

**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 SOGAMOSO Y EL RIO MAGDALENA**

**HÉCTOR BAYONA GUTIÉRREZ
SERGIO MAURICIO PRADA URIBE**



**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 SOGAMOSO Y EL RIO MAGADALENA**

**HÉCTOR BAYONA GUTIÉRREZ
SERGIO MAURICIO PRADA URIBE**

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero 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, Julio 2008

...A Dios, quien ha sido mi fortaleza y mi refugio y ha derramado bendiciones en mi vida, permitiéndome crecer día tras día y alcanzar las metas que me propongo.

...A mis padres por la confianza depositada y el apoyo incondicional, y por brindarme la oportunidad de realizar mi formación profesional.

...A todos mis familiares les agradezco de forma sincera por su apoyo incondicional y desinteresado que hicieron posible la culminación de esta meta.

...A mis amigos que de alguna u otra forma compartimos muchos años de aciertos y tropiezos haciendo que la vida fuera mas alegre y llevadera.

Héctor Bayona Gutiérrez

...A Dios, Padre Supremo, por los talentos que de él he recibido y que me han permitido avanzar como persona, social y científicamente, en la práctica de los valores trascendentales de la fe, la ciencia y la tecnología.

...A mis padres, quienes han sido siempre luz y amor en mi camino, quienes con sus sabios consejos han orientado cada uno de mis actos hacia la realización de mis sueños y esperanzas.

...A mi hermano, cuya compañía sigue siendo un norte y un abrazo permanente en la búsqueda de mis logros como profesional que avanza cada vez más hacia nuevos conocimientos y verdades.

... A toda mi familia, que siempre ha estado ahí brindándome su apoyo incondicional, estimulando mis esfuerzos, e impulsándome con su palabra generosa hacia la culminación de mis metas.

Sergio Mauricio Prada Uribe.

AGRADECIMIENTOS

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

Al Ingeniero Gerardo Bautista director de la presente tesis, por su gran colaboración en el desarrollo de este proyecto.

A todos los docentes de pregrado en especial a los ingenieros Ricardo Pico, Néstor Prado, Claudia Retamoso, Aldemar Remolina, Juan Carlos Forero y Álvaro Real, que aportaron en nuestra formación personal y profesional.

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

Y a las demás personas que aportaron ideas y propuestas para la realización de este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	17
1. OBJETIVOS	18
1.1. OBJETIVO GENERAL	18
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2. ANTECEDENTES	19
3. METODOLOGÍA	23
4. MARCO TEÓRICO	24
4.1. NATURALEZA Y ORIGEN DE LOS SUELOS	24
4.2. GENERADORES DE LOS SUELOS.	24
4.3. TIPOS DE SUELOS.	25
4.4. ESTRUCTURACION DE LOS SUELOS.	25
4.5. IDENTIFICACION DE LOS SUELOS.	26
4.6. SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE LOS SUELOS (S.U.C.S.)	26
4.6.1. Clasificación de los suelos gruesos.	27
4.6.2. Clasificación de los suelos finos.	29
4.7. CARACTERIZACION Y CLASIFICACION DE LAS ARENAS UTILIZADAS.	31
4.7.1. Toma de muestra.	31

4.7.2. Granulometría.	32
4.8. LEY DE DARCY.	33
4.8.1. Coeficiente de permeabilidad (K).	35
4.8.2. Pruebas indirectas.	36
4.8.3. Pruebas Directas.	37
4.9. FORMULAS PARA HALLAR LA PERMEABILIDAD (K)	37
4.9.1. Formula de Schlichter.	37
4.9.2. Formula de Allen Hazen.	38
4.9.3. Formula de Terzaghi.	38
4.10. ESTRUCTURA FISICA DEL SUELO.	39
4.10.1. Relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo.	41
4.10.1.1. Relaciones Volumétricas.	41
4.10.1.2. Relaciones gravimétricas.	43
5. RESULTADOS OBTENIDOS	46
5.1. GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS	46
5.2. CONSTANTES DE PERMEABILIDAD	49
5.2.1. Tablas de resultados de Permeabilidad de las arenas seleccionadas.	51
5.3. GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS	53
5.3.1. Tablas de resultados de gravedad específica de sólidos de las arenas seleccionadas.	56
6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	59

6.1. ARENA DEL RIO SOGAMOSO	59
6.1.1. Análisis de las constantes de Allen Hazen, Terzaghi y Schlichter para la arena del río Sogamoso.	60
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 Sogamoso.	65
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 Sogamoso.	66
6.2. ARENA DEL RIO MAGDALENA	71
6.2.1. Análisis de las constantes de Allen Hazen, Terzaghi y Schlichter para la arena del río Magdalena.	73
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 Magdalena.	78
6.2.3. Análisis de porcentajes de error para los coeficientes K en las fórmulas de Terzagui, Schlichter y Allen Hazen para la arena del río Magdalena.	80
7. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	86
8. CONCLUSIONES	87
BIBLIOGRAFÍA	89

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Determinación de C_o según la forma de los agregados	20
Tabla 2. Relación de porosidad (n) Vs compacidad (c)	21
Tabla 3. Descripción material en el sistema unificado de Clasificación (S.U.C.S.)	31
Tabla 4. Permeabilidad de los suelos (K) (cm/seg)	36
Tabla 5. Valores relativos de los coeficientes de permeabilidad.	36
Tabla 6. Relación compacidad (c) Vs porosidad (n)	37
Tabla 7. Determinación de C_o según la forma de los agregados	39
Tabla 8. Permeabilidad del rio Sogamoso.	51
Tabla 9. Permeabilidad del rio Magdalena.	52
Tabla 10. Gravedad específica de sólidos del Río Sogamoso.	56
Tabla 11. Gravedad específica de sólidos del Río Magdalena	57
Tabla 12. Relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo Del rio Sogamoso.	59

Tabla 13. Comparación de las constantes de permeabilidad de la arena del río Sogamoso.	61
Tabla 14. Determinación de C_o según la forma de los agregados.	64
Tabla 15. Porcentajes de error de Allen Hazen. Río Sogamoso.	67
Tabla 16. Porcentajes de error de Terzaghi. Río Sogamoso.	69
Tabla 17. Porcentajes de error de Schlichter. Río Sogamoso.	70
Tabla 18. Relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo Del río Magdalena.	72
Tabla 19. Comparación de las constantes de permeabilidad de la arena del río Magdalena.	73
Tabla 20. Determinación de C_o según la forma de los agregados.	77
Tabla 21. Porcentajes de error de Allen Hazen. Río Magdalena.	81
Tabla 22. Porcentajes de error de Terzaghi. Río Magdalena.	83
Tabla 23. Porcentajes de error de Schlichter. Río Magdalena.	84

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema del dispositivo de Henry Darcy para medir la permeabilidad de los suelos. (Tomado de mecánica de suelos, Universidad del Cauca.)	34
Figura 2. Esquema de una muestra de suelo, con indicación de los símbolos usados. (Tomado de Notas del curso de Mecánica de Suelos I, Gonzalo Duque Escobar.)	40

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Calibración del matraz N° 3	54
Gráfica 2. Relación del comportamiento de porosidad (n) Vs Compacidad (c). Datos originales de Schlichter.	62
Gráfica 3. Relación del comportamiento de porosidad (n) Vs Compacidad (c). Datos rio Sogamoso.	63
Gráfica 4. Relación del comportamiento de porosidad (n) Vs Compacidad (c). Datos originales de Schlichter.	75
Gráfica 5. Relación del comportamiento de porosidad (n) Vs Compacidad (c). Datos rio Magdalena.	76

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Registro fotográfico	93
Anexo B. Ensayos de granulometría	104
Anexo C. Ensayos de peso específico relativo	111
Anexo D. Ensayos de permeabilidad	118
Anexo E. Normas de INVIAS I.N.V.E – 123 / 2002 para la ejecución de ensayos granulométricos	149
Anexo F. Normas de INVIAS I.N.V.E – 128 / 2002 para la Ejecución de ensayos de peso específico relativo de los suelos.	161
Anexo G. Normas de INVIAS I.N.V.E – 130 / 2002 para la ejecución de ensayos de coeficiente de permeabilidad de cabeza constante	177

RESUMEN

Para hallar el coeficiente de permeabilidad es necesario determinarlo mediante la experimentación. La investigación realizada se basó en encontrar y analizar los coeficientes de permeabilidad obtenidos en el laboratorio respecto a las fórmulas teóricas de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi, para hacer posteriormente un análisis comparativo y hallar márgenes de error que ayuden a entender e identificar el comportamiento de estas arenas en esta propiedad del suelo respecto a lo teórico.

Para hallar dichos coeficientes fue necesario de la implementación y realización de ensayos de laboratorio tales como: Granulometría, Gravedad específica de sólidos, permeabilidad (método de cabeza constante), etc. Por otra parte fue necesario tener en cuenta que estos valores dependen también de variables como: Diámetro efectivo de Hazen (D_{10}), la porosidad (n), la temperatura (t), entre otras.

Respecto al análisis que se obtuvo de los diferentes cálculos realizados provenientes de los ensayos de laboratorio, se pudo determinar otras constantes más acordes de las arenas analizadas en el área del departamento de Santander específicamente a la altura de Barrancabermeja (río Sogamoso y río Magdalena), y por medio de hojas de cálculo se hizo un análisis de las permeabilidades obtenidas en el laboratorio y las ya halladas por Terzaghi, Schlichter y Allen Hazen.

SUMMARY

To find the coefficient of permeability it is necessary to determine it through experimentation. The investigation conducted was based on finding and analyzing the permeability coefficients obtained in the laboratory, respect to the theoretical formulations Allen Hazen, and Schlichter Terzaghi, to make a comparative analysis and find margins of error to help understand and identify behavior these sands in this land about what theoretical.

To find these factors was necessary from the implementation and testing laboratory, such as: Granulometry, specific gravity of solids, permeability (method of constant head), etc.. Moreover it was necessary to bear in mind that these values also depend on variables such as: effective diameter of Hazen (D_{10}), the porosity (n), temperature (t), among others.

Respect to the analysis that was obtained from the different calculations from laboratory testing, was identified other constants more agreeing to the sands tested in the area of the department of Santander specifically at the height of Barrancabermeja (Sogamoso river and Magdalena river), and through tables of calculation is was done an analysis of the permeability obtained in the laboratory and those already found by Terzaghi, Schlichter and Allen Hazen.

INTRODUCCIÓN

Una de las constantes más importantes para la mecánica de suelos es conocida como la constante de permeabilidad, la cual representa la mayor o menor facilidad con que el agua puede fluir a través de un suelo y se simboliza con la letra (K).

La presente tesis tiene el propósito de realizar una 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 Río Magdalena y el Río Sogamoso. 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.

Para la fundamentación teórica de la tesis y su posterior proceso de argumentación, plasmado en el informe, se realizó en primer lugar una selección de arenas, teniendo en cuenta que tuvieran un porcentaje menor al 10%, lo cual se verificó por medio de ensayos de granulometría. Seguidamente, se hicieron ensayos para medir la gravedad específica relativa de sólidos y la permeabilidad. Una vez obtenidos los resultados de los ensayos, se realizó el análisis estadístico para la comparación pertinente entre las muestras de arena. Es importante señalar que a la redacción del informe le precedió una consulta permanente de los referentes bibliográficos necesarios, así como de los antecedentes existentes que de una u otra forma se constituyeron en aportes valiosos para la construcción del marco conceptual.

En los casos en los cuales las ecuaciones originales no eran aplicables a las arenas estudiadas, dichas ecuaciones se ajustaron modificando las constantes respectivas.

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 Sogamoso y el río Magdalena.

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

La ley de Darcy es una de las piedras fundamentales de la mecánica de los suelos. A partir de los trabajos iniciales de Darcy, un trabajo monumental para la época, muchos otros investigadores entre los cuales se encuentran Allen Hazen, Terzaghi y Schlichter, 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.

La ley de Darcy describe, con base en experimentos de laboratorio, las características del movimiento del agua a través de un medio poroso.

La expresión matemática de la Ley de Darcy es la siguiente:

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

Donde:

- Q = gasto, descarga o caudal en m^3/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 m^2 .
- 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.

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

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron las ecuaciones de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi como métodos indirectos para obtener el coeficiente de permeabilidad a partir de la curva granulométrica.

Las ecuaciones que sirvieron como método para hallar la permeabilidad son las siguientes:

Karl von Terzaghi: Ingeniero reconocido como el padre de la mecánica de suelos y de la ingeniería geotécnica.

Desde el comienzo de su carrera dedicó todos sus esfuerzos a buscar un método racional para resolver los problemas relacionados con la ingeniería de suelos y las cimentaciones. La fórmula para hallar la constante de permeabilidad es la siguiente:

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

$$C_1 = C_0 \left(\frac{n - 0.13}{\sqrt[3]{1 - n}} \right)^2$$

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 **C₀** es un coeficiente con los valores indicados en la siguiente tabla:

Arenas de granos redondeados	C₀ = 800
Arenas de granos angulosos	C₀ = 460
Arenas con limos	C₀ < 400

Tabla 1. Determinación de C₀ según la forma de los agregados. (Tomado de Mecánica de Suelos, Juárez Badillo, TOMO I).

ALLEN HAZEN

La fórmula propuesta por Hazen para hallar la permeabilidad es la siguiente:

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

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 °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

La fórmula propuesta por Schlichter para hallar la permeabilidad es la siguiente:

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

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 2. 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.

OTROS ANTECEDENTES

La presente investigación precede a la tesis realizada en Abril de 2007 por la Ingeniera Ketty Plata egresada de la Universidad Pontificia Bolivariana con sede en Bucaramanga, la cuál es denominada comparación del coeficiente de permeabilidad obtenido en el laboratorio con los calculados a partir de las fórmulas de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi para las arenas de Topos, Bocas y Pescadero.

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

En esta nueva etapa se pretende analizar las arenas del Río Sogamoso y el Río Magdalena a la altura de Barrancabermeja.

3. METODOLOGÍA

Se realizaron las siguientes actividades de forma ordenada:

- ❖ Revisión bibliográfica: Se estudiaron los principios de cada ensayo, las normas que los rigen para su ejecución, y así mismo como su procedimiento.
- ❖ Recolección de muestras: Se recogieron dos (2) tipos diferentes de arenas usadas en los alrededores de Barrancabermeja para realizar los ensayos, pruebas y análisis requeridos.
- ❖ Ensayos de laboratorio: A las muestras de suelos recolectadas, se les efectuaron los diferentes ensayos de granulometría, gravedad específica relativa y permeabilidad.
- ❖ Análisis de resultados: Una vez finalizados los ensayos de laboratorio y obtenido los resultados, se realizó un análisis estadístico y la comparación del coeficiente de permeabilidad frente a cada una de las fórmulas de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi; y contra los tres (3) diferentes tipos de arenas. Se encontraron las constantes de cada una de las ecuaciones estudiadas para los suelos del Área Metropolitana estudiados.
- ❖ Redacción del informe: Se recopilaron todas las memorias, resultados y análisis de los datos de forma clara, concisa y precisa, de manera que puedan ser aprovechados por la universidad.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. NATURALEZA Y ORIGEN DE LOS SUELOS

El planeta tierra esta constituido en primer lugar por un núcleo compuesto por hierro y níquel; cuenta un manto fluido o también conocido magma que esta rodeando el núcleo, después se encuentra la corteza terrestre que envuelve el manto la densidad de la corteza es decreciente hacia la superficie, y esta compuesta por silicatos; y finalmente ubicada sobre la corteza terrestre se encuentra una pequeña capa la cual se denomina suelo. Los suelos se generan por la degradación mecánica o de la descomposición química de los niveles que están expuestos a estos agentes, y son los últimos niveles.

La variedad de suelos es producto del aporte de diferentes causas, pero principalmente se encuentran dos grandes generadores de suelos (aire y agua); estos generan cambios tanto químicos como mecánicos los cuales se son más dramáticos por cambios en la temperatura.¹

4.2. GENERADORES DE LOS SUELOS

En la ingeniería civil se utiliza el término suelo para diversos tipos de material, estos pueden ser orgánicos e inorgánicos los cuales se encuentran en el terreno, este termino esta abarcando también las rocas que no se descomponen con el tiempo.

La interpretación de la palabra suelo tiene diferentes interpretaciones de acuerdo a quien lo esta utilizando ejemplo: para el agrónomo la palabra suelo se aplica a la

¹ JUÁREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos. Tomo I. Tercera edición. México DF : Limusa Noriega.

corteza que puede producir vida vegetal, para un geólogo es el material intemperizado y contenido de materia orgánica cerca de la superficie.²

4.3. TIPOS DE SUELO

El suelo esta dividido en dos grandes grupos el primero se refiere al suelo generado por la descomposición por medios físicos y/o químicos de la roca, los cuales son denominados suelos inorgánicos, y los suelos de origen principalmente orgánicos.

Si en los suelos de tipo inorgánico producido por la acción del medio ambiente sobre las rocas permanece en el sitio donde este se formó, se denomina suelo residual; en el caso contrario se forma un suelo transportado, que puede ser por aguas aluviales o lacustres; por viento; por gravedad; por glaciares.

En cuanto a los suelos orgánicos, ellos se forman casi siempre in situ. En muchos casos la cantidad de materia orgánica, que se encuentra en forma de humus o de materia no descompuesta es tan elevada en relación con la cantidad de suelo inorgánico que las propiedades de suelo no orgánico se eliminan.³

4.4. ESTRUCTURACIÓN DE LOS SUELOS

La estructura de un suelo es importante ya que de acuerdo a esta se comporta, especialmente en lo referente a resistencia, compresibilidad y permeabilidad.

² JUÁREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos. Tomo I. Tercera edición. México DF : Limusa Noriega.

³ CRESPO VILLALAZ, Carlos. Mecánica de suelos y cimentaciones. 5 ed. México DF: Limusa Noriega.

La estructura de los suelos gruesos es diferente a la estructura de los suelos finos, en los primeros la aglomeración de partículas produce únicamente por acción gravitacional; en los suelos finos producto del ataque químico de las aguas a las rocas o a otros tipos de suelos, la forma tiende a ser aplastada, por lo que los minerales de arcilla adoptan en general la forma laminar.

Como consecuencia de la forma de los minerales y de su tamaño generalmente muy pequeño ejercen acción fuerzas electromagnéticas desarrolladas en la superficie de los compuestos minerales.⁴

4.5. IDENTIFICACIÓN DE LOS SUELOS

Identificar los suelos es de gran importancia y consiste en encasillarlos en un sistema de clasificación de suelos. La identificación del suelo nos permite conocer las propiedades mecánicas e hidráulicas de estos, atribuyéndole las del grupo en que se situó; en el sistema unificado hay criterios que permiten la identificación de los suelos en el laboratorio; estas son granulométricas y características de plasticidad.

También existen criterios para identificar en campo. Los métodos de clasificación de suelos son (SUCS, ASHTO, AEROPUERTOS).

4.6. SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)

Debido a la diversidad de suelos que se encuentran en la naturaleza, se han desarrollado algunos métodos de clasificación. Cada método desarrollado tiene

⁴ JUÁREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos. Tomo I. Tercera edición. México DF : Limusa Noriega.

prácticamente su campo de aplicación de acuerdo a la necesidad y uso que los fundamento.

Así se tiene la clasificación de los suelos por el tamaño de sus partículas, la clasificación de la Asociación Americana de funcionarios de caminos públicos (American Association State Highway Officials), la clasificación de la administración de Aeronáutica Civil (C.A.A.), el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.), etc.

Cualquier clasificación debe estar basada en las propiedades mecánicas de los suelos ya que estas son básicas en la aplicación de la ingeniería; aunque en la actualidad el sistema más utilizado por la mayoría el (S.U.C.S.).⁵

4.6.1. Clasificación de los suelos gruesos

Cada grupo esta identificado con dos letras mayúsculas, estas letras son de los nombres en ingles de los suelos más típicos de ese grupo; para las gravas se utiliza la letra G (gravel), para arenas y suelos arenosos se utiliza la letra S (sand). Las gravas y las arenas se separan con la malla N° 4, de manera que un suelo pertenece al grupo genérico G, si mas del 50% de su fracción gruesa (retenida en la malla N° 200) no pasa por la malla N° 4, y es del grupo genérico S, en caso contrario.

Las gravas y las arenas se subdividen en cuatro tipos:

- Material prácticamente limpio de finos, bien gradado. Símbolo W (well graded).
En combinación con los símbolos genéricos, se obtienen los grupos GW y SW.

