

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE
PRECONSOLIDACIÓN PARA EL CÁLCULO DE
ASENTAMIENTO DE SUELOS FINOS DE LA ZONA DE
SAGARI - CUZCO**

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

Bach. ALVARADO MEJÍA LINCOLN YOEL

Bach. PALOMINO BENITES SHEYLLA ANNA

ASESOR: Mg. MARCO HERNANDEZ AGUILAR

LIMA - PERÚ

AÑO: 2015

DEDICATORIA

A mi madre Anna Benites que ha sido mi apoyo incondicional, quien me inculco los valores para ser una buena profesional e hizo lo posible para culminar mis estudios y poder cumplir mi sueño de ser una ingeniera, a mi padre Freddy Palomino que me brindó su apoyo para cumplir con mis estudios universitarios. A mis hermanos Ghislayne, Hans y Yhaira que han estado conmigo en los mejores momentos de mi vida y han compartido cada logro obtenido. A mis sobrinos Adrian y Chelsea que son mi motivo para ser mejor cada día.

A mi Abuelito Catalino Benites que ya está en el cielo quien fue una persona importante en mi vida y me guio por el buen camino. A mis abuelitos Fidel Palomino y Marina Taype que siempre estuvieron aconsejándome para ser una persona de bien.

A mis tios Angel, Roger, Ketty, Sandra, Leny y Nelson, a quien les tengo un gran cariño porque han sido parte de mi formación y siempre han estado apoyándome para seguir adelante.

Y a mi querido Cesar Solano quien me ha alentado para seguir para ser cada día mejor.

SHEYLLA ANNA PALOMINO BENITES

A mis padres, por su trabajo y sacrificio, a mis hermanos por la comprensión otorgada en todo momento, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que siempre desearon.

LINCOLN ALVARADO MEJIA

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente a nuestro asesor a cargo Ing. Marco Hernández Aguilar quien nos apoyó y brindó en todo momento la mejor de su disposición para otorgarnos sus enseñanzas y guía, del mismo modo al Programa TITES de la URP por su gran esmero para que el presente programa sea lo más exitoso posible.

INDICE

RESUMEN	
ABSTRAC	
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: Planteamiento del Problema	3
1.1. Descripción de la realidad problemática	3
1.2. Formulación del problema.....	3
1.2.1 Problema principal.....	3
1.2.2 Problemas específicos.....	3
1.3. Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivo específico	4
1.4. Justificación de la investigación	4
1.5. Limitaciones de la investigación.....	5
1.6. Viabilidad de la investigación	5
CAPÍTULO II: Marco Teórico.....	6
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	6
2.2. Definiciones conceptuales.....	12
2.3. Formulación de la hipótesis.....	16
2.3.1. Hipótesis general	16
2.3.2. Hipótesis específica.....	16
2.3.3. Variables	16
2.3.4. Definición conceptual de las variables	17
CAPÍTULO III: Diseño Metodológico.....	19
3.1. Tipo de Investigación	19
3.2. Diseño de investigación	19
3.3. Población.....	19
3.4. Operacionalización de las variables.....	20
3.5. Técnicas de recolección de datos	20
3.5.1. Descripción de los instrumentos	20
3.5.2. Validez y confiabilidad de los instrumentos.....	22
3.5.3. Técnicas para el procedimiento y análisis de los datos	22
CAPITULO IV: Presentación y Resultados	23
4.1. Análisis e interpretación de resultados.....	23
4.2. Resultados de la investigación.....	25
4.3. Contrastación de la Hipótesis.....	75

4.4. Discusión.....	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	80
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA.....	82
ANEXOS	83
Anexo 1: Cálculos –Prueba de Consolidación Unidimensional	83
Anexo 2: Panel Fotográfico.	107
Anexo 3: Formato de laboratorio.....	116
Anexo 4: Operacionalización de las variables	118

RESUMEN

El motivo de la presente investigación parte a raíz de cimentar estructuras en un suelo arcilloso, para lo cual nos enfocaremos en el principal problema del suelo que es enfrentar y evitar que se produzcan asentamientos de gran magnitud que puedan dañar la estructura de manera que dificulte o afecte sus funciones.

Ante este problema, la presente investigación tiene como propósito identificar y describir las características físicas del suelo fino de la zona de Sagari – Cuzco, con el fin de determinar del suelo en mención, el esfuerzo de Preconsolidación, asentamiento y tiempo de consolidación. Con estos parámetros obtenidos podremos tomar las medidas correctivas antes de cimentar en la zona en mención.

Mediante los ensayos de laboratorio pertinentes se pudo obtener las características físicas del suelo en estudio; asimismo mediante método de gráfico de Casagrande, se pudo determinar el esfuerzo de Preconsolidación del suelo; por otro lado, mediante el método de Taylor podremos conocer la velocidad que demorará en suelo en estar totalmente consolidado.

En resumen mediante los ensayos de compresibilidad realizados se pudo conocer que el suelo evaluado se encuentra en la condición de normalmente consolidado; asimismo, de acuerdo a las 04 muestras obtenidas en los distintos puntos de la zona, pudimos observar que el comportamiento y características de todas las muestras son similares en toda la área de estudio, por tanto podemos concluir que en área estudiada tiene un suelo homogéneo a lo largo de toda su extensión.

Por tal motivo, para los asentamientos obtenidos en las muestras ensayadas, se propone una solución económica que consiste en la construcción de un terraplén en el emplazamiento previsto, con el propósito de que el terreno blando pueda llegar su estado de totalmente consolidado.

PALABRAS CLAVE: Esfuerzo de Pre consolidación, Método de Casagrande, Arcilla normalmente consolidado, Arcilla pre consolidada, Esfuerzo de Pre consolidación.

ABSTRACT

The reason for this investigation partly because of cement structures in clay soil, for which we will focus on the main problem that is confronting soil and prevent large-scale settlements that could damage the structure so that difficult or occur affecting their functions.

Faced with this problem, this research aims to identify and describe the physical characteristics of fine soil in the area of Sagari - Cuzco, in order to determine the soil in question, the pre-consolidation effort, settlement and consolidation time. With these parameters obtained we can take corrective action before cementing in the area in question.

By appropriate laboratory tests were able to obtain the physical characteristics of the soil under study; also by Casagrande method chart it is I can determine the soil preconsolidation effort; on the other hand, by the method of Taylor we know the speed it will take to be fully consolidated soil.

In short compressibility by the tests we conducted it was known that the soil is evaluated in the condition of normally consolidated; Also, according to the 04 samples taken at various points in the area, we found that the behavior and characteristics of all samples are similar throughout the study area, so we can conclude that in the study area has a homogeneous soil along its entire length.

Therefore, for the settlements obtained in the samples tested, an economical solution that involves the construction of an embankment on the intended location, in order that the soft ground can reach its fully funded status it is proposed.

KEY WORDS: Pre-consolidation effort, Casagrande method, Normally consolidated clay, Pre-consolidated clay, Effort preconsolidated.

INTRODUCCIÓN

Cuando el terreno sobre el cual se desplanta una estructura está formado por una capa de arcilla, por lo general se deben tomar todas las precauciones necesarias a fin de evitar que la estructura sufra asentamientos excesivos. Debido a que la consolidación gradual de la arcilla es causa de asentamientos. En muchas ocasiones no previstas, la compresibilidad de los estratos de arcilla ha recibido gran atención por los efectos importantes que pueda producir. Es por ello que se han elaborado métodos y teorías que permiten estimar la magnitud y distribución de los asentamientos, de tal manera que si se considera que estos resultan excesivos, se pueda modificar el proyecto de la cimentación o tomar las medidas preventivas para que esta no se vea afectada.

Uno de los trabajos que describen este fenómeno que más ha destacado es el desarrollado por Terzaghi, quien desarrolló la prueba de consolidación unidimensional para suelos finos, este tipo de ensayos se lleva a cabo en muestras representativas de suelos confinados lateralmente. Este ensayo proporciona información sobre la compresibilidad y deformación del suelo, y permite determinar la magnitud y el tiempo en que se presentarán asentamientos en el suelo, esto en condiciones unidimensionales.

Ante lo expuesto en los párrafos precedentes, el presente estudio tiene como objetivo principal determinar el Esfuerzo de Preconsolidación del suelo fino de la zona de Sagari – Cuzco mediante ensayos los laboratorios pertinentes; asimismo, como objetivos secundarios, determinar el tiempo de consolidación del suelo fino ante la acción de cargas

La estructura de trabajo está compuesta de los siguientes capítulos:

- En el Capítulo I, se describe en general el planteamiento del problema de la Tesis y se presentan subcapítulos correspondientes a la descripción de la realidad problemática, formulación del problema, objetivos, justificación, limitaciones y viabilidad de la investigación.
- En el Capítulo II, se presenta el marco teórico; asimismo se hace mención a los antecedentes de la investigación, definiciones conceptuales y formulación de la hipótesis de la Tesis

- En el Capítulo III, se informa sobre la metodología utilizada para la investigación.
- En el Capítulo IV, se hace la presentación e interpretación de los resultados obtenidos.
- En el Capítulo V, se presentan conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

El Ingeniero Civil ha de enfrentarse con muy diversos problemas planteados por el terreno ya que este nos sirve de cimentación para soportar estructuras y terraplenes.

Para la presente investigación nos enfocaremos principalmente en uno de los problemas fundamentales al que el suelo de fundación es sometido al momento de aplicarse cargas externas; dichas cargas provocarán que en el suelo de fundación se produzcan asentamientos suficientemente grandes los cuales causarán daños en la estructura y a su vez dificultarán sus funciones.

En tal sentido, estudiaremos dicho proceso con el fin de proporcionar una idea del comportamiento que tendrá el suelo de fundación al momento de que las cargas provenientes de las estructuras sean aplicadas; por tal motivo, el propósito de la presente investigación es que al momento de diseñar cualquier estructura con fines de cimentación dentro de nuestra área de estudio proporcionemos una estadística que brinde un apoyo satisfactorio y económico para futuras construcciones que sean proyectadas dentro de zona en mención.

1.2. Formulación del problema

1.2.1 Problema principal

- ¿Cuál es el esfuerzo de Pre-consolidación del suelo fino de la zona de Sagari - Cuzco?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es el asentamiento por consolidación del suelo fino de la Zona de Sagari – Cuzco, ante la aplicación de una carga?
- ¿Cuál es el tiempo de asentamiento por consolidación del suelo Fino de la zona de Sagari – Cuzco, ante la aplicación de una carga?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

- Determinar el esfuerzo de pre consolidación del suelo fino de la zona de Sagari – Cuzco, mediante los laboratorios pertinentes para el análisis de los resultados obtenidos.

1.3.2 Objetivo específico

- Determinar el asentamiento del suelo fino de la zona Sagari – Cuzco, ante la aplicación de carga.
- Determinar el tiempo de asentamiento del suelo fino de la zona de Sagari – Cuzco ante la aplicación de carga.

1.4. Justificación de la investigación

Debido al tiempo que implica el desarrollo de un ensayo de consolidación para obtener el índice de compresibilidad, algunos autores han relacionado este parámetro con propiedades índice, tales como el Limite liquido LL, la relación de vacíos in situ e_0 y el contenido natural de agua ω_w , las cuales son fácil de obtener. Estas relaciones se presentan tomando en cuenta la región donde se ubica el sitio en estudio así como el tipo de suelo, y son de gran utilidad práctica, especialmente durante la etapa de planeación de las obras, debido a que permiten realizar análisis de asentamiento aproximados de las estructuras en suelos cohesivos, cuando no se cuentan con resultados de ensayos de consolidación, y por tanto, sirven de base para la toma de decisiones acerca del tipo de cimentación más adecuada.

Partiendo de lo anterior y de que la solución a cada problema de mecánica de suelos que se presenta en la práctica depende de las condiciones en particular del sitio donde se ubica, en este trabajo se realizaron ensayos de laboratorio y cálculos según las teorías para hallar el esfuerzo de Pre consolidación del suelo fino de la zona de Sagari – Cuzco.

1.5. Limitaciones de la investigación

Las insuficiencias de la teoría de consolidación de Terzaghi se encuentran ligadas a las hipótesis simplificadoras en que se basa dicha teoría. Al utilizar estas hipótesis se asumen características del comportamiento del suelo que no se cumplen en su totalidad, esto genera discrepancias en los resultados de la teoría con respecto tanto a la realidad en campo como en pruebas de laboratorio. Algunos de estos aspectos están relacionados con la presión de poros, velocidad de asentamientos, curvas asentamientos-tiempo, deformaciones, etc.

Asimismo, en cuanto a la recolección de muestras de suelo, se tuvo dificultad para el acceso a la zona ya que el ingreso es solo por vía aérea y a personal autorizado por la empresa responsable de la zona.

1.6. Viabilidad de la investigación

La investigación se basa en la recolección de muestras de suelo de la zona de Sagary – Cusco mediante calicatas; asimismo, mediante los ensayos de laboratorio realizados a las muestras extraídas se obtendrá las características propias del suelo y por ende podremos conocer el comportamiento del suelo; cabe precisar se cuenta con información variada, teórica y estudios realizados que confirman la viabilidad de la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

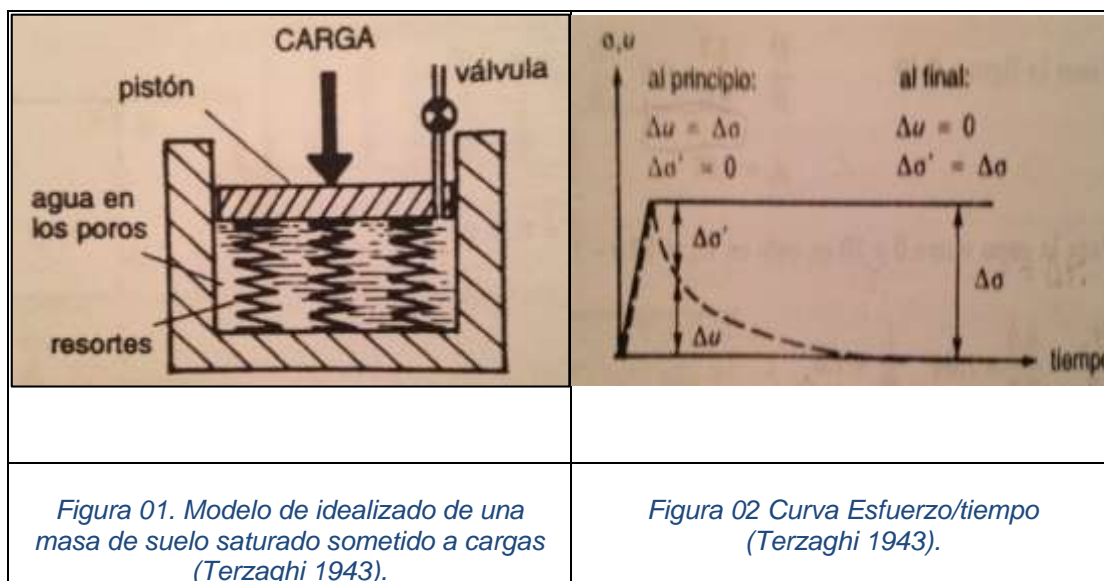
El estudio del fenómeno de consolidación de suelos finos, ha sido por décadas un tema de gran interés por parte de investigadores de renombre mundial. Terzaghi (1925), fue el primero en introducir el término de consolidación, definiéndolo como: el proceso de disminución de volumen, que tiene lugar en un lapso, debido al aumento de las cargas sobre el suelo.

Por otro lado, otros científicos definieron este fenómeno como:

- Crawford en 1964 lo definió como el proceso de reducción de volumen debido a la expulsión de agua de los poros del suelo.
- Leonards y Altschaeffl (1964) lo concibieron como el cambio de volumen dependiente del tiempo (t), mismo que ocurre durante la disipación del exceso de la presión de poro (Δu).

Teoría de Terzaghi de la Consolidación

En 1925, en su Viena nativa, Terzaghi presentó una teoría basada en el modelo que se muestra en la Figura 01 y 02 para la evaluación de la Consolidación Primaria.



Terzaghi sugirió un modelo que se muestra en la Fig. 01, para ilustrar el procedimiento, con resortes de acero para representar el suelo. Se supone que el pistón sin fricción está soportado por los resortes y que el cilindro está lleno de agua. Al aplicar la carga al pistón con la válvula cerrada, la longitud de los resortes permanece invariable, puesto que el agua (se supone) es incomprensible. Si la carga induce un aumento del esfuerzo Total, entonces la totalidad de este aumento debe ser absorbido por un aumento igual de la presión del agua en los poros (Fig. 02). Cuando se abre la válvula, el exceso de presión del agua en los poros causa el flujo de ésta hacia afuera, la presión disminuye y el pistón se hunde a medida que se comprimen los resortes. En esta forma, la carga se transfiere en forma gradual a los resortes, reduciendo su longitud, hasta que toda la carga es soportada por éstos. Por consiguiente, en la etapa final, el aumento del esfuerzo efectivo es igual al aumento del esfuerzo total, y el exceso de presión del agua en los poros se ha reducido a cero.

En esta idealización se supone que tanto los granos minerales como el agua son incomprensibles. De esta manera, el efecto inmediato (sobre una masa de suelo) de un aumento del esfuerzo total, consiste en una elevación de la presión del agua en los poros. A medida que el agua de los poros va saliendo del suelo, este aumento de presión se disipa con lentitud. Cuando se ha disipado la totalidad del aumento de la presión del agua en los poros, el suelo vuelve a estar totalmente consolidado.

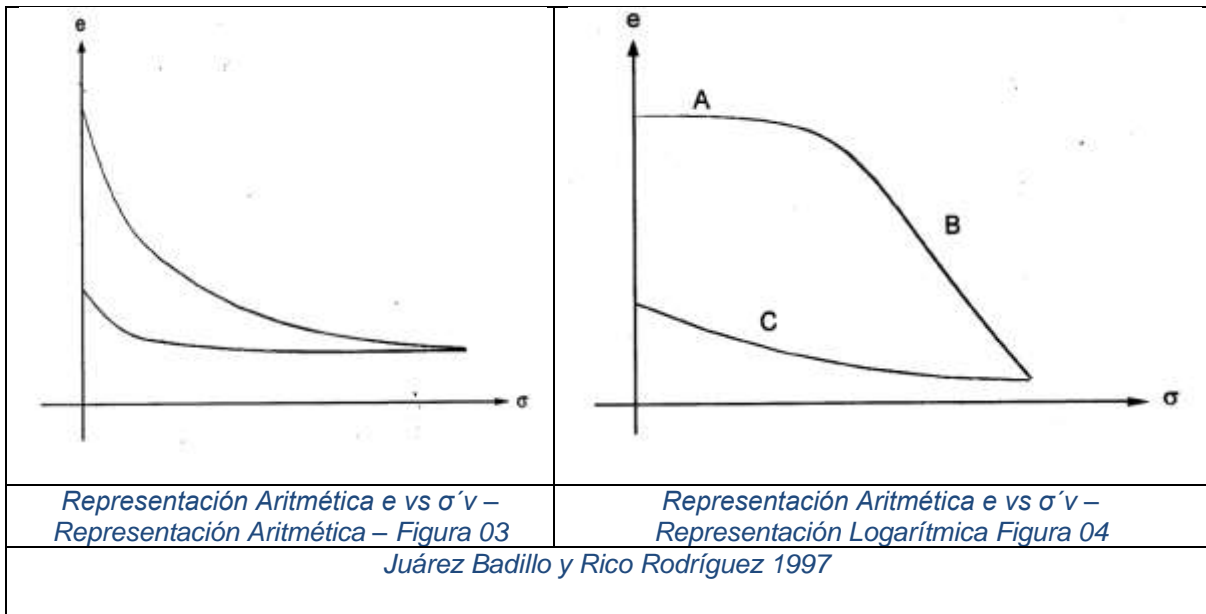
Las hipótesis en que se basa la teoría de Terzaghi (1925) son las siguientes:

Se parte de varias suposiciones:

- El suelo está totalmente saturado y es homogéneo.
- Tanto el agua como las partículas de suelo son incomprensibles.
- Se puede aplicar la ley de Darcy para el flujo de agua.
- La variación de volumen es unidimensional en la dirección del esfuerzo aplicado.
- El coeficiente de permeabilidad en esta dirección permanece constante.
- La variación de volumen corresponde al cambio en la relación de vacíos y $\partial e / \partial \sigma'$ permanece constante.

Asimismo, en la Teoría de Terzaghi (1925), se hace mención que una vez que el suelo alcanza su máxima deformación bajo un incremento de esfuerzo aplicado ($\Delta\sigma$), su relación de vacíos (e) llega a un valor menor que el inicial (e_0), el cual puede determinarse a partir de las pruebas tradicionales efectuadas con odómetro. Así, para cada incremento de esfuerzo aplicado ($\Delta\sigma$), se tiene finalmente un valor de la relación de vacíos (e) y otro del esfuerzo vertical efectivo ($\sigma'v$) correspondiente actuante sobre el espécimen. Es así como una vez aplicados los incrementos de esfuerzo ($\Delta\sigma$), se puede construir una gráfica que tiene como abscisas el esfuerzo vertical efectivo ($\sigma'v$), en escala natural o logarítmica y como ordenadas la relación de vacíos (e) en escala natural. Estas curvas se llaman de compresibilidad. Estos gráficos se muestran en las Figuras 03 y 04.

Curvas de Compresibilidad



De la curva de compresibilidad Fig. 03 podemos observar que tres tramos diferentes; estos tramos se pueden ver representados, en el cual el tramos A, es un tramo curvo que comienza en forma casi horizontal y cuya curvatura es progresiva, alcanzando su máximo en la proximidad de su unión con el tramo B. Generalmente el tramo B, es un tramo recto aproximadamente, y con él se llega al final de la etapa de carga de la prueba al aplicar el máximo incremento de carga, al cual corresponde la máxima presión sobre la muestra. A partir de este punto es

común en la prueba de consolidación someter al espécimen a una segunda etapa, pero ahora de descarga, en la que se somete al espécimen a cargas decrecientes, permaneciendo cada decremento el tiempo suficiente para que la velocidad de deformación se reduzca prácticamente a cero; en ésta etapa se tiene una recuperación del espécimen, aunque éste nunca llega de nuevo a su relación de vacíos inicial; el tramo C, corresponde a esta segunda etapa, con el espécimen llevado a carga final nula como es usual. El tramo A, de la curva de compresibilidad suele llamarse “tramo de recompresión”, El tramo B, “tramo virgen y el Tramo C, “tramo de descarga”

Desarrollos subsecuentes:

A partir de la teoría original de Terzaghi (1925), se han generado contribuciones importantes basadas en el uso de modelos reológicos de arcillas naturales (Taylor, 1942; Tan, 1957; Gibson y Lo, 1961; Lo 1961; Barden 1965; Crawford, 1965; Bjerrum, 1967; Barden 1968; Barden 1969; Berry y Wilkinson 1969; Berry y Poskitt 1972; Leroueil y otros, 1985), con las cuales se ha reforzado el entendimiento del proceso de consolidación; sin embargo, tratan algunos conceptos que no fueron determinados satisfactoriamente, tales como la velocidad de consolidación, la disipación del exceso de la presión de poro (Δu), la magnitud del incremento de esfuerzo ($\Delta \sigma$), la velocidad de aplicación de la carga, el tiempo de aplicación de la carga (t), la longitud de la trayectoria de drenaje (H), y la influencia de la velocidad de deformación (C_v) entre otros, aunque estas contribuciones se retroalimentan con el entendimiento del proceso de consolidación usado en la práctica.

Casagrande (1932), a partir de un estudio realizado en arcillas observó un desarrollo frecuente de cierta estructuración del suelo durante su diagénesis. El mismo autor, en 1936, sugirió un método gráfico empírico basado en la curva $e/\log \sigma'$ para determinar el esfuerzo de Preconsolidación (Fig 05). Primero se localiza el punto P, que corresponde a la curvatura máxima entre A y B, para después trazar dos líneas que pasan a través de P: una es una tangente a la Curva TPT y la otra, PQ, es paralela al eje del esfuerzo. El punto de intersección S de la bisectriz PR (del ángulo QPT) y la proyección de la porción recta BC de la curva proporciona un valor aproximando del esfuerzo de Preconsolidación (σ_{pc}')

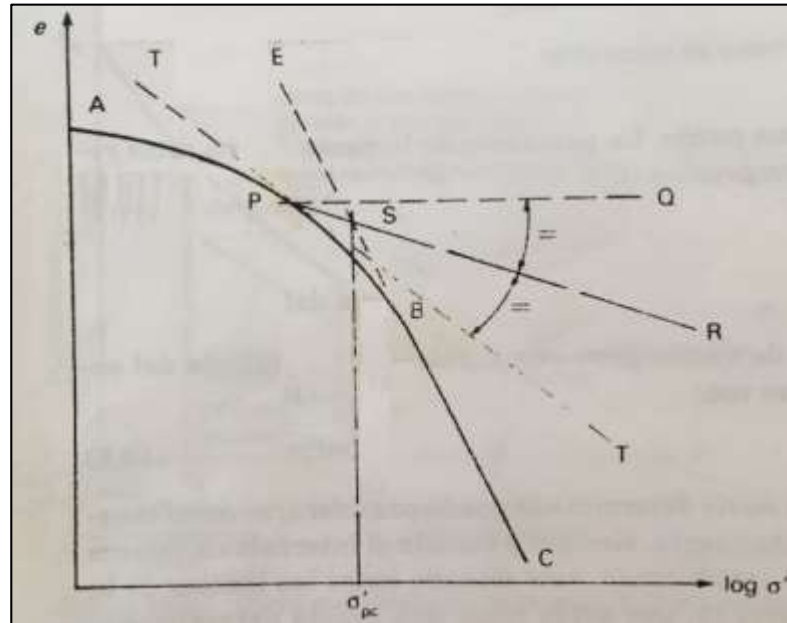


Figura 05 – Roy Whitlow (1994) “Fundamentos de la Mecánica Suelos”

En 1940, Taylor y Merchant desarrollaron uno de estos modelos, pero en 1942 Taylor lo mejoró y definió el proceso de consolidación como una única relación entre el esfuerzo efectivo vertical, la relación de vacíos y la razón de cambio de vacíos con el tiempo, dando como resultado es el método de la raíz cuadrada del tiempo, el cual es útil para el cálculo del coeficiente de consolidación en cada incremento (Ecuación N°01).

$$C_v = \frac{T \cdot H^2}{t}$$

Ecuación N°01 - Cv

Dónde:

Cv: Coeficiente de Consolidación

t: Es el factor de tiempo para valor para de 90% de la Consolidación Primaria.

