

**COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL
LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE
ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI
PARA ARENAS DEL RIO MANCO Y RIO FRIO**

**PAULA MARCELA MORENO MARTINEZ
EDGAR MAURICIO VARGAS HERRERA**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2008**

**COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL
LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE
ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI
PARA ARENAS DEL RIO MANCO Y RIO FRIO**

**PAULA MARCELA MORENO MARTINEZ
EDGAR MAURICIO VARGAS HERRERA**

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniera Civil

Director

INGENIERO GERARDO BAUTISTA GARCÍA

Magíster en Ingeniería Civil

Área de Geotecnia



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2008

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, Septiembre del 2008

....En estos momentos en los cuales culmino una etapa importante y linda de mi vida, la cual me permitirá seguir en mi camino de crecimiento personal, espiritual y profesional, le doy gracias al dueño de la vida.... A Dios, por haberme dado la fortaleza y dones necesarios para lograr esta meta.

.....A mis padres y hermana por el amor, confianza y el apoyo que me brindaron especialmente en los momentos difíciles.

..... A mis demás familiares, amigos y profesores quienes de una u otra forma contribuyeron para permitirme cumplir este sueño.

PAULA MARCELA MORENO MARTÍNEZ.

.... A dios que me ha brindado sabiduría y constancia para poder lograr las metas que me he propuesto y dificultades que en algún momento tuve...

... a mis padres y hermanos que siempre han sido mi apoyo para poder lograr esta meta que me propuse hace un tiempo...

EDGAR MAURICIO VARGAS HERRERA.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestra gratitud a cada uno de nuestros familiares que nos brindaron su apoyo en todo momento y acompañaron en este camino para alcanzar nuestros objetivos.

A la Universidad Pontificia Bolivariana, y en especial a la facultad de Ingeniería Civil.

Al Ingeniero Gerardo Bautista García director de tesis, por su apoyo incondicional y entrega en esta investigación.

A la ingeniera Piedad Lizcano y al señor Helí Rueda por su ayuda al guiarnos y brindarnos sus conocimientos acerca de las practicas utilizadas en el laboratorio.

A todos los docentes que intervinieron en nuestra formación profesional, en especial a los Ingenieros Néstor Iván Prado, Juan Carlos Forero, Ricardo Pico, Rafael Enrique Ortiz, Claudia Retamoso, Aldemar Remolina y Álvaro Real.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. OBJETIVOS	19
1.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2. ANTECEDENTES	20
3. METODOLOGIA	24
4. MARCO TEORICO	26
4.1 DEFINICION Y PRINCIPALES TIPOS DE SUELOS	26
4.1.1 Gravas	26
4.1.2 Arenas	27
4.1.3 Limos	27
4.1.4 Arcillas	28
4.2 TAMAÑO Y FORMA DE LAS PARTICULAS	28
4.3 CLASIFICACION DE LOS SUELOS	30
4.3.1 Sistema de clasificacion de suelos	31
4.3.2 Sistema AASHTO	31
4.3.3 Sistema unificado de clasificacion de los suelos USCS	33
4.3.4 Procedimiento de clasificacion de suelos de granos gruesos (mas 50% retenido en 0,08 mm)	34

4.3.5 Procedimiento de clasificación de suelos de granos finos (50% o mas pasa por 0,08 mm)	36
4.4 PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS	39
4.4.1 Ley de darcy	43
4.4.2 Coeficiente de permeabilidad	45
4.4.2.1 Pruebas directas	47
4.4.2.2 Pruebas indirectas	47
4.4.2.3 Formula Allen Hazen	47
4.4.2.4 Formula Schlichter	48
4.4.2.5 Formula Terzaghi	48
4.5 CARACTERISTICAS Y ESTRUCTURA FISICA DEL SUELO	49
4.5.1 Peso volumetrico	51
4.5.1.1 Porosidad (n)	52
4.5.1.2 Relación de vacios o indices de poros (e)	52
4.5.1.3 Grado de saturación (sr)	53
4.5.2 Relacion gravimetricas	53
4.5.2.1 Contenido de agua o humedad (w)	53
4.5.2.2 Densidad o peso unitario del suelo humedo (γ_m)	54
4.5.2.3 Densidad o peso unitario del suelo seco (γ_d)	54
4.5.2.4 Peso unitario de sólidos o densidad de sólidos (γ_s)	54
4.5.2.5 Gravedad específica o peso específico relativo (g_s)	55
4.5.2.6 Densidad o peso unitario sumergido (γ')	56

5. RESULTADOS OBTENIDOS	57
5.1 GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS	57
5.2 CONSTANTES DE PERMEABILIDAD	59
5.2.1 Tablas de resultados de permeabilidad de las arenas seleccionadas	61
5.3 GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS	64
5.3.1 Tablas de resultados de gravedad especifica de solidos de las arenas seleccionadas	66
6. ANALISIS DE LOS RESULTADOS	69
6.1. ARENA DEL RIO MANCO	69
6.1.1. Análisis de las constantes de Allen Hazen, Terzaghi y Schlichter para la arena del río Manco.	70
6.1.2. Análisis del ajuste propuesto para disminuir los porcentajes de error en las ecuaciones de Allen Hazen, Terzaghi y Schlichter para la arena del río Manco.	75
6.1.3. Análisis de porcentajes de error para los coeficientes K en las fórmulas de Terzaghi, Schlichter y Allen Hazen para la arena del río Manco.	77
6.2. ARENA DEL RIO FRIO	82
6.2.1. Análisis de las constantes de Allen Hazen, Terzaghi y Schlichter para la arena del río Frío.	83
6.2.2. Análisis del ajuste propuesto para disminuir los porcentajes de error en las ecuaciones de Allen Hazen, Terzaghi y Schlichter para la arena del río Frío.	87
6.2.3. Análisis de porcentajes de error para los coeficientes K en las fórmulas de Terzaghi, Schlichter y Allen Hazen para la arena del río Frío.	89

7. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	96
8. CONCLUSIONES	98
BIBLIOGRAFIA	100

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Relación de porosidad (n) vs compacidad (c).	22
Tabla 2. Determinación de Co según la forma de los agregados	22
Tabla 3. Tamaño comparativo de los granos de suelos	30
Tabla 4. Sistema de clasificación Sucs (a)	38
Tabla 5. Sistema de clasificaron Sucs (b)	39
Tabla 6. Clasificación de los suelos según sus coeficientes de permeabilidad, según Terzaghi y Peck.	40
Tabla 7. Valores relativos del coeficiente de permeabilidad	46
Tabla 8. Permeabilidad de los suelos (k) (cm/seg)	46
Tabla 9. Relación de porosidad (n) vs compacidad (c)	48
Tabla 10. Determinación de Co según la forma de los agregados	49
Tabla 11. Permeabilidad del Río Manco	62
Tabla 12. Permeabilidad del Río Frío	63
Tabla 13. Gravedad específica de sólidos del Río Manco	66
Tabla 14. Gravedad específica de sólidos del Río Frío	67
Tabla 15. Relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo	69
Tabla 16. Comparación de las constantes de permeabilidad Río Manco	71
Tabla 17. Determinación de Co según la forma de los agregados	74
Tabla 18. Porcentajes de error Allen Hazen – Río Manco	78

Tabla 19. Porcentajes de error Terzaghi – Río Manco	79
Tabla 20. Porcentajes de error Schlichter – Río Manco	81
Tabla 21. Relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo	82
Tabla 22. Comparación de las constantes permeabilidad Río Frío	84
Tabla 23. Determinación de C_o según la forma de los agregados	87
Tabla 24. Porcentajes de error Allen Hazen – Río Frío	90
Tabla 25. Porcentajes de error Terzaghi – Río Frío	92
Tabla 26. Porcentajes de error Schlichter – Río Frío	94

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema de clasificación Sucs (obtenida de carta de plasticidad).	36
Figura 2. Bowles, Joseph. Propiedades de los suelos. / Editorial Mc GRAW-HILL, 1982	41
Figura 3. Esquema del dispositivo para medir la permeabilidad (a y b) permeámetro de carga constante; c permeámetro e carga hidráulica decreciente (tomado de mecánica de suelos en la ingeniería practica por Kart Terzaghi / editorial el ateneo 2 ^a edición	43
Figura 4. Esquema de una muestra de suelo, con la indicación de los símbolos usados. (Tomado de Notas del curso de Mecánica de Suelos I, Gonzalo Duque Escobar).	50

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Grafica 1. Calibración del matraz No. 2	65
Grafica 2. Relación de comportamiento de la porosidad (n) vs constante de Schlichter (c). Datos originales Schlichter.	72
Grafica 3. Relación de comportamiento de la porosidad (n) vs constante de Schlichter (c). Datos Río Manco.	73
Grafica 4. Relación de comportamiento de la porosidad (n) vs constante de Schlichter (c). Datos originales Schlichter.	85
Grafica 5. Relación de comportamiento de la porosidad (n) vs constante de Schlichter (c). Datos Río Frío.	86

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Registro fotográfico	102
Anexo B. Ensayos de granulometría	110
Anexo C. Ensayos de peso específico relativo	117
Anexo D. Ensayos de permeabilidad	124
Anexo E. Normas de INVIAS I.N.V.E – 123 / 2002 para la Ejecución de ensayos granulométricos	155
Anexo F. Normas de INVIAS I.N.V.E – 128 / 2002 para la Ejecución de ensayos de peso específico relativo de los suelos	167
Anexo G. Normas de INVIAS I.N.V.E – 130 / 2002 para la Ejecución de ensayos de coeficiente de permeabilidad de cabeza constante	183

RESUMEN

Con este proyecto se determinó el comportamiento que tienen las arenas del río manco y río frío del departamento de Santander cuando se presente ante ellas problemas relativos a la conducción del agua, a través de canales de flujos estrechos como los que poseen las arenas.

Para poder analizar este comportamiento se realizaron ensayos de laboratorio. El primero de los ensayos que se realizó fue el ensayo de granulometría de una muestra significativa del suelo que consiste en hacer pasar cada una de las arenas a través de una serie de tamices estándar con aberturas cada vez mas pequeñas los cuales separan las partículas de la arena en diferentes tamaños, lo cual nos sirvió para clasificar el suelo y hallar el D_{10} .

Otro de los ensayos realizados fue el ensayo de peso específico del suelo, del cual se hicieron 30 tomas de cada arena para tener una muestra representativa.

Este ensayo se define básicamente como el peso por unidad de volumen.

También se realizaron los ensayos de permeabilidad con el cual analizamos el comportamiento y las tendencias que el agua pueda llegar a producir dentro de la estructura del suelo.

Por ultimo se calcularon las constantes propias de las ecuaciones de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi que hicieran aplicables dichas ecuaciones a las arenas estudiadas.

SUMMARY

With this project was determined the behavior that shows the sands of Río Manco and Río Frío in the Santander Department when they are exposed to problems relative to the water conduction, through stretch flow channels like those who are proper of the sands. To be able to analyze this behavior it was made laboratory tests. The first test was the granulometric one of a representative sample of the soil that consist in making pass each sample through a series of series with openings increasingly small; which are in charge of separate the particles of sands in different sizes, which served us to classify the soil and find the D10.

Another of the test was the specific weight of the soil, of which there were done 30 samples of each sands in order to have a representative sample.

This test is defined basically as the weight per unit of volume. Also there were made the test of permeability which was useful to analyze the behavior and the trends that trends that the water could manage to cause inside of the soils' structure. Finally, we calculate the proper constants of the Allen Hazen's, Schlichter's and Terzaghi's equations, in such a way that they were becoming applicable to the studied sands.

INTRODUCCION

Siguiendo la investigación empezada por la Ingeniera Ketty Plata egresada de la Universidad Pontificia Bolivariana, quien empezó comparando la permeabilidad de las arenas de los ríos topos, pescadero y bocas, se quiso seguir con dicha investigación, comparando otros tipos de arenas del departamento de Santander.

Para poder comparar las arenas que se escogieron “Río Frío y Río Manco” se realizaron diversos ensayos de laboratorio para tener una serie de variables, que después se compararon con los coeficientes de permeabilidad calculados por las formulas de Hazen, Schlichter y Terzaghi. En tal sentido se ha podido establecer que la constante k es propia de cada suelo y depende, entre otros, de factores como la relación de vacío, el grado de saturación, el tamaño y la forma de los poros, las características del fluido en succión de la temperatura etc.

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos, se realizo un análisis estadístico para la comparación pertinente entre las muestras de arena; y la obtención de las constantes propias de cada método para cada arena.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

- ❖ Comprobar la aplicación de las fórmulas de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi para la determinación del coeficiente de permeabilidad de las arenas del río Manco y río Frío.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Seleccionar arenas que contengan un porcentaje menor al 10% de finos.
- ❖ Realizar ensayos de granulometría, gravedad específica relativa de suelos y permeabilidad.
- ❖ Realizar análisis estadísticos con los resultados de los ensayos.
- ❖ Verificar y/o ajustar las fórmulas de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi, determinando las constantes de cada fórmula para las arenas estudiadas.
- ❖ Hacer recomendaciones acerca de las limitaciones y rangos de aplicación de las fórmulas evaluadas.

2. ANTECEDENTES

En 1.856 científico francés Henry Darcy, investigó un tema de gran interés en la Mecánica de Suelos, como lo fue el comportamiento de las características del agua a través de filtros de materiales térreos como lo son las arenas; y de donde obtiene la siguiente fórmula:

$$Q = d V / d t = K A i \quad (\text{cm}^3 / \text{seg.})$$

V = Velocidad del flujo.

t = Tiempo.

A = Área de la sección transversal del filtro.

i = Gradiente hidráulico.

K = Coeficiente de permeabilidad del suelo. (Constata física proporcionalidad).

Con las investigaciones posteriores basadas en la Ley de Darcy, existen diversos métodos para medir el coeficiente de permeabilidad (*k*) de un suelo; dentro de los cuales podemos clasificar como:

a. Directos:

- ❖ Permeámetro de carga constante.
- ❖ Permeámetro de carga variable.
- ❖ Prueba directa de suelos en el lugar.

b. Indirectos:

- ❖ Cálculo a partir de la curva granulométrica.
- ❖ Cálculo a partir de la prueba de consolidación.

- ❖ Cálculo con la prueba horizontal de capilaridad.

Para el desarrollo de esta tesis se escogió como método directo el ensayo de carga constante para determinar el coeficiente de permeabilidad. Asimismo, se escogieron las ecuaciones de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi como métodos indirectos para obtener el coeficiente de permeabilidad a partir de la curva granulométrica.

ALLEN HAZEN:

Fórmula Allen Hazen

$$K = C (0.7 + 0.03 t) D_{10}^2 \quad (\text{cm/seg.})$$

Los valores de la constante C están comprendidos entre: $41 \leq C \leq 146$ donde Hazen logra establecerlo como un $C_{\text{prom}} = 116$.

t = Temperatura en $^{\circ}\text{C}$.

D_{10} = Llamado por Hazen como diámetro efectivo, es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10% en peso, del suelo.

SCHLICHTER:

Fórmula Schlichter

$$K = 771 * \frac{D_{10}^2}{C} * (0.7 + 0.03 t) \quad (\text{cm/seg.})$$

C es una función de la porosidad (n), que corresponde a los valores a continuación:

Porosidad (n)	0.26	0.38	0.46
Compacidad (C)	83.4	24.1	12.8

Tabla 1. Relación de Porosidad (n) vs. Compacidad (C). (Tomado de Mecánica de Suelos, Juárez Badillo, TOMO I).

t = Temperatura en °C.

D₁₀ = Llamado por Hazen como diámetro efectivo, es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10% en peso, del suelo.

TERZAGHI:

Fórmula Terzaghi

$$K = C_1 (0.7 + 0.03 t) D_{10}^2 \quad (\text{cm/seg.})$$

$$C_1 = C_o \left(\frac{n - 0.13}{\sqrt[3]{1 - n}} \right)^2$$

n = Porosidad.

t = Temperatura en °C.

D₁₀ = Llamado por Hazen como diámetro efectivo, es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10% en peso, del suelo.

En donde **C_o** es un coeficiente con los valores indicados en la siguiente tabla:

Arenas de granos redondeados	C_o = 800
Arenas de granos angulosos	C_o = 460
Arenas con limos	C_o < 400

Tabla 2. Determinación de C_o según la forma de los agregados. (Tomado de Mecánica de Suelos, Juárez Badillo, TOMO I).

ANTECEDENTES EN LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

En el primer semestre del 2007 la estudiante Ketty Plata realizó un estudio similar, trabajando con las arenas de los ríos topos, pescadero y bocas.

Producto de esta investigación se obtuvo un ajuste de las ecuaciones de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi, ya que las constantes originales no aplican a las arenas estudiadas. Los valores obtenidos de las constantes de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi, para pescadero fueron de Ca: 8,55, Cs:27,93, C1t:58,67, Cot: 130,07 para bocas fueron de Ca: 7,74, Cs: 44,130, C1t:35,65, Cot: 175,30 y por último para topos fueron de Ca: 8,37, Cs: 36,59, C1t:43,66, Cot: 154,22.

Esta investigación sirve como punto base para la continuación de nuevos estudios y análisis de arenas diferentes.

En el primer semestre del 2008 los estudiantes Héctor Bayona Gutiérrez y Sergio Mauricio Prada Uribe, realizaron un estudio similar, trabajando con las arenas de, Sogamoso y Magdalena.

Producto de esta investigación se obtuvo un ajuste de las ecuaciones de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi, ya que las constantes originales no aplican a las arenas estudiadas, obteniendo resultados para Sogamoso de Ca: 13,10, Cs: 61,81, C1t:13,09, Cot: 100,19 y para Magdalena de Ca: 7,78, Cs: 101,72, C1t:89,88, Cot: 7,78.

En esta nueva etapa se pretende analizar las arenas del Río Manco, ubicado en el departamento de Santander en el municipio de Piedecuesta y Río Frío, ubicado en el departamento de Santander municipio de Floridablanca.

3. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo esta tesis, se realizaron una serie de actividades que nos permitieran llegar a la comparación de los coeficientes de permeabilidad obtenidos en el laboratorio, con respecto a los calculados con las formulas originales de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi.

- ❖ Primero se estudiaron los ensayos de granulometría, gravedad específica de sólidos y permeabilidad, basándonos en las normas de INVIAS, para conocer los principios y procedimientos, y así poder optimizar y minimizar el porcentaje de error.
- ❖ Al conocer y estudiar lo necesario para poder llegar a conclusiones relacionadas con la investigación se recogieron dos (2) tipos diferentes de arenas del departamento de Santander “río frío y río manco” para realizar los ensayos, pruebas y análisis requeridos.
- ❖ A las arenas seleccionadas se les realizaron varios ensayos; el primero fue el de granulometría para poder comprobar que el porcentaje de finos fuera menor al 10%, pues si no cumple con este criterio no se podría calcular el D10. Luego se hicieron los ensayos de permeabilidad y gravedad específica, de los cuales se tomaron 30 muestras de cada una de las arenas para poder tener un punto de comparación con los datos obtenidos con las formulas originales.
- ❖ Luego de terminados los ensayos, se analizaron cada uno de los datos y variables obtenidos, y se realizaron los estudios y cálculos, para poder llegar a la comparación del coeficiente de permeabilidad con respecto a las formulas de Allen Hazen, Terzaghi y Schlichter.

- ❖ Se recopilaron, se tabularon y se graficaron los datos tomados y obtenidos tanto en el laboratorio como los calculados por las formulas, para concluir y dar recomendaciones a futuras investigaciones realizadas por la Universidad Pontificia Bolivariana o sus mismos alumnos.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 DEFINICION Y PRINCIPALES TIPOS DE SUELOS ¹

Los materiales que constituyen la corteza terrestre son clasificados por el ingeniero civil, en forma arbitraria, en dos categorías suelo y roca. Se llama suelo al agregado natural de partículas minerales separables por medios mecánicos de poca intensidad, como agitación en agua. Por el contrario, la roca son agregados de minerales unidos por fuerzas cohesivas poderosas y permanentes.

De acuerdo con el origen de sus elementos, los suelos se dividen en dos amplios grupos: suelos cuyo origen se debe a la descomposición física y/o química de las rocas, o sea los suelos inorgánicos, y los suelos cuyo origen es principalmente el órgano.

A continuación se describen los suelos más comunes con los nombres generalmente utilizados por el ingeniero civil para su identificación

4.1.1 gravas

Las gravas son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen más de dos milímetros de diámetro. Como material suelto suele encontrarse en los lechos, en las márgenes y en los conos de deyección de los ríos. También en muchas depresiones de terrenos rellenadas por el acarreo de los ríos y en muchos otros lugares a los cuales las gravas han sido retransportadas.

¹ Mecánica de suelos y cimentaciones [Crespo]/ 4ª edición /editorial LIMUSA noriega editores

Las gravas ocupan grandes extensiones, pero casi siempre se encuentran con mayor o menor proporción de cantos rodados, arenas, limos y arcillas. Sus partículas varían desde 7.62 cm hasta 2.0 mm.

4.1.2 Arenas

La arena es el nombre que se le da a los materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración, y cuyas partículas varían entre 2 mm y 0.05 mm de diámetro.

El origen y la existencia de las arenas es análoga a la de las gravas: las dos suelen encontrarse juntas en el mismo depósito. La arena de río contiene muy a menudo proporciones relativamente grandes de grava y arcilla. Las arenas estando limpias se contraen al secarse, no son plásticas, con mucho menos compresibles que la arcilla y si se aplica una carga en su superficie, se comprimen casi de manera instantánea.

4.2.3 Limos

Los limos son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico como el producido en cantera, o limo orgánico como el que suele encontrarse en los ríos, siendo en este último caso de características plásticas. El diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0.05 mm y 0.005 mm. Los limos sueltos y saturados son completamente inadecuados para soportar cargas por medio de zapata. Su color varía desde gris claro a muy oscuro. La permeabilidad de los limos orgánicos es muy baja y su compresibilidad muy alta.

4.2.4 Arcillas

Se da el nombre de arcilla a las partículas sólidas con diámetro menor de 0.005 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua. Químicamente es un silicato de alúmina hidratado, aunque en no pocas ocasiones contiene también silicatos de hierro o de magnesio hidratados. La estructura de estos minerales es, generalmente, cristalina y complicada, y sus átomos están dispuestos en forma laminar.

4.2 TAMAÑO Y FORMA DE LAS PARTICULAS ²

El tamaño de las partículas que constituyen los suelos varían entre aquel de un canto rodado y el de una molécula grande.

Los granos comprendidos entre los 0.06 mm y 2 micrones (un micrón es igual a 0.001 mm) pueden ser examinados con la ayuda del microscopio y constituyen la fracción fina de los suelos.

Los granos menores de 2 micrones constituyen la fracción muy fina. De estos, los comprendidos entre 2 micrones y 0.1 micrón pueden ser distinguidos con el microscopio, aunque nos llegue a percibir su forma. Para los granos menores de un micrón esta puede ser determinada con el microscopio electrónico, e investigada su estructura molecular por medio de rayos X

El proceso de separar un agregado de suelo en sus diferentes fracciones, cada

² Mecánica de suelos en la ingeniería práctica por KARL TERZAGHI/ Editorial EL ATENEO 2ª edición.

una consistente en granos de tamaños distintos, dentro de ciertos límites, se conoce con el nombre de análisis mecánico o análisis granulométrico.

Por medio del análisis granulométrico se ha encontrado que la mayoría de los suelos naturales contienen granos de dos o más fracciones. Las características particulares de un suelo compuesto están casi enteramente determinadas por las propiedades de la fracción mas fina. En este aspecto, los suelos por las propiedades de la fracción mas fina. En este aspecto, los suelos son similares al hormigón, cuyas propiedades están determinadas principalmente por el cemento, mientras que el agregado, que constituye su mayor parte, actúa como inerte. El “agregado” o parte inerte de un suelo compuesto forma entre 80 y al 90 % de su peso seco total, y la parte decisiva o activa el resto.

Las fracciones muy gruesas, por ejemplo la grava, consisten en fragmentos de rocas compuestos de uno o más minerales. Los fragmentos pueden ser angulares, redondeados o chatos. Pueden ser sanos o mostrar signos de considerable descomposición, ser resistentes o deleznales.

En las fracciones finas y muy finas cada grano esta constituido generalmente de un solo mineral. Las partículas pueden ser angulares, en forma de escamas y ocasionalmente con forma tubular, pero nunca redondeadas. En algunos casos excepcionales, la fracción fina contiene un alto porcentaje de fósiles porosos, como diatomeas o radiolarias, que imparten al suelo propiedades mecánicas poco comunes. En general, el porcentaje de partículas escamosas aumenta en un suelo dado a medida que decrece el tamaño de sus fracciones.

El proceso puramente mecánico de desgaste no alcanza a reducir los granos duros y equidimensionales de minerales inalterados en fragmentos menos de unos 10 micrones (0.01 mm). En contraposición, las partículas friables, constituidas por

minerales secundarios con forma de escamas, aunque inicialmente muy pequeñas, son fácilmente desgastadas y desmenuzadas en partículas aun menores. Esto explica por que las fracciones muy finas de los suelos naturales componen principalmente de tal clase de partículas.

Para tener una idea del tamaño de los granos que constituyen un suelo, se presenta la tabla 3:

NOMBRE	TAMAÑO (mm.)	TAMAÑO COMPARATIVO
Bolo	≥ 305	Una pelota de baloncesto o mayor
Canto Rodado	76 – 305	Naranja – sandía
Grava Gruesa	30 – 76	Limón – naranja
Grava Media	19 – 30	Uva – limón
Grava Fina	4.76 – 19	Chícharo – uva
Arena Gruesa	2 – 4.76	Sal gruesa
Arena Mediana	0.42 – 2	Azúcar
Arena Fina	0.074 – 0.42	Azúcar en polvo

Tabla 3. Tamaño Comparativo de los granos de Suelos. (Tomado introducción a la mecánica de suelos colección 145 años Universidad Nacional De Colombia).

4.3 CLASIFICACION DE LOS SUELOS³

El suelo puede ser clasificado, de una manera general, como sin cohesión o cohesivo o como grueso o de grano fino. Como estos términos son muy generales y cubren una gran gama de propiedades físicas y de ingeniería, se requieren precisiones o medios de clasificación adicionales para determinar la convivencia de un suelo para propósitos específicos de ingeniería.

³ Bowles, Joseph. Propiedades Geográficas de Los Suelos. /Editorial Mc GRAW-HILL, 1982.

Numerosos sistemas de clasificación fueron propuestos en las décadas pasadas y, ocasionalmente, todavía alguien propone un nuevo sistema de clasificación. Del gran número de sistemas propuestos, el Sistema Unificado de Clasificación basado en el trabajo de Casagrande y el sistema de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Los diversos sistemas de clasificación que han sido propuestos, usan los tamaños de las partículas para diferenciar las clasificaciones generales de grupo, tales como grava, arena, limo y arcilla.

4.3.1. SISTEMA DE CLASIFICACION DE SUELOS⁴

Un Sistema de Clasificación de los Suelos es una agrupación de éstos con características semejantes. El propósito es estimar en forma fácil las propiedades de un suelo por comparación con otros del mismo tipo, cuyas características se conocen. Son tantas las propiedades y combinaciones en los suelos y múltiples los intereses ingenieriles, que las clasificaciones están orientadas al campo de ingeniería para el cual se desarrollaron, por consiguiente, sólo se explicarán las clasificaciones empleadas en obras viales.

4.3.2. SISTEMA AASHTO⁵

El Departamento de Caminos Públicos de Estados Unidos (Bureau of Public Roads) introdujo en 1929 uno de los primeros sistemas de clasificación, para evaluar los suelos

⁴⁻⁵ Bowles, Joseph. Propiedades Geográficas de Los Suelos. /Editorial Mc GRAW-HILL, 1982.

sobre los cuales se construían las carreteras. En 1945 fue modificado y a partir de entonces se le conoce como Sistema AASHO y recientemente AASHTO.

Este sistema describe un procedimiento para clasificar suelos en siete grupos, basado en las determinaciones de laboratorio de granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. La evaluación en cada grupo se hace mediante un "índice de grupo", el cual se calcula por la fórmula empírica:

$$IG = (F - 35) (0,2 + 0.005 (WI - 40)) + 0,01 (F - 15) (IP - 10).$$

En que:

F = Porcentaje que pasa por 0.08 mm, expresado en números enteros basado solamente en el material que pasa por 80 mm.

WI = Límite Líquido.

IP = Índice de Plasticidad.

Se informa en números enteros y si es negativo se informa igual a 0.

El grupo de clasificación, incluyendo el índice de grupo, se usa para determinar la calidad relativa de suelos de terraplenes, material de subrasante, subbases y bases. Todos los valores límites son enteros, si alguno de los datos es decimal, se debe aproximar al entero más cercano.

El valor del índice de grupo debe ir siempre en paréntesis después del símbolo del grupo, como: A-2-6 (3); A-7-5 (17), etc.

Este método define:

- Grava: material que pasa por 80 mm y es retenido en tamiz de 2
- Arena gruesa: material comprendido entre 2 mm y 0.5 mm
- Arena fina: material comprendido entre 0,5 y 0,08 mm.
- Limo arcilla: material que pasa por tamiz 0,08 mm.

El término material granular se aplica a aquellos con 35% o menos bajo tamiz 0,08 mm; limoso a los materiales finos que tienen un índice de plasticidad de 10 o menor; y arcilloso se aplica a los materiales finos que tienen índice de plasticidad 11 o mayor. Materiales limo arcilla contienen más del 35% bajo tamiz 0,08 mm.

- Cuando se calcula índices de grupo de los subgrupos A-2-6 y A-2-7, use solamente el término del índice de plasticidad de la fórmula.
- Cuando el suelo es NP o cuando el límite líquido no puede ser determinado, el índice de grupo se debe considerar (0).
- Si un suelo es altamente orgánico (turba) puede ser clasificado como A-8 sólo con una inspección visual, sin considerar el porcentaje bajo 0,08 mm, límite líquido e índice de plasticidad. Generalmente es de color oscuro, fibroso y olor putrefacto.

4.3.3 Sistema unificado de clasificación de suelos USCS⁶

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) deriva de un sistema desarrollado por A. Casagrande para identificar y agrupar suelos en forma rápida en obras militares durante la guerra. Este sistema divide los suelos primero en dos grandes grupos, de granos gruesos y de granos finos. Los primeros tienen más del 50 por ciento en peso de granos mayores que 0,08 mm; se representan por el símbolo G si más de la mitad, en peso, de las partículas gruesas son retenidas en tamiz 5 mm, y por el símbolo S si más de la mitad pasa por tamiz 5 mm.

⁶ Bowles, Joseph. Propiedades Geográficas de Los Suelos. /Editorial Mc GRAW-HILL, 1982.

A la G o a la S se les agrega una segunda letra que describe la graduación: W, buena graduación con poco o ningún fino; P, graduación pobre, uniforme o discontinua con poco o ningún fino; M, que contiene limo o limo y arena; C, que contiene arcilla o arena y arcilla. Los suelos finos, con más del 50 por ciento bajo tamiz 0,08 mm, se dividen en tres grupos, las arcillas (C), los limos (M) y limos o arcillas orgánicos (O).

Estos símbolos están seguidos por una segunda letra que depende de la magnitud del límite líquido e indica la compresibilidad relativa: L, si el límite líquido es menor a 50 y H, si es mayor.

Para mayor comprensión describiremos el procedimiento de clasificación:

4.3.4 Procedimiento de Clasificación de Suelos de granos gruesos (más de 50% retenido en 0,08 mm)

Una vez efectuados los ensayos de clasificación, determine la distribución acumulativa de los tamaños de las partículas y clasifique la muestra como grava (G), si el 50%, o más de la fracción gruesa (> 0,08 mm) es retenida en tamiz 5 mm, y clasifíquela como arena (S), si más del 50% de la fracción gruesa (> 0,08 mm) pasa por tamiz 5 mm.

- Si menos del 5% en peso de la muestra pasa por tamiz 0,08 mm, calcule:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{y} \quad Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$$

- Clasifique la muestra como grava bien gradada (GW), o arena bien gradada (SW), si C_u es mayor que 4 para las gravas y mayor que 6 para las arenas, y C_c está comprendido entre 1 y 3.

- Clasifique la muestra como grava pobremente graduada (GP), o arena pobremente graduada (SP), si no se satisfacen simultáneamente los criterios de C" y CL para bien graduada.
- Si más que el 12%, en peso, de la muestra de ensaye pasa por 0,08 mm, analice los valores del límite líquido (LL) e índice de plasticidad (IP) mediante la línea "A" de la carta de plasticidad).
- Clasifique la muestra como grava limosa (GM), o arena limosa (SM), si los resultados de los límites de consistencia muestran que los finos son limosos, es decir, si al dibujar wL versus IP, este punto cae bajo la línea "A" o el IP es menor que 4.
- Clasifique la muestra como grava arcillosa (GC), o arena arcillosa (SC), si los finos son arcillosos, es decir, si al dibujar el w, versus IP, cae sobre la línea "A" y el IP es mayor que 7.
- Si el punto del límite líquido versus índice de plasticidad cae prácticamente en la línea "A" o está sobre esta línea, pero el índice de plasticidad está comprendido entre 4 y 7, dé clasificación doble tal como GM-GC o SM-SC.
- Si pasa por tamiz 0,08 mm del 5 al 12% de la muestra, el suelo llevará clasificación doble, basada en los criterios de graduación y límites de consistencia, tales como GW-GC o SP-SM. En casos dudosos, la regla es favorecer a la clasificación de menos plasticidad. Por ejemplo una grava con 10% de finos, un C" de 20, C~ de 2,0 y un índice de plasticidad de 6, será clasificado como GW-GM en vez de GW-CG.