⁵ CRESPO VILLALAZ, Carlos. Mecánica de suelos y cimentaciones. 5 ed. México DF: Limusa Noriega.

- Material prácticamente limpio de finos, mal gradado. Símbolo P (poorly graded). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GP y SP.
- Material con cantidad apreciable de finos no plásticos. Símbolo M (del sueco mo y mjala). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GM y SM.
- Material con cantidad apreciable de finos plásticos. Símbolo C (clay). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GC y SC.

Grupo GW y SW: Suelos bien gradados con pocos finos o sin finos. El conjunto de partículas finas no debe ser mayor al 5% en peso. La gradación se juzga, por medio de los coeficientes de uniformidad y curvatura.

Para considerar una grava bien gradada se exige que su coeficiente de uniformidad sea mayor que 4, mientras el de curvatura debe estar comprendido entre 1 y 3. En el caso de las arenas bien gradadas, el coeficiente de uniformidad debe ser mayor que 6 y el de curvatura estar entre 1 y 3.

Grupos GP y SP: suelos mal gradados; es decir que presentan predominio de un tamaño o de un margen de tamaños, faltando algunos intermedios. Clasifican en estos grupos las arenas y gravas que no cumplen las condiciones para ser consideradas como bien gradadas, por ejemplo gravas uniformes, arenas uniformes, mezclas de gravas y arenas finas provenientes de estratos diferentes obtenidas durante un proceso de excavación.

Grupos GM y SM: en estos grupos el contenido de finos afecta las características de resistencia, esfuerzo – deformación y capacidad de drenaje libre de la fracción gruesa. Esto sucede para porcentaje de finos superiores al 12% en peso, por lo que esa cantidad se toma como frontera inferior de dicho contenido de partículas

finas. La plasticidad de los finos en estos grupos varía entre nula y media; por lo tanto es requisito que los límites de plasticidad localicen a la fracción que pase la malla N° 40 debajo de la línea A en el gráfico de plasticidad (ver figura 1) o bien que su índice de plasticidad (I_p) sea menor que 4%. 22

Grupos GC y SC: presenta un contenido de finos mayor al 12% en peso. En este caso los finos son de media a alta plasticidad; es ahora requisito que los límites de plasticidad sitúen a la fracción que pase la malla N° 40 sobre la línea A, y con un índice de plasticidad mayor que 7%.

A los suelos gruesos con contenido de finos comprendido entre 5% y 12%, en peso, el sistema unificado los considera casos de frontera, adjudicándoles un símbolo doble. Por ejemplo, un símbolo GP – GC indica una grava mal gradada, con un contenido entre 5% y 12% de finos plásticos.

Cuando un material no cae claramente dentro de un grupo, debe usarse también símbolos dobles, correspondientes a casos de frontera. Por ejemplo, el símbolo GW – SW se usará para un material bien gradado, con menos del 5% de finos y con una fracción gruesa formada por iguales proporciones de grava y arena.

4.6.2. Clasificación de los suelos finos

El sistema unificado subdivide los suelos finos en grupos a los cuales asigna un símbolo conformado por dos letras mayúsculas, elegidas con un criterio similar al usado para los suelos gruesos, dando lugar a las siguientes divisiones: limos inorgánicos, de símbolo genérico M (del suelo sueco *mo* y *mjala*), arcillas inorgánicas, de símbolo genérico C (clay), limos y arcillas orgánicas, de símbolo genérico O (organic).

Cada uno de estos tres tipos se subdivide, según su límite líquido (LL), en dos grupos. Si el LL es menor que 50%, indica que es un suelo de compresibilidad

baja o media y se añade al símbolo genérico la letra L (low compressibility), obteniendo los grupos ML, CL, y OL. Los suelos finos con límite líquido mayor de 50%, o sea de alta compresibilidad, llevan la letra H (high compressibility) más el símbolo genérico, originando los grupos MH, CH y OH.

Los suelos altamente orgánicos, usualmente fibrosos, tales como turbas y suelos pantanosos, extremadamente compresibles, forman un grupo independiente de símbolo Pt (del inglés peat; turba).

Grupos CL y CH: arcillas orgánicas. El grupo CL comprende la zona sobre la línea A, definida por $LL < 50\%$ e $I_p > 7\%$.

El grupo CH corresponde a la zona arriba de la línea A, definida por $LL > 50\%$.

Grupos ML y MH: el grupo ML comprende la zona bajo la línea A, definida por $LL < 50\%$ y la porción sobre la línea A con $I_p < 4\%$ el grupo MH corresponde a la zona debajo de la línea A, definida por $LL > 50\%$.

Los suelos finos que caen sobre la línea A y con $4\% < I_p > 7\%$ se consideran como casos de frontera, asignándoles símbolo doble CL – ML.

Grupos OL y OH: las zonas correspondientes a estos grupos, son las mismas que las de los grupos ML y MH, respectivamente.

Una pequeña adición de materia orgánica coloidal hace que el límite líquido de una arcilla inorgánica crezca, sin apreciable cambio de su índice plástico; esto hace que el suelo se desplace hacia la derecha en el gráfico de plasticidad.⁶

⁶ BOWLES, Joseph. Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil. Segunda edición. Bogota D.C. MC GRAW HILL.

Tabla 3. Descripción material en el sistema unificado de clasificación. Sacada de la carta de clasificación del libro de Crespo pagina 89. Quinta edición.

SIMBOLO DEL GRUPO	NOMBRE TIPICO
ML	Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
OL	Limos orgánicos y arcillas limosas de baja plasticidad
MH	Limos inorgánicos, limos micáceos, limos elásticos
CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.
OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.

4.7. CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS ARENAS UTILIZADAS

Debido a que existe una gran variedad de suelos presentes en la naturaleza, se han desarrollado diferentes sistemas de clasificación de los suelos de acuerdo a las características tanto granulométricas como plásticas y de plasticidad que los suelos presentan.

4.7.1. Toma de muestra

Para la obtención de una muestra se debe tener presente que sea representativa del terreno. Este muestreo debe ser adecuado y representativo del terreno, esto

es de gran relevancia y se considera que tiene la misma importancia que los ensayos. Si la muestra con la cual se va a trabajar no es representativa de los materiales que se utilizaran, cualquier análisis de la muestra solo se aplicara a la propia muestra y no al materia del cual procede, por esta razón es indispensable hacer un buen procedimiento de recolección de muestras y que el muestreo se realice por personal entrenado en el área.

Las muestras pueden ser de dos tipos, Alteradas o inalteradas. Una muestra es alterada cuando esta no conserva las condiciones que tenia cuando se encontraba en el terreno de donde se retiro, muestra inalterada es la que guarda todas las condiciones y características que tenia en el terreno después de ser retirada.⁷

4.7.2. Granulometría

El conocimiento de la composición granulométrica de un suelo, sirve para tener una idea sobre la influencia que pueda tener en la densidad del material compactado. El análisis granulométrico nos sirve para determinar la cantidad de material en porcentaje de los diferentes tamaños de las partículas que constituyen el suelo. Para la clasificación de suelos de partículas gruesas el método mas utilizado es el tamizado.⁸

CRIBADO POR MALLAS: Se utiliza para obtener las fracciones correspondientes a los tamaños mayores del suelo llegando a la malla N° 200.

Por medio del ensayo de granulometría se busca determinar el porcentaje en peso de los diferentes tamaños en las partículas del suelo. Para esto se selecciona una

⁷ BOWLES, Joseph. Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil. Segunda edición. Bogota D.C. MC GRAW HILL

⁸ CRESPO VILLALAZ, Carlos. Mecánica de suelos y cimentaciones. 5 ed. México DF: Limusa Noriega.

muestra representativa del suelo de cuarteo la cual debe perder toda su humedad secándola al horno durante un periodo de 6 a 8 horas. Se debe pesar la muestra seca y luego se le hace un lavado sobre el tamiz N° 200, hasta que el agua que pase por el tamiz sea de color transparente.

Después de lavado se coloca el suelo al horno durante 24 horas y se debe calcular el peso de la muestra seca. Pasadas las 24 horas de secado al horno se debe pasar la muestra de suelo sucesivamente a través de un juego de tamices de aberturas descendente. Por ultimo se pesa el suelo retenido en cada malla y se calcula el porcentaje de suelo menor que el tamaño de cada malla para elaborar la curva granulométrica.⁹

La información obtenida del análisis granulométrico se presenta en formas de curva. Esta curva suele dibujarse con porcentajes como ordenadas y tamaños de las partículas como abscisas. Las ordenadas hacen referencia al porcentaje en peso, de las partículas correspondientes. Las abscisas se representan en escala logarítmica para disponer. De mayor amplitud en los tamaños finos y muy finos.¹⁰

4.8. LEY DE DARCY

En 1.856, en la ciudad de DIJON (FRANCIA) HENRY DARCY utilizó un dispositivo como el que aparece en la figura 1. con el fin de medir las propiedades del flujo de agua gravitacional a través de un lecho filtrante de arena.

⁹ JUÁREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos. Tomo I. Tercera edición. México DF : Limusa Noriega.

¹⁰ CRESPO VILLALAZ, Carlos. Mecánica de suelos y cimentaciones. 5 ed. México DF: Limusa Noriega.

En este dispositivo hizo variar la longitud de la muestra (L), 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).

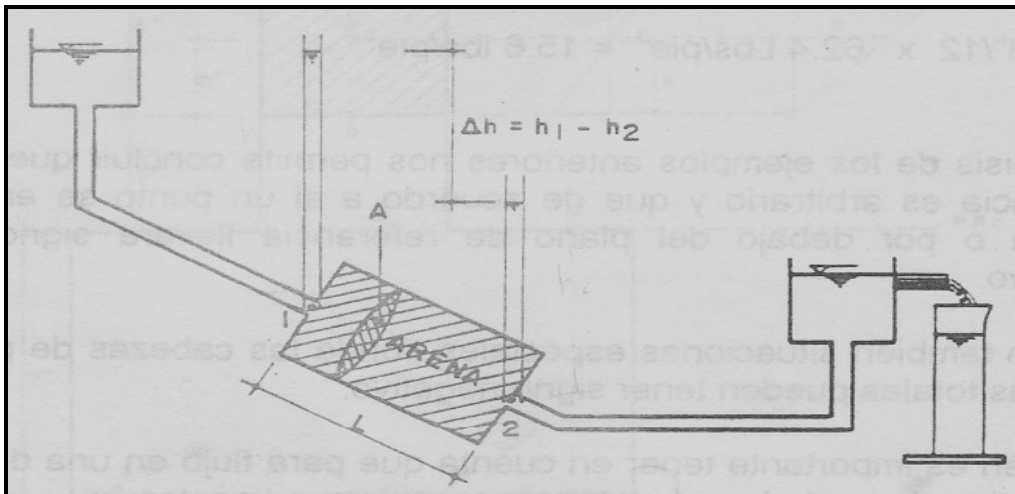


Figura 1. Esquema del dispositivo de Henry Darcy para medir la permeabilidad de los suelos. (Tomado de Mecánica de Suelos – Universidad del Cauca).

Después de serias mediciones encontró que el caudal de filtración (Q) era proporcional a la sección de la muestra (A), proporcional a las pérdidas (Δh) e inversamente proporcional a la longitud de recorrido de agua;

$$Q = K * A * (\Delta h / L) \quad (\text{cm}^3/\text{seg.}) \quad (\text{Lts}/\text{seg.}) \quad (\text{Lts}/\text{min.})$$

$$\Delta h = i / L \quad (\text{Gradiente hidráulico})$$

El gradiente hidráulico representa la pérdida de energía total o carga hidráulica por longitud de recorrido del agua a través del suelo. Por tanto:

$$Q = K * A * i$$

Donde:

K = Constante de proporcionalidad y se define como el coeficiente de permeabilidad del suelo.¹¹

4.8.1. Coeficiente de Permeabilidad (K)

$$K = \frac{Q}{A * i} = \frac{Q * L}{A * \Delta h} = \frac{V}{i}$$

(cm./seg.) (pulg./seg.)

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 $1 * 10^{+2}$ hasta $1 * 10^{-9}$ cm./seg. En las tablas 2 y 3 que aparecen a continuación se pueden observar los valores.¹²

¹¹ POLANCO HURTADO, Margarita. Mecánica de suelos. Universidad del Cauca

¹² POLANCO HURTADO, Margarita. Mecánica de suelos. Universidad del Cauca

PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS

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

Tabla 4. Permeabilidad de los suelos (K) (cm./seg.) . (Tomado de Mecánica del Suelo, Universidad del Cauca.)

VALORES RELATIVOS PARA EL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

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

Tabla 5. Valores Relativos del Coeficiente de Permeabilidad. (Tomado de Mecánica del Suelo, Universidad del Cauca.)

4.8.2. 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 horizontal.¹³

4.8.3. 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).

4.9. FÓRMULAS PARA HALLAR LA PERMEABILIDAD (K)

4.9.1. Fórmula de 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 6. Relación de Porosidad (n) vs. Compacidad (C). (Tomado de Mecánica de Suelos, Juárez Badillo, TOMO I).

¹³ POLANCO HURTADO, Margarita. Mecánica de suelos. Universidad del Cauca

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.¹⁴

4.9.2. Fórmula de 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 °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.¹⁵

4.9.3. Fórmula de Terzaghi

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

$$C_1 = C_0 \left(\frac{n - 0.13}{\sqrt[3]{1 - n}} \right)^2$$

n = Porosidad.

t = Temperatura en °C.

¹⁴ JUÁREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos. Tomo I. Tercera edición. México DF : Limusa Noriega.

¹⁵ JUÁREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos. Tomo I. Tercera edición. México DF : Limusa Noriega

D_{10} = Llamado por Hazen como diámetro efectivo, es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10% en peso, del suelo.¹⁶

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

4.10. ESTRUCTURA FISICA DEL SUELO

En general, la estructura del suelo está constituida por una mezcla de partículas sólidas, agua y aire; o sea que en una pequeña muestra de suelo habrá un volumen ocupado por las partículas sólidas, otro por el agua y otro por el aire; estos volúmenes en el lenguaje técnico se les denomina fases.

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.¹⁷

¹⁶ JUÁREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos. Tomo I. Tercera edición. México DF : Limusa Noriega

¹⁷ WHILTLOW, Roy. Fundamentos de mecánica de suelos. Segunda edición. México D.F. Compañía editorial.

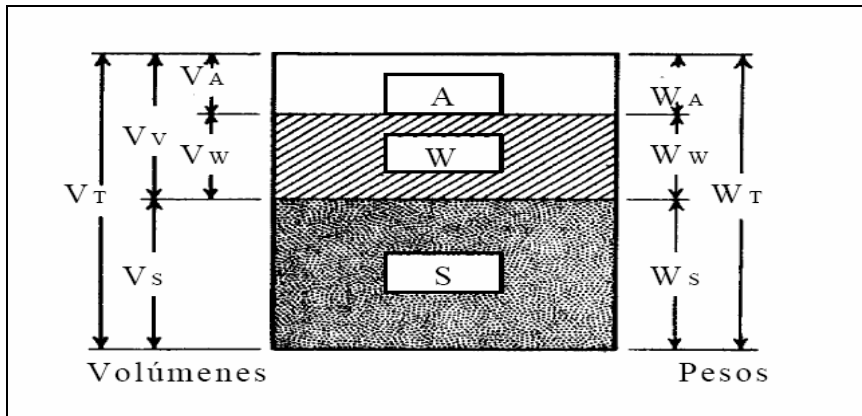


Figura 2. Esquema de una muestra de suelo, con la indicación de los símbolos usados: En los costados V volumen y W peso. Las letras subíndices y de centro son, A aire, W agua y S sólidos. (Tomado de Notas del curso de Mecánica de Suelos I, Gonzalo Duque Escobar).

$$V_v = V_w + V_a$$

$$V = V_s + V_v$$

$$W_t = W_s + W_w$$

V_t = Volumen total.

W_t = Peso total

V_s = Volumen de los sólidos.

W_s = Peso de sólidos.

V_w = Volumen del agua.

W_w = Peso del agua.

V_a = Volumen del aire.

W_a = Peso del aire.

V_v = Volumen de vacíos.

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*¹⁸; y su clasificación es la siguiente:

¹⁸ POLANCO HURTADO, Margarita. Mecánica de suelos. Universidad del Cauca

a.) Relaciones Volumétricas:

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

b.) Relaciones Gravimétricas:

- ❖ Contenido de agua o Humedad (W)
- ❖ Densidad o Peso Unitario del suelo (γ)
- ❖ Gravedad Específica o Peso Específico Relativo (Gs)
- ❖ Densidad Relativa o Compacidad Relativa de arenas (Dr, Cr)

4.10.1. Relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo

En Mecánica de Suelos, además de poder identificar las tres (3) fases que constituyen un suelo (Fase gaseosa, Fase líquida, Fase sólida), es necesario conocer las siguientes relaciones para entender así las propiedades mecánicas del mismo, y de esta forma relacionar el peso de las distintas fases con sus volúmenes correspondientes, por medio del concepto de peso específico, es decir, de la relación entre el peso de la sustancia y su volumen¹⁹.

4.10.1.1. Relaciones Volumétricas

Porosidad (n): Se define como la relación entre el volumen de huecos y el volumen total de la muestra:

$$n = \frac{V_v}{V_t}$$

¹⁹ POLANCO HURTADO, Margarita. Mecánica de suelos. Universidad del Cauca

El volumen de vacíos puede estar ocupado parcial 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.

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

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

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.

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

$$Sr = \frac{V_w}{V_v} * 100$$

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.

4.10.1.2. Relaciones Gravimétricas

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:

$$W = \frac{V_w}{W_s} * 100$$

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 relacionadas.

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} .

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.

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.

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 Gs 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.

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

Una vez realizados los diferentes ensayos de granulometría a las arenas seleccionadas, estas arrojaron los siguientes resultados:

- **ARENA RÍO SOGAMOSO.**

- PROM % ARENAS: $(\text{Muestra 1} + \text{Muestra 2} + \text{Muestra 3}) / 3$

 - PROM % ARENAS: $(82,39 + 80,77 + 79,24) / 3$

 - PROM % ARENAS: 80,80

- PROM % GRAVAS: $(\text{Muestra 1} + \text{Muestra 2} + \text{Muestra 3}) / 3$

 - PROM % GRAVAS: $(10,26 + 10,91 + 12,88) / 3$

 - PROM % GRAVAS: 11,35

- PROM % FINOS: $(\text{Muestra 1} + \text{Muestra 2} + \text{Muestra 3}) / 3$

 - PROM % FINOS: $(7,34 + 8,33 + 7,88) / 3$

 - PROM % FINOS: 7,85

- ✓ PROM D_{10} : $(\text{Muestra 1} + \text{Muestra 2} + \text{Muestra 3}) / 3$

 - PROM D_{10} : $(0,14\text{mm} + 0,13\text{mm} + 0,14\text{mm}) / 3$

 - PROM D_{10} : 0,137mm

- ✓ PROM D_{30} : $(\text{Muestra 1} + \text{Muestra 2} + \text{Muestra 3}) / 3$

 - PROM D_{30} : $(0,36\text{mm} + 0,37\text{mm} + 0,38\text{mm}) / 3$

 - PROM D_{30} : 0,37mm

- ✓ PROM D_{60} : (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3
 PROM D_{60} : (0,72mm + 0,74mm + 0,76mm) / 3
 PROM D_{60} : 0,74 mm

- Cu: D_{60} / D_{10}
 Cu: (0,74 / 0,137)
 Cu: 5,40

- Cc: $D_{30}^2 / (D_{60} * D_{10})$
 Cc: $0,37^2 / (0,74 * 0,137)$
 Cc: 1,35

Clasificación del suelo de Arena del río Sogamoso

Según el sistema unificado de clasificación de suelos la arena del Río Sogamoso es SP-SM (Arena limosa mal gradada).