H: Longitud del máximo camino de drenaje (espesor del estrato) durante un incremento de esfuerzo. Si la muestra es doblemente drenada, el valor de H será la mitad del espesor del estrato.

Skempton (1944) señaló que el índice de compresión (C_c) está relacionado con el límite líquido (LL) de las arcillas sedimentarias normalmente consolidadas (NC). $C_c=0.009(LL-10)$.

Las compresiones que se presentan en el desarrollo del proceso de consolidación han sido divididas en tres tipos de asentamientos, los cuales **Das (1998)** describe de la siguiente manera:

1. Asentamiento inmediato: es causado por la deformación elástica de los suelos saturados. Este tipo de asentamiento generalmente se analiza a partir de ecuaciones derivadas de la teoría de la elasticidad.
2. Asentamientos por consolidación primaria: son el resultado del cambio de volumen en suelos cohesivos saturados, debido a la expulsión del agua que ocupa los espacios vacíos del suelo.
3. Asentamiento por consolidación secundaria: éste se observa en suelos cohesivos

A partir de la teoría original de **Terzaghi (1925)**, se han generado contribuciones importantes, con las cuales se ha reforzado el entendimiento del proceso de consolidación, estas han dejado claro que el comportamiento esfuerzo-deformación de las arcillas, depende de las propiedades mecánicas y viscosas del suelo así como del tiempo; sin embargo, tratan algunos conceptos que no han sido determinados satisfactoriamente, tales como la velocidad de consolidación, la temperatura, la alteración debida al proceso de muestreo, la velocidad de deformación, las condiciones de frontera, entre otras, aunque estas contribuciones se retroalimentan con el entendimiento del proceso de consolidación usado en la práctica.

2.2. Definiciones conceptuales

Consolidación: En suelos cohesivos saturados, el efecto del aumento de la carga consiste en expulsar algo de agua en los poros; a este proceso se le llama consolidación. Se presenta, entonces, una reducción gradual del volumen hasta que se alcanza la presión interna de equilibrio; una reducción de la carga puede causar expansión, cuando el suelo puede permanecer saturado.

Carga de Preconsolidación (σ_{pc}): Es la máxima presión de sobrecarga efectiva a la que la muestra de suelo estuvo sometida en el pasado. Se determina usando un simple procedimiento grafico propuesto por Casagrande (1936), como se muestra en el Fig. 06.

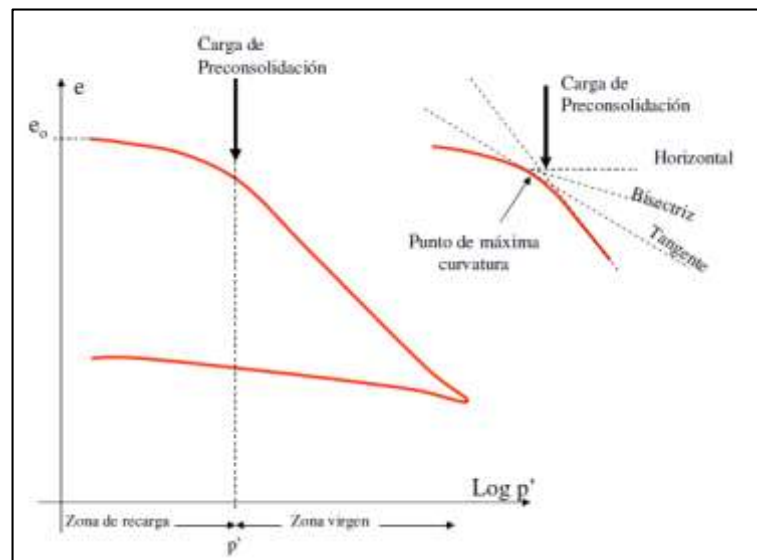


Figura 06 – Esfuerzo de Preconsolidación – Juárez Badillo y Rico Rodríguez 1997

Para determinación de la carga de Preconsolidación, utilizamos un método como ya se mencionó en la Fig.06, propuesto por el Prof. Casagrande que consiste en trazar una tangente a la curva en el punto de máxima curvatura, luego y por el mismo punto trazar la horizontal, posteriormente continuar hacia arriba la recta de la parte virgen y finalmente trazar la bisectriz del ángulo formado por la tangente y la horizontal. El punto de

unión entre la recta virgen y la bisectriz determina la vertical por donde pasa la tensión de Preconsolidación.

Índice de compresión (Cc): Expresa la variación lineal del índice de vacíos con respecto al logaritmo de los esfuerzos aplicados, para su cálculo se utiliza la siguiente Ecuación N°02.

$$C_c = \frac{\Delta e}{\log\left(\frac{\sigma_{0+1}}{\sigma_0}\right)} = \frac{e_0 - e_{0+1}}{\log\left(\frac{e_{0+1}}{e_0}\right)}$$

Expresión 02 - Cc

Dónde:

e_0 = Relación de vacíos para un estado determinado.

σ_0 = Esfuerzo aplicados.

Arcilla Normalmente Consolidada: Son aquellas que nunca estuvieron sometidas a una presión mayor que la que corresponde a su cubierta actual.

Arcilla Preconsolidadas: Son aquellas que alguna vez en su historia geológica, han estado sometidas a presiones mayores de la que resulta de su cubierta actual. Esta mayor presión temporaria pudo haber sido causada por el peso de estratos de suelo, que fueron luego erosionados por el peso de hielo que más tarde se derritió o desecación de la arcilla.

Coficiente de compresibilidad (a_v) - cm²/gr: Expresa la variación de la relación de vacíos con el esfuerzo aplicado (Ecuación N°03).

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma'_v}$$

Ecuación N°03 - Cv

Coefficiente de compresibilidad volumétrica (mv) - cm²/gr: Se define como el cambio de volumen por unidad de incremento de esfuerzo efectivo. Las unidades de mv son inversas a la presión [cm²/gr] y el cambio de volumen puede expresarse en términos del cambio de relación de vacíos o del espesor de volumen (Ecuación N°04).

$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_0}$$

Ecuación N°04 - av

Coefficiente de consolidación (cv). Indica la rapidez con la que se disipa la presión de poro una vez aplicado el incremento de carga. El coeficiente de consolidación generalmente disminuye conforme el límite líquido aumenta. Además depende de la permeabilidad k y de la compresibilidad volumétrica del suelo (Ecuación N°05)

$$C_v = \frac{T \cdot H^2}{t}$$

Ecuación N°05 - av

Dónde:

Cv: Coeficiente de Consolidación

t: Es el factor de tiempo para valor para de 90% de la Consolidación Primaria.

H: Longitud del máximo camino de drenaje (espesor del estrato) durante un incremento de esfuerzo. Si la muestra es doblemente drenada, el valor de H será la mitad del espesor del estrato.

Índice de expansión (Cs). El índice de expansión se define a través de la rama de descarga, es apreciablemente menor en magnitud que el índice de compresión, y generalmente se determina por pruebas de laboratorio con la siguiente ecuación N°06:

$$C_s = \frac{\Delta e}{\log\left(\frac{\sigma_{0+1}}{\sigma_0}\right)} = \frac{e_0 - e_{0+1}}{\log\left(\frac{e_{0+1}}{e_0}\right)}$$

Consolidación Primaria: Se debe a la reducción gradual del volumen de vacíos por eliminación de agua, bajo esfuerzos efectivos variables, es un cambio lento provocado por los esfuerzos de compresión bajo la influencia de la presiones de poro que resisten una reducción más rápida de volumen.

Calculo de asentamiento para arcillas Normalmente Consolidadas (Ecuación N°07):

$$\Delta H = \frac{H}{(1 + e_o)} \left[Cc . \text{Log} \left(\frac{p_o + \Delta p}{p_o} \right) \right]$$

Ecuación N°07 - ΔH

Calculo de asentamiento para arcillas Preconsolidadas (Ecuación N°08):

$$\Delta H = \frac{H}{(1 + e_o)} \left[Cs . \text{Log} \left(\frac{p_o + \Delta p}{p_o} \right) \right]$$

Ecuación N°08 – ΔH

Consolidación Secundaria: Durante la consolidación primaria, suponemos que el exceso de presión intersticial o neutra generada por la carga aplicada, se disipa totalmente al alcanzar el 100 % de la consolidación.

Sin embargo en ciertos suelos, los asentamientos continúan luego de la consolidación primaria. A esta etapa de la generación de asentamientos se la llama Consolidación Secundaria y se cree que los mismos se generan por un fenómeno de creep en los suelos, como se muestra en el Fig. 07.

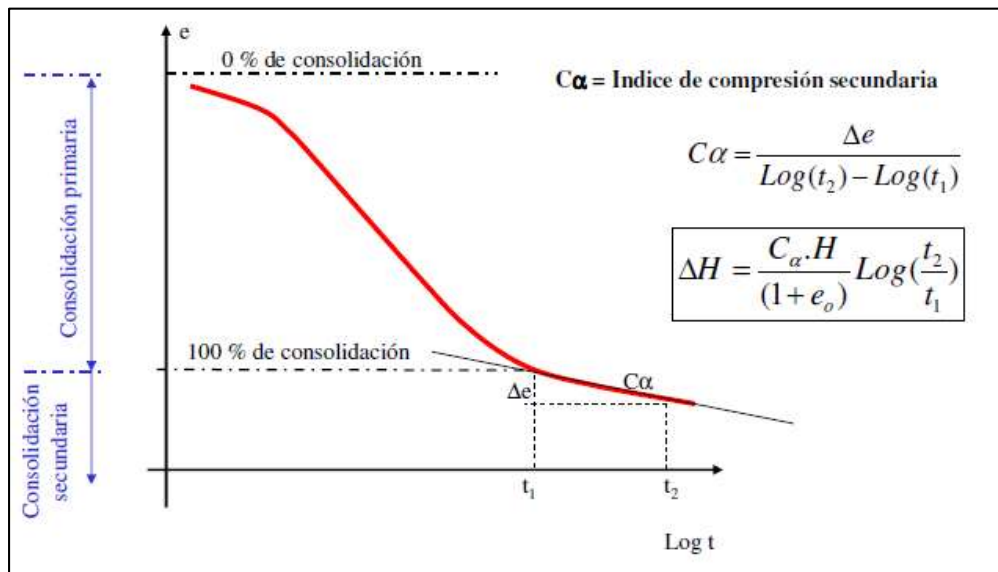


Figura 07 – Consolidación Secundaria - Juárez Badillo y Rico Rodríguez 1997

2.3. Formulación de la hipótesis

2.3.1. Hipótesis general

El esfuerzo de pre consolidación del suelo fino de la zona de Sagari – Cuzco, se determina mediante el método de Casagrande.

2.3.2. Hipótesis específica

La aplicación de carga a un suelo fino de la zona de Sagari - Cuzco producirá un asentamiento.

La aplicación de carga a un suelo fino de la zona de Sagari- Cuzco producirá un asentamiento en un tiempo determinado.

2.3.3. Variables

- Propiedades de los Suelos
- Esfuerzo de Pre consolidación
- Asentamientos por consolidación
- Tiempo de Pre consolidación

2.3.4. Definición conceptual de las variables

Propiedades del suelo, el suelo es una mezcla de materiales sólidos, líquidos (agua) y gaseosos (aire). La adecuada relación entre estos componentes determina la capacidad de hacer crecer las plantas y la disponibilidad de suficientes nutrientes para ellas. La proporción de los componentes determina una serie de propiedades que se conocen como propiedades físicas o mecánicas del suelo: textura, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje, consistencia, profundidad efectiva.

Esfuerzo de pre consolidación, es la máxima presión de sobrecarga efectiva a la que la muestra de suelo estuvo sometida en el pasado.

Asentamiento por Consolidación: Es el proceso natural de la deposición, los suelos de grano fino, como limos y arcillas, quedan sometidos a un proceso de consolidación, en el cual el agua entre las partículas va siendo expulsada por el peso de las capas que se depositan por encima. Después de un periodo (que puede ser de un considerable número de años) se alcanzan un estado de equilibrio y la compresión termina. Se dice entonces que un suelo está totalmente consolidado cuando su volumen permanece constante bajo la acción de un estado de esfuerzo constante. Un suelo normalmente consolidado es aquel en el cual las condiciones actuales corresponden a su presión de consolidación final o extrema. Cuando un suelo está sometido a una sobrecarga que es inferior a la presión extrema de consolidación que existió en algún momento del pasado, se dice que está preconsolidado; esto sucede, por ejemplo, en el caso de suelos consolidados bajo acción de una capa de hielo que ya no existe.

Tiempo de Pre consolidación, Dependiendo del material la consolidación puede variar entre un proceso en segundos (como la arena) o un proceso que dure décadas como la arcilla debido a la diferencia de conductividad hidráulica. A partir de la diferencia en el tiempo de la consolidación, podemos hablar de consolidación primaria (duración de meses o unos pocos años) y consolidación secundaria (décadas o cientos de años.

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de Investigación

La investigación es explicativa ya que para la obtención de los datos se utilizarán métodos y teoremas ya estudiados.

El tipo de investigación del presente proyecto es cuantitativa porque se utilizarán magnitudes numéricas, ya que se obtendrán datos de laboratorio que luego serán procesados mediante teorías ya establecidas para poder calcular nuestros valores requeridos.

3.2. Diseño de investigación

- El Diseño de investigación en que clasifica el presente proyecto de grado no experimental, porque se ha tomado muestras del suelo de la zona de Sagari – Cuzco y se hizo ensayos de laboratorio, con los cuales se obtienen valores que nos determinaran el esfuerzo de Pre consolidación de dicha zona.
- El diseño de investigación según el número de mediciones es transversal porque se analiza la carga que ha recibido un suelo en un determinado tiempo, y dicho suelo podrá soportar las cargas que se le aplicaran para la construcción de la Plataforma del centro de operaciones de REPSOL S.A.
- El diseño de investigación según la cronología de mediciones son Prospectivos; ya que se harán ensayos de laboratorio de las muestras obtenidas del suelo de la zona en estudio.

3.3. Población

Se tomaron muestras 4 muestras del lote 56 y 57 de Sagari Ax y Bx del centro de operaciones de REPSOL S.A., La Convención Departamento de Cuzco – Perú.

3.4. Operacionalización de las variables

Para el desarrollo del presente proyecto de grado fue necesario recopilar estudios existentes sobre la consolidación primaria y así encaminar el mismo hacía obtener los resultados esperados a partir del análisis de las muestras de suelo recolectadas en la zona de estudio. Para tal fin se realizaron los laboratorios requeridos de acuerdo a los formatos correspondientes. De los trabajos de campo, se extrajo muestras en donde se realizaron los ensayos Estándar y Especiales de acuerdo a las Normas ASTM (Standards de la American Society for Testing and Materials).

3.5. Técnicas de recolección de datos

3.5.1. Descripción de los instrumentos

La toma de muestras para el estudio se realizó en una zona de suelos blandos (Fotografías 01 y 02), del lote 56 y 57 de La Convención–Cuzco.

Se realizó la excavación de 04 calicatas a cielo abierto y Logeo geotécnico Visual y Manual de Suelos de todas las calicatas, Norma ASTM D 2488. De la Plataforma Principal de Sagari Ax y Bx ubicada en la zona de operaciones de REPSOL S.A. (Figuras 08 - 09), cuyas profundidades son:

Sagari Ax: 0.00 - 2.30 m / 0.00 - 2.40 m.

Sagari Bx: 3.60 – 5.00 m / 4.50 – 5.80 m.

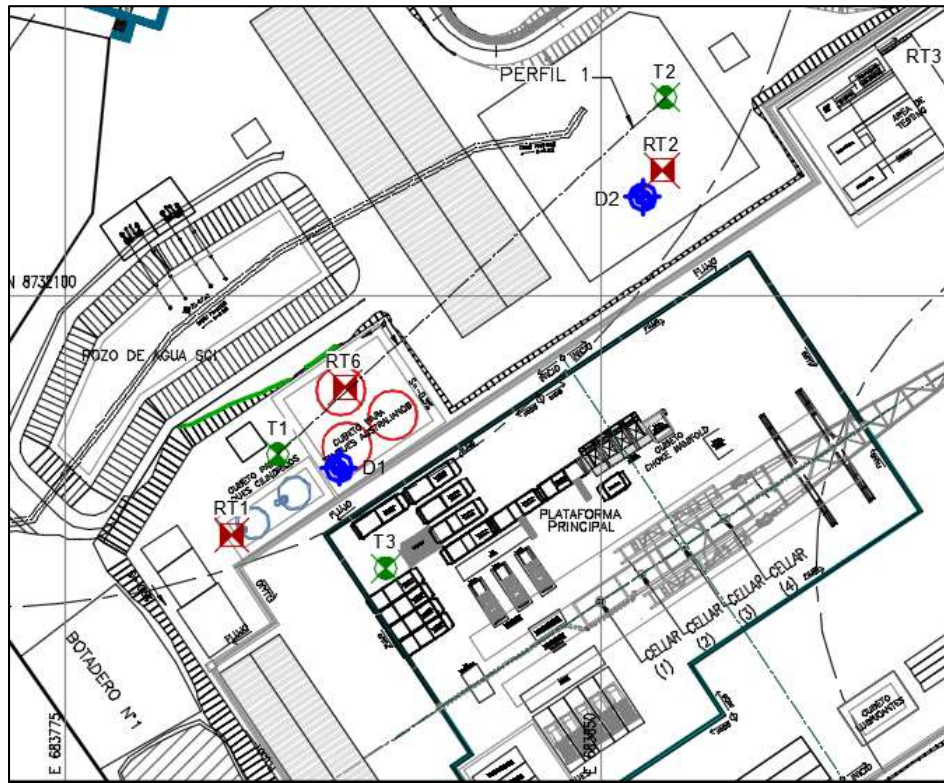


Figura 08: Ubicación de prospecciones en plataforma Sagari Ax.

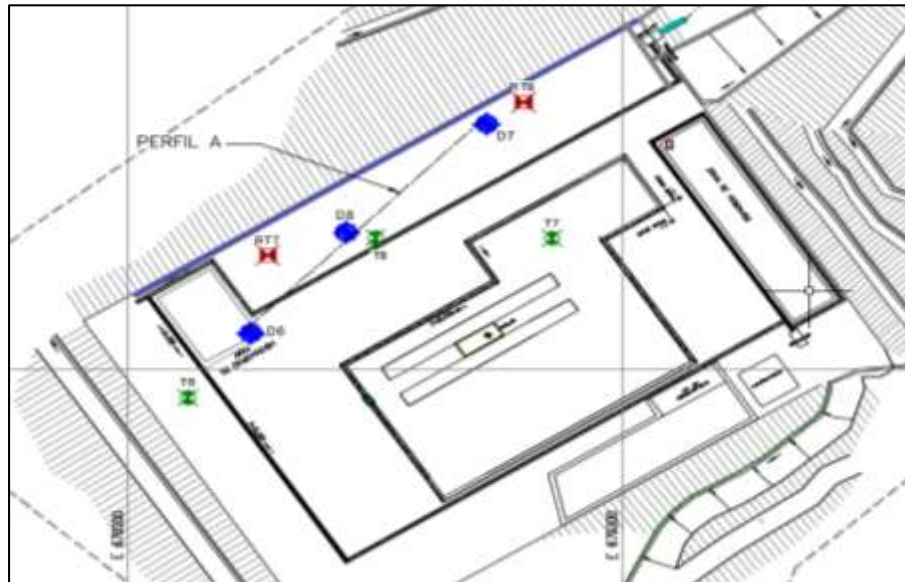


Figura 09: Ubicación de prospecciones en planta Sagari Bx.



*Fotografía 01. y 02. Zona de extracción de muestras mediante Calicatas
(Obtenidos en campo)*

3.5.2. Validez y confiabilidad de los instrumentos

Los datos obtenidos de los ensayos de las muestras son confiables ya que se han realizado según la norma Norma ASTM D 2488.

3.5.3. Técnicas para el procedimiento y análisis de los datos

Para cada una de las muestras mencionadas anteriormente, se realizaron ensayos de contenido de humedad, límite líquido, límite plástico, gravedad específica, y consolidación unidimensional.

Los ensayos mencionados a excepción del ensayo de consolidación Unidimensional, buscan caracterizar de manera completa el suelo en estudio, con el fin de establecer las propiedades y el comportamiento teórico de éste durante el ensayo de consolidación mencionado anteriormente. Para ello fue necesario determinar los esfuerzos efectivos bajo los cuales se encuentra sometido el suelo en su condición natural, recopilando información suficiente para elaborar un perfil estratigráfico que permitiera identificar los distintos tipos de suelo que se encuentran hasta los 5 metros de exploración y la posición del nivel freático.

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis e interpretación de resultados

De acuerdo a los ensayos realizados para determinar las características físicas de las 04 muestras se detalla los siguientes:

- En base a la relación del LL e IP para cada una de las 04 muestras (Gráficas 01- 05), pudimos obtener de acuerdo a la carta de plasticidad, que todas las muestras se clasifican como Arcillas de Baja Plasticidad (CL); asimismo, se hace mención que este tipo de suelo se caracteriza por ser impermeable con condiciones de compactación buena a regular, es un suelo medio compresible y tiene un comportamiento general como fundación de regular a malo.

- Contenido de humedad: Como se muestra en Tabla 02, las humedades naturales obtenidas de las 04 muestras ensayadas están dentro del rango de la humedad de las arcillas blandas $25\% < \omega < 86\%$ según Terzaghi y Peck en su libro “Mecánica Suelos en la Ingeniería Práctica”. Asimismo; se puede deducir que los suelos bajo estudio presentan baja resistencia y consistencia blanda ya que las partículas se encuentran sueltas entre sí por la presencia de agua intersticial.

- Peso Específico Natural: De acuerdo los resultados obtenidos y mostrados en la Tabla 04 podemos observar que los valores se encuentran en el rango de 1.51 y 2.02 (gr/cm³) que según Terzaghi y Peck en su libro “Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica”, se puede confirmar que los valores son característicos de una Arcilla Blanda.

- Gravedad Específica de los Sólidos: De acuerdo a los resultados obtenidos y mostrados en la Tabla 03 podemos observar que los valores se encuentran en el rango de 2.7 y 2.9 que según Braja M. Das en su

libro “ Principios de Ingeniería de Cimentación”, se puede confirmar que los valores son característicos de una Arcilla.

- Mediante la curva de compresibilidad se pudo determinar que el promedio de las 04 muestras del suelo de la investigación se encuentra normalmente consolidadas, es decir que el suelo en cuestión no ha recibido cargas superiores a las actuales durante su historia geológica, por lo cual el esfuerzo de Preconsolidación (σ'_p) presenta valores menores al esfuerzo efectivo inicial (σ'_o). El cálculo de esfuerzos de Preconsolidación para las 04 muestras son mostrados de la tabla 05 a la 16 y los gráficos determinando el esfuerzo de Preconsolidación del gráfico 6 al 9.
- El asentamiento por consolidación (ΔH) de las 04 muestras de suelo ensayadas, presentaron valores pequeños que confirman una característica usual de los suelos normalmente consolidados. A raíz de los valores insignificantes presentados en el suelo de estudio, se puede decir que existe mayor fricción entre las partículas que lo componen lo cual hace que las deformaciones que éste pueda experimentar sean de menor magnitud.
- Los tiempos obtenidos para que el suelo este totalmente consolidado son relativamente bajos lo cual corrobora nuevamente los resultados del suelo para la condición de normalmente consolidado, este corto tiempo se debe a que el fluido que drena del suelo está casi por finalizar, por lo que se interpreta que el suelo está alcanzando la presión interna de equilibrio.
- El coeficiente de consolidación vertical CV que es un indicador de la velocidad a la cual ocurre la consolidación primaria presentó valores relativamente altos puesto que en esta etapa el suelo presenta mayores vacíos, que al colocarle una carga que hacen que la disipación de los excesos de las presiones intersticiales ocurra rápidamente; mediante las tablas (17-40) propuestas para cada condición de carga de cada

muestra se pueden graficar las curvas de Taylor (Gráficos 10-33), donde se puede determinar el Cv.

- Los índices de compresibilidad (Cc) mostrados en las 04 muestras (Gráficos 6-9) presentaron valores menores a 0.2 como se muestra en la Tabla 01; esto nos indica que el suelo es de baja compresibilidad lo que significa que presentará deformaciones bajas.

INDICE DE COMPRESIÓN (Cc)	COMPRESIBILIDAD
< 0.2	Muy baja
0.2 – 0.4	Baja
0.4 – 0.8	Media
0.8 – 1.6	Alta
1.6 – 3.2	Muy alta
> 3.2	Extremadamente alta

Tabla 01: Tabla de índice de compresibilidad (Cc)

(Begemann, 1953)

4.2. Resultados de la investigación

1. Contenido de humedad

Muestra	Humedad
Muestra 1 (4.50 – 5.80)	38.70%
Muestra 2 (0.00 – 2.30)	27.62%
Muestra 3 (3.60 – 5.00)	28.31%
Muestra 4 (0.00 – 2.40)	24.31%

*Tabla 02: Contenido de Humedad
Datos obtenidos en el laboratorio*



Fotografía 3 y 4: Ensayo de contenido de humedad.

