



*FACULTAD DE INGENIERÍA*

ESTUDIOS DE INFILTRACIÓN Y  
DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DE  
PERMEABILIDAD EN LOS SUELOS DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD  
DE TALCA

*MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CONSTRUCTOR*

PROFESOR GUÍA:

MAURICIO JARA O.

PROFESOR CO-GUÍA:

IGNACIO FUENZALIDA H.

CONSTANZA GONZÁLEZ SEPÚLVEDA

CURICÓ, 2020

## CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Two circular official stamps and handwritten signatures in blue ink. The left stamp is from the 'DIRECCIÓN SISTEMA DE BIBLIOTECAS' of the 'UNIVERSIDAD DE TALCA'. The right stamp is from the 'SISTEMA DE BIBLIOTECAS CAMPUS CURICO' of the 'UNIVERSIDAD DE TALCA'.

Curicó, 2022

## AGRADECIMIENTOS

A mi familia, que son los pilares de mi vida; a todos mis profesores, por el compromiso que adquieren con tal de guiar de la mejor manera posible a los estudiantes; y a mis amigos, en especial a Bastián Díaz.

## TABLA DE CONTENIDOS

	Página
Resumen .....	7
Capítulo I. Introducción y objetivos .....	8
1.1 Introducción .....	8
1.2 Objetivos .....	9
1.2.1 Objetivo general .....	9
1.2.2 Objetivos específicos .....	9
1.2.3 Alcance .....	9
Capítulo II. Marco Teórico .....	10
2.1 Origen y formación de los suelos de la Facultad de Ingeniería .....	10
2.2 Relaciones volumétricas y gravimétricas de los suelos .....	12
2.3 Sistemas de clasificación de los suelos .....	13
2.4 Flujo de agua en los suelos .....	15
2.4.1 Infiltración .....	15
2.4.2 Límites y validez de la Ley de Infiltración .....	16
2.4.3 Permeabilidad .....	17
2.4.3.1 Métodos directos In-Situ .....	18
2.4.3.1.1 Prueba de infiltración directa en área circular (PIDAC) .....	18
2.4.3.1.2 Ensayo Porchet .....	20
2.4.3.2 Métodos indirectos .....	21
2.4.3.2.1 Fórmula de Allen Hazen .....	21
2.4.3.2.2 Fórmula de Beyer .....	21
2.4.3.2.3 Fórmula de Kozeny .....	22
2.4.3.2.4 Fórmula de Slichter .....	23
Capítulo III. Metodología y desarrollo .....	24
3.1 Descripción de la investigación .....	24
3.2 Descripción de los ensayos del suelo de la Facultad .....	25
3.2.1 De los ensayos In-Situ .....	25
3.2.1.1 Prueba de infiltración directa en área circular (PIDAC) .....	25
3.2.1.2 Ensayo Porchet .....	27
3.2.1.3 Ensayo de densidad In-Situ .....	28

3.2.2 De los ensayos en laboratorio .....	29
3.2.2.1 Ensayo de granulometría del suelo.....	29
3.2.2.2 Límites de Atterberg.....	30
3.2.2.3 Gravedad específica.....	32
Capítulo IV. Resultados .....	34
4.1 Tabulación de los resultados .....	34
4.2 Resultados generales .....	35
4.3 Gráficos de permeabilidad en función a los métodos utilizados.....	37
4.4 Gráficos de permeabilidad en función a otras variables .....	41
4.5 Mapas de permeabilidad .....	44
Capítulo V. Análisis de resultados y conclusiones .....	47
Bibliografía .....	48
Anexos .....	49
a) Registro de los datos obtenidos para el punto 1	
b) Registro de los datos obtenidos para el punto 2	
c) Registro de los datos obtenidos en el punto 3	
d) Registro de los datos obtenidos en el punto 4	
e) Registro de los datos obtenidos en el punto 5	
f) Registro de los datos obtenidos en el punto 6	
g) Registro de los datos obtenidos en el punto 7	
h) Registro de los datos obtenidos en el punto 8	

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: a) Geología de Curicó y sus alrededores .....	11
b) Leyenda Q1 .....	11
Figura 2: Detalle terraza fluvial del estero Guaiquillo .....	12
Figura 3: Fases del suelo. ....	12
Figura 4: Ciclo hidrológico del agua.....	15
Figura 5: Variación de la velocidad de carga con el gradiente hidráulico en arcilla.....	16
Figura 6: a) PIDAC .....	18
b) Esquema .....	18
Figura 7: a) Ensayo Porchet. ....	20
a) Esquema. ....	20
Figura 8: Mapa que muestra los puntos por investigar .....	24
Figura 9: Ensayo de infiltración directa en área circular .....	26
Figura 10: Ensayo Porchet .....	27
Figura 11: Excavación para realizar el ensayo de cono de arena.....	29
Figura 12: Lavado de muestra fina por el tamiz #200.....	30
Figura 13: División de la masa con el acanalador.....	31
Figura 14: Para el límite plástico se hacen tiras de un diámetro de 3 mm .....	32
Figura 15: masa del picnómetro.....	33
Figura 16: masa del picnómetro + muestra seca .....	33
Figura 17: picnómetro + muestra + agua .....	33
Figura 18: picnómetro + agua .....	33

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 1: Resultados de permeabilidad para cada punto, en función a los métodos utilizados.....	36
Gráfico 2: Comparación de resultados de permeabilidad obtenidos In Situ .....	36
Gráfico 3: Resultados de permeabilidad en el punto 1 en función a los métodos utilizados .....	37
Gráfico 4: Resultados de permeabilidad en el punto 2 en función a los métodos utilizados .....	38
Gráfico 5: Resultados de permeabilidad en el punto 3 en función a los métodos utilizados .....	38
Gráfico 6: Resultados de permeabilidad en el punto 4 en función a los métodos utilizados .....	39
Gráfico 7: Resultados de permeabilidad en el punto 5 en función a los métodos utilizados .....	39
Gráfico 8: Resultados de permeabilidad en el punto 6 en función a los métodos utilizados .....	40
Gráfico 9: Resultados de permeabilidad en el punto 7 en función a los métodos utilizados .....	40
Gráfico 10: Resultados de permeabilidad en el punto 8 en función a los métodos utilizados .....	41
Gráfico 11: Permeabilidades en función a la densidad obtenida en terreno .....	42
Gráfico 12: Permeabilidades en función al índice de plasticidad del suelo .....	42
Gráfico 13: Permeabilidades en función al porcentaje de finos que contiene el suelo .....	43
Gráfico 14: Permeabilidades en función al contenido de humedad .....	43
Gráfico 15: Mapa de permeabilidad de los puntos estudiados con método Porchet .....	44
Gráfico 16: Mapa de permeabilidad de los puntos estudiados con método Slug Test.....	45
Gráfico 17: Mapa de permeabilidad de los puntos estudiados con el promedio de ambos métodos .	46

## RESUMEN

Una de las propiedades más relevantes de los suelos es su permeabilidad, definida a través de un coeficiente denominado con la letra  $k$ , asociada a la capacidad que tiene un suelo para dar paso a un fluido a través de sus vacíos intersticiales.

En relación con esta propiedad, se evalúan 8 puntos diferentes dentro de la Facultad de Ingeniería de Universidad de la Talca, a fin de para aportar a la Facultad con data de caracterización de suelos, a ser utilizada en el futuro desarrollo expansivo de sus instalaciones (drenaje de edificios y canchas deportivas, configuración de una laguna artificial, diseño de intercambiadores de calor geotérmicos, subpresiones actuantes sobre estanques de aguas negras, etc).

Se determinó la permeabilidad mediante ensayos de campo usando una prueba de infiltración directa en área circular (PIDAC) y Porchet, y se compararon con los resultados obtenidos mediante expresiones empíricas, utilizando específicamente las ecuaciones de Allen-Hazen, Kozeny, Beyer y Slichter.

Los valores medidos de permeabilidad oscilan en un rango de  $10^{-3}$  a  $10^{-6} \frac{m}{s}$ , resultados típicos para arenas muy finas, limos y arena limosa. No se visualizan dispersiones significativas de acuerdo con los métodos utilizados, evidenciándose que los métodos indirectos exhiben una variabilidad natural cercana a la permeabilidad promedio.

En general el drenaje de los suelos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Talca que era lo esperado en base a los antecedentes que se tenían de la zona.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

### 1.1 Introducción

Las características y propiedades que posee un suelo es información relevante para el diseño de estructuras y cimentaciones, esto es porque el suelo es el principal receptor de toda la carga que se superpone sobre él y además tiene la misión de disipar esa energía a los estratos que están por debajo.

Una de estas propiedades, y será la que se estudiará en la siguiente memoria, se refiere a la permeabilidad que se identifica mediante el coeficiente de permeabilidad ( $k$ ) y se define como la capacidad que tiene el suelo para dejar pasar fluido sin modificar su estructura interna, esto gracias a los poros que están interconectados y permiten que un líquido fluya a través de ellos.

El sitio por caracterizar será la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Talca, ubicada en Los Niches, en la ciudad de Curicó. Este lugar y sus alrededores tienen un depósito geológico de origen aluvial, coluvial y de remoción en masa. Son predios que generalmente se utilizan para realizar actividades agrícolas.

En línea con el importante desarrollo de la Facultad, conocer el orden de magnitud de la infiltración de suelos permitiría resolver: problemas de drenaje para la construcción de edificios y multicanchas deportivas, problemas para desaguar cimentaciones de estructuras venideras, diseño de tranques acumuladores (o lagunas artificiales) con el fin de hacer un jardín botánico, diseño de intercambiadores de calor geotérmicos con el fin de implementar un sistema de climatización pasiva y estimación de subpresiones en estanques de aguas negras.

El presente estudio muestra la variabilidad de la permeabilidad de los suelos del campus, considerando caracterizaciones directas e indirectas. Se efectúan pruebas de campo (*in situ*) mediante ensayos de infiltración superficial en área circular, ensayo Porchet y estimación del valor de  $k$  utilizando propuestas indirectas que utilizan como variable principal la porosidad y otros valores asociados de distinta manera según el tamaño de la partícula del suelo.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general:

Determinar la variabilidad de la permeabilidad de los suelos en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Talca considerando metodologías directas e indirectas.

### 1.2.2 Objetivos específicos:

- Ejecutar 8 calicatas exploratorias con el fin de proporcionar la excavación necesaria para la ejecución de las pruebas de infiltración y establecer características del suelo de cada futura medición.
- Determinación de la constante de permeabilidad mediante las metodologías directas tipo Porchet e infiltración directa en área circular en cada calicata realizada.
- Establecer comparativas de los resultados obtenidos con magnitudes estimadas a través de metodologías indirectas a fin de establecer tendencias de ajustes para los suelos de la Facultad.
- Proponer una visualización de los resultados a través de diferentes “*permeability maps*” sobre la superficie del campus de la Facultad.

### 1.2.3 Alcance:

El alcance del estudio corresponde a medir y graficar la variabilidad de la constante de permeabilidad en 8 puntos distintos dentro del predio que delimita a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Talca, por medio de ensayos directos e indirectos.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Origen y formación de los suelos de la Facultad de Ingeniería

Dentro de todas las capas que constituyen a la Tierra, la corteza es la más externa y esta cubierta en la parte superior por el suelo. Para efectos de este estudio la palabra suelo representa todo tipo de material no consolidado, dejando excluidas las rocas sanas o depósitos muy duros que no se ablandan por acciones propias del entorno.

La corteza es influenciada principalmente por las aguas (meteóricas) y el aire por medio de 2 mecanismos de meteorización: mecánica y química. El ataque de estos agentes puede generar la descomposición dejando el suelo en el mismo lugar (suelos residuales) o puede generar la descomposición removiendo el suelo del lugar (suelos transportados o erosionados). La descomposición mecánica incluye cambios periódicos de temperatura, congelación de las aguas en las juntas y grietas de las rocas, efectos de organismos, plantas, etc., la descomposición química ataca la roca modificando su composición mineralógica, los vegetales juegan un rol importante produciendo arcilla y el agua por otro lado, uno de los factores más importantes, genera oxidación, hidratación y carbonatación. (Badillo Juárez, Rodríguez Rico (2005). Fundamentos de la Mecánica de Suelos)

El Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMÍN) tiene a disposición el mapa geológico de Chile, que muestra la composición de los suelos de acuerdo a su origen y edad de formación. Principalmente los suelos del área estudio son de la época del Pleistoceno-Holoceno, las últimas etapas geológicas de las que se tiene registro. En la Figura 1 a) se observa un fragmento del mapa geológico de Chile enfocando la ciudad de Curicó y sus alrededores y en 1 b) los tipos de sedimentos encontrados, que se describen a continuación:

1. Depósitos aluviales: sedimentos que han sido transportados por una corriente de agua.
2. Depósitos coluviales: de origen local producto de la alteración de las rocas formando fragmentos de tamaño grueso que están encerrados en una matriz de limo y arcilla.
3. Depósitos de remoción en masa: Corresponden a los depósitos formados por remociones en masa que rellenan las quebradas actuales como flujos de barro y flujos de detritos además de algunos deslizamientos.

Y en menor proporción son de origen:

4. Fluvioglacial: originados por la fusión de los glaciares.

5. Deltaicos: son sedimentos traídos por los ríos hacia la línea de costa.
6. Litorales: límites donde alcanza la acción del oleaje del mar.
7. Volcanoclásticos: los volcanes depositan los sedimentos cuando entran en actividad.
8. Indiferenciados: cualquier otro tipo de suelo que no se haya reconocido su origen.



**Q1**  
**Pleistoceno-Holoceno**  
Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa; en menor proporción fluvioglaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. En la Depresión Central, regiones Metropolitana a IX: abanicos mixtos de depósitos aluviales y fluvioglaciales con intercalación de depósitos volcanoclásticos.

a)

b)

Figura 1: a) Mapa geológico de Curicó y sus alrededores, se marca con una estrella la ubicación de la Facultad dentro del mapa. b) Leyenda de Q1

Fuente: Servicio Nacional de Geología y Minería

Para explicar brevemente sobre el origen del suelo en la zona de estudio, en la Figura 2 se muestra un detalle de terraza fluvial del estero Guaiquillo en el camino a Zapallar, Curicó. Un río fue depositando sedimentos durante cientos de años y fue formando el suelo. Existen conglomerados clasto soportados, esto quiere decir que los clastos son redondeados y están en contacto entre sí. Se observan intercalaciones de arenas gruesas, propios de las características fluviales.

De abajo hacia arriba se pueden ver algunos áridos muy gruesos, esto quiere decir que, se necesitó un caudal muy intenso, con corrientes muy fuertes que pudiera transportar esos fragmentos. Luego, se observa una capa de arena gruesa correspondiente a los sedimentos transportados por un caudal de menor intensidad; llegando a la parte superior de la sección, se visualizan rocas de gran tamaño por lo que se asume que nuevamente se necesitó una gran cantidad de energía que pudiera transportarlo. Finalmente se forma la última capa de suelo producto de la meteorización física, química y biológica.



Figura 2: Detalle terraza fluvial del estero Guaiquillo.  
Fuente: Carta de geología del área de San Fernando.

## 2.2 Relaciones volumétricas y gravimétricas de los suelos

El suelo está constituido por los 3 estados principales de la materia: sólidos, que son las partículas como tal del sedimento; líquidos, que están contenidos libremente entre los poros y gases (masa despreciable). De una muestra podemos cuantificar volúmenes y masas de las fases del suelo, la Figura 3 representa un esquema ordenado de las fases del suelo donde es posible acotar los parámetros de interés.

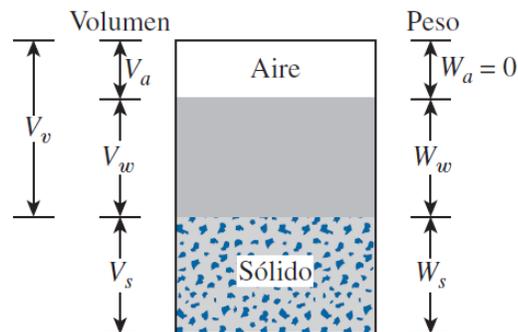


Figura 3: Fases del suelo, relación peso-volumen  
Fuente: Dass M. Braja (2011). Fundamentos de Ingeniería en Cimentaciones

De la Figura 3 se indica lo que representa cada término a continuación:

- $W_s$  = Peso del sólido
- $W_w$  = Peso del agua
- $V_s$  = Volumen del sólido
- $V_w$  = Volumen de agua
- $V_a$  = Volumen del aire
- $V_v$  = Volumen de vacíos

Podría determinarse fácilmente en laboratorio algunas variables que a su vez permiten obtener como resultados otros datos y que su dominio es fundamental para realizar estudios de suelos. Algunas relaciones de peso y volumen importantes son:

- Porosidad ( $n$ ): se define como la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total de la muestra. Se expresa como porcentaje.

$$n (\%) = \frac{V_V}{V_m} \times 100 \quad (1)$$

- Relación de vacíos ( $e$ ): se define como la relación entre el volumen de vacíos respecto al volumen de sólidos.

$$e = \frac{V_V}{V_S} \quad (2)$$

- Densidad relativa (DR): es un parámetro que indica el grado de compactación o compacidad de un suelo.

$$DR = \frac{e_{m\acute{a}x} - e}{e_{m\acute{a}x} - e_{m\acute{i}n}} \quad (3)$$

Donde:

$e_{m\acute{a}x}$  = índice de vacíos máximo permitido por el suelo

$e_{m\acute{i}n}$  = índice de vacíos mínimo permitido por el suelo

- Grado de saturación (S): se define como la relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos. Se expresa en porcentaje.

$$S (\%) = \frac{V_w}{V_V} \times 100 \quad (4)$$

### 2.3 Sistemas de clasificación de los suelos

En los suelos se pueden encontrar 2 grupos muy generalizados según su granulometría: los suelos gruesos y los suelos finos. De ello dependerá en muchos casos la metodología de trabajo que debe utilizarse.

Con el fin de identificar el suelo que se estudia se utilizará el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el sistema AASHTO. Estas clasificaciones describen la textura y el tamaño de las partículas de suelo de la muestra en evaluación. Los resultados se representan por medio de una simbología que está establecida y se realiza previamente a una granulometría del suelo mediante

tamizado. La nomenclatura y definiciones de cada una se ven descritas en la Tabla 1 y Tabla 2 presentadas a continuación:

<b>Símbolo</b>	<b>G</b>	<b>S</b>	<b>M</b>	<b>C</b>	<b>O</b>	<b>Pt</b>	<b>H</b>	<b>L</b>	<b>W</b>	<b>P</b>
<b>Descripción</b>	Grava	Arena	Limo	Arcilla	Limos orgánicos y arcilla	Turba y suelos altamente orgánicos	Alta plasticidad	Baja plasticidad	Bien graduado	Mal graduado

Tabla 1: Nomenclatura para la clasificación de los suelos según USCS  
Fuente: Das M. Braja (2011). Fundamentos de Ingeniería en Cimentaciones

<b>Clasificación general</b>	<b>Materiales granulares (35% o menos de la muestra total pasa la malla núm. 200)</b>						
	<b>A-1</b>			<b>A-2</b>			
	<b>A-1-a</b>	<b>A-1-b</b>	<b>A-3</b>	<b>A-2-4</b>	<b>A-2-5</b>	<b>A-2-6</b>	<b>A-2-7</b>
<b>Clasificación de grupo</b>							
Análisis por mallas (% que pasa)							
Malla núm. 10	50 máx						
Malla núm. 40	30 máx	50 máx	51 mín				
Malla núm. 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx
Para la fracción que pasa							
Malla núm. 40							
Límite líquido (LL)				40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de plasticidad (IP)	6 máx		No plástico	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipo usual de material	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Clasificación de la capa	Excelente a buena						
<b>Clasificación general</b>	<b>Materiales de limo y arcilla (más de 35% de la muestra total pasa la malla núm. 200)</b>						
	<b>A-4</b>	<b>A-5</b>	<b>A-6</b>	<b>A-7</b>			
<b>Clasificación de grupo</b>							
Análisis por mallas (% que pasa)							
Malla núm. 10							
Malla núm. 40							
Malla núm. 200	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín			
Para la fracción que pasa							
Malla núm. 40							
Límite líquido (LL)	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín			
Índice de plasticidad (IP)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín			
Tipo usual de material	Principalmente suelos limosos		Principalmente suelos arcillosos				
Clasificación subrasante	Regular a malo						

<sup>a</sup>Si  $IP \leq LL - 30$ , la clasificación es A-7-5.

<sup>b</sup>Si  $IP > LL - 30$ , la clasificación es A-7-6.]

Tabla 2: Nomenclatura para la clasificación de los suelos según AASHTO  
Fuente: Das M. Braja (2011). Fundamentos de Ingeniería en Cimentaciones

## 2.4 Flujo de agua en los suelos

Se denomina ciclo hidrológico a la sucesión de etapas por el cual el agua sufre una serie de conversiones y circulaciones, pasando por los 3 estados principales de la materia. La Figura 4 es una representación esquemática del ciclo del agua. Se observa que las precipitaciones infiltran a través del suelo hasta unirse al nivel freático, éste se mueve desde puntos de mayor presión a menor presión, finalmente el agua desemboca en el mar o en un lago, se condensa y se convierte vapor que más adelante alcanzará una densidad tal, que caerá nuevamente precipitando. El ciclo del agua es fundamental para mantener el equilibrio y la estabilidad de nuestro planeta.

Por medio de la infiltración de las aguas lluvias se forman las aguas subterráneas dando origen a grandes depósitos, que en muchos lugares son la única fuente de agua potable.

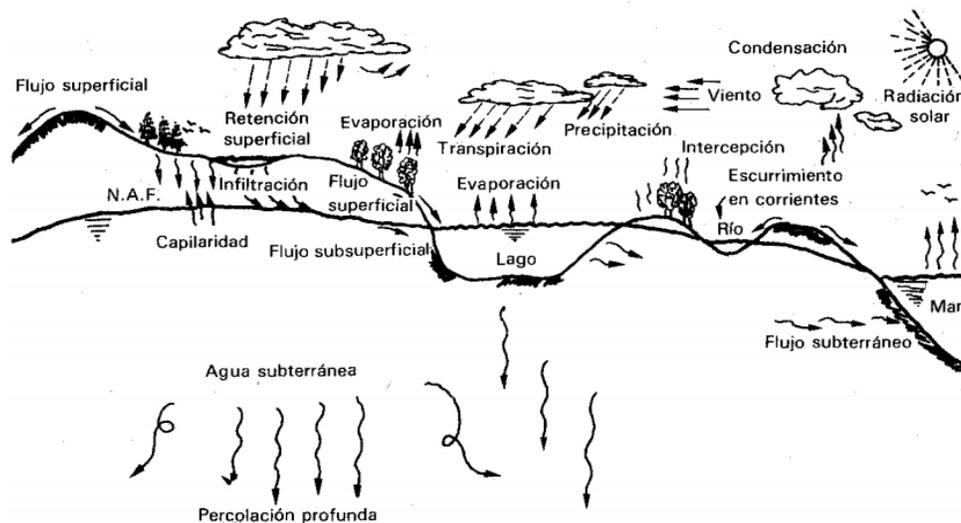


Figura 4: Ciclo hidrológico del agua  
Fuente: Aparicio (1997). Fundamentos de Hidrología de superficie

### 2.4.1 Infiltración

La Infiltración es el agua que escurre a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra y que se mueve a través de los intersticios del suelo por percolación, desde el punto de vista de la ingeniería el agua subterránea puede ser:

- Agua freática o gravitacional: está sometido a la fuerza de gravedad y tiende a fluir lateralmente. Se asume que bajo la napa freática el suelo se encuentra saturado.

- Agua vadosa o superficial: a causa de las precipitaciones es el agua de que infiltra a través del suelo y se desplaza hacia abajo para incorporarse a la napa freática.
- Agua capilar: es el agua retenida sobre el nivel freático mediante tensión superficial.
- Napas colgantes: cuando el agua está sobre cuerpos de suelos aislados

#### 2.4.2 Límites de validez de la Ley de Infiltración

Henry Darcy fue un ingeniero que trabajó en el abastecimiento de agua para una ciudad de Francia. Se interesó en el flujo del agua a través de medios porosos porque se utilizaban camas de arena para la depuración de esta y por la observación de los pozos que proveían de agua a la ciudad.

La Ley de Darcy gobierna el flujo de agua a través de medios porosos y básicamente lo que indica es que la velocidad de infiltración, para flujos laminares, es proporcional al gradiente hidráulico, e inversamente proporcional a la longitud recorrida por el fluido como se muestra en la Figura 5.

$$v \propto ki$$

Donde:

$v =$  velocidad del fluido

$i =$  gradiente hidráulico  $= \frac{\Delta h}{\Delta L}$

$\Delta h =$  diferencia de presiones dentro de un tramo  $\Delta L$

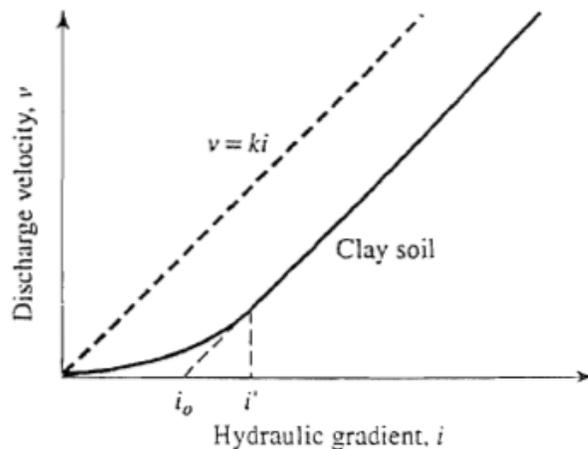


Figura 5: Variación de la velocidad de carga con el gradiente hidráulico en arcilla  
Fuente: R.F. Craig (2004). Craig's Soil Mechanic

### 2.4.3 Permeabilidad

La permeabilidad se obtiene bajo saturación parcial y se definen como la capacidad que tiene el suelo o cualquier material para dejar pasar el agua. Esta cualidad está representada por medio del coeficiente de permeabilidad ‘k’ utilizada como una medida de resistencia al flujo ofrecida por el suelo. El valor del coeficiente depende de varios factores como:

- Tipo de suelo
- Grado de compactación
- Grado de saturación
- Viscosidad del agua
- Continuidad de los poros, entre otros.

