	4.65
0.50	0.71	0.06	0.703	1.83	2.05	2.55	3.62	4.65
1.00	1.00	0.08	0.907	1.84	2.09	2.56	3.66	4.65
2.00	1.41	0.11	1.031	1.85	2.10	2.56	3.72	4.66
4.00	2.00	0.13	1.045	1.86	2.13	2.75	3.80	4.69
8.00	2.83	0.16	1.055	1.88	2.15	2.86	4.00	4.73
15.00	3.87	0.20	1.059	1.89	2.18	3.02	4.00	4.79
30.00	5.48	0.23	1.066	1.89	2.19	3.14	4.00	4.85
60.00	7.75	0.25	1.094	1.91	2.23	3.20	4.000	4.92
120.00	10.95	0.26	1.135	1.93	2.25	3.24	4.15	5.18
240.00	15.49	0.28	1.251	1.94	2.27	3.27	4.20	5.27
480.00	21.91	0.30	1.385	1.95	2.29	3.29	4.23	5.37
720.00	26.83	0.30	1.774	1.96	2.36	3.30	4.25	5.39
1440.00	37.95	0.32	2.509	1.97	2.37	3.38	4.36	5.41

Tabla 11. Datos de ensayo de consolidación– muestra 1

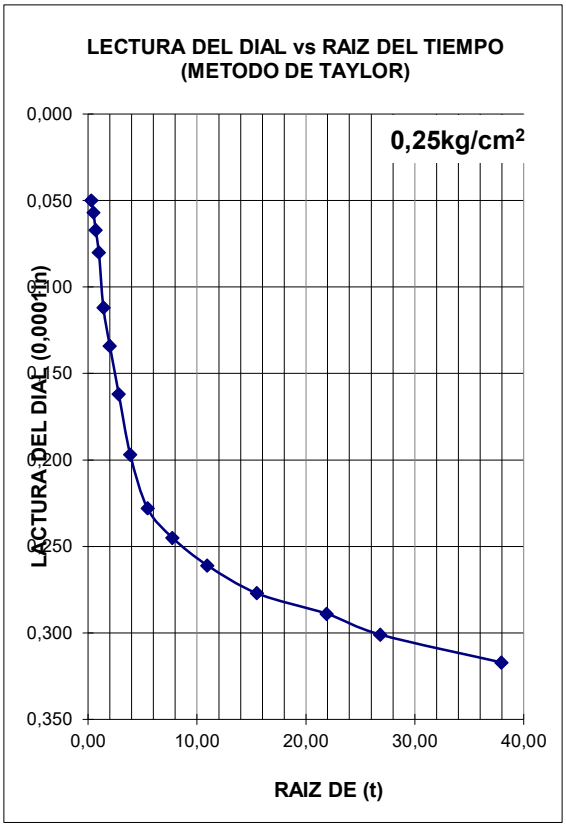
DIMENSIONES DE LA MUESTRA		
	INICIAL	FINAL
DIAMETRO, D (cm)	5.08	
ALTURA, H (cm)	2.78	
W. ANILLO (gr.)	55.81	
W. ANILLO + MUESTRA (gr.)	113.52	107.24
W. BLOQUÉ. + P. POROSOSA (gr.)	325.14	

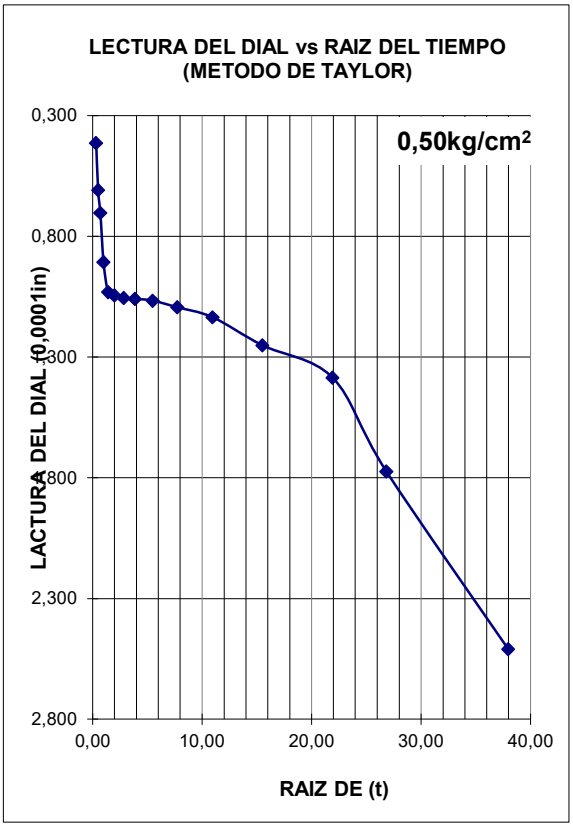
Tabla 12. Dimensiones de la muestra para ensayo de consolidación - muestra 1

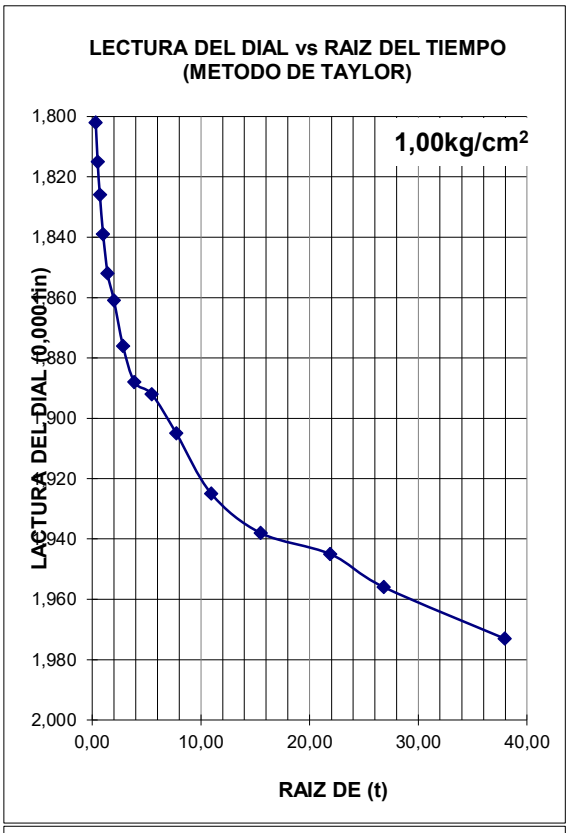
PESO ESPECIFICO DEL SUELO	
TEMP. DEL ENSAYO (Tx) °C	22.00
W. PIC. + AGUA TEMP Tx (Wa) gr	647.04
W. PIC. + MUESTRA + AGUA (Wb) gr	795.80
PESO MUESTRA SECA (Wo) gr	67.17
PESO ESPECIFICO DEL SUELO (Gs) gr/cm³	3.11