2. Límites de Plasticidad

Muestra 1

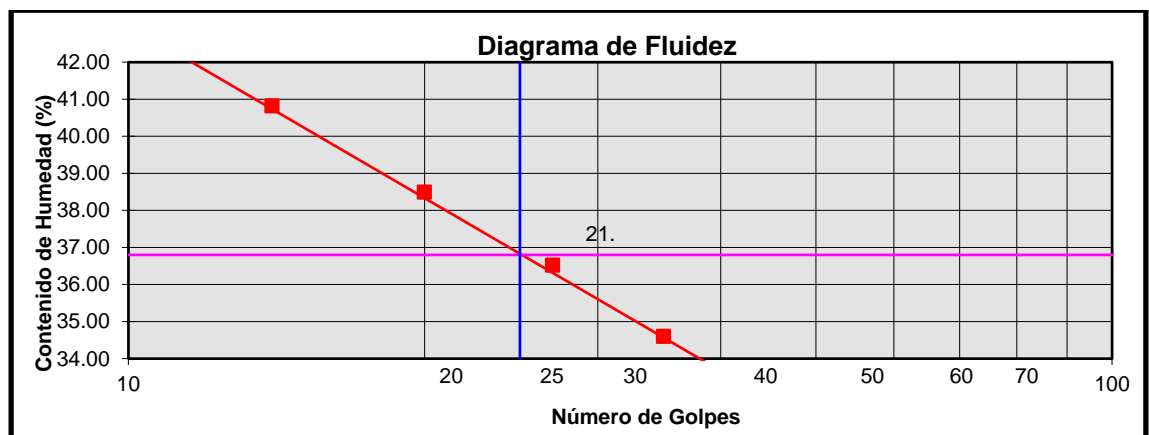


Gráfico 01: Diagrama de Fluidez

Datos obtenidos en el laboratorio

LL	36.8
LP	22.52

Muestra 2

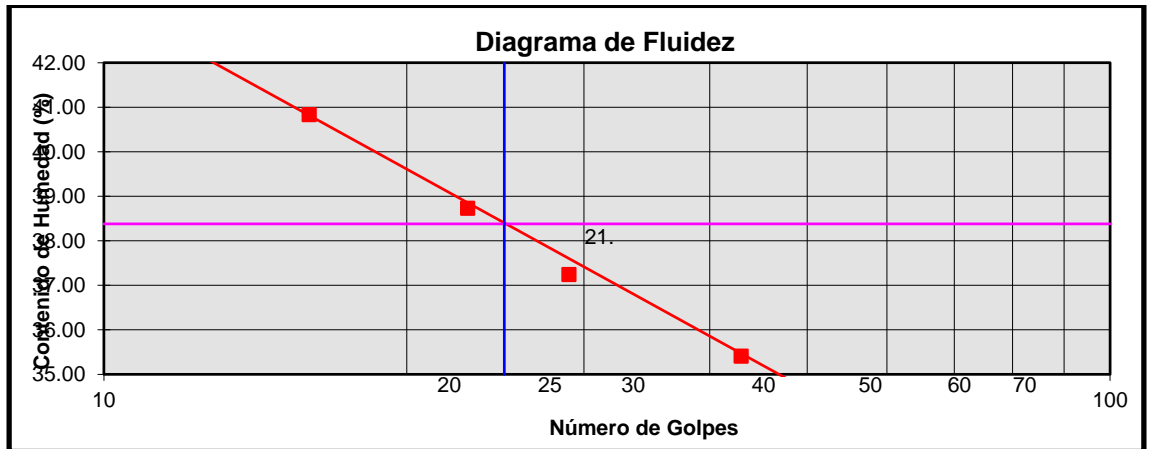


Gráfico 2: Diagrama de Fluidez

Datos obtenidos en el laboratorio

LL	38.38
LP	24.13

Muestra 3

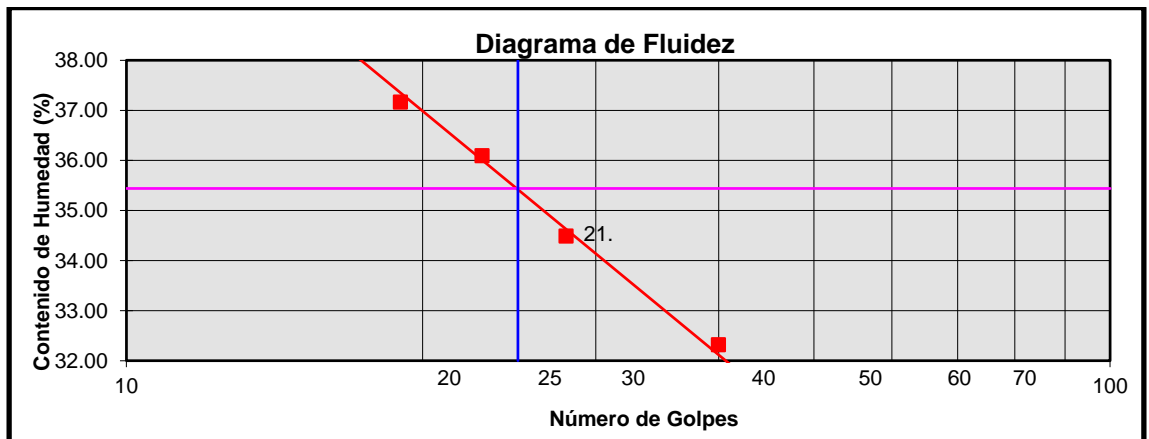


Gráfico 3: Diagrama de Fluidez

Datos obtenidos en el laboratorio

LL	35.44
LP	21.77

Muestra 4

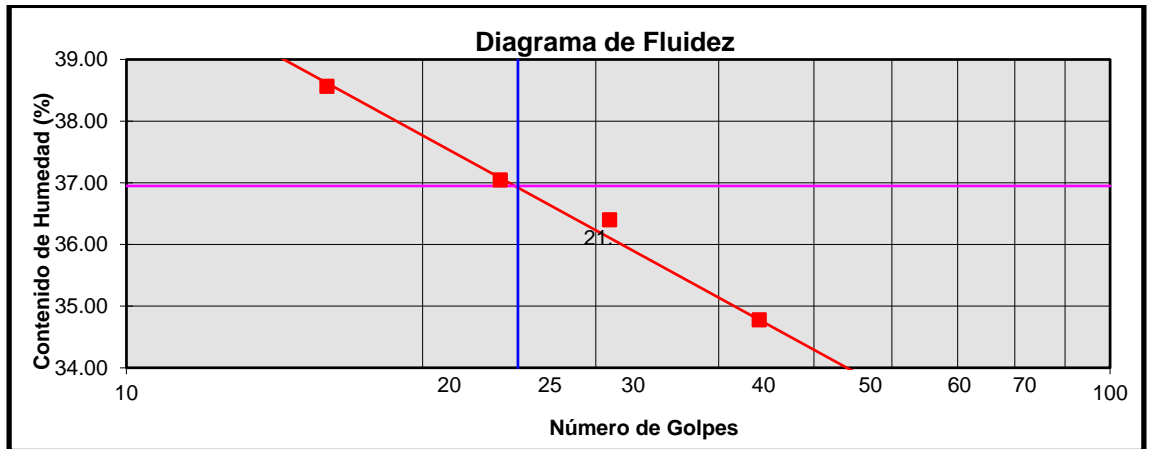


Gráfico 4: Diagrama de Fluidez

Datos obtenidos en el laboratorio

LL	36.95
LP	23.71

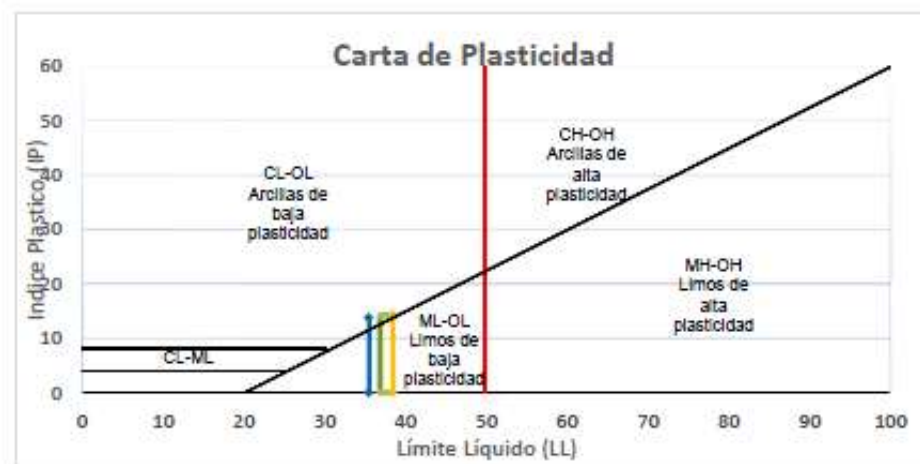


Gráfico 5: Carta de Plasticidad

Resumen de datos obtenidos en el laboratorio.

Muestra	LL	IP
M1	36.80	14.28
M2	38.38	14.25

Muestra	LL	IP
M3	35.44	13.67
M4	36.95	13.24

3. Gravedad Específica

Muestra	Gs
Muestra 1 (4.50 – 5.80)	2.73
Muestra 2 (0.00 – 2.30)	2.68
Muestra 3 (3.60 – 5.00)	2.66
Muestra 4 (0.00 – 2.40)	2.73

Tabla 03: Gravedad Específica

Datos obtenidos en el laboratorio



Fotografía 5: Proceso de remoción de aire

4. Peso específico natural

Muestra	Peso Específico (kg/cm ³)
Muestra 1 (4.50 – 5.80)	1.77
Muestra 2 (0.00 – 2.30)	1.94
Muestra 3 (3.60 – 5.00)	1.80
Muestra 4 (0.00 – 2.40)	1.90

Tabla 04: Peso específico natural

Datos obtenidos en el laboratorio



Fotografía 6: Sumersión de muestras para determinar el peso

5. Ensayo de Consolidación

- **Cálculo del Esfuerzos de Pre consolidación**

Muestra 1

Datos del Ensayo	
Altura de la muestra (ho)	2.00 cm
Diámetro de la muestra (D)	5.00 cm
Gravedad específica (Gs)	2.73
Peso humedo inicial (Wwi)	70.14 gr
Peso humedo final (Wwf)	68.11 gr
Peso seco (Ws)	50.57 gr
Peso Unitario del agua (Yw)	1.00 gr/cm ³
Lectura Inicial (Li)	1.2310 cm
Lectura final (Lf)	0.9745 cm
1) Área de la muestra (A)	19.63 cm ²
2) Volumen inicial (Vi)	39.27 cm ³
3) Volumen final (Vf)	34.23 cm ³
4) Humedad inicial (Wi)	38.70 %
5) Humedad final (Wf)	34.68 %
6) Peso específico inicial (Yi)	1.79 gr/cc
7) Peso específico final (Yi)	1.99 gr/cc
8) Densidad seca inicial(ydi)	1.29 gr/cc
9) Densidad seca final (Ydif)	1.48 gr/cc
10) Volumen de los sólidos (Vs)	18.52 cm ³
11) Altura teórico de los sólidos (Hs)	0.94 cm
12) Relación de los vacíos (eo)	1.12
13) Relación de los vacíos final (ef)	0.85
Grado de Saturación Inicial	94.33%
Grado de Saturación Final	100%

Tabla 05: Cálculo de esfuerzo de Preconsolidación Muestra 1

Datos obtenidos en el laboratorio

Cargas y Tiempos	σ (kg/cm ²)	h(cm)	Δh (cm)	ϵ	Δe	e	H _{pi}	H _d
t= 0 a t=?? incremento de esfuerzo hasta 0.25 kg/cm ²	0 > 0.25 kg/cm ²	1.2310						
			0	0.0000	0.0000	1.1200	2.0000	1.0000
t=0 para 0.25 kg/cm ² - Lectura inicial	0.25	1.2310						
			0.0280	1.4000	0.0297	1.0903	1.9720	0.9860
t= 24 hr para $\sigma = 0.25$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 0.50$ kg/cm ²	0.5	1.2030						
			0.0184	0.9200	0.0195	1.0708	1.9536	0.9768
t= 24 hr para $\sigma = 0.50$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 1.0$ kg/cm ²	1	1.1846						
			0.0276	1.3800	0.0293	1.0415	1.9260	0.9630
t= 24 hr para $\sigma = 1.0$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 2.0$ kg/cm ²	2	1.1570						
			0.042	2.1000	0.0445	0.9970	1.8840	0.9420
t= 24 hr para $\sigma = 2.0$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 4.0$ kg/cm ²	4	1.1150						
			0.085	4.2500	0.0901	0.9069	1.7990	0.8995
t= 24 hr para $\sigma = 4.0$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 6.0$ kg/cm ²	6	1.0300						
			0.0555	2.7750	0.0588	0.8481	1.7435	0.8718
t= 24 hr para $\sigma = 6.0$ kg/cm ² carga y t=0 para $\sigma = 4.0$ kg/cm ² descarga	4	0.9745						
			-0.0025	-0.1250	-0.0026	0.8507	1.7460	0.8730
t= 24 hr para $\sigma = 4.0$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 2.0$ kg/cm ²	2	0.977						
			-0.0088	-0.4400	-0.0093	0.8601	1.7548	0.8774
t= 24 hr para $\sigma = 2.0$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 1.0$ kg/cm ²	1	0.9858						
			-0.0122	-0.6100	-0.0129	0.8730	1.7670	0.8835
t= 24 hr para $\sigma = 1.0$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 0.5$ kg/cm ²	0.5	0.9980						
			-0.0129	-0.6450	-0.0137	0.8867	1.7799	0.8900
t= 24 hr para $\sigma = 0.5$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 0.25$ kg/cm ²	0.25	1.0109						
			-0.0113	-0.5650	-0.0120	0.8986	1.7912	0.8956
t= 24 hr para $\sigma = 0.25$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 0.05$ kg/cm ²	0.05	1.0222						
			-0.026	-1.3000	-0.0276	0.9262	1.8172	0.9086
t= 24 hr para $\sigma = 0.05$ kg/cm ²		1.0482						

Tabla 06: Cargas y tiempos a los que ha sido sometida la Muestra 1

Incremento de carga σ	Relación de vacíos instantánea (e)
0.25	1.090
0.5	1.071
1	1.042
2	0.997
4	0.907
6	0.848
4	0.851
2	0.860
1	0.873
0.5	0.887
0.25	0.899
0.05	0.926

Cc	0.15
Cs	0.02

Tabla 07: Relación de vacíos Muestra 1

Datos obtenidos en el laboratorio

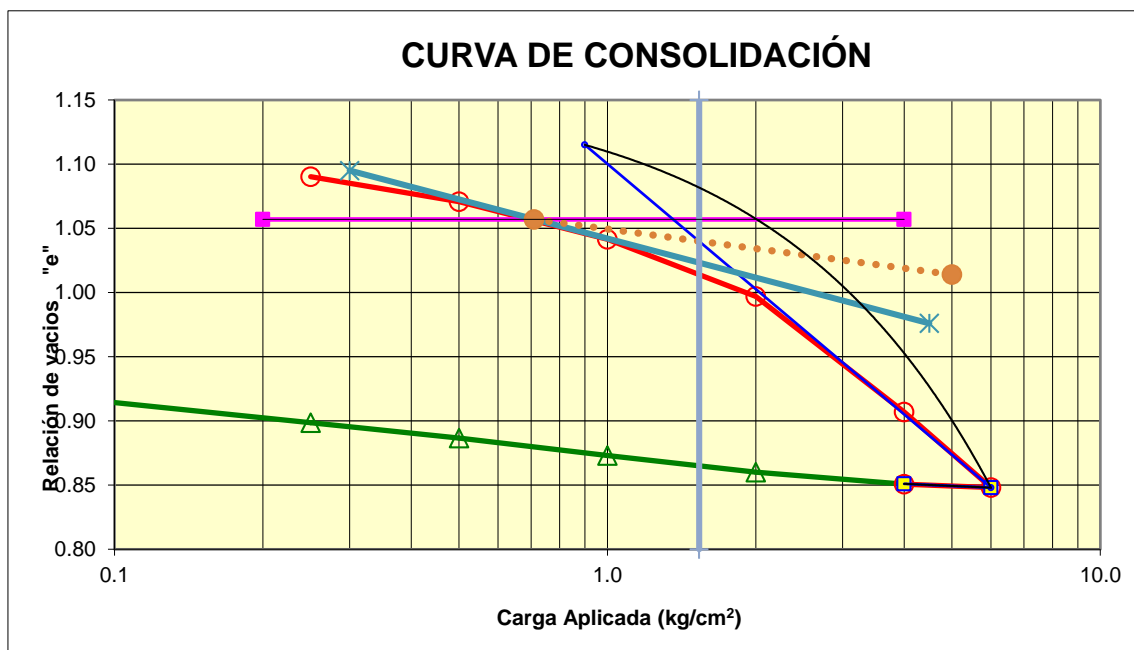


Gráfico 6: Curva de Consolidación Muestra 1

Presión o Carga de Pre consolidación es la máxima presión de sobrecarga efectiva a la que la muestra de suelo estuvo sometida en el pasado.

$$\sigma'_{pc} = 1.535 \text{ kg/cm}^2$$

Muestra 2

Datos del Ensayo	
Altura de la muestra (ho)	2.00 cm
Diámetro de la muestra (D)	5.00 cm
Gravedad específica (Gs)	2.68
Peso humedo inicial (Wwi)	77.16 gr
Peso humedo final (Wwf)	77.36 gr
Peso seco (Ws)	60.46 gr
Peso Unitario del agua (Yw)	1.00 gr/cm ³
Lectura Inicial (Li)	1.2366 cm
Lectura final (Lf)	1.1520 cm
1) Área de la muestra (A)	19.63 cm ²
2) Volumen inicial (Vi)	39.27 cm ³
3) Volumen final (Vf)	37.61 cm ³
4) Humedad inicial (Wi)	27.62 %
5) Humedad final (Wf)	27.95 %
6) Peso específico inicial (Yi)	1.96 gr/cc
7) Peso específico final (Yi)	2.06 gr/cc
8) Densidad seca inicial(ydi)	1.54 gr/cc
9) Densidad seca final (Ydif)	1.61 gr/cc
10) Volumen de los sólidos (Vs)	22.56 cm ³
11) Altura teórico de los sólidos (Hs)	1.15 Cm
12) Relación de los vacíos (eo)	0.74
13) Relación de los vacíos final (ef)	0.67
Grado de Saturación Inicial	99.94%
Grado de Saturación Final	100.00%

Tabla 08: Cálculo de esfuerzo de preconsolidacion Muestra 2

Datos obtenidos en el laboratorio

Cargas y Tiempos	σ (kg/cm ²)	h(cm)	Δh (cm)	ϵ	Δe	e	H _{pi}	H _d
t= 0 a t =?? incremento de esfuerzo hasta 0.25 kg/cm ²	0 > 0.25 kg/cm ²	1.2366						
			0	0.0000	0.0000	0.74071	2.00	1.0000
t=0 para 0.125 kg/cm ² - Lectura inicial	0.125	1.2366						
			0.0116	0.5800	0.0101	0.73061	1.9884	0.9942
t= 24 hr para $\sigma = 0.125$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 0.25$ kg/cm ²	0.25	1.2250						
			0.0057	0.2850	0.0050	0.72565	1.9827	0.9914
t= 24 hr para $\sigma = 0.25$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 0.5$ kg/cm ²	0.5	1.2193						
			0.0062	0.3100	0.0054	0.72026	1.9765	0.9883
t= 24 hr para $\sigma = 0.5$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 1.0$ kg/cm ²	1	1.2131						
			0.0133	0.6650	0.0116	0.70868	1.9632	0.9816
t= 24 hr para $\sigma = 1.0$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 2.0$ kg/cm ²	2	1.1998						
			0.0159	0.7950	0.0138	0.69484	1.9473	0.9737
t= 24 hr para $\sigma = 2.0$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 4.0$ kg/cm ²	4	1.1839						
			0.0319	1.5950	0.0278	0.66708	1.9154	0.9577
t= 24 hr para $\sigma = 4.0$ kg/cm ² carga y t=0 para $\sigma = 4.0$ kg/cm ² descarga	2	1.1520						
			-0.0039	-0.1950	-0.0034	0.67047	1.9193	0.9597
t= 24 hr para $\sigma = 4.0$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 2.0$ kg/cm ²	1	1.1559						
			-0.0066	-0.3300	-0.0057	0.67622	1.9259	0.9630
t= 24 hr para $\sigma = 2.0$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 1.0$ kg/cm ²	0.5	1.1625						
			-0.0066	-0.3300	-0.0057	0.68196	1.9325	0.9663
t= 24 hr para $\sigma = 1.0$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 0.5$ kg/cm ²	0.25	1.1691						
			-0.0079	-0.3950	-0.0069	0.68884	1.9404	0.9702
t= 24 hr para $\sigma = 0.5$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 0.25$ kg/cm ²	0.125	1.1770						
			-0.0049	-0.2450	-0.0043	0.69310	1.9453	0.9727
t= 24 hr para $\sigma = 0.25$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 0.125$ kg/cm ²	0.05	1.1819						
			-0.0129	-0.6450	-0.0112	0.70433	1.9582	0.9791
t= 24 hr para $\sigma = 0.125$ kg/cm ²		1.1948						

Tabla 09: Cargas y tiempos a los que ha sido sometida la Muestra

Incremento de carga σ	Relación de vacíos instantánea (e)
0.125	0.731
0.25	0.726
0.5	0.720
1	0.709
2	0.695
4	0.667
2	0.670
1	0.676
0.5	0.682
0.25	0.689
0.125	0.693
0.05	0.704

Cc	0.04
Cs	0.01

Tabla 10: Relación de vacíos Muestra 2

Datos obtenidos en el laboratorio

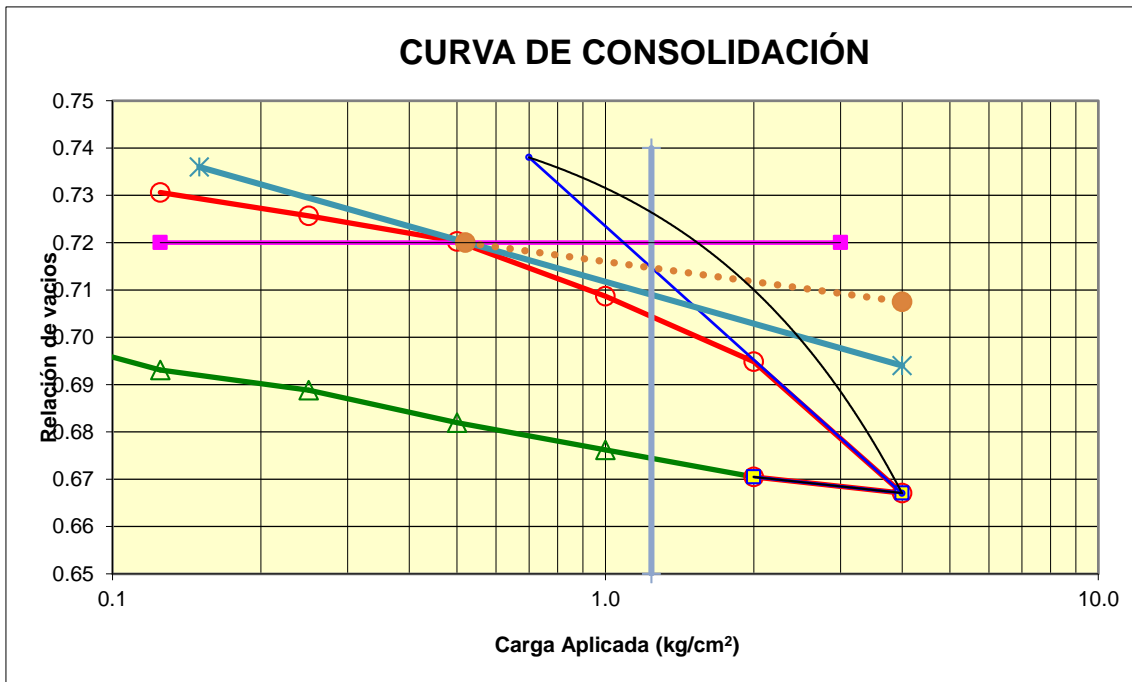


Gráfico 7: Curva de Consolidación Muestra 2

Presión o Carga de Pre consolidación es la máxima presión se sobrecarga efectiva a la que la muestra de suelo estuvo sometida en el pasado. $\sigma_{pc} = 1.240 \text{ kg/cm}^2$

Muestra 3

Datos del Ensayo	
Altura de la muestra (ho)	2.00 cm
Diámetro de la muestra (D)	5.00 cm
Gravedad específica (Gs)	2.66
Peso húmedo inicial (Wwi)	76.10 gr
Peso húmedo final (Wwf)	75.84 gr
Peso seco (Ws)	59.31 gr
Peso Unitario del agua (Yw)	1.00 gr/cm ³
Lectura Inicial (Li)	1.26 cm
Lectura final (Lf)	1.12 cm
1) Área de la muestra (A)	19.63 cm ²
2) Volumen inicial (Vi)	39.27 cm ³
3) Volumen final (Vf)	36.51 cm ³
4) Humedad inicial (Wi)	28.31 %
5) Humedad final (Wf)	27.87 %
6) Peso específico inicial (Yi)	1.94 gr/cc
7) Peso específico final (Yi)	2.08 gr/cc
8) Densidad seca inicial (ydi)	1.51 gr/cc
9) Densidad seca final (Ydif)	1.62 cm ³
10) Volumen de los sólidos (Vs)	22.30 cm
11) Altura teórico de los sólidos (Hs)	1.14
12) Relación de los vacíos (eo)	0.76
13) Relación de los vacíos final (ef)	0.64
Grado de Saturación Inicial	98.92%
Grado de Saturación Final	100.00%

Tabla 11: Cálculo de esfuerzo de preconsolidación Muestra 3

Datos obtenidos en el laboratorio

Cargas y Tiempos	σ (kg/cm ²)	h(cm)	Δh (cm)	ϵ	Δe	e	H _{pi}	H _d
t= 0 a t=?? incremento de esfuerzo hasta 0.125 kg/cm ²	0 > 0.125 kg/cm ²	1.2590						
t=0 para 0.125 kg/cm ² - Lectura inicial	0.125	1.2590	0.0000	0.0000	0.0000	0.7612	2.0000	1.0000
t= 24 hr para $\sigma = 0.125$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 0.250$ kg/cm ²	0.25	1.2353	0.0237	1.1850	0.0209	0.7403	1.9763	0.9882
t= 24 hr para $\sigma = 0.250$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 0.5$ kg/cm ²	0.5	1.2245	0.0108	0.5400	0.0095	0.7308	1.9655	0.9828
t= 24 hr para $\sigma = 0.5$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 1.0$ kg/cm ²	1	1.2078	0.0167	0.8350	0.0147	0.7161	1.9488	0.9744
t= 24 hr para $\sigma = 1.0$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 2.0$ kg/cm ²	2	1.1848	0.0230	1.1500	0.0203	0.6959	1.9258	0.9629
t= 24 hr para $\sigma = 2.0$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 4.0$ kg/cm ²	4	1.1569	0.0279	1.3950	0.0246	0.6713	1.8979	0.9490
t= 24 hr para $\sigma = 4.0$ kg/cm ² carga y t=0 para $\sigma = 2.0$ kg/cm ² descarga	2	1.1182	0.0387	1.9350	0.0341	0.6372	1.8592	0.9296
t= 24 hr para $\sigma = 2.0$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 1.0$ kg/cm ²	1	1.1212	-0.0030	-0.1500	-0.0026	0.6399	1.8622	0.9311
t= 24 hr para $\sigma = 1.0$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 0.5$ kg/cm ²	0.5	1.1269	-0.0057	-0.2850	-0.0050	0.6449	1.8679	0.9340
t= 24 hr para $\sigma = 0.5$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 0.25$ kg/cm ²	0.25	1.1331	-0.0062	-0.3100	-0.0055	0.6504	1.8741	0.9371
t= 24 hr para $\sigma = 0.25$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 0.125$ kg/cm ²	0.125	1.1400	-0.0069	-0.3450	-0.0061	0.6564	1.8810	0.9405
t= 24 hr para $\sigma = 0.125$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 0.05$ kg/cm ²	0.05	1.1453	-0.0053	-0.2650	-0.0047	0.6611	1.8863	0.9432
t= 24 hr para $\sigma = 0.05$ kg/cm ²		1.1578	-0.0125	-0.6250	-0.0110	0.6721	1.8988	0.9494