El intervalo de la constante de permeabilidad es muy amplio, llegando a 1 m/s en gravas limpias, significando una buena permeabilidad, como a valores despreciables en arcillas y limos, significando ser, por poco, impermeables; esto debido a que mientras más pequeño sea el tamaño de los poros aumenta la superficie de contacto con el agua contenida en los poros. La Tabla 3 que se muestra a continuación ordena diferentes sedimentos según su permeabilidad en orden decreciente.

*Table 5.1 Range of values for k (m/s)*

$10^2$ –		
$10^1$ –		
1–	Clean gravels	Very good drainage
$10^{-1}$ –		
$10^{-2}$ –		
$10^{-3}$ –	Clean sands Gravel–sand mixtures	Good drainage
$10^{-4}$ –		
$10^{-5}$ –		
$10^{-6}$ –	Very fine sands Silts and silty sands	Poor drainage
$10^{-7}$ –		
$10^{-8}$ –	Clay silts (> 20% clay) Unfissured clays	Practically impervious
$10^{-9}$ –		

Tabla 3: Valores típicos de la constante de permeabilidad para algunos sedimentos  
Fuente: Roy Whitlow (1995). Basic Soil Mechanics.

Los métodos utilizados para calcular la conductividad hidráulica en los suelos son mediante ensayos directos In-Situ, directos en laboratorio e indirectos.

### 2.4.3.1 Métodos directos In-Situ utilizados

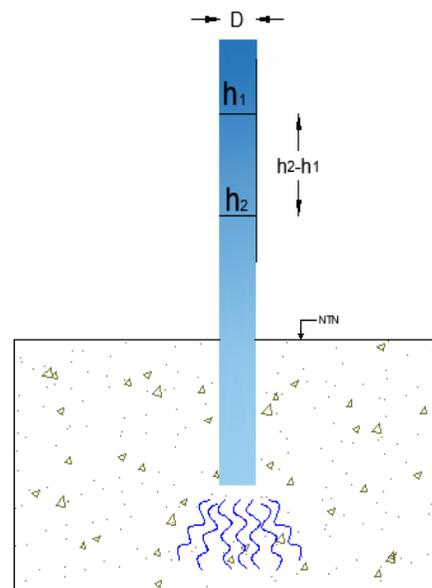
Los métodos en terreno permiten identificar la conductividad hidráulica de un suelo de forma directa a través de experiencias que involucran la excavación de pozos superficiales. Para efectos de esta memoria se realizarán 2 tipos de ensayos de campo: ensayo PIDAC y ensayo Porchet.

#### 2.4.3.1.1 Prueba de infiltración directa en área circular (PIDAC)

El ensayo PIDAC tiene una similitud con el ensayo Lefranc. Este último consiste en hacer una perforación profunda por medio de un mecanismo que penetra una camisa de acero circular en el terreno, este mecanismo usa sus propias relaciones para el cálculo de la conductividad, sin embargo, la PIDAC (Figura 6a), permiten jugar con las variables del ensayo, como la profundidad y el diámetro del tubo. Es similar al ensayo Lefranc pero no se intercepta la napa, además el tubo no tiene perforaciones laterales por lo que la infiltración solamente se produce en sentido vertical (ver Figura 6b)



a)



b)

Figura 6: a) Prueba de infiltración directa en área circular. b) Esquema del ensayo  
Fuente: Elaboración propia

Inicialmente es importante saber que se trabaja sobre un suelo saturado. El ensayo consiste en hacer una perforación en el terreno para luego hincar un tubo graduado de diámetro conocido. El ensayo puede hacer usando una carga variable o constante. Cada uno de estos métodos se resuelve con diferentes expresiones:

- Carga constante: se carga con un caudal determinado, se registra la caída del agua para posteriormente volver a cargar el tubo con agua, así sucesivamente hasta que el descenso sea despreciable. La conductividad hidráulica se obtiene por medio de esta expresión:

$$k = \frac{Q}{Cxh_m} \left[ \frac{cm}{s} \right] \quad (5)$$

$$Q = \text{caudal inyectado} \left[ \frac{cm^3}{s} \right]$$

$$h_m = \text{altura de agua dentro del sondeo [cm]}$$

$$C = \text{factor de forma [cm]}$$

$$C = \frac{2\pi L}{\ln\left(\frac{2L}{d}\right)}$$

$$L = \text{longitud filtrante [cm]}$$

$$d = \text{diametro filtrante [cm]}$$

- Carga variable: se carga el tubo con un caudal determinado, para luego registrar el descenso del agua, que por gravedad absorbe el suelo, en un determinado intervalo de tiempo (figura 6b). El ensayo finaliza al obtener un nivel de agua constante. La permeabilidad se obtiene por medio de esta expresión:

$$k = \frac{2\pi R}{11(t_2 - t_1)} \times \text{Ln}\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \left[ \frac{cm}{s} \right] \quad (6)$$

Donde:

$$d_e = \text{diámetro de la entubación (puede ser igual a d)[cm]}$$

$$h_1 = \text{altura del agua al principio de la medición [cm]}$$

$h_2 =$  altura del agua al final de la medición [cm]

$t =$  tiempo transcurrido entre las mediciones [s]

$L =$  longitud de la zona filtrante [cm]

$d =$  diámetro de la zona filtrante [cm]

### 2.4.3.1.2 Ensayo Porchet

El ensayo consiste en hacer una excavación o pozo superficial de lado y profundidad conocida, luego se llena con agua hasta una altura  $h$  determinada y se registra el descenso del agua cada cierto intervalo de tiempo fijo (Figuras 7a) y 7b). La permeabilidad se obtiene por medio de esta expresión:

$$k = \frac{R}{2(t_2 - t_1)} \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right) \left[ \frac{cm}{s} \right] \quad (7)$$

Donde:

$R =$  radio de la excavación [cm]

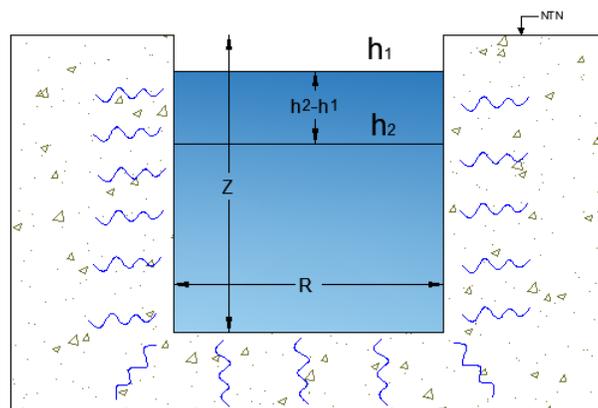
$h_1 =$  altura del agua al principio de la medición [cm]

$h_2 =$  altura del agua al final de la medición [cm]

$t_2 - t_1 =$  intervalo de tiempo entre las mediciones [s]



a)



b)

Figura 7: a) Ensayo Porchet. b) Esquema del ensayo  
Fuente: Elaboración propia

### 2.4.3.2 Métodos indirectos

Son ecuaciones empíricas que dedujeron algunos científicos para la determinación de la conductividad hidráulica por medio de la porosidad y estudios granulométricos.

#### 2.4.3.2.1 Fórmula de Allen-Hazen (1892)

$$K = \frac{g}{\nu} C_H x f(n) (d_{10})^2 \left[ \frac{cm}{s} \right] \quad (8)$$

Donde:

$$g = \text{aceleración de gravedad} \left[ \frac{cm}{s^2} \right]$$

$$\nu = \text{viscosidad cinemática del fluido} \left[ \frac{cm^2}{s} \right]$$

$C_H =$  Coeficiente de Hazen

$$C_H = 6 \times 10^{-4}$$

$d_{10} =$  diámetro efectivo [cm]

$f(n) =$  función que depende de la porosidad

$$f(n) = 1 + 10(n - 0.26)$$

$n =$  porosidad

Esta expresión se recomienda para suelos con coeficiente de uniformidad  $< 5$  y para suelos con los siguientes diámetros:

$$0.1 \text{ mm} < d_{10} < 1.0 \text{ mm}$$

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} < 5$$

#### 2.4.3.2.2 Fórmula de Beyer (1964)

$$K = \frac{g}{\nu} C_B x (d_{10})^2 \left[ \frac{cm}{s} \right] \quad (9)$$

$$g = \text{aceleración de gravedad} \left[ \frac{cm}{s^2} \right]$$

$v = \text{viscosidad cinemática del fluido} \left[ \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \right]$

$d_{10} = \text{diámetro efectivo [cm]}$

$C_B = \text{Coeficiente de Beyer}$

$$C_B = 6 \times 10^{-4} \times \log\left(\frac{500}{C_u}\right)$$

La expresión de Beyer se recomienda para suelos con las siguientes características:

$$0.06 \text{ mm} < d_{10} < 0.6 \text{ mm}$$

$$1 < C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} < 2$$

#### 2.4.3.2.3 Fórmula de Kozeny (1953)

$$K = \frac{g}{v} C_K x f(n) (d_{10})^2 \left[ \frac{\text{cm}}{\text{s}} \right] \quad (10)$$

Donde:

$g = \text{aceleración de gravedad} \left[ \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} \right]$

$v = \text{viscosidad cinemática del fluido} \left[ \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \right]$

$C_K = \text{Coeficiente de Kozeny}$

$$C_K = 8.3 \times 10^{-4}$$

$d_{10} = \text{diámetro efectivo [cm]}$

$f(n) = \text{función que depende de la porosidad}$

$$f(n) = \frac{n^3}{(1-n)^2}$$

$n = \text{porosidad}$

Válida para suelos arenosos.

#### 2.4.3.2.4 Fórmula de Slichter (1898)

$$K = \frac{g}{\nu} C_S x f(n) (d_{10})^2 \left[ \frac{cm}{s} \right] \quad (11)$$

Donde:

$$g = \text{aceleración de gravedad} \left[ \frac{cm}{s^2} \right]$$

$$\nu = \text{viscosidad cinemática del fluido} \left[ \frac{cm^2}{s} \right]$$

$C_S$  = Coeficiente de Slichter

$$C_S = 0.01$$

$d_{10}$  = diámetro efectivo [cm]

$f(n)$  = función que depende de la porosidad

$$f(n) = n^{3.287}$$

$n$  = porosidad

Válida para suelos arenosos.

$$0.01 \text{ mm} < d_{10} < 5.0 \text{ mm}$$

## CAPÍTULO III. METODOLOGÍA Y DESARROLLO

### 3.1 Descripción de la investigación

Esta investigación medirá la variación de la permeabilidad en los suelos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Talca. Para ello, establece comparativas entre los resultados obtenidos, estimados a través de metodologías directas e indirectas, evaluando las características de 8 calicatas, para finalmente proponer una visualización de los resultados a través de diferentes mapas de permeabilidad “*permeability maps*” sobre la superficie del campus de la Facultad.

La localización del terreno en estudio tiene lugar en camino a Los Niches km 1 en la ciudad de Curicó. Los puntos por investigar serán 8 como se muestra en la Figura 8



Figura 8: Mapa que muestra los puntos por investigar  
Fuente: Elaboración propia con Google Earth

La metodología que se usará será la siguiente:

1. Escarpe de material orgánico.
2. Identificar el tipo de suelo con el que se trabaja, extrayendo una muestra del material y clasificándola según el tamaño de las partículas. Si se determina un suelo fino se establece el tipo mediante el cálculo de los límites de Atterberg.
3. Se determina la densidad real seca del terreno mediante el ensayo del cono de arena. Con este dato también se determinan otras variables como el índice de vacíos y la porosidad
4. Se determina la tasa de infiltración mediante el ensayo Porchet realizando una excavación de superficie cuadrada y con una profundidad mínima de 60 cm
5. Se determina la tasa de infiltración mediante la prueba de infiltración directa en área circular asegurando que la entubación sea como mínimo de 30 cm
6. Se determina la tasa de infiltración utilizando métodos indirectos que dependen de la porosidad del suelo y del diámetro efectivo.
7. Finalmente se comparan los resultados obtenidos mediante los métodos utilizados.

### **3.2 Descripción de los ensayos del suelo de la Facultad**

#### **3.2.1 De los ensayos In-Situ**

##### **3.2.1.1 Prueba de infiltración directa en área circular (PIDAC)**

Materiales:

- Casco
- Zapatos
- Guantes
- Huincha de medir
- Chuzo o picota
- Pala
- Pala de mango corto o jardinera
- Sacos, bolsas
- Corchetes o huincha adhesiva
- Etiquetas
- Tubo de PVC de diámetro conocido
- Agua

- Cronómetro
- Libreta de apuntes, etc.

Procedimiento:

1. Medir en planta un cuadrado de 50x50 cm aproximadamente y con la pala delimitar el perímetro de este.
2. Escarificar la primera capa de tierra, retirando todo el material vegetal que contenga el terreno.
3. Con la picota y la pala comenzar una excavación de 30 cm o más de profundidad.
4. Con la pala de mango corto retirar todo el material suelto y verificar si se cumple con la profundidad y los lados de la excavación. El cilindro debe quedar entubado por lo menos 30 cm
5. Una vez realizada la excavación colocar el tubo de PVC de forma vertical y rellenar el contorno exterior asegurando que quede entubado en el suelo hasta la mitad de su largo.
6. Llenar con agua el tubo como se muestra en la Figura 9 y comenzar la medición con el cronómetro. Se generarán intervalos de tiempo de medición para el descenso de agua a través del suelo
7. Una vez que el agua haya bajado se vuelve a rellenar el tubo hasta una altura determinada y se repite el procedimiento con el fin de obtener el caudal que se necesita para mantener una altura constante de agua.



Figura 9: Prueba de infiltración directa en área circular. (PIDAC)  
Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1.2 Ensayo Porchet

Materiales:

- Se utilizarán los mismos del ensayo de la sección 3.2.1.1 a excepción del tubo de PVC
- Patrón de medida (varilla)

Procedimiento:

1. Medir en planta un cuadrado de 50x50 cm aproximadamente y con la pala delimitar el perímetro de este.
2. Escarificar la primera capa de tierra, retirando todo el material vegetal que contenga el terreno.
3. Con la picota y la pala comenzar una excavación de área cuadrada de 30 cm de lado hasta una profundidad mayor o igual a 50 cm.
4. Con la pala de mango corto retirar todo el material suelto y verificar si se cumple con la profundidad y los lados de la excavación.
5. Una vez realizada la excavación, llenarla con agua hasta un nivel establecido en la zona superior (ver Figura 10) y comenzar la medición con el cronómetro, registrando el descenso del agua a través del tiempo.
6. Se generarán intervalos de tiempo de medición para el descenso de agua.



Figura 10: Ensayo Porchet  
Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1.3 Ensayo de densidad In-Situ por Método del Cono de Arena

#### Materiales:

- Guantes
- Casco
- Zapatos
- Huincha o cinta de medir
- Herramientas para realizar una excavación (pala, chuzo)
- Pala de mango corto o jardinera
- Cincel, chuzo mediano o barra de acero que suelte el terreno
- Martillo
- Recipiente o bolsas de polietileno
- Equipo cono de arena
- Arena limpia y seca de densidad conocida (arena de cuarzo o arena Ottawa)
- Balanza de 10 kg
- Libreta de apuntes, etc.

#### Procedimiento:

1. Asegurarse que el instrumento de densidad esté funcionando completamente.
2. Retirar la materia orgánica
3. Realizar la excavación hasta el nivel de toma de densidad
4. Aplanar la superficie y limpiar el suelo de partículas sueltas y oquedades
5. Excavar con mucho cuidado apoyándose del cincel y del martillo y guiándose por el agujero de la placa base hasta una profundidad de 15 cm aproximadamente.
6. Instalar la placa base y posteriormente el aparato de densidad con el cuidado de no perder arena (ver Figura 11). Acumular el material extraído y registrar el peso de forma inmediata con la balanza y mantenerlo protegido en su envase.
7. Etiquetar muestra con la identificación (ID) del ensayo.



Figura 11: Aparato de densidad por cono de arena  
Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2 De los ensayos en laboratorio

#### 3.2.2.1 Ensayo de granulometría del suelo

Materiales:

- Juego de tamices ASTM
- Poruña
- Horno
- Agua
- Balanza
- Pailas

Procedimiento:

1. Se extrae una cantidad de muestra de acuerdo con el tamaño máximo del árido hallado
2. Se cuartea el material una vez mezclado homogéneamente y se extraen 2/4 opuestos de la muestra
3. Se registra el peso del material seleccionado
4. Se seca la muestra y se separan las arenas y finos del suelo grueso por medio del tamiz n°4. Se registran las masas.
5. El material retenido sobre el tamiz n°4 se lava, seca y separa haciéndolo pasar por la serie de tamices en orden decreciente. Se deben registrar todos los pesos retenidos en cada tamiz.
6. Del material que pasa la malla n°4 se selecciona alrededor de 600 gr y se lavan a través del tamiz n°200, que separa el suelo fino de la arena. (Ver Figura 12)

7. Finalmente, el suelo retenido en el tamiz n°200 se seca y enseguida se hace pasar la serie de tamices en orden decreciente.



Figura 12: Lavado de muestra fina por el tamiz #200  
Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2.2 Límites de Atterberg

#### Límite líquido

##### Materiales:

- Cuchara de casa grande
- Espátula
- Platillo de evaporación de porcelana
- Balanza
- Acanalador
- Capsulas para muestras
- Agua
- Horno

##### Procedimiento:

1. La muestra tiene un tamaño máximo de 0,5 mm de diámetro (debe pasar el tamiz n°40) y se emplea una cantidad mínima de 160 gr.

2. A este material se le agrega agua y se mezcla con la espátula hasta formar una pasta homogénea y se deja reposar en el plato evaporativo.
3. Posteriormente la mezcla se inserta en la cuchara enrasando los excesos y con el acanalador se hace una abertura en el medio de manera continua. (ver Figura 13)
4. Se cuenta la cantidad de golpes necesarios hasta que el fondo se vuelva a unir por lo menos 1 cm de largo; deben ser entre 10 y 45 golpes. Se toma una muestra de ese sector, se guarda en la cápsula y se registra la masa húmeda. Luego se seca en horno y se registra la masa seca. El procedimiento se repite con 4 muestras partiendo por una pasta seca y añadiendo agua de a poco.

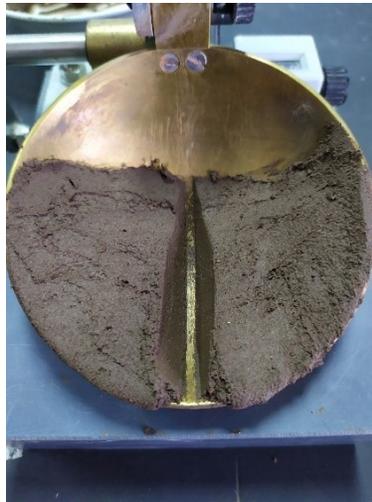


Figura 13: División de la masa con el acanalador en cuchara de Casagrande  
Fuente: Elaboración propia

### Límite plástico

#### Materiales:

- Espátula
- Platillo de evaporación de porcelana
- Balanza
- Capsulas para muestras
- Agua
- Horno
- Patrón de medida (3 mm)
- Recipiente

Procedimiento:

1. La muestra tiene un tamaño máximo de 0,5 mm de diámetro (debe pasar el tamiz n°40) y se emplea una cantidad mínima de 40 gr.
2. En un recipiente con el material se le agrega agua y se mezcla con la espátula hasta formar una pasta homogénea.
3. Luego usando el platillo evaporativo se deben crear hilos de muestra con la palma de la mano, amasando, hasta lograr un diámetro de 3 mm (Ver Figura 14). El procedimiento termina cuando se producen fracturas antes de llegar a los 3 mm y cuando los fragmentos de muestra ya no se vuelven a unir.
4. El material fragmentado se coloca en las capsulas y se registra la masa húmeda, luego se seca en horno y se registra la masa seca. El procedimiento se repite 3 veces.



Figura 14: Para el límite plástico se hacen tiras de un diámetro de 3 mm  
Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2.3 Gravedad Específica de los suelos

Materiales:

- Picnómetro
- Balanza con 0,01 gr de precisión
- Agua caliente
- Agua fría

Procedimiento:

1. Registrar la masa del picnómetro vacío. (Figura 15)
2. Registrar la masa del picnómetro más la muestra seca (Figura 16)

3. Se añade agua fría al picnómetro con la muestra eliminando los vacíos con baño maría y se registra la masa (Figura 17)
4. Se registra la masa de picnómetro con solamente agua. (Figura 18)



Figura 15: masa del picnómetro



Figura 16: masa del picnómetro + muestra seca



Figura 17: masa picnómetro + muestra + agua



Figura 18: masa picnómetro + agua

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1 Tabulación de los resultados

En la Tabla 4 muestra una recopilación de datos obtenidos en laboratorio, estos incluyen inicialmente las coordenadas del punto evaluado a continuación de los resultados de la clasificación del suelo donde se aprecian los límites de Atterberg, el % de suelo fino contenido en la muestra, los diámetros efectivos donde se concentra 10%, 30% y 60% de la muestra, el coeficiente de uniformidad y finalmente el porcentaje de humedad. En el punto 4 se observa que el suelo tiene 2 clasificaciones SUCS, por el cambio de estrato que se observó a los 30 y 60 cm de profundidad.

P U N T O	COORDENADAS		ENSAYOS DE LABORATORIO										
			CLASIFICACIÓN DEL SUELO					CONTENIDO DE SUELO FINO	DIAMETRO EFECTIVO			$C_u$	$\omega$
	NORTE	ESTE	LL	LP	IP	TIPO DE SUELO			$D_{10}$	$D_{30}$	$D_{60}$		
			m	m	%	%	%	SUCS	AASHTO	%	mm	mm	mm
1	6124565,76	296342,33	37	23	14	CL	A-6 (6)	56,28	0,075	0,075	0,075	1,0	20,95
2	6124566,02	296394,99	32	24	8	CL	A-4 (4)	65,04	0,075	0,075	0,075	1,0	18,91
3	6124390,75	296608,24	36	26	10	CL	A-4 (3)	52,35	0,075	0,075	0,075	1,0	18,07
4	6124344,33	296604,48	42	23	19	SP y CL	A-7-6 (9)	60,00	0,075	0,075	0,075	1,0	6,90
5	6124258,05	296593,96	39	22	17	CL	A-6 (9)	63,69	0,075	0,075	0,075	1,0	18,87
6	6124225,07	296523,40	36	22	14	CL	A-6 (7)	62,30	0,075	0,075	0,075	1,0	20,74
7	6124479,00	296521,00	36	21	15	CL	A-6 (8)	65,33	0,075	0,075	0,075	1,0	30,20
8	6124310,05	296500,03			0	SP	A-1-b	23,77	0,32	0,82	1,55	4,84	7,73

Tabla 4: Recopilación de los resultados obtenidos en laboratorio

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos en campo donde inicialmente se aprecia la densidad del terreno en  $gr/cm^3$ , posteriormente la profundidad a la que se realizaron tanto los ensayos de densidad como los de conductividad hidráulica, luego el área de infiltración para las pruebas de infiltración en tubo y Porchet respectivamente. La Tabla 5 finaliza mostrando los resultados de permeabilidad realizados en campo donde se aprecia la permeabilidad promedio de ambos ensayos denominada como “prom” y posteriormente los resultados de los slugs test y de los ensayos Porchet.

ENSAYOS IN SITU								
DENSIDAD	PROFUNDIDAD			AREA DE INFILTRACIÓN		PERMEABILIDAD		
	DENSIDAD	PIDAC	PORCHET	PIDAC	PORCHET	PROMEDIO	PIDAC	PORCHET
$\frac{gr}{cm^3}$	m	m	m	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m/s	m/s	m/s
						k prom	k1	k2
						0	1	2
1,36	0,45	0,30	0,60	0,038	1,45	$1,85 \times 10^{-4}$	$3,53 \times 10^{-4}$	$1,68 \times 10^{-5}$
1,26	0,45	0,30	0,60	0,038	1,45	$1,77 \times 10^{-4}$	$3,38 \times 10^{-4}$	$1,51 \times 10^{-5}$
1,50	0,45	0,30	0,60	0,038	1,45	$2,23 \times 10^{-5}$	$3,92 \times 10^{-5}$	$5,47 \times 10^{-6}$
1,90	0,45	0,30	0,60	0,038	1,45	$9,72 \times 10^{-4}$	$1,94 \times 10^{-3}$	$3,13 \times 10^{-6}$
1,52	0,45	0,30	0,60	0,038	1,45	$1,66 \times 10^{-4}$	$3,07 \times 10^{-4}$	$2,40 \times 10^{-5}$
1,46	0,45	0,30	0,60	0,038	1,45	$1,04 \times 10^{-4}$	$2,00 \times 10^{-4}$	$7,90 \times 10^{-6}$
1,59	0,45	0,30	0,60	0,038	1,45	$3,98 \times 10^{-5}$	$6,78 \times 10^{-5}$	$1,18 \times 10^{-5}$
1,45	0,45	0,30	0,60	0,038	1,45	$4,06 \times 10^{-4}$	$6,96 \times 10^{-4}$	$1,16 \times 10^{-4}$

Tabla 5: Recopilación de los resultados obtenidos en In situ  
Fuente: Elaboración propia

La Tabla 6 muestra los resultados obtenidos indirectamente a través de las expresiones empíricas propuestas por diversos autores.

