

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“MÓDULO DE DEFORMACIÓN VOLUMÉTRICA UNITARIA Y
MÓDULO DE ELASTICIDAD EN ARCILLAS DE PLASTICIDAD
MEDIA Y ALTA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÍCOLA**

SINTHIA DEYSI MOYA SULCA

LIMA - PERÚ

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**“MÓDULO DE DEFORMACIÓN VOLUMÉTRICA UNITARIA Y
MÓDULO DE ELASTICIDAD EN ARCILLAS DE PLASTICIDAD
MEDIA Y ALTA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERA AGRÍCOLA

Presentado por:
SINTHIA DEYSI MOYA SULCA

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Mg. Sc. ALFONSO CERNA VASQUEZ
Presidente

Ing. LIZ MARGOT PALOMINO ZEGARRA
Asesor

Mag. SAÚL MOISES TORRES MURGA
Miembro

Ing. CARLOS ALBERTO BRAVO AGUILAR
Miembro

LIMA – PERÚ
2022

DEDICATORIA

A Dios con mucho amor por darme como madre a Felicitas, ejemplo de honestidad, trabajo, esfuerzo, perseverancia y deseo de superación, a la que debo quien soy, por su amor y sacrificios, le estaré eternamente agradecida.

AGRADECIMIENTOS

A mi hermana Nancy por su apoyo cariño, comprensión y alegría durante todo este tiempo.

A mis asesores de tesis Ing. Hermes Valdivia Aspilcueta e Ing. Liz Palomino por la confianza depositada en mí, por el apoyo, consejos y enseñanzas durante todo este tiempo.

A mis profesores del departamento de ordenamiento territorial por su apoyo y buenos deseos.

A los técnicos del laboratorio de mecánica de suelos por su predisposición durante este experimento.

A mis amigos y compañeros de tesis por su apoyo moral y buenas energías.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS.....	2
1.1.1. Objetivo general.....	2
1.1.2. Objetivos específicos	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. ARCILLAS	4
2.2. MINERALES ARCILLOSOS	4
2.2.1. Grupo Caolinita	5
2.2.2. Grupo Montmorilonitas	6
2.2.3. Grupo Illita.....	6
2.3. PLASTICIDAD.....	7
2.3.4. Carta de plasticidad.....	8
2.4. GRAVEDAD ESPECÍFICA	9
2.5. CONSOLIDACIÓN DE SUELOS.....	10
2.5.1. Ensayo de Consolidación Unidimensional	11
2.6. RELACIÓN ENTRE EL ESFUERZO Y LA RELACIÓN DE VACÍOS	12
2.7. ARCILLAS EXPANSIVAS.....	13
2.8. DEFORMACIÓN ELÁSTICA	13
2.9. ÍNDICE DE VACÍOS- PUNTOS DE PRESIÓN	14
2.10. ASENTAMIENTO.....	14
2.10.1. Asentamiento inmediato	14
2.10.2. Asentamiento por consolidación primaria	14
2.10.3. Asentamiento por consolidación secundaria	14
2.11. MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	15
2.12. RELACIÓN DE POISSON.....	17
2.13. MÓDULO VOLUMÉTRICO UNITARIO	18
2.14. MÓDULO DE DEFORMACIÓN VOLUMÉTRICO (B)	18
III. METODOLOGÍA	19
3.1. MATERIALES.....	19
3.1.1. Muestras de suelo	19
3.1.2. Equipos de laboratorio	19
3.2. MÉTODOS.....	20
3.2.1. Toma de muestras	20

3.2.2. Caracterización de los suelos.....	20
3.2.3. Ensayos especiales.....	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS	23
4.2. DETERMINACIÓN DE MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	23
4.2.1. Ensayo de consolidación.....	24
4.3. DETERMINACIÓN DE DEFORMACIÓN VOLUMÉTRICA.....	38
V. CONCLUSIONES.....	42
VI. RECOMENDACIONES.....	43
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	44
VIII. ANEXOS.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Límites de separación de tamaño de suelos.....	4
Tabla 2: Gravedad específica de los minerales más importantes	9
Tabla 3: Gravedad específica de los minerales más importantes	10
Tabla 4: Parámetros elásticos para varios tipos de suelos	17
Tabla 5: Parámetros de las muestras.....	23
Tabla 6: Deformaciones, módulo de elasticidad de las muestras	33
Tabla 7: Deformaciones, módulo de elasticidad de las muestras	33
Tabla 8: Deformaciones, módulo de elasticidad de las muestras	33
Tabla 9: Deformaciones, módulo de elasticidad de las muestras	34
Tabla 10: Módulo de elasticidad vs Densidad seca M1	34
Tabla 11: Módulo de elasticidad vs Densidad seca M2	35
Tabla 12: Módulo de elasticidad vs Densidad seca M3	36
Tabla 13: Módulo de elasticidad vs Densidad seca M4	36
Tabla 14: Módulo de elasticidad (E), Modulo de deformación volumétrica (B) y densidades (γ) de la muestra M1	39
Tabla 15: Módulo de elasticidad (E), Modulo de deformación volumétrica (B) y densidades (γ) de la muestra M2.....	39
Tabla 16: Módulo de elasticidad (E), Modulo de deformación volumétrica (B) y densidades (γ) de la muestra M3	39
Tabla 17: Módulo de elasticidad (E), Modulo de deformación volumétrica (B) y densidades (γ) de la muestra M4.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de la estructura de la lámina silícica.....	5
Figura 2: Diagrama de las estructuras de caolinita (a), illita (b) y montmorilonitas (c).....	6
Figura 3: Ubicación relativa de los límites plásticos y líquido de un suelo.	8
Figura 4: Carta de plasticidad.....	9
Figura 5: Formas típicas de la curva de compresibilidad en suelos compresibles, (a) representación aritmética y (b) representación geométrica.....	13
Figura 6: Curvas cualitativas de esfuerzo deformación para algunos materiales.....	16
Figura 7: Métodos para hallar módulo de Elasticidad.....	17
Figura 8: Módulo de elasticidad vs Densidad seca.....	24
Figura 9: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M1, con carga de 0.5 kg/cm^2 y descarga desde 0.5 kg/cm^2	25
Figura 10: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M1, con carga de 1 kg/cm^2 y descarga desde 1 kg/cm^2	25
Figura 11: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M1, con carga de 2 Kg/cm^2 y descarga desde 2 Kg/cm^2	26
Figura 12: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M1, con carga de 4 Kg/cm^2 y descarga desde 4 Kg/cm^2	26
Figura 13: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M2, con carga de 0.5 Kg/cm^2 y descarga desde 0.5 Kg/cm^2	27
Figura 14: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M2, con carga de 1 Kg/cm^2 y descarga desde 1 Kg/cm^2	27
Figura 15: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M2, con carga de 2 Kg/cm^2 y descarga desde 2 Kg/cm^2	28
Figura 16: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M2, con carga de 4 Kg/cm^2 y descarga desde 4 Kg/cm^2	28
Figura 17: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M3, con carga de 0.5 Kg/cm^2 y descarga desde 0.5 Kg/cm^2	29
Figura 18: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M3, con carga de 1 Kg/cm^2 y descarga desde 1 Kg/cm^2	29
Figura 19: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M3, con carga de 2 Kg/cm^2 y descarga desde 2 Kg/cm^2	30

Figura 20: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M3, con carga de 4 Kg/cm ² y descarga desde 4 Kg/cm ²	30
Figura 21: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M4, con carga de 0.5 Kg/cm ² y descarga desde 0.5 Kg/cm ²	31
Figura 22: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M4, con carga de 1 Kg/cm ² y descarga desde 1 Kg/cm ²	31
Figura 23: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M4, con carga de 2 Kg/cm ² y descarga desde 2 Kg/cm ²	32
Figura 24: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M4, con carga de 4 Kg/cm ² y descarga desde 4 Kg/cm ²	32
Figura 25: Módulo de elasticidad vs Densidad seca M1	35
Figura 26: Módulo de elasticidad vs Densidad seca M2	35
Figura 27: Módulo de elasticidad vs Densidad seca M3.....	36
Figura 28: Módulo de elasticidad vs Densidad seca M4	37
Figura 29: Módulo de elasticidad vs Densidad seca de las muestras M1, M2, M3 y M4...	38
Figura 30: Deformación Volumétrica vs Densidad seca de las muestras M1, M2, M3 y M4	40

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Datos de Consolidación de la Muestra 1	46
Anexo 2: Lecturas de consolidación Muestra 1.....	47
Anexo 3: Cuadros de descargas Muestra 1.....	47
Anexo 4: Cuadro de resumen Muestra 1	51
Anexo 5: Datos de Consolidación de la Muestra 2	55
Anexo 6: Lectura de Consolidación Muestra 2	56
Anexo 7: Cuadros de descargas Muestra 2.....	57
Anexo 8: Cuadro de resumen Muestra 2	60
Anexo 9: Datos de Consolidación de la Muestra 3	63
Anexo 10: Lecturas de consolidación Muestra 3.....	64
Anexo 11: Cuadros de descargas Muestra 3.....	65
Anexo 12: Cuadro de resumen Muestra 3	69
Anexo 13: Datos de Consolidación de la Muestra 4	72
Anexo 14: Lecturas de consolidación Muestra 4.....	73
Anexo 15: Cuadros de descargas Muestra 4.....	74
Anexo 16: Cuadro de resumen Muestra 4	77

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar el módulo de deformación volumétrica unitaria y módulo de elasticidad en arcillas de plasticidad media y alta ejerciendo una carga puntual específica utilizando ensayos de consolidación unidimensional en laboratorio, siguiendo la Norma Técnica Peruana NTP – 339.154, para calcular los módulos de elasticidad y deformación volumétrica en cuatro muestras de suelos arcillosos de plasticidad media y alta provenientes de Cusco y Chachapoyas. Estas arcillas cumplieron los requisitos de tener un Límite Líquido mayor al 50% y Gravedad específica de sólidos entre 2.70-2.78. Cada muestra se ensayó en condiciones remoldeadas teniendo en consideración la teoría de consolidación unidimensional de Terzagui, el modelo elastoplástica de Saint Venant y el rebote Elástico.

El ensayo se inició con una sobrecarga de 0.1 kg/cm^2 con incrementos sucesivos de cargas hasta llegar a 4 kg/cm^2 . También se realizaron ciclos de carga y descarga de 0.5 kg/cm^2 , 1 kg/cm^2 , 2 kg/cm^2 y 4 kg/cm^2 , con repeticiones de 4 ciclos, con el fin de obtener una línea de histéresis. A partir de la línea de histéresis se realizó un artificio en la que está línea se traslada hacia el origen de la curva de carga y descarga, y con ello se hace una proyección vertical hacia la línea de relación de vacíos inicial (e_0).

La variación del módulo de elasticidad (E) y la deformación volumétrica unitaria (B) muestran un comportamiento similar en suelos con índices de plasticidad superiores al 29%, mostrando una disminución de E y B en la carga de 1 kg/cm^2 para luego incrementarse en las cargas 2 kg/cm^2 y 4 kg/cm^2 , en muestras con índice de plasticidad por debajo de 29% el incremento del módulo de elasticidad (E) y la deformación volumétrica unitaria (B) es constante.

Palabras clave: Suelo arcilloso, ensayo de consolidación, módulo de elasticidad, módulo de deformación volumétrica unitaria.

ABSTRACT

The objective of this research is to determine the modulus of unitary volumetric deformation and modulus of elasticity in medium and high plasticity clays exerting a specific point load using one-dimensional consolidation tests in the laboratory, following the Peruvian Technical Standard NTP - 339.154, to calculate the modulus of elasticity and volumetric deformation in four clay soil samples of medium and high plasticity from Cusco and Chachapoyas. These clays met the requirements of having a Liquid Limit greater than 50% and Specific Gravity of solids between 2.70-2.78. Each sample was tested under remodeled conditions taking into consideration a one-dimensional Terzagui consolidation theory, the Saint Venant elastoplastic model, and Elastic rebound.

The test began with an overload of 0.1 kg/cm^2 with successive load increases until reaching 4 kg/cm^2 . Loading and unloading cycles of 0.5 kg/cm^2 , 1 kg/cm^2 , 2 kg/cm^2 and 4 kg/cm^2 were also performed, with repetitions of 4 cycles, in order to obtain a hysteresis line. From the hysteresis line, an artifice was made in which this line is moved towards the origin of the charge and discharge curve, and with this, a vertical projection is made towards the initial void ratio line (e_0).

The variation of the modulus of elasticity (E) and the unitary volumetric deformation (B) show similar behavior in soils with plasticity indices greater than 29%, showing a decrease in E and B in the load of 1 kg/cm^2 and then increase at loads of 2 kg/cm^2 and 4 kg/cm^2 , in samples with a plasticity index below 29%, the increase in the modulus of elasticity (E) and the unitary volumetric deformation (B) is constant.

Keywords: Clays soil, Consolidation test, Modulus of elasticity, Modulus of unitary volumetric deformation.

I. INTRODUCCIÓN

Los suelos están considerados como materiales heterogéneos, no son isotrópicos ni continuos por lo tanto no tienen un comportamiento elástico. No obstante, muchos investigadores consideran que el suelo es elastoplástico, es decir, que existe deformación elástica y deformación plástica.

En la práctica, cuando el terreno de cimentación es arcilloso es necesario conocer el asentamiento inmediato y éste se puede obtener si se conocen los parámetros elásticos Módulo de Elasticidad y Relación de Poisson.

En la bibliografía se tienen valores del Módulo Volumétrico Unitario y Módulo de Elasticidad en función de la densidad, pero estos valores no son específicos para cada suelo y sus rangos son muy amplios.

Los suelos arcillosos son altamente deformables y su deformación está ligada al tiempo. Para evaluar la deformación es necesario, ejecutar ensayos de consolidación con la finalidad de obtener una curva que relacione la deformación volumétrica unitaria con los esfuerzos efectivos. La deformación unitaria obtenida es elastoplástica, parte de la deformación es elástica y la otra plástica. La determinación de la deformación elástica conlleva a utilizar modelos y artificios que permiten obtener su magnitud.

El ensayo de consolidación unidimensional es un proceso que consiste en aplicar una carga en un suelo arcilloso colocado en un anillo rígido que no permite deformación lateral. Por lo tanto, se tiene una deformación unidimensional. Al tener una muestra saturada dentro del anillo la carga esta inicialmente soportada por el agua y a medida que el agua es expulsada el suelo arcilloso comienza a soportar parte de la carga, la cual se incrementa mientras continua el proceso hasta que la carga es soportada totalmente por el suelo, terminando de

esta manera el proceso de consolidación. Una vez concluida la consolidación generada por la carga impuesta se puede medir la deformación total la cual es una deformación elastoplástica.

En la presente investigación se obtuvo los parámetros de Modulo de Deformación Volumétrica Unitaria y Módulo de Elasticidad en arcillas normalmente consolidadas, y se relacionó el Módulo de Deformación Volumétrica Unitaria y Módulo de Elasticidad con la gravedad específica de sólidos y la plasticidad mediante ensayos de consolidación unidimensional en cuatro muestras de suelos arcillosos de plasticidad media y alta provienen de Cusco y Chachapoyas, las cuales presentan una plasticidad media alta.

Estas arcillas cumplieron los requisitos de tener un Límite Líquido mayor al 50% y Gravedad específica de sólidos entre 2.70-2.78. Cada muestra se ensayó en condiciones remoldeadas teniendo en consideración los siguientes conceptos: La Teoría de Consolidación Unidimensional de Terzagui, El Modelo Elastoplástica de Saint Venant y el Rebote Elástico. Para poder obtener la deformación elástica (ϵ_e) se efectuó el siguiente artificio: para una carga dada (σ) se hizo un proceso de carga y descarga con la finalidad de obtener histéreticas que cada vez tienden a una recta. Dicha recta se traslada al origen de la curva de consolidación mediante una paralela, la cual a su vez corta la recta vertical trazada por el punto de acción de la carga (σ), dividiendo la deformación elastoplástica (ϵ_{ep}) en deformación elásticas (ϵ_e) y plástica (ϵ_p)

Con la deformación elástica se pudo obtener el Módulo de Elasticidad (E) y consecuentemente el Módulo de Deformación Volumétrica Unitaria (B) de las 4 muestras de arcillas de plasticidad media y alta.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Obtener los parámetros Modulo de Deformación Volumétrica Unitaria y Módulo de Elasticidad en arcillas normalmente consolidadas de plasticidad media y alta.

1.1.2. Objetivos específicos

- Relacionar el Módulo de Deformación Volumétrica Unitaria y Módulo de Elasticidad la gravedad específica de sólidos y con la plasticidad.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ARCILLAS

Son en su mayoría partículas en forma de láminas microscópicas y submicroscópicas de mica, minerales de arcilla y otros minerales. Como se muestra en la Tabla 1. Las arcillas se definen generalmente como partículas menores de 0.002 mm, aunque en algunos casos las partículas entre 0.002 y 0.005 también se incluyen. Las partículas se clasifican como arcilla sobre la base de su tamaño ya que no pueden contener necesariamente minerales de arcilla. Las arcillas se definen como aquellas partículas que desarrollan plasticidad cuando se mezclan con una cantidad limitada de agua (Braja, 2013).

Tabla 1: Límites de separación de tamaño de suelos

Nombre de la organización	Tamaño de grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
Departamento de Agricultura de E.U. (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.002
Asociación Americana de carreteras Estatales y Oficiales de transporte (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U, Oficina de Reclamación de E.U, Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (p.ej., limos y arcillas < 0.075)	

FUENTE: Braja (2013)

2.2. MINERALES ARCILLOSOS

Los minerales arcillosos están constituidos principalmente por silicatos de aluminio hidratados, presentando, además, en algunas ocasiones silicatos de magnesio, hierro u otros metales, también hidratados. Estos minerales tienen casi siempre, una estructura cristalina definida, cuyos átomos se disponen en láminas. Existen dos variedades de tales láminas: la silícica y la alumínica. La primera está formada por un átomo de silicio rodeado de cuatro de oxígeno, disponiéndose el conjunto en forma de tetraedro, tal como se muestra en la

Figura 2 (a). Estos tetraedros se agrupan en unidades hexagonales, sirviendo un átomo de oxígeno de nexo entre cada dos tetraedros. Un esquema de una unidad hexagonal aparece en la Figura 2 (b). Las unidades hexagonales repitiéndose indefinidamente, constituyen una retícula laminar (Juárez y Rico, 2005).

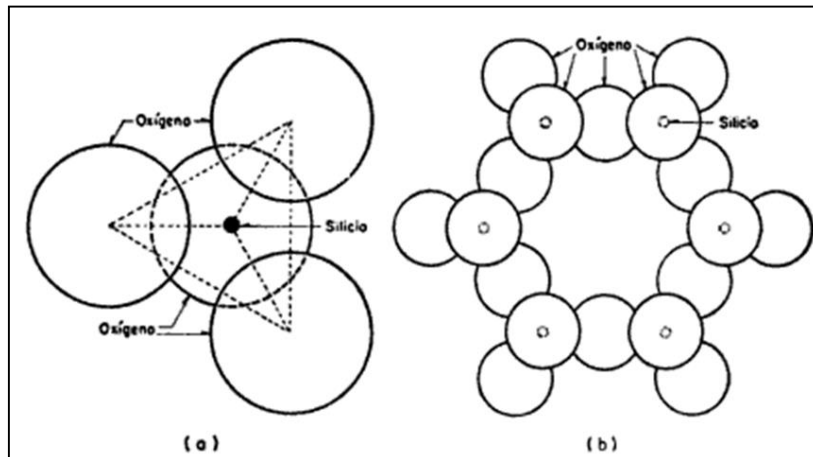


Figura 1: Esquema de la estructura de la lámina silícica

FUENTE: Juárez y Rico (2005)

Las láminas alumínicas están formadas por retículas de octaedros, dispuestos con un átomo de aluminio al centro y seis de oxígeno alrededor, también ahora es el oxígeno el nexo entre cada dos octaedros vecinos, para constituir la retícula.

De acuerdo a su estructura reticular, los minerales de arcillas se encasillan en tres grandes grupos: caolinitas, montmorilonitas e ilitas (Juárez y Rico, 2005).

2.2.1. Grupo Caolinita

Están formadas por una lámina silícica y otra alumínica, que se superponen indefinidamente. La unión entre todas las retículas es lo suficientemente firme para no permitir la penetración de moléculas de agua entre ellas (adsorción). En consecuencia, las arcillas caoliniticas serán relativamente estables en presencia del agua (Juárez y Rico, 2005).

El caolín es usado en la fabricación de porcelana, pinturas de caucho o emulsionadas, equipo sanitario y losetas ingrediente de tejas y cemento.

2.2.2. Grupo Montmorilonitas

Están formadas por una lámina de aluminio entre dos silícicas, superponiéndose indefinidamente. Su unión es débil por lo que las moléculas de agua pueden introducirse en la estructura con facilidad, ya que son inestables en presencia de agua y pueden producir problemas en las construcciones que se cimientan en este tipo de arcillas. Una característica particular es su considerable aumento de volumen al absorber partículas de agua, presenta fuerte tendencia a la inestabilidad (Juárez y Rico, 2005).

La montmorillonita se usa como sustrato en cultivos hidropónicos, árido para elaborar hormigones de baja densidad, aislante térmico y acústico (paredes), para aumentar la viscosidad en aceites lubricantes.

2.2.3. Grupo Illita

Están estructuradas análogamente que las montmorilonitas, pero su constitución interna manifiesta tendencia a formar grumos de materia, que reducen el área expuesta al agua por unidad de volumen; por ello su expansividad es menor que las montmorilonitas, comportándose de una forma más favorable (Juárez y Rico, 2005).

La illita se usa para fabricación de cosméticos, uso clínico en dermatológico y en la fabricación de antisépticos.

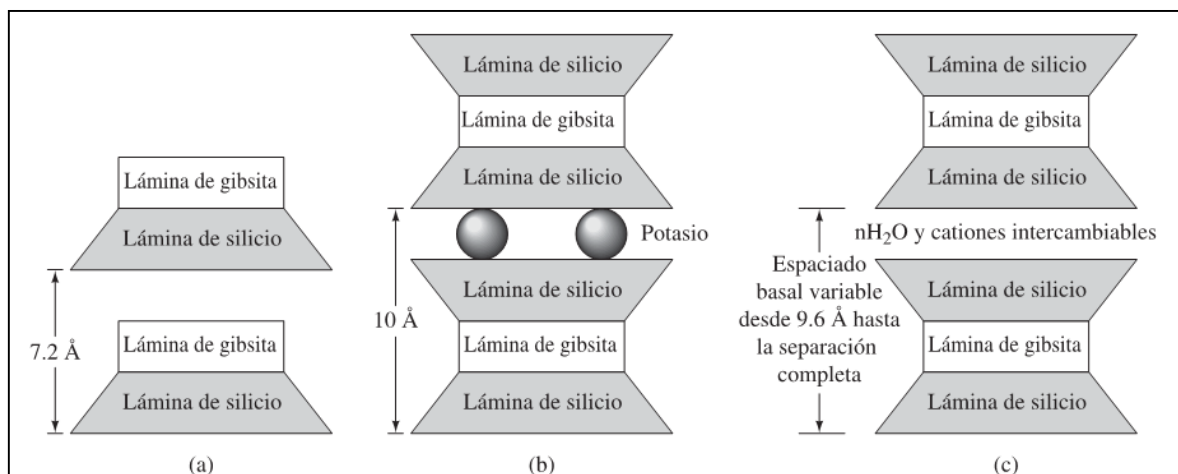


Figura 2: Diagrama de las estructuras de caolinita (a), illita (b) y montmorilonitas (c)

FUENTE: Braja (2013)

2.3. PLASTICIDAD

La plasticidad se puede definir como la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse (Juárez y Rico, 2005).

La granulometría proporciona una primera aproximación a la identificación del suelo, pero a veces queda poco claro, por lo que se utilizan unos índices derivados de la agronomía, que definen la consistencia del suelo en función del contenido de agua, a través de la determinación de la humedad (Gonzales de Vallejo et al., 2002).

Atterberg identificó cinco estados de consistencia del suelo, estos límites están basados en el contenido de agua y son: límite de contracción, límite de pegajosidad, límite de cohesión, límite líquido y límite plástico, con fines del presente trabajo nos enfocaremos en los dos últimos.

2.3.1. Límite líquido

El límite líquido (WL) se define como el contenido de agua por encima del cual el suelo se comporta como un líquido viscoso. Se determina amasando bien el suelo seco (previamente disgregado) con bastante agua y extendiendo la masa sobre un molde denominado cuchara Casagrande. Se abre en el centro de la masa extendida, un surco con un acanalador, formando un canal de 2mm de ancho en su parte baja. El molde se coloca sobre una base y se somete a golpes controlados. El límite del líquido es la humedad de la muestra cuando al dar 25 golpes se cierra el canal unos 12mm (Gonzales de Vallejo et al., 2002).