Tabla 12: Cargas y tiempos a los que ha sido sometida la Muestra 3

Incremento de carga σ	Relación de vacíos instantánea (e)
0.125	0.740
0.25	0.731
0.5	0.716
1	0.696
2	0.671
4	0.637
2	0.640
1	0.645
0.5	0.650
0.25	0.656
0.125	0.661
0.05	0.672

Cc	0.05
Cs	0.01

Tabla 13: Relación de vacíos Muestra 3

Datos obtenidos en el laboratorio

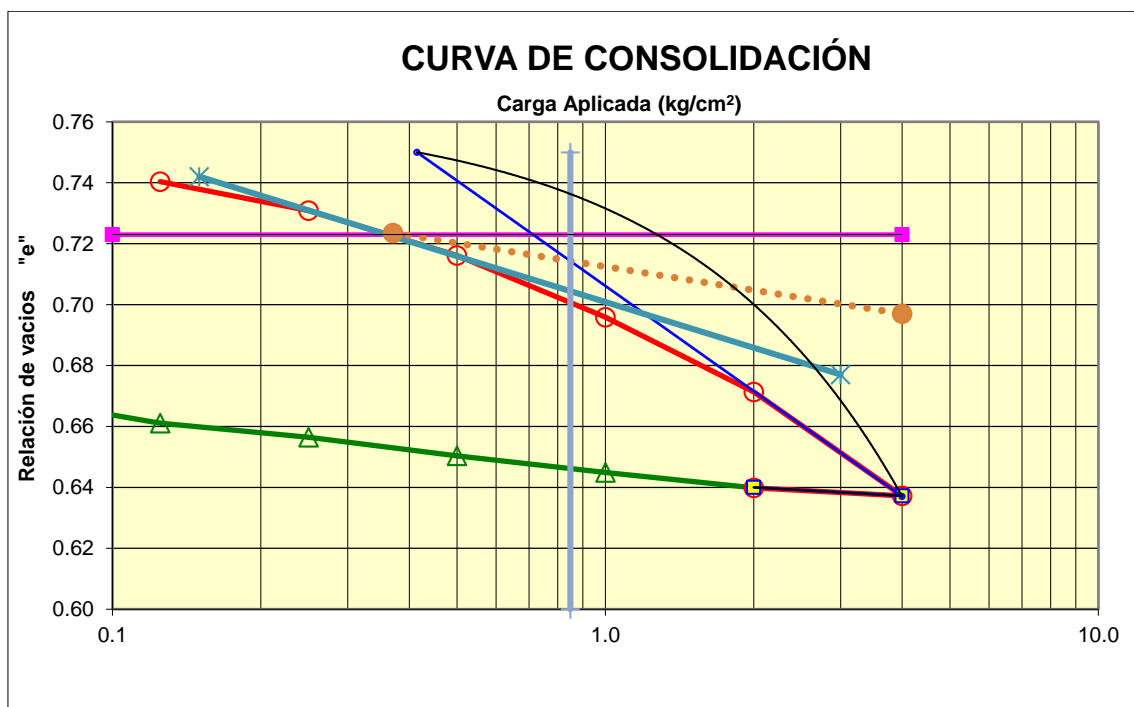


Gráfico 8: Curva de Consolidación Muestra 3

Presión o Carga de Pre consolidación es la máxima presión de sobrecarga efectiva a la que la muestra de suelo estuvo sometida en el pasado.

$$\sigma'_{pc} = 0.849 \text{ kg/cm}^2$$

Muestra 4

Datos del Ensayo	
Altura de la muestra (ho)	2.00 cm
Diámetro de la muestra (D)	5.00 cm
Gravedad específica (Gs)	2.73
Peso húmedo inicial (Wwi)	85.80 gr
Peso húmedo final (Wwf)	86.01 gr
Peso seco (Ws)	69.02 gr
Peso Unitario del agua (Yw)	1.00 gr/cm ³
Lectura Inicial (Li)	1.27 cm
Lectura final (Lf)	1.19 cm
1) Área de la muestra (A)	19.63 cm ²
2) Volumen inicial (Vi)	39.27 cm ³
3) Volumen final (Vf)	37.68 cm ³
4) Humedad inicial (Wi)	24.31 %
5) Humedad final (Wf)	24.62 %
6) Peso específico inicial (Yi)	2.18 gr/cc
7) Peso específico final (Yi)	2.28 gr/cc
8) Densidad seca inicial (ydi)	1.76 gr/cc
9) Densidad seca final (Ydif)	1.83 cm ³
10) Volumen de los sólidos (Vs)	25.28 cm
11) Altura teórico de los sólidos (Hs)	1.29
12) Relación de los vacíos (e _o)	0.55
13) Relación de los vacíos final (e _f)	0.49
Grado de Saturación Inicial	100%
Grado de Saturación Final	100%

Tabla 14: Cálculo de esfuerzo de preconsolidación Muestra 4

Datos obtenidos en el laboratorio

Cargas y Tiempos	σ (kg/cm ²)	h(cm)	Δh (cm)	ϵ	Δe	e	Hpi	Hd
t= 0 a t=?? incremento de esfuerzo hasta 0.125 kg/cm ²	0 > 0.125 kg/c	1.2692						
t=0 para 0.125 kg/cm ² - Lectura inicial	0.125	1.2692	0	0	0	0.55327	2.00	1
t= 24 hr para $\sigma = 0.125$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 0.250$ kg/cm ²	0.25	1.2500	0.0192	0.96	0.01491141	0.53836	1.9808	0.9904
t= 24 hr para $\sigma = 0.250$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 0.5$ kg/cm ²	0.5	1.2446	0.0054	0.27	0.00419384	0.53417	1.9754	0.9877
t= 24 hr para $\sigma = 0.5$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 1.0$ kg/cm ²	1	1.2350	0.0096	0.48	0.00745571	0.52671	1.9658	0.9829
t= 24 hr para $\sigma = 1.0$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 2.0$ kg/cm ²	2	1.2199	0.0151	0.755	0.01172721	0.51498	1.9507	0.97535
t= 24 hr para $\sigma = 2.0$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 4.0$ kg/cm ²	4	1.2051	0.0148	0.74	0.01149421	0.50349	1.9359	0.96795
t= 24 hr para $\sigma = 4.0$ kg/cm ² carga y t=0 para $\sigma = 2.0$ kg/cm ² descarga	2	1.1880	0.0171	0.855	0.01328048	0.49021	1.9188	0.9594
t= 24 hr para $\sigma = 2.0$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 1.0$ kg/cm ²	1	1.1915	-0.0035	-0.175	-0.0027182	0.49293	1.9223	0.96115
t= 24 hr para $\sigma = 1.0$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 0.5$ kg/cm ²	0.5	1.1985	-0.007	-0.35	-0.0054365	0.49836	1.9293	0.96465
t= 24 hr para $\sigma = 0.5$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 0.25$ kg/cm ²	0.25	1.2060	-0.0075	-0.375	-0.0058248	0.50419	1.9368	0.9684
t= 24 hr para $\sigma = 0.25$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 0.125$ kg/cm ²	0.125	1.2145	-0.0085	-0.425	-0.0066014	0.51079	1.9453	0.97265
t= 24 hr para $\sigma = 0.125$ kg/cm ² y t=0 para $\sigma = 0.05$ kg/cm ²	0.05	1.2222	-0.0077	-0.385	-0.0059801	0.51677	1.9530	0.9765
t= 24 hr para $\sigma = 0.05$ kg/cm ²		1.2237	-0.0015	-0.075	-0.001165	0.51794	1.9545	0.97725

Tabla 15: Cargas y tiempos a los que ha sido sometida la Muestra 4

Incremento de carga σ	Relación de vacíos instantánea (e)
0.125	0.538
0.25	0.534
0.5	0.527
1	0.515
2	0.503
4	0.490
2	0.493
1	0.498
0.5	0.504
0.25	0.511
0.125	0.517
0.05	0.518

Cc	0.02
Cs	0.01

Tabla 16: Relación de vacíos Muestra 4

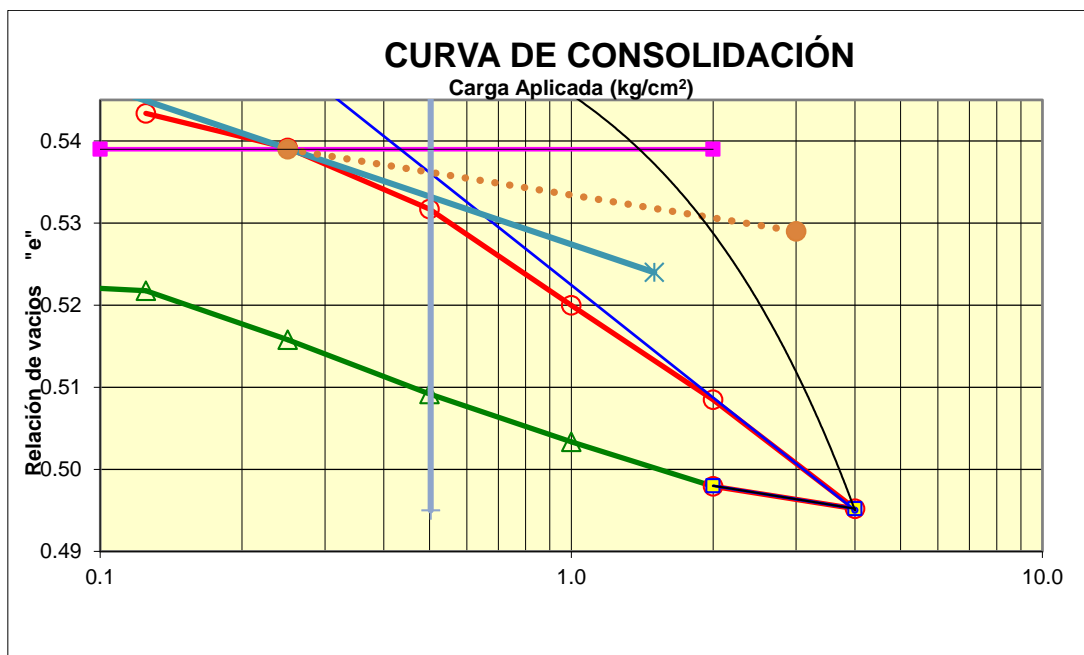


Gráfico 9: Curva de Consolidación Muestra 4

Presión o Carga de Pre consolidación es la máxima presión de sobrecarga efectiva a la que la muestra de suelo estuvo sometida en el pasado.

$$\sigma'_{pc} = 0.503 \text{ kg/cm}^2$$

Curva de Taylor (Cv)

MUESTRA 1

tiempo	\sqrt{t}	Lectura vertical
(minutos)		0.25 Kg/cm²
0.00	0.00	1.2310
0.10	0.32	1.2085
0.25	0.50	1.2060
0.50	0.71	1.2055
0.75	0.87	1.2050
1.00	1.00	1.2046
2.00	1.41	1.2041
4.00	2.00	1.2038
8.00	2.83	1.2031
15.00	3.87	1.2030
30.00	5.48	1.2025
60.00	7.75	1.2025
120.00	10.95	1.2024
240.00	15.49	1.2024
480.00	21.91	1.2024
1440.00	37.95	1.20230

Tabla 17: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 1

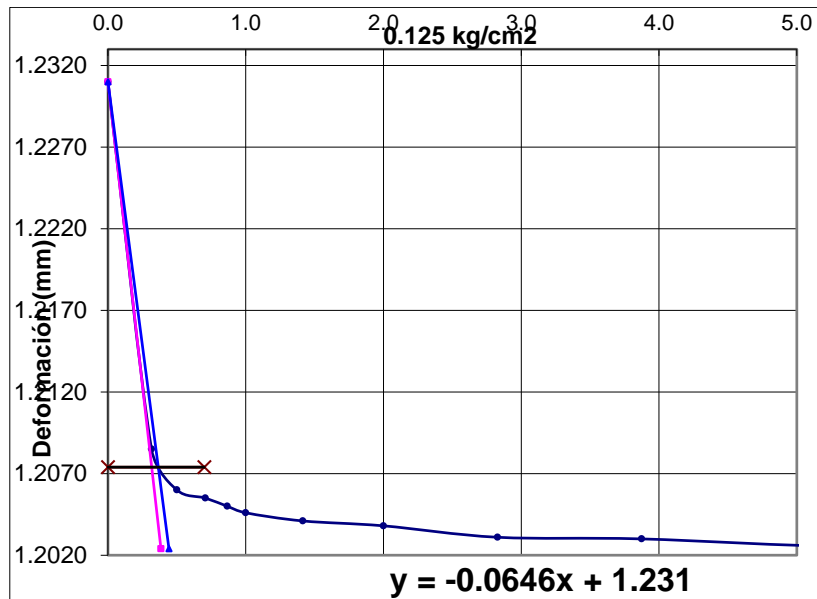


Gráfico 10: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 1

tiempo(min) :	0.13
Cv	6.18

tiempo (minutos)	$\sqrt[2]{t}$	Lectura vertical 0.5 Kg/cm²
0.00	0.00	1.2023
0.10	0.32	1.1955
0.25	0.50	1.1943
0.50	0.71	1.1935
0.75	0.87	1.1931
1.00	1.00	1.1928
2.00	1.41	1.1917
4.00	2.00	1.1898
8.00	2.83	1.1891
15.00	3.87	1.1868
30.00	5.48	1.1861
60.00	7.75	1.1858
120.00	10.95	1.1850
240.00	15.49	1.1848
480.00	21.91	1.1847
960.00	30.98	

tiempo	$\sqrt[2]{t}$	Lectura vertical
(minutos)		0.5 Kg/cm²
1440.00	37.95	1.1846

Tabla 18: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 1

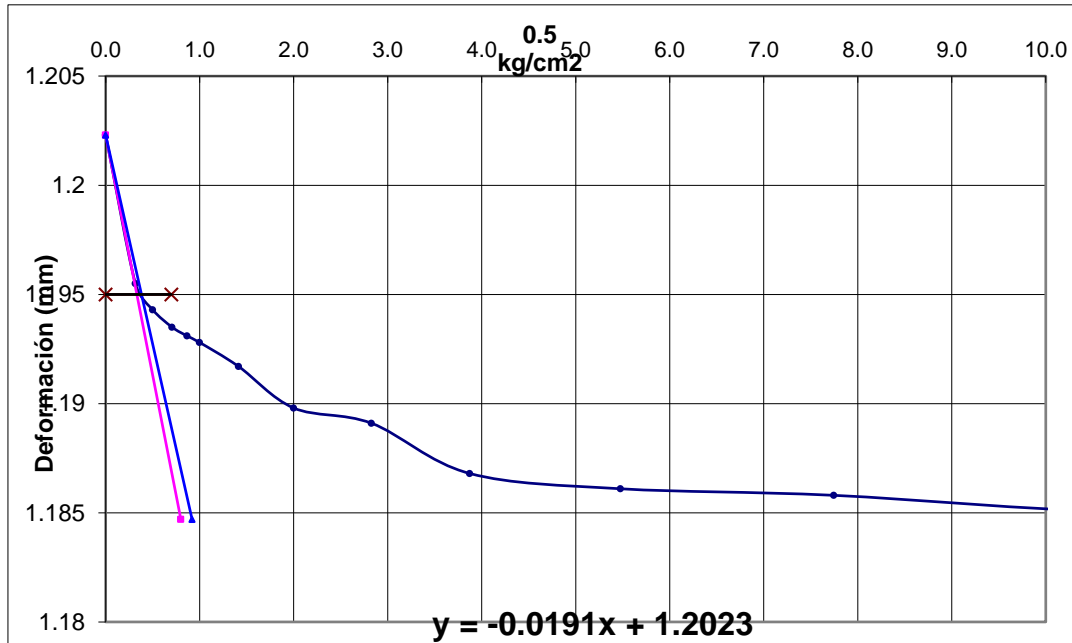


Gráfico 11: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 1

tiempo(min) :	0.15
Cv	5.54

tiempo	$\sqrt[2]{t}$	Lectura vertical
(minutos)		1.00 Kg/cm²
0.00	0.00	1.1846
0.10	0.32	1.1742
0.25	0.50	1.1725
0.50	0.71	1.1710
0.75	0.87	1.1700
1.00	1.00	1.1692
2.00	1.41	1.1660

tiempo (minutos)	$\sqrt[2]{t}$	Lectura vertical 1.00 Kg/cm²
4.00	2.00	1.1645
8.00	2.83	1.1627
15.00	3.87	1.1618
30.00	5.48	1.1609
60.00	7.75	1.1599
120.00	10.95	1.1590
240.00	15.49	1.1585
480.00	21.91	1.1580
1440.00	37.95	1.1570

Tabla 19: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 1

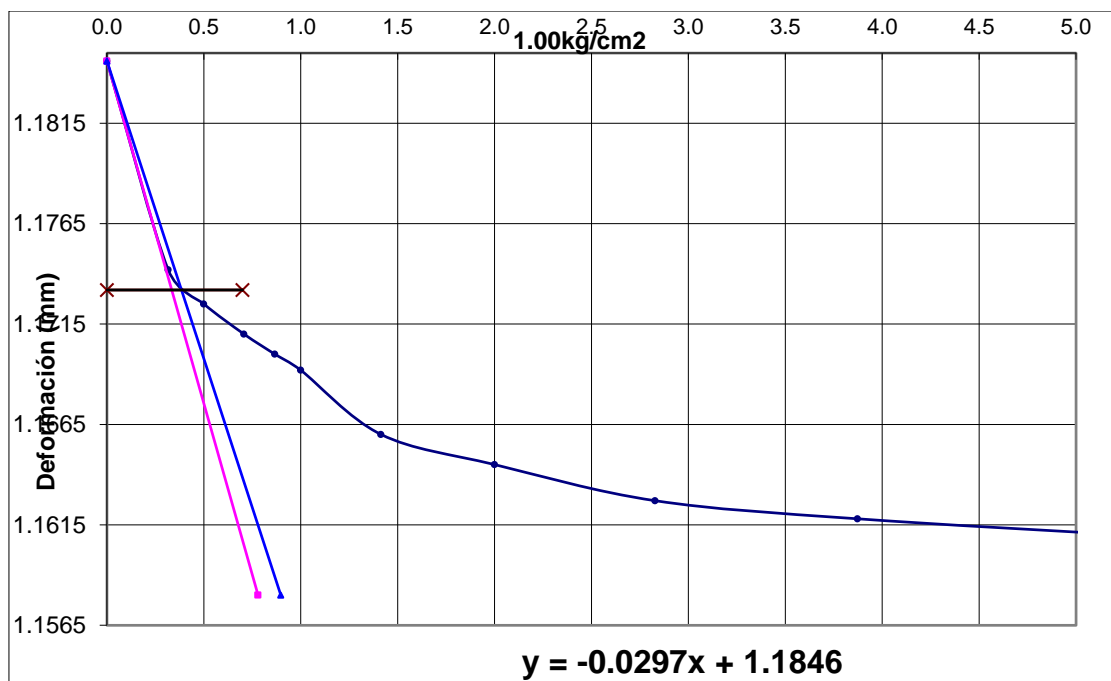


Gráfico 12: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 1

tiempo(min) :	0.15
Cv	5.34

tiempo	\sqrt{t}	Lectura vertical
(minutos)		2.00 Kg/cm2
0.00	0.00	1.1570
0.10	0.32	1.1386
0.25	0.50	1.1360
0.50	0.71	1.1325
0.75	0.87	1.1305
1.00	1.00	1.1290
2.00	1.41	1.1255
4.00	2.00	1.1220
8.00	2.83	1.1205
15.00	3.87	1.1190
30.00	5.48	1.1172
60.00	7.75	1.1158
120.00	10.95	1.1150
240.00	15.49	1.1150
480.00	21.91	1.1150
1440.00	37.95	1.1150

Tabla 20: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 1

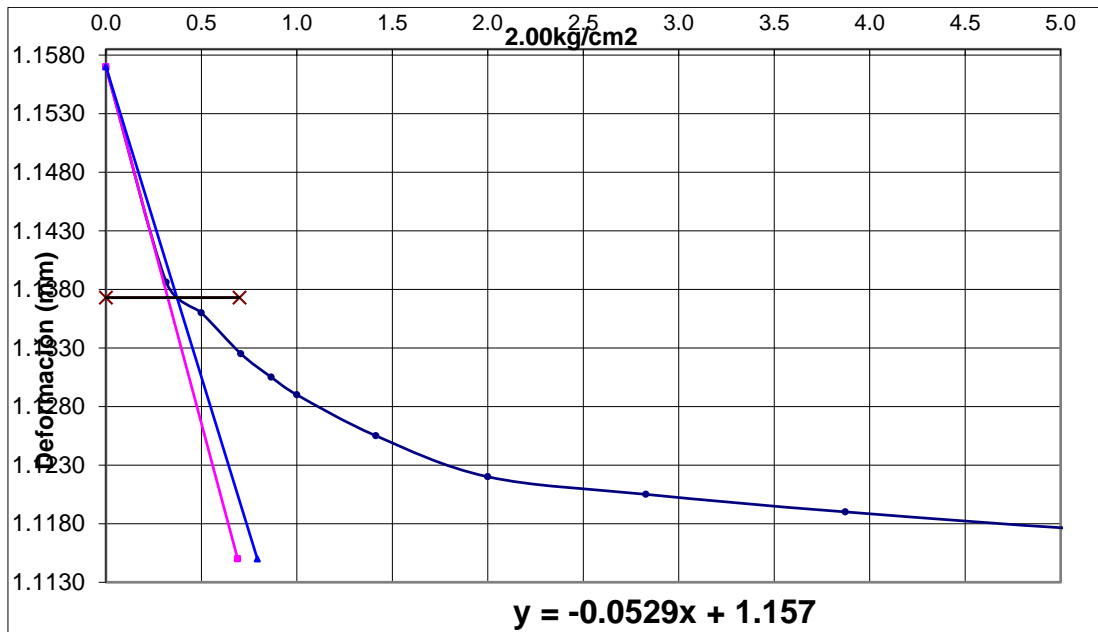


Gráfico 13: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 1

tiempo(min) :	0.14
Cv	5.43

tiempo (minutos)	$\sqrt[2]{t}$	Lectura vertical 4.00 Kg/cm²
0.00	0.00	1.1150
0.10	0.32	1.0830
0.25	0.50	1.0790
0.50	0.71	1.0750
0.75	0.87	1.0730
1.00	1.00	1.0700
2.00	1.41	1.0600
4.00	2.00	1.0510
8.00	2.83	1.0430
15.00	3.87	1.0390
30.00	5.48	1.0360
60.00	7.75	1.0340
120.00	10.95	1.0322

tiempo	$\sqrt[2]{t}$	Lectura vertical
(minutos)		4.00 Kg/cm²
240.00	15.49	1.0318
480.00	21.91	1.0310
960.00	30.98	1.0302
1440.00	37.95	1.0300

Tabla 21: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 1

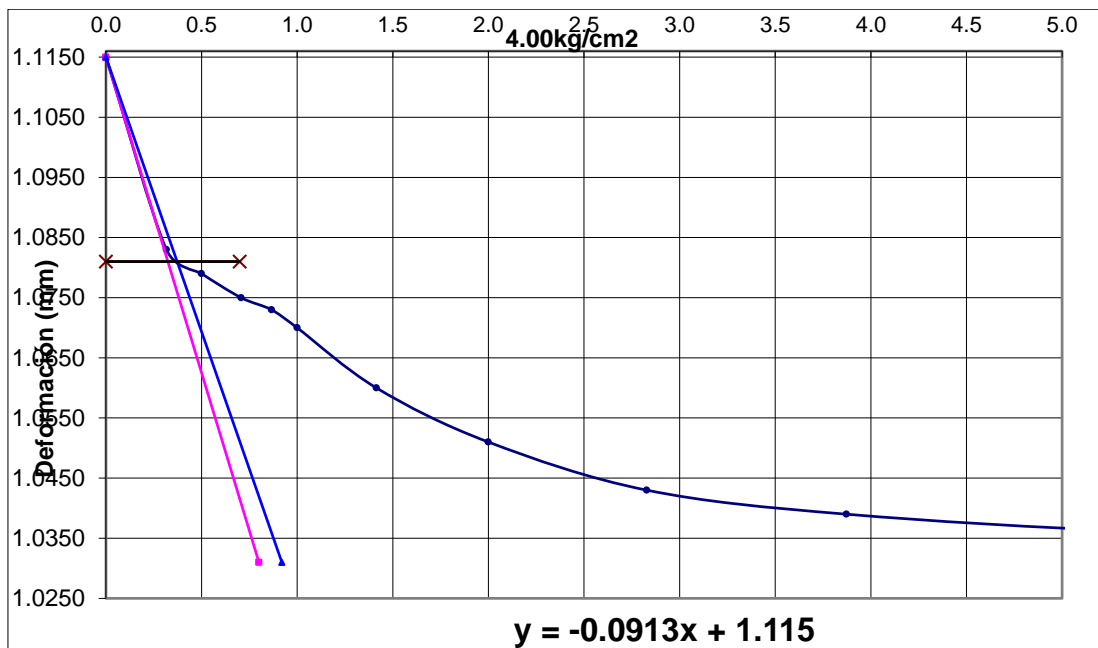


Gráfico 14: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 1

tiempo(min) :	0.14
Cv	4.95

tiempo	$\sqrt[2]{t}$	Lectura vertical
(minutos)		6.00 Kg/cm²
0.00	0.00	1.0300
0.10	0.32	1.0200
0.25	0.50	1.0173

tiempo	\sqrt{t}	Lectura vertical
(minutos)		6.00 Kg/cm ²
0.50	0.71	1.0145
0.75	0.87	1.0120
1.00	1.00	1.0100
2.00	1.41	1.0042
4.00	2.00	0.9967
8.00	2.83	0.9895
15.00	3.87	0.9835
30.00	5.48	0.9820
60.00	7.75	0.9800
120.00	10.95	0.9785
240.00	15.49	0.9770
480.00	21.91	0.9760
960.00	30.98	0.9750
1440.00	37.95	0.9745