METODOS INDIRECTOS			
ECUACIONES EMPÍRICAS			
HAZEN	BEYER	SLICHTER	KOZENY
m/s	m/s	m/s	m/s
k3	k4	k5	k6
3	4	5	6
$3,10 \times 10^{-5}$	$2,85 \times 10^{-5}$	$1,31 \times 10^{-5}$	$4,55 \times 10^{-6}$
$3,61 \times 10^{-5}$	$2,85 \times 10^{-5}$	$1,82 \times 10^{-5}$	$7,44 \times 10^{-6}$
$7,66 \times 10^{-5}$	$8,60 \times 10^{-5}$	$2,62 \times 10^{-5}$	$7,85 \times 10^{-6}$
$2,75 \times 10^{-5}$	$8,60 \times 10^{-5}$	$5,31 \times 10^{-6}$	$1,16 \times 10^{-6}$
$7,27 \times 10^{-5}$	$9,08 \times 10^{-5}$	$2,25 \times 10^{-5}$	$6,37 \times 10^{-6}$
$2,56 \times 10^{-5}$	$2,85 \times 10^{-5}$	$8,83 \times 10^{-6}$	$2,66 \times 10^{-6}$
$1,33 \times 10^{-5}$	$2,85 \times 10^{-5}$	$2,87 \times 10^{-6}$	$6,68 \times 10^{-7}$
$2,94 \times 10^{-5}$	$2,85 \times 10^{-5}$	$1,17 \times 10^{-5}$	$3,89 \times 10^{-6}$

Tabla 6: Recopilación de la información obtenida por métodos indirectos  
Fuente: Elaboración propia

## 4.2 Resultados generales

El Gráfico 1 muestra la variación de los resultados obtenidos para cada uno de los lugares de estudio. La columna 0 muestra los valores promedios de los ensayos In Situ, mientras que las otras 8 columnas corresponden a los puntos que fueron evaluados. Se marcan en color rojo y rosado los resultados del PIDAC y el Porchet respectivamente.

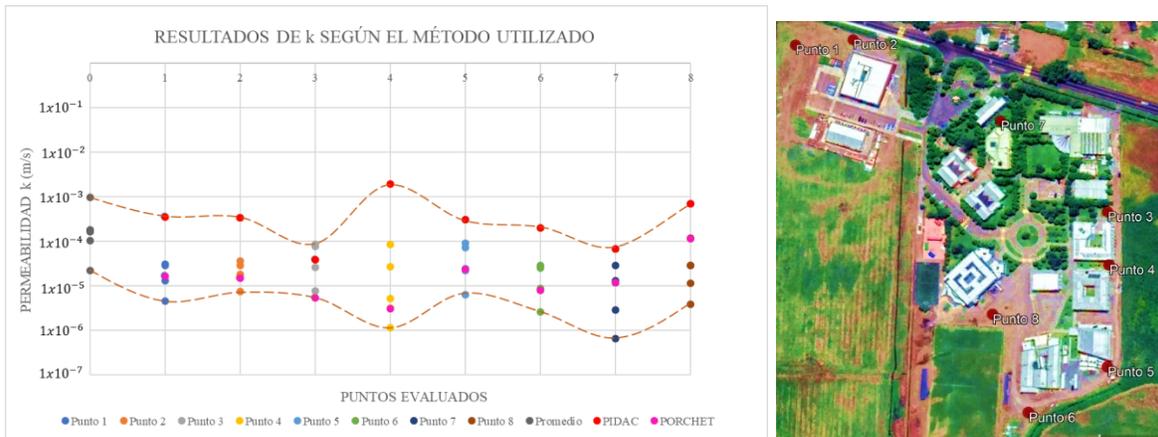


Gráfico 1: Resultados de permeabilidad para cada punto, en función a los métodos utilizados  
Fuente: Elaboración propia

El Gráfico 2 muestra los resultados de permeabilidad obtenidos de manera directa en el terreno. En color gris los resultados del ensayo Porchet, en color naranja los resultados de la PIDAC y en azul el promedio de ambos resultados. El gráfico permite analizar la proximidad de estos resultados y la variabilidad de la permeabilidad en función al lugar estudiado

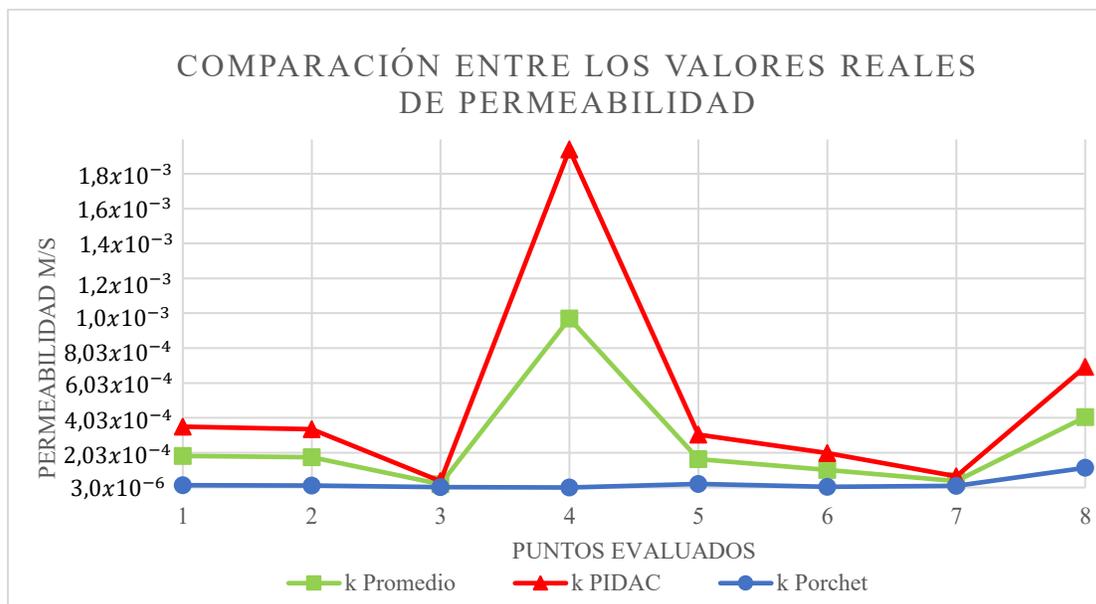


Gráfico 2: Comparación de resultados de permeabilidad obtenidos In Situ  
Fuente: Elaboración propia

### 4.3 Resultados de permeabilidad en función a los métodos utilizados

A continuación, se presentan 8 gráficos correspondientes a cada uno de los puntos evaluados y representan como varía la permeabilidad en función a los métodos utilizados. Estos métodos son representados numeradamente del 0 al 6 donde 0 corresponde al promedio de la permeabilidad medida en campo, mientras que 1 y 2 representan los valores de la PIDAC y el Porchet respectivamente y así sucesivamente con los resultados empíricos. (ver Tabla 7)

PROMEDIO	PIDAC	PORCHET	HAZEN	BEYER	SLICHTER	KOZENY
k prom	k1	k2	k3	k4	k5	k6
0	1	2	3	4	5	6

Tabla 7: Designación numérica para cada ensayo realizado. Ver Gráficos 3-10  
Fuente: Elaboración propia

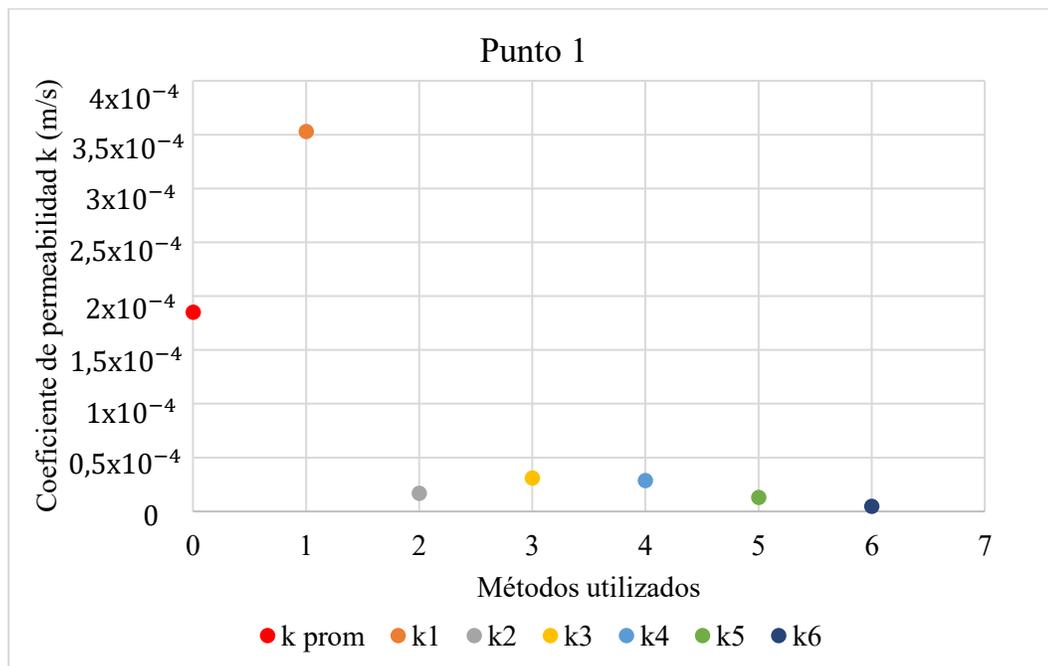


Gráfico 3

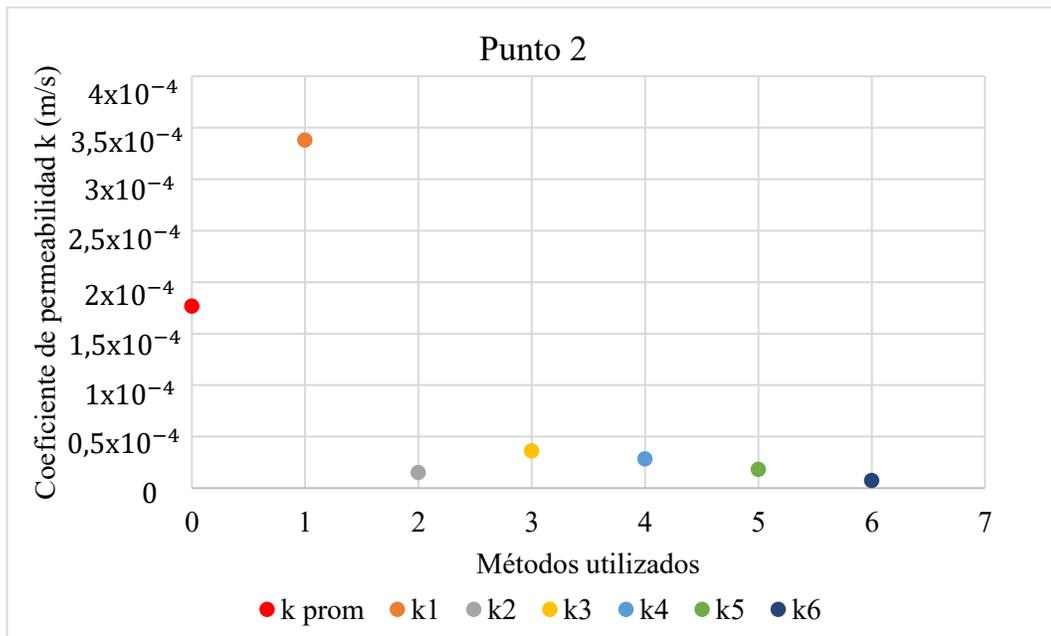


Gráfico 4

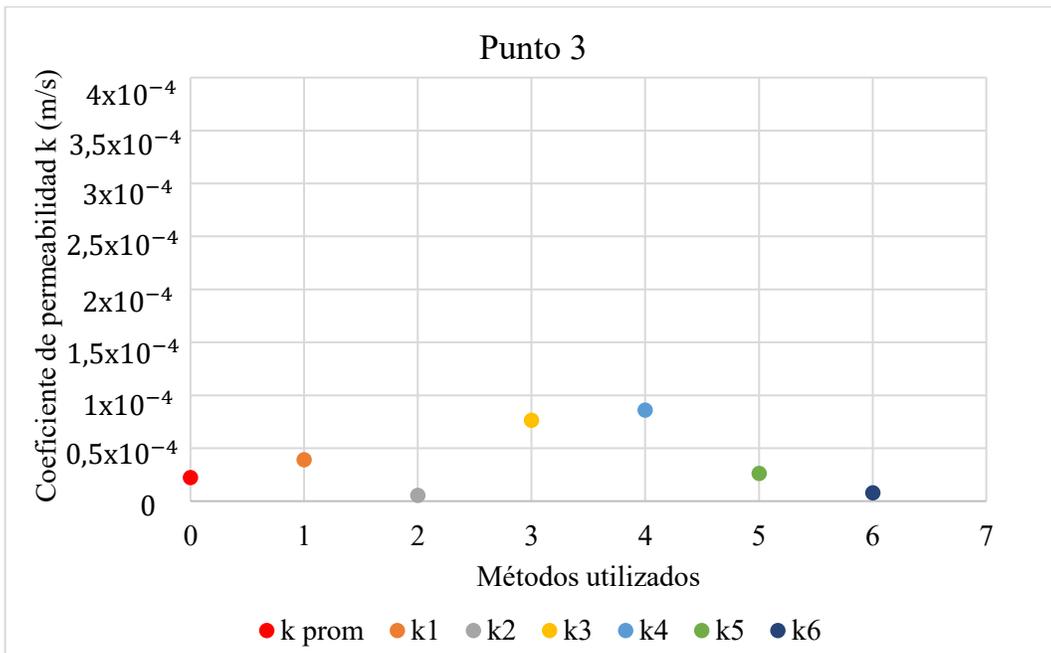


Gráfico 5

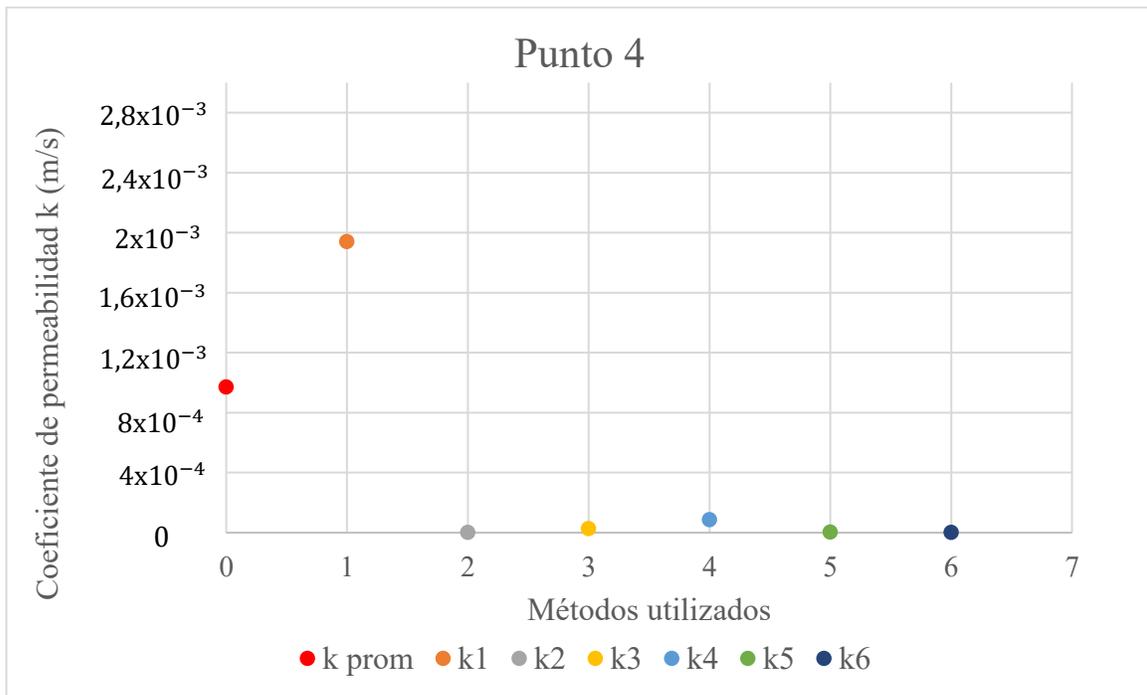


Gráfico 6

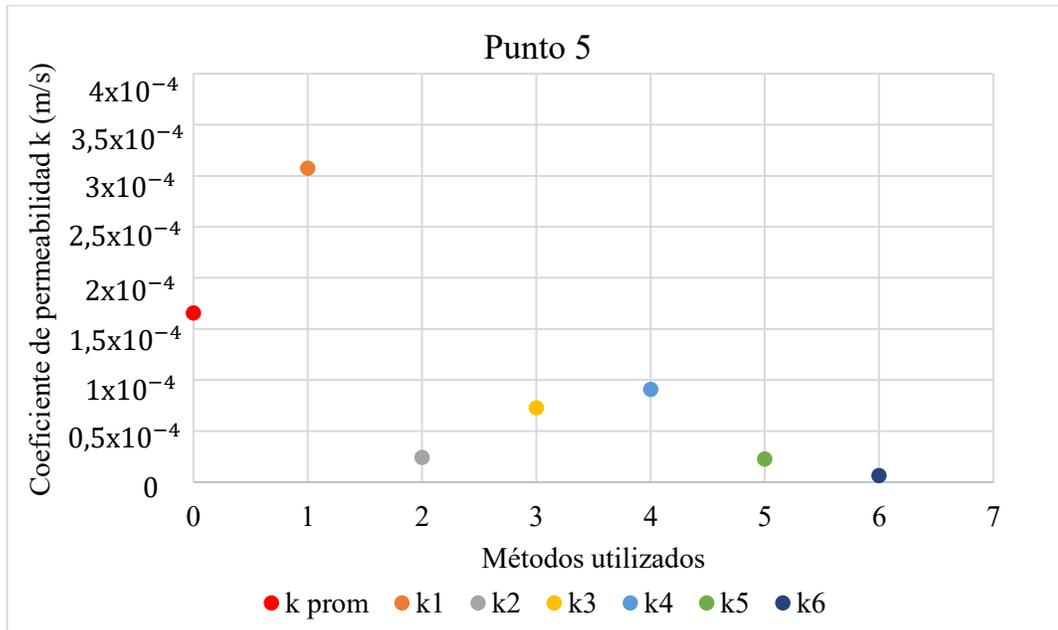


Gráfico 7

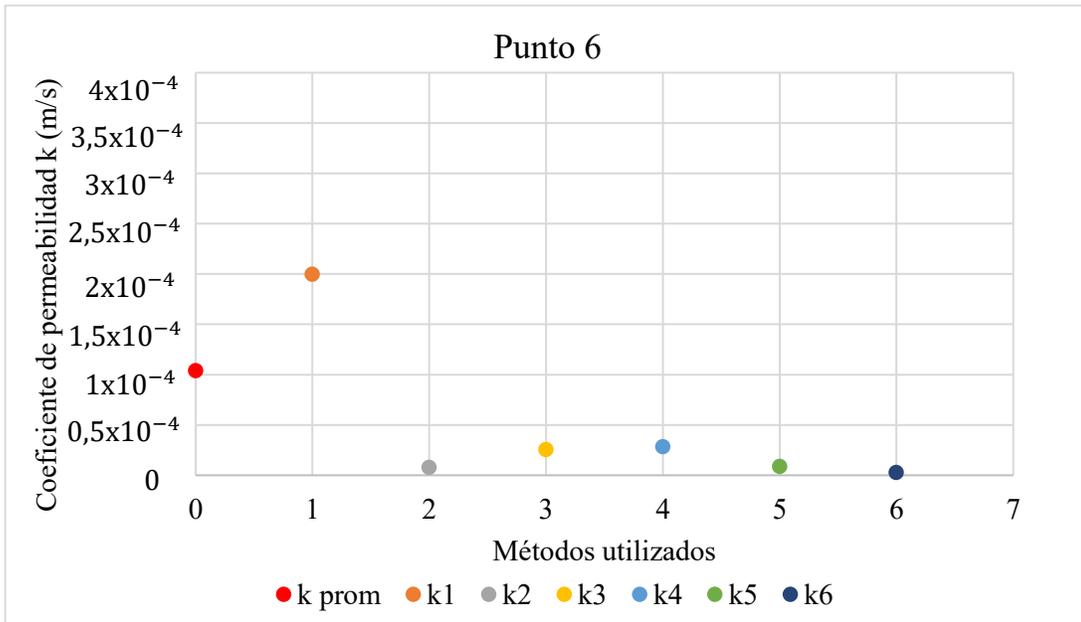


Gráfico 8

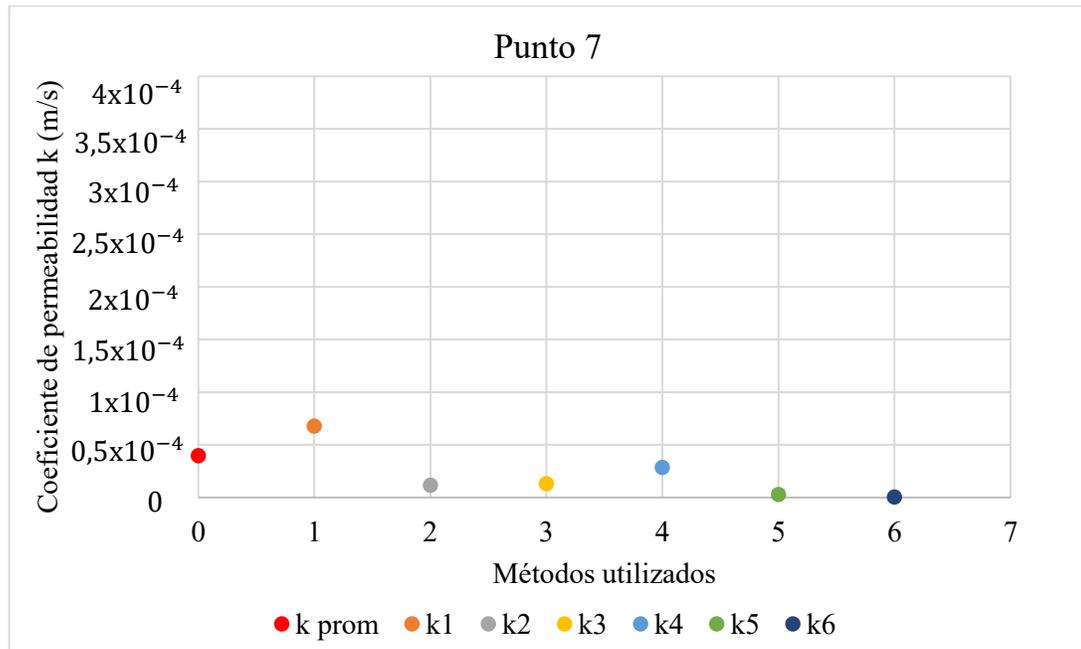


Gráfico 9

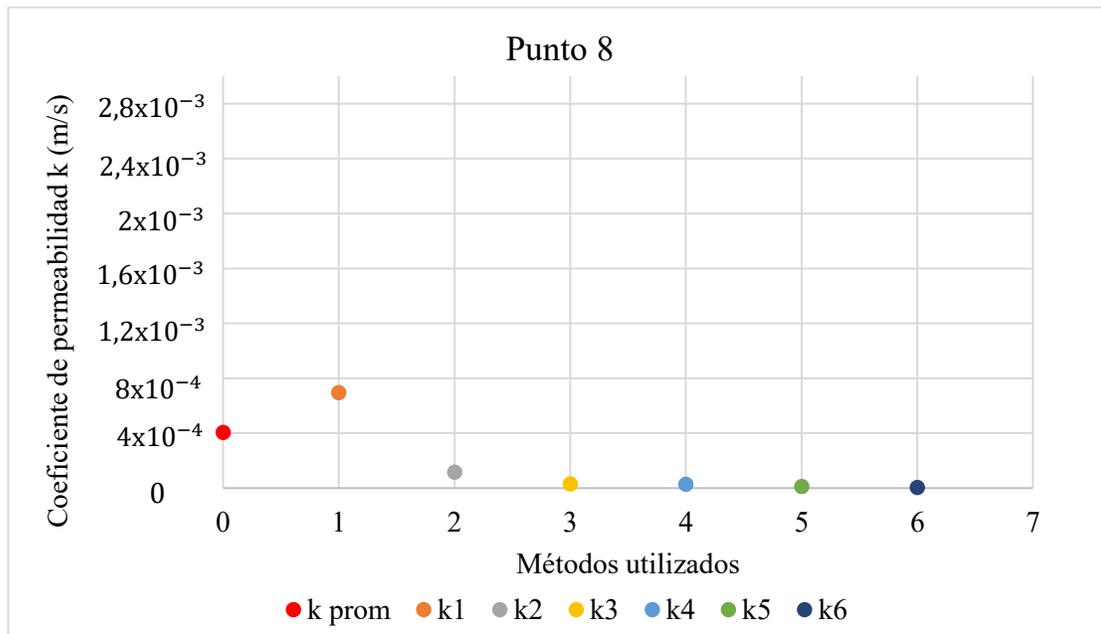


Gráfico 10

Gráficos 3-10: Resultados de coeficientes de permeabilidad en el punto 1 hasta el 8 respectivamente en función a los métodos utilizados.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 Resultados en función a otras variables

A continuación, se presentan 4 gráficos. Cada uno de ellos agrupa los datos en función a las permeabilidades obtenidas en campo y otras variables como: la densidad, el índice de plasticidad, el contenido de suelo fino y la humedad respectivamente.

El Gráfico 11, muestra la tendencia de los datos obtenidos en relación con la densidad seca del suelo en estudio, se observa una pendiente descendente que representa el valor de la permeabilidad.

El Gráfico 12, muestra la tendencia de los datos obtenidos en relación con el índice de plasticidad, donde la columna 0 representa al punto 4 en estudio que define un suelo arenoso.

El Gráfico 13, en relación con el contenido de finos muestra una agrupación de los datos en suelos que contienen sobre el 50% de partículas finas ( $<0,074$  mm). La pendiente es descendente al igual que el Gráfico 14 que muestra la tendencia de los datos según el contenido de humedad registrado en cada punto.