2.3.2. Límite plástico

El límite plástico (WP) se define como el contenido de agua por debajo del cual el suelo no se comporta ya como un material plástico. Se determina amasando suelo seco con poca agua y formando elipsoides, enrollándolos con la palma de la mano sobre una superficie lisa, hasta llegar a unos 3mm y una longitud de 25-30 mm. Si en estos momentos los elipsoides se cuartejan en fracciones de unos 6mm, su humedad es la del límite plástico (Gonzales de Vallejo et al., 2002).

2.3.3. Índice de plasticidad (I_p)

El índice de plasticidad o índice plástico es el intervalo de contenidos de agua entre W_L y W_p cuando el suelo se comporta como un material plástico, y se calcula como:

$$I_p = W_L - W_p \dots \dots (1)$$

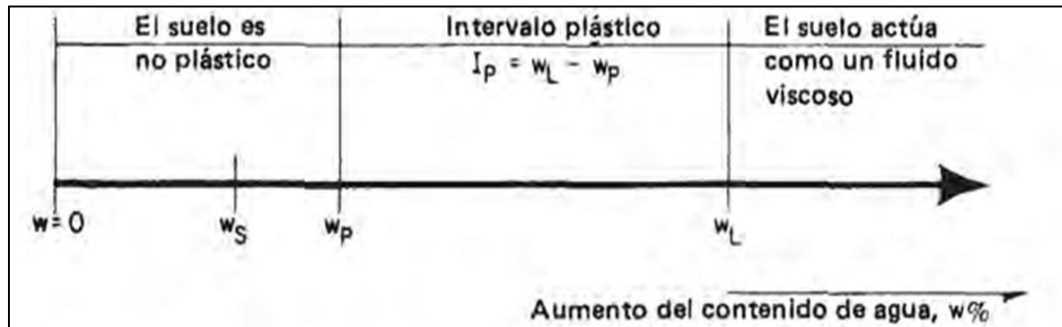


Figura 3: Ubicación relativa de los límites plásticos y líquido de un suelo.

FUENTE: Gonzales de Vallejo et al. (2002)

2.3.4. Carta de plasticidad

Los límites líquidos y plástico se determinan por pruebas de laboratorio que proporcionan información sobre la naturaleza de suelos cohesivos. Estas pruebas correlacionan varios parámetros físicos del suelo, así como para la identificación del mismo.

Determinado W_L y W_p se puede obtener un punto representativo de cada muestra de suelo en la carta de plasticidad, representando la relación de límite líquido con el índice de plasticidad (Gonzales de Vallejo et al., 2002).

A. Arcillas de alta Plasticidad:

Casagrande definió que los suelos con límite líquido $W_L > 50$ se les considera de alta plasticidad, ya que admiten mucha agua, pueden experimentar deformaciones plásticas grandes y se le denomina CH.

B. Arcillas de baja Plasticidad:

Las arcillas por debajo del límite líquido $W_L < 50$ se le consideran de baja plasticidad y se denomina CI se caracteriza por tener baja compresibilidad.

Utilizando la línea A y el criterio de baja y alta plasticidad, en la carta de Casagrande se definen varias zonas. Se definen así, varios tipos de suelos arcillas de baja plasticidad (CL), arcillas de alta plasticidad (CH) limos y suelos orgánicos de baja plasticidad (MOL-OL) y limos y suelos orgánicos de alta plasticidad (MH-OH) (Gonzales de Vallejo et al., 2002).

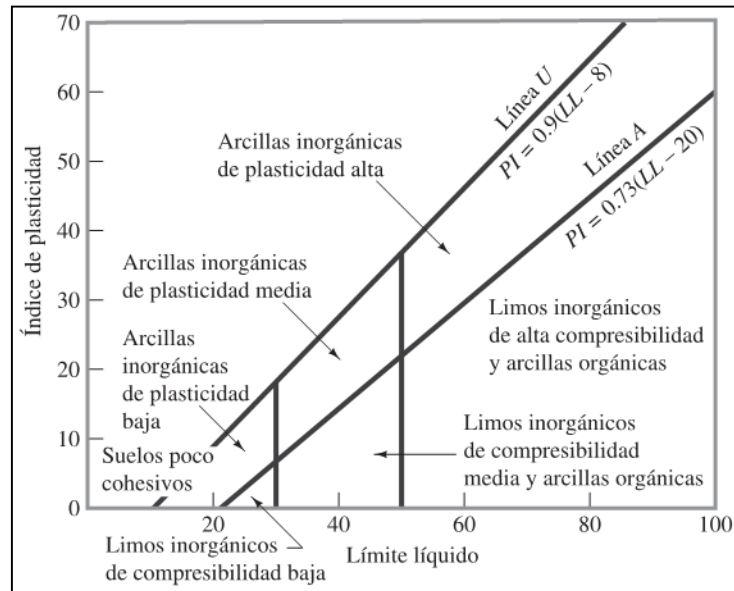


Figura 4: Carta de plasticidad

FUENTE: Braja (2013)

2.4. GRAVEDAD ESPECÍFICA

La gravedad específica de los sólidos del suelo se utiliza en diversos cálculos en mecánica de suelos y se puede determinar con precisión en el laboratorio. La mayoría de los minerales tienen una gravedad específica que cae dentro de un rango general de 2.6 a 2.9. El peso específico de los sólidos de arena, que está compuesto principalmente de cuarzo, se puede estimar en alrededor 2.65 para suelos arcillosos y limosos (Braja, 2013).

Tabla 2: Gravedad específica de los minerales más importantes

Mineral	Gravedad Específica, G_e
Cuarzo	2.65
Caolinita	2.6
Ilita	2.8
Montmorillonita	2.65-2.80
Haloisita	2.0-2.55
Feldespato de potasio	2.57

«continuación»

Feldespatos de sodio y calcio	2.62-2.76
Clorita	2.6-2.9
Biotita	2.8-3.2
Muscovita	2.76-3.1
Hornblenda	3.0-3.47
Limonita	3.6-4.0
Olivino	3.217-3.37

FUENTE: Braja (2013)

Tabla 3: Gravedad específica de los minerales más importantes

Tipo de Suelo	Gs
Arena	2.65-2.67
Arena Limosa	2.67-2.70
Arcilla Inorgánica	2.70- 2.80
Suelos con micas o hierro	2.75-3.00
Suelos Orgánicos	Variable, puede ser inferior a 2.00

FUENTE: Bowles (1982)

La gravedad específica (o peso específico) es la razón entre el peso unitario del suelo (sin poros) y el peso unitario del agua, para los sólidos del suelo son de 2.65 a 2.72 y se halla con la siguiente fórmula (Bowles, 1982).

$$G = \frac{\text{peso del volumen unitario de cualquier material}}{\text{peso del volumen unitario de agua a } 4^{\circ}\text{C}} \dots\dots\dots (2)$$

$$G = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots\dots\dots (3)$$

2.5. CONSOLIDACIÓN DE SUELOS

Todos los materiales experimentan deformación cuando se les sujeta a un cambio en sus condiciones de esfuerzo, si bien los materiales estructurales como el acero y el concreto pueden determinarse en el laboratorio con razonable grado de confianza. La deformación de la mayoría de suelos, aun bajo cargas pequeñas es mucho mayor que la de los materiales estructurales; además esa deformación no se produce, usualmente, en forma simultánea a la aplicación de la carga, sino que se desarrolla en el transcurso del tiempo.

Al observar los depósitos de materia muy suaves situado en el fondo de una masa de agua, por ejemplo, un lago, se nota que el suelo reduce su volumen conforme pasa el tiempo y aumentan las cargas por sedimentación sucesiva. A un proceso de disminución de volumen, que tenga lugar en un lapso, provocado por un aumento de las cargas sobre el suelo, se le llama proceso de consolidación. Frecuentemente ocurre que durante el proceso de consolidación la posición relativa de las partículas sólidas sobre un mismo plano horizontal permanece esencialmente la misma; así el movimiento de las partículas del suelo puede ocurrir solo en dirección vertical, ésta es la consolidación unidimensional. En el caso citado arriba, por ejemplo, la consolidación sería de este tipo, considerando que los estratos depositados tienen gran extensión horizontal, en comparación con su espesor. En la consolidación unidimensional el volumen de la masa de suelo disminuye, pero los desplazamientos horizontales de las partículas sólidas son nulos (Juárez y Rico, 1995).

Cuando la compresión de una masa de suelo depende del tiempo, esta se denomina consolidación. Al igual que todos los asentamientos en el suelo, la consolidación es una deformación elastoplástica que resulta en una permanente reducción de la relación de vacíos debido a un incremento en los esfuerzos. La diferencia esencial entre compresión ordinaria y asentamiento por consolidación es que la consolidación depende del tiempo (Bowles, 1982).

Las características esfuerzo-deformación de un suelo dependerán del tipo de suelo, de la forma en que es cargado y donde se ubica en la naturaleza. Las deformaciones no siempre se producen instantáneamente ante la aplicación de la carga, sino a lo largo del tiempo. El proceso de consolidación se aplica a todos los suelos, pero es más importante en aquellos donde la permeabilidad es baja por ello es necesario predecir el asentamiento total de la estructura y el tiempo o velocidad a la cual se produce dicho asentamiento (Juárez y Rico, 1995).

2.5.1. Ensayo de Consolidación Unidimensional

El propósito fundamental del ensayo de consolidación es determinar ciertos parámetros que se utilizan para predecir la velocidad y la magnitud del asentamiento de estructuras fundadas sobre arcillas. Además, el ensayo permite obtener información acerca de la historia de presiones a que ha sido sometido el suelo. Los parámetros más importantes que se obtienen del suelo al realizar el ensayo son:

- a. El coeficiente de consolidación (c_v), que indica el grado de asentamiento del suelo bajo un cierto incremento de carga y vinculado a la velocidad del mismo.
- b. El índice de compresibilidad (C_c), que expresa la compresibilidad de una muestra.
- c. La presión de pre-consolidación (P_c), que indica la máxima presión que ha soportado el suelo en su historia geológica (Juárez y Rico, 1995).

2.6. RELACIÓN ENTRE EL ESFUERZO Y LA RELACIÓN DE VACÍOS

Una masa de suelo está compuesta por material granular y los vacíos que se encierran en ella, estos vacíos pueden estar llenos de gases o líquido, la masa sólida como la líquida se consideran incomprensibles.

La deformación de un suelo debido a la aplicación de una carga externa o esfuerzo es producto de la disminución de masa del suelo, debido a la reducción del volumen de vacíos de los poros.

Una vez que el suelo alcanza su máxima deformación bajo un incremento de carga aplicado, su relación de vacíos llega a un valor menor, evidentemente mayor a la inicial y que puede determinarse a partir de los datos iniciales de la muestra y las lecturas del extensómetro. Así, para cada incremento de carga aplicada se tiene finalmente un valor de la relación de vacíos y otro de la presión correspondiente actuante entre el espécimen. En suma, de toda la prueba, una vez aplicados todos los incrementos de carga; se tienen valores para constituir una gráfica en cuyas abscisas se ponen los valores de la presión actuante, en escala natural o logarítmica y en cuyas ordenadas se anotan los correspondientes de relación de vacíos (e) en escala natural. Estas curvas se llaman de compresibilidad y de ellas se obtiene una en cada prueba de consolidación completa. En la Figura 5 se muestra, fuera de escala, las formas típicas de estas curvas (Juárez y Rico, 1995).

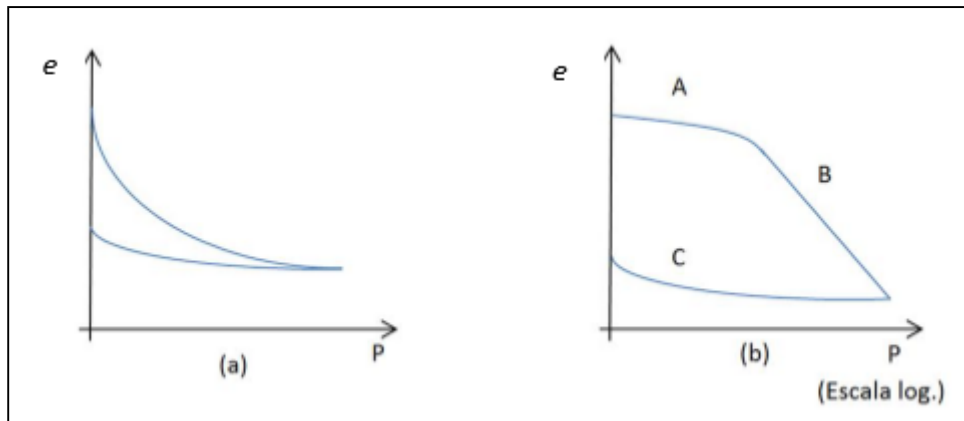


Figura 5: Formas típicas de la curva de compresibilidad en suelos compresibles, (a) representación aritmética y (b) representación geométrica

FUENTE: Juárez y Rico (2005)

2.7. ARCILLAS EXPANSIVAS

Una arcilla expansiva es aquella arcilla susceptible de producir grandes cambios de volumen, en directa relación con los cambios en la humedad del suelo.

Las arcillas expansivas se caracterizan por tener un límite líquido (LL) mayor a 50 % y un alto índice de plasticidad (IP) superior a 17 por ello se dice que son altamente plásticas.

La expansibilidad de los minerales de arcilla por adsorción de agua se debe a los principalmente a los siguientes factores: adsorción en la superficie de moléculas de agua, hidratación de los cationes de cambio (expansión intracristalina), expansión osmótica, carga interlaminar de las montmorillonitas sódicas y presión en los bordes de las esmectitas magnéticas (saponitas).

2.8. DEFORMACIÓN ELÁSTICA

Cuando un material es sujeto a esfuerzos, éste responde con deformaciones. Entonces, es necesario trazar una historia de los cambios entre los esfuerzos y las deformaciones y así obtener una curva de esfuerzo- deformación.

2.9. ÍNDICE DE VACÍOS- PUNTOS DE PRESIÓN

Después de obtener las gráficas de deformación en función del tiempo para diversas cargas en el laboratorio, es necesario estudiar el cambio en el índice de vacíos de la muestra con presión.

$$H = \frac{W}{AG\gamma} \dots \dots \dots (4)$$

W: peso seco de la muestra

A: área de la muestra

G: gravedad específica de los solidos

γ : peso unitario del agua

2.10. ASENTAMIENTO

El asentamiento ocurre cuando el agua de los poros es expulsada de la masa de suelo, como consecuencia, se reduce el volumen de éste. El asentamiento dependerá del tipo de cimentación, ya sea la cimentación flexible o totalmente rígida, para determinarlo se toman en cuenta propiedades del suelo como módulo de elasticidad y relación de Poisson del suelo.

El asentamiento en el suelo originado por cargas se divide en tres amplias categorías:

2.10.1. Asentamiento inmediato

Provocado por la deformación elástica del suelo seco y de suelo húmedo y saturado sin ningún cambio en el contenido de agua. Los cálculos de los asentamientos inmediatos se basan, generalmente, en ecuaciones derivadas de la teoría de la elasticidad.

2.10.2. Asentamiento por consolidación primaria

Es el resultado de un cambio de volumen en suelos saturados cohesivos debido a la expulsión de agua que ocupa los espacios vacíos.

2.10.3. Asentamiento por consolidación secundaria

Se observa en suelos saturados cohesivos y es resultado del ajuste plástico de la estructura. Este sigue al asentamiento por consolidación primaria bajo un esfuerzo efectivo constante. En los suelos finos arcillosos, la permeabilidad es muy baja, por lo que el flujo de agua es muy lento, y la disipación por exceso de presión neutra es muy lenta. En consecuencia, el

suelo puede continuar deformándose durante varios años después de finalizada la construcción de la obra que transmite la carga.

2.11. MÓDULO DE ELASTICIDAD

El módulo elástico o de Young indica la relación entre la tensión y la deformación en un cuerpo sólido. Define la relación entre la tensión aplicada en un cuerpo sólido y la deformación resultante sin tener en cuenta la deformación transversal. El módulo elástico también se conoce como módulo E y se expresa en unidades de tensión mecánica y depende de la densidad del material (MPa, PSI, kg f/cm²).

Según Juárez y Rico (2005) el hecho de que los suelos no sean homogéneos ni isotrópicos ocasiona que estos se aparten de las hipótesis que por lo general son atribuidas al medio elástico. Sin embargo, el hecho más importante radica en que los suelos no son elásticos y menos aun linealmente elásticos como tendría que ser para poder aplicar las soluciones obtenidas con la teoría de elástica. En suelos, el módulo de elasticidad aumenta con la profundidad y varía con la presión de confinamiento.

Según Lambe (1996) el módulo de elasticidad no es un parámetro constante de suelos sino más bien, una magnitud que describe con aproximación el comportamiento de un suelo para una combinación particular de esfuerzos.

El módulo de elasticidad, o también conocido como módulo de esfuerzo- deformación es una propiedad de los materiales elásticos, se definen como una constante de proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \dots\dots\dots (5)$$

La mayoría de los materiales de ingeniería exhiben esta conducta lineal en algún intervalo de esfuerzo (y su correspondiente deformación). El acero exhibe una conducta lineal en un gran intervalo de esfuerzo, el concreto, el aluminio, el hierro, la madera, etc. Son lineales en un intervalo muy limitado de esfuerzo (Bowles, 1982).

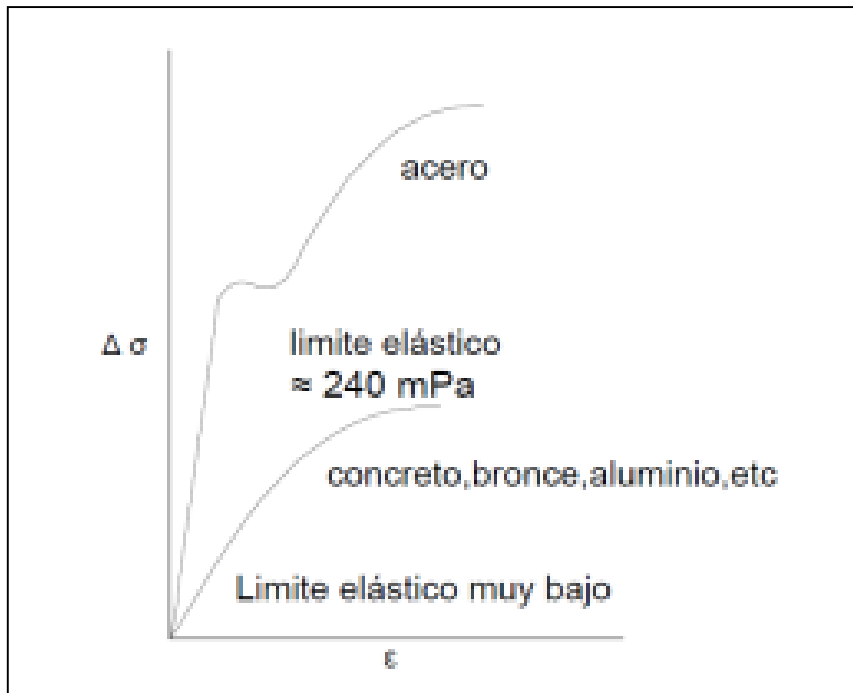


Figura 6: Curvas cualitativas de esfuerzo deformación para algunos materiales

FUENTE: Bowles (1982)

Según Bowles (1982) hay dos métodos usuales para calcular el módulo de esfuerzo deformación a partir de curvas no lineales de esfuerzo deformación:

- a. Módulo de tangente. Es un módulo basado en la pendiente de la línea tangente a la curva esfuerzo- deformación en un punto. El módulo tangente inicial se usa comúnmente (una tangente en el origen) debido a que la pendiente en el origen no está sujeta a factores del medio ambiente, tales como tipo de ensayo y presiones confinantes.
- b. Módulo secante. Es el módulo basado en la pendiente de una línea secante. Una línea secante corta la curva de esfuerzo- deformación en dos puntos. Cuando se usa, los dos puntos por lo común son igualmente espaciados a partir del esfuerzo de trabajo.

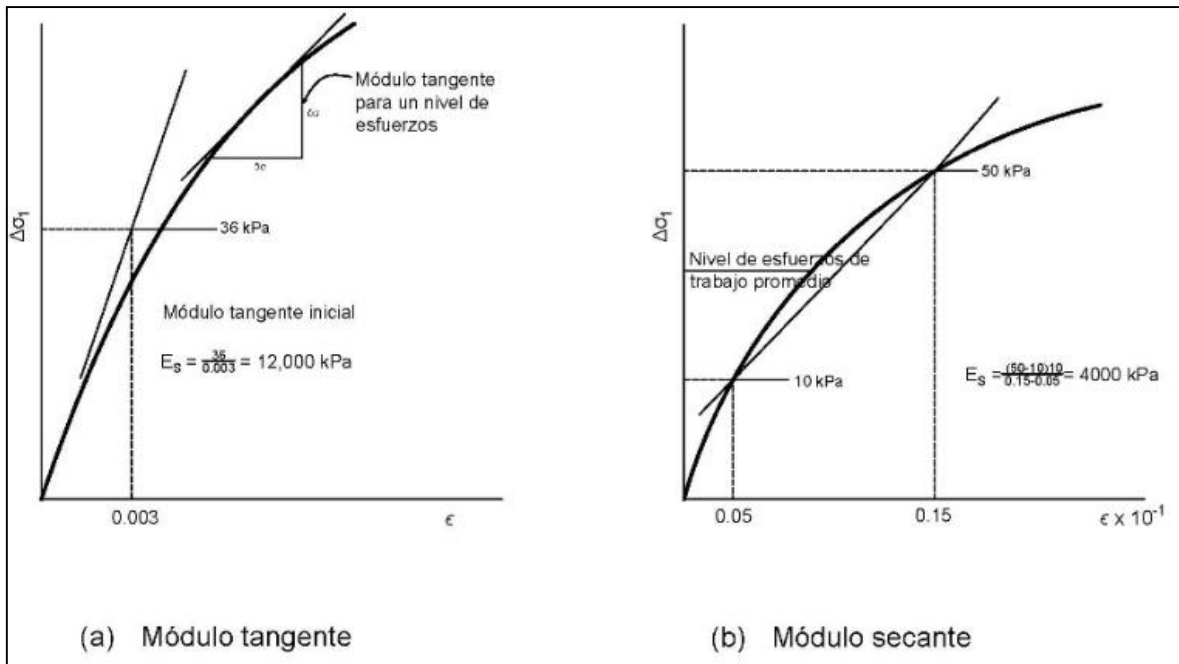


Figura 7: Métodos para hallar módulo de Elasticidad

FUENTE: Bowles (1982)

Tabla 4: Parámetros elásticos para varios tipos de suelos

Tipo de Suelo	Módulo de Elasticidad E_s (MN/ m ₂)	Coefficiente de Poisson μ_s
Arena Suelta	10.0 -25	0.20-0.40
Arena semi-densa	15-30	0.25-0.40
Arena densa	35-55	0.30-0.45
Arena Limosa	10.0 - 20.0	0.20-0.40
Arena y grava	70-170	0.15-0.35
Arcilla blanda	4.0 - 20	
Arcilla media	20-40	0.20-0.50
Arcilla dura	40-100	

FUENTE: Braja (2013)

2.12. RELACIÓN DE POISSON

Relación de Poisson o coeficiente de Poisson es una propiedad de los materiales elásticos definida como la razón de:

$$\mu = \frac{\text{deformacion unitaria colineal con el esfuerzo de interes}}{\text{deformacion unitaria ortogonal con el esfuerzo de interes}}$$

La relación de Poisson con frecuencia se supone entre 0.2 y 0.4 en los trabajos de mecánica de suelos. Por conveniencia de cálculos se usa generalmente un valor de 0.5 en suelos saturados y de 0 para suelos secos y otros. Esto se debe a que un valor de relación de Poisson es difícil de obtener en los suelos.

2.13. MÓDULO VOLUMÉTRICO UNITARIO

Cifra que expresa la resistencia de un material a los cambios elásticos, relación entre la presión que actúa sobre el material y el cambio fraccional que se produce en su volumen dentro de los límites de elasticidad del material. También llamado coeficiente de estabilidad Volumétrico.

2.14. MÓDULO DE DEFORMACIÓN VOLUMÉTRICO (B)

El Módulo de deformación volumétrico se define por:

$$B = \frac{E}{3(1 - 2\mu)} \dots \dots (6)$$

E: Modulo de elasticidad

μ : coeficiente de Poisson

III. METODOLOGÍA

3.1. MATERIALES

3.1.1. Muestras de suelo

Para los fines de la investigación se utilizaron muestras de suelos arcillosos de media y alta plasticidad provenientes de las zonas de La Convención – Cuzco Y Chachapoyas – Amazonas.

3.1.2. Equipos de laboratorio

A. Equipo para el análisis granulométrico: Método Mecánico

Para el análisis granulométrico se usaron un juego de tamices graduados, muestras de suelo, bandejas, etc. de acuerdo a las siguientes normas AASHTO T87-70 (Preparación de la muestra) AASHTO T88-70(Procedimiento de prueba) y ASTM D421-58 y D422-63.