La arena del Río Sogamoso como tiene un contenido de finos entre 5 y 12 tiene doble nomenclatura. Como Cu es inferior a 6 es una arena mal gradada. Como esta arena no posee plasticidad entonces es arena limosa

• ARENA RÍO MAGDALENA

- PROM % ARENAS: (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3
 PROM % ARENAS: (59,25 + 58,10 + 58,27) / 3
 PROM % ARENAS: 58,54

- PROM % GRAVAS: (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3
 PROM % GRAVAS: (39,71 + 40,64 + 40,68) / 3
 PROM % GRAVAS: 40,34

- PROM % FINOS: (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3
 PROM % FINOS: (1,03 + 1,26 + 1,05) / 3
 PROM % FINOS: 1,11

- ✓ PROM D₁₀ : (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3
 PROM D₁₀: (0,21mm + 0,21mm + 0,25mm) / 3
 PROM D₁₀: 0,22mm

- ✓ PROM D₃₀: (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3
 PROM D₃₀: (0,41mm + 0,4mm + 0,45mm) / 3
 PROM D₃₀: 0,42mm

- ✓ PROM D₆₀: (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3
 PROM D₆₀: (2,5mm + 2,3mm + 5mm) / 3
 PROM D₆₀: 3,27 mm

- Cu: D₆₀ / D₁₀
 Cu: (3,27 / 0,22)
 Cu: 14,86

- Cc: $D_{30}^2 / (D_{60} * D_{10})$
 Cc: $0,42^2 / (3,27 * 0,22)$
 Cc: 0,24

Clasificación del suelo de Arena del río Magdalena

Según el sistema unificado de clasificación de suelos la arena del río Magdalena es SP (Arena mal gradada).

Como el contenido de finos es inferior a 5% este no influye en la resistencia ni en la capacidad de drenaje de la arena, por lo tanto solo se juzga su gradación. Como el Cu no está entre 1 y 3 entonces es mal gradada.

5.2. CONSTANTES DE PERMEABILIDAD

Se realizaron 30 ensayos de permeabilidad para cada arena por medio de método de cabeza constante con el fin de obtener una constante de laboratorio, para posteriormente hallar el promedio, mediana y una desviación estándar de los datos obtenidos.

A continuación se mostrará un cálculo tipo de un ensayo realizado:

ENSAYO N° 1 – MUESTRA RIO SOGAMOSO (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): $(4.5 + 4.6 + 4.7) / 3 = 4.6$ 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): $(33,18 * 4,6) = 152,64$ cm³.

➤ **PARAMETROS**

- Peso cámara + base (Pcb): 1516,2 gr
- Peso de la cámara + base + suelo (Pcbs): 1757,5 gr.
- Peso del suelo (Ps): (Pcbs - Pcb)
Peso del suelo (Ps): (1757,5 - 1516,2) = 241,4 gr.
- Cabeza de Agua (h): 63,4 cm.

➤ **ENSAYO**

- Tiempo (t) (seg.) = 180 seg.
- Temperatura (T) (°C) = 23 °C
- Caudal promedio :

$$Q_{\text{prom}}: \frac{320 + 310 + 300 + 290 + 285 + 270 + 265 + 256}{8}$$

$$Q_{\text{prom}}: 287 \text{ cm}^3$$

- $n_T / n_{20} (T : 23^\circ\text{C}) = 0,9311$
- Permeabilidad (K_T) : ($Q_{\text{prom}} * L$) / ($A * h * t$)
Permeabilidad (K_T) : ($287 * 4,6$) / ($33,18 * 63,4 * 180$) = 0,0035 cm/seg.

- $K_{20}: (k_T) * (n_T / n_{20})$
 $K_{20}: (0.0035 * 0.9311) = 0.0032 \text{ cm/seg.}$

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

- ✓ PERMEABILIDAD ARENA RIO SOGAMOSO.

A continuación en la tabla 8 se mostrara un cuadro resumen de los 30 ensayos realizados con el método de cabeza constante en la arena del rio Sogamoso.

Tabla 8. Permeabilidad del rio Sogamoso.

Muestra	temperatura	Kt (cm/sg)	K ₂₀ (cm/sg)
1	23,0	0,003486273	0,003246069
2	23,8	0,004368983	0,00399325
3	24,0	0,003855965	0,003507771
4	24,4	0,004712673	0,004248475
5	25,0	0,005742277	0,005106607
6	25,8	0,005924344	0,005174322
7	25,6	0,004376062	0,003839557
8	26,0	0,002875899	0,002500307
9	26,2	0,002894112	0,002505143
10	26,9	0,003629254	0,003092487
11	26,5	0,005534645	0,004758688
12	26,7	0,004978435	0,00426154
13	26,1	0,003553083	0,003082299
14	26,5	0,005503154	0,004731612
15	26,7	0,004278399	0,003662309
16	26,5	0,003307367	0,002843674
17	26,0	0,004540381	0,003947407
18	26,2	0,004192136	0,003628713
19	26,5	0,003571217	0,003070532
20	25,8	0,005799246	0,005065062
21	24,0	0,005142242	0,004677898
22	24,5	0,003922293	0,003528103
23	25,3	0,004577813	0,004043582
24	25,7	0,005099464	0,004464071

25	26,2	0,004662367	0,004035745
26	26,5	0,003114355	0,002677722
27	26,9	0,00323901	0,002759961
28	26,6	0,00343293	0,002945111
29	23,1	0,003299497	0,003065233
30	23,5	0,00468648	0,004313436
		PROMEDIO	0,003759223
		MEDIANA	0,003750933
		DESVIACION	0,000808426

En la tabla 8 se puede observar que el valor promedio para el K_{20} obtenido para el río Sogamoso en el laboratorio fue de 0,003759223 cm/sg; que su mediana fue de 0,003750933 cm/sg y que su desviación estándar fue de 0,000808426 cm/sg.

✓ PERMEABILIDAD ARENA RIO MAGDALENA

A continuación en la tabla 9 se mostrara un cuadro resumen de los 30 ensayos realizados con el método de cabeza constante en la arena del río Magdalena.

Tabla 9. Permeabilidad del río Magdalena

Muestra	temperatura	Kt (cm/sg)	K_{20} (cm/sg)
1	24,0	0,005477447	0,004982834
2	23,1	0,005967035	0,005543376
3	24,1	0,005299057	0,004809954
4	23,5	0,005001582	0,004603456
5	23,1	0,005785643	0,005374862
6	23,0	0,005694963	0,00530258
7	23,4	0,006236579	0,005740147
8	23,9	0,005807924	0,005295665
9	24,0	0,005846565	0,00531862
10	23,0	0,006245623	0,005815299
11	23,6	0,006847706	0,006288248
12	23,3	0,006033761	0,005639756
13	23,9	0,005699994	0,005197254
14	24,0	0,006649817	0,006049339

15	24,3	0,00634729	0,005735411
16	24,0	0,005853157	0,005324617
17	23,2	0,006727883	0,006235402
18	22,7	0,006185584	0,005800222
19	23,0	0,004929849	0,004590182
20	23,4	0,006629352	0,006115577
21	23,8	0,006596831	0,006029503
22	24,0	0,005986172	0,005445621
23	24,0	0,006885866	0,006264073
24	23,8	0,004539657	0,004149246
25	23,0	0,004212115	0,0039219
26	23,0	0,00547441	0,005097223
27	23,0	0,004504162	0,004193825
28	22,0	0,003829689	0,003650077
29	22,0	0,007362671	0,007017362
30	22,0	0,007842013	0,007474223
		PROMEDIO	0,005433529
		MEDIANA	0,005410242
		DESVIACION	0,000857699

En la tabla 9 se puede observar que el valor promedio para el K_{20} obtenido para el río Magdalena en el laboratorio fue de 0,005433529 cm/sg; que su mediana fue de 0,005410242 cm/sg y que su desviación estándar fue de 0,000857699 cm/sg

5.3. GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS

Se realizaron 30 ensayos para cada arena seleccionada de gravedad específica para sólidos, con el fin de obtener el peso específico de cada arena.

A continuación se mostrará un cálculo tipo de un ensayo realizado:

ENSAYO N° 1 – MUESTRA RIO SOGAMOSO

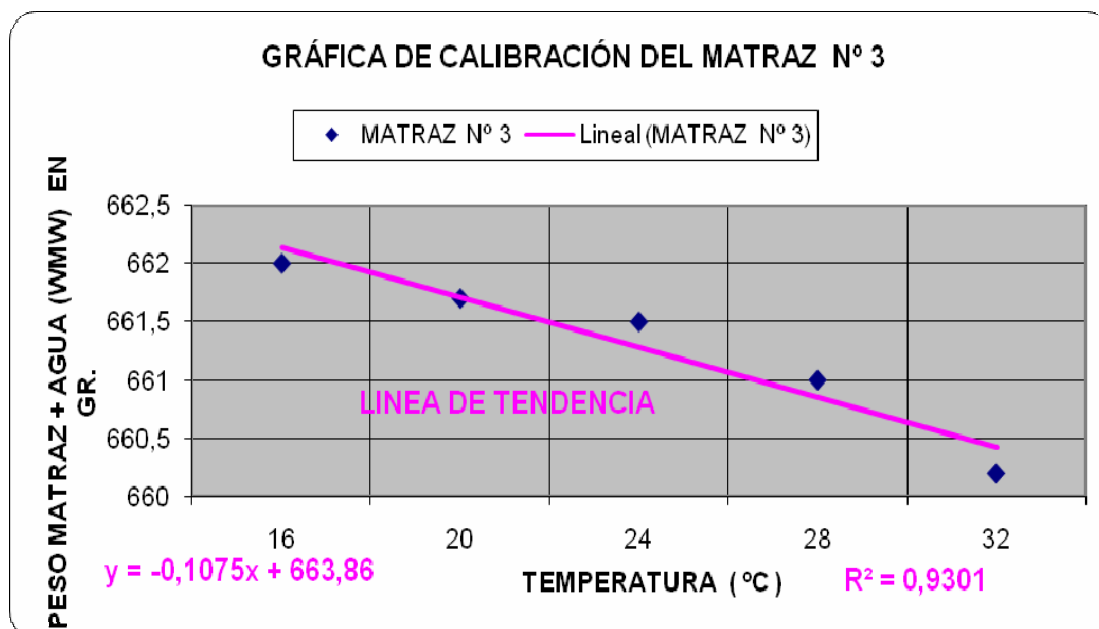
Para realizar este ensayo se hizo necesario utilizar la calibración del matraz N°3, el cuál fue hecho por la Ingeniera Ketty Plata en el año 2007.

➤ **Calibración del Matraz N° 3**

- Peso del Matraz N° 3: 164,8 gr.
- Temperatura ambiente (°C): 20 °C

TEMPERATURA (T °C)	16	20	24	28	32
PESO (gr.)	662,0	661,7	661,5	661,0	660,2

Grafica 1. Calibración del Matraz N° 3



Con los valores de la gráfica de calibración $Y = - 0,1075x + 663,86$ hallamos el Peso del matraz con agua (W_{mw}) a diferentes temperaturas.

➤ **Ensayo calculo tipo de muestra 1**

- Prueba: Arena Río Sogamoso Muestra N° 1
- Matraz N° : 3
- $T^{\circ} (\text{°C}) = 23 \text{ °C}$.
- Peso del matraz con agua (W_{mw}): 661,39 gr.
- Peso del matraz con agua + suelo (W_{mws}): 712,5 gr.
- Cápsula de evaporación: 1
- Peso de la cápsula de evaporación: 329,8 gr.
- Peso de la cápsula de evaporación + muestra seca: 411,9 gr.
- Peso del suelo antes de secado (W_{si}): 85,0 gr.
- Peso del suelo después de secado (W_{sf}): 82,1 gr.

- Gravedad específica relativa (G_s): $(W_{sf}) / (W_{sf} + W_{mw} - W_{mws})$
 $(82,1) / (82,1 + 661,39 - 712,5)$

$G_{s1} = 2.65$

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

✓ GRAVEDAD ESPECIFICA DE ARENA DEL RÍO SOGAMOSO

A continuación en la tabla 10 se muestra un cuadro resumen de los 30 ensayos realizados en el laboratorio para hallar la gravedad específica de sólidos en esta arena.

Tabla 10. Gravedad específica de sólidos del Río Sogamoso.

MUESTRA	GS
1	2,65
2	2,63
3	2,64
4	2,65
5	2,67
6	2,84
7	2,67
8	2,82
9	2,69
10	2,79
11	2,75
12	2,66
13	2,73
14	2,78
15	2,67
16	2,72
17	2,68
18	2,64
19	2,67
20	2,68
21	2,73
22	2,77
23	2,64
24	2,71
25	2,68
26	2,69
27	2,65
28	2,68

29	2,70
30	2,60
PROMEDIO	2,70
MEDIANA	2,68
DESVIACION	0,059

En la tabla 10 se puede observar que el valor promedio de la gravedad específica de sólidos es de 2,70 con una mediana de 2,68 y una desviación estándar de 0,059.

✓ GRAVEDAD ESPECIFICA ARENA RÍO MAGDALENA

A continuación en la tabla 11 se mostrará un cuadro resumen de los 30 ensayos realizados en el laboratorio para hallar la gravedad específica de sólidos en esta arena.

Tabla 11. Gravedad específica de sólidos del Río Magdalena.

MUESTRA	GS
1	2,72
2	2,66
3	2,68
4	2,68
5	2,68
6	2,69
7	2,70
8	2,66
9	2,63
10	2,63
11	2,65
12	2,66
13	2,70
14	2,74
15	2,65
16	2,76
17	2,68
18	2,66
19	2,66

20	2,65
21	2,67
22	2,64
23	2,68
24	2,70
25	2,66
26	2,66
27	2,67
28	2,78
29	2,75
30	2,69
PROMEDIO	2,68
MEDIANA	2,67
DESVIACION	0,037

En la tabla 11 se puede observar que el valor promedio de la gravedad específica de sólidos es de 2,68 con una mediana de 2,67 y una desviación estándar de 0,037.

6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Después de realizar todos los ensayos de permeabilidad y gravedad específica de sólidos con las arenas seleccionadas, se analizaron las fases del suelo con el fin de verificar la porosidad (n), también 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 SOGAMOSO

La tabla 12 muestra los resultados obtenidos de los 30 ensayos realizados para esta arena y su característica en relación a la parte volumétrica y gravimétrica, y sus respectivas relaciones.

Tabla 12. RELACIONES VOLUMETRICAS Y GRAVIMETRICAS DEL SUELO

ENSAYO Nº	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	γ_m gr/cc.	γ_d gr/cc.
1	0	67,16	85,48	67,2	152,64	0	67,2	230,4	67,2	297,6	29,2	1,00	0,440	0,786	1,95	1,51
2	0	62,10	87,22	62,1	149,32	0	62,1	235,1	62,1	284,4	26,4	1,00	0,416	0,712	1,90	1,57
3	0	75,12	74,20	75,1	149,32	0	75,1	200,0	75,1	289,0	37,6	1,00	0,503	1,012	1,94	1,34
4	0	68,42	84,22	68,4	152,64	0	68,4	227,0	68,4	277,4	30,1	1,00	0,448	0,812	1,82	1,49
5	0	68,59	80,73	68,6	149,32	0	68,6	217,6	68,6	303,2	31,5	1,00	0,459	0,850	2,03	1,46
6	0	67,13	72,23	67,1	139,37	0	67,1	194,7	67,1	282,2	34,5	1,00	0,482	0,929	2,02	1,40
7	0	67,32	78,69	67,3	146,01	0	67,3	212,1	67,3	290,6	31,7	1,00	0,461	0,855	1,99	1,45
8	0	69,34	79,99	69,3	149,32	0	69,3	215,6	69,3	268,7	32,2	1,00	0,464	0,867	1,80	1,44
9	0	66,24	86,41	66,2	152,64	0	66,2	232,9	66,2	260,7	28,4	1,00	0,434	0,767	1,71	1,53
10	0	62,51	93,46	62,5	155,96	0	62,5	251,9	62,5	258,5	24,8	1,00	0,401	0,669	1,66	1,62
11	0	58,31	74,42	58,3	132,73	0	58,3	200,6	58,3	292,6	29,1	1,00	0,439	0,783	2,20	1,51
12	0	61,19	68,23	61,2	129,41	0	61,2	183,9	61,2	291,7	33,3	1,00	0,473	0,897	2,25	1,42
13	0	57,57	75,17	57,6	132,73	0	57,6	202,6	57,6	263,7	28,4	1,00	0,434	0,766	1,99	1,53
14	0	62,42	83,59	62,4	146,01	0	62,4	225,3	62,4	270,8	27,7	1,00	0,428	0,747	1,85	1,54
15	0	52,74	79,99	52,7	132,73	0	52,7	215,6	52,7	285,0	24,5	1,00	0,397	0,659	2,15	1,62
16	0	61,60	84,40	61,6	146,01	0	61,6	227,5	61,6	330,5	27,1	1,00	0,422	0,730	2,26	1,56
17	0	61,64	77,72	61,6	139,37	0	61,6	209,5	61,6	312,2	29,4	1,00	0,442	0,793	2,24	1,50
18	0	55,08	77,65	55,1	132,73	0	55,1	209,3	55,1	265,6	26,3	1,00	0,415	0,709	2,00	1,58
19	0	44,63	74,83	44,6	119,46	0	44,6	201,7	44,6	287,1	22,1	1,00	0,374	0,596	2,40	1,69
20	0	63,92	85,40	63,9	149,32	0	63,9	230,2	63,9	274,3	27,8	1,00	0,428	0,748	1,84	1,54
21	0	52,66	70,12	52,7	122,78	0	52,7	189,0	52,7	315,5	27,9	1,00	0,429	0,751	2,57	1,54
22	0	53,19	79,54	53,2	132,73	0	53,2	214,4	53,2	297,2	24,8	1,00	0,401	0,669	2,24	1,62
23	0	62,76	76,61	62,8	139,37	0	62,8	206,5	62,8	316,6	30,4	1,00	0,450	0,819	2,27	1,48
24	0	55,01	77,72	55,0	132,73	0	55,0	209,5	55,0	303,5	26,3	1,00	0,414	0,708	2,29	1,58
25	0	51,15	81,58	51,1	132,73	0	51,1	219,9	51,1	337,3	23,3	1,00	0,385	0,627	2,54	1,66
26	0	52,71	80,03	52,7	132,73	0	52,7	215,7	52,7	319,2	24,4	1,00	0,397	0,659	2,40	1,63
27	0	54,19	78,54	54,2	132,73	0	54,2	211,7	54,2	296,7	25,6	1,00	0,408	0,690	2,24	1,59
28	0	57,72	75,02	57,7	132,73	0	57,7	202,2	57,7	309,4	28,5	1,00	0,435	0,769	2,33	1,52
29	0	57,12	75,61	57,1	132,73	0	57,1	203,8	57,1	316,0	28,0	1,00	0,430	0,755	2,38	1,54
30	0	59,64	73,09	59,6	132,73	0	59,6	197,0	59,6	274,9	30,3	1,00	0,449	0,816	2,07	1,48
Promedio	0	60,306	79,063	60,31	139,37	0	60,3	213,11	60,3	292,4	28,4	1,00	0,432	0,765	2,11	1,53

En la tabla anterior se puede observar los diferentes promedios de volúmenes tales como $V_a: 0,0 \text{ cm}^3$; $V_w: 60,306 \text{ cm}^3$; $V_s: 79,063 \text{ cm}^3$; $V_v: 60,31 \text{ cm}^3$; $V_t: 139,37 \text{ cm}^3$; por otra parte se puede observar los promedio de los pesos tales como $W_a: 0 \text{ gr.}$; $W_w: 60,3 \text{ gr.}$; $W_s: 213,11 \text{ gr.}$; $W_v: 60,3 \text{ gr.}$; $W_t: 292,4$; y por ultimo se pueden observar los valores de relaciones volumétricas y gravimétricas tales como $W\%: 28,4 \%$; $S_r: 1,00$; $n: 0,432$; $e: 0,765$; $\gamma_d: 2,11 \text{ gr/cm}^3$; $\gamma_m: 1,53 \text{ gr/cm}^3$

La finalidad principal de hallar la tabla de las relaciones volumétricas y gravimétricas fue primordialmente conocer los valores de porosidad (n) en las arenas seleccionadas para todas las muestras, para posteriormente reemplazar esos valores en la fórmula teórica de Terzaghi.

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

El análisis realizado a continuación explica como fueron calculadas las constates de las ecuaciones de Allen Hazen, Terzaghi y Schlichter teniendo como base un valor real de K hallado en laboratorio, para posteriormente hacer un análisis y comparación respecto a las constantes propuestas teóricas de los anteriormente nombrados.

La siguiente tabla muestra las diferentes constantes obtenidas para las ecuaciones de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi, con base a las constantes obtenidas en el laboratorio, para el rio Sogamoso.