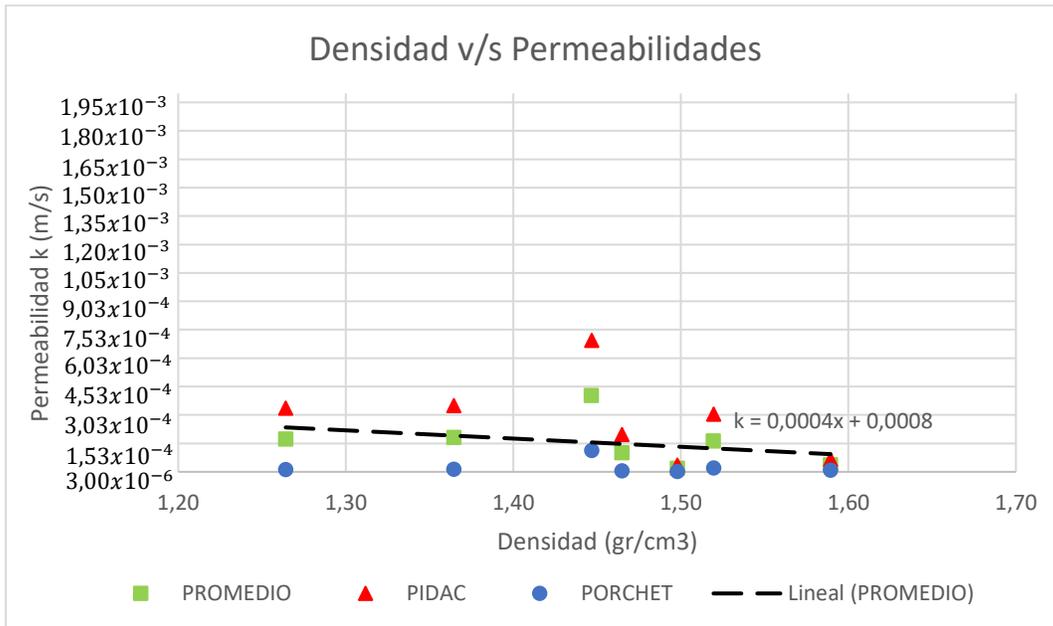


Gráfico 11: Permeabilidad del suelo en función a la densidad seca.  
Fuente: Elaboración propia

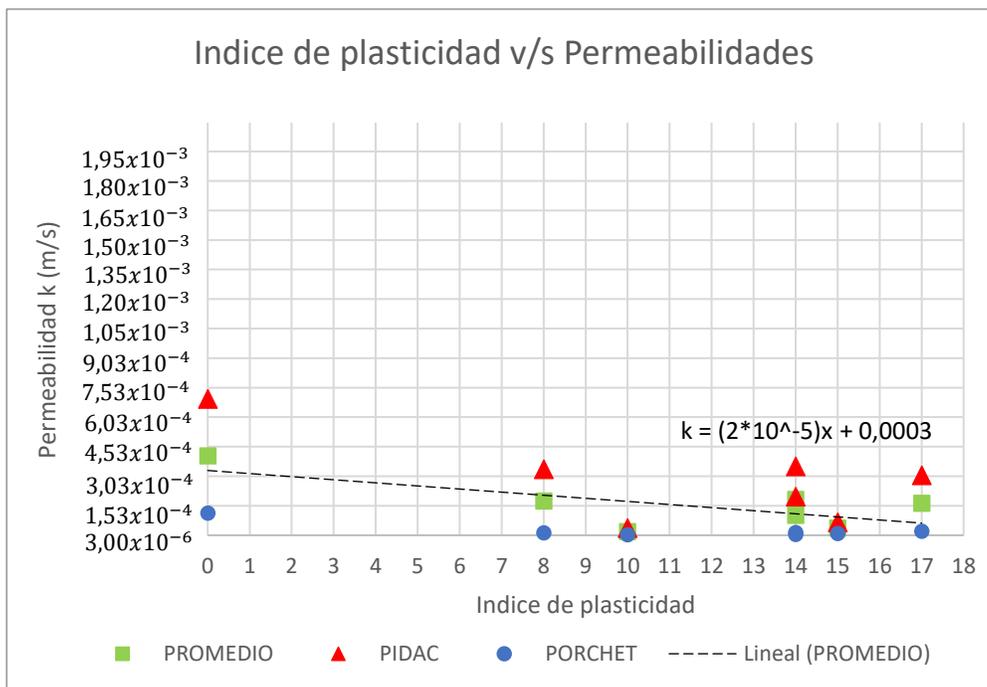


Gráfico 12: Permeabilidad del suelo en función al índice de plasticidad.  
Fuente: Elaboración propia

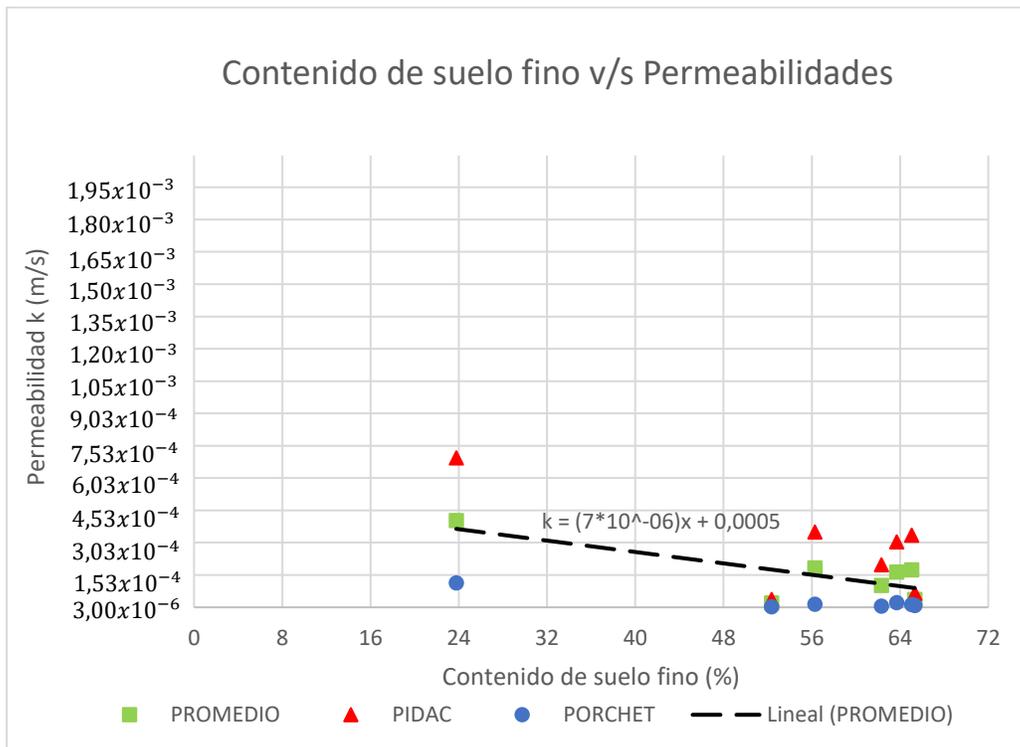


Gráfico 13: Permeabilidad del suelo en función al contenido de suelo fino.  
Fuente: Elaboración propia

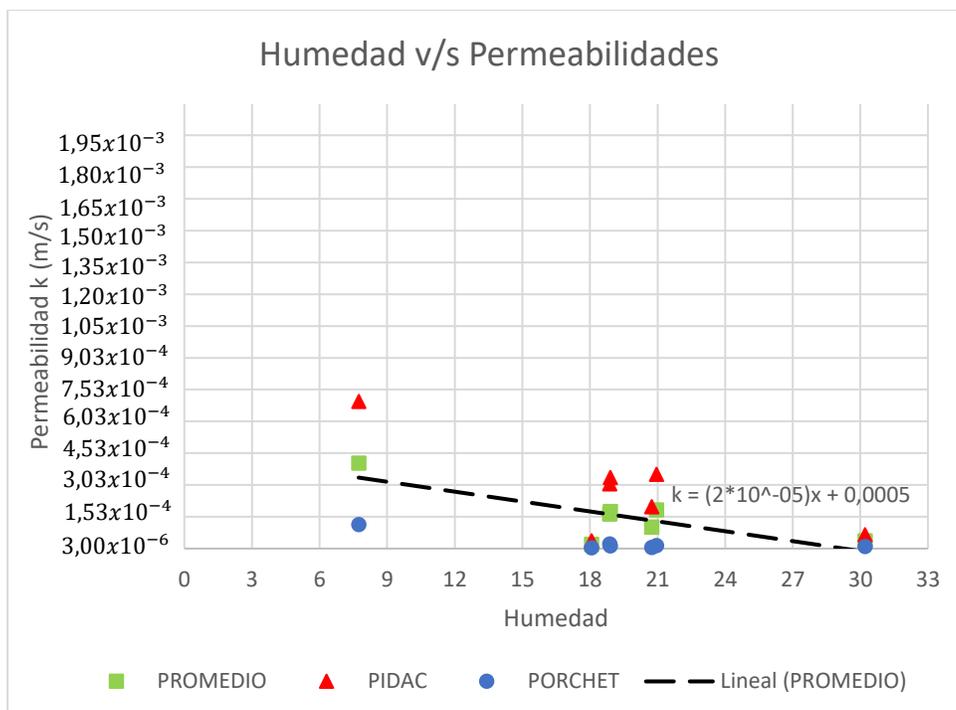


Gráfico 14: Permeabilidad del suelo en función al contenido de humedad.  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.5 Mapa de permeabilidad de acuerdo con los resultados obtenidos en campo

Se presentan 3 mapas de conductividad hidráulica que encierra los puntos estudiados en la Facultad de Ingeniería, con los resultados obtenidos en campo: PIDAD, Porchet y el promedio de ambos métodos utilizados.

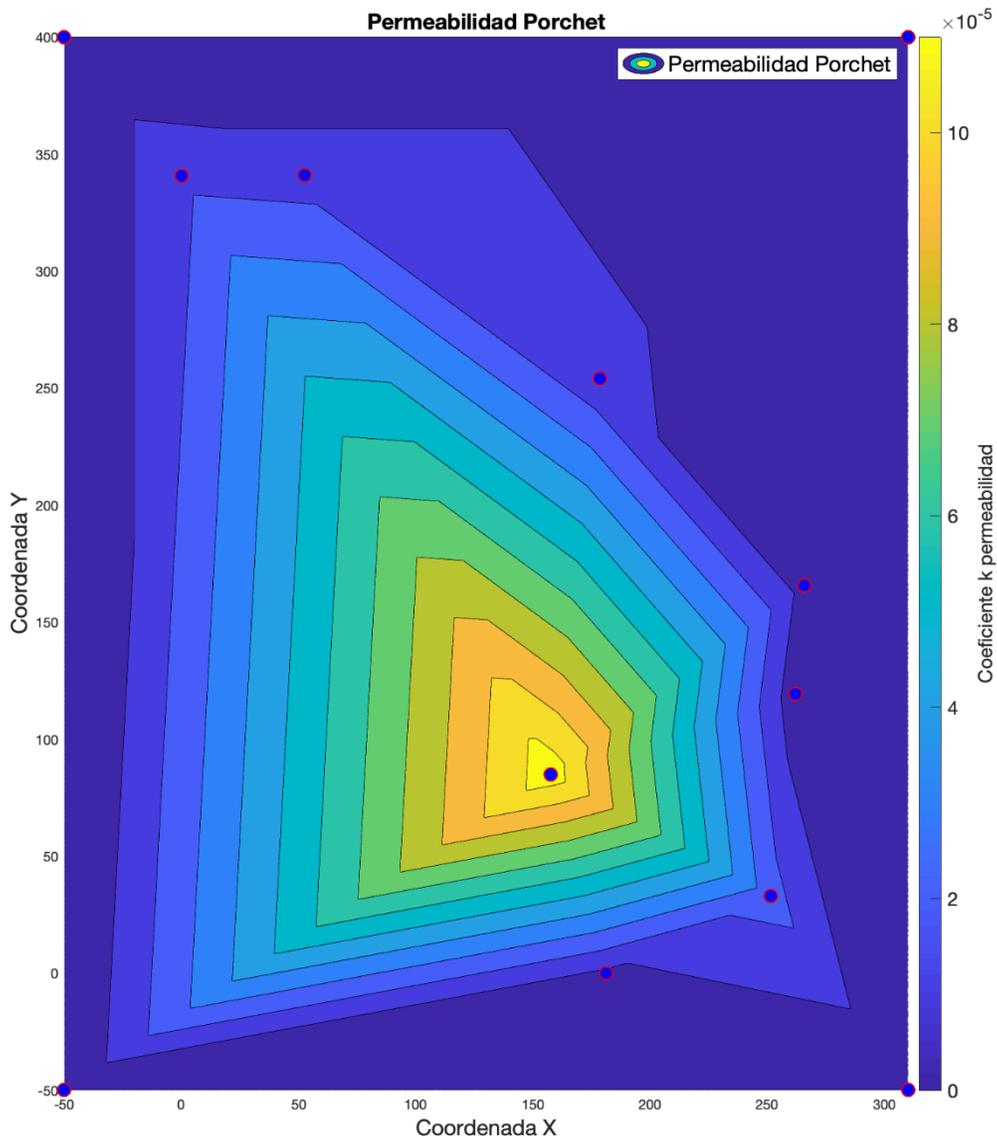


Gráfico 15: Mapa de permeabilidad de los puntos estudiados con método Porchet  
Fuente: Elaboración propia

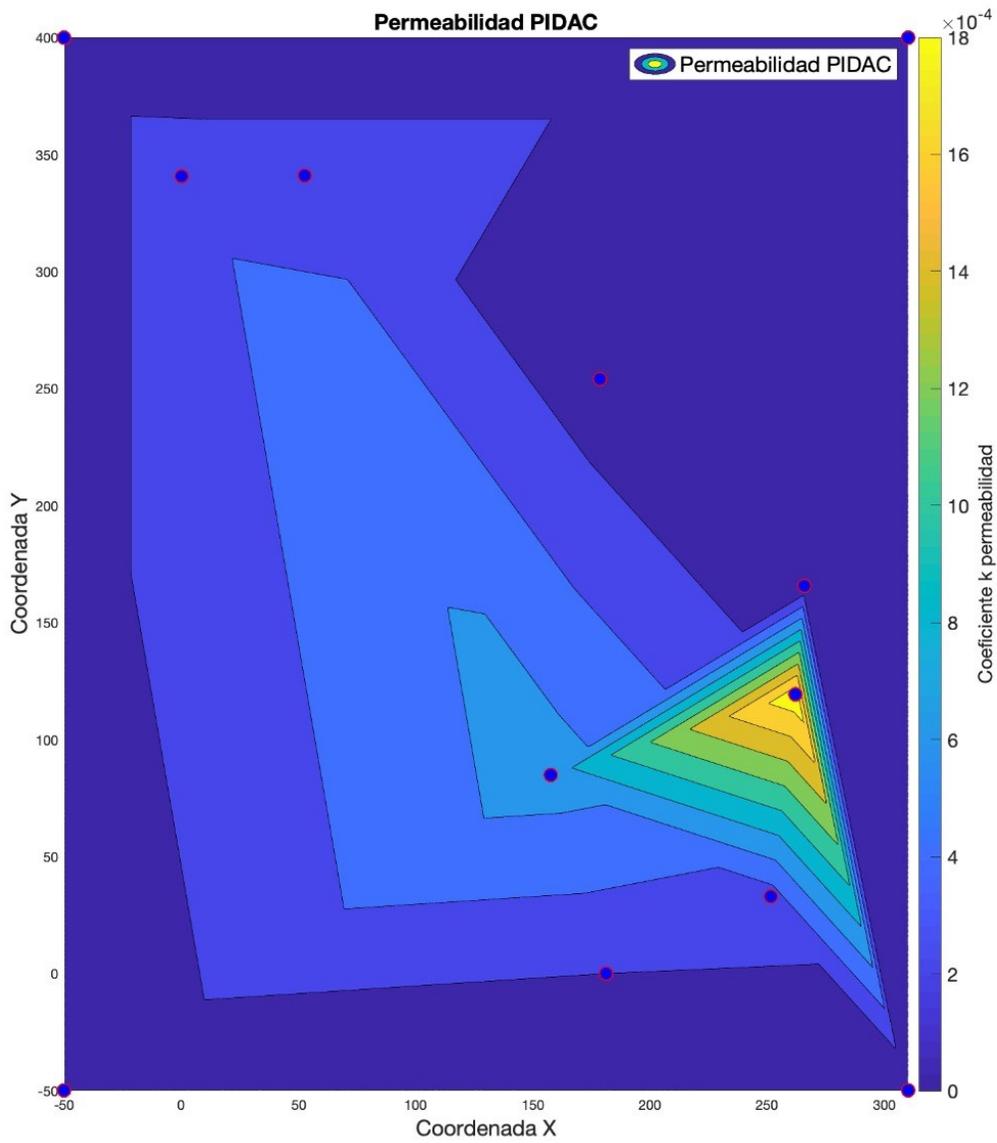


Gráfico 16: Mapa de permeabilidad de los puntos estudiados utilizando PIDAC  
Fuente: Elaboración propia

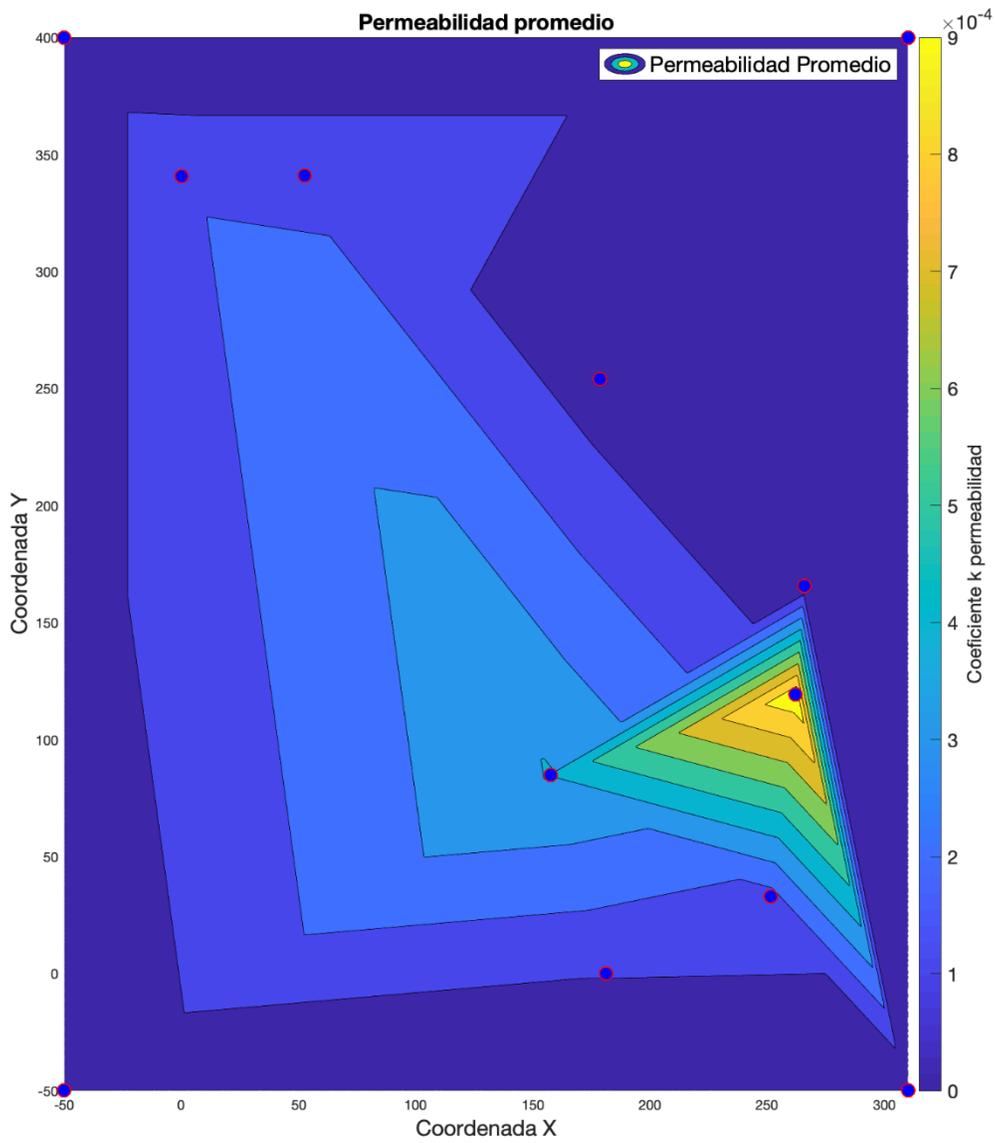


Gráfico 17: Mapa de permeabilidad de los puntos estudiados con el promedio de los métodos In situ utilizados.

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se pudo determinar los coeficientes de permeabilidad mediante dos métodos directos distintos para los suelos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Talca, obteniéndose valores dentro de los rangos típicos para arenas muy finas, limos y arena limosa.

Los resultados del coeficiente de permeabilidad se oscilan en un rango de  $10^{-3}$  a  $10^{-6} \frac{m}{s}$ , evidenciándose que los resultados obtenidos a través de los métodos indirectos exhiben una similitud con las magnitudes del coeficiente de permeabilidad promedio calculado.

Al comparar los resultados obtenidos en campo se aprecia un aumento considerable en el valor de permeabilidad vía ensayo PIDAC para el punto 4 en comparación al valor vía ensayo de Porchet., este incremento es comprensible debido al cambio de estratigrafía de suelo identificado en ese punto; ya que el ensayo PIDAC se realizó sobre una capa de arena encontrada en los primeros 40 cm de excavación; debido a esto es que se presenta esta diferencia.

En los gráficos de la sección 4.3 se observa en general que el ensayo PIDAC no se ajusta al valor de las otras permeabilidades obtenidas para el mismo punto. Esto se asocia a varios factores: la profundidad del ensayo, la compacidad del suelo y saturación parcial del suelo por posibles filtraciones internas al interior del estrato (líneas de infiltración horizontales preferentes.).

Los resultados visualizados en los gráficos de la sección 4.4 son aceptables dentro de los rangos esperados. Es lógico deducir que el suelo se opondrá al paso del agua si éste se encuentra muy compactado, contiene una gran cantidad de árido fino o que su a vez, tenga un índice de plasticidad elevado.

En la sección 4.5 se muestran los mapas de permeabilidad como resumen a la información recopilada durante el estudio. En general el drenaje de los suelos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Talca es pobre, que era lo esperado en base a los antecedentes que se tenían de la zona.

## BIBLIOGRAFÍA

### Artículo de revista:

A.F. Elhakim, Estimation of soil permeability, Alexandria Eng. J. (2016).

### Libros:

Badillo Juárez, Rodriguez Rico (2005). Fundamentos de la Mecánica de Suelos. México: Limusa.

Dass M. Braja (2011). Fundamentos de Ingeniería en Cimentaciones. México: CENGAGE

González de Vallejos, Luis (2002). Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson

Whitlow Roy (1995). Basic Soil Mechanic. Londres: Longman.

### Memoria:

Jaimes Fabian (2008). Comparación del coeficiente de permeabilidad obtenido en laboratorio con el calculado a partir de las formulas de Hazen, Schlichter y Terzaghi. Bolivia

### Normas:

ASTM D423: Método de análisis del tamaño de las partículas de suelo.

ASTM D2434: Método de determinación del coeficiente de permeabilidad mediante un método de carga constante.

NCh 1516Of79: Determinación de la densidad en el terreno - Método del cono de arena.

NCh 1517-1: Límites de consistencia. Parte 1: Determinación del límite líquido.

NCh 1517-2: Límites de consistencia. Parte 2: Determinación del límite plástico.