B. Equipo para el análisis granulométrico: Método del Hidrómetro

Para este ensayo se usaron muestras de suelo previamente tamizada, probetas graduadas, dispersante, hidrómetro, termómetro, cronometro, etc. Desacuerdo a las siguientes normas AASHTO T87-70 y T88-70 y ASTM D421-58 y D422-63.

C. Equipo para límites de consistencia

Para hallar los límites se usaron muestras de arcillas saturadas, copa de Casagrande, acanalador, balanza de sensibilidad, espátula de acero flexible, cápsulas de porcelana, placa de vidrio, horno regulable a 110°, agua destilada de acuerdo a las Normas AASHTO T89-68 y T90-70 y ASTM423-66 (limite liquido) y D424-59 (limite plástico).

D. Equipo para gravedad específica de sólidos

Este ensayo requirió de fiolas correctamente calibradas, curva de calibración, cocina, termómetro, muestras de suelos, una cocina, recipientes de pírrex, embudo, pipeta, agua destilada según AASHTO T100-70 y ASTM D854-58.

E. Equipo para ensayo de consolidación

Para el ensayo de consolidación se usaron muestras de suelo remoldeado, equipo para consolidación, edómetros, agua, cronometro, horno etc. de acuerdo a su respectiva norma AASHTO T216-66 y ASTM D2435-70.

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Toma de muestras

La toma de muestras se realizó de acuerdo a las Normas Peruanas Método normalizado para ensayo de corte por veleta de campo de suelos cohesivos NTP 339.155 (ASTM D 2573) de acuerdo a dicha norma, este método es el más conveniente para realizar una calicata en suelo arcilloso con el fin de extraer las muestras que se trabajarán.

3.2.2. Caracterización de los suelos

La caracterización de los suelos consistió en la ejecución de una serie de ensayos de laboratorio para determinar sus características físicas y mecánicas.

A. Análisis granulométrico por tamizado. NTP 339-128-1999, ASTM D422-63

Es obtención de la gradación de las partículas de distintos tamaños presentes en una muestra de suelo. Se llama análisis mecánico y consiste en la determinación de los porcentajes de boleos, gravas, arenas y finos que hay en cierta masa de suelo.

En este ensayo se tamizo por vía seca y húmeda. La fracción fina se separó por vía húmeda mediante una serie de tamices de diferente gradación. Mediante este ensayo se determinó los coeficientes de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura (CC.).

B. Análisis granulométrico por el método del hidrómetro. NTP 339-128-1999, ASTM D 422-63

Se realizó usando el material fino de las muestras de suelo, aquel que paso por el tamiz de 74 μm (N° 200) con lo que se pudo determinar el porcentaje de limo y arcillas. Dichos ensayos se realizaron con fines de clasificación de suelos correspondientes a las muestras.

C. Análisis de límites de consistencia. NTP 339-129-1999, ASTM D 4318-93

Los límites de Atterberg son parámetros que ayudan a determinar la propiedad de plasticidad de un suelo por lo cual se realizaron estos ensayos al material de las muestras de suelos finos que pasaron el tamiz 42 μm (N°40) Para hallar el límite plástico se formó un bastoncillo de 3mm de diámetros hasta cierto límite sin romperse, con el fin de determinar el contenido de humedad que tiene el suelo al momento de pasar del estado plástico al semisólido. Para el límite líquido se determinó la humedad que tiene el suelo amasando cuando al recibir 25 golpes ligeros contra una placa de goma de una vasija especial, se requiere para cerrar la ranura en el fondo una distancia de 12.7mm.

3.2.3. Ensayos especiales

Los suelos seleccionados son arcillas normalmente consolidados de plasticidad media (CL) Estos ensayos son especiales porque nos permiten hallar los parámetros fundamentales módulo de deformación volumétrica unitaria, módulo de elasticidad y gravedad específica de sólidos.

A. Ensayo de gravedad específica de sólidos. NTP 339-131-2011, ASTM D 854- 92

Mediante este ensayo se determinó la gravedad específica de las muestras de suelos que pasaron el tamiz 200 μm (N° 10) con ayuda de un picnómetro, la gravedad específica es la relación entre la masa de un cierto volumen de solido que son inherentes a cada tipo de arcilla. El peso específico nos permite calcular la relación de vacíos de un suelo, análisis hidrométrico y el peso unitario del suelo.

B. Ensayo de consolidación unidimensional. NTP 339-154-2001, ASTM D 2435- 96

Mediante el ensayo de consolidación se determinó la deformación elastoplástica generada por cada carga aplicada. Para obtener la deformación elástica, de cada una de las 4 muestras

de suelo que se encontraban inicialmente en el límite líquido. Se efectuó un proceso de carga y descarga en cada incremento de carga, con la finalidad de conseguir las histéreticas las cuales se aproximan a una recta la cual trasladada al origen como tangente y permitió determinar la deformación elástica (ϵ_e) El módulo de elasticidad (E) se obtuvo de la tangente del ángulo formado por la línea de la histéresis que se trasladó al origen de la curva de consolidación y la línea de e_0 .

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS

Se utilizaron 4 suelos arcillosos de plasticidad media y alta provienen de Cusco y Chachapoyas. Las muestras de suelo que se utilizaron para la investigación presentan una plasticidad media alta con un contenido de arcilla mayor al 50 % del total de su peso, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5: Parámetros de las muestras

MUESTRA	SUCS	L.L (%)	L.P. (%)	I.P. (%)	GRAVAS (%)	ARENA (%)	FINOS		GRAVEDAD
							LIMO (%)	ARCILLA (%)	
M1	CH	67.35	29.01	38.33	0	0	31.76	68.24	2.78
M2	CL	49.05	24.89	24.16	0	9.43	28.47	62.09	2.70
M3	CH	56.63	28.22	28.41	0	0	39.84	60.16	2.71
M4	CH	55.41	26.09	29.32	0	6.28	33.89	59.83	2.73

4.2. DETERMINACIÓN DE MÓDULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad (E) se obtuvo calculando la tangente del ángulo formado por la recta tangente a la curva de consolidación y el eje de relación de vacíos como se observa en la Figura 8.

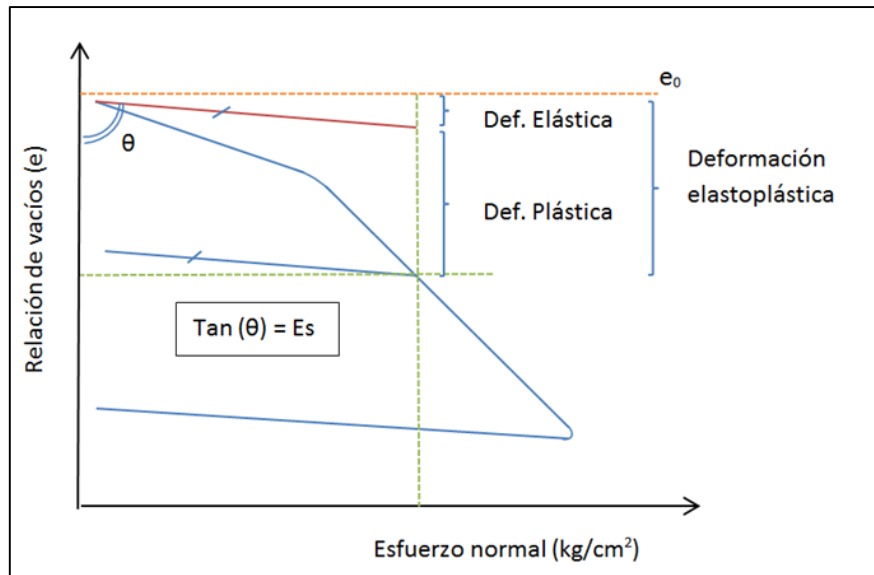


Figura 8: Módulo de elasticidad vs Densidad seca

4.2.1. Ensayo de consolidación

Sobre las cuatro muestras de arcilla M1, M2, M3, M4, se efectuaron los ensayos de consolidación con el fin de determinar las deformaciones totales para cada carga aplicada de acuerdo con la Teoría de la consolidación unidimensional de Terzaghi. Por cada muestra se colocaron cargas de 0.1 kg/cm^2 , 0.25 kg/cm^2 , 0.5 kg/cm^2 , 1.0 kg/cm^2 , 2 kg/cm^2 y 4 kg/cm^2 .

Para las cargas de 0.5 kg/cm^2 , 1.0 kg/cm^2 , 2 kg/cm^2 , 4 kg/cm^2 , se realizaron 4 ciclos de carga y descarga hasta obtener una línea de histéresis que tiende a definir una recta correspondiente al rebote elástico (comportamiento elástico). En la Figura 9, Figura 10, Figura 11, Figura 12, Figura 13, Figura 14, Figura 15, Figura 16, Figura 17, Figura 18, Figura 19, Figura 20, Figura 21, Figura 22, Figura 23 y Figura 24 se muestran el artificio basado en el rebote elástico para obtener la deformación elástica.

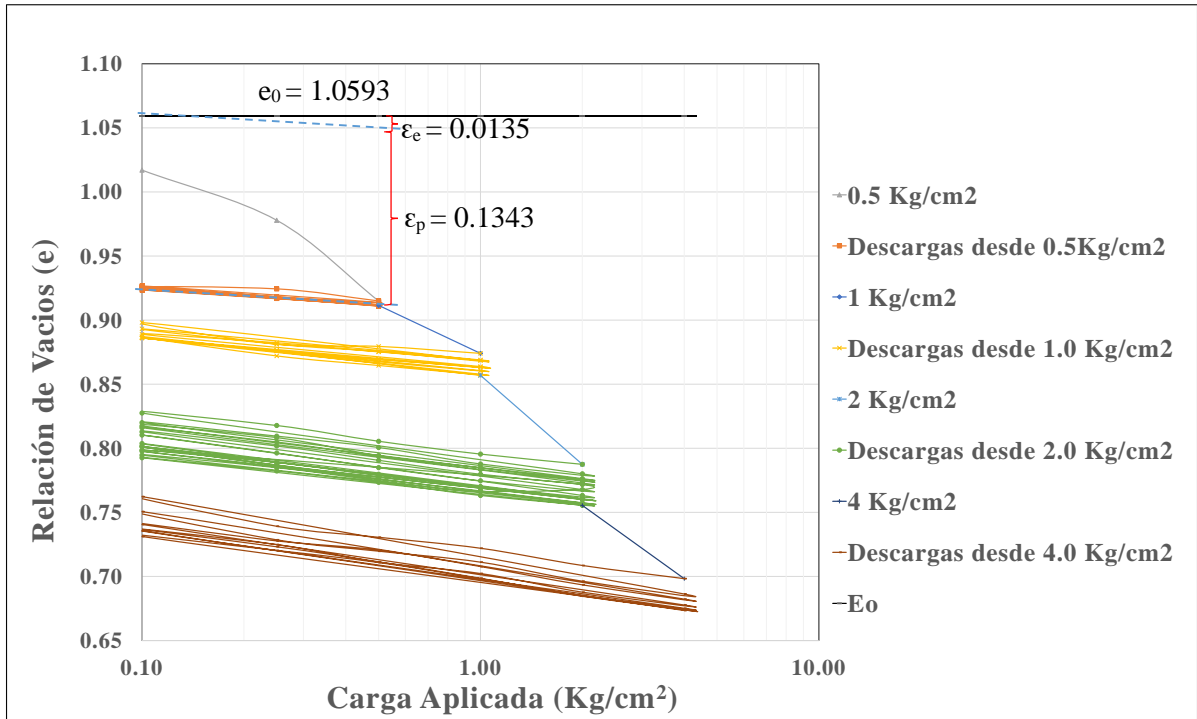


Figura 9: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M1, con carga de 0.5 kg/cm² y descarga desde 0.5 kg/cm²

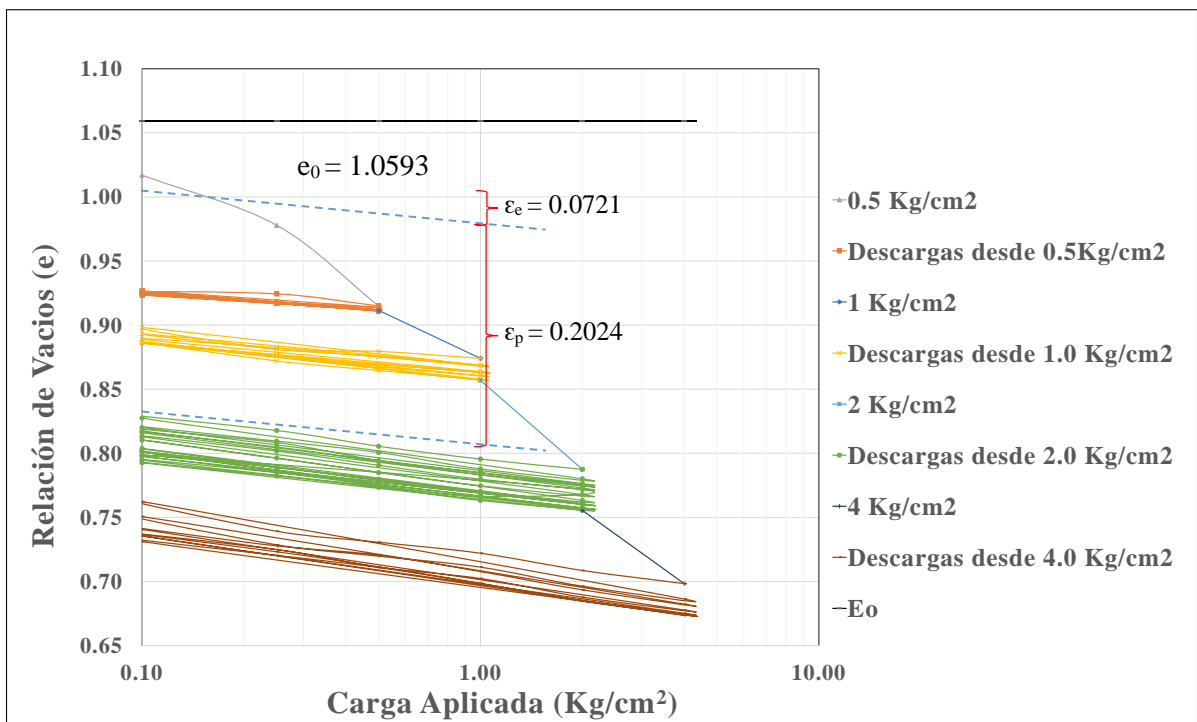


Figura 10: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M1, con carga de 1 kg/cm² y descarga desde 1 kg/cm²

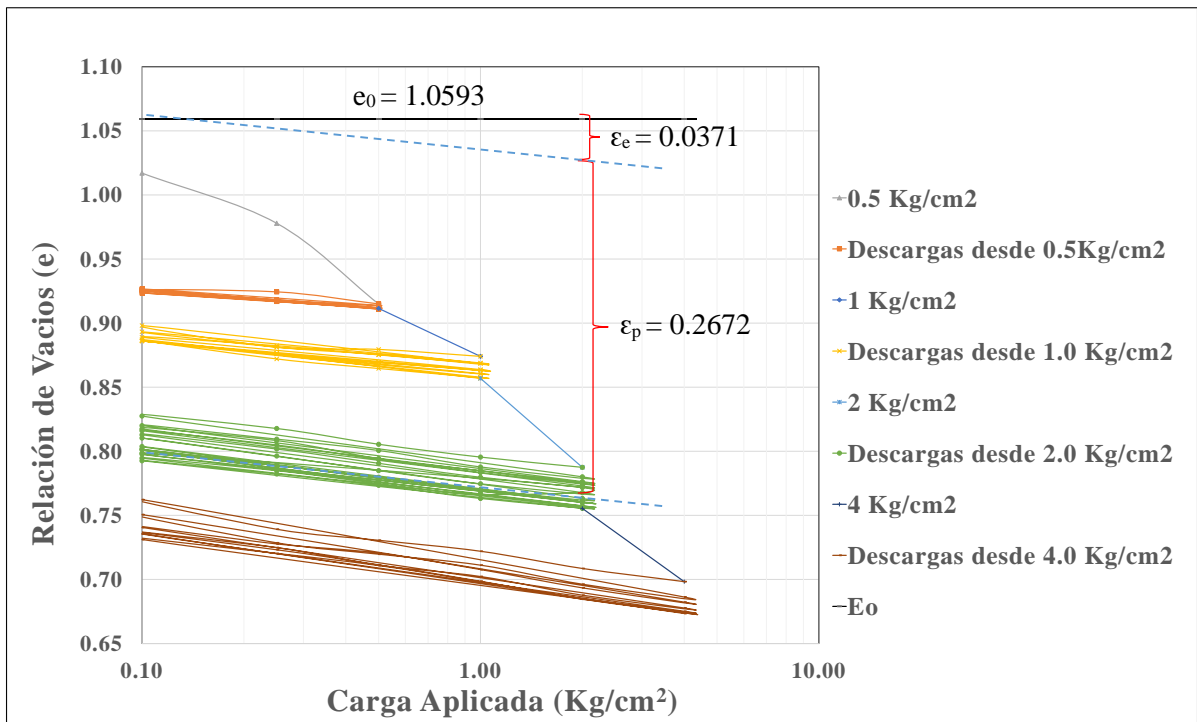


Figura 11: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M1, con carga de 2 Kg/cm² y descarga desde 2 Kg/cm²

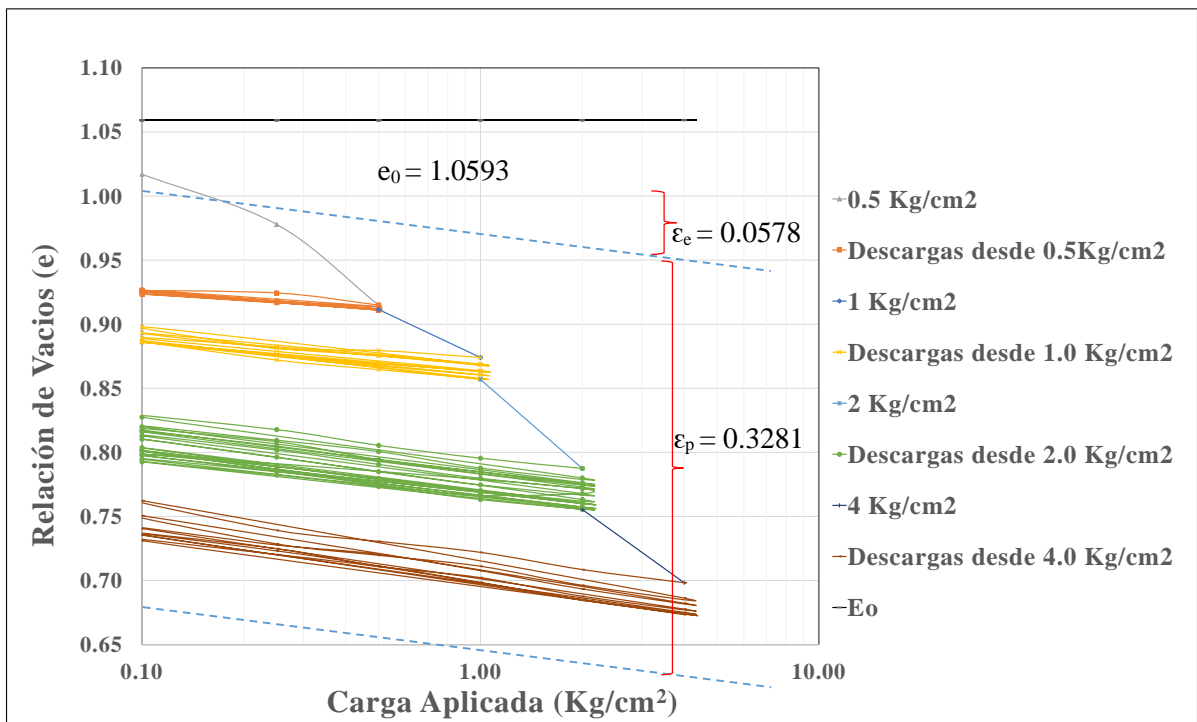


Figura 12: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M1, con carga de 4 Kg/cm² y descarga desde 4 Kg/cm²

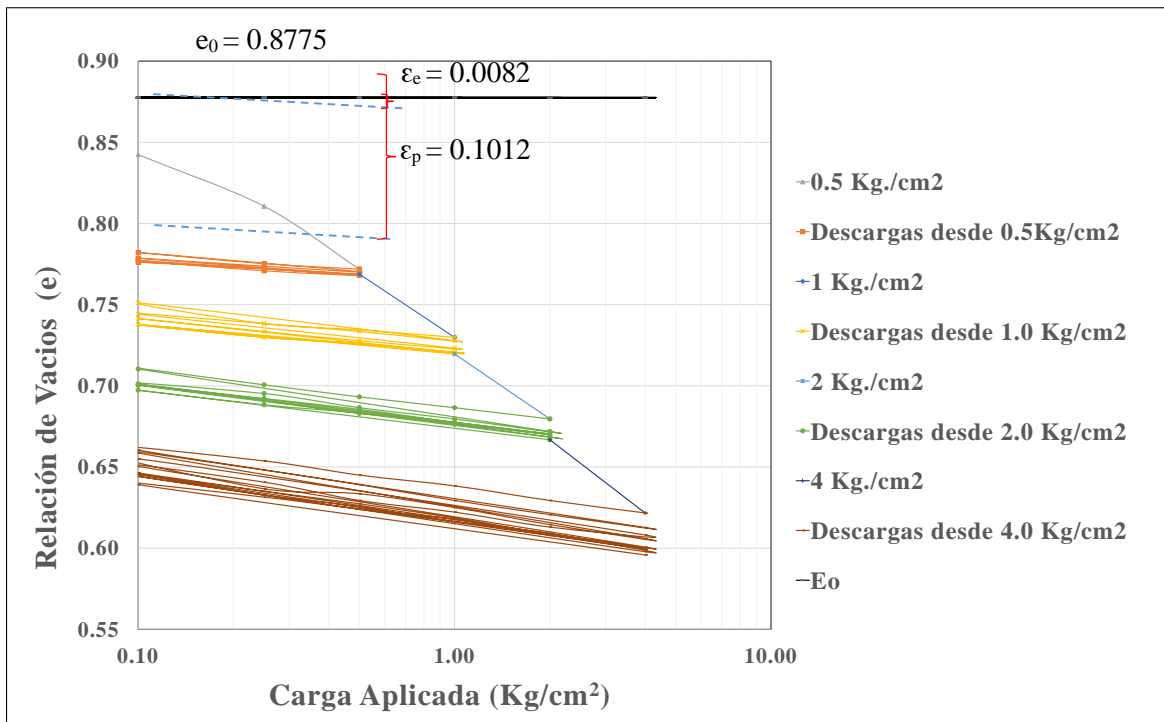


Figura 13: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M2, con carga de 0.5 Kg/cm² y descarga desde 0.5 Kg/cm²

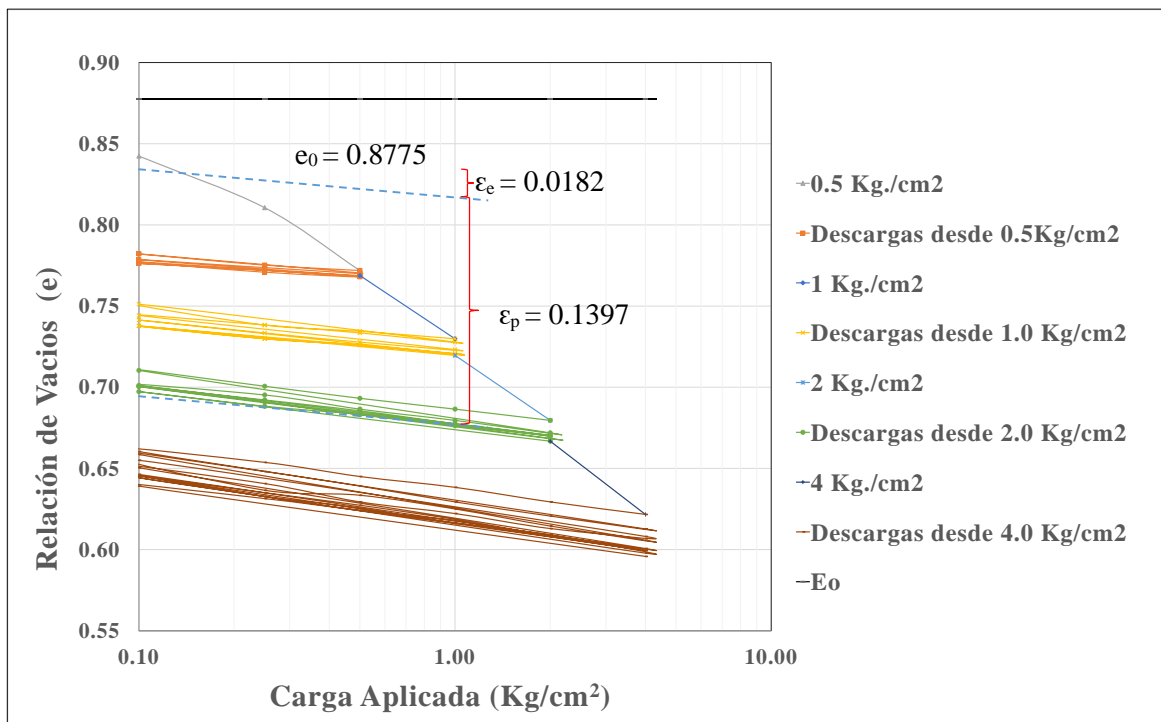


Figura 14: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M2, con carga de 1 Kg/cm² y descarga desde 1 Kg/cm²

