

2023/24



Práctica Profesional Supervisada

“Puesta en funcionamiento y calibración de equipo empleado para Ensayos triaxiales y de Permeabilidad”

Alumno: Luque, Lautaro Ezequiel

DNI y N° de Matrícula: 38801459 (Matrícula 34-33-5667)

Lugar de realización: Laboratorio de Investigación y Ensayos viales (LABIEVI)

Fecha de inicio y finalización: 21/03/2023 – 22/02/2024

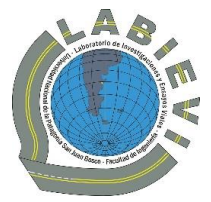
Tutor académico: Ing. Moreno, Oscar

Tutor externo: Ing. Jones, Alejandro

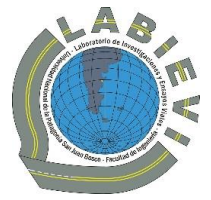


ÍNDICE

1. Introducción	4
2. Objetivos	4
2.1 General	4
2.2 Específicos	4
3. Antecedentes de la muestra a trabajar	5
3.1 Ensayos realizados por el LABIEVI.....	5
4. Ensayos para caracterización de la muestra	8
4.1 Introducción	8
4.2 Determinación de los Límites de Atterberg	8
4.3 Análisis granulométrico mediante Método del hidrómetro	11
4.4 Ensayo de hinchamiento y Valor Soporte	16
4.5 Ensayo de consolidación (Expansión libre)	19
4.6 Conclusiones preliminares.....	23
5. Desarrollo de la Práctica Profesional (1 ^{ra} Etapa)	24
5.1 Introducción	24
5.2 Marco teórico	24
5.3 Disposición del equipo y calibración inicial.....	25
5.4 Moldeo de nuevas probetas y diseño del Sistema de colocación por succión.....	30
5.5 Ejecución de Ensayos de permeabilidad.....	33
5.6 Análisis de los resultados obtenidos.....	44
5.7 Conclusiones sobre la 1 ^{ra} Etapa	49
6. Desarrollo de la Práctica Profesional (2 ^{da} Etapa).....	50
6.1 Introducción	50
6.2 Marco teórico	50
6.3 Disposición del equipo y calibración inicial.....	52
6.4 Ejecución de Ensayos triaxiales finales	54
6.5 Análisis de los resultados obtenidos.....	60
6.6 Conclusiones sobre la 2 ^{da} Etapa.....	70
7. Conclusiones	71
8. Agradecimientos	72
9. Bibliografía	73
10. Cronograma de actividades.....	74
ANEXOS.....	75
1. Procedimiento para la determinación de Límites de Atterberg	75
1.1 Objetivo	75
1.2 Equipo	75



1.3 Pasos	75
1.4 Cálculos posteriores	81
2. Procedimiento para Análisis granulométrico mediante Hidrómetro	83
2.1 Objetivo	83
2.2 Equipo	83
2.3 Pasos	83
2.4 Cálculos posteriores	87
3. Resultados obtenidos en los Ensayos hidrométricos	90
4. Procedimiento para Ensayo de hinchamiento y Valor Soporte Relativo	92
4.1 Objetivo	92
4.2 Equipo	92
4.3 Pasos	92
4.4 Cálculos posteriores	99
5. Resultados obtenidos en los Ensayos de hinchamiento y VSR	102
6. Procedimiento para Ensayo de consolidación unidimensional de suelos	107
6.1 Objetivo	107
6.2 Equipo	107
6.3 Pasos	107
6.4 Cálculos posteriores	111
7. Resultados obtenidos de los Ensayos de consolidación unidimensional.....	115
8. Procedimiento para el Moldeo de probetas de suelo	131
8.1 Objetivo	131
8.2 Equipo	131
8.3 Cálculos previos.....	131
8.4 Pasos	131
9. Resultados del moldeo de probetas para el Ensayo de Permeabilidad.....	133
10.Procedimiento para Ensayo de permeabilidad mediante Cámara Triaxial	134
10.1 Objetivo	134
10.2 Equipo	134
10.3 Pasos	134
10.4 Cálculos posteriores	136
11.Resultados obtenidos en los Ensayos de permeabilidad.....	138
12.Resultados del moldeo de probetas para Ensayos triaxiales finales	141
13.Procedimiento para Ensayos triaxiales.....	142
13.1 Objetivo	142
13.2 Equipo	142
13.3 Pasos	142



13.4 Cálculos posteriores	144
14.Resultados obtenidos en los Ensayos triaxiales finales	146



1. Introducción

Es **de suma importancia en cualquier obra civil el estudio del comportamiento del suelo** con el cual se trabajará, ya sea como material constructivo o base para cimentación, tanto durante como después del proceso constructivo. De esa forma, podemos estimar cuál será su comportamiento en el tiempo frente a distintos elementos o agentes, evitando cualquier posible efecto adverso o imprevisto que pudiera generarse.

Lógicamente, debido a los distintos tipos de suelos que existen (ya sea por su origen, composición, estructura, etc.) no todos los terrenos responderán de igual forma ante las mismas condiciones que impuestas por una construcción o el propio medio ambiente. **Existen una serie de suelos que requieren de un análisis particular a la hora de encarar un proyecto**, por los efectos adversos que puede generar la modificación de las condiciones in-situ de los mismos, y son **los llamados suelos activos**.

Su actividad es función directa de las características mineralógicas de la fracción de arcillas-coloides, mientras que su comportamiento ante la acción de las cargas está influenciado mayormente por las variaciones que puedan experimentar en su contenido natural de humedad, pudiendo su capacidad de soporte reducirse de forma significativa por esta circunstancia así como también experimentar cambios volumétricos apreciables, lo que origina tensiones de expansión o de contracción, que en muchos casos superan con amplitud a las que le transmite la estructura sobre ellos apoyada.

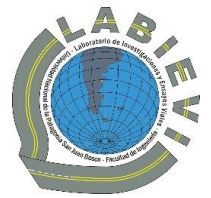
2. Objetivos

2.1 General

La presente Practica Profesional Supervisada (PPS) tiene como objetivo principal adquirir conocimientos sobre el **funcionamiento y puesta en marcha de los equipos empleados para la ejecución de Ensayos triaxiales**, mediante la ejecución de un cierto número de pruebas, permitiendo así poder **caracterizar el comportamiento de un suelo arcilloso** mediante la determinación de parámetros geotécnicos de interés, tales como su coeficiente de permeabilidad, ángulo de fricción interna, entre otros, de forma de poder establecer su aptitud para su posterior uso.

2.2 Específicos

- Ejecutar ensayos para la caracterización de un suelo arcilloso (Límites de Atterberg, sedimentometría, hinchamiento, expansión libre).
- Elaborar probetas de suelo para distintos grados de compactación relativa.
- Realizar la puesta a punto del equipo de ensayo triaxial, localizando y arreglando puntos de fuga de presión, añadiendo los accesorios/complementos necesarios para un mejor funcionamiento, etc.
- Realizar ensayos de permeabilidad y comparar los resultados obtenidos con los alcanzados anteriormente empleando permeámetros de carga variable.
- Establecer una metodología de ensayo para la determinación del coeficiente de permeabilidad empleando la cámara triaxial.
- Establecer una metodología para ensayos triaxiales de probetas de suelos, a fines de determinar los parámetros característicos de suelo.
- Empleando el equipo, realizar ensayos triaxiales sobre un grupo de probetas de suelo.



3. Antecedentes de la muestra a trabajar

La muestra a trabajar es un **subproducto del lavado de arenas** y, a los fines de darle uso al mismo, se planteó la posibilidad de emplearlo para tareas de impermeabilización de una serie de piletones para agua y fluidos residuales similares.

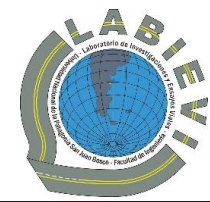
Se le fueron solicitados al Laboratorio de Investigación y Ensayos Viales (LABIEVI), dependiente de la Facultad de Ingeniería de la UNPSJB (Sede Trelew), una serie de ensayos destinados a la identificación, características de compactabilidad y propiedades hidráulicas que puedan advertir la posibilidad del paso del agua a través de la masa de suelo, mediante la evaluación de sus características de permeabilidad.

3.1 Ensayos realizados por el LABIEVI

Utilizando en la mayoría de los casos las normas de ensayo de la Dirección Nacional de Vialidad, se realizaron los siguientes ensayos:

- **Granulometría**, de acuerdo con las normas VN-E1-65;
- **Clasificación**, de acuerdo con la norma VN-E4-84;
- **Límite líquido**, de acuerdo con la norma VN-E2-65;
- **Límite plástico e índice de plasticidad**, de acuerdo con la norma VN-E3-65;
- **Peso específico aparente de suelos finos**, de acuerdo con la norma VN-E14-67;
- Determinación de **valor soporte e hinchamiento de suelos**, de acuerdo con la norma VN-E6;
- Compactación de suelos (**Proctor Estándar T99**), de acuerdo con la norma VN-E5-95;
- Compactación de suelos (**Proctor Modificado T-180**), de acuerdo con la norma VN-E5-95;
- Determinación de la **Conductividad Hidráulica con permeámetro de carga variable**.

A continuación, se detallan los valores obtenidos:



Mtra. Nº:	Características:										Constantes Físicas:		Clasificación H.R.B.
	Granulometría										Límite Líquido	52,1	MH
	Tamiz	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	4	10	40	100	200	Indice Plástico		22,6
% Que Pasa	100	100	100	100	100	100	100	100	88	69,8			

RESULTADOS OBTENIDOS EN EL MOLDEO DE PROBETAS Y EN EL ENSAYO DE HINCHAMIENTO.

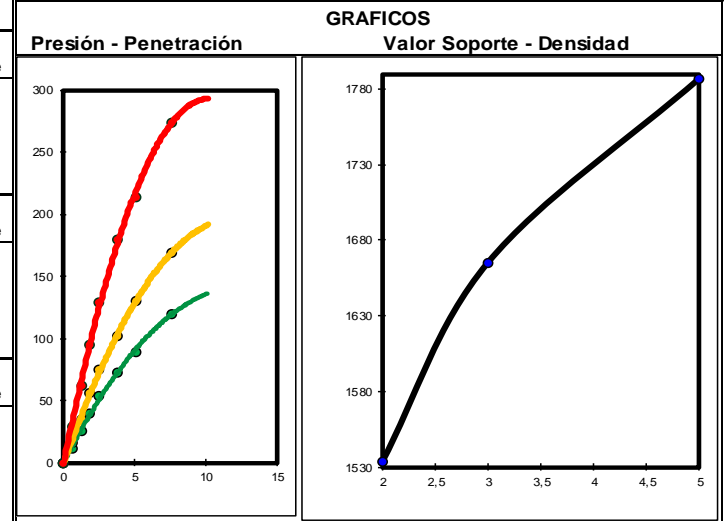
Molde Nº	Núm. de Golpes	Probeta Nº	Peso de M+S+A (g)	Peso del Molde (g)	Peso de A+S (g)	Volumen del Molde (cm³)	Densidad Humeda (gr/cm³)	Humedad (%)	Densidad Seca (gr/cm³)	Altura de la Probeta (cm)	Ensayo de Hinchamiento Lecturas (div.)				Hinchamiento (%)	Humedad Final (%)
											1er Día	2do Día	3er Día	4to Día		
											3	12	1	10650		
4	25	2	10905	6935	3.970	2086	1,903	14,3	1,665	11,66	1000	-	-	-	#####	--
5	56	3	11260	7000	4.260	2086	2,042	14,3	1,787	11,66	-	-	-	890	7,63	--

Constantes de los Aros	
Constante (kg./div.)	
Probeta Molde Nº 3	0,472
Probeta Molde Nº 4	0,472
Probeta Molde Nº 5	0,472

Datos del Ensayo Proctor	
Hum. Óptima (%)	14,3
Dens. Máx. (gr/cm³)	1813
Sobrecargas Utilizadas (Lbs.)	
Hinchamiento	10
Penetración	10

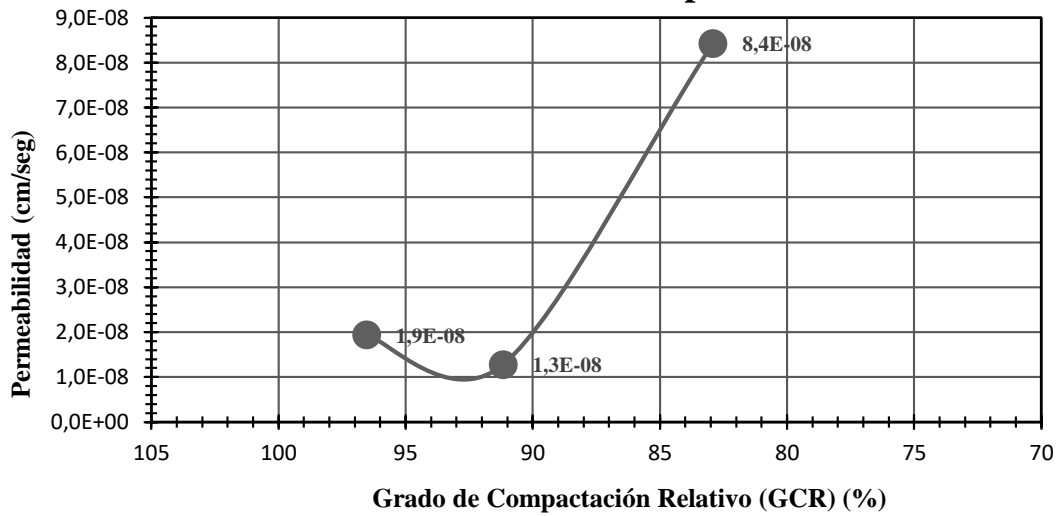
RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE PENETRACION

Penetración (mm.)		0,635	1,270	1,905	2,540	3,170	3,810	4,440	5,080	7,620	10,160	12,700	Valor Soporte	
Presión Normal (kg/cm2)					70				105	133	161	183		2
Molde Nº 3	Lectura del dial (div.)	11	25	40	54		72		89	120				
	Lectura Corregida (div.)	11	25	40	56		72		92	120				
	Carga Total Aplicada (kg)				26					43				
	Presión Aplicada (kg/cm2)				1					2				
Valor Soporte (%)				2					2					
Penetración (mm.)		0,635	1,270	1,905	2,540	3,170	3,810	4,440	5,080	7,620	10,160	12,700	Valor Soporte	
Presión Normal (Kg/cm2)					70				105	133	161	183		3
Molde Nº 4	Lectura del dial (div.)	16	35	56	75		102		130	169				
	Lectura Corregida (div.)	16	35	56	77		102		134	169				
	Carga Total Aplicada (Kg)				36					63				
	Presión Aplicada (Kg/cm2)				2					3				
Valor Soporte (%)				3					3					
Penetración (mm.)		0,635	1,270	1,905	2,540	3,170	3,810	4,440	5,080	7,620	10,160	12,700	Valor Soporte	
Presión Normal (Kg/cm2)					70				105	133	161	183		5
Molde Nº 5	Lectura del dial (div.)	29	62	95	129		180		214	274				
	Lectura Corregida (div.)	29	62	95	130		180		215	274				
	Carga Total Aplicada (Kg)				61					101				
	Presión Aplicada (Kg/cm2)				3					5				
Valor Soporte (%)				5					5					

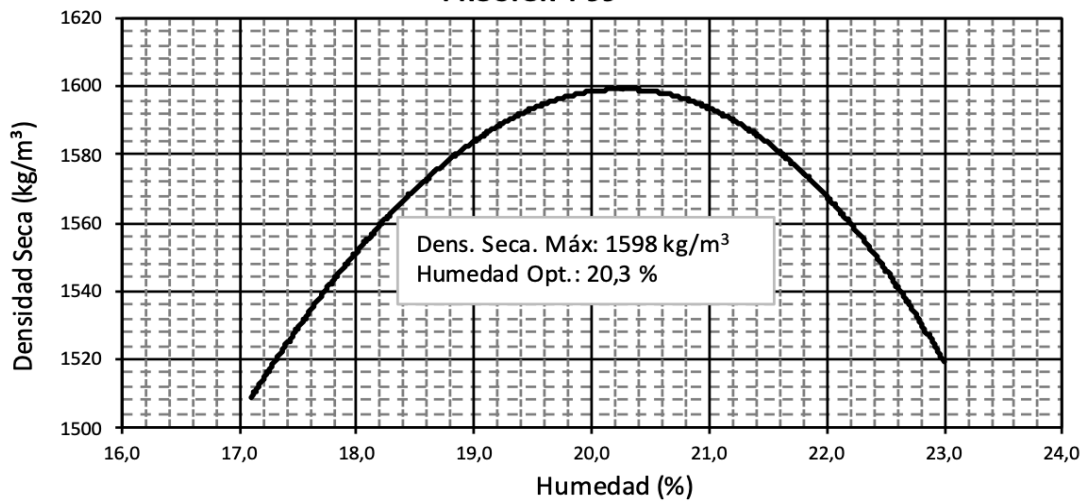


Muestra Nº	217/22	
Matraz Nº	1	2
Peso c/agua total [g]	144,45	137,59
Peso c/agua parcial [g]	98,07	96,47
Peso c/agua parcial + material [g]	109,32	107,39
Peso c/agua total + material [g]	151,53	144,33
Peso específico aparente G_s	2,698	2,612
Peso específico aparente G_s promedio	2,655	

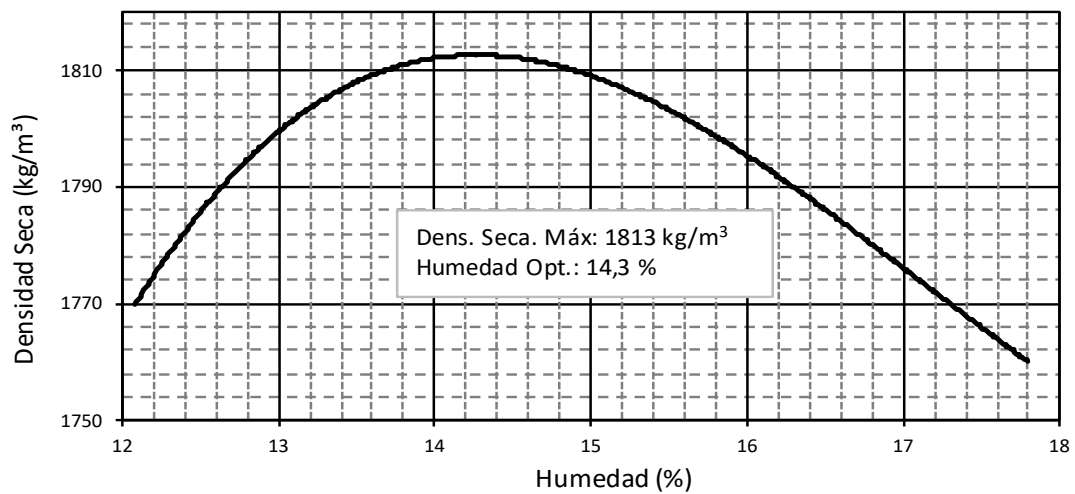
Permeabilidad vs Grado de Compactación Relativo



PROCTOR T-99



PROCTOR T-180



4. Ensayos para caracterización de la muestra

4.1 Introducción

A continuación, previo a abocarnos al objetivo general de la PPS, nos ocuparemos de la ejecución de una serie de ensayos a los fines de **caracterizar con precisión el comportamiento del suelo** que nos encontramos estudiando.

**Si bien estos ensayos se desarrollan al principio del presente informe, cronológicamente se realizaron luego de concluidos los ensayos de permeabilidad mediante el equipo triaxial. Para mayor información, remitirse al Apartado 5.7 – Conclusiones preliminares.*

4.2 Determinación de los Límites de Atterberg

4.2.1 **Marco teórico**

Un suelo que posea algo de cohesión, según su naturaleza y la cantidad de agua que tenga, puede presentar propiedades que lo circunscriban en el estado sólido, semisólido, plástico o semi-líquido o viscoso. Los **límites de Atterberg** marcan una separación arbitraria, pero suficiente en la práctica, entre estos cuatro estados:

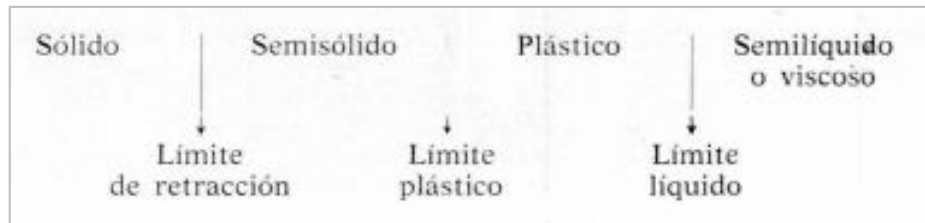


Figura 1: Estados de consistencia de los suelos y sus límites

1. **Límite de contracción:** Es el contenido de humedad por debajo del cual no se produce reducción adicional de volumen o contracción en el suelo.
2. **Límite plástico:** Es el contenido de humedad por debajo del cual se puede considerar el suelo como material no plástico.
3. **Límite líquido:** Es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de humedad el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso.

Estos parámetros han sido ampliamente utilizados, principalmente para la identificación y clasificación de suelos, así como también para detectar problemas de potencial de volumen o estimar asentamientos en problemas de consolidación. Múltiples investigaciones han encontrado una correlación entre los límites de Atterberg y el potencial de hinchamiento del suelo:

Potencial de expansión	LL [%]		
	Chen (1965)	Snethan et al. (1977)	IS:1498 (1970)
Bajo	<30	<50	20-35
Medio/marginal	30-40	50-60	35-50
Alto	40-60	>60	50-70
Muy alto	>60	-	70-90

Figura 2: Clasificación de suelos expansivos basados en el LL (Chen, 1956; Snethan et al., 1977; IS1948, 1970). Tomado de Sridharan & Prakash (2016)

Potencial de expansión	IP [%]				
	Holtz & Gibbs (1956)	BRE(*) (1993)	Chen (1988)	IS:1498 (1970)	NHBC(**) (2011)
Bajo	<1820	<20	0-15	<12	10 - 20
Medio	15-28	20 - 40	10 - 35	12 - 23	20 - 40
Alto	25-41	40 - 60	20-55	23-32	>40
Muy alto	>35	>60	>35	>32	---

(*) Building Research Establishment Digest 240

(**) National House-Building Council

Figura 4: Clasificación de suelos expansivos basados en el IP

Sin embargo, para obtener una indicación cuantitativa de cuánto cambio en humedad puede presentarse antes de que se presente un apreciable cambio volumétrico y obtener, si dicho cambio ocurre, una indicación de la magnitud de ese cambio, es necesario hacer un ensayo del límite de contracción, el cual ha resultado útil en zonas donde el suelo sufre grandes cambios de volumen entre su estado seco y su estado húmedo.

Grado de expansividad	LC [%]
Potencial de hinchamiento	IS:1498 (1970)
Bajo	<15
Medio	15-30
Alto	30-60
Muy alto	>60

Figura 3: Clasificación de suelos expansivos basados en el LC - 1498 (Bureau of Indian Standard) Tomado de Sridharan & Prakash (2016)

4.2.2 Ejecución del ensayo

La determinación del límite líquido, plástico y de contracción se realizó de acuerdo a las **Normas VN-E2-65, VN-E3-65 y AASTHO T 92-68/ASTM 427-61**, respectivamente.

Se realizaron un total de 3 ensayos de Límite líquido y plástico, cuyos resultados serán contrastados con los obtenidos inicialmente por el LABIEVI. En el caso del Límite de contracción, a los fines de realizar una comparación entre resultados, se efectuaron 2 ensayos, moldeando en cada uno 3 cápsulas de suelo.

Todos los procedimientos y cálculos posteriores a realizar referidos a esta prueba se encuentran adjuntos en el Anexo – Inciso 5.

4.2.3 Análisis de los resultados obtenidos

Concluidas las pruebas, se volcaron los resultados obtenidos en sus correspondientes planillas de cálculo. En primer lugar, se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de LL y LP, junto con la corrección correspondiente del LL en función del N° de golpes y el cálculo del Índice de plasticidad:

Resultados obtenidos en la determinación de Límites líquido y plástico

Muestra	N° de Pesa filtro	Limite	P _f [g]	P _f + P _{sh} [g]	P _f + P _{ss} [g]	P _{sh} [g]	P _{ss} [g]	P _w [g]	w [%]
1	1	Líquido	33,41	49,04	43,92	15,63	10,51	5,12	48,7
	2	Plástico	32,34	43,88	41,74	11,54	9,4	2,14	22,8
2	3	Líquido	31,72	54,81	47,31	23,09	15,59	7,5	48,1
	4	Plástico	40,34	53,9	51,16	13,56	10,82	2,74	25,3
3	5	Líquido	32,31	58,21	49,5	25,9	17,19	8,71	50,7
	6	Plástico	32,71	45,76	43,13	13,05	10,42	2,63	25,2

Límite líquido, plástico e Índice de plasticidad

Muestra	LL (corregido)	LP	IP
1	47,9	22,8	25,1
2	48,6	25,3	23,3
3	49,8	25,2	24,6
Promedio	48,8	24,4	24,3

Por otro lado, se presentan los resultados obtenidos en la determinación del Límite de contracción, junto con la determinación de otros parámetros de interés:

N° de capsula	Ensayo 8/6			Ensayo 16/6		
	106	107	109	106	107	109
P _{cap} [g]	14,13	14,58	14,98	14,12	14,57	14,97
P _{cap + Hg} [g]	231,62	229,43	237,74	230,32	228,55	234,78
P _{Hg} [g]	217,49	214,85	222,76	216,2	213,98	219,81
V _{cap} [cm ³]	16,07	15,87	16,46	15,97	15,81	16,24
P _{cap + sh} [g]	40,89	40,25	41,35	40,45	40,45	41,85
P _{cap + ss} [g]	31,23	30,5	31,35	30,88	31,06	32,17
P _w [g]	9,66	9,75	10,00	9,57	9,39	9,68
P _{ss} [g]	17,10	15,92	16,37	16,76	16,49	17,20
w _o	56,5	61,2	61,1	57,1	56,9	56,3
D _s [g/cm ³]	1,06	1,00	0,99	1,05	1,04	1,06
P _{Hg desplazado}	129,54	120,97	124,54	127,41	125,99	129,34
V _{ss} [cm ³]	9,57	8,94	9,20	9,41	9,31	9,56
V _{w perdida} [cm ³]	6,50	6,94	7,26	6,56	6,50	6,68
P _{w perdida} [g]	38,00	43,57	44,33	39,14	39,43	38,86
LC	18,5	17,7	16,8	18,0	17,5	17,4
RC	1,79	1,78	1,78	1,78	1,77	1,80
V _{w intersticial} [cm ³]	3,16	2,81	2,74	3,01	2,89	3,00
V _{sólidos} [cm ³]	6,41	6,12	6,46	6,40	6,42	6,56
G _s [g/cm ³]	2,668	2,599	2,534	2,617	2,568	2,621
Porosidad [%]	60,11	61,42	60,76	59,91	59,39	59,60
V _{vacíos} [cm ³]	9,66	9,75	10,00	9,57	9,39	9,68
Saturación [%]	67,27	71,14	72,57	68,55	69,24	69,06

4.3 Análisis granulométrico mediante Método del hidrómetro

4.3.1 Marco teórico

El **análisis de hidrómetro** es un método ampliamente utilizado para obtener un estimado de la distribución granulométrica de suelos cuyas partículas se encuentran desde el tamiz N° 200 (0,075 mm) hasta alrededor de 0,001 mm.

El principal objetivo del ensayo es **obtener el porcentaje de arcilla (porcentaje más fino que 0,002 mm)** ya que la conducta de la fracción de suelo cohesivo del suelo dado depende principalmente del tipo y porcentaje de arcilla de suelo presente, de su historia geológica y del contenido de humedad más que de la distribución misma de los tamaños de partícula.

Se basa en la **Ley de Stokes**, la cual relaciona la velocidad de una esfera cayendo libremente a través de un fluido con el diámetro de la esfera, mediante la siguiente ecuación:

$$v = \frac{2 \cdot \gamma_s - \gamma_f}{9 \cdot \eta} \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (1)$$

Donde:

- v = velocidad de caída de la esfera, en cm/s
- γ_s = Peso específico de la esfera, en g/cm^3
- γ_f = peso específico del fluido, en g/cm^3
- η = viscosidad absoluta, o dinámica del fluido, en $\text{g/cm} \cdot \text{s}$
- D = diámetro de la esfera, en cm

Al resolver la ecuación (4) para D , utilizando el peso específico del agua como fluido, se obtiene:

$$D = \sqrt{\frac{18 \cdot \eta \cdot v}{\gamma_s - \gamma_w}} \quad (2)$$

El rango de validez de esta ecuación es aproximadamente $0,0002 \text{ mm} \leq D \leq 0,2 \text{ mm}$.

El **hidrómetro determina la gravedad específica de la suspensión agua-suelo en el centro del bulbo**. Al introducir el dispositivo en una mezcla de agua + suelo, todas las partículas de mayor tamaño que aquéllas que se encuentren aún en suspensión en la zona comprendida por la distancia entre el centro de volumen del bulbo y la superficie del agua habrán caído por debajo de la profundidad del centro de volumen, y esto hace decrecer permanentemente la gravedad específica de la suspensión en el centro de volumen del hidrómetro.

Como el instrumento tiene un peso constante, a medida que disminuye la gravedad específica de la suspensión, el mismo se hundirá más dentro de la suspensión (aumentando la distancia L). Es preciso recordar que la gravedad específica del agua (o densidad) decrece a medida que la temperatura aumenta (o disminuye), ocasionando adicionalmente un hundimiento mayor del hidrómetro dentro de la suspensión.

Siendo que L representa la distancia de caída de las partículas en un intervalo de tiempo t , es necesario entonces encontrar la profundidad L correspondiente a un tiempo t transcurrido, de forma que se pueda determinar la velocidad necesaria para utilizar en la ecuación de Stokes. Cuando se trata de realizar cálculos, la ecuación (5) se reescribe comúnmente, utilizando L en cm y t en minutos para obtener D en mm, como:

$$D = \sqrt{\frac{30 \cdot \eta}{980 \cdot (G_s - G_w)} \cdot \frac{L}{T}} \quad (3)$$

Que puede a su vez ser simplificada de la siguiente forma:

$$D = K \cdot \sqrt{\frac{L}{T}} \quad (4)$$

Como todas las variables menos L/t son independientes del problema excepto por la temperatura de la suspensión, es posible evaluar $K = f(T, G, u)$ de una sola vez. Los valores de K se encuentran tabulados para distintas combinaciones de $t^{\circ}C$ y G_s .

Si se conoce el diámetro de la partícula y el porcentaje de suelo que aún permanece en suspensión, el cual es en este caso el porcentaje de material más fino, se tiene suficiente información para dibujar la curva de granulometría. Este porcentaje se relaciona directamente a la lectura de hidrómetro de tipo 152 H ya que la lectura proporciona los gramos de suelo que aún se encuentran en suspensión.

Por otro lado, la **actividad de un suelo** se define como la relación entre el índice de plasticidad de un suelo y el porcentaje de la fracción de arcilla (material más fino de 2μ en peso) presente:

$$A = \frac{IP}{\% \text{ de arcillas}} \quad (5)$$

Dicho parámetro nos permite tener una referencia del potencial de expansión, ya que **a menor actividad corresponden valores menores del potencial de cambio de volumen del suelo.**

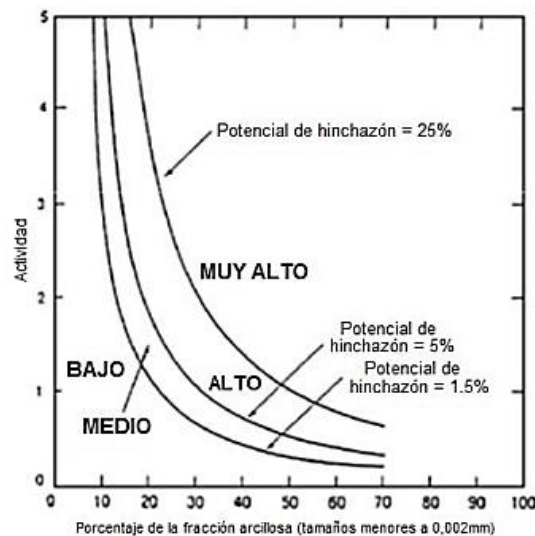


Figura 5: Relación entre la Actividad y el Potencial de hinchamiento de un suelo

También incorpora, de forma directa, el tipo de mineral de arcilla que el suelo posee en su composición. Por ejemplo, una arcilla predominantemente caolinítica tiene una actividad menor que una arcilla con alto contenido de ilitas o con montmorillonitas.

Mineral	Actividad
Esmectita	1 - 7
Illita	0.5 - 1
Caolinita	0.5
Halloysita (2H ₂ O)	0.5
Halloysita (4H ₂ O)	1
Atapulgita	0.5 - 1.2
Alofano	0.5 - 1.2

Figura 6: Índice de actividad del suelo en función del tipo de arcilla predominante

4.3.2 Ejecución del ensayo

El análisis granulométrico mediante el método de hidrómetro se realizó de acuerdo a las **Normas AASTHO T 88-10 y ASTM 420-07**.

Para la ejecución de este procedimiento, se emplearon 2 hidrómetros cuyas dimensiones son las mismas y sólo varían las escalas. En el primer caso, que corresponde al **Hidrómetro 151 H**, la escala tiene valores de peso específico (de la suspensión) que van de 0,995 a 1.038 y estará calibrado para leer 1,00 en agua destilada a 20 °C (68°F).

Por otro lado, tenemos el **Hidrómetro 152 H**, cuya la escala tiene valores de gramos de suelo por litro de suspensión (g/l) que van de -5 a +60 y está calibrado para el supuesto que el agua destilada tiene gravedad específica de 1,00 a 20°C (68°F) y que el suelo en suspensión tiene un peso específico de 2,65.

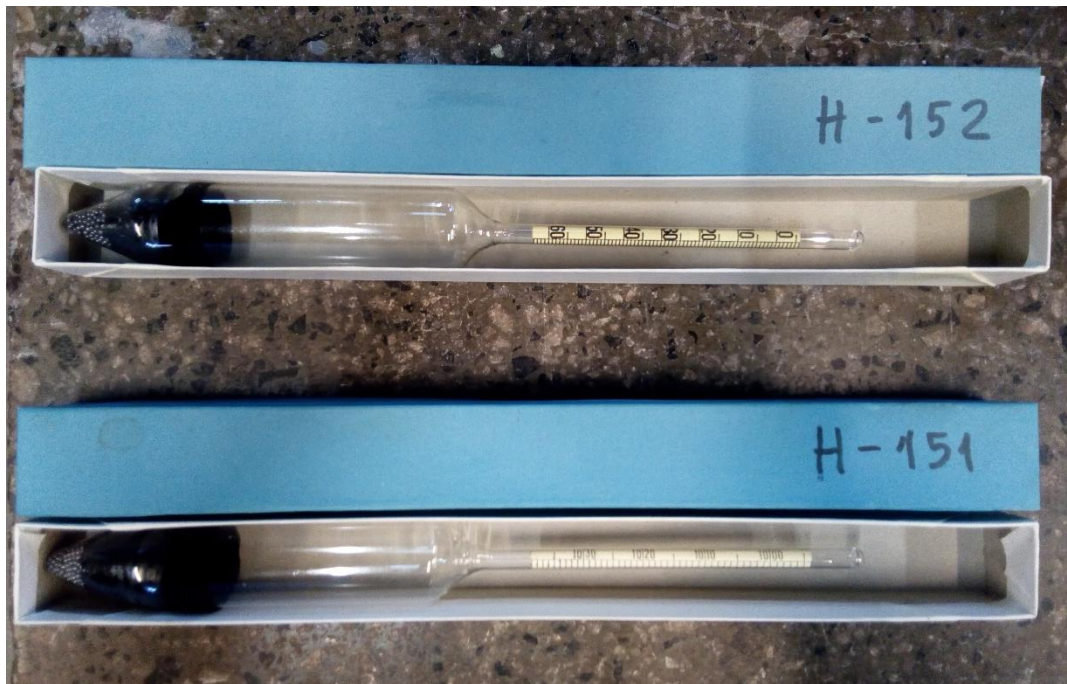


Figura 7: Hidrómetros utilizados en el ensayo H-152 y H-151

A los fines de realizar una comparación entre resultados obtenidos, se efectuaron 2 ensayos diferidos aprox. 24 horas uno respecto del otro para no interferir en la lectura de las mediciones.

Todos los procedimientos y cálculos posteriores a realizar referidos a esta prueba se encuentran adjuntos en el Anexo – Inciso 5.

4.3.3 Análisis de los resultados obtenidos

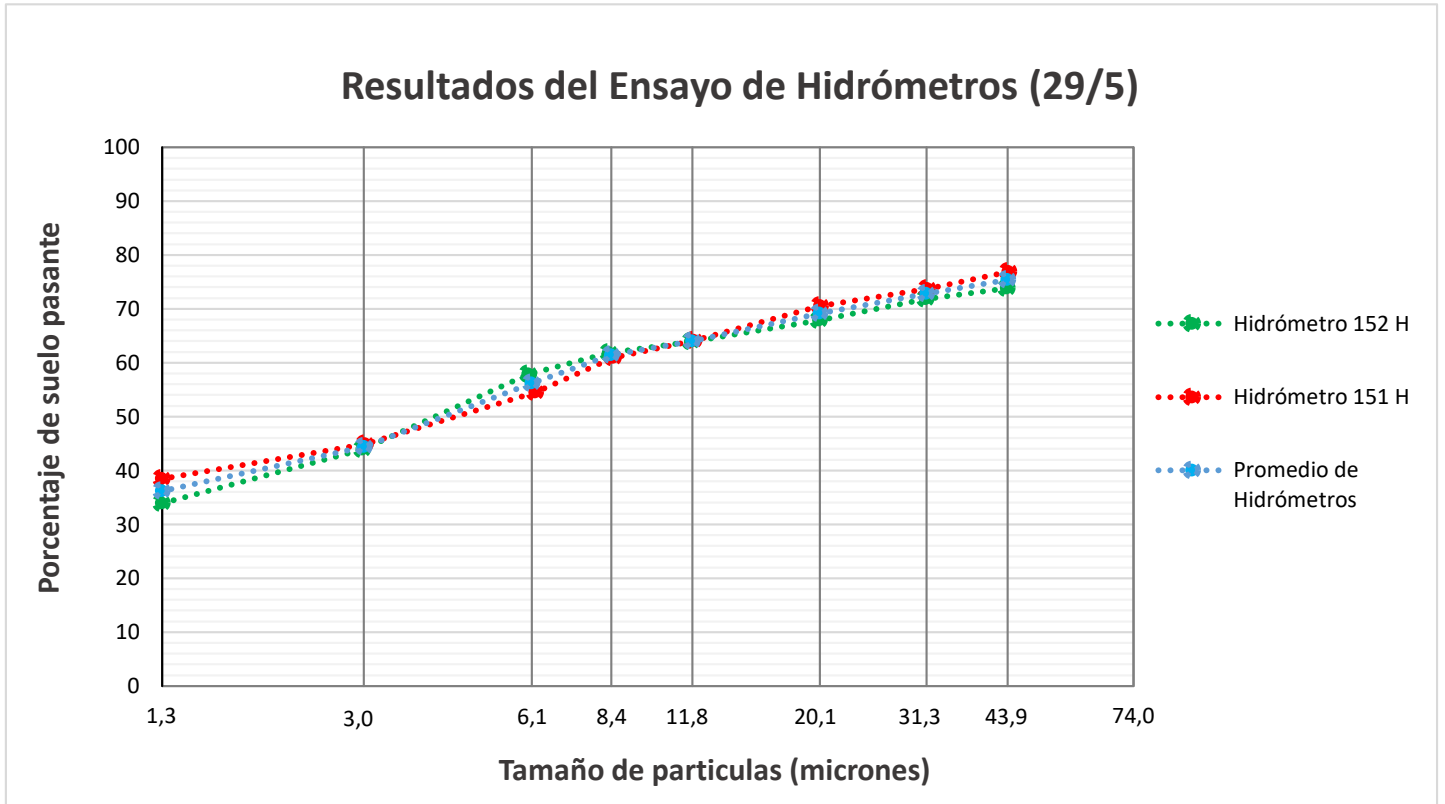
A medida que cada ensayo avanzaba, se volcaron las lecturas obtenidas en su planilla de cálculo correspondiente. A continuación, se procedió a la determinación de los factores de corrección, la distancia L recorrida, el diámetro D y el % de Pasante para el mismo.

Los resultados obtenidos se encuentran en el Anexo – Inciso 3.

Estos últimos 2 valores fueron representados en un diagrama de “% de Suelo pasante vs Diámetro de la partícula” (en escala logarítmica), graficando 3 series de valores: la correspondiente al 151 H, al 152 H y al promedio de ambos.

Ensayo N°1

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de % de Suelo pasante en función del diámetro de las partículas:



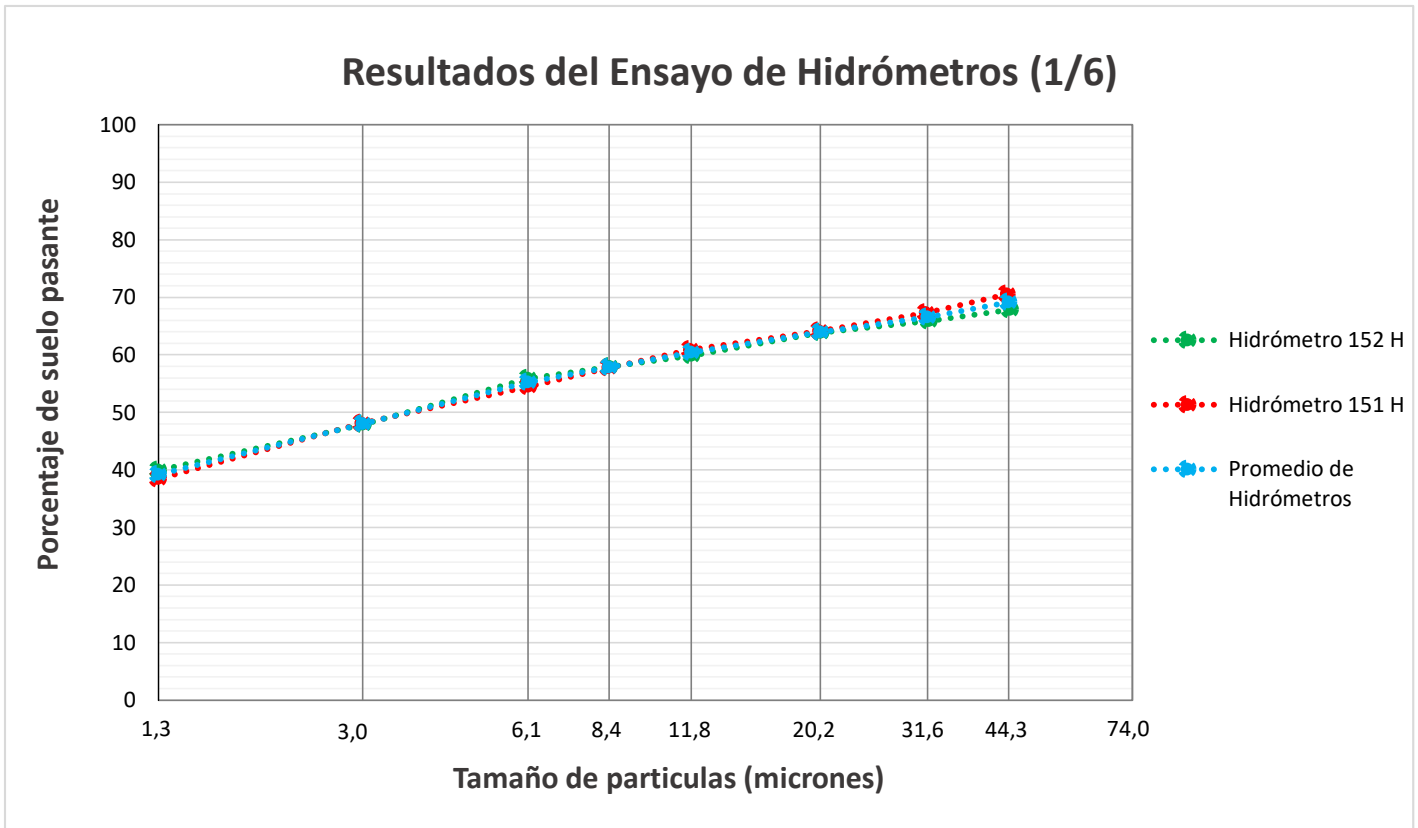
Se puede observar que en ciertos puntos en la gráfica se produce una mayor dispersión de valores, debido posiblemente a errores en la lectura del menisco.

Del tamizado por vía húmeda se obtiene el % de Arcillas + Coloides que pasaron el Tamiz N°200, pudiéndolo contrastar con los datos obtenidos del análisis granulométrico mecánico. Mientras tanto, de la gráfica también se puede deducir el porcentaje de pasante de partículas inferiores a 0,002 mm por lo que junto con el índice plástico que tenemos como dato previo podemos obtener la actividad del suelo para cada hidrómetro:

TABLA N°4: Resultados Ensayo 29/5		
	151 H	152 H
Retenido #200 (g)	15,41	14,96
% Pasante #200	69,18	70,08
% P de < 0,002 mm	42	40
Actividad	0,538	0,565

Ensayo N°2

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de % de Suelo pasante en función del diámetro de las partículas:



En este caso, se observó que no existe una dispersión de los datos obtenidos. Se procedió entonces a procesar los datos obtenidos del tamizado de la muestra y de la propia gráfica de la misma forma que en el caso anterior:

TABLA N°5: Resultados Ensayo 1/6		
	151 H	152 H
Retenido #200 (g)	13,51	14,42
% Pasante #200	72,98	71,16
% P de < 0,002 mm	44	44
Actividad	0,514	0,514

4.4 Ensayo de hinchamiento y Valor Soporte

4.4.1 Marco teórico

El **ensayo CBR** mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un número de la relación de soporte en función del estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo. De paso, es interesante comentar que el experimento puede hacerse en el terreno o en un suelo compactado, pero este aspecto se encuentra fuera del objetivo del presente manual de laboratorio.

El número CBR (o simplemente, CBR) se obtiene como la relación de la carga unitaria necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración (con un área de 19,4 cm²) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado.

De esta ecuación se puede ver que el número CBR es un porcentaje de la carga unitaria patrón.

4.4.2 Ejecución del ensayo

El ensayo de hinchamiento y valor soporte se realizó de acuerdo a la **Norma VN-E6**.

Para la ejecución del mismo, se prepararon un total de 5 probetas de suelo, las cuales fueron moldeadas y compactadas con distintas energías de compactación, a los fines de estudiar el comportamiento del suelo en presencia del agua bajo diferentes condiciones de densificación. La **energía de compactación específica** se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$E_c \left[\frac{kg}{cm^2} \right] = \frac{N^\circ \text{ de golpes} \cdot N^\circ \text{ de capas} \cdot h_{Caída} \cdot P_{Pisón}}{Vol_{Molde}} \quad (6)$$

En donde:

- N° de golpes dado por capa,
- N° de capas compactadas (3 o 5),
- Altura de caída del pisón de compactación, la cual depende si este es “pequeño” (30,5 cm) o “grande” (45,7 cm),
- Peso del pisón de compactación, el cual depende si este es “pequeño” (2,50 kg) o “grande” (4,53 kg),
- Volumen del molde empleado (2086 cm³)

Fijando un valor aproximado de energía de compactación, se pudo estimar el número de golpes por capa. En la siguiente tabla, se presentan los resultados obtenidos para cada una de las muestras preparadas:

TABLA N°: Calculo de energía de compactación específica					
N° de Molde	1	2	3	4	8
Vol _{Molde} [cm ³]	2086	2086	2086	2086	2086
N° de golpes	9	18	12	25	56
N° de capas	3	3	5	5	5
h _{Caída} [cm]	30,5	30,5	45,7	45,7	45,7
P _{Pisón} [kg]	2,5	2,5	4,53	4,53	4,53
E _{ec} [kg/cm ²]	1,0	2,0	6,0	12,4	27,8

Adicionalmente, junto con los valores de peso de suelo empleado y el volumen del molde, se pueden deducir parámetros geotécnicos de importancia, como el grado de compactación relativo, la porosidad o la saturación del suelo:

N° de Molde	1	2	3	4	8
$P_{\text{Molde}} [\text{g}]$	6500	7230	6990	6935	6665
$P_{\text{Molde}} + S_h [\text{g}]$	9765	10855	10975	11145	10990
$\text{Vol}_{\text{Molde}} [\text{cm}^3]$	2086	2086	2086	2086	2086
$S_h [\text{g}]$	3265	3625	3985	4210	4325
$S_s [\text{g}]$	2714	3013	3313	3500	3595
$D_s [\text{g}/\text{cm}^3]$	1,301	1,445	1,588	1,678	1,723
GCR [%]	81,4%	90,4%	99,4%	105,0%	107,9%
Porosidad [%]	51,0%	45,6%	40,2%	36,8%	35,1%
Indice de vacios	1,04	0,84	0,67	0,58	0,54
$\text{Vol}_w [\text{cm}^3]$	264,12	293,24	322,36	340,56	349,87
$\text{Vol}_{\text{sol}} [\text{cm}^3]$	490,05	544,08	598,11	631,88	649,14
$\text{Vol}_{\text{vacios}} [\text{cm}^3]$	509,95	455,92	401,89	368,12	350,86
Saturación [%]	51,8%	64,3%	80,2%	92,5%	99,7%

Una vez finalizado el moldeo de las probetas, las mismas fueron sumergidas por un total de 9 días, registrando los valores de hinchamiento producidos (aunque se consideraron únicamente los valores registrados de los primeros 4 días).

Transcurrido el periodo de tiempo con las 5 probetas sumergidas, se realizó el ensayo de valor soporte y posteriormente se procedió a realizar el análisis de humedad de cada muestra.

Todos los procedimientos y cálculos posteriores a realizar referidos a esta prueba se encuentran adjuntos en el Anexo – Inciso 4.

4.4.3 Análisis de los resultados obtenidos

Durante el transcurso del tiempo de 9 días con las 5 probetas sumergidas, se registraron los correspondientes valores de hinchamiento, junto con el porcentaje referido al último día:

Hinchamiento	1 día	401	317	309	119	60
	2 día	307	324	327	170	79
	3 día	311	328	335	197	96
	4 día	309	332	342	215	109
	5 día	311	339	339	223	110
	6 día	313	346	335	231	111
	7 día	315	348	336	233	112
	8 día	316	350	337	237	113
	9 día	317	338	351	240	113
	h [%]	2,72%	2,90%	3,01%	2,06%	0,97%

Se puede señalar que, en el caso de la muestra N°1, se produjo un colapso de la estructura interna del suelo, lo que ocasionó que la lectura del flexímetro no fuera aumentando de manera constante, produciéndose en entre el primer y segundo día un descenso abrupto. Algo similar puede haber ocurrido en la muestra N° en los 2 últimos días de registro. En línea general, se puede observar un descenso del hinchamiento experimentado por la muestra en la medida que el grado de densificación aumentaba.

Por último, finalizados los ensayos de Valor Soporte cada una de las probetas, se procedió a cargar los datos recabados en su respectiva planilla y a analizar los valores finales obtenidos.

Los resultados obtenidos se encuentran en el Anexo – Inciso 5.

En el caso de los resultados obtenidos de VSR, se registró una tendencia creciente de los mismos en la medida que el grado de densificación aumentaba. Por otro lado, analizando las gráficas de Lectura de dial vs Penetración del pistón se observó que las mismas presentan una curva de tendencia suavizada, con una baja dispersión de los valores, lo que indica que la velocidad de penetración se mantuvo en los límites aceptables.

En cuanto a los resultados obtenidos en las determinaciones de humedad realizadas una vez concluido el ensayo de VSR, se observó que la mayoría de las muestras presentaba un marcado gradiente decreciente desde la superficie exterior y hacia el interior de la muestra.

TABLA N°: Cálculo de humedad de la muestra después del ensayo de VSR

Molde	N° de Pesa filtro	Localización	P _s [g]	P _s +P _{sh} [g]	P _s +P _{ss} [g]	P _{sh} [g]	P _{ss} [g]	P _w [g]	w [%]
1	7	Superficie	32,15	53,63	48,23	21,48	16,08	5,40	33,6%
	8	Intermedio	35,73	54,81	50,13	19,08	14,40	4,68	32,5%
	9	Centro	34,61	52,45	48,15	17,84	13,54	4,30	31,8%
2	10	Superficie	32,65	54,49	49,52	21,84	16,87	4,97	29,5%
	11	Intermedio	32,12	53,00	48,40	20,88	16,28	4,60	28,3%
	12	Centro	33,33	57,49	51,97	24,16	18,64	5,52	29,6%
3	13	Superficie	32,00	50,73	46,85	18,73	14,85	3,88	26,1%
	14	Intermedio	30,94	51,59	47,55	20,65	16,61	4,04	24,3%
	15	Centro	31,86	65,58	59,29	33,72	27,43	6,29	22,9%
4	16	Superficie	27,33	58,20	51,73	30,87	24,40	6,47	26,5%
	17	Intermedio	26,28	58,25	52,34	31,97	26,06	5,91	22,7%
	18	Centro	25,86	67,69	60,41	41,83	34,55	7,28	21,1%
8	19	Superficie	24,58	49,91	45,06	25,33	20,48	4,85	23,7%
	20	Intermedio	26,91	59,67	53,95	32,76	27,04	5,72	21,2%
	21	Centro	26,03	57,50	52,28	31,47	26,25	5,22	19,9%

4.5 Ensayo de consolidación (Expansión libre)

4.5.1 Marco teórico

Cuando se somete un suelo a un incremento en presión (o carga), ocurre un reajuste de la estructura de suelo que podría considerarse primeramente como una deformación plástica correspondiente a una reducción en la relación de vacíos. Puede producirse también una pequeña cantidad de deformación elástica, pero considerando la magnitud de las cargas (o presiones de contacto) involucradas y el hecho de que el módulo de elasticidad de los granos de suelo sea del orden de 20 MPa, la deformación elástica (la cual es recuperable cuando la carga se remueva) es despreciable.

Cuando se aplica una carga a un suelo de grano fino saturado parcial o totalmente, el tiempo para lograr la deformación plástica y la reducción en la relación de vacíos es mucho mayor, y para este proceso dependerá de varios factores, entre los cuales los principales son:

1. El grado de saturación
2. El coeficiente de permeabilidad del suelo
3. Las propiedades del fluido de los poros
4. La longitud de la trayectoria que debe recorrer el fluido expulsado de la muestra para encontrar equilibrio.

Se define a continuación **consolidación** como la deformación plástica debida a reducción en la relación de vacíos (generalmente llamada asentamiento) la cual es función del tiempo. La misma puede ser **Primaria o Secundaria**. En el primer caso, la reducción de volumen se debe a la expulsión del agua, fenómeno en el que se transfiere la carga soportada por el agua a la estructura mineral, **esta es la consolidación propiamente dicha**. El segundo caso se da por un reordenamiento de la estructura del suelo y luego de que la carga se halle casi totalmente soportada por esta y no por el agua.

El **consolidómetro o edómetro** es un aparato de laboratorio empleado para conocer la compresibilidad de un suelo que va a ser objeto de un proceso de consolidación. Al aplicar una carga sobre una muestra de suelo, el agua se evacúa por dos piedras porosas: una superior y otra inferior. De esta forma, se reduce la altura de la muestra y, por lo tanto, su volumen y relación de vacíos. En el ensayo se realiza el registro de las deformaciones (indicadas en un flexímetro) versus tiempo. Otros valores que se registran y/o se calculan en el ensayo son la carga y la relación de vacíos.