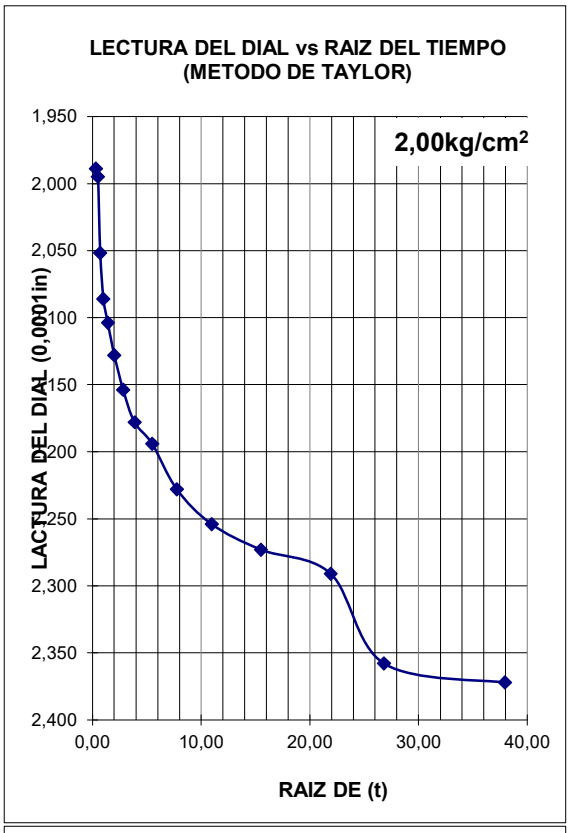
Tabla 14. Ensayo peso específico del suelo

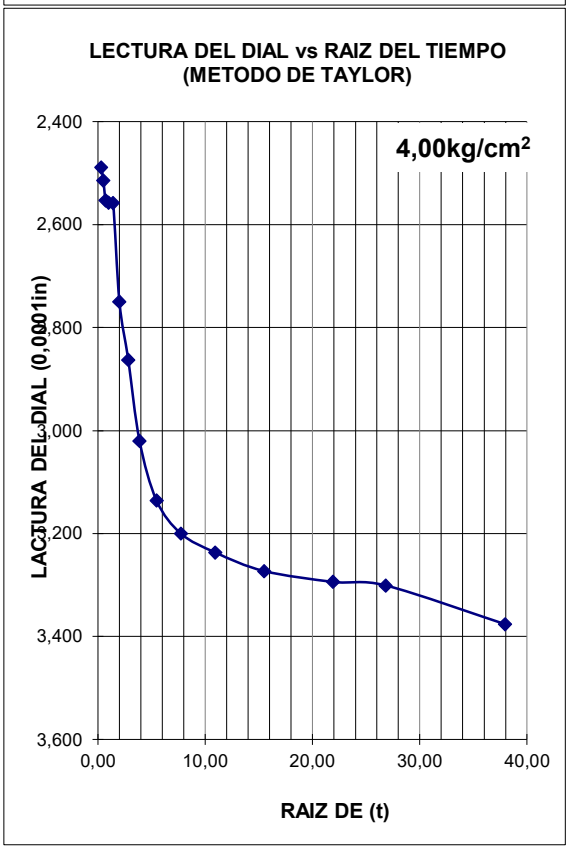
MÉTODO DE TAYLOR

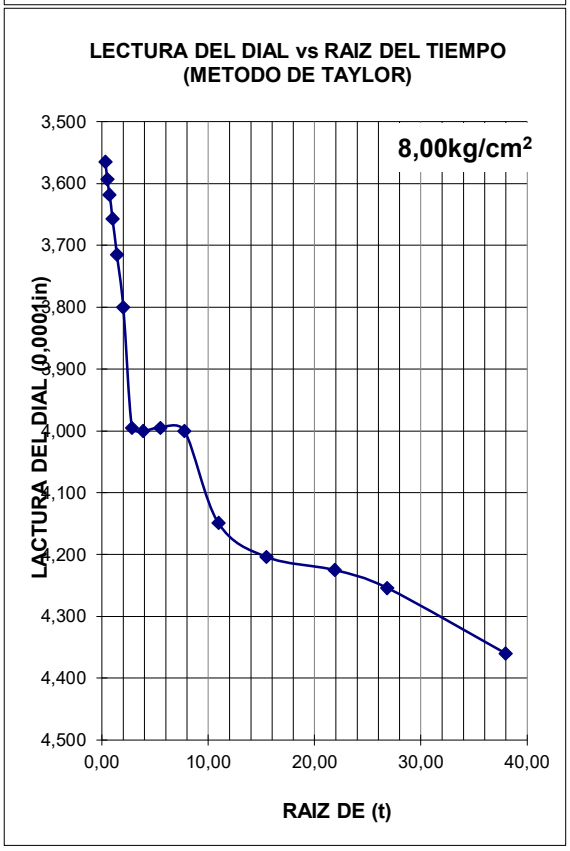





LECTURA DEL DIAL vs RAIZ DEL TIEMPO
(METODO DE TAYLOR)
1,00kg/cm2
LACTURA DEL DIAL (0,0001in)
1,800
1,820
1,840
1,860
1,880
1,900
1,920
1,940
1,960
1,980
2,000
0,00
10,00
20,00
30,00
40,00
RAIZ DE (t)


LECTURA DEL DIAL vs RAIZ DEL TIEMPO
(METODO DE TAYLOR)
2,00kg/cm2
LACTURA DEL DIAL (0,0001in)
1,950
2,000
2,050
2,100
2,150
2,200
2,250
2,300
2,350
2,400
0,00
10,00
20,00
30,00
40,00
RAIZ DE (t)