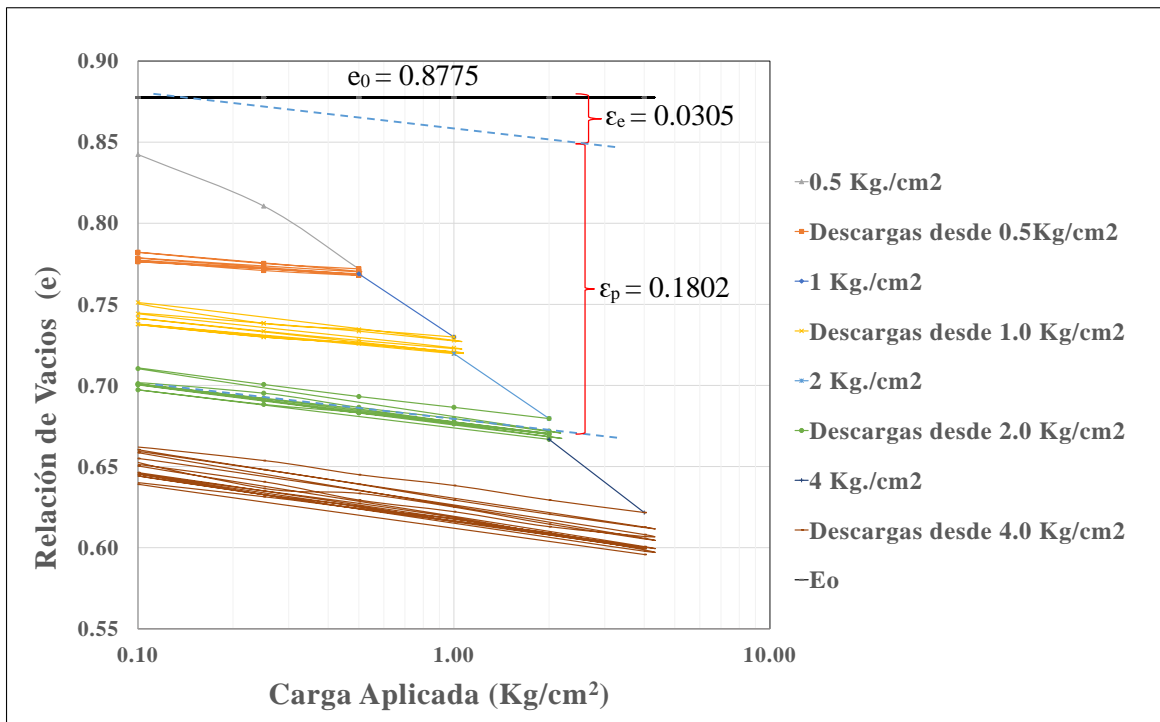


Figura 15: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M2, con carga de 2 Kg/cm^2 y descarga desde 2 Kg/cm^2

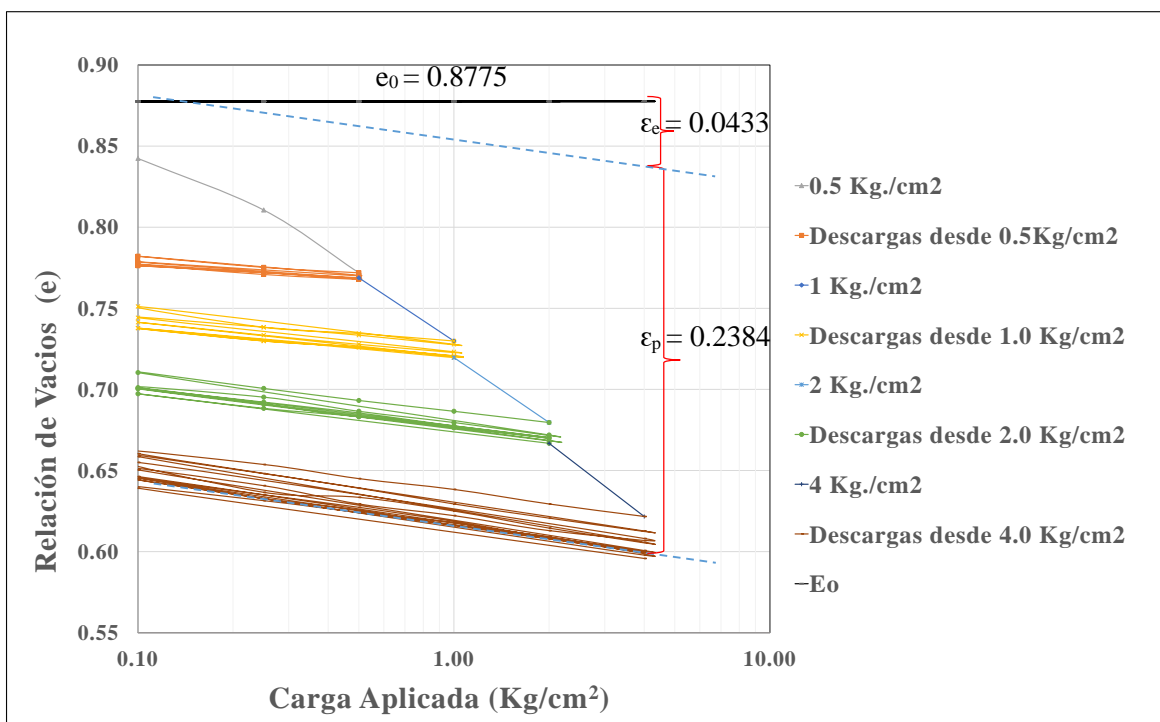


Figura 16: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M2, con carga de 4 Kg/cm^2 y descarga desde 4 Kg/cm^2

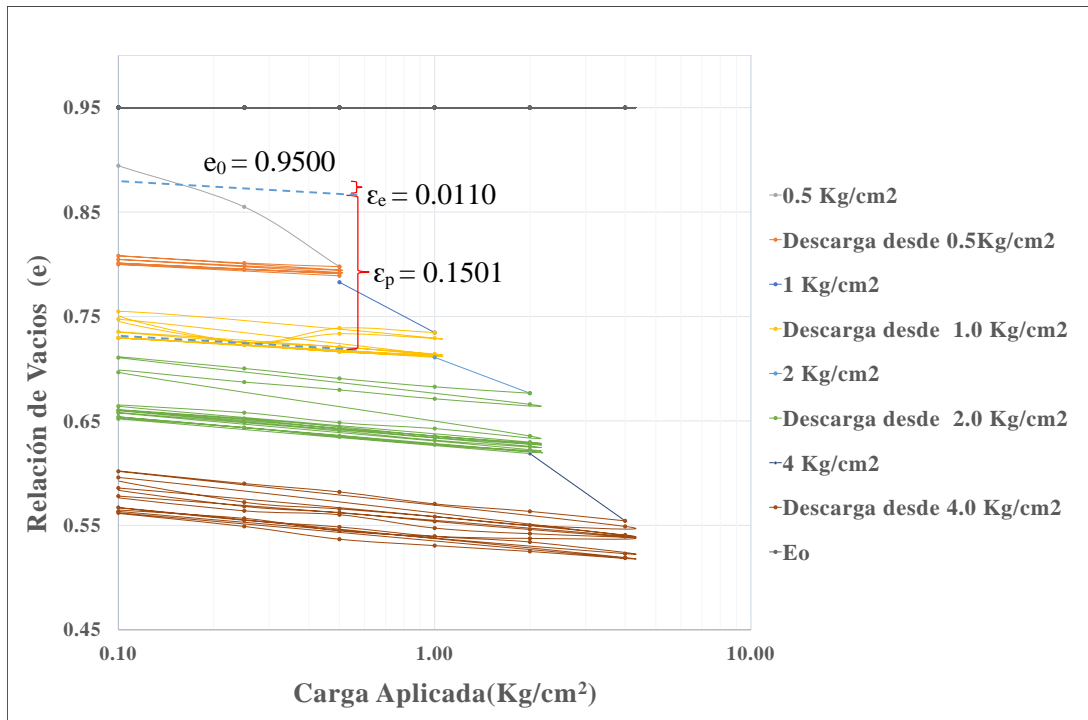


Figura 17: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M3, con carga de 0.5 Kg/cm² y descarga desde 0.5 Kg/cm²

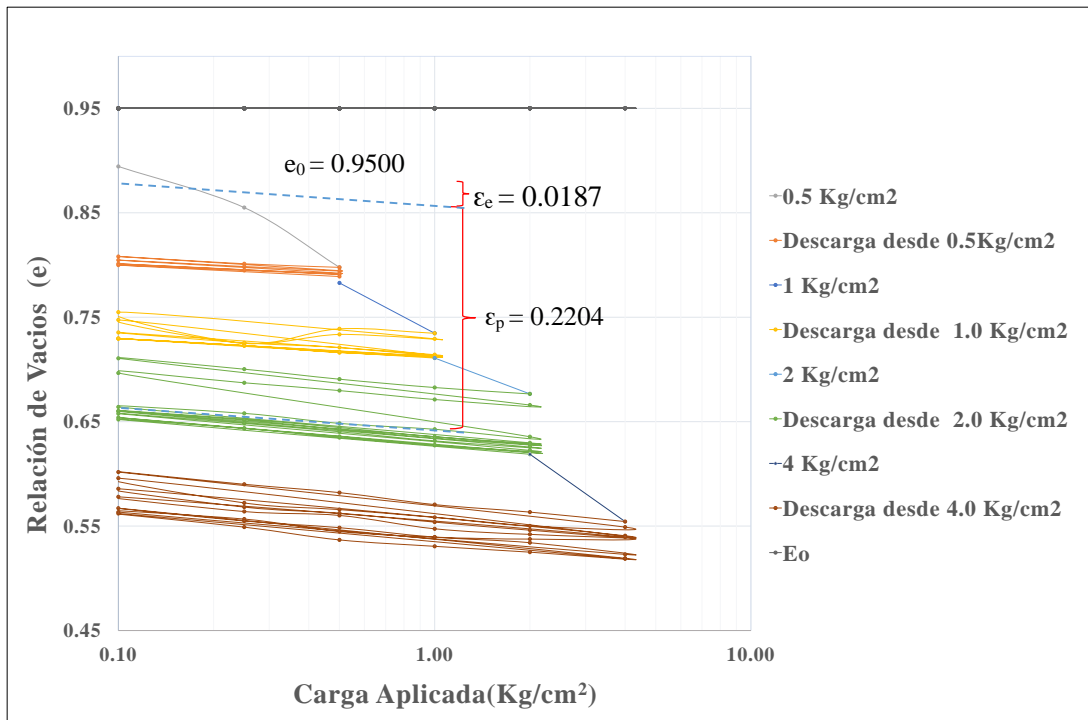


Figura 18: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M3, con carga de 1 Kg/cm² y descarga desde 1 Kg/cm²

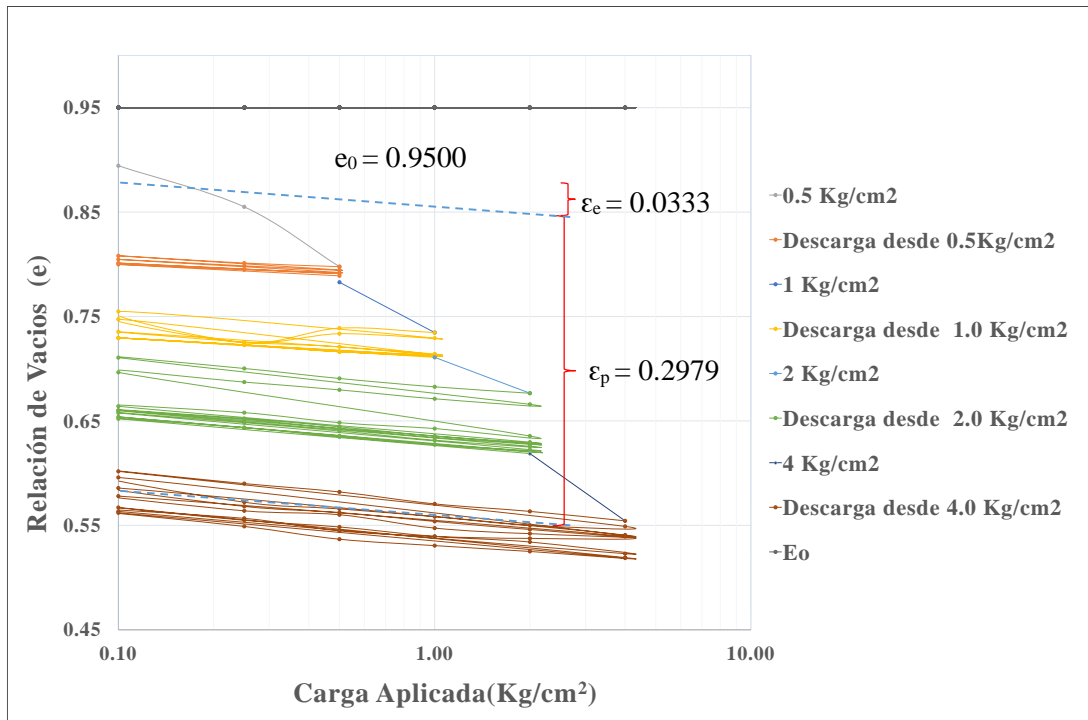


Figura 19: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M3, con carga de 2 Kg/cm² y descarga desde 2 Kg/cm².

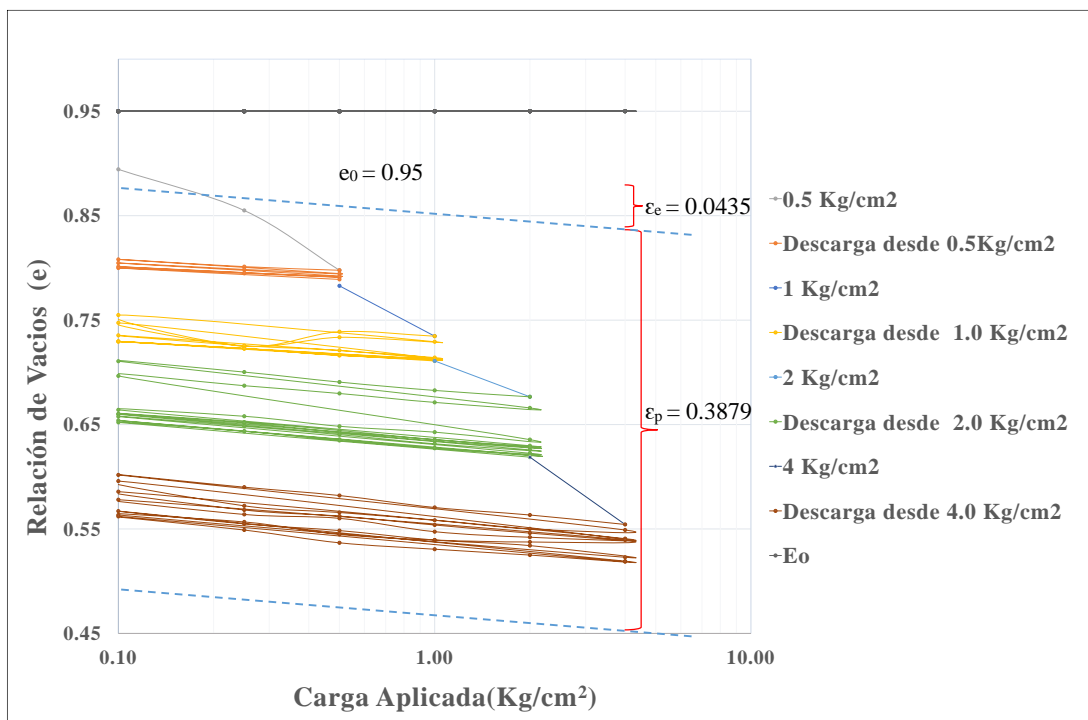


Figura 20: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M3, con carga de 4 Kg/cm² y descarga desde 4 Kg/cm²

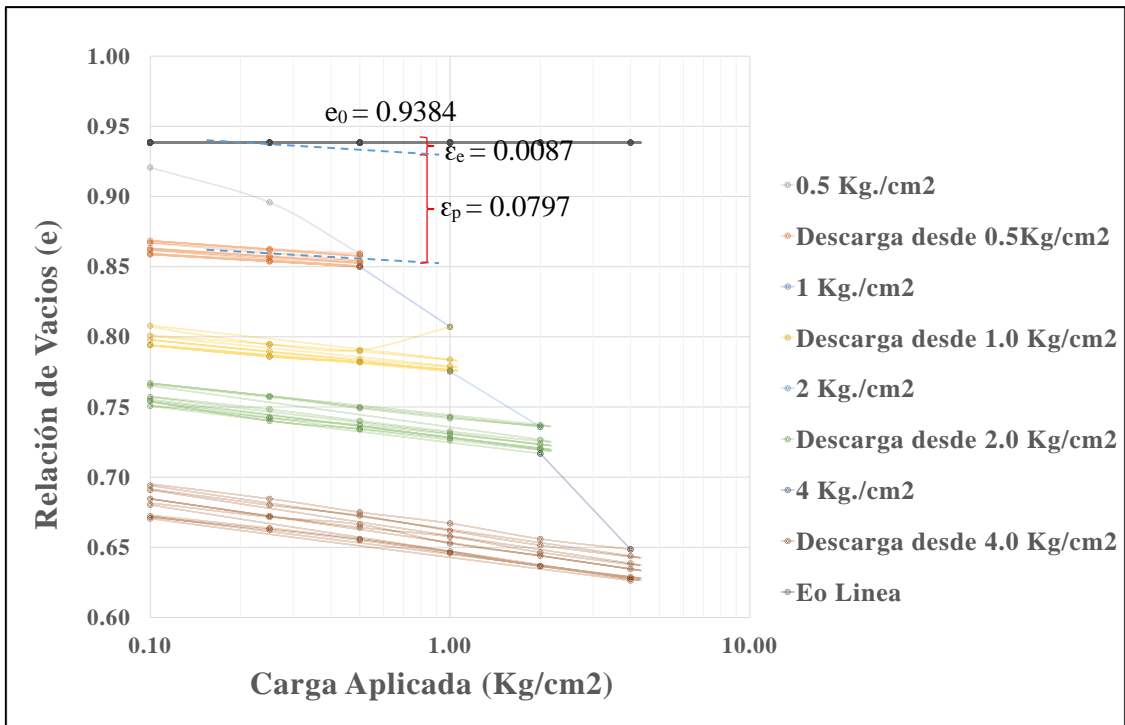


Figura 21: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M4, con carga de 0.5 Kg/cm^2 y descarga desde 0.5 Kg/cm^2

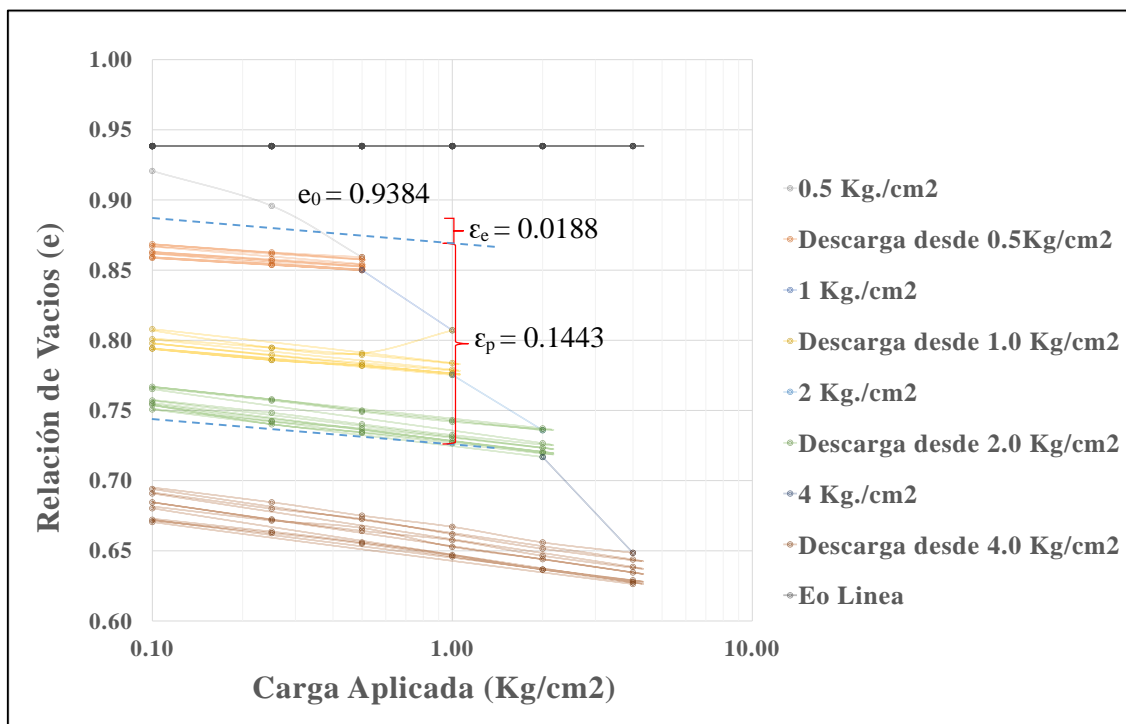


Figura 22: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M4, con carga de 1 Kg/cm^2 y descarga desde 1 Kg/cm^2

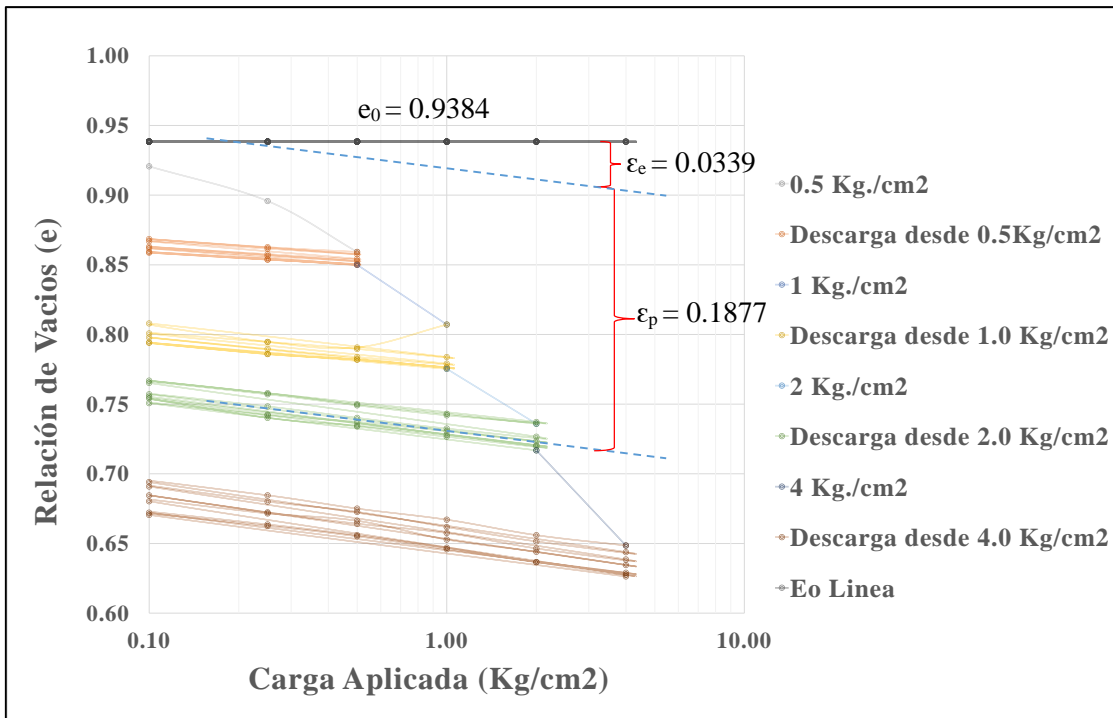


Figura 23: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M4, con carga de 2 Kg/cm² y descarga desde 2 Kg/cm²

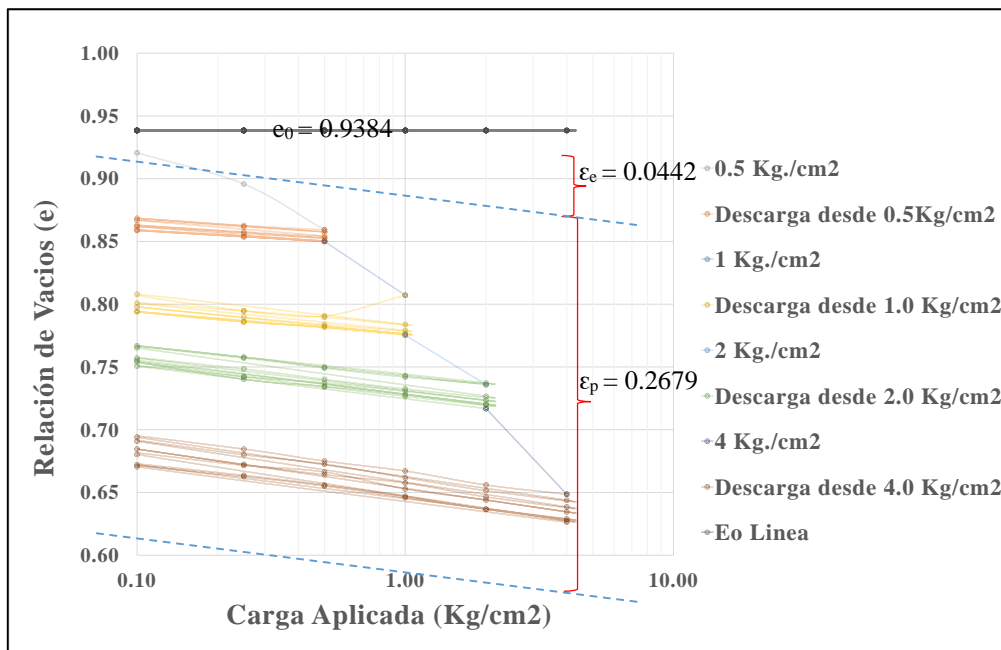


Figura 24: Rebote elástico de la Relación de Vacíos vs Carga Efectiva de la muestra M4, con carga de 4 Kg/cm² y descarga desde 4 Kg/cm²

Con ayuda del artificio del rebote elástico se pudo determinar la deformación elástica y consecuentemente el "Modulo de elasticidad" de las cuatro muestras, cuyos valores obtenidos se encuentran en la Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9, los cuales se encuentran dentro de los parámetros establecidos por Braja (Tabla 4).