}

## ANEXOS

### a) Registro de los datos obtenidos para el punto 1

#### ENSAYO GRANULOMÉTRICO

Memorista: **Constanza González Sepúlveda** Guía: **Mauricio Jara Ortíz**  
 Localización: **Punto 1, Facultad de Ingeniería, Curicó.** Fecha: **27-09-2019**

Tamaño máximo de la muestra:	0,0426 mm
Peso recipiente :	1240,80 g
Peso recipiente + muestra seca:	2240,80 g
Peso muestra seca:	1000,00 g
Peso muestra <b>que pasa</b> el tamiz n°4:	1000,00 g
Peso muestra <b>retenida</b> en tamiz n°4:	0,00 g
Muestra lavada y seca + recipiente:	1678,00 g
Muestra lavada y seca retenida en tamiz #200:	437,20 g
Porcentaje que pasa #200	56,28 %



Figura 1. Paredes de la calicata

MALLA	APERTURA (mm)	Recipient e + muestra	Peso retenido	% Retenido	% Acumulado	% que pasa
N°40	0,426					
N°200	0,074	1678,000	437,200	43,720	43,72	56,28
			562,800			100,00
		Total:	1000,000			

Límites de Atterberg				
Límite plástico	R1	R2	R3	
Peso recipiente:	24,7	24,9	25,4	
Peso húmedo + recipiente	27,5	28,5	29,9	
Peso seco + recipiente:	26,9	27,8	29,2	
Peso húmedo:	2,8	3,6	4,5	
Peso seco:	2,2	2,9	3,8	
Límite plástico /humedad:	27	24	18	
<b>LP:</b>	<b>23</b>			
Límite líquido	R4	R5	R6	
Peso recipiente:	24,6	24,4	24,8	
Peso húmedo + recipiente	47,6	50,8	51	
Peso seco + recipiente:	41,8	43,2	44	
N° de golpes:	40	13	22	
Peso húmedo:	23	26,4	26,2	
Peso seco:	17,2	18,8	19,2	
Humedad:	34	40	36	
<b>LL:</b>	<b>37</b>			

IP	
LL-LP	14
Línea A	12,31364
Línea U	25,9812

**Limos orgánicos de plasticidad media**

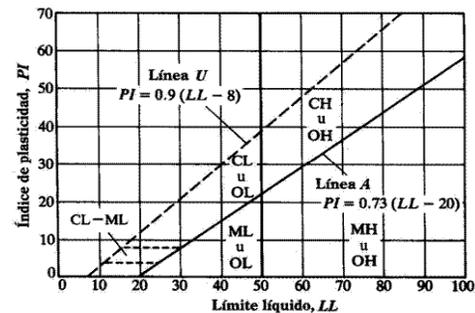
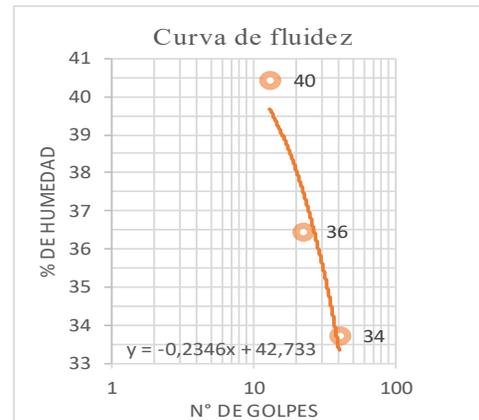


Figura 2. Carta de plasticidad

## ENSAYO DENSIDAD IN-SITU MEDIANTE CONO DE ARENA

Memorista: **Constanza González Sepúlveda**      Guía: **Mauricio Jara Ortíz**  
 Localización: **Punto 1, Facultad de Ingeniería, Cur.** Fecha: **26-09-2019**

Diámetro placa:	cm	Peso bolsa:	25,7 g
Altura perforación:	15 cm	Arena + cono antes del ensayo:	8020,3 g
Bolsa+muestra húmeda:	4566,7 g	Arena + cono después del ensayo:	2401,2 g
Bolsa+muestra seca:	3780 g	Humedad:	20,95464 %

### Determinación de la masa seca según NCh1516

$m_h$	$\omega$	$m_s$
4541	20,95463868	3754,3

Observaciones:

$m_h$  : masa húmeda de la muestra extraída durante el ensayo (g)

$\omega$  : humedad de la muestra extraída durante el ensayo (%)

$m_s$  : masa seca de la muestra extraída durante el ensayo (g)

### Volúmen de la perforación del ensayo

$m_a$	$m_e$	$\rho_a$	$V_S$
5619,1	1277	1,578	2751,648

Observaciones:

$m_a$  : masa de arena empleada en el ensayo (g)

$m_e$  : masa de arena que llena el embudo (g)

$\rho_a$  : densidad aparente de la arena (g/cm<sup>3</sup>)

$V_S$  : volumen de la perforación del ensayo (cm<sup>3</sup>)

### Densidad seca del suelo

$$\rho_d = \frac{m_s}{V_S}$$

$$\rightarrow \rho_d = 1,364382534 \frac{g}{cm^3}$$

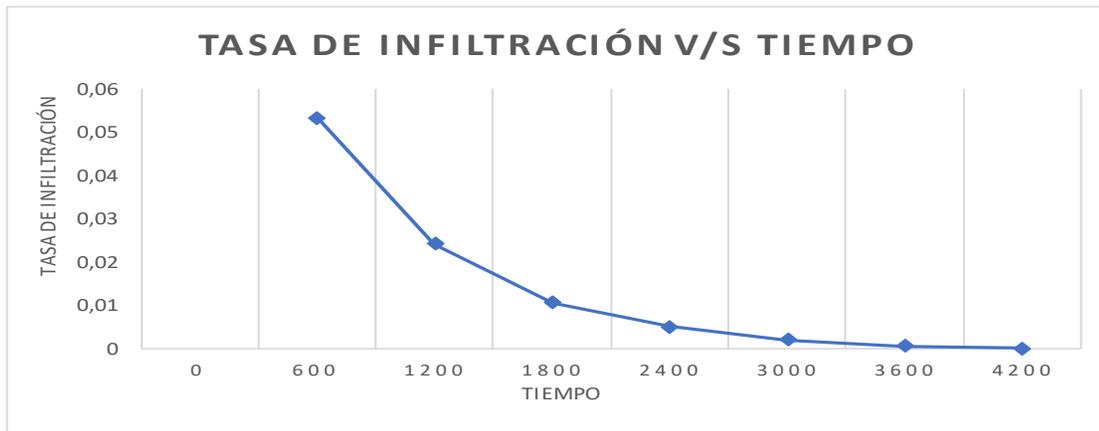


Figura 1. Equipo para ensayo de densidad In-situ

**ENSAYO PERMEABILIDAD IN SITU**

Profesor a cargo: **MAURICIO JARA O.** Nombre alumno: **CONSTANZA GONZÁLEZ S.** Ayudante: **BASTIAN DÍAZ F.**  
 Ubicación: **PUNTO 1** ID Edificio: **CIVIL EN MINAS** Coordenadas (N, E): **6124565.76 296342.33**  
 Fecha y hora de inicio: **26 de septiembre, 12:10** Profundidad: **60 cm**  
 Fecha y hora de termino: **26 de septiembre, 13:20** Lado: **50 cm**

T_acumulado minutos	T_acumulado segundos	dif tiempo minutos	lectura cm	dif_lectura cm	$\frac{R}{2(t_2 - t_1)}$	$\frac{(2h_1 + R)}{(2h_2 + R)}$	Ln	Velocidad de infiltración			Tasa mm/s
								cm/min	cm/s	m/s	
0	0		24								
10	600	10	27,2	3,2	2,5	0,919395	0,084	0,21010	0,00350	0,00004	0,053
20	1200	10	30,1	2,9	2,5	0,931925	0,071	0,17626	0,00294	0,00003	0,024
30	1800	10	32	1,9	2,5	0,957303	0,044	0,10909	0,00182	0,00002	0,011
40	2400	10	33,2	1,2	2,5	0,973742	0,027	0,06652	0,00111	0,00001	0,005
50	3000	10	33,8	0,6	2,5	0,987041	0,013	0,03261	0,00054	0,00001	0,002
60	3600	10	34	0,2	2,5	0,995699	0,004	0,01078	0,00018	0,00000	0,001
70	4200	10	34	0	2,5	1,000000	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000
					<b>PROMEDIO</b>			<b>0,08648</b>	0,00144	<b>1,E-05</b>	



*Figura 1. Ensayo Porchet*

**ENSAYO PERMEABILIDAD LEFRANC**



Profesor a cargo: **MAURICIO JARA ORTÍZ** Nombre alumno: **CONSTANZA GONZÁLEZ SEPÚLVEDA** Ayudante: **BASTIÁN DÍAZ** Fecha y hora de inicio: 26 de septiembre, 16:25  
 Ubicación: **PUNTO 1** ID Edificio: **CIVIL/MINA!** Coordenadas (N, E): **6124565.76 296342.33** Fecha y hora de término: 26 de septiembre, 18:15  
 Altura: **100 cm** Diámetro: **11 cm**

$$k = \frac{2\pi R}{11(t_2 - t_1)} \times \text{Ln}\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Tiempo acumulado	Tiempo acumulado	dif_ tiempo	lectura_l	dif_lectura	$\text{Ln}\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$	$2\pi R$	$11(t_2 - t_1)$	Velocidad de infiltración			Tasa de infiltración	Observaciones
min	s	minutos	cm	cm		cm	s	cm/min	cm/s	m/s	mm/s	
CARGA VARIABLE												
0	0		45									
10	600	10	54,3	9,3	0,187862	69,1152	110	7,08224	0,118037287	1,180,E-03	0,15500	
20	1200	10	60,9	6,6	0,114709	69,1152	110	4,32444	0,072073926	7,207,E-04	0,11000	
30	1800	10	65,5	4,6	0,072817	69,1152	110	2,74514	0,045752357	4,575,E-04	0,07667	
40	2400	10	68,8	3,3	0,049154	69,1152	110	1,85305	0,030884191	3,088,E-04	0,05500	
50	3000	10	70,6	1,8	0,025826	69,1152	110	0,97363	0,016227243	1,623,E-04	0,03000	
60	3600	10	72,3	1,7	0,023794	69,1152	110	0,89701	0,014950236	1,495,E-04	0,02833	
70	4200	10	73,7	1,4	0,019179	69,1152	110	0,72302	0,012050342	1,205,E-04	0,02333	
80	4800	10	74,2	0,5	0,006761	69,1152	110	0,25490	0,004248292	4,248,E-05	0,00833	
90	5400	10	74,6	0,4	0,005376	69,1152	110	0,20268	0,003378073	3,378,E-05	0,00667	
100	6000	10	74,6	0	0	69,1152	110	0,00000	0	0,000,E+00	0,00000	
110	6600	10	74,6	0	0	69,1152	110	0,00000	0	0,000,E+00	0,00000	

**3,529,E-04**

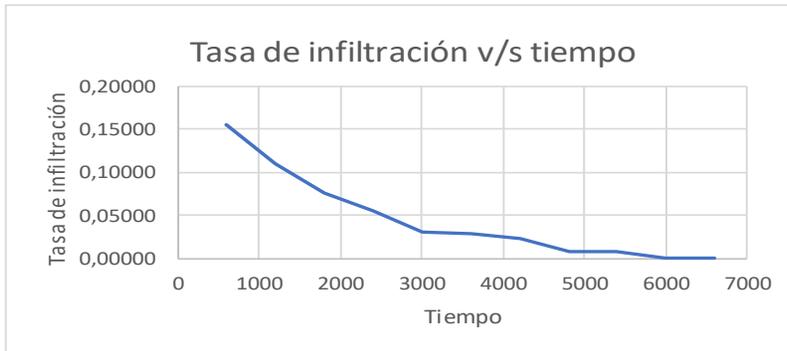


Figura 1. Ensayo

## METODOS INDIRECTOS

Memorista: *Constanza González Sepúlveda*      Guía: *Mauricio Jara Ortíz*  
 Localización: *Punto 1, Facultad de Ingeniería, Curicó.*      Fecha: *13-01-2020*

Masa picnómetro:	33,090 gr	Densidad seca del suelo:	1,364 gr/cm <sup>3</sup>
Masa picnómetro + muestra seca:	50,640 gr	Humedad:	20,955
Masa seca:	17,550 gr	Índice de vacíos	0,829
Masa picnómetro + agua a 20°C:	82,710 gr	Porosidad:	0,453
Masa picnómetro + muestra + agua	93,240 gr	Aceleración de gravedad:	9,810 m/s <sup>2</sup>
Peso específico del agua:	0,998 gr/cm <sup>3</sup>	Viscosidad cinemática del agua:	1,011E-06 m <sup>2</sup> /s
Densidad de partículas sólidas:	2,496 gr/cm <sup>3</sup>	$(d_{10})^2$ (m)	1,814760,E-09
Gravedad específica del suelo:	2,496	Cu	1,000

### Fórmula de Allen- Hazen

$$K = \frac{g}{\nu} \cdot C_H \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_H = 6 \cdot 10^{-4}$$

$$f(n) = 1 + 10 \cdot (n - 0.26)$$

f(n)	2,9326286
CH	0,0006
k (m/s) =	3,10,E-05

### Fórmula de Beyer

$$K = \frac{g}{\nu} \cdot C_B \cdot (d_{10})^2$$

$$C_B = 6 \cdot 10^{-4} \cdot \log\left(\frac{500}{C_U}\right)$$

CB	0,0016194
Cu	1
k (m/s) =	2,85,E-05

### Fórmula de Slichter

$$K = \frac{g}{\nu} \cdot C_S \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_S = 0.01$$

$$f(n) = n^{3.287}$$

f(n)	0,0742032
k (m/s) =	1,31,E-05

### Fórmula de Kozeny

$$K = \frac{g}{\nu} \cdot C_K \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_K = 8.3 \cdot 10^{-4}$$

$$f(n) = \frac{n^3}{(1-n)^2}$$

f(n)	=	0,3115252
k (m/s) =		5,E-06



*Figura 1.*  
*Picnómetro+muestra+agu*

i) Registro de los datos obtenidos para el punto 2

**ENSAYO GRANULOMÉTRICO**

Memorista: **Constanza González Sepúlveda** Guía: **Mauricio Jara Ortíz**  
 Localización: **Punto 2, Facultad de Ingeniería, Curicó.** Fecha: **02-10-2019**

Tamaño máximo de la muestra: 0,0426 mm  
 Peso recipiente : 1240,80 g  
 Peso recipiente + muestra seca: 2240,80 g  
 Peso muestra seca: 1000,00 g  
 Peso muestra **que pasa** el tamiz n°4: 1000,00 g  
 Peso muestra **retenida** en tamiz n°4: 0,00 g  
 Muestra lavada y seca + recipiente: 1590,40 g  
 Muestra lavada y seca retenida en tamiz #200: 349,60 g  
 Porcentaje que pasa #200 65,04 %



Figura 1. Paredes de la

MALLA	APERTURA (mm)	Recipiente e + muestra	Peso retenido	% Retenido	% Acumulado	% que pasa
N°40	0,426		0,000			
N°200	0,074	1590,400	349,600	34,960	<b>34,96</b>	<b>65,04</b>
			650,400			<b>100,00</b>

Total: 1000,000

Límites de Atterberg				
Límite plástico	R1	R2	R3	
Peso recipiente:	24,9	23	25,1	
Peso húmedo + recipiente	30	30,5	30,3	
Peso seco + recipiente:	29	29,1	29,3	
Peso húmedo:	5,1	7,5	5,2	
Peso seco:	4,1	6,1	4,2	
Límite plástico /humedad:	24	23	24	
<b>LP:</b>	<b>24</b>			
Límite líquido	R4	R5	R6	
Peso recipiente:	24,8	23,8	24,8	
Peso húmedo + recipiente	50,4	44,7	47,5	
Peso seco + recipiente:	44,2	39,7	41,9	
N° de golpes:	23	30	17	
Peso húmedo:	25,6	20,9	22,7	
Peso seco:	19,4	15,9	17,1	
Humedad:	32	31	33	
<b>LL:</b>	<b>32</b>			

IP	
LL-LP	8
Línea A	8,67678
Línea U	21,4974

**Limos orgánicos de plasticidad media**

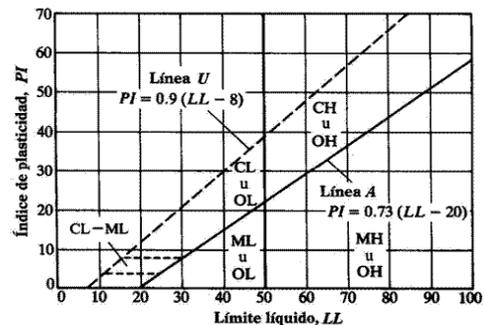
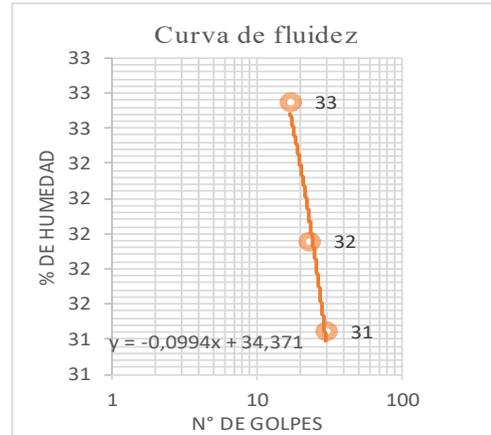


Figura 2. Carta de plasticidad

**ENSAYO DENSIDAD IN-SITU MEDIANTE CONO DE ARENA**

Memorista: *Constanza González Sepúlveda*      Guía: *Mauricio Jara Ortíz*  
 Localización: *Punto 2, Facultad de Ingeniería, Cur.* Fecha: *01-10-2019*

Diámetro placa:                      cm      Peso bolsa:                                      25,7 g  
 Altura perforación:                      15 cm      Arena + cono antes del ensayo:              7936,7 g  
 Bolsa+muestra húmeda:      4347,8 g      Arena + cono después del ensayo:      2406,9 g  
 Bolsa+muestra seca:                      3660,6 g      Humedad:                                      18,90561 %

Determinación de la masa seca según NCh1516

$m_h$	$\omega$	$m_s$
4322,1	18,90561	3634,9

$m_h$  : masa húmeda de la muestra extraída durante el ensayo (g)

Observaciones:                       $\omega$  : humedad de la muestra extraída durante el ensayo (%)

$m_s$  : masa seca de la muestra extraída durante el ensayo (g)

Volúmen de la perforación del ensayo

$m_a$	$m_e$	$\rho_a$	$V_S$
5529,8	1277	1,479	2875,456

$m_a$  : masa de arena empleada en el ensayo (g)

$m_e$  : masa de arena que llena el embudo (g)

$\rho_a$  : densidad aparente de la arena (g/cm<sup>3</sup>)

Observaciones:

$V_S$  : volumen de la perforación del ensayo (cm<sup>3</sup>)

Densidad seca del suelo

$$\rho_d = \frac{m_s}{V_S} \rightarrow \rho_d = 1,264112373 \frac{g}{cm^3}$$



Figura 1. Placa base



Figura 2. Masa húmeda registrada

**ENSAYO PERMEABILIDAD IN SITU**

Profesor a cargo: **MAURICIO JARA O.** Nombre alumno: **CONSTANZA GONZÁLEZ S.** Ayudante: **BASTIAN DÍAZ F.**  
 Ubicación: **PUNTO 2** ID Edificio: **CIVIL EN MINAS** Coordenadas (x, y): **6124566.02 296394.99**  
 Fecha y hora de inicio: **01-10-2019 10:30** Profundidad: **60 cm**  
 Fecha y hora de termino: **01-10-2019 11:40** Lado: **50 cm**

T_acumulado	T_acumulado	dif_tiempo	lectura	dif_lectura	$\frac{R}{2(t_2 - t_1)}$	$\frac{(2h_1 + R)}{(2h_2 + R)}$	Ln	Velocidad de infiltración			Tasa	
minutos	segundos	minutos	cm	cm				cm/min	cm/s	m/s	mm/s	
0	0		20,8									
10	600	10	23,3	2,5	2,5	0,930168	0,072390	0,180976	0,003016	0,000030	0,04166667	
20	1200	10	25,2	1,9	2,5	0,949602	0,051712	0,129281	0,002155	0,000022	0,01583333	
30	1800	10	26,7	1,5	2,5	0,961735	0,039017	0,097542	0,001626	0,000016	0,00833333	
40	2400	10	27,2	0,5	2,5	0,987406	0,012674	0,031686	0,000528	0,000005	0,00208333	
50	3000	10	27,4	0,2	2,5	0,994987	0,005025	0,012563	0,000209	0,000002	0,00066667	
60	3600	10	27,4	0	2,5	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	
70	4200	10	27,4	0	2,5	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	
					<b>PROMEDIO</b>				<b>0,06458</b>	0,00108	<b>1,E-05</b>	

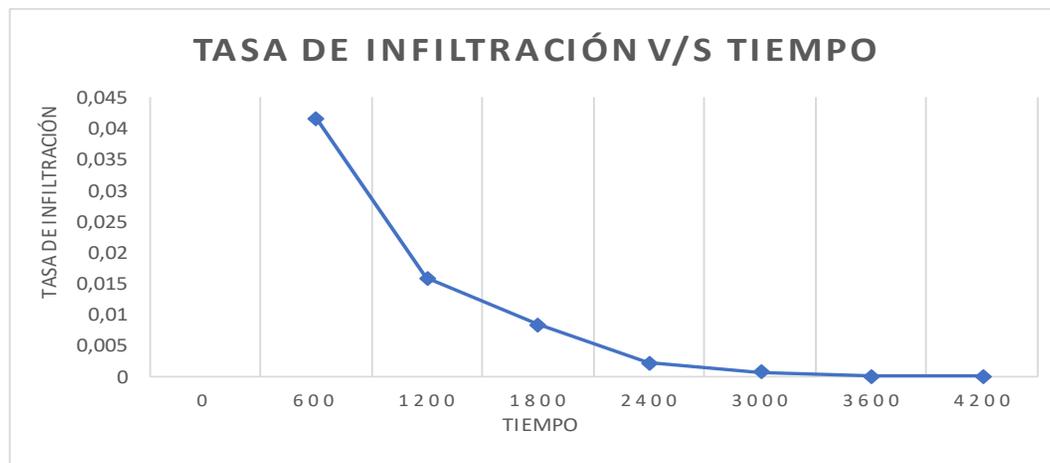


Figura 1. Ensayo

**ENSAYO PERMEABILIDAD LEFRANC**



Profesor a cargo: **MAURICIO JARA ORTÍ** Nombre alumno: **CONSTANZA GONZÁLEZ** Ayudante: **BASTIÁN DÍAZ** Fecha y hora de inicio: 01/10/19 13:00

Ubicación: **PUNTO 2** ID Edificio: **IVIL/MINA** Coordenadas (x, y): **6124566.02 296394.99** Fecha y hora de término: 01/10/19 15:00

Altura **100 cm** L **L** cm **cm** Diámetro **11 cm**

$$k = \frac{2\pi R}{11(t_2 - t_1)} \times \text{Ln}\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Tiempo acumulado	Tiempo acumulado	dif_ tiempo	lectura_l	dif_lectura	$\text{Ln}\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$	$2\pi R$	$11(t_2 - t_1)$	Velocidad de infiltración			Tasa de infiltración	Observaciones
min	s	minutos	cm	cm		cm	s	cm/min	cm/s	m/s	mm/s	
CARGA VARIABLE												
0	0		43,2									
10	600	10	51,2	8	0,169899	69,1152	110	6,40506	0,106750963	1,068,E-03	0,13333	
20	1200	10	57,9	6,7	0,122978	69,1152	110	4,63617	0,077269444	7,727,E-04	0,11167	
30	1800	10	63,5	5,6	0,092323	69,1152	110	3,48049	0,058008087	5,801,E-04	0,09333	
40	2400	10	67	3,5	0,053653	69,1152	110	2,02266	0,033711073	3,371,E-04	0,05833	
50	3000	10	69,4	2,4	0,035194	69,1152	110	1,32679	0,02211325	2,211,E-04	0,04000	
60	3600	10	70,8	1,4	0,019972	69,1152	110	0,75293	0,012548891	1,255,E-04	0,02333	
70	4200	10	72	1,2	0,016807	69,1152	110	0,63361	0,010560249	1,056,E-04	0,02000	
80	4800	10	73	1	0,013793	69,1152	110	0,52000	0,00866662	8,667,E-05	0,01667	
90	5400	10	73,6	0,6	0,008186	69,1152	110	0,30859	0,005143167	5,143,E-05	0,01000	
100	6000	10	74	0,4	0,00542	69,1152	110	0,20433	0,003405537	3,406,E-05	0,00667	
110	6600	10	74	0	0	69,1152	110	0,00000	0	0,000,E+00	0,00000	
120	7200	10	74	0	0	30,25	26	0,00000	0	0,000,E+00	0,00000	
<b>3,382,E-04</b>												

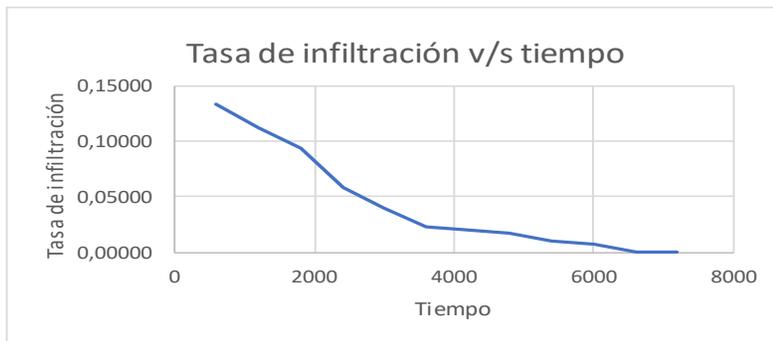


Figura 1. Ensayo

## METODOS INDIRECTOS

Memorista: *Constanza González Sepúlveda*      Guía: *Mauricio Jara Ortíz*  
 Localización: *Punto 2, Facultad de Ingeniería, Curicó.*      Fecha: *13-01-2020*

Masa picnómetro:	33,250 gr	Densidad seca del suelo:	1,264 gr/cm <sup>3</sup>
Masa picnómetro + muestra seca:	60,420 gr	Humedad:	18,906
Masa seca:	27,170 gr	Índice de vacíos	1,007
Masa picnómetro + agua a 20°C:	80,150 gr	Porosidad:	0,502
Masa picnómetro + muestra + agua	96,630 gr	Aceleración de gravedad:	9,810 m/s <sup>2</sup>
Peso específico del agua:	0,998 gr/cm <sup>3</sup>	Viscosidad cinemática del agua:	1,011E-06 m <sup>2</sup> /s
Densidad de partículas sólidas:	2,537 gr/cm <sup>3</sup>	$(d_{10})^2$ (m)	1,814760,E-09
Gravedad específica del suelo:	2,538	Cu	1,000

### Fórmula de Allen- Hazen

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_H \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_H = 6 \cdot 10^{-4}$$

$$f(n) = 1 + 10 \cdot (n - 0.26)$$

f(n)	3,4173982
CH	0,0006
k (m/s) =	3,61,E-05

### Fórmula de Beyer

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_B \cdot (d_{10})^2$$

$$C_B = 6 \cdot 10^{-4} \cdot \log\left(\frac{500}{C_U}\right)$$

CB	0,0016194
Cu	1
k (m/s) =	2,85,E-05

### Fórmula de Slichter

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_S \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_S = 0.01$$

$$f(n) = n^{3.287}$$

f(n)	0,103627
k (m/s) =	1,82,E-05

### Fórmula de Kozeny

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_K \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_K = 8.3 \cdot 10^{-4}$$

$$f(n) = \frac{n^3}{(1-n)^2}$$

f(n)	= 0,5087722
k (m/s) =	7,E-06



*Figura 1.*  
*Picnómetro+muestra+agu*

j) Registro de los datos obtenidos en el punto 3

**ENSAYO GRANULOMÉTRICO**

Memorista: *Constanza González Sepúlveda* Guía: *Mauricio Jara Ortíz*  
 Localización: *Punto 3, Facultad de Ingeniería, Curicó.* Fecha: *07-10-2019*