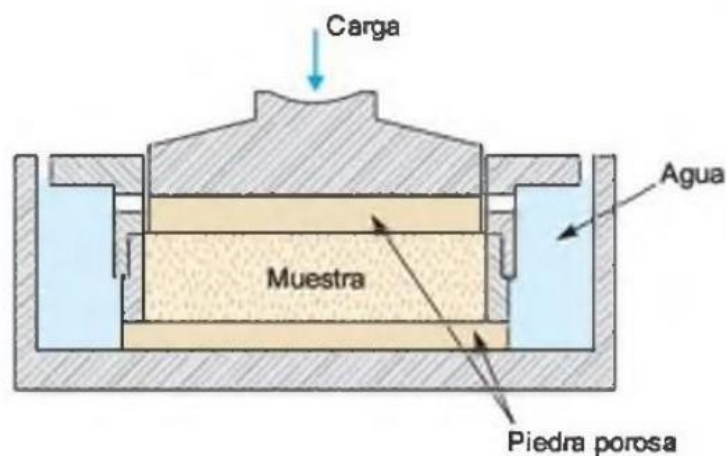


Figura 8: Esquema de un consolidómetro doblemente drenado

Por otro lado, la carga aplicada en el ensayo es incremental y se va duplicando cada ciclo de 24 horas. Cada carga permanece constante sobre la muestra un tiempo conveniente, para lograr la consolidación completa bajo dicha carga. Se estima que en un tiempo mínimo de 24 horas se logra esta condición; transcurrido el tiempo se aplica una nueva carga, siguiendo una relación geométrica con la anterior.

Con los datos obtenidos se dibuja la curva **Tiempo** en el eje de las abscisas (en min y en escala logarítmica) **vs Asentamientos** en el eje de las ordenadas (en escala aritmética). Por otro lado, también se pueden trazar las curvas que relacionan **las Cargas** en el eje de las abscisas **vs Relación de vacíos** en el eje de las ordenadas. De estas gráficas se obtienen coeficientes (adimensional) y módulos (con dimensión) que califican la compresibilidad del suelo:

- **Coficiente de compresibilidad (a_v):**

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta P} \quad (7)$$

- **Coficiente de compresibilidad volumétrica (m_v):** Representa el grado de variación del volumen unitario que se produce a consecuencia de un aumento unitario del esfuerzo efectivo, físicamente expresa la compresibilidad del suelo, relacionándola con su volumen inicial. En donde e_0 es la relación de vacíos del suelo antes de un incremento de carga específico.

$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_0} \quad (8)$$

- **Módulo edométrico (E_m):**

$$E_m = \frac{1}{m_v} \quad (9)$$

Por otro lado, recordando el objetivo general que nos hemos propuesto, necesitaremos establecer qué relación que existe entre el proceso de consolidación de un suelo y su correspondiente condición de permeabilidad.

Nos remitiremos entonces a la **ecuación diferencial general de la consolidación unidimensional**, la cual establece la relación entre la presión en exceso de la hidrostática u , la profundidad z y el tiempo t . Esta ecuación permite conocer la distribución de presiones en el suelo durante un proceso de consolidación o expansión unidimensional:

$$\frac{k \cdot (1 + e_0)}{a_v \cdot \gamma_w} \cdot \frac{\delta^2 u}{\delta z^2} = \frac{\delta u}{\delta t} \quad (10)$$

En términos del módulo volumétrico, la ecuación también puede escribirse:

$$\frac{k}{m_v \cdot \gamma_w} \cdot \frac{\delta^2 u}{\delta z^2} = \frac{\delta u}{\delta t} \quad (11)$$

La razón y la magnitud de la consolidación de una muestra de suelo cuando se confina lateralmente se drena axialmente y se somete a un incremento controlado de esfuerzo vertical se representa mediante el **coeficiente de consolidación C_v** , que nos indica el grado de asentamiento del suelo bajo un incremento de carga determinado y vinculado a la velocidad del mismo.

$$C_v = \frac{k \cdot (1 + e_0)}{a_v \cdot \gamma_w} = \frac{k}{m_v \cdot \gamma_w} \quad (12)$$

Al multiplicar en ambos extremos de la expresión resultante por la proporción entre el valor tiempo para un instante determinado y el cuadrado de la altura de cabeza drenante, obtenemos

el **factor tiempo adimensional** (T), que es función de las constantes físicas del complejo suelo-agua, que determina el proceso de consolidación y se expresa como:

$$T = \frac{k \cdot (1 + e_0)}{a_v \cdot \gamma_w} \cdot \frac{t}{H^2} = \frac{C_v \cdot t}{H^2} \quad (13)$$

$$\Rightarrow C_v = \frac{T \cdot H^2}{t} \quad (14)$$

Donde:

- T es el factor tiempo cuyo valor es 0,197 (para t_{consol} de 50%) o 0,848 (para t_{consol} de 90%)
- H es la longitud para el máximo camino de drenaje durante un incremento de carga dado. Si la muestra es doblemente drenada, el valor de H es igual a la mitad de la altura de la muestra, y
- t es el tiempo para el correspondiente

Deduciendo de las expresiones anteriores, podemos establecer que la relación que hay entre el proceso de consolidación y la permeabilidad k del suelo compresible responde a la siguiente ecuación:

$$k = m_v \cdot \gamma_w \cdot C_v = \frac{a_v \cdot \gamma_w}{1 + e_0} \cdot C_v \quad (15)$$

4.5.2 Ejecución del ensayo

Para la realización del ensayo de consolidación, el mismo se realizó de acuerdo a las **Normas AASHTO T216-66 y ASTM D2435-70**.

Se prepararon un total de 4 muestras con el suelo analizado, las cuales se moldearon directamente sobre el anillo del consolidómetro para 2 condiciones de humedad/consistencia distintas, a los fines de estudiar el comportamiento del suelo durante el proceso de consolidación del suelo.

Se registraron los parámetros geométricos y físicos de cada conjunto Consolidómetro+Suelo (Diámetro, altura, peso, etc.), así como también se tomaron especímenes de suelo en pesafiltros para determinar la humedad exacta de cada muestra moldeada:

		Anillo 1	Anillo 2	Anillo 3	Anillo 4
Parámetros geométricos	h [mm]	25,09	24,78	24,50	24,45
	ϕ [mm]	63,61	63,50	63,21	63,57
	P _{Anillo} [g]	107,24	104,75	105,82	104,99
	Vol [cm ³]	79,73	78,48	76,88	77,60
	P _{Anillo + S_h A} [g]	247,28	242,82	239,35	234,55
Pesafiltros	N° de PF	20	19	21	22
	P _f [g]	26,91	24,68	26,04	27,80
	P _f + S _h [g]	45,52	41,51	47,20	49,99
	P _f + S _s [g]	40,24	36,72	40,30	42,65
	w [%]	39,6%	39,8%	48,4%	49,4%

Adicionalmente, junto con los valores de peso de suelo empleado y el volumen del molde, se pueden deducir parámetros geotécnicos de importancia, como el grado de compactación relativo, la porosidad o la saturación del suelo:

		Anillo 1	Anillo 2	Anillo 3	Anillo 4
Determinaciones	S_h Anillo [g]	140,04	138,07	133,53	129,56
	S_s Anillo [g]	100,31	98,77	89,99	86,70
	$P_{Anillo + S_s A}$ [g]	207,55	203,52	195,81	191,69
	G_s [g/cm ³]	2,655	2,655	2,655	2,655
	Vol [cm ³]	79,73	78,48	76,88	77,60
	Vol_{sol} [cm ³]	37,78	37,20	33,89	32,66
	Vol_{vacios} [cm ³]	41,95	41,27	42,99	44,95
	Vol_w [cm ³]	39,73	39,30	43,54	42,86
	S [%]	94,71%	95,21%	101,29%	95,35%
	D_{seca} [g/cm ³]	1,26	1,26	1,17	1,12
	Porosidad [%]	52,6%	52,6%	55,9%	57,9%
	Índice de vacíos	1,11	1,11	1,27	1,38
	GCR [%]	78,7%	78,8%	73,2%	69,9%

Cada prueba se hallaba diferida aprox. 9 minutos una respecto de la otra para no interferir en la lectura de las mediciones. Los ensayos se extendieron por 5 días, duplicando la carga de consolidación cada 24 horas.

Todos los procedimientos y cálculos posteriores a realizar referidos a esta prueba se encuentran adjuntos en el Anexo – Inciso 6.

4.5.3 Análisis de los resultados obtenidos

En la medida que cada ensayo se desarrollaba, se procedió volcaron los datos recabados en su respectiva planilla y a analizar los valores finales obtenidos.

Los resultados obtenidos se encuentran en el Anexo – Inciso 7.

Se puede observar que, en la mayoría de los casos, a medida que el proceso de consolidación transcurría y se incrementaba la carga empleada, se producía un descenso de la permeabilidad debido a la expulsión del agua en la muestra y al reacomodamiento de la estructura interna del suelo. Cabe señalar que en el caso de las muestras correspondientes a los Anillos N°1 y N°2 se registraron variaciones inconsistentes en los valores de permeabilidad entre días consecutivos, lo cual puede deberse a problemas producidos en el moldeo del material en el interior del anillo, lo que llevo a un reordenamiento diferente de la estructura de poros del suelo. El valor final promedio obtenido es de $1,60 \times 10^{-5}$ cm/seg.

En cuanto a los resultados obtenidos en las determinaciones de humedad realizadas una vez concluidos los ensayos, se observó que en todas las muestras se presentaba valores de humedad inferiores a los iniciales, los cuales tendían a un valor promedio de 32,66%. Dichos valores no presentaron variaciones significativas transcurridos 7 días, por lo que se aceptan los resultados originales como finales.

	Anillo 1	Anillo 2	Anillo 3	Anillo 4
$P_{\text{Cápsula}} \text{ [g]}$	65,76	80,83	68,88	65,76
$P_{\text{Cápsula}} + S_h \text{ [g]}$	196,38	209,92	189,00	180,18
$P_{\text{Cápsula}} + S_s \text{ [g]}$	165,25	178,53	158,10	152,05
$P_{\text{Cápsula}} + S_s \text{ (a 7 días) [g]}$	164,54	178,61	158,18	152,11
$w_0 \text{ [%]}$	39,61%	39,78%	48,39%	49,43%
$w_f \text{ [%]}$	31,29%	32,13%	34,63%	32,60%
$w_f \text{ a 7 días [%]}$	32,23%	32,02%	34,51%	32,51%
$\Delta w \text{ [%]}$	26,59%	23,83%	39,71%	51,62%
$\Delta w_{\text{a 7 días}} \text{ [%]}$	22,89%	24,24%	40,20%	52,05%

4.6 Conclusiones preliminares

En primer lugar, **se registró una discrepancia reducida con los resultados obtenidos en los ensayos de límites líquidos y plásticos** realizados por el LABIEVI, aunque la clasificación del suelo no se vio afectada, por lo que podemos atribuir esta divergencia a la diferencia de experiencia entre los operarios. En el caso del **límite de contracción**, si bien se observó una dispersión de resultados entre las pastillas moldeadas en cada ensayo, **el resultado promedio de ambos fue el mismo en las 2 pruebas** (17,7 aprox.)

Respecto a los resultados del análisis mediante el hidrómetro, **los resultados alcanzados del %P Tamiz N°200 verificaron los obtenidos por el LABIEVI** con un reducido margen de diferencia. Por otro lado, los valores finales de Actividad del suelo ensayado en ambas pruebas y empleando los 2 hidrómetros si presentaron una cierta dispersión, con un promedio de 0,552 y 0,514 en cada respectivo estudio.

En relación a los ensayos de hinchamiento y VSR, se constató que **en la medida que el grado de compactación de la muestra aumenta, el hinchamiento** que experimenta la misma una vez sumergida **decrece**. Sin embargo, se observó también que **una pobre compactación puede llevar a un colapso** de la estructura interna de suelo, lo que ocasionaría lecturas de hinchamiento menores a los esperados.

En cuanto a la caracterización de la muestra, de acuerdo a la bibliografía consultada, tanto los valores obtenidos para los Límites de Atterberg, Actividad e hinchamiento nos indican que el suelo en estudio es uno con un **grado de expansión medio**, posiblemente debido a la presencia de **esmeclita o montmorillonita**, ambos materiales arcillosos con comportamiento distintivo frente al agua.

En el caso particular de los ensayos de consolidación, en los 4 casos se obtuvieron valores de permeabilidad finales trascurrido un periodo de 60 horas consecutivas similares entre sí, aunque **por debajo del rango de los obtenidos empleando el permeámetro de carga variable**. Por lo tanto, se deberán contrastar con los resultados de las pruebas de permeabilidad mediante la Cámara triaxial para poder discernir si esta discordancia entre resultados se pueda deber a la cantidad de tiempo empleado en los respectivos ensayos y/o a la carga a la que fue sometida el suelo durante el proceso de consolidación.

5. Desarrollo de la Práctica Profesional (1^{ra} Etapa)

5.1 Introducción

En esta primera etapa de la Práctica, nos abocaremos a la **determinación del coeficiente de permeabilidad** de la muestra de suelo en estudio, empleando la cámara triaxial como equipamiento para la prueba. Para ello nos basaremos a la **Norma ASTM D5084 - 16^a** “*Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter*”.

5.2 Marco teórico

El **coeficiente de permeabilidad** es una constante de proporcionalidad relacionada con la facilidad de movimiento de un flujo a través de un medio poroso. Existen dos métodos generales de laboratorio para determinar directamente el coeficiente de permeabilidad de un suelo, el método de la carga constante y el método de la carga variable del experimento, ambos basados en la ley de Darcy:

$$v = k \cdot i \quad (16)$$

Donde:

- v es la velocidad de descarga, que es la cantidad de agua que fluye por unidad de tiempo a través de un área de sección transversal unitaria bruta de suelo en ángulo recto con la dirección del flujo.
- k es el coeficiente de permeabilidad (o conductividad hidráulica).
- i es el gradiente hidráulico, expresado como h/L donde:
 - h es la diferencia de presión, expresada como columna de agua, a la cual está sometida la muestra.
 - L es longitud de la muestra a través de la cual se mide.

Se puede expresar el flujo de agua por unidad de tiempo como:

$$q = k \cdot i \cdot A = k \cdot \frac{\Delta h}{L} \cdot A \quad (17)$$

Por lo tanto, podemos expresar el coeficiente de permeabilidad como:

$$k = \frac{Q \cdot L}{\Delta h \cdot \Delta t \cdot A} \quad (18)$$

Donde:

- Q es el volumen de agua erogada en cm^3
- L es longitud de la probeta de suelo en cm^2
- Δh es la diferencia de presión a la cual está sometida la muestra, expresada en cmH_2O .
- Δt es el tiempo en la que el volumen Q es erogado, expresado en segundos.
- A es el área transversal de la probeta de suelo a ensayar, en cm^2

En el caso del permeámetro de carga constante, este se encuentra diseñado medir la permeabilidad de suelos gruesos ($k > 10^{-3}$ cm/s), por lo que emplearlo para el análisis de suelos de baja permeabilidad resulta mucho más difícil, ya que la columna de agua es reducida y la duración de la prueba se alarga excesivamente. Incluso empleando un permeámetro de carga variable, el cual es mucho más adecuado para suelos de grano fino, se incurre en tiempos de ensayos muy elevados en el orden de los 60 días.

Por lo tanto, en este caso **se ha recurrido al empleo del equipo triaxial** para poder someter la muestra un gradiente de presión mucho más elevado **que nos permita acelerar el proceso**.

5.3 Disposición del equipo y calibración inicial

Al comienzo de la Práctica, se posicionaron sobre la mesada de trabajo todos los componentes que conforman el equipo de trabajo:

- Marco de carga.
- Cámara triaxial, compuesta por un cilindro de acrílico transparente, una base metálica con 3 válvulas para la entrada/salida de agua y/o aire, y una cubierta superior también metálica en donde se posiciona un manómetro y el vástago del esfuerzo desviador.
- Cabezales metálicos inferior y superior.
- Sistema hidroneumático, compuesto por un compresor de aire y un pulmón cargado de agua.
- Trampa de vacío, compuesta por un recipiente de vidrio y una bomba de succión.



Figura 9: Disposición inicial del equipo. De izquierda a derecha, la cámara triaxial (sobre el marco de carga), la bomba y el pulmón hidroneumático.

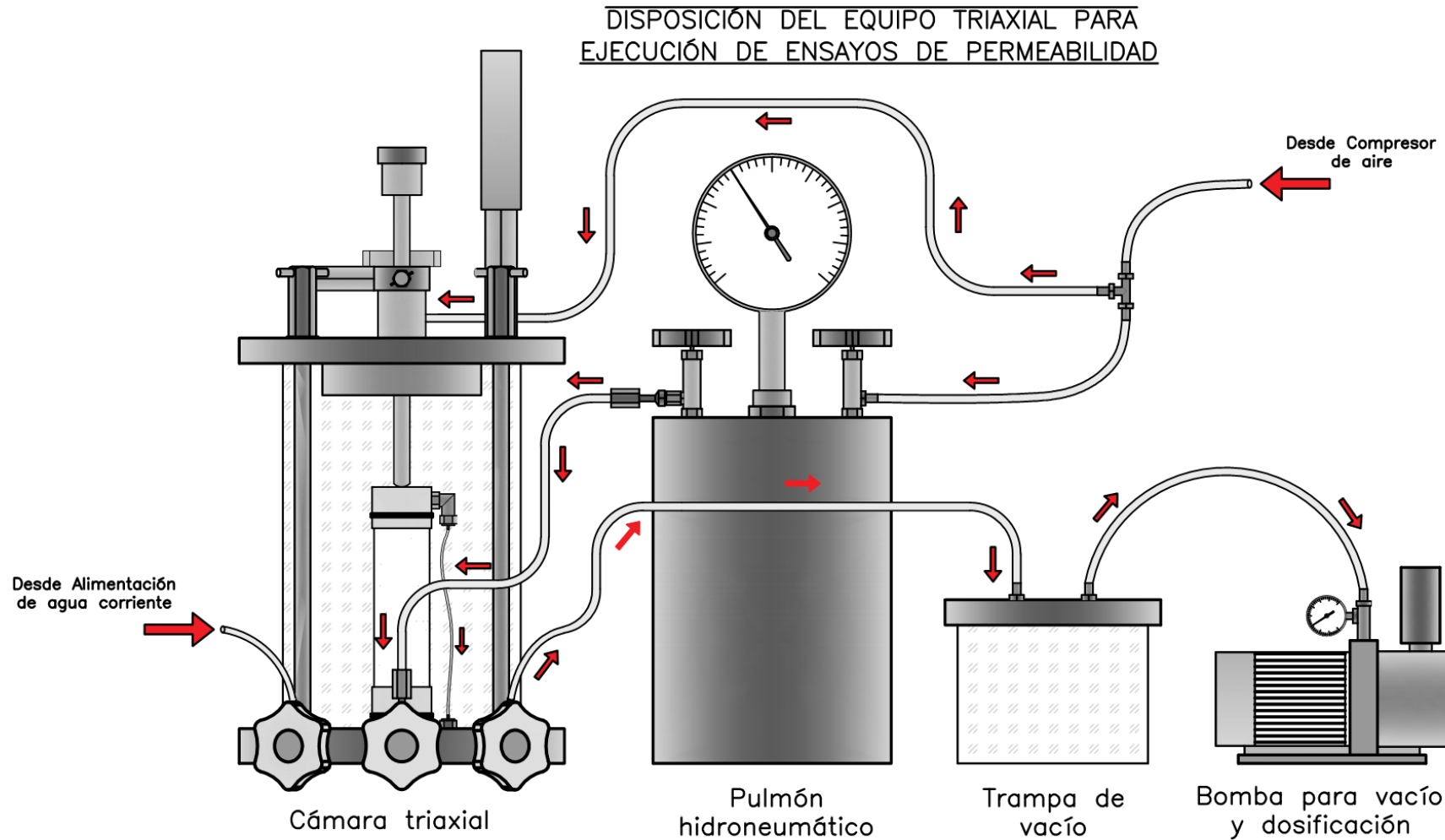
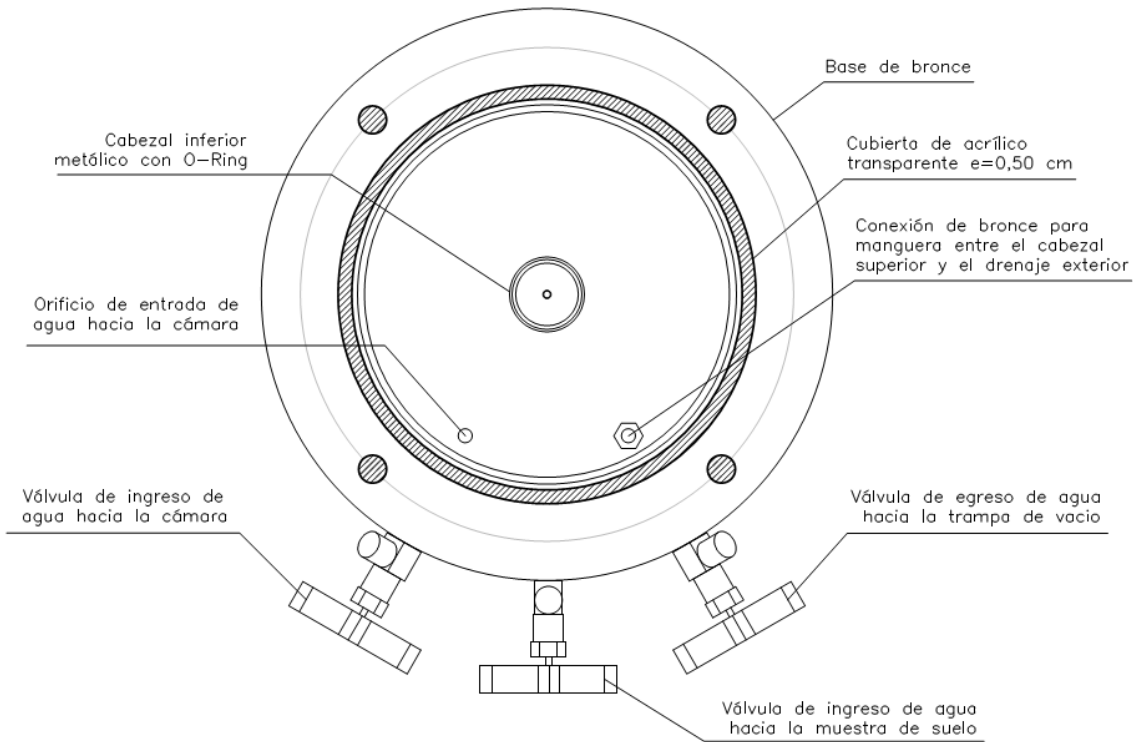


Figura 10: Disposición final del equipo de ensayos. En flechas rojas se indica el sentido del flujo del fluido (agua y/o aire comprimido) durante el funcionamiento del sistema

CORTE A-A



VISTA SUPERIOR

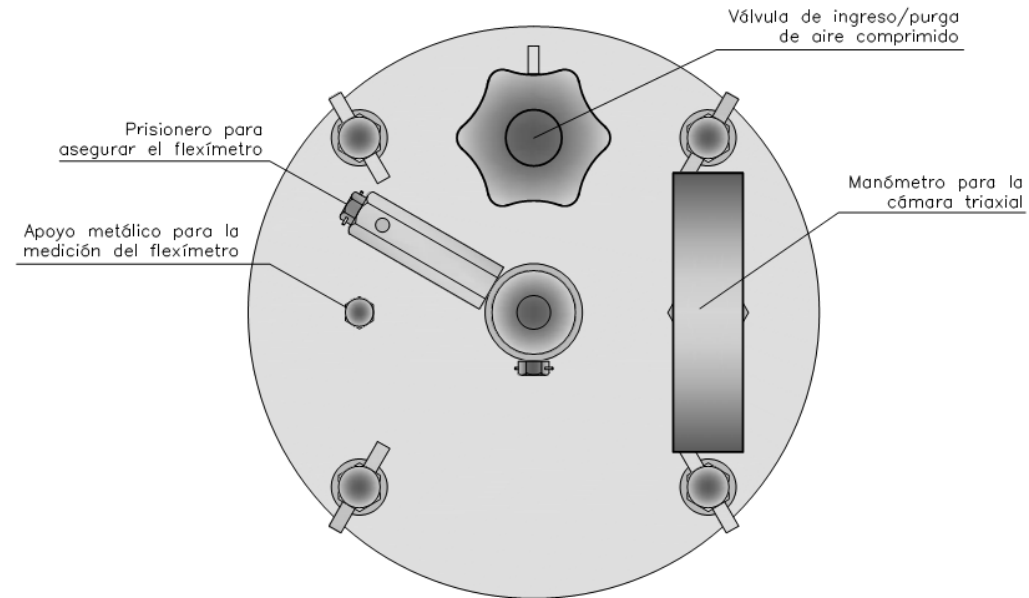


Figura 11: Corte de la base inferior de la Cámara triaxial y vista superior de la misma, con sus componentes más importantes

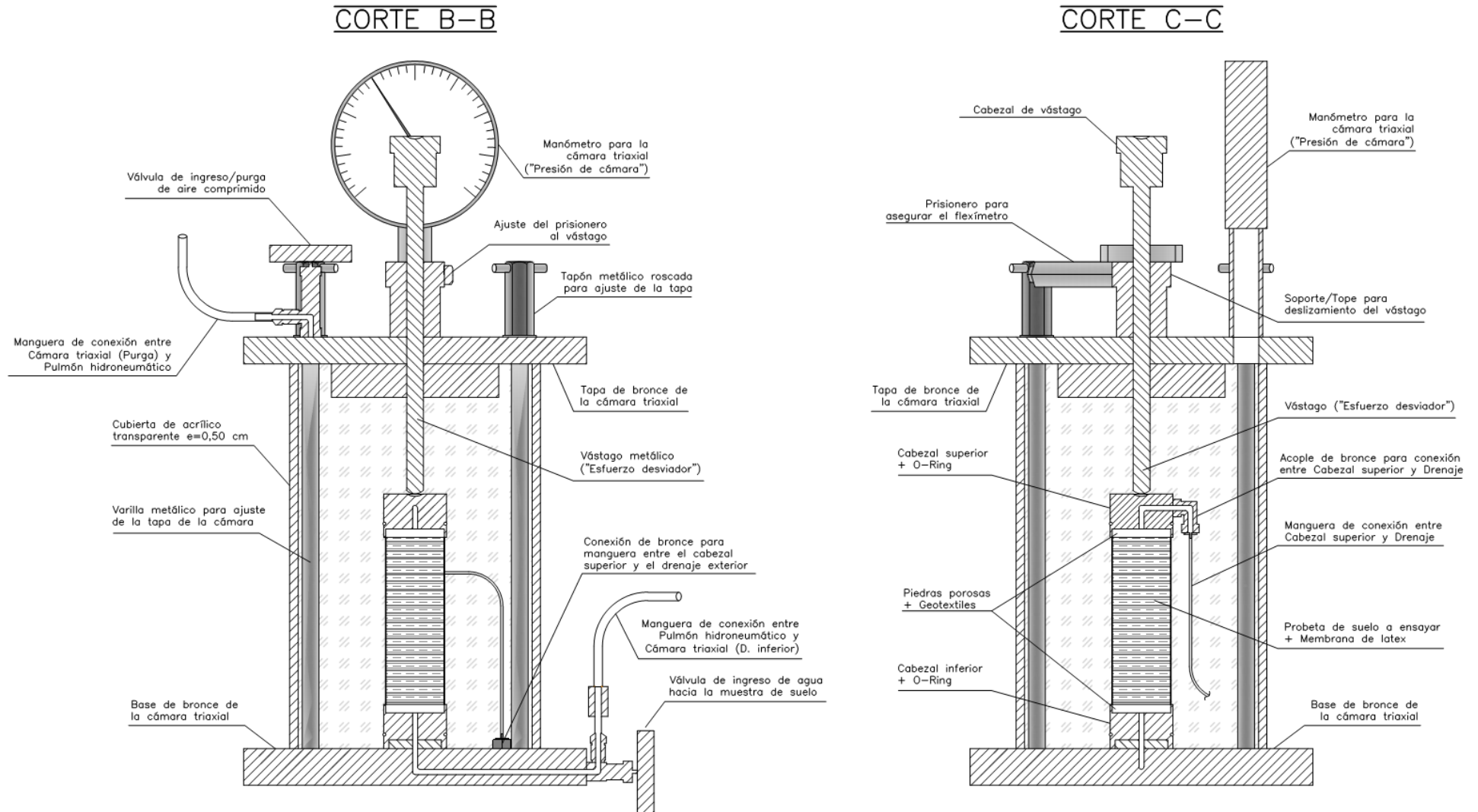


Figura 12: Cortes transversales de la Cámara triaxial

Una rápida evaluación del equipo disponible nos permitió discernir las complicaciones más evidentes a las que deberíamos que dar rápida solución:

- 1) Posibles puntos de pérdida de fluido/presión
- 2) Falta de una piedra porosa para uno de los cabezales.

En el caso de la primera cuestión, se realizó la conexión de los distintos componentes del equipo mediante mangueras de distinto material y/o diámetro, asegurando las uniones con abrazaderas metálicas para evitar la pérdida de agua.

Para solucionar el segundo problema, se procedió entonces a la elaboración de una nueva piedra porosa. La misma debía de ofrecer una superficie adecuada sobre la cual se apoye la probeta y ser lo suficientemente permeable como para permitir el paso del agua. Para ello se empleó una mezcla de arena de densidad y silicona líquida, la cual fue moldeada dentro de uno de los cabezales, tratando de evitar la formación de oquedades y conseguir una superficie lisa y uniforme. Una vez logrado esto, se dejó fraguar la mezcla durante 3 hs aproximadamente y luego, mediante la ayuda de un compresor de aire, se retiró el producto terminado del cabezal.



Figura 13: Comparación entre la piedra porosa original (izq.) y la artificial (der.)

Seguidamente se procedió a la preparación de una probeta de suelo para su ensayo, introduciéndola cuidadosamente dentro de una membrana de látex fino.



Figura 14: Ensayo inicial de una probeta de suelo, con la cámara triaxial cargada con

El ensayo tenía un propósito más cualitativo que cuantitativo, es decir, que no se realizarían mediciones, sino que se analizaría el correcto funcionamiento de sistema. Nos permitió identificar los siguientes problemas e inconvenientes:

- Existía una pérdida de agua (y presión) en la conexión interna de cabezal superior con la válvula de salida de agua. Por ende, se ajustó manualmente la manguera de conexión y se la aseguró utilizando alambre alrededor de la misma para evitar su desacople.



Figura 15: Perda de agua dentro de la cámara triaxial durante el transcurso del

- Si bien la membrana de látex no presentó problemas o deterioro durante el ensayo, se observó que la tarea de colocarla era muy dificultosa y había un alto riesgo de provocar una ruptura que permitirá el paso del agua a la muestra. Por consiguiente, se comenzó a desarrollar un sistema que permitirá una colocación lo más fácil y rápida posible.
- El uso de la bomba de succión, provocó la falla de la tapa de plástico de la trampa de vacío. Es necesario entonces reforzar la misma con una placa de chapa metálica.

5.4 Moldeo de nuevas probetas y diseño del Sistema de colocación por succión

Previo a continuar con un nuevo ensayo del equipo, se requirió de la preparación de nuevas probetas con el suelo a analizar. Para ello, se procedió en primer lugar al cálculo de la cantidad de peso requerida para la elaboración de cada muestra para un GCR=80%, similar al utilizado en el LABIEVI para el ensayo de una muestra del mismo suelo mediante un permeámetro de carga variable.

Una vez obtenido, se procedió al moldeo de las nuevas probetas, las cuales se produjeron en 2 tandas: la primera consistía en 3 probetas elaboradas el 30/3, y la segunda consistía en 5 probetas elaboradas el 4/4.



Figura 16: Compactación por capas del suelo dentro del tubo de moldeo (izq.) y pesaje de la probeta de suelo obtenida (der.)

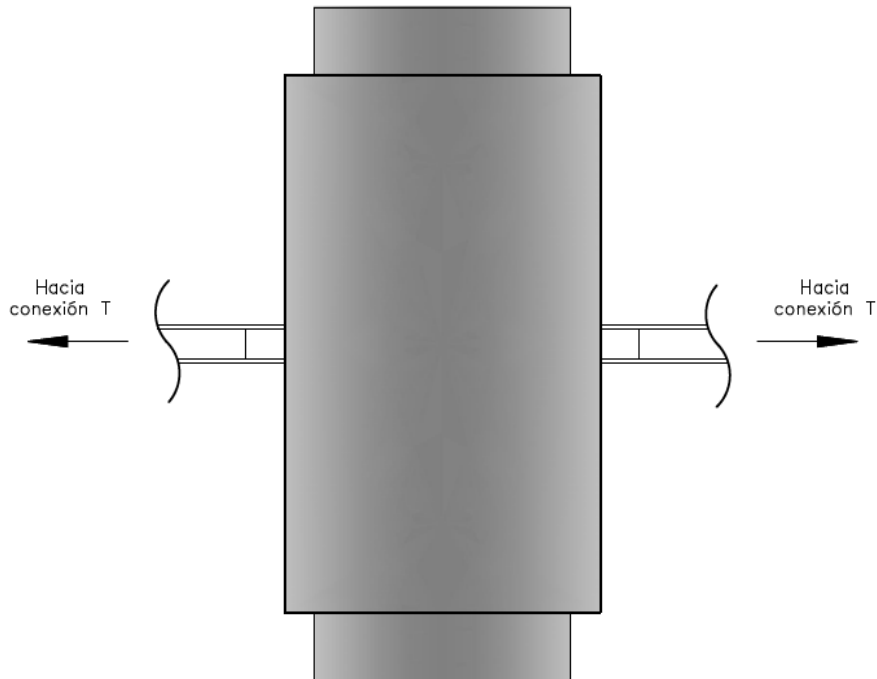
Todos los procedimientos y cálculos necesarios realizados referidos a este proceso se encuentran adjuntos en el Anexo – Inciso 8 y 9.

En forma paralela, se comenzó con el diseño y posterior elaboración de un sistema que permitiera la sencilla colocación de la membrana de látex sobre la probeta de suelo a ensayar, minimizando cualquier posibilidad de ruptura. El mismo se encuentra compuesto por dos medias cañas de diámetro igual al de la probeta de suelo, con una serie de orificios pequeños en su superficie. Sobre los mismos, de forma concéntrica, se colocan otras 2 medias cañas de un diámetro levemente superior a las anteriores, las cuales se encuentra pegadas solamente en su unión con el tubo interior sin obstruir sus orificios, generándose entonces una cámara de aire entre ambos tubos. Además, estos tubos tienen un largo menor al del tubo interior y solamente llevan un orificio posicionado sobre la superficie agujerada del cilindro interior, los cuales están vinculados con mangueras formando una conexión T.

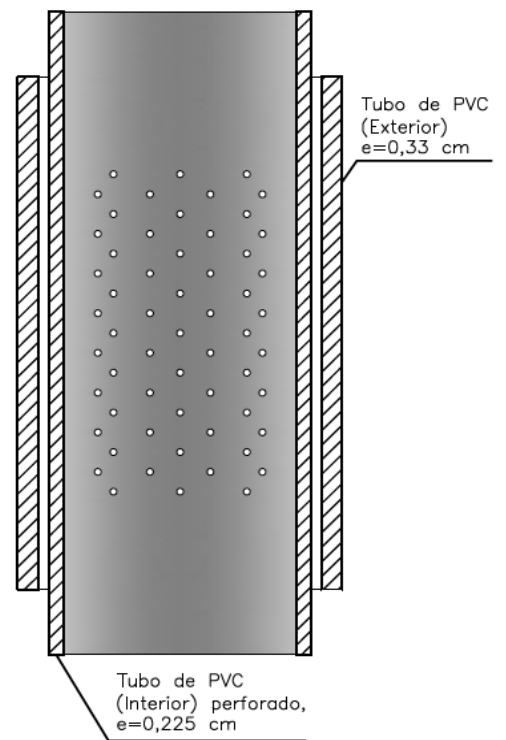


Figura 17: Prototipo del sistema de colocación de membrana por succión

VISTA FRONTAL



CORTE B-B



CORTE A-A

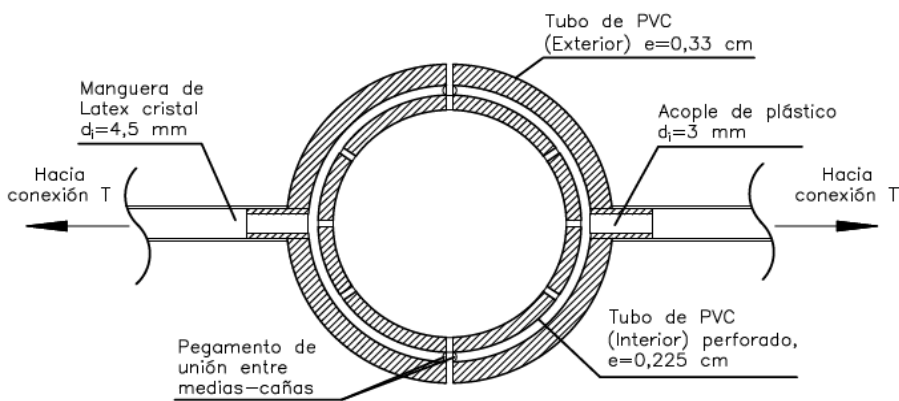


Figura 18: Croquis del sistema de colocación de membrana por succión y sus componentes

El principio de funcionamiento del Sistema es poder colocar la membrana de látex sobre el tubo interior, arremangando sus extremos en sus extremos. Seguidamente, de forma manual o mediante una bomba de vacío, se produce la succión del aire (la cual es uniforme gracias a la superficie perforada) provocando que la membrana se adhiera a la superficie del tubo interior. De esa forma, se puede introducir la muestra sin dificultad y al cesar la succión, la membrana queda adherida ahora a la muestra de suelo.

5.5 Ejecución de Ensayos de permeabilidad

Terminadas ya el nuevo juego de probetas, se procedió a sus respectivos ensayos para la determinación del coeficiente de permeabilidad:

5.5.1 *Probeta II (4/4)*

Para la preparación de esta muestra previa al ensayo, se colocó la membrana con la ayuda del tubo de plástico empleado para el moldeo.

Al momento de situar la muestra dentro de la cámara y aplicar el esfuerzo desviador a los fines de asegurar la estabilidad de la probeta, el vástago ejerció una presión excesiva sobre el cabezal superior debido a una regulación desmedida de la altura del pedestal donde descansa la cámara. Esto produjo la deformación de la muestra en la parte superior de la misma, lo que implicó que la muestra se alterara y **no se pudieran tomar mediciones cuantitativas**.

El ensayo de esta probeta se realizó cargando la cámara con agua, observando que la misma se vaciaba lentamente. Por lo tanto, se llegó a que existe una pérdida de agua (y presión) en la conexión interna de cabezal superior con la válvula de salida de agua. Por ende, se acortó la conexión de cobre y se ajustó de forma manual la manguera de conexión.



Figura 19: *Probeta presentando una falla por compresión en su zona superior (izq.) y cámara triaxial descargándose durante el ensayo (der.)*

5.5.2 Probeta I (30/3)

El ensayo de esta probeta se realizó sin cargar la Cámara triaxial con agua (solamente con presión de aire), de forma tal de poder evitar la pérdida de agua en el interior del recinto. El proceso de preparación de la muestra y la disposición del equipo no se modificó respecto a las últimas pruebas, empleando la bomba de succión.



Figura 20: Probeta de suelo ensayada con cámara triaxial cargada únicamente con aire

La circulación de agua inicialmente fue desde la parte inferior hasta la parte superior de la muestra, observando que la probeta se saturaba lentamente. Debido a que no se detectaba un movimiento de agua apreciable, se invirtió la circulación del agua (desde el estrato superior al inferior).

Debido a esto, **no se tomaron mediciones cuantitativas** ya que se consideró que, al modificar el proceso de ensayo, están se encontrarían viciadas de error.

5.5.3 Probeta III (30/3)

Para la preparación de esta muestra previa al ensayo, se colocó la membrana empleando un sistema de 2 tubos de plásticos empleados para el moldeo. En cuanto a la disposición del equipo, esta no se modificó tampoco ni se cargó la cámara con agua, trabajando únicamente con presión de aire.

Al igual que en la prueba anterior, se observó que para la circulación de agua inicial (Inferior a Superior) no producía una erogación de agua. Por lo tanto, se invirtió la circulación del agua, generándose un flujo de agua. Durante este tramo del proceso, **se fueron tomando lecturas** para el cálculo del coeficiente de permeabilidad.

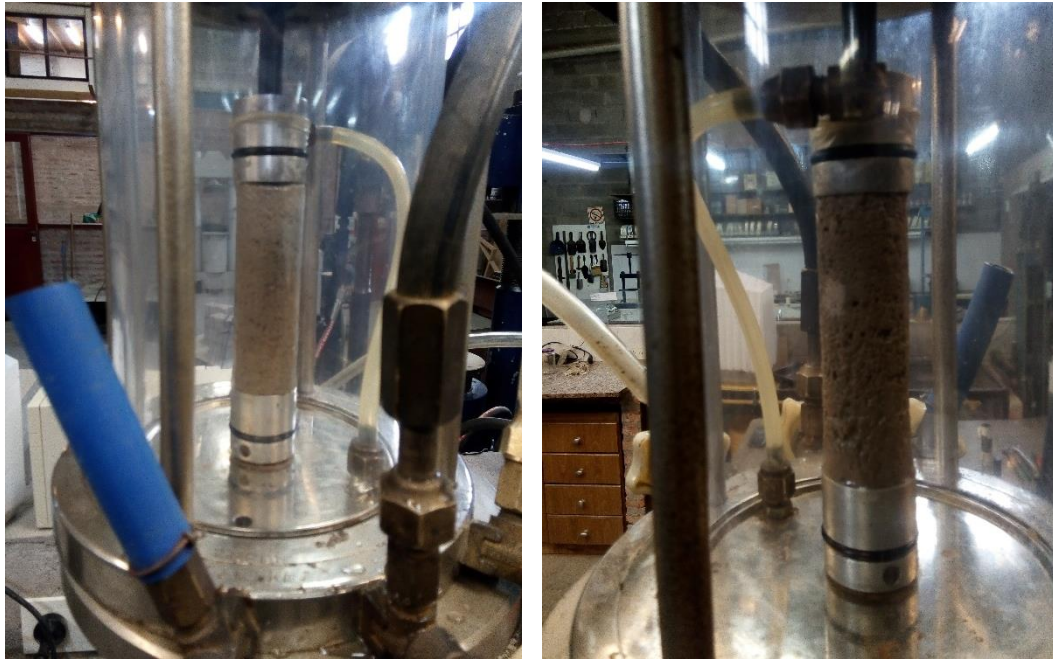


Figura 21: Probeta ensayada con la cámara triaxial cargada con aire presurizado

El ensayo terminó de forma abrupta cuando, al cortar por accidente la salida de agua al mismo tiempo que la entrada de agua seguía abierta, el agua que seguía ingresando a la probeta la sobresaturó y la deformó completamente, alterando la muestra y descartándola para el ensayo de humedad.



Figura 22: Probeta de suelo ya deformada e inutilizada para el análisis de humedad

Finalizado el ensayo, se retiró la muestra y se realizó un análisis visual del estado de la misma, tanto en su aspecto exterior como en su interior.



Figura 23: Probeta retirada de la cámara, una vez concluido el ensayo

Como dato adicional, se observó que la presión generada por la bomba era mucho menor a la que podía desarrollar, por lo que se procedió a la búsqueda y sellado de las de pérdidas de presión en la conexión.

5.5.4 Probeta VI (4/4)

En este ensayo, se empleó por primera vez el Sistema de colocación por succión para la preparación de la muestra previa al ensayo. Adicionalmente, se emplearon geotextiles sobre las piedras porosas para evitar que estas se ensucien excesivamente con el suelo húmedo.



Figura 24: Probeta ensayada dentro de la cámara triaxial, cargada con aire presurizado

Al igual que el anterior, el ensayo se realizó en su totalidad con la bomba de vacío en funcionamiento, mientras que la circulación de agua fue desde la parte inferior hasta la parte superior de la muestra. Tampoco se cargó la Cámara con agua (solamente se trabajó con presión de aire).

Durante el proceso **se fueron tomando lecturas** para el cálculo del coeficiente de permeabilidad. Al finalizar el ensayo, se retiró la muestra y se tomaron los especímenes necesarios para el ensayo de humedad.



Figura 25: Probeta retirada una vez finalizado el ensayo (izq.) y toma de muestras para el análisis de humedad (der.)

Se observó que, luego de finalizado el ensayo, la probeta había reducido su altura y el vástago del esfuerzo desviador no estaba sujetando con firmeza el cabezal. Se propuso entonces la fabricación y utilización de un resorte metálico que, posicionado convenientemente encima del vástago, permitiera que el esfuerzo desviador se mantuviera en contacto con el cabezal ante cualquier cambio en la altura de la muestra.



Figura 26: Vástago descentrado del cabezal superior, luego de finalizado el ensayo

También se advirtió que el compresor se activaba de forma reiterada en intervalos muy cortos de tiempo. Esto podría deberse a pérdidas de presión en la unión con el pulmón, por lo que se examinaron, aseguraron y/o reemplazaron los accesorios de conexión.

5.5.5 Probeta IV (4/4)

Se volvió a recurrir al empleo del Sistema de colocación por succión para la preparación de la muestra previa al ensayo, empleando en este caso doble membrana para evitar rupturas o fugas accidentales. La disposición del equipo no se modificó respecto a las últimas pruebas, salvo por:

- Conexión de la manguera en el cabezal superior antes de la colocación del O-Ring, a fines de evitar la generación de una fuerza que tienda a desestabilizar la probeta.
- Colocación del resorte en el acople entre el marco de carga y el esfuerzo desviador.



Figura 27: Probeta de suelo antes de comenzar el ensayo

El ensayo se realizó en su totalidad con la bomba de vacío en funcionamiento, mientras que la circulación de agua fue desde la parte inferior hasta la parte superior de la muestra. Tampoco se cargó la Cámara con agua (solamente se trabajó con presión de aire).

Durante el **proceso se fueron tomando lecturas** para el cálculo del coeficiente de permeabilidad. El ensayo terminó tras poco más de 30 minutos para no sobre-exigir al equipo electromecánico



Figura 1: Probeta en las etapas finales de la prueba

Sin embargo, al cortar accidentalmente la salida de agua sin antes detener el ingreso de la misma, provocó que el agua entrante a la probeta la sobresaturará la probeta y la deformará completamente, alterando la muestra e impidió que pueda ejecutarse el análisis de humedad.



Figura 2: Probeta de suelo ya deformada e inutilizada para el análisis de humedad

Durante el ensayo se observó que podría generarse una pérdida de presión en la conexión de la válvula de salida con su respectiva manguera, por lo que se optó por acoplar un caño metálico de diámetro a la reducción de esta válvula (y de las demás), permitiendo una mejor unión con la manguera, asegurándolas con abrazaderas.

También se volvió a inspeccionar la conexión interna de cabezal superior con la válvula de salida de agua, asegurándola la unión manguera-tubo de cobre mediante alambres alrededor de la misma para evitar su desacople.

5.5.6 Probeta V (4/4)

El proceso de preparación de la muestra y la disposición del equipo no se modificó respecto a la prueba anterior, aunque en este caso la probeta se ensambló directamente sobre el cabezal inferior ya ajustado a la base de la cámara y luego colocando el cabezal superior ya conectado a su respectiva manguera.



Figura 3: Probeta de suelo lista para la ejecución del ensayo

El ensayo se realizó cargando la cámara con agua, mientras que la circulación de agua fue desde la parte inferior hasta la parte superior de la muestra. Inicialmente se hizo uso de la bomba de succión, deteniéndolo al concluir la jornada pero siempre manteniendo la presión de cámara. Pevio a su reanudación, se modificó el recipiente que sirve de trampa de vacío. Concluido el segundo día, se volvió a detener el ensayo.

Al tercer día, se reanudo la prueba pero ahora a presión atmosférica por un periodo de tiempo de aproximadamente 20 hs, dejando abierta la circulación de agua. Concluido este periodo de tiempo, se volvió a recurrir al uso de la bomba de succión hasta finalizar la jornada.



Figura 4: Equipo de ensayo trabajando con la bomba e succión (izq.) o trabajando a presión atmosférica (der.)

Durante todo el proceso se fueron tomando lecturas para el cálculo del coeficiente de permeabilidad. Al finalizar el ensayo, se retiró la muestra y se tomaron los especímenes necesarios para el ensayo de humedad.



Figura 6: Probeta de suelo luego de concluido el ensayo, sujeta todavía a la base de la cámara triaxial



Figura 5: Probeta retirada una vez finalizado el ensayo (izq.) y pesafiltros ya cargados con las muestras correspondientes a la parte interior, central y superior (der.)

5.5.7 Probeta III (4/4)

Previo al ensayo, se observó que la muestra a utilizar había perdido humedad e integridad, debido que no se había conservado adecuadamente. El proceso de preparación de la muestra y la disposición del equipo no se modificó respecto a la prueba anterior.

El ensayo se realizó en su totalidad a presión atmosférica para poder evitar cualquier error producto del uso de la bomba de succión. El equipo fue armado y puesto a presión de cámara, dando inicio al ensayo al día siguiente. Al término de la jornada, se detuvo el ensayo por 3 días consecutivos, manteniendo la presión de cámara.



Figura 7: Probeta de suelo ensayada dentro de la cámara triaxial

Concluida la pausa, se reanudó el ensayo y **se tomaron lecturas** para el cálculo del coeficiente de permeabilidad. El ensayo terminó de forma abrupta cuando, al cortar por accidente la presión de cámara, el agua que seguía ingresando a la probeta la sobresaturó y la deformó completamente, alterando la muestra y descartándola para el ensayo de humedad.



Figura 8: Probeta de suelo ya deformada e inutilizada para el análisis de humedad

Durante la ejecución de esta prueba, se observó un factor a considerar para futuros ensayos y era que, en el caso de trabajar a presión atmosférica de forma ininterrumpida y por un tiempo prolongado, se produciría una pérdida del agua recolectada debido a la evaporación de la

misma. Por lo tanto, se procedió al reemplazo del recipiente recolector por uno con tapa roscada que permitiera una desconexión rápida para su pesaje y evitar la pérdida de agua.

5.5.8 Probeta II (30/3)

El proceso de preparación de la muestra y la disposición del equipo no se modificó respecto a la prueba anterior. El equipo fue armado y puesto a presión de cámara, dando inicio al ensayo el mismo día a presión atmosférica, manteniendo la circulación del agua abierta por lapso de 3 días consecutivos y **tomando lecturas para el cálculo** del coeficiente de permeabilidad.

Observando que los resultados preliminares no se encontraban en el rango de valores esperados (posiblemente porque el suelo no había entrado en régimen totalmente), se hizo uso de la bomba de succión por 30 minutos para acelerar el proceso, sin tomar mediciones de tiempo/volumen erogado.

Concluido el uso de la bomba, se reanuda el ensayo a presión atmosférica, manteniendo la circulación del agua abierta por lapso de 5 días consecutivos y **tomando las lecturas correspondientes**.



Figura 9: Equipo de cámara triaxial, con la probeta de suelo ya instalada y el nuevo recipiente recolector

Finalizado el ensayo, se retiró la muestra y se tomaron los especímenes necesarios para el ensayo de humedad.



Figura 10: Toma de muestras para análisis de humedad. De izq. a der.: Sección Inferior, Central y Superior.

Finalizadas los ensayos, se estableció un procedimiento estandarizado para la ejecución de esta prueba. El mismo y los cálculos a realizar se encuentran desarrollados en el Anexo – Inciso 10.

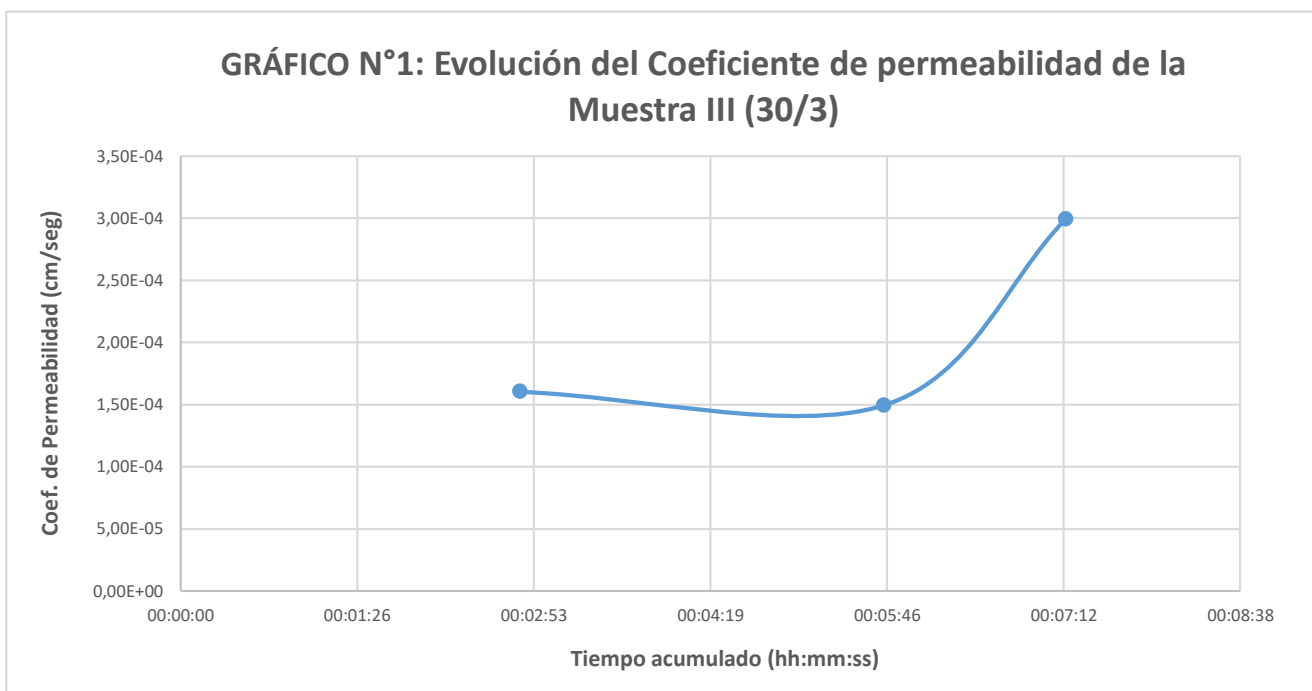
5.6 Análisis de los resultados obtenidos

A medida que cada ensayo concluía, se volcaron los datos recabados en su planilla de cálculo correspondiente y se procedió a la determinación del coeficiente de permeabilidad, representando los valores obtenidos en un gráfico **Permeabilidad vs Tiempo acumulado**. Los resultados obtenidos se encuentran en el Anexo – Inciso 11.

En el caso de aquellos ensayos en los cuales se pudo recuperar la muestra, también se realizó el cálculo de la humedad en diferentes secciones de la probeta para estimar si la misma se encuentra en un estado de saturación uniforme (Entrada en régimen).