Tabla 6: Deformaciones, módulo de elasticidad de las muestras

M1					
Descarga (Kg/cm ²)	Deformación Elástica (ϵ_e)	Deformación Plástica (ϵ_p)	Deformación Elastoplástica (ϵ_{ep})	Módulo de Elasticidad (Kg/cm ²)	Angulo (°)
0.5	0.0135	0.1343	0.1478	37.04	88.45
1.0	0.0303	0.1721	0.2024	33.00	88.26
2.0	0.0371	0.2672	0.3043	53.91	88.94
4.0	0.0578	0.3281	0.3859	69.20	89.17

Tabla 7: Deformaciones, módulo de elasticidad de las muestras

M2					
Descarga (Kg/cm ²)	Deformación Elástica (ϵ_e)	Deformación Plástica (ϵ_p)	Deformación Elastoplástica (ϵ_{ep})	Módulo de Elasticidad (Kg/cm ²)	Angulo (°)
0.5	0.0082	0.1012	0.1094	60.98	89.06
1.0	0.0182	0.1397	0.1579	54.95	88.96
2.0	0.0305	0.1802	0.2107	65.57	89.13
4.0	0.0433	0.2384	0.2817	92.38	89.38

Tabla 8: Deformaciones, módulo de elasticidad de las muestras

M3					
Descarga (Kg/cm ²)	Deformación Elástica (ϵ_e)	Deformación Plástica (ϵ_p)	Deformación Elastoplástica (ϵ_{ep})	Módulo de Elasticidad (Kg/cm ²)	Angulo (°)
0.5	0.011	0.1501	0.1611	45.45	88.74
1.0	0.0187	0.2204	0.2391	53.48	88.93
2.0	0.0333	0.2979	0.3312	60.06	89.05
4.0	0.0435	0.3879	0.4314	91.95	89.38

Tabla 9: Deformaciones, módulo de elasticidad de las muestras

M4					
Descarga (Kg/cm ²)	Deformación Elástica (ϵ_e)	Deformación Plástica (ϵ_p)	Deformación Elastoplástica (ϵ_{ep})	Módulo de Elasticidad (Kg/cm ²)	Angulo (°)
0.5	0.0087	0.0797	0.0884	57.47	89.00
1.0	0.0188	0.1443	0.1631	53.19	88.92
2.0	0.0339	0.1877	0.2216	59.00	89.03
4.0	0.0442	0.2679	0.3121	90.50	89.37

Para una mejor visualización, se realizó una comparación grafica del Módulo de Elasticidad vs la Densidad Seca, debido a que estos parámetros guardan una proporción directa.

En la Tabla 10, Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13, se aprecian los valores numéricos de las cuatro muestras de suelo y en la Figura 25, Figura 26, Figura 27 y Figura 28 sus respectivas graficas:

Tabla 10: Módulo de elasticidad vs Densidad seca M1

Carga Aplicada (Kg/cm ²)	Densidad (gr/cm ³)	Modulo (E) Módulo de Elasticidad (Kg/cm ²)
0.50	1.4517	37.04
1.00	1.4971	33.00
2.00	1.5836	53.91
4.00	1.6613	69.20

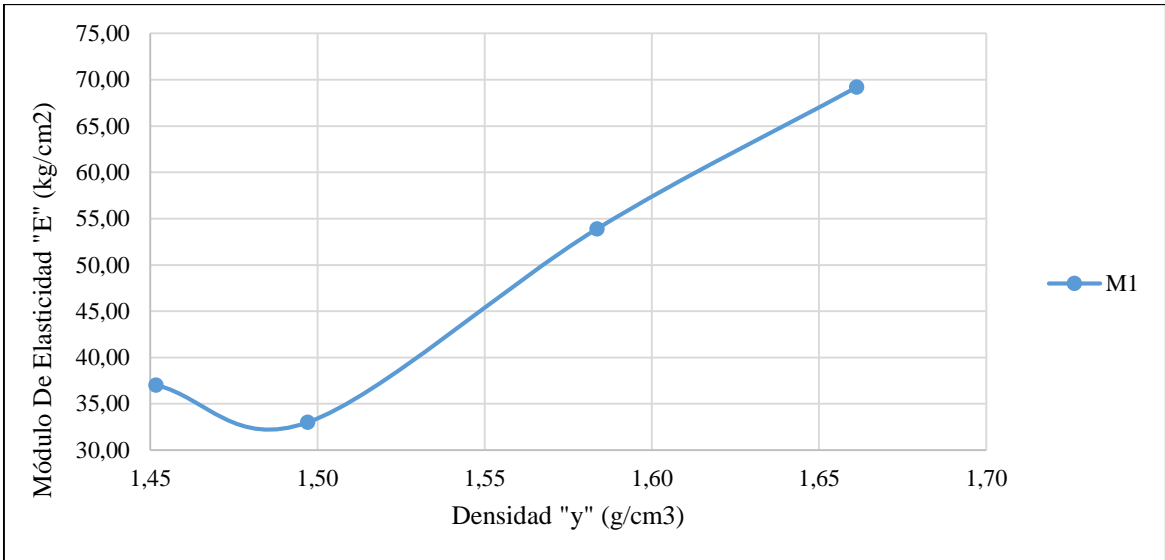


Figura 25: Módulo de elasticidad vs Densidad seca M1

Tabla 11: Módulo de elasticidad vs Densidad seca M2

Carga Aplicada (Kg/cm ²)	Densidad (gr/cm ³)	Modulo (E) Módulo de Elasticidad (Kg/cm ²)
0.50	1.5264	60.98
1.00	1.5701	54.95
2.00	1.6199	65.57
4.00	1.6920	92.38

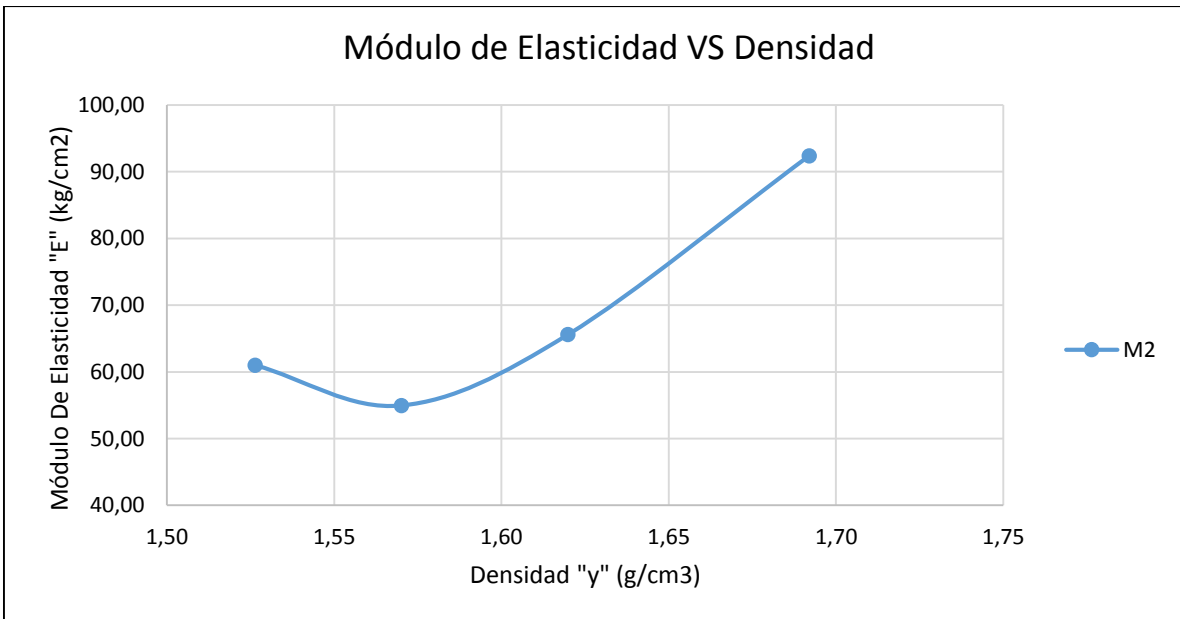


Figura 26: Módulo de elasticidad vs Densidad seca M2

Tabla 12: Módulo de elasticidad vs Densidad seca M3

Carga Aplicada (Kg/cm ²)	Densidad (gr/cm ³)	Modulo (E) Módulo de Elasticidad (Kg/cm ²)
0.50	1.5201	45.45
1.00	1.5840	53.48
2.00	1.6741	60.06
4.00	1.7845	91.95

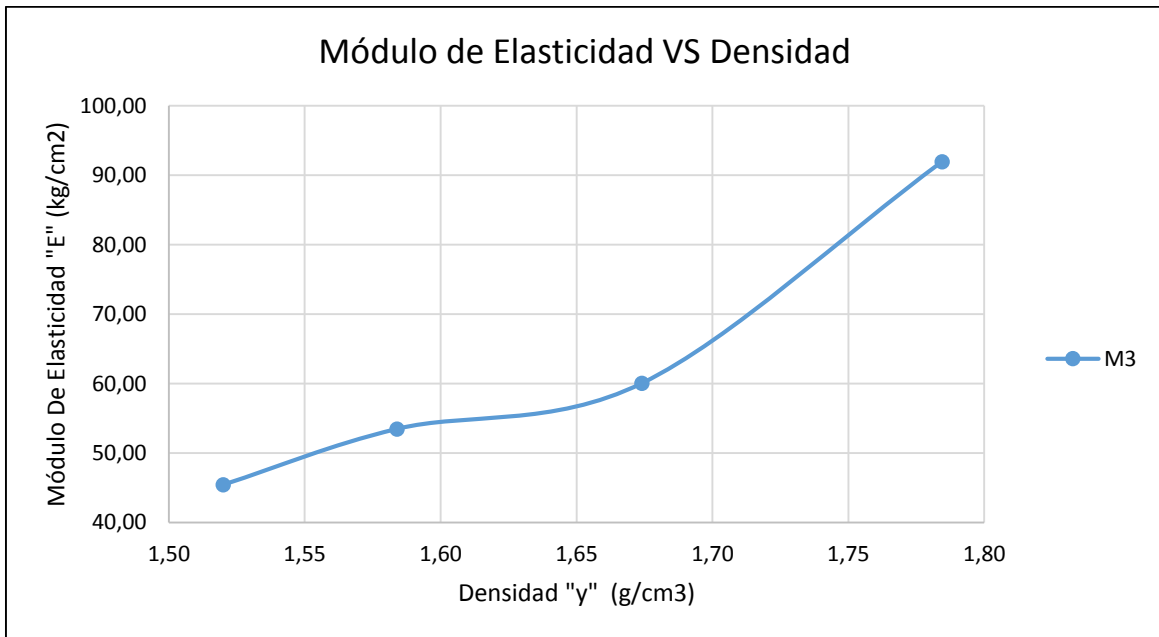


Figura 27: Módulo de elasticidad vs Densidad seca M3

Tabla 13: Módulo de elasticidad vs Densidad seca M4

Carga Aplicada (Kg/cm ²)	Densidad (gr/cm ³)	Modulo (E) Módulo de Elasticidad (Kg/cm ²)
0.50	1.4757	57.47
1.00	1.5377	53.19
2.00	1.5901	59.00
4.00	1.6787	90.50

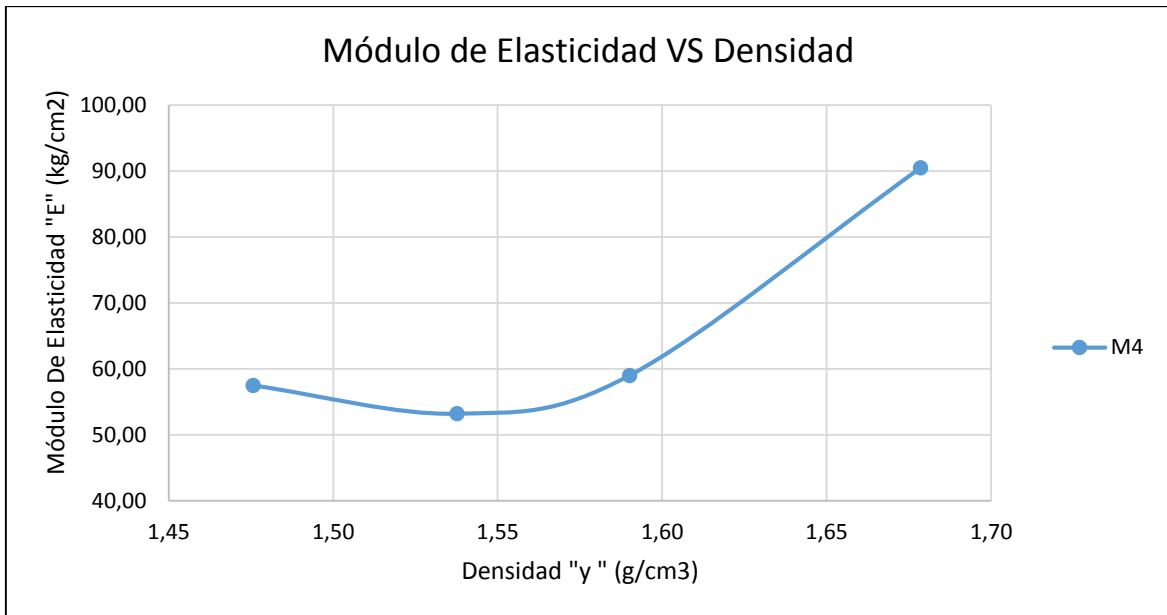


Figura 28: Módulo de elasticidad vs Densidad seca M4

En la Figura 29 Módulo de Elasticidad vs Densidad, se hace una comparación de los módulos de elasticidad de las muestras de suelos, relacionando la gravedad "G" y la plasticidad: límite líquido "LL".

El módulo de elasticidad de las muestras M1, M2, M3 y M4 con limite liquido de 67.35%, 49.05%, 56.63% y 55.41% y gravedad 2.78, 2.70, 2.71 y 2.73 respectivamente, muestran una tendencia similar.

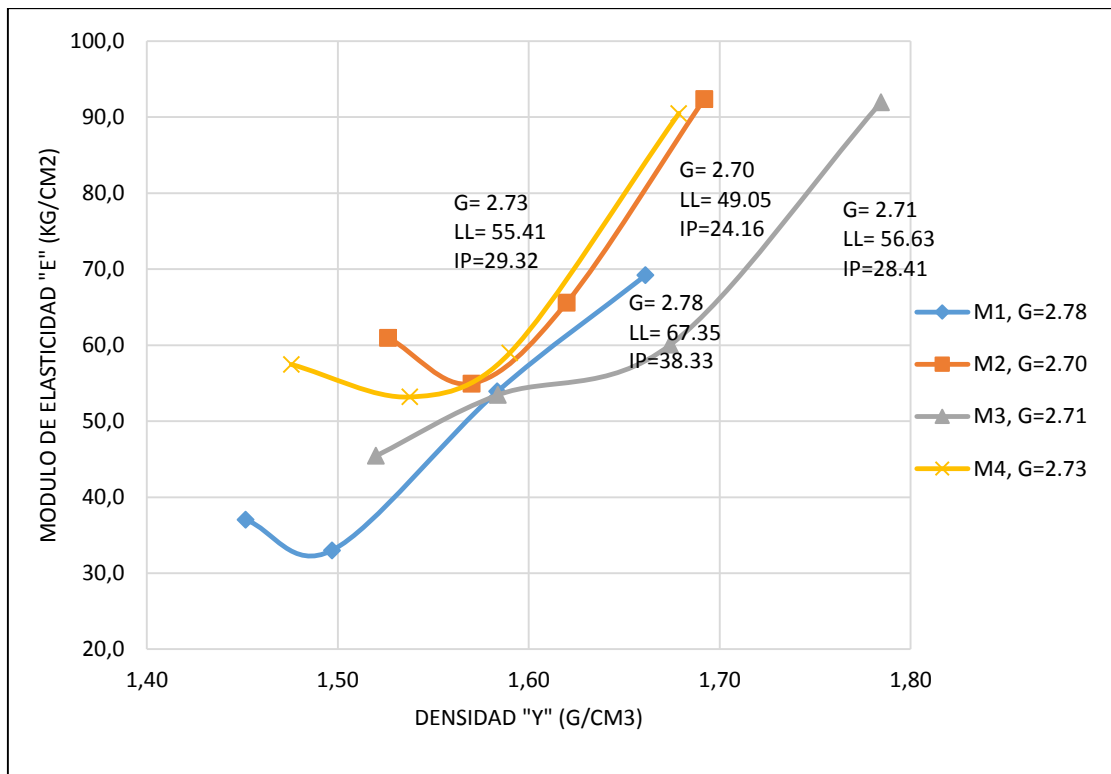


Figura 29: Módulo de elasticidad vs Densidad seca de las muestras M1, M2, M3 y M4

4.3. DETERMINACIÓN DE DEFORMACIÓN VOLUMÉTRICA

Una vez determinado el módulo de elasticidad “E” para las cuatro muestras de suelo M1, M2, M3 y M4, y asumiendo un coeficiente de Poisson “ μ ” de 0.4, se calculó la deformación volumétrica “B” con la ecuación 6.

En la Tabla 14, Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17 se puede observar los valores numéricos de las deformaciones volumétricas para cada una de las cuatro muestras de suelo, también se realizó una comparación gráfica de dicho módulo vs la Densidad Seca como se muestra en la Figura 30. La deformación volumétrica de las muestras M1, M2, M3 y M4 que tienen como límite líquido de 67.35%, 49.05%, 56.63% y 55.41% y gravedad 2.78, 2.70, 2.71 y 2.73 respectivamente, muestran la siguiente tendencia:

Tabla 14: Módulo de elasticidad (E), Modulo de deformación volumétrica (B) y densidades (γ) de la muestra M1

M1		
Módulo de Elasticidad "E" (kg/cm ²)	Densidad " γ " (gr/cm ³)	Módulo de Deformación Volumétrica "B" (kg/cm ²)
37.04	1.45	61.73
33.00	1.50	55.01
53.91	1.58	89.85
69.20	1.66	115.34
G= 2.78 IP= 38.34 CH: LL=67.35		

Tabla 15: Módulo de elasticidad (E), Modulo de deformación volumétrica (B) y densidades (γ) de la muestra M2

M2		
Módulo de Elasticidad "E" (kg/cm ²)	Densidad " γ " (gr/cm ³)	Módulo de Deformación Volumétrica "B" (kg/cm ²)
60.98	1.53	101.63
54.95	1.57	91.58
65.57	1.62	109.29
92.38	1.69	153.96
G=2.7 IP= 24.16 CH: LL= 49.05		

Tabla 16: Módulo de elasticidad (E), Modulo de deformación volumétrica (B) y densidades (γ) de la muestra M3

M3		
Módulo de Elasticidad "E" (kg/cm ²)	Densidad " γ " (gr/cm ³)	Módulo de Deformación Volumétrica "B" (kg/cm ²)
45.45	1.52	75.76
53.48	1.58	89.13
60.06	1.67	100.10
91.95	1.78	153.26
G= 2.71 IP= 28.42 CH: LL=56.64		

Tabla 17: Módulo de elasticidad (E), Modulo de deformación volumétrica (B) y densidades (γ) de la muestra M4

M4		
Módulo de Elasticidad "E" (kg/cm ²)	Densidad " γ " (gr/cm ³)	Módulo de Deformación Volumétrica "B" (kg/cm ²)
57.47	1.48	95.79
53.19	1.54	88.65
59.00	1.59	98.33
90.50	1.68	150.83
G= 2.73 IP= 29.33 CH: LL=55.42		

G= relación entre un volumen de sólido y un volumen igual de agua.

E= Modulo de elasticidad

B= Modulo de deformación volumétrico

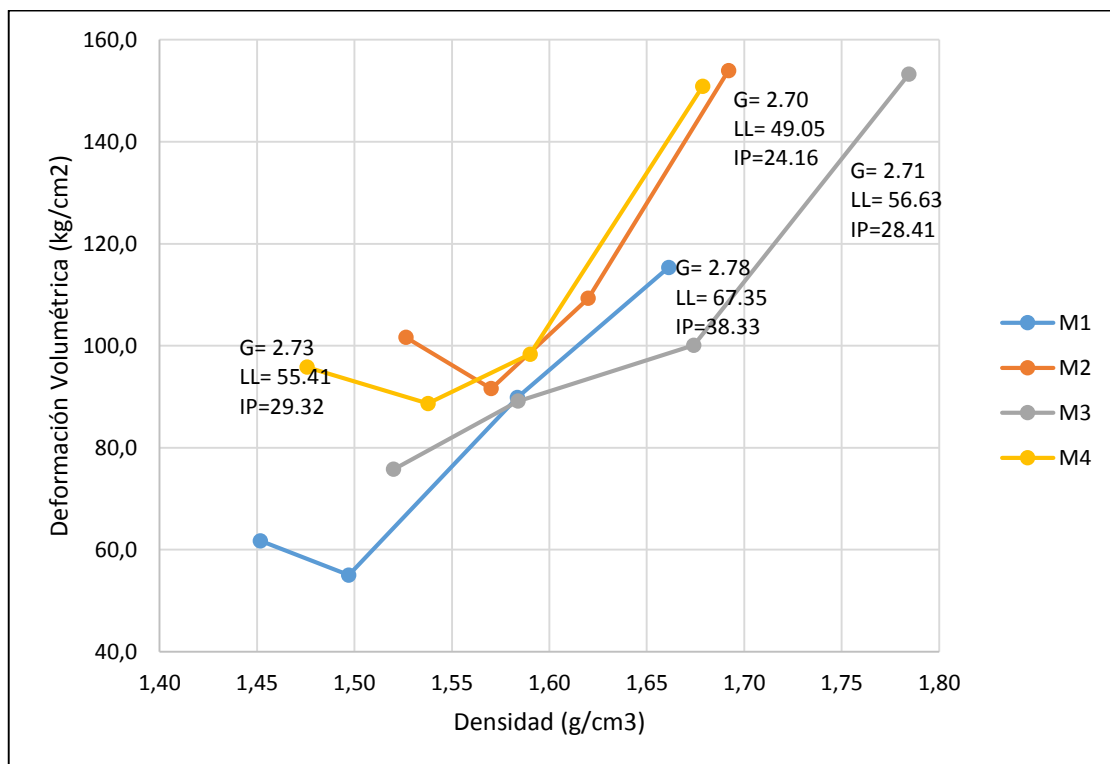


Figura 30: Deformación Volumétrica vs Densidad seca de las muestras M1, M2, M3 y M4

Las muestras M1, M2 y M4 con índice de plasticidad de 38.33%, 24.16% y 29.32% respectivamente muestran un comportamiento similar en cuanto a la variación del módulo de elasticidad (E) y la deformación volumétrica unitaria (B), es decir, de las 4 cargas trabajadas en la carga de 1 kg/cm² se muestra una disminución del módulo de elasticidad y la deformación volumétrica unitaria, incrementándose en las siguientes 2 cargas (2 y 4 kg/cm²).