Tamaño máximo de la muestra: 0,074 mm  
 Peso recipiente : 1240,80 g  
 Peso recipiente + muestra seca: 2240,80 g  
 Peso muestra seca: 1000,00 g  
 Peso muestra **que pasa** el tamiz n°4: 1000,00 g  
 Peso muestra **retenida** en tamiz n°4: 0,00 g  
 Muestra lavada y seca + recipiente: 1717,30 g  
 Muestra lavada y seca retenida en tamiz #200: 476,50 g  
 Porcentaje que pasa #200: 52,35 %



Figura 1. Paredes de la

MALLA	APERTURA (mm)	Recipiente e + muestra	Peso retenido	% Retenido	% Acumulado	% que pasa
N°40	0,426		0,000			
N°200	0,074	1717,300	476,500	47,650	47,65	52,35
			523,500			100,00
Total:			1000,000			

Limites de Atterberg			
Límite plástico	R1	R2	R3
Peso recipiente:	24,7	24,9	25,4
Peso húmedo + recipiente	31,3	30,4	30
Peso seco + recipiente:	30	29,3	29
Peso húmedo:	6,6	5,5	4,6
Peso seco:	5,3	4,4	3,6
Límite plástico /humedad:	25	25	28
<b>LP:</b>	<b>26</b>		
Límite líquido	R4	R5	R6
Peso recipiente:	24,6	24,4	24,8
Peso húmedo + recipiente	48,3	42	46,5
Peso seco + recipiente:	42	37,4	40,8
N° de golpes:	18	33	29
Peso húmedo:	23,7	17,6	21,7
Peso seco:	17,4	13	16
Humedad:	36	35	36
<b>LL:</b>	<b>36</b>		

IP	
LL-LP	10
Línea A	11,5559
Línea U	25,047

**Limos orgánicos de plasticidad media**

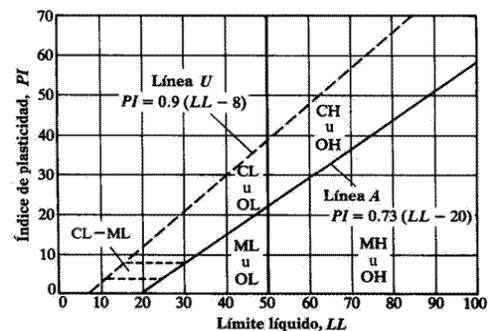
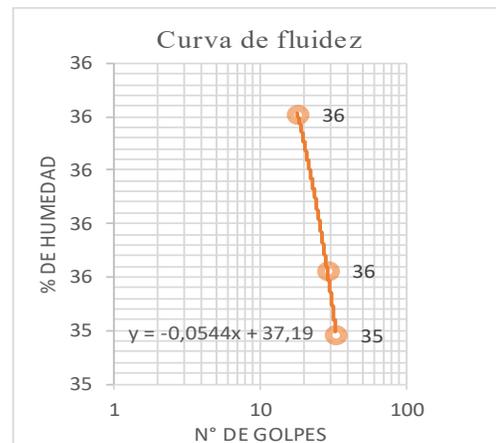


Figura 2. Carta de plasticidad



**ENSAYO PERMEABILIDAD IN SITU**

Profesor a cargo: **MAURICIO JARA O.** Nombre alumno: **CONSTANZA GONZÁLEZ S.** Ayudante: **BASTIAN DÍAZ F.**  
 Ubicación: **PUNTO 3** ID Edificio: **BIBLIOTECA** Coordenadas (x, y): **6124390.75 296608.24**  
 Fecha y hora de inicio: **04-10-2019 10:45** Profundidad: **60 cm**  
 Fecha y hora de termino: **04-10-2019 11:45** Lado: **50 cm**

T_acumulado minutos	T_acumulado segundos	dif_tiempo minutos	lectura cm	dif_lectura cm	$\frac{R}{2(t_2 - t_1)}$	$\frac{(2h_1 + R)}{(2h_2 + R)}$	Ln	Velocidad de infiltración			Tasa	
								cm/min	cm/s	m/s	mm/s	
0	0		18									
10	600	10	19	1	2,5	0,968254	0,032261	0,080652	0,001344	0,000013	0,01666667	
20	1200	10	19,5	0,5	2,5	0,984375	0,015748	0,039371	0,000656	0,000007	0,00416667	
30	1800	10	20	0,5	2,5	0,984615	0,015504	0,038760	0,000646	0,000006	0,00277778	
40	2400	10	20,5	0,5	2,5	0,984848	0,015267	0,038169	0,000636	0,000006	0,00208333	
50	3000	10	20,5	0	2,5	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	
60	3600	10	20,5	0	2,5	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	
<b>PROMEDIO</b>									<b>0,03283</b>	<b>0,00055</b>	<b>5,E-06</b>	

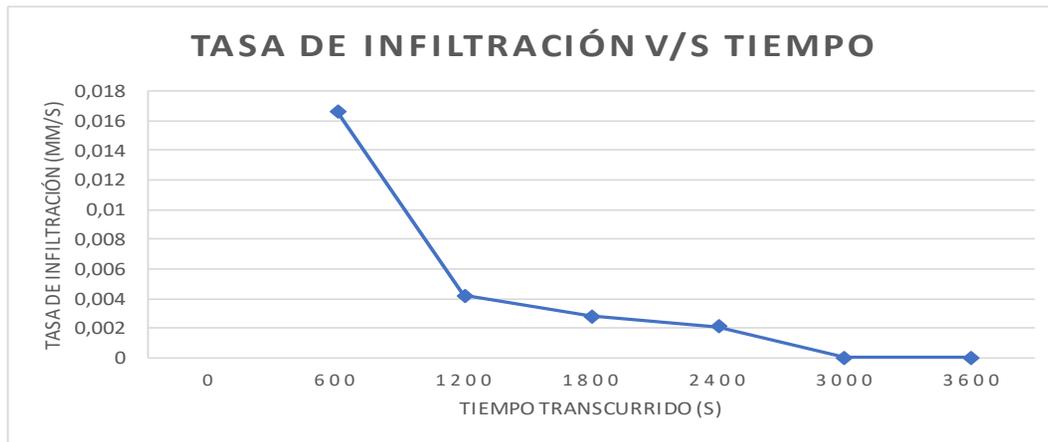


Figura 1. Ensayo

**ENSAYO PERMEABILIDAD LEFRANC**



Profesor a cargo: **MAURICIO JARA ORTÍZ** Nombre alumno: **CONSTANZA GONZÁLEZ SEPÚLVEDA** Ayudante: **BASTIÁN DÍAZ** Fecha y hora de inicio: 04/10/19 12:00

Ubicación: **PUNTO 3** ID Edificio: **BIBLIOTECA** Coordenadas (x, y): **6124390.75 296608.24** Fecha y hora de termino: 04/10/19 14:00

Altura **100 cm** L **30 cm** Diámetro **11 cm**

$$k = \frac{2\pi R}{11(t_2 - t_1)} \times \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Tiempo acumulado	Tiempo acumulado	dif_ tiempo	lectura_l	dif_lectura	$\ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$	$2\pi R$	$11(t_2 - t_1)$	Velocidad de infiltración			Tasa de infiltración	Observaciones
min	s	minutos	cm	cm		cm	s	cm/min	cm/s	m/s	mm/s	
CARGA VARIABLE												
0	0		62,1									
10	600	10	63,1	1	0,015975	69,1152	110	0,60224	0,010037274	1,004,E-04	0,01667	
20	1200	10	63,7	0,6	0,009464	69,1152	110	0,35678	0,00594629	5,946,E-05	0,01000	
30	1800	10	64,2	0,5	0,007819	69,1152	110	0,29476	0,004912613	4,913,E-05	0,00833	
40	2400	10	64,6	0,4	0,006211	69,1152	110	0,23416	0,003902621	3,903,E-05	0,00667	
50	3000	10	65	0,4	0,006173	69,1152	110	0,23271	0,003878531	3,879,E-05	0,00667	
60	3600	10	65,3	0,3	0,004605	69,1152	110	0,17360	0,002893267	2,893,E-05	0,00500	
70	4200	10	65,6	0,3	0,004584	69,1152	110	0,17280	0,002880005	2,880,E-05	0,00500	
80	4800	10	65,8	0,2	0,003044	69,1152	110	0,11476	0,001912696	1,913,E-05	0,00333	
90	5400	10	66	0,2	0,003035	69,1152	110	0,11441	0,001906891	1,907,E-05	0,00333	
100	6000	10	66,1	0,1	0,001514	69,1152	110	0,05708	0,00095128	9,513,E-06	0,00167	
110	6600	10	66,1	0	0	69,1152	110	0,00000	0	0,000,E+00	0,00000	
120	7200	10	66,1	0	0	30,25	33,9	0,00000	0	0,000,E+00	0,00000	
<b>3,922,E-05</b>												

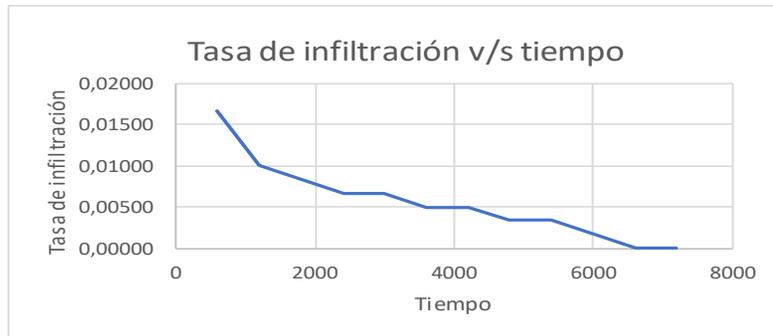


Figura 1. Ensayo

## METODOS INDIRECTOS

Memorista: *Constanza González Sepúlveda*      Guía: *Mauricio Jara Ortíz*  
 Localización: *Punto 3, Facultad de Ingeniería, Curicó.*      Fecha: *13-01-2020*

Masa picnómetro:	24,260 gr	Densidad seca del suelo:	1,498 gr/cm <sup>3</sup>
Masa picnómetro + muestra seca:	33,340 gr	Humedad:	18,068
Masa seca:	9,080 gr	Índice de vacíos	0,667
Masa picnómetro + agua a 20°C:	49,390 gr	Porosidad:	0,400
Masa picnómetro + muestra + agua	54,840 gr	Aceleración de gravedad:	9,810 m/s <sup>2</sup>
Peso específico del agua:	0,998 gr/cm <sup>3</sup>	Viscosidad cinemática del agua:	1,011E-06 m <sup>2</sup> /s
Densidad de partículas sólidas:	2,497 gr/cm <sup>3</sup>	$(d_{10})^2$ (m)	5,476000,E-09
Gravedad específica del suelo:	2,497	Cu	1,000

### Fórmula de Allen- Hazen

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_H \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_H = 6 \cdot 10^{-4}$$

$$f(n) = 1 + 10 \cdot (n - 0.26)$$

f(n)	2,4011546
CH	0,0006
k (m/s) =	7,66,E-05

### Fórmula de Beyer

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_B \cdot (d_{10})^2$$

$$C_B = 6 \cdot 10^{-4} \cdot \log\left(\frac{500}{C_U}\right)$$

CB	0,0016194
Cu	1
k (m/s) =	8,60,E-05

### Fórmula de Slichter

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_S \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_S = 0.01$$

$$f(n) = n^{3.287}$$

f(n)	0,0492474
k (m/s) =	2,62,E-05

### Fórmula de Kozeny

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_K \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_K = 8.3 \cdot 10^{-4}$$

$$f(n) = \frac{n^3}{(1-n)^2}$$

f(n)	= 0,1780003
k (m/s) =	8,E-06



*Figura 1.*  
*Picnómetro+muestra+agu*

k) Registro de los datos obtenidos en el punto 4

**ENSAYO GRANULOMÉTRICO**

Memorista: *Constanza González Sepúlveda* Guía: *Mauricio Jara Ortíz*  
 Localización: *Punto 4, Facultad de Ingeniería, Curicó.* Fecha: *16-10-2019*

Tamaño máximo de la muestra: 4 mm  
 Peso recipiente : 1856,40 g  
 Peso recipiente + muestra seca: 17119,40 g  
 Peso muestra seca: 15263,00 g  
 Peso muestra **que pasa** el tamiz n°4: 8081,90 g  
 Peso muestra **retenida** en tamiz n°4: 6671,30 g  
 Muestra lavada y seca + recipiente: 8220,40 g  
 Muestra lavada y seca retenida en tamiz #4: 6364,00 g  
 Porcentaje que pasa #4 58,304396 %  
 Peso muestra seca que pasa #4: 1000 g  
 Peso muestra que pasa #4 lavado y seco 735,5 g  
 Porcentaje que pasa #200 26,45 %



Figura 1. Paredes de la

MALLA	APERTURA (mm)	Recipient e + muestra	Peso retenido	% Retenido	% Acumulado	% que pasa
2 1/2"	63,500		0,000			
2"	50,800	2952,500	1096,100	17,223	17,22	82,78
1 1/2"	38,100	4143,300	1190,800	18,712	35,93	64,07
1"	25,400	4640,600	497,300	7,814	43,75	56,25
3/4"	19,050	5375,000	734,400	11,540	55,29	44,71
3/8"	9,525	7273,000	1898,000	29,824	85,11	14,89
N°4	4,760	8217,100	944,100	14,835	99,95	0,05
			6360,700	99,948		
N°10	2,000		197,700	26,880	26,88	73,12
N°40	0,426		475,300	64,623	91,50	8,50
N°200	0,074		52,500	7,138	98,64	1,36
			9,000	1,224	99,86	0,14
			734,500			

Observaciones: los primeros 40 cm de estrato corresponden a la granulometría anterior, luego se encontro una capa de material fino muy consolidado. De esa muestra se calcularon los límites de Atterberg que se presentan a continuación:



Figura 2. En la primera foto una muestra del material obtenido en la primera capa, en la segunda foto se aprecia un suelo fino y de apariencia plástica.

Límites de Atterberg			
Límite plástico	R1	R2	R3
Peso recipiente:	24,7	23,9	25,4
Peso húmedo + recipiente	33,2	30,8	32,4
Peso seco + recipiente:	31,6	29,4	31,2
Peso húmedo:	8,5	6,9	7
Peso seco:	6,9	5,5	5,8
Límite plástico /humedad:	23	25	21
<b>LP:</b>	<b>23</b>		
Límite líquido	R4	R5	R6
Peso recipiente:	24,6	24,4	24,8
Peso húmedo + recipiente	50,7	46,8	50,5
Peso seco + recipiente:	43,1	40	42,9
Nº de golpes:	35	15	28
Peso húmedo:	26,1	22,4	25,7
Peso seco:	18,5	15,6	18,1
Humedad:	41	44	42
<b>LL:</b>	<b>42</b>		

IP	
LL-LP	19
Línea A	16,312945
Línea U	30,91185

Arcilla orgánica de plasticidad media

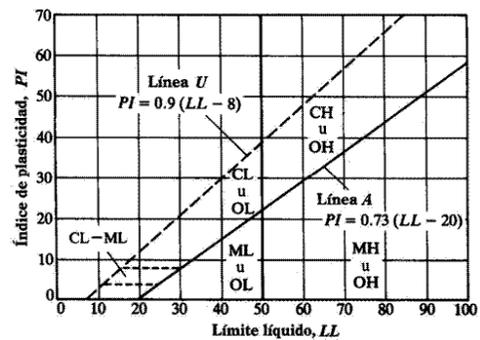
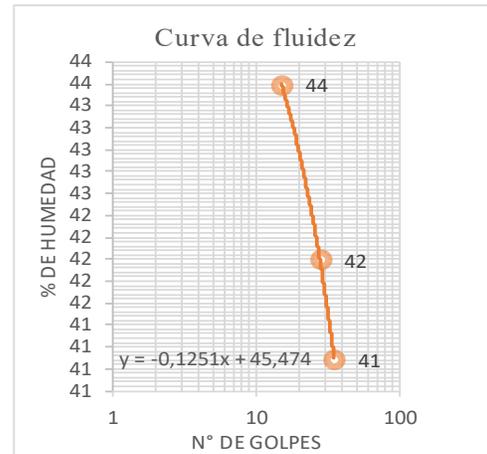


Figura 2. Carta de plasticidad

**ENSAYO DENSIDAD IN-SITU MEDIANTE CONO DE ARENA**

Memorista: *Constanza González Sepúlveda*      Guía: *Mauricio Jara Ortíz*  
 Localización: *Punto 4, Facultad de Ingeniería, Cur.* Fecha: *15-10-2019*

Diámetro placa:                      cm      Peso bolsa:                                      25,7 g  
 Altura perforación:                      15 cm      Arena + cono antes del ensayo:              6723,7 g  
 Bolsa+muestra húmeda:              4198,2 g      Arena + cono después del ensayo:              2403,1 g  
 Bolsa+muestra seca:                      3929 g      Humedad:                                      6,896728 %

Determinación de la masa seca según NCh1516

$m_h$	$\omega$	$m_s$
4172,5	6,8967284	3903,3

$m_h$  : masa húmeda de la muestra extraída durante el ensayo (g)

Observaciones:                       $\omega$  : humedad de la muestra extraída durante el ensayo (%)

$m_s$  : masa seca de la muestra extraída durante el ensayo (g)

Volúmen de la perforación del ensayo

$m_a$	$m_e$	$\rho_a$	$V_S$
4320,6	1277	1,479	2057,877

$m_a$  : masa de arena empleada en el ensayo (g)

$m_e$  : masa de arena que llena el embudo (g)

$\rho_a$  : densidad aparente de la arena (g/cm<sup>3</sup>)

Observaciones:

$V_S$  : volumen de la perforación del ensayo (cm<sup>3</sup>)

Densidad seca del suelo

$$\rho_d = \frac{m_s}{V_S} \quad \rightarrow \quad \rho_d = 1,896760645 \frac{g}{cm^3}$$



Figura 1. Equipo



Figura 2. Recuperación de arena después del

**ENSAYO PERMEABILIDAD IN SITU**

Profesor a cargo: **MAURICIO JARA O.**      Nombre alumno: **CONSTANZA GONZÁLEZ S.**      Ayudante: **BASTIAN DÍAZ F.**      Ubicación: **PUNTO 4**      ID Edificio: **IC/ICOC**  
 Fecha y hora de inicio: **15-10-2019 10:30 hrs**      Coordenadas: **296604.48**      Profundidad: **60**      cm      Lado: **50**      cm

T_acumulado minutos	T_acumulado segundos	dif tiempo minutos	lectura cm	dif lectura cm	$\frac{R}{2(t_2 - t_1)}$	$\frac{(2h_1 + R)}{(2h_2 + R)}$	Ln	Velocidad de infiltración			Tasa
								cm/min	cm/s	m/s	mm/s
0	0		16,5								
10	600	10	17,5	1	2,5	0,966667	0,033902	0,084754	0,001413	0,000014	0,01666667
20	1200	10	18,5	1	2,5	0,967742	0,032790	0,081975	0,001366	0,000014	0,00833333
30	1800	10	18,5	0	2,5	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0
40	2400	10	18,5	0	2,5	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0
50	3000	10	18,5	0	2,5	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0
60	3600	10	18,7	0,2	2,5	0,993590	0,006431	0,016077	0,000268	0,000003	0,00055556
120	7200	60	20	1,3	0,41666667	0,960000	0,040822	0,017009	0,000283	0,000003	0,00180556
180	10800	60	20,8	0,8	0,41666667	0,975976	0,024317	0,010132	0,000169	0,000002	0,00074074
240	14400	60	21,3	0,5	0,41666667	0,985207	0,014903	0,006210	0,000103	0,000001	0,00034722
1230	73800	990	27	5,7	0,025252525	0,855696	0,155840	0,003935	0,000066	0,000001	0,00077236
1350	81000	120	27,5	0,5	0,208333333	0,987500	0,012579	0,002621	0,000044	0,000000	6,1728E-05
1470	88200	120	28	0,5	0,208333333	0,987654	0,012423	0,002588	0,000043	0,000000	5,6689E-05
1590	95400	120	28,5	0,5	0,208333333	0,987805	0,012270	0,002556	0,000043	0,000000	5,2411E-05
					<b>PROMEDIO</b>			<b>0,01878</b>	0,00031	<b>3,E-06</b>	

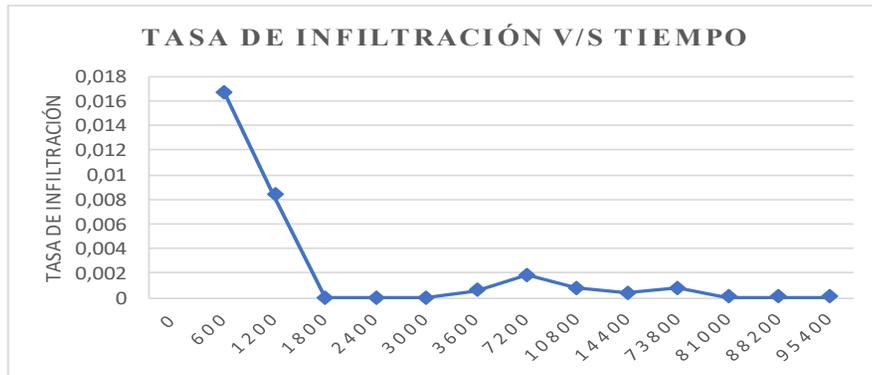


Figura 1. Ensayo

**ENSAYO PERMEABILIDAD LEFRANC**



Profesor a cargo: **MAURICIO JARA ORTÍZ**      Nombre alumno: **CONSTANZA GONZÁLEZ SEPÚLVEDA**      Ayudante: **BASTIÁN DÍAZ**      Fecha y hora de inicio: **15-10-2019 15:30 hrs**  
 Ubicación: **PUNTO 4**      ID Edificio: **IC / ICOC**      Coordenadas (x, y): **6124344.33 296604.48**      Fecha y hora de término: **15-10-2019 16:00 hrs**  
 Altura: **100 cm**      L: **cm**      Diámetro: **11 cm**

$$k = \frac{2\pi R}{11(t_2 - t_1)} \times \text{Ln}\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Tiempo acumulado	Tiempo acumulado	dif_ tiempo	lectura_l	dif_lectura	$\text{Ln}\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$	$2\pi R$	$11(t_2 - t_1)$	Velocidad de infiltración			Tasa de infiltración	Observaciones
min	s	minutos	cm	cm		cm	s	cm/min	cm/s	m/s	mm/s	
<b>CARGA VARIABLE</b>												
0	0		46,5									
2,5	150	2,5	62,5	16	0,295714	69,1152	27,5	44,59276	0,743212696	7,432,E-03	1,06667	
5	300	2,5	72	9,5	0,1415	69,1152	27,5	21,33768	0,35562802	3,556,E-03	0,63333	
7,5	450	2,5	78	6	0,080043	69,1152	27,5	12,07018	0,201169736	2,012,E-03	0,40000	
10	600	2,5	82,5	4,5	0,056089	69,1152	27,5	8,45811	0,140968535	1,410,E-03	0,30000	
12,5	750	2,5	86,1	3,6	0,042711	69,1152	27,5	6,44070	0,107344999	1,073,E-03	0,24000	
15	900	2,5	88,7	2,6	0,02975	69,1152	27,5	4,48628	0,074771281	7,477,E-04	0,17333	
17,5	1050	2,5	91,2	2,5	0,027795	69,1152	27,5	4,19140	0,069856637	6,986,E-04	0,16667	
20	1200	2,5	92,6	1,4	0,015234	69,1152	27,5	2,29728	0,038287922	3,829,E-04	0,09333	
22,5	1350	2,5	93,2	0,6	0,006459	69,1152	27,5	0,97393	0,01623222	1,623,E-04	0,04000	
25	1500	2,5	93,2	0	0	69,1152	27,5	0,00000	0	0,000,E+00	0,00000	
27,5	1650	2,5	93,2	0	0	69,1152	27,5	0,00000	0	0,000,E+00	0,00000	

**1,942,E-03**

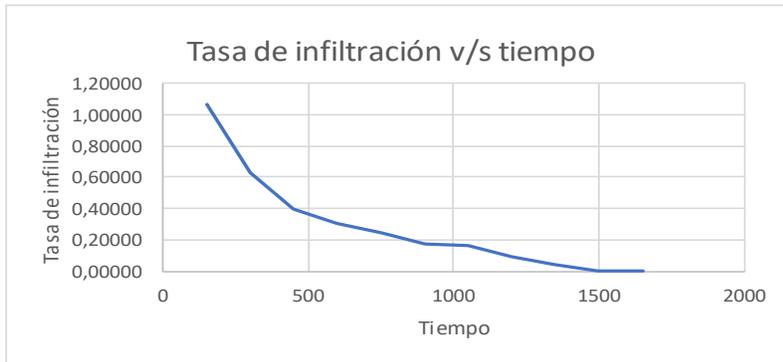


Figura 1. Ensayo

## METODOS INDIRECTOS

Memorista: *Constanza González Sepúlveda*      Guía: *Mauricio Jara Ortíz*  
 Localización: *Punto 3, Facultad de Ingeniería, Curicó.*      Fecha: *13-01-2020*

### PUNTO 4 - A

Masa picnómetro:	30,770 gr	Densidad seca del suelo:	1,897 gr/cm <sup>3</sup>
Masa picnómetro + muestra seca:	59,830 gr	Humedad:	6,897
Masa seca:	29,060 gr	Índice de vacíos	0,342
Masa picnómetro + agua a 20°C:	79,010 gr	Porosidad:	0,255
Masa picnómetro + muestra + agua	96,670 gr	Aceleración de gravedad:	9,810 m/s <sup>2</sup>
Peso específico del agua:	0,998 gr/cm <sup>3</sup>	Viscosidad cinemática del agua:	1,011E-06 m <sup>2</sup> /s
Densidad de partículas sólidas:	2,545 gr/cm <sup>3</sup>	$(d_{10})^2$ (m)	1,600000,E-05
Gravedad específica del suelo:	2,545	Cu	3,600