Tabla 13. COMPARACIÓN DE LAS CONSTANTES PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO

Ensayo Nº	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	287	33,18	63,4	4,60	23,0	0,440	0,0032	11,91	64,71	11,91	84,23
2	367	33,18	63,2	4,50	23,8	0,416	0,0040	14,41	53,51	14,41	123,19
3	325	33,18	63,5	4,50	24,0	0,503	0,0035	12,60	61,17	12,60	56,80
4	386	33,18	63,1	4,60	24,4	0,448	0,0042	15,14	50,94	15,14	100,52
5	485	33,18	63,6	4,50	25,0	0,459	0,0051	17,97	42,91	17,97	109,93
6	535	33,18	63,5	4,20	25,8	0,482	0,0052	17,91	43,05	17,91	93,42
7	377	33,18	63,4	4,40	25,6	0,461	0,0038	13,34	57,78	13,34	80,64
8	241	33,18	63,2	4,50	26,0	0,464	0,0025	8,62	89,45	8,62	50,86
9	238	33,18	63,2	4,60	26,2	0,434	0,0025	8,60	89,64	8,60	63,72
10	293	33,18	63,5	4,70	26,9	0,401	0,0031	10,47	73,64	10,47	101,50
11	526	33,18	63,6	4,00	26,5	0,439	0,0048	16,24	47,47	16,24	115,43
12	482	33,18	63,2	3,90	26,7	0,473	0,0043	14,49	53,23	14,49	80,45
13	336	33,18	63,4	4,00	26,1	0,434	0,0031	10,60	72,71	10,60	78,69
14	474	33,18	63,5	4,40	26,5	0,428	0,0047	16,15	47,75	16,15	125,78
15	403	33,18	63,1	4,00	26,7	0,397	0,0037	12,45	61,93	12,45	124,24
16	284	33,18	63,2	4,40	26,5	0,422	0,0028	9,70	79,45	9,70	79,03
17	409	33,18	63,4	4,20	26,0	0,442	0,0039	13,61	56,66	13,61	94,53
18	397	33,18	63,4	4,00	26,2	0,415	0,0036	12,46	61,88	12,46	107,31
19	376	33,18	63,5	3,60	26,5	0,374	0,0031	10,48	73,58	10,48	129,30
20	487	33,18	63,3	4,50	25,8	0,428	0,0051	17,53	43,98	17,53	135,98
21	527	33,18	63,5	3,70	24,0	0,429	0,0047	16,81	45,87	16,81	129,51
22	373	33,18	63,6	4,00	24,5	0,401	0,0035	12,54	61,46	12,54	121,65
23	413	33,18	63,4	4,20	25,3	0,450	0,0040	14,14	54,53	14,14	92,49
24	481	33,18	63,2	4,00	25,7	0,414	0,0045	15,48	49,80	15,48	133,96
25	440	33,18	63,2	4,00	26,2	0,385	0,0040	13,86	55,64	13,86	153,62
26	294	33,18	63,3	4,00	26,5	0,397	0,0027	9,14	84,37	9,14	91,42
27	307	33,18	63,5	4,00	26,9	0,408	0,0028	9,34	82,51	9,34	85,05
28	325	33,18	63,4	4,00	26,6	0,435	0,0029	10,03	76,86	10,03	73,79
29	312	33,18	63,3	4,00	23,1	0,430	0,0031	11,23	68,67	11,23	85,52
30	444	33,18	63,5	4,00	23,5	0,449	0,0043	15,66	49,22	15,66	103,17
Promedio	387	33,18	63,4	4,20	25,6	0,432	0,0038	13,10	61,81	13,097	100,19

En la tabla anterior se puede apreciar que para las arenas del rio Sogamoso las constantes promedio obtenidas a partir del coeficiente de permeabilidad hallado en el laboratorio son las siguientes: constante de permeabilidad de Allen Hazen

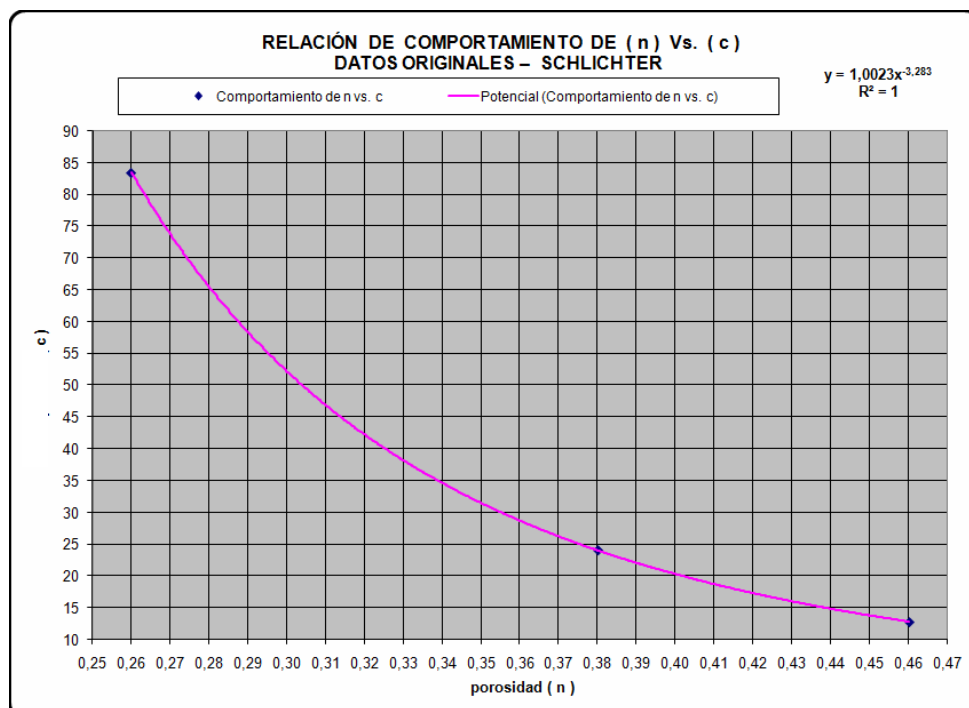
C=13,10; para Schlichter C=61,81; para Terzaghi C1=13,097 y para la constante Co=100,19.

Análisis de la constante obtenida en la fórmula de Schlichter

Para la fórmula de Schlichter se optó por dar un valor promedio ya que no se encontró una correlación ni tendencia de ningún tipo entre la porosidad (n) y las constantes encontradas 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 Compacidad (c). Datos originales– Schlichter.

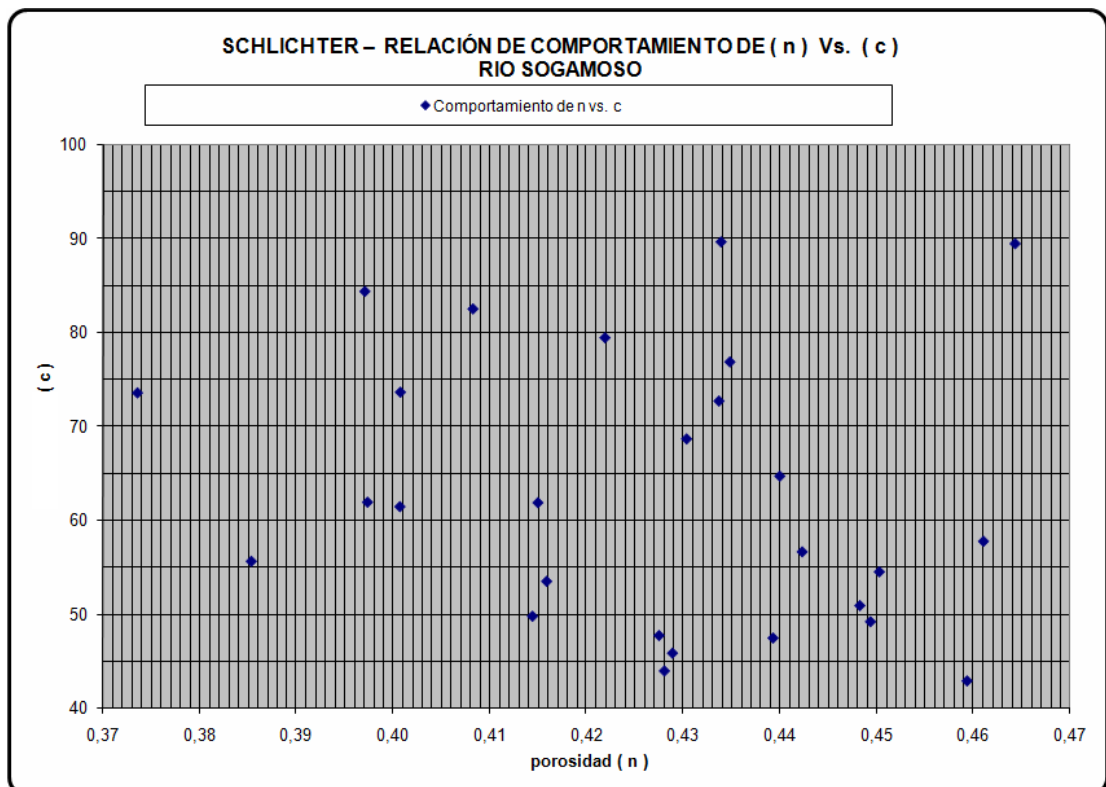


La grafica anterior muestra una correlación $R^2=1$ con una formula $y = 1,0023x^{-3,283}$, esta calculada con los valores:

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

La gráfica a continuación es la obtenida a partir de los datos obtenidos de los cálculos de las constantes de Schlichter Vs la porosidad, para la arena del Río Sogamoso.

Grafica 3. Relación de comportamiento de la Porosidad (n) Vs Compacidad (c). Datos Rio Sogamoso.



En la gráfica anterior se observa que en la arena del Río Sogamoso no existe ninguna correlación o tendencia entre la porosidad (n) y las constantes calculadas con base a las constantes obtenidas en el laboratorio.

Análisis de la constante obtenida en la fórmula de Terzaghi

Según la fórmula de Terzaghi es necesario calcular 2 constantes C_1 y C_o (una está en función de la otra).

C_o está en función del tipo de suelo:

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

Tabla 14. Determinación de C_o según la forma de los agregados. (Tomado de Mecánica de Suelos, Juárez Badillo, TOMO I).

C_1 está en función de la porosidad (n).

En este proyecto de investigación se tomó un valor promedio de todos los C_o 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

En este caso se halló una constante promedio, la cuál fue calculada por medio de las constantes obtenidas en laboratorio (K).

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 Sogamoso.

El ajuste realizado para este análisis fue propuesto como mecanismo de disminución del porcentaje de error existente entre la constante de permeabilidad obtenida en el laboratorio con respecto a las constantes teóricas de Hazen, Terzaghi y Schlichter.

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 hallaron las constantes K de permeabilidad para los 30 ensayos realizados en cada arena seleccionada.
- Se tomó la constante promedio C 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 posteriormente compararlo con el K de permeabilidad obtenido en el laboratorio.
- Por último se calculó el porcentaje de error existente entre el K de laboratorio y el K de ajuste 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 hallaron las constantes K de permeabilidad para los 30 ensayos realizados en cada arena seleccionada.

- Se tomó la constante promedio C 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 posteriormente compararlo con el K de permeabilidad obtenido en el laboratorio.
- Por último se calculó el porcentaje de error existente entre el k de laboratorio y el k de ajuste para verificar la viabilidad de la constante hallada.

Ajuste propuesto para la ecuación de Terzagui

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

- Se hallaron las constantes K de permeabilidad para los 30 ensayos realizados en cada arena seleccionada.
- Se utilizaron las constantes promedios C_1 y C_0 en las fórmulas propuestas, calculadas en base al K de permeabilidad obtenido en el laboratorio para obtener un valor de K ajustado.
- Por último se calculó el porcentaje de error existente entre el K de laboratorio y el K de ajuste para calcular los errores derivados de dicho ajuste.

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

Después de realizar los ensayos de granulometría, permeabilidad y gravedad específica de sólidos, se obtuvieron los resultados que se muestran a continuación en las siguientes tablas. Paralelo a esto se calcularon los valores 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

La siguiente tabla muestra los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad ajustados con respecto a los obtenidos en el laboratorio para la arena del el río Sogamoso.

Tabla 15. PORCENTAJES DE ERROR ALLEN HAZEN - RIO SOGAMOSO

N°	K _{LAB} (cm ³ /seg)	K _{AH.ORIGINAL} (cm ³ /seg)	ERROR _{AH.ORIGINAL} (%)	K _{AH.AJUSTE} (cm ³ /seg)	ERROR _{AH.AJUSTE} (%)	ERROR	RANGOS
1	0,003246069	0,03160304	873,6	0,003568239	9,9	1,9	0-10
2	0,003993250	0,032148704	705,1	0,003629848	9,1	3,8	
3	0,003507771	0,03228512	820,4	0,003645251	3,9	3,9	
4	0,004248475	0,032557952	666,3	0,003676056	13,5	4,4	
5	0,005106607	0,0329672	545,6	0,003722263	27,1	5,1	
6	0,005174322	0,033512864	547,7	0,003783873	26,9	5,2	
7	0,003839557	0,033376448	769,3	0,003768471	1,9	5,5	
8	0,002500307	0,03364928	1245,8	0,003799276	52,0	7,4	
9	0,002505143	0,033785696	1248,7	0,003814678	52,3	9,1	
10	0,003092487	0,034263152	1007,9	0,003868587	25,1	9,6	
11	0,004758688	0,03399032	614,3	0,003837782	19,4	9,9	
12	0,004261540	0,034126736	700,8	0,003853184	9,6	13,5	10--20
13	0,003082299	0,033717488	993,9	0,003806977	23,5	15,4	
14	0,004731612	0,03399032	618,4	0,003837782	18,9	16,4	
15	0,003662309	0,034126736	831,8	0,003853184	5,2	16,7	
16	0,002843674	0,03399032	1095,3	0,003837782	35,0	18,9	
17	0,003947407	0,03364928	752,4	0,003799276	3,8	19,4	
18	0,003628713	0,033785696	831,1	0,003814678	5,1	22,1	20-30
19	0,003070532	0,03399032	1007,0	0,003837782	25,0	23,5	
20	0,005065062	0,033512864	561,6	0,003783873	25,3	25,0	
21	0,004677898	0,03228512	590,2	0,003645251	22,1	25,1	
22	0,003528103	0,03262616	824,8	0,003683757	4,4	25,3	
23	0,004043582	0,033171824	720,4	0,003745367	7,4	26,9	
24	0,004464071	0,033444656	649,2	0,003776172	15,4	27,1	
25	0,004035745	0,033785696	737,2	0,003814678	5,5	30,6	
26	0,002677722	0,03399032	1169,4	0,003837782	43,3	35,0	
27	0,002759961	0,034263152	1141,4	0,003868587	40,2	40,2	
28	0,002945111	0,034058528	1056,4	0,003845483	30,6	43,3	40-50
29	0,003065233	0,031671248	933,2	0,00357594	16,7	52,0	50-60
30	0,004313436	0,03194408	640,6	0,003606745	16,4	52,3	
Mediana :			794,8	mediana :	17,8		

En la tabla anterior se muestra un análisis de los resultados obtenidos con respecto a los porcentajes de error. La mediana obtenida del error sin hacer el ajuste fue de 794,8% y con el ajuste es de 17,8%.

Después de hacer el ajuste, se observa que de los 30 ensayos realizados para esta arena el 36,67% de las muestras tiene porcentajes de error entre 0 y 10. El 20% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 10 a 20. El 23,33% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 20 a 30. El 6,67% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 30 a 40 lo mismo que en el rango entre 40 y 50 y 50 a 60.

Porcentajes de error de Terzaghi.

La siguiente tabla muestra los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad ajustados con respecto a los obtenidos en el laboratorio para la arena del el río Sogamoso.

Tabla 16. PORCENTAJES DE ERROR TERZAGUI - RIO SOGAMOSO

N°	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	0,003246069	0,030830051	849,8	0,00386111	18,9	0,3	0-10
2	0,003993250	0,025932153	549,4	0,003247705	18,7	1,3	
3	0,003507771	0,049402014	1308,4	0,006187035	76,4	2,9	
4	0,004248475	0,033810975	695,8	0,004234437	0,3	6,0	
5	0,005106607	0,037164208	627,8	0,004654391	8,9	6,6	
6	0,005174322	0,044308254	756,3	0,0055491	7,2	7,2	
7	0,003839557	0,03809164	892,1	0,004770541	24,2	8,3	
8	0,002500307	0,039327701	1472,9	0,004925343	97,0	8,9	
9	0,002505143	0,031452812	1155,5	0,003939104	57,2	9,6	
10	0,003092487	0,02437524	688,2	0,003052719	1,3	13,2	
11	0,004758688	0,032980656	593,1	0,004130449	13,2	17,2	10--20
12	0,004261540	0,042379168	894,5	0,005307504	24,5	17,6	
13	0,003082299	0,031336073	916,6	0,003924484	27,3	17,8	
14	0,004731612	0,030093771	536,0	0,003768899	20,3	18,7	
15	0,003662309	0,023582848	543,9	0,002953481	19,4	18,9	
16	0,002843674	0,028786375	912,3	0,003605163	26,8	19,4	
17	0,003947407	0,033407492	746,3	0,004183905	6,0	20,3	
18	0,003628713	0,027053357	645,5	0,003388123	6,6	22,5	20-30
19	0,003070532	0,018997983	518,7	0,002379279	22,5	22,6	
20	0,005065062	0,029799411	488,3	0,003732034	26,3	24,2	
21	0,004677898	0,028896383	517,7	0,00361894	22,6	24,5	
22	0,003528103	0,023201279	557,6	0,002905694	17,6	25,2	
23	0,004043582	0,034973972	764,9	0,004380089	8,3	26,3	
24	0,004464071	0,026658334	497,2	0,00333865	25,2	26,8	
25	0,004035745	0,021016818	420,8	0,002632115	34,8	27,3	
26	0,002677722	0,02343225	775,1	0,00293462	9,6	34,8	
27	0,002759961	0,025961159	840,6	0,003251337	17,8	35,8	30-40
28	0,002945111	0,031928543	984,1	0,003998684	35,8	57,2	50-100
29	0,003065233	0,02867469	835,5	0,003591176	17,2	76,4	
30	0,004313436	0,033446089	675,4	0,004188739	2,9	97,0	
Mediana:			721,1	Mediana:	19,2		

En la tabla anterior se muestra un análisis de los resultados obtenidos con respecto a los porcentajes de error. La mediana obtenida del error sin hacer el ajuste fue de 721,1% y con el ajuste es de 19,2%.

Después de hacer el ajuste, se analiza que de los 30 ensayos realizados para esta arena el 30% de las muestras tiene porcentajes de error entre 0 y 10. El 23,33% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 10 a 20. El 30% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 20 a 30. El 6,67% de

las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 30 a 40 y el 10% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 50 a 100.

Porcentajes de error de Schlichter

La siguiente tabla muestra los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad ajustados con respecto a los obtenidos en el laboratorio para la arena del el río Sogamoso.

Tabla 17. PORCENTAJES DE ERROR SCHLICHTER - RIO SOGAMOSO

N°	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	0,003246069	0,014151343	336,0	0,003398218	4,7	0,1	0-10
2	0,003993250	0,011963112	199,6	0,003456892	13,4	0,2	
3	0,003507771	0,022444262	539,8	0,003471561	1,0	0,6	
4	0,004248475	0,015497282	264,8	0,003500898	17,6	1,0	
5	0,005106607	0,017003461	233,0	0,003544904	30,6	4,7	
6	0,005174322	0,020201458	290,4	0,003603578	30,4	6,5	
7	0,003839557	0,01742313	353,8	0,00358891	6,5	8,3	
8	0,002500307	0,017979247	619,1	0,003618247	44,7	10,0	10-20
9	0,002505143	0,014453556	477,0	0,003632915	45,0	11,1	
10	0,003092487	0,011291401	265,1	0,003684255	19,1	11,8	
11	0,004758688	0,015140429	218,2	0,003654918	23,2	13,4	
12	0,004261540	0,019348798	354,0	0,003669587	13,9	13,9	
13	0,003082299	0,014400517	367,2	0,003625581	17,6	17,6	
14	0,004731612	0,013846779	192,6	0,003654918	22,8	17,6	
15	0,003662309	0,010936081	198,6	0,003669587	0,2	19,0	
16	0,002843674	0,013261168	366,3	0,003654918	28,5	19,1	
17	0,003947407	0,015328104	288,3	0,003618247	8,3	19,4	
18	0,003628713	0,012483101	244,0	0,003632915	0,1	20,4	20-30
19	0,003070532	0,008894113	189,7	0,003654918	19,0	22,8	
20	0,005065062	0,013709784	170,7	0,003603578	28,9	23,2	
21	0,004677898	0,013292058	184,1	0,003471561	25,8	24,4	
22	0,003528103	0,010747741	204,6	0,003508232	0,6	25,8	
23	0,004043582	0,016024909	296,3	0,003566907	11,8	28,5	
24	0,004464071	0,012302528	175,6	0,003596244	19,4	28,9	
25	0,004035745	0,009788353	142,5	0,003632915	10,0	30,4	
26	0,002677722	0,010867233	305,8	0,003654918	36,5	30,6	
27	0,002759961	0,011999977	334,8	0,003684255	33,5	33,5	
28	0,002945111	0,014669642	398,1	0,003662252	24,4	36,5	30-40
29	0,003065233	0,013186171	330,2	0,003405553	11,1	44,7	
30	0,004313436	0,015327221	255,3	0,00343489	20,4	45,0	
Mediana:			276,7	Mediana:		19,1	

En la tabla anterior se muestra un análisis de los resultados obtenidos con respecto a los porcentajes de error. La mediana obtenida del error sin hacer el ajuste fue de 276,7% y con el ajuste es de 19,1%.