En la muestra M3 con índice de plasticidad de 28.41% la variación del módulo de elasticidad (E) y la deformación volumétrica unitaria (B) muestran un incremento constante desde la carga de 0.5 kg/cm² hasta 4 kg/cm².

V. CONCLUSIONES

- Se logró obtener los parámetros deformación elástica, módulo de elasticidad y modulo volumétrico de las 4 muestras de suelo analizadas validando las hipótesis planteadas.
- La variación del módulo de elasticidad (E) y la deformación volumétrica unitaria (B) muestran un comportamiento similar en suelos con índices de plasticidad superiores al 29%, mostrando una disminución de E y B en la carga de 1 kg/cm^2 para luego incrementarse en las cargas 2 kg/cm^2 y 4 kg/cm^2 .
- En muestras con índice de plasticidad por debajo de 29% el incremento del módulo de elasticidad (E) y la deformación volumétrica unitaria (B) es constante.
- No se encontró una relación directa entre la gravedad específica de solidos (G) y el módulo de elasticidad (E) y la deformación volumétrica unitaria (B). Para la obtención del módulo de elasticidad se consideró que la deformación es unidimensional en dirección a la carga en concordancia con la Teoría de Terzaghi; ante la presencia de una deformación elastoplástica existe necesariamente una deformación elástica tal como lo indica el Modelo de Saint Venant.
- Se realizó ciclos de carga y descarga sobre las muestras de suelo durante la consolidación y se obtuvo una histéresis similar al rango elástico (Rebote Elástico).
- Los valores de módulo de elasticidad correspondientes a las muestras analizadas se encuentran dentro del rango de valores propuestos por Braja M. Das, 2013. El valor de la densidad seca aumenta a medida que se incrementa la carga sobre la muestra de suelo, debido al reacomodo de las partículas.

VI. RECOMENDACIONES

- Debemos tener cuidado en la etapa de ejecución del proyecto tanto en el tratamiento de muestras de suelo (humedades, densidades) como en el uso de los materiales de laboratorio (hidrómetro, balanzas etc.) y el empleo adecuado de equipos como el de consolidación con el fin de tener resultados los más representativos posibles.
- Se recomienda continuar con investigación similares de Modulo de elasticidad, debido a que actualmente se trabajan con valores estimados con rangos relativamente amplios, con el objetivo de analizar su comportamiento tanto en arcillas, como en arenas y con ello reducir los rangos que actualmente se manejan; con el fin de identificar rápidamente el módulo de elasticidad, y reducir errores.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Bowles, J.E. (1978). Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia: Editorial Mc Graw–Hill Latinoamericana, S.A.

Bowles, J.E. (1982). Propiedades Geofísicas de los Suelos. Bogotá, Colombia: Editorial Mc Graw–Hill Latinoamericana, S.A.

Braja, D. (2013). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Querétaro, México: Editorial Arte.

Chica, V. (s.f.). Las Arcillas, Tipos y Usos. Recuperado de <https://es.slideshare.net/valeriavale5076798/arcillas-36425439>

Diccionario de Arquitectura y Construcción Definiciones y traducciones. (2022). Definición de módulo volumétrico y conceptos relacionados. Recuperado de <http://www.parro.com.ar/definicion-de-m%F3dulo+volumetrico>

Gonzales de Vallejo, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L. y Oteo, C. (2002). Ingeniería geológica. Madrid, España: Editorial Pearson Educación.

Jiménez, J.A.; Salas, L. (1980). Geotecnia y Cimentaciones II y III. Madrid, España: Editorial Rueda. 998 pp.

Juárez Badillo, E. y Rico Rodríguez, A. (2005). Mecánica de Suelos. Tomo I. México, México: Editorial Limusa. 629 pp.

Lambe, W. y Whitman, R. (2004). Mecánica de suelos. México, México: Editorial Limusa.

Luna Herrera, A.M. (2016). Fenómeno de abultamiento en suelos limosos especiales. (Tesis grado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Norma Técnica Peruana E.050 Cimentaciones y Suelos. Recuperado de http://www.gutierrezyleon.com/download/documentos/E.050_SUELOS%20Y%20CIMEN_TACIONES.pdf

Universidad de Piura. (s.f.). Parámetros Geotécnicos. Recuperado de http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_644_282_497_5025.pdf

Rico Rodríguez, A.; Del Castillo, H. (1993). La ingeniería de suelos de las vías terrestres. Editorial Limusa.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Datos de Consolidación de la Muestra 1

PESO DE LA MUESTRA		
Peso anillo+muestra hum+2p.	g	245.05
Peso anillo+muestra seca+2p.	g	211.26
p. (papel)	g	1.00
Peso anillo	g	85.33
Peso del agua	Ws	33.79
Peso suelo seco	%	112.37
Humedad	%	30.07

DIMENSIONES DEL ANILLO				
Altura	1.83	cm	0.720	pul
Diámetro	7.61	cm	2.996	pul
Área	45.48	cm ²		

Carga Aplicada (C)	ε	Densidad (γ)	Modulo (E)
0.50	0.0701	1.4517	37.04
1.00	0.0983	1.4971	33.00
2.00	0.1475	1.5836	53.91
4.00	0.1874	1.6613	69.20

Anexo 2: Lecturas de consolidación Muestra 1

LECTURAS DE CONSOLIDACION						
Minutos	0,1 kg/cm ²	0,25 kg /cm ²	0.5 Kg/cm ²	1 kg/cm ²	2 kg/cm ²	4 kg/cm ²
0	25.000	23.522	22.153	19.830	17.920	14.370
0.25	24.403	23.342	21.400	19.480	17.250	13.920
0.50	24.341	22.961	21.230	19.430	17.110	13.820
1.00	24.221	22.851	21.050	19.360	17.000	13.700
2.00	24.090	22.700	20.840	19.260	16.880	13.650
4.00	23.930	22.480	20.590	19.140	16.480	13.360
8.00	23.900	22.420	20.410	19.020	16.080	13.060
15.00	23.870	22.370	20.320	18.955	15.920	12.810
30.00	23.840	22.330	20.260	18.880	15.790	12.640
60.00	23.810	22.290	20.220	18.820	15.710	12.540
120.00	23.800	22.260	20.170	18.760	15.690	12.470
240.00	23.750	22.240	20.110	18.690	15.660	12.440
480.00	23.630	22.200	20.090	18.670	15.590	12.390
1440.00	23.522	22.153	19.950	18.520	15.490	12.370

Anexo 3: Cuadros de descargas Muestra 1

DESCARGAS DESDE 0.5Kg/cm ²		
Descarga 1		
0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 0.50
19.950	20.280	20.300
20.280	20.300	19.840
0.1199	0.1194	0.1311
Descarga 2		
0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 0.50
19.840	20.020	20.360
20.020	20.360	19.910
0.1265	0.1179	0.1293
Descarga 3		
0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 0.50
19.910	20.060	20.340
20.060	20.340	19.850
0.1255	0.1184	0.1308
Descarga 4		
0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 0.50
19.850	20.030	20.330
20.030	20.330	19.810
0.1262	0.1186	0.1318
Descarga 5		
0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 0.50
19.810	20.020	20.250
20.020	20.250	19.830
0.1265	0.1207	0.1313

DESCARGAS DESDE 1.0 Kg/cm2			
Descarga 1			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
18.520	18.710	18.940	19.360
18.710	18.940	19.360	18.320
0.1598	0.154	0.143	0.170
Descarga 2			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
18.320	18.570	18.770	19.190
18.570	18.770	19.190	18.340
0.1633	0.158	0.148	0.169
Descarga 3			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
18.340	18.560	18.810	19.040
18.560	18.810	19.040	18.160
0.1636	0.157	0.151	0.174
Descarga 4			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
18.160	18.420	18.650	18.960
18.420	18.650	18.960	18.140
0.1671	0.161	0.153	0.174
Descarga 5			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
18.140	18.360	18.600	18.940
18.360	18.600	18.940	18.050
0.1687	0.163	0.154	0.177
Descarga 6			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
18.050	18.290	18.590	18.940
18.290	18.590	18.940	17.950
0.1704	0.163	0.154	0.179
Descarga 7			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
17.950	18.190	18.450	18.980
18.190	18.450	18.980	17.920
0.1730	0.166	0.153	0.180

DESCARGAS DESDE 2.0 Kg/cm2				
Descarga 1				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
15.490	15.770	16.120	16.550	16.890
15.770	16.120	16.550	16.890	15.230
0.2344	0.2256	0.2146	0.2060	0.2482
Descarga 2				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
15.230	15.500	15.950	16.260	16.630
15.500	15.950	16.260	16.630	15.100
0.2413	0.2299	0.2220	0.2126	0.2515
Descarga 3				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
15.100	15.400	15.730	16.220	16.540
15.400	15.730	16.220	16.540	15.050
0.2438	0.2355	0.2230	0.2149	0.2527
Descarga 4				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
15.050	15.350	15.710	16.100	16.490
15.350	15.710	16.100	16.490	14.980
0.2451	0.2360	0.2261	0.2162	0.2545
Descarga 5				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
14.980	15.220	15.600	15.990	16.380
15.220	15.600	15.990	16.380	14.800
0.2484	0.2388	0.2289	0.2189	0.2591
Descarga 6				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
14.800	15.040	15.400	15.800	16.290
15.040	15.400	15.800	16.290	14.640
0.2530	0.2438	0.2337	0.2212	0.2631
Descarga 7				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
14.640	14.880	15.220	15.560	16.060
14.880	15.220	15.560	16.060	14.550
0.2570	0.2484	0.2398	0.2271	0.2654
Descarga 8				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
14.550	14.840	15.140	15.470	15.980
14.840	15.140	15.470	15.980	14.540
0.2581	0.2504	0.2421	0.2291	0.2657
Descarga 9				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
14.540	14.840	15.140	15.470	15.980
14.840	15.140	15.470	15.980	14.540
0.2581	0.2504	0.2421	0.2291	0.2657
Descarga 10				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
14.540	14.880	15.180	15.540	15.850
14.880	15.180	15.540	15.850	14.440

«continuación»

0.2570	0.2494	0.2403	0.2324	0.2682
Descarga 11				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
14.440	14.750	15.090	15.440	15.880
14.750	15.090	15.440	15.880	14.940
0.2604	0.2517	0.2428	0.2316	0.2555
Descarga 12				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
14.940	14.750	15.050	15.400	15.740
14.750	15.050	15.400	15.740	14.400
0.2604	0.2527	0.2438	0.2352	0.2692
Descarga 13				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
14.400	14.640	15.000	15.310	15.670
14.640	15.000	15.310	15.670	14.370
0.2631	0.2540	0.2461	0.2370	0.2700

DESCARGAS DESDE 4.0 Kg/cm2					
Descarga 1					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
12.370	12.730	13.200	13.500	13.800	14.610
12.730	13.200	13.500	13.800	14.610	11.950
0.3117	0.2997	0.2921	0.2845	0.2639	0.3315
Descarga 2					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
11.950	12.300	12.820	13.120	13.430	14.200
12.300	12.820	13.120	13.430	14.200	11.810
0.3226	0.3094	0.3018	0.2939	0.2743	0.3350
Descarga 3					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
11.810	12.200	12.700	13.150	13.400	13.850
12.200	12.700	13.150	13.400	13.850	11.650
0.3251	0.3124	0.3010	0.2946	0.2832	0.3391
Descarga 4					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
11.650	12.000	12.510	12.820	13.300	13.670
12.000	12.510	12.820	13.300	13.670	11.560
0.3302	0.3172	0.3094	0.2972	0.2878	0.3414
Descarga 5					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
11.560	11.910	12.370	12.810	13.140	13.520
11.910	12.370	12.810	13.140	13.520	11.520
0.3325	0.3208	0.3096	0.3012	0.2916	0.3424
Descarga 6					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
11.520	11.890	12.380	12.830	13.240	13.680
11.890	12.380	12.830	13.240	13.680	11.500
0.3330	0.3205	0.3091	0.2987	0.2875	0.3429

Anexo 4: Cuadro de resumen Muestra 1

Carga Aplicada	Variación de Altura (ΔH)	Hs=Ws/Gs*A	$\Delta e = \Delta H/Hs$	$e_0 = (H_0 - H_s) / H_s$	$e = e_0 - \Delta e$	$\epsilon = \Delta H / H_0$
0	0.0000	0.8887	0.0000	1.0593	1.0593	0.0000
0.10	0.0375	0.8887	0.0422	1.0593	1.0171	0.0205
0.25	0.0723	0.8887	0.0814	1.0593	0.9779	0.0395
0.50	0.1283	0.8887	0.1443	1.0593	0.9150	0.0701
0.25	0.1199	0.8887	0.1349	1.0593	0.9244	0.0655
0.10	0.1194	0.8887	0.1343	1.0593	0.9250	0.0652
0.50	0.1311	0.8887	0.1475	1.0593	0.9118	0.0716
0.25	0.1265	0.8887	0.1423	1.0593	0.9170	0.0691
0.10	0.1179	0.8887	0.1326	1.0593	0.9267	0.0644
0.50	0.1293	0.8887	0.1455	1.0593	0.9138	0.0706
0.25	0.1255	0.8887	0.1412	1.0593	0.9181	0.0686
0.10	0.1184	0.8887	0.1332	1.0593	0.9261	0.0647
0.50	0.1308	0.8887	0.1472	1.0593	0.9121	0.0715
0.25	0.1262	0.8887	0.1421	1.0593	0.9172	0.0690
0.10	0.1186	0.8887	0.1335	1.0593	0.9258	0.0648
0.50	0.1318	0.8887	0.1483	1.0593	0.9110	0.0720
0.25	0.1265	0.8887	0.1423	1.0593	0.9170	0.0691
0.10	0.1207	0.8887	0.1358	1.0593	0.9235	0.0659
0.50	0.1313	0.8887	0.1478	1.0593	0.9115	0.0718
1.00	0.1646	0.8887	0.1852	1.0593	0.8741	0.0899
0.50	0.1598	0.8887	0.1798	1.0593	0.8795	0.0873
0.25	0.1582	0.8887	0.1781	1.0593	0.8812	0.0865
0.10	0.1433	0.8887	0.1612	1.0593	0.8981	0.0783
1.00	0.1697	0.8887	0.1909	1.0593	0.8684	0.0927
0.50	0.1633	0.8887	0.1838	1.0593	0.8755	0.0892
0.25	0.1582	0.8887	0.1781	1.0593	0.8812	0.0865
0.10	0.1476	0.8887	0.1661	1.0593	0.8932	0.0806
1.00	0.1692	0.8887	0.1904	1.0593	0.8689	0.0924
0.50	0.1636	0.8887	0.1841	1.0593	0.8752	0.0894
0.25	0.1572	0.8887	0.1769	1.0593	0.8824	0.0859
0.10	0.1514	0.8887	0.1704	1.0593	0.8889	0.0827
1.00	0.1737	0.8887	0.1955	1.0593	0.8638	0.0949
0.50	0.1687	0.8887	0.1898	1.0593	0.8695	0.0922
0.25	0.1626	0.8887	0.1829	1.0593	0.8764	0.0888
0.10	0.1539	0.8887	0.1732	1.0593	0.8861	0.0841
1.00	0.1742	0.8887	0.1961	1.0593	0.8632	0.0952
0.50	0.1687	0.8887	0.1898	1.0593	0.8695	0.0922
0.25	0.1626	0.8887	0.1829	1.0593	0.8764	0.0888
0.10	0.1539	0.8887	0.1732	1.0593	0.8861	0.0841
1.00	0.1765	0.8887	0.1986	1.0593	0.8607	0.0965
0.50	0.1704	0.8887	0.1918	1.0593	0.8675	0.0931
0.25	0.1628	0.8887	0.1832	1.0593	0.8761	0.0890

«continuación»

0.10	0.1539	0.8887	0.1732	1.0593	0.8861	0.0841
1.00	0.1791	0.8887	0.2015	1.0593	0.8578	0.0979
0.50	0.1730	0.8887	0.1946	1.0593	0.8647	0.0945
0.25	0.1664	0.8887	0.1872	1.0593	0.8721	0.0909
0.10	0.1529	0.8887	0.1721	1.0593	0.8872	0.0836
1.00	0.1798	0.8887	0.2024	1.0593	0.8569	0.0983
2.00	0.2416	0.8887	0.2718	1.0593	0.7875	0.1320
1.00	0.2344	0.8887	0.2638	1.0593	0.7955	0.1281
0.50	0.2256	0.8887	0.2538	1.0593	0.8055	0.1233
0.25	0.2146	0.8887	0.2415	1.0593	0.8178	0.1173
0.10	0.2060	0.8887	0.2318	1.0593	0.8275	0.1126
2.00	0.2482	0.8887	0.2793	1.0593	0.7800	0.1356
1.00	0.2413	0.8887	0.2715	1.0593	0.7878	0.1319
0.50	0.2299	0.8887	0.2587	1.0593	0.8006	0.1256
0.25	0.2220	0.8887	0.2498	1.0593	0.8095	0.1213
0.10	0.2126	0.8887	0.2392	1.0593	0.8201	0.1162
2.00	0.2515	0.8887	0.2830	1.0593	0.7763	0.1374
1.00	0.2438	0.8887	0.2744	1.0593	0.7849	0.1332
0.50	0.2355	0.8887	0.2650	1.0593	0.7943	0.1287
0.25	0.2230	0.8887	0.2510	1.0593	0.8083	0.1219
0.10	0.2149	0.8887	0.2418	1.0593	0.8175	0.1174
2.00	0.2527	0.8887	0.2844	1.0593	0.7749	0.1381
1.00	0.2451	0.8887	0.2758	1.0593	0.7835	0.1339
0.50	0.2360	0.8887	0.2655	1.0593	0.7938	0.1289
0.25	0.2261	0.8887	0.2544	1.0593	0.8049	0.1235
0.10	0.2162	0.8887	0.2432	1.0593	0.8161	0.1181
2.00	0.2545	0.8887	0.2864	1.0593	0.7729	0.1391
1.00	0.2484	0.8887	0.2795	1.0593	0.7798	0.1357
0.50	0.2388	0.8887	0.2687	1.0593	0.7906	0.1305
0.25	0.2289	0.8887	0.2575	1.0593	0.8018	0.1251
0.10	0.2189	0.8887	0.2464	1.0593	0.8129	0.1196
2.00	0.2591	0.8887	0.2915	1.0593	0.7678	0.1416
1.00	0.2530	0.8887	0.2847	1.0593	0.7746	0.1382
0.50	0.2438	0.8887	0.2744	1.0593	0.7849	0.1332
0.25	0.2337	0.8887	0.2630	1.0593	0.7963	0.1277
0.10	0.2212	0.8887	0.2490	1.0593	0.8103	0.1209
2.00	0.2631	0.8887	0.2961	1.0593	0.7632	0.1438
1.00	0.2570	0.8887	0.2893	1.0593	0.7700	0.1405
0.50	0.2484	0.8887	0.2795	1.0593	0.7798	0.1357
0.25	0.2398	0.8887	0.2698	1.0593	0.7895	0.1310
0.10	0.2271	0.8887	0.2555	1.0593	0.8038	0.1241
2.00	0.2654	0.8887	0.2987	1.0593	0.7606	0.1450
1.00	0.2581	0.8887	0.2904	1.0593	0.7689	0.1410
0.50	0.2504	0.8887	0.2818	1.0593	0.7775	0.1369
0.25	0.2421	0.8887	0.2724	1.0593	0.7869	0.1323
0.10	0.2291	0.8887	0.2578	1.0593	0.8015	0.1252

«continuación»

2.00	0.2657	0.8887	0.2990	1.0593	0.7603	0.1452
1.00	0.2581	0.8887	0.2904	1.0593	0.7689	0.1410
0.50	0.2504	0.8887	0.2818	1.0593	0.7775	0.1369
0.25	0.2421	0.8887	0.2724	1.0593	0.7869	0.1323
0.10	0.2291	0.8887	0.2578	1.0593	0.8015	0.1252
2.00	0.2657	0.8887	0.2990	1.0593	0.7603	0.1452
1.00	0.2570	0.8887	0.2893	1.0593	0.7700	0.1405
0.50	0.2494	0.8887	0.2807	1.0593	0.7786	0.1363
0.25	0.2403	0.8887	0.2704	1.0593	0.7889	0.1313
0.10	0.2324	0.8887	0.2615	1.0593	0.7978	0.1270
2.00	0.2682	0.8887	0.3018	1.0593	0.7575	0.1466
1.00	0.2604	0.8887	0.2930	1.0593	0.7663	0.1423
0.50	0.2517	0.8887	0.2833	1.0593	0.7760	0.1375
0.25	0.2428	0.8887	0.2733	1.0593	0.7861	0.1327
0.10	0.2316	0.8887	0.2607	1.0593	0.7986	0.1266
2.00	0.2555	0.8887	0.2875	1.0593	0.7718	0.1396
1.00	0.2604	0.8887	0.2930	1.0593	0.7663	0.1423
0.50	0.2527	0.8887	0.2844	1.0593	0.7749	0.1381
0.25	0.2438	0.8887	0.2744	1.0593	0.7849	0.1332
0.10	0.2352	0.8887	0.2647	1.0593	0.7946	0.1285
2.00	0.2692	0.8887	0.3030	1.0593	0.7563	0.1471
1.00	0.2631	0.8887	0.2961	1.0593	0.7632	0.1438
0.50	0.2540	0.8887	0.2858	1.0593	0.7735	0.1388
0.25	0.2461	0.8887	0.2770	1.0593	0.7823	0.1345
0.10	0.2370	0.8887	0.2667	1.0593	0.7926	0.1295
2.00	0.2700	0.8887	0.3038	1.0593	0.7555	0.1475
4.00	0.3208	0.8887	0.3610	1.0593	0.6983	0.1753
2.00	0.3117	0.8887	0.3507	1.0593	0.7086	0.1703
1.00	0.2997	0.8887	0.3373	1.0593	0.7220	0.1638
0.50	0.2921	0.8887	0.3287	1.0593	0.7306	0.1596
0.25	0.2845	0.8887	0.3201	1.0593	0.7392	0.1555
0.10	0.2639	0.8887	0.2970	1.0593	0.7623	0.1442
4.00	0.3315	0.8887	0.3730	1.0593	0.6863	0.1811
2.00	0.3226	0.8887	0.3630	1.0593	0.6963	0.1763
1.00	0.3094	0.8887	0.3481	1.0593	0.7112	0.1691
0.50	0.3018	0.8887	0.3396	1.0593	0.7197	0.1649
0.25	0.2939	0.8887	0.3307	1.0593	0.7286	0.1606
0.10	0.2743	0.8887	0.3087	1.0593	0.7506	0.1499
4.00	0.3350	0.8887	0.3770	1.0593	0.6823	0.1831
2.00	0.3251	0.8887	0.3659	1.0593	0.6934	0.1777
1.00	0.3124	0.8887	0.3516	1.0593	0.7077	0.1707
0.50	0.3010	0.8887	0.3387	1.0593	0.7206	0.1645
0.25	0.2946	0.8887	0.3316	1.0593	0.7277	0.1610
0.10	0.2832	0.8887	0.3187	1.0593	0.7406	0.1548
4.00	0.3391	0.8887	0.3816	1.0593	0.6777	0.1853
2.00	0.3302	0.8887	0.3716	1.0593	0.6877	0.1804

«continuación»

1.00	0.3172	0.8887	0.3570	1.0593	0.7023	0.1734
0.50	0.3094	0.8887	0.3481	1.0593	0.7112	0.1691
0.25	0.2972	0.8887	0.3344	1.0593	0.7249	0.1624
0.10	0.2878	0.8887	0.3238	1.0593	0.7355	0.1573
4.00	0.3414	0.8887	0.3842	1.0593	0.6752	0.1865
2.00	0.3325	0.8887	0.3741	1.0593	0.6852	0.1817
1.00	0.3208	0.8887	0.3610	1.0593	0.6983	0.1753
0.50	0.3096	0.8887	0.3484	1.0593	0.7109	0.1692
0.25	0.3012	0.8887	0.3390	1.0593	0.7203	0.1646
0.10	0.2916	0.8887	0.3281	1.0593	0.7312	0.1593
4.00	0.3424	0.8887	0.3853	1.0593	0.6740	0.1871
2.00	0.3330	0.8887	0.3747	1.0593	0.6846	0.1820
1.00	0.3205	0.8887	0.3607	1.0593	0.6986	0.1752
0.50	0.3091	0.8887	0.3479	1.0593	0.7115	0.1689
0.25	0.2987	0.8887	0.3361	1.0593	0.7232	0.1632
0.10	0.2875	0.8887	0.3236	1.0593	0.7357	0.1571
4.00	0.3429	0.8887	0.3859	1.0593	0.6734	0.1874

Anexo 5: Datos de Consolidación de la Muestra 2

PESO DE LA MUESTRA		
Peso anillo+muestra hum+2p.	g	248.98
Peso anillo+muestra seca+2p.	g	208.99
p. (papel)	g	1.07
Peso anillo	g	85.33
Peso del agua	Ws	39.99
Peso suelo seco	%	121.66
Humedad	%	32.87