5.6.1 Probeta III (30/3)

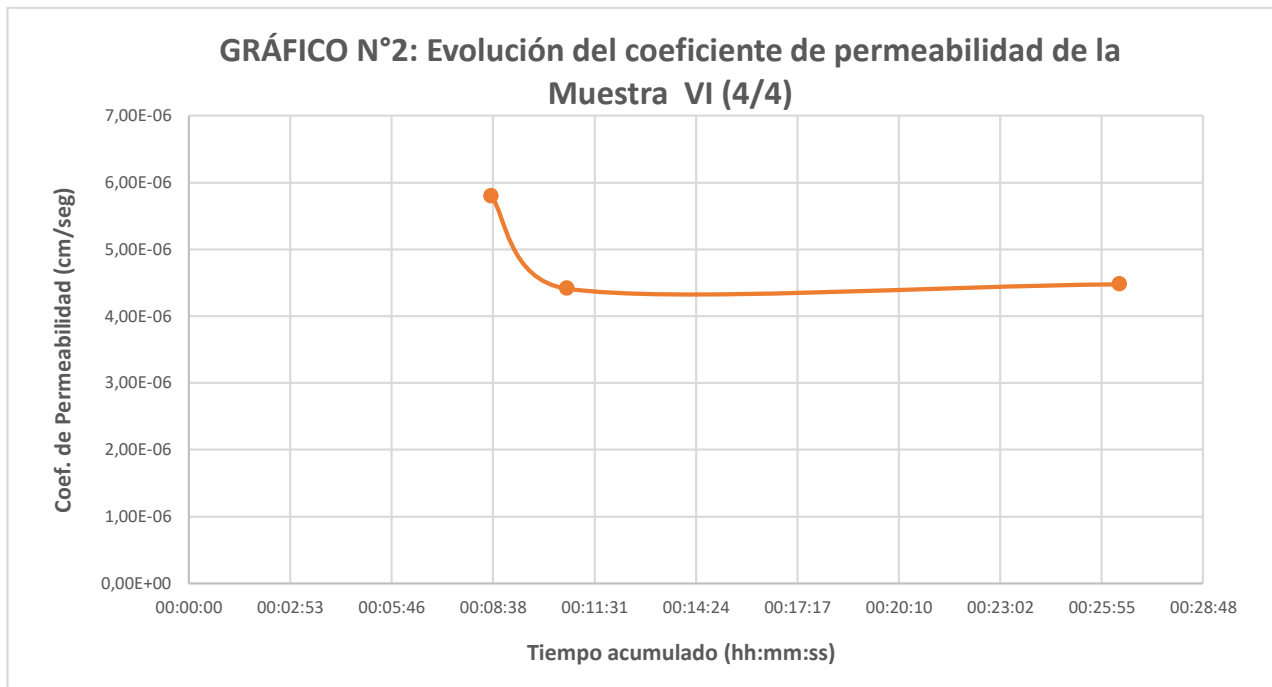
A continuación, se presentan los resultados obtenidos de coeficiente de permeabilidad en función del tiempo de ensayo:



Se puede observar que la permeabilidad muestra una evolución inusual, decreciendo levemente al principio y luego aumentando de forma súbita. Sumado al hecho de que los valores obtenidos se encuentran en un rango de 2×10^{-4} cm/s, muy por debajo de lo esperado, es muy posible que **estos resultados estén viciados de error**, debido a fallas en el equipo.

5.6.2 Probeta VI (4/4)

A continuación se presentan los resultados obtenidos de coeficiente de permeabilidad en función del tiempo de ensayo:



En este nuevo ensayo, se puede observar una variación de la permeabilidad mucho más suavizada y sin cambios bruscos en la medida que el tiempo transcurría. Sin embargo, los valores alcanzados se encontraban en un rango de $4,90 \times 10^{-6}$ cm/s, **todavía por debajo de lo esperado**.

En este caso, se realizó un análisis de humedad de la muestra, cuyos resultados fueron los siguientes:

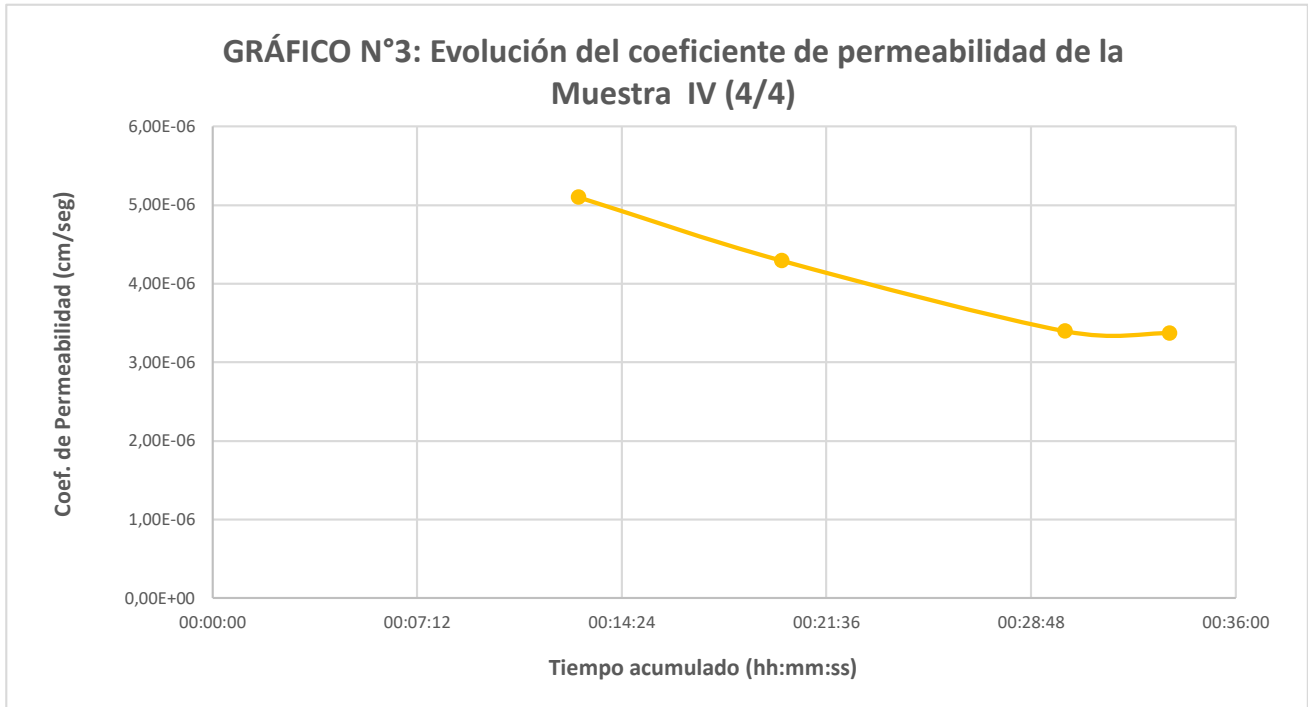
TABLA N°1: Cálculo de humedad de la muestra después del ensayo

Muestra	N° de Pesa filtro	Localización	P_s	$P_s + P_{sh}$	$P_s + P_{ss}$	P_{sh}	P_{ss}	P_w	w (%)
VI (4/4/2023)	1	Entrada	33,41	69,71	60,69	36,3	27,28	9,02	33,06%
	2	Salida	32,34	63,95	58,82	31,61	26,48	5,13	19,37%

Como se puede observar, existe una diferencia significativa entre la humedad de la muestra a la entrada y a la salida, lo que nos indica que **la muestra no había alcanzado un estado de saturación uniforme**. Esto significa que el tiempo de ensayo, en las mismas condiciones en las que se realizó, debía de extenderse aún más.

5.6.3 Probeta IV (4/4)

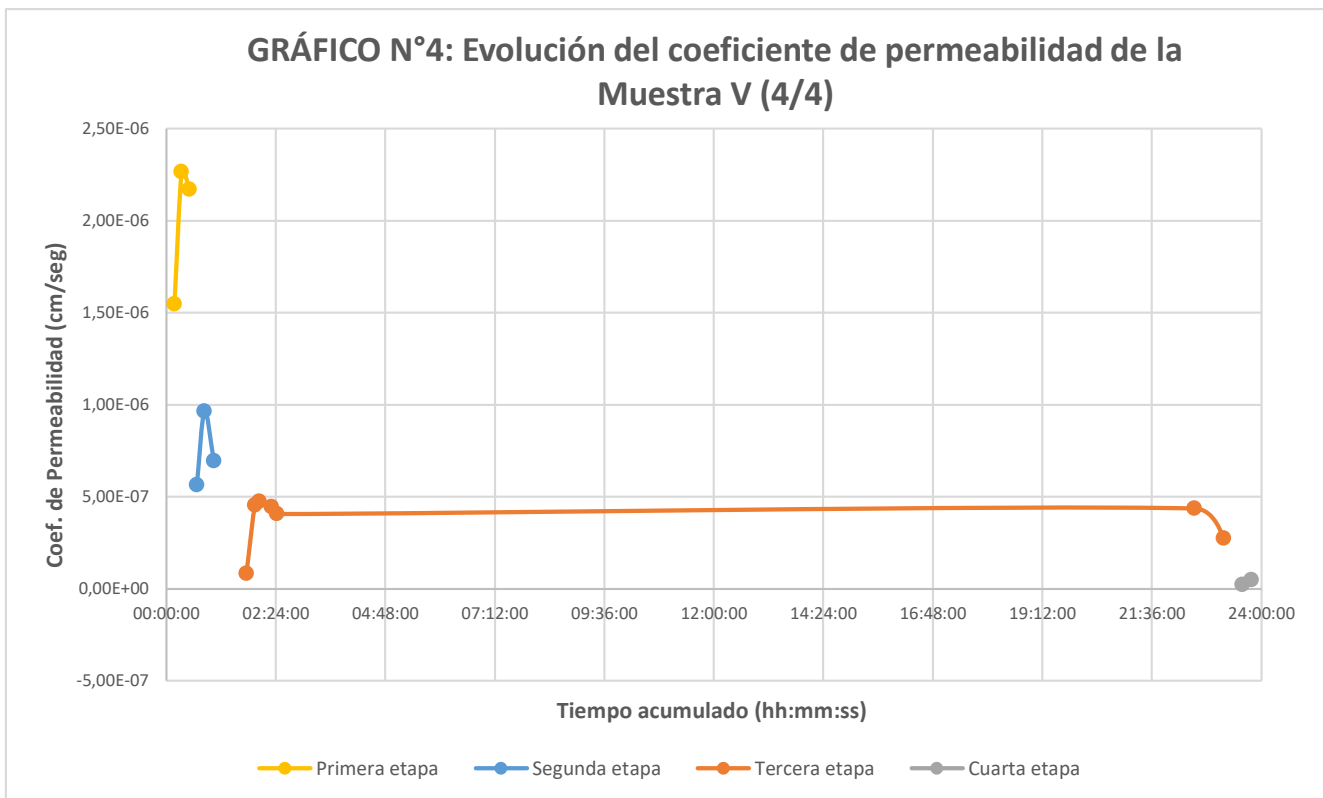
A continuación se presentan los resultados obtenidos de coeficiente de permeabilidad en función del tiempo de ensayo:



Al igual que en el caso anterior, se puede observar un descenso de la permeabilidad mucho más constante en el tiempo, alcanzado valores finales de $3,37 \times 10^{-6}$ cm/s, lo cual se puede relacionar con una duración de la prueba. Aun así, **los resultados todavía están por debajo de lo esperado.**

5.6.4 Probeta V (4/4)

A continuación se presentan los resultados obtenidos de coeficiente de permeabilidad en función del tiempo de ensayo:



Como se observa en la gráfica el ensayo se realizó en 4 etapas, debido a los tiempos de parada forzosa para evitar el sobrecalentamiento de la bomba de succión y posibles averías (en el caso

de las etapas 1,2 y 4) o a la desconexión de la bomba, trabajando a presión atmosférica (en el caso de la etapa 3).

En la medida que se avanzaba con en una fase de la prueba, el valor de permeabilidad registrado era notablemente menor respecto a los obtenidos en la etapa anterior, aunque se puede reparar en que al inicio se produce un súbito repunte del valor de la permeabilidad, para posteriormente disminuir de forma progresiva. Esto se puede deber a un cambio en el régimen hidráulico de la muestra debido al tiempo en que el mismo se encontró detenido. El valor final alcanzado al concluir el ensayo fue de $3,34 \times 10^{-8}$ cm/s, lo cuales son **similares a los obtenidos luego de 2 meses en el permeámetro de carga variable**.

Se realizó un análisis de humedad de la muestra, cuyos resultados fueron los siguientes:

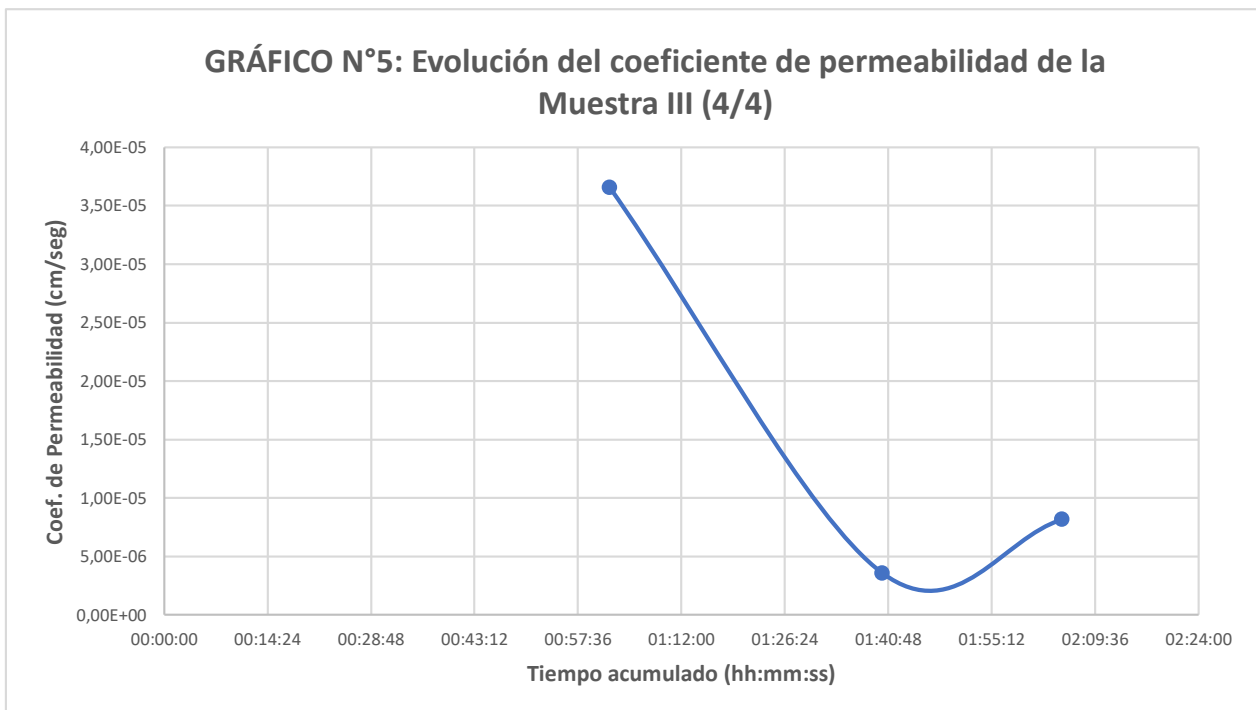
TABLA N°2: Cálculo de humedad de la muestra después del ensayo

Muestra	N° de Pesa filtro	Localización	P _s	P _s + P _{sh}	P _s + P _{ss}	P _{sh}	P _{ss}	P _w	w (%)
V (4/4/2023)	10	Entrada	32,66	91,43	77,92	58,77	45,26	13,51	29,8%
	12	Centro	33,33	68,13	60,32	34,8	26,99	7,81	28,9%
	11	Salida	32,13	77,85	67,47	45,72	35,34	10,38	29,4%

Se puede observar que **la muestra ha alcanzado un estado de saturación relativamente uniforme**, por lo que podemos afirmar que la misma ha entrado en un régimen hidráulico que nos permite medir valores de permeabilidad confiables.

5.6.5 Probeta III (4/4)

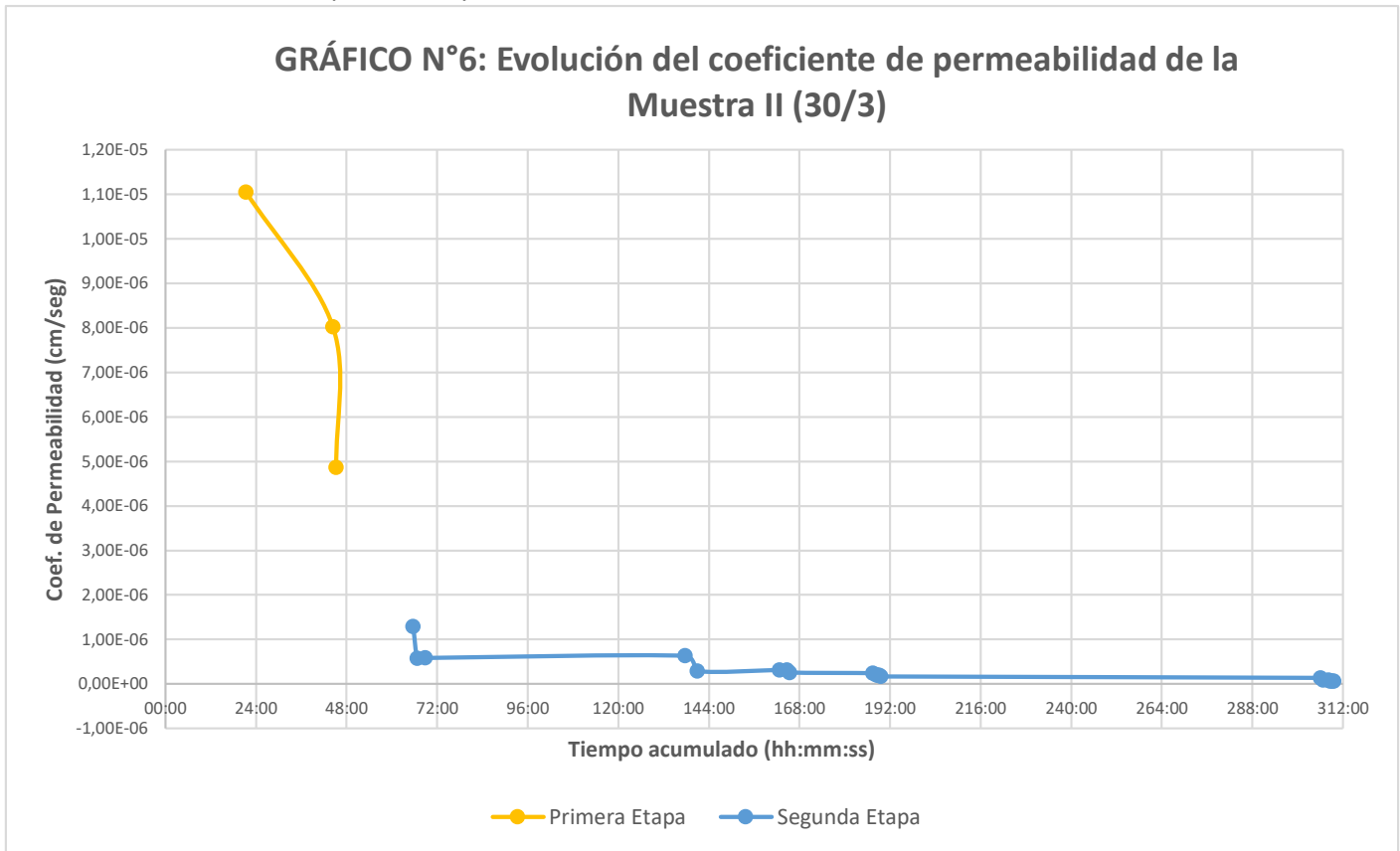
A continuación se presentan los resultados obtenidos de coeficiente de permeabilidad en función del tiempo de ensayo:



En este ensayo, el cual se realizó en su totalidad a presión atmosférica, se observó un descenso de la permeabilidad con un leve repunte en sus etapas finales. Es preciso aclarar que no se consiguieron valores bajos de permeabilidad de manera inmediata, sino que la probeta se dejó con agua circulando durante un periodo de 1 día con agua circulando antes de comenzar a tomar las lecturas. Aun así, **los resultados todavía están por debajo de lo esperado**.

5.6.6 Probeta II (30/3)

A continuación se presentan los resultados obtenidos de coeficiente de permeabilidad en función del tiempo de ensayo:



En este caso, el ensayo se dividió en 2 etapas, ambas realizadas a presión atmosférica. En la primera, cuya duración fue de aprox. 24 hs, se advirtió un descenso progresivo de la permeabilidad alcanzando valores de $4,90 \times 10^{-6}$ cm/s. Se observó también variaciones en la presión generada por el pulmón.

Se propuso en ese momento acelerar el proceso de saturación de la muestra empleando la bomba de succión por 30 minutos. Durante este tiempo no se tomaron mediciones, sino que las mismas se reanudaron una vez desconectado el dispositivo durante más de 10 días consecutivos, con una disminución progresiva de la presión generada por el pulmón. Durante esta segunda etapa, la permeabilidad continuó con un descenso progresivo hasta finalmente **alcanzar valores de $6,43 \times 10^{-8}$ cm/s, lo cuales son similares a los obtenidos luego de 2 meses en el permeámetro de carga variable.**

En este caso, se realizó un análisis de humedad cuyos resultados fueron los siguientes:

TABLA N°3: Cálculo de humedad de la muestra después del ensayo

Muestra	N° de Pesa filtro	Localización	P _s	P _s + P _{sh}	P _s + P _{ss}	P _{sh}	P _{ss}	P _w	w (%)
II (30/3/2023)	1	Entrada	33,41	91,20	77,57	57,79	44,16	13,63	30,9%
	2	Centro	32,34	75,55	66,09	43,21	33,75	9,46	28,0%
	3	Salida	31,74	71,18	62,62	39,44	30,88	8,56	27,7%
	----	Total	97,49	237,93	206,28	140,44	108,79	31,65	29,1%

Se puede observar la formación de un gradiente de humedad desde un extremo a otro de la probeta, con una diferencia reducida entre los distintos sectores analizados, por lo que consideramos que **la muestra ha alcanzado un estado de saturación relativamente uniforme**.

5.7 Conclusiones sobre la 1^{ra} Etapa

Mediante la realización de sucesivas pruebas, se pudieron **identificar y arreglar** los **desperfectos y fugas** presentes en el equipo de trabajo, así como **definir la secuencia de pasos** que resultara ser más eficiente y que permitiera minimizar errores y/o fallidos que pudieran producirse a lo largo de la ejecución de la prueba y comprometieran los datos obtenidos de la misma.

Con respecto a los valores alcanzados en los distintos ensayos, se observó que **varios**, en especial los obtenidos en las primeras pruebas, **no deberían ser tomados en consideración**, en parte por los **fallos en el procedimiento** o bien porque la **duración del ensayo era demasiado corta** como para permitir que el suelo experimentará cambios en su comportamiento que pudiera incidir en el valor de permeabilidad, lo cual puede verificarse mediante el análisis de la humedad posterior al término del ensayo.

En el caso de las pruebas de las **Muestras V (4/4) y II (30/3)**, cuya duración resultó ser mucho mayor al resto de los ensayos, se obtuvieron en ambos casos una amplia serie de valores que nos permitieron un estudio mucho más detallado de la evolución de la permeabilidad a lo largo de tiempo:

- En la primera, si bien en su fase final se alcanzaron valores de permeabilidad dentro de rango de los obtenidos mediante el permeámetro de carga variable, se observó que se producían variaciones considerables en los instantes iniciales de cada etapa al reanudar el ensayo.
- La segunda prueba, por otro lado, se pudo ejecutar casi en su totalidad de forma continua, manteniendo las condiciones de ensayo con variaciones mínimas. Como resultado final, la evolución del coeficiente de permeabilidad fue mucho más suavizada y constante, alcanzado valores finales similares a los obtenidos con el permeámetro de carga variable.

Entonces, estamos en condiciones de establecer un **procedimiento estandarizado para el ensayo de permeabilidad** empleando la cámara triaxial, el cual permite reducir considerablemente la duración de la determinación de este parámetro, la cual sería insumiría mucho más tiempo empleado el método tradicional con el permeámetro. El mismo se encuentra detallado en el *Anexo – Inciso 10*.

Es preciso señalar que **el suelo presenta cambios bruscos en su permeabilidad**, lo que sumado a los parámetros obtenidos previamente en el LABIEVI (LL, IP e hinchamiento), da a entender que el suelo exhibe, a lo largo del tiempo, un **comportamiento inusual** al encontrarse en presencia de agua. Para poder analizar más a fondo estas cualidades del material, **se han planteado la ejecución de ensayos adicionales** que nos permitan una caracterización mucho más precisa del suelo.

Por último, se verificó que la cámara triaxial no presenta pérdidas de presión/fluido durante el transcurso de la prueba, por lo que ya **podríamos proceder a la realización de los Ensayos triaxiales**, sin riesgos ya de inconvenientes con el equipo de trabajo.

6. Desarrollo de la Práctica Profesional (2^{da} Etapa)

6.1 Introducción

Finalmente, en esta última etapa de la Práctica, nos centraremos en la ejecución de ensayos triaxiales para una serie de probetas de suelos, elaboradas con distintos grados de compactación, y sometidas a distintos valores de presión de cámara, a los fines de determinar los parámetros ϕ y c del suelo analizado.

Para ello nos basaremos a las **Normas AASHTO T 234-70 y ASTM D2850-70**.

6.2 Marco teórico

La resistencia cortante de un suelo es la resistencia interna por unidad de área que la masa de suelo puede ofrecer a la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano en su interior. Los ingenieros deben entender los principios de la resistencia al cizallamiento del suelo para analizar los problemas, como:

- Capacidad de carga de cimentaciones superficiales.
- Estabilidad de taludes naturales o de origen humano.
- Estimación de la presión lateral de tierra para el diseño de estructuras de retención de tierras.
- Capacidad de carga de pilotes y pozos perforados.

En general, la resistencia al corte es función de:

- La cohesión entre las partículas del suelo.
- La resistencia a la fricción entre las partículas sólidas.
- El contenido de humedad y la presión del agua intersticial en la masa del suelo.

Los parámetros de resistencia cortante de un suelo se determinan en el laboratorio principalmente con dos tipos de pruebas: la **prueba de corte directo** y la **prueba triaxial**. Esta última resulta en uno de los métodos más confiables disponibles para la determinación de los parámetros de resistencia cortante, debido a que proporciona información sobre el comportamiento esfuerzo-deformación del suelo que la prueba de corte directo no, así como condiciones de esfuerzo más uniformes al hacer su concentración de esfuerzos a lo largo del plano de falla.

Se describen tres ensayos a continuación:

- 1) **Ensayo no drenado (También conocido como Ensayo no consolidado - no drenado o Ensayo U):** Se hace con la válvula de drenaje cerrada para todas las fases del ensayo y antes de que la muestra tenga posibilidades de consolidarse (si $S < 100\%$). El ensayo se comienza inmediatamente después de estabilizar la presión en la cámara. Para ensayos de grano fino y particularmente si S es diferente de 100% , debería haber muy poca diferencia si la válvula de drenaje se cierra o abre durante el ensayo. El experimento no puede utilizarse para un suelo cohesivo de $S = 100\%$.
- 2) **Ensayo consolidado-no drenado (También llamado Ensayo consolidado - rápido o Ensayo CU):** Se inicia después de que la muestra se ha consolidado con la válvula de drenaje abierta bajo una presión de cámara constante. Se necesita algún aparato que permita controlar la muestra para determinar cuándo ha terminado el cambio de volumen (o cesado el drenaje del fluido de los poros) indicando que la consolidación ha terminado. Como la consolidación toma un tiempo considerable en materiales arcillosos, se han desarrollado técnicas especiales tales como hacer un núcleo de arena en el espécimen o utilizar bandas de papel de filtro o de algodón espaciada alrededor del perímetro superficial de la muestra adyacente

a la membrana de caucho para acelerar el drenaje. Cuando se completa la consolidación, se cierran las válvulas de drenaje, y se le aplica el esfuerzo desviador a la muestra hasta la falla, de forma idéntica al ensayo U.

3) **Ensayo consolidado-drenado (También llamado Ensayo consolidado lento o Ensayo CD):**

En este caso se abre la válvula de drenaje, se aplica la presión de cámara, se controla la consolidación de la muestra, y a continuación, mientras la válvula de drenaje todavía se encuentra abierta, se aplica el esfuerzo desviador. El esfuerzo desviador debe aplicarse a una tasa tan baja que las presiones de poros que siempre se desarrollan durante el proceso de corte, sean suficientemente pequeñas para que los parámetros de suelos no se afecten. Debido a la necesidad de hacer un control muy detallado y a la cantidad considerable de tiempo necesario, este ensayo sólo es económicamente justificable para grandes proyectos. Mientras este ensayo permite conocer los parámetros verdaderos del suelo (ϕ y c), los parámetros aparentes obtenidos de los ensayos drenado o CU son más reales para la mayoría de los proyectos, dependiendo de cuán rápido se produzca la carga en el sitio, es decir, se aplica un relleno o una carga de cimiento.

El ensayo triaxial da información para dibujar un **círculo de esfuerzos de Mohr** utilizando la **presión de cámara como σ_3** y el **esfuerzo mayor principal correspondiente σ_1** en el momento de la falla de la muestra. Es posible establecer una tangente aproximada a los círculos (o envolventes de esfuerzos), al dibujar entre 2 y 4 círculos de Mohr utilizando datos de ensayos basados en diferentes presiones de cámara σ_3 , para cada ensayo sobre muestras de suelo cuya densidad y contenido de humedad sea aproximadamente igual. La pendiente de esta tangente se toma como el ángulo de fricción interna del material, ϕ , del suelo y el intercepto de dicha envolvente de esfuerzos con el eje Y se toma como la cohesión c en la ecuación de Coulomb:

$$\tau = c + \sigma_n \cdot \tan \phi \quad (19)$$

Con la aplicación de carga externa a través del pistón de carga, el esfuerzo principal mayor se incrementa de la siguiente forma:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \frac{P}{A'} \quad (20)$$

Donde el **valor de P/A' se conoce como esfuerzo desviador** y se calcula en función de:

- P = Carga instantánea sobre el espécimen poco después de comenzado el ensayo
- A' = Área corregida del espécimen, como en el experimento

$$A' = \frac{A_o}{1 - \epsilon} \quad (21)$$

El pistón de carga que aplica la fuerza adicional al espécimen debe ser maquinado cuidadosamente y montado con un soporte de esfera para garantizar una aplicación de carga axial sin fricción (casi), hermético, a la muestra que se encuentra dentro de la cámara triaxial.

El valor pico del esfuerzo (o el valor del esfuerzo al cual se produce un 20% de deformación unitaria si ocurre primero) se toma del gráfico Esfuerzo vs Deformación unitaria como el esfuerzo principal mayor, o el máximo esfuerzo desviador, para utilizarlo en el dibujo del círculo de Mohr correspondiente.

6.3 Disposición del equipo y calibración inicial

En esta segunda etapa de la PPS, se posicionaron sobre la mesada de trabajo todos los componentes que conforman el equipo de trabajo, los cuales no difieren de los empleados en los ensayos de permeabilidad.

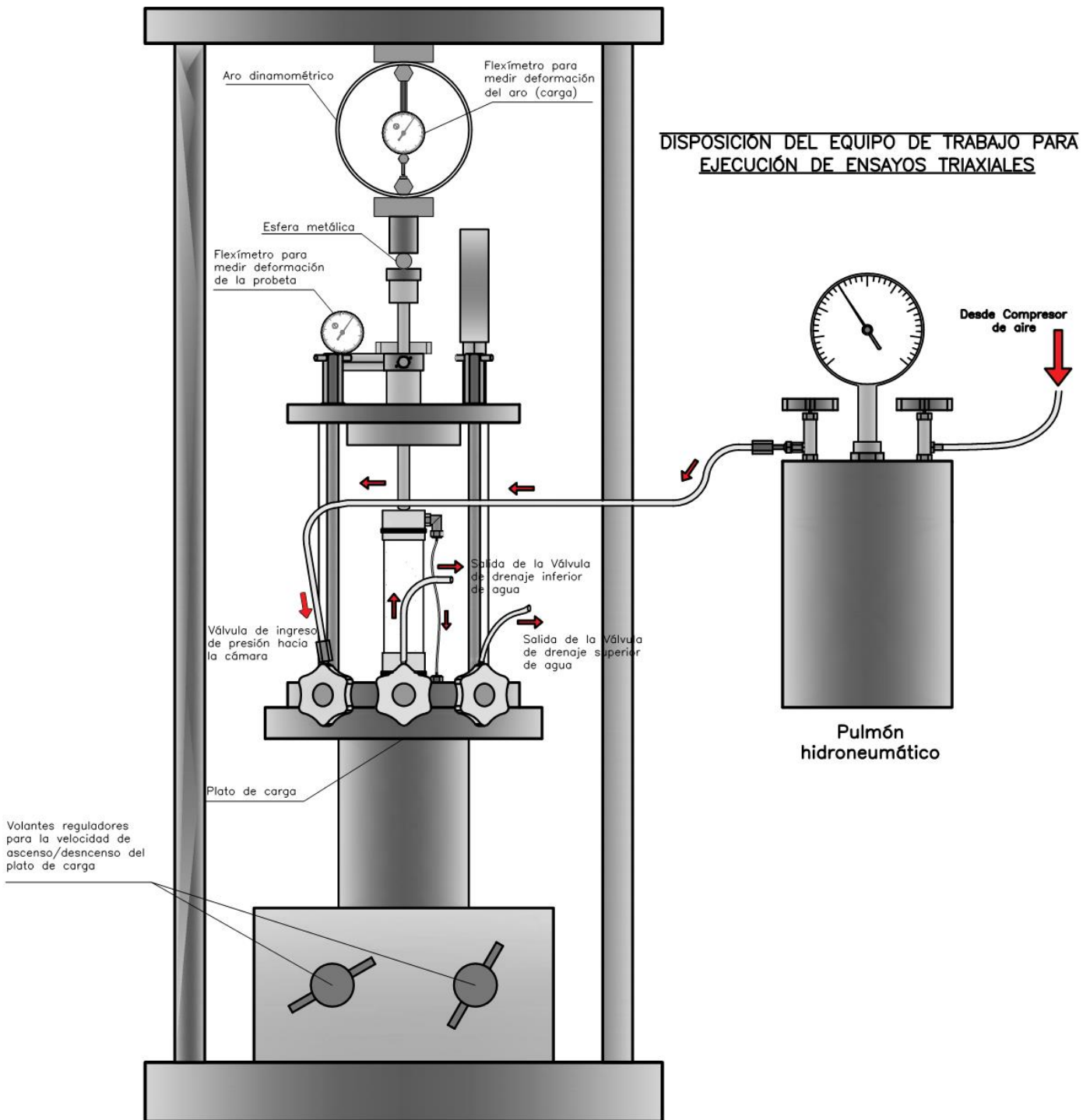


Figura 28: Disposición final del equipo de ensayos triaxiales. En flechas rojas se indica el sentido del flujo del fluido (agua y/o aire comprimido) durante el funcionamiento del sistema

El equipo se halla compuesto por:

- Marco de carga, con un aro dinamométrico
- Cámara triaxial, compuesta por un cilindro de acrílico transparente, una base metálica con 3 válvulas para la entrada/salida de agua y/o aire, y una cubierta superior también metálica en donde se posiciona un manómetro y el vástago del esfuerzo desviador.
- Cabezales metálicos inferior y superior.
- Sistema hidroneumático, compuesto por un compresor de aire y un pulmón cargado de agua.

A diferencia de la configuración empleada para la ejecución de los ensayos de permeabilidad, en donde se hacía fluir agua a través de la probeta de suelo por medio de los drenajes inferior y superior, la misma ahora se ensayará sin que el agua ingrese a la muestra. Por lo tanto, la calibración y puesta a punto del equipo se centrará en **garantizar la hermeticidad del sistema y del Conjunto Probeta+ Membrana**, evitando que la muestra se contamine y pierda su grado de compactación y humedad.

Para ello, se elaboraron un total de 15 probetas de suelo a los fines de ensayar el funcionamiento de sistema y sus componentes e identificar/corregir los desperfectos que hubieran. Entre los mismos podemos listar:

- **Perdidas de presión en la válvula de purga:** Al momento de dotar de presión al equipo, se observó que se producían pérdidas de agua (y presión) en las válvulas de purga, acentuándose el fenómeno al incrementar la presión de cámara. Se tuvo que proceder a **ajustar adecuadamente dicha llave** para evitar la pérdida de agua.
- **Rotura de membrana de látex:** Durante los ensayos de calibración, se empleó el mismo tipo de membrana utilizada en los ensayos de permeabilidad, ya sea de forma simple o doble. Aun así, se observó que, al incrementar la presión de cámara o aplicar el esfuerzo desviador, la membrana se fisuraba y se producía el ingreso de agua a la probeta de suelo. Por lo tanto, **se optó por emplear una membrana de látex más resistente** para evitar una rotura imprevista de la misma durante el ensayo.
- **Esfuerzo generado por el acople del cabezal superior:** Se notó que el acople de bronce que conecta el cabezal superior con el drenaje era bastante pesado, por lo que generaba un esfuerzo al ser colocado sobre la cara superior de la probeta. Esto podía influir en la dirección que presentara la falla de la pieza al llegar a la rotura. Se **intento reemplazar dicho acople por uno más liviano** con un sistema de acople de manguera mediante dientes. Sin embargo, se observó que dicho sistema era contraproducente, debido a que al ser sometida a presión la manguera, al no ser rígida, se estrujaba, reduciendo su diámetro y fallando el acople, lo que llevaba al ingreso de agua. Por consecuente, **se continuo empleando el sistema de acople de bronce**.
- **Perdidas en la rosca del cabezal inferior:** Se registró ingreso de agua a través de la rosca del cabezal inferior con la base de la cámara. Para evitar esto, se empleó **sellarosca en toda la rosca**, sellando efectivamente cualquier pérdida que se pudiera producir, a costa de mantener el cabezal permanentemente unido a la base.
- **Problemas de lecturas de cargas:** Durante los ensayos se observó que empleando un flexímetros de precisión de 0,01 mm para medir la deformación del aro dinamométrico, las lecturas obtenidas carecían de precisión. Por lo tanto, se cambió el **flexímetro por un de precisión de 0,001 mm**.

Tras sucesivas pruebas, **se logró evitar la fuga de agua/presión** a través de los drenajes (lo que implica que la muestra se mantenía aislada del agua circundante en el interior de la cámara) y/o válvulas, pudiendo mantener un valor constante de presión de cámara durante el tiempo necesario para la realización del ensayo.

6.4 Ejecución de Ensayos triaxiales finales

Previo a proseguir con la ejecución de los ensayos finales, se requirió de la preparación de nuevas probetas con el suelo a analizar. Para ello, se calculó la cantidad de peso requerida para la elaboración de probetas con un GCR=85% y otras con GCR=100%, de manera de tener 2 conjuntos de muestras que pudieran ser contrastadas entre sí.

Una vez definido, se procedió al moldeo de estas nuevas probetas, las cuales se produjeron en 2 tandas: la primera consistía en 5 probetas elaboradas el 26/10/2023 mientras que la segunda consistía en 5 probetas elaboradas el 9/2/2024.

Los resultados obtenidos de este proceso se encuentran en el Anexo – Inciso 12.

Ya concluida esta labor, se procedió a la ejecución de sus respectivos ensayos. Los mismos **se realizaron en su totalidad en condición de Consolidado – Drenado:**

6.4.1 **Probeta I (85%)**

El procedimiento seguido en este ensayo, así en los subsiguientes se encuentra en el *Anexo – Inciso 13*. En este caso se empleó un flexímetro de carga de 0,001 mm de precisión junto con un aro de 250 Kg, y se realizaron 4 escalones de presión de cámara.

Durante el transcurso del ensayo, a medida que aumentaba la carga la probeta se inclinaba sobre su eje vertical, aunque sin presentar una línea clara de falla. Al finalizar la prueba, la probeta todavía no había fallado, aunque se podían ver claramente definidos los planos de compactación.

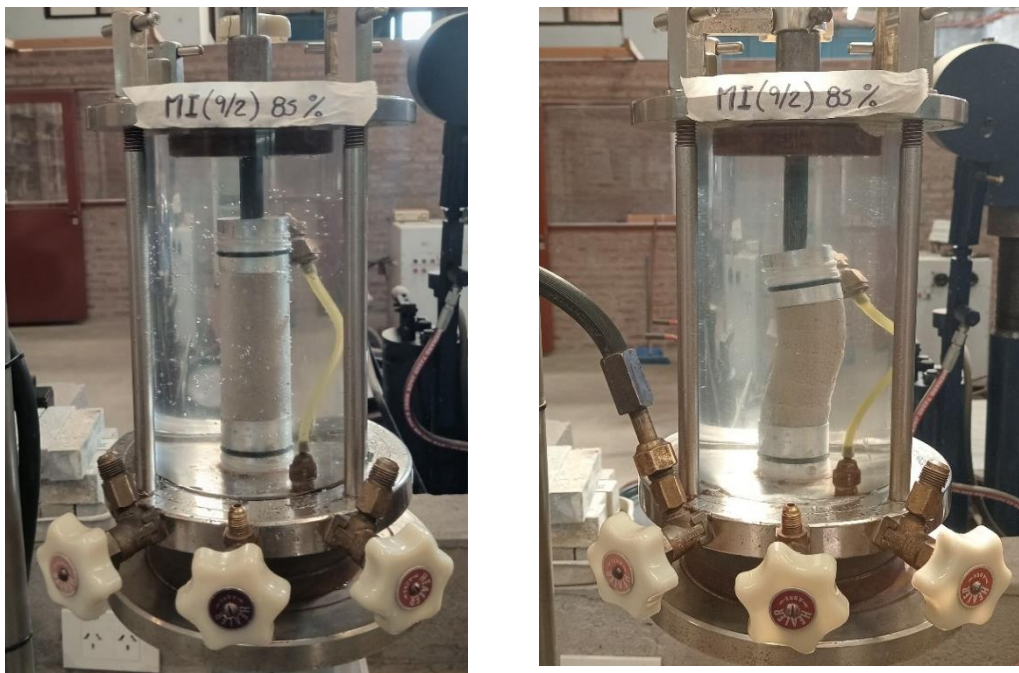


Figura 29: Probeta de suelo antes (izq.) y después (der.) del ensayo

6.4.2 Probeta II (85%)

El ensayo se realizó en las mismas condiciones que el anterior. Al igual que en el caso anterior, a medida que aumentaba la carga, la probeta se inclinaba sobre su eje vertical, aunque sin presentar una línea clara de falla. Al finalizar la prueba, la probeta tampoco había fallado, aunque se podían ver claramente definidos los planos de compactación.

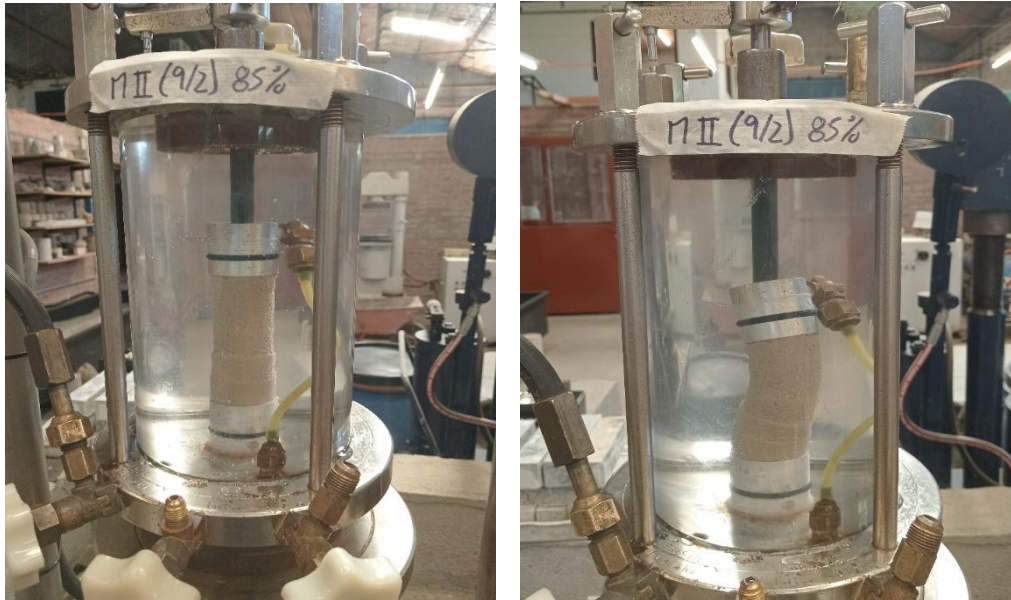


Figura 30: Probeta de suelo antes (izq.) y después (der.) del ensayo

6.4.3 Probeta III (85%)

El ensayo se realizó en las mismas condiciones que los anteriores. Al igual que en el caso anterior, a medida que aumentaba la carga, la probeta se inclinaba sobre su eje vertical (aunque no de forma tan notoria) sin presentar una línea clara de falla. Al finalizar la prueba, la probeta tampoco había fallado.

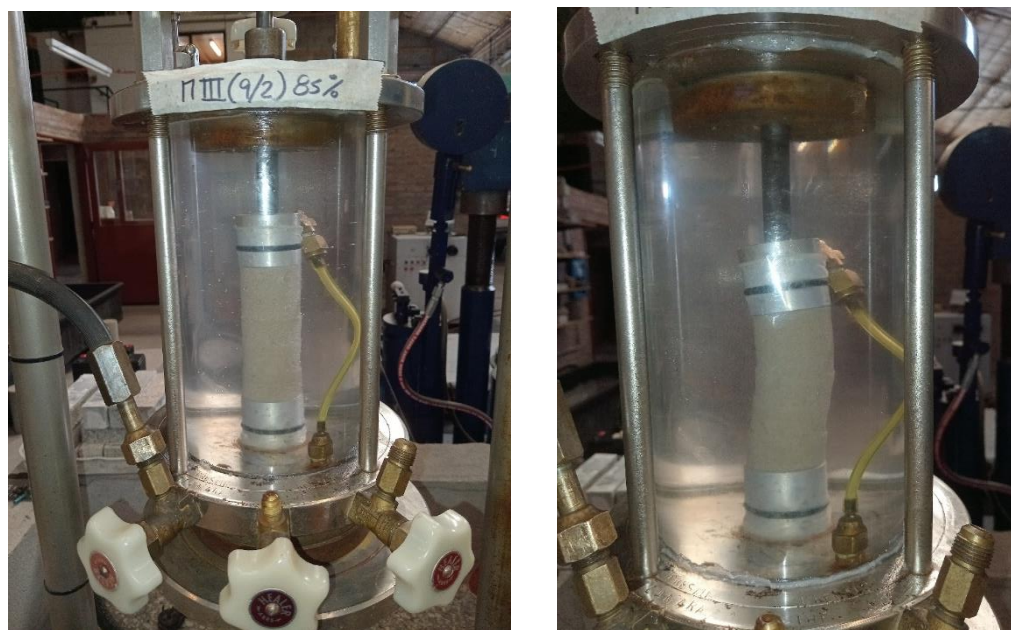


Figura 31: Probeta de suelo antes (izq.) y después (der.) del ensayo

6.4.4 Probeta IV (85%)

El ensayo se realizó en las mismas condiciones que los anteriores. Al igual que en los casos anterior, a medida que aumentaba la carga, la probeta se inclinaba sobre su eje vertical, aunque sin presentar una línea clara de falla. Al finalizar la prueba, la probeta tampoco había fallado, aunque se podían ver claramente definidos los planos de compactación.



Figura 32: Probeta de suelo antes (izq.) y después (der.) del ensayo

6.4.5 Probeta V (85%)

El ensayo se realizó en las mismas condiciones que los anteriores. Al igual que en los casos anterior, a medida que aumentaba la carga, la probeta se inclinaba sobre su eje vertical, aunque sin presentar una línea clara de falla. Al finalizar la prueba, la probeta tampoco había fallado, aunque se podían ver claramente definidos los planos de compactación:

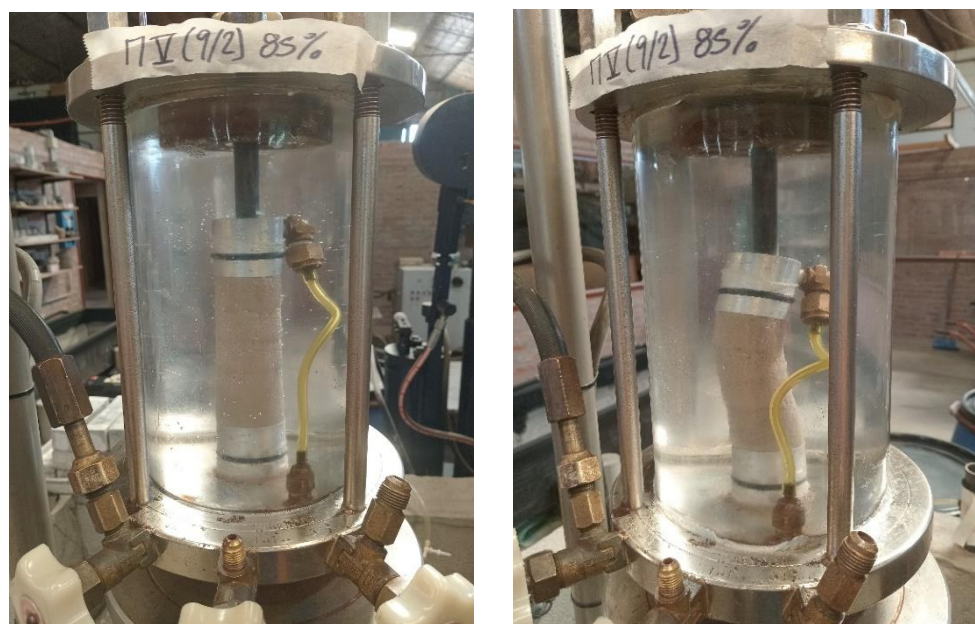


Figura 33: Probeta de suelo antes (izq.) y después (der.) del ensayo

6.4.6 Probeta I (100%)

En este caso se empleó un flexímetro de carga de 0,001 mm de precisión junto con un aro de 250 Kg, y se lograron realizar 2 escalones de presión de cámara. Previo al ensayo, se constató que la probeta, así como las pertenecientes a su mismo grupo, se encontraba en un estado seco, con una consistencia al tacto similar al de un material cementado.

Durante el ensayo de la muestra, se observó que la probeta admitía muchas más carga que las anteriores, dificultando en cierta medida la lectura del flexímetro de carga. Al igual que en los casos anteriores, a medida que aumentaba la carga, la probeta se inclinaba sobre su eje vertical, pero en este caso se comenzó a presentar una línea clara de falla. El ensayo concluyó cuando se observó que se había producido la rotura de membrana por la acción de la probeta contra la misma.

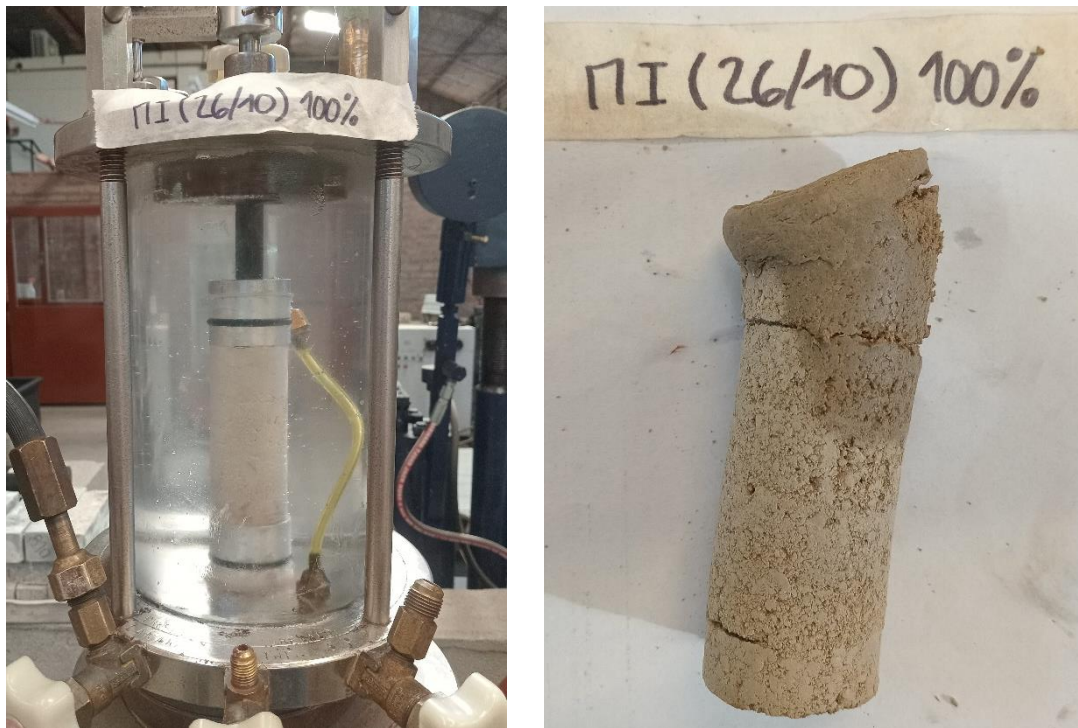


Figura 34: Probeta de suelo antes (izq.) y después (der.) del ensayo

6.4.7 Probeta II (100%)

Previo a la ejecución del ensayo se remplazaron el flexímetros de carga y el aro dinamométrico por un flexímetro de 0,01 mm de precisión junto con un aro de 500 Kg, respectivamente.

Al igual que en los casos anteriores, a medida que aumentaba la carga, la probeta se inclinaba sobre su eje vertical, pero en este caso se comenzó a presentar una línea clara de falla y formarse un abultamiento en la parte superior de la probeta. El ensayo concluyó cuando se observó que se había producido la rotura, al no admitir más carga el suelo pero todavía deformándose.

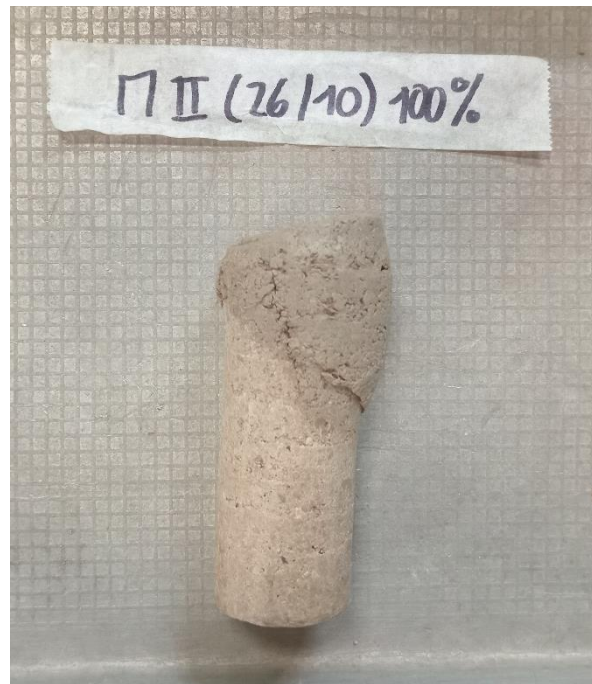


Figura 35: Probeta de suelo antes (izq.) y después (der.) del ensayo

6.4.8 Probeta III (100%)

El ensayo se realizó en las mismas condiciones que el anterior. Al igual que en los casos anteriores, a medida que aumentaba la carga, la probeta se inclinaba sobre su eje vertical, pero en este caso se comenzó a presentar una línea clara de falla y formarse un abultamiento en la parte media-superior de la probeta. El ensayo concluyó cuando se observó que se había producido la rotura de membrana por la acción de la probeta contra la misma.