Después de hacer el ajuste, se analiza que de los 30 ensayos realizados para esta arena el 23,33% de las muestras tiene porcentajes de error entre 0 y 10. El 33,33% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 10 a 20. El 23,33% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 20 a 30. El 13,33% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 30 a 40 y el 6,67% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 40 a 50.

6.2. ARENA DEL RIO MAGDALENA

La tabla 18 muestra los resultados obtenidos de los 30 ensayos realizados para esta arena y su característica en relación a la parte volumétrica y gravimétrica, y sus respectivas relaciones.

Tabla 18. RELACIONES VOLUMETRICAS Y GRAVIMETRICAS DEL SUELO

EHSAYO	VOLUMENES					PESOS					RELACIONES					
	N°	Va cc.	Vw cc.	Vs cc.	Vv cc.	Vt cc.	Wa gr.	Ww gr.	Ws gr.	Wv gr.	Wt gr.	W% %	Sr %	n	e	γ_m gr/cc.
1	0	51,24	81,49	51,2	132,73	0	51,2	218,5	51,2	269,7	23,4	1,00	0,386	0,629	2,03	1,65
2	0	49,75	82,99	49,7	132,73	0	49,7	222,5	49,7	272,2	22,4	1,00	0,375	0,599	2,05	1,68
3	0	53,66	79,07	53,7	132,73	0	53,7	212,0	53,7	265,7	25,3	1,00	0,404	0,679	2,00	1,60
4	0	47,88	84,85	47,9	132,73	0	47,9	227,5	47,9	275,4	21,0	1,00	0,361	0,564	2,07	1,71
5	0	44,63	91,42	44,6	136,05	0	44,6	245,1	44,6	289,7	18,2	1,00	0,328	0,488	2,13	1,80
6	0	54,10	95,22	54,1	149,32	0	54,1	255,3	54,1	309,4	21,2	1,00	0,362	0,568	2,07	1,71
7	0	53,32	89,36	53,3	142,69	0	53,3	239,6	53,3	292,9	22,3	1,00	0,374	0,597	2,05	1,68
8	0	53,99	95,33	54,0	149,32	0	54,0	255,6	54,0	309,6	21,1	1,00	0,362	0,566	2,07	1,71
9	0	48,03	84,70	48,0	132,73	0	48,0	227,1	48,0	275,1	21,1	1,00	0,362	0,567	2,07	1,71
10	0	56,42	82,95	56,4	139,37	0	56,4	222,4	56,4	278,8	25,4	1,00	0,405	0,680	2,00	1,60
11	0	68,35	80,97	68,4	149,32	0	68,4	217,1	68,4	285,5	31,5	1,00	0,458	0,844	1,91	1,45
12	0	60,37	92,27	60,4	152,64	0	60,4	247,4	60,4	307,8	24,4	1,00	0,395	0,654	2,02	1,62
13	0	50,56	85,49	50,6	136,05	0	50,6	229,2	50,6	279,8	22,1	1,00	0,372	0,592	2,06	1,68
14	0	55,08	87,61	55,1	142,69	0	55,1	234,9	55,1	290,0	23,4	1,00	0,386	0,629	2,03	1,65
15	0	50,04	86,01	50,0	136,05	0	50,0	230,6	50,0	280,6	21,7	1,00	0,368	0,582	2,06	1,69
16	0	54,00	78,73	54,0	132,73	0	54,0	211,1	54,0	265,1	25,6	1,00	0,407	0,686	2,00	1,59
17	0	52,73	89,96	52,7	142,69	0	52,7	241,2	52,7	293,9	21,9	1,00	0,370	0,586	2,06	1,69
18	0	51,27	81,46	51,3	132,73	0	51,3	218,4	51,3	269,7	23,5	1,00	0,386	0,629	2,03	1,65
19	0	57,83	88,17	57,8	146,01	0	57,8	236,4	57,8	294,2	24,5	1,00	0,396	0,656	2,02	1,62
20	0	63,20	86,12	63,2	149,32	0	63,2	230,9	63,2	294,1	27,4	1,00	0,423	0,734	1,97	1,55
21	0	52,61	90,07	52,6	142,69	0	52,6	241,5	52,6	294,1	21,8	1,00	0,369	0,584	2,06	1,69
22	0	58,54	90,78	58,5	149,32	0	58,5	243,4	58,5	301,9	24,1	1,00	0,392	0,645	2,02	1,63
23	0	58,10	84,59	58,1	142,69	0	58,1	226,8	58,1	284,9	25,6	1,00	0,407	0,687	2,00	1,59
24	0	61,71	87,61	61,7	149,32	0	61,7	234,9	61,7	296,6	26,3	1,00	0,413	0,704	1,99	1,57
25	0	63,89	81,79	63,9	145,68	0	63,9	219,3	63,9	283,2	29,1	1,00	0,439	0,781	1,94	1,51
26	0	55,99	90,74	56,0	146,73	0	56,0	243,3	56,0	299,3	23,0	1,00	0,382	0,617	2,04	1,66
27	0	55,32	91,42	55,3	146,73	0	55,3	245,1	55,3	300,4	22,6	1,00	0,377	0,605	2,05	1,67
28	0	60,71	91,30	60,7	152,01	0	60,7	244,8	60,7	305,5	24,8	1,00	0,399	0,665	2,01	1,61
29	0	47,72	92,68	47,7	140,40	0	47,7	248,5	47,7	296,2	19,2	1,00	0,340	0,515	2,11	1,77
30	0	56,46	92,39	56,5	148,85	0	56,5	247,7	56,5	304,2	22,8	1,00	0,379	0,611	2,04	1,66
Promedio	0	54,92	87,25	54,9	142,17	0	54,9	233,9	54,92	288,9	23,6	1,00	0,386	0,631	2,03	1,65

En la tabla anterior se observan los diferentes promedios de volúmenes tales como Va: 0,0 cm³; Vw: 54,92 cm³; Vs: 87,25 cm³; Vv: 54,90 cm³; Vt:142,17 cm³; por otra parte se puede observar los promedio de los pesos tales como Wa: 0 gr. ; Ww: 54,90 gr. ; Ws: 233,90 gr. ; Wv: 54,92 gr.; Wt: 288,9; y por ultimo se pueden observar los valores de relaciones volumétricas y gravimétricas tales como W%: 23,6 % ; Sr: 1,00 ; n: 0,386 ; e:0,631; γ_d : 2,03 gr/cm³; γ_m : 1,65 gr/cm³

La finalidad principal de hallar la tabla de las relaciones volumétricas y gravimétricas fue primordialmente conocer los valores de porosidad (n) en las arenas seleccionadas para todas las muestras, para posteriormente reemplazar esos valores en la fórmula teórica de Terzaghi.

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

El análisis realizado a continuación explica como fueron calculadas las constantes de las ecuaciones de Allen Hazen, Terzaghi y Schlichter teniendo como base un valor real de K hallado en laboratorio, para posteriormente hacer un análisis y comparación respecto a las constantes propuestas teóricas de los anteriormente nombrados.

La siguiente tabla muestra las diferentes constantes obtenidas para las ecuaciones de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi, con base a las constantes obtenidas en el laboratorio, para el río Magdalena.

Tabla 19. COMPARACIÓN DE LAS CONSTANTES PERMEABILIDAD – RIO MAGDALENA

Ensayo Nº	Volumen (Q) (cm ³)	Área (A) (cm ²)	Cabeza (h) (cm)	Altura (L) (cm)	Temp. (°C)	n (Lab.)	K (Lab.)	C (Allen.)	C (Schli.)	C1 (Terza.)	Co (Terza.)
1	519	33,18	63,5	4,00	24,0	0,386	0,0050	7,04	109,59	7,04	77,54
2	563	33,18	63,2	4,00	23,1	0,375	0,0055	7,98	96,64	7,98	97,36
3	506	33,18	63,9	4,00	24,1	0,404	0,0048	6,78	113,77	6,78	63,77
4	475	33,18	63,6	4,00	23,5	0,361	0,0046	6,57	117,37	6,57	91,57
5	534	33,18	63,4	4,10	23,1	0,328	0,0054	7,74	99,67	7,74	151,26
6	480	33,18	63,5	4,50	23,0	0,362	0,0053	7,65	100,81	7,65	104,98
7	548	33,18	63,2	4,30	23,4	0,374	0,0057	8,21	93,93	8,21	101,17
8	489	33,18	63,4	4,50	23,9	0,362	0,0053	7,49	102,90	7,49	103,59
9	554	33,18	63,5	4,00	24,0	0,362	0,0053	7,51	102,67	7,51	103,54
10	563	33,18	63,4	4,20	23,0	0,405	0,0058	8,39	91,92	8,39	78,58

11	576	33,18	63,4	4,50	23,6	0,458	0,0063	8,95	86,11	8,95	55,43
12	498	33,18	63,5	4,60	23,3	0,395	0,0056	8,08	95,39	8,08	81,98
13	528	33,18	63,6	4,10	23,9	0,372	0,0052	7,35	104,85	7,35	92,37
14	586	33,18	63,4	4,30	24,0	0,386	0,0060	8,54	90,27	8,54	94,16
15	586	33,18	63,4	4,10	24,3	0,368	0,0057	8,05	95,81	8,05	104,79
16	555	33,18	63,5	4,00	24,0	0,407	0,0053	7,52	102,56	7,52	69,26
17	593	33,18	63,4	4,30	23,2	0,370	0,0062	8,96	86,10	8,96	114,77
18	584	33,18	63,2	4,00	22,7	0,386	0,0058	8,42	91,56	8,42	92,57
19	426	33,18	63,6	4,40	23,0	0,396	0,0046	6,62	116,45	6,62	66,80
20	558	33,18	63,4	4,50	23,4	0,423	0,0061	8,75	88,16	8,75	70,45
21	582	33,18	63,5	4,30	23,8	0,369	0,0060	8,55	90,18	8,55	110,38
22	504	33,18	63,4	4,50	24,0	0,392	0,0054	7,69	100,28	7,69	80,35
23	605	33,18	63,2	4,30	24,0	0,407	0,0063	8,84	87,17	8,84	81,25
24	383	33,18	63,5	4,50	23,8	0,413	0,0041	5,88	131,05	5,88	51,38
25	333	33,18	63,7	4,60	23,0	0,439	0,0039	5,66	136,29	5,66	40,44
26	434	33,18	64,4	4,63	23,0	0,382	0,0051	7,35	104,87	7,35	84,32
27	357	33,18	64,4	4,63	23,0	0,377	0,0042	6,05	127,46	6,05	72,33
28	291	33,18	63,9	4,80	22,0	0,399	0,0037	5,38	143,28	5,38	52,79
29	611	33,18	64,5	4,43	22,0	0,340	0,0070	10,34	74,53	10,34	178,09
30	611	33,18	64,2	4,70	22,0	0,379	0,0075	11,02	69,97	11,02	128,98
Promedio	514	33,18	63,6	4,33	23,4	0,386	0,0054	7,78	101,72	7,778	89,88

En la tabla anterior se puede apreciar que para las arenas del río Magdalena las constantes promedio obtenidas a partir del coeficiente de permeabilidad hallado en el laboratorio son las siguientes: constante de permeabilidad de Allen Hazen $C=7,78$; para Schlichter $C=101,72$; para Terzaghi $C1=7,778$ y para la constante $Co=89,88$.

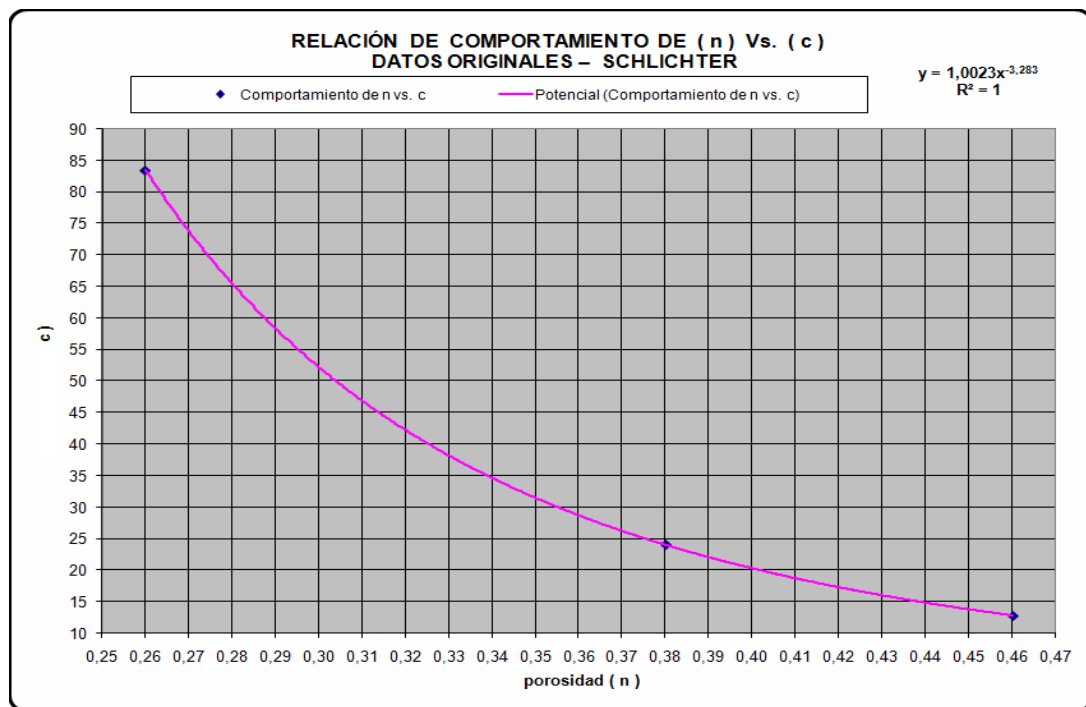
Análisis de la constante obtenida en la fórmula de Schlichter

Para la fórmula de Schlichter se optó por dar un valor promedio ya que no se encontró una correlación ni tendencia de ningún tipo entre la porosidad (n) y las

constantes encontradas 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 Compacidad (c). Datos originales– Schlichter.

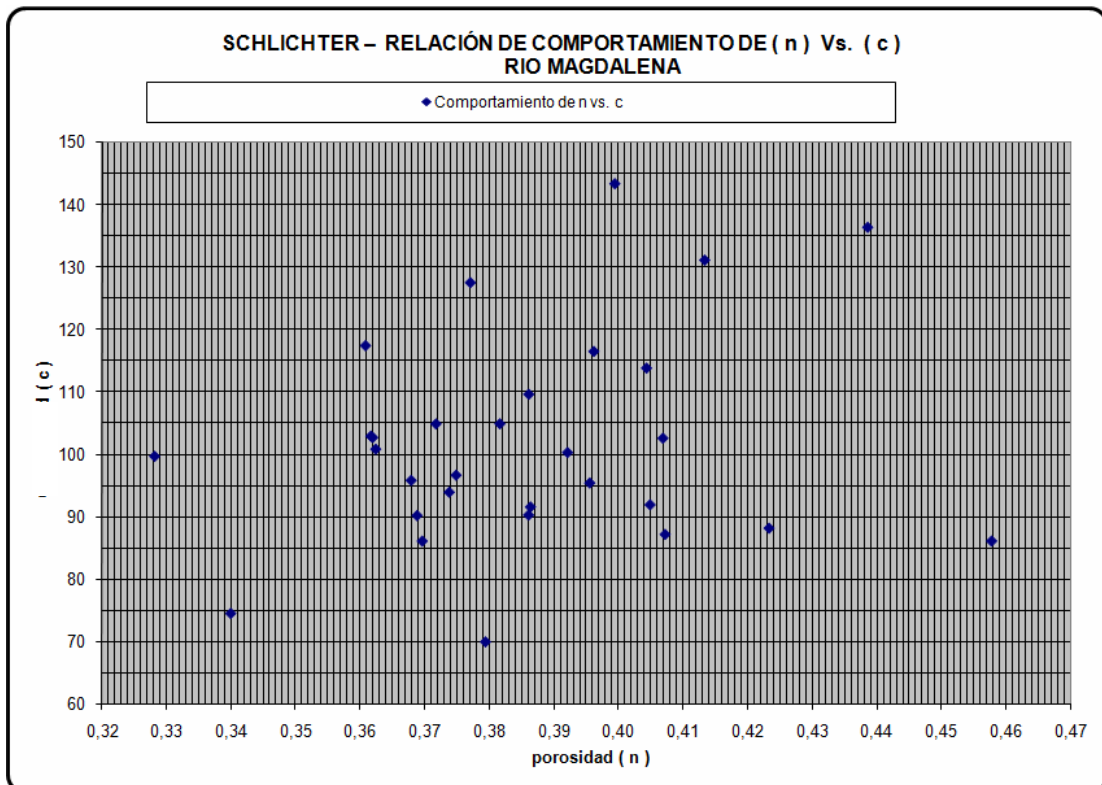


La gráfica anterior nos muestra una correlación $R^2=1$ con una formula $y = 1,0023x^{-3,283}$, esta calculada con los valores:

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

La gráfica a continuación es la obtenida a partir de los datos obtenidos de los cálculos de las constantes de Schlichter Vs la porosidad, para la arena del Río Magdalena.

Grafica 5. . Relación de comportamiento de la Porosidad (n) Vs Compacidad (c). Datos Rio Magdalena.



En la gráfica anterior se observa que en la arena del Río Magdalena no existe ninguna correlación o tendencia entre la porosidad (n) y las constantes calculadas con base a las constantes obtenidas en el laboratorio.

Análisis de la constante obtenida en la fórmula de Terzaghi

Según la fórmula de Terzaghi es necesario calcular 2 constantes C_1 y C_o (una está en función de la otra).

C_o está en función del tipo de suelo:

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

Tabla 20. Determinación de C_o según la forma de los agregados. (Tomado de Mecánica de Suelos, Juárez Badillo, TOMO I).

C_1 está en función de la porosidad (n).

En este proyecto de investigación se tomó un valor promedio de todos los C_o 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

En este caso se halló una constante promedio, la cuál fue calculada por medio de las constantes obtenidas en laboratorio (K).

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

El ajuste realizado para este análisis fue propuesto como mecanismo de disminución del porcentaje de error existente entre la constante de permeabilidad obtenida en el laboratorio con respecto a las constantes teóricas de Hazen, Terzaghi y Schlichter.

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 hallaron las constantes K de permeabilidad para los 30 ensayos realizados en cada arena seleccionada.
- Se tomó la constante promedio C 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 posteriormente compararlo con el K de permeabilidad obtenido en el laboratorio.
- Por último se calculó el porcentaje de error existente entre el K de laboratorio y el K de ajuste 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 hallaron las constantes K de permeabilidad para los 30 ensayos realizados en cada arena seleccionada.
- Se tomó la constante promedio C 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 posteriormente compararlo con el K de permeabilidad obtenido en el laboratorio.
- Por último se calculó el porcentaje de error existente entre el k de laboratorio y el k de ajuste para verificar la viabilidad de la constante hallada.