Tabla 22: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 1

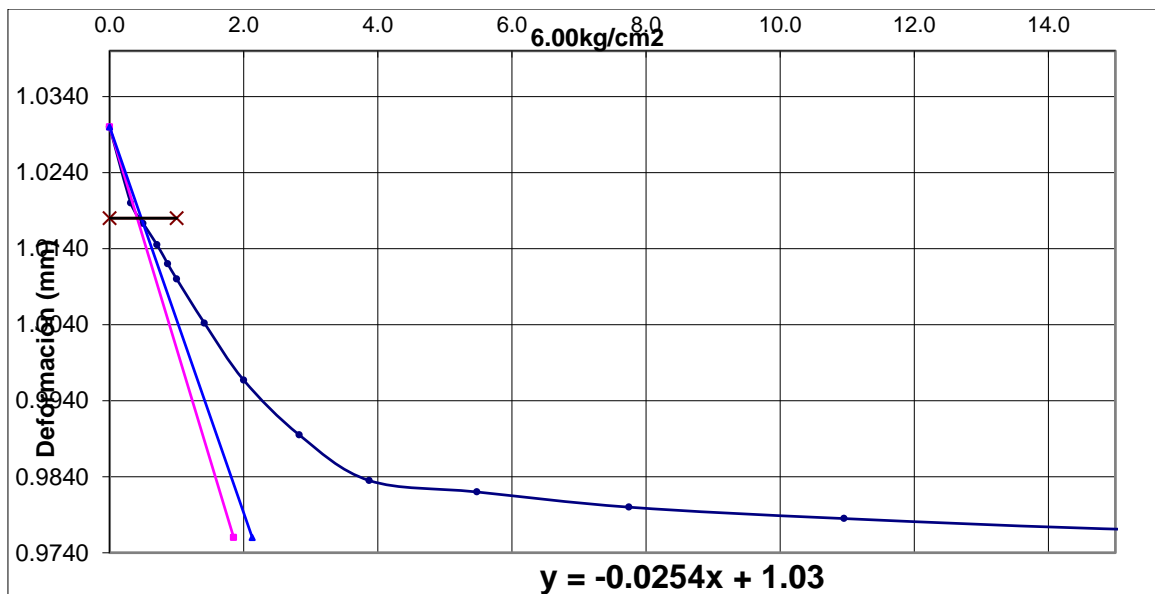


Gráfico 15: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 1

tiempo(min) :	0.22
Cv	2.89

De los 6 resultados del Cv, hallamos el promedio:

Espesor de estrato	
H (cm)	800

Cv promedio	5.05 cm ² /min
t ₉₀ (real)	107417.97 min / 75 días

MUESTRA 2

tiempo (minutos)	$\sqrt[2]{t}$	Lectura vertical 0.125 Kg/cm²
0.00	0.00	1.2366
0.1	0.32	1.2276
0.25	0.50	1.2262
0.5	0.71	1.2260
0.75	0.87	1.2258
1.00	1.00	1.2258
2.00	1.41	1.2257
4.00	2.00	1.2254
8.00	2.83	1.2251
15.00	3.87	1.2251
30.00	5.48	1.2250
60	7.75	1.2250
120	10.95	1.2250
1440	37.95	1.22500

Tabla 23: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 2

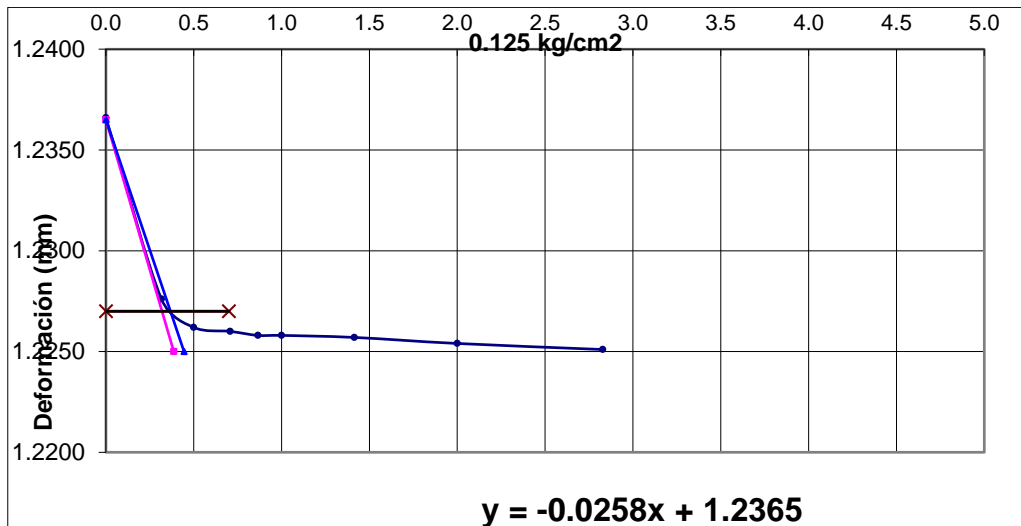


Gráfico 16: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 2

tiempo(min) :	0.14
Cv	6.18

tiempo (minutos)	$\sqrt[3]{t}$	Lectura vertical 0.25 Kg/cm²
0.00	0.00	1.22500
0.1	0.32	1.22180
0.25	0.50	1.22140
0.5	0.71	1.22120
0.75	0.87	1.22110
1.00	1.00	1.22100
2.00	1.41	1.22090
4.00	2.00	1.22080
8.00	2.83	1.22060
15.00	3.87	1.22020
30.00	5.48	1.21980
60	7.75	1.21960
120	10.95	1.21940
240	15.49	1.21940
1440	37.95	1.2193

Tabla 24 Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 2

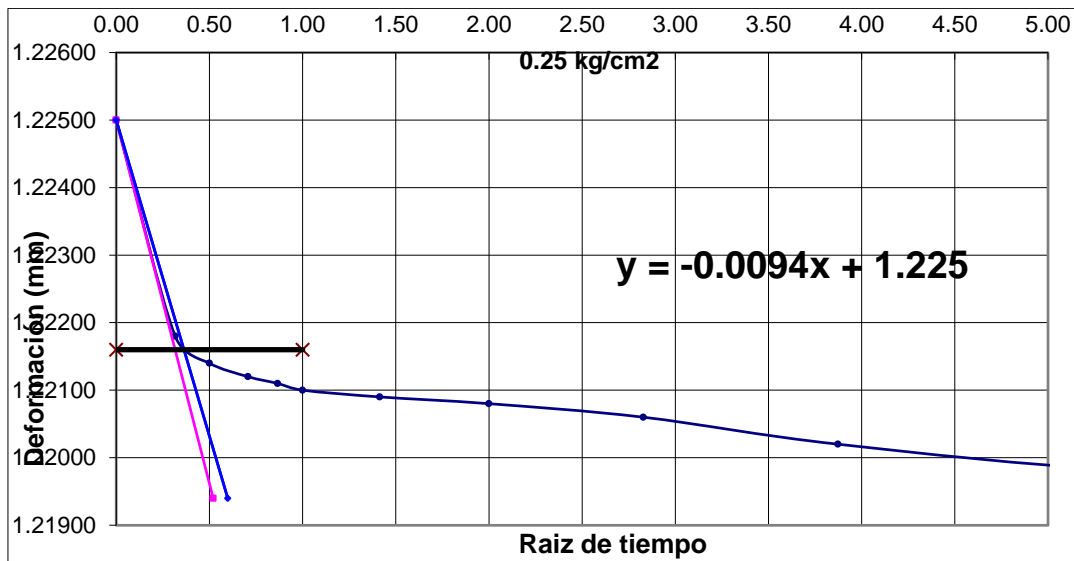


Gráfico 17: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 2

tiempo(min) :	0.13
Cv	6.37

tiempo (minutos)	$\sqrt[3]{t}$	Lectura vertical 0.50 Kg/cm2
0.00	0.00	1.21930
0.1	0.32	1.21550
0.25	0.50	1.21510
0.5	0.71	1.21500
0.75	0.87	1.21490
1.00	1.00	1.21490
2.00	1.41	1.21480
4.00	2.00	1.21400
8.00	2.83	1.21400
15.00	3.87	1.21370
30.00	5.48	1.21340
60	7.75	1.21310
1440	37.95	1.2131

Tabla 25: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 2

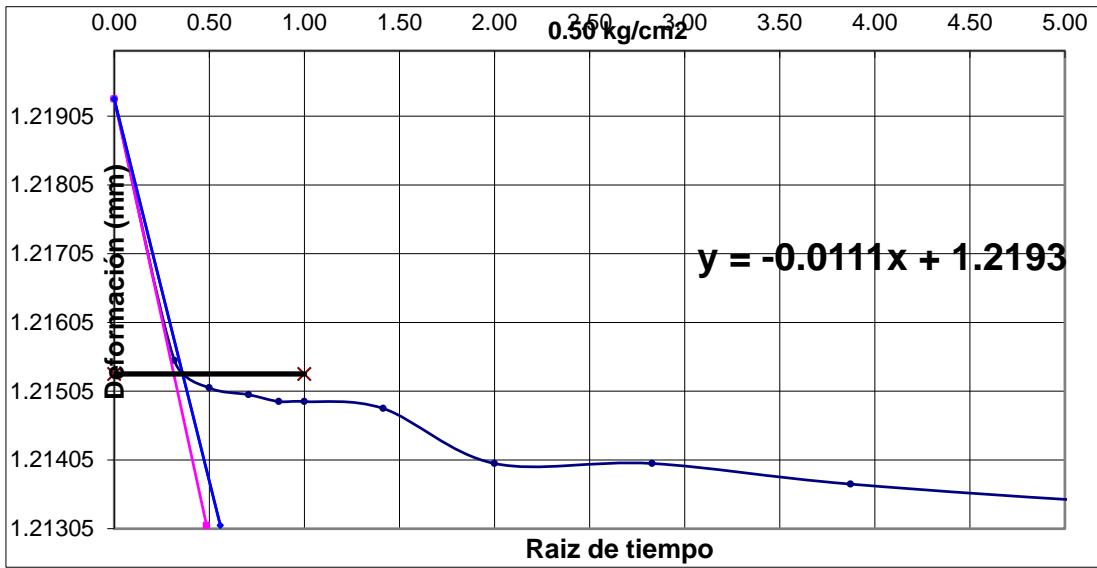


Gráfico 18: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 2

tiempo(min) :	0.13
Cv	6.38

tiempo (minutos)	$\sqrt[2]{t}$	Lectura vertical 1.000 Kg/cm2
0.00	0.00	1.2131
0.1	0.32	1.2066
0.25	0.50	1.2059
0.5	0.71	1.2052
0.75	0.87	1.2050
1.00	1.00	1.2048
2.00	1.41	1.2044
4.00	2.00	1.2035
8.00	2.83	1.2029
15.00	3.87	1.2024
30.00	5.48	1.2021
60	7.75	1.2018
120	10.95	1.2014
1440	37.95	1.1998

Tabla 26: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 2

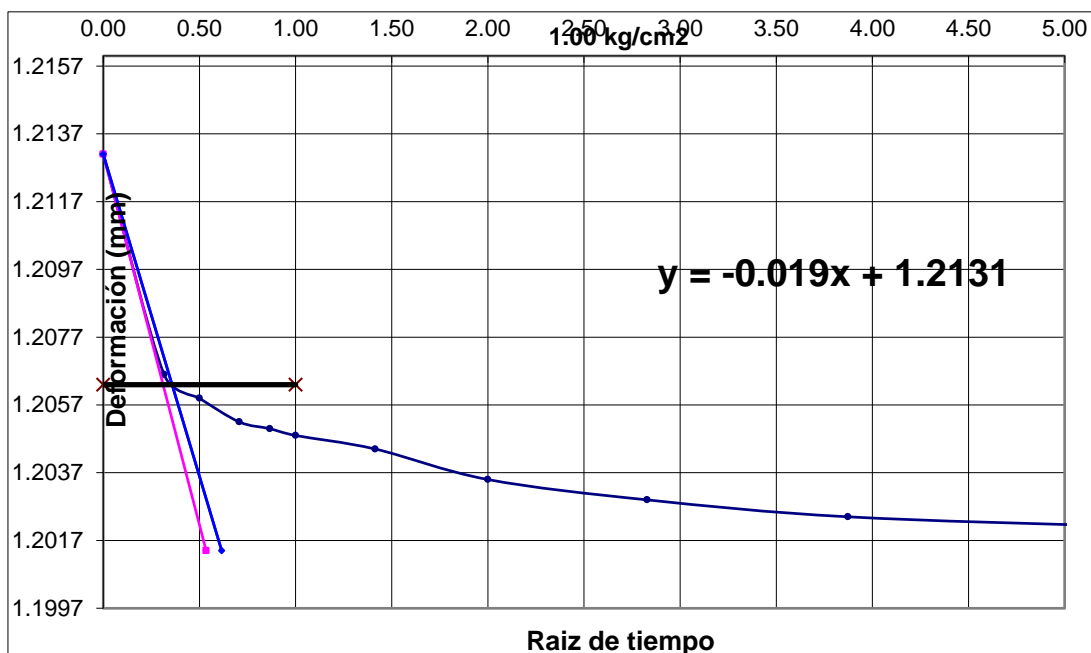


Gráfico 19: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 2

tiempo(min) :	0.13
Cv	6.38

tiempo (minutos)	$\sqrt[3]{t}$	Lectura vertical 2.000 Kg/cm2
0.00	0.00	1.1998
0.1	0.32	1.1924
0.25	0.50	1.1913
0.5	0.71	1.1902
0.75	0.87	1.1899
1.00	1.00	1.1892
2.00	1.41	1.1880
4.00	2.00	1.1866
8.00	2.83	1.1853
15.00	3.87	1.1847
30.00	5.48	1.1843
60	7.75	1.1840

tiempo	$\sqrt[2]{t}$	Lectura vertical
(minutos)		2.000 Kg/cm ²
120	10.95	1.1840
240	15.49	1.1839
1440	37.95	1.1839

Tabla 27: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 2

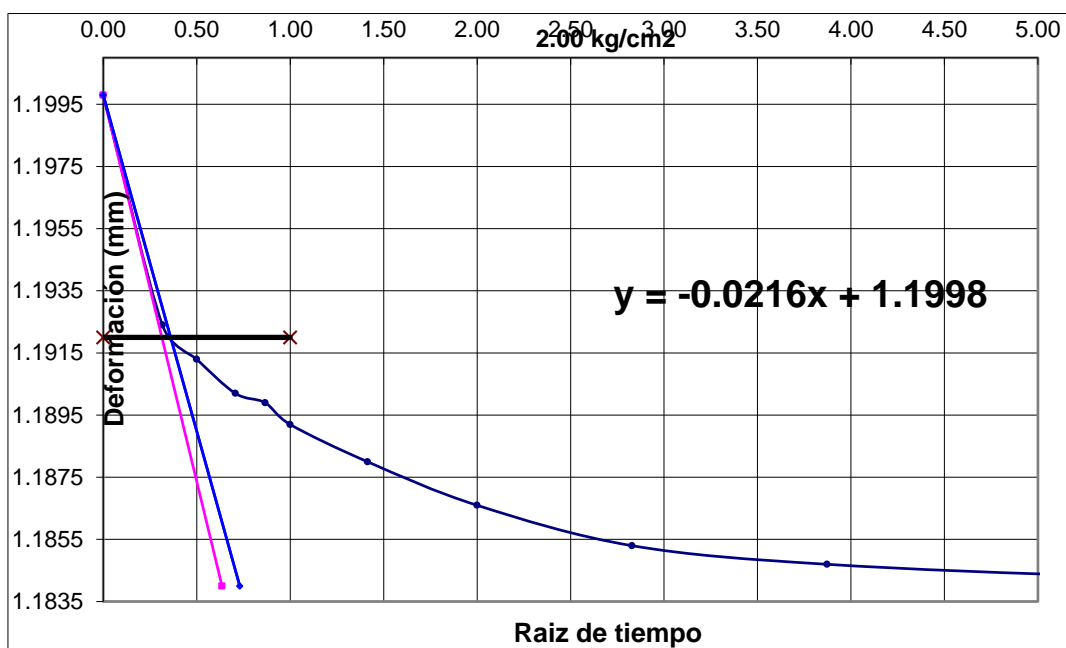


Gráfico 20: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 2

tiempo(min) :	0.13
Cv	6.16

tiempo (minutos)	$\sqrt[2]{t}$	Lectura vertical 4.000 Kg/cm2
0.00	0.00	1.1839
0.1	0.32	1.1710
0.25	0.50	1.1690
0.5	0.71	1.1669
0.75	0.87	1.1648
1.00	1.00	1.1635
2.00	1.41	1.1609
4.00	2.00	1.1575
8.00	2.83	1.1549
15.00	3.87	1.1538
30.00	5.48	1.1531
60	7.75	1.1528
120	10.95	1.1525
240	15.49	1.1523
480	21.91	1.1520
1440	37.95	1.1520

Tabla 28: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 2

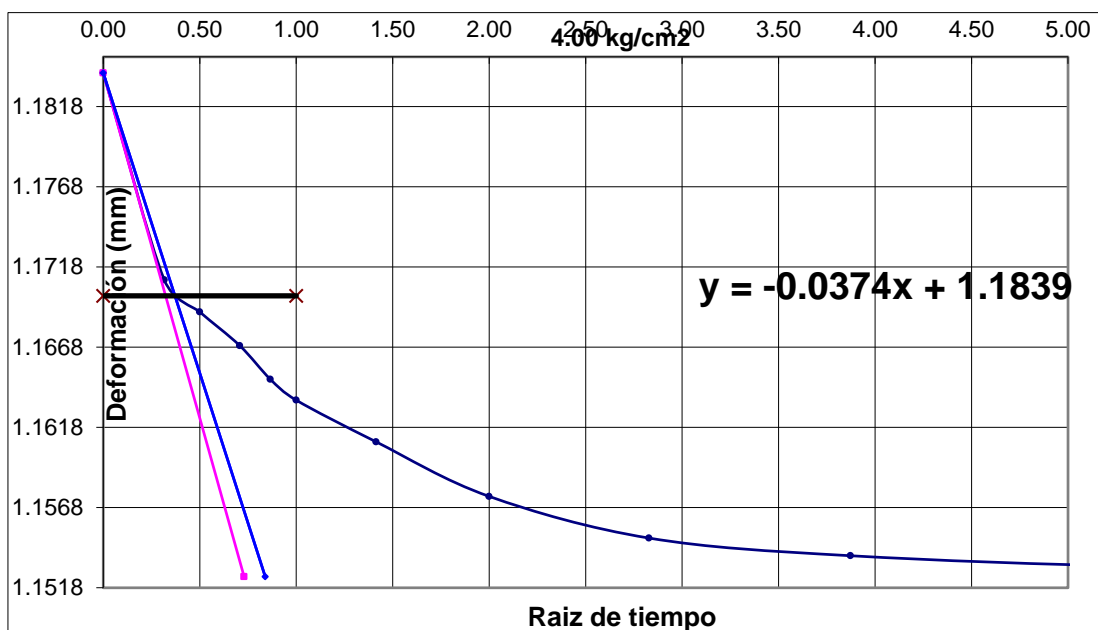


Gráfico 21: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 2

tiempo(min) :	0.14
Cv	5.63

De los 6 resultados del Cv, hallamos el promedio:

Espesor de estrato	
H (cm)	800

Cv promedio	6.18cm²/min
t 90 (real)	87761.01min / 61 días

MUESTRA 3

tiempo (minutos)	$\sqrt[2]{t}$	Lectura vertical 0.125 Kg/cm ²
0.00	0.00	1.2590
0.1	0.32	1.2392
0.25	0.50	1.2387
0.5	0.71	1.2381
0.75	0.87	1.2380
1.00	1.00	1.2379
2.00	1.41	1.2375
4.00	2.00	1.2369
8.00	2.83	1.2369
15.00	3.87	1.2365
60.00	7.75	1.2362
120	10.95	1.2360
240	15.49	1.2357
480	21.91	1.2353
1440	37.95	1.2353

Tabla 29: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 3

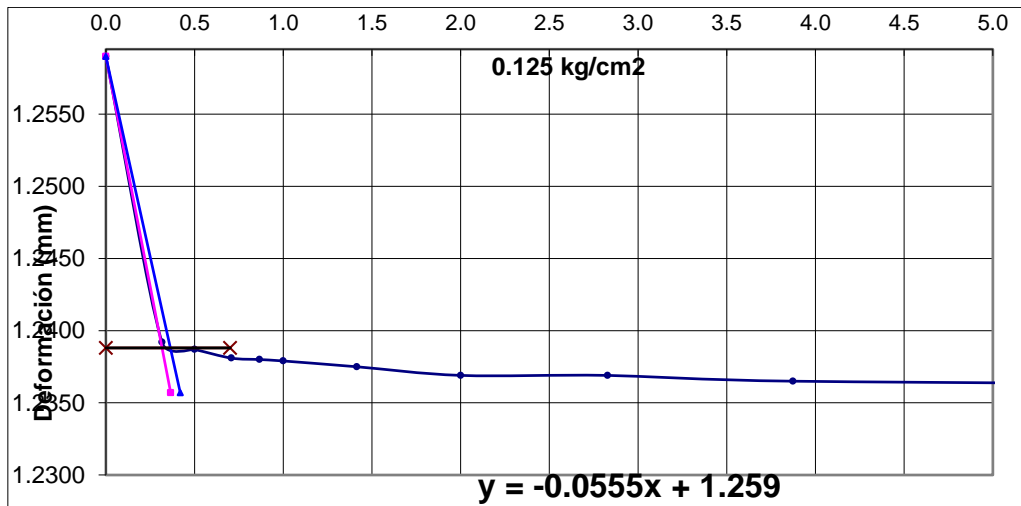


Gráfico 22: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 3

tiempo(min) :	0.13
Cv	6.25

tiempo (minutos)	$\sqrt[2]{t}$	Lectura vertical 0.25 Kg/cm ²
0.00	0.00	1.2353
0.1	0.32	1.2291
0.25	0.50	1.2290
0.5	0.71	1.2287
0.75	0.87	1.2282
1.00	1.00	1.2280
2.00	1.41	1.2279
4.00	2.00	1.2275
8.00	2.83	1.2270
15.00	3.87	1.2266
60.00	7.75	1.2263
120	10.95	1.2260
240	15.49	1.2255
1440	37.95	1.2245

Tabla 30: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 3

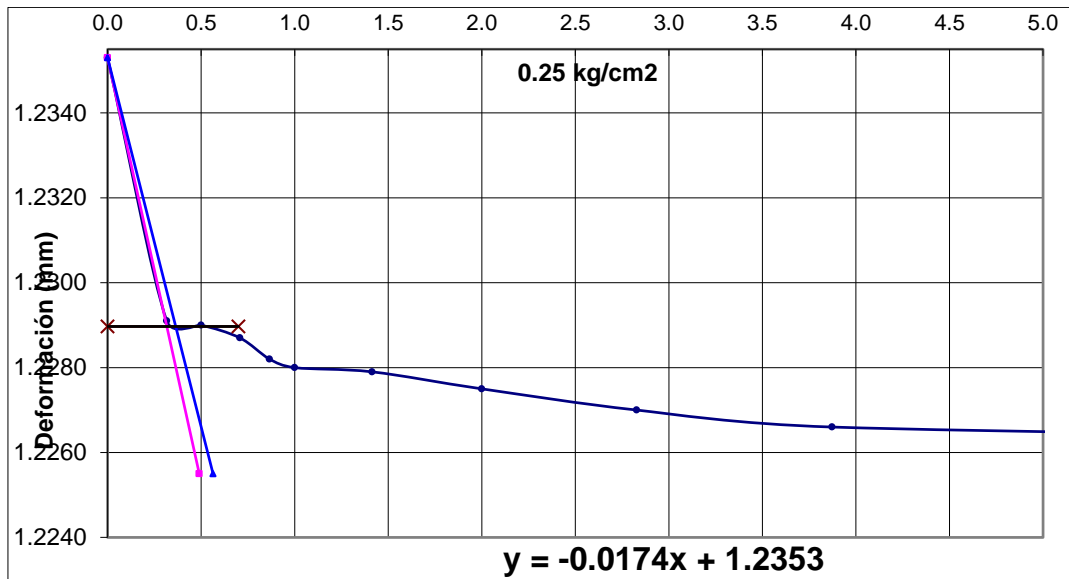


Gráfico 23: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 3

tiempo(min) :	0.13
Cv	6.19

tiempo (minutos)	$\sqrt[3]{t}$	Lectura vertical 0.5 Kg/cm2
0.00	0.00	1.22450
0.1	0.32	1.21510
0.25	0.50	1.21430
0.5	0.71	1.21380
0.75	0.87	1.21310
1.00	1.00	1.21300
2.00	1.41	1.21210
4.00	2.00	1.21180
8.00	2.83	1.21150
15.00	3.87	1.21090
60.00	7.75	1.21010
120	10.95	1.20850
240	15.49	1.20790
480	21.91	1.20780
1440	37.95	1.2078