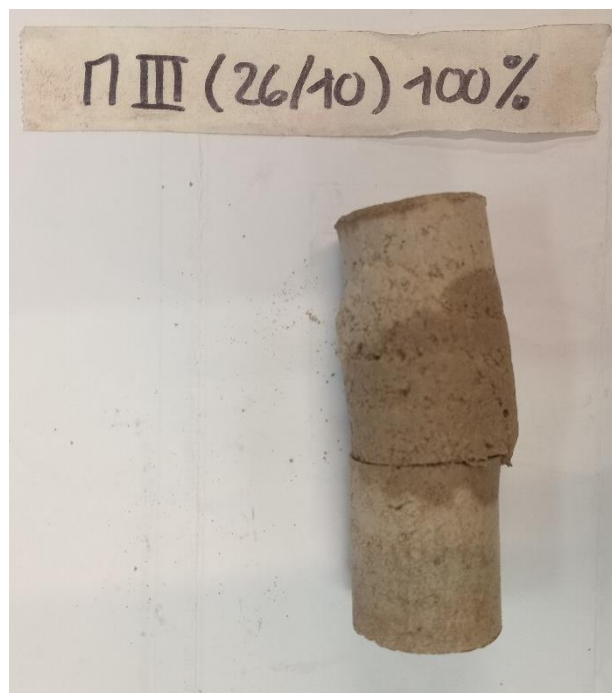


Figura 36: Probeta de suelo antes (izq.) y después (der.) del ensayo

6.4.9 Probeta IV (100%)

El ensayo se realizó en las mismas condiciones que el anterior. Al igual que en los casos anteriores, a medida que aumentaba la carga, la probeta se inclinaba sobre su eje vertical, presentando una línea clara de falla y formarse una cuña en la parte superior de la probeta, el cual comienza a desplazarse hacia abajo. El ensayo concluyó cuando se observó que se había producido la rotura, al no admitir más carga el suelo pero todavía deformándose.

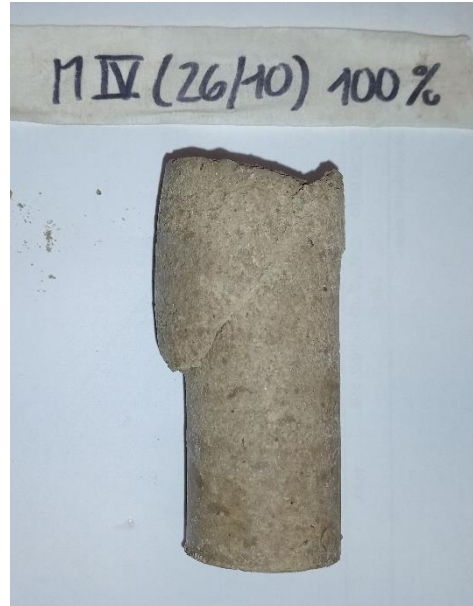


Figura 37: Probeta de suelo antes (izq.) y después (der.) del ensayo

6.4.10 Probeta V (100%)

El ensayo se realizó en las mismas condiciones que el anterior. A medida que aumentaba la carga, la probeta se inclinaba sobre su eje vertical, presentando una línea clara de falla y formarse una cuña en la parte superior de la probeta, el cual comienza a desplazarse. El ensayo concluyó cuando se observó que la probeta no admitía más carga el pero seguía deformándose.

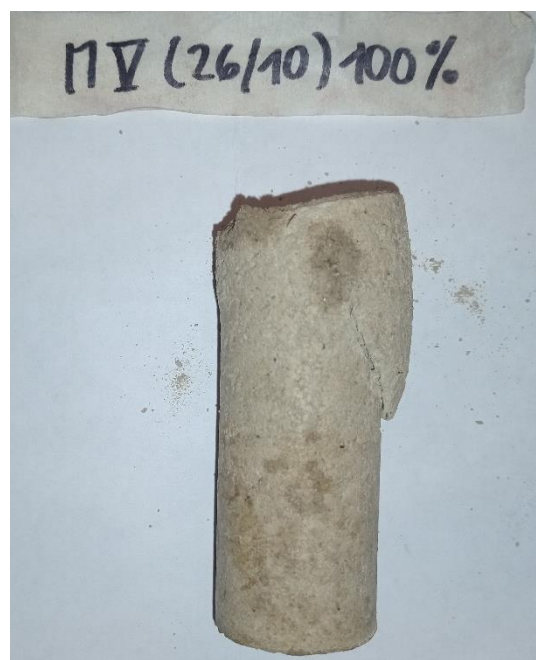


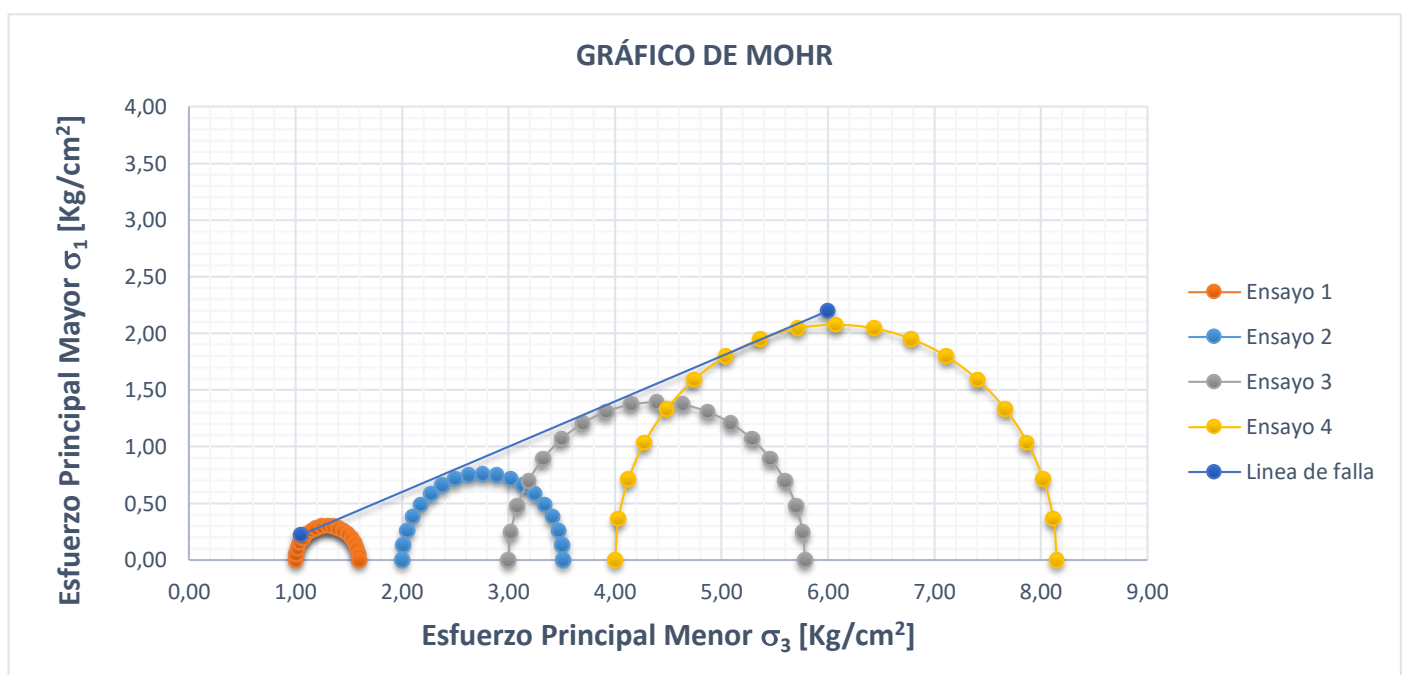
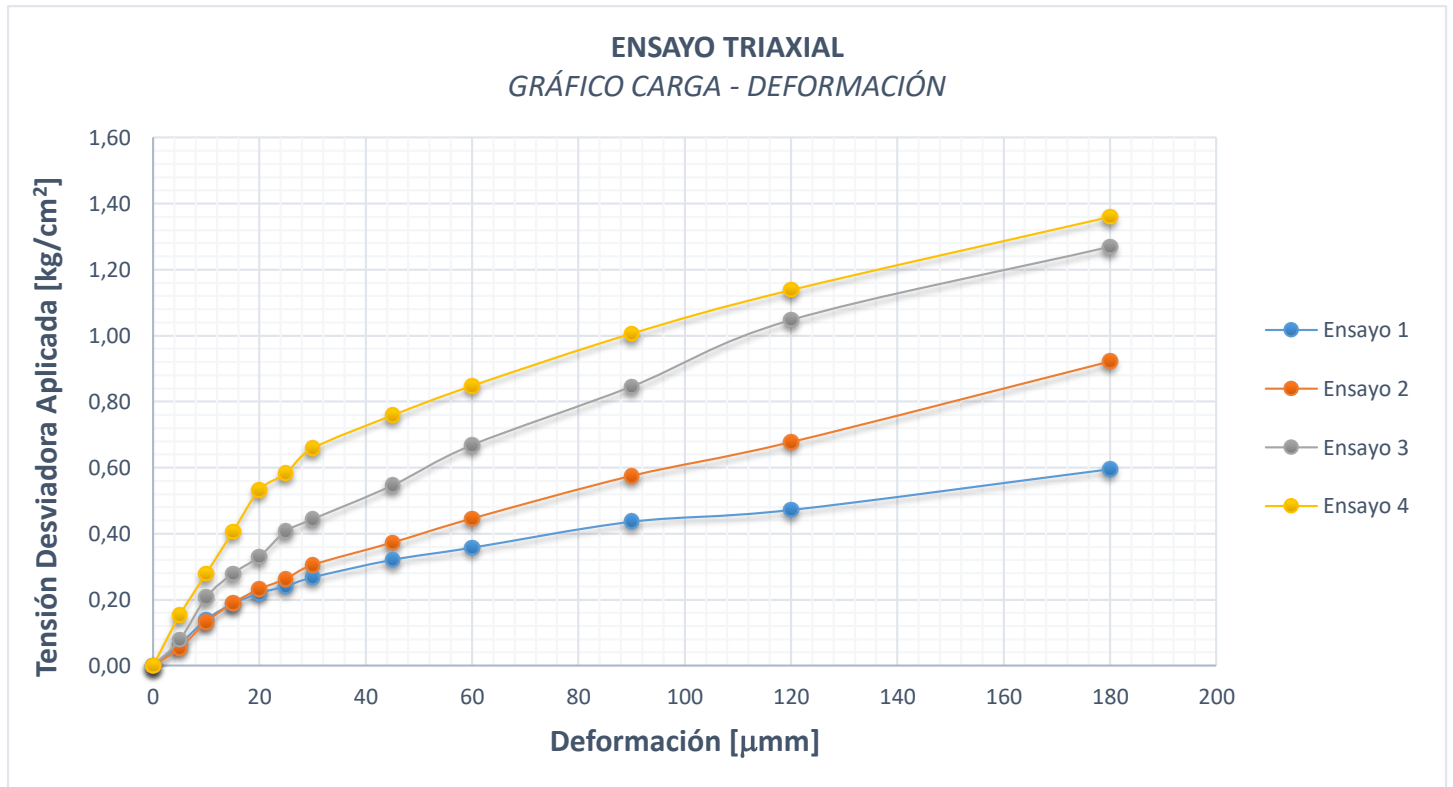
Figura 38: Probeta de suelo antes (izq.) y después (der.) del ensayo

6.5 Análisis de los resultados obtenidos

A medida que cada ensayo concluía, se volcaron los datos recabados en su planilla de cálculo correspondiente y se procedió a la representación de los valores obtenidos en un gráfico **Carga vs Deformación** y en un gráfico **Esfuerzo Principal Mayor vs Esfuerzo Principal Menor (o Circulo de Mohr)**.

6.5.1 *Probeta I (85%)*

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

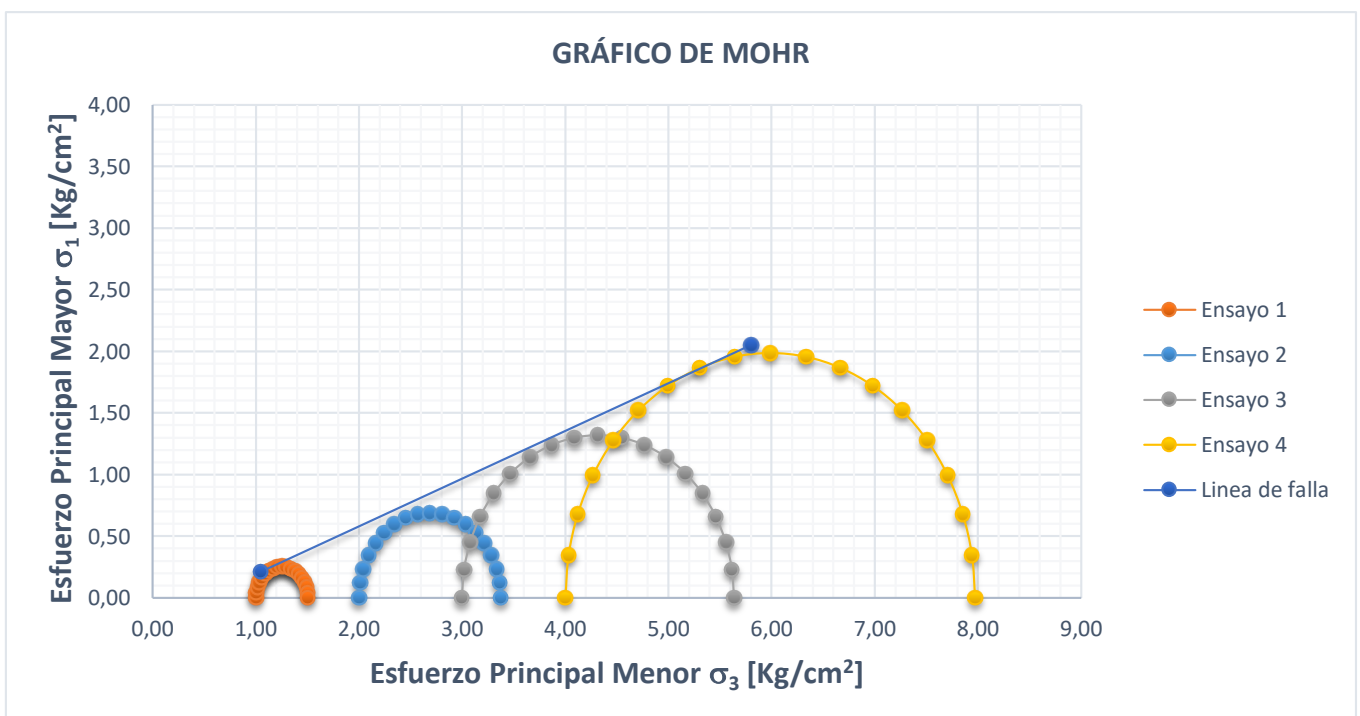
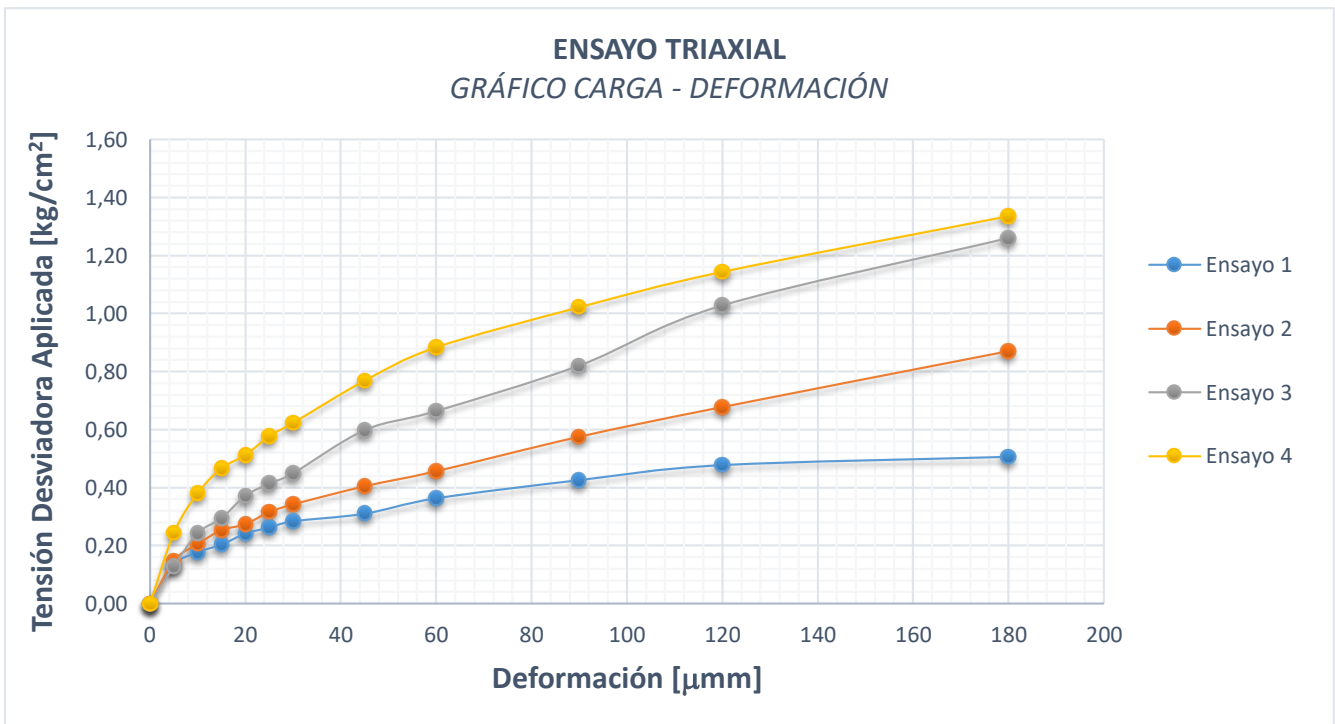


Se puede observar que, en el primer gráfico, en la medida que la presión de cámara aumenta, la tensión desviadora a aplicar para producir la misma deformación aumenta con cada escalón de carga.

En cuanto al círculo de Mohr, los círculos trazados permiten proyectar una recta tangente a los cuatro, obteniendo un **ángulo de fricción interna de 22°**.

6.5.2 Probeta II (85%)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

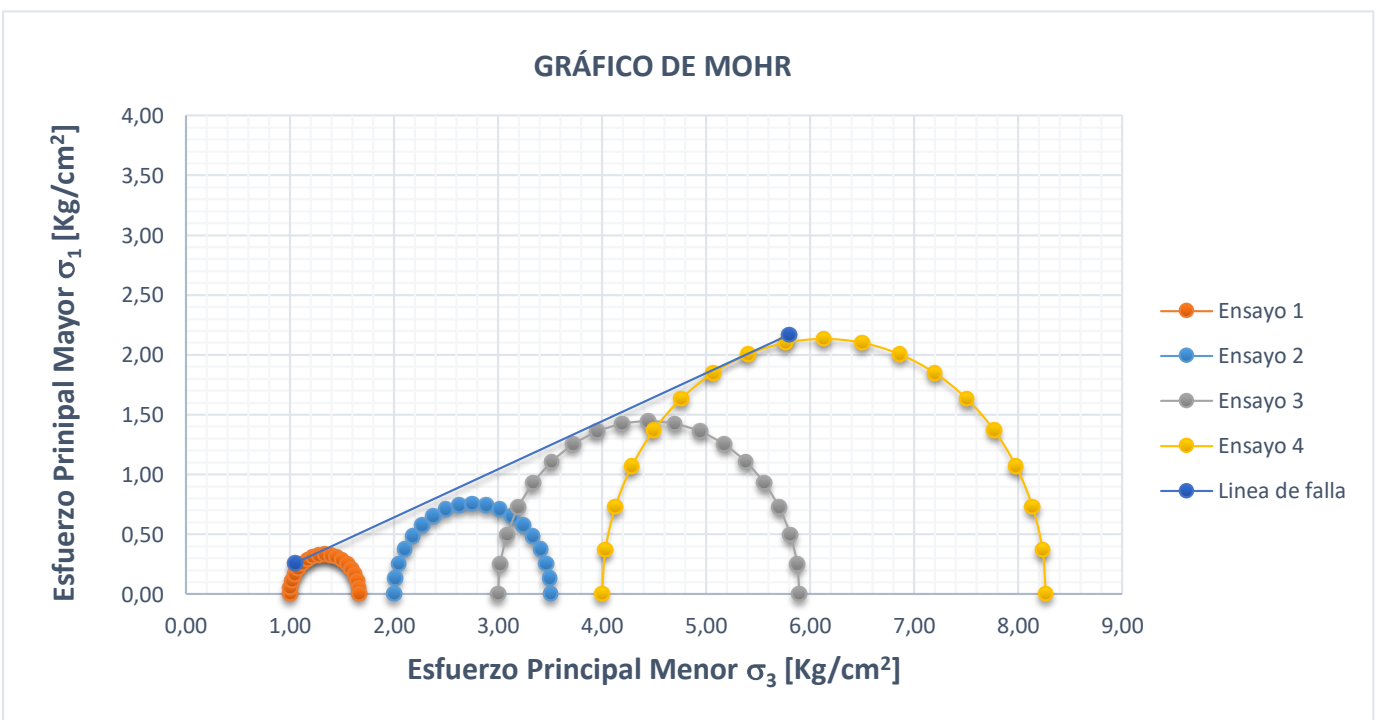
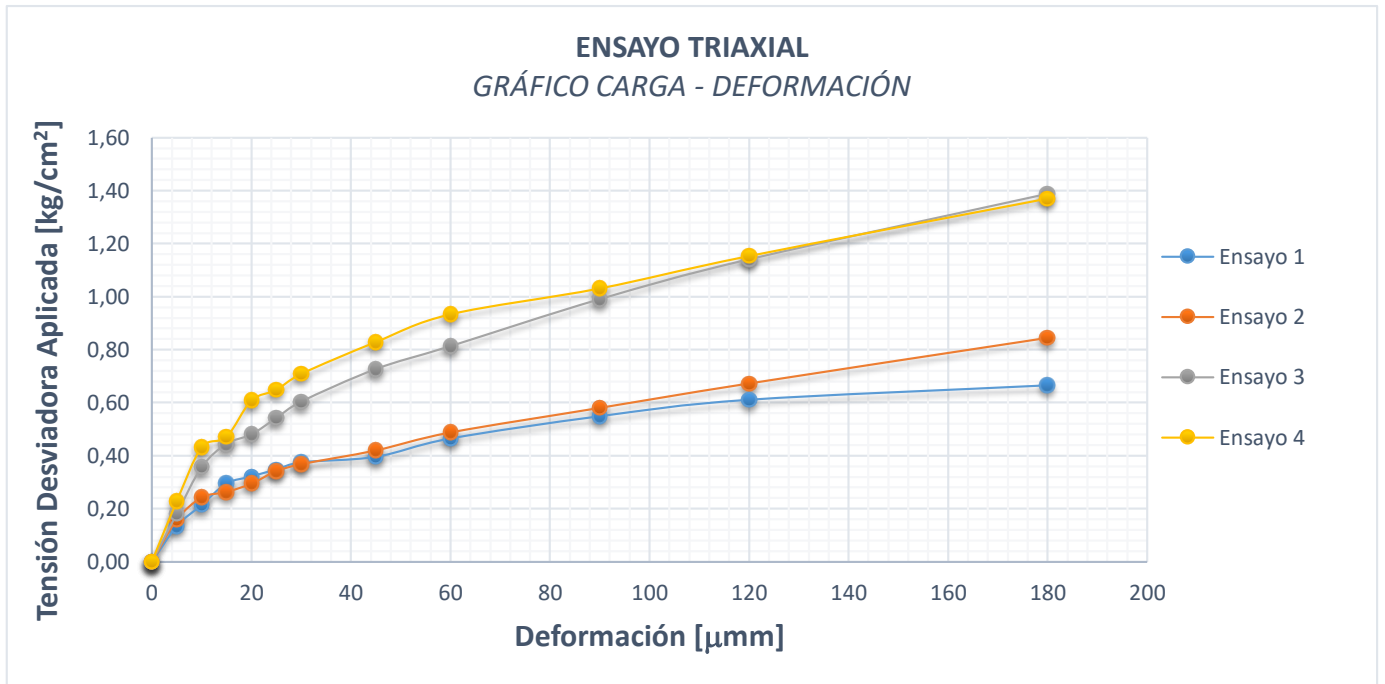


En cuanto a la Tensión desviadora aplicada vs Deformación, se observa la misma tendencia que en el ensayo anterior (en la medida que la presión de cámara aumenta, la tensión desviadora a aplicar para producir la misma deformación aumenta con cada escalón de carga).

En cuanto al círculo de Mohr, la proyección de la recta tangente a los cuatro círculos nos permite estimar un **ángulo de fricción interna de 21°**.

6.5.3 Probeta III (85%)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

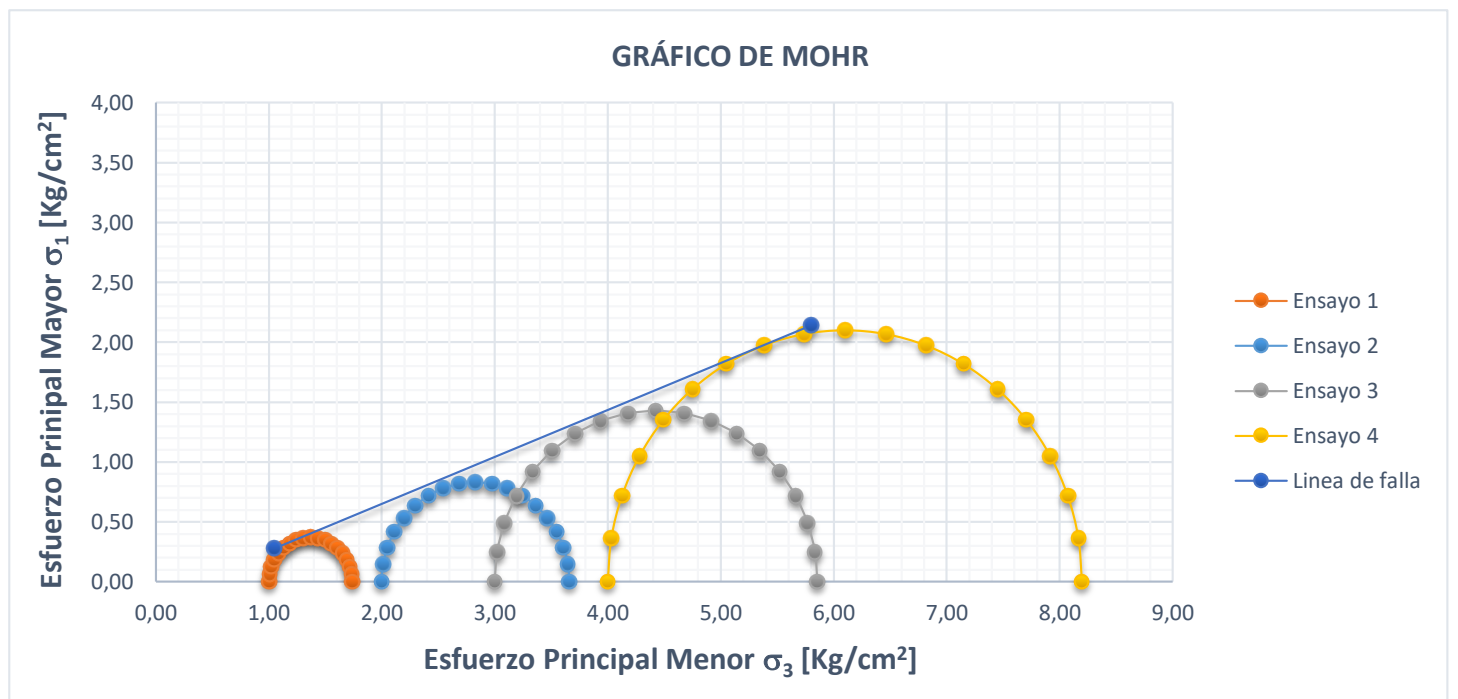
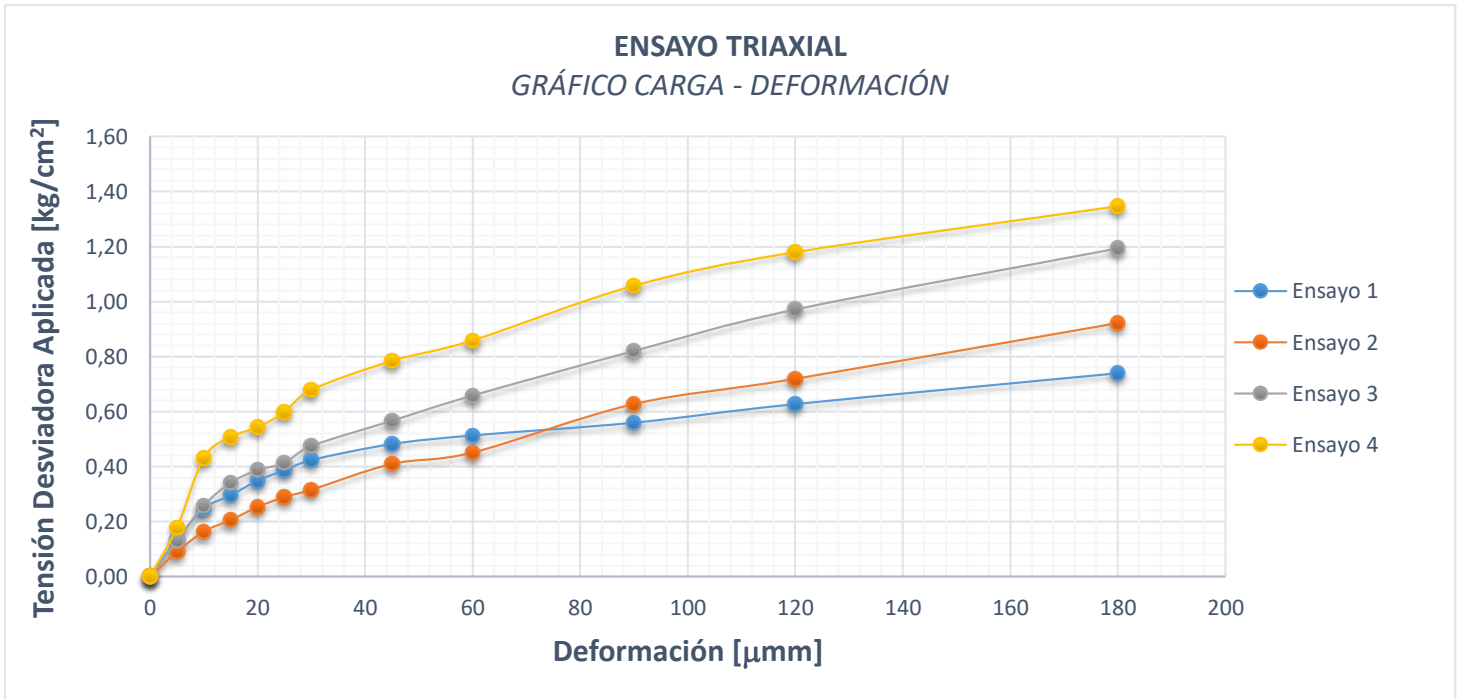


En el primer gráfico, se observa la misma tendencia presente en las muestras anteriores, con la excepción que se nota un claro salto tensional al pasar de 2 a 3 kg/cm² de presión de cámara.

En cuanto al ángulo de fricción interna, la proyección de la recta tangente a los cuatro círculos de Mohr nos permite estimar un **ángulo de 22°**.

6.5.4 Probeta IV (85%)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

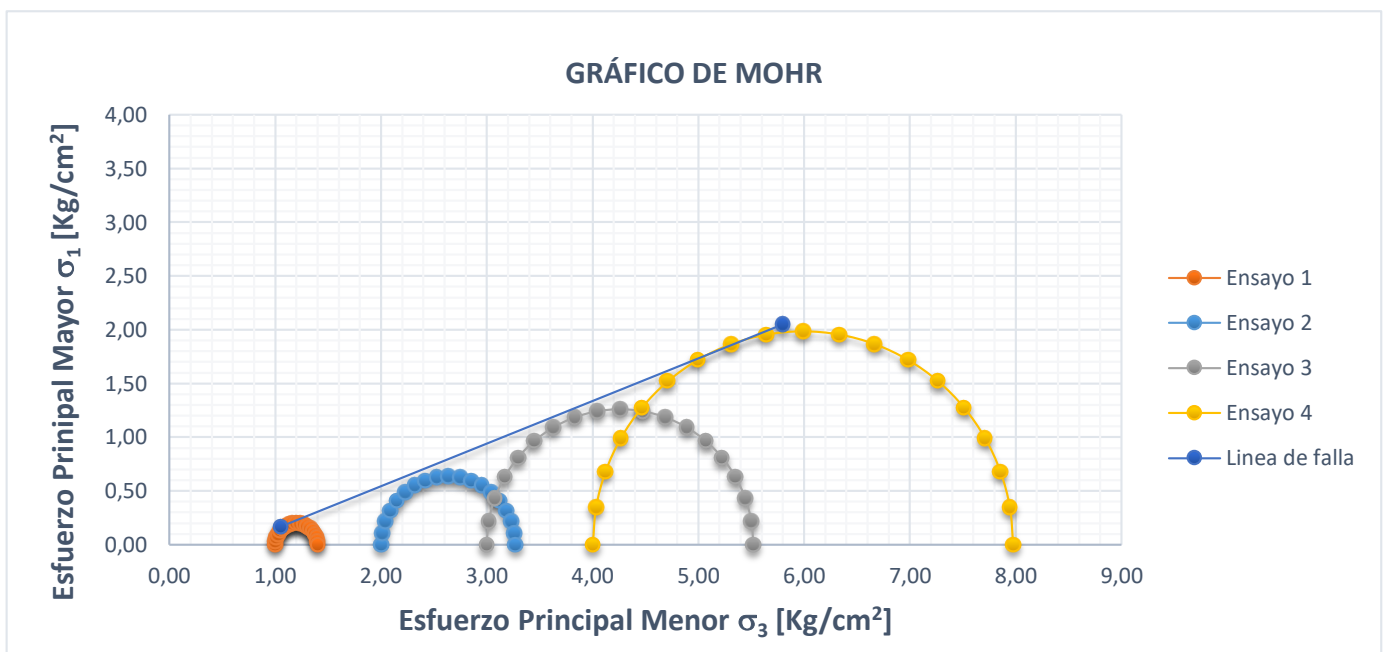
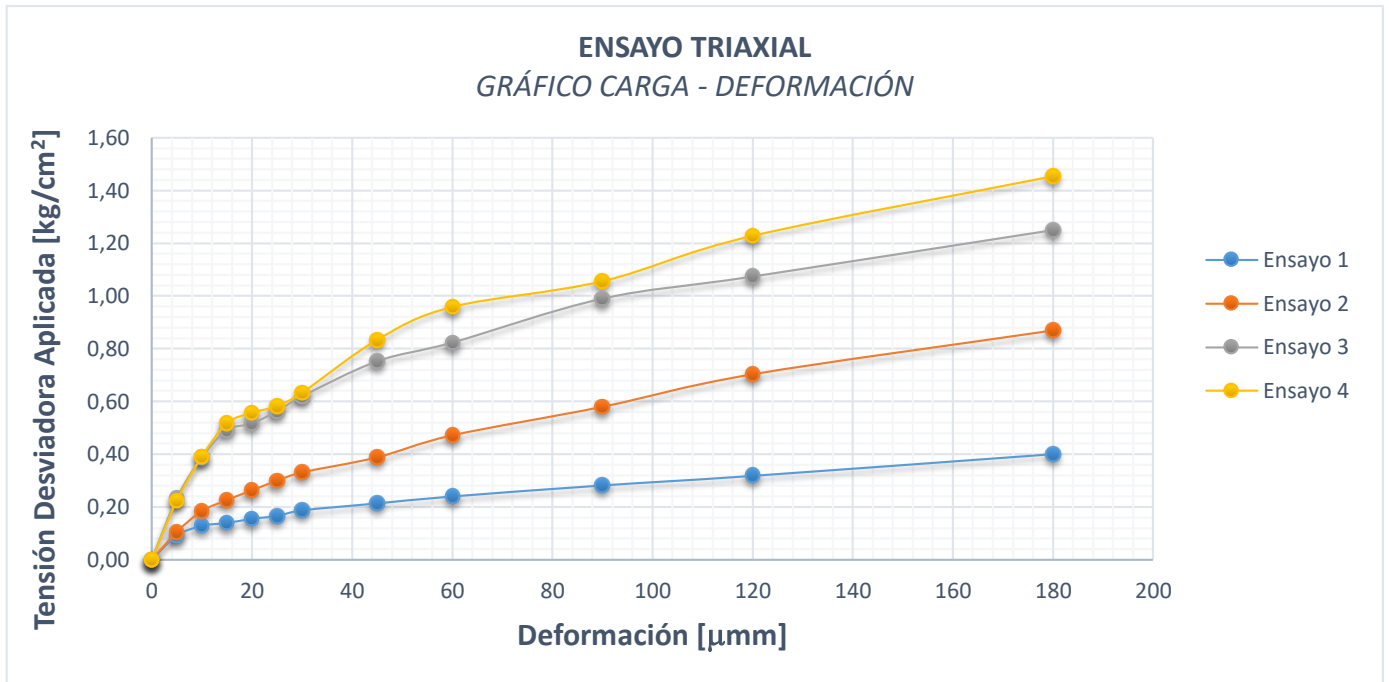


En el gráfico Tensión desviadora aplicada vs Deformación, se observa la misma tendencia presente en las muestras anteriores, con la excepción que, para deformaciones inferiores a 70 μmm , la tensión desviadora en el escalón de 1 kg/cm^2 es superior a la producida en el escalón de 2 kg/cm^2 .

En cuanto al ángulo de fricción interna, la proyección de la recta tangente a los cuatro círculos de Mohr nos permite estimar un **ángulo de 21°**.

6.5.5 Probeta V (85%)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

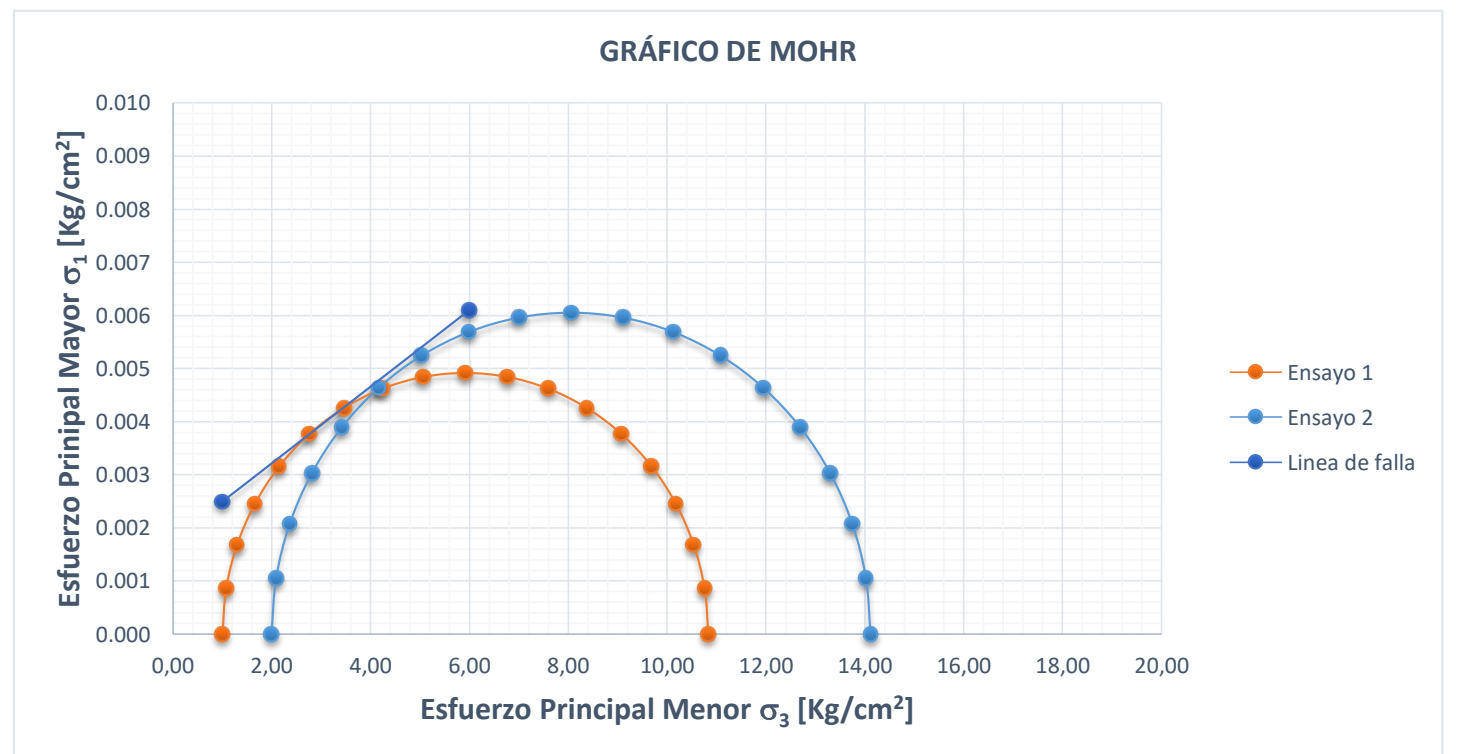
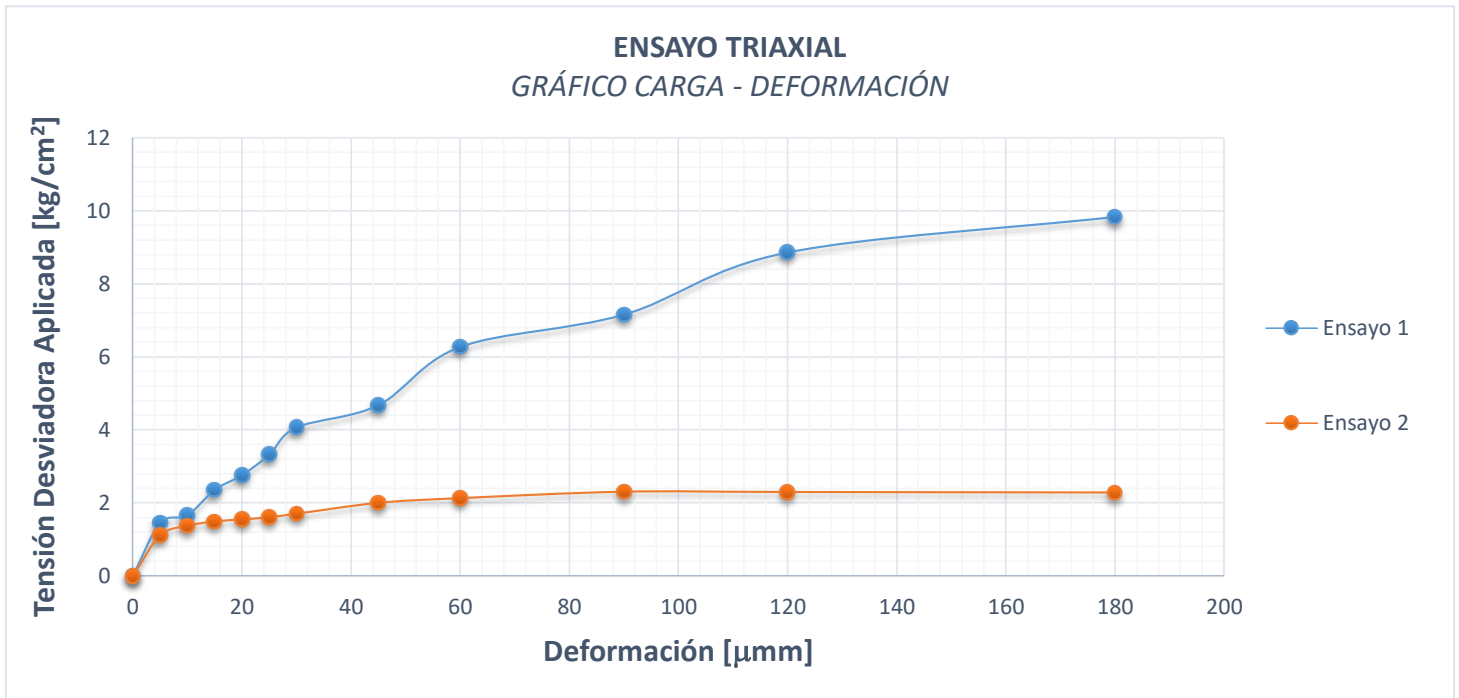


En el primer gráfico, volvemos a la misma tendencia presente en la muestra N°1.

En cuanto al ángulo de fricción interna, la proyección de la recta tangente a los cuatro círculos de Mohr nos permite estimar un **ángulo de 22°**.

6.5.6 Probeta I (100%)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

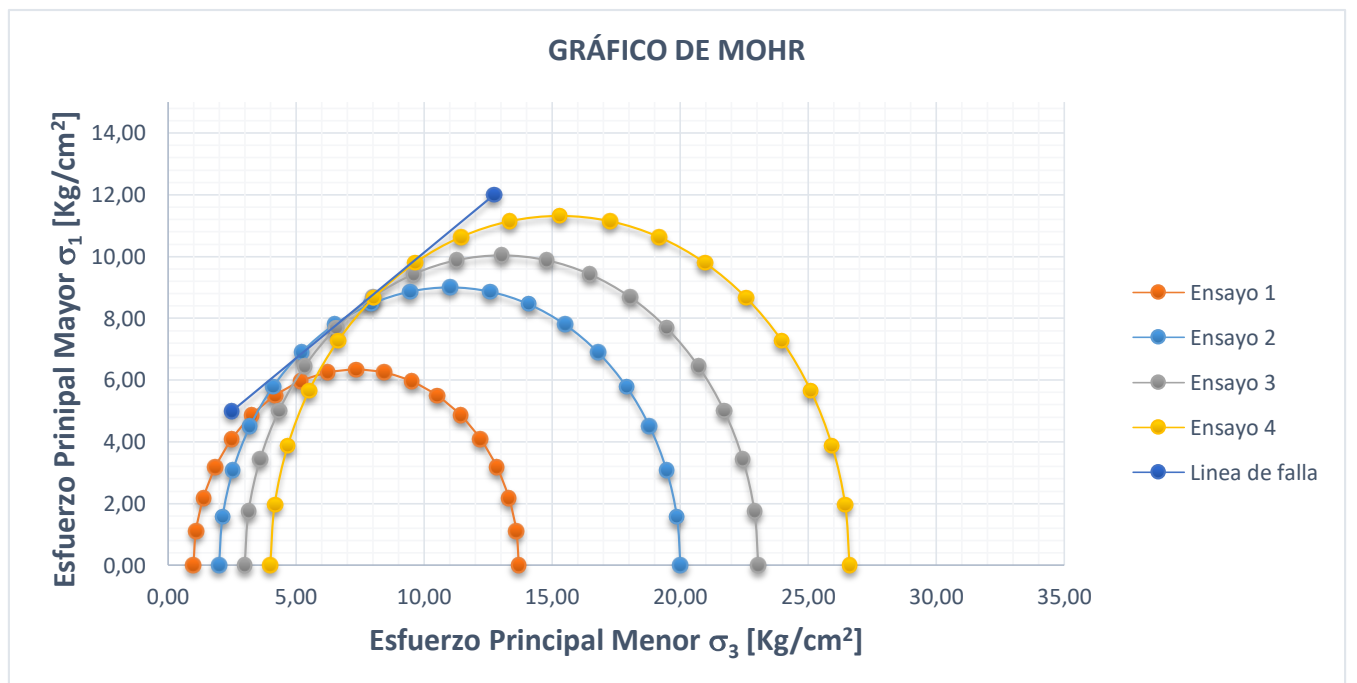
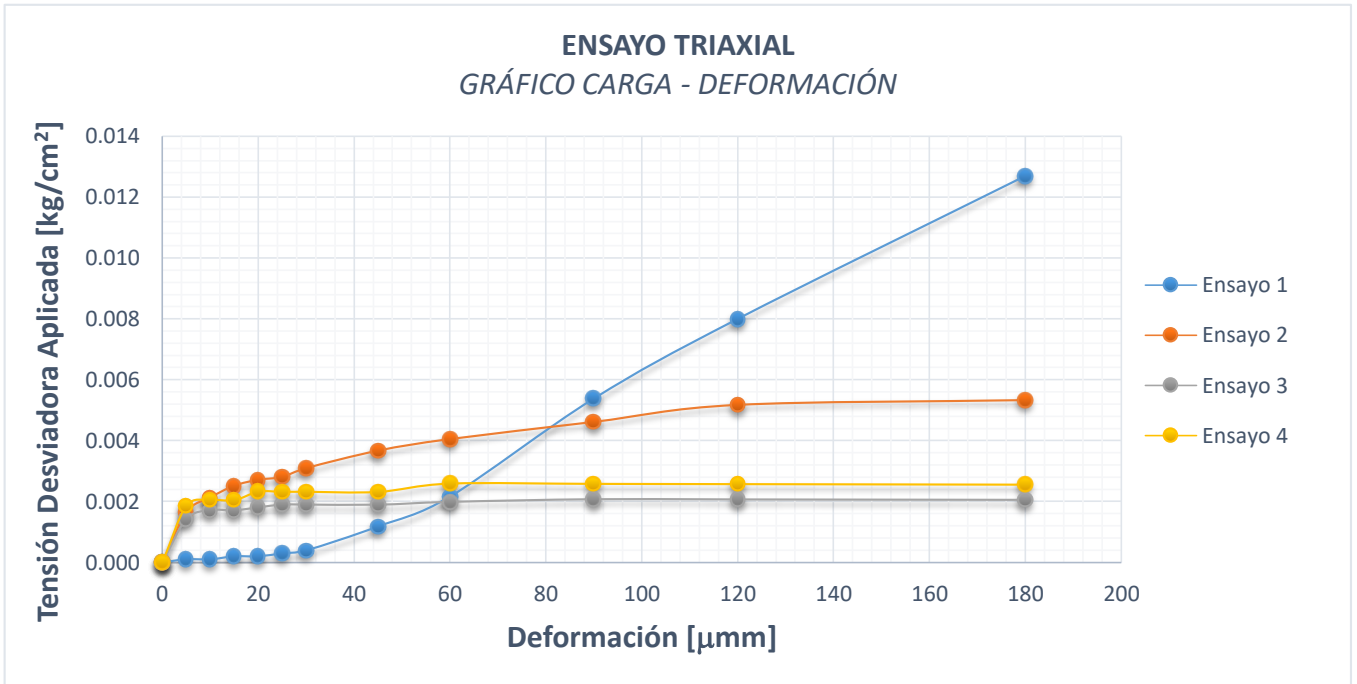


En el primer gráfico, se observa la misma tendencia presente en las muestras anteriores, con la excepción los valores de tensión alcanzados son notoriamente más altos que los obtenidos en el grupo de probetas de 85%.

En cuanto al círculo de Mohr, los círculos trazados permiten proyectar una recta tangente a los cuatro, obteniendo un **ángulo de fricción interna de 36°**, muy superior al rango de valores obtenidos en las anteriores muestras.

6.5.7 Probeta II (100%)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:



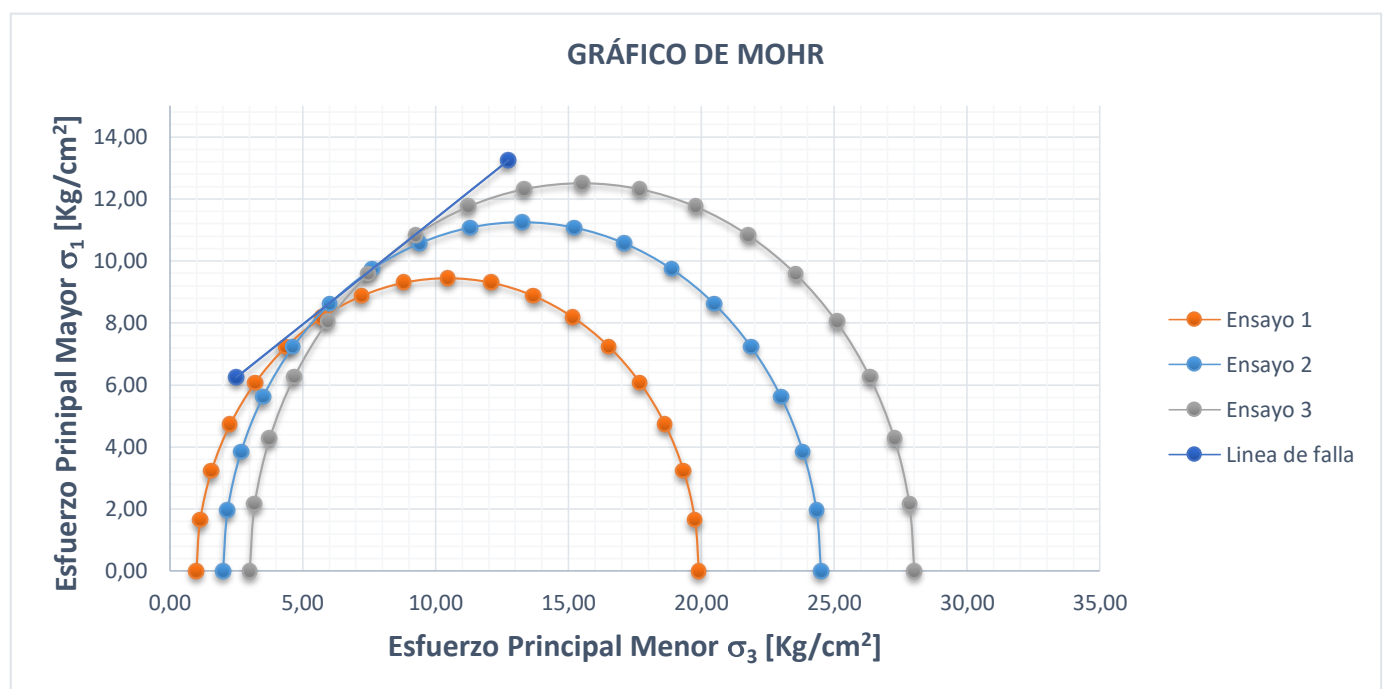
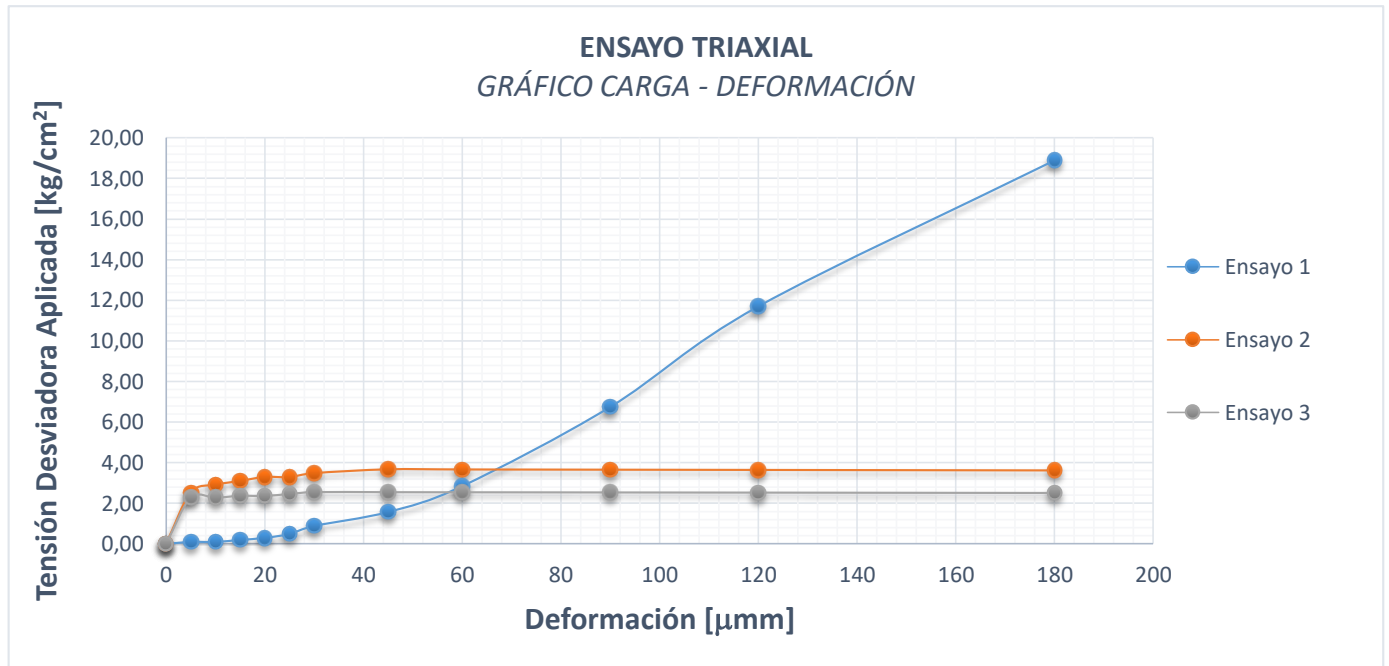
Con respecto al gráfico Tensión desviadora aplicada vs Deformación, se observa la misma tendencia que en el ensayo anterior para los escalones de presión de 2 a 4 kg/cm². En el caso del primer escalón de presión, el mismo presenta valores inferiores de tensión inferiores a las presiones subsiguientes, hasta alcanzar una deformación de 60 µmm, momento en el cual la tensión desviadora se incrementa súbitamente, alcanzando la tendencia vista en las primeras

muestras. Esto puede deberse a que, en este primer escalón de carga, es necesario realizar una precarga de la probeta previa a comenzar a tomar las lecturas correspondientes.