DIMENSIONES DEL ANILLO				
Altura	1.86	cm	0.732	pul
Diametro	7.61	cm	2.996	pul
Area	45.48	cm ²		

Carga Aplicada (C)	ϵ	Densidad " γ " (gr/cm ³)	Modulo "E" (kg/cm ²)
0.50	0.0563	1.5264	60.98
1.00	0.0841	1.5701	54.95
2.00	0.1123	1.6199	65.57
4.00	0.1501	1.6920	92.38

Anexo 6: Lectura de Consolidación Muestra 2

LECTURAS DE CONSOLIDACION						
Minutos	0,1 kg/cm ²	0,25 kg/cm ²	0.5 Kg/cm ²	1 kg/cm ²	2 kg/cm ²	4 kg/cm ²
0	25.000	23.630	22.390	20.760	18.840	16.780
0.25	24.550	23.300	21.940	20.350	18.370	16.240
0.50	24.410	23.150	21.700	20.210	18.260	16.080
1.00	24.290	23.040	21.610	20.040	18.150	15.910
2.00	24.110	22.910	21.480	19.920	18.000	15.760
4.00	23.990	22.780	21.380	19.810	17.870	15.640
8.00	23.910	22.720	21.300	19.720	17.790	15.530
15.00	23.870	22.670	21.250	19.660	17.700	15.440
30.00	23.830	22.620	21.190	19.600	17.640	15.360
60.00	23.790	22.580	21.130	19.540	17.580	15.300
120.00	23.750	22.520	21.070	19.520	17.490	15.200
240.00	23.700	22.460	20.990	19.420	17.410	15.160
480.00	23.673	22.430	20.980	19.410	17.300	15.100
1440.00	23.630	22.390	20.880	19.240	17.280	15.020

Anexo 7: Cuadros de descargas Muestra 2

DESCARGAS DESDE 0.5Kg/cm ²		
Descarga 1		
0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 0.50
20.880	21.010	21.280
21.010	21.280	20.820
0.1013	0.0945	0.1062
Descarga 2		
0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 0.50
20.820	20.950	21.140
20.950	21.140	20.740
0.1029	0.0980	0.1082
Descarga 3		
0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 0.50
20.740	20.840	21.090
20.840	21.090	20.730
0.1057	0.0993	0.1085
Descarga 4		
0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 0.50
20.730	20.890	21.050
20.890	21.050	20.760
0.1044	0.1003	0.1077

DESCARGAS DESDE 1.0 Kg/cm ²			
Descarga 1			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
19.240	19.420	19.470	20.070
19.420	19.470	20.070	19.160
0.1417	0.140	0.125	0.148
Descarga 2			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
19.160	19.380	19.570	19.800
19.380	19.570	19.800	18.980
0.1427	0.138	0.132	0.153
Descarga 3			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
18.980	19.160	19.380	19.690
19.160	19.380	19.690	18.870
0.1483	0.143	0.135	0.156
Descarga 4			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
18.870	19.060	19.350	19.530
19.060	19.350	19.530	18.880
0.1509	0.144	0.139	0.155

«continuación»

Descarga 4			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
18.880	19.090	19.240	19.550
19.090	19.240	19.550	18.840
0.1501	0.146	0.138	0.156

DESCARGAS DESDE 2.0 Kg/cm2				
Descarga 1				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
17.240	17.550	17.810	18.100	18.480
17.550	17.810	18.100	18.480	16.980
0.1892	0.1826	0.1753	0.1656	0.2037
Descarga 2				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
16.980	17.280	17.550	17.890	18.100
17.280	17.550	17.890	18.100	16.900
0.1961	0.1892	0.1806	0.1753	0.2057
Descarga 3				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
16.900	17.180	17.420	17.720	18.120
17.180	17.420	17.720	18.120	16.920
0.1986	0.1925	0.1849	0.1748	0.2052
Descarga 4				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
16.920	17.200	17.510	17.770	18.090
17.200	17.510	17.770	18.090	16.840
0.1981	0.1902	0.1836	0.1755	0.2073
Descarga 5				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
16.840	17.150	17.420	17.620	17.970
17.150	17.420	17.620	17.970	16.780
0.1994	0.1925	0.1875	0.1786	0.2088

DESCARGAS DESDE 4.0 Kg/cm2					
Descarga 1					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
14.950	15.320	15.670	15.930	16.270	16.530
15.320	15.670	15.930	16.270	16.530	14.670
0.2459	0.2370	0.2304	0.2217	0.2151	0.2624
Descarga 2					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
14.670	14.980	15.320	15.700	16.050	16.460
14.980	15.320	15.700	16.050	16.460	14.400
0.2545	0.2459	0.2362	0.2273	0.2169	0.2692
Descarga 3					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
14.400	14.740	15.150	15.480	15.600	16.320
14.740	15.150	15.480	15.600	16.320	14.490
0.2606	0.2502	0.2418	0.2388	0.2205	0.2670

«continuación»

Descarga 4					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
14.490	14.680	15.040	15.320	15.760	16.140
14.680	15.040	15.320	15.760	16.140	14.200
0.2621	0.2530	0.2459	0.2347	0.2250	0.2743

Descarga 5					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
14.200	14.510	14.870	15.120	15.450	15.980
14.510	14.870	15.120	15.450	15.980	14.180
0.2664	0.2573	0.2510	0.2426	0.2291	0.2748

Descarga 6					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
14.180	14.510	14.900	15.240	15.540	15.940
14.510	14.900	15.240	15.540	15.940	14.150
0.2664	0.2565	0.2479	0.2403	0.2301	0.2756

Descarga 7					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
14.150	14.480	14.800	15.170	15.450	15.900
14.480	14.800	15.170	15.450	15.900	14.090
0.2672	0.2591	0.2497	0.2426	0.2311	0.2771

Descarga 8					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
14.090	14.530	14.810	15.110	15.400	15.700
14.530	14.810	15.110	15.400	15.700	14.010
0.2659	0.2588	0.2512	0.2438	0.2362	0.2791

Anexo 8: Cuadro de resumen Muestra 2

Carga Aplicada	Variación de Altura (ΔH)	Hs=Ws/Gs* A	$\Delta e= \Delta H/Hs$	$e_0=(H_0-Hs)/Hs$	$e=e_0-\Delta e$	$\varepsilon=\Delta H / H_0$
0	0.0000	0.9907	0.0000	0.8775	0.8775	0.0000
0.10	0.0348	0.9907	0.0351	0.8775	0.8424	0.0187
0.25	0.0663	0.9907	0.0669	0.8775	0.8106	0.0356
0.50	0.1046	0.9907	0.1056	0.8775	0.7719	0.0563
0.25	0.1013	0.9907	0.1023	0.8775	0.7752	0.0545
0.10	0.0945	0.9907	0.0954	0.8775	0.7822	0.0508
0.50	0.1062	0.9907	0.1072	0.8775	0.7704	0.0571
0.25	0.1029	0.9907	0.1038	0.8775	0.7737	0.0553
0.10	0.0980	0.9907	0.0990	0.8775	0.7786	0.0527
0.50	0.1082	0.9907	0.1092	0.8775	0.7683	0.0582
0.25	0.1057	0.9907	0.1067	0.8775	0.7709	0.0568
0.10	0.0993	0.9907	0.1003	0.8775	0.7773	0.0534
0.50	0.1085	0.9907	0.1095	0.8775	0.7681	0.0583
0.25	0.1044	0.9907	0.1054	0.8775	0.7722	0.0561
0.10	0.1003	0.9907	0.1013	0.8775	0.7763	0.0539
0.50	0.1077	0.9907	0.1087	0.8775	0.7688	0.0579
1.00	0.1463	0.9907	0.1477	0.8775	0.7299	0.0787
0.50	0.1417	0.9907	0.1431	0.8775	0.7345	0.0762
0.25	0.1379	0.9907	0.1392	0.8775	0.7383	0.0742
0.10	0.1252	0.9907	0.1264	0.8775	0.7511	0.0673
1.00	0.1483	0.9907	0.1497	0.8775	0.7278	0.0798
0.50	0.1427	0.9907	0.1441	0.8775	0.7334	0.0767
0.25	0.1379	0.9907	0.1392	0.8775	0.7383	0.0742
0.10	0.1321	0.9907	0.1333	0.8775	0.7442	0.0710
1.00	0.1529	0.9907	0.1543	0.8775	0.7232	0.0822
0.50	0.1483	0.9907	0.1497	0.8775	0.7278	0.0798
0.25	0.1427	0.9907	0.1441	0.8775	0.7334	0.0767
0.10	0.1349	0.9907	0.1361	0.8775	0.7414	0.0725
1.00	0.1557	0.9907	0.1572	0.8775	0.7204	0.0837
0.50	0.1501	0.9907	0.1515	0.8775	0.7260	0.0807
0.25	0.1463	0.9907	0.1477	0.8775	0.7299	0.0787
0.10	0.1384	0.9907	0.1397	0.8775	0.7378	0.0744
1.00	0.1554	0.9907	0.1569	0.8775	0.7206	0.0836
0.50	0.1501	0.9907	0.1515	0.8775	0.7260	0.0807
0.25	0.1463	0.9907	0.1477	0.8775	0.7299	0.0787
0.10	0.1384	0.9907	0.1397	0.8775	0.7378	0.0744
1.00	0.1565	0.9907	0.1579	0.8775	0.7196	0.0841
2.00	0.1961	0.9907	0.1979	0.8775	0.6796	0.1054
1.00	0.1892	0.9907	0.1910	0.8775	0.6865	0.1017
0.50	0.1826	0.9907	0.1843	0.8775	0.6932	0.0982
0.25	0.1753	0.9907	0.1769	0.8775	0.7006	0.0942
0.10	0.1656	0.9907	0.1672	0.8775	0.7104	0.0890

«continuación»

2.00	0.2037	0.9907	0.2056	0.8775	0.6719	0.1095
1.00	0.1961	0.9907	0.1979	0.8775	0.6796	0.1054
0.50	0.1892	0.9907	0.1910	0.8775	0.6865	0.1017
0.25	0.1806	0.9907	0.1823	0.8775	0.6952	0.0971
0.10	0.1753	0.9907	0.1769	0.8775	0.7006	0.0942
2.00	0.2057	0.9907	0.2077	0.8775	0.6699	0.1106
1.00	0.1986	0.9907	0.2005	0.8775	0.6770	0.1068
0.50	0.1925	0.9907	0.1943	0.8775	0.6832	0.1035
0.25	0.1849	0.9907	0.1867	0.8775	0.6909	0.0994
0.10	0.1748	0.9907	0.1764	0.8775	0.7011	0.0940
2.00	0.2052	0.9907	0.2072	0.8775	0.6704	0.1103
1.00	0.1981	0.9907	0.2000	0.8775	0.6775	0.1065
0.50	0.1902	0.9907	0.1920	0.8775	0.6855	0.1023
0.25	0.1836	0.9907	0.1854	0.8775	0.6922	0.0987
0.10	0.1755	0.9907	0.1772	0.8775	0.7004	0.0944
2.00	0.2073	0.9907	0.2092	0.8775	0.6683	0.1114
1.00	0.1994	0.9907	0.2013	0.8775	0.6763	0.1072
0.50	0.1925	0.9907	0.1943	0.8775	0.6832	0.1035
0.25	0.1875	0.9907	0.1892	0.8775	0.6883	0.1008
0.10	0.1786	0.9907	0.1802	0.8775	0.6973	0.0960
2.00	0.2088	0.9907	0.2108	0.8775	0.6668	0.1123
4.00	0.2535	0.9907	0.2559	0.8775	0.6217	0.1363
2.00	0.2459	0.9907	0.2482	0.8775	0.6293	0.1322
1.00	0.2370	0.9907	0.2392	0.8775	0.6383	0.1274
0.50	0.2304	0.9907	0.2325	0.8775	0.6450	0.1239
0.25	0.2217	0.9907	0.2238	0.8775	0.6537	0.1192
0.10	0.2151	0.9907	0.2172	0.8775	0.6604	0.1157
4.00	0.2624	0.9907	0.2649	0.8775	0.6127	0.1411
2.00	0.2545	0.9907	0.2569	0.8775	0.6206	0.1368
1.00	0.2459	0.9907	0.2482	0.8775	0.6293	0.1322
0.50	0.2362	0.9907	0.2384	0.8775	0.6391	0.1270
0.25	0.2273	0.9907	0.2295	0.8775	0.6481	0.1222
0.10	0.2169	0.9907	0.2190	0.8775	0.6586	0.1166
4.00	0.2692	0.9907	0.2718	0.8775	0.6058	0.1448
2.00	0.2606	0.9907	0.2631	0.8775	0.6145	0.1401
1.00	0.2502	0.9907	0.2525	0.8775	0.6250	0.1345
0.50	0.2418	0.9907	0.2441	0.8775	0.6334	0.1300
0.25	0.2388	0.9907	0.2410	0.8775	0.6365	0.1284
0.10	0.2205	0.9907	0.2226	0.8775	0.6550	0.1185
4.00	0.2670	0.9907	0.2695	0.8775	0.6081	0.1435
2.00	0.2621	0.9907	0.2646	0.8775	0.6129	0.1409
1.00	0.2530	0.9907	0.2554	0.8775	0.6222	0.1360
0.50	0.2459	0.9907	0.2482	0.8775	0.6293	0.1322
0.25	0.2347	0.9907	0.2369	0.8775	0.6406	0.1262
0.10	0.2250	0.9907	0.2272	0.8775	0.6504	0.1210
4.00	0.2743	0.9907	0.2769	0.8775	0.6006	0.1475
2.00	0.2664	0.9907	0.2690	0.8775	0.6086	0.1433

«continuación»

1.00	0.2573	0.9907	0.2597	0.8775	0.6178	0.1383
0.50	0.2510	0.9907	0.2533	0.8775	0.6242	0.1349
0.25	0.2426	0.9907	0.2449	0.8775	0.6327	0.1304
0.10	0.2291	0.9907	0.2313	0.8775	0.6463	0.1232
4.00	0.2748	0.9907	0.2774	0.8775	0.6001	0.1478
2.00	0.2664	0.9907	0.2690	0.8775	0.6086	0.1433
1.00	0.2565	0.9907	0.2590	0.8775	0.6186	0.1379
0.50	0.2479	0.9907	0.2502	0.8775	0.6273	0.1333
0.25	0.2403	0.9907	0.2425	0.8775	0.6350	0.1292
0.10	0.2301	0.9907	0.2323	0.8775	0.6452	0.1237
4.00	0.2756	0.9907	0.2782	0.8775	0.5993	0.1482
2.00	0.2672	0.9907	0.2697	0.8775	0.6078	0.1437
1.00	0.2591	0.9907	0.2615	0.8775	0.6160	0.1393
0.50	0.2497	0.9907	0.2520	0.8775	0.6255	0.1342
0.25	0.2426	0.9907	0.2449	0.8775	0.6327	0.1304
0.10	0.2311	0.9907	0.2333	0.8775	0.6442	0.1243
4.00	0.2771	0.9907	0.2797	0.8775	0.5978	0.1490
2.00	0.2659	0.9907	0.2684	0.8775	0.6091	0.1430
1.00	0.2588	0.9907	0.2613	0.8775	0.6163	0.1392
0.50	0.2512	0.9907	0.2536	0.8775	0.6240	0.1351
0.25	0.2438	0.9907	0.2461	0.8775	0.6314	0.1311
0.10	0.2362	0.9907	0.2384	0.8775	0.6391	0.1270
4.00	0.2791	0.9907	0.2818	0.8775	0.5958	0.1501

Anexo 9: Datos de Consolidación de la Muestra 3

PESO DE LA MUESTRA		
Peso anillo+muestra hum+2p.	g	242.18
Peso anillo+muestra seca+2p.	g	208.26
p. (papel)	g	1.00
Peso anillo	g	85.33
Peso del agua	Ws	33.92
Peso suelo seco	%	117.57
Humedad	%	28.85

DIMENSIONES DEL ANILLO			
Altura	1.86	cm	0.732 pul
Diametro	7.61	cm	2.996 pul
Area	45.48	cm ²	

Carga Aplicada (C)	ϵ	Densidad "γ" (gr/cm³)	Modulo "E" (kg/cm²)
0.50	0.0858	1.5201	45.45
1.00	0.1226	1.5840	53.48
2.00	0.1699	1.6741	60.06
4.00	0.2212	1.7845	91.95

Anexo 10: Lecturas de consolidación Muestra 3

LECTURAS DE CONSOLIDACION						
Minutos	0,1 kg/cm ²	0,25 kg/cm ²	0.5 Kg/cm ²	1 kg/cm ²	2 kg/cm ²	4 kg/cm ²
0	24.820	22.730	21.250	18.540	15.840	12.380
0.25	24.280	22.250	20.490	17.940	15.720	11.400
0.50	24.220	22.180	20.360	17.810	15.620	11.310
1.00	24.140	22.120	20.220	17.960	15.580	11.100
2.00	23.960	21.990	20.030	17.510	15.450	10.850
4.00	23.720	21.740	19.630	17.310	15.280	10.660
8.00	23.420	21.560	19.550	17.120	14.980	10.430
15.00	23.200	21.470	19.430	17.050	14.860	10.400
30.00	23.100	21.430	19.400	16.980	14.780	10.390
60.00	23.050	21.400	19.350	16.890	14.710	10.250
120.00	23.020	21.360	19.310	16.840	14.640	10.260
240.00	22.980	21.300	19.140	16.790	14.600	10.050
480.00	22.800	21.260	19.120	16.760	14.560	10.030
1440.00	22.730	21.250	19.100	16.730	14.550	9.960

Anexo 11: Cuadros de descargas Muestra 3

DESCARGAS DESDE 0.5Kg/cm²		
Descarga 1		
0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 0.50
19.100	19.230	19.490
19.230	19.490	18.980
0.1420	0.1354	0.1483
Descarga 2		
0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 0.50
18.980	19.130	19.360
19.130	19.360	18.890
0.1445	0.1387	0.1506
Descarga 3		
0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 0.50
18.890	19.010	19.230
19.010	19.230	18.850
0.1476	0.1420	0.1516
Descarga 4		
0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 0.50
18.850	18.990	19.180
18.990	19.180	18.770
0.1481	0.1433	0.1537
Descarga 5		
0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 0.50
18.770	19.010	19.120
19.010	19.120	18.720
0.1476	0.1448	0.1549
Descarga 6		
0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 0.50
18.720	18.850	19.050
18.850	19.050	18.700
0.1516	0.1466	0.1554
Descarga 7		
0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 0.50
18.700	18.820	19.020
18.820	19.020	18.540
0.1524	0.1473	0.1595

DESCARGAS DESDE 1.0 Kg/cm²			
Descarga 1			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
16.730	16.890	17.140	17.490
16.890	17.140	17.490	16.530
0.2014	0.195	0.186	0.211
Descarga 2			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
16.530	16.690	16.370	17.210
16.690	16.370	17.210	15.930
0.2065	0.215	0.193	0.226
Descarga 3			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
15.930	16.220	16.390	16.760
16.220	16.390	16.760	15.960
0.2184	0.214	0.205	0.225
Descarga 4			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
15.960	16.140	16.360	16.610
16.140	16.360	16.610	15.900
0.2205	0.215	0.209	0.227
Descarga 5			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
15.900	16.040	16.290	16.540
16.040	16.290	16.540	15.890
0.2230	0.217	0.210	0.227
Descarga 6			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
15.890	16.050	16.280	16.540
16.050	16.280	16.540	15.840
0.2228	0.217	0.210	0.228

DESCARGAS DESDE 2.0 Kg/cm2				
Descarga 1				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
14.550	14.780	15.080	15.440	15.830
14.780	15.080	15.440	15.830	14.150
0.2550	0.2474	0.2383	0.2283	0.2710
Descarga 2				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
14.150	14.350	14.670	14.950	15.300
14.350	14.670	14.950	15.300	13.010
0.2659	0.2578	0.2507	0.2418	0.3000
Descarga 3				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
13.010	13.280	13.490	13.850	14.080
13.280	13.490	13.850	14.080	12.790
0.2931	0.2878	0.2786	0.2728	0.3056
Descarga 4				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
12.790	13.010	13.340	13.640	13.940
13.010	13.340	13.640	13.940	12.730
0.3000	0.2916	0.2840	0.2764	0.3071
Descarga 5				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
12.730	12.960	13.270	13.610	13.920
12.960	13.270	13.610	13.920	12.640
0.3012	0.2934	0.2847	0.2769	0.3094
Descarga 6				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
12.640	12.860	13.190	13.490	13.840
12.860	13.190	13.490	13.840	12.520
0.3038	0.2954	0.2878	0.2789	0.3124
Descarga 7				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
12.520	12.710	13.020	13.310	13.700
12.710	13.020	13.310	13.700	12.450
0.3076	0.2997	0.2924	0.2824	0.3142
Descarga 8				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
12.450	12.700	12.980	13.310	13.630
12.700	12.980	13.310	13.630	12.380
0.3078	0.3007	0.2924	0.2842	0.3160

DESCARGAS DESDE 4.0 Kg/cm²					
Descarga 1					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
9.960	10.300	10.570	11.000	11.300	11.740
10.300	10.570	11.000	11.300	11.740	9.760
0.3688	0.3620	0.3510	0.3434	0.3322	0.3825
Descarga 2					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
9.760	9.800	10.110	10.390	10.630	11.520
9.800	10.110	10.390	10.630	11.520	9.430
0.3815	0.3736	0.3665	0.3604	0.3378	0.3909
Descarga 3					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
9.430	9.650	9.940	10.260	10.480	11.140
9.650	9.940	10.260	10.480	11.140	9.450
0.3853	0.3780	0.3698	0.3642	0.3475	0.3904
Descarga 4					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
9.450	9.500	9.700	10.180	10.320	10.850
9.500	9.700	10.180	10.320	10.850	9.400
0.3891	0.3840	0.3719	0.3683	0.3548	0.3917
Descarga 5					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
9.400	9.330	9.400	9.600	10.050	10.300
9.330	9.400	9.600	10.050	10.300	8.780
0.3934	0.3917	0.3866	0.3752	0.3688	0.4074
Descarga 6					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
8.780	9.200	9.400	9.740	9.980	10.440
9.200	9.400	9.740	9.980	10.440	8.640
0.3967	0.3917	0.3830	0.3769	0.3653	0.4110
Descarga 7					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
8.640	8.860	9.070	9.300	9.760	10.250
8.860	9.070	9.300	9.760	10.250	8.620
0.4054	0.4001	0.3942	0.3825	0.3701	0.4115

Anexo 12: Cuadro de resumen Muestra 3

Carga Aplicada	Variación de Altura (ΔH)	Hs=Ws/Gs* A	$\Delta e= \Delta H/Hs$	$e_0=(H_0-Hs) /Hs$	$e=e_0-\Delta e$	$\varepsilon=\Delta H / H_0$
0	0.0000	0.9538	0.0000	0.9500	0.9500	0.0000
0.10	0.0531	0.9538	0.0557	0.9500	0.8944	0.0285
0.25	0.0907	0.9538	0.0951	0.9500	0.8550	0.0488
0.50	0.1453	0.9538	0.1523	0.9500	0.7977	0.0781
0.25	0.1420	0.9538	0.1489	0.9500	0.8012	0.0763
0.10	0.1354	0.9538	0.1419	0.9500	0.8081	0.0728
0.50	0.1483	0.9538	0.1555	0.9500	0.7945	0.0798
0.25	0.1445	0.9538	0.1515	0.9500	0.7985	0.0777
0.10	0.1387	0.9538	0.1454	0.9500	0.8046	0.0746
0.50	0.1506	0.9538	0.1579	0.9500	0.7921	0.0810
0.25	0.1476	0.9538	0.1547	0.9500	0.7953	0.0793
0.10	0.1420	0.9538	0.1489	0.9500	0.8012	0.0763
0.50	0.1516	0.9538	0.1590	0.9500	0.7911	0.0815
0.25	0.1481	0.9538	0.1553	0.9500	0.7948	0.0796
0.10	0.1433	0.9538	0.1502	0.9500	0.7999	0.0770
0.50	0.1537	0.9538	0.1611	0.9500	0.7889	0.0826
0.25	0.1476	0.9538	0.1547	0.9500	0.7953	0.0793
0.10	0.1448	0.9538	0.1518	0.9500	0.7983	0.0778
0.50	0.1549	0.9538	0.1624	0.9500	0.7876	0.0833
0.25	0.1516	0.9538	0.1590	0.9500	0.7911	0.0815
0.10	0.1466	0.9538	0.1537	0.9500	0.7964	0.0788
0.50	0.1554	0.9538	0.1630	0.9500	0.7871	0.0836
0.25	0.1524	0.9538	0.1598	0.9500	0.7903	0.0819
0.10	0.1473	0.9538	0.1545	0.9500	0.7956	0.0792
0.50	0.1595	0.9538	0.1672	0.9500	0.7828	0.0858
1.00	0.2055	0.9538	0.2154	0.9500	0.7346	0.1105
0.50	0.2014	0.9538	0.2112	0.9500	0.7389	0.1083
0.25	0.2146	0.9538	0.2250	0.9500	0.7250	0.1154
0.10	0.1862	0.9538	0.1952	0.9500	0.7549	0.1001
1.00	0.2106	0.9538	0.2208	0.9500	0.7293	0.1132
0.50	0.2065	0.9538	0.2165	0.9500	0.7335	0.1110
0.25	0.2146	0.9538	0.2250	0.9500	0.7250	0.1154
0.10	0.1933	0.9538	0.2027	0.9500	0.7474	0.1039
1.00	0.2258	0.9538	0.2367	0.9500	0.7133	0.1214
0.50	0.2184	0.9538	0.2290	0.9500	0.7210	0.1174
0.25	0.2141	0.9538	0.2245	0.9500	0.7256	0.1151
0.10	0.2047	0.9538	0.2146	0.9500	0.7354	0.1101
1.00	0.2250	0.9538	0.2359	0.9500	0.7141	0.1210
0.50	0.2230	0.9538	0.2338	0.9500	0.7162	0.1199
0.25	0.2167	0.9538	0.2272	0.9500	0.7229	0.1165
0.10	0.2103	0.9538	0.2205	0.9500	0.7296	0.1131
1.00	0.2266	0.9538	0.2375	0.9500	0.7125	0.1218