Tabla 31: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 3

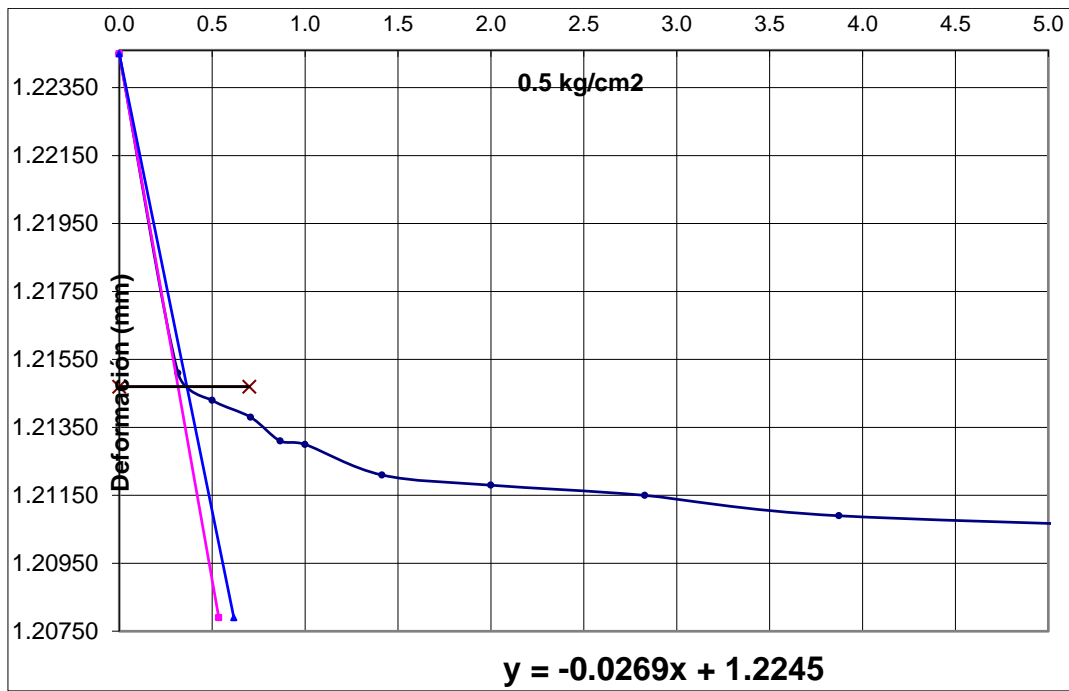


Gráfico 24: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 3

tiempo(min) :	0.13
Cv	6.07

tiempo	$\sqrt[2]{t}$	Lectura vertical
(minutos)		1.00 Kg/cm ²
0.00	0.00	1.2078
0.1	0.32	1.1955
0.25	0.50	1.1940
0.5	0.71	1.1930
0.75	0.87	1.1922
1.00	1.00	1.1918
2.00	1.41	1.1904
4.00	2.00	1.1894
8.00	2.83	1.1886
15.00	3.87	1.1878
60.00	7.75	1.1874
120	10.95	1.1869
240	15.49	1.1862
480	21.91	1.1859
1440	37.95	1.1848

Tabla 32: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 3

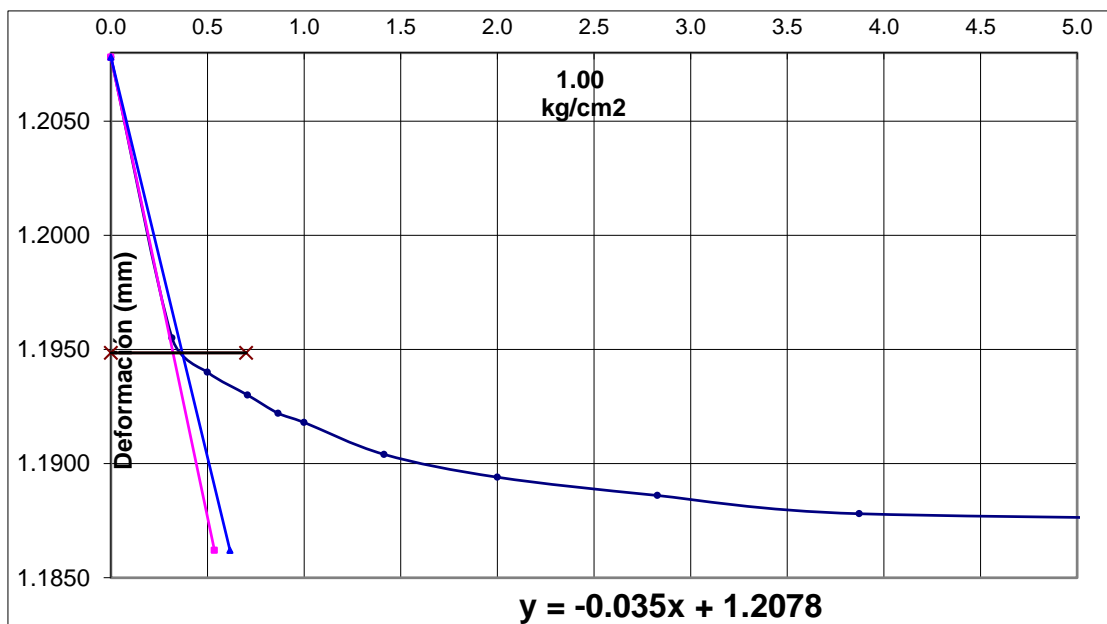


Gráfico 25: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 3

tiempo(min) :	0.14
Cv	5.74

tiempo (minutos)	$\sqrt[3]{t}$	Lectura vertical Kg/cm ²
0.00	0.00	1.18480
0.1	0.32	1.17010
0.25	0.50	1.16850
0.5	0.71	1.16700
0.75	0.87	1.16580
1.00	1.00	1.16490
2.00	1.41	1.16390
4.00	2.00	1.16170
8.00	2.83	1.16060
15.00	3.87	1.15990
60.00	7.75	1.15920
120	10.95	1.15850
240	15.49	1.15800
480	21.91	1.15730
1440	37.95	1.1569

Tabla 33: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 3

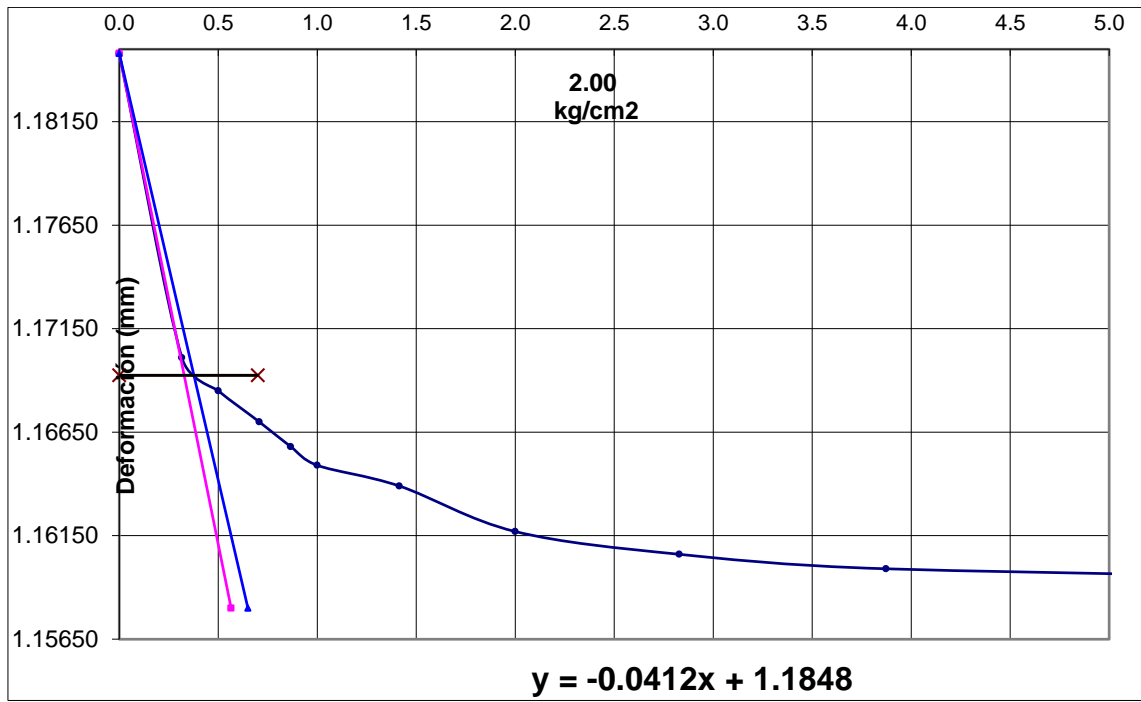


Gráfico 26: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 3

tiempo(min) :	0.14
Cv	5.36

tiempo	$\sqrt[2]{t}$	Lectura vertical
(minutos)		4.00 Kg/cm ²
0.00	0.00	1.15690
0.1	0.32	1.13850
0.25	0.50	1.13550
0.5	0.71	1.13270
0.75	0.87	1.13070
1.00	1.00	1.12910
2.00	1.41	1.12610
4.00	2.00	1.12390
8.00	2.83	1.12210
15.00	3.87	1.12110
60.00	7.75	1.12010
120	10.95	1.11950
240	15.49	1.11890
480	21.91	1.11820
1440	37.95	1.1182

Tabla 34: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 3

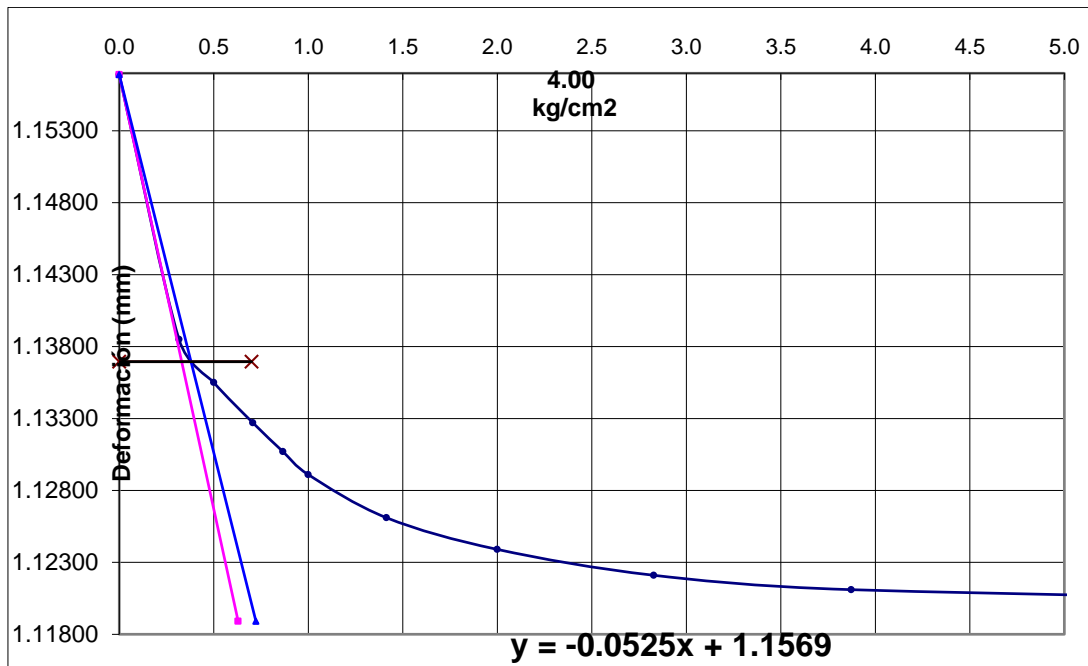


Gráfico 27: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 3

tiempo(min) :	0.14
Cv	5.08

De los 6 resultados del Cv, hallamos el promedio:

Espesor de estrato	
H (cm)	800

Cv promedio	5.78
t 90 (real)	93885.50 min / 65 días

MUESTRA 4

tiempo (minutos)	$\sqrt[2]{t}$	Lectura vertical Kg/cm ²
0.00	0.00	1.2692
0.1	0.32	1.2621
0.25	0.50	1.2616
0.5	0.71	1.2611
0.75	0.87	1.2610
1.00	1.00	1.2610
2.00	1.41	1.2609
4.00	2.00	1.2605
8.00	2.83	1.2600
1440	37.95	1.2500

Tabla 35: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 4

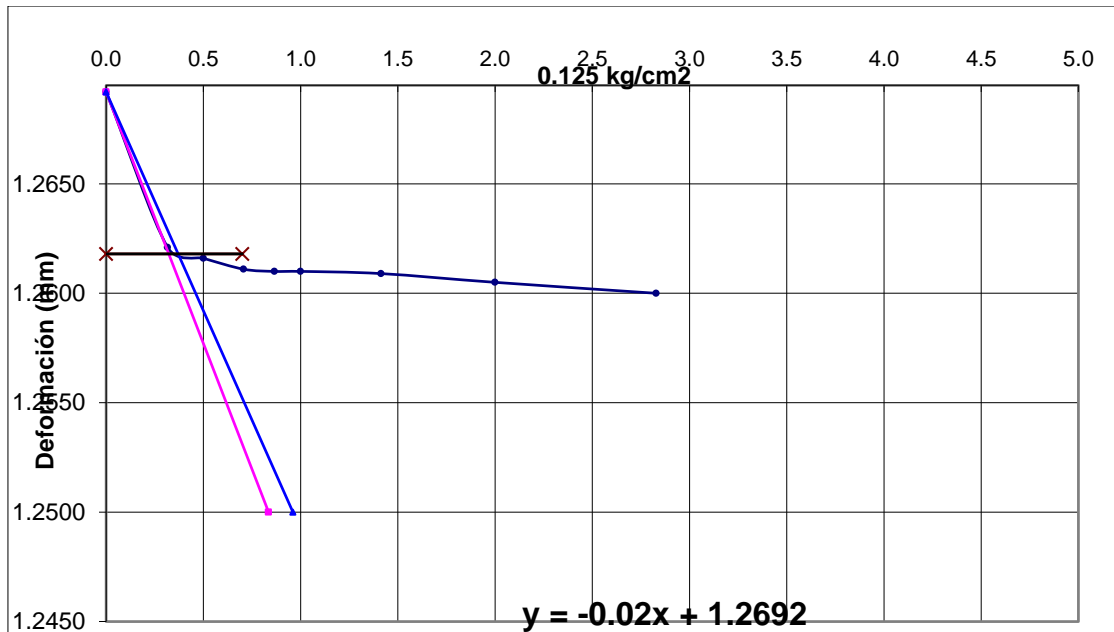


Gráfico 28: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 4

tiempo(min) :	0.14
Cv	6.08

tiempo	$\sqrt[2]{t}$	Lectura vertical
(minutos)		0.25 Kg/cm ²
0.00	0.00	1.2600
0.1	0.32	1.2499
0.25	0.50	1.2499
0.5	0.71	1.2497
0.75	0.87	1.2485
1.00	1.00	1.2482
2.00	1.41	1.2480
4.00	2.00	1.2477
8.00	2.83	1.2472
15.00	3.87	1.2470
30.00	5.48	1.2467
60	7.75	1.2462
120	10.95	1.2454
240	15.49	1.2446
1440	37.95	1.2446

Tabla 36: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 4

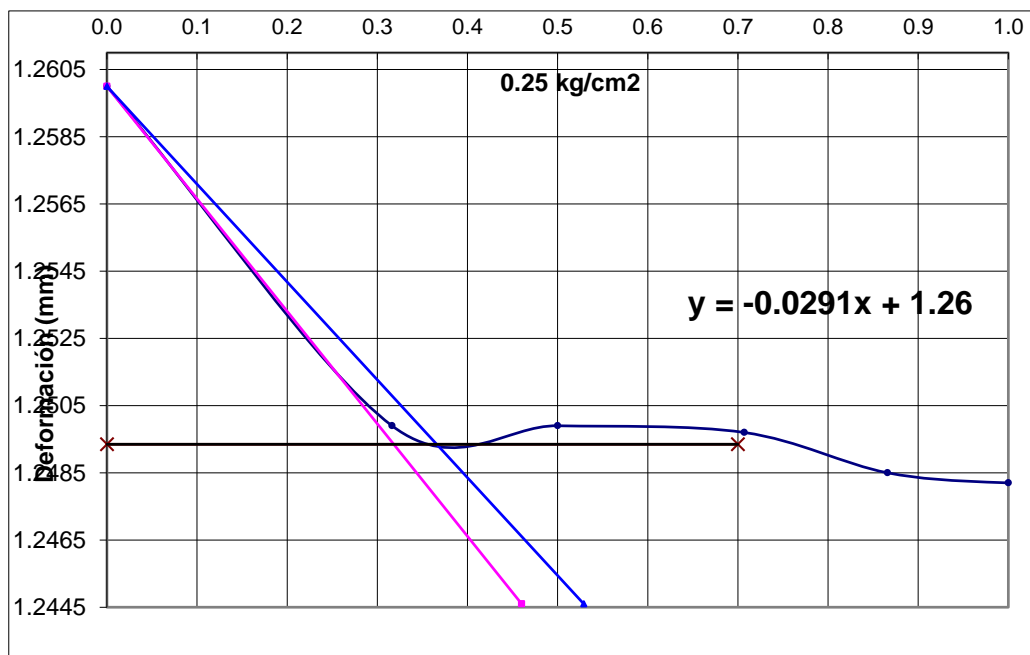


Gráfico 29: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 4

tiempo(min) :	0.13
Cv	6.18

tiempo (minutos)	$\sqrt[3]{t}$	Lectura vertical 0.5 Kg/cm2
0.00	0.00	1.2446
0.1	0.32	1.2432
0.25	0.50	1.2430
0.5	0.71	1.2429
0.75	0.87	1.2429
1.00	1.00	1.2429
2.00	1.41	1.2428
4.00	2.00	1.2427
8.00	2.83	1.2426
15.00	3.87	1.2426
30.00	5.48	1.2426
60	7.75	1.2425
120	10.95	1.2392
240	15.49	1.2390
1440	37.95	1.2242

Tabla 37: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 4

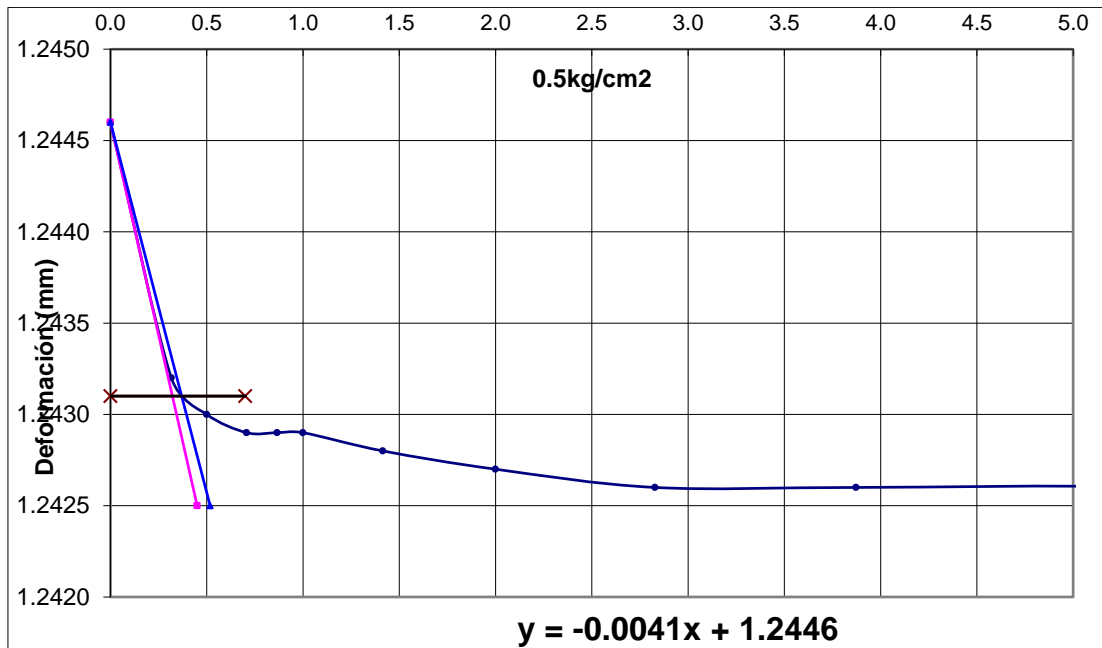


Gráfico 30: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 4

tiempo(min) :	0.13
Cv	6.12

tiempo	$\sqrt[2]{t}$	Lectura vertical
(minutos)		1.0 Kg/cm ²
0.00	0.00	1.2242
0.1	0.32	1.2225
0.25	0.50	1.2222
0.5	0.71	1.2220
0.75	0.87	1.2219
1.00	1.00	1.2217
2.00	1.41	1.2215
4.00	2.00	1.2212
8.00	2.83	1.2210
15.00	3.87	1.2210
30.00	5.48	1.2208
60	7.75	1.2202
120	10.95	1.2200
240	15.49	1.2199

tiempo	$\sqrt[2]{t}$	Lectura vertical
(minutos)		1.0 Kg/cm ²
1440	37.95	1.2199

Tabla 38: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 4

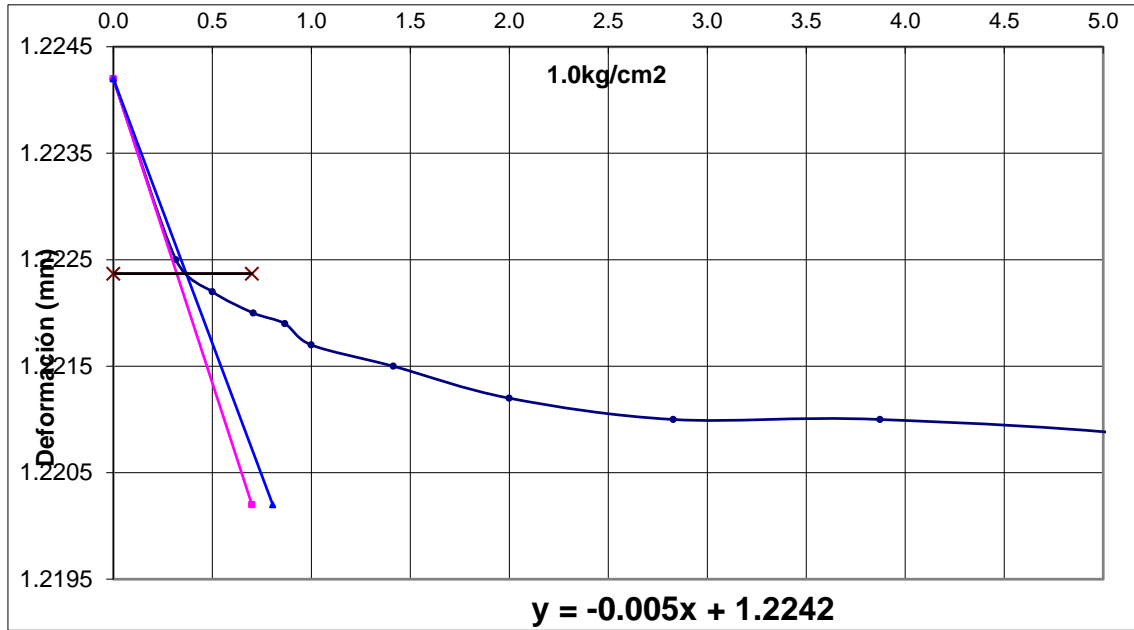


Gráfico 31: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 4

tiempo(min) :	0.13
Cv	6.02

tiempo	$\sqrt[2]{t}$	Lectura vertical
(minutos)		2.0 Kg/cm ²
0.00	0.00	1.2199
0.1	0.32	1.2120
0.25	0.50	1.2111
0.5	0.71	1.2104
0.75	0.87	1.2100
1.00	1.00	1.2098
2.00	1.41	1.2096

tiempo	$\sqrt[2]{t}$	Lectura vertical
(minutos)		2.0 Kg/cm ²
4.00	2.00	1.2093
8.00	2.83	1.2085
15.00	3.87	1.2077
30.00	5.48	1.2066
60	7.75	1.2060
120	10.95	1.2051
1440	37.95	1.2051

Tabla 39: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 4

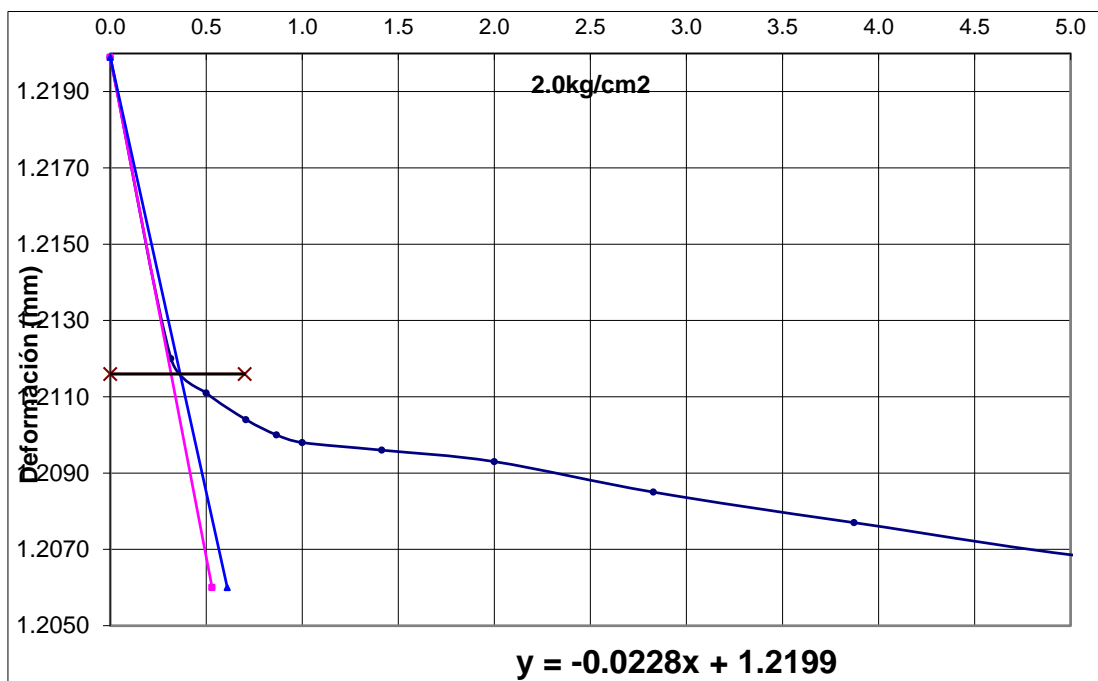


Gráfico 32: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 4

tiempo(min) :	0.13
Cv	5.99

tiempo	$\sqrt[2]{t}$	Lectura vertical
(minutos)		4.0 Kg/cm ²
0.00	0.00	1.2051
0.1	0.32	1.1970

0.25	0.50	1.1959
0.5	0.71	1.1948
0.75	0.87	1.1943
1.00	1.00	1.1938
2.00	1.41	1.1925
4.00	2.00	1.1915
8.00	2.83	1.1901
15.00	3.87	1.1892
30.00	5.48	1.1891
60	7.75	1.1889
120	10.95	1.1880
1440	37.95	1.1880

Tabla 40: Lectura vertical del ensayo de Consolidación Muestra 4

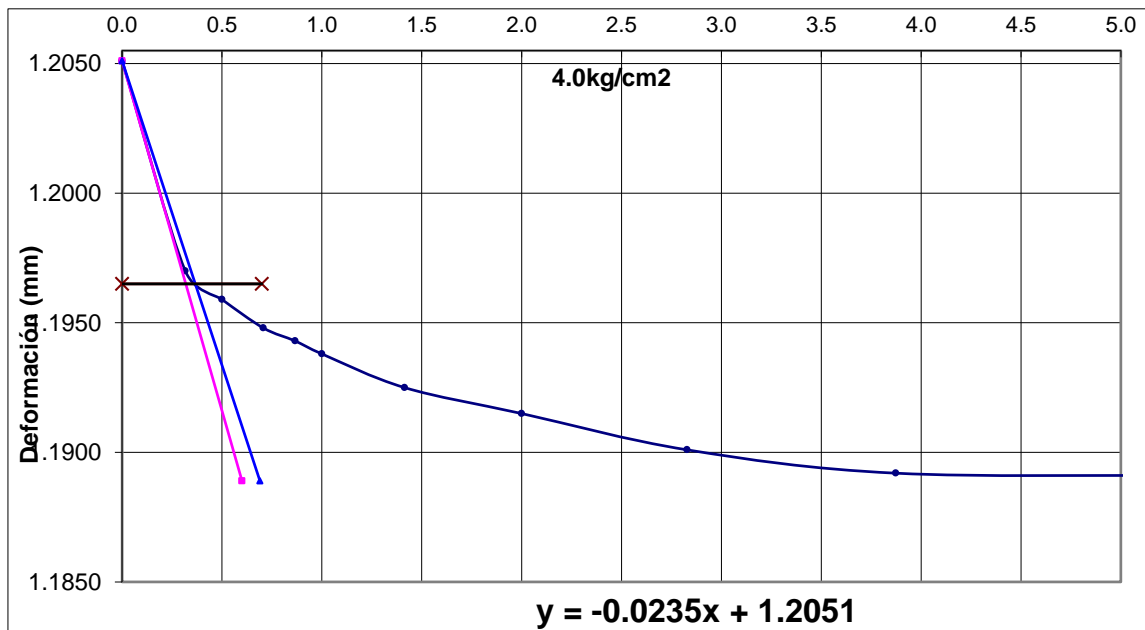


Gráfico 33: Curva de logaritmo del tiempo Muestra 4

tiempo(min) :	0.13
Cv	5.83

De los 6 resultados del Cv, hallamos el promedio:

Espesor de estrato	
H (cm)	800

Cv promedio	6.04 cm ² /min
t ₉₀ (real)	89907.07 min / 62 días

4.3. Contratación de la Hipótesis

Se pudo verificar mediante los ensayos realizados que las muestras de suelo estudiadas corresponden a una arcilla de baja plasticidad (CL) según la clasificación S.U.C.S; asimismo, en dichos estratos del suelo donde reposarán las estructuras, pudimos constatar mediante la prueba de consolidación unidimensional, que el esfuerzo de preconsolidación es menor al esfuerzo efectivo actual por lo que se clasifica como una arcilla normalmente consolidada (tabla 41); por otro lado pudimos obtener los asentamientos y tiempos por consolidación los cuales justifican que las muestras de suelo se encuentran en la condición de normalmente consolidada.