Ajuste propuesto para la ecuación de Terzagui

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

- Se hallaron las constantes K de permeabilidad para los 30 ensayos realizados en cada arena seleccionada.
- Se utilizaron las constantes promedios C_1 y C_0 en las fórmulas propuestas, calculadas en base al K de permeabilidad obtenido en el laboratorio para obtener un valor de K ajustado.
- Por último se calculó el porcentaje de error existente entre el K de laboratorio y el K de ajuste para calcular los errores derivados de dicho ajuste.

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

Después de realizar los ensayos de granulometría, permeabilidad y gravedad específica de sólidos, se obtuvieron los resultados que se muestran a continuación en las siguientes tablas. Paralelo a esto se calcularon los valores 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

La siguiente tabla muestra los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad ajustados con respecto a los obtenidos en el laboratorio para la arena del el río Magdalena.

Tabla 21. PORCENTAJES DE ERROR ALLEN HAZEN - RIO MAGDALENA

Nº	K _{LAB} (cm ³ /seg)	K _{AH.ORIGINAL} (cm ³ /seg)	ERROR _{AH.ORIGINAL} (%)	K _{AH.AJUSTE} (cm ³ /seg)	ERROR _{AH.AJUSTE} (%)	ERROR	RANGOS
1	0,004982834	0,08215843	1548,8	0,00550906	10,6	0,5	0-10
2	0,005543376	0,080596263	1353,9	0,00540431	2,5	1,2	
3	0,004809954	0,082332004	1611,7	0,005520699	14,8	1,7	
4	0,004603456	0,08129056	1665,9	0,005450866	18,4	2,5	
5	0,005374862	0,080596263	1399,5	0,00540431	0,5	3,3	
6	0,005302580	0,080422689	1416,7	0,005392671	1,7	3,5	
7	0,005740147	0,081116985	1313,2	0,005439227	5,2	3,6	
8	0,005295665	0,081984856	1448,2	0,005497421	3,8	3,8	
9	0,005318620	0,08215843	1444,7	0,00550906	3,6	3,8	
10	0,005815299	0,080422689	1283,0	0,005392671	7,3	5,2	
11	0,006288248	0,081464134	1195,5	0,005462504	13,1	5,8	
12	0,005639756	0,080943411	1335,2	0,005427588	3,8	5,8	
13	0,005197254	0,081984856	1477,5	0,005497421	5,8	7,3	
14	0,006049339	0,08215843	1258,1	0,00550906	8,9	7,6	
15	0,005735411	0,082679153	1341,6	0,005543976	3,3	8,9	
16	0,005324617	0,08215843	1443,0	0,00550906	3,5	9,0	
17	0,006235402	0,080769837	1195,3	0,005415949	13,1	10,6	10--20
18	0,005800222	0,079901966	1277,6	0,005357755	7,6	11,1	
19	0,004590182	0,080422689	1652,1	0,005392671	17,5	12,1	
20	0,006115577	0,081116985	1226,4	0,005439227	11,1	13,1	
21	0,006029503	0,081811282	1256,8	0,005485782	9,0	13,1	
22	0,005445621	0,08215843	1408,7	0,00550906	1,2	14,8	
23	0,006264073	0,08215843	1211,6	0,00550906	12,1	17,5	
24	0,004149246	0,081811282	1871,7	0,005485782	32,2	18,4	
25	0,003921900	0,080422689	1950,6	0,005392671	37,5	24,8	20-30
26	0,005097223	0,080422689	1477,8	0,005392671	5,8	28,6	
27	0,004193825	0,080422689	1817,6	0,005392671	28,6	29,4	30-40
28	0,003650077	0,078686947	2055,8	0,005276283	44,6	32,2	
29	0,007017362	0,078686947	1021,3	0,005276283	24,8	37,5	40-50
30	0,007474223	0,078686947	952,8	0,005276283	29,4	44,6	
Mediana :			1404,1	Mediana :	9,0		

En la tabla anterior se muestra un análisis de los resultados obtenidos con respecto a los porcentajes de error. La mediana obtenida del error sin hacer el ajuste fue de 1404,4% y con el ajuste es de 9,0%.

Después de hacer el ajuste, se analiza que de los 30 ensayos realizados para esta arena el 53,33% de las muestras tiene porcentajes de error entre 0 y 10. El 26,67% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 10 a 20. El 10% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 20 a 30. El 6,67% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 30 a 40 y el 3,33% tiene un porcentaje de error entre un rango de 40 a 50.

Porcentaje de error de Terzagui

La siguiente tabla muestra los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad ajustados con respecto a los obtenidos en el laboratorio para la arena del el río Magdalena.

Tabla 22. PORCENTAJES DE ERROR TERZAGUI - RIO MAGDALENA

N°	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	0,004982834	0,051412244	931,8	0,005775949	15,9	1,8	0-10
2	0,005543376	0,045549287	721,7	0,00511727	7,7	2,7	
3	0,004809954	0,060336811	1154,4	0,006778586	40,9	2,9	
4	0,004603456	0,040218844	773,7	0,004518418	1,8	4,5	
5	0,005374862	0,028426322	428,9	0,003193578	40,6	6,6	
6	0,005302580	0,040407672	662,0	0,004539632	14,4	7,7	
7	0,005740147	0,04538842	690,7	0,005099198	11,2	9,6	
8	0,005295665	0,040895246	672,2	0,004594409	13,2	10,6	
9	0,005318620	0,041093403	672,6	0,004616671	13,2	11,2	10--20
10	0,005815299	0,059203283	918,1	0,006651239	14,4	11,9	
11	0,006288248	0,090749721	1343,2	0,010195349	62,1	13,2	
12	0,005639756	0,055034977	875,8	0,006182948	9,6	13,2	
13	0,005197254	0,045011488	766,1	0,005056851	2,7	14,2	
14	0,006049339	0,051397299	749,6	0,00577427	4,5	14,4	
15	0,005735411	0,043784184	663,4	0,004918969	14,2	14,4	
16	0,005324617	0,061499195	1055,0	0,006909175	29,8	15,9	
17	0,006235402	0,043463018	597,0	0,004882887	21,7	18,6	20-30
18	0,005800222	0,050125329	764,2	0,005631369	2,9	21,7	
19	0,004590182	0,054975148	1097,7	0,006176226	34,6	24,3	
20	0,006115577	0,0694427	1035,5	0,007801595	27,6	27,6	
21	0,006029503	0,043699413	624,8	0,004909445	18,6	29,8	30-40
22	0,005445621	0,054216164	895,6	0,006090958	11,9	30,3	
23	0,006264073	0,061677194	884,6	0,006929173	10,6	34,6	40-50
24	0,004149246	0,064602391	1457,0	0,007257806	74,9	40,6	
25	0,003921900	0,077578304	1878,1	0,008715596	122,2	40,9	
26	0,005097223	0,048358392	848,7	0,005432862	6,6	49,5	50-130
27	0,004193825	0,046386897	1006,1	0,005211372	24,3	62,1	
28	0,003650077	0,055310262	1415,3	0,006213875	70,2	70,2	
29	0,007017362	0,031523036	349,2	0,00354148	49,5	74,9	
30	0,007474223	0,046358312	520,2	0,005208161	30,3	122,2	
Mediana :			811,2	Mediana :		15,2	

En la tabla anterior se muestra un análisis de los resultados obtenidos con respecto a los porcentajes de error. La mediana obtenida del error sin hacer el ajuste fue de 811,2% y con el ajuste es de 15,2%.

Después de hacer el ajuste, se analiza que de los 30 ensayos realizados para esta arena el 23,33% de las muestras tiene porcentajes de error entre 0 y 10. El 33,33% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 10 a 20. El 13,33% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 20 a 30. El

6,67% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 30 a 40. El 10% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 40 a 50 y el 13,33% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 50 a 130.

Porcentaje de error de Schlichter

La siguiente tabla muestra los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad ajustados con respecto a los obtenidos en el laboratorio para la arena del río Magdalena.

Tabla 23. PORCENTAJES DE ERROR SCHLICHTER- RIO MAGDALENA

N°	K _{LAB} (cm ² /seg)	K _{T.ORIGINAL} (cm ² /seg)	ERROR _{T.ORIGINAL} (%)	K _{T.AJUSTE} (cm ² /seg)	ERROR _{T.AJUSTE} (%)	ERROR	RANGOS
1	0,004982834	0,023938378	380,4	0,005368376	7,7	0,8	0-10
2	0,005543376	0,021312088	284,5	0,005266301	5,0	0,9	
3	0,004809954	0,027920678	480,5	0,005379718	11,8	0,9	
4	0,004603456	0,018961529	311,9	0,005311668	15,4	1,2	
5	0,005374862	0,013767302	156,1	0,005266301	2,0	1,4	
6	0,005302580	0,019032314	258,9	0,00525496	0,9	2,0	
7	0,005740147	0,02124785	270,2	0,005300326	7,7	3,1	
8	0,005295665	0,019270585	263,9	0,005357034	1,2	3,1	
9	0,005318620	0,019360698	264,0	0,005368376	0,9	5,0	
10	0,005815299	0,027391903	371,0	0,00525496	9,6	5,8	
11	0,006288248	0,041530771	560,5	0,005323009	15,3	6,2	
12	0,005639756	0,025537246	352,8	0,005288984	6,2	7,7	
13	0,005197254	0,02109268	305,8	0,005357034	3,1	7,7	
14	0,006049339	0,023931727	295,6	0,005368376	11,3	9,6	
15	0,005735411	0,020558624	258,5	0,005402401	5,8	10,0	10--20
16	0,005324617	0,028438096	434,1	0,005368376	0,8	11,3	
17	0,006235402	0,020389462	227,0	0,005277643	15,4	11,3	
18	0,005800222	0,023336599	302,3	0,005220935	10,0	11,8	
19	0,004590182	0,025504197	455,6	0,00525496	14,5	13,3	
20	0,006115577	0,031980973	422,9	0,005300326	13,3	14,3	
21	0,006029503	0,020508826	240,1	0,005345693	11,3	14,5	
22	0,005445621	0,025187178	362,5	0,005368376	1,4	15,3	
23	0,006264073	0,028517658	355,3	0,005368376	14,3	15,4	
24	0,004149246	0,029821851	618,7	0,005345693	28,8	15,4	
25	0,003921900	0,035618841	808,2	0,00525496	34,0	25,3	20-30
26	0,005097223	0,022557406	342,5	0,00525496	3,1	26,7	
27	0,004193825	0,021681515	417,0	0,00525496	25,3	28,8	
28	0,003650077	0,025632739	602,3	0,005141543	40,9	31,2	30-40
29	0,007017362	0,015092164	115,1	0,005141543	26,7	34,0	
30	0,007474223	0,021645528	189,6	0,005141543	31,2	40,9	
Mediana :			327,2	Mediana :			10,6

En la tabla anterior se muestra un análisis de los resultados obtenidos con respecto a los porcentajes de error. La mediana obtenida del error sin hacer el ajuste fue de 327,2% y con el ajuste es de 10,6%.

Después de hacer el ajuste, se analiza que de los 30 ensayos realizados para esta arena el 46,67% de las muestras tiene porcentajes de error entre 0 y 10. El 33,33% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 10 a 20. El 10% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 20 a 30 y el 10% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 30 a 40.

7. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- Para garantizar la saturación total de la muestra se recomienda almacenar las muestras en recipientes con agua y evitar mantenerlos en sacos en los cuales son llevados al laboratorio, ya que de esta forma las muestras se secan.
- Para el ensayo de gravedad específica de sólidos, es necesario extraer todas las burbujas de aire para disminuir los porcentajes de error.
- Con el fin de evitar pérdidas de material, se debería tener en el laboratorio bandejas para secado de mayor volumen ya que con las bandejas actuales se tiene el riesgo de perder material al pasarlo del matraz a dicha bandeja.
- En los ensayos de permeabilidad que fueron realizados en el permeámetro de cabeza constante, al compactar las arenas se observa que la compacidad que se hace en el terreno no es la misma en el terreno y por lo tanto los valores del coeficiente de permeabilidad obtenido en los ensayos solamente dan órdenes de magnitud mas no da 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 al momento de seleccionar el material, hacer un cuarteo para obtener una muestra representativa ya que si se toma para un ensayo la parte superior de la muestra y en otro ensayo la parte inferior probablemente podrían dar diferentes granulometrías y permeabilidades.

8. CONCLUSIONES

- Los modelos matemáticos de Terzaghi, Schlichter y Allen Hazen, no son aplicables para las arenas del río Sogamoso y el río Magdalena a la altura de Barrancabermeja, en un rango de porosidad (n) del 40%
- Los modelos matemáticos obtenidos en esta investigación permiten que las ecuaciones de Terzagui, Schlichter y Allen Hazen sean aplicables a las arenas del río Sogamoso y el río Magdalena en la altura de Barrancabermeja con errores promedios entre el 17% y el 19% y entre el 9% y el 15% respectivamente.
- Los ajustes realizados tienen un menor rango de error en las arenas del río Magdalena.
- La ecuación de Schlichter original mostraba una relación inversa entre la compacidad (c) y la porosidad (n). En esta investigación no se observó esa tendencia, por lo tanto se halló una constante única para cada arena.
- Las ecuaciones utilizadas para calcular la permeabilidad con base en el D_{10} , no pretenden de ninguna forma sustituir el ensayo de permeabilidad, pero brindan una aproximación satisfactoria previa a dichos ensayos, para que de esta forma el ingeniero tenga una idea preliminar del suelo con el que está tratando.
- Por medio de los valores de permeabilidades se puede obtener la clasificación del suelo. En la tabla 5 (valores relativos del coeficiente de permeabilidad) del libro Mecánica del Suelo, Universidad del Cauca, se observa el modo de clasificar el suelo en relación a la permeabilidad. En esta investigación los

valores obtenidos en los ensayos son del orden de $*10^{-3}$ cm./seg., que son valores típicos de arenas mal gradadas y limpias.

- Por medio de los valores obtenidos en el laboratorio de gravedad específica de sólidos para las 2 arenas estudiadas estuvieron en un rango de 2.55 a 2.70; estos valores son propios de las arenas gradadas.

BIBLIOGRAFÍA

- BERRY, Meter L. y REID, David. Mecánica de Suelos, Traducción de la primera edición en inglés de AN INTRODUCTION TO SOIL MECHANICS. Bogotá D.C. Editorial McGRAW-HILL, 1993. 415 pág.
ISBN: 958 – 600 – 172 – 5
- BOWLES, Joseph. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. Traducción de la segunda edición en inglés. Segunda edición. México D.F. Limusa Noriega Editores, 1990. 639 pág.
- CRESPO VILLALAZ, Carlos. Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Cuarta edición. Bogotá D.C. Limusa Noriega Editores. México.
ISBN: 968 – 18 – 3165 – 9
- JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, 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
- MARIN BERNAL, Rodrigo. Normas de Ensayo para Carreteras TOMO I. Bogotá D.C. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1998. 425 pág.
ISBN: 958 – 8060 – 00 – 1
- POLANCO HURTADO, Margarita. Mecánica de Suelos. Universidad del Cauca.

- WHITLOW, Roy. Fundamentos de Mecánica de Suelos, Traducción autorizada de la segunda edición de la obra BASIC SOIL MECHANICS. Segunda edición. México D.F. Compañía Editorial Continental 1994. 589 pág.
ISBN: 968 – 26 – 1239 – X

ANEXOS

ANEXO A

REGISTRO FOTOGRÁFICO

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA



Fig. 1 Recolección de la muestra



Fig. 2 Material seco después de lavado
– Arena Sogamoso –



Fig. 3 Material seco después de lavado
– Arena Magdalena –



Fig. 4 Selección de los tamices a utilizar
en orden decreciente



Fig 5 Pasar el material seleccionado a través de la serie de tamices



Fig. 6 Pesar el material retenido en cada tamiz.

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO RELATIVO



Fig. 7. Calibrar el matraz a utilizar a diferentes Temperaturas



Fig. 8 limpiar el matraz.

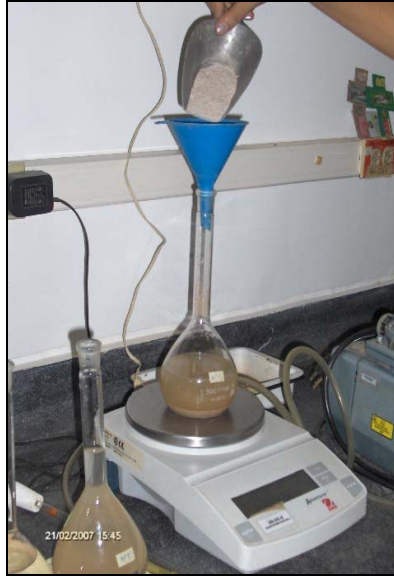


Fig. 9 Adicionar la muestra de suelo seleccionada y eliminar las burbujas de aire existentes en el matraz



Fig.10 Agregar nuevamente agua hasta la marca del matraz y finalizar la eliminación de las burbujas de aire



Fig. 11 Pesar el matraz con agua y suelo registrando su temperatura



Fig. 12 Pesar la muestra de suelo antes y después de llevar al horno

ENSAYO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD



Fig. 13 Pesar la cámara y todos los elementos en la que estará contenida la muestra de suelo



Fig. 14 Armar el aparato de permeabilidad de cabeza constante



Fig. 15 Armar y pesar la cámara con la muestra de suelo seleccionada determinando las dimensiones de la misma



Fig. 16 Conectar la cámara al aparato de permeabilidad de cabeza constante



Fig. 17 Abrir las válvulas permitiendo el paso del agua y la saturación de la muestra



Fig. 18 Recolectar la cantidad de agua en un tiempo establecido y medir la temperatura



Fig. 19 Pesar la muestra de suelo antes y después de llevar al horno

ANEXO B

ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA

RIOS SOGAMOSO



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

Localización: RIO SOGAMOSO	Fecha: 31 - Agosto - 2007
Muestra: Arena río Sogamoso	Operador: Héctor Bayona y Sergio Prada
Ensayo N°: N° 3	Cálculo: Héctor Bayona y Sergio Prada

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – RIO SOGAMOSO – MUESTRA N° 3

W1 = 1613,7 gr. W2 = 1530,9 gr.

Tamiz	Abertura mm.	Peso Retenido gr.	% Ret. Parcial %	% Pasa %
N° 1	25,4	0	0,00	100,00
N° 3/4	19,05	10,3	0,64	99,36
N° 1/2	12,7	23,1	1,43	97,93
N° 3/8	9,50	11,4	0,71	97,22
N° 4	4,75	120,8	7,49	89,74
N° 8	2,36	133,0	8,24	81,50
N° 10	2,00	48,5	3,01	78,49
N° 16	1,18	94,4	5,85	72,64
N° 20	0,84	108,4	6,72	65,92
N° 30	0,60	279,7	17,33	48,59
N° 40	0,43	233,0	14,44	34,15
N° 50	0,30	154,3	9,56	24,59
N° 60	0,25	129,1	8,00	16,59
N° 80	0,213	71,1	4,41	12,18
N° 100	0,149	28,0	1,74	10,45
N° 200	0,074	50,1	3,10	7,34
FONDO	-----	118,5	7,34	0,00
TOTAL		1613,7	100	

% GRAVAS	100 – % Pasa Tamiz N° 4
% ARENAS	100 – % Gravas – % Pasa Tamiz N° 200
% FINOS	% Pasa Tamiz N° 200

% GRAVAS	10,26
% ARENAS	82,39
% FINOS	7,34

Cu = $\frac{D_{60}}{D_{10}}$

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$$

D10 (mm) =	0,14
D30 (mm) =	0,36
D60 (mm) =	0,72

Cu = 5,14

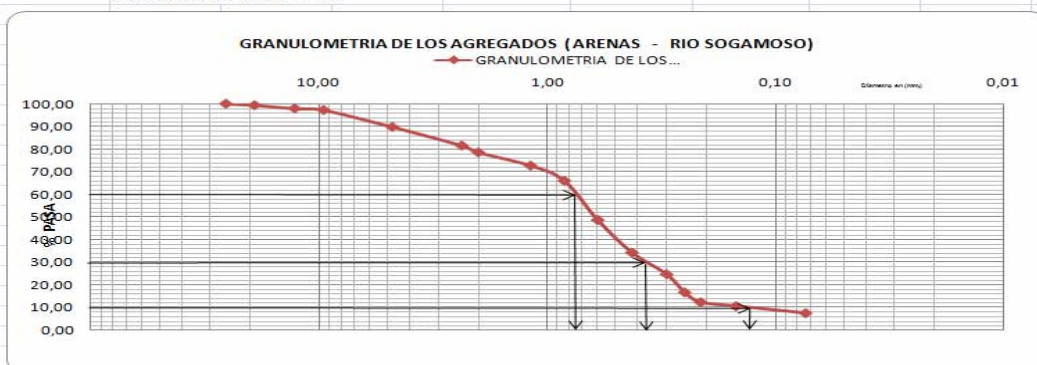
Cc = 1,29

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 nomenclatura simple, ya que el % de finos es menor al 5%



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

Localización: RIO SOGAMOSO Fecha: 31 - Agosto - 2007
 Muestra: Arena río Sogamoso Operador: Héctor Bayona y Sergio Prada
 Ensayo N°: N° 2 Cálculo: Héctor Bayona y Sergio Prada

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – RÍO SOGAMOSO – MUESTRA N° 2

W1 = 1507,4 gr. W2 = 1416,9 gr.