4.3.5 Procedimiento de clasificación de suelos de granos finos (50% o más pasa por 0,08 mm)

- Clasifique el suelo como una arcilla inorgánica (C), si al dibujar el punto del límite líquido versus índice de plasticidad, éste cae sobre la línea "A" y el índice de plasticidad es mayor que 7.
- Si el límite líquido es menor que 50 y el punto wL versus IP cae sobre la línea "A" y el IP es mayor que 7, clasifíquela como arcilla inorgánica de baja a media plasticidad (CL), y como arcilla de alta plasticidad (CH) si el Límite Líquido es mayor que 50 y el punto wL versus IP cae sobre la línea A. En caso que el límite líquido exceda a 100 o el IP exceda a 60, expanda la carta de plasticidad manteniendo las mismas escalas y pendiente de la línea "A"

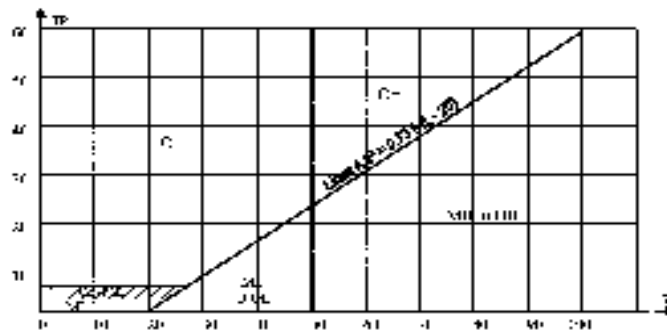


FIGURA No.1. Sistema de clasificación SUCS (Obtenida de carta de plasticidad)

- Clasifique el suelo como limo inorgánico (M), si al dibujar el punto wL versus IP cae bajo la línea "A" o el IP es menor que 4, a menos que se sospeche que hay materia orgánica presente en cantidades suficientes como para influir en las propiedades del suelo (suelo de color oscuro y

olor orgánico cuando está húmedo y tibio), en cuyo caso se debe efectuar un segundo límite líquido con la muestra de ensaye secada al horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. Se clasifica como limo o arcilla orgánicos (O), si el límite líquido después del secado al horno, es menor que 75% del límite líquido de la muestra original determinado antes del secado.

- Clasifique el suelo como limo inorgánico de baja plasticidad (ML), o como limo o limo arcilla orgánicos de baja plasticidad (OL), si el límite líquido es menor que 50 y al dibujar wL versus IP cae bajo la línea "A" o el IP es menor a 4.
- Clasifique el suelo como limo inorgánico de media a alta plasticidad (MH), o como una arcilla u limo arcilla orgánico de media a alta plasticidad (OH), sí el wL. Es mayor que 50 y el punto dibujado de wL versus IP cae bajo la línea "A" o el IP es menor a 4.

Con el fin de indicar sus características de borde, algunos suelos de grano fino deben clasificarse mediante simbología doble. Si el punto dibujado del wL versus IP cae prácticamente en la línea "A" o sobre la línea "A" donde el Índice de Plasticidad tiene un rango de 4 a 7, el suelo debe tener clasificación doble tales como CL-ML o CH-OH. Si el punto dibujado de wL versus IP cae prácticamente en la línea del límite líquido igual a 50, el suelo deberá tener clasificación doble tales como CL-CH o ML-MH. En casos dudosos la regla de clasificación favorece al más plástico. Por ejemplo, un suelo fino con un $w_{\sim} = 50$ y un índice de plasticidad de 22 se deberá clasificar como CH-MH en lugar de CL-ML.

Este sistema fue adoptado por el U.S. Army Corps of Engineers en 1942 y en 1947 le introdujo algunos límites para evitar doble clasificación. En 1952, el Cuerpo de Ingenieros en conjunto con el Bureau of Reclamation y asesorados por el Dr. Casagrande efectuaron las últimas modificaciones.

Basados en observaciones de terreno y ensayos de Laboratorio de materiales de base para caminos y aeropuertos, como se muestra en las figuras 4 y 5, el Cuerpo de Ingenieros subdividió los grupos GM y SM en dos grupos, designados por los sufijos "d" y "u", que han sido escogidos para representar a materiales que son convenientes o no, respectivamente, para ser empleados en bases de caminos y aeropuertos. Símbolos típicos son GM, y SM.

SISTEMA CLASIFICACION USCS			
FINOS(>= 50% pasa 0.08 mm)			
Tipo de suelo	Símbolo	Lim.Liq	Índice de Plasticidad * IP
Limos Inorgánicos	ML	< 50	< 0.73 (WL - 20) ó < 4
	MH	> 50	< 0.73 (WL - 20)
Arcillas Inorgánicas	CL	< 50	> 0.73 (W) - 20 Y > 7
	CH	> 50	> 0.73 (WL - 20)
Limos o Arcillas Orgánicos	OL	< 50	** WL seco al horno <= 75% del WL seco al aire
	OH	> 50	
Altamente Orgánicos	P1	Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente.	
Si IP = 0.73 (WL - 20) ó si IP entre 4 y 7 E IP > 0.73 (WL - 20), usar símbolo doble CI-ML, CH-OH			
** Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente WL seco al horno			
En caso dudoso favorecer clasificación mas plastica Ej: CH-MH en vez de CL-ML			
Si WL = 50, CL-CH ó ML-MH			

Tabla No.4. Sistema de clasificación SUCS (a) (Obtenida de carta de plasticidad)

SISTEMA CLASIFICACION USCS						
GRUESOS (< 50% pasa 0.08 mm)						
Tipo de Suelos	Símbolo	% RET 5 mm	% Pasa 0.08 mm	CU	CC	** IP
Gravas	GW	? 50% de lo Ret. En 0.08mm	< 5	> 4	1 a 3	
	GP			<= 12	< 16 > 3	
	GM		> 12			< 0.73 (WL - 20 ó < 7
	GC					> 0.73 (WL - 20 ó > 7
Arenas	SW	< 50 de lo Ret. En 0.08mm	< 5	> 6	1 a 3	
	SP			<= 6	< 16 > 3	
	SM		> 12			< 0.73 (WL - 20 ó < 7
	SC					> 0.73 (WL - 20 ó > 7
* Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC GP-GM, SW-SM, SP-SC						
** Si IP = 0.73 (WL-20) ó si IP entre 4 y 7 e P > 0.73 (wl-20), usar símbolo doble; GM-GC, SM-SC						
En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica Ej: GW-GM en vez de GW-GC.						
CU= Ø60/Ø10				CC= Ø30/Ø60*Ø10		

Tabla No.5. Sistema de clasificación SUCS (b) (Obtenida de carta de plasticidad)

4.4 PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS ⁷

Se dice que un material es permeable cuando contiene vacíos continuos. Como tales vacíos existen en todos los suelos, incluyendo las arcillas mas compactas, y en todos los materiales de construcción no metálicos, comprendidos el granito sano y la pasta de cemento, dichos materiales son permeables.

La circulación de agua a través de su masa obedece también aproximadamente a leyes idénticas, de modo que la diferencia entre una arena limpia y un granito sano es, en este concepto, solo una diferencia de magnitud.

⁷ Mecánica de suelos en la ingeniería practica por KARL TERZAGHI/ Editorial EL ATENEIO 2ª edición.

El coeficiente de permeabilidad se puede determinar en laboratorio, campo o a partir de la curva granulométrica y se puede hacer de varias maneras. Así mismo existen numerosos criterios para hallar el valor de “k”, por lo que se hace necesario indicar la referencia utilizada en la toma de este valor; por ejemplo tenemos valores de la permeabilidad de suelos (ver Tabla 6) dada por Terzaghi y Peck (1967) y adecuada por Martínez Vargas (1991)

GRADO DE PERMEABILIDAD	VALOR DE K (CM/SEG)	TEXTURA DEL SUELO
ELEVADA	SUPERIOR A 10-1	GRAVA MEDIA A GRUESA
MEDIA	10-1 – 10-3	GRAVA FINA, ARENA MEDIA A FINA, DURAS
BAJA	10-3 – 10-5	ARENA MUY FINA, SM, LIMOS A LOES
MUY BAJA	10-5 – 10-7	LIMOS DENSOS, ML, ARCILLAS, CL
PRACTICAMENTE IMPERMEABLE	MENOR DE 10-7	CL A CH HOMOGENEO

Tabla 6. Clasificación de los suelos según sus coeficientes de permeabilidad, según Terzaghi y Peck, 1967 Adecuación A.M.V.

I) En el laboratorio:

El método consiste en inducir un flujo rectilíneo en una muestra cilíndrica. La carga de agua puede ser constante o variable (ver Figura 2), la primera es adecuada para suelos que tienen grandes valores en la relación de vacíos, tales como gravas y arenas, en cuyo caso es conveniente tener una cantidad de flujo considerable para mejorar la precisión de los cálculos. La segunda es más adecuada y económica para suelos de finos, tales como arcillas cuyos ensayos tienen más larga duración. La dirección del flujo puede ser en el sentido de la gravedad u opuesto a ella; cuando se considera el fenómeno de capilaridad, el flujo se considera perpendicular a la gravedad.

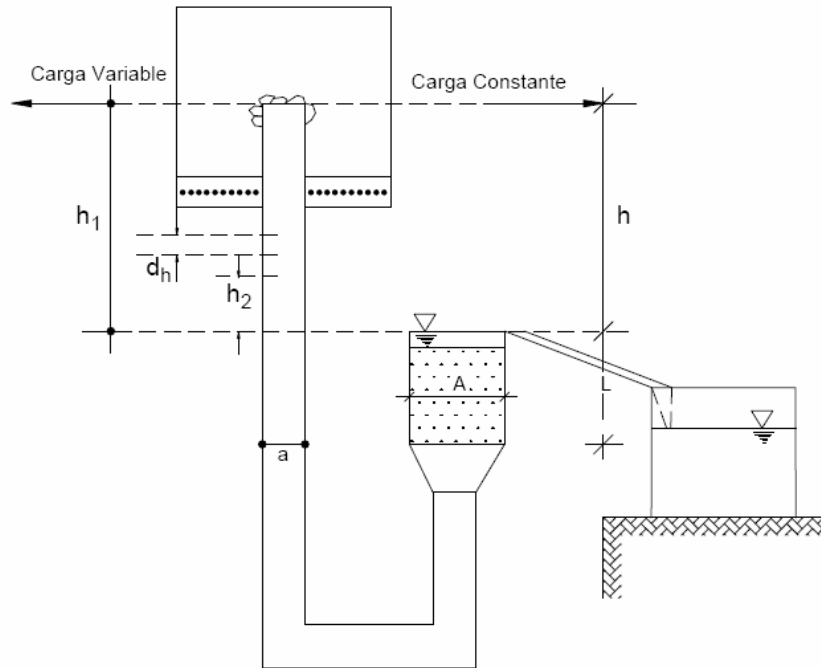


Figura. N° 2: Bowles, Joseph. Propiedades Geográficas de Los Suelos. /Editorial Mc GRAW-HILL, 1982.

El ensayo ha sido normalizado para una temperatura de 20°C, puesto que la viscosidad varía de 0.0157 dinas x seg/cm² para 4°C y de 0.00897 a 25°C, existiendo una diferencia en el resultado de la permeabilidad que según las normas deberá ser corregido de acuerdo a la temperatura tomada durante el ensayo.

II) En campo:

La mejor manera de evaluar la permeabilidad de un depósito de material granular situado debajo del nivel freático es llevando a cabo una prueba de permeabilidad

“in situ”. Estas pruebas tienen su mayor aplicación en los trabajos de cimentación de puentes, edificios grandes y en presas, en las cuales se puede hacer descender el nivel de agua freática.

La permeabilidad de los suelos tiene un efecto decisivo sobre el costo y las dificultades a encontrar en muchas operaciones constructivas, como lo son, por ejemplo, así excavaciones a cielo abierto en arena bajo agua o la velocidad de consolidación de un estrato de arcilla blanda bajo el peso de un terraplén. Hasta la permeabilidad de un hormigón denso o de una roca sana puede tener importancia práctica, ya que el agua ejerce presión sobre el material poros a través del cual circula, y esta presión, que se conoce con el nombre de presión de filtración, puede llegar a ser muy alta. El concepto generalizado y erróneo de que la arcilla compacta y el hormigón denso son incompresibles, se debe a que la cantidad de agua que escurre a través del material es tan pequeña que, en el caso de superficies expuestas al aire, esta evapora totalmente aunque la atmósfera este muy húmeda y la superficie tiene aspecto de estar seca.

4.4.1 LEY DE DARCY⁸

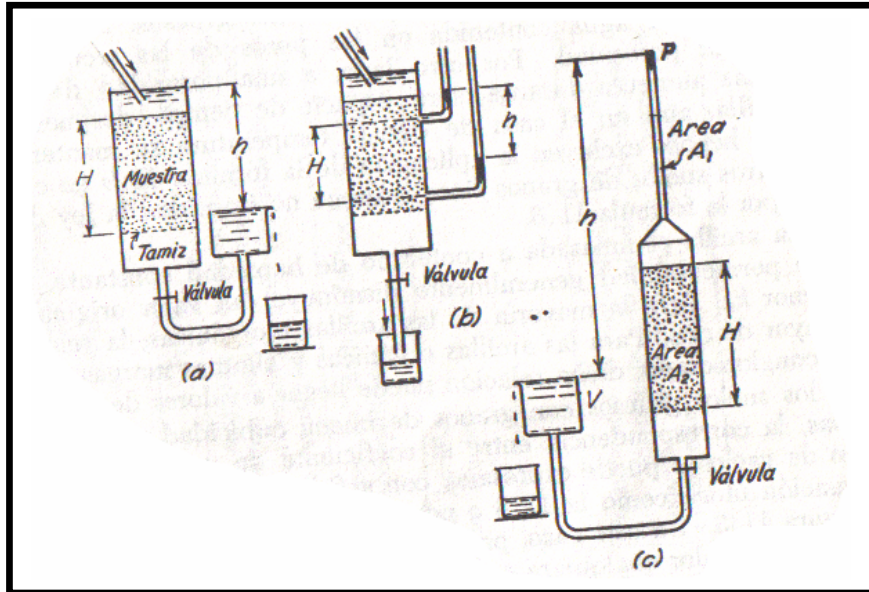


Figura 3. Esquema del dispositivo para medir la permeabilidad (a y b) permeámetro de carga constante; c permeámetro e carga hidráulica decreciente (Tomado de Mecánica de suelos en la ingeniería practica por KARL TERZAGHI/ Editorial EL ATENEO 2ª edición).

Fue descubierta por Henry Darcy en el laboratorio de París en 1856, utilizando el dispositivo que se ha esquematizado en la figura No. 3. Esta describe las características del movimiento del agua a través de un medio poroso. Este dispositivo tiene como fin medir las propiedades del flujo de agua gravitacional a través de un lecho filtrante de arena.

En este dispositivo Darcy hizo variar la longitud (L) de la muestra, la sección transversal de la muestra (A) y la presión de agua entre dos puntos (una a la entrada y otro a la salida de la muestra).

⁸ Polanco Hurtado, Margarita. Mecánica de suelos. Universidad del Cauca.

Después de múltiples mediciones Darcy encuentra que el caudal de filtración era proporcional a la sección transversal de la muestra, proporcional a las pérdidas e inversamente proporcional a la longitud de recorrido del agua.

La expresión de la ley de Darcy es la siguiente:

$$Q = k \frac{h_3 - h_4}{L} A = k.i.A$$

Donde:

Q = caudal en m³/s.

L = longitud en metros de la muestra

k = una constante, actualmente conocida como coeficiente de permeabilidad de Darcy, variable en función del material de la muestra, en m/s.

A = área de la sección transversal de la muestra, en m².

h_3 = altura, sobre el plano de referencia que alcanza el agua en un tubo colocado a la entrada de la capa filtrante.

h_4 = altura, sobre el plano de referencia que alcanza el agua en un tubo colocado a la salida de la capa filtrante.

$i = \frac{h_3 - h_4}{L}$, el gradiente hidráulico.

La Ley de Darcy es una de las piedras fundamentales de la mecánica de suelos. A partir de los trabajos iniciales de Darcy, un trabajo monumental para la época, muchos otros investigadores han analizado y puesto a prueba esta Ley. A través de estos trabajos posteriores se ha podido determinar que mantiene su validez para la mayoría de los tipos de flujo de fluidos en los suelos. Para filtraciones de

líquidos a velocidades muy elevadas y la de gases a velocidades muy bajas, La Ley de Darcy deja de ser válida.

En el caso de agua circulando en suelos, existen evidencias abrumadoras en el sentido de verificar la vigencia de la Ley de Darcy para suelos que van desde los limos hasta las arenas medias. Asimismo es perfectamente aplicable en las arcillas, para flujos en régimen permanente. Para suelos de mayor permeabilidad que la arena media, deberá determinarse experimentalmente la relación real entre el gradiente y la velocidad para cada suelo y porosidad estudiados.

4.4.2 COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD ⁹

El coeficiente de permeabilidad representa la mayor o menor facilidad con que el agua puede fluir a través de un suelo. Tiene unidades de velocidad y es en realidad la velocidad física del agua a través de un suelo sometido a un gradiente hidráulico igual a la unidad.

Este coeficiente de permeabilidad es propio de cada suelo y depende de muchos factores como: Tamaño y forma de los poros, el grado de saturación, las características del fluido en función de la temperatura, la relación de vacíos, entre otros.

En Mecánica de Suelos, los valores de permeabilidad que se manejan están comprendidos entre $1 \cdot 10^{+2}$ hasta $1 \cdot 10^{-9}$ cm. /seg. En las tablas 7 y 8 que aparecen a continuación se pueden observar los valores.

El coeficiente de permeabilidad es una característica de los suelos,

⁹ BOWLES, Joseph. Manual de Laboratorio de suelos en Ingeniería Civil. Segunda edición /Editorial Mc GRAW-HILL, 1981.

específicamente está ligado a la Ley de Darcy que se refiere al flujo de fluidos a través de los suelos. El coeficiente de permeabilidad, generalmente representado por la letra K, es extremadamente variable, según el tipo de suelo.

Clasificación de los suelos según su coeficiente de permeabilidad

Suelos Típicos		Valores de K (cm ³ /seg.)	Permeabilidad Relativa
Nombre	Características		
Gravas Gruesas		Mayor de $1 \cdot 10^{-1}$	Muy permeable
Arena Fina	% de finos < 5%	$1 \cdot 10^{-1}$ – $1 \cdot 10^{-3}$	Moderada
Arena Limosa		$1 \cdot 10^{-3}$ – $1 \cdot 10^{-5}$	Poco permeable
Arena Sucia	% de finos > 12%	$1 \cdot 10^{-3}$ – $1 \cdot 10^{-5}$	Poco permeable
Arenisca Fina		$1 \cdot 10^{-7}$ – $1 \cdot 10^{-7}$	Muy poco permeable
Limo		$1 \cdot 10^{-7}$ – $1 \cdot 10^{-7}$	Muy poco permeable
Arcilla		Menor de $1 \cdot 10^{-7}$	Impermeable

Tabla 7. Valores Relativos del Coeficiente de Permeabilidad. (Tomado de Mecánica del Suelo, Universidad del Cauca.)

	10 ²	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸
SEGÚ	GW, GP				GM, SM, ML			GC, SC			
	SW, SP				OL, MH			CL, CH, OH			

Tabla 8. Permeabilidad de los suelos (K) (cm. /seg.). (Tomado de Mecánica del Suelo, Universidad del Cauca.)

La determinación del coeficiente de permeabilidad se puede realizar a través pruebas; dentro de las cuales se dividen en dos:

4.4.2.1. Pruebas Directas: Son aquellas que tienen como objetivo primordial determinar el coeficiente de permeabilidad a través de ensayos de laboratorio (permeámetro de cabeza constante y el permeámetro de cabeza variable) o por medio de pruebas de campo (in situ).

4.4.2.2. Pruebas Indirectas: Son aquellas en la que su principal objetivo no es buscar el coeficiente de permeabilidad si no otro parámetro, pero que indirectamente nos puede conducir a encontrar el valor de K; entre las que encuentran: el ensayo de granulometría a partir de la curva granulométrica, el ensayo de consolidación (compresibilidad de suelos arcillosos, que poseen baja permeabilidad) y a partir de pruebas de capilaridad horizontal¹⁰.

La Ley de Henry Darcy, ha sido la plataforma de exploración para muchos investigadores que en su trayectoria lograron plasmar sus descubrimientos en teorías y ecuaciones; entre los que se destacan los siguientes autores:

4.4.2.3. Fórmula Allen Hazen¹¹

$$K = C (0.7 + 0.03 t) D_{10}^2 \quad (\text{cm/seg.})$$

Los valores de la constante C están comprendidos entre: $41 \leq C \leq 146$ donde Hazen logra establecerlo como un $C_{prom} = 116$.

¹¹JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRIGUEZ, Alfonso. Mecánica de Suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos TOMO I. Tercera edición. México D.F. Limusa Noriega Editores.

t = Temperatura en °C.

D_{10} = Llamado por Hazen como diámetro efectivo, es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10% en peso, del suelo.

4.4.2.4. Fórmula Schlichter¹²

$$K = 771 * \frac{D_{10}^2}{C} * (0.7 + 0.03 t) \quad (\text{cm/seg.})$$

C es una función de la porosidad (n), que corresponde a los valores a continuación:

Porosidad (n)	0.26	0.38	0.46
Compacidad (C)	83.4	24.1	12.8

Tabla 9. Relación de Porosidad (n) vs. Compacidad (C). (Tomado de Mecánica de Suelos, Juárez Badillo, TOMO I).

t = Temperatura en °C.

D_{10} = Llamado por Hazen como diámetro efectivo, es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10% en peso, del suelo.

4.4.2.5. Fórmula Terzaghi¹³

$$K = C_1 (0.7 + 0.03 t) D_{10}^2 \quad (\text{cm/seg.})$$
$$C_1 = C_0 \left(\frac{n - 0.13}{\sqrt[3]{1 - n}} \right)^2$$

¹²⁻¹³ JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRIGUEZ, Alfonso. Mecánica de Suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos TOMO I. Tercera edición. México D.F. Limusa Noriega Editores.

n = Porosidad.

t = Temperatura en °C.

D_{10} = Llamado por Hazen como diámetro efectivo, es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10% en peso, del suelo.

En donde C_o es un coeficiente con los valores indicados en la siguiente tabla:

Arenas de granos redondeados	$C_o = 800$
Arenas de granos angulosos	$C_o = 460$
Arenas con limos	$C_o < 400$

Tabla 10. Determinación de C_o según la forma de los agregados. (Tomado de Mecánica de Suelos, Juárez Badillo, TOMO I).

4.5 CARACTERISTICAS Y ESTRUCTURA FISICA DEL SUELO¹⁴

El conocimiento de las principales características físicas de los suelos es de fundamental importancia en el estudio de la mecánica de suelos, pues mediante su atinada interpretación se puede predecir el futuro comportamiento de un terreno bajo cargas cuando dicho terreno presente diferentes contenidos de humedad.

El suelo es la cubierta superficial de la mayoría de la superficie continental de la Tierra. Es un agregado de minerales no consolidados y de partículas orgánicas producidas por la acción combinada del viento, el agua y los procesos de desintegración orgánica.

¹⁴ JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRIGUEZ, Alfonso. Mecánica de Suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos TOMO I. Tercera edición. México D.F. Limusa Noriega Editores.

Los suelos cambian mucho de un lugar a otro. La composición química y la estructura física del suelo en un lugar dado, están determinadas por el tipo de material geológico del que se origina, por la cubierta vegetal, por la cantidad de tiempo en que ha actuado la meteorización, por la topografía y por los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas. Las variaciones del suelo en la naturaleza son graduales, excepto las derivadas de desastres naturales.

El conocimiento básico de la textura del suelo es importante para los ingenieros que construyen edificios, carreteras y otras estructuras sobre y bajo la superficie terrestre. La disposición del suelo se encuentra formada por una *fase sólida* conformada por las partículas minerales del suelo, la *fase líquida* comprendida por el agua y una *fase gaseosa* constituida sobre todo por el aire, si bien pueden estar presentes otros gases.

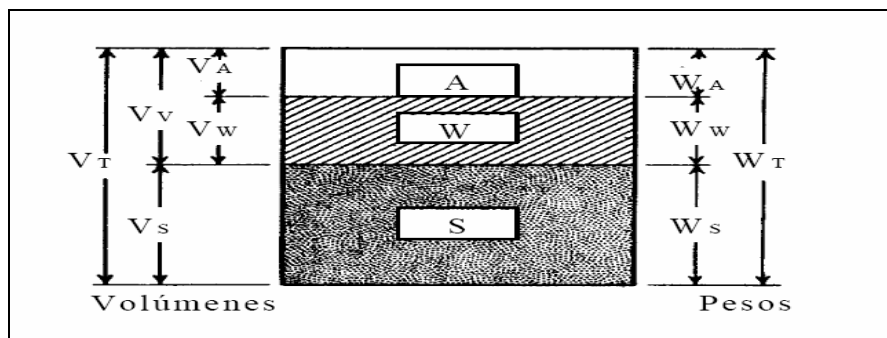


Figura 4. Esquema de una muestra de suelo, con la indicación de los símbolos usados: En los costados V volumen y W peso. Las letras subíndices y de centro son, A aire, W agua y S sólidos. (Tomado de Notas del curso de Mecánica de Suelos I, Gonzalo Duque Escobar).

- $V_v = V_w + V_a$
- $V = V_s + V_v$
- $W_t = W_s + W_w$

V_t = Volumen total.

V_s = Volumen de los sólidos.

V_w = Volumen del agua.

V_a = Volumen del aire.

V_v = Volumen de vacíos.

W_t = Peso total

W_s = Peso de sólidos.

W_w = Peso del agua.

W_a = Peso del aire.

El peso total de la muestra de suelo estará entonces compuesto por el peso de las partículas sólidas y el peso del agua, ya que el aire se considera nulo; cuando buscamos poder relacionar las diferentes fases del suelo, y lo hacemos de volumen a volumen las denominamos *relaciones volumétricas*; mientras si las relacionamos de peso a peso ó de peso a volumen las denominamos *relaciones gravimétricas*; y su clasificación es la siguiente:

a.) Relaciones Volumétricas:

- Porosidad (n)
- Relación de vacíos o Índice de Poros (e)
- Grado de Saturación (S_r)

b.) Relaciones Gravimétricas:

- Contenido de agua o Humedad (W)
- Densidad o Peso Unitario del suelo (γ)
- Gravedad Específica o Peso Específico Relativo (G_s)
- Densidad Relativa o Compacidad Relativa de arenas (D_r , C_r)

4.5.1 Peso volumétrico

Se denomina peso volumétrico de un suelo (γ) al peso de dicho suelo contenido en la unidad de volumen, y generalmente se expresa en kg/m^3 .

Se denomina peso volumétrico seco y suelto (γ_s) de un suelo al peso volumétrico aparente de él, tomando el peso del mismo previamente cuarteado y secado en un horno a peso constante. El peso volumétrico aparente se refiere a considerar el volumen de los vacíos formando parte del suelo. Para determinar el peso volumétrico seco y suelto de un suelo se coloca el material, que ha sido cuarteado y secado, dentro de un recipiente de volumen conocido, llenándolo y enrasándolo, sin apretarlo, con un arregla, inmediatamente se pesa, y restando el peso del recipiente se obtiene el peso del material. Se mencionan a continuación las relaciones volumétricas.

4.5.1.1 Porosidad (n): Se define como la relación entre el volumen de huecos y el volumen total de la muestra; $n = V_v / V_t$

El volumen de vacíos puede estar ocupado parcial o totalmente por agua. Indica la cantidad de vacíos o poros por unidad de volumen de suelo. La porosidad se suele multiplicar generalmente por 100 dándose así los valores en porcentaje.

Los valores de porosidad varían entre 0 y 1, donde se consideran los valores más representativos los comprendidos dentro del rango del 0.20 hasta el 0.95.

4.5.1.2 Relación de vacíos o Índice de poros (e): Se define como la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de los sólidos;

$$e = V_v / V_s$$

Es el cociente entre el volumen de huecos, poros o vacíos y el de partículas sólidas. Al igual que la porosidad nos da una idea de la cantidad de poros o vacíos que tiene el suelo, con la ventaja que en este caso se está

comparando con el volumen de sólidos, el cual permanece constante aunque se le cambie la densidad al suelo. La relación de vacíos se expresa en forma decimal y puede alcanzar valores entre los que se encuentran entre 0.14 y 15.

4.5.1.3 Grado de Saturación (Sr): Se define como la relación en porcentaje entre el volumen de agua y el volumen de vacíos;

$$Sr = (Vw / Vv) * 100$$

Indica el porcentaje de volumen de vacíos que está relleno de agua. Así, un valor de **Sr = 0** indica un **suelo seco** (secado al horno), cuando se obtiene **Sr = 100%** corresponde a un **suelo saturado** ya que el agua llena por completo el volumen de vacíos dentro de la muestra; y un valor comprendido entre 0 y 100% indica un suelo semisaturado o parcialmente saturado. El suelo seco secado al aire siempre tendrá valores de Sr diferentes de cero.

4.5.2 Relaciones Gravimétricas:

4.5.2.1 Contenido de agua o Humedad (W): Se define como la relación en porcentaje entre el peso del agua que contiene el suelo y el peso de los sólidos;

$$W = (Vw / Ws) * 100$$

La humedad es el peso del agua dividido por el peso de las partículas sólidas en un elemento de suelo. La humedad de una muestra de suelo se obtiene directamente por el siguiente método: se pesa el suelo natural; se seca en una estufa; se pesa el suelo seco y por último se calcula la humedad como la

diferencia entre el peso inicial y el seco, dividida por el peso seco. Para un suelo saturado, la humedad y la relación de vacíos están directamente relacionados.

4.5.2.2 Densidad o Peso Unitario del suelo Húmedo (γ_m): Se define como la relación del peso total de la masa de suelo a su volumen total;

$$\gamma_m = W_t / V_t = (W_s + W_w) / (V_s + V_v)$$

En mecánica de suelos, el término densidad es sinónimo de peso por unidad de volumen, es decir densidad es lo mismo que peso unitario. En el caso particular de un suelo saturado al peso unitario se le denomina peso unitario saturado y se le da la siguiente nomenclatura γ_{sat} .

4.5.2.3 Densidad o Peso Unitario del suelo Seco (γ_d): Se define como la relación del peso de sólidos al volumen total de la masa de suelos;

$$\gamma_d = W_s / V_t$$

Indica la cantidad de partículas sólidas por unidad de volumen de suelo. El valor máximo que puede adquirir la densidad seca de un suelo que está regido por la densidad de sus sólidos y por la limitación en la reducción de sus vacíos.

4.5.2.4 Peso Unitario de Sólidos o Densidad de sólidos (γ_s): Se define como la relación del peso de los sólidos al volumen de los mismos;

$$\gamma_s = W_s / V_s$$

La densidad de los sólidos para los suelos comunes está comprendida más o menos entre 2.5 y 3.0 gr/cm³ siendo el valor más corriente el de 2.65 gr/cm³.

4.5.2.5 Gravedad Específica o Peso Específico Relativo (Gs): Se define como la relación de la densidad de sólidos γ_s , a la densidad del agua;

$$G_s = W_s / (V_s * \gamma_w)$$

Se entiende que el γ_w se utiliza con agua destilada y a 40°C, como las variaciones de la densidad del agua con la temperatura son pequeñas, para efectos prácticos el γ_w se toma igual a 1.0 gr/cm³ ó 62.4 Lbs/pie³.

Los suelos deben su valor de gravedad específica al de sus minerales constituyentes, los cuales generalmente tienen valores comprendidos entre 2.5 y 3.0. Como G_s es un valor absoluto, no depende del sistema de unidades utilizado, de ahí la conveniencia de su uso.

La forma de obtener la gravedad específica de un suelo es mediante un ensayo de laboratorio; donde se induce a calcular la relación de vacíos de un suelo, en el cual los suelos orgánicos por ejemplo, están constituidos por partículas cuya gravedad específica es menor de 2.20 y los suelos muy pesados por su alto contenido de hierro, pueden tener gravedades específicas de 3.0.

El volumen de un peso conocido de partículas de suelo puede obtenerse utilizando un recipiente de volumen conocido y el principio de Arquímedes, según el cual un cuerpo sumergido dentro de una masa de agua desplaza un volumen de agua igual al del cuerpo sumergido; y donde se buscará aplicarle

un proceso de desairamiento (sistema de vacío) para una mayor exactitud de los datos, teniendo en cuenta entre otras variables, la temperatura y los diferentes pesos.

4.5.2.6 Densidad o Peso Unitario Sumergido (γ'): Se define como:

$$\gamma' = \gamma \text{ sat} - \gamma_w$$

Se llama de esta manera al peso unitario del suelo sumergido, o sea al que se obtiene después de restar del peso total de la masa de suelo, el empuje y dividir luego por el volumen total.

$$\gamma' = ((W_s + W_w) - V\gamma_w) / V_t = (W_s + W_w) / V_t - V\gamma_w / V_t$$

$$\gamma' = \gamma \text{ sat} - \gamma_w$$

5. RESULTADOS OBTENIDOS

5.1. GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS

- **ARENA RÍO MANCO**

- ❖ PROM % ARENAS: (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3

PROM % ARENAS: $(88,32 + 88,99 + 89,34) / 3$

PROM % ARENAS: 88,88

- ❖ PROM % GRAVAS: (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3

PROM % GRAVAS: $(3,18 + 3,41 + 3,59) / 3$

PROM % GRAVAS: 3,39

- ❖ PROM % FINOS: (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3

PROM % FINOS: $(8,50 + 7,60 + 7,08) / 3$

PROM % FINOS: 7,73

- ❖ PROM D₁₀: (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3

PROM D₁₀: $(0,09 + 0,087 + 0,085) / 3$

PROM D₁₀: 0,087

- ❖ PROM D₃₀: (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3

PROM D₃₀: $(0,26 + 0,251 + 0,25) / 3$

PROM D₃₀: 0,25

- ❖ PROM D₆₀: (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3

PROM D₆₀: $(0,51 + 0,51 + 0,5) / 3$

PROM D₆₀: 0,51

- ❖ Cu: D₆₀ / D₁₀

Cu: $(0,51 / 0,087)$

Cu: 5,86

$$\begin{aligned} \text{❖ } C_c &: D_{30}^2 / (D_{60} * D_{10}) \\ C_c &: 0,25^2 / (0,51 * 0,087) \\ C_c &: 1,41 \end{aligned}$$

Clasificación del suelo de Arena del río Manco

Según el sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.) el material utilizado es una arena, ya que más del 50% de la fracción gruesa pasa por la malla N° 4; así mismo requiere doble nomenclatura, ya que el % de finos es mayor al 5% por lo tanto su clasificación corresponde a SP-SM (Arena limosa mal gradada).