En cuanto al círculo de Mohr, la anomalía anterior se ve reflejada en el hecho de que el círculo correspondiente al primer escalón de presión no permite trazar correctamente una tangente a los 4 círculos. Dicha recta, entonces, fue proyectada tangente a los círculos correspondientes a los restantes escalones de presión, obteniendo un **ángulo de fricción interna de 34°**.

6.5.8 Probeta III (100%)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

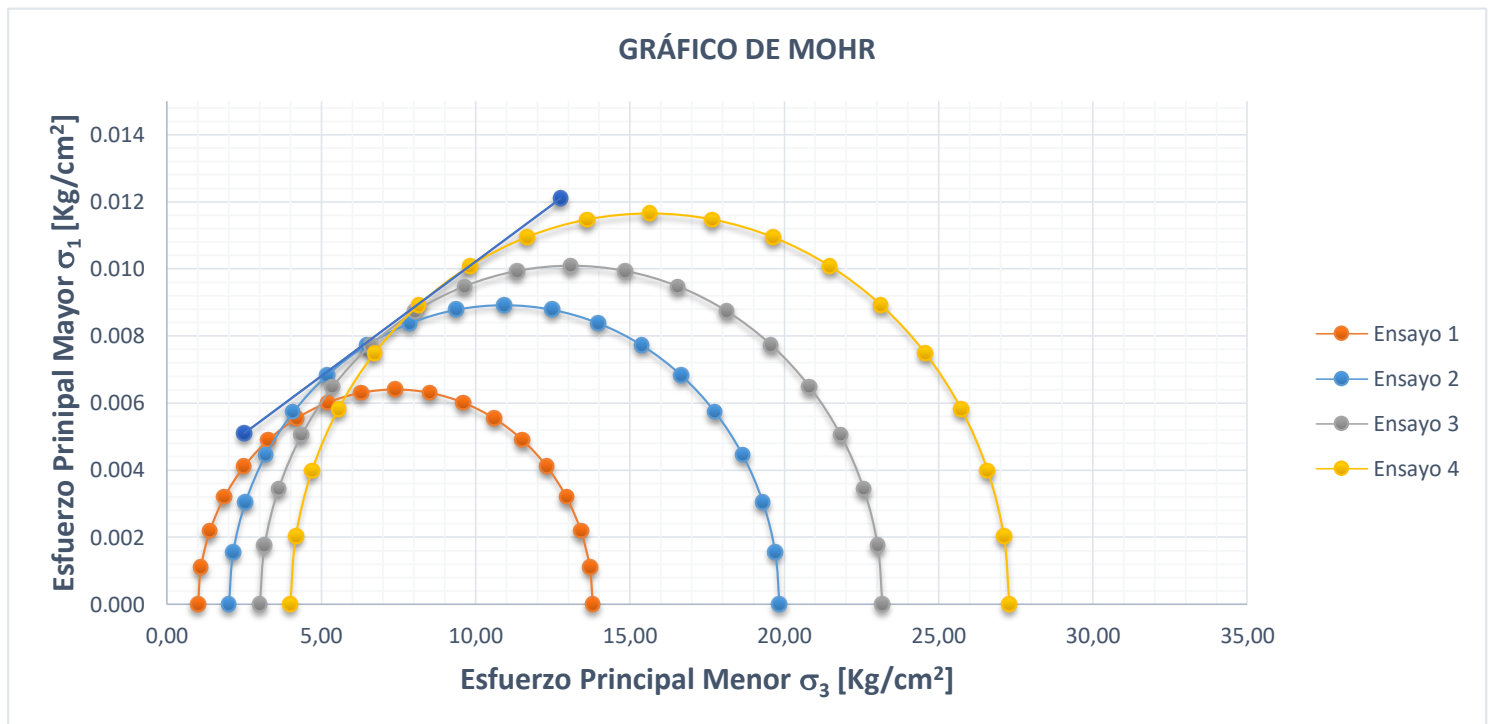
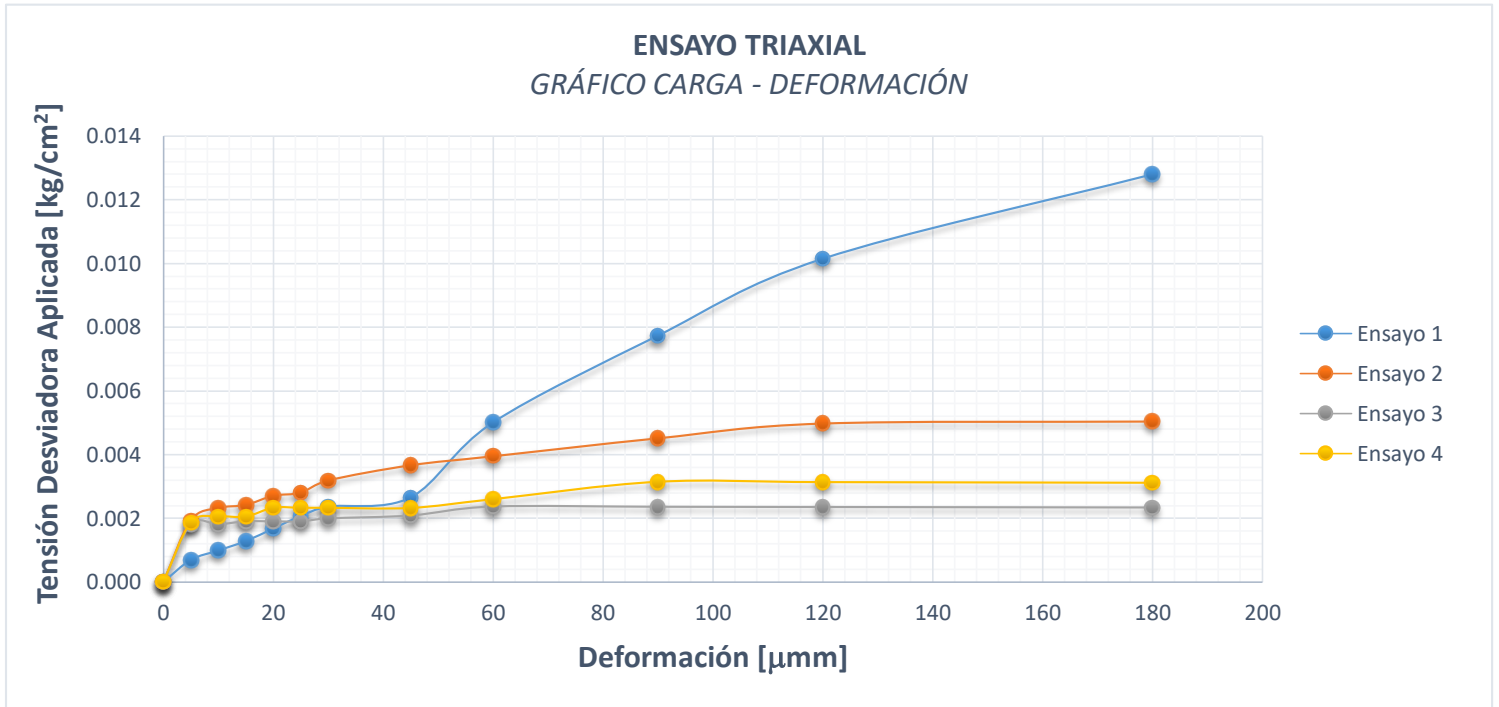


En el primer gráfico, se observa la misma tendencia presente en la muestra anterior (inicio bajo de la tensión desviadora hasta producirse un incremento súbito de la misma).

En cuanto al ángulo de fricción interna, la proyección de la recta tangente a los tres círculos de Mohr nos permite estimar un **ángulo de 34°**.

6.5.9 Probeta IV (100%)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

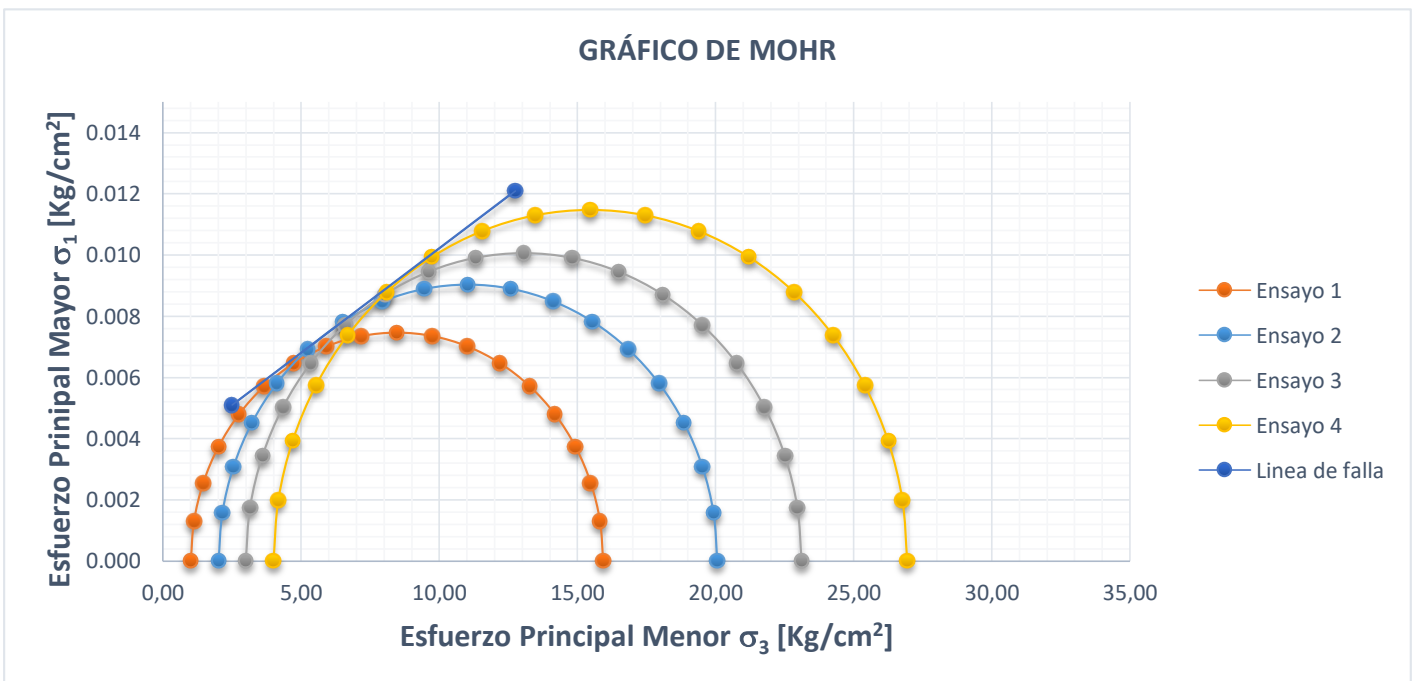
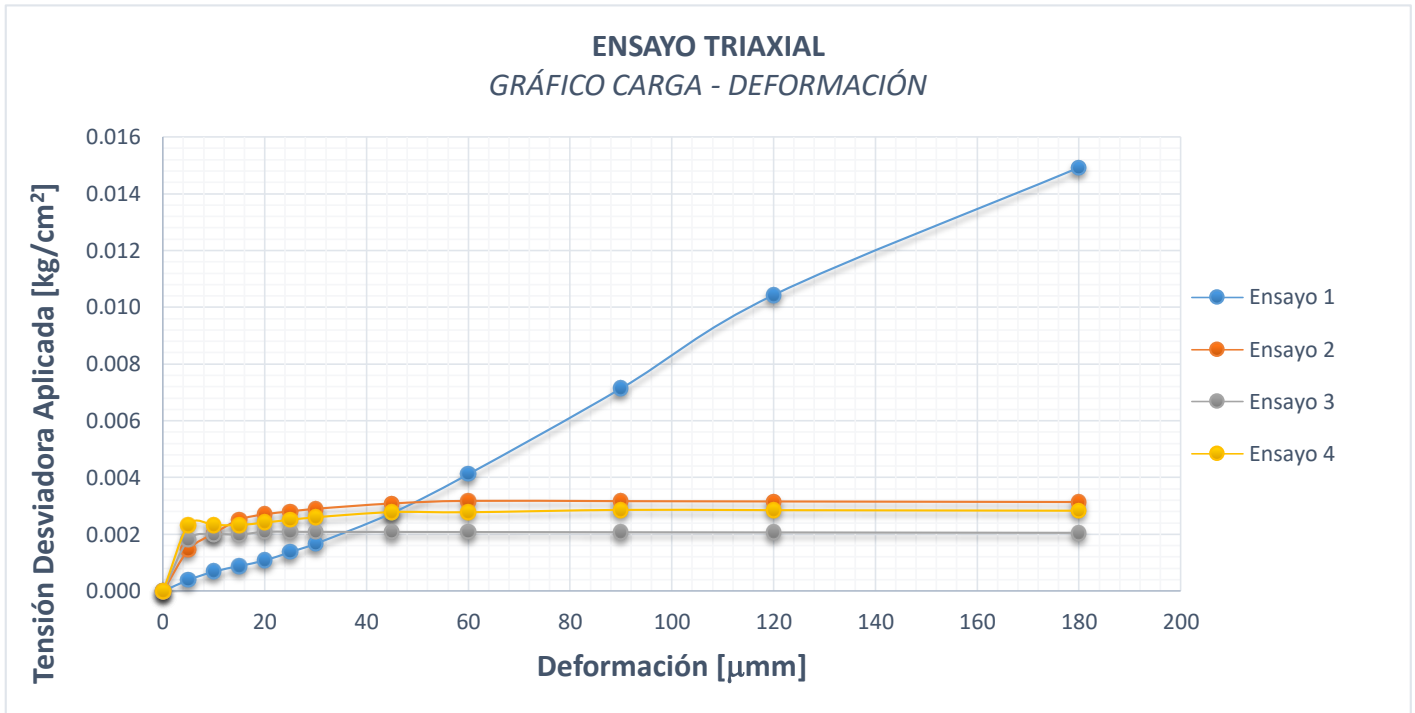


En el gráfico Tensión desviadora aplicada vs Deformación, se observa la misma tendencia presente en las muestras anteriores.

En cuanto al ángulo de fricción interna, debido a la anomalía en el primer escalón de presión, la recta tangente a los círculos fue proyectada en base los círculos correspondientes a los restantes 3 escalones de presión, obteniendo un **ángulo de fricción interna de 34°**.

6.5.10 Probeta V (100%)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:



Nuevamente, en el gráfico Tensión desviadora aplicada vs Deformación, se observa la misma tendencia presente en las muestras anteriores.

En cuanto al ángulo de fricción interna, la proyección de la recta tangente a los cuatro círculos de Mohr nos permite estimar un **ángulo de 34°**.

6.6 Conclusiones sobre la 2^{da} Etapa

Al igual que en la etapa anterior, tras la realización de múltiples pruebas, se pudieron **identificar y arreglar los desperfectos y fugas** presentes en el equipo de trabajo, así como **definir la secuencia de pasos** que resultara ser más eficiente y que permitiera minimizar errores y/o fallidos que pudieran producirse, así como también estandarizar el procedimiento. El mismo se encuentra detallado en el *Anexo – Inciso 13*.

Con respecto a los valores alcanzados en los distintos ensayos, se observó que:

- En el caso del primer grupo de probetas (GCR =85%), **se obtuvo como un ángulo de fricción interna promedio de 22°**, con muy poca dispersión entre los resultados. Cabe señalar que este valor alcanzado, si bien es levemente mayor al esperado, todavía se halla en el rango de lo **esperable para un suelo arcilloso**.
- En el caso del primer grupo de probetas (GCR =100%), **se obtuvo como un ángulo de fricción interna promedio de 34°**, con poca dispersión entre los resultados. El mismo representa un incremento muy superior al esperado con respecto al ángulo del grupo anterior, considerando que la diferencia entre el grado de compactación de ambos conjuntos de probetas no es muy importante. Esto se puede deber a que estas 5 probetas perdieron gran parte de la humedad con la que fueron moldeadas, lo que produjo una pre consolidación por desecación del suelo (lo cual explicaría también el comportamiento frágil que el mismo presenta)

Se **recomendaría proseguir las pruebas con la cámara triaxial**, ejecutando ensayos con distintos grupos de control que abarquen un mayor rango de GCR y se encuentren moldeadas con la misma humedad, a los fines de tener un conocimiento más preciso del comportamiento del suelo y del funcionamiento del equipo triaxial.

Es preciso señalar que **el equipo todavía presenta fallas mínimas (perdidas de presión)**, producto de defectos en las válvulas que forman parte del sistema, aunque las mismas no parecen afectar en gran medida las condiciones del ensayo. También **es posible seguir mejorando el equipo** (por ej., mediante el reemplazo de acoples por piezas más livianas).

Por último, debido a la consistencia observada en los distintos grupos de control conformados **podríamos afirmar que el equipo se halla en condiciones para ejecutar ensayos cuyos resultados no presenten una desviación importante entre sí**.

7. Conclusiones

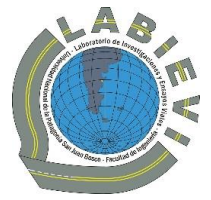
Tras concluir con el presente trabajo de investigación, estamos en condiciones de decir que **los objetivos generales planteados al comienzo del mismo** (Funcionamiento y puesta en marcha de los equipos empleados para la ejecución de Ensayos triaxiales) **han sido alcanzados**.

En primer lugar, se consiguió **identificar y arreglar los desperfectos y fugas** que presentaba en el equipo de trabajo, **poniendo a punto la Cámara triaxial para la ejecución de los ensayos de permeabilidad**. Tras la realización de múltiples pruebas, se logró **establecer un procedimiento estandarizado para dicho ensayo, obteniendo resultados finales coherentes** con los alcanzados empleando el método tradicional con el permeámetro de carga variable.

En cuanto a los ensayos de caracterización, los mismo nos proporcionaron parámetros de interés que nos **permitieron entender el comportamiento que presentaba este tipo de suelo** que fue nuestro objeto de estudio, así como también, en el caso de los ensayos de consolidación, tener una segunda fuente de datos con los cuales comparar los resultados alcanzados en las pruebas de permeabilidad.

Por último, en el caso de los ensayos triaxiales, luego de realizar una seguidilla de ensayos para la puesta a punto el equipo de trabajo, también se logró **establecer un procedimiento estandarizado para dicho ensayo**. A continuación, se procedió con la ejecución de un total de 10 pruebas adicionales, con 2 grupos de probetas idénticas entre sí. En el caso de las 5 probetas con $GCR = 85\%$, los resultados obtenidos no mostraron una gran dispersión, al igual que en el caso de las probetas restantes moldeadas con un $GCR = 100\%$. Por lo tanto, al observarse una consistencia en los resultados obtenidos para las diferentes de condiciones de compactación del suelo, podemos afirmar **que el equipo se encuentra en condiciones para la realización de ensayos triaxiales cuyos resultados sean congruentes entre sí**.

Es posible, en futuras PPS, se pueda profundizar aún más con las pruebas empleando la cámara triaxial, ya sea ensayando otros suelos de distinta naturaleza, grado de compactación y/o condiciones de drenado, incluso teniendo en cuenta y midiendo la presión de poros. También sería ideal poder comparar los resultados obtenidos aquí con los obtenidos empleando equipos más modernos, a los fines de reducir el grado de incertidumbre.

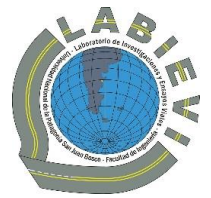


8. Agradecimientos

La realización de mi Práctica Profesional me permitió ganar experiencia en un ámbito laboral, adquiriendo práctica en ensayos y técnicas empleadas en la actualidad. No solamente pude poner en práctica los conocimientos obtenidos durante del cursado de mi carrera de grado, sino que también me brindó la oportunidad de explorar y disfrutar de una rama particular de la Ingeniería Civil, tanto como la ejecución de ensayos como en su faceta de investigación.

En particular quiero agradecer mis tutores: el **Ing. Oscar Moreno**, por el acompañamiento brindado durante el desarrollo de esta Práctica, su predisponían a la hora de realizar ensayos más allá de los abarcados en nuestros objetivos generales y haberme facilitado el acceso a información, contactos y lugares de interés referidos a los temas de estudio; y el **Ing. Alejandro Jones**, quien en su papel de director del LABIEVI me brindó la posibilidad de realizar esta PPS en el laboratorio así como también una primer oportunidad laboral en el ámbito de la Ingeniería.

Finalmente quiero agradecer al resto del equipo del LABIEVI (**Ing. Martín Monsalve y Sres. Javier Aldao y Rubén Mallo**) por toda la asistencia y ayuda brindada para la realización de las pruebas realizadas e incluirme en el grupo de trabajo del que forman parte.



9. Bibliografía

- **Normas AASTHO** de la American Association of State Highway and Transportation Officials
- **Normas ASTM** de la American Society for Testing and Materials
- **Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil** de J. Bowles
- **Normas de Ensayos** de Vialidad Nacional
- **Fundamentos de Ingeniería Geotécnica** de Braja M. Das
- **Geotecnia y cimientos I, 2da Edición** de J. A. Jimenez Salas y J. L. de Justo Alpañes
- **Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones** de George B. Sowers y George F. Sowers
- **Apuntes de Resistencia al corte de suelos** de Ángel O. Lopez
- **Apuntes de Cátedra** de Geotecnia

10. Cronograma de actividades

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS REALIZADAS	DURACIÓN [hs]
Ensayos de permeabilidad mediante Equipo triaxial	<ul style="list-style-type: none"> ● Detección de posibles puntos de fuga de agua y presión ● Moldeo de probetas de suelo para ensayar ● Elaboración de piedras porosas artificiales ● Construcción de un sistema de colocación/succión para la membrana de plástico ● Ensayos de permeabilidad para la calibración y puesta a punto del equipo, empleando las probetas moldeadas ● Análisis crítico de los resultados obtenidos 	60
Análisis granulométrico mediante Método del hidrómetro	<ul style="list-style-type: none"> ● Preparación de las muestras a ensayar y de la solución de Hexametáfosfato de sodio ● Ejecución del ensayo, empleando ambos hidrómetros para una posterior comparación ● Tamizado del suelo en suspensión ● Análisis de los resultados obtenidos 	9
Determinación de Límites de Atterberg	<ul style="list-style-type: none"> ● Ejecución del ensayo de Límite de contracción ● Ejecución del ensayo de Límite líquido ● Ejecución del ensayo de Límite plástico 	12
Ensayo de hinchamiento y Valor Soporte	<ul style="list-style-type: none"> ● Cálculo de la energía de compactación y el N° de golpes a emplear ● Preparación del suelo a ensayar ● Preparación de equipo para captura de datos del ensayo ● Moldeo de probetas de suelo e inmersión en agua para medición de hinchamiento ● Ejecución del ensayo de Valor Soporte Relativo (VSR) 	21
Ensayo de consolidación (Expansión libre)	<ul style="list-style-type: none"> ● Acondicionamiento del equipo empleado para el ensayo ● Preparación del suelo a ensayar con diferentes grados de consistencia ● Ejecución del ensayo de consolidación 	27
Ensayos triaxiales	<ul style="list-style-type: none"> ● Elaboración de probetas para ensayos de calibración ● Detección de posibles puntos de fuga de agua y presión ● Ensayos triaxiales para la calibración y puesta a punto del equipo, empleando las probetas moldeadas y modificando las condiciones de ensayo ● Elaboración de probetas para ensayos definitivos ● Ensayos triaxiales de 2 grupos de probetas con diferentes condiciones de compactabilidad y humedad ● Análisis crítico de los resultados obtenidos 	82

ANEXOS

1. Procedimiento para la determinación de Límites de Atterberg

1.1 Objetivo

Establecer una metodología para la determinación de los 3 de los Límites de Atterberg (Líquido, Plástico y de Contracción) necesarios para la identificación y caracterización de un suelo.

1.2 Equipo

- Cápsulas de evaporación de porcelana
- Cascador de Casagrande + Acanalador
- Espátula
- Placa de acrílico transparente
- Moldes metálicos (Cápsulas de contracción)
- Recipiente volumétrico de vidrio
- Cápsula de vidrio
- Placa de vidrio con puntas metálicas para enrase
- Embudo de vidrio
- Pesafiltros
- Estufa eléctrica
- Balanza electrónica
- Pizeta con agua común o destilada
- Vaselina

1.3 Pasos

1.3.1 *Determinación del Límite líquido*

- 1) Colocar aprox. 250 g de suelo en una cápsula y, tras añadir una pequeña cantidad de agua, mezclar cuidadosamente hasta obtener una masa de consistencia cremosa y color uniforme. Se continúa añadiendo agua adicional y mezclando hasta obtener una mezcla homogénea.
- 2) Una vez alcanzado un punto de consistencia que se considere, colocar dentro de la cazuela del cascador de Casagrande una pequeña cantidad de suelo hasta la profundidad adecuada para la ranuradora, utilizando una espátula para enrasar la superficie.



Figura 39: Muestra de suelo enrasada en el cascador de Casagrande

- 3) Dividir la pasta de suelo pasando el acanalador cuidadosamente a lo largo del diámetro que pasa por el eje de simetría de la taza, manteniéndolo perpendicular a la superficie interior de la taza, de modo que se forme una ranura clara y bien delineada de las dimensiones especificadas.



Figura 40: Muestra de suelo acanalada sobre el cascador, lista para golpear

- 4) Gire la manivela levantando y dejando caer la cazuela con una frecuencia de dos golpes por segundo, hasta que las paredes de la ranura entren en contacto en el fondo del surco a lo largo de un tramo de 10 mm; si el cierre de la ranura es irregular, descarte el resultado. Registre el número de golpes obtenido (N).
- 5) Retirar el material del cascador y colocarlas en un pesafiltro, pesando el conjunto y registrando el resultado.
- 6) Introducir la muestra en la estufa eléctrica, manteniendo la temperatura constante entre 105 y 110° hasta obtener un peso constante (24 horas).
- 7) Retirar la muestra del horno, pesando el conjunto y registrando el resultado.

1.3.2 Determinación del Límite plástico

- 1) Tomar una porción de la muestra ensayada para límite líquido y amasarla con las manos para que la misma pierda humedad pero sin que la misma quede totalmente seca.
- 2) Posteriormente, hacer rodar la muestra sobre la placa de acrílico, ejerciendo una leve presión con la palma hasta conformar un cilindro, manteniendo un ángulo 45° entre la mano y la muestra, con tal de mantener una presión uniforme en toda la zona de contacto.
- 3) Si el cilindro alcanzara un diámetro de aprox. 3 mm pero no se presentase grietas o fisuras, se debe volver a amasar nuevamente la muestra y conformar un nuevo cilindro.
- 4) Repetir la operación, manteniendo la velocidad y la presión de amasado, hasta que se note la formación de grietas/fisuras y el cilindro se disgregue al llegar a un diámetro de aprox. 3 mm.



Figura 41: Cilindro amasado de suelo húmedo, ya presentando unas pocas fisuras o grietas

- 5) Reunir las fracciones del cilindro disgregado y colocarlas en un pesafiltro, pesando el conjunto y registrando el resultado.
- 6) Introducir la muestra en la estufa eléctrica, manteniendo la temperatura constante entre 105 y 110° hasta obtener un peso constante (24 horas).
- 7) Retirar la muestra del horno, pesando el conjunto y registrando el resultado.

1.3.3 Determinación del Límite de contracción

- 1) Tome alrededor de 100 g de suelo del material representativo (Pasante Tamiz N° 40), y mezclarlo cuidadosamente con agua común hasta lograr una pasta cremosa de mucha fluidez. La consistencia del suelo debería obtenerse utilizando un contenido de humedad cercana o inferior al límite líquido del suelo.



Figura 42: Consistencia de suelo para Ensayo de contracción

- 2) Tomar una de las cápsulas metálicas de contracción y pesarla en la balanza electrónica, registrando el resultado.
- 3) Sobre una bandeja metálica, llenar la cápsula con mercurio hasta que se derrame ligeramente. El enrasado se realiza utilizando la placa de vidrio, presionando la misma sobre

la superficie libre del metal líquido, permitiendo que el excedente se derrame sobre la bandeja.



Figura 43: Capsula metálica + Mercurio enrasado

- 4) Pesar el conjunto Cápsula + Mercurio, registrando el resultado.



Figura 44: Pesada de conjunto Cápsula + Mercurio

- 5) Vaciar el mercurio contenido en la capsula sobre la bandeja metálica. A continuación, con ayuda del embudo de vidrio, re-introducir el líquido metálico en su correspondiente recipiente.
- 6) Recubrir ligeramente el interior de la cápsula de contracción con vaselina para prevenir que el suelo se adhiera al recipiente y/o se formen grietas durante el secado.
- 7) Llenar aproximadamente un 1/3 del molde con el suelo húmedo preparado anteriormente, dando al finalizar golpes suaves sobre una base firme para permitir el suelo fluya dentro del recipiente y evitar la presencia de burbujas de aire, las cuales producirían oquedades durante el secado. Repetir el proceso hasta completar el volumen de la cápsula, enrasando cuidadosamente el suelo con la ayuda de la espátula.



Figura 46: Colocación de suelo en la capsula (Izq.) y golpeo para evitar oquedades (der.)

- 8) Pesar el conjunto Cápsula + Suelo húmedo, registrando el resultado.



Figura 45: Pesaje del conjunto Suelo húmedo + Capsula

- 9) Secar al aire en el laboratorio la muestra de suelo ("galleta") hasta que su superficie cambie a un color muy claro (de 6 a 8 horas).

Este proceso reduce la posibilidad de la formación de grandes grietas de contracción en el suelo debidos a la rápida pérdida de humedad y evita la pérdida de suelo dentro del horno debido a la posibilidad de "ebullición" del suelo.

- 10) Introducir la muestra en la estufa eléctrica, manteniendo la temperatura constante entre 105 y 110° hasta obtener un peso constante (de 12 a 18 horas).
- 11) Retirar la muestra del horno, pesando el conjunto Cápsula + Suelo seco y registrando el resultado.



Figura 47: "Galletas de suelo" luego del secado en horno

- 12) Pesarla la cápsula de vidrio en la balanza electrónica, registrando el resultado.
- 13) Sobre una bandeja metálica, llenar el recipiente volumétrico de vidrio con mercurio, realizando el enrase de forma idéntica a la efectuada para la cápsula de contracción y retirando el excedente de la bandeja.



Figura 48: Enrase del recipiente volumétrico con mercurio

- 14) Depositar la "galleta" de suelo seco sobre la superficie libre de mercurio. Con la ayuda de la placa de vidrio, sumergir completamente la muestra de material apoyando sobre la misma las puntas de la placa hasta que ésta tope firmemente contra el borde de la taza, enrasando el recipiente.



Figura 49: Inmersión de la "galleta" de suelo en mercurio y enrasado

- 15) Retirar cuidadosamente el Recipiente + Galleta y, con ayuda del embudo de vidrio, depositar el mercurio excedente de la bandeja dentro de la capsula de vidrio, pesando el conjunto Cápsula + Mercurio y registrando el resultado.
- 16) Con ayuda del embudo de vidrio, re-introducir todo el mercurio utilizado en su correspondiente recipiente.

1.4 Cálculos posteriores

1.4.1 Límite líquido

Por diferencia de pesos, se determinan el peso seco, húmedo y del agua de cada muestra, además de la humedad de la misma:

$$\begin{aligned}P_{sh} &= P_{sh+PF} - P_{PF} \\P_{ss} &= P_{ss+PF} - P_{PF} \\P_w &= P_{sh} - P_{ss} \\w_n (\%) &= \frac{P_w}{P_h} \cdot 100 \quad (22)\end{aligned}$$

El **límite líquido** puede establecerse a partir de la siguiente ecuación:

$$LL = \frac{w_n (\%)}{1,419 - 0,3 \cdot \log N} \quad (23)$$

Donde:

- w_n es la humedad de la muestra, previamente calculada
- N es el N° de golpes

1.4.2 Límite plástico e Índice de plasticidad

El **límite plástico** corresponde al porcentaje de humedad de la muestra una vez concluido el ensayo y se lo calcula como:

$$\begin{aligned}P_{sh} &= P_{sh+PF} - P_{PF} \\P_{ss} &= P_{ss+PF} - P_{PF} \\P_w &= P_{sh} - P_{ss} \\LP &= \frac{P_w}{P_{sh}} \cdot 100 \quad (24)\end{aligned}$$

Por otro lado, el **Índice de plasticidad** se calcula como:

$$IP = LL - LP \quad (25)$$

1.4.3 Límite de contracción

Tanto el **volumen** de la **cápsula de contracción** y de la **“galleta” seca** se calculan en función del mercurio desplazado y de la densidad del mismo:

$$V = P_{Hg \text{ desplazado}} \cdot \gamma_{Hg} \quad (26)$$

El **límite de contracción** se calcula como:

$$LC = w_0(\%) - P_w \text{ perdida} \cdot \gamma_w \cdot 100 = w_0(\%) - \frac{V_{cap} - V_{ss}}{P_{ss}} \cdot \gamma_w \cdot 100 \quad (27)$$

La **relación de contracción** se calcula como:

$$RC = \frac{P_{ss}}{V_{ss}} \cdot \gamma_w \quad (28)$$

El **volumen de agua intersticial** se calcula como:

$$V_{w \text{ intersticial}} = \frac{LC}{100} \cdot P_{ss} \quad (29)$$

El **volumen de sólidos** se calcula como:

$$V_{sólidos} = V_{ss} - V_{w \text{ intersticial}} \quad (30)$$

El **peso específico de los sólidos** se calcula como:

$$G_s = \frac{P_{ss}}{V_{sólidos}} \quad (31)$$

La **porosidad** se calcula como:

$$\eta = \left(1 - \frac{D_s}{G_s}\right) \cdot 100 \quad (32)$$

El **volumen de vacíos** se calcula como:

$$V_{vacíos} = \frac{\eta}{100} \cdot V_{cap} \quad (33)$$

El **grado de saturación** se calcula como:

$$S = \frac{V_{w \text{ perdida}}}{V_{vacíos}} \cdot 100 \quad (34)$$

2. Procedimiento para Análisis granulométrico mediante Hidrómetro

2.1 Objetivo

Establecer un método para determinar el tamaño, tipo y proporción de partículas de pequeñas dimensiones dentro del conjunto de las que integran la masa de suelo. A partir de estos resultados, se inferirá el Grado de Actividad Superficial del suelo en análisis.

2.2 Equipo

- Hidrómetros 151 H y 152 H
- Probetas de 1000 ml de vidrio Pirex
- Vaso de precipitados de 500 ml
- Mortero
- Pizeta con agua común o destilada
- Hexametáfosfato de sodio (NaPO_3)
- Manguera de látex para lavado
- Tamiz N°200 + Tapa de fondo
- Mezclador eléctrico, junto con su vaso metálico
- Termómetro de mercurio o digital
- Estufa eléctrica
- Balanza electrónica

2.3 Pasos

Los pasos descriptos a continuación corresponden al ensayo de **un solo hidrómetro**:

2.3.1 *Preparación de la suspensión de suelo*

- 1) Se pesan 50 g de suelo y se lo mete en la estufa de secado a 105°C por 30 minutos.
- 2) Luego de retirar la muestra del suelo de la estufa, se procede a pulverizarlo con ayuda de un mortero hasta obtener un tamaño de partículas finas relativamente uniforme a simple vista.
- 3) Se prepara en un vaso de precipitados una solución al 4 % de NaPO_3 , mezclando 5 g de material con suficiente agua hasta completar 125 ml.



Figura 11: Muestra de suelo seco y pulverizado

- 4) Se mezcla la muestra de suelo triturado con la solución preparada, dejándola asentar por 16 horas o más.

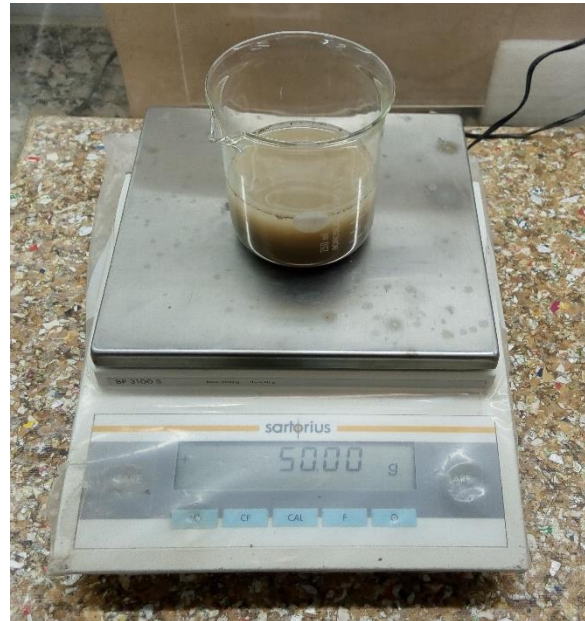
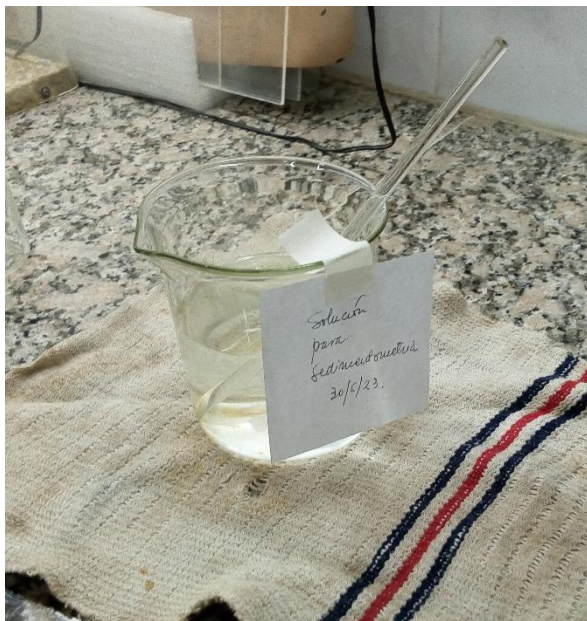


Figura 12: Solución de tetrafosfato de sodio (izq.) y mezcla de la solución con el suelo pulverizado (der.)

- 5) Transferir la mezcla al vaso del mezclador eléctrico y añadir agua común hasta llenar 2/3 del vaso, limpiando el vaso de precipitados con la pizeta.
- 6) Mezclarlo por espacio de 1 minuto si se emplearon entre 10 y 16 horas en la preparación de la muestra, de lo contrario mezclarlo entre 3 y 5 minutos.



Figura 13: Vaso del mezclador cargado (izq.) y mezcladora en funcionamiento (der.)

2.3.2 Comienzo del ensayo

- 1) Transferir el contenido del vaso de la batidora a un cilindro de sedimentación, teniendo mucho cuidado de no perder material en el proceso, limpiando el vaso con la pizeta.
- 2) Añadir agua común hasta completar la marca de 1000 ml de la probeta.
- 3) Preparar el cilindro patrón de control con agua común y 125 ml de la solución de dispersante al 4%. Verificar mediante el termómetro que la temperatura del agua común sea igual para ambos cilindros, el de sedimentación y el de control.
- 4) Tomar un tapón de caucho N°12 (usar la palma de la mano si no hay un tapón disponible) para tapar la boca del cilindro donde se encuentra la suspensión de suelo y agitarla cuidadosamente por cerca de un minuto.
- 5) Poner sobre la mesa el cilindro, remover el tapón, inmediatamente insertar el hidrómetro y tomar lecturas con los siguientes intervalos de tiempo: 1', 2', 5', 15', 30', 1 hora, 4 horas y 10 minutos, y 24 horas, junto con sus respectivas temperaturas de lectura. Todas las lecturas se deben tomar desde la **parte superior del menisco** en ambas probetas tanto el patrón (con agua clara) como el que contiene la suspensión de suelo-agua (agua turbia).

En la medida que transcurre el ensayo se vuelcan en la siguiente planilla los valores referidos a Fecha/hora, tiempo transcurrido, temperatura y lectura en el hidrómetro:



Figura 14: Probetas de control y con la suspensión de suelo para H-151 (izq.) y Probetas de control y con la suspensión de suelo para H-152 (der.)

Fecha	Hora de Lectura	Tiempo Transcurrido (min)	Temperatura (°C)	Lectura en el Hidrómetro <i>R</i>	Factores de Corrección x		Valor de Profundidad Efectiva <i>L</i>	Diámetro (mm)	Porcentaje que pasa el Diámetro (%)
					Gravedad Específica <i>G_s</i> <i>a</i>	Gravedad Específica y Temperatura <i>K</i>			

2.3.3 Finalización del ensayo y Tamizado de la muestra

- 1) Concluido el ensayo, se retira el hidrómetro de la probeta, limpiando con ayuda de la pizeta cualquier fino que se hubiera quedado adherido a su superficie y vertiendo el resultado dentro de la probeta.
- 2) Verter cuidadosamente el contenido de la probeta sobre el tamiz N°200, el cual se encuentra dentro de una pileta de fregadero.
- 3) En el caso de quedar sedimentos dentro de la probeta, emplear la pizeta o la manguera de látex de lavado (conectada previamente a la canilla de agua) para retirar todo el material del recipiente.
- 4) Se procede al tamizado por vía húmeda de la muestra, pasando de forma reiterada y suavemente un chorro de agua a baja presión para favorecer el paso a través de la malla de las partículas coloidales presentes en la suspensión.



Figura 15: Tamizado por vía húmeda de la muestra de suelo

- 5) Una vez que no se observe más pérdida de material coloidal a través del tamiz, se vuelca el contenido del mismo en una bandeja, limpiando con agua cualquier residuo remanente en la malla y vertiéndolo a la bandeja.
- 6) Se lleva la muestra a la estufa y se la deja secar a 105°C por 30 minutos.

7) Se retira la muestra de la estufa y se procede al tamizado en seco en el Tamiz N°200.



Figura 16: Tamizado en seco de la muestra de suelo

8) Se pesa en la balanza el retenido del material en el tamiz.

2.4 Cálculos posteriores

2.4.1 Determinación del diámetro de la partícula sedimentada

Para poder calcular el diámetro de la partícula que sedimenta en un intervalo de tiempo dado, se recurre a la Ecuación (4). En primer lugar, se estima el factor de corrección K en función de la gravedad específica de la suspensión y de la temperatura a la que se encuentra, ingresando a la siguiente tabla:

Temperature deg C	Specific Gravity of Soil Particles								
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.004838	0.004759	0.004683	0.004607	0.004538	0.004471	0.004408	0.004345	0.004288
17	0.004778	0.004699	0.004623	0.004551	0.004481	0.004415	0.004351	0.004288	0.004231
18	0.004718	0.004639	0.004563	0.004494	0.004424	0.004358	0.004298	0.004234	0.004177
19	0.004661	0.004582	0.004506	0.004437	0.004370	0.004304	0.004244	0.004184	0.004127
20	0.004604	0.004525	0.004452	0.004383	0.004317	0.004250	0.004190	0.004133	0.004076
21	0.004547	0.004471	0.004399	0.004329	0.004263	0.004200	0.004139	0.004083	0.004026
22	0.004494	0.004418	0.004345	0.004279	0.004212	0.004149	0.004092	0.004035	0.003978
23	0.004440	0.004367	0.004294	0.004228	0.004165	0.004101	0.004045	0.003988	0.003931
24	0.004389	0.004317	0.004244	0.004177	0.004114	0.004054	0.003997	0.003940	0.003886
25	0.004339	0.004266	0.004196	0.004130	0.004067	0.004007	0.003950	0.003896	0.003842
26	0.004291	0.004218	0.004149	0.004083	0.004022	0.003962	0.003905	0.003852	0.003798
27	0.004244	0.004171	0.004101	0.004038	0.003978	0.003918	0.003861	0.003807	0.003757
28	0.004196	0.004124	0.004057	0.003997	0.003934	0.003875	0.003820	0.003766	0.003716
29	0.004149	0.004079	0.004013	0.003950	0.003890	0.003833	0.003779	0.003725	0.003675
30	0.004105	0.004035	0.003972	0.003909	0.003848	0.003792	0.003738	0.003684	0.003633

Figura 17: Valores de K en función de la temperatura y la gravedad específica de las partículas de suelo

A continuación se procede a determinar el valor de profundidad efectiva en función de la lectura obtenida para cada hidrómetro, empleando la siguiente tabla:

Hydrometer 151 H		Hydrometer 152 H			
Actual Hydrometer Reading	Effective Depth, L, mm	Actual Hydrometer Reading	Effective Depth, L, mm	Actual Hydrometer Reading	Effective Depth, L, mm
1.000	163	0	163	31	112
1.001	160	1	161	32	111
1.002	158	2	160	33	109
1.003	155	3	158	34	107
1.004	152	4	156	35	106
1.005	150	5	155		
1.006	147	6	153	36	104
1.007	144	7	152	37	102
1.008	142	8	150	38	101
1.009	139	9	148	39	99
1.010	137	10	147	40	97
1.011	134	11	145	41	96
1.012	131	12	143	42	94
1.013	129	13	142	43	92
1.014	126	14	140	44	91
1.015	123	15	138	45	89
1.016	121	16	137	46	88
1.017	118	17	135	47	86
1.018	115	18	133	48	84
1.019	113	19	132	49	83
1.020	110	20	130	50	81
1.021	107	21	129	51	79
1.022	105	22	127	52	78
1.023	102	23	125	53	76
1.024	100	24	124	54	74
1.025	97	25	122	55	73
1.026	94	26	120	56	71
1.027	92	27	119	57	70
1.028	89	28	117	58	68
1.029	86	29	115	59	66
1.030	84	30	114	60	65
1.031	81				
1.032	78				
1.033	76				
1.034	73				
1.035	70				
1.036	68				
1.037	65				
1.038	62				

Figura 18: Valores de profundidad efectiva en función de la lectura en los hidrómetros

Con todos los datos ya definidos, se calcula el diámetro D.

2.4.2 Determinación del porcentaje de finos < 0,002 mm

El **porcentaje de arcillas (material más fino que 2 μ)** puede calcularse por simple proporción (si $G_s = 2,65$) para el caso del hidrómetro 152 H como:

$$P = \frac{R_c \cdot a}{w} \cdot 100 \quad (35)$$

Mientras que para el caso del hidrómetro 151 H se calcula como:

$$P = \frac{1600 \cdot (R_c - 1) \cdot a}{w} \cdot 100 \quad (36)$$

Donde:

- R_c son los gramos de suelo en suspensión en un tiempo t dado, en g.
- w es el peso original de suelo colocado en la suspensión, en g.
- a es una constante que depende de la densidad de la suspensión la cual puede calcularse como:

$$a = \frac{G_s \cdot 1,65}{(G_s - 1) \cdot 2,65} \quad (37)$$

2.4.3 Determinación del Índice de actividad del suelo

El **grado de actividad del suelo** se calcula como:

$$A = \frac{IP}{\% \text{ de arcillas}} \quad (38)$$

Donde:

- IP es el índice de plasticidad del suelo
- $\%$ de arcillas es el porcentaje en peso de material fino

3. Resultados obtenidos en los Ensayos hidrométricos

HIDRÓMETRO 151 H

Peso Seco de suelo empleado:	50	gr
Gravedad Específica de los Sólidos:	2,66	gr/cm ³
Fecha de inicio del Ensayo:	31/5/2023	
Hora de Inicio del Ensayo:	08:52:00	

Fecha	Hora de Lectura	Tiempo Transcurrido (min)	Temperatura (°C)	Lectura en el Hidrómetro <i>R</i>	Factores de Corrección por		Valor de Profundidad Efectiva <i>L</i>	Diámetro (mm)	Porcentaje que pasa el Diámetro (%)
					Gravedad Específica <i>G_s</i> <i>a</i>	Gravedad Específica y Temperatura <i>K</i>			
31/5/2023	08:53:00	1	19	1,024	0,9977	0,004363	100	0,0436	76,9
31/5/2023	08:54:00	2	19	1,023	0,9977	0,004363	102	0,0312	73,7
31/5/2023	08:57:00	5	19	1,022	0,9977	0,004363	105	0,0200	70,5
31/5/2023	09:07:00	15	19	1,020	0,9977	0,004363	110	0,0118	64,1
31/5/2023	09:22:00	30	19	1,019	0,9977	0,004363	113	0,0085	60,9
31/5/2023	09:52:00	60	19	1,017	0,9977	0,004363	118	0,0061	54,5
31/5/2023	13:02:00	250	21	1,014	0,9977	0,004255	126	0,0030	44,9
1/6/2023	08:52:00	1440	20	1,012	0,9977	0,004306	131	0,0013	38,5

HIDRÓMETRO 152 H

Peso Seco de suelo empleado:	50	gr
Gravedad Específica de los Sólidos:	2,66	gr/cm ³
Fecha de inicio del Ensayo:	31/5/2023	
Hora de Inicio del Ensayo:	09:13:00	

Fecha	Hora de Lectura	Tiempo Transcurrido (min)	Temperatura (°C)	Lectura en el Hidrómetro <i>R</i>	Factores de Corrección por		Valor de Profundidad Efectiva <i>L</i>	Diámetro (mm)	Porcentaje que pasa el Diámetro (%)
					Gravedad Específica <i>G_s</i> <i>a</i>	Gravedad Específica y Temperatura <i>K</i>			
31/5/2023	09:14:00	1	19	37	0,9977	0,004363	102	0,0441	73,8
31/5/2023	09:15:00	2	19	36	0,9977	0,004363	104	0,0315	71,8
31/5/2023	09:18:00	5	19	34	0,9977	0,004363	107	0,0202	67,8
31/5/2023	09:28:00	15	19	32	0,9977	0,004363	111	0,0119	63,9
31/5/2023	09:43:00	30	19	31	0,9977	0,004363	112	0,0084	61,9
31/5/2023	10:13:00	60	19	29	0,9977	0,004363	115	0,0060	57,9
31/5/2023	13:23:00	250	21	22	0,9977	0,004255	127	0,0030	43,9
1/6/2023	09:13:00	1440	20	17	0,9977	0,004306	135	0,0013	33,9

HIDRÓMETRO 151 H

Peso Seco de suelo empleado:	50	gr
Gravedad Específica de los Sólidos:	2,66	gr/cm ³
Fecha de inicio del Ensayo:	1/6/2023	
Hora de Inicio del Ensayo:	08:54:00	

Fecha	Hora de Lectura	Tiempo Transcurrido (min)	Temperatura (°C)	Lectura en el Hidrómetro <i>R</i>	Factores de Corrección por		Valor de Profundidad Efectiva <i>L</i>	Diámetro (mm)	Porcentaje que pasa el Diámetro (%)
					Gravedad Específica <i>G_s</i> <i>a</i>	Gravedad Específica y Temperatura <i>K</i>			
1/6/2023	08:55:00	1	20	1,022	0,9977	0,004306	105	0,0441	70,5
1/6/2023	08:56:00	2	20	1,021	0,9977	0,004306	107	0,0315	67,3
1/6/2023	08:59:00	5	20	1,020	0,9977	0,004306	110	0,0202	64,1
1/6/2023	09:09:00	15	20	1,019	0,9977	0,004306	113	0,0118	60,9
1/6/2023	09:24:00	30	20	1,018	0,9977	0,004306	115	0,0084	57,7
1/6/2023	09:54:00	60	20	1,017	0,9977	0,004306	118	0,0060	54,5
1/6/2023	13:04:00	250	20	1,015	0,9977	0,004306	123	0,0030	48,1
2/6/2023	08:54:00	1440	20	1,012	0,9977	0,004306	131	0,0013	38,5

HIDRÓMETRO 152 H

Peso Seco de suelo empleado:	50	gr
Gravedad Específica de los Sólidos:	2,66	gr/cm ³
Fecha de inicio del Ensayo:	1/6/2023	
Hora de Inicio del Ensayo:	09:11:00	

Fecha	Hora de Lectura	Tiempo Transcurrido (min)	Temperatura (°C)	Lectura en el Hidrómetro <i>R</i>	Factores de Corrección por		Valor de Profundidad Efectiva <i>L</i>	Diámetro (mm)	Porcentaje que pasa el Diámetro (%)
					Gravedad Específica <i>G_s</i> <i>a</i>	Gravedad Específica y Temperatura <i>K</i>			
1/6/2023	09:12:00	1	20	34	0,9977	0,004306	107	0,0445	67,8
1/6/2023	09:13:00	2	20	33	0,9977	0,004306	109	0,0318	65,8
1/6/2023	09:16:00	5	20	32	0,9977	0,004306	111	0,0203	63,9
1/6/2023	09:26:00	15	20	30	0,9977	0,004306	114	0,0119	59,9
1/6/2023	09:41:00	30	20	29	0,9977	0,004306	115	0,0084	57,9
1/6/2023	10:11:00	60	20	28	0,9977	0,004306	117	0,0060	55,9
1/6/2023	13:21:00	250	20	24	0,9977	0,004306	124	0,0030	47,9
2/6/2023	09:11:00	1440	20	20	0,9977	0,004306	130	0,0013	39,9

4. Procedimiento para Ensayo de hinchamiento y Valor Soporte Relativo

4.1 Objetivo

Establecer el procedimiento para determinación del grado de hinchamiento de un suelo compactado y sumergido en agua, así como también un índice de resistencia de los suelos, conocido como Razón de Soporte de California (CBR). El ensayo se realiza normalmente con la humedad óptima y niveles de energía variables.

4.2 Equipo

- Equipo de CBR (ver Fig. 19-1) que consta de:
 - Molde de compactación de 15,2 cm de diámetro x 17,8 cm de altura (o equivalente, con collar)
 - Disco espaciador de 15,1 cm de diámetro X 6.14 cm de altura (ó 5.1 cm de altura si ese está disponible)
 - Placa de expansión perforada con varilla de extensión
 - Pesas para sobrecarga
- Martillo de compactación (bien el de 24.5 N o el de 44.5 N según lo la energía de compactación requerida)
- Flexímetro con lectura de 0,01 mm de precisión
- Máquina de compresión equipada con pistón de penetración CBR (diámetro de 4,953 cm con sección transversal de 19,4 cm²)
 - Aro dinamométrico
 - Deformímetro con lectura de 0,01 mm de precisión
 - Placa complementaria de madera o metal
- Pesafiltros
- Pulverizador
- Espátulas
- Balanza electrónica

4.3 Pasos

4.3.1 *Preparación del suelo*

- 1) Sobre una bandeja metálica se coloca el suelo y se lo distribuye uniformemente en toda la superficie.
- 2) Con la ayuda de un pulverizador, se procede a rociar el suelo con agua en función del porcentaje de humedad a utilizar en el ensayo.
- 3) Mediante un conjunto de espátulas, mezclar el suelo para poder homogeneizar la humedad en todo el volumen de material
- 4) Concluido el mezclado, se procede a fraccionar el material y guardarlos en bolsas de plásticos cerradas para evitar la pérdida de humedad.