Tamiz	Abertura mm.	Peso Retenido gr.	% Ret. Parcial %	% Pasa %
N° 3/4	19,05	0	0,00	100,00
N° 1/2	12,7	31,6	2,10	97,90
N° 3/8	9,50	12,6	0,84	97,07
N° 4	4,75	120,2	7,97	89,09
N° 8	2,36	135,5	8,99	80,10
N° 10	2,00	28,3	1,88	78,23
N° 16	1,18	84,3	5,59	72,64
N° 20	0,84	96,4	6,40	66,24
N° 30	0,60	254,8	16,90	49,34
N° 40	0,43	226,6	15,03	34,30
N° 50	0,30	151,1	10,02	24,28
N° 60	0,25	99,3	6,59	17,69
N° 80	0,213	83,7	5,55	12,14
N° 100	0,149	19,7	1,31	10,83
N° 200	0,074	37,8	2,51	8,33
FONDO	-----	125,5	8,33	0,00
TOTAL		1507,4	100,00	

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

% GRAVAS	10,91
% ARENAS	80,77
% FINOS	8,33

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$$

D10 (mm) =	0,13
D30 (mm) =	0,37
D60 (mm) =	0,74

$$Cu = 5,69$$

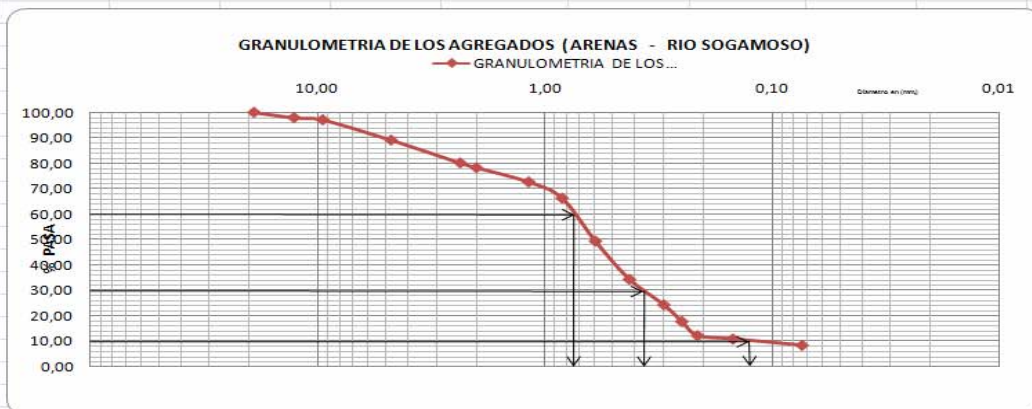
$$Cc = 1,42$$

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO
 $Cu \geq 6$; $Cc = 1 \leq Cc \leq 3$

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 nomenclatura simple, ya que el % de finos es menor al 5%



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

Localización: RIO SOGAMOSO
 Muestra: Arena río Sogamoso
 Ensayo N°: N° 1

Fecha: 31 - Agosto - 2007
 Operador: Héctor Bayona y Sergio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona y Sergio Prada

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – RÍO SOGAMOSO – MUESTRA N° 1

W1 = 1537,3 gr. W2 = 1445,9 gr.

Tamiz	Abertura mm.	Peso Retenido gr.	% Ret. Parcial %	% Pasa %
N° 1	25,4	0	0,00	100,00
N° 3/4	19,05	24,5	1,59	98,41
N° 1/2	12,7	36	2,34	96,06
N° 3/8	9,50	10,4	0,68	95,39
N° 4	4,75	127,1	8,27	87,12
N° 8	2,36	125,5	8,16	78,96
N° 10	2,00	50,0	3,25	75,70
N° 16	1,18	84,9	5,52	70,18
N° 20	0,84	96,0	6,24	63,94
N° 30	0,60	249,3	16,22	47,72
N° 40	0,43	218,7	14,23	33,49
N° 50	0,30	146,2	9,51	23,98
N° 60	0,25	101,9	6,63	17,36
N° 80	0,213	74,8	4,87	12,49
N° 100	0,149	22,6	1,47	11,02
N° 200	0,074	48,2	3,14	7,88
FONDO	-----	121,2	7,88	0,00
TOTAL		1537,3	100,00	

% GRAVAS	100 – % Pasa Tamiz N° 4
% ARENAS	100 – % Gravas – % Pasa Tamiz N° 200
% FINOS	% Pasa Tamiz N° 200

% GRAVAS	12,88
% ARENAS	79,24
% FINOS	7,88

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$$

D10 (mm) =	0,14
D30 (mm) =	0,38
D60 (mm) =	0,76

$$Cu = 5,43$$

$$Cc = 1,36$$

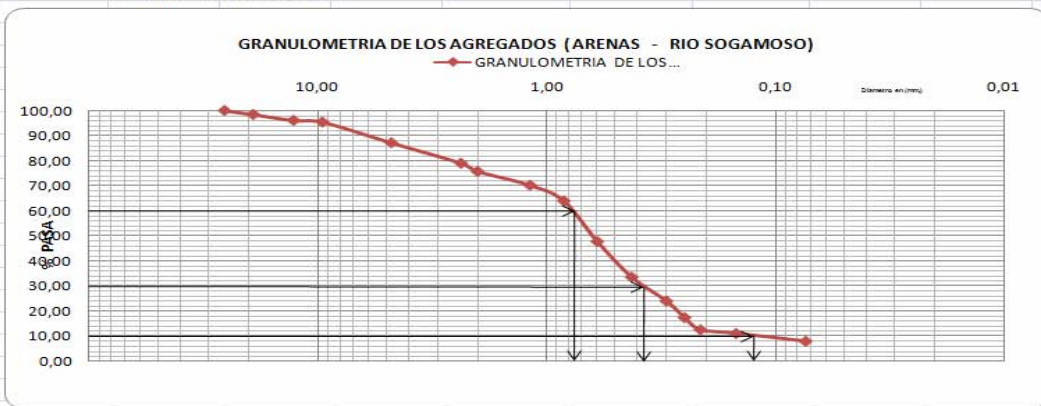
CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO

$$Cu \geq 6 \quad ; \quad Cc = 1 \leq Cc \leq 3$$

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 nomenclatura simple, ya que el % de finos es menor al 5%

RIO MAGDALENA



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

Localización: RIO MAGDALENA
Muestra: Arena río Magdalena
Ensayo N°: N° 1
Fecha: 2 - Diciembre - 2007
Operador: Héctor Bayona y Sergio Prada
Cálculo: Héctor Bayona y Sergio Prada

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – RIO MAGDALENA – MUESTRA N° 1

W1 = 1497,8 gr. **W2 =** 1486,4 gr.

Tamiz	Abertura mm.	Peso Retenido gr.	% Ret. Parcial %	% Pasa %
N° 1 1/2		0	0,00	100
N° 1	25,4	29,8	1,99	98,01
N° 3/4	19,05	155,7	10,40	87,62
N° 1/2	12,7	175	11,68	75,93
N° 3/8	9,50	95	6,34	69,59
N° 4	4,75	139,3	9,30	60,29
N° 8	2,36	84,5	5,64	54,65
N° 10	2,00	40,6	2,71	51,94
N° 16	1,18	81,8	5,46	46,47
N° 20	0,84	74,7	4,99	41,49
N° 30	0,60	153,0	10,21	31,27
N° 40	0,43	110,2	7,36	23,92
N° 50	0,30	120,8	8,07	15,85
N° 60	0,25	78,5	5,24	10,61
N° 80	0,213	78,0	5,21	5,40
N° 100	0,149	24,8	1,66	3,75
N° 200	0,074	40,6	2,71	1,03
FONDO	-----	15,5	1,03	0,00
TOTAL		1497,8	100	

% GRAVAS	100 – % Pasa Tamiz N° 4
% ARENAS	100 – % Gravas – % Pasa Tamiz N° 200
% FINOS	% Pasa Tamiz N° 200

% GRAVAS	39,71
% ARENAS	59,25
% FINOS	1,03

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$$

D10 (mm) =	0,21
D30 (mm) =	0,41
D60 (mm) =	2,5

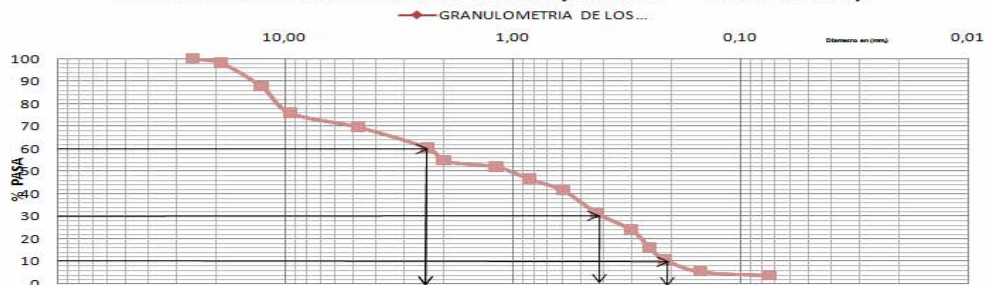
Cu =	11,90
Cc =	0,32

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO

$Cu \geq 6$; $Cc = 1 \leq Cc \leq 3$
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

GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS (ARENAS - MAGDALENA)



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 nomenclatura simple, ya que el % de finos es menor al 5%



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

Localización: RIO MAGDALENA
 Muestra: Arena río Magdalena
 Ensayo N°: N° 2

Fecha: 2 - Diciembre - 2007
 Operador: Héctor Bayona y Sergio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona y Sergio Prada

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – RÍO MAGDALENA – MUESTRA N° 2

W1 = 1529,7 gr. W2 = 1515,2 gr.

Tamiz	Abertura mm.	Peso Retenido gr.	% Ret. Parcial %	% Pasa %
N° 1 1/2		0	0	100
N° 1	25,4	63,2	4,13	95,87
N° 3/4	19,05	140,5	9,18	86,68
N° 1/2	12,7	139,9	9,15	77,54
N° 3/8	9,50	94,8	6,20	71,34
N° 4	4,75	183,2	11,98	59,36
N° 8	2,36	98,3	6,43	52,94
N° 10	2,00	43,6	2,85	50,09
N° 16	1,18	67,3	4,40	45,69
N° 20	0,84	76,6	5,01	40,68
N° 30	0,60	139,2	9,10	31,58
N° 40	0,43	135,2	8,84	22,74
N° 50	0,30	116,0	7,58	15,16
N° 60	0,25	80,0	5,23	9,93
N° 80	0,213	72,3	4,73	5,20
N° 100	0,149	22,0	1,44	3,77
N° 200	0,074	38,3	2,50	1,26
FONDO	-----	19,3	1,26	0,00
TOTAL		1529,7	100,00	

% GRAVAS	100 – % Pasa Tamiz N° 4
% ARENAS	100 – % Gravas – % Pasa Tamiz N° 200
% FINOS	% Pasa Tamiz N° 200

% GRAVAS	40,64
% ARENAS	58,10
% FINOS	1,26

$Cu = \frac{D60}{D10}$

$Cc = \frac{D30^2}{D60 \cdot D10}$

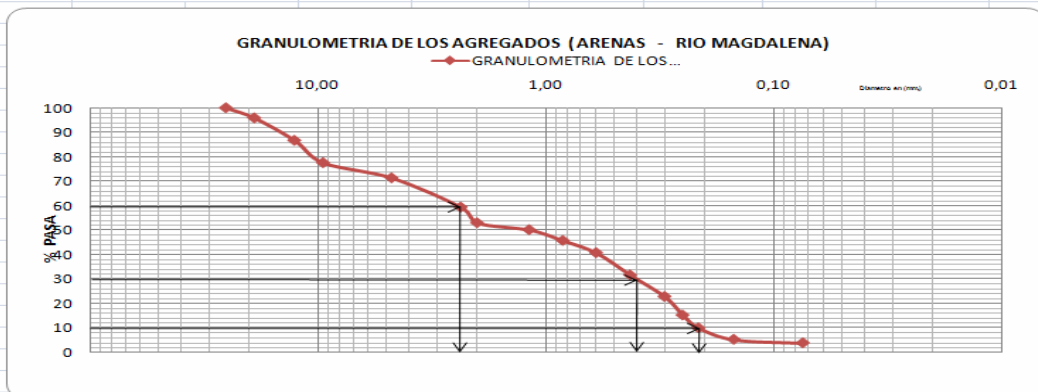
D10 (mm) =	0,21
D30 (mm) =	0,4
D60 (mm) =	2,3

Cu = 10,95

Cc = 0,33

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO
 $Cu \geq 6$; $Cc = 1 \leq Cc \leq 3$
 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



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 nomenclatura simple, ya que el % de finos es menor al 5%



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

Localización: RIO MAGDALENA Fecha: 2 - Diciembre - 2007
 Muestra: Arena río Magdalena Operador: Héctor Bayona y Sergio Prada
 Ensayo N°: N° 3 Cálculo: Héctor Bayona y Sergio Prada

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – RIO MAGDALENA – MUESTRA N° 3

W1 = 1518,7 gr. W2 = 1506,9 gr.

Tamiz	Abertura mm.	Peso Retenido gr.	% Ret. Parcial %	% Pasa %
N° 1 1/2		0	0	100
N° 1	25,4	65,2	4,29	95,71
N° 3/4	19,05	134,15	8,83	86,87
N° 1/2	12,7	137,65	9,06	77,81
N° 3/8	9,50	90,7	5,97	71,84
N° 4	4,75	190,1	12,52	59,32
N° 8	2,36	94,5	6,22	53,10
N° 10	2,00	23,9	1,57	51,52
N° 16	1,18	70,4	4,64	46,89
N° 20	0,84	79,3	5,22	41,67
N° 30	0,60	134,6	8,86	32,80
N° 40	0,43	139,3	9,17	23,63
N° 50	0,30	120,1	7,91	15,72
N° 60	0,25	82,3	5,42	10,30
N° 80	0,213	74,3	4,89	5,41
N° 100	0,149	22,6	1,49	3,92
N° 200	0,074	43,6	2,87	1,05
FONDO	-----	16,0	1,05	0,00
TOTAL		1518,7		

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

% GRAVAS	40,68
% ARENAS	58,27
% FINOS	1,05

Cu = $\frac{D_{60}}{D_{10}}$

Cc = $\frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$

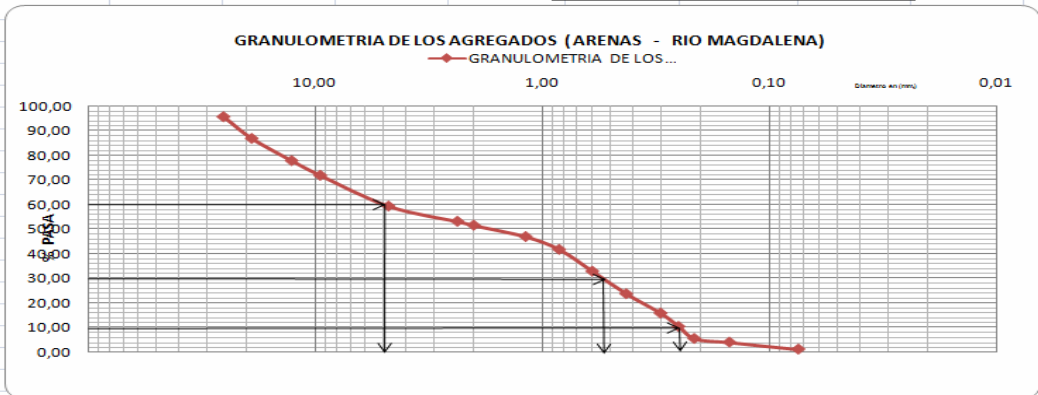
D10 (mm) =	0,25
D30 (mm) =	0,45
D60 (mm) =	5,00

Cu = 20,00

Cc = 0,16

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO
 Cu = ≥ 6 ; Cc = $1 \leq Cc \leq 3$
 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



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 nomenclatura simple, ya que el % de finos es menor al 5%

ANEXO C

ENSAYOS DE PESO ESPECÍFICO RELATIVO

RIO SOGAMOSO



PESO ESPECÍFICO RELATIVO (Gs)

Hoja 1 de 2

Localización : Rio Sogamoso
 Muestra : Arena Rio Sogamoso
 Cantidad de Ensayos : 15

Fecha : 16 - Enero - 2008
 Operador : Héctor Bayona Gutiérrez- Sergio Prada uribe
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez- Sergio Prada uribe

PESO ESPECÍFICO RELATIVO – SOGAMOSO

PRUEBA N°	1	2	3	4	5
MATRAZ N°	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3
TEMPERATURA (°C)	23	24	24	24	24
WMWS (gr.)	712,5	712,1	713,1	711,9	715,4
WMW (gr.)	661,39	661,28	661,28	661,28	661,28
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	1	2	3	4	5
PESO CAPSULA (gr.)	329,8	317,3	325,4	296,5	167,6
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	411,9	399,3	408,8	377,8	254,2
Ws - INICIAL - (gr.)	85	84,20	86,00	83,40	88,8
Ws - FINAL - (gr.)	82,1	82,0	83,4	81,3	86,6
Gs	2,65	2,63	2,64	2,65	2,67

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

PRUEBA N°	6	7	8	9	10
MATRAZ N°	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3
TEMPERATURA (°C)	25	26	25	25	24
WMWS (gr.)	712,3	713,4	712,7	713	712,9
WMW (gr.)	661,17	661,07	661,17	661,17	661,28
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	6	7	8	9	10
PESO CAPSULA (gr.)	168,0	338,6	339,3	338,2	170,3
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	246,9	422,3	419,1	420,7	250,8
Ws - INICIAL - (gr.)	83,9	85,60	84,80	85,10	85,1
Ws - FINAL - (gr.)	78,9	83,7	79,8	82,5	80,5
Gs	2,84	2,67	2,82	2,69	2,79

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

PRUEBA N°	11	12	13	14	15
MATRAZ N°	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3
TEMPERATURA (°C)	24	25	25	25	25
WMWS (gr.)	713,8	711,4	713,4	714,4	714
WMW (gr.)	661,28	661,17	661,17	661,17	661,17
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	11	12	13	14	15
PESO CAPSULA (gr.)	329,7	285,7	298,8	168,5	285,3
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	412,3	366,1	381,2	251,6	369,8
Ws - INICIAL - (gr.)	86,1	82,10	86,10	87,70	86,6
Ws - FINAL - (gr.)	82,6	80,4	82,4	83,1	84,5
Gs	2,75	2,66	2,73	2,78	2,67



PESO ESPECÍFICO RELATIVO (Gs)

Hoja 2 de 2

Localización : Río Sogamoso Fecha : 19 - Enero - 2008
 Muestra : Arena Río Sogamoso Operador : Héctor Bayona Gutiérrez- Sergio Prada Uribe
 Cantidad de Ensayos : 15 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez- Sergio Prada Uribe

PESO ESPECÍFICO RELATIVO – SOGAMOSO

PRUEBA N°	16	17	18	19	20
MATRAZ N°	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3
TEMPERATURA (°C)	25	25	24	24	25
WMWS (gr.)	712,8	714,4	712,9	713,6	714,1
WMW (gr.)	661,17	661,17	661,28	661,28	661,17
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	1	2	3	4	5
PESO CAPSULA (gr.)	361,1	338,2	328,2	338,6	286,2
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	442,8	423,1	411,3	422,3	370,7
Ws - INICIAL - (gr.)	86,6	86,10	85,00	85,40	86,7
Ws - FINAL - (gr.)	81,7	84,9	83,1	83,7	84,5
Gs	2,72	2,68	2,64	2,67	2,68