Como Cu es inferior a 6 es una arena mal gradada. Como esta arena no posee plasticidad entonces es arena limosa.

- **ARENA RÍO FRIO**

- ❖ PROM % ARENAS: (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3
 PROM % ARENAS: (95,35 + 95,14 + 94,18) / 3
 PROM % ARENAS: 94,89
- ❖ PROM % GRAVAS: (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3
 PROM % GRAVAS: (3,53 + 3,04 + 3,51) / 3
 PROM % GRAVAS: 3,36
- ❖ PROM % FINOS: (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3
 PROM % FINOS: (1,13 + 1,82 + 2,31) / 3
 PROM % FINOS: 1,75
- ❖ PROM D₁₀: (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3
 PROM D₁₀: (0,084 + 0,085 + 0,085) / 3
 PROM D₁₀: 0,085
- ❖ PROM D₃₀: (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3

$$\text{PROM } D_{30}: (0,25 + 0,26 + 0,25) / 3$$

$$\text{PROM } D_{30}: 0,25$$

$$\text{❖ PROM } D_{60}: (\text{Muestra 1} + \text{Muestra 2} + \text{Muestra 3}) / 3$$

$$\text{PROM } D_{60}: (0,5 + 0,5 + 0,5) / 3$$

$$\text{PROM } D_{60}: 0,50$$

$$\text{❖ Cu: } D_{60} / D_{10}$$

$$\text{Cu: } (0,50 / 0,085)$$

$$\text{Cu: } 5,88$$

$$\text{❖ Cc: } D_{30}^2 / (D_{60} * D_{10})$$

$$\text{Cc: } 0,25^2 / (0,50 * 0,085)$$

$$\text{Cc: } 1,47$$

Clasificación del suelo de Arena del río Frió

Según el sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.) el material utilizado es una arena, ya que más del 50% de la fracción gruesa pasa por la malla N° 4; así mismo requiere nomenclatura simple, ya que el % de finos es menor al 5% por lo tanto su clasificación corresponde a SP (Arena mal gradada).

5.2. CONSTANTES DE PERMEABILIDAD

Cálculo tipo de un ensayo realizado:

MUESTRA RIO MANCO ENSAYO N° 20 (METODO CABEZA CONSTANTE)

❖ MOLDE

- Diámetro (Φ): $(h_1 + h_2 + h_3) / 3$ (cm)
Diámetro (Φ): $(6,5 + 6,5 + 6,5) / 3 = 6,5$ cm.
- Altura (L): $(L_1 + L_2 + L_3) / 3$ (cm)
Altura (L): $(4.3 + 4.2 + 4.4) / 3 = 4.3$ cm.
- Área (A): $(\pi * \Phi^2) / 4$ (cm²)
Área (A): $(\pi * 6,5^2) / 4 = 33,18$ cm².
- Volumen (V): $(A * L)$ (cm³)
Volumen (V): $(33,18 * 4,3) = 142,67$ cm³.

❖ PARAMETROS

- peso cámara + base (Pcb): 1516,1 gr
- Peso de la cámara + base + suelo (Pcbs): 1750,3 gr.
- Peso del suelo (Ps): $(Pcbs - Pcb)$
Peso del suelo (Ps): $(1750,3 - 1516,1) = 234,2$ gr.
- Cabeza de Agua (h): 63,4 cm.

❖ ENSAYO

- Tiempo (t) (seg.) = 180 seg.
- Temperatura (T) (°C) = 22.9 °C
- Caudal promedio :

$$Q_{PROM} = \frac{559 + 550 + 530 + 490 + 490 + 470 + 467 + 470}{8}$$

$$Q_{prom}: 503 \text{ cm}^3$$

- n_T / n_{20} (T : 22.9°C) = 0,9333
- Permeabilidad (K_T) : ($Q_{prom} * L$) / ($A * h * t$)
Permeabilidad (K_T) : ($503 * 4,3$) / ($33,18 * 63,4 * 180$) = 0,0057 cm/seg.
- K_{20} : (k_T) * (n_T / n_{20})
 K_{20} : ($0.0035 * 0.9311$) = 0.0053 cm/seg.

5.2.1. Tablas de resultados de permeabilidad de las arenas seleccionadas.

- PERMEABILIDAD ARENA RIO MANCO.

A continuación se mostrara una tabla resumen de los 30 ensayos realizados con el método de cabeza constante en la arena del río Manco.

Tabla 11. Permeabilidad del río Manco.

RESULTADOS PERMEABILIDAD RIO MANCO			
MUESTRA	TEMPERATURA	Kt (cm/seg)	K20 (cm/seg)
1	27.0	0.0021250169	0.0018066894
2	25.0	0.0021858524	0.0019438785
3	27.0	0.0020805539	0.0017688869
4	27.0	0.0030104159	0.0025594556
5	25.0	0.0024157597	0.0021483351
6	25.0	0.0022741183	0.0020223734
7	26.0	0.0021851262	0.0018997487
8	23.0	0.0034384099	0.0032015034
9	23.0	0.0027310446	0.0025428757
10	23.0	0.0030056626	0.0027985724
11	26.7	0.0034179113	0.0029257321
12	23.2	0.0031998872	0.0029656555
13	22.8	0.0040006842	0.0037426401
14	23.0	0.0054227096	0.0050490849
15	22.8	0.0052708685	0.0049308975
16	23.0	0.0059475519	0.0055377655
17	23.0	0.0063614840	0.0059231778
18	23.0	0.0041868547	0.0038983804
19	23.1	0.0058442009	0.0054292626
20	22.9	0.0057144427	0.0053332894
21	23.0	0.0044932437	0.0041836592
22	24.5	0.0037253896	0.0033509880
23	25.6	0.0042546881	0.0037330633
24	24.1	0.0036151398	0.0032814624
25	25.6	0.0042382661	0.0037186547
26	24.1	0.0036375858	0.0033018367
27	22.5	0.0052219327	0.0049195828
28	24.7	0.0028334879	0.0025371051
29	24.2	0.0034401923	0.0031154382
30	23.1	0.0040138878	0.0037289018
PROMEDIO			0.0034766299
DESVIACION ESTANDAR			0.0012237717
MEDIANA			0.0032916495

En la tabla de resultados de permeabilidad del río manco se puede observar que el valor promedio para el K_{20} obtenido para este río en el laboratorio fue de 0,0035 cm/sg; su desviación estándar fue de 0,0012 cm/sg y que su mediana fue de 0,0033 cm/sg.

- PERMEABILIDAD ARENA RIO FRIO

A continuación se mostrara una tabla resumen de los 30 ensayos realizados con el método de cabeza constante en la arena del río Frío.

Tabla 12. Permeabilidad del río Frío.

RESULTADOS PERMEABILIDAD RIO FRIO			
MUESTRA	TEMPERATURA	Kt (cm/seg)	K20 (cm/seg)
1	23.5	0.0098630730	0.0090779724
2	23.9	0.0097046301	0.0088486817
3	23.8	0.0122958323	0.0112383908
4	23.8	0.0114805114	0.0104931874
5	23.9	0.0122638137	0.0111821453
6	24.0	0.0098437628	0.0089548710
7	23.4	0.0122298144	0.0112820038
8	23.7	0.0110992580	0.0101680303
9	23.8	0.0101482703	0.0092755191
10	24.0	0.0107591009	0.0097875541
11	22.8	0.0118838807	0.0111173704
12	22.9	0.0121697382	0.0113580166
13	23.3	0.0108677003	0.0100493625
14	23.7	0.0112742055	0.0103282996
15	24.0	0.0131441622	0.0119572444
16	24.0	0.0113705916	0.0103438272
17	23.9	0.0118218239	0.0107791390
18	24.0	0.0118701820	0.0107983045
19	21.5	0.0079713303	0.0076891452
20	21.5	0.0082654400	0.0076248684
21	23.3	0.0077227730	0.0071412482
22	24.0	0.0071299323	0.0064860994
23	23.8	0.0072317649	0.0066098331
24	24.0	0.0057633619	0.0052429304
25	23.7	0.0093095675	0.0085284948
26	22.0	0.0096940003	0.0092393516
27	24.0	0.0049087376	0.0044654786
28	23.7	0.0048442332	0.0044378020
29	23.5	0.0075371647	0.0069372064
30	24.0	0.0077038733	0.0070082136
		PROMEDIO	0.0089483531
		DESVIACION ESTANDAR	0.0021348512
		MEDIANA	0.0092574354

En la tabla de resultados de permeabilidad de río Frío se puede observar que el valor promedio para el K_{20} obtenido para este río en el laboratorio fue de 0,0089 cm/sg; su desviación estándar fue de 0,0021cm/sg y que su mediana fue de 0,0093 cm/sg.

5.3. GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS

Para cada una de las arenas seleccionadas se realizaron 30 ensayos, con el fin de obtener el peso específico de cada arena; de los cuales a continuación se mostrara un cálculo tipo de un ensayo realizado.

MUESTRA RIO MANCO ENSAYO N° 2

- Matraz N° : 2
- T° (°C) = 24 °C.
- Peso del matraz con agua (Wmw): 657,35 gr.
- Peso del matraz con agua + suelo (Wmws): 709,6 gr.
- Cápsula de evaporación: 2
- Peso de la cápsula de evaporación: 327,8 gr.
- Peso de la cápsula de evaporación + muestra seca: 411,7 gr.
- Peso del suelo antes de secado (Wsi): 84,40 gr.
- Peso del suelo después de secado (Wsf): 83,9 gr.

- Gravedad específica relativa (Gs): $(Wsf) / (Wsf + Wmw - Wmws)$
 $(83,9) / (83,9 + 657,35 - 709,6)$

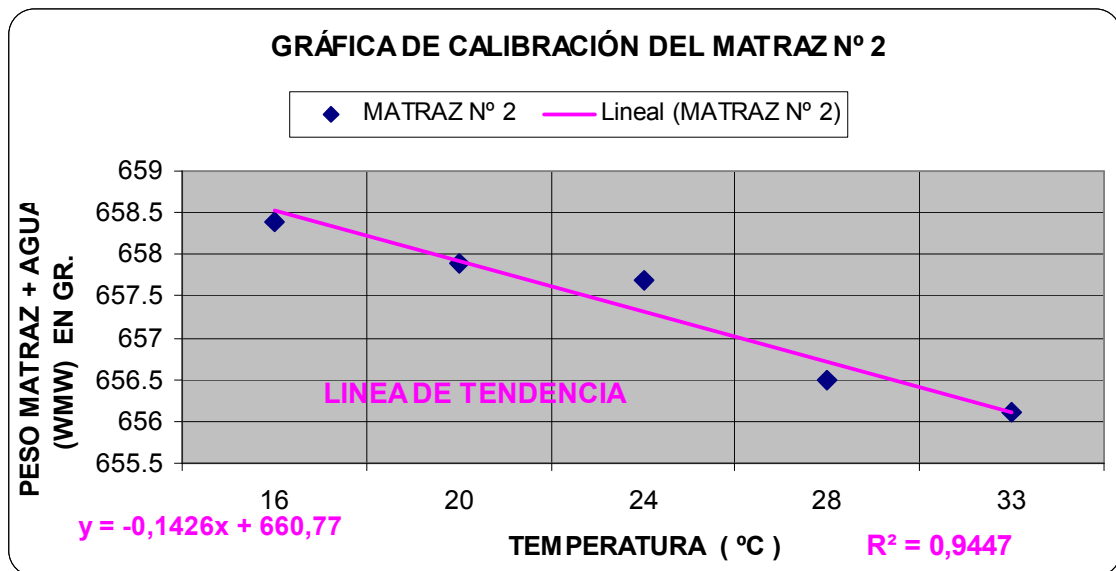
$$G_{s1} = 2.65$$

Para realizar este ensayo se hizo necesario utilizar la calibración de los matraces N°1, N°2 y N°3, los cuáles fueron realizados por la Ingeniera Ketty Plata en el año 2007.

- **Calibración del Matraz N° 2**
- Peso del Matraz N° 3: 160,8 gr.

Temperatura Ambiente : 20 °C					
TEMPERATURA (°C)	16	20	24	28	33
PESO (gr.)	658.4	657.9	657.7	656.5	656.1

Grafica 1. Calibración del Matraz N° 2



DATOS DE CALIBRACIÓN PESO MATRAZ CON AGUA (WMW)

$$Y = (- 0,1426 * 15 \text{ °C}) + 660,77$$

$$Y = 658.6 \text{ (gr.)}$$

A continuación se mostrara una tabla resumen de los 30 ensayos realizados con el método de cabeza constante en la arena del río Frío.

5.3.1 Tablas de resultados de gravedad específica de sólidos de las arenas seleccionadas.

- GRAVEDAD ESPECIFICA DE ARENA DEL RÍO MANCO

A continuación se mostrara en la tabla 13 un resumen de los 30 ensayos realizados en el laboratorio para hallar la gravedad específica de sólidos en esta arena.

Tabla 13. Gravedad específica de sólidos del Río Manco.

RESULTADOS GRAVEDAD RIO MANCO	
MUESTRA	GS
1	2.65
2	2.65
3	2.65
4	2.68
5	2.61
6	2.66
7	2.64
8	2.65
9	2.64
10	2.63
11	2.62
12	2.64
13	2.55
14	2.66
15	2.67
16	2.65
17	2.66
18	2.68
19	2.67
20	2.64
21	2.69
22	2.65
23	2.67
24	2.64
25	2.64
26	2.67
27	2.59
28	2.67
29	2.69
30	2.70
PROMEDIO	2.650242141
DESVIACION ESTANDAR	0.031080954
MEDIANA	2.650434439

En la tabla 13 se puede observar que el valor promedio de la gravedad específica de sólidos es de 2,650 con una desviación estándar de 0,031 y una mediana de 2,650.

- GRAVEDAD ESPECIFICA DE ARENA DEL RÍO FRIO

A continuación se mostrara en la tabla 14 un resumen de los 30 ensayos realizados en el laboratorio para hallar la gravedad específica de sólidos en esta arena.

Tabla 14. Gravedad específica de sólidos del Río Frío.

RESULTADOS GRAVEDAD RIO FRIO	
MUESTRA	GS
1	2.69
2	2.66
3	2.69
4	2.61
5	2.68
6	2.76
7	2.65
8	2.67
9	2.48
10	2.67
11	2.64
12	2.56
13	2.63
14	2.64
15	2.48
16	2.79
17	2.64
18	2.45
19	2.68
20	2.60
21	2.64
22	2.67
23	2.74
24	2.68
25	2.63
26	2.70
27	2.59
28	2.63
29	2.66
30	2.62
PROMEDIO	2.640700902
DESVIACION ESTANDAR	0.074587682
MEDIANA	2.646293687

En la tabla 14 se puede observar que el valor promedio de la gravedad específica de sólidos es de 2,641 con una desviación estándar de 0,075 y una mediana de 2,646.

6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Una vez analizados los resultados obtenidos de los ensayos realizados para esta arena, se verifico la porosidad (n), así mismo se determinaron las constantes a proponer por medio de los resultados del laboratorio para las diferentes ecuaciones como son Allen Hazen, Terzaghi, Schlichter.

6.1. ARENA DEL RIO MANCO

La tabla 15 muestra los resultados obtenidos de los 30 ensayos realizados para esta arena y sus características en relación a la parte volumétrica y gravimétrica, así mismo nos muestra sus respectivas relaciones.

Tabla 15. RELACIONES VOLUMETRICAS Y GRAVIMETRICAS DEL SUELO

ENSAYO	VOLUMENES					PESOS					RELACIONES						
	Va cc.	Vw cc.	Vs cc.	Vv cc.	Vt cc.	Wa gr.	Ww gr.	Ws gr.	Wv gr.	Wt gr.	W% %	Sr %	n	e	Y _m gr/cc.	Y _d gr/cc.	
1	0	47,13	67,35	47,1	114,48	0	47,1	178,5	47,1	225,6	26,4	1,00	0,412	0,700	1,97	1,56	
2	0	46,56	69,58	46,6	116,14	0	46,6	184,4	46,6	284,4	25,3	1,00	0,401	0,669	2,45	1,59	
3	0	0,80	108,71	0,8	109,50	0	0,8	288,1	0,8	289,0	0,3	1,00	0,007	0,007	2,64	2,63	
4	0	36,63	89,46	36,6	126,10	0	36,6	237,1	36,6	277,4	15,5	1,00	0,291	0,409	2,20	1,88	
5	0	56,71	59,43	56,7	116,14	0	56,7	157,5	56,7	303,2	36,0	1,00	0,488	0,954	2,61	1,36	
6	0	53,23	72,86	53,2	126,10	0	53,2	193,1	53,2	282,2	27,6	1,00	0,422	0,731	2,24	1,53	
7	0	47,21	65,62	47,2	112,82	0	47,2	173,9	47,2	290,6	27,1	1,00	0,418	0,719	2,58	1,54	
8	0	58,89	75,50	58,9	134,39	0	58,9	200,1	58,9	266,7	29,4	1,00	0,438	0,780	2,00	1,49	
9	0	56,44	71,31	56,4	127,75	0	56,4	189,0	56,4	260,7	29,9	1,00	0,442	0,791	2,04	1,48	
10	0	57,79	81,58	57,8	139,37	0	57,8	216,2	57,8	258,5	26,7	1,00	0,415	0,708	1,85	1,55	
11	0	53,65	75,77	53,6	129,41	0	53,6	200,8	53,6	292,6	26,7	1,00	0,415	0,708	2,26	1,55	
12	0	43,16	79,62	43,2	122,78	0	43,2	211,0	43,2	291,7	20,5	1,00	0,352	0,542	2,38	1,72	
13	0	44,82	87,92	44,8	132,73	0	44,8	233,0	44,8	263,7	19,2	1,00	0,338	0,510	1,99	1,76	
14	0	55,95	76,79	55,9	132,73	0	55,9	203,5	55,9	270,8	27,5	1,00	0,422	0,729	2,04	1,53	
15	0	50,85	81,88	50,9	132,73	0	50,9	217,0	50,9	285,0	23,4	1,00	0,383	0,621	2,15	1,63	
16	0	47,61	81,80	47,6	129,41	0	47,6	216,8	47,6	330,5	22,0	1,00	0,368	0,582	2,55	1,68	
17	0	59,56	86,44	59,6	146,01	0	59,6	229,1	59,6	312,2	26,0	1,00	0,408	0,689	2,14	1,57	
18	0	55,57	83,80	55,6	139,37	0	55,6	222,1	55,6	265,6	25,0	1,00	0,399	0,663	1,91	1,59	
19	0	68,12	87,84	68,1	155,96	0	68,1	232,8	68,1	287,1	29,3	1,00	0,437	0,775	1,84	1,49	
20	0	56,70	85,99	56,7	142,69	0	56,7	227,9	56,7	274,3	24,9	1,00	0,397	0,659	1,92	1,60	
21	0	63,41	75,96	63,4	139,37	0	63,4	201,3	63,4	315,5	31,5	1,00	0,455	0,835	2,26	1,44	
22	0	47,05	79,05	47,0	126,10	0	47,0	209,5	47,0	297,2	22,5	1,00	0,373	0,595	2,36	1,66	
23	0	42,67	86,75	42,7	129,41	0	42,7	229,9	42,7	316,6	18,6	1,00	0,330	0,492	2,45	1,78	
24	0	45,95	76,82	46,0	122,78	0	46,0	203,6	46,0	303,5	22,6	1,00	0,374	0,598	2,47	1,66	
25	0	51,87	75,88	51,9	127,75	0	51,9	201,1	51,9	337,3	25,8	1,00	0,406	0,684	2,64	1,57	
26	0	53,88	72,22	53,9	126,10	0	53,9	191,4	53,9	319,2	28,1	1,00	0,427	0,746	2,53	1,52	
27	0	64,84	82,82	64,8	147,66	0	64,8	219,5	64,8	296,7	29,5	1,00	0,439	0,783	2,01	1,49	
28	0	46,44	76,33	46,4	122,78	0	46,4	202,3	46,4	309,4	23,0	1,00	0,378	0,608	2,52	1,65	
29	0	21,02	98,44	21,0	119,46	0	21,0	260,9	21,0	316,0	8,1	1,00	0,176	0,213	2,65	2,18	
30	0	63,00	69,73	63,0	132,73	0	63,0	184,8	63,0	274,9	34,1	1,00	0,475	0,904	2,07	1,39	
Promedio	0	49,92	79,442	49,92	129,36	0	49,9	210,5	49,9	290	24,4	1,00	0,383	0,647	2,26	1,64	

En la tabla anterior se puede observar los diferentes promedios de volúmenes, pesos y relaciones volumétricas tales como $V_a:0,0 \text{ cm}^3$; $V_w:49,9 \text{ cm}^3$; $V_s:79,44 \text{ cm}^3$; $V_v:49,92 \text{ cm}^3$; $V_t:129,36 \text{ cm}^3$; $W_a:0 \text{ gr.}$; $W_w:49,9 \text{ gr.}$; $W_s:211 \text{ gr.}$; $W_v:49,9 \text{ gr.}$; $W_t:290$; $W\%:24,4 \%$; $S_r:1,00$; $n:0,383$; $e:0,647$; $\gamma_d:2,26 \text{ gr/cm}^3$; $\gamma_m:1,64 \text{ gr/cm}^3$

La tabla de relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo es de gran importancia ya que en esta se calculan los valores de porosidad (n), para posteriormente utilizarlos en la fórmula teórica de Terzaghi.

6.1.1. Análisis de las constantes de Allen Hazen, Terzaghi y Schlichter para la arena del río Manco.

A continuación se explicará como se calcularon las ecuaciones de Allen Hazen, Terzaghi y Schlichter, las cuales se compararán posteriormente con las constantes propuestas teóricas de Allen Hazen, Terzaghi y Schlichter para el río Manco.

En la siguiente tabla se muestran las constantes obtenidas para las ecuaciones de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi, con base a las constantes obtenidas en el laboratorio, para la arena del río Manco.

Tabla 16. COMPARACIÓN DE LAS CONSTANTES PERMEABILIDAD – RIO MANCO

Ensayo H°	Volumen (Q) (cm ³)	Area (A) (cm ²)	Cabeza (h) (cm)	Altura (L) (cm)	Temp. (°C)	n (Lab.)	K (Lab.)	C (Allen.)	C (Schli.)	C1 (Terza.)	Co (Terza.)
1	233	33,18	63,4	3,45	27,0	0,412	0,0018	15,81	48,77	15,81	139,89
2	237	33,18	63,4	3,50	25,0	0,401	0,0019	17,71	43,53	17,71	171,50
3	239	33,18	63,4	3,30	27,0	0,007	0,0018	15,48	49,82	15,48	1022,66
4	300	33,18	63,4	3,80	27,0	0,291	0,0026	22,39	34,43	22,39	691,44
5	261	33,18	63,4	3,50	25,0	0,488	0,0021	19,57	39,39	19,57	97,54
6	227	33,18	63,4	3,80	25,0	0,422	0,0020	18,43	41,84	18,43	149,75
7	243	33,18	63,4	3,40	26,0	0,418	0,0019	16,96	45,46	16,96	142,06
8	322	33,18	63,4	4,05	23,0	0,438	0,0032	30,43	25,34	30,43	218,13
9	269	33,18	63,4	3,85	23,0	0,442	0,0025	24,17	31,90	24,17	168,56
10	271	33,18	63,4	4,20	23,0	0,415	0,0028	26,60	28,98	26,60	229,69
11	332	33,18	63,4	3,90	26,7	0,415	0,0029	25,75	29,94	25,75	222,60
12	328	33,18	63,4	3,70	23,2	0,352	0,0030	28,07	27,47	28,07	428,40
13	379	33,18	63,4	4,00	22,8	0,338	0,0037	35,73	21,58	35,73	629,66
14	513	33,18	63,4	4,00	23,0	0,422	0,0050	47,99	16,07	47,99	392,11
15	499	33,18	63,4	4,00	22,8	0,383	0,0049	47,07	16,38	47,07	532,37
16	578	33,18	63,4	3,90	23,0	0,368	0,0055	52,64	14,65	52,64	685,05
17	548	33,18	63,4	4,40	23,0	0,408	0,0059	56,30	13,69	56,30	513,88
18	378	33,18	63,4	4,20	23,0	0,399	0,0039	37,05	20,81	37,05	365,64
19	471	33,18	63,4	4,70	23,1	0,437	0,0054	51,49	14,97	51,49	373,17
20	503	33,18	63,4	4,30	22,9	0,397	0,0053	50,80	15,18	50,80	507,16
21	405	33,18	63,4	4,20	23,0	0,455	0,0042	39,77	19,39	39,77	251,18
22	371	33,18	63,4	3,80	24,5	0,373	0,0034	30,85	24,99	30,85	382,39
23	413	33,18	63,4	3,90	25,6	0,330	0,0037	33,60	22,95	33,60	645,28
24	370	33,18	63,4	3,70	24,1	0,374	0,0033	30,47	25,31	30,47	373,48
25	417	33,18	63,4	3,85	25,6	0,406	0,0037	33,47	23,04	33,47	310,32
26	363	33,18	63,4	3,80	24,1	0,427	0,0033	30,66	25,15	30,66	239,26
27	444	33,18	63,4	4,45	22,5	0,439	0,0049	47,27	16,31	47,27	336,45
28	290	33,18	63,4	3,70	24,7	0,378	0,0025	23,26	33,15	23,26	274,87
29	362	33,18	63,4	3,60	24,2	0,176	0,0031	28,86	26,71	28,86	12032,03
30	380	33,18	63,4	4,00	23,1	0,475	0,0037	35,37	21,80	35,37	193,84
Promedio	365	33,18	63,4	3,90	24,2	0,383	0,0035	32,47	27,30	32,467	757,35

Por medio de los resultados dados en la tabla anterior podemos observar las constantes promedio obtenidas a partir del coeficiente de permeabilidad hallado en el laboratorio, para la arena del río Manco; constante de permeabilidad de Allen Hazen C= 32,47; para Schlichter C=27,30; para Terzaghi C1= 32,467 y para la constante Co= 757,35.

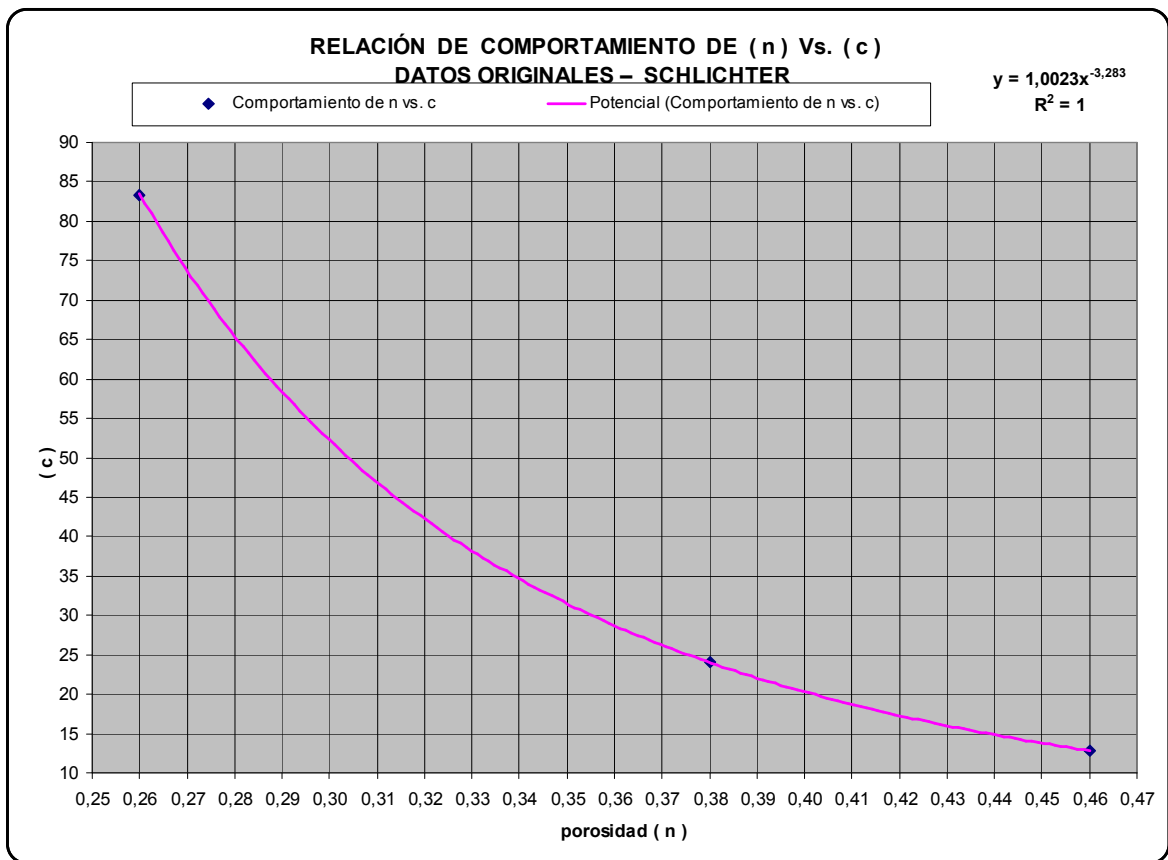
Análisis de la constante obtenida en la formula de Schlichter

Según el análisis realizado de la constante obtenida en la formula de Schlichter no se encontró una correlación ni tendencia entre la porosidad (n) y las constantes

halladas en los 30 ensayos. Por esta razón se utiliza el valor promedio de la constante de los ensayos realizados.

La gráfica a continuación muestra la correlación que hizo Schlichter para calcular las respectivas constantes a usar dependiendo de los tipos de arena.

Grafica 2. Relación de comportamiento de la Porosidad (n) Vs Constante de Schlichter (c). Datos originales–Schlichter.



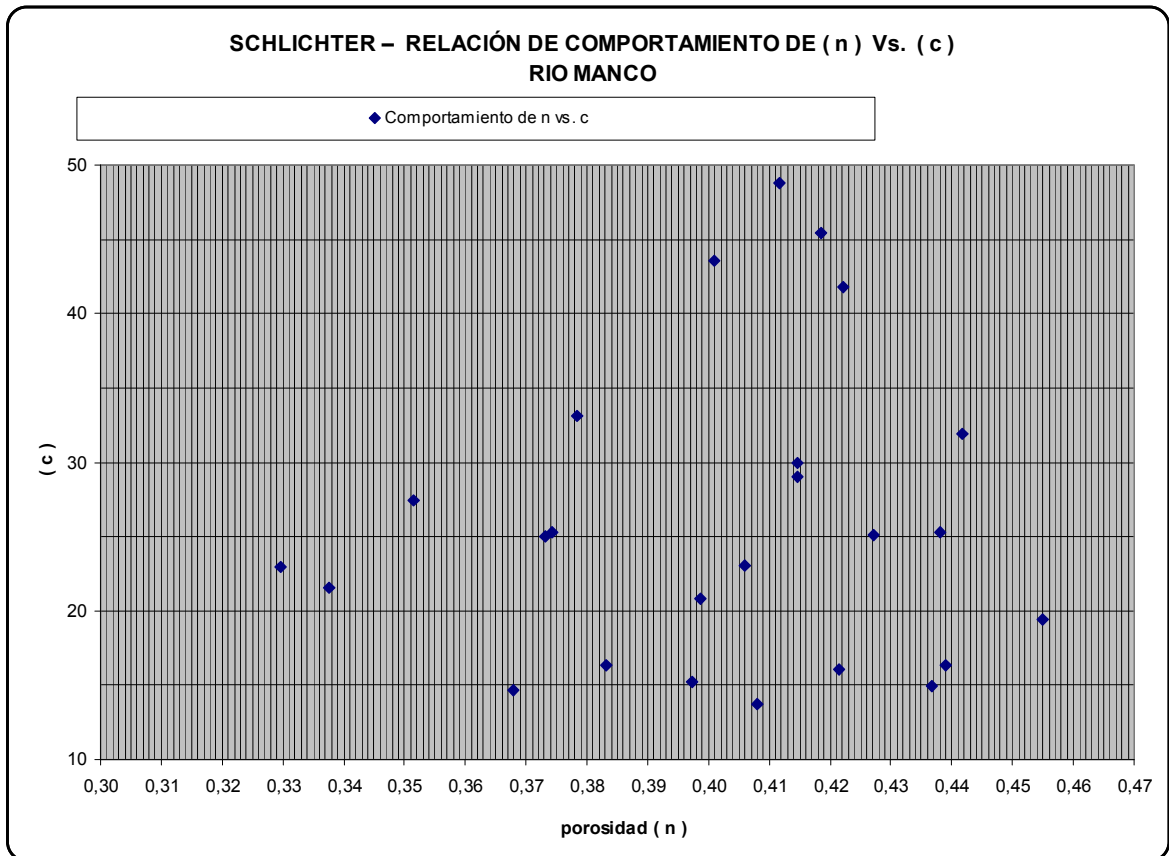
La grafica anterior muestra una correlación $R^2=1$ con una formula $y = 1,0023x^{-3,283}$, esta calculada con los valores:

N	C Schlichter
0,26	83,4
0,38	24,1
0,46	12,8

La siguiente grafica es obtenida a partir de los datos dados en el laboratorio para la arena del Río Manco.

Grafica 3. Relación de comportamiento de la Porosidad (n) Vs Constante de Schlichter (c).

Datos Río Manco.



En la gráfica anterior se observa que en la arena del Río Manco no existe ninguna correlación o tendencia entre la porosidad (n) y las constantes calculadas con respecto a las constantes obtenidas en el laboratorio; por lo cual se halló un promedio que dio 27,30.

Análisis de la constante obtenida en la fórmula de Terzaghi

Según la formula de Terzaghi se calculan dos constantes (C_1 y C_0) de las cuales se toma un valor promedio de los datos obtenidos en los ensayos por tratarse de un mismo suelo; donde C_0 esta en función del tipo de suelo y C_1 esta en función de la porosidad (n).

Arenas de granos redondeados	$C_0 = 800$
Arenas de granos angulosos	$C_0 = 460$
Arenas con limos	$C_0 < 400$

Tabla 17. Determinación de C_0 según la forma de los agregados. (Tomado de Mecánica de Suelos, Juárez Badillo, TOMO I).

En este proyecto de investigación se tomo un valor promedio se todos los C_0 obtenidos en los ensayos por tratarse de un mismo suelo. También se tomo un valor promedio de C_1 debido a la similitud en los valores de la porosidad.