Es preciso separar aprox. 500 g de suelo ya mezclado para la determinación de la humedad obtenida.

4.3.2 *Compactación de la muestra e Inmersión*

- 1) Ajustar el molde sobre la base y apoyarlo sobre el suelo, insertando posteriormente el disco espaciador en su interior junto un papel de filtro sobre su cara superior.
- 2) Dividir la cantidad de suelo previamente separado en función del N° de capas en las cuales se compactará el material.

- 3) Introducir en el molde el volumen de suelo correspondiente a una capa y compactarlo con ayuda del pisón, distribuyendo el N° de golpes dado de forma razonable en el perímetro y en su superficie interna.



Figura 50: Compactación del suelo dentro del molde

- 4) Una vez completado el N° de capas establecido, levantar el molde y retirar el collar.
- 5) Con ayuda de un cuchillo, tallar la cara superior de la muestra, retirando el material excedente de suelo y generando una superficie uniforme. Llenar con suelos finos los pequeños huecos que se hayan podido formar en la operación anterior de nivelación de la muestra.



Figura 51: Entallado de la cara superior de la probeta de suelo (Izq.) y el resultado final (der.)

- 6) Retirar el molde de la base, retirando el disco espaciador y colocar sobre el centro de la placa un papel de filtro.
- 7) Invertir el molde, dejando el suelo en la parte inferior del cilindro, y asegurarlo a la base nuevamente el molde, así como también el collar.
- 8) Introducir la placa de expansión y añadir las pesas con la sobrecarga a emplear.
- 9) Añadir la varilla de extensión en uno de los soporte de la base del molde, junto con el soporte del flexómetro.
- 10) Introducir el molde en el recipiente de inmersión vacío.
- 11) Posicionar el flexímetro en su respectivo soporte, asegurándose que el vástago del dispositivo entre en contacto con la varilla de la placa de extensión, y ajustar la caratula del aparato en 0.



Figura 52: Moldes ubicados ya en el recipiente, junto con la varilla de extensión y el prisionero (izq.) y el flexímetro colocado, ya puesto en 0 (der.)

- 12) Inundar el recipiente con agua, de forma que esta tenga acceso tanto a la parte superior como a la parte inferior de la muestra (el agua del recipiente de inmersión debe cubrir las pesas de sobrecarga)
- 13) Tomar las lecturas del flexímetro para 1, 2, 4, 8, 12, 24, 36, 48, 72 y 96 horas de tiempo transcurrido.



Figura 53: Moldes sumergidas en sus respectivos recipientes

- 14) Al final de las 96 horas de inmersión, ya concluido el ensayo, retirar el flexímetro, junto con su soporte y la varilla de extensión.
- 15) Retirar la muestra del recipiente de inmersión y dejarla drenar por espacio de 15 min, volcando el molde de lado para permitir la expulsión del agua que hubiera quedado en su interior.



Figura 54: Moldes ya retirados y volcados para su drenaje

- 16) Retirar las cargas y la placa base perforada.

4.3.3 Ejecución del ensayo de VSR

- 1) Colocar el aro de carga adecuado para la medición de deformación esperable, junto con el respectivo deformímetro, en contacto con el aro.
- 2) Colocar y ajustar el pistón de penetración a la base del aro dinamométrico, junto con la varilla de complemento y el flexímetro ajustado a su soporte correspondiente.
- 3) Colocar el molde sobre el pedestal del marco de carga, colocando este último en su posición más baja, de tal forma que el pistón no entre en contacto con el suelo.
- 4) Coloque sobre la probeta la cantidad suficiente de cargas para producir una sobrecarga igual a la empleada durante la inmersión
- 5) Eleve la base del marco de carga junto con el molde, hasta que se registre una primera lectura en el deformímetro, lo que significa que el pistón ha hecho contacto con el suelo.
- 6) Posicionar el flexímetro en contacto con el borde superior del collar del molde y ajustar ambos relojes (deformímetro y flexímetro) a 0.



Figura 55: Molde de suelo posicionado en el marco de carga, con los flexímetros ya posicionados y listo para ensayar

- 7) Comenzar a aplicar carga sobre la muestra a una velocidad constante, alcanzando un determinado valor de penetración en un lapso de tiempo establecido:

Penetración [mm]	Tiempo [mm:ss]
0,635	00:30
1,270	01:00
1,905	01:30
2,540	02:00
3,801	03:00
5,080	04:00
7,620	06:00
10,160	08:00
12,700	10:00

En simultáneo, se deben tomar las lecturas en el deformímetro correspondientes a cada intervalo de penetración/tiempo.

4.3.4 Recuperación de la probeta de suelo

- 1) Concluido el ensayo, bajar la base del marco de carga junto con el molde hasta su posición más baja.
- 2) Desajustar y retirar tanto el pistón como el flexímetro, así como todos los elementos de soporte.
- 3) Retirar el molde del marco de carga y, seguidamente, las pesas de sobrecarga y su base.



Figura 56: Superficie penetrada de la probeta de suelo, una vez retiradas las sobrecargas y su base

- 4) Colocar nuevamente las pesas de sobrecarga sobre la base del marco de carga, así como otras más y colocar encima de estas el molde invertido, de forma que los discos de metal ocupen el volumen vacío en el molde y lo mantengan separado de la base unos 13 cm aprox.
- 5) Colocar el tubo de PVC alrededor del molde metálico, asentándolo sobre las orejas del molde.
- 6) Colocar sobre la cara superior del tubo de PVC una placa de madera o metal (la misma base del molde es apta para la tarea)



Figura 57: Molde con el tubo de PVC y el suplemento de madera posicionados para la extracción de la probeta de suelo

- 7) Comenzar a levantar la base del marco de carga hasta que la placa superior colocada entre en contacto con la base de unión del aro-pistón.
- 8) Proseguir el movimiento ascendente de la base del marco de forma tal que el tubo de PVC, impedido de desplazarse hacia arriba por la presencia de la placa superior, transmita un esfuerzo opuesto al molde y lo desplace, rompiendo con el fuste entre el suelo y las paredes metálicas.



Figura 58: Probeta de suelo separándose de las paredes del molde

- 9) Una vez que el molde haya hecho contacto con la base del marco, bajar nuevamente esta hasta su posición más baja y retirar la placa superior y el tubo de PVC.
- 10) Retirar la muestra de suelo ya liberada del molde, y posteriormente el molde y las pesas utilizadas.



Figura 59: Probeta de suelo liberada del molde

11) Con ayuda de un cuchillo, dividir la muestra de suelo de forma transversal y extraer 3 muestras para un posterior ensayo de humedad (Cara superior, centro de la probeta y un punto intermedio entre los anteriores 2), resguardándolas en pesafiltros.

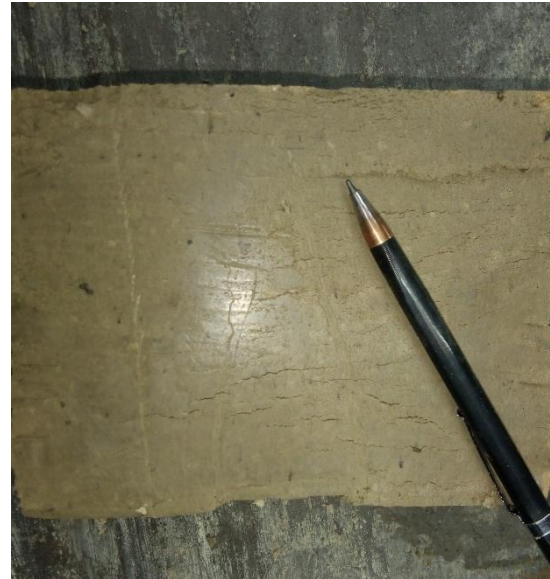


Figura 60: Probeta de suelo dividida transversalmente (izq.) y contraste del grosor de las fisuras en el suelo con un lápiz (der.)

4.4 Cálculos posteriores

4.4.1 Determinación de hinchamiento y Valor Soporte Relativo

Los datos referidos al moldeo y ensayo de hinchamiento se volcarán en la siguiente planilla:

RESULTADOS OBTENIDOS EN EL MOLDEO DE PROBETAS Y EN EL ENSAYO DE HINCHAMIENTO.																	
Molde Nº	Núm. de Golpes	Probeta Nº	Peso de M+S+A (Grs)	Peso del Molde (Grs)	Peso de A+S (Grs)	Volumen del Molde (cm³)	Densidad Humeda (Gr/cm³)	Humedad (%)	Densidad Seca (Gr/cm³)	Altura de la Probeta (cm)	Ensayo de Hinchamiento				Hinchamiento (%)	Humedad Final (%)	
											Lecturas (div.)						
											1er Día	2do Día	3er Día	4to Día			
																	-
																	-
																	-

En las celdas en blanco se cargan los datos referidos a:

- N° de molde y probeta,
- N° de golpes usados en el moldeo,
- Pesos (Molde + Suelo + Agua, Molde solo),
- Volumen del molde,
- Humedad óptima de moldeo,
- Altura de la probeta
- Lecturas de hinchamiento de los 4 primeros días

Mientras que, en las celdas resaltadas, se cargan los valores calculados de:

- Peso de Suelo + Agua:

$$Peso_{S+A} = Peso_{M+S+A} - Peso_{Molde} \quad (39)$$

- Densidad húmeda:

$$D_h = \frac{\text{Peso}_{S+A}}{V_{\text{molde}}} \quad (40)$$

- Densidad seca:

$$D_s = \frac{D_h}{\left(1 + \frac{w(\%)}{100}\right)} \quad (41)$$

Con respecto al ensayo de penetración se cargan las restantes planillas:

Constantes de los Aros		Datos del Ensayo Proctor	
Constante (Kg./div.)		Hum. Óptima (%)	
Probeta Molde Nº		Dens. Máx. (Gr/cm ³)	
Probeta Molde Nº		Sobrecargas Utilizadas (Lbs.)	
Probeta Molde Nº		Hinchamiento	
Probeta Molde Nº		Penetración	

RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE PENETRACION													
Penetración (mm.)		0,635	1,270	1,905	2,540	3,170	3,810	4,440	5,080	7,620	10,160	12,700	Valor Soporte
Presión Normal (Kg/cm ²)					70				105	133	161	183	
Molde Nº	Lectura del dial (div.)												
	Lectura Corregida (div.)												
	Carga Total Aplicada (Kg)												
	Presión Aplicada (Kg/cm ²)												
	Valor Soporte (%)												

En las celdas en blanco se cargan los datos referidos a:

- Constantes de los aros empleados en el ensayo de cada molde
- Densidad máxima
- Humedad óptima
- Sobrecargas empleadas tanto para el ensayo de hinchamiento como para el de penetración
- Lecturas indicadas en el flexímetro para una determinada penetración

Mientras que, en las celdas resaltadas, se cargan los valores obtenidos de cálculos:

- Lectura corregida: En este caso, es idéntica a la lectura tomada originalmente
- Carga total aplicada: Se calcula para la penetración de 2,540 y 5,080 mm:

$$\text{Carga total aplicada} = \text{Lectura}_{\text{correg}} \cdot \text{Constante}_{\text{Aro dinamométrico}} \quad (42)$$

- Presión aplicada: Al igual que en el caso anterior, solo se calcula para la penetración de 2,540 y 5,080 mm:

$$\text{Presión aplicada} = \frac{\text{Carga total aplicada}}{\text{Sección}_{\text{presión de penetración}}} \quad (43)$$

- Valor soporte: Al igual que en el caso anterior, solo se calcula para la penetración de 2,540 y 5,080 mm y se toma el valor obtenido en la última penetración:

$$\text{Valor Soporte Relativo} = \frac{\text{Presión aplicada}}{\text{Presión normal}} \cdot 100 \quad (44)$$

4.4.2 Determinación de humedad posterior al ensayo

- Se procede a la determinación del peso de los pesafiltros a utilizar, empleando la balanza electrónica.
- Se introducen las muestras de suelo en sus respectivos pesafiltros, y se vuelve a pesar el conjunto de Pesafiltro + Suelo.

- 3) Se introducen los Pesafiltros + Suelo dentro de la estufa de secado, dejándolos por 24 hs aprox.
- 4) Se retiran los Pesafiltros + Suelos y se pesan nuevamente en la balanza electrónica.

Por diferencia de pesos, se determina el peso seco, húmedo y del agua de cada muestra, además de la humedad de la misma:

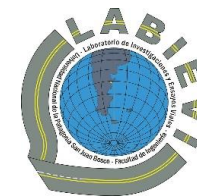
$$P_{sh} = P_{sh+PF} - P_{PF} \quad (45)$$

$$P_{ss} = P_{ss+PF} - P_{PF} \quad (46)$$

$$P_w = P_{sh} - P_{ss} \quad (47)$$

$$w (\%) = \frac{P_w}{P_{sh}} \cdot 100 \quad (48)$$

Conociendo los distintos valores de humedad de una muestra, podemos entonces establecer el gradiente de humedad y determinar si la muestra si encuentra saturada de agua de manera uniforme.



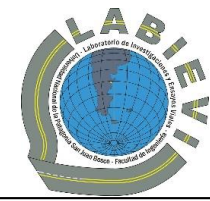
5. Resultados obtenidos en los Ensayos de hinchamiento y VSR

IDENTIFICACION DEL MATERIAL																				
Procedencia:			Descripción:										Observaciones:							
Mtra. Nº: 217/22			Características:										Constantes Físicas:		Clasificación H.R.B.					
			Granulometría										Límite Líquido		52,1					
			Tamiz	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	4	10	40	200	Índice Plástico		22,6					
			% Que Pasa										88		69,8		A-2-6 (1)			
RESULTADOS OBTENIDOS EN EL MOLDEO DE PROBETAS Y EN EL ENSAYO DE HINCHAMIENTO.																				
Molde Nº	Núm. de Golpes	Probeta Nº	Peso de M+S+A (Grs)	Peso del Molde (Grs)	Peso de A+S (Grs)	Volumen del Molde (cm³)	Densidad Húmeda (Gr/cm³)	Humedad (%)	Densidad Seca (Gr/cm³)	Altura de la Probeta (cm)	Ensayo de Hinchamiento				Hinchamiento (%)	Humedad Final (%)	Constantes de los Aros		Datos del Ensayo Proctor	
											Lecturas (div.)						Constante (Kg./div.)		Hum. Óptima (%)	
											1er Día	2do Día	3er Día	4to Día			Probeta Molde Nº		Dens. Máx. (Gr/cm³)	
1	9	1	9765	6500	3265	2086	1,5652	20,3	1,301	11,66	401	307	311	309	2,65	-	20,3		1598	
2	18	2	10855	7230	3625	2086	1,7378	20,3	1,445	11,66	317	324	328	332	2,85	-	0,47		Sobrecargas Utilizadas (Lbs.)	
3	12	3	10975	6990	3985	2086	1,9104	20,3	1,588	11,66	309	327	335	342	2,93	-	0,47		Hinchamiento	
4	25	4	11145	6935	4210	2086	2,0182	20,3	1,678	11,66	119	170	197	215	1,84	-	0,47		Penetración	
8	56	8	10990	6665	4325	2086	2,0733	20,3	1,723	11,66	60	79	96	109	0,93	-	0,87		Penetración (Molde 1)	

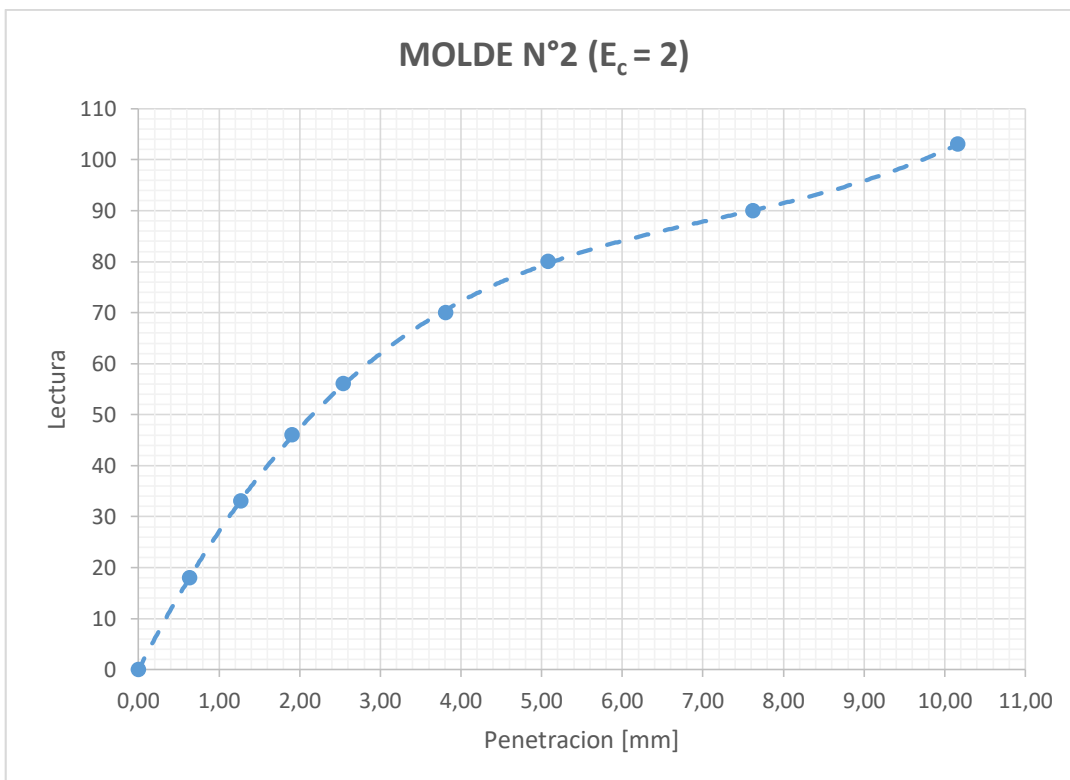
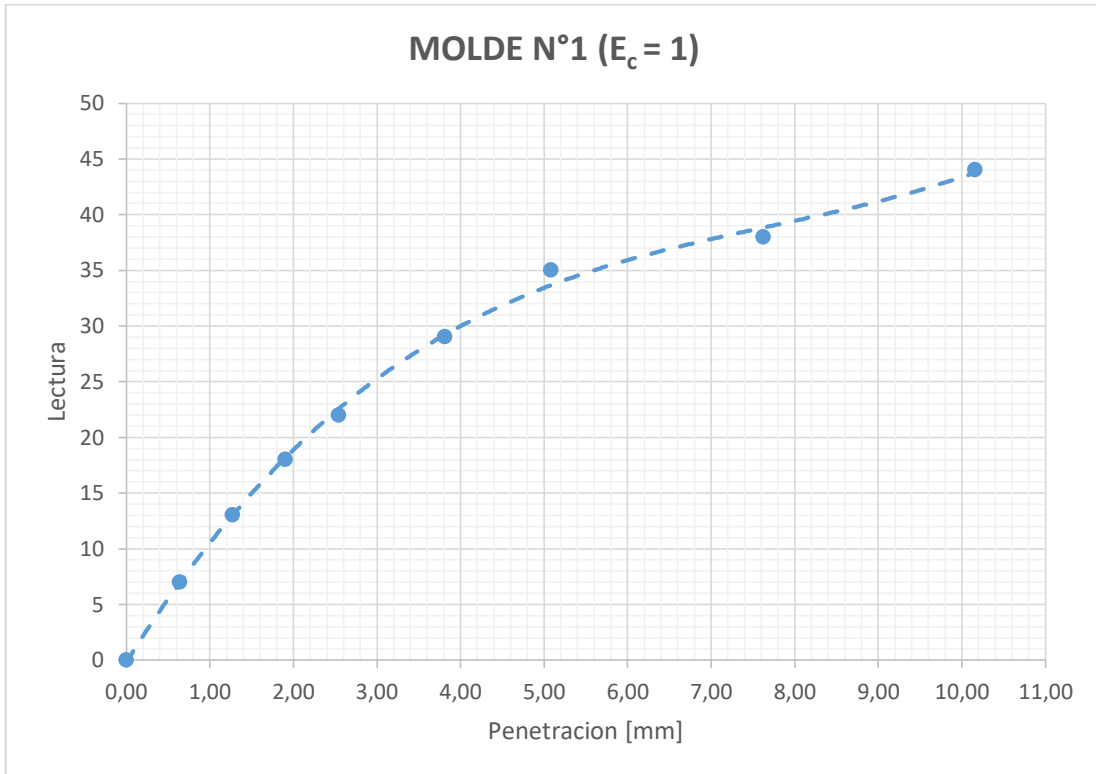
RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE PENETRACION													
Penetración (mm.)		0,635	1,270	1,905	2,540	3,170	3,810	4,440	5,080	7,620	10,160	12,700	Valor Soporte
Presión Normal (Kg/cm2)					70				105	133	161	183	7
Molde Nº 7	Lectura del dial (div.)	7	13	18	22		29		35	38	44		
	Lectura Corregida (div.)	7	13	18	22		29		35	38	44		
	Carga Total Aplicada (Kg)				10				17				
	Presión Aplicada (Kg/cm2)				1				1				
	Valor Soporte (%)				1				1				

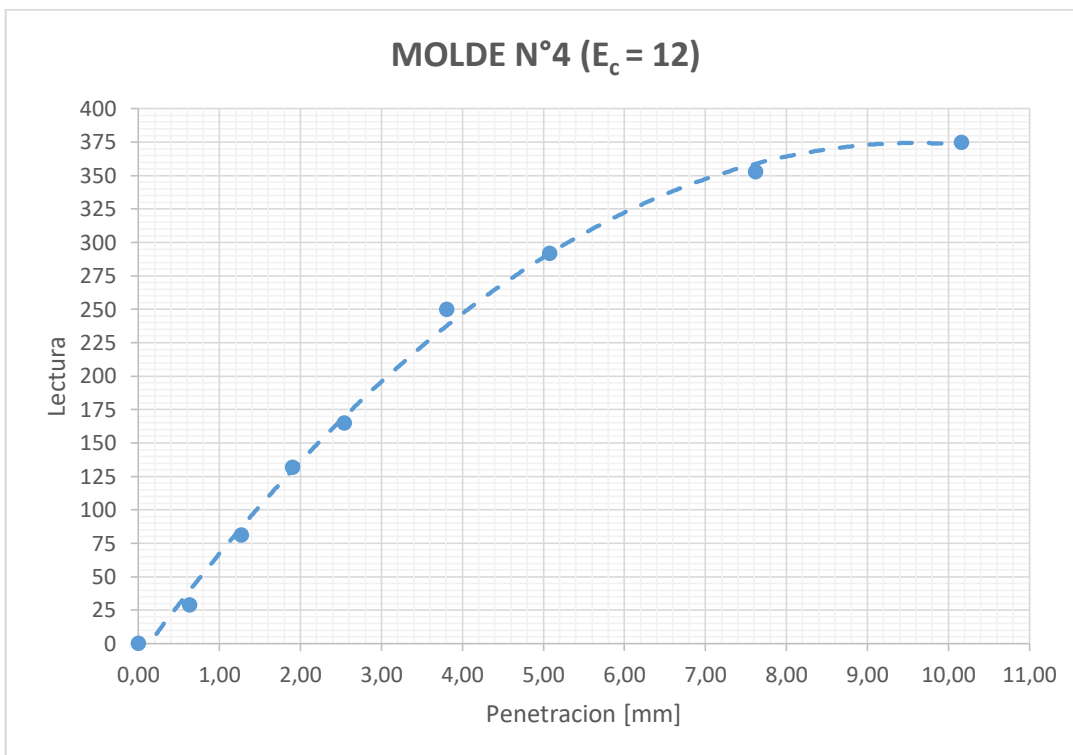
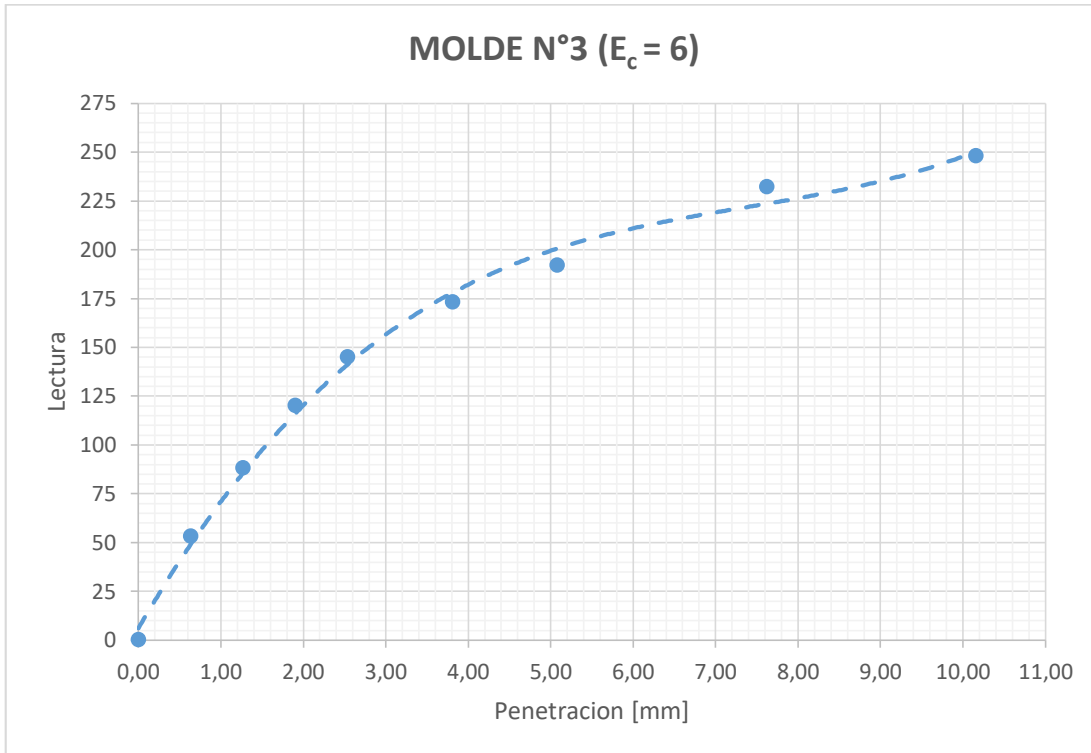


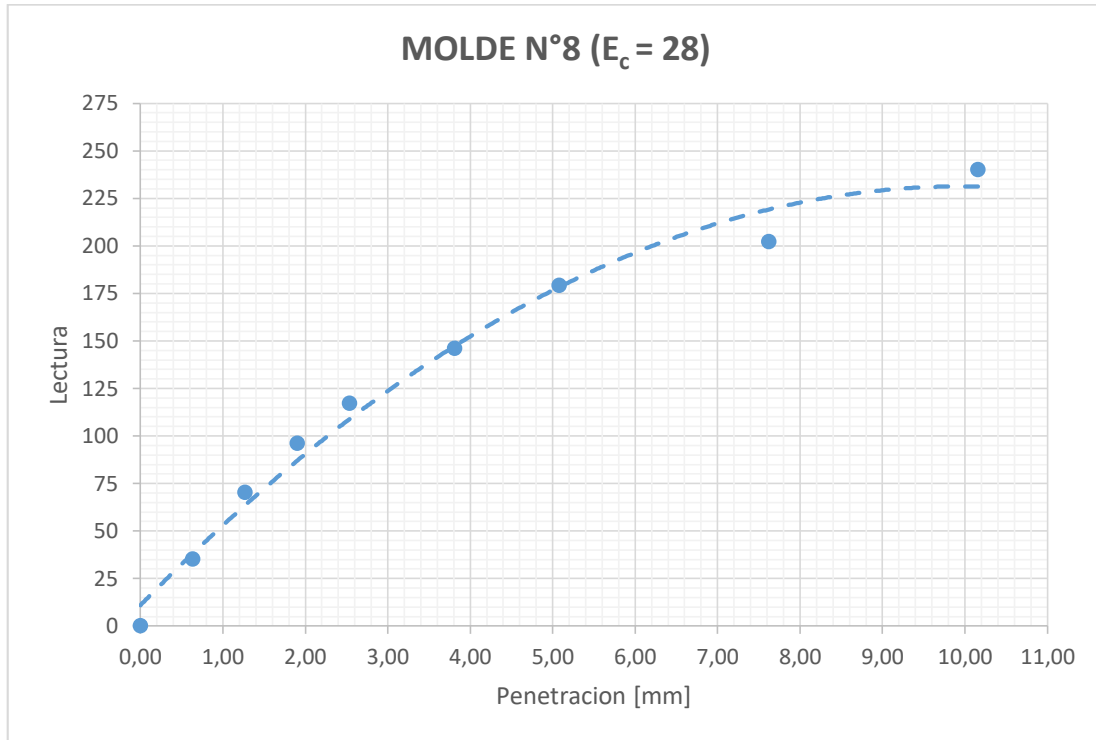
Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco
 Facultad de Ingeniería- Sede Trelew
 Práctica Profesional Supervisada



Penetración (mm.)		0,635	1,270	1,905	2,540	3,170	3,810	4,440	5,080	7,620	10,160	12,700	Valor Soporte
Presión Normal (Kg/cm2)					70				105	133	161	183	
Molde Nº 2	Lectura del dial (div.)	18	33	46	56		70		80	90	103		2
	Lectura Corregida (div.)	18	33	46	56		70		80	90	103		
	Carga Total Aplicada (Kg)				26				38				
	Presión Aplicada (Kg/cm2)				1				2				
	Valor Soporte (%)				2				2				
Penetración (mm.)		0,635	1,270	1,905	2,540	3,170	3,810	4,440	5,080	7,620	10,160	12,700	Valor Soporte
Presión Normal (Kg/cm2)					70				105	133	161	183	
Molde Nº 3	Lectura del dial (div.)	53	88	120	145		173		192	232	248		4
	Lectura Corregida (div.)	53	88	120	145		173		192	232	248		
	Carga Total Aplicada (Kg)				68				91				
	Presión Aplicada (Kg/cm2)				4				5				
	Valor Soporte (%)				5				4				
Penetración (mm.)		0,635	1,270	1,905	2,540	3,170	3,810	4,440	5,080	7,620	10,160	12,700	Valor Soporte
Presión Normal (Kg/cm2)					70				105	133	161	183	
Molde Nº 4	Lectura del dial (div.)	29	81	132	165		250		292	353	375		7
	Lectura Corregida (div.)	29	81	132	165		250		292	353	375		
	Carga Total Aplicada (Kg)				78				138				
	Presión Aplicada (Kg/cm2)				4				7				
	Valor Soporte (%)				6				7				
Penetración (mm.)		0,635	1,270	1,905	2,540	3,170	3,810	4,440	5,080	7,620	10,160	12,700	Valor Soporte
Presión Normal (Kg/cm2)					70				105	133	161	183	
Molde Nº 8	Lectura del dial (div.)	35	70	96	117		146		179	202	240		8
	Lectura Corregida (div.)	35	70	96	117		146		179	202	240		
	Carga Total Aplicada (Kg)				102				155				
	Presión Aplicada (Kg/cm2)				5				8				
	Valor Soporte (%)				8				8				







6. Procedimiento para Ensayo de consolidación unidimensional de suelos

6.1 Objetivo

Establecer una metodología para determinar la tasa y la magnitud de la consolidación de muestras de suelos cuando se confinan lateralmente y se cargan y drenan axialmente, y posteriormente el coeficiente de permeabilidad.

6.2 Equipo

- Consolidómetro de anillo flotante (+ Piedras porosas x2 y Geotextiles x2)
- Cápsulas de evaporación de porcelana
- Pizeta de agua común o destilada
- Espátula metálica
- Dispositivo de carga (+ Juego de pesas)
- Flexímetro con lectura de 0,01 mm de precisión
- Pesafiltros
- Balanza electrónica

6.3 Pasos

6.3.1 *Preparación del consolidómetro y la muestra*

- 1) Retirar los 3 pernos que mantienen unidos las piezas del consolidómetro y desarmar efectivamente el dispositivo en su totalidad.
- 2) Pesar el anillo inferior en la balanza electrónica, registrando el resultado.
- 3) En una capsula de evaporación, colocar aprox. 200 g de suelo y, tras añadir agua mediante la pizeta, mezclar con la ayuda de una espátula hasta obtener una pasta fluida pero consistente.

Es conveniente apartar una fracción de suelo e introducir en un pesafiltro para poder realizar un análisis de la humedad con la cual se moldeo la muestra.

- 4) Sobre un papel de filtro, apoyar el anillo inferior e llenar en capas su interior con la mezcla de suelo, cuidando de no dejar vacíos y enrasando la cara superior con la espátula.
- 5) Cuidadosamente y mediante movimientos circulares, despegar el anillo del papel filtro, observando que no hayan quedado huecos en la muestra y que la misma se mantenga confinada dentro de las paredes del anillo, sin producirse deformaciones o desprendimiento de material.



Figura 61: Conjunto de Anillo metálico + Suelo húmedo moldeado

Si la muestra posee una consistencia tal que no puede moldearse el suelo dentro del anillo, es preciso reducir la humedad de la muestra, ya sea dejándola secar al aire libre o añadiendo más suelo natural.

- 6) Pesar el conjunto Anillo + Suelo húmedo en la balanza electrónica, registrando su resultado.
- 7) Ubicar en el centro de la base del consolidómetro una piedra porosa, colocando un geotextil sobre la misma.
- 8) Posicionar sobre el conjunto anterior el Anillo + Suelo húmedo, cuidando que la muestra se encuentre centrada y alineada con la piedra porosa y el geotextil.
- 9) Colocar el anillo superior, asegurando un correcto encastre entre las 2 piezas de metal y colocando los pernos respectivos.
- 10) Ubicar sobre la cara expuesta de la muestra de suelo un geotextil y su respectiva piedra porosa, y posteriormente colocar la pesa metálica



Figura 62: Colocación del geotextil y la piedra porosa sobre el conjunto Anillo+Suelo (izq.) y la pesa metálica (der.)

- 11) Llenar el consolidómetro con agua hasta que el mismo quede completamente sumergido y la muestra comience a saturarse.



Figura 63: Consolidómetros inundados con agua, listos ya para ensayar

6.3.2 Posicionamiento de consolidómetro y puesta en marcha del ensayo

- 1) Apoyar cuidadosamente el consolidómetro sobre el plato del dispositivo de carga, centrándolo en torno a la varilla roscada que transferirá la carga a la muestra.

En caso de que la varilla no tuviera una longitud adecuada, añadir un elemento rígido y plano que sirva como complemento para la base.



Figura 64: Consolidómetros colocados en el dispositivo de carga, con el vástago ya en posición

- 2) Posicionar el flexímetro en su respectivo soporte, ajustando su vástago hasta que el mismo quede de en contacto con la varilla roscada.
- 3) Ajustar la caratula del flexímetro para comenzar con una lectura de 1000 divisiones.
- 4) Añadir de forma cuidadosamente sobre el brazo de carga la primera de carga de pesas (500 g). Inmediatamente tomar lectura en el flexímetro en los siguientes intervalos de tiempo: 5', 15'', 30'', 1', 2', 4', 8', 15', 30', 1 hora, 2 horas, 4 horas, 8 horas y 24 horas.



Figura 65: Consolidómetros ya sometidos a carga

- 5) Repetir el paso anterior, duplicando la carga impuesta sobre la muestra (1 kg, 2 kg, 4 kg y 8 kg), posicionando las pesas con 1 minuto de antelación antes de transcurran las 24 horas, cuidando que las mismas no entren en contacto directo hasta el momento exacto.

En el caso de emplear múltiples consolidómetros y realizar las lecturas de forma presencial, es conveniente diferir el comienzo de las cargas en un espacio de 9 minutos para evitar interferencias entre las lecturas.

6.3.3 Finalización del ensayo y recuperación de la muestra

- 1) Una vez transcurridas las 24 hs de la última carga, retirar cuidadosamente las pesas del brazo de carga para evitar un movimiento súbito del mecanismo.
- 2) Desajustar y retirar el flexímetro de su soporte, así como también la varilla roscada que transfiere la carga a la muestra, liberando el consolidómetro para su posterior retiro.
- 3) Retirar el agua presente del recipiente, así como la pesa de carga distribuida.
- 4) Quitar los pernos que mantienen unidos al consolidómetro, logrando retirar el anillo superior, las piedras porosas (junto con sus respectivos geotextiles) y el conjunto Anillo + Suelo consolidado.
- 5) Pesar el conjunto Anillo + Suelo en la balanza electrónica, registrando su resultado.



Figura 66: Conjunto Anillo+Suelo retirada del consolidómetro, una vez finalizado el ensayo

- 6) Retirar la muestra del anillo, empleando la pesa de carga del consolidómetro para empujar suavemente el suelo, cuidando de que no queden restos de material en el anillo metálico.



Figura 67: Muestra de suelo retirada del anillo metálica (izq.) y las 4 muestras ya retiradas y listas para su secado (der.)

En el caso de que la base de la pesa no sea uniformemente lisa, es conveniente colocar un geotextil sobre esta y la muestra de suelo al momento de retirar el suelo del anillo para evitar un ahuellamiento de la muestra.

- 7) Introducir la muestra en una bandeja metálica en la estufa eléctrica, manteniendo la temperatura constante entre 105 y 110° hasta obtener un peso constante por 24 hs.
- 8) Retirar la muestra del horno, pesando la muestra de suelo y registrando el resultado.



Figura 68: Muestra de suelo secada en horno, presentando fisuras en su superficie

6.4 Cálculos posteriores

6.4.1 Determinación del coeficiente de permeabilidad

Los datos recabados del ensayo se vuelcan en la siguiente planilla para cada uno de los periodos de carga de 24 horas:

Tiempo [seg.]	Carga [grs]	Presión [kg/cm ²]	Lectura del micrómetro	Deformación d [mm]	$\Delta e: d/Hs$	e: $e_0 - \Delta e$
0,1						
0,25						
0,5						
1						
2						
4						
8						
15						
30						
60						
120						
240						
480						
1440						

En las celdas en blanco se cargan los datos referidos a:

- Carga empleada
- Presión ejercida por la carga, considerando el área de la muestra de suelo sobre la cual se ejerce la fuerza y la relación de palanca que existe entre el punto de aplicación de la carga y el plato del brazo de carga.

Mientras que, en las celdas resaltadas, se cargan las lecturas indicadas en el flexímetro para cada instante de tiempo marcado. En las restantes columnas, se cargan los datos calculados de:

- Deformación: Para cada tiempo i

$$d = \frac{\text{Lectura}_0 - \text{Lectura}_i}{100} \quad (48)$$

- Variación del índice de vacíos: Para cada tiempo i

$$\Delta e = \frac{d_i}{H_s} \quad (49)$$

- Índice de vacíos: Para cada tiempo i

$$e = e_0 - \Delta e_i \quad (50)$$

Ya cargados los valores correspondientes a la totalidad de la duración del ensayo (120 hs), se procede a calcular los datos faltantes en la planilla Resumen:

Duración del escalón [horas]	Presión Aplicada [kg/cm ²]	Escalón de Presión Δp [kg/cm ²]	Deformación Total [mm]	Altura Inicial de la Muestra [mm]	Altura de la muestra en por ciento [%]	Altura represent. de los vacíos [mm]	Índice de vacíos e	Cambio en el índice de vacíos Δe	Altura Media de la Muestra [mm]	Índice de Compresibilidad C_c	Coficiente de Compresibilidad Volumétrico m_v [cm ² /kg]	Módulo Edométrico E [kg/cm ²]	Tiempo t_{50} (s)	Coficiente de Consolidación C_v [cm ² /s]	Coficiente de Permeabilidad K [cm/s]
24															
48															
72															
96															
120															

- Altura media: Para cada escalón de carga

$$H_m = \frac{H_{m0} + H_{m1}}{2} \quad (51)$$

- Índice de compresibilidad: Entre 2 escalones de carga consecutivos

$$C_c = \frac{\Delta e}{\log P_1 - \log P_0} \quad (52)$$

- Coeficiente de compresibilidad volumétrico: Entre 2 escalones de carga consecutivos

$$m_v = \frac{\Delta e}{(\Delta P \cdot (1 + e_0))} \quad (53)$$

- Módulo edométrico: Entre 2 escalones de carga consecutivos

$$E = \frac{1}{m_v} \quad (54)$$

- Tiempo t_{50} : Para cada escalón de carga. Es el tiempo correspondiente al 50% de la consolidación y se determina gráficamente a partir de la curva de consolidación, la cual representa las Lecturas tomadas en el flexímetro vs Tiempo (en escala logarítmica):

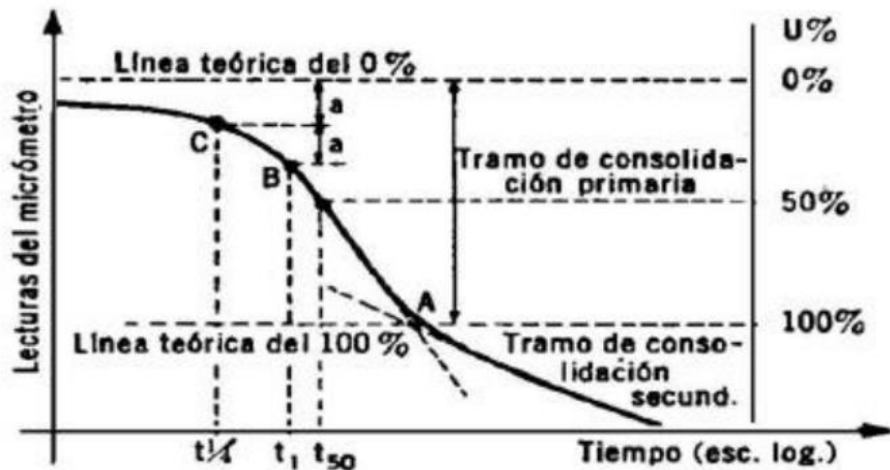


Figura 69: Curva de consolidación de Casagrande para la determinación del t_{50}

Sobre la construcción gráfica elaborada se toma el valor correspondiente a una de las primeras lecturas t_1 , y se determina el valor en ordenadas que le corresponde en la representación, trazando por él una horizontal. Luego se toma la lectura correspondiente $\frac{1}{4} \cdot t_1$, efectuando el mismo trabajo, trazando también una horizontal. Se observará una diferencia entre las ordenadas correspondientes a estas abscisas, magnitud que llamamos a . A continuación, llevamos la magnitud a por encima de la horizontal trazada en $\frac{1}{4} \cdot t_1$, y representamos una nueva línea horizontal. La proyección de ésta sobre el eje de ordenadas nos dará el cero de la gráfica o inicio de la consolidación.

En lo que sigue de este método buscaremos en la gráfica el punto de inflexión de la gráfica (al menos en forma aproximada) y por él trazamos una recta secante a la curva. Trazamos una recta tangente a la curva de consolidación en el ámbito de valores cercanos a la finalización del proceso. La intersección de la secante y la tangente trazada en último término define un punto en el plano. Su proyección en ordenadas marca el 100% de la consolidación y en abscisas el tiempo (en la escala correspondiente) al 100% de la consolidación.

En ordenadas tenemos el inicio de la consolidación y el fin de la misma (0% - 100%). En la escala adecuada de trabajos podremos establecer el 50 % de la consolidación, y en consecuencia el tiempo correspondiente a esta deformación (t_{50}).

- Coeficiente de consolidación: Para cada escalón de carga

$$C_v = \frac{T \cdot \left(\frac{H_m}{2}\right)^2}{t_{50}} \quad (55)$$

- Coeficiente de permeabilidad: Para cada escalón de carga

$$k = m_v \cdot C_v \quad (56)$$

6.4.2 Determinación de humedad posterior al ensayo

Por diferencia de pesos, se determina el peso seco, húmedo y del agua de cada muestra, además de la humedad de la misma:

$$P_{sh} = P_{sh+Bandeja} - P_{Bandeja} \quad (57)$$

$$P_{ss} = P_{ss+PF} - P_{Bandeja} \quad (58)$$

$$P_w = P_{sh} - P_{ss} \quad (59)$$

$$w (\%) = \frac{P_w}{P_{sh}} \cdot 100 \quad (60)$$

Conociendo los valores de humedad de una muestra antes y después del ensayo, podemos entonces establecer la variación de humedad que experimento el suelo durante el proceso de consolidación:

$$\Delta w (\%) = w_f (\%) - w_0 (\%) \quad (61)$$

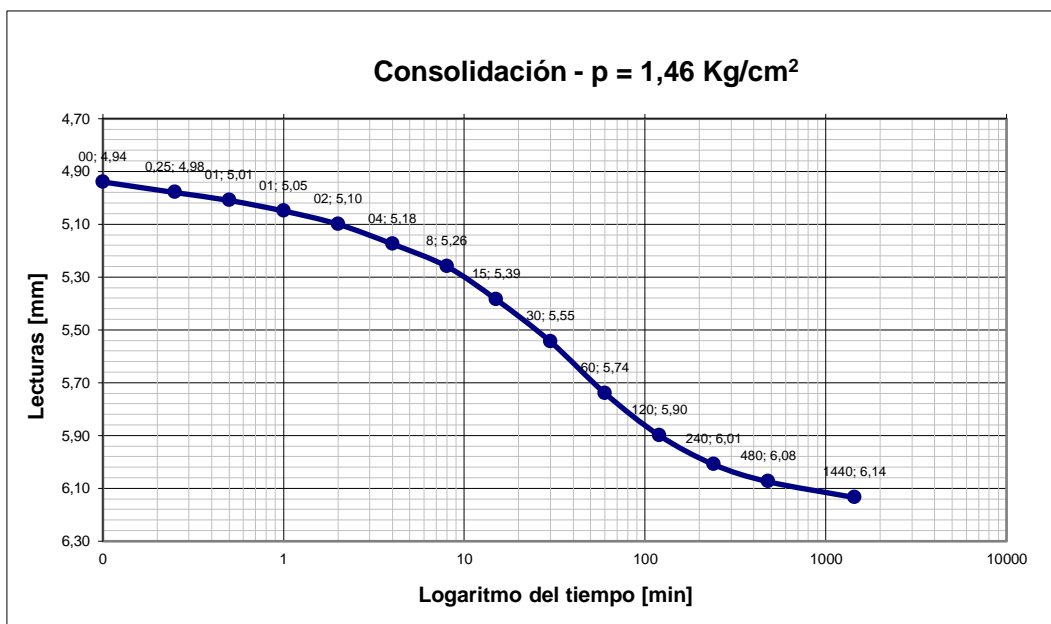
7. Resultados obtenidos de los Ensayos de consolidación unidimensional

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

Empresa Contratista:	PPS. Lautaro Luque.	
Nro. de Muestra:	271/22	Anillo Nº 1
Tipo de suelo	Suelo de grano fino, cohesivo, color marrón claro.	
Ubicación	Terreno natural.	
Descripción	Tomado de acopio	
Prof.	Sin datos m	
Fecha	4/7/23 Tipo de prueba: Ensayo Doblemente Abierto.	
Constantes geométricas del anillo.		
Diámetro	_____	63,61 mm.
Area	_____	31,78 cm ²
Altura inicial del suelo, H _i	_____	25,09 mm.
Peso específico absoluto (G_s):	_____	2,655 gr/cm³
Determinaciones Gravimétricas		
Peso anillo + suelo	_____	247,28 gr.
Peso anillo	_____	107,24 gr.
Peso suelo húmedo, w _t	_____	140,0 gr.
Peso suelo seco, w _s	_____	100,3 gr.
Altura solidos [H _s = w _s /(G _s .A)]	_____	11,89 mm.
Altura inicial de vacios [H _v = H _i -H _s]	_____	13,20 mm.
Grado de Saturación inicial [S _i = (w _t -w _s)/(H _v .A)]	_____	94,7 %
Relación inicial de vacios, [e ₀ = H _v /H _s]	_____	1,11
Determinación de humedad inicial		
Peso Pf.+ suelo húmedo	45,52 gr.	
Peso Pf.+ suelo seco	40,24 gr.	
Peso Pf.:	26,91 gr.	
Peso del agua	5,28 gr.	
Peso del suelo seco	13,33 gr.	
Humedad inicial	39,6 %	
Grado de saturación	94,7 %	
Determinación de humedad final		
Peso Pf.+ suelo húmedo	196,38 gr.	
Peso Pf.+ suelo seco	165,26 gr.	
Peso cápsula	65,76 gr.	
Peso del agua	31,1 gr.	
Peso del suelo seco	99,50 gr.	
Humedad final	31,3 %	
Grado de saturación	2,5 %	
DATOS FINALES (Obtenidos al final del ensayo de carga)		
Lectura inicial	_____	1000 div.
Lectura final	_____	0 div.
Diferencia altura	_____	1 cm.
Altura final de vacios H _{vf}	_____	12,20 cm.
Relación de vacios final [e _f =H _{vf} /H ₀]	_____	0,72
Peso anillo + suelo	_____	3630,8 gr.

Tiempo [seg.]	Carga [grs]	Presión [kg/cm ²]	Lectura del micrometro	Deformación d [mm]	$\Delta e: d/Hs$	e: $e_0 - \Delta e$
0,1	500	0,09	981	0,190	0,016	1,09
0,25			980	0,200	0,017	1,09
0,5			978	0,220	0,019	1,09
1			977	0,230	0,019	1,09
2			976	0,240	0,020	1,09
4			974,5	0,255	0,021	1,09
8			971	0,290	0,024	1,09
15			968	0,320	0,027	1,08
30			962	0,380	0,032	1,08
60			955	0,450	0,038	1,07
120			948	0,520	0,044	1,07
240			941	0,590	0,050	1,06
480			936	0,640	0,054	1,06
1440			932	0,680	0,057	1,05
						1,05
0,1	1000	0,17	921	0,790	0,066	1,04
0,25			920	0,800	0,067	1,04
0,5			919	0,810	0,068	1,04
1			918,5	0,815	0,069	1,04
2			917	0,830	0,070	1,04
4			915	0,850	0,071	1,04
8			912	0,880	0,074	1,04
15			907	0,930	0,078	1,03
30			901,5	0,985	0,083	1,03
60			894	1,060	0,089	1,02
120			886	1,140	0,096	1,01
240			879	1,210	0,102	1,01
480			873	1,270	0,107	1,00
1440			868	1,320	0,111	1,00
						1,00
0,1	2000	0,34	847	1,530	0,129	0,98
0,25			845,5	1,545	0,130	0,98
0,5			844	1,560	0,131	0,98
1			842	1,580	0,133	0,98
2			839	1,610	0,135	0,98
4			835	1,650	0,139	0,97
8			830	1,700	0,143	0,97
15			823	1,770	0,149	0,96
30			813	1,870	0,157	0,95
60			801	1,990	0,167	0,94
120			788,5	2,115	0,178	0,93
240			778,5	2,215	0,186	0,92
480			772,5	2,275	0,191	0,92
1440			765,5	2,345	0,197	0,91
						0,91

0,1	4000	0,68	639	3,610	0,30	0,81
0,25			636,5	3,635	0,31	0,80
0,5			634,5	3,655	0,31	0,80
1			631,5	3,685	0,31	0,80
2			627,5	3,725	0,31	0,80
4			623	3,770	0,32	0,79
8			617	3,830	0,32	0,79
15			605,5	3,945	0,33	0,78
30			593	4,070	0,34	0,77
60			577	4,230	0,36	0,75
120			563	4,370	0,37	0,74
240			552	4,480	0,38	0,73
480			546	4,540	0,38	0,73
1440			539	4,610	0,39	0,72
						0,72
0,1	8525	1,46	506	4,940	0,42	0,69
0,25			502	4,980	0,42	0,69
0,5			499	5,010	0,42	0,69
1			495	5,050	0,42	0,69
2			490	5,100	0,43	0,68
4			482,5	5,175	0,44	0,68
8			474	5,260	0,44	0,67
15			461,5	5,385	0,45	0,66
30			445,5	5,545	0,47	0,64
60			426	5,740	0,48	0,63
120			410	5,900	0,50	0,61
240			399	6,010	0,51	0,60
480			392,5	6,075	0,51	0,60
1440			386,5	6,135	0,52	0,59
						0,59





Duración total de la prueba [hs]:	120	G _s [gr./cm ³]: 2,655	Saturación (%): 94,7	T= 0,197
H _i [cm]:	25,09			
H _s [mm]:	11,89	Tipo de prueba: Ensayo Doblemente Abierto.		
		e ₀ : 1,11		

Duración del escalón	Presión Aplicada	Escalón de Presión Δp	Deformación Total	Altura Inicial de la Muestra	Altura de la muestra en porcentaje	Altura represent. de los vacíos	Índice de vacíos e	Cambio en el índice de vacíos Δe	Altura Media de la Muestra	Índice de Compresibilidad C _c	Coefficiente de Compresibilidad Volumétrico m _v	Módulo Edométrico E	Tiempo t ₅₀	Coefficiente de Consolidación C _v	Coefficiente de Permeabilidad K
[horas]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	[mm]	[mm]	[%]	[mm]			[mm]		[cm ² /kg]	[kg/cm ²]	(s)	[cm ² /s]	[cm/s]
	0,00			25,09	100	13,20	1,11								
24	0,09	0,09						0,0572	24,75		0,317	3,15	2280	1,32E-04	4,19E-05
48	0,09	0,09	0,68	24,41	97,3	12,52	1,05								
48	0,09	0,09	0,68	24,41	97,3	12,52	1,05	0,0538	24,09	0,18	0,307	3,26	2520	1,13E-04	3,48E-05
72	0,17	0,17	1,32	23,77	94,7	11,88	1,00								
72	0,17	0,17	1,32	23,77	94,7	11,88	1,00	0,0862	23,26	0,29	0,252	3,97	1800	1,48E-04	3,73E-05
96	0,342	0,34	2,35	22,745	90,7	10,86	0,91								
96	0,342	0,34	2,35	22,745	90,7	10,86	0,91	0,1905	21,61	0,63	0,291	3,43	1440	1,60E-04	4,65E-05
120	0,68	0,77	4,61	20,48	81,6	8,59	0,72								
120	0,68	0,77	4,61	20,48	81,6	8,59	0,72	0,1283	19,72	0,39	0,096	10,39	1260	1,52E-04	1,46E-05
	1,46		6,14	18,96	75,5	7,07	0,59								

D _{smax}
1,598

79,9%
81,9%
85,0%
93,7%
100,6%

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

Empresa Contratista:	PPS. Lautaro Luque.	
Nro. de Muestra:	271/22	Anillo Nº 2
Tipo de suelo	Suelo de grano fino, cohesivo, color marrón claro.	
Ubicación	Terreno natural.	
Descripción	Tomado de acoipio	
Prof.	Sin datos m	
Fecha	4/7/23 Tipo de prueba: Ensayo Doblemente Abierto.	

Constantes geométricas del anillo.

Diámetro	63,50 mm.
Area	31,67 cm ²
Altura inicial del suelo, H _i	24,78 mm.