A continuación se muestran los valores obtenidos:

# de Muestra	σ_{pc} (Esfuerzo de Preconsolidación)	($\sigma_{total-actual}$)
Muestra 01	1.54 kg/cm ²	10.85 kg/cm ²
Muestra 02	1.24 kg/cm ²	4.46 kg/cm ²
Muestra 03	0.89 kg/cm ²	10.41 kg/cm ²
Muestra 04	0.50 kg/cm ²	5.53 kg/cm ²

Tabla 41: Resumen de Esfuerzo de preconsolidación de las 04 muestras

4.4. Discusión

La presente investigación tuvo como propósito identificar y describir las características físicas de un determinado suelo de la zona de Sagary – Cusco; además de conocer el comportamiento del mismo en base al proceso de sobrecarga al cual ha sido sometido durante su vida geológica.

En base a los cálculos realizados en el presente estudio, el suelo es clasificado como una arcilla de baja plasticidad CL (según Clasificación SUCS), asimismo;

como resultado de las pruebas de consolidación se obtuvieron arcillas Normalmente Consolidadas para las 04 muestras ensayadas en laboratorio.

De acuerdo a los resultados de las 04 muestras ensayadas en el laboratorio, podemos concluir que el método gráfico de Casagrande (1936) (e vs $\text{Log } \sigma'$) y la prueba de consolidación son los más adecuados para el tipo de suelo evaluado (CL baja Plasticidad) ya que la ventaja principal de la prueba de consolidación (carga continua) es registrar en su posibilidad las lecturas aproximadas de los parámetros (e , ε , m_v y C_v). No obstante ello, de acuerdo a la Teoría de Terzaghi basada en sus criterios de consolidación, se muestra algunas de sus hipótesis que fueron tomadas en cuenta para el desarrollo del presente estudio. Los cálculos para para las 04 muestras ensayadas son mostradas desde las tabla 9 a la 16.

- El Suelo está totalmente saturado y es homogéneo.
- Tanto el agua como las partículas de suelo son incomprensibles.
- La variación de volumen es unidimensional en la dirección del esfuerzo aplicado.
- El coeficiente de permeabilidad en esta dirección permanece constante.

De acuerdo a los asentamientos por consolidación obtenidos en los ensayos de laboratorio, podemos decir que debido a que estos no son tan significativos, el suelo en estudio está cerca de alcanzar su estado de totalmente consolidado.

Por tal motivo, para los asentamientos obtenidos en las muestras ensayadas, se propone una solución económica que consiste en la construcción de un terraplén en el emplazamiento previsto, con el propósito de que el terreno blando pueda llegar su estado de totalmente consolidado. Sin embargo, debido a las pequeñas deformaciones por consolidación obtenidas en los ensayos, se tendrá únicamente que poner atención especial a que el terraplén no fuese muy alto ya que este, en esa condición, podría producir alguna una falla o rotura por deslizamiento en el terreno.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Mediante los ensayos de compresibilidad realizados, se pudo conocer que el suelo evaluado se encuentra en la condición de normalmente consolidado; por consiguiente se afirma que el terreno estudiado nunca estuvo sometido a una presión mayor que la que corresponde a su cubierta actual.

σ'_{pc} (Esfuerzo de Preconsolidación)	$\sigma'_{pc} < \sigma_{total-actual}$	($\sigma_{total-actual}$)
1.54 kg/cm ²	<	10.85 kg/cm ²
1.24 kg/cm ²	<	4.46 kg/cm ²
0.89 kg/cm ²	<	10.41 kg/cm ²
0.50 kg/cm ²	<	5.53 kg/cm ²

Tabla 42: Resumen de Esfuerzo de Preconsolidación de las 04 muestras

2. Se pudo observar que los asentamientos experimentales calculados son relativamente bajos por lo cual se puede decir que las cargas actuales aplicadas al terreno de estudio han hecho que este alcance en gran porcentaje su estado total de consolidación; asimismo, mediante este comportamiento del suelo podemos sostener la opinión que el suelo en estudio es normalmente consolidado.

- ✓ Asentamiento Muestra 01= 3.70 cm
- ✓ Asentamiento Muestra 02= 2.56 cm
- ✓ Asentamiento Muestra 03= 1.39 cm
- ✓ Asentamiento Muestra 04= 1.13 cm

3. De acuerdo a los datos obtenidos del gráfico de Taylor, los tiempos obtenidos para cada proceso consolidación fueron relativamente cortos lo cual que el suelo se encuentre en la condición de arcilla normalmente consolidada.

- ✓ Tiempo de Consolidación - Muestra 01 = 75 días
- ✓ Tiempo de Consolidación - Muestra 02 = 61 días
- ✓ Tiempo de Consolidación - Muestra 03 = 65 días
- ✓ Tiempo de Consolidación - Muestra 04 = 62 días

4. El coeficiente de consolidación vertical CV presentó valores relativamente altos puesto que en esta etapa el suelo presenta mayores vacíos que al colocarle una carga, la cual hacen que la disipación de los excesos de las presiones intersticiales ocurra rápidamente; esto puede apreciarse tanto en las gráficas de Taylor y Casagrande, mediante los gráficos del grafico 10 al 33.

- ✓ Cv - Muestra 01 = 5.05 cm² /min
- ✓ Cv - Muestra 02 = 6.18 cm² /min
- ✓ Cv - Muestra 03 = 5.78 cm² /min
- ✓ Cv - Muestra 04 = 6.04 cm² /min

5. Los índices de compresibilidad (Cc) mostrados en las 04 muestras (Gráficos 6-9) presentaron valores menores a 0.2 como se muestra en la Tabla 05; esto nos indica que el suelo es de baja compresibilidad lo que significa que presentará deformaciones bajas en tiempos cortos; asimismo, sostenemos la opinión que el suelo en estudio es normalmente consolidado.

- ✓ Cc - Muestra 01 = 0.15
- ✓ Cc - Muestra 02 = 0.04
- ✓ Cc - Muestra 03 = 0.05
- ✓ Cc - Muestra 04 = 0.02

6. De acuerdo a las características físicas obtenidas para las 04 muestras, podemos observar que son similares; asimismo, el comportamiento de todas las 04 muestras, por tanto podemos concluir que en la área de estudio se tienen suelos casi homogéneos con comportamientos similares.

RECOMENDACIONES

1. En base los estudios geotécnicos realizados, se recomienda una solución muy económica para el problema de asentamientos que será provocado por la cimentación de la plataforma, este método consiste en la construcción de un terraplén en el emplazamiento previsto para consolidar terreno blando, eliminando posteriormente el terraplén y colocando por último la estructura sobre el terreno consolidado, esta técnica es la que se denomina precarga o sobrecarga previa.

De acuerdo a nuestro cálculos realizados podemos observar que los asentamientos producidos por la precarga no tienen gran importancia por lo cual únicamente se debe prestarse atención especial a que el terraplén no fuera lo suficientemente grade para producirse un falla o rotura por deslizamiento del terreno; asimismo se tendría que tener en cuenta con qué rapidez se podría construir el mismo, durante cuánto tiempo deber dejarse el terraplén con el objeto de que el terreno se consolidara lo suficiente para permitir la construcción del plataforma y cuanto se asentaría el terraplén.

En conclusión creemos y recomendamos tomar esta medida ya que es la más adecuada y económica para solucionar el problema principal de asentamientos que es

2. De acuerdo a los asentamientos cortos obtenidos de las 04 muestras, podemos asumir que en base al cuadro de asentamientos permisibles de cimentaciones propuesto por Sowers 1962, la estructura propuesta no sufriría ningún daño funcional ya que el asentamiento del suelo está por debajo de lo propuesto.

Asentamientos Permisibles

ELEMENTO O INSTALACIÓN	ASENTAMIENTO PERMISIBLE
Obras de drenaje	15 a 30 cm
Accesos a la estructura	30 a 60 cm
Muros de mampostería	2.5 a 5 cm
Marcos estructurales de concreto o acero	5 a 10 cm
Losas o cajones de cimentación	7.5 a 30 cm

Tomado de Sowers (1962)

3. Al momento de obtener los parámetros σ_{pc} , C_c y C_s del gráfico de consolidación de Casagrande y el C_v del grafico de Taylor, se recomienda ser bastante exacto en el trazo ya que estos estarán a criterio propia de cada persona que lo realice.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

Braja M. Das (2006), Principio de la Ingeniería de Cimentaciones, México DF, México: International Thomson Editores.

Genaro Humala Aybar (1999), Mecánica de Suelos Ejercicios Resueltos, Lima, Perú: Ara Editores.

Jiménez Salas, J., (1981), Geotecnia y Cimientos III, Madrid, España: Editorial Rueda.

Juárez Badillo, E. y Rico Rodríguez, (2001), Fundamentos de la Mecánica de Suelos, México DF, México: Limusa Noriega y Editores.

Maña, F., (1978), Cimentaciones Superficiales, Barcelona, España: Editorial Blume.

R. Huanca Borda (1996), Problemas de Mecánica de Suelos, Lima, Perú: HB Editores.

Roy Whitlow (1994), Fundamentos de la Mecánica de Suelos, México DF, México: Compañía Editorial Continental S.A.

T. William Lambe, (1979), Mecánica de Suelos, México DF, México: Limusa Noriega y Editores.

.

ANEXOS

Anexo 1: Cálculos –Prueba de Consolidación Unidimensional

Muestra M1

Condiciones Generales

Altura de la Muestra (ho)= 2 cm

Diámetro de la Muestra (D) = 5 cm

Gravedad Especifica (Gs) = 2.73

1. N° de moldes		3	
2. W molde	(gr)	56.78	gr
3. Altura de swa	(cm)	2	cm
4. Diámetro swa	(cm)	5	cm
5. W molde sw	(gr)	126.92	gr
6. N° de recipiente		94	
7. W recipiente	(gr)	16.07	gr
8. W recipiente sw	(gr)	140.96	gr
9. W recipiente s	(gr)	123.42	gr

10. Peso humedo inicial (Wwi)	(5)-(2)	70.14	gr
11. Peso humedo final (Wwf)	(8)-(7)-(2)	68.11	Gr
12. Peso seco (Ws)	(9)- (7)-(2)	50.57	gr
14. Peso Unitario del agua (Yw)		1.00	gr/cm ³
15. Lectura Inicial (Li)		1.2310	cm
16. Lectura final (Lf)		0.9745	cm

Cálculos

Área de la muestra

$$A = \pi \times (D)^2 / 4 = \pi \times (5)^2 / 4 = 19.63 \text{ cm}^2$$

Volumen Inicial

$$V_i = A \times h_o = 19.63 \times 2 = 39.27 \text{ cm}^3$$

Volumen Final

$$V_f = A \times (2 - (L_o - L_f)) = 19.63 \times (2 - (1.2310 - 0.9745)) = 34.23 \text{ cm}^3$$

Humedad Inicial

$$W_i = (W_{wi} - W_s) / W_s = (70.14 - 50.57) / 50.57 = 38.70 \%$$

Humedad Final

$$W_f = (W_{wf} - W_s) / W_s = (68.11 - 50.57) / 50.57 = 34.68\%$$

Peso Específico Inicial

$$Y_i = W_{wi}/v_i = 70.14/39.27 = 1.79 \text{ gr/cm}^3$$

Peso Específico Final

$$Y_f = W_{wf}/v_f = 68.11/34.23 = 1.79 \text{ gr/cm}^3$$

Densidad Seca Inicial

$$Y_{di} = W_s/v_i = 50.27/39.27 = 1.29 \text{ gr/cm}^3$$

Densidad Seca Final

$$Y_{df} = W_s/v_f = 50.27/34.23 = 1.48 \text{ gr/cm}^3$$

Volumen de los Sólidos

$$V_s = W_s/(G_s \times Y_w) = 50.57/(2.73 \times 1.00) = 18.52 \text{ cm}^3$$

Altura Teórica de los Sólidos

$$H_s = V_s/A = 18.52 / 19.63 = 0.94 \text{ cm}$$

Relación de Vacíos Inicial

$$e_o = (h_o - H_s)/H_s = (2 - 0.94)/0.94 = 1.12$$

Relación de Vacíos Final

$$e_f = e_o - (L_i - L_f)/H_s = 1.12 - (1.2310 - 0.9745)/0.94 = 0.85$$

Grado de Saturación Inicial

$$G_i = G_s \times W_i / e_o = 2.73 \times 38.70 / 1.12 = 94.33\%$$

$$G_f = G_s \times W_f / e_f = 2.73 \times 34.68 / 0.85 = 100\%$$

Variación de altura (Δh_i)

$$\Delta h_1 = L_i - L_f$$

Δh_1		0
Δh_2	1.2310 - 1.2030	0.0280
Δh_3	1.2030 - 1.1846	0.0184
Δh_4	1.1846 - 1.1570	0.0276
Δh_5	1.1570 - 1.1150	0.0420
Δh_6	1.1150 - 1.0300	0.0850
Δh_7	1.0300 - 0.9745	0.0555
Δh_8	0.9745 - 0.9770	-0.0025
Δh_9	0.9770 - 0.9858	-0.0088
Δh_{10}	0.9858 - 0.9980	-0.0122

Δh_{11}	0.9980 - 1.0109	-0.0129
Δh_{12}	1.01409 - 1.0222	-0.0113
Δh_{13}	1.0222 - 1.0482	-0.0260

Deformación Unitaria (ϵ_i)

$$\epsilon_i = \Delta h_i / h_o * 100$$

ϵ_1	0.000
ϵ_2	1.4000
ϵ_3	0.9200
ϵ_4	1.3800
ϵ_5	2.1000
ϵ_6	4.2500
ϵ_7	2.7750
ϵ_8	-0.1250
ϵ_9	-0.4400
ϵ_{10}	-0.6100
ϵ_{11}	-0.6450
ϵ_{12}	-0.5650
ϵ_{13}	-1.3000

Variación de Relación de Vacíos (Δe_i)

$$\Delta e_i = \Delta h_i / H_s$$

Δe_1	0
Δe_2	0.0297
Δe_3	0.0195
Δe_4	0.0293
Δe_5	0.0445
Δe_6	0.0900
Δe_7	0.0588
Δe_8	-0.0026
Δe_9	-0.0093
Δe_{10}	-0.0129
Δe_{11}	-0.0137
Δe_{12}	-0.0120
Δe_{13}	-0.0276

Relacion de Vacios (ei)

$$e_i = e_o - \Delta e_i$$

e1	1.1200
e2	1.0903
e3	1.0708
e4	1.0415
e5	0.9970
e6	0.9069
e7	0.8481
e8	0.8507
e9	0.8601
e10	0.8730
e11	0.8867
e12	0.8986
e13	0.9262

Altura Promedio (Hpi)

$$H_{pi} = h_o - \Delta h_i$$

Hp1	2.0000
Hp2	1.9720
Hp3	1.9536
Hp4	1.9260
Hp5	1.8840
Hp6	1.7990
Hp7	1.7435
Hp8	1.7460
Hp9	1.7548
Hp10	1.7670
Hp11	1.7799
Hp12	1.7912

Hp13	1.8172
------	--------

Alturo de Drenaje (Hdi)

$$Hdi = Hpi/2$$

Hd1	1.0000
Hd2	0.9860
Hd3	0.9768
Hd4	0.9630
Hd5	0.9420
Hd6	0.8995
Hd7	0.8718
Hd8	0.8730
Hd9	0.8774
Hd10	0.8835
Hd11	0.8900
Hd12	0.8956
Hd13	0.9086

Cálculos de Esfuerzos y asentamientos

Muestra M1: Calicata CC-M2 (4.50-5.80)

CL con arena - Cellar

$$0.0\text{m} - 4.5\text{m CL} / \text{densidad} = 1.90 \text{ gr/cm}^3 \quad \sigma_{\text{total}} = 8.55 \text{ gr/cm}^2$$

$$4.5 - 5.80 \text{ m CL con arena} / \text{densidad} = 1.77 \text{ gr/cm}^3 \quad \sigma_{\text{total}} = 2.30 \text{ gr/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{total}} \text{ Esfuerzo Total en el punto más bajo (a } 5.8\text{m)} = 8.55 + 2.30 = 10.85 \text{ gr/cm}^2$$

$$\sigma_{pc} \text{ (Esfuerzo de Preconsolidación)} = 1.54 \text{ kg/cm}^2 < (\sigma_{\text{total-actual}}) = 10.85 \text{ kg/cm}^2$$

(Arcilla Normalmente Consolidada)

Nota: Se consideró el Nivel freático al ras del terreno – Condición más desfavorable

$$\sigma'v \text{ (Esfuerzo efectivo)} = 10.85 \text{ kg/cm}^2 - 5.8 \text{ kg/cm}^2 = 5.05 \text{ kg/cm}^2$$

$$Cc = 0.15$$

$$H = 655 \text{ cm}$$

$$e = 1.12$$

$$\sigma'v = 5.05 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta\sigma = 1.02 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Asentamiento por Consolidación} = \frac{0.15 \times 655}{(1 + 1.12)} + \frac{\log(5.05 + 1.02)}{5.05}$$

$$\text{Asentamiento por Consolidación} = 3.7 \text{ cm} / \text{ tiempo de consolidación} = 75 \text{ días}$$

Muestra M2

Condiciones Generales

Altura de la Muestra (ho)= 2 cm

Diámetro de la Muestra (D) = 5 cm

Gravedad Especifica (Gs) = 2.68

1. N° de moldes	2
2. W molde	57.19 gr
3. Altura de swa (cm)	2 cm
4. Diámetro swa (cm)	5 cm
5. W molde sw (gr)	134.35 gr
6. N° de recipiente	R-12
7. W recipiente (gr)	28.25 gr
8. W recipiente sw (gr)	162.8 gr
9. W recipiente s (gr)	145.9 gr

10. Peso humedo inicial (Wwi) (5)- (2)	77.16	gr
11. Peso humedo final (Wwf) (8)-(7)-(2)	77.36	Gr
12. Peso seco (Ws) (9)- (7)-(2)	60.46	gr
14. Peso Unitario del agua (Yw)	1.00	gr/cm ³
15. Lectura Inicial (Li)	1.2366	cm
16. Lectura final (Lf)	1.1520	cm

Cálculos

Área de la muestra

$$A = \pi \times (D)^2 / 4 = \pi \times (5)^2 / 4 = 19.63 \text{ cm}^2$$

Volumen Inicial

$$V_i = A \times h_o = 19.63 \times 2 = 39.27 \text{ cm}^3$$

Volumen Final

$$V_f = A \times (2 - (L_o - L_f)) = 19.63 \times (2 - (1.2366 - 1.1520)) = 37.61 \text{ cm}^3$$

Humedad Inicial

$$W_i = (W_{wi} - W_s) / W_s = (77.16 - 60.46) / 60.46 = 27.62 \%$$

Humedad Final

$$W_f = (W_{wf} - W_s) / W_s = (77.36 - 60.46) / 60.46 = 27.95\%$$

Peso Especifico Inicial

$$Y_i = W_{wi} / v_i = 77.16 / 39.27 = 1.96 \text{ gr/cm}^3$$

Peso Especifico Final

$$Y_f = W_w / v_f = 77.36 / 37.61 = 2.06 \text{ gr/cm}^3$$

Densidad Seca Inicial

$$Y_{di} = W_s / v_i = 60.46 / 39.27 = 1.51 \text{ gr/cm}^3$$

Densidad Seca Final

$$Y_{df} = W_s / v_f = 60.46 / 37.61 = 1.61 \text{ gr/cm}^3$$

Volumen de los Solidos

$$V_s = W_s / (G_s \times Y_w) = 60.46 / (2.68 \times 1.00) = 22.56 \text{ cm}^3$$

Altura Teórica de los Solidos

$$H_s = V_s / A = 22.56 / 19.63 = 1.14 \text{ cm}$$

Relación de Vacíos Inicial

$$e_o = (h_o - H_s) / H_s = (2 - 1.15) / 1.15 = 0.74$$

Relación de Vacíos Final

$$e_f = e_o - (L_i - L_f) / H_s = 0.76 - (1.2366 - 1.1520) / 1.14 = 0.67$$

Grado de Saturación Inicial

$$G_i = G_s \times W_i / e_o = 2.68 \times 27.62 / 0.74 = 99.24\%$$

$$G_f = G_s \times W_f / e_f = 2.68 \times 27.95 / 0.67 = 100\%$$

Variación de altura (Δh_i)

$$\Delta h_1 = L_i - L_f$$

Δh_1		0
Δh_2	1.2366 - 1.2250	0.0116
Δh_3	1.2250 - 1.2193	0.0057
Δh_4	1.2193 - 1.2131	0.0062
Δh_5	1.2131 - 1.1998	0.0133
Δh_6	1.1998 - 1.1839	0.0159
Δh_7	1.1839 - 1.1520	0.0319
Δh_8	1.1520 - 1.1559	-0.0039
Δh_9	1.1559 - 1.1625	-0.0066
Δh_{10}	1.1625 - 1.1691	-0.0066
Δh_{11}	1.1691 - 1.1770	-0.0079
Δh_{12}	1.1770 - 1.819	-0.0049
Δh_{13}	1.1819 - 1.1948	-0.0129

Deformación Unitaria (ϵ_i)

$$\epsilon_i = \Delta h_i / h_o * 100$$

ϵ_1	0.0000
ϵ_2	0.5800
ϵ_3	0.2850
ϵ_4	0.3100
ϵ_5	0.6650
ϵ_6	0.7950
ϵ_7	1.5950
ϵ_8	-0.1950
ϵ_9	-0.3300
ϵ_{10}	-0.3300
ϵ_{11}	-0.3950
ϵ_{12}	-0.2450
ϵ_{13}	-0.6450

Variación de Relación de Vacíos (Δe_i)

$$\Delta e_i = \Delta h_i / H_s$$

Δe_1	0.0000
Δe_2	0.0101
Δe_3	0.0050
Δe_4	0.0054
Δe_5	0.0116
Δe_6	0.0138
Δe_7	0.0278
Δe_8	-0.0034
Δe_9	-0.0057
Δe_{10}	-0.0057
Δe_{11}	-0.0069
Δe_{12}	-0.0043
Δe_{13}	-0.0112

Relación de Vacíos (e_i)

$$e_i = e_o - \Delta e_i$$

e_1	0.74071
-------	---------

e2	0.73061
e3	0.72565
e4	0.72026
e5	0.70868
e6	0.69484
e7	0.66708
e8	0.67047
e9	0.67622
e10	0.68196
e11	0.68884
e12	0.69310
e13	0.70433

Altura Promedio (Hpi)

$H_{pi} = h_o - \Delta h_i$

Hp1	2.00
Hp2	1.9884
Hp3	1.9827
Hp4	1.9765
Hp5	1.9632
Hp6	1.9473
Hp7	1.9154
Hp8	1.9193
Hp9	1.9259
Hp10	1.9325
Hp11	1.9404
Hp12	1.9453
Hp13	1.9582

Alturo de Drenaje (Hdi)

$$H_{di} = H_{pi}/2$$

Hd1	1.0000
Hd2	0.9942
Hd3	0.9914
Hd4	0.9883
Hd5	0.9816
Hd6	0.9737
Hd7	0.9577
Hd8	0.9597
Hd9	0.9630
Hd10	0.9663
Hd11	0.9702
Hd12	0.9727
Hd13	0.9791

Cálculos de Esfuerzos y asentamientos

Muestra M2: calicata CT3-M2 (0.00 – 2.30)

CL arenosa - Cellar

0.00- 2.30 CL arenosa / densidad = 1.94 gr/cm³ $\sigma_{total} = 4.46 \text{ gr/cm}^2$