Análisis de la constante obtenida en la fórmula de Allen Hazen

Para este análisis se calculo una constante promedio de las constantes obtenidas en el laboratorio.

6.1.2. Análisis del ajuste propuesto para disminuir los porcentajes de error en las ecuaciones de Allen Hazen, Terzaghi y Schlichter para la arena del río Manco.

Este ajuste tiene como objetivo principal disminuir el porcentaje de error existente en las constantes teóricas de Hazen, Terzaghi y Schlichter con respecto a las constantes obtenidas en el laboratorio.

Ajuste propuesto para la ecuación de Allen Hazen

Para el ajuste de disminución del factor de error propuesto para la fórmula de Allen Hazen se hizo lo siguiente:

- ❖ Se calcularon los K_t para los 30 ensayos realizados en cada arena.
- ❖ Se hallaron las constantes K_{20} de permeabilidad, para los 30 ensayos realizados.
- ❖ Se reemplazaron los valores de K_{20} en la fórmula de constante de permeabilidad de Allen Hazen despejando el valor de C.
- ❖ Se tomó el promedio de las constantes halladas de los 30 ensayos. Este valor promedio de C se reemplazó en la ecuación ajustada de Hazen para obtener un valor de K ajustado para luego compararlo con el K de permeabilidad obtenido en el laboratorio.
- ❖ Finalmente se calculó el porcentaje de error entre el K de ajuste y el obtenido del laboratorio, para verificar la viabilidad de la constante hallada.

Ajuste propuesto para la ecuación de Schlichter

Para el ajuste de disminución del factor de error propuesto para la fórmula de Schlichter se hizo lo siguiente:

- ❖ Se calcularon los K_t para los 30 ensayos realizados en cada arena.
- ❖ Se hallaron las constantes K_{20} de permeabilidad, para los 30 ensayos realizados.
- ❖ Se reemplazaron los valores de K_{20} en la fórmula de constante de permeabilidad de Schlichter despejando el valor de C .
- ❖ Se tomó el promedio de las constantes halladas de los 30 ensayos. Este valor promedio de C se reemplazó en la ecuación ajustada de Schlichter para obtener un valor de K ajustado para luego compararlo con el K de permeabilidad obtenido en el laboratorio.
- ❖ Finalmente se calculó el porcentaje de error entre el K de ajuste y el obtenido del laboratorio, para verificar la viabilidad de la constante hallada.

Ajuste propuesto para la ecuación de Terzaghi

Para el ajuste de disminución del factor de error propuesto para la fórmula de Terzaghi se hizo lo siguiente:

- ❖ Se calcularon los K_t para los 30 ensayos realizados en cada arena.
- ❖ Se hallaron las constantes K_{20} de permeabilidad, para los 30 ensayos realizados.
- ❖ Se utilizaron las constantes promedios C_1 y C_0 en las fórmulas propuestas, con base al K de permeabilidad obtenido en el laboratorio para obtener un valor ajustado de K .

- ❖ Finalmente se calculo el porcentaje de error entre el K de ajuste y el obtenido del laboratorio, para verificar la viabilidad de la constante hallada.

6.1.3 Análisis de porcentajes de error para los coeficientes K en las fórmulas de Terzaghi, Schlichter y Allen Hazen para la arena del río Manco.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de los ensayos de granulometría, permeabilidad y gravedad específica de sólidos; así mismo se mostraran los valores calculados de permeabilidad a partir de las formulas de Terzaghi, Schlichter y Allen Hazen, comparando los errores de estos respecto a los del laboratorio los cuales son los valores reales.

Porcentajes de error Allen Hazen

En la tabla 18 se muestran los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad ajustados con respecto a los obtenidos en el laboratorio para la arena del el río Manco.

Tabla 18. PORCENTAJES DE ERROR ALLEN HAZEN - RIO MANCO

H°	KLAB (cm3/seg)	KAH. ORIGINAL (cm3/seg)	ERRORAH. ORIGINAL (%)	KAH.AJUSTE(c m3/seg)	ERRORA . AJUSTE (%)	ERROR (°)	RAIGOS
1	0,001806689	0,01325786	633,8	0,003710713	105,4	3,0	
2	0,001943879	0,012731058	554,9	0,003563267	83,3	3,4	
3	0,001768867	0,01325786	649,5	0,003710713	109,8	5,2	
4	0,002559456	0,01325786	418,0	0,003710713	45,0	5,9	
5	0,002148335	0,012731058	492,6	0,003563267	65,9	6,6	0-10
6	0,002022373	0,012731058	529,5	0,003563267	76,2	6,7	
7	0,001899749	0,012994459	584,0	0,00363699	91,4	8,2	
8	0,003201503	0,012204256	281,2	0,003415822	6,7	9,1	
9	0,002542876	0,012204256	379,9	0,003415822	34,3	12,4	
10	0,002798572	0,012204256	336,1	0,003415822	22,1	12,5	
11	0,002925732	0,01317884	350,4	0,003688596	26,1	15,7	10--30
12	0,002965655	0,012256936	313,3	0,003430566	15,7	18,4	
13	0,003742640	0,012151575	224,7	0,003401077	9,1	22,1	
14	0,005049085	0,012204256	141,7	0,003415822	32,3	26,1	
15	0,004930897	0,012151575	146,4	0,003401077	31,0	31,0	
16	0,005537766	0,012204256	120,4	0,003415822	38,3	31,3	
17	0,005923178	0,012204256	106,0	0,003415822	42,3	32,3	
18	0,003898380	0,012204256	213,1	0,003415822	12,4	34,3	
19	0,005429263	0,012230596	125,3	0,003423194	36,9	36,1	
20	0,005333289	0,012177915	128,3	0,003408449	36,1	36,9	30-50
21	0,004183659	0,012204256	191,7	0,003415822	18,4	38,3	
22	0,003350988	0,012599357	276,0	0,003526406	5,2	39,6	
23	0,003733063	0,012889099	245,3	0,003607501	3,4	42,3	
24	0,003281462	0,012493997	280,7	0,003496917	6,6	45,0	
25	0,003718655	0,012889099	246,6	0,003607501	3,0	65,9	
26	0,003301837	0,012493997	278,4	0,003496917	5,9	76,2	50-100
27	0,004919583	0,012072555	145,4	0,00337896	31,3	83,3	
28	0,002537105	0,012652038	398,7	0,00354115	39,6	91,4	
29	0,003115438	0,012520337	301,9	0,003504289	12,5	105,4	>100
30	0,003728902	0,012230596	228,0	0,003423194	8,2	109,8	
		Mediana :	279,6	mediana :	31,2		

(*) % de error ajuste con sus valores de menor a mayor

Según el análisis de los resultados obtenidos con respecto a los porcentajes de error, la mediana obtenida del error sin hacer el ajuste fue de 279,6% y con el ajuste es de 31,2%.

Luego de hacer el ajuste, se puede observar que en porcentaje de los 30 ensayos un 26,67% de las muestras tienen porcentajes de error entre 0 y 10; el 20% de las muestras tienen porcentajes de error entre un rango de 10 y 30; el 33,33% de las muestras tienen porcentajes de error entre el 30 y 50; el 13,33% de las muestras

tienen porcentajes de error entre el 50 y 100 y por ultimo un 6,67% de las muestras tienen porcentajes de error en un rango > 100.

Porcentajes de error de Terzaghi

En la tabla 19 se muestran los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad ajustados con respecto a los obtenidos en el laboratorio para la arena del el río Manco.

Tabla 19. PORCENTAJES DE ERROR TERZAGUI - RIO MANCO

II°	K _{LAB} (cm ³ /seg)	K _{T,ORIGINAL} (cm ³ /seg)	ERROR _{T, ORIGINAL} (%)	K _{T,AJUSTE} (cm ³ /seg)	ERROR _{T, AJUSTE} (%)	ERROR (°)	RAIGOS
1	0,001806689	0,010332183	471,9	0,009781297	441,4	9,5	
2	0,001943879	0,009067594	366,5	0,008584132	341,6	10,6	
3	0,001768887	0,00138375	21,8	0,001309972	25,9	17,4	0-30
4	0,002559456	0,002961306	15,7	0,002803416	9,5	20,3	
5	0,002148335	0,017619664	720,2	0,016680228	676,4	25,9	
6	0,002022373	0,010803989	434,2	0,010227947	405,7	42,3	
7	0,001899749	0,010698563	463,2	0,010128142	433,1	47,4	30-50
8	0,003201503	0,011741371	266,7	0,01111535	247,2	49,3	
9	0,002542876	0,012068788	374,6	0,011425311	349,3	76,8	
10	0,002798572	0,009747119	248,3	0,009227427	229,7	93,1	
11	0,002925732	0,010514751	259,4	0,009954131	240,2	93,7	50-100
12	0,002965655	0,005538083	86,7	0,005242807	76,8	98,1	
13	0,003742640	0,004755098	27,1	0,004501568	20,3	102,8	
14	0,005049085	0,010301249	104,0	0,009752012	93,1	103,0	
15	0,004930897	0,007409704	50,3	0,007014637	42,3	107,1	100-180
16	0,005537766	0,006466978	16,8	0,006122175	10,6	125,1	
17	0,005923178	0,009221025	55,7	0,008729383	47,4	144,1	
18	0,003898380	0,008529444	118,8	0,008074676	107,1	175,5	
19	0,005429263	0,011639305	114,4	0,011018727	103,0	201,5	
20	0,005333289	0,008412872	57,7	0,007964318	49,3	216,5	
21	0,004183659	0,013324853	218,5	0,012614406	201,5	229,7	180-250
22	0,003350988	0,007010539	109,2	0,006636755	98,1	240,2	
23	0,003733063	0,004628168	24,0	0,004381406	17,4	247,2	
24	0,003281462	0,007028965	114,2	0,006654198	102,8	290,7	
25	0,003718655	0,009586651	157,8	0,009075515	144,1	341,6	250-350
26	0,003301837	0,011040125	234,4	0,010451494	216,5	349,3	
27	0,004919583	0,011697555	137,8	0,01107387	125,1	405,7	
28	0,002537105	0,007384064	191,0	0,006990364	175,5	433,1	350-680
29	0,003115438	0,000207143	93,4	0,000196099	93,7	441,4	
30	0,003728902	0,015369935	312,7	0,014569382	290,7	676,4	
		Mediana:	128,3	Mediana:	116,1		

(*) % de error ajuste con sus valores de menor a mayor

Según el análisis de los resultados obtenidos con respecto a los porcentajes de error, la mediana obtenida del error sin hacer el ajuste fue de 128,3% y con el ajuste es de 116,1%.

Luego de hacer el ajuste, se puede observar que en porcentaje de los 30 ensayos un 16,67% de las muestras tienen porcentajes de error entre 0 y 30; el 10% de las muestras tienen porcentajes de error entre un rango de 30 y 50; el 13,33% de las muestras tienen porcentajes de error entre el 50 y 100; el 20% de las muestras tienen porcentajes de error entre el 100 y 180; el 16,67% de las muestras tienen porcentajes de error entre un rango de 180 y 250; el 10% de las muestras tienen porcentajes de error entre el 250 y 350 y por ultimo un 13,33% de las muestras tienen porcentajes de error entre 350 y 680.

Porcentajes de error de Schlichter

En la tabla 20 se muestran los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad ajustados con respecto a los obtenidos en el laboratorio para la arena del el río Manco.

Tabla 20. PORCENTAJES DE ERROR SCHLICHTER - RIO MANCO

Nº	K _{LAB} (cm ³ /seg)	K _{S,ORIGINAL} (cm ³ /seg)	ERROR _{S,} ORIGINAL (%)	K _{S,AJUSTE} (cm ³ /seg)	ERROR _{S,AJUSTE} (%)	ERROR (°)	RANGOS
1	0,001806689	0,004771512	164,1	0,003227867	78,7	0,6	
2	0,001943879	0,004200226	116,1	0,003099608	59,5	2,2	
3	0,001768887	8,41922E-09	100,0	0,003227867	82,5	6,2	
4	0,002559456	0,001519266	40,6	0,003227867	26,1	7,2	0-10
5	0,002148335	0,008024889	273,5	0,003099608	44,3	7,3	
6	0,002022373	0,004976846	146,1	0,003099608	53,3	7,9	
7	0,001899749	0,004932524	159,6	0,003163738	66,5	8,5	
8	0,003201503	0,005391206	68,4	0,002971348	7,2	9,7	
9	0,002542876	0,00553794	117,8	0,002971348	16,8	15,6	
10	0,002798572	0,004497919	60,7	0,002971348	6,2	15,9	
11	0,002925732	0,004852301	65,8	0,003208629	9,7	16,8	
12	0,002965655	0,0026269	11,4	0,002984174	0,6	20,1	
13	0,003742640	0,002281116	39,1	0,002958522	21,0	21,0	10--30
14	0,005049085	0,004745974	6,0	0,002971348	41,2	21,4	
15	0,004930897	0,003454107	29,9	0,002958522	40,0	23,8	
16	0,005537766	0,003036427	45,2	0,002971348	46,3	26,1	
17	0,005923178	0,004262613	28,0	0,002971348	49,8	29,0	
18	0,003898380	0,003953687	1,4	0,002971348	23,8	40,0	
19	0,005429263	0,005345743	1,5	0,002977761	45,2	40,3	
20	0,005333289	0,003901348	26,8	0,002964935	44,4	41,2	
21	0,004183659	0,006100673	45,8	0,002971348	29,0	44,3	30-50
22	0,003350988	0,003282837	2,0	0,003067543	8,5	44,4	
23	0,003733063	0,002237617	40,1	0,003138086	15,9	45,2	
24	0,003281462	0,003289563	0,2	0,003041891	7,3	46,3	
25	0,003718655	0,004433953	19,2	0,003138086	15,6	49,8	
26	0,003301837	0,005080056	53,9	0,003041891	7,9	53,3	
27	0,004919583	0,005370175	9,2	0,002939283	40,3	59,5	
28	0,002537105	0,003449338	36,0	0,003080369	21,4	66,5	50-90
29	0,003115438	0,000276429	91,1	0,003048304	2,2	78,7	
30	0,003728902	0,007024458	88,4	0,002977761	20,1	82,5	
		Mediana:	42,9	Mediana:	24,9		
(*) % de error ajuste con sus valores de menor a mayor							

Según el análisis de los resultados obtenidos con respecto a los porcentajes de error, la mediana obtenida del error sin hacer el ajuste fue de 42,9% y con el ajuste es de 24,9%.

Luego de hacer el ajuste, se puede observar que en porcentaje de los 30 ensayos un 26,67% de las muestras tienen porcentajes de error entre 0 y 10; el 30% de las

muestras tienen porcentajes de error entre un rango de 10 y 30; el 26,67% de las muestras tienen porcentajes de error entre el 30 y 50; y por ultimo un 16,67% de las muestras tienen porcentajes de error entre 50 y 90.

6.2. ARENA DEL RIO FRIO

La tabla 21 muestra los resultados obtenidos de los 30 ensayos realizados para esta arena y sus características en relación a la parte volumétrica y gravimétrica, así mismo nos muestra sus respectivas relaciones.

Tabla 21. RELACIONES VOLUMETRICAS Y GRAVIMETRICAS DEL SUELO

ENSAYO	VOLUMENES					PESOS					RELACIONES					
	Va cc.	Vw cc.	Vs cc.	Vv cc.	Vt cc.	Wa gr.	Ww gr.	Ws gr.	Wv gr.	Wt gr.	W% %	Sr %	n	e	Y _m gr/cc.	Y _a gr/cc.
1	0	58,40	90,92	58,4	149,32	0	58,4	240,1	58,4	298,5	24,3	1,00	0,391	0,642	2,00	1,61
2	0	68,49	94,10	68,5	162,60	0	68,5	248,5	68,5	317,0	27,6	1,00	0,421	0,728	1,95	1,53
3	0	70,94	94,97	70,9	165,92	0	70,9	250,8	70,9	321,7	28,3	1,00	0,428	0,747	1,94	1,51
4	0	63,90	92,06	63,9	155,96	0	63,9	243,1	63,9	307,0	26,3	1,00	0,410	0,694	1,97	1,56
5	0	73,66	102,21	73,7	175,87	0	73,7	269,9	73,7	343,6	27,3	1,00	0,419	0,721	1,95	1,53
6	0	60,04	95,92	60,0	155,96	0	60,0	253,3	60,0	313,3	23,7	1,00	0,385	0,626	2,01	1,62
7	0	65,71	100,20	65,7	165,92	0	65,7	264,6	65,7	330,3	24,8	1,00	0,396	0,656	1,99	1,59
8	0	69,88	96,04	69,9	165,92	0	69,9	253,6	69,9	323,5	27,6	1,00	0,421	0,728	1,95	1,53
9	0	60,00	79,37	60,0	139,37	0	60,0	209,6	60,0	269,6	28,6	1,00	0,430	0,756	1,93	1,50
10	0	66,06	89,90	66,1	155,96	0	66,1	237,4	66,1	303,5	27,8	1,00	0,424	0,735	1,95	1,52
11	0	71,82	84,14	71,8	155,96	0	71,8	222,2	71,8	294,0	32,3	1,00	0,460	0,853	1,89	1,42
12	0	70,99	101,56	71,0	172,55	0	71,0	268,2	71,0	339,2	26,5	1,00	0,411	0,699	1,97	1,55
13	0	66,48	89,48	66,5	155,96	0	66,5	236,3	66,5	302,8	28,1	1,00	0,426	0,743	1,94	1,52
14	0	78,17	71,16	78,2	149,32	0	78,2	187,9	78,2	266,1	41,6	1,00	0,523	1,099	1,78	1,26
15	0	80,72	101,79	80,7	182,51	0	80,7	268,8	80,7	349,5	30,0	1,00	0,442	0,793	1,92	1,47
16	0	59,71	102,89	59,7	162,60	0	59,7	271,7	59,7	331,4	22,0	1,00	0,367	0,580	2,04	1,67
17	0	62,16	93,80	62,2	155,96	0	62,2	247,7	62,2	309,9	25,1	1,00	0,399	0,663	1,99	1,59
18	0	73,51	102,36	73,5	175,87	0	73,5	270,3	73,5	343,8	27,2	1,00	0,418	0,718	1,95	1,54
19	0	56,64	79,41	56,6	136,05	0	56,6	209,7	56,6	266,3	27,0	1,00	0,416	0,713	1,96	1,54
20	0	57,07	75,66	57,1	132,73	0	57,1	199,8	57,1	256,9	28,6	1,00	0,430	0,754	1,94	1,51
21	0	59,72	73,01	59,7	132,73	0	59,7	192,8	59,7	252,5	31,0	1,00	0,450	0,818	1,90	1,45
22	0	53,09	79,64	53,1	132,73	0	53,1	210,3	53,1	263,4	25,2	1,00	0,400	0,667	1,98	1,58
23	0	55,13	87,55	55,1	142,69	0	55,1	231,2	55,1	286,3	23,8	1,00	0,386	0,630	2,01	1,62
24	0	61,35	87,97	61,4	149,32	0	61,4	232,3	61,4	293,7	26,4	1,00	0,411	0,697	1,97	1,56
25	0	48,65	81,19	48,7	129,84	0	48,7	214,4	48,7	263,1	22,7	1,00	0,375	0,599	2,03	1,65
26	0	76,84	49,84	76,8	126,68	0	76,8	131,6	76,8	208,4	58,4	1,00	0,607	1,542	1,65	1,04
27	0	42,11	68,73	42,1	110,84	0	42,1	181,5	42,1	223,6	23,2	1,00	0,380	0,613	2,02	1,64
28	0	60,50	88,35	60,5	148,85	0	60,5	233,3	60,5	293,8	25,9	1,00	0,406	0,685	1,97	1,57
29	0	59,69	92,32	59,7	152,01	0	59,7	243,8	59,7	303,5	24,5	1,00	0,393	0,647	2,00	1,60
30	0	52,34	83,84	52,3	136,18	0	52,3	221,4	52,3	273,7	23,6	1,00	0,384	0,624	2,01	1,63
Promedio	0	63,46	87,68	63,5	151,14	0	63,5	231,5	63,46	295	28,0	1,00	0,420	0,739	1,95	1,53

En la tabla anterior se puede observar los diferentes promedios de volúmenes, pesos y relaciones volumétricas tales como $V_a:0,0 \text{ cm}^3$; $V_w:63,5 \text{ cm}^3$; $V_s:87,68 \text{ cm}^3$; $V_v:63,5 \text{ cm}^3$; $V_t:151,14 \text{ cm}^3$; $W_a:0 \text{ gr.}$; $W_w:63,5 \text{ gr.}$; $W_s:231,5 \text{ gr.}$; $W_v:63,5 \text{ gr.}$; $W_t:295$; $W\%:28,0 \%$; $S_r:1,00$; $n:0,420$; $e:0,739$; $\gamma_d:1,95 \text{ gr/cm}^3$; $\gamma_m:1,53 \text{ gr/cm}^3$

La tabla de relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo es de gran importancia ya que en esta se calculan los valores de porosidad (n), para posteriormente utilizarlos en la fórmula teórica de Terzaghi.

6.2.1. Análisis de las constantes de Allen Hazen, Terzaghi y Schlichter para la arena del río Frio.

A continuación se explicara como se calcularon las ecuaciones de Allen Hazen, Terzaghi y Schlichter, las cuales se compararan posteriormente con las constantes propuestas teóricas de Allen Hazen, Terzaghi y Schlichter.

En la tabla 22 se muestran las constantes obtenidas para las ecuaciones de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi, con base a las constantes obtenidas en el laboratorio, para la arena del río Frio.

Tabla 22. COMPARACIÓN DE LAS CONSTANTES PERMEABILIDAD – RIO FRIO

Ensayo H°	Volumen (Q) (cm ³)	Area (A) (cm ²)	Cabeza (h) (cm)	Altura (L) (cm)	Temp. (°C)	n (Lab.)	K (Lab.)	C (Allen.)	C (Schli.)	C1 (Terza.)	Co (Terza.)
1	830	33,18	63,4	4,50	23,5	0,391	0,0091	89,43	8,62	89,43	942,35
2	750	33,18	63,4	4,90	23,9	0,421	0,0088	86,43	8,92	86,43	707,65
3	931	33,18	63,4	5,00	23,8	0,428	0,0112	110,01	7,01	110,01	856,48
4	925	33,18	63,4	4,70	23,8	0,410	0,0105	102,71	7,51	102,71	923,66
5	876	33,18	63,4	5,30	23,9	0,419	0,0112	109,22	7,06	109,22	911,69
6	793	33,18	63,4	4,70	24,0	0,385	0,0090	87,28	8,83	87,28	971,06
7	926	33,18	63,4	5,00	23,4	0,396	0,0113	111,38	6,92	111,38	1124,05
8	841	33,18	63,4	5,00	23,7	0,421	0,0102	99,74	7,73	99,74	817,04
9	915	33,18	63,4	4,20	23,8	0,430	0,0093	90,79	8,49	90,79	690,90
10	867	33,18	63,4	4,70	24,0	0,424	0,0098	95,40	8,08	95,40	766,70
11	958	33,18	63,4	4,70	22,8	0,460	0,0111	111,18	6,93	111,18	674,66
12	886	33,18	63,4	5,20	22,9	0,411	0,0114	113,34	6,80	113,34	1005,27
13	876	33,18	63,4	4,70	23,3	0,426	0,0100	99,42	7,75	99,42	782,25
14	949	33,18	63,4	4,50	23,7	0,523	0,0103	101,31	7,61	101,31	399,21
15	905	33,18	63,4	5,50	24,0	0,442	0,0120	116,55	6,62	116,55	809,88
16	879	33,18	63,4	4,90	24,0	0,367	0,0103	100,82	7,65	100,82	1320,64
17	953	33,18	63,4	4,70	23,9	0,399	0,0108	105,29	7,32	105,29	1040,13
18	848	33,18	63,4	5,30	24,0	0,418	0,0108	105,25	7,33	105,25	884,67
19	736	33,18	63,4	4,10	21,5	0,416	0,0077	79,13	9,74	79,13	674,14
20	783	33,18	63,4	4,00	21,5	0,430	0,0076	78,46	9,83	78,46	599,50
21	731	33,18	63,4	4,00	23,3	0,450	0,0071	70,65	10,91	70,65	463,37
22	675	33,18	63,4	4,00	24,0	0,400	0,0065	63,22	12,20	63,22	616,87
23	637	33,18	63,4	4,30	23,8	0,386	0,0066	64,70	11,92	64,70	710,64
24	485	33,18	63,4	4,50	24,0	0,411	0,0052	51,10	15,09	51,10	455,19
25	821	33,18	63,4	4,10	23,7	0,375	0,0085	83,66	9,22	83,66	1021,59
26	876	33,18	63,4	4,00	22,0	0,607	0,0092	94,03	8,20	94,03	222,26
27	507	33,18	63,4	3,50	24,0	0,380	0,0045	43,53	17,71	43,53	506,75
28	373	33,18	63,4	4,70	23,7	0,406	0,0044	43,53	17,71	43,53	402,31
29	568	33,18	63,4	4,80	23,5	0,393	0,0069	68,34	11,28	68,34	710,44
30	648	33,18	63,4	4,30	24,0	0,384	0,0070	68,31	11,29	68,31	764,32
Promedio	791	33,18	63,4	4,59	23,5	0,420	0,0089	88,14	9,41	88,141	759,19

Por medio de los resultados dados en la tabla anterior podemos observar las constantes promedio obtenidas a partir del coeficiente de permeabilidad hallado en el laboratorio, para la arena del río frío; constante de permeabilidad de Allen Hazen C= 88,14; para Schlichter C=9,41; para Terzaghi C1= 88,141 y para la constante Co= 759,19.

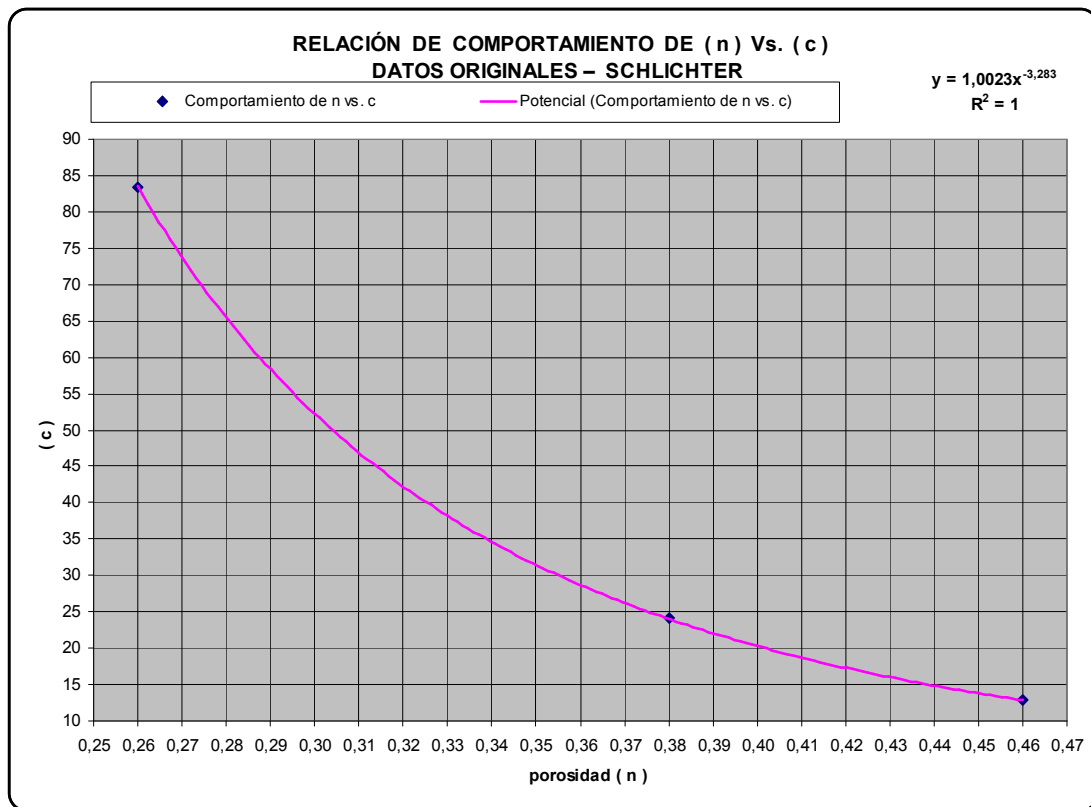
Análisis de la constante obtenida en la formula de Schlichter

Según el análisis realizado de la constante obtenida en la formula de Schlichter no se encontró una correlación ni tendencia entre la porosidad (n) y las constantes

halladas en los 30 ensayos. Por esta razón se utiliza el valor promedio de la constante de los ensayos realizados.

La gráfica a continuación muestra la correlación que hizo Schlichter para calcular las respectivas constantes a usar dependiendo de los tipos de arena.

Grafica 4. Relación de comportamiento de la Porosidad (n) Vs Constante de Schlichter (c). Datos originales-Schlichter.

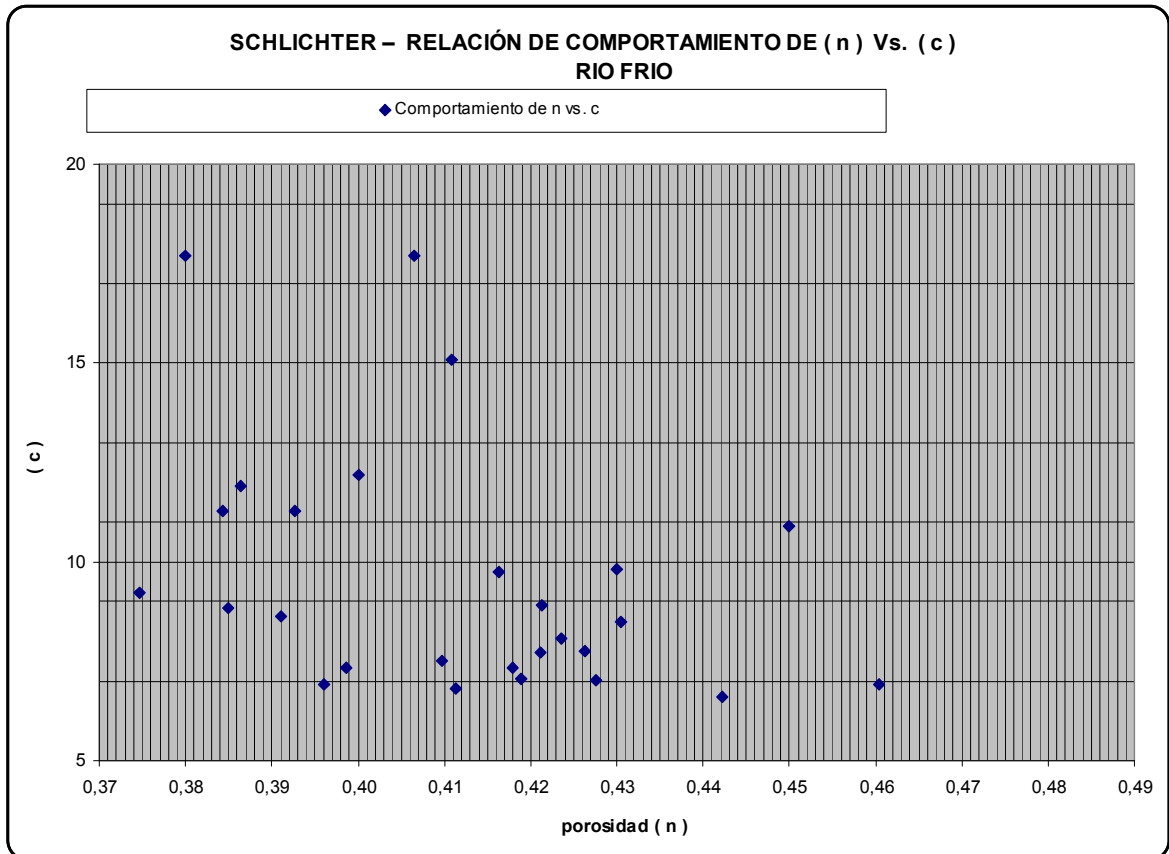


La grafica anterior muestra una correlación $R^2=1$ con una formula $y = 1,0023x^{-3,283}$, esta calculada con los valores:

N	C Schlichter
0,26	83,4
0,38	24,1
0,46	12,8

La siguiente grafica es obtenida a partir de los datos dados en el laboratorio para la arena del Río Frío.

Grafica 5. Relación de comportamiento de la Porosidad (n) Vs Constante de Schlichter (c).
Datos Río Frío.



En la gráfica anterior se observa que en la arena del Río Frío no existe ninguna correlación o tendencia entre la porosidad (n) y las constantes calculadas con respecto a las constantes obtenidas en el laboratorio, por lo cual se halló un promedio que dio 9,41.

Análisis de la constante obtenida en la fórmula de Terzaghi

Según la fórmula de Terzaghi se calculan dos constantes (C_1 y C_0) de las cuales se toma un valor promedio de los datos obtenidos en los ensayos por tratarse de un mismo suelo; donde C_0 está en función del tipo de suelo y C_1 está en función de la porosidad (n).

Arenas de granos redondeados	$C_0 = 800$
Arenas de granos angulosos	$C_0 = 460$
Arenas con limos	$C_0 < 400$

Tabla 23. Determinación de C_0 según la forma de los agregados. (Tomado de Mecánica de Suelos, Juárez Badillo, TOMO I).

En este proyecto de investigación se tomó un valor promedio de todos los C_0 obtenidos en los ensayos por tratarse de un mismo suelo. También se tomó un valor promedio de C_1 debido a la similitud en los valores de la porosidad.

Análisis de la constante obtenida en la fórmula de Allen Hazen

Para este análisis se calculó una constante promedio de las constantes obtenidas en el laboratorio.

6.2.2. Análisis del ajuste propuesto para disminuir los porcentajes de error en las ecuaciones de Allen Hazen, Terzaghi y Schlichter para la arena del río Frío.

Este ajuste tiene como objetivo principal disminuir el porcentaje de error existente en las constantes teóricas de Hazen, Terzaghi y Schlichter con respecto a las constantes obtenidas en el laboratorio.