#### Fórmula de Allen- Hazen

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_H \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_H = 6 \cdot 10^{-4}$$

$$f(n) = 1 + 10 \cdot (n - 0.26)$$

f(n)	0,9457457
CH	0,0006
k (m/s) =	8,81,E-02

#### Fórmula de Beyer

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_B \cdot (d_{10})^2$$

$$C_B = 6 \cdot 10^{-4} \cdot \log\left(\frac{500}{C_U}\right)$$

CB	0,0012856
Cu	1
k (m/s) =	2,00,E-01

#### Fórmula de Slichter

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_S \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_S = 0.01$$

$$f(n) = n^{3.287}$$

f(n)	0,0111407
k (m/s) =	1,73,E-02

#### Fórmula de Kozeny

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_K \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_K = 8.3 \cdot 10^{-4}$$

$$f(n) = \frac{n^3}{(1-n)^2}$$

f(n)	= 0,0296918
k (m/s) =	4,E-03



*Figura 1.*  
*Picnómetro + muestra + agua*

PUNTO 4 - B

Masa picnómetro:	33,080 gr	Densidad seca del suelo:	1,897 gr/cm
Masa picnómetro + muestra seca:	54,560 gr	Humedad:	6,897
Masa seca:	21,480 gr	Índice de vacíos	0,327
Masa picnómetro + agua a 20°C:	82,800 gr	Porosidad:	0,246
Masa picnómetro + muestra + ag	95,760 gr	Aceleración de gravedad:	9,810 m/s <sup>2</sup>
Peso específico del agua:	0,998 gr/cm <sup>3</sup>	Viscosidad cinemática del agua:	1,011E-06 m <sup>2</sup> /s
Densidad de partículas sólidas:	2,517 gr/cm <sup>3</sup>	(d <sub>10</sub> ) <sup>2</sup> (m)	5,476000,E-09
Gravedad específica del suelo:	2,517	Cu	1,000

**Fórmula de Allen- Hazen**

$$K = \frac{g}{\nu} \cdot C_H \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_H = 6 \cdot 10^{-4}$$

$$f(n) = 1 + 10 \cdot (n - 0.26)$$

f(n)	0,86296933
CH	0,0006
k (m/s) =	2,75,E-05

**Fórmula de Beyer**

$$K = \frac{g}{\nu} \cdot C_B \cdot (d_{10})^2$$

$$C_B = 6 \cdot 10^{-4} \cdot \log\left(\frac{500}{C_U}\right)$$

CB	0,00161938
Cu	1
k (m/s)	8,60,E-05

**Fórmula de Slichter**

$$K = \frac{g}{\nu} \cdot C_S \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_S = 0.01$$

$$f(n) = n^{3.287}$$

f(n)	0,0099937
k (m/s)	5,31,E-06

**Fórmula de Kozeny**

$$K = \frac{g}{\nu} \cdot C_K \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_K = 8.3 \cdot 10^{-4}$$

$$f(n) = \frac{n^3}{(1-n)^2}$$

f(n)	=	0,02630125
k (m/s)	=	1,E-06

l) Registro de los datos obtenidos en el punto 5

**ENSAYO GRANULOMÉTRICO**

Memorista: *Constanza González Sepúlveda* Guía: *Mauricio Jara Ortíz*  
Localización: *Punto 5, Facultad de Ingeniería, Curicó.* Fecha: *03-12-2019*

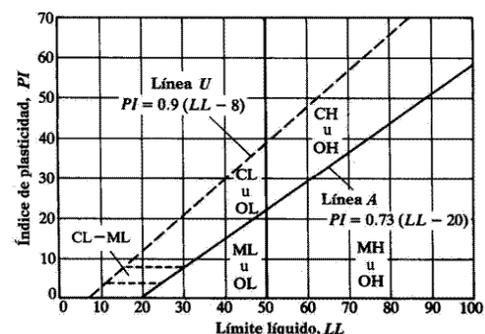
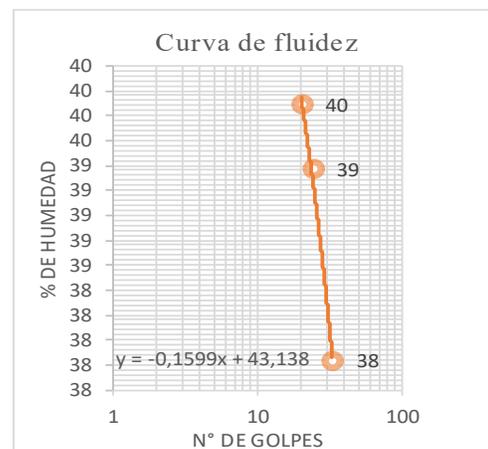
Tamaño máximo de la muestra: 0,076 mm  
Peso recipiente : 1856,40 g  
Peso recipiente + muestra seca: 2856,40 g  
Peso muestra seca: 1000,00 g  
Peso muestra **que pasa** el tamiz n°4: 1000,00 g  
Peso muestra **retenida** en tamiz n°4: g  
Muestra lavada y seca + recipiente: 2219,50 g  
Muestra lavada y seca retenida en tamiz #200 363,10 g  
Porcentaje que pasa #200 63,69 %



MALLA	APERTURA (mm)	Recipiente + muestra	Peso retenido	% Retenido	% Acumulado	% que pasa
N°40	0,426					100,00
N°200	0,074		363,100	36,310	36,31	63,69

Límites de Atterberg			
límite plástico	R1	R2	R3
Peso recipiente:	24,7	24,9	25,4
Peso húmedo + recipiente	28,7	31,3	28,2
Peso seco + recipiente:	28	30,1	27,7
Peso húmedo:	4	6,4	2,8
Peso seco:	3,3	5,2	2,3
Límite plástico /humedad:	21	23	22
<b>LP:</b>	<b>22</b>		
límite líquido	R4	R5	R6
Peso recipiente:	24,6	24,4	24,8
Peso húmedo + recipiente	50,1	46,7	49,7
Peso seco + recipiente:	43,1	40,4	42,6
N° de golpes:	33	24	20
Peso húmedo:	25,5	22,3	24,9
Peso seco:	18,5	16	17,8
Humedad:	38	39	40
<b>LL:</b>	<b>39</b>		

IP	
LL-LP	17
Línea A	13,972565
Línea U	28,02645



Arcilla orgánica de plasticidad media

Figura 2. Carta de plasticidad



**ENSAYO PERMEABILIDAD IN SITU**

Profesor a cargo: **MAURICIO JARA O.**      Nombre alumno: **CONSTANZA GONZÁLEZ S.**      Ayudante: **BASTIAN DÍAZ F.**      Ubicación: **PUNTO 5**      ID Edificio: **I+D**  
 Fecha y hora de inicio: **04-12-2019 11:30 hrs**      Coordinada: **6124258.05 296593.96**      Profundidad: **60**      cm      Lado: **50**      cm

T_acumulado minutos	T_acumulado segundos	dif_tiempo minutos	lectura cm	dif_lectura cm	$\frac{R}{2(t_2 - t_1)}$	$\frac{(2h_1 + R)}{(2h_2 + R)}$	Ln	Velocidad de infiltración			Tasa
								cm/min	cm/s	m/s	mm/s
0	0		17,5								
10	600	10	24	6,5	2,5	0,821918	0,196115	0,490287	0,008171	0,000082	0,1083333
20	1200	10	27,5	3,5	2,5	0,912500	0,091567	0,228918	0,003815	0,000038	0,0291667
30	1800	10	30,5	3	2,5	0,930233	0,072321	0,180802	0,003013	0,000030	0,0166667
40	2400	10	33,4	2,9	2,5	0,936819	0,065265	0,163163	0,002719	0,000027	0,0120833
50	3000	10	36	2,6	2,5	0,946392	0,055099	0,137747	0,002296	0,000023	0,0086667
60	3600	10	38	2	2,5	0,960396	0,040410	0,101024	0,001684	0,000017	0,0055556
70	4200	10	39,3	1,3	2,5	0,974903	0,025417	0,063542	0,001059	0,000011	0,0030952
80	4800	10	40,8	1,5	2,5	0,971857	0,028546	0,071365	0,001189	0,000012	0,003125
90	5400	10	42,5	1,7	2,5	0,969091	0,031397	0,078492	0,001308	0,000013	0,0031481
100	6000	10	43,5	1	2,5	0,982143	0,018019	0,045046	0,000751	0,000008	0,0016667
110	6600	10	44	0,5	2,5	0,991150	0,008889	0,022222	0,000370	0,000004	0,0007576
120	7200	10	44	0	2,5	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0
130	7800	10	44	0	2,5	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0
<b>PROMEDIO</b>								<b>0,13188</b>	<b>0,00220</b>	<b>2,20E-05</b>	

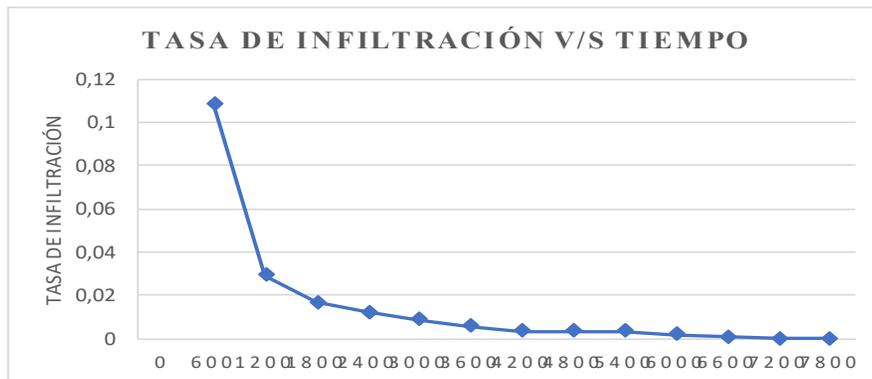


Figura 1. Ensayo

**ENSAYO PERMEABILIDAD LEFRANC**



Profesor a cargo: **MAURICIO JARA ORTÍZ**      Nombre alumno: **CONSTANZA GONZÁLEZ SEPÚLVEDA**      Ayudante: **BASTIÁN DÍAZ**      Fecha y hora de inicio: **04-12-2019 12:40**  
 Ubicación: **PUNTO 5**      ID Edificio: **I+D**      Coordenadas (x, y): **6124258.05 296593.96**      Fecha y hora de término: **04-12-2019 14:30**  
 Altura **100 cm**      L **cm**      Diámetro **11 cm**

$$k = \frac{2\pi R}{11(t_2 - t_1)} \times \text{Ln}\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Tiempo acumulado min	Tiempo acumulado s	dif_ tiempo minutos	lectura_l cm	dif_lectura cm	$\text{Ln}\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$	$2\pi R$ cm	$11(t_2 - t_1)$ s	Velocidad de infiltración			Tasa de infiltración mm/s	Observaciones
								cm/min	cm/s	m/s		
<b>CARGA VARIABLE</b>												
0	0		53									
10	600	10	63	10	0,172843	69,1152	110	6,51604	0,108600596	1,086,E-03	0,16667	
20	1200	10	70	7	0,105361	69,1152	110	3,97201	0,066200119	6,620,E-04	0,11667	
30	1800	10	74,5	4,5	0,062304	69,1152	110	2,34881	0,039146776	3,915,E-04	0,07500	
40	2400	10	77	2,5	0,033006	69,1152	110	1,24431	0,020738516	2,074,E-04	0,04167	
50	3000	10	78,5	1,5	0,019293	69,1152	110	0,72734	0,012122305	1,212,E-04	0,02500	
60	3600	10	80,4	1,9	0,023916	69,1152	110	0,90160	0,015026619	1,503,E-04	0,03167	
70	4200	10	81,4	1	0,012361	69,1152	110	0,46600	0,007766724	7,767,E-05	0,01667	
80	4800	10	81,9	0,5	0,006124	69,1152	110	0,23086	0,003847654	3,848,E-05	0,00833	
90	5400	10	82,3	0,4	0,004872	69,1152	110	0,18367	0,003061248	3,061,E-05	0,00667	
100	6000	10	82,3	0	0	69,1152	110	0,00000	0	0,000,E+00	0,00000	
110	6600	10	82,3	0	0	69,1152	110	0,00000	0	0,000,E+00	0,00000	

**3,072,E-04**



Figura 1. Perforación del ensayo Lefranc

## METODOS INDIRECTOS

Memorista: *Constanza González Sepúlveda*      Guía: *Mauricio Jara Ortíz*  
 Localización: *Punto 5, Facultad de Ingeniería, Curicó.*      Fecha: *13-01-2020*

Masa picnómetro:	33,250 gr	Densidad seca del suelo:	1,519 gr/cm <sup>3</sup>
Masa picnómetro + muestra seca:	49,600 gr	Humedad:	18,868
Masa seca:	16,350 gr	Índice de vacíos:	0,603
Masa picnómetro + agua a 20°C:	80,190 gr	Porosidad:	0,376
Masa picnómetro + muestra + agua:	89,840 gr	Aceleración de gravedad:	9,810 m/s <sup>2</sup>
Peso específico del agua:	0,998 gr/cm <sup>3</sup>	Viscosidad cinemática del agua:	1,011E-06 m <sup>2</sup> /s
Densidad de partículas sólidas:	2,436 gr/cm <sup>3</sup>	$(d_{10})^2$ (m)	5,776000,E-09
Gravedad específica del suelo:	2,436	Cu	1,000

### Fórmula de Allen- Hazen

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_H \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_H = 6 \cdot 10^{-4}$$

$$f(n) = 1 + 10 \cdot (n - 0.26)$$

f(n)	2,1622283
CH	0,0006
k (m/s) =	7,27,E-05

### Fórmula de Beyer

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_B \cdot (d_{10})^2$$

$$C_B = 6 \cdot 10^{-4} \cdot \log\left(\frac{500}{C_U}\right)$$

CB	0,0016194
Cu	1
k (m/s) =	9,08,E-05

### Fórmula de Slichter

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_S \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_S = 0.01$$

$$f(n) = n^{3.287}$$

f(n)	0,0402243
k (m/s) =	2,25,E-05

### Fórmula de Kozeny

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_K \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_K = 8.3 \cdot 10^{-4}$$

$$f(n) = \frac{n^3}{(1-n)^2}$$

f(n)	= 0,13686
k (m/s) =	= 6,E-06



*Figura 1.*  
*Picnómetro+muestra+agu*

m) Registro de los datos obtenidos en el punto 6

**ENSAYO GRANULOMÉTRICO**

Memorista: **Constanza González Sepúlveda** Guía: **Mauricio Jara Ortíz**  
 Localización **Punto 6, Facultad de Ingeniería, Curicó.** Fecha: **07-01-2020**

Tamaño máximo de la muestra: 0,0426 mm  
 Peso recipiente : 1240,80 g  
 Peso recipiente + muestra seca: 2240,80 g  
 Peso muestra seca: 1000,00 g  
 Peso muestra **que pasa** el tamiz n°4: 1000,00 g  
 Peso muestra **retenida** en tamiz n°4: 0,00 g  
 Muestra lavada y seca + recipiente: 1617,80 g  
 Muestra lavada y seca retenida en tamiz #200: 377,00 g  
 Porcentaje que pasa #200 62,3 %



Figura 1. Paredes de la

MALLA	APERTURA (mm)	Recipiente + muestra	Peso retenido	% Retenido	% Acumulado	% que pasa
N°40	0,426		0,000			
N°200	0,074	1617,800	377,000	37,700	37,70	62,30
			623,000			100,00
Total:		1000,000				

Límites de Atterberg			
Límite plástico	R1	R2	R3
Peso recipiente:	24,9	23	25,1
Peso húmedo + recipiente	28	25,9	29,2
Peso seco + recipiente:	27,4	25,4	28,5
Peso húmedo:	3,1	2,9	4,1
Peso seco:	2,5	2,4	3,4
Límite plástico /humedad:	24	21	21
<b>LP:</b>	<b>22</b>		
Límite líquido	R4	R5	R6
Peso recipiente:	24,8	23,8	24,8
Peso húmedo + recipiente	51,9	47,1	49,9
Peso seco + recipiente:	45,2	41,5	43,7
N° de golpes:	15	35	19
Peso húmedo:	27,1	23,3	25,1
Peso seco:	20,4	17,7	18,9
Humedad:	33	32	33
<b>LL:</b>	<b>36</b>		

IP	
LL-LP	14
Línea A	11,5559
Línea U	25,047

**Limos orgánicos de plasticidad media**

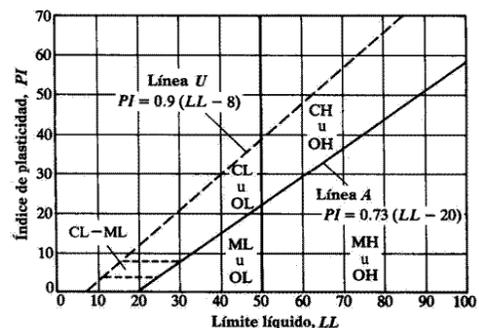
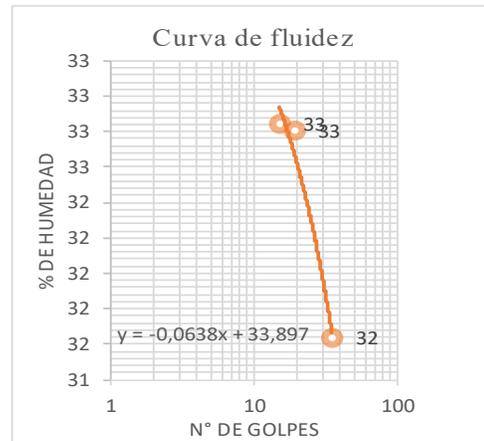


Figura 2. Carta de plasticidad



**ENSAYO PERMEABILIDAD IN SITU**

Profesor a cargo: **MAURICIO JARA O.**      Nombre alumno: **CONSTANZA GONZÁLEZ S.**      Ayudante: **BASTIAN DÍAZ F.**  
 Ubicación: **PUNTO 6**      ID Edificio: **CASINO**      Coordenadas (x, y, z): **6124225.07 296523.40**  
 Fecha y hora de inicio: **06-01-2020 10:05**      Profundidad: **60 cm**  
 Fecha y hora de termino: **06-01-2020 12:15**      Lado: **50 cm**

T_acumulado minutos	T_acumulado segundos	dif tiempo minutos	lectura cm	dif lectura cm	$\frac{R}{2(t_2 - t_1)}$	$\frac{(2h_1 + R)}{(2h_2 + R)}$	Ln	Velocidad de infiltración			Tasa	
								cm/min	cm/s	m/s	mm/s	
0	0		21,5									
10	600	10	23	1,5	2,5	0,957746	0,043172	0,107930	0,001799	0,000018	0,025	
20	1200	10	24	1	2,5	0,972603	0,027780	0,069449	0,001157	0,000012	0,00833333	
30	1800	10	25	1	2,5	0,973333	0,027029	0,067572	0,001126	0,000011	0,00555556	
40	2400	10	26	1	2,5	0,974026	0,026317	0,065793	0,001097	0,000011	0,00416667	
50	3000	10	27	1	2,5	0,974684	0,025642	0,064106	0,001068	0,000011	0,00333333	
60	3600	10	28	1	2,5	0,975309	0,025001	0,062503	0,001042	0,000010	0,00277778	
70	4200	10	29	1	2,5	0,975904	0,024391	0,060979	0,001016	0,000010	0,00238095	
80	4800	10	29,5	0,5	2,5	0,988095	0,011976	0,029940	0,000499	0,000005	0,00104167	
90	5400	10	30	0,5	2,5	0,988235	0,011834	0,029586	0,000493	0,000005	0,00092593	
100	6000	10	30,8	0,8	2,5	0,981524	0,018649	0,046621	0,000777	0,000008	0,00133333	
110	6600	10	31	0,2	2,5	0,995402	0,004608	0,011521	0,000192	0,000002	0,00030303	
120	7200	10	31	0	2,5	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	
130	7800	10	31	0	2,5	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	
<b>PROMEDIO</b>									<b>0,04738</b>	0,00079	<b>8,E-06</b>	

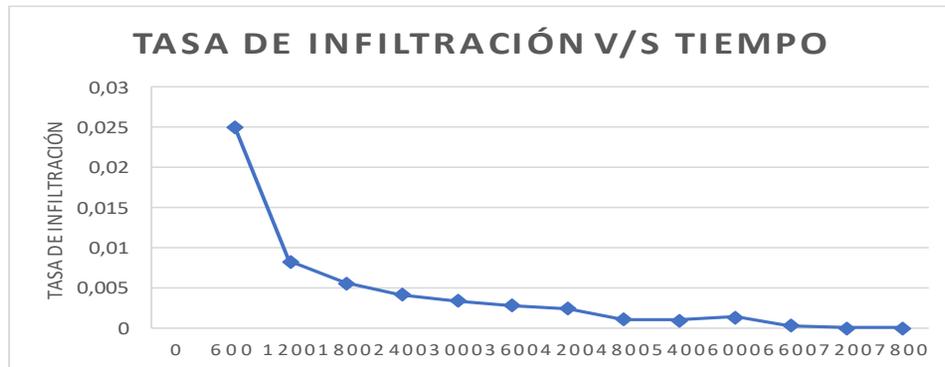


Figura 1. Ensayo

**ENSAYO PERMEABILIDAD LEFRANC**

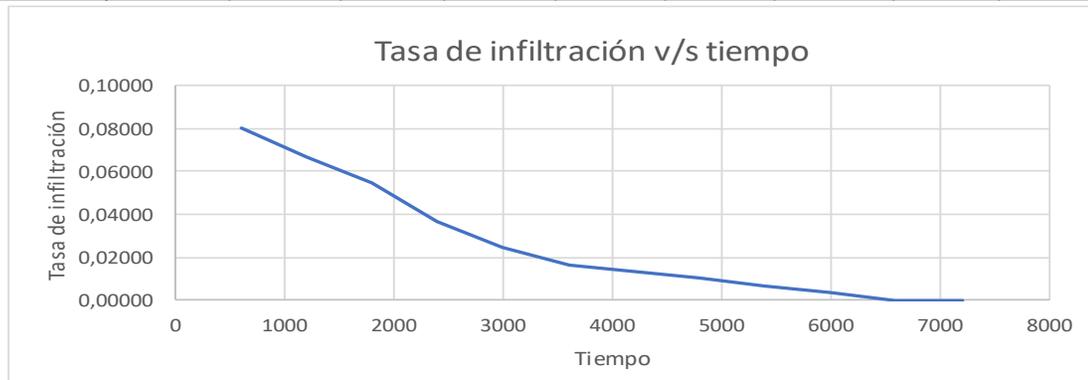


Profesor a cargo: **MAURICIO JARA ORTÍZ**      Nombre alumno: **CONSTANZA GONZÁLEZ S.**      Ayudante: **BASTIÁN DÍAZ**      Fecha y hora de inicio: **06/01/20 13:15**  
 Ubicación: **PUNTO 6**      ID Edificio: **CASINO**      Coordenadas (x, y): **6124225.07 296523.40**      Fecha y hora de término: **06/01/20 15:15**  
 Altura: **100 cm**      L: **30 cm**      Diámetro: **11 cm**

$$k = \frac{2\pi R}{11(t_2 - t_1)} \times \text{Ln}\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Tiempo acumulado	Tiempo acumulado	dif_ tiempo	lectura_l	dif_lectura	$\text{Ln}\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$	$2\pi R$	$11(t_2 - t_1)$	Velocidad de infiltración			Tasa de infiltración	Observaciones
min	s	minutos	cm	cm		cm	s	cm/min	cm/s	m/s	mm/s	
CARGA VARIABLE												
0	0		50,2									
10	600	10	55	4,8	0,091318	69,1152	110	3,44262	0,057377025	5,738,E-04	0,08000	
20	1200	10	59	4	0,070204	69,1152	110	2,64664	0,04411074	4,411,E-04	0,06667	
30	1800	10	62,3	3,3	0,054424	69,1152	110	2,05174	0,034195676	3,420,E-04	0,05500	
40	2400	10	64,5	2,2	0,034704	69,1152	110	1,30831	0,02180509	2,181,E-04	0,03667	
50	3000	10	66	1,5	0,02299	69,1152	110	0,86669	0,014444774	1,444,E-04	0,02500	
60	3600	10	67	1	0,015038	69,1152	110	0,56692	0,009448599	9,449,E-05	0,01667	
70	4200	10	67,8	0,8	0,01187	69,1152	110	0,44747	0,007457892	7,458,E-05	0,01333	
80	4800	10	68,4	0,6	0,008811	69,1152	110	0,33215	0,005353895	5,536,E-05	0,01000	
90	5400	10	68,8	0,4	0,005831	69,1152	110	0,21982	0,003663684	3,664,E-05	0,00667	
100	6000	10	69	0,2	0,002903	69,1152	110	0,10943	0,001823862	1,824,E-05	0,00333	
110	6600	10	69	0	0	69,1152	110	0,00000	0	0,000,E+00	0,00000	
120	7200	10	69	0	0	30,25	31	0,00000	0	0,000,E+00	0,00000	

1,999,E-04



## METODOS INDIRECTOS

Memorista: *Constanza González Sepúlveda*      Guía: *Mauricio Jara Ortíz*  
 Localización: *Punto 3, Facultad de Ingeniería, Curicó.*      Fecha: *13-01-2020*

Masa picnómetro:	24,260 gr	Densidad seca del suelo:	1,465 gr/cm <sup>3</sup>
Masa picnómetro + muestra seca:	35,260 gr	Humedad:	20,741
Masa seca:	11,000 gr	Índice de vacíos	0,673
Masa picnómetro + agua a 20°C:	49,390 gr	Porosidad:	0,402
Masa picnómetro + muestra + agua	55,910 gr	Aceleración de gravedad:	9,810 m/s <sup>2</sup>
Peso específico del agua:	0,998 gr/cm <sup>3</sup>	Viscosidad cinemática del agua:	1,011E-06 m <sup>2</sup> /s
Densidad de partículas sólidas:	2,451 gr/cm <sup>3</sup>	$(d_{10})^2$ (m)	1,814760,E-09
Gravedad específica del suelo:	2,451	Cu	1,000