LECTURA DEL DIAL vs RAIZ DEL TIEMPO
(METODO DE TAYLOR)
4,00kg/cm2
LACTURA DEL DIAL (0,0001in)
2,400
2,600
2,800
3,000
3,200
3,400
3,600
0,00
10,00
20,00
30,00
40,00
RAIZ DE (t)


LECTURA DEL DIAL vs RAIZ DEL TIEMPO
(METODO DE TAYLOR)
8,00kg/cm2
LACTURA DEL DIAL (0,0001in)
3,500
3,600
3,700
3,800
3,900
4,000
4,100
4,200
4,300
4,400
4,500
0,00
10,00
20,00
30,00
40,00
RAIZ DE (t)

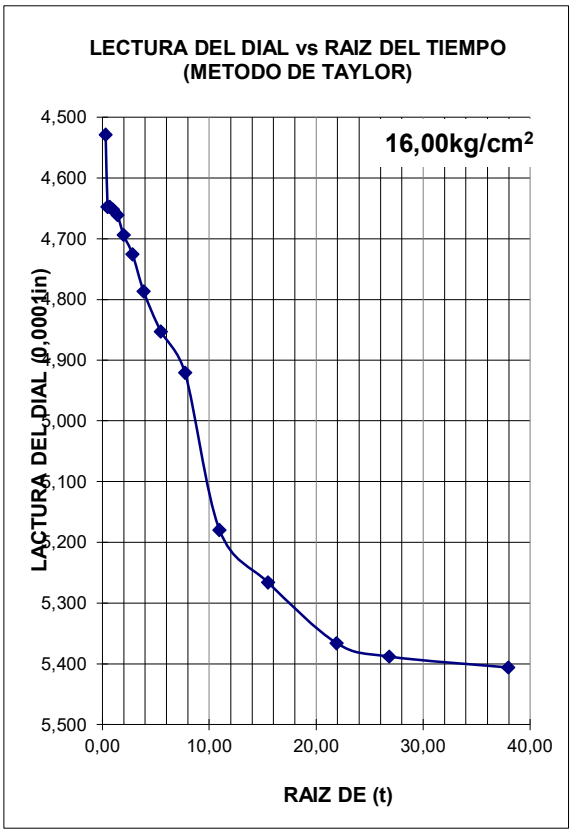


Figura 9-15. *Gráficas correspondientes al ensayo de consolidación de lectura del dial vs raíz del tiempo por el método de Taylor, con sus respectivos aumentos de carga.*

Fig. 9: *0.25 kg/cm²*
Fig. 10: *0.5 kg/cm²*
Fig. 11: *1 kg/cm²*
Fig. 12: *2 kg/cm²*
Fig. 13: *4 kg/cm²*
Fig. 14: *8 kg/cm²*
Fig. 15: *16 kg/cm²*

Muestra 1

DIMENSIONES DEL ANILLO		
ALTURA	2.78 cm	1.09 plg
DIÁMETRO	5.08 cm	2.00 plg
ÁREA	20.27 cm²	
PESO UNITARIO		1.03 gr/cm³

Tabla 15. Dimensiones de Anillo

CARGA APLICADA (kg/cm ²)	LECTURA FINAL (plg.)	2H (plg.)	ALTURA VACIOS (plg.) 2H – 2Ho	RELACIÓN DE VACIOS e
0.00	0.0000	1.0925	0.8989	4.6424
0.25	0.0000	1.0925	0.8989	4.6422
0.50	0.0001	1.0924	0.8988	4.6416
1.00	0.0002	1.0923	0.8987	4.6413
2.00	0.0002	1.0923	0.8987	4.6412
4.00	0.0003	1.0922	0.8986	4.6406
8.00	0.0004	1.0921	0.8985	4.6402
16.00	0.0005	1.0920	0.8984	4.6396

Tabla 16. Datos de lectura para ensayo

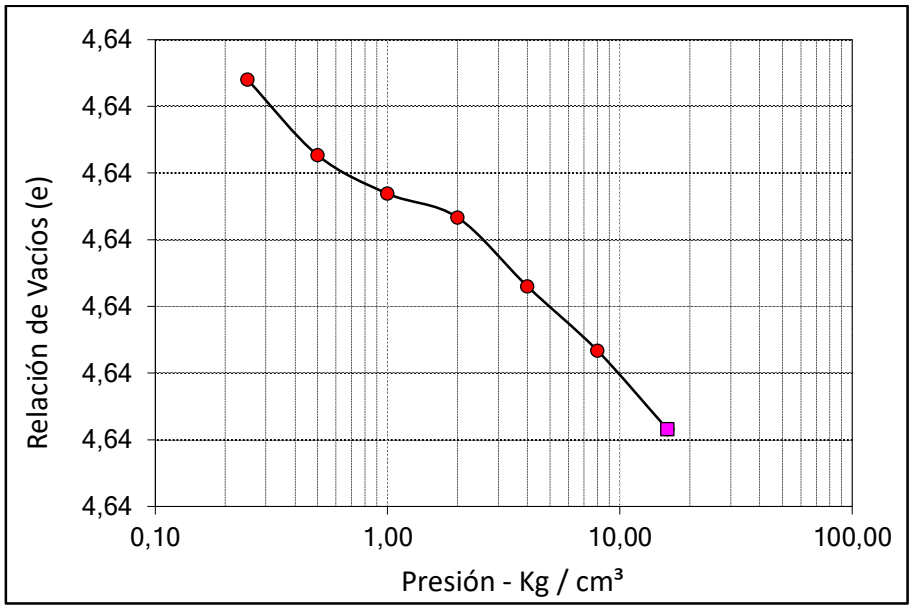


Figura 23. *Grafica correspondiente a presión vs relación de vacíos, resultante de consolidación.*

Muestra 1

RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL	**4.6424**
RELACIÓN DE VACIOS FINAL	**4.6396**

Tabla 17. Relación de vacíos

ANÁLISIS: Se evidencia en la muestra uno, tomada de la arcilla, donde se encuentra la diferencia entre la relación de vacíos inicial y la relación de vacíos final se encuentra en un valor inicial de 4.6424 y un valor final de 4.6396, dada tanto la consolidación primaria como la consolidación secundaria, al realizar el reajuste interno de las partículas.