Ajuste propuesto para la ecuación de Allen Hazen

Para el ajuste de disminución del factor de error propuesto para la fórmula de Allen Hazen se hizo lo siguiente:

- ❖ Se calcularon los K_t para los 30 ensayos realizados en cada arena.
- ❖ Se hallaron las constantes K_{20} de permeabilidad, para los 30 ensayos realizados.
- ❖ Se reemplazaron los valores de K_{20} en la fórmula de constante de permeabilidad de Allen Hazen despejando el valor de C.
- ❖ Se tomó el promedio de las constantes halladas de los 30 ensayos. Este valor promedio de C se reemplazó en la ecuación ajustada de Hazen para obtener un valor de K ajustado para luego compararlo con el K de permeabilidad obtenido en el laboratorio.
- ❖ Finalmente se calculó el porcentaje de error entre el K de ajuste y el obtenido del laboratorio, para verificar la viabilidad de la constante hallada.

Ajuste propuesto para la ecuación de Schlichter

Para el ajuste de disminución del factor de error propuesto para la fórmula de Schlichter se hizo lo siguiente:

- ❖ Se calcularon los K_t para los 30 ensayos realizados en cada arena.
- ❖ Se hallaron las constantes K_{20} de permeabilidad, para los 30 ensayos realizados.
- ❖ Se reemplazaron los valores de K_{20} en la fórmula de constante de permeabilidad de Schlichter despejando el valor de C.
- ❖ Se tomó el promedio de las constantes halladas de los 30 ensayos. Este valor promedio de C se reemplazó en la ecuación ajustada de Schlichter para obtener un valor de K ajustado para luego compararlo con el K de permeabilidad obtenido en el laboratorio.

- ❖ Finalmente se calculó el porcentaje de error entre el K de ajuste y el obtenido del laboratorio, para verificar la viabilidad de la constante hallada.

Ajuste propuesto para la ecuación de Terzaghi

Para el ajuste de disminución del factor de error propuesto para la fórmula de Terzaghi se hizo lo siguiente:

- ❖ Se calcularon los K_t para los 30 ensayos realizados en cada arena.
- ❖ Se hallaron las constantes K_{20} de permeabilidad, para los 30 ensayos realizados.
- ❖ Se utilizaron las constantes promedios C_1 y C_0 en las formulas propuestas, con base al K de permeabilidad obtenido en el laboratorio para obtener un valor ajustado de K.
- ❖ Finalmente se calculo el porcentaje de error entre el K de ajuste y el obtenido del laboratorio, para verificar la viabilidad de la constante hallada.

6.2.3 Análisis de porcentajes de error para los coeficientes K en las fórmulas de Terzaghi, Schlichter y Allen Hazen para la arena del río Frío.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de los ensayos de granulometría, permeabilidad y gravedad específica de sólidos; así mismo se mostraran los valores calculados de permeabilidad a partir de las formulas de Terzaghi, Schlichter y Allen Hazen, comparando los errores de estos respecto a los del laboratorio los cuales son los valores reales.

Porcentajes de error Allen Hazen

En la tabla 24 se muestran los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad ajustados con respecto a los obtenidos en el laboratorio para la arena del río Frío.

Tabla 24. PORCENTAJES DE ERROR ALLEN HAZEN - RIO FRIO

II°	K _{LAB} (cm ³ /seg)	K _{AH, ORIGINAL} (cm ³ /seg)	ERROR _{AH, ORIGINAL} (%)	K _{AH, AJUSTE} (cm ³ /seg)	ERROR _{AH, AJUSTE} (%)	ERROR (°)	RAIIGOS
1	0,009077972	0,011775305	29,7	0,008947268	1,4	0,0	
2	0,008848682	0,011875877	34,2	0,009023686	2,0	1,0	
3	0,011238391	0,011850734	5,4	0,009004582	19,9	3,3	
4	0,010493187	0,011850734	12,9	0,009004582	14,2	3,3	0--10
5	0,011182145	0,011875877	6,2	0,009023686	19,3	4,8	
6	0,008954871	0,01190102	32,9	0,009042791	1,0	9,2	
7	0,011282004	0,011750162	4,1	0,008928164	20,9	9,4	
8	0,010168030	0,011825591	16,3	0,008985477	11,6	10,2	
9	0,009275519	0,011850734	27,8	0,009004582	2,9	13,1	
10	0,009787554	0,01190102	21,6	0,009042791	7,6	13,3	
11	0,011117370	0,011599304	4,3	0,008813537	20,7	14,3	
12	0,011358017	0,011624447	2,3	0,008832641	22,2	14,7	10--20
13	0,010049362	0,011725019	16,7	0,008909059	11,3	15,8	
14	0,010328300	0,011825591	14,5	0,008985477	13,0	17,9	
15	0,011957244	0,01190102	-0,5	0,009042791	24,4	17,9	
16	0,010343827	0,01190102	15,1	0,009042791	12,6	20,9	
17	0,010779139	0,011875877	10,2	0,009023686	16,3	21,4	
18	0,010798305	0,01190102	10,2	0,009042791	16,3	22,2	
19	0,007689145	0,011272445	46,6	0,008565179	11,4	22,4	
20	0,007624868	0,011272445	47,8	0,008565179	12,3	22,4	20--30
21	0,007141248	0,011725019	64,2	0,008909059	24,8	23,7	
22	0,006486099	0,01190102	83,5	0,009042791	39,4	25,8	
23	0,006609833	0,011850734	79,3	0,009004582	36,2	26,5	
24	0,005242930	0,01190102	127,0	0,009042791	72,5	26,5	
25	0,008528495	0,011825591	38,7	0,008985477	5,4	33,6	
26	0,009239352	0,01139816	23,4	0,008660701	6,3	36,7	30--70
27	0,004465479	0,01190102	166,5	0,009042791	102,5	69,2	
28	0,004437802	0,011825591	166,5	0,008985477	102,5	98,6	
29	0,006937206	0,011775305	69,7	0,008947268	29,0	98,6	70-110
30	0,007008214	0,01190102	69,8	0,009042791	29,0	100,4	
		Mediana :	25,6	Mediana :	16,3		
(*) % de error ajuste con sus valores de menor a mayor							

Según el análisis de los resultados obtenidos con respecto a los porcentajes de error, la mediana obtenida del error sin hacer el ajuste fue de 25,6% y con el ajuste es de 16,3%.

Luego de hacer el ajuste, podemos observar que en porcentaje de los 30 ensayos un 23,33% de las muestras tienen porcentajes de error entre 0 y 10; el 26,67% de las muestras tienen porcentajes de error entre un rango de 10 y 20; el 30% de las muestras tienen porcentajes de error entre el 20 y 30; el 10% de las muestras tienen porcentajes de error entre el 30 y 70 y por ultimo un 10% de las muestras tienen porcentajes de error en un rango 70 Y 100.

Porcentajes de error de Terzaghi

En la tabla 25 se muestran los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad ajustados con respecto a los obtenidos en el laboratorio para la arena del río Frió.

Tabla 25. PORCENTAJES DE ERROR TERZAGUI - RIO FRIO

Nº	K _{LAB} (cm ³ /seg)	K _{T,ORIGINAL} (cm ³ /seg)	ERROR _{T, ORIGINAL} (%)	K _{T,AJUSTE} (cm ³ /seg)	ERROR _{T, AJUSTE} (%)	ERROR (*)	RANGOS
1	0,009077972	0,007706644	15,1	0,007313498	19,4	1,3	
2	0,008848682	0,010003515	13,1	0,009493196	7,3	1,6	
3	0,011238391	0,010497284	6,6	0,009961776	11,4	3,6	
4	0,010493187	0,009088357	13,4	0,008624723	17,8	6,1	0-10
5	0,011182145	0,009812275	12,3	0,009311711	16,7	6,2	
6	0,008954871	0,007377368	17,6	0,007001019	21,8	6,6	
7	0,011282004	0,008029528	28,8	0,00761991	32,5	6,9	
8	0,010168030	0,009955949	2,1	0,009448057	7,1	7,7	
9	0,009275519	0,010740262	15,8	0,010192359	9,9	9,2	
10	0,009787554	0,010212678	4,3	0,009691688	1,0	11,8	
11	0,011117370	0,013182712	18,6	0,012510209	12,5	11,9	
12	0,011358017	0,009038757	20,4	0,008577654	24,5	11,9	10--20
13	0,010049362	0,010277332	2,3	0,009753045	2,9	14,7	
14	0,010328300	0,020697649	100,4	0,019641779	90,2	17,3	
15	0,011957244	0,011811328	1,2	0,011208785	6,3	18,3	
16	0,010343827	0,00626595	39,4	0,005946299	42,5	20,0	
17	0,010779139	0,008290588	23,1	0,007867652	27,0	22,3	
18	0,010798305	0,00976485	9,6	0,009266706	14,2	22,3	
19	0,007689145	0,009124692	18,7	0,008659205	12,6	25,0	20-30
20	0,007624868	0,010174939	33,4	0,009655875	26,6	25,8	
21	0,007141248	0,012329283	72,6	0,011700317	63,8	26,2	
22	0,006486099	0,008411678	29,7	0,007982564	23,1	27,5	
23	0,006609833	0,007441025	12,6	0,007061429	6,8	32,9	
24	0,005242930	0,009214448	75,7	0,008744382	66,8	42,9	30-50
25	0,008528495	0,006678628	21,7	0,006337924	25,7	48,9	
26	0,009239352	0,03325628	259,9	0,031559745	241,6	62,8	
27	0,004465479	0,007049561	57,9	0,006689935	49,8	65,7	
28	0,004437802	0,008824731	98,9	0,008374546	88,7	87,5	50-100
29	0,006937206	0,00781177	12,6	0,00741326	6,9	89,0	
30	0,007008214	0,007335345	4,7	0,00696114	0,7	896,4	100-900
		Mediana :	18,1	Mediana :	18,6		

(*) % de error ajuste con sus valores de menor a mayor

Según el análisis de los resultados obtenidos con respecto a los porcentajes de error, la mediana obtenida del error sin hacer el ajuste fue de 18,1% y con el ajuste es de 18,6%.

Luego de hacer el ajuste, podemos observar que en porcentaje de los 30 ensayos un 30% de las muestras tienen porcentajes de error entre 0 y 10; el 23,33% de las muestras tienen porcentajes de error entre un rango de 10 y 20; el 20% de las muestras tienen porcentajes de error entre el 20 y 30; el 10% de las muestras tienen porcentajes de error entre el 30 y 50; el 13,33% de las muestras tienen porcentajes de error entre un rango de 50 y 100; y por ultimo un 3,33% de las muestras tienen porcentajes de error entre 100 y 900.

Porcentajes de error de Schlichter

En la tabla 26 se muestran los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad ajustados con respecto a los obtenidos en el laboratorio para la arena del río Frío.

Tabla 26. PORCENTAJES DE ERROR SCHLICHTER - RIO FRIO

II°	K _{LAB} (cm ³ /seg)	K _{S.ORIGINAL} (cm ³ /seg)	ERROR _{S.ORIGINAL} (%)	K _{S.AJUSTE} (cm ³ /seg)	ERROR _{S.AJUSTE} (%)	ERROR (°)	RANGOS
1	0,009077972	0,003581481	60,5	0,008317841	8,4	0,1	
2	0,008848682	0,004609068	47,9	0,008388883	5,2	1,0	
3	0,011238391	0,00482996	57,0	0,008371122	25,5	5,3	0-10
4	0,010493187	0,004199246	60,0	0,008371122	20,2	8,3	
5	0,011182145	0,004523441	59,5	0,008388883	25,0	9,2	
6	0,008954871	0,003436465	61,6	0,008406644	6,1	11,4	
7	0,011282004	0,003725124	67,0	0,00830008	26,4	12,1	
8	0,010168030	0,004587219	54,9	0,008353362	17,8	12,7	
9	0,009275519	0,004938826	46,8	0,008371122	9,8	15,9	10--20
10	0,009787554	0,004703013	51,9	0,008406644	14,1	16,0	
11	0,011117370	0,006030324	45,8	0,008193517	26,3	17,0	
12	0,011358017	0,004174492	63,2	0,008211278	27,7	20,3	
13	0,010049362	0,004730074	52,9	0,00828232	17,6	20,6	
14	0,010328300	0,009366525	9,3	0,008353362	19,1	21,4	
15	0,011957244	0,005419346	54,7	0,008406644	29,7	21,8	
16	0,010343827	0,002943118	71,5	0,008406644	18,7	22,4	
17	0,010779139	0,00384313	64,3	0,008388883	22,2	22,9	
18	0,010798305	0,004502488	58,3	0,008406644	22,1	24,7	
19	0,007689145	0,004208994	45,3	0,007962631	3,6	24,8	20--30
20	0,007624868	0,004679351	38,6	0,007962631	4,4	25,3	
21	0,007141248	0,005649553	20,9	0,00828232	16,0	27,5	
22	0,006486099	0,003897482	39,9	0,008406644	29,6	28,0	
23	0,006609833	0,003464145	47,6	0,008371122	26,6	28,7	
24	0,005242930	0,004256207	18,8	0,008406644	60,3	28,9	
25	0,008528495	0,00312498	63,4	0,008353362	2,1	30,1	
26	0,009239352	0,014645067	58,5	0,008051433	12,9	32,0	30-60
27	0,004465479	0,003290706	26,3	0,008406644	88,3	55,0	
28	0,004437802	0,004081102	8,0	0,008353362	88,2	82,0	
29	0,006937206	0,003628332	47,7	0,008317841	19,9	82,0	60-90
30	0,007008214	0,003417769	51,2	0,008406644	20,0	83,7	
		Mediana :	52,4	Mediana :	19,9		
(*) % de error ajuste con sus valores de menor a mayor							

Según el análisis de los resultados obtenidos con respecto a los porcentajes de error, la mediana obtenida del error sin hacer el ajuste fue de 52,4% y con el ajuste es de 19,9%.

Luego de hacer el ajuste, podemos observar que en porcentaje de los 30 ensayos un 16,67% de las muestras tienen porcentajes de error entre 0 y 10; el 20% de las muestras tienen porcentajes de error entre un rango de 10 y 20; el 43,33% de las muestras tienen porcentajes de error entre el 20 y 30; el 10% de las muestras tienen porcentajes de error entre el 30 y 60 y por ultimo un 10% de las muestras tienen porcentajes de error entre 60 y 90.

7. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ En los ensayos de Permeabilidad, con el fin de evitar grandes porcentajes de error, se recomienda realizar los ensayos de una forma continua. Sin dejar grandes diferencias de tiempo entre uno y otro.
- ❖ Para garantizar la saturación total de la muestra se recomienda almacenar el material en recipientes con agua durante el proceso de la investigación para evitar que las muestras se sequen y para que el tiempo de saturación sea más cortó.
- ❖ En los ensayos de gravedad específica de sólidos, con el fin de disminuir los porcentajes de error se hace necesario extraer todas las burbujas existentes en la muestra, con el cuidado de no extraer suelo durante la eliminación del aire.
- ❖ Para los ensayos de permeabilidad realizados, las muestras que son compactadas en el laboratorio, evidencian una compacidad diferente a la obtenida en el terreno, por lo tanto los valores del coeficiente de permeabilidad obtenido durante los ensayos, solamente dan órdenes de magnitud, y no de resultados exactos.
- ❖ Los materiales granulares se compactan mucho mejor por vibración, por eso se sugiere reemplazar el compactado manual por un vibrado mecánico y de esta forma probablemente se obtendrán relaciones de vacío menores y resultados más exactos.

- ❖ Se recomienda realizar ensayos in situ con muestras inalteradas del material, para poder determinar el coeficiente de permeabilidad en el medio natural.

8. CONCLUSIONES

- ❖ La ecuación de Schlichter original mostraba una relación inversa entre la constante (c) y la porosidad (n). en esta investigación no se observó esa tendencia, por lo tanto se halló una constante única para cada arena.
- ❖ La ecuación de Terzaghi y las constantes propuestas originalmente son aplicables a la arena de Río Frío sin necesidad de realizar ningún ajuste.
- ❖ Los ajustes realizados tienen un menor rango de error en las arenas del Río Frío con respecto a los obtenidos en el Río Manco.
- ❖ Los valores obtenidos en el laboratorio de los ensayos de peso específico relativo de los suelos, para las dos arenas estudiadas estuvieron en un rango de 2.45 a 2.79; estos valores son propios de las arenas mal gradadas, y fueron utilizados para calcular la relación de vacíos y la porosidad de las muestras requeridas en los métodos de Schlichter y Terzaghi.
- ❖ Después de realizar los ensayos de permeabilidad, el coeficiente calculado para las arenas de Río Manco con un promedio de --- para Allen Hazen, --- para Schlichter y --- para Terzaghi, y para las arenas de Río Frío con un promedio de --- para Allen Hazen, --- para Schlichter y --- para Terzaghi.
- ❖ Las constantes obtenidas en esta investigación aplicadas de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi, permiten calcular la constante de permeabilidad para las arenas de Río Manco y Río Frío con errores entre el 24 y 32 por ciento y el 16 y 19 por ciento respectivamente.

- ❖ Al realizar los ensayos de granulometría de las arenas del Río Frío y Río Manco se obtuvo un porcentaje de finos de --- y ---, comprobando así que dicho porcentaje fuera menor al 10% de finos.

- ❖ Al utilizar la ecuación de Terzaghi en el calculo de la constante de permeabilidad de las arenas del Río Manco son muy grandes, tanto en su forma original, como en la ecuación propuesta por lo tanto se sugiere no utilizar este método para dichas arenas.

BIBLIOGRAFIA

- ❖ JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRIGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos TOMO I. Tercera edición. México D.F. Limusa Noriega Editores, 2000. 642 pág.
ISBN: 968 – 18 – 0069 - 9

- ❖ Mecánica de suelos en la Ingeniería practica por KARL TERZAGHI/Editorial EL ATENEO 2ª edición.

- ❖ DUQUE ESCOBAR, Gonzalo y ESCOBAR POTES, Carlos Enrique. Notas del curso Mecánica de Suelos I. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Manizales, 2002. 12 pág.

- ❖ POLANCO HURTADO, Margarita. Mecánica de Suelos. Universidad del Cauca.

- ❖ CRESPO VILLALAZ, Carlos. Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Cuarta edición. Bogotá D.C. Limusa Noriega Editores. México.
ISBN: 968 – 18 – 3165 – 9

- ❖ BOWLES, Joseph. Propiedades Geográficas de los Suelos. Traducción de la primera edición en ingles. México D.F.
Bogotá D.C. Editorial McGRAW-HILL, 1982. 490 pág.

- ❖ BOWLES, Joseph. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil.. Traducción de la segunda edición en ingles. México D.F.
Bogotá D.C. Editorial McGRAW-HILL, 1981. 213 pág.

ANEXOS

ANEXO A

REGISTRO FOTOGRÁFICO

ENSAYO DE GRANULOMETRIA



FIG. 1 RECOLECCION DE LA MUESTRA



FIG.4 SELECCIÓN DE LOS TAMICES A UTILIZAR EN ORDEN DECRECIENTE



FIGURA. 5 Y 6 PASAR EL MATERIAL SELECCIONADO A TRAVES DE LA SERIE DE TAMICES

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO RELATIVO



FIGURA. 7 CALIBRACION DEL MATRAZ A DIFERENTES TEMPERATURAS



FIGURA 8. ADICION DE LA MUESTRA DE SUELO SELECCIONADA



FIGURAS 9, 10 Y 11 ELIMINACION DE LAS BURBUJAS DE AIRE



FIGURA. 12 PESO DE LA MUESTRA DE SUELO ANTES Y DESPUES DE LLEVAR AL HORNO

ENSAYO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD



FIGURA 13. PESO DE LA CAMARA Y TODOS LOS ELEMENTOS EN LA QUE ESTARA CONTENIDA LA MUESTRA DE SUELO



FIGURA 14. ARMAR EL APARATO DE PERMEABILIDAD DE CABEZA CONSTANTE



FIGURA 15. CONECTAR LA CAMARA AL APARATO DE PERMEABILIDAD DE CABEZA CONSTANTE



FIGURA 16. ABRIR LAS VALVULAS PERMITIENDO EL PASO DE AGUA Y LA SATURACION DE LA MUESTRA



FIGURA 17. RECOLECTAR LA CANTIDAD DE AGUA EN UN TIEMPO DE 30 SEGUNDOS Y TOMA DE TEMPERATURA



FIGURA 18. PESAR LA MUESTRA DE SUELO ANTES Y DESPUES DE LLEVAR AL HORNO

ANEXO B

ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA

Localización: PEDEUEBWA Fecha: 07 Septiembre 2007
 Muestra: Arena Finera Operador: Félix Torres y Torres
 Ensayo N°: N° 1 Cálculo: Facultad de Ingeniería

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO RIO MANCO MUESTRA N° 1

W1 1232,0 g W2 939,6 g

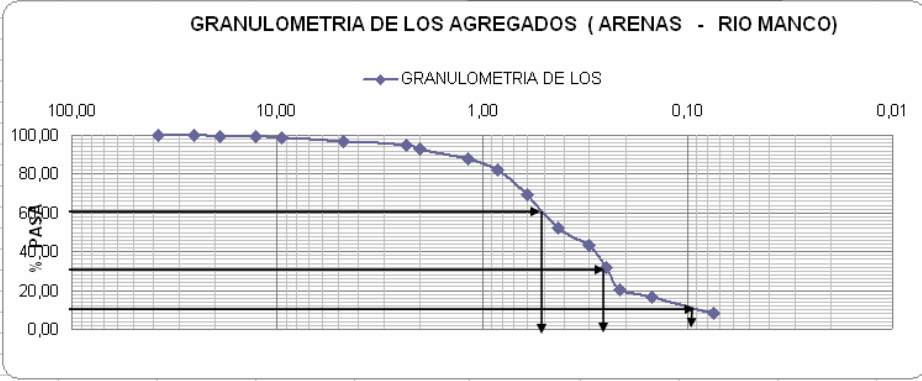
Tamiz	Área de Malla (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Pasa
N° 125	1,18	0	0,00	100,00
N° 4	4,75	0	0,00	100,00
N° 10	2,0	0	0,00	100,00
N° 20	0,85	0	0,00	100,00
N° 40	0,425	0	0,00	100,00
N° 60	0,25	31,8	2,58	97,42
N° 80	0,18	60	4,87	95,13
N° 100	0,15	122,8	10,00	90,00
N° 150	0,106	229,9	18,66	81,34
N° 200	0,075	428,5	34,80	65,20
N° 250	0,06	694	56,25	43,75
N° 300	0,05	829	67,28	32,72
N° 350	0,045	887	72,00	28,00
N° 400	0,04	939,6	76,25	23,75
N° 475	0,035	939,6	76,25	23,75
TOTAL		1232,0	100,00	

% GRAVAS = 0 - % Pasa Tamiz N° 4
 % ARENAS = 100 - % Gravas - % Pasa Tamiz N° 200
 % FINOS = % Pasa Tamiz N° 200

% GRAVAS	0	Cu = $\frac{D_{60}}{D_{10}}$	Cc = $\frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$
% ARENAS	88,32		
% FINOS	8,50		
D10 (mm) =	0,09	Cu = 5,67	
D30 (mm) =	0,26		
D60 (mm) =	0,51	Cc = 1,47	

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO
 Cu ≥ 6 ; Cc = 1 ≤ Cc ≤ 3
 SW = Si cumple con ambas condiciones
 SP = Si alguna de las condiciones no cumple
 SW = Arena Bien Graduada - (Well)
 SP = Arena Mal Graduada - (Poor)

CLASIFICACIÓN SUCS: SP - SM



OBSERVACIONES: Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) el material utilizado es una arena, ya que más del 50% de la fracción gruesa pasa por la malla N° 4; así mismo requiere doble nomenclatura, ya que el % de finos es mayor al 5% por lo tanto su clasificación corresponde a SP-SM (Arena Limosa mal gradada). Como Cu es inferior a 6 es una arena mal gradada, y como esta arena no posee plasticidad entonces es arena limosa.



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

Localización: PEDEUSEBWA
 Muestra: Área: Armas
 Ensayo N°: N° 2

Fecha: 07 Septiembre 2007
 Operador: Félix Gómez y Torres
 Cálculo: Félix Gómez y Torres

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO RIO MANCO NUESTRA N° 2

W1 1325,0 g. W2 126,9 g.

Tamiz	Abierta (g)	Peso Retenido (g)	% Ret. Porcent	% Pasa
N° 125	0,1	0	0,0	00,00
N° 150	39,4	0	2,98	97,02
N° 175	300,0	0	22,64	77,36
N° 200	27	11	0,83	99,17
N° 250	1,50	1,1	0,08	99,92
N° 300	3,36	27,7	2,10	97,90
N° 350	0,0	26,7	2,02	97,98
N° 400	0,8	29,8	2,25	97,75
N° 475	0,7	29,9	2,26	97,74
N° 500	0,30	120,0	9,05	90,95
N° 600	0,31	119,9	9,05	90,95
N° 750	0,30	120,0	9,05	90,95
N° 900	0,30	120,0	9,05	90,95
N° 1060	0,30	120,0	9,05	90,95
N° 1250	0,30	120,0	9,05	90,95
TOTAL	—	1325,0	100,00	0,00

% GRANAS: 0,0 % Pasa Tamiz N° 125
 % ARENAS: 0,0 % 0,0 Pasa - % Pasa Tamiz N° 200
 % LIMOS: 0,0 % Pasa Tamiz N° 425

% GRANAS: 0,0 Cc D60 Cc D30+2
 % ARENAS: 88,92 D10 D60 + D10
 % LIMOS: 0,8

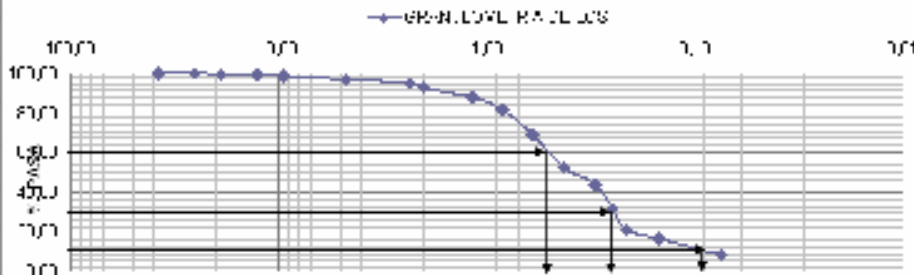
D10 (mm) = 0,07 Cc = 1,0
 D30 (mm) = 0,35 Cc = 1,0
 D60 (mm) = 0,6 Cc = 1,0

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO

Cu = 0,8 Ue = 0,02 Ue2
 SW = 0,00 (Ue - Ue2) / (Ue - Ue2) = 0,00
 SP = 0,00 (Ue - Ue2) / (Ue - Ue2) = 0,00
 SW = 0,00 (Ue - Ue2) / (Ue - Ue2) = 0,00
 SP = 0,00 (Ue - Ue2) / (Ue - Ue2) = 0,00

CLASIFICACIÓN SUELO: SP - SM

GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS (ARENAS - RIO MANCO)



Observación: Según el Sistema de Clasificación de los suelos de la U.C.B.G. se tiene: Dado: $C_u = 1,0$ y $C_c = 1,0$ el suelo clasificado como arena fina (SP) que requiere de modificación de gradación para ser aceptado como agregado para concreto. Según el Sistema de Clasificación de los suelos de la U.C.B.G. se tiene: Dado: $C_u = 1,0$ y $C_c = 1,0$ el suelo clasificado como limo (SM) que requiere de modificación de gradación para ser aceptado como agregado para concreto.

Localización:	RIO FRIO	Fecha:	07 Septiembre 2007
Muestra:	Arenas Rio Frio	Operador:	Fabrizio Torres y Cesar Gonzalez
Ensayo N°:	N° 1	Cálculo:	Fabrizio Torres y Cesar Gonzalez

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO RIO FRIO MUESTRA N° 1

W1	793,8	g.	W2	722,8	g.
----	-------	----	----	-------	----

Tamiz	Abertura mm.	Peso Retenido g.	% Ret. Porcent. %	% Pasa %
N° 20	0,85	0	0,00	100,00
N° 30	0,60	0,00	0,00	99,99
N° 40	0,425	0,00	0,00	99,99
N° 60	0,25	0,00	0,00	99,99
N° 80	0,18	0,00	0,00	99,99
N° 100	0,15	0,00	0,00	99,99
N° 150	0,10	0,00	0,00	99,99
N° 200	0,075	0,00	0,00	99,99
N° 250	0,06	0,00	0,00	99,99
N° 300	0,05	0,00	0,00	99,99
N° 425	0,425	0,00	0,00	99,99
N° 600	0,60	0,00	0,00	99,99
N° 840	0,84	0,00	0,00	99,99
N° 1060	1,06	0,00	0,00	99,99
N° 1490	1,49	0,00	0,00	99,99
N° 2000	2,00	0,00	0,00	99,99
N° 2500	2,50	0,00	0,00	99,99
N° 3000	3,00	0,00	0,00	99,99
N° 3750	3,75	0,00	0,00	99,99
N° 4750	4,75	0,00	0,00	99,99
N° 6000	6,00	0,00	0,00	99,99
N° 7500	7,50	0,00	0,00	99,99
N° 9000	9,00	0,00	0,00	99,99
N° 10600	10,60	0,00	0,00	99,99
N° 12500	12,50	0,00	0,00	99,99
N° 14900	14,90	0,00	0,00	99,99
N° 17500	17,50	0,00	0,00	99,99
N° 20000	20,00	0,00	0,00	99,99
N° 22500	22,50	0,00	0,00	99,99
N° 25000	25,00	0,00	0,00	99,99
N° 27500	27,50	0,00	0,00	99,99
N° 30000	30,00	0,00	0,00	99,99
N° 32500	32,50	0,00	0,00	99,99
N° 35000	35,00	0,00	0,00	99,99
N° 37500	37,50	0,00	0,00	99,99
N° 40000	40,00	0,00	0,00	99,99
N° 42500	42,50	0,00	0,00	99,99
N° 45000	45,00	0,00	0,00	99,99
N° 47500	47,50	0,00	0,00	99,99
N° 50000	50,00	0,00	0,00	99,99
N° 52500	52,50	0,00	0,00	99,99
N° 55000	55,00	0,00	0,00	99,99
N° 57500	57,50	0,00	0,00	99,99
N° 60000	60,00	0,00	0,00	99,99
N° 62500	62,50	0,00	0,00	99,99
N° 65000	65,00	0,00	0,00	99,99
N° 67500	67,50	0,00	0,00	99,99
N° 70000	70,00	0,00	0,00	99,99
N° 72500	72,50	0,00	0,00	99,99
N° 75000	75,00	0,00	0,00	99,99
N° 77500	77,50	0,00	0,00	99,99
N° 80000	80,00	0,00	0,00	99,99
N° 82500	82,50	0,00	0,00	99,99
N° 85000	85,00	0,00	0,00	99,99
N° 87500	87,50	0,00	0,00	99,99
N° 90000	90,00	0,00	0,00	99,99
N° 92500	92,50	0,00	0,00	99,99
N° 95000	95,00	0,00	0,00	99,99
N° 97500	97,50	0,00	0,00	99,99
N° 100000	100,00	0,00	0,00	99,99

% GRAVAS = 0,00 % Pasa Tamiz N° 4

% MEDIAS = 0,00 % Pasa Tamiz N° 4 y No Pasa Tamiz N° 20

% FINOS = 99,99 % Pasa Tamiz N° 20

% GRAVAS	0,00	Cu = 0,00	Cc = 0,00
% MEDIAS	0,00	0,00	0,00
% FINOS	99,99		

D10 (mm)	0,075	Cu = 0,00
D30 (mm)	0,075	
D60 (mm)	0,075	Cc = 0,00

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO

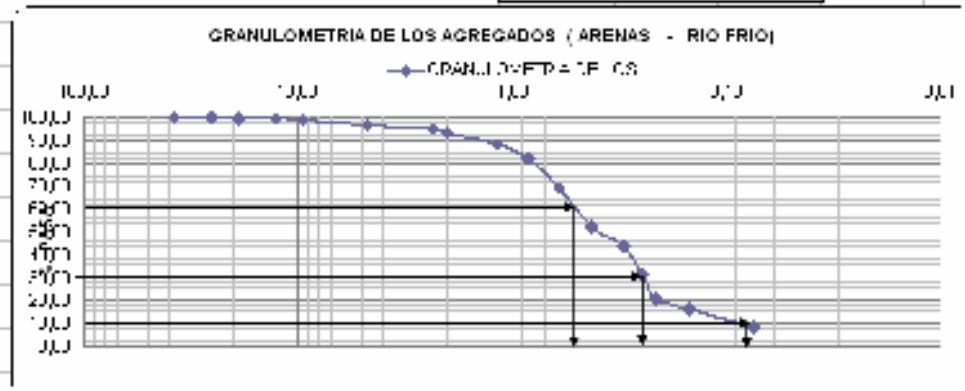
Cu < 4,75 ; Cc < 1,426 < 1

SW = 0,00 < 25,00 (arena fina)

SP = 0,00 < 75,00 (limo)

SW + SP = 0,00 < 75,00 (limo)

SP = 0,00 < 75,00 (limo)

CLASIFICACIÓN SUCES SP


DESARROLLO DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA DE LOS AGREGADOS DE LA MUESTRA N° 1 (RIO FRIO) EN LA LABORATORIO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS DA UFPA. A CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA MUESTRA N° 1 (RIO FRIO) EN LA LABORATORIO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS DA UFPA. A CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA MUESTRA N° 1 (RIO FRIO) EN LA LABORATORIO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS DA UFPA. A CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA MUESTRA N° 1 (RIO FRIO) EN LA LABORATORIO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS DA UFPA.