σ_{total} Esfuerzo Total en el punto más bajo (a 2.3m) = 4.46 gr/cm²

σ'_{pc} (Esfuerzo de Preconsolidación) = 1.24 kg/cm² < (σ_{total} -actual) = 4.46 kg/cm²

(Arcilla Normalmente Consolidada)

Nota: Se consideró el Nivel freático al ras del terreno – Condición más desfavorable

σ'_v (Esfuerzo efectivo) = 4.46 kg/cm² - 2.3 kg/cm² = 2.16 kg/cm²

C_c = 0.04

H = 655 cm

e = 0.74

$\sigma'_v = 2.16 \text{ kg/cm}^2$

$\Delta\sigma = 1.02 \text{ kg/cm}^2$

$$\text{Asentamiento por Consolidación} = \frac{0.04 \times 655}{(1 + 0.74)} + \frac{\log(2.16 + 1.02)}{2.16}$$

Asentamiento por Consolidación = 2.56 cm / tiempo de consolidación = 61 días

Muestra M3

Condiciones Generales

Altura de la Muestra (ho) = 2 cm

Diámetro de la Muestra (D) = 5 cm

Gravedad Especifica (Gs) = 2.66

1. N° de moldes	1	
2. W molde	56.24	gr
3. Altura de swa (cm)	2	cm
4. Diámetro swa (cm)	5	cm
5. W molde sw (gr)	132.50	gr
6. N° de recipiente	R-6	
7. W recipiente (gr)	47.42	gr
8. W recipiente sw (gr)	179.66	gr
9. W recipiente s (gr)	163.13	gr

10. Peso humedo inicial (Wwi) (5)-(2)	76.10	gr
11. Peso humedo final (Wwf) (8)-(7)-(2)	75.84	gr
12. Peso seco (Ws) (9)-(7)-(2)	59.31	gr
14. Peso Unitario del agua (Yw)	1.00	gr/cm ³
15. Lectura Inicial (Li)	1.2590	cm
16. Lectura final (Lf)	1.1182	cm

Cálculos

Área de la muestra

$$A = \pi \times (D)^2 / 4 = \pi \times (5)^2 / 4 = 19.63 \text{ cm}^2$$

Volumen Inicial

$$V_i = A \times h_o = 19.63 \times 2 = 39.27 \text{ cm}^3$$

Volumen Final

$$V_f = A \times (2 - (L_o - L_f)) = 19.63 \times (2 - (1.2590 - 1.1182)) = 36.51 \text{ cm}^3$$

Humedad Inicial

$$W_i = (W_{wi} - W_s) / W_s = (76.10 - 59.31) / 59.31 = 28.31 \%$$

Humedad Final

$$W_f = (W_{wf} - W_s) / W_s = (75.84 - 59.31) / 59.31 = 27.87 \%$$

Peso Especifico Inicial

$$Y_i = W_{wi} / v_i = 76.10 / 39.27 = 1.94 \text{ gr/cm}^3$$

Peso Especifico Final

$$Y_f = W_w / v_f = 75.84 / 36.51 = 2.08 \text{ gr/cm}^3$$

Densidad Seca Inicial

$$Y_{di} = W_s / v_i = 59.31 / 39.27 = 1.51 \text{ gr/cm}^3$$

Densidad Seca Final

$$Y_{df} = W_s / v_f = 59.31 / 36.51 = 1.62 \text{ gr/cm}^3$$

Volumen de los Solidos

$$V_s = W_s / (G_s \times Y_w) = 59.31 / (2.66 \times 1.00) = 22.30 \text{ cm}^3$$

Altura Teórica de los Solidos

$$H_s = V_s / A = 22.30 / 19.63 = 1.14 \text{ cm}$$

Relación de Vacíos Inicial

$$e_o = (h_o - H_s) / H_s = (2 - 1.15) / 1.15 = 0.76$$

Relación de Vacíos Final

$$e_f = e_o - (L_i - L_f) / H_s = 1.14 - (1.2590 - 1.1182) / 1.14 = 0.64$$

Grado de Saturación Inicial

$$G_i = G_s \times W_i / e_o = 2.66 \times 28.31 / 0.76 = 98.92\%$$

$$G_f = G_s \times W_f / e_f = 2.66 \times 27.87 / 0.64 = 100\%$$

Variación de altura (Δh_i)

$$\Delta h_1 = L_i - L_f$$

Δh_1		0.0000
Δh_2	1.2590 - 1.2353	0.0237
Δh_3	1.2353 - 1.2245	0.0108
Δh_4	1.2245 - 1.2078	0.0167
Δh_5	1.2078 - 1.1848	0.0230
Δh_6	1.1848 - 1.1569	0.0279
Δh_7	1.1569 - 1.1182	0.0387
Δh_8	1.1182 - 1.1212	-0.0030
Δh_9	1.1212 - 1.1269	-0.0057
Δh_{10}	1.1269 - 1.1331	-0.0062
Δh_{11}	1.1331 - 1.1400	-0.0069
Δh_{12}	1.1400 - 1.453	-0.0053
Δh_{13}	1.1453 - 1.1578	-0.0125

Deformación Unitaria (ϵ_i)

$$\epsilon_i = \Delta h_i / h_o * 100$$

ϵ_1	0.0000
ϵ_2	1.1850
ϵ_3	0.5400
ϵ_4	0.8350
ϵ_5	1.1500
ϵ_6	1.3950
ϵ_7	1.9350
ϵ_8	-0.1500
ϵ_9	-0.2850
ϵ_{10}	-0.3100
ϵ_{11}	-0.3450
ϵ_{12}	-0.2650
ϵ_{13}	-0.6250

Variación de Relación de Vacíos (Δe_i)

$$\Delta e_i = \Delta h_i / H_s$$

Δe_1	0.0000
Δe_2	0.0209
Δe_3	0.0095
Δe_4	0.0147
Δe_5	0.0203
Δe_6	0.0246
Δe_7	0.0341
Δe_8	-0.0026
Δe_9	-0.0050
Δe_{10}	-0.0055
Δe_{11}	-0.0061
Δe_{12}	-0.0047
Δe_{13}	-0.0110

Relación de Vacíos (e_i)

$$e_i = e_o - \Delta e_i$$

e1	0.7612
e2	0.7403
e3	0.7308
e4	0.7161
e5	0.6959
e6	0.6713
e7	0.6372
e8	0.6399
e9	0.6449
e10	0.6504
e11	0.6564
e12	0.6611
e13	0.6721

Altura Promedio (Hpi)

Hpi = ho - Δhi

Hp1	2.0000
Hp2	1.9763
Hp3	1.9655
Hp4	1.9488
Hp5	1.9258
Hp6	1.8979
Hp7	1.8592
Hp8	1.8622
Hp9	1.8679
Hp10	1.8741
Hp11	1.8810

Hp12	1.8863
Hp13	1.8988

Alturo de Drenaje (Hdi)

Hdi = Hpi/2

Hd1	1.0000
Hd2	0.9882
Hd3	0.9828
Hd4	0.9744
Hd5	0.9629
Hd6	0.9490
Hd7	0.9296
Hd8	0.9311
Hd9	0.9340
Hd10	0.9371
Hd11	0.9405
Hd12	0.9432
Hd13	0.9494

Cálculos de Esfuerzos y asentamiento

Muestra M3: calicata CB -M3 (3.60-5.00)

CL con arena - Patín 02

0.00- 2.40 SM / densidad = 2.10 gr/cm³ $\sigma_{total} = 5.04 \text{ gr/cm}^2$

2.30 - 3.60 GM con arena / densidad = 2.05 gr/cm³ $\sigma_{total} = 2.67 \text{ gr/cm}^2$

3.60 - 5.00 CL con arena / densidad = 1.93 gr/cm³ $\sigma_{total} = 2.70 \text{ gr/cm}^2$

σ_{total} Esfuerzo Total en el punto más bajo (a 5m) = 5.04+ 2.67 + 2.70 = 10.41 gr/cm²

σ_{pc} (Esfuerzo de Preconsolidación) = 0.894 kg/cm² < ($\sigma_{total-actual}$) = 10.41 kg/cm²

(Arcilla Normalmente Consolidada)

Nota: Se consideró el Nivel freático al ras del terreno – Condición más desfavorable

$$\sigma'_v \text{ (Esfuerzo efectivo)} = 10.41 \text{ kg/cm}^2 - 5.0 \text{ kg/cm}^2 = 5.41 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_c = 0.05$$

$$H = 655 \text{ cm}$$

$$e = 0.76$$

$$\sigma'_v = 5.41 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta\sigma = 1.02 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Asentamiento por Consolidación} = \frac{0.05 \times 655}{(1 + 0.76)} + \frac{\log(5.41 + 1.02)}{5.41}$$

$$\text{Asentamiento por Consolidación} = 1.39 \text{ cm} / \text{ tiempo de consolidación} = 65 \text{ días}$$

Muestra M4

Condiciones Generales

Altura de la Muestra (ho) = 2 cm

Diámetro de la Muestra (D) = 5 cm

Gravedad Especifica (Gs) = 2.73

1. N° de moldes	4	
2. W molde	56.24	gr
3. Altura de swa (cm)	2	cm
4. Diámetro swa (cm)	5	cm
5. W molde sw (gr)	142.2	gr
6. N° de recipiente	R-15	
7. W recipiente (gr)	28.91	gr
8. W recipiente sw (gr)	171.32	gr
9. W recipiente s (gr)	154.33	gr

10. Peso humedo inicial (Wwi) (5)-(2)	85.80	gr
11. Peso humedo final (Wwf) (8)-(7)-(2)	86.01	gr
12. Peso seco (Ws) (9)-(7)-(2)	69.02	gr
14. Peso Unitario del agua (Yw)	1.00	gr/cm ³
15. Lectura Inicial (Li)	1.2692	cm
16. Lectura final (Lf)	1.1880	cm

Cálculos

Área de la muestra

$$A = \pi \times (D)^2 / 4 = \pi \times (5)^2 / 4 = 19.63 \text{ cm}^2$$

Volumen Inicial

$$V_i = A \times h_o = 19.63 \times 2 = 39.27 \text{ cm}^3$$

Volumen Final

$$V_f = A \times (2 - (L_o - L_f)) = 19.63 \times (2 - (1.2696 - 1.1880)) = 37.68 \text{ cm}^3$$

Humedad Inicial

$$W_i = (W_{wi} - W_s) / W_s = (85.80 - 69.02) / 69.02 = 24.31 \%$$

Humedad Final

$$W_f = (W_{wf} - W_s) / W_s = (86.01 - 69.02) / 69.02 = 24.62 \%$$

Peso Específico Inicial

$$Y_i = W_{wi} / v_i = 85.80 / 39.27 = 2.18 \text{ gr/cm}^3$$

Peso Específico Final

$$Y_f = W_{wf}/v_f = 86.01/37.68 = 2.28 \text{ gr/cm}^3$$

Densidad Seca Inicial

$$Y_{di} = W_s/v_i = 69.02/39.27 = 1.76 \text{ gr/cm}^3$$

Densidad Seca Final

$$Y_{df} = W_s/v_f = 69.02/37.68 = 1.83 \text{ gr/cm}^3$$

Volumen de los Sólidos

$$V_s = W_s/(G_s \times Y_w) = 69.02/(2.73 \times 1.00) = 25.28 \text{ cm}^3$$

Altura Teórica de los Sólidos

$$H_s = V_s/A = 25.28 / 19.63 = 1.29 \text{ cm}$$

Relación de Vacíos Inicial

$$e_o = (h_o - H_s)/H_s = (2 - 1.29)/1.29 = 0.55$$

Relación de Vacíos Final

$$e_f = e_o - (L_i - L_f)/H_s = 1.15 - (1.2692 - 1.1880)/1.29 = 0.49$$

Grado de Saturación Inicial

$$G_i = G_s \times W_i / e_o = 2.73 \times 24.31 / 0.55 = 100.00\%$$

$$G_f = G_s \times W_f / e_f = 2.73 \times 24.62 / 0.49 = 100.00\%$$

Variación de altura (Δh_i)

$$\Delta h_1 = L_i - L_f$$

Δh_1		0
Δh_2	1.2692 - 1.2500	0.0192
Δh_3	1.2500 - 1.2446	0.0054
Δh_4	1.2446 - 1.2350	0.0096
Δh_5	1.2350 - 1.2199	0.0151
Δh_6	1.2199 - 1.2051	0.0148
Δh_7	1.2051 - 1.1880	0.0171
Δh_8	1.1880 - 1.1915	-0.0035
Δh_9	1.1915 - 1.1985	-0.007
Δh_{10}	1.1985 - 1.2060	-0.0075
Δh_{11}	1.2060 - 1.2145	-0.0085
Δh_{12}	1.2145 - 1.2222	-0.0077

Δh_{13}	1.2222 - 1.2237	-0.0015
-----------------------------------	-----------------	---------

Deformación Unitaria (ϵ_i)

$$\epsilon_i = \Delta h_i / h_o * 100$$

ϵ_1	0.0000
ϵ_2	0.9600
ϵ_3	0.2700
ϵ_4	0.4800
ϵ_5	0.7550
ϵ_6	0.7400
ϵ_7	0.8550
ϵ_8	-0.1750
ϵ_9	-0.3500
ϵ_{10}	-0.3750
ϵ_{11}	-0.4250
ϵ_{12}	-0.3850
ϵ_{13}	-0.0750

Variación de Relación de Vacíos (Δe_i)

$$\Delta e_i = \Delta h_i / H_s$$

Δe_1	0.0000
Δe_2	0.0149
Δe_3	0.0042
Δe_4	0.0075
Δe_5	0.0117
Δe_6	0.0115
Δe_7	0.0133
Δe_8	-0.0027
Δe_9	-0.0054
Δe_{10}	-0.0058
Δe_{11}	-0.0066
Δe_{12}	-0.0060
Δe_{13}	-0.0012

Relacion de Vacios (ei)

$e_i = e_o - \Delta e_i$

e1	0.5533
e2	0.5384
e3	0.5342
e4	0.5267
e5	0.5150
e6	0.5035
e7	0.4902
e8	0.4929
e9	0.4984
e10	0.5042
e11	0.5108
e12	0.5168
e13	0.5179

Altura Promedio (Hpi)

$H_{pi} = h_o - \Delta h_i$

Hp1	2.0000
Hp2	1.9808
Hp3	1.9754
Hp4	1.9658
Hp5	1.9507
Hp6	1.9359
Hp7	1.9188
Hp8	1.9223
Hp9	1.9293
Hp10	1.9368
Hp11	1.9453
Hp12	1.9530

Hp13	1.9545
-------------	--------

Altura de Drenaje (Hdi)

$$Hdi = Hpi/2$$

Hd1	1.0000
Hd2	0.9904
Hd3	0.9877
Hd4	0.9829
Hd5	0.9754
Hd6	0.9680
Hd7	0.9594
Hd8	0.9612
Hd9	0.9647
Hd10	0.9684
Hd11	0.9727
Hd12	0.9765
Hd13	0.9773

Cálculos de Esfuerzos y asentamiento

Muestra M4: calicata CT2 -M2 (0.00- 2.40)

CL con arena - Patín 02

$$0.0- 2.40 \text{ CL} / \text{densidad} = 2.18 \text{ gr/cm}^3 \quad \sigma_{\text{total}} = 5.23 \text{ gr/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{total}} \text{ Esfuerzo Total en el punto más bajo (a } 2.4\text{m)} = 5.23 \text{ gr/cm}^2$$

$$\sigma'_{pc} \text{ (Esfuerzo de Preconsolidación)} = 0.503 \text{ kg/cm}^2 < (\sigma_{\text{total-actual}}) = 5.23 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Arcilla Normalmente Consolidada)}$$

Nota: Se consideró el Nivel freático al ras del terreno – Condición más desfavorable

$$\sigma'_v \text{ (Esfuerzo efectivo)} = 5.23 \text{ kg/cm}^2 - 2.4 \text{ kg/cm}^2 = 2.83 \text{ kg/cm}^2$$

$$Cc = 0.02$$

$$H = 655 \text{ cm}$$

$$e = 0.55$$

$$\sigma'v = 2.83 \text{ kg/cm}^2$$

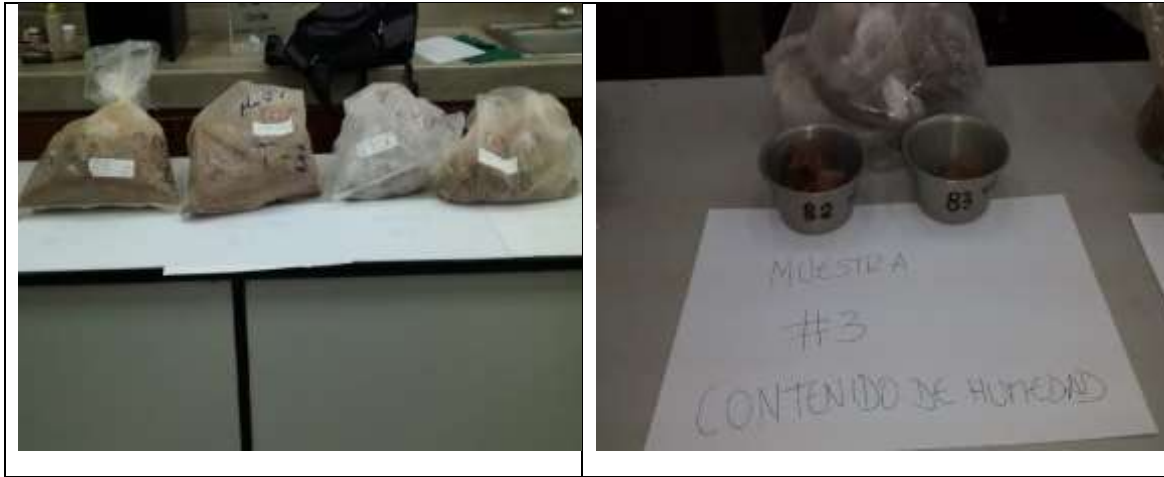
$$\Delta\sigma = 1.02 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Asentamiento por Consolidación} = \frac{0.02 \times 655}{(1 + 0.55)} + \frac{\log(2.83 + 1.02)}{2.83}$$

$$\text{Asentamiento por Consolidación} = 1.13 \text{ cm} \quad / \quad \text{tiempo de consolidación} = 62 \text{ días}$$

Anexo 2: Panel Fotográfico.

Ensayo de Contenido de Humedad



Fotografía 7 y 8: Obtención de muestras para el contenido de humedad



Fotografía 9: Obtención de muestras para el contenido de humedad



Fotografía 10: Secado de la muestra húmeda en el horno

Ensayo de Limite Líquido y Limite Plástico



Fotografía 11 y 12: Tamizado de muestra por la malla #40.



Fotografía 13 y 14: Mezclado de la arena con agua.



Fotografía 15: Colocación de la muestra en la Copa de Casagrande



Fotografía 16: Realización de un surco en la parte media de la muestra con un acanalador.



Fotografía 17. Se gira la manivela hasta que las partes intermedias se juntan.



Fotografía 18: Extracción de muestras de la parte intermedia de la copa de Casagrande para la obtención del contenido de humedad.



Fotografía 19. Formación de cilindros sobre el vidrio poroso para absorber el agua.



Fotografía 20. División de la muestra por pérdida de agua.



Fotografía 21. Secado de la muestra

Ensayo Peso Específico Relativo de los solidos



Fotografía 22. Colocación de mezcla en el Picnómetro



Fotografía 23. Colocación de mezcla del suelo con agua en el Picnómetro



Fotografía 24. Remoción del aire atrapado.



Fotografía 25. Secado de muestra

Ensayo Peso Específico Natural



Fotografía 26. Cubrimiento de la muestra con parafina, para eliminar el aire atrapado.



Fotografía 27. Cubrimiento de la muestra con parafina, para eliminar el aire atrapado.



Fotografía 28. Pesaje de probeta.



Fotografía 29. Llenado y pesaje de probeta con agua

Ensayo de Consolidación Unidimensional de Suelos



Fotografía 30,31, 32 y 33. Preparación de la muestra a ensayar



Fotografía 34. Pesaje de la muestra más anillo antes de ensayar.



Fotografía 35. Colocación de piedras porosas.



Fotografía 36. Colocación de papel filtro.

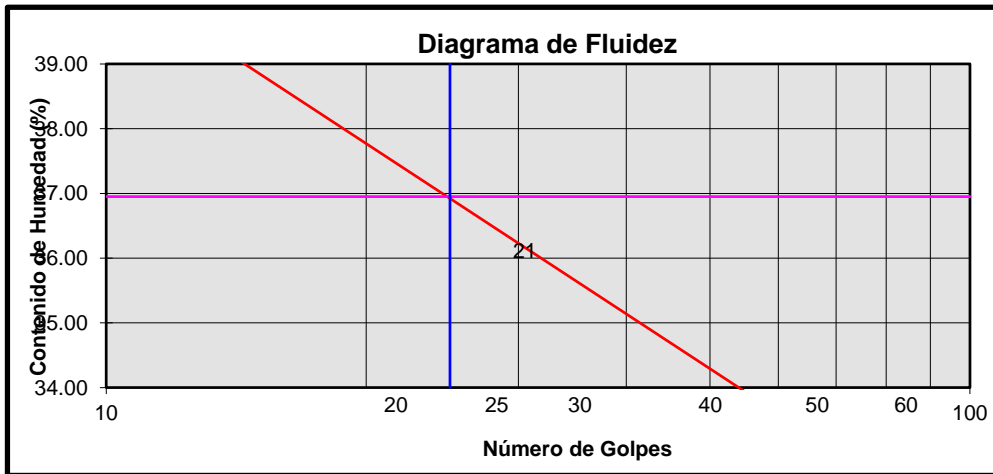
Anexo 3: Formato de laboratorio

Formato de Contenido de Humedad

1	No recipiente	
2	W recipiente (gr)	
3	W recipiente sw (gr)	
4	W recipiente s (gr)	
5	W w : 3-4 (gr)	
6	W s : 4-2 (gr)	
7	w : 100*5/6 (%)	

Formato de Límites de consistencia

No DE ENSAYO		1	2	3	4
LIMITE LIQUIDO (LL)					
1	No recipiente				
2	No golpes				
3	W recipiente (gr)				
4	W recipiente sw (gr)				
5	W recipiente s (gr)				
6	W w : 4-5 (gr)				
7	W s : 5-3 (gr)				
8	w : 100*6/7 (%)				
9	LL (%)				



LIMITE PLASTICO (LP)					
1	No recipiente				
2	W recipiente (gr)				
3	W recipiente sw (gr)				
4	W recipiente s (gr)				
5	W w : 3-4 (gr)				
6	W s : 4-2 (gr)				
7	LP : 100*5/6 (%)				
8	LP promedio (%)				

Formato de Gravedad Relativa de los Solidos

1	N°deFrasco					
2	W Frasco w	gr				
3	W Frasco sw	gr				
4	N° de Recipiente					
5	W Recipiente	gr				
6	W Recipiente s	gr				
7	Ws: 6 - 5	gr				
8	Gs: $7 / (2 - 3 + 7)$					
9	Gs Promedio					

Formato Peso Específico Natural

1	<input type="checkbox"/> Parafina	gr/cc				
2	Volumen inicial de probeta	cc				
3	W muestra	gr				
4	W parafina + W muestra	gr				
5	V desplazado	cc				
6	W parafina: 4 - 3	gr				
7	V muestra + V parafina	cc				
8	V parafina: 6/1	cc				
9	V muestra 7-8	cc				
10	<input type="checkbox"/> : 3/9	gr/cc				
11	<input type="checkbox"/> Promedio	gr/cc				

Datos		
01. Peso Específico de Parafina	=	gr/cm3
02. Volumen inicial de probeta	=	cm3
03. Volumen inicial de probeta 01	=	cm3

Anexo 4: Operacionalización de las variables

Título de la Propuesta:	DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE PRECONSOLIDACIÓN PARA EL CALCULO DE ASENTAMIENTO DE SUELOS FINOS DE LA ZONA DE SAGARI – CUZCO			
Presentado por:	-Sheylla Palomino Benites -Lincoln Yoel Alvarado Mejía			19-08-2015
Planteamiento del Problema:				
<p>Para el diseño correcto de una cimentación, es necesario verificar siempre la deformación del suelo; sin embargo en la actualidad estos aspectos son muchas veces olvidados y estimados por los Proyectistas; de lo cual podemos decir que esta estimación ha estado originado consecuencias graves en el comportamiento de las fundaciones; asimismo se seleccionan factores de seguridad elevados que hacen que las cimentaciones quedan sobre diseñadas y sobrevaloradas.</p> <p>Debido los problemas existentes se enseña un método de cálculo para encontrar el asentamiento de suelos finos, dentro de lo cual se pretende realizar un trabajo más serio y profundo para esclarecer las particularidades del método que se usa para el cálculo de los asentamientos.</p>				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
<u>Formulación</u>	<u>Objetivo General</u>	<u>Hipótesis Principal</u>		
¿Cuál es el esfuerzo de Pre-consolidación del suelo fino de la zona de Sagari - Cuzco?	Determinar el esfuerzo de pre consolidación del suelo fino de la zona de Sagari - Cuzco.	El esfuerzo de pre consolidación del suelo fino de la zona de Sagari - Cuzco se determina mediante el método de Casagrande.	<ul style="list-style-type: none"> - Esfuerzo de Pre consolidación del Suelo Fino de Sagari - Cuzco. - Propiedades del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> • Punto de equilibrio para determinar su estado de Pre consolidación. • Muestra de Suelo fino Ensayar.
<u>Sistematización</u>	<u>Objetivos Secundarios</u>	<u>Hipótesis Secundaria</u>	<u>Variables</u>	<u>Indicadores</u>
¿Cómo determinar el asentamiento del suelo fino de la zona de Sagari - Cuzco ante la aplicación de carga?	Determinar el asentamiento del suelo fino de la zona Sagari - Cuzco, ante la aplicación de carga.	La aplicación de carga a un suelo fino de la zona de Sagari - Cuzco producirá un asentamiento.	Magnitud de asentamientos.	<ul style="list-style-type: none"> • Observación y conocimientos previos. • Ensayos de laboratorio • Deformación del suelo
¿Cómo Determinar el tiempo de asentamiento del suelo fino de la zona de Sagari - Cuzco ante la aplicación de carga?	Determinar el tiempo de asentamiento del suelo fino de la zona de Sagari - Cuzco ante la aplicación de carga.	La aplicación de carga a un suelo fino de la zona de Sagari Cuzco producirá un asentamiento en un tiempo determinado.	Tiempo de Consolidación.	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayos de laboratorio • Estudios previos.