MUESTRA 2

TIEMPO (t)		LECTURA DEL DIAL (kg/cm²)						
MINUTOS	**RAIZ DE t**	**0.25**	**0.5**	**1**	**2**	**4**	**8**	**16**
			1.00	**1.31**	**1.38**	**1.71**	**2.43**	**3.17**
0.10	**0.32**	**0,02**	**1.01**	**1.31**	**1.39**	**1.81**	**2.61**	**3.35**
0.25	**0.50**	**0.03**	**1.03**	**1.32**	**1.40**	**1.90**	**2.63**	**3.39**
0.50	**0.71**	**0.05**	**1.06**	**1.32**	**1.42**	**1.92**	**2.69**	**3.43**
1.00	**1.00**	**0.08**	**1.08**	**1.32**	**1.44**	**1.95**	**2.68**	**3.50**
2.00	**1.41**	**0.11**	**1.10**	**1.34**	**1.52**	**2.01**	**2.75**	**3.58**
4.00	**2.00**	**0.14**	**1.15**	**1.35**	**1.55**	**2.12**	**2.87**	**3.77**
8.00	**2.83**	**0.18**	**1.20**	**1.35**	**1.59**	**2.17**	**2.93**	**3.84**
15.00	**3.87**	**0.22**	**1.24**	**1.36**	**1.62**	**2.20**	**2.99**	**3.88**
30.00	**5.48**	**0.38**	**1.26**	**1.36**	**1.64**	**2.22**	**3.03**	**3.90**
60.00	**7.75**	**0.42**	**1.28**	**1.37**	**1.68**	**2.26**	**3.05**	**3.92**
120.00	**10.95**	**0.51**	**1.29**	**1.37**	**1.69**	**2.26**	**3.06**	**3.92**
240.00	**15.49**	**0.68**	**1.29**	**1.37**	**1.69**	**2.29**	**3.07**	**3.94**
480.00	**21.91**	**0.80**	**1.30**	**1.38**	**1.70**	**2.30**	**3.10**	**3.95**
720.00	**26.83**	**0.82**	**1.31**	**1.38**	**1.70**	**2.35**	**3.15**	**3.96**

1440.00	37.95	1.01	1.31	1.38	1.71	2.43	3.17	3.97

Tabla 18. Datos de ensayo de consolidación

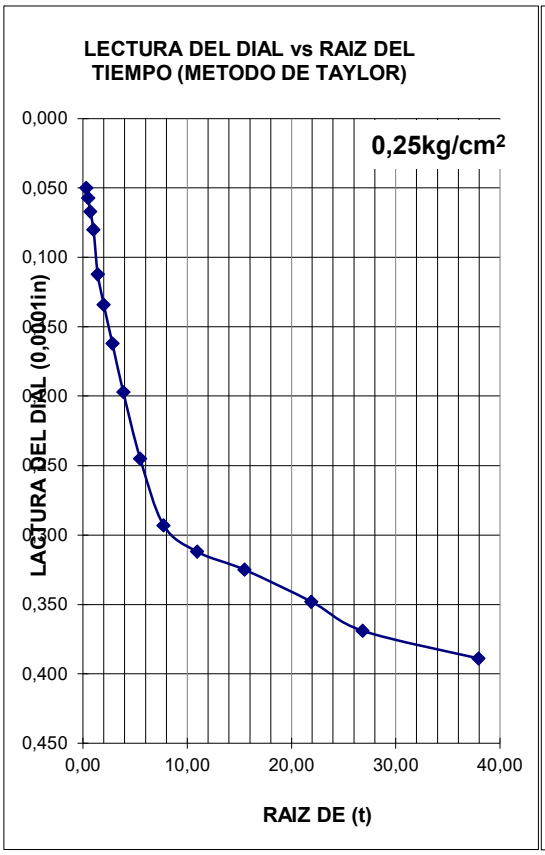
DIMENSIONES DE LA MUESTRA		
	INICIAL	FINAL
DIAMETRO, D (cm)	5.08	
ALTURA, H (cm)	2.78	
W. ANILLO (gr.)	55.94	
W. ANILLO + MUESTRA (gr.)	112.62	106.96
W. BLOQUÉ. + P. POROSOSA (gr.)	328.13	

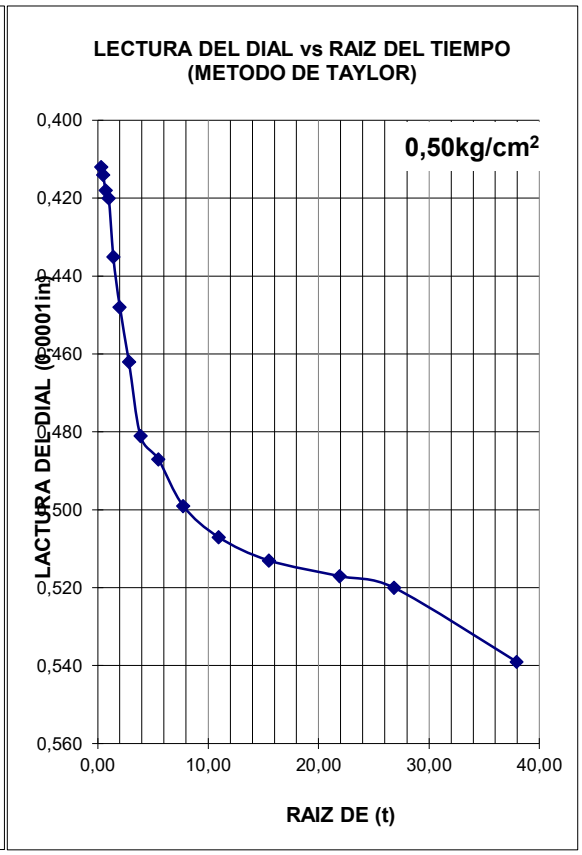
Tabla 19. Datos de dimensiones de la muestra