Localización: RFO
 Muestra: Arena Frio
 Ensayo N°: N° 2
 Fecha: 07 Septiembre 2007
 Operador: Exa la Cruz y De la Cruz
 Cálculo: Fajardo y Cruz y De la Cruz

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO RIO FRIO MUESTRA N° 2

W1 1075,3 gr. W2 654,4 g

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Ret. Porcent	% Pasa
N° 20	0,85	0	0,00	100,00
N° 30	0,60	0	0,00	99,99
N° 40	0,425	0	0,00	99,99
N° 60	0,25	0	0,00	99,99
N° 80	0,18	0	0,00	99,99
N° 100	0,15	29,2	0,8	99,20
N° 150	0,10	151,1	4,03	95,97
N° 200	0,075	121,9	3,70	96,29
N° 300	0,05	171,6	2,23	97,77
N° 425	0,43	151,9	18,04	81,96
N° 600	0,5	180	2,93	97,07
N° 840	0,85	121,4	1,90	98,10
N° 1180	1,18	40	0,40	99,60
N° 1600	1,6	32,2	0,8	99,20
N° 2000	2,0	27	0,27	99,73
PO-D		9,6	0,9	99,10
100%		1075,3	100,00	

% GRAVAS = 0,0 % Pasa Tamiz N° 4
 % MEDIAS = 0,0 % Pasa Tamiz N° 425 - % Pasa Tamiz N° 60
 % FINOS = % Pasa Tamiz N° 200

% GRAVAS	0,04	Cu = 0,00	Cc = 0,0002
% MEDIAS	0,14	0,00	0,000000
% FINOS	1,82		
D10 (mm)	0,075	Cu = 0,28	
D30 (mm)	0,15		
D60 (mm)	0,25	Cc = 0,29	

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO

Cu < 4,75 ; Cc < 1,426 <math>1^{</math>

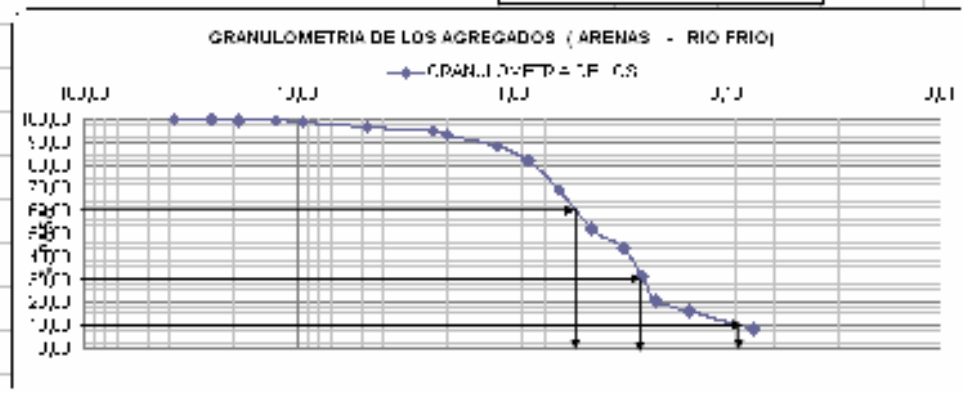
SW = 0,00 $0,00$ $0,00$

SP = 0,00 $0,00$ $0,00$

SW = 0,00 $0,00$ $0,00$

SP = 0,00 $0,00$ $0,00$

CLASIFICACIÓN SUCS SP



DESCRIPCIÓN: Este informe muestra los resultados de la prueba de granulometría de los agregados de arena fría, realizada en el laboratorio de suelos de la Universidad Pontificia Bolivariana, el día 07 de septiembre de 2007. El ensayo se realizó de acuerdo a la norma ASTM D 422-60.

ANEXO C

ENSAYOS DE PESO ESPECÍFICO RELATIVO



PESO ESPECÍFICO RELATIVO (Gs)

Hoja 1 de 2

Localización: Rio Manco Fecha: 26 - Septiembre - 2007
 Muestra: Arena Rio Manco Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cantidad de Ensayos: 15 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

PESO ESPECÍFICO RELATIVO – RIO MANCO

PRUEBA N°	1	2	3	4	5
MATRAZ N°	2	2	2	2	2
TEMPERATURA (°C)	25	24	26	25	26
WMWS (gr.)	711,5	709,6	708,8	710,2	710,1
WMW (gr.)	657,21	657,35	657,06	657,21	657,06
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	1	2	3	4	5
PESO CAPSULA (gr.)	337,7	327,8	329,0	327,2	386,2
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	425,0	411,7	412,1	411,8	472,1
Ws - INICIAL - (gr.)	87,7	84,40	83,40	85,40	86,2
Ws - FINAL - (gr.)	87,3	83,9	83,1	84,6	85,9
Gs	2,65	2,65	2,65	2,68	2,61

$$Gs = \frac{Ws \text{ final}}{Ws \text{ final} + WMW - WMWS}$$

PRUEBA N°	6	7	8	9	10
MATRAZ N°	2	2	2	2	2
TEMPERATURA (°C)	25	22	25,5	22	21
WMWS (gr.)	710,4	710,6	709,3	712,7	710,1
WMW (gr.)	657,21	657,63	657,13	657,63	657,78
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	6	7	8	9	10
PESO CAPSULA (gr.)	337,7	328,0	359,6	329,2	327,9
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	413,8	413,2	443,4	417,9	412,3
Ws - INICIAL - (gr.)	85,7	85,70	84,10	89,00	84,8
Ws - FINAL - (gr.)	85,2	85,2	83,8	88,7	84,4
Gs	2,66	2,64	2,65	2,64	2,63

$$Gs = \frac{Ws \text{ final}}{Ws \text{ final} + WMW - WMWS}$$

PRUEBA N°	11	12	13	14	15
MATRAZ N°	2	2	2	1	2
TEMPERATURA (°C)	21	22	25	25	25
WMWS (gr.)	711,3	709	705,3	703,6	706,7
WMW (gr.)	657,78	657,63	657,21	652,58	657,21
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	11	12	13	14	15
PESO CAPSULA (gr.)	339,0	361,0	313,8	327,5	329,1
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	425,5	443,6	393,0	409,2	408,3
Ws - INICIAL - (gr.)	86,4	82,90	80,70	83,90	81,2
Ws - FINAL - (gr.)	86,5	82,6	79,2	81,7	79,2
Gs	2,62	2,64	2,55	2,66	2,67



PESO ESPECÍFICO RELATIVO (Gs)

Hoja 2 de 2

Localización: Rio Manco Fecha: 02 - Octubre - 2007
 Muestra: Arena Rio Manco Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cantidad de Ensayos: 15 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

PESO ESPECÍFICO RELATIVO – RIO MANCO

PRUEBA N°	16	17	18	19	20
MATRAZ N°	2	2	2	2	2
TEMPERATURA (°C)	25	24	23	24	22
WMWS (gr.)	710,9	709,4	707,8	707,8	707,5
WMW (gr.)	657,21	657,35	657,49	657,35	657,63
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	16	17	18	19	20
PESO CAPSULA (gr.)	359,4	361,3	339,1	327,6	285,4
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	445,7	444,8	419,4	408,2	365,6
Ws - INICIAL - (gr.)	88,3	84,30	81,10	81,30	80,9
Ws - FINAL - (gr.)	86,3	83,5	80,3	80,6	80,2
Gs	2,65	2,66	2,68	2,67	2,64

$$Gs = \frac{Ws \text{ final}}{Ws \text{ final} + WMW - WMWS}$$

PRUEBA N°	21	22	23	24	25
MATRAZ N°	2	2	1	3	2
TEMPERATURA (°C)	26,5	26	25,8	25	25
WMWS (gr.)	708	696,3	689,5	712,6	707
WMW (gr.)	656,99	657,06	652,46	661,17	657,21
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	21	22	23	24	25
PESO CAPSULA (gr.)	327,4	329,1	329,3	327,7	327,7
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	408,6	392,1	388,5	410,5	407,9
Ws - INICIAL - (gr.)	83,3	63,50	60,00	85,10	80,4
Ws - FINAL - (gr.)	81,2	63,0	59,2	82,8	80,2
Gs	2,69	2,65	2,67	2,64	2,64

$$Gs = \frac{Ws \text{ final}}{Ws \text{ final} + WMW - WMWS}$$

PRUEBA N°	26	27	28	29	30
MATRAZ N°	2	1	2	2	2
TEMPERATURA (°C)	24	24,9	25	25	25
WMWS (gr.)	707,8	702,2	707,4	709,9	708,1
WMW (gr.)	657,35	652,59	657,21	657,21	657,21
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	26	27	28	29	30
PESO CAPSULA (gr.)	327,6	392,1	285,6	361,5	285,6
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	408,2	473,0	365,9	445,4	366,4
Ws - INICIAL - (gr.)	81,3	81,60	81,20	84,40	81,5
Ws - FINAL - (gr.)	80,6	80,9	80,3	83,9	80,8
Gs	2,67	2,59	2,67	2,69	2,70



COMPARACIÓN PESO ESPECÍFICO RELATIVO (Gs)

Hoja 1 de 1

Localización: Rio Manco
Muestra: Arena rio Manco
Cantidad de Ensayo: 30

Fecha: 26-Sep-07
Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

Wmw = Peso del matraz con agua.
Wmws = Peso del matraz con agua y suelo.
Wc = Peso de la cápsula.
Wc+Ms = Peso de la cápsula + muestra seca.
Gs = Peso específico relativo del suelo.

$$Gs = \frac{Ws}{Ws + Wmw - Wmws}$$

Matraz N°	Wmw (gr.)	Tempera. (° C)	Wmws (gr.)	Ensayo N°	Capsula N°	Wc (gr.)	Wc + Ms (gr.)	Peso Suelo (gr.)		Gs
								Antes	Despues	
2	657,21	25	711,5	1	1	337,7	425,0	87,7	87,3	2,65
2	657,35	24	709,6	2	2	327,8	411,7	84,4	83,9	2,65
2	657,06	26	708,8	3	3	329,0	412,1	83,4	83,1	2,65
2	657,10	25	710,2	4	4	327,2	411,8	85,4	84,6	2,68
2	657,60	26	710,1	5	5	386,2	472,1	86,2	85,9	2,61
2	657,21	25	710,4	6	6	337,7	413,8	85,7	85,2	2,66
2	657,6	22	710,6	7	7	328,0	413,2	85,7	85,2	2,64
2	657,13	26	709,3	8	8	359,6	443,4	84,1	83,8	2,65
2	657,63	22	712,7	9	9	329,2	417,9	89,0	88,7	2,64
2	657,78	21	710,1	10	10	327,9	412,3	84,8	84,4	2,63
2	657,78	21	711,3	11	11	339,0	425,5	86,4	86,5	2,62
2	657,63	22	709,0	12	12	361,0	443,6	82,9	82,6	2,64
2	657,21	25	705,3	13	13	313,8	393,0	80,7	79,2	2,55
1	652,58	25	703,6	14	14	327,5	409,2	83,9	81,7	2,66
2	657,21	25	706,7	15	15	329,1	408,3	81,2	79,2	2,67
2	657,21	25	710,9	16	16	359,4	445,7	88,3	86,3	2,65
2	657,35	24	709,4	17	17	361,3	444,8	84,3	83,5	2,66
2	657,49	23	707,8	18	18	339,1	419,4	81,1	80,3	2,68
2	657,35	24	707,8	19	19	327,6	408,2	81,3	80,6	2,67
2	657,63	22	707,5	20	20	285,4	365,6	80,9	80,2	2,64
2	656,99	27	708,0	21	21	327,4	408,6	83,3	81,2	2,69
2	657,06	26	696,3	22	22	329,1	392,1	63,5	63,0	2,65
1	652,46	25,8	689,5	23	23	329,3	388,5	60,0	59,2	2,67
3	661,17	25	712,6	24	24	327,7	410,5	85,1	82,8	2,64
2	657,21	25	707,0	25	25	327,7	407,9	80,4	80,2	2,64
2	657,35	24	707,8	26	26	327,6	408,2	81,3	80,6	2,67
1	652,59	24,9	702,2	27	27	392,1	473,0	81,6	80,9	2,59
2	657,21	24	707,4	28	28	285,6	365,9	81,2	80,3	2,67
2	657,21	25	709,9	29	29	361,5	445,4	84,4	83,9	2,69
2	657,21	25	708,1	30	30	285,6	366,4	81,5	80,8	2,70

Gs promedio = 2,65

OBSERVACIONES:



PESO ESPECÍFICO RELATIVO (Gs)

Hoja 1 de 2

Localización: Rio Frio Fecha: 22 - Enero - 2008
 Muestra: Arena Rio Frio Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cantidad de Ensayos: 15 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

PESO ESPECÍFICO RELATIVO – RIO FRIO

PRUEBA N°	1	2	3	4	5
MATRAZ N°	2	2	2	2	2
TEMPERATURA (°C)	24	25	26	25	22
WMWS (gr.)	715,4	715,3	714,2	710,6	717,3
WMW (gr.)	657,35	657,21	657,06	657,21	657,63
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	1	2	3	4	5
PESO CAPSULA (gr.)	328,9	327,3	284,8	337,3	328,9
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	421,4	420,4	375,8	423,8	424,1
Ws - INICIAL - (gr.)	92,5	93,10	91,30	86,80	95,4
Ws - FINAL - (gr.)	92,5	93,1	91,0	86,5	95,2
Gs	2,69	2,66	2,69	2,61	2,68

$$Gs = \frac{Ws \text{ final}}{Ws \text{ final} + WMW - WMWS}$$

PRUEBA N°	6	7	8	9	10
MATRAZ N°	2	2	2	2	2
TEMPERATURA (°C)	23	24	25	25	25
WMWS (gr.)	716,8	713,8	714,1	707,8	716,5
WMW (gr.)	657,49	657,35	657,21	657,21	657,21
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	6	7	8	9	10
PESO CAPSULA (gr.)	327,3	285,5	339,2	337,3	328,9
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	420,4	376,2	430,2	422,1	423,7
Ws - INICIAL - (gr.)	93,9	90,90	91,20	84,90	95
Ws - FINAL - (gr.)	93,1	90,7	91,0	84,8	94,8
Gs	2,76	2,65	2,67	2,48	2,67

$$Gs = \frac{Ws \text{ final}}{Ws \text{ final} + WMW - WMWS}$$

PRUEBA N°	11	12	13	14	15
MATRAZ N°	2	2	2	2	2
TEMPERATURA (°C)	25	25	25	24	25
WMWS (gr.)	712,5	713,5	711,7	710,3	706,7
WMW (gr.)	657,21	657,21	657,21	657,35	657,21
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	11	12	13	14	15
PESO CAPSULA (gr.)	327,3	284,8	286,6	365,5	285,6
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	416,4	377,1	374,5	450,7	368,6
Ws - INICIAL - (gr.)	89,1	92,30	88,80	85,40	83,5
Ws - FINAL - (gr.)	89,1	92,3	87,9	85,2	83,0
Gs	2,64	2,56	2,63	2,64	2,48



PESO ESPECÍFICO RELATIVO (Gs)

Hoja 2 de 2

Localización: Rio Frio Fecha: 28 - Enero - 2008
 Muestra: Arena Rio Frio Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cantidad de Ensayos: 15 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

PESO ESPECÍFICO RELATIVO – RIO FRIO

PRUEBA N°	16	17	18	19	20
MATRAZ N°	2	2	2	2	2
TEMPERATURA (°C)	23	24	26	25	25
WMWS (gr.)	719,7	714	706,4	714,3	712,2
WMW (gr.)	657,49	657,35	657,06	657,21	657,21
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	16	17	18	19	20
PESO CAPSULA (gr.)	339,1	327,8	166,0	285,5	339,2
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	436,1	418,9	249,3	376,6	428,5
Ws - INICIAL - (gr.)	97,2	91,10	83,50	91,40	90,1
Ws - FINAL - (gr.)	97,0	91,1	83,3	91,1	89,3
Gs	2,79	2,64	2,45	2,68	2,60

$$Gs = \frac{Ws \text{ final}}{Ws \text{ final} + WMW - WMWS}$$

PRUEBA N°	21	22	23	24	25
MATRAZ N°	2	2	2	2	2
TEMPERATURA (°C)	25	25	25	25	25
WMWS (gr.)	715,1	714,6	716,5	714,8	714
WMW (gr.)	657,21	657,21	657,21	657,21	657,21
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	21	22	23	24	25
PESO CAPSULA (gr.)	166,0	285,1	361,3	339,1	211,9
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	259,2	376,8	454,6	431,0	303,5
Ws - INICIAL - (gr.)	93,7	92,10	93,60	92,30	92,2
Ws - FINAL - (gr.)	93,2	91,7	93,3	91,9	91,7
Gs	2,64	2,67	2,74	2,68	2,63

$$Gs = \frac{Ws \text{ final}}{Ws \text{ final} + WMW - WMWS}$$

PRUEBA N°	26	27	28	29	30
MATRAZ N°	2	2	2	2	2
TEMPERATURA (°C)	25	25	25	25	25
WMWS (gr.)	715	707	710,1	714,1	712,7
WMW (gr.)	657,21	657,21	657,21	657,21	657,21
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	26	27	28	29	30
PESO CAPSULA (gr.)	211,8	224,2	336,2	272,4	358,4
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	303,5	305,3	421,5	363,6	448,2
Ws - INICIAL - (gr.)	92,1	83,40	87,20	91,30	90
Ws - FINAL - (gr.)	91,7	81,1	85,3	91,2	89,8
Gs	2,70	2,59	2,63	2,66	2,62



COMPARACIÓN PESO ESPECÍFICO RELATIVO (Gs)

Hoja 2 de 2

Localización: Rio Frio
Muestra: Arena rio frio
Cantidad de Ensayo 30

Fecha: 22-Ene-08
Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

Wmw = Peso del matraz con agua.
Wmws = Peso del matraz con agua y suelo.
Wc = Peso de la cápsula.
Wc+Ms = Peso de la cápsula + muestra seca.
Gs = Peso específico relativo del suelo.

$$Gs = \frac{Ws}{Ws + Wmw - Wmws}$$

Matraz N°	Wmw (gr.)	Tempera. (° C)	Wmws (gr.)	Ensayo N°	Cápsula N°	Wc (gr.)	Wc + Ms (gr.)	Peso Suelo (gr.)		Gs
								Antes	Despues	
2	657,35	4	715,4	1	1	328,9	424,4	92,5	92,5	2,69
2	657,21	25	715,3	2	2	327,3	420,4	93,1	93,1	2,66
2	657,06	26	714,2	3	3	284,8	375,8	91,3	91,0	2,69
2	657,21	25	710,6	4	4	337,3	423,8	86,8	86,5	2,61
2	657,63	22	717,3	5	5	328,9	424,1	95,4	95,2	2,68
2	657,49	23	716,8	6	6	327,3	420,4	93,9	93,1	2,76
2	657,35	24	713,8	7	7	285,5	376,2	90,9	90,7	2,65
2	657,21	25	714,1	8	8	339,2	430,2	91,2	91,0	2,67
2	657,21	25	707,8	9	9	337,3	422,1	84,9	84,8	2,48
2	657,21	25	716,5	10	10	328,9	423,7	95,0	94,8	2,67
2	657,21	25	712,5	11	11	327,3	416,4	89,1	89,1	2,64
2	657,21	25	713,5	12	12	284,8	377,1	92,3	92,3	2,56
2	657,21	25	711,7	13	13	286,6	374,5	88,8	87,9	2,63
2	657,35	24	710,3	14	14	365,5	450,7	85,4	85,2	2,64
2	657,21	25	706,7	15	15	285,6	368,6	83,5	83,0	2,48
2	657,49	23	719,7	16	16	339,1	436,1	97,2	97,0	2,79
2	657,35	24	714,0	17	17	327,8	418,9	91,1	91,1	2,64
2	657,06	26	706,4	18	18	166,0	249,3	83,5	83,3	2,45
2	657,21	25	714,3	19	19	285,5	376,6	91,4	91,1	2,68
2	657,21	25	712,2	20	20	339,2	428,5	90,1	89,3	2,60
2	657,21	25	715,1	21	21	166,0	259,2	93,7	93,2	2,64
2	657,21	25	714,6	22	22	285,1	376,8	92,1	91,7	2,67
2	657,21	25	716,5	23	23	361,3	454,6	93,6	93,3	2,74
2	657,21	25	714,8	24	24	339,1	431,0	92,3	91,9	2,68
2	657,21	25	714,0	25	25	211,9	303,5	92,2	91,7	2,63
2	657,21	25	715,0	26	26	211,8	303,5	92,1	91,7	2,70
2	657,21	25	707,0	27	27	224,2	305,3	83,4	81,1	2,59
2	657,21	25	710,1	28	28	336,2	421,5	87,2	85,3	2,63
2	657,21	25	714,1	29	29	272,4	363,6	91,3	91,2	2,66
2	657,21	25	712,7	30	30	358,4	448,2	90,0	89,8	2,62

Gs promedio = 2,64

OBSERVACIONES:

ANEXO D

ENSAYOS DE PERMEABILIDADES



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: piedecuesta
 Muestra: Arena Rio manco
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 27 - septiembre - 2007 Hoja 1 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO N° 1

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1700,9	gr.
Peso suelo :	184,8	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	3,45	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	114,48	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	251	27
2	180	240	27
3	180	235	27
4	180	230	27

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	240	27
6	180	230	27
7	180	220	27
8	180	220	27

Promedio	180	233	27
----------	-----	-----	----

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0021 \text{ cm/seg.}$$

$$n_T / n_{20} = 0,8502$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0018 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO N° 2

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1705,9	gr.
Peso suelo :	189,8	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	3,50	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	116,14	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	320	25,0
2	180	290	25,0
3	180	255	25,0
4	180	235	25,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	220	25,0
6	180	202	25,0
7	180	190	25,0
8	180	180	25,0

Promedio	180	237	25
----------	-----	-----	----

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0022 \text{ cm/seg.}$$

$$n_T / n_{20} = 0,8893$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0019 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: piedecuesta
 Muestra: Arena Rio manco
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 27 - septiembre - 2007 Hoja 2 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO N° 3

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1810,2	gr.
Peso suelo :	294,1	gr.
Cabeza de agua (h):	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø):	6,5	cm
Altura (L):	3,30	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²):	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L):	109,50	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	250	27
2	180	250	27
3	180	240	27
4	180	230	27

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	230	27
6	180	240	27
7	180	240	27
8	180	230	27

Promedio	180	239	27
----------	-----	-----	----

$n_T / n_{20} = 0,8502$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0021 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0018 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD RIO MANCO – ENSAYO N° 4

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1759,2	gr.
Peso suelo :	243,1	gr.
Cabeza de agua (h):	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø):	6,5	cm
Altura (L):	3,80	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²):	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L):	126,10	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	320	27,0
2	180	310	27,0
3	180	310	27,0
4	180	300	27,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	295	27,0
6	180	295	27,0
7	180	290	27,0
8	180	280	27,0

Promedio	180	300	27
----------	-----	-----	----

$n_T / n_{20} = 0,8502$

$K_t = Q * L / A * h * t = 0,0030 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0026 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: piedecuesta
 Muestra: Arena Rio manco
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 3 - noviembre - 2007 Hoja 3 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD RIO MANCO – ENSAYO Nº 5

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1677,8	gr.
Peso suelo :	161,7	gr.
Cabeza de agua (h):	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø):	6,5	cm
Altura (L):	3,50	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²):	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L):	116,14	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	380	25,0
2	180	310	25,0
3	180	279	25,0
4	180	259	25,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	233	25,0
6	180	221	25,0
7	180	209	25,0
8	180	200	25,0

Promedio	180	261	25
----------	-----	-----	----

$n_T / n_{20} = 0,8893$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0024 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0021 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – MANCO – ENSAYO Nº 6

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1714,0	gr.
Peso suelo :	197,9	gr.
Cabeza de agua (h):	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø):	6,5	cm
Altura (L):	3,80	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²):	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L):	126,10	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	275	25,0
2	180	259	25,0
3	180	247	25,0
4	180	222	25,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	220	25,0
6	180	201	25,0
7	180	199	25,0
8	180	190	25,0

Promedio	180	227	25
----------	-----	-----	----

$n_T / n_{20} = 0,8893$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0023 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0020 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: piedecuesta
 Muestra: Arena Rio manco
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 05 - noviembre - 2007 Hoja 4 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO N° 7

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1693,6	gr.
Peso suelo :	177,5	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	3,40	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	112,82	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	320	26,0
2	180	290	26,0
3	180	260	26,0
4	180	249	26,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	223	26,0
6	180	212	26,0
7	180	200	26,0
8	180	193	26,0

Promedio	180	243	26
----------	-----	-----	----

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0022 \text{ cm/seg.}$$

$$n_T / n_{20} = 0,8694$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0019 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO N° 8

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1729,4	gr.
Peso suelo :	213,3	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,05	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	134,39	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	365	23,0
2	180	352	23,0
3	180	350	23,0
4	180	320	23,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	312	23,0
6	180	296	23,0
7	180	290	23,0
8	180	287	23,0

Promedio	180	322	23
----------	-----	-----	----

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0034 \text{ cm/seg.}$$

$$n_T / n_{20} = 0,9311$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0032 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: piedecuesta
 Muestra: Arena Rio manco
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 23 - noviembre - 2007 Hoja 5 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO N° 9

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1710,2	gr.
Peso suelo :	194,1	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	3,85	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	127,75	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	312	23,0
2	180	298	23,0
3	180	290	23,0
4	180	270	23,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	260	23,0
6	180	249	23,0
7	180	240	23,0
8	180	230	23,0

Promedio	180	269	23
----------	-----	-----	----

$n_T / n_{20} = 0,9311$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0027 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0025 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO N° 10

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1738,3	gr.
Peso suelo :	222,2	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,20	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	139,37	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	300	23,0
2	180	290	23,0
3	180	270	23,0
4	180	268	23,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	260	23,0
6	180	260	23,0
7	180	270	23,0
8	180	250	23,0

Promedio	180	271	23
----------	-----	-----	----

$n_T / n_{20} = 0,9311$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0030 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0028 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: piedecuesta
 Muestra: Arena Rio manco
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 02 - octubre - 2007 Hoja 6 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO N° 11

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1720,9	gr.
Peso suelo :	204,8	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	3,90	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	129,41	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	350	26,7
2	180	350	26,7
3	180	340	26,7
4	180	335	26,7

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	330	26,7
6	180	320	26,7
7	180	320	26,7
8	180	310	26,7

Promedio	180	332	26,7
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,8560$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0034 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0029 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO N° 12

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1730,6	gr.
Peso suelo :	214,5	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	3,70	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	122,78	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	350	23,2
2	180	340	23,2
3	180	340	23,2
4	180	320	23,2

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	320	23,2
6	180	320	23,2
7	180	315	23,2
8	180	315	23,2

Promedio	180	328	23,2
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9268$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0032 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0030 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: piedecuesta
 Muestra: Arena Rio manco
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 15 - enero - 2008 Hoja 7 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO N° 13

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1754,1	gr.
Peso suelo :	238,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	400	22,8
2	180	390	22,8
3	180	380	22,8
4	180	380	22,8

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	370	22,8
6	180	370	22,8
7	180	370	22,8
8	180	370	22,8

Promedio	180	379	22,8
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9355$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0040 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0037 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO N° 14

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1725,9	gr.
Peso suelo :	209,8	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	565	23,0
2	180	555	23,0
3	180	520	23,0
4	180	520	23,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	490	23,0
6	180	500	23,0
7	180	477	23,0
8	180	480	23,0

Promedio	180	513	23
----------	-----	-----	----

$n_T / n_{20} = 0,9311$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0054 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0050 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: piedecuesta
 Muestra: Arena Rio manco
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 15 - enero - 2008 Hoja 8 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO N° 15

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1737,5	gr.
Peso suelo :	221,4	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	590	22,8
2	180	542	22,8
3	180	530	22,8
4	180	490	22,8

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	485	22,8
6	180	460	22,8
7	180	455	22,8
8	180	440	22,8

Promedio	180	499	22,8
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9355$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0053 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0049 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO N° 16

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1737,1	gr.
Peso suelo :	221,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	3,90	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	129,41	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	660	23,0
2	180	620	23,0
3	180	610	23,0
4	180	570	23,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	550	23,0
6	180	550	23,0
7	180	540	23,0
8	180	520	23,0

Promedio	180	578	23
----------	-----	-----	----

$n_T / n_{20} = 0,9311$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0059 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0055 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: piedecuesta
 Muestra: Arena Rio manco
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 15 - enero - 2008 Hoja 9 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO N° 17

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1750,6	gr.
Peso suelo :	234,5	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,40	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	146,01	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	590	23
2	180	560	23
3	180	565	23
4	180	545	23

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	550	23
6	180	530	23
7	180	530	23
8	180	510	23

Promedio	180	548	23
----------	-----	-----	----

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0064 \text{ cm/seg.}$$

$$n_T / n_{20} = 0,9311$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0059 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO N° 18

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1744,2	gr.
Peso suelo :	228,1	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,20	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	139,37	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	400	23,0
2	180	400	23,0
3	180	390	23,0
4	180	380	23,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	365	23,0
6	180	370	23,0
7	180	355	23,0
8	180	360	23,0

Promedio	180	378	23
----------	-----	-----	----

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0042 \text{ cm/seg.}$$

$$n_T / n_{20} = 0,9311$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0039 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: piedecuesta
 Muestra: Arena Rio manco
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 17 - enero - 2008 Hoja 10 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO N° 19

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1753,7	gr.
Peso suelo :	237,6	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,70	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	155,96	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	540	23,1
2	180	500	23,1
3	180	485	23,1
4	180	461	23,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	470	23,1
6	180	440	23,1
7	180	440	23,1
8	180	431	23,1

Promedio	180	471	23,1
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9290$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0058 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0054 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO N° 20

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1750,3	gr.
Peso suelo :	234,2	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,30	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	142,69	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	559	22,9
2	180	550	22,9
3	180	530	22,9
4	180	490	22,9

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	490	22,9
6	180	470	22,9
7	180	467	22,9
8	180	470	22,9

Promedio	180	503	22,9
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9333$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0057 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0053 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: piedecuesta
 Muestra: Arena Rio manco
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 18 - enero - 2008 **Hoja 11 de 15**
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO N° 21

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1720,6	gr.
Peso suelo :	204,5	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,20	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	139,37	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	487	23
2	180	460	23
3	180	425	23
4	180	410	23

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	380	23
6	180	359	23
7	180	360	23
8	180	360	23

Promedio	180	405	23
----------	-----	-----	----

$n_T / n_{20} = 0,9311$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0045 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0042 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO N° 22

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1730,6	gr.
Peso suelo :	214,5	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	3,80	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	126,10	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	400	24,5
2	180	400	24,5
3	180	390	24,5
4	180	380	24,5

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	365	24,5
6	180	350	24,5
7	180	345	24,5
8	180	340	24,5

Promedio	180	371	24,5
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,8995$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0037 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0034 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: piedecuesta
 Muestra: Arena Rio manco
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 21 - enero - 2008 Hoja 12 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO Nº 23

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1750,0	gr.
Peso suelo :	233,9	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	3,90	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	129,41	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	450	25,6
2	180	445	25,6
3	180	430	25,6
4	180	420	25,6

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	410	25,6
6	180	405	25,6
7	180	385	25,6
8	180	360	25,6

Promedio	180	413	25,6
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,8774$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0043 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0037 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO Nº 24

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1725,7	gr.
Peso suelo :	209,6	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	3,70	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	122,78	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	420	24,1
2	180	400	24,1
3	180	385	24,1
4	180	370	24,1

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	355	24,1
6	180	340	24,1
7	180	340	24,1
8	180	350	24,1

Promedio	180	370	24,1
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9077$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0036 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0033 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: piedecuesta
 Muestra: Arena Rio manco
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 21 - enero - 2008 Hoja 13 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO Nº 25

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1721,5	gr.
Peso suelo :	205,4	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	3,85	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	127,75	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	430	25,6
2	180	430	25,6
3	180	425	25,6
4	180	420	25,6

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	420	25,6
6	180	420	25,6
7	180	400	25,6
8	180	390	25,6

Promedio	180	417	25,6
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,8774$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0042 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0037 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO Nº 26

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1710,5	gr.
Peso suelo :	194,4	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	3,80	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	126,10	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	380	24,1
2	180	380	24,1
3	180	370	24,1
4	180	360	24,1

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	360	24,1
6	180	350	24,1
7	180	350	24,1
8	180	350	24,1

Promedio	180	363	24,1
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,9077$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0036 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0033 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: piedecuesta
 Muestra: Arena Rio manco
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 22 - enero - 2008 Hoja 14 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO N° 27

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1755,5	gr.
Peso suelo :	239,4	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,45	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	147,66	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	480	22,5
2	180	470	22,5
3	180	455	22,5
4	180	450	22,5

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	440	22,5
6	180	430	22,5
7	180	420	22,5
8	180	410	22,5

Promedio	180	444	22,5
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,9421$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0052 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0049 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RÍO MANCO – ENSAYO N° 28

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1723,4	gr.
Peso suelo :	207,3	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	3,70	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	122,78	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	380	24,7
2	180	370	24,7
3	180	279	24,7
4	180	269	24,7

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	269	24,7
6	180	253	24,7
7	180	250	24,7
8	180	250	24,7

Promedio	180	290	24,7
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,8954$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0028 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0025 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: piedecuesta
 Muestra: Arena Rio manco
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 22 - enero - 2008 Hoja 15 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO N° 29

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1783,4	gr.
Peso suelo :	267,3	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	3,60	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	119,46	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	370	24,2
2	180	370	24,2
3	180	365	24,2
4	180	365	24,2

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	360	24,2
6	180	360	24,2
7	180	355	24,2
8	180	350	24,2

Promedio	180	362	24,2
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9056$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0034 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0031 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MANCO – ENSAYO N° 30

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1705,4	gr.
Peso suelo :	189,3	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	400	23,1
2	180	400	23,1
3	180	380	23,1
4	180	385	23,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	385	23,1
6	180	370	23,1
7	180	360	23,1
8	180	360	23,1

Promedio	180	380	23,1
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9290$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0040 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0037 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizaci3n: FLORIDABLANCA
 Muestra: Arena Rio frio
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 22 - Enero - 2007 Hoja 1 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 C3lculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO N° 1

PERMEAMETRO		
Peso c3mara + base :	1516,1	gr.
Peso c3mara + base + suelo :	1766,4	gr.
Peso suelo :	250,3	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (ϕ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,50	cm
Area (A) : ($\pi / 4 \cdot \phi^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	149,32	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	850	23,5
2	180	850	23,5
3	180	840	23,5
4	180	830	23,5

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	820	23,5
6	180	820	23,5
7	180	820	23,5
8	180	810	23,5

Promedio	180	830	23,5
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9204$

$K = Q \cdot L / A \cdot h \cdot t = 0,0099 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T \cdot n_T / n_{20} = 0,0091 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO N° 2