### Fórmula de Allen- Hazen

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_H \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_H = 6 \cdot 10^{-4}$$

$$f(n) = 1 + 10 \cdot (n - 0.26)$$

f(n)	2,4232651
CH	0,0006
k (m/s) =	2,56,E-05

### Fórmula de Beyer

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_B \cdot (d_{10})^2$$

$$C_B = 6 \cdot 10^{-4} \cdot \log\left(\frac{500}{C_U}\right)$$

CB	0,0016194
Cu	1
k (m/s) =	2,85,E-05

### Fórmula de Slichter

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_S \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_S = 0.01$$

$$f(n) = n^{3.287}$$

f(n)	0,0501476
k (m/s) =	8,83,E-06

### Fórmula de Kozeny

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_K \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_K = 8.3 \cdot 10^{-4}$$

$$f(n) = \frac{n^3}{(1-n)^2}$$

f(n)	= 0,1823089
k (m/s) =	3,E-06



Figura 1.  
Picnómetro+muestra+agu

n) Registro de los datos obtenidos en el punto 7

**ENSAYO GRANULOMÉTRICO**

Memorista: *Constanza González Sepúlveda* Guía: *Mauricio Jara Ortíz*  
 Localización *Punto 7, Facultad de Ingeniería, Curicó.* Fecha: *16-01-2020*

Tamaño máximo de la muestra: 0,0426 mm  
 Peso recipiente : 1240,80 g  
 Peso recipiente + muestra seca: 2240,80 g  
 Peso muestra seca: 1000,00 g  
 Peso muestra **que pasa** el tamiz n°4: 1000,00 g  
 Peso muestra **retenida** en tamiz n°4: 0,00 g  
 Muestra lavada y seca + recipiente: 1587,50 g  
 Muestra lavada y seca retenida en tamiz #200: 346,70 g  
 Porcentaje que pasa #200 65,33 %



Figura 1. Paredes de la

MALLA	APERTURA (mm)	Recipiente + muestra	Peso retenido	% Retenido	% Acumulado	% que pasa
N°40	0,426		0,000			
N°200	0,074	1587,50	346,700	34,670	34,67	65,33
			653,300			100,00
Total:		1000,000				

Límites de Atterberg			
Límite plástico	R1	R2	R3
Peso recipiente:	25,5	24,5	24,9
Peso húmedo + recipiente	30,3	33,4	33,9
Peso seco + recipiente:	29,6	31,8	32,2
Peso húmedo:	4,8	8,9	9
Peso seco:	4,1	7,3	7,3
Límite plástico /humedad:	17	22	23
<b>LP:</b>	<b>21</b>		
Límite líquido	R4	R5	R6
Peso recipiente:	24,7	24,7	25
Peso húmedo + recipiente	52,5	50,8	51,1
Peso seco + recipiente:	46,3	44,4	44,5
N° de golpes:	33	20	16
Peso húmedo:	27,8	26,1	26,1
Peso seco:	21,6	19,7	19,5
Humedad:	29	32	34
<b>LL:</b>	<b>36</b>		

IP	
LL-LP	15
Línea A	11,5559
Línea U	25,047

**Limos orgánicos de plasticidad media**

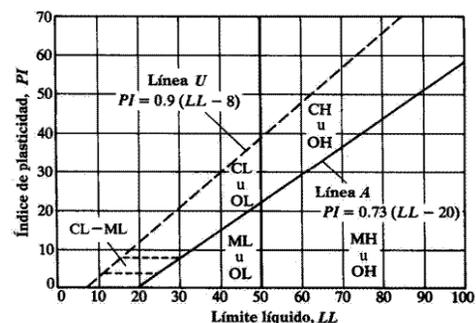
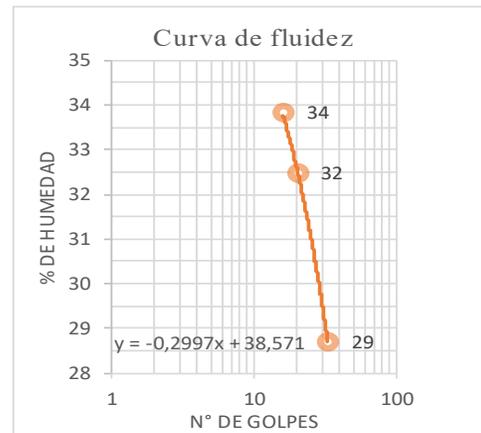


Figura 2. Carta de plasticidad

**ENSAYO DENSIDAD IN-SITU MEDIANTE CONO DE ARENA**

Memorista: *Constanza González Sepúlveda*      Guía: *Mauricio Jara Ortíz*  
 Localización: *Punto 7, Facultad de Ingeniería, Cur* Fecha: *15-01-2020*

Diámetro placa:                    15,24 cm    Peso bolsa:                                    25,7 g  
 Altura perforación:                15 cm    Arena + cono antes del ensayo:        7220,1 g  
 Bolsa+muestra húmeda:            6060 g    Arena + cono después del ensayo:    1630,3 g  
 Bolsa+muestra seca:                4660,3 g    Humedad:                                    30,2011 %

Determinación de la masa seca según NCh1516

$m_h$	$\omega$	$m_s$
6034,3	30,201096	4634,6

$m_h$  : masa húmeda de la muestra extraída durante el ensayo (g)

Observaciones:

$\omega$  : humedad de la muestra extraída durante el ensayo (%)

$m_s$  : masa seca de la muestra extraída durante el ensayo (g)

Volúmen de la perforación del ensayo

$m_a$	$m_e$	$\rho_a$	$V_S$
5589,8	1277	1,479	2916,024

$m_a$  : masa de arena empleada en el ensayo (g)

$m_e$  : masa de arena que llena el embudo (g)

$\rho_a$  : densidad aparente de la arena (g/cm<sup>3</sup>)

Observaciones:

$V_S$  : volumen de la perforación del ensayo (cm<sup>3</sup>)

Densidad seca del suelo

$$\rho_d = \frac{m_s}{V_S}$$

$$\rightarrow \rho_d = 1,589355732 \frac{g}{cm^3}$$



Figura 1. Equipo

**ENSAYO PERMEABILIDAD IN SITU**

Profesor a cargo: **MAURICIO JARA O.**      Nombre alumno: **CONSTANZA GONZÁLEZ S.**      Ayudante: **BASTIAN DÍAZ F.**  
 Ubicación: **PUNTO 7**    ID Edificio: **BIENESTAR**    Coordenadas (x, y, z): **6124479.00 296521.00**  
 Fecha y hora de inicio: **15-01-2020 10:45**    Profundidad: **60 cm**  
 Fecha y hora de termino: **15-01-2020 12:35**    Lado: **50 cm**

T_acumulado minutos	T_acumulado segundos	dif tiempo minutos	lectura cm	dif lectura cm	$\frac{R}{2(t_2 - t_1)}$	$\frac{(2h_1 + R)}{(2h_2 + R)}$	Ln	Velocidad de infiltración			Tasa	
								cm/min	cm/s	m/s	mm/s	
0	0		19									
10	600	10	22	3	2,5	0,913043	0,090972	0,227429	0,003790	0,000038	0,05	
20	1200	10	23,5	1,5	2,5	0,958333	0,042560	0,106399	0,001773	0,000018	0,0125	
40	2400	20	25,5	2	1,25	0,947368	0,054067	0,067584	0,001126	0,000011	0,00833333	
60	3600	20	27,5	2	1,25	0,950000	0,051293	0,064117	0,001069	0,000011	0,00555556	
90	5400	30	29	1,5	0,833333333	0,963855	0,036814	0,030678	0,000511	0,000005	0,00277778	
100	6000	10	29	0	2,5	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	
110	6600	10	29	0	2,5	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	
<b>PROMEDIO</b>									<b>0,07089</b>	0,00118	<b>1,18,E-05</b>	

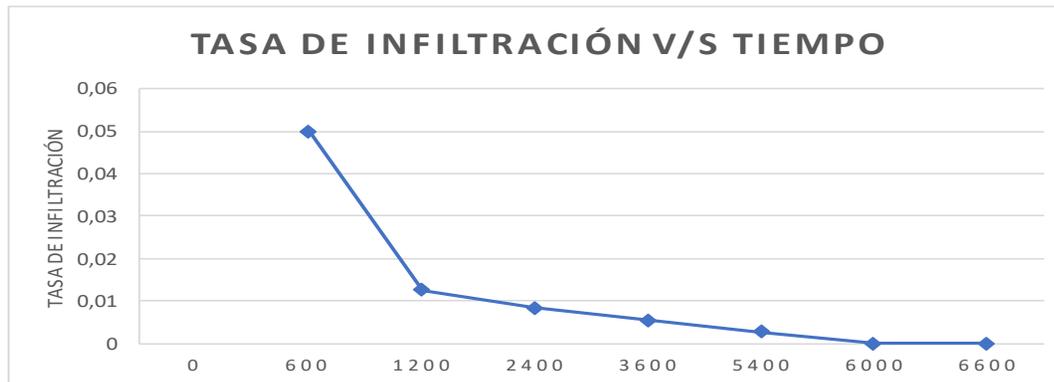


Figura 1. Ensayo

**ENSAYO PERMEABILIDAD LEFRANC**

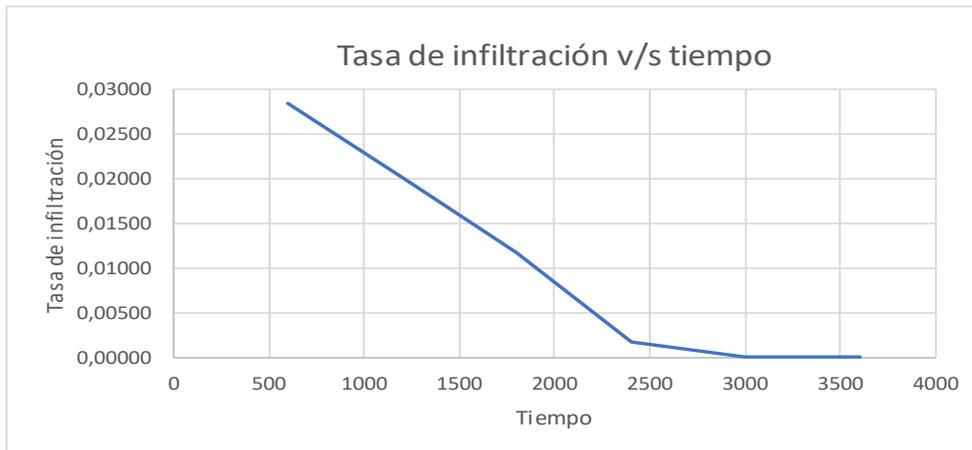


Profesor a cargo: **MAURICIO JARA ORTÍZ**      Nombre alumno: **CONSTANZA GONZÁLEZ S.**      Ayudante: **BASTIÁN DÍAZ**      Fecha y hora de inicio:  
 Ubicación: **PUNTO 7**      ID Edificio: **Bienestar**      Coordenadas (x, y):  
 Altura **100 cm**      L **30 cm**      Diámetro **11 cm**      Fecha y hora de término:

$$k = \frac{2\pi R}{11(t_2 - t_1)} \times \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Tiempo acumulado	Tiempo acumulado	dif_ tiempo	lectura_l	dif_lectura	$\ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$	$2\pi R$	$11(t_2 - t_1)$	Velocidad de infiltración			Tasa de infiltración	Observaciones
min	s	minutos	cm	cm		cm	s	cm/min	cm/s	m/s	mm/s	
CARGA VARIABLE												
0	0		55,3									
10	600	10	57	1,7	0,030278	69,1152	110	1,14147	0,019024499	1,902,E-04	0,02833	
20	1200	10	58,2	1,2	0,020834	69,1152	110	0,78543	0,013090473	1,309,E-04	0,02000	
30	1800	10	58,9	0,7	0,011956	69,1152	110	0,45072	0,007512028	7,512,E-05	0,01167	
40	2400	10	59	0,1	0,001696	69,1152	110	0,06395	0,001065853	1,066,E-05	0,00167	
50	3000	10	59	0	0	69,1152	110	0,00000	0	0,000,E+00	0,00000	
60	3600	10	59	0	0	69,1152	110	0,00000	0	0,000,E+00	0,00000	

**6,782,E-05**



## METODOS INDIRECTOS

Memorista: *Constanza González S.*

Guía: *Mauricio Jara Ortíz*

Localización: *Punto 7, Facultad de Ingeniería, Curicó.* Fecha: *16-01-2020*

Masa picnómetro:	24,970 gr	Densidad seca del suelo:	1,589 gr/cm <sup>3</sup>
Masa picnómetro + muestra seca:	33,530 gr	Humedad:	30,201
Masa seca:	8,560 gr	Índice de vacíos	0,400
Masa picnómetro + agua a 20°C:	50,110 gr	Porosidad:	0,286
Masa picnómetro + muestra + agua	54,830 gr	Aceleración de gravedad:	9,810 m/s <sup>2</sup>
Peso específico del agua:	0,998 gr/cm <sup>3</sup>	Viscosidad cinemática del agua:	1,011E-06 m <sup>2</sup> /s
Densidad de partículas sólidas:	2,225 gr/cm <sup>3</sup>	$(d_{10})^2$ (m)	1,814760,E-09
Gravedad específica del suelo:	2,226	Cu	1,000

### Fórmula de Allen- Hazen

$$K = \frac{g}{\nu} \cdot C_H \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_H = 6 \cdot 10^{-4}$$

$$f(n) = 1 + 10 \cdot (n - 0.26)$$

f(n)	1,2573231
CH	0,0006
k (m/s) =	1,33,E-05

### Fórmula de Beyer

$$K = \frac{g}{\nu} \cdot C_B \cdot (d_{10})^2$$

$$C_B = 6 \cdot 10^{-4} \cdot \log\left(\frac{500}{C_U}\right)$$

CB	0,0016194
Cu	1
k (m/s)	2,85,E-05

### Fórmula de Slichter

$$K = \frac{g}{\nu} \cdot C_S \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_S = 0.01$$

$$f(n) = n^{3.287}$$

f(n)	0,0162831
k (m/s)	2,87,E-06

### Fórmula de Kozeny

$$K = \frac{g}{\nu} \cdot C_K \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_K = 8.3 \cdot 10^{-4}$$

$$f(n) = \frac{n^3}{(1-n)^2}$$

f(n)	=	0,0457252
k (m/s)	=	7,E-07



Figura 1.  
Picnómetro+muestra+agua

o) Registro de los datos obtenidos en el punto 8

**ENSAYO GRANULOMÉTRICO**

Memorista: *Constanza González Sepúlveda* Guía: *Mauricio Jara Ortíz*  
Localización *Punto 8, Facultad de Ingeniería, Curicó.* Fecha: *22-01-2020*

Tamaño máximo de la muestra:	0,0426 mm
Peso recipiente :	1240,80 g
Peso recipiente + muestra seca:	3500,80 g
Peso muestra seca:	2260,00 g
Peso muestra <b>que pasa</b> el tamiz n°4:	1723,80 g
Peso muestra <b>retenida</b> en tamiz n°4:	g
Muestra lavada y seca + recipiente:	2963,60 g
Muestra lavada y seca retenida en tamiz #200:	1722,80 g
Porcentaje que pasa #200	23,769912 %

MALLA	APERTURA (mm)	Recipiente + muestra	Peso retenido	% Retenido	% Acumulado	% que pasa
N°8	4,760	276,100	276,100	16,026	16,03	83,97
N°10	2,000	375,000	98,900	5,741	21,77	78,23
N°30	0,600	1359,200	984,200	57,128	78,89	21,11
N°40	0,426	1483,100	123,900	7,192	86,09	13,91
N°200	0,074	1707,500	224,400	13,025	99,11	0,89
		1722,2	14,700	0,853	99,97	0,03
		Total:	1722,200	99,965		



Figura 1. Paredes de la



Figura 2. Aspecto de la

**ENSAYO DENSIDAD IN-SITU MEDIANTE CONO DE ARENA**

Memorista: **Constanza González Sepúlveda**      Guía: **Mauricio Jara Ortíz**  
 Localización: **Punto 8, Facultad de Ingeniería, Cur.** Fecha: **21-01-2020**

Diámetro placa:                    15,24 cm    Peso bolsa:                                    25,7 g  
 Altura perforación:                15 cm    Arena + cono antes del ensayo:        8084,8 g  
 Bolsa+muestra húmeda:        4912,7 g    Arena + cono después del ensayo:    2170,4 g  
 Bolsa+muestra seca:            4561,9 g    Humedad:                                    7,733345 %

Determinación de la masa seca según NCh1516

$m_h$	$\omega$	$m_s$
4887	7,7333451	4536,2

$m_h$  : masa húmeda de la muestra extraída durante el ensayo (g)

$\omega$  : humedad de la muestra extraída durante el ensayo (%)

$m_s$  : masa seca de la muestra extraída durante el ensayo (g)

Observaciones:

Volúmen de la perforación del ensayo

$m_a$	$m_e$	$\rho_a$	$V_S$
5914,4	1277	1,479	3135,497

$m_a$  : masa de arena empleada en el ensayo (g)

$m_e$  : masa de arena que llena el embudo (g)

$\rho_a$  : densidad aparente de la arena (g/cm<sup>3</sup>)

$V_S$  : volumen de la perforación del ensayo (cm<sup>3</sup>)

Observaciones:

Densidad seca del suelo

$$\rho_d = \frac{m_s}{V_S} \quad \rightarrow \quad \rho_d = 1,446724415 \frac{g}{cm^3}$$



Figura 1. Equipo

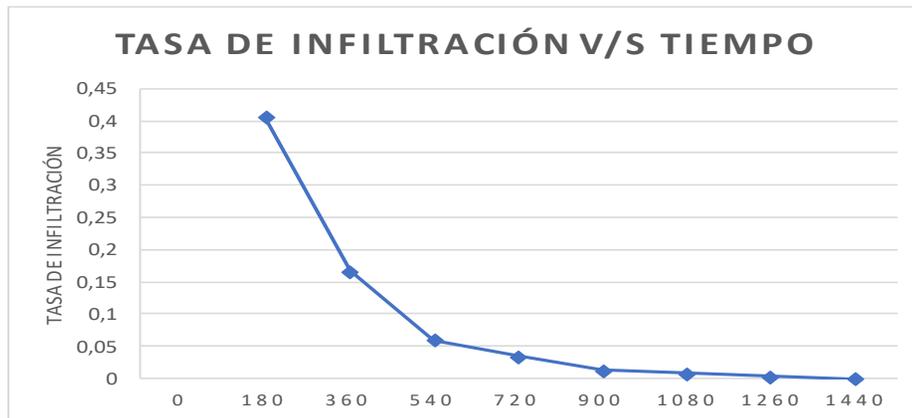


Figura 2. Perforación de 15

**ENSAYO PERMEABILIDAD IN SITU**

Profesor a cargo: **MAURICIO JARA O.** Nombre alumno: **CONSTANZA GONZÁLEZ S.** Ayudante: **BASTIAN DÍAZ F.**  
 Ubicación: **PUNTO 8** ID Edificio: **CANCHA** Coordenadas (x, y): **6124310.05 296500.03**  
 Fecha y hora de inicio: **21-01-2020 11:00** Profundidad: **60 cm**  
 Fecha y hora de termino: **21-01-2020 11:25** Lado: **50 cm**

T_acumulado minutos	T_acumulado segundos	dif tiempo minutos	lectura cm	dif lectura cm	$\frac{R}{2(t_2 - t_1)}$	$\frac{(2h_1 + R)}{(2h_2 + R)}$	Ln	Velocidad de infiltración			Tasa mm/s	
								cm/min	cm/s	m/s		
0	0		28									
3	180	2,5	35,3	7,3	10	0,847280	0,165724	1,657237	0,027621	0,000276	0,40555556	
6	360	2,5	41,3	6	10	0,888476	0,118248	1,182478	0,019708	0,000197	0,16666667	
9	540	2,5	44,5	3,2	10	0,943860	0,057778	0,577778	0,009630	0,000096	0,05925926	
12	720	2,5	47	2,5	10	0,957983	0,042925	0,429250	0,007154	0,000072	0,03472222	
15	900	2,5	48,1	1,1	10	0,981848	0,018319	0,183186	0,003053	0,000031	0,01222222	
18	1080	2,5	49	0,9	10	0,985366	0,014742	0,147423	0,002457	0,000025	0,00833333	
21	1260	2,5	49,4	0,4	10	0,993538	0,006483	0,064830	0,001081	0,000011	0,0031746	
24	1440	2,5	49,4	0	10	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0	
<b>PROMEDIO</b>									<b>0,69623</b>	0,01160	<b>1,16,E-04</b>	



**ENSAYO PERMEABILIDAD LEFRANC**

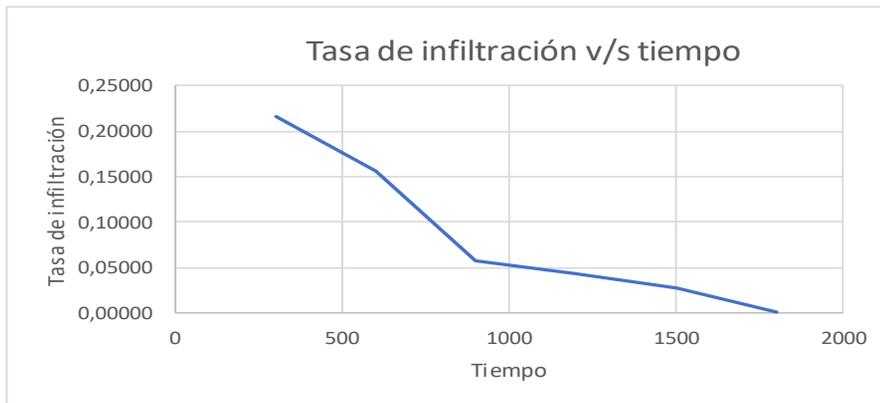


Profesor a cargo: **MAURICIO JARA ORTÍZ**      Nombre alumno: **CONSTANZA GONZÁLEZ SEPÚLVEDA**      Ayudante: **BASTIÁN DÍAZ**      Fecha y hora de inicio: **21/01/20 13:00**  
 Ubicación: **PUNTO 8**      ID Edificio: **CANCHA**      Coordenadas (x, y): **6124310.05 296500.03**      Fecha y hora de término: **21/01/20 13:30**  
 Altura: **100 cm**      L: **30 cm**      Diámetro: **11 cm**

$$k = \frac{2\pi R}{11(t_2 - t_1)} \times \text{Ln}\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Tiempo acumulado min	Tiempo acumulado s	dif_ tiempo minutos	lectura_l cm	dif_lectura cm	$\text{Ln}\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$	$2\pi R$ cm	$11(t_2 - t_1)$ s	Velocidad de infiltración			Tasa de infiltración mm/s	Observaciones
								cm/min	cm/s	m/s		
<b>CARGA VARIABLE</b>												
0	0		47									
5	300	5	53,5	6,5	0,129534	69,1152	55	9,76666	0,162777671	1,628,E-03	0,21667	
10	600	5	58,2	4,7	0,084204	69,1152	55	6,34882	0,105813739	1,058,E-03	0,15667	
15	900	5	59,9	1,7	0,028791	69,1152	55	2,17081	0,036180111	3,618,E-04	0,05667	
20	1200	5	61,2	1,3	0,021471	69,1152	55	1,61886	0,026980921	2,698,E-04	0,04333	
25	1500	5	62	0,8	0,012987	69,1152	55	0,97921	0,016320229	1,632,E-04	0,02667	
30	1800	5	62	0	0	69,1152	55	0,00000	0	0,000,E+00	0,00000	

**6,961,E-04**



## MÉTODOS INDIRECTOS

Memorista: **Constanza González Sepúlveda**      Guía: **Mauricio Jara Ortíz**  
 Localización: **Punto 8, Facultad de Ingeniería, Curicó.**      Fecha: **22-01-2020**

Masa picnómetro:	30,790 gr	Densidad seca del suelo:	1,447 gr/cm <sup>3</sup>
Masa picnómetro + muestra seca:	52,430 gr	Humedad:	7,733
Masa seca:	21,640 gr	Índice de vacíos	0,780
Masa picnómetro + agua a 20°C:	79,020 gr	Porosidad:	0,438
Masa picnómetro + muestra + agua	92,270 gr	Aceleración de gravedad:	9,810 m/s <sup>2</sup>
Peso específico del agua:	0,998 gr/cm <sup>3</sup>	Viscosidad cinemática del agua:	1,011E-06 m <sup>2</sup> /s
Densidad de partículas sólidas:	2,575 gr/cm <sup>3</sup>	$(d_{10})^2$ (m)	1,814760,E-09
Gravedad específica del suelo:	2,575	Cu	1,000

### Fórmula de Allen- Hazen

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_H \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_H = 6 \cdot 10^{-4}$$

$$f(n) = 1 + 10 \cdot (n - 0.26)$$

f(n) = 2,7808199  
 CH = 0,0006  
 k (m/s) = 2,94,E-05

### Fórmula de Beyer

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_B \cdot (d_{10})^2$$

$$C_B = 6 \cdot 10^{-4} \cdot \log\left(\frac{500}{C_U}\right)$$

CB = 0,0016194  
 Cu = 1  
 k (m/s) = 2,85,E-05

### Fórmula de Slichter

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_S \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_S = 0.01$$

$$f(n) = n^{3.287}$$

f(n) = 0,0663426  
 k (m/s) = 1,17,E-05

### Fórmula de Kozeny

$$K = \frac{g}{v} \cdot C_K \cdot f(n) \cdot (d_{10})^2$$

$$C_K = 8.3 \cdot 10^{-4}$$

$$f(n) = \frac{n^3}{(1-n)^2}$$

f(n) = 0,2662688  
 k (m/s) = 4,E-06



*Figura 1.*  
 Picnómetro+muestra+agu