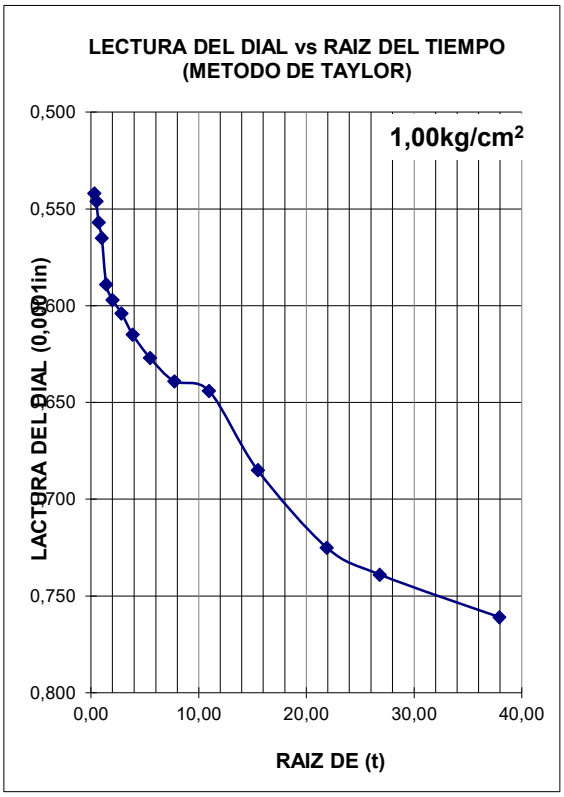
PESO ESPECIFICO DEL SUELO – MUESTRA 2		
TEMP. DEL ENSAYO (Tx)	°C	20.50
W. PIC. + AGUA TEMP Tx (Wa)	gr	647.58
W. PIC. + MUESTRA + AGUA (Wb)	gr	779.40
PESO MUESTRA SECA (Wo)	gr	49.19
PESO ESPECIFICO DEL SUELO (Gs) gr/cm³		2.677

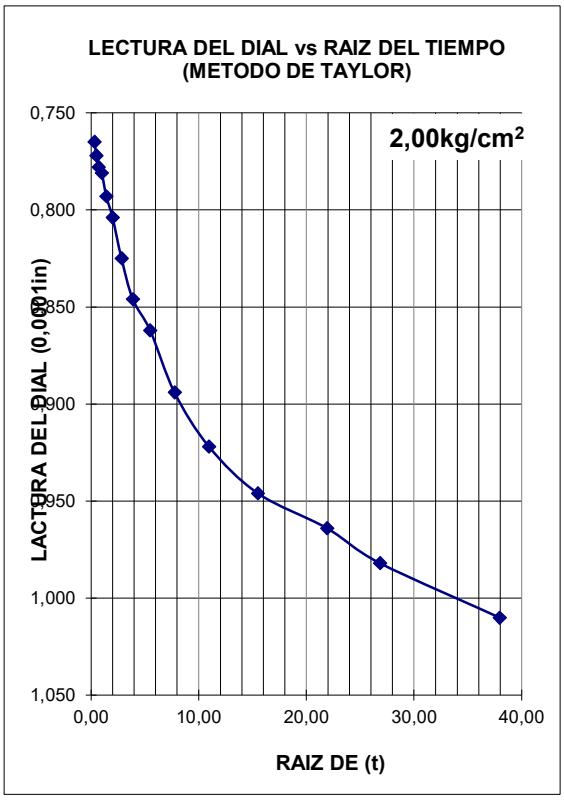
Tabla 20. Ensayo peso específico del suelo – muestra 2

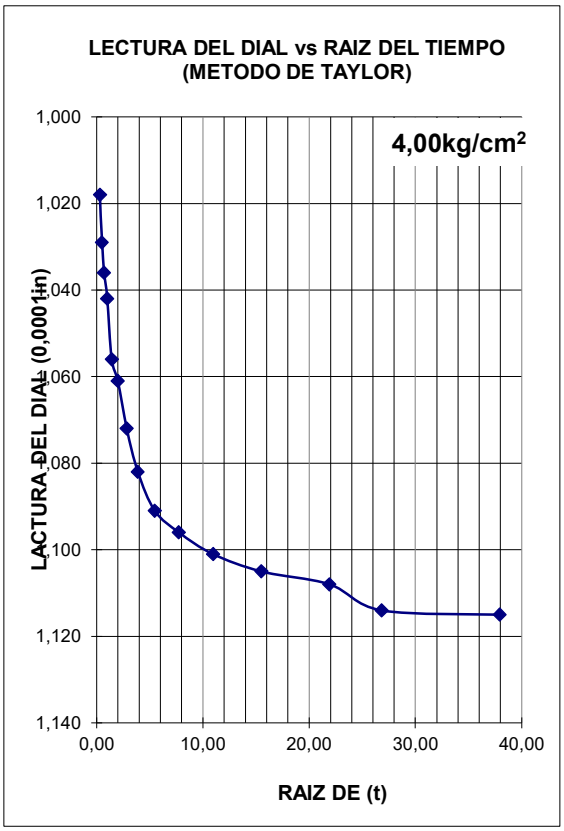
MÉTODO DE TAYLOR

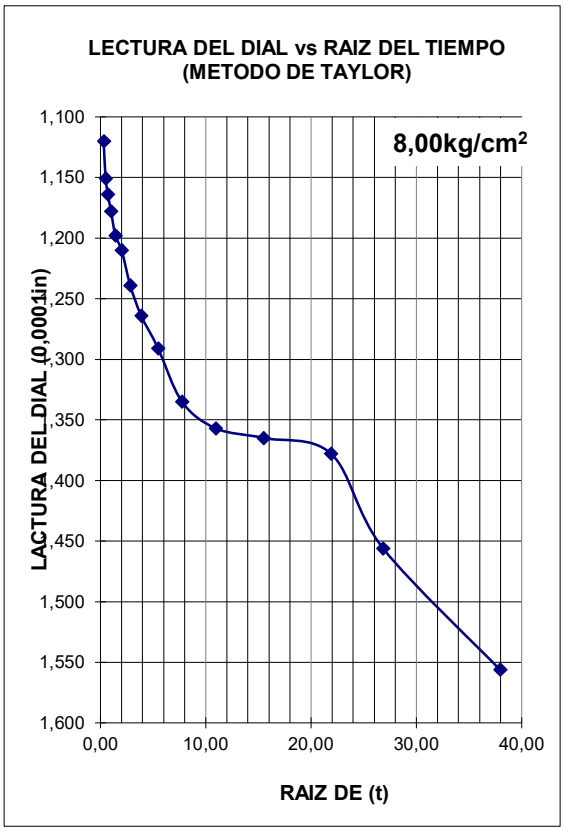





LECTURA DEL DIAL vs RAIZ DEL TIEMPO
(METODO DE TAYLOR)
1,00kg/cm2
LECTURA DEL DIAL (0,0001in)
0,500
0,550
0,600
0,650
0,700
0,750
0,800
0,00
10,00
20,00
30,00
40,00
RAIZ DE (t)