«continuación»

0.50	0.2230	0.9538	0.2338	0.9500	0.7162	0.1199
0.25	0.2167	0.9538	0.2272	0.9500	0.7229	0.1165
0.10	0.2103	0.9538	0.2205	0.9500	0.7296	0.1131
1.00	0.2268	0.9538	0.2378	0.9500	0.7122	0.1219
0.50	0.2228	0.9538	0.2335	0.9500	0.7165	0.1198
0.25	0.2169	0.9538	0.2274	0.9500	0.7226	0.1166
0.10	0.2103	0.9538	0.2205	0.9500	0.7296	0.1131
1.00	0.2281	0.9538	0.2391	0.9500	0.7109	0.1226
2.00	0.2609	0.9538	0.2735	0.9500	0.6766	0.1402
1.00	0.2550	0.9538	0.2674	0.9500	0.6827	0.1371
0.50	0.2474	0.9538	0.2594	0.9500	0.6907	0.1330
0.25	0.2383	0.9538	0.2498	0.9500	0.7003	0.1281
0.10	0.2283	0.9538	0.2394	0.9500	0.7106	0.1228
2.00	0.2710	0.9538	0.2841	0.9500	0.6659	0.1457
1.00	0.2659	0.9538	0.2788	0.9500	0.6712	0.1430
0.50	0.2578	0.9538	0.2703	0.9500	0.6798	0.1386
0.25	0.2507	0.9538	0.2628	0.9500	0.6872	0.1348
0.10	0.2418	0.9538	0.2535	0.9500	0.6965	0.1300
2.00	0.3000	0.9538	0.3145	0.9500	0.6355	0.1613
1.00	0.2931	0.9538	0.3073	0.9500	0.6427	0.1576
0.50	0.2878	0.9538	0.3017	0.9500	0.6483	0.1547
0.25	0.2786	0.9538	0.2921	0.9500	0.6579	0.1498
0.10	0.2728	0.9538	0.2860	0.9500	0.6640	0.1467
2.00	0.3056	0.9538	0.3204	0.9500	0.6297	0.1643
1.00	0.3000	0.9538	0.3145	0.9500	0.6355	0.1613
0.50	0.2916	0.9538	0.3057	0.9500	0.6443	0.1568
0.25	0.2840	0.9538	0.2977	0.9500	0.6523	0.1527
0.10	0.2764	0.9538	0.2897	0.9500	0.6603	0.1486
2.00	0.3071	0.9538	0.3220	0.9500	0.6281	0.1651
1.00	0.3012	0.9538	0.3158	0.9500	0.6342	0.1620
0.50	0.2934	0.9538	0.3076	0.9500	0.6425	0.1577
0.25	0.2847	0.9538	0.2985	0.9500	0.6515	0.1531
0.10	0.2769	0.9538	0.2903	0.9500	0.6598	0.1488
2.00	0.3094	0.9538	0.3243	0.9500	0.6257	0.1663
1.00	0.3038	0.9538	0.3185	0.9500	0.6316	0.1633
0.50	0.2954	0.9538	0.3097	0.9500	0.6403	0.1588
0.25	0.2878	0.9538	0.3017	0.9500	0.6483	0.1547
0.10	0.2789	0.9538	0.2924	0.9500	0.6577	0.1499
2.00	0.3124	0.9538	0.3275	0.9500	0.6225	0.1680
1.00	0.3076	0.9538	0.3225	0.9500	0.6276	0.1654
0.50	0.2997	0.9538	0.3142	0.9500	0.6358	0.1611
0.25	0.2924	0.9538	0.3065	0.9500	0.6435	0.1572
0.10	0.2824	0.9538	0.2961	0.9500	0.6539	0.1519
2.00	0.3142	0.9538	0.3294	0.9500	0.6206	0.1689
1.00	0.3078	0.9538	0.3228	0.9500	0.6273	0.1655
0.50	0.3007	0.9538	0.3153	0.9500	0.6348	0.1617
0.25	0.2924	0.9538	0.3065	0.9500	0.6435	0.1572

«continuación»

0.10	0.2842	0.9538	0.2980	0.9500	0.6521	0.1528
2.00	0.3160	0.9538	0.3313	0.9500	0.6188	0.1699
4.00	0.3774	0.9538	0.3957	0.9500	0.5543	0.2029
2.00	0.3688	0.9538	0.3867	0.9500	0.5634	0.1983
1.00	0.3620	0.9538	0.3795	0.9500	0.5706	0.1946
0.50	0.3510	0.9538	0.3680	0.9500	0.5820	0.1887
0.25	0.3434	0.9538	0.3600	0.9500	0.5900	0.1846
0.10	0.3322	0.9538	0.3483	0.9500	0.6017	0.1786
4.00	0.3825	0.9538	0.4010	0.9500	0.5490	0.2057
2.00	0.3815	0.9538	0.4000	0.9500	0.5501	0.2051
1.00	0.3736	0.9538	0.3917	0.9500	0.5583	0.2009
0.50	0.3665	0.9538	0.3843	0.9500	0.5658	0.1971
0.25	0.3604	0.9538	0.3779	0.9500	0.5722	0.1938
0.10	0.3378	0.9538	0.3542	0.9500	0.5959	0.1816
4.00	0.3909	0.9538	0.4098	0.9500	0.5402	0.2102
2.00	0.3853	0.9538	0.4040	0.9500	0.5461	0.2072
1.00	0.3780	0.9538	0.3962	0.9500	0.5538	0.2032
0.50	0.3698	0.9538	0.3877	0.9500	0.5623	0.1988
0.25	0.3642	0.9538	0.3819	0.9500	0.5682	0.1958
0.10	0.3475	0.9538	0.3643	0.9500	0.5858	0.1868
4.00	0.3904	0.9538	0.4093	0.9500	0.5407	0.2099
2.00	0.3891	0.9538	0.4080	0.9500	0.5421	0.2092
1.00	0.3840	0.9538	0.4026	0.9500	0.5474	0.2065
0.50	0.3719	0.9538	0.3899	0.9500	0.5602	0.1999
0.25	0.3683	0.9538	0.3861	0.9500	0.5639	0.1980
0.10	0.3548	0.9538	0.3720	0.9500	0.5780	0.1908
4.00	0.3917	0.9538	0.4106	0.9500	0.5394	0.2106
2.00	0.3934	0.9538	0.4125	0.9500	0.5376	0.2115
1.00	0.3917	0.9538	0.4106	0.9500	0.5394	0.2106
0.50	0.3866	0.9538	0.4053	0.9500	0.5447	0.2078
0.25	0.3752	0.9538	0.3933	0.9500	0.5567	0.2017
0.10	0.3688	0.9538	0.3867	0.9500	0.5634	0.1983
4.00	0.4074	0.9538	0.4271	0.9500	0.5229	0.2190
2.00	0.3967	0.9538	0.4160	0.9500	0.5341	0.2133
1.00	0.3917	0.9538	0.4106	0.9500	0.5394	0.2106
0.50	0.3830	0.9538	0.4016	0.9500	0.5485	0.2059
0.25	0.3769	0.9538	0.3952	0.9500	0.5549	0.2027
0.10	0.3653	0.9538	0.3829	0.9500	0.5671	0.1964
4.00	0.4110	0.9538	0.4309	0.9500	0.5192	0.2210
2.00	0.4054	0.9538	0.4250	0.9500	0.5250	0.2179
1.00	0.4001	0.9538	0.4194	0.9500	0.5306	0.2151
0.50	0.3942	0.9538	0.4133	0.9500	0.5368	0.2119
0.25	0.3825	0.9538	0.4010	0.9500	0.5490	0.2057
0.10	0.3701	0.9538	0.3880	0.9500	0.5621	0.1990
4.00	0.4115	0.9538	0.4314	0.9500	0.5186	0.2212

Anexo 13: Datos de Consolidación de la Muestra 4

PESO DE LA MUESTRA		
Peso anillo+muestra hum+2p.	g	229.39
Peso anillo+muestra seca+2p.	g	206.47
p. (papel)	g	1.07
Peso anillo	g	85.33
Peso del agua	Ws	22.92
Peso suelo seco	%	119.15
Humedad	%	19.24

DIMENSIONES DEL ANILLO			
Altura	1.86	cm	0.732 pul
Diametro	7.61	cm	2.996 pul
Area	45.48	cm ²	

Carga Aplicada (C)	ϵ	Densidad "γ" (gr/cm³)	Modulo "E" (kg/cm²)
0.50	0.0456	1.4757	57.47
1.00	0.0841	1.5377	53.19
2.00	0.1143	1.5901	59.00
4.00	0.1610	1.6787	90.50

Anexo 14: Lecturas de consolidación Muestra 4

LECTURAS DE CONSOLIDACION						
Minutos	0,1 kg/cm2	0,25 kg/cm²	0.5 Kg/cm²	1 kg/cm²	2 kg/cm²	4 kg/cm²
0	25.000	24.330	23.930	21.660	19.480	16.630
0.25	24.730	24.000	22.790	21.180	18.150	15.860
0.50	24.682	23.940	22.680	21.100	18.620	15.660
1.00	24.660	23.910	22.590	20.980	18.480	15.480
2.00	24.570	23.810	22.450	20.810	18.240	15.160
4.00	24.560	23.750	22.340	20.650	18.010	14.790
8.00	24.530	23.720	22.250	20.530	17.750	14.600
15.00	24.510	23.700	22.230	20.450	17.720	14.500
30.00	24.480	23.670	22.180	20.410	17.650	14.400
60.00	24.460	23.640	22.130	20.360	17.540	14.330
120.00	24.440	23.610	22.100	20.320	17.530	14.260
240.00	24.380	23.520	22.080	20.250	17.490	14.220
480.00	24.370	23.470	22.050	20.200	17.430	14.170
1440.00	24.330	23.390	22.010	20.040	17.350	14.050

Anexo 15: Cuadros de descargas Muestra 4

DESCARGAS DESDE 0.5Kg/cm²		
Descarga 1		
0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 0.50
22.010	22.140	22.360
22.140	22.360	21.950
0.0726	0.0671	0.0775
Descarga 2		
0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 0.50
21.950	22.100	22.300
22.100	22.300	21.820
0.0737	0.0686	0.0808
Descarga 3		
0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 0.50
21.820	21.950	22.150
21.950	22.150	21.760
0.0775	0.0724	0.0823
Descarga 4		
0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 0.50
21.760	21.900	22.110
21.900	22.110	21.660
0.0787	0.0734	0.0848
Descarga 5		
0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 0.50
21.660	21.810	22.010
21.810	22.010	21.680
0.0810	0.0759	0.0843
Descarga 6		
0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 0.50
21.680	21.800	21.990
21.800	21.990	21.660
0.0813	0.0765	0.0848

DESCARGAS DESDE 1.0 Kg/cm²			
Descarga 1			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
19.240	19.420	19.470	20.070
19.420	19.470	20.070	19.160
0.1417	0.140	0.125	0.148
Descarga 2			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
19.160	19.380	19.570	19.800
19.380	19.570	19.800	18.980
0.1427	0.138	0.132	0.153
Descarga 3			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
18.980	19.160	19.380	19.690
19.160	19.380	19.690	18.870
0.1483	0.143	0.135	0.156

«continuación»

Descarga 4			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
18.870	19.060	19.350	19.530
19.060	19.350	19.530	18.880
0.1509	0.144	0.139	0.155

Descarga 5			
1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 1.0
18.880	19.090	19.240	19.550
19.090	19.240	19.550	18.840
0.1501	0.146	0.138	0.156

DESCARGAS DESDE 2.0 Kg/cm2				
Descarga 1				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
17.350	17.620	17.880	18.180	18.520
17.620	17.880	18.180	18.520	17.400
0.1875	0.1808	0.1732	0.1646	0.1930
Descarga 2				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
17.400	17.580	17.850	18.150	18.460
17.580	17.850	18.150	18.460	17.000
0.1885	0.1816	0.1740	0.1661	0.2032
Descarga 3				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
17.000	17.220	17.510	17.820	18.150
17.220	17.510	17.820	18.150	16.880
0.1976	0.1902	0.1824	0.1740	0.2062
Descarga 4				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
16.880	17.150	17.400	17.600	18.040
17.150	17.400	17.600	18.040	16.770
0.1994	0.1930	0.1880	0.1768	0.2090
Descarga 5				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
16.770	17.050	17.300	17.510	18.080
17.050	17.300	17.510	18.080	16.740
0.2019	0.1956	0.1902	0.1758	0.2098
Descarga 6				
2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 2.0
16.740	17.000	17.280	17.580	17.910
17.000	17.280	17.580	17.910	16.630
0.2032	0.1961	0.1885	0.1801	0.2126

DESCARGAS DESDE 4.0 Kg/cm2					
Descarga 1					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
14.050	14.330	14.750	15.050	15.410	15.770
14.330	14.750	15.050	15.410	15.770	13.870
0.2710	0.2604	0.2527	0.2436	0.2344	0.2827
Descarga 2					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
13.870	14.160	14.550	14.960	15.240	15.650
14.160	14.550	14.960	15.240	15.650	13.670
0.2753	0.2654	0.2550	0.2479	0.2375	0.2878
Descarga 3					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
13.670	13.970	14.390	14.640	14.950	15.410
13.970	14.390	14.640	14.950	15.410	13.520
0.2802	0.2695	0.2631	0.2553	0.2436	0.2916
Descarga 4					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
13.520	13.880	14.210	14.720	14.920	15.250
13.880	14.210	14.720	14.920	15.250	13.260
0.2824	0.2741	0.2611	0.2560	0.2477	0.2982
Descarga 5					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
13.260	13.600	13.990	14.330	14.620	14.940
13.600	13.990	14.330	14.620	14.940	13.310
0.2896	0.2797	0.2710	0.2637	0.2555	0.2969
Descarga 6					
4.0 - 2.0	2.0 - 1.0	1.0 - 0.50	0.50 - 0.25	0.25 - 0.10	0.10 - 4.0
13.310	13.600	13.950	14.300	14.580	14.880
13.600	13.950	14.300	14.580	14.880	13.210
0.2896	0.2807	0.2718	0.2647	0.2570	0.2995

Anexo 16: Cuadro de resumen Muestra 4

Carga Aplicada	Variación de Altura (ΔH)	$H_s=W_s/G_s^*A$	$\Delta e= \Delta H/H_s$	$e_0=(H_0-H_s) / H_s$	$e=e_0-\Delta e$	$\varepsilon=\Delta H / H_0$
0	0.0000	0.9596	0.0000	0.9384	0.9384	0.0000
0.10	0.0170	0.9596	0.0177	0.9384	0.9207	0.0091
0.25	0.0409	0.9596	0.0426	0.9384	0.8958	0.0220
0.50	0.0759	0.9596	0.0791	0.9384	0.8592	0.0408
0.25	0.0726	0.9596	0.0757	0.9384	0.8627	0.0391
0.10	0.0671	0.9596	0.0699	0.9384	0.8685	0.0361
0.50	0.0775	0.9596	0.0807	0.9384	0.8577	0.0417
0.25	0.0737	0.9596	0.0768	0.9384	0.8616	0.0396
0.10	0.0686	0.9596	0.0715	0.9384	0.8669	0.0369
0.50	0.0808	0.9596	0.0842	0.9384	0.8542	0.0434
0.25	0.0775	0.9596	0.0807	0.9384	0.8577	0.0417
0.10	0.0724	0.9596	0.0754	0.9384	0.8629	0.0389
0.50	0.0823	0.9596	0.0858	0.9384	0.8526	0.0442
0.25	0.0787	0.9596	0.0821	0.9384	0.8563	0.0423
0.10	0.0734	0.9596	0.0765	0.9384	0.8619	0.0395
0.50	0.0848	0.9596	0.0884	0.9384	0.8500	0.0456
0.25	0.0810	0.9596	0.0844	0.9384	0.8539	0.0436
0.10	0.0759	0.9596	0.0791	0.9384	0.8592	0.0408
0.50	0.0843	0.9596	0.0879	0.9384	0.8505	0.0453
0.25	0.0813	0.9596	0.0847	0.9384	0.8537	0.0437
0.10	0.0765	0.9596	0.0797	0.9384	0.8587	0.0411
0.50	0.0848	0.9596	0.0884	0.9384	0.8500	0.0456
1.00	0.1260	0.9596	0.1313	0.9384	0.8071	0.0677
0.50	0.1417	0.9596	0.1477	0.9384	0.7907	0.0762
0.25	0.1379	0.9596	0.1437	0.9384	0.7947	0.0742
0.10	0.1252	0.9596	0.1305	0.9384	0.8079	0.0673
1.00	0.1483	0.9596	0.1546	0.9384	0.7838	0.0798
0.50	0.1427	0.9596	0.1488	0.9384	0.7896	0.0767
0.25	0.1379	0.9596	0.1437	0.9384	0.7947	0.0742
0.10	0.1321	0.9596	0.1376	0.9384	0.8007	0.0710
1.00	0.1529	0.9596	0.1594	0.9384	0.7790	0.0822
0.50	0.1483	0.9596	0.1546	0.9384	0.7838	0.0798
0.25	0.1427	0.9596	0.1488	0.9384	0.7896	0.0767
0.10	0.1349	0.9596	0.1406	0.9384	0.7978	0.0725
1.00	0.1557	0.9596	0.1623	0.9384	0.7761	0.0837
0.50	0.1501	0.9596	0.1564	0.9384	0.7819	0.0807
0.25	0.1463	0.9596	0.1525	0.9384	0.7859	0.0787
0.10	0.1384	0.9596	0.1443	0.9384	0.7941	0.0744
1.00	0.1554	0.9596	0.1620	0.9384	0.7764	0.0836
0.50	0.1501	0.9596	0.1564	0.9384	0.7819	0.0807
0.25	0.1463	0.9596	0.1525	0.9384	0.7859	0.0787
0.10	0.1384	0.9596	0.1443	0.9384	0.7941	0.0744

«continuación»

1.00	0.1565	0.9596	0.1631	0.9384	0.7753	0.0841
2.00	0.1943	0.9596	0.2025	0.9384	0.7359	0.1045
1.00	0.1875	0.9596	0.1954	0.9384	0.7430	0.1008
0.50	0.1808	0.9596	0.1885	0.9384	0.7499	0.0972
0.25	0.1732	0.9596	0.1805	0.9384	0.7579	0.0931
0.10	0.1646	0.9596	0.1715	0.9384	0.7669	0.0885
2.00	0.1930	0.9596	0.2012	0.9384	0.7372	0.1038
1.00	0.1885	0.9596	0.1964	0.9384	0.7420	0.1013
0.50	0.1816	0.9596	0.1893	0.9384	0.7491	0.0976
0.25	0.1740	0.9596	0.1813	0.9384	0.7571	0.0935
0.10	0.1661	0.9596	0.1731	0.9384	0.7653	0.0893
2.00	0.2032	0.9596	0.2118	0.9384	0.7266	0.1092
1.00	0.1976	0.9596	0.2059	0.9384	0.7324	0.1062
0.50	0.1902	0.9596	0.1983	0.9384	0.7401	0.1023
0.25	0.1824	0.9596	0.1901	0.9384	0.7483	0.0980
0.10	0.1740	0.9596	0.1813	0.9384	0.7571	0.0935
2.00	0.2062	0.9596	0.2149	0.9384	0.7234	0.1109
1.00	0.1994	0.9596	0.2078	0.9384	0.7306	0.1072
0.50	0.1930	0.9596	0.2012	0.9384	0.7372	0.1038
0.25	0.1880	0.9596	0.1959	0.9384	0.7425	0.1011
0.10	0.1768	0.9596	0.1842	0.9384	0.7542	0.0950
2.00	0.2090	0.9596	0.2179	0.9384	0.7205	0.1124
1.00	0.2019	0.9596	0.2104	0.9384	0.7279	0.1086
0.50	0.1956	0.9596	0.2038	0.9384	0.7346	0.1052
0.25	0.1902	0.9596	0.1983	0.9384	0.7401	0.1023
0.10	0.1758	0.9596	0.1832	0.9384	0.7552	0.0945
2.00	0.2098	0.9596	0.2186	0.9384	0.7197	0.1128
1.00	0.2032	0.9596	0.2118	0.9384	0.7266	0.1092
0.50	0.1961	0.9596	0.2044	0.9384	0.7340	0.1054
0.25	0.1885	0.9596	0.1964	0.9384	0.7420	0.1013
0.10	0.1801	0.9596	0.1877	0.9384	0.7507	0.0968
2.00	0.2126	0.9596	0.2216	0.9384	0.7168	0.1143
4.00	0.2781	0.9596	0.2899	0.9384	0.6485	0.1495
2.00	0.2710	0.9596	0.2824	0.9384	0.6559	0.1457
1.00	0.2604	0.9596	0.2713	0.9384	0.6671	0.1400
0.50	0.2527	0.9596	0.2634	0.9384	0.6750	0.1359
0.25	0.2436	0.9596	0.2539	0.9384	0.6845	0.1310
0.10	0.2344	0.9596	0.2443	0.9384	0.6941	0.1260
4.00	0.2827	0.9596	0.2946	0.9384	0.6438	0.1520
2.00	0.2753	0.9596	0.2869	0.9384	0.6514	0.1480
1.00	0.2654	0.9596	0.2766	0.9384	0.6618	0.1427
0.50	0.2550	0.9596	0.2658	0.9384	0.6726	0.1371
0.25	0.2479	0.9596	0.2584	0.9384	0.6800	0.1333
0.10	0.2375	0.9596	0.2475	0.9384	0.6909	0.1277
4.00	0.2878	0.9596	0.2999	0.9384	0.6385	0.1547
2.00	0.2802	0.9596	0.2920	0.9384	0.6464	0.1506
1.00	0.2695	0.9596	0.2809	0.9384	0.6575	0.1449

«continuación»

0.50	0.2631	0.9596	0.2742	0.9384	0.6642	0.1415
0.25	0.2553	0.9596	0.2660	0.9384	0.6724	0.1372
0.10	0.2436	0.9596	0.2539	0.9384	0.6845	0.1310
4.00	0.2916	0.9596	0.3039	0.9384	0.6345	0.1568
2.00	0.2824	0.9596	0.2944	0.9384	0.6440	0.1519
1.00	0.2741	0.9596	0.2856	0.9384	0.6528	0.1473
0.50	0.2611	0.9596	0.2721	0.9384	0.6663	0.1404
0.25	0.2560	0.9596	0.2668	0.9384	0.6716	0.1377
0.10	0.2477	0.9596	0.2581	0.9384	0.6803	0.1331
4.00	0.2982	0.9596	0.3108	0.9384	0.6276	0.1603
2.00	0.2896	0.9596	0.3018	0.9384	0.6366	0.1557
1.00	0.2797	0.9596	0.2914	0.9384	0.6469	0.1504
0.50	0.2710	0.9596	0.2824	0.9384	0.6559	0.1457
0.25	0.2637	0.9596	0.2748	0.9384	0.6636	0.1417
0.10	0.2555	0.9596	0.2663	0.9384	0.6721	0.1374
4.00	0.2969	0.9596	0.3094	0.9384	0.6289	0.1596
2.00	0.2896	0.9596	0.3018	0.9384	0.6366	0.1557
1.00	0.2807	0.9596	0.2925	0.9384	0.6459	0.1509
0.50	0.2718	0.9596	0.2832	0.9384	0.6552	0.1461
0.25	0.2647	0.9596	0.2758	0.9384	0.6626	0.1423
0.10	0.2570	0.9596	0.2679	0.9384	0.6705	0.1382
4.00	0.2995	0.9596	0.3121	0.9384	0.6263	0.1610