PERMEAMETRO		
Peso c3mara + base :	1516,1	gr.
Peso c3mara + base + suelo :	1777,7	gr.
Peso suelo :	261,6	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (ϕ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,90	cm
Area (A) : ($\pi / 4 \cdot \phi^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	162,60	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	780	23,9
2	180	770	23,9
3	180	760	23,9
4	180	760	23,9

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	750	23,9
6	180	740	23,9
7	180	740	23,9
8	180	700	23,9

Promedio	180	750	23,9
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9118$

$K = Q \cdot L / A \cdot h \cdot t = 0,0097 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T \cdot n_T / n_{20} = 0,0088 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: floridablanca
 Muestra: Arena Rio frio
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 22 - Enero - 2007 Hoja 2 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 3

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1776,9	gr.
Peso suelo :	260,8	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	5,00	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	165,92	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	940	23,8
2	180	940	23,8
3	180	940	23,8
4	180	940	23,8

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	930	23,8
6	180	930	23,8
7	180	920	23,8
8	180	910	23,8

Promedio	180	931	23,8
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,9140$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0123 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0112 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 4

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1775,9	gr.
Peso suelo :	259,8	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,70	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	155,96	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	950	23,8
2	180	950	23,8
3	180	940	23,8
4	180	930	23,8

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	920	23,8
6	180	910	23,8
7	180	900	23,8
8	180	900	23,8

Promedio	180	925	23,8
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,9140$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0115 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0105 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: floridablanca
 Muestra: Arena Rio frio
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 23 - Enero - 2007 Hoja 3 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 5

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1802,5	gr.
Peso suelo :	286,4	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	5,30	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	175,87	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	890	23,9
2	180	890	23,9
3	180	890	23,9
4	180	880	23,9

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	880	23,9
6	180	870	23,9
7	180	860	23,9
8	180	850	23,9

Promedio	180	876	23,9
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,9118$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0123 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0112 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 6

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1788,9	gr.
Peso suelo :	272,8	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,70	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	155,96	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	820	24
2	180	810	24
3	180	800	24
4	180	790	24

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	790	24
6	180	785	24
7	180	780	24
8	180	770	24

Promedio	180	793	24
----------	-----	-----	----

$$n_T / n_{20} = 0,9097$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0098 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0090 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: floridablanca
 Muestra: Arena Río frío
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 23 - Enero - 2007 Hoja 4 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO N° 7

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1789,7	gr.
Peso suelo :	273,6	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	5,00	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	165,92	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	950	23,4
2	180	940	23,4
3	180	940	23,4
4	180	930	23,4

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	920	23,4
6	180	920	23,4
7	180	910	23,4
8	180	900	23,4

Promedio	180	926	23,4
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9225$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0122 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0113 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO N° 8

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1792,5	gr.
Peso suelo :	276,4	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	5,00	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	165,92	cm³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	870	23,7
2	180	860	23,7
3	180	850	23,7
4	180	840	23,7

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	840	23,7
6	180	830	23,7
7	180	820	23,7
8	180	815	23,7

Promedio	180	841	23,7
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9161$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0111 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0102 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
 Muestra: Arena Rio Frio
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 23 - Enero - 2008 Hoja 5 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 9

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1735,7	gr.
Peso suelo :	219,6	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,20	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	139,37	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	940	23,8
2	180	940	23,8
3	180	930	23,8
4	180	920	23,8

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	910	23,8
6	180	900	23,8
7	180	890	23,8
8	180	890	23,8

Promedio	180	915	23,8
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9140$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0101 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0093 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 10

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1766,5	gr.
Peso suelo :	250,4	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,70	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	155,96	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	890	24
2	180	885	24
3	180	880	24
4	180	870	24

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	860	24
6	180	860	24
7	180	850	24
8	180	840	24

Promedio	180	867	24
----------	-----	-----	----

$n_T / n_{20} = 0,9097$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0108 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0098 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
 Muestra: Arena Rio Frio
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 24 - Enero - 2008 Hoja 6 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 11

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1749,3	gr.
Peso suelo :	233,2	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,70	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	155,96	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	970	22,8
2	180	970	22,8
3	180	965	22,8
4	180	960	22,8

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	955	22,8
6	180	950	22,8
7	180	950	22,8
8	180	940	22,8

Promedio	180	958	22,8
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9355$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0119 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0111 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 12

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1797,8	gr.
Peso suelo :	281,7	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	5,20	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	172,55	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	910	22,9
2	180	900	22,9
3	180	900	22,9
4	180	895	22,9

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	890	22,9
6	180	870	22,9
7	180	865	22,9
8	180	860	22,9

Promedio	180	886	22,9
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9333$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0122 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0114 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
 Muestra: Arena Rio Frio
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 24 - Enero - 2008 Hoja 7 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 13

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1763,0	gr.
Peso suelo :	246,9	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,70	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	155,96	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	900	23,3
2	180	890	23,3
3	180	885	23,3
4	180	880	23,3

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	870	23,3
6	180	870	23,3
7	180	860	23,3
8	180	850	23,3

Promedio	180	876	23,3
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9247$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0109 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0100 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 14

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1713,0	gr.
Peso suelo :	196,9	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,50	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	149,32	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	970	23,7
2	180	965	23,7
3	180	960	23,7
4	180	950	23,7

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	945	23,7
6	180	940	23,7
7	180	930	23,7
8	180	930	23,7

Promedio	180	949	23,7
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9161$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0113 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0103 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
 Muestra: Arena Río Frio
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 24 - Enero - 2008 Hoja 8 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 15

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1798,9	gr.
Peso suelo :	282,8	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	5,50	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	182,51	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	930	24,0
2	180	925	24,0
3	180	920	24,0
4	180	910	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	900	24,0
6	180	890	24,0
7	180	885	24,0
8	180	880	24,0

Promedio	180	905	24
----------	-----	-----	----

$n_T / n_{20} = 0,9097$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0131 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0120 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 16

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1793,8	gr.
Peso suelo :	277,7	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,90	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	162,60	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	900	24
2	180	890	24
3	180	890	24
4	180	885	24

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	880	24
6	180	870	24
7	180	860	24
8	180	855	24

Promedio	180	879	24
----------	-----	-----	----

$n_T / n_{20} = 0,9097$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0114 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0103 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
 Muestra: Arena Rio Frio
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 25 - Enero - 2008 Hoja 9 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 17

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1770,3	gr.
Peso suelo :	254,2	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,70	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	155,96	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	980	23,9
2	180	970	23,9
3	180	960	23,9
4	180	950	23,9

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	945	23,9
6	180	940	23,9
7	180	940	23,9
8	180	935	23,9

Promedio	180	953	23,9
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9118$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0118 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0108 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 18

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1793,4	gr.
Peso suelo :	277,3	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	5,30	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	175,87	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	870	24,0
2	180	870	24,0
3	180	860	24,0
4	180	850	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	845	24,0
6	180	840	24,0
7	180	830	24,0
8	180	820	24,0

Promedio	180	848	24
----------	-----	-----	----

$n_T / n_{20} = 0,9097$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0119 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0108 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
 Muestra: Arena Rio Frio
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 25 - Enero - 2008 Hoja 10 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 19

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1728,3	gr.
Peso suelo :	212,2	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,10	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	136,05	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	790	21,5
2	180	755	21,5
3	180	755	21,5
4	180	730	21,5

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	730	21,5
6	180	710	21,5
7	180	720	21,5
8	180	700	22

Promedio	180	736	21,5
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9646$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0080 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0077 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 20

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1722,7	gr.
Peso suelo :	206,6	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	810	21,5
2	180	810	21,5
3	180	800	21,5
4	180	800	21,5

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	770	21,5
6	180	770	21,5
7	180	750	21,5
8	180	750	21,5

Promedio	180	783	21,5
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9225$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0083 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0076 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
 Muestra: Arena Rio Frio
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 25 - Enero - 2008 Hoja 11 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 21

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1713,7	gr.
Peso suelo :	197,6	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	750	23,3
2	180	740	23,3
3	180	735	23,3
4	180	739	23,3

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	730	23,3
6	180	720	23,3
7	180	720	23,3
8	180	715	23,3

Promedio	180	731	23,3
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9247$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0077 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0071 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 22

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1730,9	gr.
Peso suelo :	214,8	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	690	24
2	180	690	24
3	180	685	24
4	180	680	24

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	670	24
6	180	670	24
7	180	660	24
8	180	655	24

Promedio	180	675	24
----------	-----	-----	----

$n_T / n_{20} = 0,9097$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0071 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0065 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
 Muestra: Arena Rio Frio
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 25 - Enero - 2008 Hoja 12 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 23

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1751,0	gr.
Peso suelo :	234,9	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,30	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	142,69	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	660	23,8
2	180	660	23,8
3	180	650	23,8
4	180	640	23,8

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	630	23,8
6	180	620	23,8
7	180	620	23,8
8	180	615	23,8

Promedio	180	637	23,8
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9140$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0072 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0066 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 24

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1752,4	gr.
Peso suelo :	236,3	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,50	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	33,18	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	149,32	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	500	24,0
2	180	495	24,0
3	180	490	24,0
4	180	480	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	480	24,0
6	180	490	24,0
7	180	470	24,0
8	180	475	24,0

Promedio	180	485	24
----------	-----	-----	----

$n_T / n_{20} = 0,9097$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0058 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0052 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
 Muestra: Arena Rio Frio
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 25 - Enero - 2008 Hoja 13 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 25

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1619,4	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1734,1	gr.
Peso suelo :	114,7	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,35	cm
Altura (L) :	4,10	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	31,67	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	129,84	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	840	23,7
2	180	835	23,7
3	180	830	23,7
4	180	830	23,7

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	820	23,7
6	180	810	23,7
7	180	800	23,7
8	180	800	23,7

Promedio	180	821	23,7
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9161$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0093 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0085 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 26

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1749,9	gr.
Peso suelo :	233,8	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,35	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	31,67	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	126,68	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	880	22,0
2	180	880	22,0
3	180	878	22,0
4	180	870	22,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	870	22,0
6	180	876	22,0
7	180	874	22,0
8	180	879	22,0

Promedio	180	876	22
----------	-----	-----	----

$n_T / n_{20} = 0,9531$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0097 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0092 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
 Muestra: Arena Rio Frio
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 28 - Enero - 2008 Hoja 14 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 27

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1701,2	gr.
Peso suelo :	185,1	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,35	cm
Altura (L) :	3,50	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	31,67	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	110,84	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	540	24
2	180	530	24
3	180	520	24
4	180	500	24

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	500	24
6	180	495	24
7	180	490	24
8	180	480	24

Promedio	180	507	24
----------	-----	-----	----

$n_T / n_{20} = 0,9097$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0049 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0045 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 28

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1755,4	gr.
Peso suelo :	239,3	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,35	cm
Altura (L) :	4,70	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	31,67	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	148,85	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	400	23,7
2	180	395	23,7
3	180	380	23,7
4	180	385	23,7

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	370	23,7
6	180	360	23,7
7	180	350	23,7
8	180	340	23,7

Promedio	180	373	23,7
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9161$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0048 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0044 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
 Muestra: Arena Rio Frio
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 28 - Enero - 2008 Hoja 15 de 15
 Operador: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno
 Cálculo: Edgar Mauricio Vargas-Paula Marcela Moreno

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 29

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1764,1	gr.
Peso suelo :	248,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,35	cm
Altura (L) :	4,80	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	31,67	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	152,01	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	600	23,5
2	180	595	23,5
3	180	580	23,5
4	180	570	23,5

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	565	23,5
6	180	550	23,5
7	180	540	23,5
8	180	540	23,5

Promedio	180	568	23,5
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9204$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0075 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0069 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO FRIO – ENSAYO Nº 30

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1742,4	gr.
Peso suelo :	226,3	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (Ø) :	6,35	cm
Altura (L) :	4,30	cm
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	31,67	cm²
Volumen (V) : (A * L) :	136,18	cm³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	670	24
2	180	665	24
3	180	660	24
4	180	650	24

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	640	24
6	180	635	24
7	180	630	24
8	180	630	24

Promedio	180	648	24
----------	-----	-----	----

$n_T / n_{20} = 0,9097$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0077 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0070 \text{ cm/seg.}$

ANEXO E

NORMAS DE INVIAS I.N.V. E – 123
PARA LA EJECUCIÓN DE ENSAYOS GRANULOMÉTRICOS

ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

I.N.V. E - 123

1. OBJETO

1.1 El análisis granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo.

1.2 Esta norma describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 75 μm (No.200).

2. EQUIPO

2.1 Dos balanzas. Una con sensibilidad de 0.01 g para pesar material que pase el tamiz de 2 mm (No.10). Otra con sensibilidad 0.1 % del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 2 mm (No.10).

2.2 Tamices de malla cuadrada :

75 mm (3"), 50 mm (2"), 37.5 mm(1-1/2"), 25 mm (1"), 19.0 mm (3/4"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No.4), 2.00 mm (No.10) 850 μm (No.20), 425 μm (No.40), 250 μm (No.60), 106 μm (No.140) y 75 μm (No.200).

Se puede usar, como alternativa, una serie de tamices que, al dibujar la gradación, dé una separación uniforme entre los puntos del gráfico; esta serie estará integrada por los siguientes:

75 mm (3"), 37.5 mm (1-1/2"), 19.0 mm (3/4"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No.4), 2.36 mm (No.8), 1.10 mm (No.16), 600 µm (No.30), 300 µm (No.50), 150 µm (No.100), 75 µm (No.200).

2.3 Horno, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).

2.4 Envases, adecuados para el manejo y secado de las muestras.

2.5 Cepillo y brocha, para limpiar las mallas de los tamices.

3. MUESTRA

3.1 Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hace, bien con la muestra entera, o bien con parte de ella después de separar los finos por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca en el horno una pequeña porción húmeda del material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, entonces el análisis con tamices, se puede efectuar sin previo lavado.

3.2 Prepárese una muestra para el ensayo como se describe en la preparación de muestras para análisis granulométrico Norma INV E-106, la cual estará constituida por dos fracciones: Una retenida sobre el tamiz de 2 mm (No.10) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayarán por separado.

3.3 El peso del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, como se indica en la Norma INV E-106, será suficiente para las cantidades requeridas para el análisis mecánico, como sigue:

- Para la porción de muestra retenida en el tamiz de 2 mm (No.10) el peso dependerá del tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la Tabla No.1.

TABLA No.1

Diámetro Nominal de las partículas más grandes mm (pulg)	Peso mínimo aproximado de la porción Gramos, g
9.5 (3/8")	500
19.0 (3/4")	1000
25.0 (1")	2000
37.5 (1 1/2")	3000
50.0 (2")	4000
75.0 (3")	5000

- El tamaño de la porción que pasa tamiz de 2 mm (No.10) será aproximadamente de 115 g, para suelos arenosos, y de 65 g para suelos arcillosos y limosos.

3.4 En la Norma INV E-106, se dan indicaciones para la pesada del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, así como para la separación del suelo sobre el Tamiz de 2 mm (No.10) por medio del tamizado en seco, y para el lavado y pesado de las fracciones lavadas y secadas retenidas en dicho tamiz. De estos dos pesos, los porcentajes, retenido y que pasa el Tamiz de 2 mm (No.10), pueden calcularse de acuerdo con el numeral 6.1.

- Se puede tener una comprobación de los pesos, así como de la completa pulverización de los terrones, pesando la porción de muestra que pasa el Tamiz de 2 mm (No.10) y agregándole este valor al peso de la porción de muestra lavada y secada en el horno, retenida en el Tamiz de 2 mm (No.10).

4. ANALISIS POR MEDIO DE TAMIZADO DE LA FRACCION RETENIDA EN EL TAMIZ DE 2.00 mm (No.10)

4.1 Sepárese la porción de muestra retenida en el tamiz de 2 mm (No.10) en una serie de fracciones usando los tamices de:

75 mm (3"), 50 mm (2"), 37.5 mm (1- $\frac{1}{2}$ "), 25.0 mm (1"), 19.0 mm (3/4"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No.4) y 2.00 mm (No.10), o los que sean necesarios dependiendo del tipo de muestra, o dependiendo de las especificaciones para el material que se ensaya.

4.2 En la operación de tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla. Debe comprobarse al desmontar

los tamices que la operación está terminada; esto se sabe cuando no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas apresadas en la malla, deben separarse con un pincel o cepillo y reunir las con lo retenido en el tamiz.

Cuando se utilice una tamizadora mecánica, se pondrá a funcionar por diez minutos aproximadamente; el resultado se puede verificar usando el método manual.

4.3 Se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0.1 % La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso inicial de la muestra no debe diferir en más de 1 %

5 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA FRACCION FINA

5.1 El análisis granulométrico de la fracción que pasa el tamiz de 2 mm (No.10) se hará por tamizado y/o sedimentación según las características de la muestra y según la información requerida.

- Los materiales arenosos que contengan muy poco limo y arcilla, cuyos terrones en estado seco se desintegren con facilidad, se podrán tamizar en seco.
- Los materiales limo arcillosos, cuyos terrones en estado seco no rompan con facilidad, se procesarán por la vía húmeda.

- Si se requiere la curva granulométrica completa incluyendo la fracción de tamaño menor que el tamiz de 75 μm (No.200), la gradación de ésta se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios. Ver Norma de Ensayo INV E-124.
- Se puede utilizar procedimientos simplificados para la determinación del contenido de partículas menores de un cierto tamaño, según se requiera.
- La fracción de tamaño mayor que el tamiz de 75 μm (No.200) se analizará por tamizado en seco, lavando la muestra previamente sobre el tamiz de 75 μm (No.200)

5.2 Procedimiento para el análisis granulométrico por lavado sobre el tamiz de 75 μm (No.200).

- Se separan mediante cuarteo, 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos arcillosos y limosos, pesándolos con exactitud de 0.01 g.
- Humedad higroscópica.- Se pesa una porción de 10 a 15 g de los cuarteos anteriores y se seca en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C ($230 + 9$ °F). Se pesan de nuevo y se anotan los pesos.
- Se coloca la muestra en un recipiente apropiado, cubriéndola con agua y se deja en remojo hasta que todos los terrones se ablanden.
- Se lava a continuación la muestra sobre el tamiz de 75 μm (No.200) con abundante agua, evitando frotarla contra el tamiz y teniendo

mucho cuidado de que no se pierda ninguna partícula de las retenidas en él.

- Se recoge lo retenido en un recipiente, se seca en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) y se pesa.
- Se tamiza en seco siguiendo el procedimiento indicado en las secciones 4.2 y 4.3

6. CALCULOS

6.1 Valores de análisis de tamizado para la porción retenida en el Tamiz de 2 mm (No.10).

- Se calcula el porcentaje que pasa el tamiz de 2 mm (No.10) dividiendo el peso que pasa dicho tamiz por el del suelo originalmente tomado y se multiplica el resultado por 100. Para obtener el peso de la porción retenida en el mismo tamiz, réstese del peso original, el peso del pasante por el Tamiz de 2 mm (No.10).
- Para comprobar el peso total de suelo que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4), se agrega al peso del material que pasa el tamiz de 2 mm (No.10), el peso de la fracción que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4) y que queda retenida en el de 2 mm (No.10). Para comprobar el material que pasa por el tamiz de 9.5 mm (3/8"), se agrega al peso total del suelo que pasa por el tamiz de 4.75 mm (No.4) el peso de la fracción que pasa el tamiz de 9.5 mm (3/8") y que queda retenida en

el de 4.75 mm (No.4). Para los demás tamices continúese el cálculo de la misma manera.

- Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide el peso total que pasa (sección 6.1.2) por el peso total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.

6.2 Valores del análisis por tamizado para la porción que pasa el tamiz de 2 mm (No.10).

- Se calcula el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 75 µm (No.200) de la siguiente forma:

$$\% \text{ Pasa } 75 \mu\text{m} = \frac{\text{Peso total} - \text{Peso Ret. en el tamiz de } 75 \mu\text{m}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

- Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

$$\% \text{ Ret.} = \frac{\text{Peso ret. en el tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

- Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100% los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Ret. acumulado}$$

6.3 Porcentaje de humedad higroscópica.- La humedad higroscópica se considera como la pérdida de peso de una muestra secada al aire cuando se seca posteriormente al horno, expresada como un porcentaje del peso de la muestra secada al horno. Se determina de la manera siguiente.

$$\% \text{ humedad higroscópica} = \frac{W - W_1}{W_1} \times 100$$

Donde:

W = Peso de suelo secado al aire

W₁ = Peso de suelo secado en el horno

7. OBSERVACIONES

7.1 El informe deberá incluir lo siguiente:

- El tamaño máximo de las partículas contenidas en la muestra.
- Los porcentajes retenidos y/o que pasan, para cada uno de los tamices utilizados.
- Toda información que se juzgue de interés.

Los resultados se presentarán: (1) en forma tabulada, o (2) en forma gráfica; siendo esta última forma, la indicada cada vez que el análisis comprenda un ensayo completo de sedimentación.

Las pequeñas diferencias resultantes en el empate de las curvas obtenidas por tamizado y por sedimento respectivamente, se corregirán en forma gráfica.

7.2 Los siguientes errores posibles producirán determinaciones imprecisas en un análisis granulométrico por tamizado.

- Aglomeraciones de partículas que no han sido completamente disgregadas. Si el material contiene partículas finas plásticas, la muestra debe ser disgregada antes del tamizado.
- Tamices sobrecargados. Este es el error más común y más serio asociado con el análisis por tamizado y tenderá a indicar que el material ensayado es más grueso de lo que en realidad es. Para evitar esto las muestras muy grandes deben ser tamizadas en varias porciones y las porciones retenidas en cada tamiz se juntarán luego para realizar la pesada.
- Los tamices han sido agitados por un periodo demasiado corto o con movimientos horizontales o rotacionales inadecuados. Los tamices deben agitarse de manera que las partículas sean expuestas a las aberturas del tamiz con varias orientaciones y así tengan mayor oportunidad de pasar a través de él.
- La malla de los tamices está rota o deformada; los tamices deben ser frecuentemente inspeccionados para asegurar que no tienen aberturas más grandes que la especificada.
- Pérdidas de material al sacar el retenido de cada tamiz.

- Errores en las pesadas y en los cálculos.

8. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

ASTM D 422

AASHTO T 88

MOP E 115 (Venezuela)

NLT 104

ANEXO F

NORMAS DE INVIAS I.N.V. E – 128 PARA LA EJECUCIÓN DE
ENSAYOS DE PESO ESPECÍFICO RELATIVO

DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO DE LOS SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL

I.N.V. E - 128

1. OBJETO

1.1 Este método de ensayo se utiliza para determinar el peso específico de los suelos y del llenante mineral (filler) por medio de un picnómetro. Cuando el suelo está compuesto de partículas mayores que el tamiz de 2.38 mm (No.8), deberá seguirse el método de ensayo para determinar el Peso Específico y la Absorción del Agregado Grueso, Norma INV E-223. Cuando el suelo está compuesto por partículas mayores y menores que el tamiz de 2.38 mm (No.8), se utilizará el método de ensayo correspondiente a cada porción (Normas INV E-222 e INV E-223). El valor del peso específico para el suelo será el promedio ponderado de los dos valores así obtenidos. Cuando el valor del peso específico sea utilizado en cálculos relacionados con la porción hidrométrica del Análisis Granulométrico de Suelos (Norma INV E-124), debe determinarse el peso específico de la porción de suelo que pasa el tamiz de 2.00 mm (No.10) de acuerdo con el método que se describe en la presente Norma.

2. DEFINICION

Peso específico.- Es la relación entre el peso en el aire de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada y el peso en el aire del mismo volumen de agua destilada, a la misma temperatura.

3. EQUIPO

3.1 Frasco volumétrico (Picnómetro), de 100 a 500 cm³ de capacidad.

3.2 Bomba de vacío, con tuberías y uniones, o en su defecto un mechero o un dispositivo para hervir el contenido del picnómetro.

3.3 Horno, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).

3.4 Balanzas, una capacidad de 1200g y sensibilidad de 0.01g y otra con capacidad de 200g y sensibilidad de .001g.

3.5 Pipeta.

3.6 Termómetro graduado, con una escala de 0 a 50°C (32 a 122°F) y con precisión de 0.1°C (0.18°F).

3.7 Cápsula de evaporación.

3.8 Baño de agua (Baño maría).

3.9 Guantes de asbesto.

3.10 Tamices de 2.36 mm (No.8) y 4.75 mm (No.4).

4. CALIBRACION DEL PICNOMETRO

El peso del picnómetro lleno de agua debe ser calibrado para varias temperaturas. El picnómetro con agua se calibra directamente dentro del intervalo de temperaturas que se espera encontrar en el laboratorio.

El proceso de calibración es el siguiente:

4.1 Llénese el picnómetro con agua destilada o desmineralizada, sin burbujas de aire, hasta una altura algo menor que la marca de calibración y colóquese al "Baño maría" hasta que se equilibre su temperatura con la del baño.

Sáquese el picnómetro del "Baño maría", ajústese con una pipeta el nivel del agua en el picnómetro de manera que la parte de abajo del menisco coincida con la marca de calibración en el cuello del picnómetro y remuévase el agua que se encuentre adherida en la parte interior del cuello por encima de la marca de calibración; luego, pésese el picnómetro con agua con una precisión de 0.01 g. Inmediatamente después de la pesada, agítase el picnómetro suavemente y determínese la temperatura del agua con una precisión de 0.1°C, introduciendo el termómetro hasta la mitad de la profundidad del picnómetro.

4.2 Repítase el procedimiento anterior aproximadamente a la misma temperatura. Luego, háganse dos determinaciones adicionales, una a la temperatura del laboratorio y otra a una temperatura aproximadamente 5°C (9°F) menor que la temperatura del laboratorio.

4.3 Dibújese una curva de calibración que muestre la relación entre las temperaturas y los pesos correspondientes del picnómetro más agua. Prepárese la curva de calibración para cada picnómetro que se utilice en la determinación de los pesos específicos y consérvense esas curvas en el archivo. Una curva de calibración típica se muestra en la Figura No. 1.

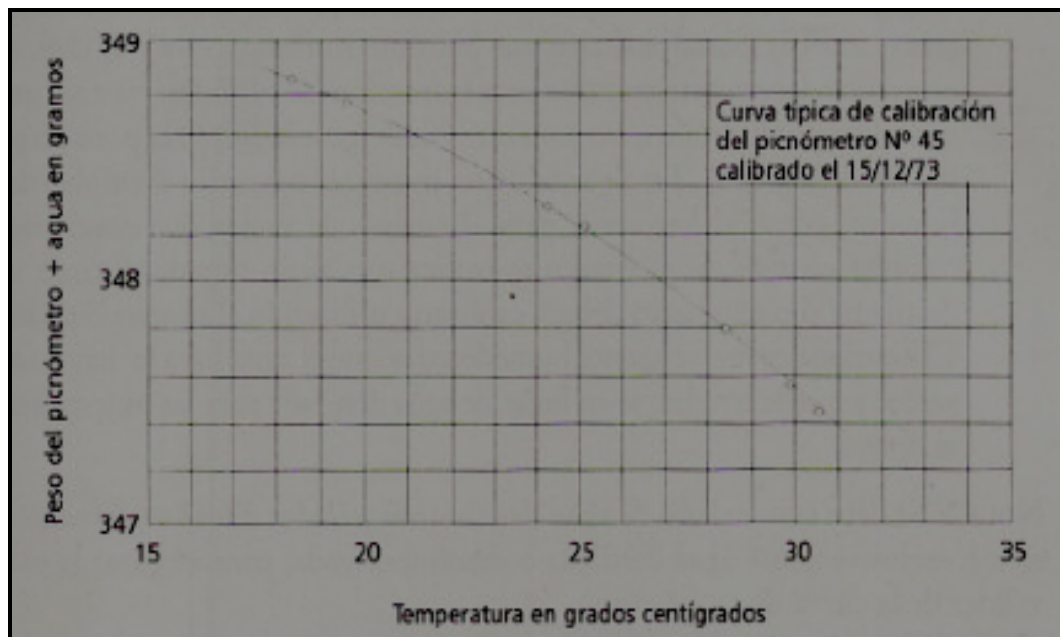


Figura 1. Curva típica de calibración del picnómetro.

Nota 1: No se debe utilizar la misma curva de calibración para todos los picnómetros de igual capacidad. Cada uno de los picnómetros, aún los de igual capacidad, tienen pesos diferentes; por lo tanto, deberán ser individualmente calibrados.

Si el picnómetro no está limpio, la curva de calibración no será válida, porque cambia su peso. También, si la parte interior del cuello del picnómetro no está limpia, se formará un menisco irregular.

Cuando se calibra el picnómetro para una temperatura menor que la del laboratorio, hay una tendencia a que se condense agua en la parte interior del picnómetro, aun cuando se haya tenido mucho cuidado en el secado y la pesada se haya realizado rápidamente. Siempre que sea posible, la pesada debe hacerse a la misma temperatura a la cual está el picnómetro.

5. PREPARACION DE LA MUESTRA

5.1 Debe tenerse especial cuidado en obtener muestras representativas para la determinación del peso específico de los sólidos. La muestra de suelo puede ensayarse a su humedad natural, o puede secarse al horno; sin embargo, algunos suelos, principalmente aquellos que tienen un alto contenido de materia orgánica, son muy difíciles de rehumedecer después de que se han secado al horno. Estos suelos pueden ser ensayados sin haberse secado previamente en el horno, en cuyo caso, el peso de la muestra seca se determina al final del ensayo.

5.2 Cuando la muestra contenga partículas de diámetros mayores y menores que la abertura del tamiz de 2.38 mm (No.8), la muestra debe ser separada por dicho tamiz y debe determinarse el peso específico de la fracción fina [pasante del tamiz de 2.38 mm (No.8)] y el peso específico aparente de la fracción gruesa. El valor del peso específico para la muestra total viene dado por la siguiente expresión:

$$G = \frac{100}{\frac{\% \text{ Pasante del No.8}}{G_s} + \frac{\% \text{ Retenido en el No.8}}{G_a}}$$

Donde:

G : Peso Específico Total

G_s : Peso Específico de los sólidos (Pasa tamiz No.8)

G_a : Peso específico aparente (Retenido en el tamiz No.8)
(Según Ensayo INV E-223)

- Cuando el valor del peso específico va a ser empleado en cálculos relacionados con el análisis granulométrico por hidrómetro (Ensayo INV E-124), el peso específico deberá determinarse para la fracción de suelo que va a ser usada en el análisis por hidrómetro o para otros fines (generalmente la porción pasante del tamiz No.200). En algunos casos, puede ser necesario el empleo de otros líquidos, como el Kerosene, para el análisis de suelos que contienen sales solubles en agua. Si el ensayo se realiza con algún líquido distinto al agua destilada, el picnómetro deberá calibrarse utilizando el mismo líquido.
- El Kerosene es mejor agente humedecedor que el agua para la mayoría de los suelos y puede emplearse en lugar de agua destilada para la muestras secadas al horno.

Nota 2: Se debe evitar el uso de agua que contenga sólidos disueltos. Es esencial que se use exclusivamente agua destilada o

desmineralizada, para asegurar la continua validez de la curva de calibración.

6. PROCEDIMIENTO

6.1 Suelos con su humedad natural.- El procedimiento para determinar el peso específico de los suelos a su humedad natural deberá consistir de los siguientes pasos:

- Anótese en una planilla de datos toda la información concerniente a la muestra como : obra, No. de sondeo, No. de la muestra y cualquier otro dato pertinente.
- Colóquese en la cápsula de evaporación una muestra representativa del suelo. La cantidad necesaria se escogerá de acuerdo con la capacidad del picnómetro.

Capacidad del picnómetro	Cantidad requerida aproximada
100 cm ³	25 - 35 g.
250 cm ³	55 - 65 g.
500 cm ³	120 - 130 g.

Empleando una espátula, mézclase el suelo con suficiente agua destilada o desmineralizada, hasta formar una masa pastosa; colóquese luego la

mezcla en el picnómetro y llénese con agua destilada hasta aproximadamente la mitad del frasco.

- Para remover el aire atrapado, conéctese el picnómetro a la línea de vacío hasta obtener una presión absoluta dentro del frasco no mayor de 100 mm de mercurio. El tiempo de aplicación del vacío dependerá del tipo de suelo ensayado. Un esquema de un sistema elemental de aplicación de vacío aparece en la Figura No. 2.

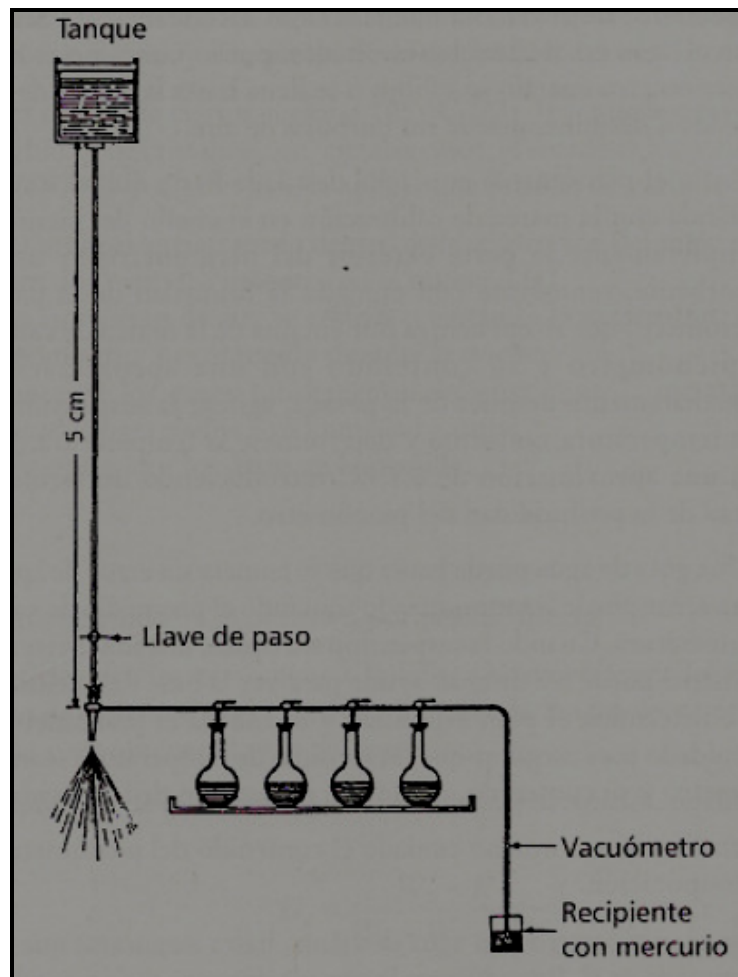


Figura 2. Sistema elemental de aplicación de vacío.