LECTURA DEL DIAL vs RAIZ DEL TIEMPO
(METODO DE TAYLOR)
2,00kg/cm2
LECTURA DEL DIAL (0,0001in)
0,750
0,800
0,850
0,900
0,950
1,000
1,050
0,00
10,00
20,00
30,00
40,00
RAIZ DE (t)





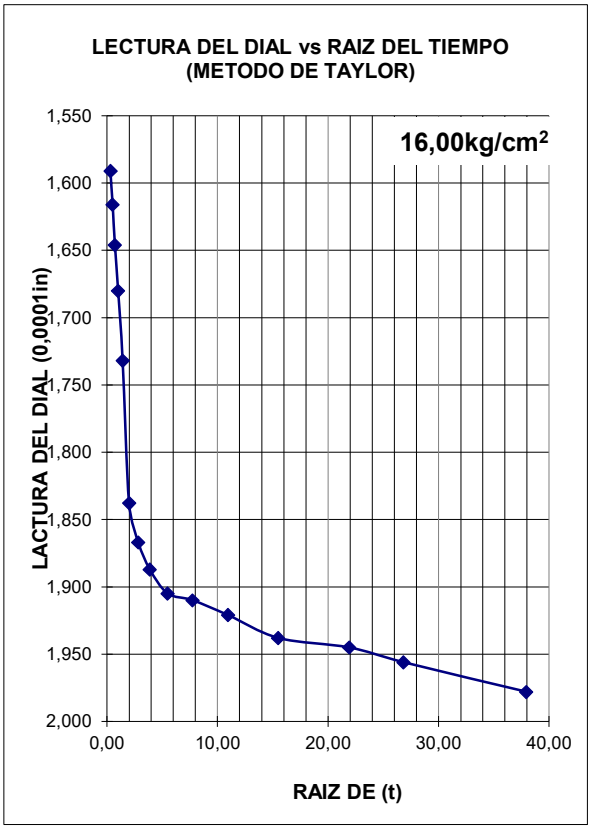


Figura 39-45. *Gráficas correspondientes al ensayo de consolidación de lectura del dial vs logaritmo del tiempo por método de Taylor, con sus respectivos aumentos de carga.*

Fig. 39: *0.25 kg/cm²*
Fig. 40: *0.5 kg/cm²*
Fig. 41: *1 kg/cm²*
Fig. 42: *2 kg/cm²*
Fig. 43: *4 kg/cm²*
Fig. 44: *8 kg/cm²*
Fig. 45: *16 kg/cm²*

Muestra 2

DIMENSIONES DEL ANILLO		
ALTURA	2.775 cm	1.09 plg
DIÁMETRO	5.08 cm	2.00 plg
ÁREA	20.27 cm²	
PESO UNITARIO		1.008 gr/cm³

Tabla 21. Dimensiones del anillo

CONTENIDO DE HUMEDAD		
PESO DE LA MUESTRA	INICIAL	FINAL
PESO ANILLO + MUESTRA HUM. (gr)	112.62	106.96
PESO ANILLO + MUESTRA SECA (gr)	91.64	95.24
PESO ANILLO (gr)	55.94	55.94
PESO DEL AGUA Ws	20.98	11.72
PESO DUELO SECO %	35.70	39.30
HUEMDAD %	58.78	29.81

Tabla 22. Contenido de humedad

CARGA APLICADA (kg/cm ²)	LECTURA FINAL (plg.)	2H (plg.)	ALTURA VACIOS (plg.) 2H – 2Ho	RELACIÓN DE VACIOS e
0	0.0000	1.0925	0.8335	3.2175
0.25	0.0001	1.0924	0.8334	3.2172
0.50	0.0001	1.0924	0.8333	3.2170
1.00	0.0001	1.0924	0.8333	3.2169
2.00	0.0002	1.0924	0.8333	3.2168
4.00	0.0002	1.0923	0.8332	3.2168
8.00	0.0003	1.0922	0.8332	3.2163
16.00	0.0004	1.0921	0.8331	3.2159

Tabla 23. Datos de lectura para ensayo

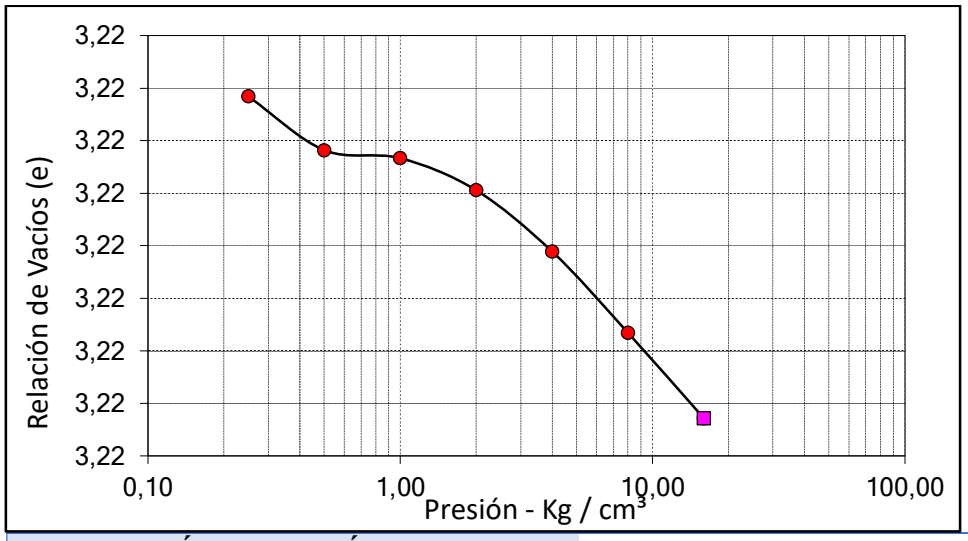


Figura 53. *Grafica correspondiente a presión vs relación de vacíos, resultante de consolidación.*

Muestra 2

RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL	**3.2175**
RELACIÓN DE VACIOS FINAL	**3.2159**

Tabla 24. Datos de dimensiones de la muestra

ANÁLISIS: Se evidencia en la muestra uno, tomada de la arcilla, donde se encuentra la diferencia entre la relación de vacíos inicial y la relación de vacíos final se encuentra en un valor inicial de 3.2175 y un valor final de 3.2159 dada tanto la consolidación primaria como la consolidación secundaria, al realizar el reajuste interno de las partículas.