Peso específico absoluto (G_s): 2,655 gr/cm³

Determinaciones Gravimétricas

Peso anillo + suelo	242,82 gr.
Peso anillo	104,75 gr.
Peso suelo húmedo, w _t	138,1 gr.
Peso suelo seco, w _s	98,8 gr.
Altura solidos [H _s = w _s /(G _s .A)]	11,75 mm.
Altura inicial de vacios [H _v = H _i -H _s]	13,03 mm.
Grado de Saturación inicial [S _i = (w _t -w _s)/(H _v .A)]	95,2 %
Relación inicial de vacios, [e ₀ = H _v /H _s]	1,11

Determinación de humedad inicial

Peso Pf.+ suelo húmedo	41,51	gr.
Peso Pf.+ suelo seco	36,72	gr.
Peso Pf.:	24,68	gr.
Peso del agua	4,79	gr.
Peso del suelo seco	12,04	gr.
Humedad inicial	39,8	%
Grado de saturación	95,2	%

Determinación de humedad final

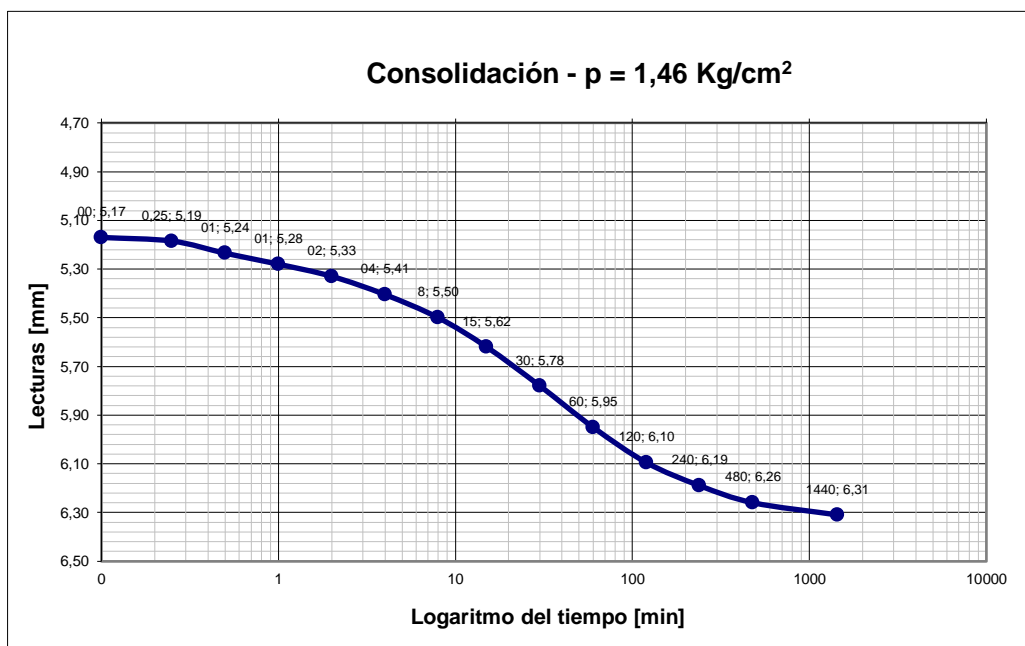
Peso Pf.+ suelo húmedo	93,70	gr.
Peso Pf.+ suelo seco	76,00	gr.
Peso cápsula	2,00	gr.
Peso del agua	17,7	gr.
Peso del suelo seco	74,00	gr.
Humedad final	23,9	%
Grado de saturación	1,5	%

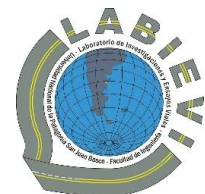
DATOS FINALES (Obtenidos al final del ensayo de carga)

Lectura inicial	1000 div.
Lectura final	0 div.
Diferencia altura	1 cm.
Altura final de vacios H _v f	12,03 cm.
Relación de vacios final [e _f =H _v f/H ₀]	0,69
Peso anillo + suelo	3630,8 gr.

Tiempo [seg.]	Carga [grs]	Presión [kg/cm ²]	Lectura del micrometro	Deformación d [mm]	$\Delta e: d/Hs$	e: $e_0 - \Delta e$
0,1	500	0,09	976	0,240	0,020	1,09
0,25			974	0,260	0,022	1,09
0,5			973	0,270	0,023	1,09
1			972	0,280	0,024	1,09
2			969	0,310	0,026	1,08
4			967	0,330	0,028	1,08
8			962	0,380	0,032	1,08
15			958	0,420	0,036	1,07
30			951	0,490	0,042	1,07
60			943	0,570	0,049	1,06
120			935	0,650	0,055	1,05
240			927	0,730	0,062	1,05
480			923	0,770	0,066	1,04
1440			919	0,810	0,069	1,04
						1,04
0,1	1000	0,17	905	0,950	0,081	1,03
0,25			903	0,970	0,083	1,03
0,5			902	0,980	0,083	1,03
1			900	1,000	0,085	1,02
2			898	1,020	0,087	1,02
4			896	1,040	0,089	1,02
8			892	1,080	0,092	1,02
15			887,5	1,125	0,096	1,01
30			881	1,190	0,101	1,01
60			872	1,280	0,109	1,00
120			865	1,350	0,115	0,99
240			857,5	1,425	0,121	0,99
480			851	1,490	0,127	0,98
1440			846	1,540	0,131	0,98
						0,98
0,1	2000	0,34	826	1,740	0,148	0,96
0,25			822,5	1,775	0,151	0,96
0,5			821	1,790	0,152	0,96
1			819	1,810	0,154	0,96
2			815	1,850	0,157	0,95
4			810,5	1,895	0,161	0,95
8			804,5	1,955	0,166	0,94
15			797	2,030	0,173	0,94
30			786,5	2,135	0,182	0,93
60			774	2,260	0,192	0,92
120			762	2,380	0,203	0,91
240			753	2,470	0,210	0,90
480			747,5	2,525	0,215	0,89
1440			741	2,590	0,220	0,89
						0,89

0,1	4000	0,68	616,5	3,835	0,33	0,78
0,25			613	3,870	0,33	0,78
0,5			610	3,900	0,33	0,78
1			606,5	3,935	0,33	0,77
2			602	3,980	0,34	0,77
4			594	4,060	0,35	0,76
8			586,5	4,135	0,35	0,76
15			577	4,230	0,36	0,75
30			564	4,360	0,37	0,74
60			549	4,510	0,38	0,73
120			534,5	4,655	0,40	0,71
240			526	4,740	0,40	0,71
480			519,5	4,805	0,41	0,70
1440			513	4,870	0,41	0,69
						0,69
0,1	8525	1,46	483	5,170	0,44	0,67
0,25			481,5	5,185	0,44	0,67
0,5			476,5	5,235	0,45	0,66
1			472	5,280	0,45	0,66
2			467	5,330	0,45	0,66
4			459,5	5,405	0,46	0,65
8			450	5,500	0,47	0,64
15			438	5,620	0,48	0,63
30			422	5,780	0,49	0,62
60			405	5,950	0,51	0,60
120			390,5	6,095	0,52	0,59
240			381	6,190	0,53	0,58
480			374	6,260	0,53	0,58
1440			369	6,310	0,54	0,57
						0,57





Duración del escalón [horas]	Presión Aplicada [kg/cm ²]	Escalón de Presión Δp [kg/cm ²]	Deformación Total [mm]	Altura Inicial de la Muestra [mm]	Altura de la muestra en porcentaje [%]	Altura represent. de los vacíos [mm]	Índice de vacíos e	Cambio en el índice de vacíos Δe	Altura Media de la Muestra [mm]	Índice de Compresibilidad C _c	Coefficiente de Compresibilidad Volumétrico m _v [cm ² /kg]	Módulo Edométrico E [kg/cm ²]	Tiempo t ₅₀ (s)	Coefficiente de Consolidación C _v [cm ² /s]	Coefficiente de Permeabilidad K [cm/s]
	0,00			24,78	100	13,03	1,11								
24	0,09	0,09	0,81	23,97	96,7	12,22	1,04	0,0690	24,38		0,382	2,62	1800	1,63E-04	6,21E-05
48	0,09	0,09	1,54	23,24	93,8	11,49	0,98	0,0621	23,61	0,21	0,356	2,81	1980	1,39E-04	4,94E-05
72	0,17	0,17	2,59	22,19	89,5	10,44	0,89	0,0894	22,72	0,30	0,264	3,78	1380	1,84E-04	4,87E-05
96	0,342	0,34	4,87	19,91	80,3	8,16	0,69	0,1941	21,05	0,64	0,300	3,33	1200	1,82E-04	5,46E-05
120	0,68	0,77	6,31	18,47	74,5	6,72	0,57	0,1226	19,19	0,37	0,093	10,70	1080	1,68E-04	1,57E-05
	1,46														

D _{smax}
1,598

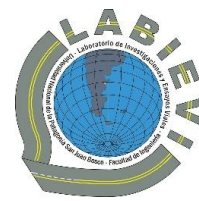
80,3%

82,7%

86,0%

95,2%

102,2%



ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

Empresa Contratista:	PPS. Lautaro Luque.	
Nro. de Muestra:	217/22	Anillo N° 3
Tipo de suelo	Suelo de grano fino, cohesivo, color marrón claro.	
Ubicación	Terreno natural.	
Descripción	Tomado de acopio	
Prof.	Sin datos m	
Fecha	4/7/23 Tipo de prueba: Ensayo Doblemente Abierto.	

Constantes geométricas del anillo.

Diámetro	.....	63,21 mm.
Area	.....	31,38 cm ²
Altura inicial del suelo, H _i	.....	24,50 mm.

Peso específico absoluto (G_s): **2,655 gr/cm³**

Determinaciones Gravimétricas

Peso anillo + suelo	.....	239,35 gr.
Peso anillo	.....	105,82 gr.
Peso suelo húmedo, w _t	.....	133,5 gr.
Peso suelo seco, w _s	.....	90,0 gr.
Altura sólidos [H _s = w _s /(G _s .A)]	.....	10,80 mm.
Altura inicial de vacíos [H _v = H _i -H _s]	.....	13,70 mm.
Grado de Saturación inicial [S _i = (w _t -w _s)/(H _v .A)]	.....	101,3 %
Relación inicial de vacíos, [e ₀ = H _v /H _s]	.....	1,27

Determinación de humedad inicial

Peso Pf.+ suelo húmedo	47,20	gr.
Peso Pf.+ suelo seco	40,30	gr.
Peso Pf.:	26,04	gr.
Peso del agua	6,9	gr.
Peso del suelo seco	14,26	gr.
Humedad inicial	48,4	%
Grado de saturación	101,3	%

Determinación de humedad final

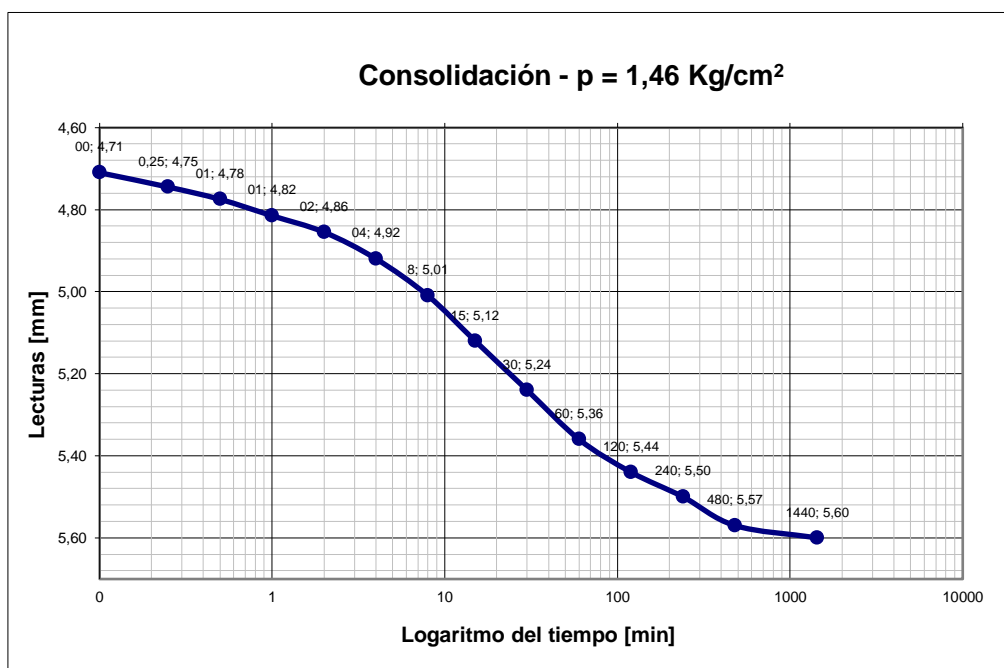
Peso Pf.+ suelo húmedo	93,70	gr.
Peso Pf.+ suelo seco	76,00	gr.
Peso cápsula	2,00	gr.
Peso del agua	17,7	gr.
Peso del suelo seco	74,00	gr.
Humedad final	23,9	%
Grado de saturación	1,5	%

DATOS FINALES (Obtenidos al final del ensayo de carga)

Lectura inicial	.....	1000 div.
Lectura final	.....	0 div.
Diferencia altura	.....	1 cm.
Altura final de vacíos H _{v_f}	.....	12,70 cm.
Relación de vacíos final [e _f =H _{v_f} /H ₀]	.....	0,85
Peso anillo + suelo	.....	3630,8 gr.

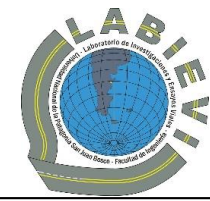
Tiempo [seg.]	Carga [grs]	Presión [kg/cm ²]	Lectura del micrometro	Deformación d [mm]	$\Delta e: d/Hs$	$e: e_0-\Delta e$
0,1	500	0,09	990	0,100	0,009	1,26
0,25			988	0,120	0,011	1,26
0,5			986	0,140	0,013	1,26
1			983	0,170	0,016	1,25
2			980	0,200	0,019	1,25
4			975	0,250	0,023	1,25
8			969	0,310	0,029	1,24
15			960	0,400	0,037	1,23
30			953	0,470	0,044	1,22
60			937	0,630	0,058	1,21
120			922	0,780	0,072	1,20
240			914	0,860	0,080	1,19
480			908	0,920	0,085	1,18
1440			902	0,980	0,091	1,18
						1,18
0,1	1000	0,17	890	1,100	0,102	1,17
0,25			889	1,110	0,103	1,17
0,5			888	1,120	0,104	1,16
1			886,5	1,135	0,105	1,16
2			884	1,160	0,107	1,16
4			879,5	1,205	0,112	1,16
8			872	1,280	0,119	1,15
15			865	1,350	0,125	1,14
30			852	1,480	0,137	1,13
60			835	1,650	0,153	1,12
120			821	1,790	0,166	1,10
240			812	1,880	0,174	1,09
480			805	1,950	0,181	1,09
1440			799	2,010	0,186	1,08
						1,08
0,1	2000	0,34	790,5	2,095	0,194	1,07
0,25			787	2,130	0,197	1,07
0,5			784,5	2,155	0,200	1,07
1			781,5	2,185	0,202	1,07
2			777,5	2,225	0,206	1,06
4			771	2,290	0,212	1,06
8			762	2,380	0,220	1,05
15			752	2,480	0,230	1,04
30			736	2,640	0,244	1,02
60			710,5	2,895	0,268	1,00
120			691	3,090	0,286	0,98
240			688,5	3,115	0,288	0,98
480			682,5	3,175	0,294	0,97
1440			677,5	3,225	0,299	0,97
						0,97

0,1	4000	0,68	660	3,400	0,31	0,95
0,25			658	3,420	0,32	0,95
0,5			655	3,450	0,32	0,95
1			651	3,490	0,32	0,95
2			647	3,530	0,33	0,94
4			640,5	3,595	0,33	0,94
8			630,5	3,695	0,34	0,93
15			618	3,820	0,35	0,91
30			601	3,990	0,37	0,90
60			581,5	4,185	0,39	0,88
120			567	4,330	0,40	0,87
240			559,5	4,405	0,41	0,86
480			555	4,450	0,41	0,86
1440			550	4,500	0,42	0,85
						0,85
0,1	8525	1,46	529	4,710	0,44	0,83
0,25			525,5	4,745	0,44	0,83
0,5			522,5	4,775	0,44	0,83
1			518,5	4,815	0,45	0,82
2			514,5	4,855	0,45	0,82
4			508	4,920	0,46	0,81
8			499	5,010	0,46	0,80
15			488	5,120	0,47	0,79
30			476	5,240	0,49	0,78
60			464	5,360	0,50	0,77
120			456	5,440	0,50	0,76
240			450	5,500	0,51	0,76
480			443	5,570	0,52	0,75
1440			440	5,600	0,52	0,75
						0,75





Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco
 Facultad de Ingeniería- Sede Trelew
 Práctica Profesional Supervisada



Duración total de la prueba [hs]:	120	G _s [gr./cm ³]:	2,655	Saturación (%):	101,3	T=	0,197
H _i [cm]:	24,50						
H _s [mm]:	10,80	e ₀ :	1,27	Tipo de prueba: Ensayo Doblemente Abierto.			

Duración del escalón	Presión Aplicada	Escalón de Presión Δp	Deformación Total	Altura Inicial de la Muestra	Altura de la muestra en porcentaje	Altura represent. de los vacíos	Índice de vacíos e	Cambio en el Índice de vacíos Δe	Altura Media de la Muestra	Índice de Compresibilidad C _c	Coefficiente de Compresibilidad Volumétrico m _v	Módulo Edométrico E	Tiempo t ₅₀	Coefficiente de Consolidación C _v	Coefficiente de Permeabilidad K
[horas]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	[mm]	[mm]	[%]	[mm]			[mm]		[cm ² /kg]	[kg/cm ²]	(s)	[cm ² /s]	[cm/s]
	0,00			24,50	100	13,70	1,27								
24	0,09	0,09						0,0907	24,01		0,468	2,14	1800	1,58E-04	7,38E-05
48	0,09	0,09	0,98	23,52	96,0	12,72	1,18								
	0,17		2,01	22,49	91,8	11,69	1,08	0,0954	23,01	0,32	0,512	1,95	1800	1,45E-04	7,42E-05
72	0,17	0,17													
	0,342		3,23	21,275	86,8	10,47	0,97	0,1125	21,88	0,37	0,316	3,17	1500	1,57E-04	4,97E-05
96	0,342	0,34													
	0,68		4,50	20,00	81,6	9,20	0,85	0,1180	20,64	0,39	0,175	5,71	1200	1,75E-04	3,06E-05
120	0,68	0,77													
	1,46		5,60	18,90	77,1	8,10	0,75	0,1018	19,45	0,31	0,071	14,07	780	2,39E-04	1,70E-05

D _{smax}
1,598

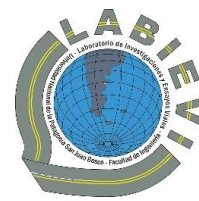
74,6%

77,8%

81,9%

87,0%

92,6%

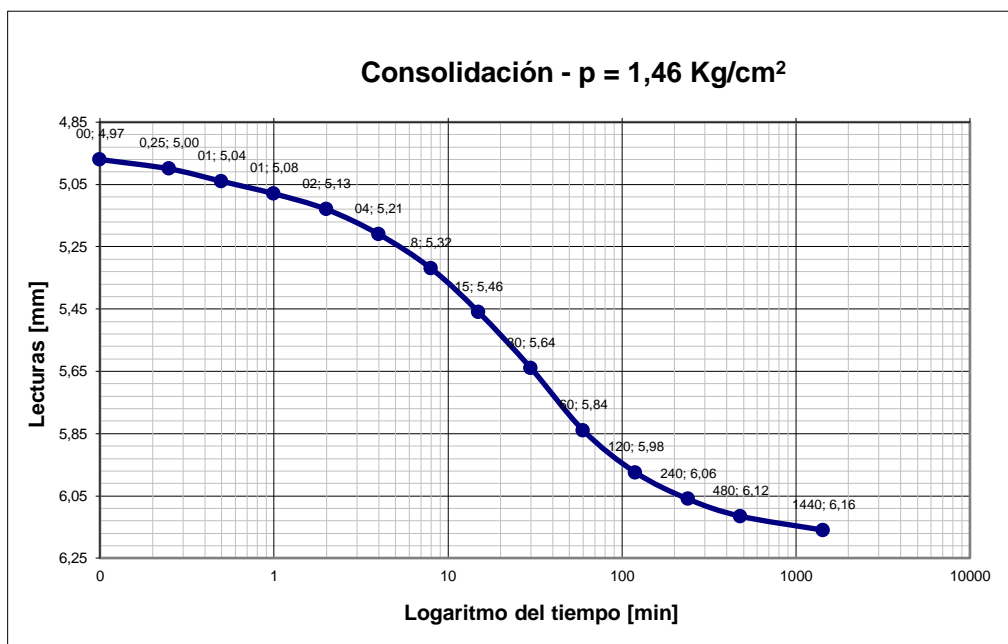


ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

Empresa Contratista:	PPS. Lautaro Luque.	
Nro. de Muestra:	271/22	Anillo N° 4
Tipo de suelo	Suelo de grano fino, cohesivo, color marrón claro.	
Ubicación	Terreno natural.	
Descripción	Tomado de acoipio	
Prof.	Sin datos m	
Fecha	4/7/23 Tipo de prueba: Ensayo Doblemente Abierto.	
Constantes geométricas del anillo.		
Diámetro	_____	63,57 mm.
Area	_____	31,74 cm ²
Altura inicial del suelo, H _i	_____	24,45 mm.
Peso específico absoluto (G_s):	_____	2,655 gr/cm³
Determinaciones Gravimétricas		
Peso anillo + suelo	_____	234,55 gr.
Peso anillo	_____	104,99 gr.
Peso suelo humedo, w _t	_____	129,6 gr.
Peso suelo seco, w _s	_____	86,7 gr.
Altura solidos [H _s = w _s /(G _s .A)]	_____	10,29 mm.
Altura inicial de vacios [H _v = H _i -H _s]	_____	14,16 mm.
Grado de Saturación inicial [S _i = (w _t -w _s)/(H _v .A)]	_____	95,4 %
Relación inicial de vacios, [e ₀ = H _v /H _s]	_____	1,38
Determinación de humedad inicial		
Peso Pf.+ suelo húmedo	49,99 gr.	
Peso Pf.+ suelo seco	42,65 gr.	
Peso Pf.:	27,80 gr.	
Peso del agua	7,34 gr.	
Peso del suelo seco	14,85 gr.	
Humedad inicial	49,4 %	
Grado de saturación	95,4 %	
Determinación de humedad final		
Peso Pf.+ suelo húmedo	93,70 gr.	
Peso Pf.+ suelo seco	76,00 gr.	
Peso cápsula	2,00 gr.	
Peso del agua	17,7 gr.	
Peso del suelo seco	74,00 gr.	
Humedad final	23,9 %	
Grado de saturación	1,6 %	
DATOS FINALES (Obtenidos al final del ensayo de carga)		
Lectura inicial	_____	1000 div.
Lectura final	_____	0 div.
Diferencia altura	_____	1 cm.
Altura final de vacios H _v f	_____	13,16 cm.
Relación de vacios final [e _f =H _v f/H ₀]	_____	0,92
Peso anillo + suelo	_____	3630,8 gr.

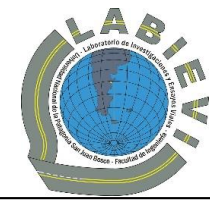
Tiempo [seg.]	Carga [grs]	Presión [kg/cm ²]	Lectura del micrometro	Deformación d [mm]	$\Delta e: d/Hs$	e: $e_0 - \Delta e$
0,1	500	0,09	986	0,140	0,014	1,36
0,25			984	0,160	0,016	1,36
0,5			982	0,180	0,017	1,36
1			980	0,200	0,019	1,36
2			977	0,230	0,022	1,35
4			969	0,310	0,030	1,35
8			963	0,370	0,036	1,34
15			954	0,460	0,045	1,33
30			939	0,610	0,059	1,32
60			922	0,780	0,076	1,30
120			904	0,960	0,093	1,28
240			894	1,060	0,103	1,27
480			888	1,120	0,109	1,27
1440			882	1,180	0,115	1,26
						1,26
0,1	1000	0,17	874	1,260	0,122	1,25
0,25			873	1,270	0,123	1,25
0,5			871	1,290	0,125	1,25
1			869	1,310	0,127	1,25
2			866,5	1,335	0,130	1,25
4			862,5	1,375	0,134	1,24
8			857	1,430	0,139	1,24
15			850	1,500	0,146	1,23
30			839	1,610	0,156	1,22
60			826	1,740	0,169	1,21
120			814	1,860	0,181	1,20
240			805	1,950	0,190	1,19
480			798,5	2,015	0,196	1,18
1440			791,5	2,085	0,203	1,17
						1,17
0,1	2000	0,34	778	2,220	0,216	1,16
0,25			775	2,250	0,219	1,16
0,5			773	2,270	0,221	1,16
1			769	2,310	0,225	1,15
2			765	2,350	0,228	1,15
4			759,5	2,405	0,234	1,14
8			751	2,490	0,242	1,13
15			739,5	2,605	0,253	1,12
30			729	2,710	0,263	1,11
60			715	2,850	0,277	1,10
120			699	3,010	0,293	1,08
240			678,5	3,215	0,312	1,06
480			672	3,280	0,319	1,06
1440			665	3,350	0,326	1,05
						1,05

0,1	4000	0,68	645	3,550	0,35	1,03
0,25			642,5	3,575	0,35	1,03
0,5			640	3,600	0,35	1,03
1			636,5	3,635	0,35	1,02
2			630,5	3,695	0,36	1,02
4			624	3,760	0,37	1,01
8			613	3,870	0,38	1,00
15			601,5	3,985	0,39	0,99
30			582	4,180	0,41	0,97
60			564	4,360	0,42	0,95
120			549	4,510	0,44	0,94
240			540	4,600	0,45	0,93
480			534,5	4,655	0,45	0,92
1440			528	4,720	0,46	0,92
						0,92
0,1	8525	1,46	503	4,970	0,48	0,89
0,25			500	5,000	0,49	0,89
0,5			496	5,040	0,49	0,89
1			492	5,080	0,49	0,88
2			487	5,130	0,50	0,88
4			479	5,210	0,51	0,87
8			468	5,320	0,52	0,86
15			454	5,460	0,53	0,85
30			436	5,640	0,55	0,83
60			416	5,840	0,57	0,81
120			402,5	5,975	0,58	0,80
240			394	6,060	0,59	0,79
480			388,5	6,115	0,59	0,78
1440			384	6,160	0,60	0,78
						0,78





Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco
Facultad de Ingeniería- Sede Trelew
Práctica Profesional Supervisada



Duración total de la prueba [hs]:	120	G _s [gr./cm ³]:	2,655	Saturación (%):	95,4	T= 0,197
H _i [cm]:	24,45					
H _s [mm]:	10,29	e ₀ :	1,38	Tipo de prueba: Ensayo Doblemente Abierto.		

Duración del escalón	Presión Aplicada	Escalón de Presión Δp	Deformación Total	Altura Inicial de la Muestra	Altura de la muestra en porcentaje	Altura represent. de los vacíos	Índice de vacíos e	Cambio en el Índice de vacíos Δe	Altura Media de la Muestra	Índice de Compresibilidad C _c	Coefficiente de Compresibilidad Volumétrico m _v	Módulo Edométrico E	Tiempo t ₅₀	Coefficiente de Consolidación C _v	Coefficiente de Permeabilidad K
[horas]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	[mm]	[mm]	[%]	[mm]			[mm]		[cm ² /kg]	[kg/cm ²]	(s)	[cm ² /s]	[cm/s]
	0,00			24,45	100	14,16	1,38								
24	0,09	0,09						0,1147	23,86		0,564	1,77	1680	1,67E-04	9,42E-05
	0,09		1,18	23,27	95,2	12,98	1,26								
48	0,09	0,09						0,0880	22,82	0,29	0,455	2,20	1620	1,58E-04	7,20E-05
	0,17		2,09	22,37	91,5	12,08	1,17								
72	0,17	0,17						0,1229	21,73	0,41	0,331	3,02	1800	1,29E-04	4,27E-05
	0,342		3,35	21,1	86,3	10,81	1,05								
96	0,342	0,34						0,1331	20,42	0,44	0,190	5,27	1200	1,71E-04	3,25E-05
	0,68		4,72	19,73	80,7	9,44	0,92								
120	0,68	0,77						0,1400	19,01	0,43	0,094	10,60	1080	1,65E-04	1,55E-05
	1,46		6,16	18,29	74,8	8,00	0,78								

D _{smax}
1,598

71,6%

74,7%

78,5%

83,8%

90,3%

8. Procedimiento para el Moldeo de probetas de suelo

8.1 Objetivo

Establecer una metodología para la confección de una probeta de suelo con un determinado grado de compactación, para su posterior ensayo a fines de determinar parámetros geotécnicos de interés a los fines de caracterizar el suelo en estudio.

8.2 Equipo

- Tubos de plástico (de ϕ y h ya establecidos)
- Pisón metálico.
- Balanza electrónica.
- Bandeja metálica.
- Embudo de plástico.
- Cinta de papel.
- Vaselina.

8.3 Cálculos previos

Previo al moldeo de una nueva serie de probetas de suelo, se procede al cálculo del peso de suelo necesario para la elaboración de una probeta para un determinado grado de compactación. Se consideran como datos ya conocidos:

- Densidad máxima seca $\gamma_{s100\%}$
- Humedad óptima w_{opt}

A continuación, se procederá al cálculo del peso de suelo para la elaboración de una probeta con un GCR desconocido. En primer lugar, se calcula la densidad seca para este nuevo grado de compactación y seguidamente su respectiva densidad húmeda para la humedad óptima:

$$\gamma_{SGCRx} = \gamma_{s100\%} \cdot GCR_x \quad (62)$$

$$\gamma_{hGCRx} = \gamma_{SGCRx} \cdot (1 + w_{opt}) \quad (63)$$

En función del volumen del tubo de moldeo y de la densidad húmeda ya calculada, se calcula el peso de suelo necesario:

$$P_{hGCRx} = \gamma_{hGCRx} \cdot Volumen = \gamma_{hGCRx} \cdot (h \cdot \phi) \quad (64)$$

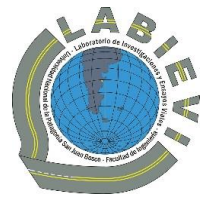
8.4 Pasos

8.4.1 **Preparación de los tubos de moldeo**

- 1) Se tapa la base de cada tubo de moldeo, empleando cinta de papel.
- 2) Se recubren las paredes internas del tubo con vaselina, para facilitar el posterior desmolde.
- 3) Se procede a medir el peso del tubo y la geometría del mismo (altura y diámetro).

8.4.2 **Moldeo de la probeta**

- 1) Se coloca la bandeja metálica sobre la balanza, tarándola.
- 2) Se procede a pesar la cantidad de suelo necesaria para una probeta, sobre la bandeja, retirándola una vez concluida la tarea.
- 3) Sobre la bandeja, se divide la muestra de suelo en 8 o 10 partes de tamaño similar.
- 4) Con ayuda de un embudo, se introduce una fracción de suelo dentro del tubo de plástico.
- 5) Se compacta el suelo con ayuda del pisón con un número de golpes (entre 4-5) y energía constantes.



- 6) Se repite los pasos 4 y 5 hasta completar el volumen del tubo, terminando de conformar la probeta.
- 7) Se procede a pesar el peso del Tubo + Suelo.

8.4.3 Desmolde de probeta

- 1) Se retira la cinta de papel de la base de los tubos.
- 2) Con ayuda de un pisón metálico, se empuja la muestra desde la parte inferior del tubo, retirando por la probeta de suelo por la parte superior.
- 3) Se procede a pesar el peso del tubo y medir la geometría del mismo (altura y diámetro).
- 4) Se procede a medir el peso de la probeta del suelo y la geometría de la misma (altura y diámetro).

9. Resultados del moldeo de probetas para el Ensayo de Permeabilidad

	Probetas Suelo (30/03/23)			Probetas Suelo (04/04/23)					
Tubo (N°)	1	2	3	2	3	4	5	6	
Peso Tubo (gr)	67,21	67,19	67,23	50,40	50,17	50,09	50,95	50,52	
Diámetro Tubo (cm)	3,345	3,345	3,345	3,345	3,345	3,345	3,345	3,345	
Altura Tubo (cm)	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	
Vol. Tubo (cm ³)	87,88	87,88	87,88	87,88	87,88	87,88	87,88	87,88	
GCR esperado (%)	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	
P. H. preparar (gr)	135,15	135,15	135,15	135,15	135,15	135,15	135,15	135,15	

Diámetro Final (cm)	3,345	3,345	3,345	3,345	3,345	3,345	3,345	3,345
Altura Final (cm)	10,68	9,01	10,07	9,65	9,57	9,86	9,76	9,80
Vol. Final (cm ³)	93,88	79,14	88,48	84,80	84,06	86,65	85,74	86,12
P. Suelo + Tubo (gr)	227,10	227,20	231,00	185,72	185,49	185,35	186,29	185,37
Peso H. (gr)	135,00	133,99	133,00	133,99	133,00	132,01	133,00	132,01
Peso S. (gr)	112,22	111,38	110,56	111,38	110,56	109,73	110,56	109,73
Den S. (gr/cm ³)	1,195	1,407	1,249	1,313	1,315	1,266	1,289	1,274
GCR (%)	74,8	88,1	78,2	82,2	82,3	79,3	80,7	79,7
Gravedad específica GS (gr/cm ³)	2,655	2,655	2,655	2,655	2,655	2,655	2,655	2,655
Porosidad n (%)	55,0	46,99	52,9	50,5	50,5	52,3	51,4	52,0
Índice de vacíos	1,22	0,89	1,12	1,02	1,02	1,10	1,06	1,08
Porosidad/Índice de vacíos	2,22	1,89	2,12	2,02	2,02	2,10	2,06	2,08
Volumen de agua (cm ³)	22,78	22,61	22,44	22,61	22,44	22,28	22,44	22,28
Volumen de vacíos (cm ³)	51,61	37,19	46,84	42,85	42,42	45,32	44,10	44,79
Volumen de sólidos (cm ³)	42,27	41,95	41,64	41,95	41,64	41,33	41,64	41,33
Grado de saturación S (%)	44,1	60,8	47,9	52,8	52,9	49,2	50,9	49,7

10. Procedimiento para Ensayo de permeabilidad mediante Cámara Triaxial

10.1 Objetivo

Establecer un método de determinación del coeficiente de permeabilidad para un suelo de baja permeabilidad, empleando el equipo para ensayos triaxiales.

10.2 Equipo

- Marco de carga, con un aro dinamométrico instalado
- Cámara triaxial, compuesta por un cilindro de acrílico transparente, una base metálica con 3 válvulas para la entrada/salida de agua y/o aire, y una cubierta superior también metálica en donde se posiciona un manómetro y el vástago del esfuerzo desviador.
- Cabezales metálicos inferior y superior, con sus respectivas piedras porosas, geotextiles y aros de goma (O-Ring).
- Sistema hidroneumático, compuesto por un compresor de aire y un pulmón cargado de agua, ambos equipados con manómetro para la lectura de la presión generada.
- Membrana de látex.
- Sistema para la colocación de membrana por succión.
- Trampa de vacío, compuesta por un recipiente de vidrio y una bomba de succión.
 - *En caso de trabajar a presión atmosférica, Recipiente de vidrio con tapa de plástico roscada.*
- Mangueras de conexión y abrazaderas metálicas.
- Balanza electrónica.
- Cronómetro.
- Termómetro.

10.3 Pasos

10.3.1 *Preparación de la muestra*

- 1) Se colocan los aros de goma sobre el sistema de colocación, uno en cada extremo posicionándolos sobre la unión entre los tubos que componen el sistema.
- 2) Se coloca la membrana en uno de los extremos, introduciendo la misma en el interior del sistema de colocación y expandiéndola lentamente hasta poder arremangarla sobre la superficie libre del tubo interno. Se repite el mismo paso en el otro extremo, cerciorándose que la membrana no haya experimentado ninguna torsión o giro relativo de un extremo al otro.
- 3) Se expande la membrana sobre la superficie interior del tubo de colocación, empleando el sistema de mangueras de succión, de forma manual o con la ayuda de la bomba de succión.
- 4) Se introduce la muestra en el interior del sistema de colocación.

En el caso de emplear doble membrana, se emplean 2 sistemas de colocación. En primer lugar, se repiten los pasos 2 a 4 y se retira la muestra cubierta con la membrana del primer tubo, abriendo la unión de las media-cañas. A continuación, se repiten los pasos 1 a 4 empleando el segundo sistema de colocación.

10.3.2 *Colocación de la muestra en la Cámara*

- 1) Se enrosca el cabezal inferior sobre la base de la cámara triaxial, colocando en su interior la respectiva piedra porosa y el geotextil por encima de esta.
- 2) Se posiciona la muestra (todavía en el interior del sistema de colocación) sobre el cabezal, apoyando la cara inferior de la probeta sobre la piedra porosa + geotextil.

- 3) Mientras que la probeta se mantiene apoyada sobre la piedra porosa, se desplaza el tubo de plástico hacia abajo, cubriendo con el mismo el cabezal hasta superar la ranura del O-Ring.
- 4) Se desplaza la membrana enrollada sobre el tubo de plástico y se la estira sobre la superficie del cabezal, cubriéndolo completamente.
- 5) Cuidadosamente, se eleva el tubo de plástico hasta el nivel de la ranura del cabezal, momento en el cual se desplaza el aro de goma desde el sistema de colocación hasta la hendidura, quedando entonces la membrana firmemente ajustada por el O-Ring.
- 6) Se acopla el cabezal superior con la respectiva manguera de salida de la cámara, cuidando que la conexión de bronce se mantenga alineada con la varilla roscada ubicada en la parte trasera-derecha, la cual sirve soporte para la tapa.
- 7) Se coloca de forma secuencial, sobre la cara superior de la probeta de suelo, el geotextil, la piedra porosa y por último el cabezal superior, la cual cubre a los elementos anteriores.
- 8) Cuidadosamente, se eleva el tubo de plástico por encima el nivel de la ranura del cabezal y se desplaza la membrana enrollada sobre el tubo de plástico, estirándola sobre la superficie del cabezal.
- 9) Se desplaza el tubo de plástico hacia abajo hasta el nivel de la ranura del O-Ring, en donde se desplaza el aro de goma desde el sistema de colocación hasta la hendidura, quedando entonces la membrana firmemente ajustada por el O-Ring.
- 10) Se desarma el sistema de colocación, deshaciendo la unión de las media-cañas.
- 11) Se coloca la cubierta de acrílico y la tapa metálica superior de la tapa superior, empleando el vástago del esfuerzo para mantener sujeta la muestra (pero sin ejercer una fuerza de compresión), apoyándola suavemente sobre la muesca del cabezal superior.
- 12) Se colocan las perillas mariposa y se las ajusta hasta lograr que la cámara se encuentre firmemente sellada y sin fugas.

10.3.3 Conexiones y disposiciones previas al ensayo

- 1) Se deposita la cámara cuidadosamente sobre el pedestal del marco de carga.
- 2) Mediante los diales del marco de carga, se ajusta la posición vertical de la cámara. Sobre el vástago del esfuerzo desviador se coloca un resorte metálico el cual, a medida que el vástago sube y se introduzca en un acople hueco, se comprime.
- 3) Se comprueba que las 3 válvulas se encuentren firmemente cerradas.
- 4) Se realiza la conexión de las válvulas con los distintos depósitos, asegurando cada una de ellas mediante respectivas abrazaderas:
 - a. La válvula N°1 (Izquierda) se la acopla mediante una manguera a la conexión de agua.
 - b. La válvula N°2 (Central) se la conecta mediante una manguera al pulmón hidroneumático.
 - c. La válvula N°3 (Derecha) se la conecta mediante una manguera a la trampa de vacío.
- 5) Posicionar la trampa de vacío sobre la balanza electrónica.

10.3.4 Puesta en marcha del ensayo

- 1) Se abre la válvula N°1, comenzando a llenar la cámara con agua, empleando la purga de aire para evacuar el exceso.
- 2) Cerrar la válvula N°1 y desconectar la manguera acoplada a la misma.
- 3) Conectar la purga de aire con el pulmón hidroneumático, mediante su respectiva manguera.
- 4) Activar el compresor de aire, produciendo el aumento de presión dentro del pulmón.
- 5) Abrir la válvula del pulmón, produciendo el paso de aire desde el pulmón a la cámara por la purga de aire, dotando de presión al recinto.
- 6) Abrir la Válvula N°3 (Cámara triaxial – Trampa de vacío), permitiendo la purga de aire existente en la conexión.

- 7) Abrir la Válvula N°2 (Pulmón – Cámara triaxial), permitiendo el paso de agua desde el pulmón hasta la muestra de suelo.
- 8) Conectar, mediante una manguera, la trampa de vacío a la bomba de succión y encenderla. En el caso de tener que apagar esta última, se debe desconectar la manguera entre la bomba y la trampa de vacío, antes de desenchufar la bomba para evitar el retroceso de aceite y un daño potencial en el dispositivo.
- 9) Tomar registro de los siguientes datos: P_{Entrada} (Pulmón), P_{Salida} (Bomba), Tara de la balanza y tiempo de registro. En la primera medición se considera $P = 0$ g y $t = 0$ seg.
- 10) Las mediciones posteriores se realizarán cuando:
 - a. Se producen variaciones significativas en la presión.
 - b. Activación del compresor de aire.
 - c. Cada 10 minutos

En el caso de no emplear la bomba de succión, sino optar por trabajar a presión atmosférica, se desconectará la manguera acoplada a la trampa de vacío y se reemplazará a esta última por un recipiente, el cual también se colocará sobre la balanza electrónica.

10.3.5 Finalización del ensayo

- 1) Cerrar la Válvula N°2 para evitar la entrada y acumulación de agua dentro de la probeta.
- 2) Cerrar la Válvula N°3 para cerrar el paso de agua de la cámara a la trampa.
- 3) Cerrar la Válvula del pulmón, para detener el suministro de aire presurizado a la cámara triaxial
- 4) Apagar el compresor de aire.
- 5) Abrir la Válvula N°1 para realizar la purga del agua en el interior de la cámara triaxial.
- 6) Separar todas las mangueras conectadas a la cámara triaxial.
- 7) Retirar la cámara del pedestal del marco.
- 8) Retirar rápidamente la tapa metálica pero manteniendo el esfuerzo desviador asegurando la estabilidad de la probeta hasta poder sujetarla con 2 medias cañas.
- 9) Retirar el cilindro de acrílico.
- 10) Desconectar la manguera del cabezal superior.
- 11) Desenroscar el cabezal inferior.
- 12) Retirar los aros de gomas de ambos cabezales y separar el conjunto Cabezal-Piedra-Geotextil de la probeta.

10.4 Cálculos posteriores

10.4.1 Determinación de humedad posterior al ensayo

Concluido el ensayo, se retira (o rompe) la membrana de látex para liberar la probeta de suelo ensayado. Posteriormente, se procede a dividirla en 2 muestras, una perteneciente a la parte inferior por donde ingreso el agua y otra perteneciente a la parte superior por donde salió el agua, a fines de analizar la humedad de ambas y determinar si la muestra efectivamente entro en régimen.

También es posible optar por estudiar 3 muestras: Inferior, Centro y Superior.

- 5) Se procede a la determinación del peso de los pesafiltros a utilizar, empleando la balanza electrónica.
- 6) Se introducen las muestras de suelo en sus respectivos pesafiltros, y se vuelve a pesar el conjunto de Pesafiltro + Suelo.
- 7) Se introducen los Pesafiltros + Suelo dentro de la estufa de secado, dejándolos por 24 hs aprox.
- 8) Se retiran los Pesafiltros + Suelos y se pesan nuevamente en la balanza electrónica.

Por diferencia de pesos, se determina el peso seco, húmedo y del agua de cada muestra, además de la humedad de la misma:

$$P_{Sh} = P_{Sh+PF} - P_{PF} \quad (45)$$

$$P_{SS} = P_{SS+PF} - P_{PF} \quad (46)$$

$$P_w = P_{Sh} - P_{SS} \quad (47)$$

$$w (\%) = \frac{P_w}{P_{Sh}} \cdot 100 \quad (48)$$

Conociendo los distintos valores de humedad de una muestra, podemos entonces establecer el gradiente de humedad y determinar si la muestra si encuentra saturada de agua de manera uniforme, confirmando que el suelo ya ha entrado en régimen.

10.4.2 Determinación del coeficiente de permeabilidad del suelo

Los resultados se volcarán en la siguiente planilla:

N° de muestra	Geometría				Manómetros			Tiempo		Recolección de agua				k [cm/seg]
	h_i [cm]	h_f [cm]	D [cm]	A [cm ²]	H_1 [kg/cm ²]	H_2 [cmHg]	ΔH [cmH ₂ O]	t_{Acum} u Horario [hh:mm:ss]	t [hh:mm:ss]	P_{Acum} [g]	P [g]	$t^\circ C$	Q [cm ³]	

En la planilla se encuentran volcados los datos referidos tanto:

- Geometría de la muestra (altura inicial y final, diámetro y área)
- Lectura de la presión en los manómetros del pulmón hidrostático (H_1) y de la bomba de succión (H_2). Se calculará el diferencial de presión como la resta algebraica de los promedios de valores de presión anteriores en un mismo intervalo de tiempo:

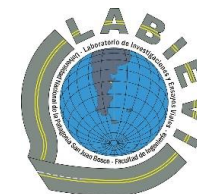
$$\Delta h = \frac{H_{10} - H_{11}}{2} - \left(-\frac{H_{20} - H_{21}}{2} \right) \quad (65)$$

Si se trabaja a presión atmosférica, esto se verá reflejado como $H_2=0$.

- El peso de agua P erogada en un intervalo de tiempo, junto con la temperatura del fluido. De esa forma, podemos calcular su volumen Q con precisión.

De esa forma podemos calcular el coeficiente de permeabilidad del suelo para cada intervalo de tiempo establecido mediante la Ecuación (18):

$$k = \frac{Q \cdot L}{\Delta h \cdot \Delta t \cdot A}$$

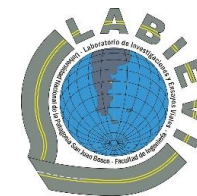


11. Resultados obtenidos en los Ensayos de permeabilidad

Muestra	Geometría				Manómetros			Tiempo		Recolección de agua				k [cm/seg]
	h _i [cm]	h _f [cm]	D [cm]	A [cm ²]	H ₁ [kg/cm ²]	H ₂ [cmHg]	ΔH [cmH ₂ O]	t _{Acum} u Horario [hh:mm:ss]	t [hh:mm:ss]	P _{Acum} [g]	P [g]	t°C	Q [cm ³]	
III (30/3/2023)	10,069	-----	3,345	8,788	2,50	6	-----	00:00:00	-----		-----	16	-----	0,00E+00
					2,50	6	2581,57	00:02:46	00:02:46	60	60		60	1,60E-04
					2,50	6	2581,57	00:05:44	00:02:58	120	60		60	1,50E-04
					2,50	6	2581,57	00:07:13	00:01:29	180	60		60	2,99E-04
VI (4/4/2023)	9,800	9,400	3,345	8,788	2,00	58	-----	00:00:00	-----		-----	16	-----	0,00E+00
					1,80	58	2688,51	00:08:35	00:08:35	7,2	7,2		7,2	5,80E-06
					2,50	58	2938,51	00:10:44	00:02:09	8,7	1,5		1,5	4,41E-06
					2,07	57	3066,71	00:26:26	00:15:42	20,3	11,6		11,6	4,48E-06
IV (4/4/2023)	9,860	-----	3,345	8,788	2,50	60	-----	00:00:00	-----		-----	16	-----	0,00E+00
					2,40	61	3272,50	00:12:53	00:12:53	11,5	11,5		11,5	5,10E-06
					2,40	61	3229,30	00:20:02	00:07:09	16,8	5,3		5,3	4,29E-06
					2,35	61	3204,30	00:30:00	00:09:58	22,6	5,8		5,8	3,39E-06
					2,33	61	3169,30	00:33:41	00:03:41	24,7	2,1		2,1	3,37E-06
V (4/4/2023)	9,757	-----	3,345	8,788	2,60	60	-----	00:00:00	-----		-----	16	-----	0,00E+00
					2,50	59,5	3362,30	00:10:19	00:10:19	2,9	2,9		2,9	1,55E-06
					2,45	59	3280,50	00:20:01	00:09:42	6,8	3,9		3,9	2,27E-06
					2,43	59	3239,61	00:30:01	00:10:00	10,6	3,8		3,8	2,17E-06
					2,43	62	-----	00:00:00	-----		-----		-----	
					2,43	62	3268,09	00:10:02	00:10:02	1	1		1	5,64E-07
					2,43	62	3268,09	00:20:01	00:09:59	2,7	1,7		1,7	9,64E-07
					2,43	62	3268,09	00:32:15	00:12:14	4,2	1,5		1,5	6,94E-07



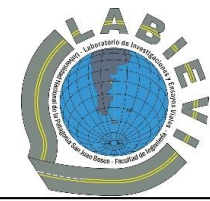
Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco
Facultad de Ingeniería- Sede Trelew
Práctica Profesional Supervisada



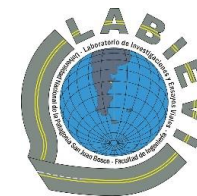
					2,60	0	----	10:00:00	----		----		
					2,60	0	2600,00	10:43:00	00:43:00	0,5	0,5	0,5	8,28E-08
					2,60	0	2600,00	10:54:00	00:11:00	1,2	0,7	0,7	4,53E-07
					2,60	0	2600,00	11:00:00	00:06:00	1,6	0,4	0,4	4,74E-07
					2,60	0	2600,00	11:16:00	00:16:00	2,6	1	1	4,45E-07
					2,60	0	2600,00	11:23:00	00:07:00	3	0,4	0,4	4,07E-07
					2,50	0	2550,00	08:30:00	20:07:00	75,6	72,6	72,6	4,36E-07
					2,50	0	2500,00	09:08:00	00:38:00	77	1,4	1,4	2,73E-07
					2,50	60	-----	09:44:00	-----		-----		
					2,50	60	3315,70	10:09:00	00:25:00	0,1	0,1	0,1	2,23E-08
					2,50	60	3315,70	10:21:00	00:12:00	0,2	0,1	0,1	4,65E-08
III (4/4/2023)	9,566		3,345	8,788	2,50	0		08:10:00	-----		-----	-----	0,00E+00
					2,40	0	2450,00	09:12:00	01:02:00	306,2	306,2	306,2	3,66E-05
					2,40	0	2400,00	09:50:00	00:38:00	458	18,0	18,0	3,58E-06
					2,40	0	2400,00	10:15:00	00:25:00	467	27,0	27,0	8,16E-06
II (30/3/2023)	9,006	8,860	3,345	8,788	2,50	0		16/5/2023 12:00	-----			0	0,00E+00
					1,97	0	2235,00	17/5/2023 09:19	21:19:00	1848,5	1848,5	1848,5	1,10E-05
					2,30	0	2135,00	18/5/2023 08:25	23:06:00	1389,5	1389,5	1389,5	8,02E-06
					2,25	0	2275,00	18/5/2023 09:20	00:55:00	1425,1	35,6	35,6	4,86E-06
					2,60	0		18/5/2023 12:08	-----	0	-----	-----	
					2,50	0	2550,00	19/5/2023 08:25	20:17:00	235,3	235,3	235,3	1,30E-06
					2,50	0	2500,00	19/5/2023 09:32	01:07:00	241,0	5,7	5,7	5,81E-07
					2,50	0	2500,00	19/5/2023 11:43	02:11:00	252,2	11,2	11,2	5,84E-07
					2,30	0	2400,00	22/5/2023 08:30	68:47:00	617,9	365,7	365,7	6,31E-07
					2,30	0	2300,00	22/5/2023 11:50	03:20:00	625,6	7,7	7,7	2,86E-07
					2,30	0	2300,00	23/5/2023 09:30	21:40:00	680,4	54,8	54,8	3,13E-07



Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco
Facultad de Ingeniería- Sede Trelew
Práctica Profesional Supervisada



					2,30	0	2300,00	23/5/2023 11:35	02:05:00	685,6	5,2		5,2	3,09E-07
					2,30	0	2300,00	23/5/2023 12:13	00:38:00	686,9	1,3		1,3	2,54E-07
					2,25	0	2275,00	24/5/2023 10:20	22:07:00	729,2	42,3		42,3	2,39E-07
					2,25	0	2250,00	24/5/2023 11:04	00:44:00	730,4	1,2		1,2	2,07E-07
					2,25	0	2250,00	24/5/2023 11:32	00:28:00	731,1	0,7		0,7	1,90E-07
					2,25	0	2250,00	24/5/2023 12:00	00:28:00	731,8	0,7		0,7	1,90E-07
					2,25	0	2250,00	24/5/2023 12:23	00:23:00	732,3	0,5		0,5	1,65E-07
					1,90	0	2075,00	29/5/2023 08:55	116:32:00	845,2	112,9		112,9	1,33E-07
					1,90	0	1900,00	29/5/2023 09:35	00:40:00	845,6	0,4		0,4	8,99E-08
					1,90	0	1900,00	29/5/2023 11:00	01:25:00	846,4	0,8		0,8	8,46E-08
					1,90	0	1900,00	29/5/2023 11:28	00:28:00	846,6	0,2		0,2	6,42E-08
					1,80	0	1850,00	29/5/2023 11:59	00:31:00	846,8	0,2		0,2	5,96E-08
					2,50	0	2150,00	29/5/2023 12:22	00:23:00	847,0	0,2		0,2	6,91E-08



12. Resultados del moldeo de probetas para Ensayos triaxiales finales

	Probetas Suelo (09/02/2024)					Probetas Suelo (26/10/23)				
<i>Tubo (N°)</i>	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<i>Peso Tubo (gr)</i>	49,98	49,97	49,98	49,15	49,60	49,98	49,97	49,98	49,15	49,60
<i>Diam. Tubo (cm)</i>	3,345	3,345	3,345	3,345	3,345	3,345	3,345	3,345	3,345	3,345
<i>Altura Tubo (cm)</i>	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
<i>Vol. Tubo (cm³)</i>	87,88	87,88	87,88	87,88	87,88	87,88	87,88	87,88	87,88	87,88
<i>GCR esperado (%)</i>	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
<i>P. H. preparar (gr)</i>	143,60	143,60	143,60	143,60	143,60	168,94	168,94	168,94	168,94	168,94
<i>Diam. Final (cm)</i>	3,345	3,345	3,345	3,345	3,345	3,345	3,345	3,345	3,345	3,345
<i>Altura Final (cm)</i>	9,92	10,05	10,01	10,00	9,91	9,87	9,49	9,54	9,85	9,57
<i>Vol. Final (cm³)</i>	87,20	88,32	87,95	87,83	87,06	86,74	83,37	83,86	86,53	84,10
<i>P. Suelo+Tubo (gr)</i>	190,67	191,83	191,79	192,01	191,05	192,36	200,88	193,51	191,50	197,92
<i>Peso H. (gr)</i>	140,69	141,86	141,81	142,86	141,45	142,38	150,91	143,53	142,35	148,32
<i>Peso S. (gr)</i>	116,95	117,92	117,88	118,75	117,58	126,92	134,52	127,95	126,89	132,22
<i>Den S. (gr/cm³)</i>	1,341	1,335	1,340	1,352	1,351	1,463	1,614	1,526	1,467	1,572
<i>GCR (%)</i>	83,9	83,6	83,9	84,6	84,5	91,6	101,0	95,5	91,8	98,4
<i>Gravedad especifica GS (gr/cm³)</i>	2,655	2,655	2,655	2,655	2,655	2,655	2,655	2,655	2,655	2,655
<i>Porosidad n (%)</i>	49,5	49,71	49,5	49,1	49,1	44,9	39,22	42,5	44,8	40,8
<i>Índice de vacíos</i>	0,98	0,99	0,98	0,96	0,97	0,81	0,65	0,74	0,81	0,69
<i>Porosidad/Índice de vacíos</i>	1,98	1,99	1,98	1,96	1,97	1,81	1,65	1,74	1,81	1,69
<i>e/1+e</i>	0,495	0,497	0,495	0,491	0,491	0,449	0,392	0,425	0,448	0,408
<i>Volumen de agua (cm³)</i>	23,74	23,94	23,93	24,11	23,87	15,46	16,39	15,58	15,46	16,10
<i>Volumen de vacíos (cm³)</i>	43,15	43,90	43,55	43,11	42,77	38,93	32,70	35,67	38,73	34,30
<i>Volumen de solidos (cm³)</i>	44,05	44,42	44,40	44,73	44,29	47,80	50,67	48,19	47,79	49,80
<i>Grado de saturación S (%)</i>	55,0	54,5	54,9	55,9	55,8	39,7	50,1	43,7	39,9	46,9

13. Procedimiento para Ensayos triaxiales

13.1 Objetivo

Establecer un método de determinación del coeficiente de permeabilidad para un suelo de baja permeabilidad, empleando el equipo para ensayos triaxiales.