Como proceso alternativo, el aire atrapado puede ser removido calentando la suspensión levemente durante un período mínimo de 10 minutos, rotando ocasionalmente el picnómetro para facilitar la expulsión de aire. El proceso de calentamiento debe adelantarse con mucho cuidado, porque pueden ocurrir pérdidas de material. Las muestras que sean calentadas, deberán dejarse enfriar a la temperatura ambiente.

Nota 3: Algunos suelos hierven violentamente al someterlos a una presión de aire reducido. En esos casos, es necesario aplicar una reducción gradual de la presión o utilizar un frasco de mayor tamaño.

- Llénese el picnómetro con agua destilada y sin burbujas de aire, hasta 2 cm por debajo de la marca y aplíquese vacío nuevamente hasta que a la suspensión se le haya extraído la mayor parte del aire; remuévase con cuidado el tapón del picnómetro y obsérvese cuánto baja el nivel del agua en el cuello. Si la superficie de agua baja menos de 3 mm no es necesario seguir aplicando vacío. En el caso en que la superficie del agua baje más de 3 mm, se deberá seguir aplicando vacío hasta lograr esta condición.

Nota 4: La remoción incompleta del aire atrapado en la suspensión del suelo es la causa más importante de error en la determinación de pesos específicos y tenderá a bajar el peso específico calculado. Se deberá extraer completamente el aire de la suspensión aplicando vacío o calentando. La ausencia de aire atrapado debe ser verificada como se describió durante el ensayo. Es conveniente destacar que el aire disuelto en el agua no afectará los resultados; por lo tanto, no es necesario aplicar vacío al picnómetro cuando se calibra o se llena

hasta la marca de calibración con agua destilada o desmineralizada sin burbujas de aire.

- Llénese el picnómetro con agua destilada hasta que el fondo del menisco coincida con la marca de calibración en el cuello del picnómetro. Séquese completamente la parte exterior del picnómetro y, usando un papel absorbente, remuévase con cuidado la humedad de la parte interior del picnómetro que se encuentra por encima de la marca de calibración. Pésese el picnómetro y su contenido con una aproximación de 0.01 g. Inmediatamente después de la pesada, agítese la suspensión hasta asegurar una temperatura uniforme y determínese la temperatura de la suspensión con una aproximación de 0.1°C introduciendo un termómetro hasta la mitad de la profundidad del picnómetro.

Nota 5: Una gota de agua puede hacer que se cometa un error de aproximadamente 0.05 g. Este error puede ser minimizado tomando el promedio de varias lecturas a la misma temperatura. Cuando la suspensión sea opaca, una luz fuerte detrás del cuello del picnómetro puede ser de gran ayuda para ver la base del menisco.

Cuando se determina el peso específico y se calibra el picnómetro, debe tenerse extremo cuidado para asegurar que las medidas de temperatura sean representativas del picnómetro y su contenido, durante la realización de las pesadas.

- Transfírase con mucho cuidado el contenido del picnómetro a una cápsula de evaporación.

Enjuáguese el picnómetro con agua destilada, hasta asegurarse que toda la muestra ha sido removida de él. Introdúzcase la cápsula de evaporación con la muestra en un horno a $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($221 \pm 9^{\circ}\text{F}$), hasta peso constante. Sáquese la muestra seca del horno, déjese enfriar a la temperatura del laboratorio y determínese el peso del suelo seco con una aproximación de 0.01 g.

- Anótense todos los resultados en la planilla.

6.2 Suelos secados al horno.- El procedimiento para determinar el peso específico de los sólidos en suelos secados al horno, debe consistir de los siguientes pasos:

- Anótese en la planilla toda la información requerida para identificar la muestra.
- Séquese el suelo al horno hasta obtener la condición de peso constante. El horno debe estar a una temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($221 \pm 9^{\circ}\text{F}$). Sáquese la muestra del horno y déjese enfriar a la temperatura del laboratorio; debe protegerse contra una ganancia de humedad hasta que sea pesada. Selecciónese una muestra representativa; la cantidad requerida dependerá de la capacidad del picnómetro que se va a utilizar (véase la tabla del numeral 6.1.). Pésese la muestra con aproximación de 0.01 g. Después de pesado, transfírase el suelo al picnómetro teniendo mucho cuidado de no perder material durante la operación. Para evitar posibles pérdidas del material previamente pesado, la muestra puede ser pesada después de que se transfiera al picnómetro. Esta eventual pérdida bajará el valor del peso específico calculado.

Llénese el picnómetro hasta la mitad de su contenido con agua destilada sin burbujas de aire y déjese reposar la suspensión durante la noche.

Nota 6: El secado de ciertos suelos a 105°C (221°F), puede causar la pérdida del agua absorbida y de cristalización; en tales casos, el secado se hará a una temperatura de 60°C (140°F) y se recomienda aplicar una presión de vacío más baja.

- Extráigase el aire atrapado dentro de la suspensión del suelo en agua por uno de los dos métodos descritos en el numeral 6.1.
- Si la extracción de aire se realizó calentando la suspensión, déjese enfriar el picnómetro y su contenido durante la noche.
- Realícense los pasos subsiguientes del ensayo en la misma forma que los indicados para suelos a su humedad natural.
- Anótense todos los datos en la planilla.

7. CALCULOS

Las siguientes cantidades se obtienen por pesada directa.

- a) Peso del picnómetro + agua + sólidos a la temperatura del ensayo = W_1 (g).

- b) Peso de la tara + suelo seco (g). El peso de la tara debe ser restado de este valor para obtener el peso del suelo seco, W_0 .

El peso específico de los sólidos se calcula con dos decimales, mediante la siguiente fórmula :

$$G_s = \frac{W_0 \times K}{W_0 + W_2 - W_1}$$

Donde:

K = Factor de corrección basado en el peso específico del agua a 20°C (ver Tabla No. 1).

W_2 = Peso del picnómetro más agua a la temperatura del ensayo, en gramos (obtenido de la curva de calibración como se indica en la Figura No.1).

W_0 = Peso del suelo seco (g).

W_1 = Peso del picnómetro + agua + suelo (g).

8. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

AASHTO T 100

MOP E-110

Tabla 1

Peso específico (G) del agua y factor de corrección (K)
Para temperaturas entre 18 °C y 32.9 °C.

Temp.	G	K	Temp.	G	K	Temp.	G	K
18.0	0.99862	1.0004	19.0	0.99843	1.0002	20.0	0.99823	1.0000
.1	60	4	.1	41	2	.1	21	0
.2	58	4	.2	39	2	.2	19	0
.3	56	3	.3	37	1	.3	17	09999
.4	54	3	.4	35	1	.4	15	9
.5	52	3	.5	33	1	.5	13	9
.6	50	3	.6	31	1	.6	10	9
.7	49	3	.7	29	1	.7	08	8
.8	47	2	.8	27	0	.8	06	8
.9	45	2	.9	25	0	.9	04	8
21.0	0.99802	0.9998	22.0	0.99780	0.9996	23.0	0.99756	0.9993
.1	00	8	.1	78	6	.1	54	3
.2	798	8	.2	75	5	.2	51	3
.3	96	7	.3	73	5	.3	49	3
.4	93	7	.4	70	5	.4	46	2
.5	91	7	.5	68	5	.5	44	2
.6	89	7	.6	65	4	.6	42	2
.7	87	6	.7	63	4	.7	39	2
.8	85	6	.8	60	4	.8	37	1
.9	83	6	.9	58	4	.9	34	1
24.0	0.99732	0.9991	25.0	0.99707	0.9988	26.0	0.99681	0.9986
.1	29	1	.1	04	8	.1	78	6
.2	27	0	.2	02	8	.2	76	5
.3	24	0	.3	699	8	.3	73	5
.4	22	0	.4	97	7	.4	70	5
.5	20	0	.5	94	7	.5	68	4
.6	17	89	.6	91	7	.6	65	4
.7	14	9	.7	89	7	.7	63	4
.8	12	9	.8	87	6	.8	60	4
.9	09	9	.9	84	6	.9	57	3
27.0	0.99654	0.9983	28.0	0.99626	0.9988	29.0	0.99597	0.9977
.1	51	3	.1	23	0	.1	94	7
.2	48	2	.2	20	0	.2	91	7
.3	46	2	.3	17	0	.3	88	6
.4	43	2	.4	14	79	.4	85	6
.5	40	2	.5	11	9	.5	82	6
.6	37	1	.6	08	9	.6	79	6
.7	34	1	.7	06	8	.7	76	5
.8	32	1	.8	03	8	.8	73	5
.9	29	1	.9	00	8	.9	70	5
30.0	0.99567	0.9974	31.0	0.99537	0.9971	32.0	0.99505	0.9968
.1	64	4	.1	33	1	.1	02	8
.2	61	4	.2	30	1	.2	499	8
.3	58	3	.3	27	0	.3	96	7
.4	55	3	.4	24	0	.4	93	7
.5	52	3	.5	21	0	.5	90	7
.6	49	3	.6	18	69	.6	86	6
.7	46	2	.7	15	9	.7	83	6
.8	43	2	.8	12	9	.8	80	6
.9	40	2	.9	09	9	.9	77	5

Nota: En esta tabla el peso específico del agua está basado en que la densidad del agua a 4 °C es igual a 1g/cm³.

El factor de corrección K, se obtiene dividiendo el peso específico del agua a la temperatura considerada, por el peso específico del agua a 20 °C.

ANEXO G

NORMAS DE INVIAS I.N.V. E – 130 PARA LA EJECUCIÓN DE
ENSAYOS DE PERMEABILIDADES

PERMEABILIDAD DE SUELOS GRANULARES (CABEZA CONSTANTE)

I.N.V. E - 130

1. OBJETO

Este método de ensayo cubre un procedimiento para determinar el coeficiente de permeabilidad mediante un método de cabeza constante para el flujo laminar de agua a través de suelos granulares. El procedimiento está destinado a establecer valores representativos del coeficiente de permeabilidad de suelos granulares presentes en depósitos naturales o colocados en terraplenes, o cuando se empleen como bases bajo pavimentos. Para limitar las influencias de consolidación durante el ensayo, este procedimiento está limitado a suelos granulares alterados que no contengan más de 10 % de partículas que pasen tamiz de 75 μm (No.200).

2. CONDICIONES FUNDAMENTALES DE ENSAYO

2.1 Las siguientes condiciones ideales de ensayo son prerequisites, para el flujo laminar de agua a través de suelos granulares bajo condiciones de cabeza constante:

Continuidad de flujo sin cambios en el volumen del suelo durante el ensayo.

Flujo con los vacíos del suelo saturados con agua y sin burbujas de aire dentro de los mismos.

Flujo uniforme sin cambios en el gradiente hidráulico, y

Proporcionalidad directa de la velocidad de flujo con gradientes hidráulicos por debajo de ciertos valores críticos, en los cuales se inicia el flujo turbulento.

2.2 Todos los demás tipos de flujo que involucran saturación parcial de los vacíos del suelo, flujo turbulento, y flujo no uniforme son de carácter transitorio y producen variables y coeficientes de permeabilidad que dependen del tiempo; por esto, requieren condiciones y procedimientos especiales de ensayo.

3. EQUIPO

3.1 Permeámetros, como se indican en la Figura No. 1, deberán tener cilindros para muestras con diámetro mínimo de aproximadamente 8 a 12 veces el tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la Tabla No. 1. El permeámetro deberá ajustarse con : (1) un disco poroso o una malla reforzada adecuada para el fondo, con una permeabilidad mayor que la de la muestra de suelo, pero con aberturas suficientemente pequeñas para impedir el movimiento de partículas; (2) tomas de manómetros para medir la pérdida de carga, h , sobre una longitud, l , equivalente al menos al diámetro del cilindro; (3) un disco poroso o una malla adecuada reforzada con un resorte adherido a la parte superior, o cualquier otro dispositivo,

para aplicar una ligera presión de resorte, de 22 a 44 N (5 a 10 lbf) de carga total, cuando la placa superior se halla colocada en su sitio. Esto mantendrá el peso unitario y el volumen del suelo sin cambio durante la saturación y durante el ensayo de permeabilidad, para satisfacer los requerimientos prescritos en el numeral 2.1.

TABLA No. 1
Diámetro del Cilindro

Tamaño Máximo de partícula entre Abertura de tamices	Diámetro Mínimo del cilindro			
	% retenido (*) > 35%		% retenido (*) < 35%	
	2.00 mm (No.10)	9.5 mm (3/8")	2.00 mm (No.10)	9.5 mm (3/8")
2.0 mm (No.10) y 9.5 mm (3/8") 9.6 mm (3/8") y 19 mm (3/4")	75 mm (3")	150 mm (6")	115 mm (4.5")	230 mm (9")

(*) % retenido = suelo total retenido en el tamiz del tamaño indicado inmediatamente debajo.

3.2 Tanque de cabeza constante con filtro, como se muestra en la Figura 1, para suministrar agua y para remover aire de la conexión de agua, provisto de válvulas de control adecuadas para mantener las condiciones descritas en el numeral 2.1

Si se prefiere, puede emplearse agua desaireada.

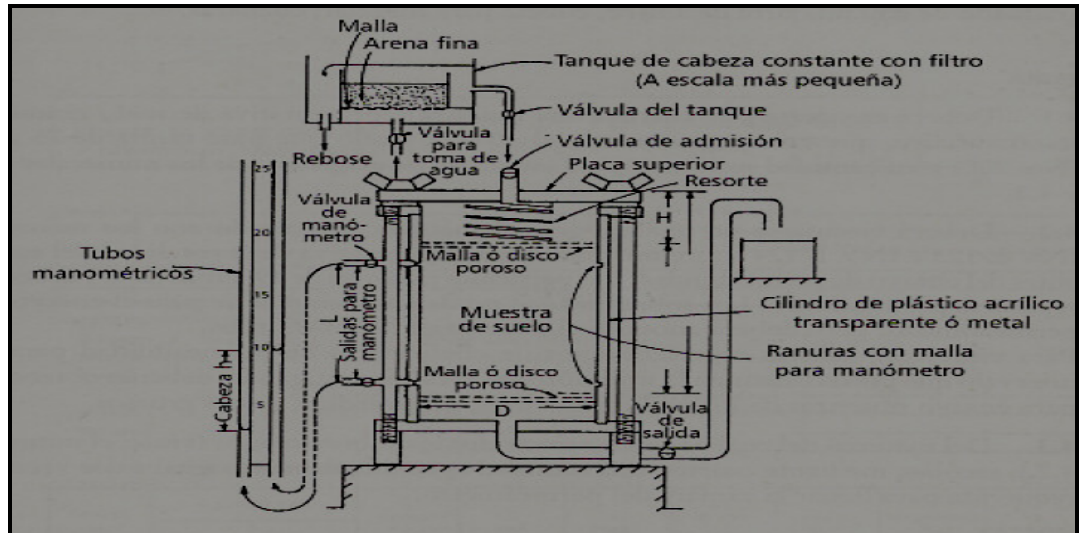


Figura 1. Permeámetro de cabeza constante.

3.3 Embudos amplios, equipados con canalones cilíndricos especiales de 25 mm (1") de diámetro para partículas de tamaño máximo de 9.5 mm (3/8"), y de 12.7 mm (1/2") de diámetro para partículas de tamaño de 2.00 mm (No.10).

La longitud del canalón deberá ser mayor que la longitud total de la cámara de permeabilidad por lo menos en 152 mm (6").

3.4 Equipo para la compactación del espécimen.- Puede emplearse el equipo de compactación que se considere deseable. Se sugieren los siguientes: un pisón vibratorio provisto de un pie de compactación de 50 mm (2") de diámetro; un pisón de impacto con un peso deslizante consistente de un pie apisonador de 50 mm (2") de diámetro, y una varilla para pesas deslizantes de 100 g (0.22 lb) (para arenas) a 1 kg (2.25 lb) (para suelos con un contenido apreciable de grava), que tenga una caída

ajustable a 100 mm (4") para arenas y 200 mm (8") para suelos con alto contenido de grava.

3.5 Bomba de vacío o aspirador de chorro de agua, con grifo para evacuar y saturar muestras de suelo con vacío completo (Figura No.2)

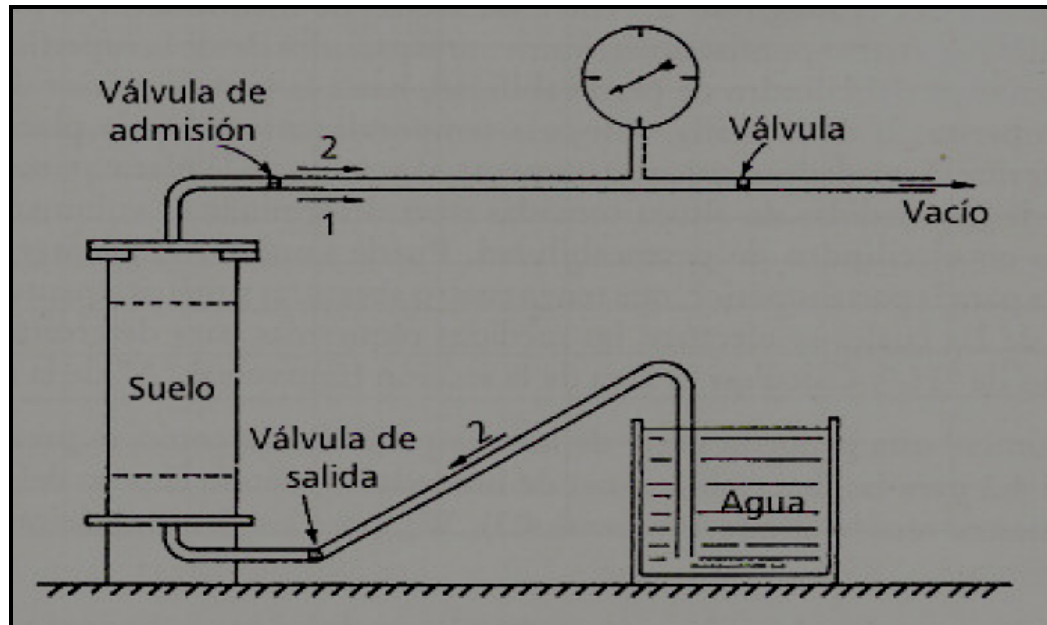


Figura 2. Dispositivo para saturar y evacuar especímenes.

3.6 Tubos manométricos con escalas métricas para medir cabeza de agua.

3.7 Balanza de capacidad de 2 kg y sensibilidad de 1 g.

3.8 Cucharón, con una capacidad de alrededor de 100 g. (0.22 lb de suelo).

3.9 Equipos misceláneos.- Termómetros, reloj con apreciación de segundos, vaso graduado de 250 ml, jarra de 1 litro, cubeta para mezclar, cucharas, etc.

4. MUESTRA

4.1 Deberá escogerse por cuarteo una muestra representativa de suelo granular secado al aire, que contenga menos del 10% de suelo que pase tamiz de 75 μm (No.200) y en cantidad suficiente para satisfacer las exigencias de los numerales 4.2 y 4.3.

4.2 Deberá ejecutarse un análisis granulométrico de acuerdo con los métodos INV E-123 e INV E-124 sobre una muestra representativa de la totalidad del suelo antes del ensayo de permeabilidad. Las partículas mayores de 19.0 mm (3/4") deberán separarse por tamizado. Los sobretamaños no deberán emplearse para el ensayo de permeabilidad, pero deberá anotarse el porcentaje de los mismos.

Para establecer valores representativos de coeficientes de permeabilidad para el intervalo que pueda existir en la situación que se esté investigando, deberán obtenerse para ensayo muestras de los suelos más finos, intermedios, y más gruesos.

4.3 Del material del cual han sido removidos los sobretamaños (Véase el numeral 4.2.), escójase mediante cuarteo una cantidad aproximadamente igual a dos veces la requerida para llenar la cámara del permeámetro.

5. PREPARACION

5.1 El tamaño del permeámetro que va a emplearse deberá cumplir lo estipulado en la Tabla No.1.

5.2 Efectúense las siguientes medidas iniciales en milímetros o en milímetros cuadrados y anótese en el formato de informe (Figura No. 3): el diámetro interior "D" del permeámetro, la longitud "L" entre las salidas de manómetro; la profundidad " H_1 " medida en cuatro puntos simétricamente espaciados desde la superficie superior de la placa tope del cilindro de permeabilidad, hasta la parte superior de la piedra porosa superior, o de la malla, colocada temporalmente sobre la placa porosa o malla inferior. Esto deduce automáticamente el espesor de la placa porosa superior o malla de las medidas de altura tomadas para determinar el volumen del suelo colocado en el cilindro de permeabilidad. Puede también emplearse una placa duplicada para la parte superior, que tenga cuatro aberturas simétricamente colocadas, a través de las cuales se efectúan las medidas requeridas para determinar el valor promedio de " H_1 ". Calcúlese el área de la sección transversal "A" de la muestra.

5.3 Tómese una pequeña parte de la muestra escogida como se prescribe en el numeral 4.3 para las determinaciones de humedad. Anótese el peso del remanente de la muestra secada al aire (numeral 4.3), W_1 , para las determinaciones de peso unitario.

5.4 Colóquese el suelo preparado mediante uno de los procedimientos siguientes, en capas delgadas uniformes aproximadamente iguales en

espesor al tamaño máximo de las partículas después de compactadas, pero no menor de 15 mm (0.60"), aproximadamente.

- Para suelos con un tamaño máximo de 9.5 mm (3/8") o menos; colóquese en el aparato el tamaño apropiado de embudo, como se prescribió en el numeral 3.3, con el conducto en contacto con la placa porosa o malla inferior, o con la capa previamente formada, y llénese el embudo con suelo suficiente para formar una capa, tomando suelo de diferentes áreas de la muestra en la bandeja. Levántese el embudo a una altura de 15 mm (0.60"), o aproximadamente igual al espesor de la capa no consolidada que se va a conformar y distribúyase el suelo con movimiento lento en espiral, trabajando desde el perímetro del aparato hacia el centro, de manera que se forme una capa uniforme. Vuélvase a mezclar en la bandeja el suelo para cada capa sucesiva, con el fin de reducir la segregación que hubiera podido producirse.

- Para suelos con un tamaño máximo mayor de 9.5 mm (3/8") distribúyase el suelo con un cucharón. Puede lograrse un extendido uniforme deslizando el cucharón con suelo en posición casi horizontal hacia abajo y a lo largo de la superficie interior hasta llegar al fondo o hasta la capa formada, inclinándolo luego el cucharón y levantándolo hacia el centro con un sencillo movimiento lento; esto permite al suelo correr suavemente sobre el cucharón sin segregación. Gírese suficientemente el cilindro para la cucharada siguiente progresando así en torno al perímetro interior para formar una "capa uniforme compactada de espesor igual al tamaño máximo de las partículas".

Ensayo No. _____ Fecha de ensayo _____

Localización de la muestra _____ Fecha muestra _____ Informe _____

Sondeo _____ Muestra _____ Profundidad _____

(a) DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL _____

Para ser empleado: _____

(b) DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO

Diámetro, d , cm.	Altura antes, H_1	Peso anterior, W_1
Área, A , sq cm.	Altura después, H_2	Peso después, W_2
Longitud, L , cm.	Altura neta, cm	Peso neta, g
	Contenido de humedad [Secado al aire]	_____
W (máx)	Peso unitario seco, grs./cm^3 [lbs./pie^3] W	_____
W (mín)	Relación de vacíos, e .	_____
	Densidad relativa, D.R.	_____

(c) ENSAYO DE PERMEABILIDAD (GRADO DE COMPACTACIÓN)

Ensayo No.	MANOMETRO		Cabezo h	C cm^2	t (seg)	Q / At	h / L	Temperatura $^{\circ}\text{C}$.	k (cm k/seg)
	H_1	H_2							
1									
2									
3									
4									
5									
6									

Figura 3.

5.5 Compáctense capas sucesivas de suelo al peso unitario relativo deseado, mediante un procedimiento apropiado, como sigue, hasta una altura de alrededor de 20 mm (0.8") por encima de la salida del manómetro superior.

Peso unitario mínimo (Peso unitario relativo del 0%). Continúese colocando capas de suelo en forma sucesiva mediante uno de los procedimientos descritos en el numeral 5.4 hasta cuando el aparato esté lleno al nivel apropiado.

Peso unitario máximo (Peso unitario relativo del 100%).

- Compactación mediante el pisón vibratorio.- Compáctese perfectamente cada capa de suelo con el pisón vibratorio mediante golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie de la capa siguiendo una trayectoria regular. La presión de contacto y la duración de la acción vibratoria en cada punto no deberá hacer que el suelo escape por debajo de los bordes de la pata de compactación, tendiendo así a que se afloje la capa. Efectúese un número de coberturas suficientes para producir un peso unitario máximo, como quedaría evidenciado prácticamente cuando no haya movimiento visible de las partículas superficiales adyacentes a los bordes del pisón de compactación.

- Compactación mediante el pisón de peso deslizante.- Compáctese completamente cada capa de suelo mediante golpes de compactación uniformemente distribuidos sobre la superficie de la capa. Ajustese la altura de caída y proporcionense suficientes

coberturas para producir el peso unitario máximo, de acuerdo con el tamaño de las partículas y con el contenido de grava del suelo.

- Compactación mediante otros métodos.- La compactación puede cumplirse mediante otros métodos aprobados, como los proporcionados mediante equipos de empaque vibratorios, en los cuales se tiene cuidado de obtener un espécimen uniforme sin segregaciones de partículas por sus tamaños.

Peso unitario relativo intermedio entre 0 y 100 %. Mediante tanteos, en un recipiente separado del mismo diámetro que el cilindro de permeabilidad, ajústese la compactación para obtener valores que puedan repetirse para el peso unitario relativo. Compáctese el suelo en el cilindro de permeabilidad mediante estos procedimientos en capas delgadas hasta una altura de alrededor de 20 mm (0.80") por encima de la salida del manómetro superior.

Con el fin de relacionar sistemáticamente y de manera representativa, las condiciones de peso unitario relativo que pueden regir en depósitos naturales o en terraplenes compactados, deberá efectuarse una serie de ensayos de permeabilidad que cubran el rango de los pesos unitarios relativos en el campo.

5.6 Preparación del espécimen para ensayo de permeabilidad.

Nivélese la superficie superior del suelo colocando la placa porosa o la malla superior en posición y rotándola suavemente a derecha e izquierda.

Mídanse y anótense: la altura final de la muestra, H_1-H_2 , midiendo la profundidad, H_2 , desde la superficie superior de la placa tope perforada empleada para medir H_1 , hasta el tope de la placa porosa superior o malla, en cuatro puntos simétricamente dispuestos después de comprimir ligeramente el resorte para asentar la placa porosa o la malla durante las medidas, el peso final secado al aire del suelo empleado en el ensayo (W_1-W_2), pesando el remanente de suelo dejado en la bandeja. Calcúlense y anótense los pesos unitarios, la relación de vacíos, y el peso unitario relativo de la muestra de ensayo.

Con el empaque en su sitio, presiónese hacia abajo la placa superior contra el resorte y fíjese seguramente en la parte superior del cilindro del permeámetro, produciendo un sello a prueba de aire. Esto satisface la condición descrita en el numeral 2.1 de mantener el peso unitario inicial, sin cambio significativo de volumen durante el ensayo.

Empleando una bomba de vacío o una aspiradora adecuada, aspírese la muestra, bajo 500 mm (20") de mercurio como mínimo, durante 15 minutos, para remover el aire de los vacíos y el adherido a las partículas. Continúese la operación mediante una saturación lenta de la muestra de abajo hacia arriba (Figura No. 2), bajo vacío total, con el fin de liberar cualquier aire remanente en la muestra. La saturación continuada de la muestra puede mantenerse más adecuadamente mediante el uso de: (1) agua desaireada, (2) de agua mantenida a una temperatura de flujo suficientemente alta para causar una disminución, del gradiente de temperatura en el espécimen durante el ensayo. Podrá emplearse agua natural o agua con bajo contenido de minerales, pero deberá anotarse en el formato de ensayo, en cualquier caso, el fluido utilizado. Esto satisfará la

condición descrita en el numeral 2.1. para la saturación de los vacíos del suelo.

- Agua natural es la que se presenta in situ en el suelo o en la roca. Debería emplearse esta agua, pero (al igual que el agua desaireada), puede ser un refinamiento poco práctico para la ejecución de ensayos en gran escala.

- Después de saturado el espécimen y que el permeámetro se encuentre lleno de agua, ciérrase la válvula del fondo sobre el tubo de desagüe (véase Figura No. 2) y desconéctese el vacío. Debe tenerse cuidado de constatar que el sistema de flujo de permeabilidad y que el sistema de manómetros se hallen libres de aire y estén trabajando satisfactoriamente. Llénese el tubo de admisión con agua proveniente del tanque de carga constante, abriendo ligeramente la válvula del filtro del tanque. Conéctese el tubo de admisión al tope del permeámetro, ábranse ligeramente la válvula de admisión y los grifos del manómetro de salida, para permitir que fluya el agua, eliminándose así el aire. Conéctense los tubos manométricos de agua con las salidas de manómetro, y llénense con agua para remover el aire. Ciérrase la válvula de admisión y ábrase la de desagüe, para que el agua alcance, en los tubos manométricos, un nivel estable con cabeza cero.

6. PROCEDIMIENTO

6.1 Abrase ligeramente la válvula de admisión del tanque filtrante para la primera prueba hasta lograr las condiciones descritas en el numeral 2.1., absteniéndose de tomar las medidas de gasto y de cabeza hasta que se alcance una condición de cabeza estable sin que exista variación apreciable de los niveles de los manómetros. Mídase y anótese el tiempo, "t", la cabeza, "h", (diferencia de nivel en los manómetros), el gasto, "Q", y la temperatura del agua, "T".

6.2 Repítanse las pruebas con incrementos de cabeza de 5 mm para establecer exactamente la zona de flujo laminar con velocidad, v (siendo $v = Q/At$) directamente proporcional al gradiente hidráulico, "i" (siendo $i = h/L$). Cuando se hagan patentes las desviaciones de la relación lineal, indicando con ello la iniciación de condiciones de flujo turbulento, pueden emplearse intervalos de cabeza de 10 mm para llevar el ensayo suficientemente dentro de la zona del flujo turbulento como para definir esta zona si esto fuere significativo para las condiciones del campo.

Se requieren valores mucho más bajos del gradiente hidráulico h/L , de los que generalmente se reconocen para asegurar condiciones de flujo laminar. Se sugieren los siguientes valores: compactación suelta, relaciones de h/L de 0.2 a 0.3, y compactación densa, relaciones de h/L de 0.3 a 0.5. Los valores menores de h/L se aplican a suelos gruesos y los mayores a suelos finos.

6.3 Al concluir el ensayo de permeabilidad, drénese y examínese la muestra para establecer si era esencialmente homogénea y de carácter isotrópico. Cualquier clase de rayas o capas horizontales alternadas claras y oscuras son evidencia de la segregación de finos.

7. CALCULOS

7.1 Calcúlese el coeficiente de permeabilidad, k, así:

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

Donde:

- k = Coeficiente de permeabilidad,
- Q = Gasto, es decir cantidad de agua descargada.
- L = Distancia entre manómetros
- A = Area de la sección transversal del espécimen
- t = Tiempo total de desagüe
- h = Diferencia de cabeza (altura) sobre los manómetros

7.2 Corriójase la permeabilidad [para la que corresponde a 20 °C (68 °F)], multiplicando k por la relación de la viscosidad de agua a la temperatura del ensayo con respecto a la viscosidad del agua a 20 °C (68 °F).

8. INFORME

8.1 El informe del ensayo de permeabilidad deberá incluir la siguiente información:

Proyecto, fechas, número de la muestra, sitio, y cualquier otra información pertinente.

Análisis granulométrico, clasificación, tamaño máximo de partícula, y porcentaje de cualquier sobretamaño de material no utilizado.

Peso unitario seco, relación de vacíos, peso unitario relativo al cual se colocó el material, pesos unitarios máximo y mínimo.

Relación de cualquier desviación de estas condiciones de ensayo, de manera que los resultados puedan evaluarse y emplearse.

Datos completos de ensayo, como se indican en el formato para los datos de ensayo y curvas de ensayo que representan velocidad, Q/At , contra el gradiente hidráulico, h/L , que cubran la extensión de las identificaciones de suelo y de pesos unitarios relativos.

9. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

AASHTO T 215

ASTM D 2434

**CLASIFICACIÓN Y SUBDIVISIÓN DEL SISTEMA DE UNIFICADO CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)
PARA LOS SUELOS GRUESOS**

SIMBOLOS	SIGNIFICADOS	CONDICIONES	CARACTERÍSTICAS
G	Gravas		
S	Arenas		
W	(Well) Bien Graduada		
P	(Poor) Mal Graduada		
GW	Grava Bien Graduada	Cu ≥ 4 y 1 ≤ Cc ≤ 3	Estos dos grupos deben contener un porcentaje de finos < 5% para poder mantener una nomenclatura sencilla.
SW	Arena Bien Graduada	Cu ≥ 6 y 1 ≤ Cc ≤ 3	
GP	Grava Mal Graduada	No cumple con alguno ó ninguno de los 2 requisitos	
SP	Arena Mal Graduada	No cumple con alguno ó ninguno de los 2 requisitos	
M	Limos Inorgánicos de baja plasticidad		
C	Arcillas Inorgánicos de alta plasticidad		
O	Suelos Orgánicos (Arcillas y Limos)		
H	Alta Compresibilidad		
L	Baja Compresibilidad		
GM	Grava Limosa	Los suelos que poseen finos entre el 5% y 12%; llevan doble nomenclatura de letras: M,C,O,H,L	Estos dos grupos deben contener un porcentaje de finos > 12% para poder mantener una nomenclatura sencilla.
SM	Arena Limosa		
GC	Grava Arcillosa	IP < 4	
SC	Arena Arcillosa		

Tabla 6. Clasificación y subdivisión de los suelos gruesos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