- **Límites de atterberg**

AL realizar el ensayo de los límites de atterberg se obtuvieron los siguientes datos junto con sus respectivos resultados:

MUESTRA 1

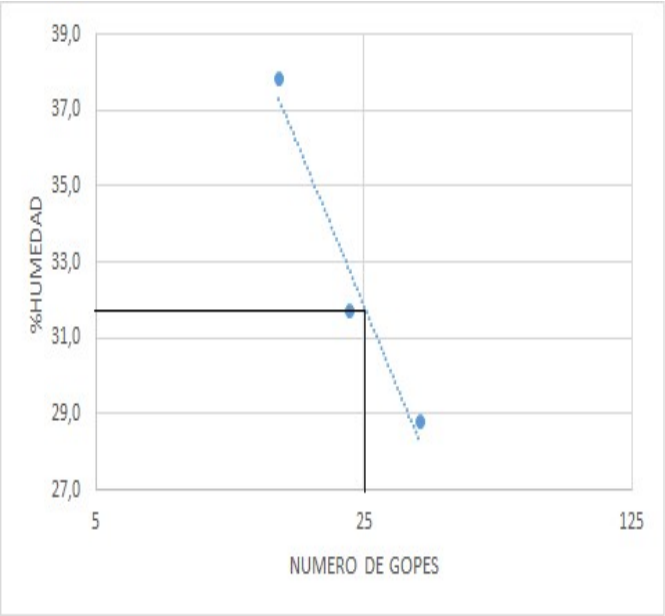
DERTERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO			
No. DE GOLPES	**35**	**23**	**15**
RECIPIENTE No.	**1**	**2**	**3**
P1 (gr)	**70.00**	**58.00**	**78.80**
P2 (gr)	**60.90**	**50.20**	**64.70**
P3 (gr)	**29.30**	**25.60**	**27.40**
% DE HUMDEDAD	**28.80**	**31.70**	**37.80**

Tabla 25. Determinación de limite líquido

LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD		
RECIPIENTE No.	**4**	**5**
P1 (gr)	**26.40**	**34.60**
P2 (gr)	**26.00**	**34.00**
P3 (gr)	**22.50**	**30.80**
% HUMEDAD	**11.400**	**18.80**

Tabla 26. Determinación de límite plástico e índice de plasticidad

- P1 = PESO MUESTRA HUMEDA + RECIPIENTE
- P2 = PESO MUESTRA SECA + RECIPIENTE
- P3 = PESO DEL RECIPIENTE



RESULTADOS

LÍMITE LÍQUIDO
31.3 %
LÍMITE PLASTICO
15.1%
INDICE DE PLASTICIDAD
16.2%

Figura 69. *Gráfica de ensayo determinación de límites de atterberg, numero de golpes vs humedad.*

Muestra 1

Análisis: para determinar el límite líquido se realizaron tres tomas de datos, para luego proceder a graficar número de golpes vs %humedad donde el golpe 25 corresponde al límite liquido de 31,3%, para el límite plástico realizamos el promedio de las humedades el cual fue de 15,1% y finalmente para el índice de plasticidad realizamos la resta entre el límite líquido menos el límite plástico el cual nos dio un 16,2%.

MUESTRA 2

DERTERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO			
No. DE GOLPES	**35**	**24**	**15**
RECIPIENTE No.	**7**	**8**	**3**
P1 (gr)	**34.7**	**39.3**	**33.7**
P2 (gr)	**32.6**	**35.6**	**32.2**
P3 (gr)	**25.5**	**24.2**	**28.1**
% DE HUMDEDAD	**29.6**	**32.5**	**36.6**

Tabla 27. Determinación de límite líquido

LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD		
RECIPIENTE No.	**13**	**14**
P1 (gr)	**29**	**30**
P2 (gr)	**27.7**	**29.2**
P3 (gr)	**25.6**	**26.2**
% HUMEDAD	**23.8**	**26.7**

Tabla 28. Determinación de límite plástico e índice de plasticidad

- P1 = PESO MUESTRA HUMEDA + RECIPIENTE
- P2 = PESO MUESTRA SECA + RECIPIENTE
- P3 = PESO DEL RECIPIENTE

RESULTADOS

LÍMITE LÍQUIDO 42,4%
LÍMITE PLASTICO 25,2%
INDICE DE PLASTICIDAD 17.2%

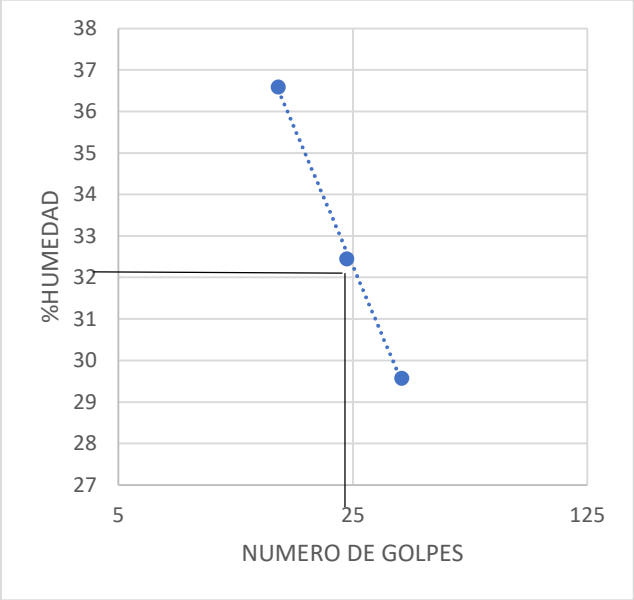


Figura 71. *Gráfica de ensayo determinación de límites de atterberg, numero de golpes vs humedad.*

Muestra 2

Análisis: para determinar el límite liquido se realizaron tres tomas de datos, para luego proceder a graficar número de golpes vs %humedad donde el golpe 25 corresponde al límite liquido 42,4%, para el límite plástico realizamos el promedio de las humedades el cual fue de 25,2 % y finalmente para el índice de plasticidad realizamos la resta entre el límite liquido menos el límite plástico el cual nos dio un 17,2%.