13.2 Equipo

- Marco de carga, con un aro dinamométrico instalado
- Cámara triaxial, compuesta por un cilindro de acrílico transparente, una base metálica con 3 válvulas para la entrada/salida de agua y/o aire, y una cubierta superior también metálica en donde se posiciona un manómetro y el vástago del esfuerzo desviador.
- Cabezales metálicos inferior y superior, con sus respectivas piedras porosas, geotextiles y aros de goma (O-Ring).
- Sistema hidroneumático, compuesto por un compresor de aire y un pulmón cargado de agua, ambos equipados con manómetro para la lectura de la presión generada.
- Membrana de látex.
- Sistema para la colocación de membrana por succión.
- Embudo
- Flexímetros para medir deformaciones y cargas.
- Cronómetro.

13.3 Pasos

13.3.1 *Preparación de la muestra*

- 1) Se colocan los aros de goma sobre el sistema de colocación, uno en cada extremo posicionándolos sobre la unión entre los tubos que componen el sistema.
- 2) Se coloca la membrana en uno de los extremos, introduciendo la misma en el interior del sistema de colocación y expandiéndola lentamente hasta poder arremangarla sobre la superficie libre del tubo interno. Se repite el mismo paso en el otro extremo, cerciorándose que la membrana no haya experimentado ninguna torsión o giro relativo de un extremo al otro.
- 3) Se expande la membrana sobre la superficie interior del tubo de colocación, empleando el sistema de mangueras de succión, de forma manual o con la ayuda de la bomba de succión.
- 4) Se introduce la muestra en el interior del sistema de colocación.

En el caso de emplear doble membrana, se emplean 2 sistemas de colocación. En primer lugar, se repiten los pasos 2 a 4 y se retira la muestra cubierta con la membrana del primer tubo, abriendo la unión de las media-cañas. A continuación, se repiten los pasos 1 a 4 empleando el segundo sistema de colocación.

13.3.2 *Colocación de la muestra en la Cámara*

- 1) Se enrosca el cabezal inferior sobre la base de la cámara triaxial, colocando en su interior la respectiva piedra porosa y el geotextil por encima de esta.
- 2) Se posiciona la muestra (todavía en el interior del sistema de colocación) sobre el cabezal, apoyando la cara inferior de la probeta sobre la piedra porosa + geotextil.
- 3) Mientras que la probeta se mantiene apoyada sobre la piedra porosa, se desplaza el tubo de plástico hacia abajo, cubriendo con el mismo el cabezal hasta superar la ranura del O-Ring.
- 4) Se desplaza la membrana enrollada sobre el tubo de plástico y se la estira sobre la superficie del cabezal, cubriéndolo completamente.

- 5) Cuidadosamente, se eleva el tubo de plástico hasta el nivel de la ranura del cabezal, momento en el cual se desplaza el aro de goma desde el sistema de colocación hasta la hendidura, quedando entonces la membrana firmemente ajustada por el O-Ring.
- 6) Se acopla el cabezal superior con la respectiva manguera de salida de la cámara, cuidando que la conexión de bronce se mantenga alineada con la varilla roscada ubicada en la parte trasera-derecha, la cual sirve soporte para la tapa.
- 7) Se coloca de forma secuencial, sobre la cara superior de la probeta de suelo, el geotextil, la piedra porosa y por último el cabezal superior, la cual cubre a los elementos anteriores.
- 8) Cuidadosamente, se eleva el tubo de plástico por encima el nivel de la ranura del cabezal y se desplaza la membrana enrollada sobre el tubo de plástico, estirándola sobre la superficie del cabezal.
- 9) Se desplaza el tubo de plástico hacia abajo hasta el nivel de la ranura del O-Ring, en donde se desplaza el aro de goma desde el sistema de colocación hasta la hendidura, quedando entonces la membrana firmemente ajustada por el O-Ring.
- 10) Se desarma el sistema de colocación, deshaciendo la unión de las media-cañas.
- 11) Se coloca la cubierta de acrílico y la tapa metálica superior de la tapa superior, empleando el vástago del esfuerzo desviador para mantener sujeta la muestra (pero sin ejercer una fuerza de compresión), apoyándola suavemente sobre la muesca del cabezal superior.
- 12) Se colocan las perillas mariposa y se las ajusta hasta lograr que la cámara se encuentre firmemente sellada y sin fugas.

13.3.3 Carga de la cámara previa al ensayo

- 1) Se deposita la cámara sobre la piletta y se retira lentamente el vástago, colocando un embudo en su lugar.
- 2) Tras verificar que las válvulas de la base se encuentran cerradas y la válvula de purga de presión se halla abierta, se comienza a cargar con agua el interior de la cámara triaxial en su totalidad, permitiendo que el excedente de agua sea evacuado por la válvula de purga.
- 3) Se retira el embudo y se vuelve a colocar el vástago del esfuerzo desviador, apoyándola firmemente sobre la muesca del cabezal superior, cerrando al finalizar la válvula de purga.
- 4) Se deposita la cámara cuidadosamente sobre el pedestal del marco de carga.
- 5) Sobre el vástago del esfuerzo desviador se coloca una esfera metálica, la cual permite transferir la fuerza aplicada por el vástago de forma uniforme sobre el acople del aro dinamométrico.
- 6) Se colocan los flexímetros correspondientes en el prisionero del vástago (para medir Deformaciones) y en el prisionero del aro (para medir Carga), cuidando que las puntas de los mismos hagan contacto con la superficie de referencia.
- 7) Mediante los diales del marco de carga, se ajusta la posición vertical de la cámara, cuidando que la esfera haga contacto con el acople del aro y no se pueda mover alrededor de su eje.
- 8) Conectar mediante una manguera la válvula N°1 (Izquierda) al pulmón hidroneumático.
- 9) Se abren las 2 válvulas de drenaje (Válvulas N°2 y N°3).

13.3.4 Puesta en marcha del ensayo

- 1) Se abre la válvula N°1, dotando al recinto interior de la cámara de presión, hasta alcanzar uno de los 4 escalones establecidos: 1, 2, 3 y 4 kg/cm². En el caso, de excederse del valor deseado, se puede emplear la válvula de purga para evacuar el exceso de presión.
- 2) Se corrigen las lecturas de los 2 flexímetros, ajustando los relojes a 0 en ambos casos.
- 3) Empleando el volante de "Velocidad lenta" de la prensa, comenzamos a aplicar carga sobre la muestra a una velocidad de deformación constante de 1 división/segundo, mientras que, en simultáneo, se toman las lecturas en el flexímetros de carga del aro correspondientes a cada intervalo de tiempo. Las lecturas se toman para 5, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60, 90, 120 y 180 segundos.

- 4) Una vez finalizado el ensayo del escalón de presión, se repiten los pasos anteriores, volviendo a realizar el ensayo con una presión de cámara mayor. En el caso de haber concluido el ensayo del escalón de mayor presión, se da por finalizado el ensayo.

Debido a las complicaciones al momento de tomar las lecturas de ambos flexímetros, es conveniente que este ensayo se realice con 2 operarios. En función de la resistencia que ofrezca el suelo, puede ser necesario reemplazar el aro dinamométrico por uno de mayor/menor capacidad, junto con el flexímetro de carga por uno de menor/ mayor precisión.

13.3.5 Finalización del ensayo

- 1) Abrir la Válvula de purga para eliminar la presión en el interior de la cámara triaxial.
- 2) Cerrar la Válvula N°1 para cerrar el paso de agua del pulmón a la cámara.
- 3) Cerrar las Válvulas de drenaje
- 4) Desconectar la manguera de alimentación entre el pulmón y la cámara triaxial.
- 5) Retirar la cámara del pedestal del marco.
- 6) Retirar rápidamente la tapa metálica, el vástago del esfuerzo desviador y el cilindro de acrílico.
- 7) Retirar los aros de gomas de ambos cabezales.
- 8) Desplazar la membrana de látex de los cabezales, liberando el conjunto Membrana-Probeta-Geotextil de la probeta.

13.4 Cálculos posteriores

13.4.1 Determinación del ángulo de fricción interna

En primer lugar, se cargan los datos referidos a las condiciones de ensayo de la probeta de suelo en la siguiente planilla:

Aro Dinamométrico N°	
Máxima Deformación	div
Capacidad del Aro	Kg/div
Factor	Kg/div
Longitud de la probeta	cm
Área Original de la probeta	cm ²

A continuación, los resultados obtenidos se volcarán en la siguiente planilla:

Tiempo (t)	Deformación (δ)	Velocidad de Deformación (v)	Área corregida (Ω _c) [cm ²]				Lectura de Carga Aplicada (div)				Carga Aplicada (P) [kg]				Tensión Desviadora Aplicada (p _d)			
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4
0	0	0																
5	5	1,0																
10	10	1,0																
15	15	1,0																
20	20	1,0																
25	25	1,0																
30	30	1,0																
45	45	1,0																
60	60	1,0																
90	90	1,0																
120	120	1,0																
180	180	1,0																

En las celdas resaltadas, se cargan las lecturas indicadas en el flexímetro de carga para cada instante de tiempo marcado. Mientras tanto, en las celdas en blanco se cargan los datos referidos a:

- Área corregida de la probeta: Se realiza una corrección del área de la probeta debido a la deformación a la que halla sometida. Se debe tener en cuenta la deformación unitaria ϵ , la cual se calcula como la deformación que experimento la probeta (desde el instante 0 del ensayo) dividida la longitud original de la probeta

$$\Omega_c = \frac{\Omega_o}{1 - \epsilon} = \frac{\Omega_o}{1 - \frac{\delta}{L_0 \text{ Probeta}}} \quad (66)$$

- Carga aplicada:

$$P = \text{Lectura} \cdot \text{Factor}_{\text{Aro dinamométrico}} \quad (67)$$

- Tensión desviadora aplicada:

$$\rho_d = \frac{P}{\Omega_c} \quad (68)$$

Por último, se calculan y se vuelcan en la tabla a continuación los siguientes valores:

- Presión de cámara (σ_3): Varía de 1 a 4 kg/cm², dependiendo del escalón de presión en que nos encontremos
- Esfuerzo principal mayor (σ_1): Se calcula como

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \rho_d \text{ (Acumulada)} \quad (69)$$

- Radio del Círculo de Mohr: Se calcula como

$$\text{Radio} = \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2} \quad (70)$$

- Centro del Círculo de Mohr: Se calcula como

$$\text{Centro} = \frac{\sigma_3 + \sigma_1}{2} \quad (71)$$

Ensayo	Presión de Cámara σ_3	Esfuerzo Principal Mayor σ_1	Radio de C. de Mohr $(\sigma_3 - \sigma_1)/2$	Centro de C. de Mohr $(\sigma_3 + \sigma_1)/2$
	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]

En función de los valores obtenidos, se traza los círculos de Mohr correspondientes a cada uno de los escalones de presión que componen el ensayo. Tras graficarlos, se proyecta una recta tangente a los círculos, cuyo ángulo de inclinación respecto al eje de abscisas es el ángulo de fricción interna φ .

14. Resultados obtenidos en los Ensayos triaxiales finales

Muestra N°	I (85%)							Fecha de ejecución	15/2/2024					
Características del suelo								Condiciones de moldeo				Ensayo Proctor T-99		
Límites de Atterberg			Granulometría					Clasificación Unificada	G _s	H _{mold}	Saturación	GCR	D _s max	H _{op}
LL	LP	IP	N° 4	N° 10	N° 40	N° 100	N° 200		[gr/cm ³]	[%]	[%]	[%]	[gr/cm ³]	[%]
52,1	29,5	22,6	100	100	100	88	79,8	MH	2,655	20,30	55,02	84,61	1,598	20,30

Otras características del suelo: Se trata de un suelo de grano fino, con manifestación cohesiva, se sostiene en forma adecuada después del moldeo. Tiene una humedad de moldeo igual a la óptima

Condiciones de realización del ensayo: El ensayo se realiza aplicando la presión de cámara con drenaje abierto en ambas cabezas. Se aplica el esfuerzo desviador con válvulas abiertas permitiendo el drenaje en todo momento. La velocidad de aplicación de la deformación es la indicada.

Información de ensayo

Aro Dinamométrico N°		
Máxima Deformación	480	div
Capacidad del Aro	0,25	Kg/div
Factor	0,0472	Kg/div
Longitud de la probeta	9,92	cm
Área Original de la probeta	8,79	cm ²

Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 1	1	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 2	2	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 3	3	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 4	4	Kg/cm ²

Datos del Ensayo Carga - Deformación

Tiempo (t)	Deformación (δ)	Velocidad de Deformación (v)	Área corregida (Ω_c) [cm ²]				Lectura de Carga Aplicada (div)				Carga Aplicada (P) [kg]				Tensión Desviadora Aplicada (p_d)			
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4
[seg]	[0,01 mm]	[μ m/seg]																
0	0	0	8,79	8,95	9,12	9,29	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00
5	5	1,0	8,79	8,95	9,12	9,30	12	10	15	30	0,57	0,47	0,71	1,42	0,064	0,05	0,08	0,15
10	10	1,0	8,80	8,96	9,13	9,30	26	25	40	55	1,23	1,18	1,89	2,60	0,140	0,13	0,21	0,28
15	15	1,0	8,80	8,96	9,13	9,31	35	36	54	80	1,65	1,70	2,55	3,78	0,188	0,19	0,28	0,41
20	20	1,0	8,81	8,97	9,14	9,31	41	44	64	105	1,94	2,08	3,02	4,96	0,220	0,23	0,33	0,53
25	25	1,0	8,81	8,97	9,14	9,32	45	50	79	115	2,12	2,36	3,73	5,43	0,241	0,26	0,41	0,58
30	30	1,0	8,81	8,98	9,15	9,32	50	58	86	130	2,36	2,74	4,06	6,14	0,268	0,30	0,44	0,66
45	45	1,0	8,83	8,99	9,16	9,34	60	71	106	150	2,83	3,35	5,00	7,08	0,321	0,37	0,55	0,76
60	60	1,0	8,84	9,01	9,18	9,35	67	85	130	168	3,16	4,01	6,14	7,93	0,358	0,45	0,67	0,85
90	90	1,0	8,87	9,03	9,21	9,38	82	110	165	200	3,87	5,19	7,79	9,44	0,436	0,57	0,85	1,01
120	120	1,0	8,90	9,06	9,23	9,41	89	130	205	227	4,20	6,14	9,68	10,71	0,472	0,68	1,05	1,14
180	180	1,0	8,95	9,12	9,29	9,48	113	178	250	273	5,33	8,40	11,80	12,89	0,596	0,92	1,27	1,36

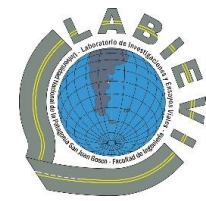
Gráfico de Mohr $\tau - \sigma$

Datos para el gráfico de Mohr

Ensayo	Presión de Cámara σ_3	Esfuerzo Principal Mayor σ_1	Radio de C. de Mohr $(\sigma_3 - \sigma_1)/2$	Centro de C. de Mohr $(\sigma_3 + \sigma_1)/2$
N°	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]
1	1,00	1,60	0,30	1,30
2	2,00	3,52	0,76	2,76
3	3,00	5,79	1,39	4,39
4	4,00	8,15	2,07	6,07

Linea de falla		
Punto	X	Y
1	1,05	0,22
2	6	2,2

Angulo de fricción interna ϕ	
TAN ϕ	ϕ
0,400	21,80



Muestra N°	II (85%)	Fecha de ejecución	15/2/2024											
Características del suelo														
Límites de Atterberg			Granulometría				Clasificación Unificada	G _s [gr/cm ³]	H _{mold} [%]	Saturación [%]	GCR [%]	Ensayo Proctor T-99		
LL	LP	IP	N° 4	N° 10	N° 40	N° 100						N° 200	D _{5máx} [gr/cm ³]	H _{op} [%]
52,1	29,5	22,6	100	100	100	88	79,8	MH	2,655	20,30	54,53	83,55	1,598	20,30

Otras características del suelo: Se trata de un suelo de grano fino, con manifestación cohesiva, se sostiene en forma adecuada después del moldeo. Tiene una humedad de moldeo igual a la óptima

Condiciones de realización del ensayo: El ensayo se realiza aplicando la presión de cámara con drenaje abierto en ambas cabezas. Se aplica el esfuerzo desviador con válvulas abiertas permitiendo el drenaje en todo momento. La velocidad de aplicación de la deformación es la indicada.

Información de ensayo

Aro Dinamométrico N°		
Máxima Deformación	480	div
Capacidad del Aro	0,25	Kg/div
Factor	0,0472	Kg/div
Longitud de la probeta	10,05	cm
Área Original de la probeta	8,79	cm ²

Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 1	1	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 2	2	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 3	3	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 4	4	Kg/cm ²

Datos del Ensayo Carga - Deformación

Tiempo (t)	Deformación (δ)	Velocidad de Deformación (v)	Área corregida (Ω _c) [cm ²]				Lectura de Carga Aplicada (div)				Carga Aplicada (P) [kg]				Tensión Desviadora Aplicada (p _d)			
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4
[seg]	[0,01 mm]	[μm/seg]																
0	0	0	8,79	8,95	9,11	9,29	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00
5	5	1,0	8,79	8,95	9,12	9,29	25	28	25	48	1,18	1,32	1,18	2,27	0,134	0,15	0,13	0,24
10	10	1,0	8,80	8,96	9,12	9,30	33	39	47	75	1,56	1,84	2,22	3,54	0,177	0,21	0,24	0,38
15	15	1,0	8,80	8,96	9,13	9,30	38	48	57	92	1,79	2,27	2,69	4,34	0,204	0,25	0,29	0,47
20	20	1,0	8,81	8,97	9,13	9,31	45	52	72	101	2,12	2,45	3,40	4,77	0,241	0,27	0,37	0,51
25	25	1,0	8,81	8,97	9,14	9,31	49	60	80	114	2,31	2,83	3,78	5,38	0,263	0,32	0,41	0,58
30	30	1,0	8,81	8,98	9,14	9,32	53	65	87	123	2,50	3,07	4,11	5,81	0,284	0,34	0,45	0,62
45	45	1,0	8,83	8,99	9,16	9,33	58	77	116	152	2,74	3,63	5,48	7,17	0,310	0,40	0,60	0,77
60	60	1,0	8,84	9,00	9,17	9,35	68	87	129	175	3,21	4,11	6,09	8,26	0,363	0,46	0,66	0,88
90	90	1,0	8,87	9,03	9,20	9,38	80	110	160	203	3,78	5,19	7,55	9,58	0,426	0,57	0,82	1,02
120	120	1,0	8,89	9,06	9,23	9,41	90	130	201	228	4,25	6,14	9,49	10,76	0,478	0,68	1,03	1,14
180	180	1,0	8,95	9,11	9,29	9,47	96	168	248	268	4,53	7,93	11,71	12,65	0,506	0,87	1,26	1,34

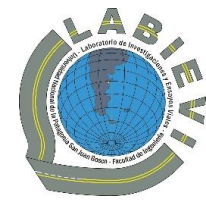
Gráfico de Mohr τ - σ

Datos para el gráfico de Mohr

Ensayo	Presión de Cámara σ_3	Esfuerzo Principal Mayor σ_1	Radio de C. de Mohr $(\sigma_3 + \sigma_1)/2$	Centro de C. de Mohr $(\sigma_3 + \sigma_1)/2$
N°	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]
1	1,00	1,51	0,25	1,25
2	2,00	3,38	0,69	2,69
3	3,00	5,64	1,32	4,32
4	4,00	7,97	1,99	5,99

Linea de falla		
Punto	X	Y
1	1,05	0,21
2	5,8	2,05

Angulo de fricción interna ϕ	
TAN ϕ	ϕ
0,387	21,17



Muestra N°	III (85%)	Fecha de ejecución	16/2/2024
-------------------	-----------	---------------------------	-----------

Características del suelo								Condiciones de moldeo				Ensayo Proctor T-99		
Límites de Atterberg			Granulometría					Clasificación Unificada	G _s [gr/cm ³]	H _{mold} [%]	Saturación [%]	GCR [%]	D _{5máx} [gr/cm ³]	H _{op} [%]
LL	LP	IP	N° 4	N° 10	N° 40	N° 100	N° 200							
52,1	29,5	22,6	100	100	100	88	79,8	MH	2,655	20,30	54,95	83,88	1,598	20,30

Otras características del suelo: Se trata de un suelo de grano fino, con manifestación cohesiva, se sostiene en forma adecuada después del moldeo. Tiene una humedad de moldeo igual a la óptima

Condiciones de realización del ensayo: El ensayo se realiza aplicando la presión de cámara con drenaje abierto en ambas cabezas. Se aplica el esfuerzo desviador con válvulas abiertas permitiendo el drenaje en todo momento. La velocidad de aplicación de la deformación es la indicada.

Información de ensayo

Aro Dinamométrico N°		
Máxima Deformación	480	div
Capacidad del Aro	0,25	Kg/div
Factor	0,0472	Kg/div
Longitud de la probeta	10,01	cm
Área Original de la probeta	8,79	cm ²

Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 1	1	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 2	2	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 3	3	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 4	4	Kg/cm ²

Datos del Ensayo Carga - Deformación

Tiempo (t)	Deformación (δ)	Velocidad de Deformación (v)	Área corregida (Ω _c) [cm ²]				Lectura de Carga Aplicada (div)				Carga Aplicada (P) [kg]				Tensión Desviadora Aplicada (p _d)			
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4
[seg]	[0,01 mm]	[μm/seg]																
0	0	0	8,79	8,95	9,12	9,29	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00
5	5	1,0	8,79	8,95	9,12	9,29	25	30	35	45	1,18	1,42	1,65	2,12	0,134	0,16	0,18	0,23
10	10	1,0	8,80	8,96	9,13	9,30	40	46	69	85	1,89	2,17	3,26	4,01	0,215	0,24	0,36	0,43
15	15	1,0	8,80	8,96	9,13	9,30	55	50	86	93	2,60	2,36	4,06	4,39	0,295	0,26	0,44	0,47
20	20	1,0	8,81	8,97	9,13	9,31	60	56	93	120	2,83	2,64	4,39	5,66	0,322	0,29	0,48	0,61
25	25	1,0	8,81	8,97	9,14	9,31	65	65	105	128	3,07	3,07	4,96	6,04	0,348	0,34	0,54	0,65
30	30	1,0	8,81	8,98	9,14	9,32	70	70	117	140	3,30	3,30	5,52	6,61	0,375	0,37	0,60	0,71
45	45	1,0	8,83	8,99	9,16	9,33	74	80	141	164	3,49	3,78	6,66	7,74	0,396	0,42	0,73	0,83
60	60	1,0	8,84	9,00	9,17	9,35	87	93	158	185	4,11	4,39	7,46	8,73	0,464	0,49	0,81	0,93
90	90	1,0	8,87	9,03	9,20	9,38	103	111	193	205	4,86	5,24	9,11	9,68	0,548	0,58	0,99	1,03
120	120	1,0	8,89	9,06	9,23	9,41	115	129	223	230	5,43	6,09	10,53	10,86	0,610	0,67	1,14	1,15
180	180	1,0	8,95	9,12	9,29	9,47	126	163	273	275	5,95	7,69	12,89	12,98	0,665	0,84	1,39	1,37

Gráfico de Mohr $\tau - \sigma$

Datos para el gráfico de Mohr

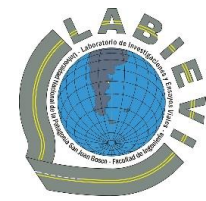
Ensayo	Presión de Cámara σ_3	Esfuerzo Principal Mayor σ_1	Radio de C. de Mohr $(\sigma_3 + \sigma_1)/2$	Centro de C. de Mohr $(\sigma_3 + \sigma_1)/2$
N°	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]
1	1,00	1,66	0,33	1,33
2	2,00	3,51	0,75	2,75
3	3,00	5,90	1,45	4,45
4	4,00	8,27	2,13	6,13

Linea de falla		
Punto	X	Y
1	1,05	0,26
2	5,8	2,17

Angulo de fricción interna ϕ	
TAN ϕ	ϕ
0,402	21,91



Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco
Facultad de Ingeniería- Sede Trelew
Práctica Profesional Supervisada



Muestra N°	IV (85%)	Fecha de ejecución	16/2/2024											
Características del suelo														
Límites de Atterberg		Granulometría				Clasificación Unificada	Condiciones de moldeo			Ensayo Proctor T-99				
LL	LP	IP	N° 4	N° 10	N° 40		N° 100	N° 200	G _s	H _{mold}	Saturación	GCR	D _{5máx}	H _{op}
52,1	29,5	22,6	100	100	100	88	79,8	MH	2,655	20,30	55,92	84,61	1,598	20,30

Otras características del suelo: Se trata de un suelo de grano fino, con manifestación cohesiva, se sostiene en forma adecuada después del moldeo. Tiene una humedad de moldeo igual a la óptima

Condiciones de realización del ensayo: El ensayo se realiza aplicando la presión de cámara con drenaje abierto en ambas cabezas. Se aplica el esfuerzo desviador con válvulas abiertas permitiendo el drenaje en todo momento. La velocidad de aplicación de la deformación es la indicada.

Información de ensayo

Aro Dinamométrico N°		
Máxima Deformación	480	div
Capacidad del Aro	0,25	Kg/div
Factor	0,0472	Kg/div
Longitud de la probeta	10,00	cm
Área Original de la probeta	8,79	cm ²

Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 1	1	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 2	2	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 3	3	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 4	4	Kg/cm ²

Datos del Ensayo Carga - Deformación

Tiempo (t)	Deformación (δ)	Velocidad de Deformación (v)	Área corregida (Ω _c) [cm ²]				Lectura de Carga Aplicada (div)				Carga Aplicada (P) [kg]				Tensión Desviadora Aplicada (p _d)				
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	
[seg]	[0,01 mm]	[μm/seg]																	
0	0	0	8,79	8,95	9,12	9,29	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
5	5	1,0	8,79	8,95	9,12	9,29	25	17	25	35	1,18	0,80	1,18	1,65	0,134	0,09	0,13	0,18	
10	10	1,0	8,80	8,96	9,13	9,30	46	31	50	85	2,17	1,46	2,36	4,01	0,247	0,16	0,26	0,43	
15	15	1,0	8,80	8,96	9,13	9,30	55	39	66	100	2,60	1,84	3,12	4,72	0,295	0,21	0,34	0,51	
20	20	1,0	8,81	8,97	9,14	9,31	65	48	75	107	3,07	2,27	3,54	5,05	0,348	0,25	0,39	0,54	
25	25	1,0	8,81	8,97	9,14	9,31	72	55	80	118	3,40	2,60	3,78	5,57	0,386	0,29	0,41	0,60	
30	30	1,0	8,81	8,98	9,14	9,32	79	60	92	134	3,73	2,83	4,34	6,32	0,423	0,32	0,47	0,68	
45	45	1,0	8,83	8,99	9,16	9,33	90	78	110	155	4,25	3,68	5,19	7,32	0,481	0,41	0,57	0,78	
60	60	1,0	8,84	9,00	9,17	9,35	96	86	128	170	4,53	4,06	6,04	8,02	0,513	0,45	0,66	0,86	
90	90	1,0	8,87	9,03	9,20	9,38	105	120	160	210	4,96	5,66	7,55	9,91	0,559	0,63	0,82	1,06	
120	120	1,0	8,89	9,06	9,23	9,41	118	138	190	235	5,57	6,51	8,97	11,09	0,626	0,72	0,97	1,18	
180	180	1,0	8,95	9,12	9,29	9,47	140	178	235	270	6,61	8,40	11,09	12,74	0,738	0,92	1,19	1,35	

Gráfico de Mohr $\tau - \sigma$

Datos para el gráfico de Mohr

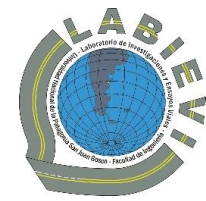
Ensayo	Presión de Cámara σ_3	Esfuerzo Principal Mayor σ_1	Radio de C. de Mohr $(\sigma_3 + \sigma_1)/2$	Centro de C. de Mohr $(\sigma_3 - \sigma_1)/2$
N°	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]
1	1,00	1,74	0,37	1,37
2	2,00	3,66	0,83	2,83
3	3,00	5,85	1,43	4,43
4	4,00	8,20	2,10	6,10

Linea de falla		
Punto	X	Y
1	1,05	0,28
2	5,8	2,14

Angulo de fricción interna ϕ	
°	
TAN ϕ	0,392
ϕ	21,38



Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco
Facultad de Ingeniería- Sede Trelew
Práctica Profesional Supervisada



Muestra N°	V (85%)	Fecha de ejecución	19/2/2024											
Características del suelo														
Límites de Atterberg		Granulometría				Clasificación Unificada	Condiciones de moldeo			Ensayo Proctor T-99				
LL	LP	N° 4	N° 10	N° 40	N° 100		N° 200	G _s	H _{mold}	Saturación	GCR	D _{5máx}	H _{op}	
52,1	29,5	22,6	100	100	100	88	79,8	MH	2,655	20,30	55,80	84,52	1,598	20,30

Otras características del suelo: Se trata de un suelo de grano fino, con manifestación cohesiva, se sostiene en forma adecuada después del moldeo. Tiene una humedad de moldeo igual a la óptima

Condiciones de realización del ensayo: El ensayo se realiza aplicando la presión de cámara con drenaje abierto en ambas cabezas. Se aplica el esfuerzo desviador con válvulas abiertas permitiendo el drenaje en todo momento. La velocidad de aplicación de la deformación es la indicada.

Información de ensayo

Aro Dinamométrico N°		
Máxima Deformación	480	div
Capacidad del Aro	0,25	Kg/div
Factor	0,0472	Kg/div
Longitud de la probeta	9,91	cm
Área Original de la probeta	8,79	cm ²

Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 1	1	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 2	2	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 3	3	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 4	4	Kg/cm ²

Datos del Ensayo Carga - Deformación

Tiempo (t)	Deformación (δ)	Velocidad de Deformación (v)	Área corregida (Ω _c) [cm ²]				Lectura de Carga Aplicada (div)				Carga Aplicada (P) [kg]				Tensión Desviadora Aplicada (p _d)			
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4
[seg]	[0,01 mm]	[μm/seg]																
0	0	0	8,79	8,95	9,12	9,29	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00
5	5	1,0	8,79	8,96	9,12	9,30	17	20	45	44	0,80	0,94	2,12	2,08	0,091	0,11	0,23	0,22
10	10	1,0	8,80	8,96	9,13	9,30	24	35	75	77	1,13	1,65	3,54	3,63	0,129	0,18	0,39	0,39
15	15	1,0	8,80	8,96	9,13	9,31	26	43	95	102	1,23	2,03	4,48	4,81	0,139	0,23	0,49	0,52
20	20	1,0	8,81	8,97	9,14	9,31	29	50	100	110	1,37	2,36	4,72	5,19	0,155	0,26	0,52	0,56
25	25	1,0	8,81	8,97	9,14	9,32	31	57	109	115	1,46	2,69	5,14	5,43	0,166	0,30	0,56	0,58
30	30	1,0	8,81	8,98	9,15	9,32	35	63	120	125	1,65	2,97	5,66	5,90	0,187	0,33	0,62	0,63
45	45	1,0	8,83	8,99	9,16	9,34	40	74	146	165	1,89	3,49	6,89	7,79	0,214	0,39	0,75	0,83
60	60	1,0	8,84	9,01	9,18	9,35	45	90	160	190	2,12	4,25	7,55	8,97	0,240	0,47	0,82	0,96
90	90	1,0	8,87	9,03	9,21	9,38	53	111	193	210	2,50	5,24	9,11	9,91	0,282	0,58	0,99	1,06
120	120	1,0	8,90	9,06	9,24	9,42	60	135	210	245	2,83	6,37	9,91	11,56	0,318	0,70	1,07	1,23
180	180	1,0	8,95	9,12	9,29	9,48	76	168	246	292	3,59	7,93	11,61	13,78	0,401	0,87	1,25	1,45

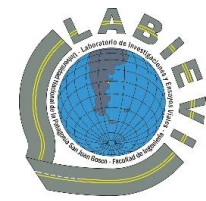
Gráfico de Mohr $\tau - \sigma$

Datos para el gráfico de Mohr

Ensayo	Presión de Cámara σ_3	Esfuerzo Principal Mayor σ_1	Radio de C. de Mohr $(\sigma_3 - \sigma_1)/2$	Centro de C. de Mohr $(\sigma_3 + \sigma_1)/2$
N°	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]
1	1,00	1,40	0,20	1,20
2	2,00	3,27	0,64	2,64
3	3,00	5,52	1,26	4,26
4	4,00	7,97	1,99	5,99

Linea de falla		
Punto	X	Y
1	1,05	0,17
2	5,8	2,05

Angulo de fricción interna ϕ	
°	
TAN ϕ	0,396
ϕ	21,59



Muestra N°	I (100%)										Fecha de ejecución	20/2/2024			
Características del suelo								Condiciones de moldeo				Ensayo Proctor T-99			
Límites de Atterberg			Granulometría					Clasificación Unificada	G _s [gr/cm ³]	H _{mold} [%]	Saturación [%]	GCR [%]	D _{5máx} [gr/cm ³]	H _{op} [%]	
LL	LP	IP	N° 4	N° 10	N° 40	N° 100	N° 200								
52,1	29,5	22,6	100	100	100	88	79,8	MH	2,655	20,30	55,80	84,52	1,598	20,30	

Otras características del suelo: Se trata de un suelo de grano fino, con manifestación cohesiva, se sostiene en forma adecuada después del moldeo. Tiene una humedad al momento de ensayar menor a la óptima

Condiciones de realización del ensayo: El ensayo se realiza aplicando la presión de cámara con drenaje abierto en ambas cabezas. Se aplica el esfuerzo desviador con válvulas abiertas permitiendo el drenaje en todo momento. La velocidad de aplicación de la deformación es la indicada.

Información de ensayo

Aro Dinamométrico N°		
Máxima Deformación	480	div
Capacidad del Aro	0,25	Kg/div
Factor	0,0472	Kg/div
Longitud de la probeta	9,87	cm
Área Original de la probeta	8,79	cm ²

Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 1	1	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 2	2	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 3		Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 4		Kg/cm ²

Datos del Ensayo Carga - Deformación

Tiempo (t)	Deformación (δ)	Velocidad de Deformación (v)	Área corregida (Ω _c) [cm ²]				Lectura de Carga Aplicada (div)				Carga Aplicada (P) [kg]				Tensión Desviadora Aplicada (p _d)			
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4
[seg]	[0,01 mm]	[μm/seg]																
0	0	0	8,79	8,95	9,12	9,30	0	0			0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00
5	5	1,0	8,79	8,96	9,13	9,30	270	210			12,74	9,91	0,00	0,00	1,449	1,11	0,00	0,00
10	10	1,0	8,80	8,96	9,13	9,31	310	260			14,63	12,27	0,00	0,00	1,663	1,37	0,00	0,00
15	15	1,0	8,80	8,96	9,13	9,31	440	283			20,77	13,36	0,00	0,00	2,360	1,49	0,00	0,00
20	20	1,0	8,81	8,97	9,14	9,32	515	293			24,31	13,83	0,00	0,00	2,760	1,54	0,00	0,00
25	25	1,0	8,81	8,97	9,14	9,32	620	305			29,26	14,40	0,00	0,00	3,322	1,60	0,00	0,00
30	30	1,0	8,81	8,98	9,15	9,33	760	323			35,87	15,25	0,00	0,00	4,070	1,70	0,00	0,00
45	45	1,0	8,83	8,99	9,16	9,34	875	380			41,30	17,94	0,00	0,00	4,678	1,99	0,00	0,00
60	60	1,0	8,84	9,01	9,18	9,36	1175	405			55,46	19,12	0,00	0,00	6,273	2,12	0,00	0,00
90	90	1,0	8,87	9,03	9,21	9,39	1345	440			63,48	20,77	0,00	0,00	7,158	2,30	0,00	0,00
120	120	1,0	8,90	9,06	9,24	9,42	1670	440			78,82	20,77	0,00	0,00	8,861	2,29	0,00	0,00
180	180	1,0	8,95	9,12	9,30	9,48	1865	440			88,03	20,77	0,00	0,00	9,834	2,28	0,00	0,00

Gráfico de Mohr $\tau - \sigma$

Datos para el gráfico de Mohr

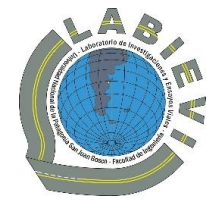
Ensayo	Presión de Cámara σ_3	Esfuerzo Principal Mayor σ_1	Radio de C. de Mohr $(\sigma_3 + \sigma_1)/2$	Centro de C. de Mohr $(\sigma_3 + \sigma_1)/2$
N°	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]
1	1,00	10,83	4,92	5,92
2	2,00	14,11	6,06	8,06
3	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00

Linea de falla		
Punto	X	Y
1	1	2,5
2	6	6,1

Angulo de fricción interna ϕ	
°	
TAN ϕ	0,720
ϕ	35,75



Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco
Facultad de Ingeniería- Sede Trelew
Práctica Profesional Supervisada



Muestra N°	II (100%)	Fecha de ejecución	20/2/2024											
Características del suelo														
Límites de Atterberg			Granulometría				Clasificación Unificada	G _s [gr/cm ³]	Condiciones de moldeo			Ensayo Proctor T-99		
LL	LP	IP	N° 4	N° 10	N° 40	N° 100			N° 200	H _{mold} [%]	Saturación [%]	GCR [%]	D _{5máx} [gr/cm ³]	H _{op} [%]
52,1	29,5	22,6	100	100	100	88	79,8	MH	2,655	20,30	55,80	84,52	1,598	20,30

Otras características del suelo: Se trata de un suelo de grano fino, con manifestación cohesiva, se sostiene en forma adecuada después del moldeo. Tiene una humedad al momento de ensayar menor a la óptima

Condiciones de realización del ensayo: El ensayo se realiza aplicando la presión de cámara con drenaje abierto en ambas cabezas. Se aplica el esfuerzo desviador con válvulas abiertas permitiendo el drenaje en todo momento. La velocidad de aplicación de la deformación es la indicada.

Información de ensayo

Aro Dinamométrico N°		
Máxima Deformación	570	div
Capacidad del Aro	0,5	Kg/div
Factor	0,868	Kg/div
Longitud de la probeta	9,49	cm
Área Original de la probeta	8,79	cm ²

Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 1	1	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 2	2	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 3	3	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 4	4	Kg/cm ²

Datos del Ensayo Carga - Deformación

Tiempo (t)	Deformación (δ)	Velocidad de Deformación (v)	Área corregida (Ω _c) [cm ²]				Lectura de Carga Aplicada (div)				Carga Aplicada (P) [kg]				Tensión Desviadora Aplicada (p _d)				
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	
[seg]	[0,01 mm]	[μm/seg]																	
0	0	0	8,79	8,96	9,13	9,32	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
5	5	1,0	8,79	8,96	9,14	9,32	1	17	15	20	0,87	14,76	13,02	17,36	0,099	1,65	1,42	1,86	1,86
10	10	1,0	8,80	8,97	9,14	9,33	1	22	18	22	0,87	19,10	15,62	19,10	0,099	2,13	1,71	2,05	2,05
15	15	1,0	8,80	8,97	9,15	9,33	2	26	18	22	1,74	22,57	15,62	19,10	0,197	2,52	1,71	2,05	2,05
20	20	1,0	8,81	8,98	9,15	9,34	2	28	19	25	1,74	24,30	16,49	21,70	0,197	2,71	1,80	2,32	2,32
25	25	1,0	8,81	8,98	9,16	9,34	3	29	20	25	2,60	25,17	17,36	21,70	0,296	2,80	1,90	2,32	2,32
30	30	1,0	8,82	8,99	9,16	9,35	4	32	20	25	3,47	27,78	17,36	21,70	0,394	3,09	1,89	2,32	2,32
45	45	1,0	8,83	9,00	9,18	9,37	12	38	20	25	10,42	32,98	17,36	21,70	1,180	3,66	1,89	2,32	2,32
60	60	1,0	8,84	9,02	9,19	9,38	22	42	21	28	19,10	36,46	18,23	24,30	2,159	4,04	1,98	2,59	2,59
90	90	1,0	8,87	9,05	9,23	9,41	55	48	22	28	47,74	41,66	19,10	24,30	5,381	4,61	2,07	2,58	2,58
120	120	1,0	8,90	9,07	9,26	9,44	82	54	22	28	71,18	46,87	19,10	24,30	7,997	5,17	2,06	2,57	2,57
180	180	1,0	8,96	9,13	9,32	9,51	131	56	22	28	113,71	48,61	19,10	24,30	12,694	5,32	2,05	2,56	2,56

Gráfico de Mohr $\tau - \sigma$

Datos para el gráfico de Mohr

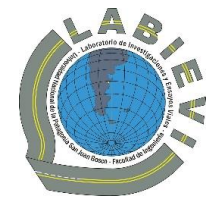
Ensayo	Presión de Cámara σ_3	Esfuerzo Principal Mayor σ_1	Radio de C. de Mohr $(\sigma_3 - \sigma_1)/2$	Centro de C. de Mohr $(\sigma_3 + \sigma_1)/2$
N°	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]
1	1,00	13,69	6,35	7,35
2	2,00	20,02	9,01	11,01
3	3,00	23,06	10,03	13,03
4	4,00	26,62	11,31	15,31

Linea de falla		
Punto	X	Y
1	2,5	5
2	12,75	12

Angulo de fricción interna ϕ	
TAN ϕ	°
0,683	
ϕ	34,33



Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco
Facultad de Ingeniería- Sede Trelew
Práctica Profesional Supervisada



Muestra N°	III (100%)	Fecha de ejecución	20/2/2024											
Características del suelo														
Límites de Atterberg			Granulometría				Clasificación Unificada	G _s [gr/cm ³]	Condiciones de moldeo			Ensayo Proctor T-99		
LL	LP	IP	N° 4	N° 10	N° 40	N° 100			N° 200	H _{mold} [%]	Saturación [%]	GCR [%]	D _{5máx} [gr/cm ³]	H _{op} [%]
52,1	29,5	22,6	100	100	100	88	79,8	MH	2,655	20,30	55,80	84,52	1,598	20,30

Otras características del suelo: Se trata de un suelo de grano fino, con manifestación cohesiva, se sostiene en forma adecuada después del moldeo. Tiene una humedad al momento de ensayar menor a la óptima

Condiciones de realización del ensayo: El ensayo se realiza aplicando la presión de cámara con drenaje abierto en ambas cabezas. Se aplica el esfuerzo desviador con válvulas abiertas permitiendo el drenaje en todo momento. La velocidad de aplicación de la deformación es la indicada.

Información de ensayo

Aro Dinamométrico N°		
Máxima Deformación	570	div
Capacidad del Aro	0,5	Kg/div
Factor	0,868	Kg/div
Longitud de la probeta	9,54	cm
Área Original de la probeta	8,79	cm ²

Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 1	1	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 2	2	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 3	3	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 4	0,00	Kg/cm ²

Datos del Ensayo Carga - Deformación

Tiempo (t)	Deformación (δ)	Velocidad de Deformación (v)	Área corregida (Ω _c) [cm ²]				Lectura de Carga Aplicada (div)				Carga Aplicada (P) [kg]				Tensión Desviadora Aplicada (p _d)			
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4
[seg]	[0,01 mm]	[μm/seg]																
0	0	0	8,79	8,96	9,13	9,31	0	0	0		0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00
5	5	1,0	8,79	8,96	9,14	9,32	1	26	24		0,87	22,57	20,83	0,00	0,099	2,52	2,28	0,00
10	10	1,0	8,80	8,97	9,14	9,33	1	30	24		0,87	26,04	20,83	0,00	0,099	2,90	2,28	0,00
15	15	1,0	8,80	8,97	9,15	9,33	2	32	25		1,74	27,78	21,70	0,00	0,197	3,10	2,37	0,00
20	20	1,0	8,81	8,98	9,15	9,34	3	34	25		2,60	29,51	21,70	0,00	0,296	3,29	2,37	0,00
25	25	1,0	8,81	8,98	9,16	9,34	5	34	26		4,34	29,51	22,57	0,00	0,493	3,29	2,46	0,00
30	30	1,0	8,82	8,99	9,16	9,35	9	36	27		7,81	31,25	23,44	0,00	0,886	3,48	2,56	0,00
45	45	1,0	8,83	9,00	9,18	9,36	16	38	27		13,89	32,98	23,44	0,00	1,573	3,66	2,55	0,00
60	60	1,0	8,84	9,01	9,19	9,38	29	38	27		25,17	32,98	23,44	0,00	2,846	3,66	2,55	0,00
90	90	1,0	8,87	9,04	9,22	9,41	69	38	27		59,89	32,98	23,44	0,00	6,751	3,65	2,54	0,00
120	120	1,0	8,90	9,07	9,25	9,44	120	38	27		104,16	32,98	23,44	0,00	11,704	3,64	2,53	0,00
180	180	1,0	8,96	9,13	9,31	9,50	195	38	27		169,26	32,98	23,44	0,00	18,897	3,61	2,52	0,00

Gráfico de Mohr $\tau - \sigma$

Datos para el gráfico de Mohr

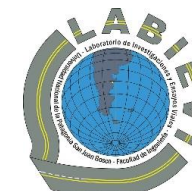
Ensayo	Presión de Cámara σ_3	Esfuerzo Principal Mayor σ_1	Radio de C. de Mohr $(\sigma_3 - \sigma_1)/2$	Centro de C. de Mohr $(\sigma_3 + \sigma_1)/2$
N°	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]
1	1,00	19,90	9,45	10,45
2	2,00	24,51	11,25	13,25
3	3,00	28,03	12,51	15,51
4	0,00	0,00	0,00	0,00

Linea de falla		
Punto	X	Y
1	2,5	6,25
2	12,75	13,25

Angulo de fricción interna ϕ	
°	
TAN ϕ	0,683
ϕ	34,33



Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco
Facultad de Ingeniería- Sede Trelew
Práctica Profesional Supervisada



Muestra N°	IV (100%)	Fecha de ejecución	22/2/2024											
Características del suelo					Condiciones de moldeo				Ensayo Proctor T-99					
Límites de Atterberg			Granulometría					Clasificación Unificada	G _s [gr/cm ³]	H _{mold} [%]	Saturación [%]	GCR [%]	D _{5máx} [gr/cm ³]	H _{op} [%]
LL	LP	IP	N° 4	N° 10	N° 40	N° 100	N° 200							
52,1	29,5	22,6	100	100	100	88	79,8	MH	2,655	20,30	39,91	91,77	1,598	20,30

Otras características del suelo: Se trata de un suelo de grano fino, con manifestación cohesiva, se sostiene en forma adecuada después del moldeo. Tiene una humedad al momento de ensayar menor a la óptima

Condiciones de realización del ensayo: El ensayo se realiza aplicando la presión de cámara con drenaje abierto en ambas cabezas. Se aplica el esfuerzo desviador con válvulas abiertas permitiendo el drenaje en todo momento. La velocidad de aplicación de la deformación es la indicada.

Información de ensayo

Aro Dinamométrico N°		
Máxima Deformación	570	div
Capacidad del Aro	0,5	Kg/div
Factor	0,868	Kg/div
Longitud de la probeta	9,85	cm
Área Original de la probeta	8,79	cm ²

Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 1	1	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 2	2	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 3	3	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 4	4	Kg/cm ²

Datos del Ensayo Carga - Deformación

Tiempo (t)	Deformación (δ)	Velocidad de Deformación (v)	Área corregida (Ω _c) [cm ²]				Lectura de Carga Aplicada (div)				Carga Aplicada (P) [kg]				Tensión Desviadora Aplicada (p _d)				
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	
[seg]	[0,01 mm]	[μm/seg]																	
0	0	0	8,79	8,95	9,12	9,30	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
5	5	1,0	8,79	8,96	9,13	9,30	7	20	19	20	6,08	17,36	16,49	17,36	0,691	1,94	1,81	1,87	1,87
10	10	1,0	8,80	8,96	9,13	9,31	10	24	19	22	8,68	20,83	16,49	19,10	0,987	2,32	1,81	2,05	2,05
15	15	1,0	8,80	8,97	9,14	9,31	13	25	20	22	11,28	21,70	17,36	19,10	1,282	2,42	1,90	2,05	2,05
20	20	1,0	8,81	8,97	9,14	9,32	17	28	20	25	14,76	24,30	17,36	21,70	1,676	2,71	1,90	2,33	2,33
25	25	1,0	8,81	8,97	9,15	9,32	21	29	20	25	18,23	25,17	17,36	21,70	2,069	2,80	1,90	2,33	2,33
30	30	1,0	8,81	8,98	9,15	9,33	24	33	21	25	20,83	28,64	18,23	21,70	2,363	3,19	1,99	2,33	2,33
45	45	1,0	8,83	8,99	9,16	9,34	27	38	22	25	23,44	32,98	19,10	21,70	2,655	3,67	2,08	2,32	2,32
60	60	1,0	8,84	9,01	9,18	9,36	51	41	25	28	44,27	35,59	21,70	24,30	5,007	3,95	2,36	2,60	2,60
90	90	1,0	8,87	9,04	9,21	9,39	79	47	25	34	68,57	40,80	21,70	29,51	7,732	4,52	2,36	3,14	3,14
120	120	1,0	8,90	9,06	9,24	9,42	104	52	25	34	90,27	45,14	21,70	29,51	10,147	4,98	2,35	3,13	3,13
180	180	1,0	8,95	9,12	9,30	9,48	132	53	25	34	114,58	46,00	21,70	29,51	12,800	5,04	2,33	3,11	3,11

Gráfico de Mohr $\tau - \sigma$

Datos para el gráfico de Mohr

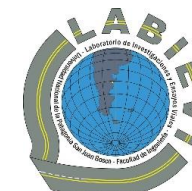
Ensayo	Presión de Cámara σ_3	Esfuerzo Principal Mayor σ_1	Radio de C. de Mohr $(\sigma_3 - \sigma_1)/2$	Centro de C. de Mohr $(\sigma_3 + \sigma_1)/2$
N°	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]
1	1,00	13,80	6,40	7,40
2	2,00	19,84	8,92	10,92
3	3,00	23,18	10,09	13,09
4	4,00	27,29	11,64	15,64

Linea de falla		
Punto	X	Y
1	2,5	5,1
2	12,75	12,1

Angulo de fricción interna ϕ	
TAN ϕ	ϕ
0,683	34,33



Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco
Facultad de Ingeniería- Sede Trelew
Práctica Profesional Supervisada



Muestra N°	V (100 %)	Fecha de ejecución	22/2/2024											
Características del suelo					Condiciones de moldeo				Ensayo Proctor T-99					
Límites de Atterberg			Granulometría					Clasificación Unificada	G _s [gr/cm ³]	H _{mold} [%]	Saturación [%]	GCR [%]	D _{5máx} [gr/cm ³]	H _{op} [%]
LL	LP	IP	N° 4	N° 10	N° 40	N° 100	N° 200							
52,1	29,5	22,6	100	100	100	88	79,8	MH	2,655	20,30	39,91	91,77	1,598	20,30

Otras características del suelo: Se trata de un suelo de grano fino, con manifestación cohesiva, se sostiene en forma adecuada después del moldeo. Tiene una humedad de moldeo igual a la óptima

Condiciones de realización del ensayo: El ensayo se realiza aplicando la presión de cámara con drenaje abierto en ambas cabezas. Se aplica el esfuerzo desviador con válvulas abiertas permitiendo el drenaje en todo momento. La velocidad de aplicación de la deformación es la indicada.

Información de ensayo

Aro Dinamométrico N°		
Máxima Deformación	570	div
Capacidad del Aro	0,5	Kg/div
Factor	0,868	Kg/div
Longitud de la probeta	9,57	cm
Área Original de la probeta	8,79	cm ²

Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 1	1	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 2	2	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 3	3	Kg/cm ²
Presión de Cámara σ_3 en el Ensayo 4	4	Kg/cm ²

Datos del Ensayo Carga - Deformación

Tiempo (t)	Deformación (δ)	Velocidad de Deformación (v)	Área corregida (Ω _c) [cm ²]				Lectura de Carga Aplicada (div)				Carga Aplicada (P) [kg]				Tensión Desviadora Aplicada (p _d)				
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	
[seg]	[0,01 mm]	[μm/seg]																	
0	0	0	8,79	8,96	9,13	9,31	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
5	5	1,0	8,79	8,96	9,14	9,32	4	15	19	25	3,47	13,02	16,49	21,70	0,395	1,45	1,81	2,33	2,33
10	10	1,0	8,80	8,97	9,14	9,32	7	21	21	25	6,08	18,23	18,23	21,70	0,691	2,03	1,99	2,33	2,33
15	15	1,0	8,80	8,97	9,15	9,33	9	26	21	25	7,81	22,57	18,23	21,70	0,888	2,52	1,99	2,33	2,33
20	20	1,0	8,81	8,98	9,15	9,33	11	28	22	26	9,55	24,30	19,10	22,57	1,084	2,71	2,09	2,42	2,42
25	25	1,0	8,81	8,98	9,16	9,34	14	29	22	27	12,15	25,17	19,10	23,44	1,379	2,80	2,09	2,51	2,51
30	30	1,0	8,82	8,99	9,16	9,34	17	30	22	28	14,76	26,04	19,10	24,30	1,674	2,90	2,08	2,60	2,60
45	45	1,0	8,83	9,00	9,18	9,36	28	32	22	30	24,30	27,78	19,10	26,04	2,753	3,09	2,08	2,78	2,78
60	60	1,0	8,84	9,01	9,19	9,38	42	33	22	30	36,46	28,64	19,10	26,04	4,122	3,18	2,08	2,78	2,78
90	90	1,0	8,87	9,04	9,22	9,41	73	33	22	31	63,36	28,64	19,10	26,91	7,143	3,17	2,07	2,86	2,86
120	120	1,0	8,90	9,07	9,25	9,44	107	33	22	31	92,88	28,64	19,10	26,91	10,436	3,16	2,06	2,85	2,85
180	180	1,0	8,96	9,13	9,31	9,50	154	33	22	31	133,67	28,64	19,10	26,91	14,925	3,14	2,05	2,83	2,83

Gráfico de Mohr $\tau - \sigma$

Datos para el gráfico de Mohr

Ensayo	Presión de Cámara σ_3	Esfuerzo Principal Mayor σ_1	Radio de C. de Mohr $(\sigma_3 - \sigma_1)/2$	Centro de C. de Mohr $(\sigma_3 + \sigma_1)/2$
N°	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]	[Kg/cm ²]
1	1,00	15,92	7,46	8,46
2	2,00	20,06	9,03	11,03
3	3,00	23,11	10,06	13,06
4	4,00	26,94	11,47	15,47

Linea de falla		
Punto	X	Y
1	2,5	5,1
2	12,75	12,1

Angulo de fricción interna ϕ	
TAN ϕ	°
0,683	
ϕ	34,33