CONCLUSIONES

- Al realizar el cálculo correspondiente de cada muestra se obtiene que. para la muestra uno el índice de plasticidad es del 16.2% y de la muestra dos es del 17.2%. teniendo así que el suelo es de baja plasticidad ya que el valor resultante está comprendido en el 7% y 18%. los cuales son usados como referencia.

- Se evidencia que el límite liquido de la muestra uno es de 31.3% y de la muestra 2 es de 42.4%. estando este valor en el rango de la plasticidad baja (LL=30-50%).

- A partir de los resultados obtenidos y la gráfica de plasticidad USCS, se concluye que el material estudiado es una arcilla de baja plasticidad, teniendo como característica principal que son quebradizas y arenosas. A pesar de que el suelo tiene una baja plasticidad se puede disminuir con hidróxido, carbonato o silicato sódico y con cal según el trabajo de grado de Johel Torres de la Universidad de Santander, especialización geotecnia

- Conociendo que el material estudiado es una arcilla expansiva en la zona, la consideración pertinente según la Universidad Peruana De Ciencias Aplicada "Análisis de mejora de suelos arcillosos de alta plasticidad a nivel de subrasante mediante adición de cemento Portland para disminuir el cambio volumétrico" las mezclas con cal o cemento Portland son las mejores para la disminución de los agrietamientos, rupturas, inestabilidad, expansiones y contracciones.

- Observando los resultados, y conociendo que es una arcilla expansiva, las cenizas volantes funcionan como aditivo inhibidor de las propiedades expansivas del material, pero a diferencia de la cal, este requiere ser adicionado en porcentajes excesivos, por lo menos para una arcilla con altos niveles de expansión, disminuyendo la viabilidad como alternativa de tratamiento.

Consideraciones

En esta primera parte del proyecto investigativo. en el cual se estudia las propiedades físicas y mecánicas del suelo naturalmente e inalterado. se deben considerar el material estudiado. ya que al ser una arcilla expansiva se debe tener en cuenta esta característica al momento de la toma de resultados. ya que puede causar variación en al momento de aplicar las diferentes cargas. ya sea en los ensayos de consolidación o en corte directo.
Se debe tener en cuenta las temperaturas en las cuales se realizan los respectivos ensayos. puesto que esta variación puede generar cambios de masa o volumen.

BIBLIOGRAFIA

B. Das. 2013. Fundamentos de ingeniaría de cimentaciones - 7ª Edición. pp: 89-97.

C. Balcona; J. Wilinthon; C. Tito & S. Yaxon. 2018. Mejoramiento de la resistencia al corte de suelos finos utilizando la técnica de electroósmosis. pp- 15-23.

C. Jones & R. Pugh. 2003. Electroósmosis como técnica de mejora y su uso en tierra cohesiva armada. pp: 38-40.

Construmática, metaportal de Arquitectura, Ingeniería y Construcción.

D. Trujillo. 1986. Influencia de la trayectoria de tensiones en el comportamiento de las arcillas expansivas y de los suelos colapsables en el laboratorio y en el terreno (Tesis doctoral inédita). Universidad de Sevilla, Sevilla. pp: 7-9; 19; 24; 75-90.

D. T. Bergado; A.S. Balasubramaniam; M. A. B. Patawaran & W. Kwunpreuk. 2015. Electro-osmotic consolidation of soft Bangkok clay with prefabricated vertical deains. pp: 177-188.

D. Picoíta & A. Jácome. 2009. Electroómosis (proyecto final de física general ll (FIS220)). pp: 1-10.

Dr. A. Rossini; Dr. L. A. Mennucci & Tco. Qco. R. Figueras. 2005. Estudio de algunas variables en la de arcillas refractarias nacionales.

Gabinete de estudio de suelos: H. Detomasi; R. Ravel & C. Cully. 2001. La arcilla y la dinamica de los suelos condicionada por el agua. pp: 1-4.

Holland, J E & RICHARDS, J. 1982-9. ROAD PAVEMENTS ON EXPANSIVE CLAYS. pp: 173-179

Hossain, Sahadat, Ahmed, Asif, Khan, Mohammad Sadik, Aramoon, Al &Thian, Boon. 2016. Expansive Subgrade Behavior on a State Highway in North Texas. Pp:1186-1197

Jian-Long Zheng; Rui Zhang & He-Ping Yang. 2007. Highway Subgrade Construction in Expansive Soil Areas. Pp: 5-9

Jorge G. Zornberg, F.ASCE. 2019. Long-Term Field Evaluation of a Geosynthetic-Stabilized Roadway Founded on Expansive Clays. pp:9-15

L. Restrepo & C. Rodriguez. 2014. Mejoramiento de suelos finos a partir de la electroósmosis (tesis Magister en ingeniería – geotecnia). pp: 45-65.

L.Chindris, et al. "Expansive Soil Stabilization - General Considerations", Proceedings of the International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 17(3–2), pp. 247–255, 2017

M. Fernanda. 2011. Estudio de la densificación de arcillas ecuatorianas en función del tamaño de partícula y de la temperatura de sinterización. pp: 21 – 26.

Magdi M. E. Zumrawi. 2013. Pavement Design for Roads on Expansive Clay Subgrades. Pp: 1-7

M. Musso; A. Rostan; L. Behak. 2003. Subrasantes expansivas en rutas nacionales: ¿mito o realidad?. pp: 2-11.

P. Cañozares; C. Saéz; E. Romero; J. García & M. Rodrigo. 2007. Tratamiento de suelos mediante procesos electroquímicos. pp: 663-670.

S. Amado; J. Darío; M. Villafrades; P. Yesid; C. Tuta & E. María. 2011. Caracterización de arcillas y preparación de pastas ceramicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander. Pp: 1 - 10.

T. López; J. Hernández; J. Horta & G. Serrano. 2055. Técnicas de caracterización en la identificación mineralógica de arcillas expansivas. pp: 87.

U.S. Army Waterways Experiment Station. 1979-6. TECHNICAL GUIDELINES FOR EXPANSIVE SOILS IN HIGHWAY SUBGRADES. Pg. 168