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

PRUEBA N°	21	22	23	24	25
MATRAZ N°	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3
TEMPERATURA (°C)	24	24	24	24	24
WMWS (gr.)	713,8	714,8	713,1	713,8	712,5
WMW (gr.)	661,28	661,28	661,28	661,28	661,28
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	6	7	8	9	10
PESO CAPSULA (gr.)	166,8	169,9	328,7	338,3	285,1
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	249,7	253,6	412,1	421,5	366,8
Ws - INICIAL - (gr.)	85,6	87,40	85,00	85,10	83,2
Ws - FINAL - (gr.)	82,9	83,7	83,4	83,2	81,7
Gs	2,73	2,77	2,64	2,71	2,68

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

PRUEBA N°	26	27	28	29	30
MATRAZ N°	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3
TEMPERATURA (°C)	22	24	24	24	23
WMWS (gr.)	713	713,1	714,2	718,2	713,9
WMW (gr.)	661,50	661,28	661,28	661,28	661,39
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	11	12	13	14	15
PESO CAPSULA (gr.)	286,1	328,1	296,9	168,2	359,7
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	368,1	411,4	381,3	258,7	445,1
Ws - INICIAL - (gr.)	83,6	83,80	85,00	91,70	85,8
Ws - FINAL - (gr.)	82,0	83,3	84,4	90,5	85,4
Gs	2,69	2,65	2,68	2,70	2,60



COMPARACIÓN PESO ESPECÍFICO RELATIVO (Gs)

Hoja 1 de 1

Localización : Sogamoso
 Muestra : Arena Sogamoso
 Cantidad de Ensayo 30

Fecha : 28 - Enero - 2008
 Operador : Héctor Bayona Gutiérrez- Sergio Prada Uribe
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez- Sergio Prada Uribe

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	
3	661,39	23	712,5	1	1	329,8	411,9	85,0	82,1	2,65
3	661,28	24	712,1	2	2	317,3	399,3	84,2	82,0	2,63
3	661,28	24	713,1	3	3	325,4	408,8	86,0	83,4	2,64
3	661,28	24	711,9	4	4	296,5	377,8	83,4	81,3	2,65
3	661,28	24	715,4	5	5	167,6	254,2	88,8	86,6	2,67
3	661,17	25	712,3	6	6	168,0	246,9	83,9	78,9	2,84
3	661,1	26	713,4	7	7	338,6	422,3	85,6	83,7	2,67
3	661,17	25	712,7	8	8	339,3	419,1	84,8	79,8	2,82
3	661,17	25	713,0	9	9	338,2	420,7	85,1	82,5	2,69
3	661,28	24	712,9	10	10	170,3	250,8	85,1	80,5	2,79
3	661,28	24	713,8	11	11	329,7	412,3	86,1	82,6	2,75
3	661,17	25	711,4	12	12	285,7	366,1	82,1	80,4	2,66
3	661,17	25	713,4	13	13	298,8	381,2	86,1	82,4	2,73
3	661,17	25	714,4	14	14	168,5	251,6	87,7	83,1	2,78
3	661,17	25	714,0	15	15	285,3	369,8	86,6	84,5	2,67
3	661,17	25	712,8	16	16	361,1	442,8	86,6	81,7	2,72
3	661,17	25	714,4	17	17	338,2	423,1	86,1	84,9	2,68
3	661,28	24	712,9	18	18	328,2	411,3	85,0	83,1	2,64
3	661,28	24	713,6	19	19	338,6	422,3	85,4	83,7	2,67
3	661,17	25	714,1	20	20	286,2	370,7	86,7	84,5	2,68
3	661,28	24	713,8	21	21	166,8	249,7	85,6	82,9	2,73
3	661,28	24	714,8	22	22	169,9	253,6	87,4	83,7	2,77
3	661,28	24	713,1	23	23	328,7	412,1	85,0	83,4	2,64
3	661,28	24	713,8	24	24	338,3	421,5	85,1	83,2	2,71
3	661,28	24	712,5	25	25	285,1	366,8	83,2	81,7	2,68
3	661,5	22	713,0	26	26	286,1	368,1	83,6	82,0	2,69
3	661,28	24	713,1	27	27	328,1	411,4	83,8	83,3	2,65
3	661,28	24	714,2	28	28	296,9	381,3	85,0	84,4	2,68
3	661,28	24	718,2	29	29	168,2	258,7	91,7	90,5	2,70
3	661,39	23	713,9	30	30	359,7	445,1	85,8	85,4	2,60

Gs promedio = 2,70

OBSERVACIONES:

RIO MAGDALENA



PESO ESPECÍFICO RELATIVO (Gs)

Hoja 1 de 2

Localización : Rio Magdalena
 Muestra : Arena Rio Magdalena
 Cantidad de Ensayos : 15

Fecha : 21 - Enero - 2008
 Operador : Héctor Bayona Gutiérrez- Sergio Prada Uribe
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez- Sergio Prada Uribe

PESO ESPECÍFICO RELATIVO - MAGDALENA

	1	2	3	4	5
PRUEBA N°					
MATRAZ N°	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3
TEMPERATURA (°C)	25	26	25	25	24
WMWS (gr.)	715,5	716,1	714,5	713,7	716,3
WMW (gr.)	661,17	661,07	661,17	661,17	661,28
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	1	2	3	4	5
PESO CAPSULA (gr.)	285,0	165,9	338,8	328,7	328,7
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	371,0	254,0	423,8	412,5	416,4
Ws - INICIAL - (gr.)	86,5	88,70	86,00	84,20	88,2
Ws - FINAL - (gr.)	86,0	88,1	85,0	83,8	87,7
Gs	2,72	2,66	2,68	2,68	2,68

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

	6	7	8	9	10
PRUEBA N°					
MATRAZ N°	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3
TEMPERATURA (°C)	25	24	24	25	24
WMWS (gr.)	713,9	717,2	714,5	717	713,8
WMW (gr.)	661,17	661,28	661,28	661,17	661,28
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	6	1	2	5	17
PESO CAPSULA (gr.)	338,3	168,0	325,5	328,0	327,6
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	422,3	256,9	410,8	418,0	412,3
Ws - INICIAL - (gr.)	84,3	89,80	85,80	90,20	85,1
Ws - FINAL - (gr.)	84,0	88,9	85,3	90,0	84,7
Gs	2,69	2,70	2,66	2,63	2,63

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

	11	12	13	14	15
PRUEBA N°					
MATRAZ N°	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3
TEMPERATURA (°C)	25	25	26	25	25
WMWS (gr.)	713	719,1	715,3	718,2	722,5
WMW (gr.)	661,17	661,17	661,07	661,17	661,17
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	8	19	12	13	16
PESO CAPSULA (gr.)	360,0	297,0	286,2	328,4	325,3
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	443,3	389,9	372,4	418,2	423,9
Ws - INICIAL - (gr.)	83,7	93,40	87,40	90,50	98,9
Ws - FINAL - (gr.)	83,3	92,9	86,2	89,8	98,6
Gs	2,65	2,66	2,70	2,74	2,65



PESO ESPECÍFICO RELATIVO (Gs)

Hoja 2 de 2

Localización : Rio Magdalena
 Muestra : Arena Rio Magdalena
 Cantidad de Ensayos : 15

Fecha : 24 - Enero - 2008
 Operador : Héctor Bayona Gutiérrez- Sergio Prada Uribe
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez- Sergio Prada Uribe

PESO ESPECÍFICO RELATIVO - MAGDALENA

PRUEBA N°	16	17	18	19	20
MATRAZ N°	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3
TEMPERATURA (°C)	25	26	26	26	26
WMWS (gr.)	714,5	717	714,6	716,7	715
WMW (gr.)	661,17	661,07	661,07	661,07	661,07
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	14	10	28	14	19
PESO CAPSULA (gr.)	169,1	297,2	338,3	328,9	360,2
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	252,7	386,5	424,0	418,0	446,8
Ws - INICIAL - (gr.)	85,5	89,70	86,10	89,60	87,1
Ws - FINAL - (gr.)	83,6	89,3	85,7	89,1	86,6
Gs	2,76	2,68	2,66	2,66	2,65

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

PRUEBA N°	21	22	23	24	25
MATRAZ N°	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3
TEMPERATURA (°C)	26	25	25	25	25
WMWS (gr.)	716	714,6	715,4	715	715
WMW (gr.)	661,07	661,17	661,17	661,17	661,17
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	1	12	16	17	45
PESO CAPSULA (gr.)	327,8	363,0	328,9	360,2	285,6
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	415,6	449,1	415,4	445,7	371,8
Ws - INICIAL - (gr.)	88,2	86,20	86,90	86,00	86,9
Ws - FINAL - (gr.)	87,8	86,1	86,5	85,5	86,2
Gs	2,67	2,64	2,68	2,70	2,66

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

PRUEBA N°	26	27	28	29	30
MATRAZ N°	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3	N° 3
TEMPERATURA (°C)	25	25	25	25	25
WMWS (gr.)	714,8	716,4	715,6	718,3	714
WMW (gr.)	661,17	661,17	661,17	661,17	661,17
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	10	28	43	44	46
PESO CAPSULA (gr.)	167,8	338,2	285,0	328,4	338,4
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	253,7	426,5	370,0	418,2	422,5
Ws - INICIAL - (gr.)	86,4	88,80	86,40	90,60	84,3
Ws - FINAL - (gr.)	85,9	88,3	85,0	89,8	84,1
Gs	2,66	2,67	2,78	2,75	2,69



COMPARACIÓN PESO ESPECÍFICO RELATIVO (Gs)

Hoja 2 de 2

Localización : Magdalena
 Muestra : Arena Magdalena
 Cantidad de Ensayo 30

Fecha : 16 - Enero - 2007
 Operador : Hector Bayona Gutierrez- Sergio Prada Uribe
 Cálculo: Hector Bayona Gutierrez- Sergio Prada Uribe

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 Nº	Wmw (gr.)	Tempera. (° C)	Wmws (gr.)	Ensayo Nº	Capsula Nº	Wc (gr.)	Wc + Ms (gr.)	Peso Suelo (gr.)		Gs
								Antes	Despues	
3	661,2	25	715,5	1	1	285,0	371,0	86,5	86,0	2,72
3	661,1	26	716,1	2	2	165,9	254,0	88,7	88,1	2,66
3	661,2	25	714,5	3	3	338,8	423,8	86,0	85,0	2,68
3	661,2	25	713,7	4	4	328,7	412,5	84,2	83,8	2,68
3	661,3	24	716,3	5	5	328,7	416,4	88,2	87,7	2,68
3	661,2	25	713,9	6	6	338,3	422,3	84,3	84,0	2,69
3	661,3	24	717,2	7	7	168,0	256,9	89,8	88,9	2,70
3	661,3	24	714,5	8	8	325,5	410,8	85,8	85,3	2,66
3	661,2	25	717,0	9	9	328,0	418,0	90,2	90,0	2,63
3	661,3	24	713,8	10	10	327,6	412,3	85,1	84,7	2,63
3	661,2	25	713,0	11	11	360,0	443,3	83,7	83,3	2,65
3	661,2	25	719,1	12	12	297,0	389,9	93,4	92,9	2,66
3	661,1	26	715,3	13	13	286,2	372,4	87,4	86,2	2,70
3	661,2	25	718,2	14	14	328,4	418,2	90,5	89,8	2,74
3	661,2	25	722,5	15	15	325,3	423,9	98,9	98,6	2,65
3	661,2	25	714,5	16	16	169,1	252,7	85,5	83,6	2,76
3	661,1	26	717,0	17	17	297,2	386,5	89,7	89,3	2,68
3	661,1	26	714,6	18	18	338,3	424,0	86,1	85,7	2,66
3	661,1	26	716,7	19	19	328,9	418,0	89,6	89,1	2,66
3	661,1	26	715,0	20	20	360,2	446,8	87,1	86,6	2,65
3	661,1	26	716,0	21	21	327,8	415,6	88,2	87,8	2,67
3	661,2	25	714,6	22	22	363,0	449,1	86,2	86,1	2,64
3	661,2	25	715,4	23	23	328,9	415,4	86,9	86,5	2,68
3	661,2	25	715,0	24	24	360,2	445,7	86,0	85,5	2,70
3	661,2	25	715,0	25	25	285,6	371,8	86,9	86,2	2,66
3	661,2	25	714,8	26	26	167,8	253,7	86,4	85,9	2,66
3	661,2	25	716,4	27	27	338,2	426,5	88,8	88,3	2,67
3	661,2	25	715,6	28	28	285,0	370,0	86,4	85,0	2,78
3	661,2	25	718,3	29	29	328,4	418,2	90,6	89,8	2,75
3	661,2	25	714,0	30	30	338,4	422,5	84,3	84,1	2,69

Gs promedio = 2,68

OBSERVACIONES:

ANEXO D

ENSAYOS DE PERMEABILIDADES

RÍO SOGAMOSO



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació	Río Sogamoso
Muestra :	Arena Río sogamoso
Cantidad de Ensayos :	2

Fecha :	16 - enero - 2008	Hoja 1 de 15
Operador :	Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada	
Cálculo:	Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada	

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO N° 1

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1516,1	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1757,5	gr.	
Peso suelo :	241,4	gr.	
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,5	cm	
Altura (L) :	4,60	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	152,64	cm ³	

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	320	23
2	180	310	23
3	180	300	23
4	180	290	23

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	285	23
6	180	270	23
7	180	265	23
8	180	256	23

Promedio	180	287	23
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0035 \text{ cm/seg.}$$

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO N° 2

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1516,1	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1762,9	gr.	
Peso suelo :	246,8	gr.	
Cabeza de agua (h) :	63,2	cm	

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

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	390	23,8
2	180	395	23,8
3	180	383	23,8
4	180	370	23,8

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	361	23,8
6	180	350	23,8
7	180	340	23,8
8	180	343	23,8

Promedio	180	367	23,8
----------	-----	-----	------

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0044 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0040 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Rio Sogamoso
 Muestra: Arena Rio sogamoso
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 16 - enero - 2008 Hoja 2 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO Nº 3

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1727,2	gr.
Peso suelo :	211,1	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,5	cm

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

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	360	24
2	180	350	24
3	180	350	24
4	180	340	24

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	240	24
6	180	330	24
7	180	320	24
8	180	310	24

Promedio	180	325	24
----------	-----	-----	----

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0039 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0035 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD RIO SOGAMOSO – ENSAYO Nº 4

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1755,4	gr.
Peso suelo :	239,3	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,1	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,60	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	152,64	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	450	24,4
2	180	445	24,4
3	180	410	24,4
4	180	390	24,4

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	370	24,4
6	180	353	24,4
7	180	341	24,4
8	180	330	24,4

Promedio	180	386	24,4
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9015$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0047 \text{ cm/seg.}$

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



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Río Sogamoso
 Muestra: Arena Río sogamoso
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 16 - enero - 2008 Hoja 3 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD RIO SOGAMOSO – ENSAYO N° 5

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1744,7	gr.
Peso suelo :	228,6	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,6	cm

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

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	530	25,0
2	180	510	25,0
3	180	490	25,0
4	180	485	25,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	480	25,0
6	180	470	25,0
7	180	463	25,0
8	180	450	25,0

Promedio	180	485	25
----------	-----	-----	----

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

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

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0051 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – MANCO – ENSAYO N° 6

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1721,4	gr.
Peso suelo :	205,3	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,5	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,20	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	139,37	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	560	25,8
2	180	560	25,8
3	180	550	25,8
4	180	545	25,8

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	530	25,8
6	180	525	25,8
7	180	510	25,8
8	180	500	25,8

Promedio	180	535	25,8
----------	-----	-----	------

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

$$n_T / n_{20} = 0,8734$$

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0052 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Río Sogamoso
 Muestra: Arena Río Sogamoso
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 16 - enero - 2008 Hoja 4 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO Nº 7

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1740,8	gr.
Peso suelo :	224,7	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,40	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	146,01	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	420	25,6
2	180	400	25,6
3	180	385	25,6
4	180	380	25,6

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	375	25,6
6	180	362	25,6
7	180	350	25,6
8	180	341	25,6

Promedio	180	377	25,6
----------	-----	-----	------

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0044 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0038 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO Nº 8

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1742,8	gr.
Peso suelo :	226,7	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,2	cm

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

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	280	26,0
2	180	250	26,0
3	180	245	26,0
4	180	230	26,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	240	26,0
6	180	230	26,0
7	180	235	26,0
8	180	220	26,0

Promedio	180	241	26
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0029 \text{ cm/seg.}$$

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



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Río Sogamoso
 Muestra: Arena Río sogamoso
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 17 - enero - 2008 Hoja 5 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO Nº 9

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1757,0	gr.
Peso suelo :	240,9	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,2	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,60	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	152,64	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	290	26,2
2	180	260	26,2
3	180	250	26,2
4	180	235	26,2

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	228	26,2
6	180	220	26,2
7	180	210	26,2
8	180	207	26,2

Promedio	180	238	26,2
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,8656$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0029 \text{ cm/seg.}$$

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO Nº 10

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1776,2	gr.
Peso suelo :	260,1	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,5	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,70	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	155,96	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	330	26,9
2	180	320	26,9
3	180	310	26,9
4	180	300	26,9

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	290	26,9
6	180	275	26,9
7	180	260	26,9
8	180	258	26,9

Promedio	180	293	26,9
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,8521$$

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

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



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Río Sogamoso
 Muestra: Arena Río sogamoso
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 17 - enero - 2008 Hoja 6 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO Nº 11

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1724,1	gr.
Peso suelo :	208,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,6	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	580	26,5
2	180	560	26,5
3	180	550	26,5
4	180	545	26,5

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	520	26,5
6	180	500	26,5
7	180	480	26,5
8	180	470	26,5

Promedio	180	526	26,5
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,8598$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0055 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0048 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO Nº 12

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1706,8	gr.
Peso suelo :	190,7	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,2	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	3,90	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	129,41	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	550	26,7
2	180	530	26,7
3	180	500	26,7
4	180	490	26,7

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	470	26,7
6	180	450	26,7
7	180	440	26,7
8	180	425	26,7

Promedio	180	482	26,7
----------	-----	-----	------

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0050 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0043 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Río Sogamoso
 Muestra: Arena Río sogamoso
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 17 - enero - 2008 Hoja 7 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO Nº 13

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 (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	390	26,1
2	180	378	26,1
3	180	350	26,1
4	180	340	26,1

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	328	26,1
6	180	310	26,1
7	180	300	26,1
8	180	295	26,1

Promedio	180	336	26,1
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,8675$$

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

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO Nº 14

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1749,5	gr.
Peso suelo :	233,4	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,5	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,40	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	146,01	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	500	26,5
2	180	495	26,5
3	180	490	26,5
4	180	480	26,5

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	475	26,5
6	180	460	26,5
7	180	450	26,5
8	180	445	26,5

Promedio	180	474	26,5
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,8598$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0055 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0047 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Río Sogamoso
 Muestra: Arena Río sogamoso
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 17 - enero - 2008 Hoja 8 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO N° 15

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1735,4	gr.
Peso suelo :	219,3	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,1	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	450	26,7
2	180	430	26,7
3	180	420	26,7
4	180	408	26,7

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	390	26,7
6	180	387	26,7
7	180	380	26,7
8	180	360	26,7

Promedio	180	403	26,7
----------	-----	-----	------

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

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

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO N° 16

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1751,9	gr.
Peso suelo :	235,8	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,2	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,40	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	146,01	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	310	26,5
2	180	300	26,5
3	180	290	26,5
4	180	285	26,5

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	280	26,5
6	180	275	26,5
7	180	270	26,5
8	180	260	26,5

Promedio	180	284	26,5
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,8598$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0033 \text{ cm/seg.}$$

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



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Río Sogamoso
 Muestra: Arena Río Sogamoso
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 17 - enero - 2008 Hoja 9 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO Nº 17

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1734,1	gr.
Peso suelo :	218,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,20	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	139,37	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	470	26
2	180	450	26
3	180	440	26
4	180	420	26

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	400	26
6	180	385	26
7	180	360	26
8	180	350	26

Promedio	180	409	26
----------	-----	-----	----

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

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

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO Nº 18

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1733,9	gr.
Peso suelo :	217,8	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	450	26,2
2	180	430	26,2
3	180	420	26,2
4	180	400	26,2

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	390	26,2
6	180	370	26,2
7	180	360	26,2
8	180	355	26,2

Promedio	180	397	26,2
----------	-----	-----	------

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

$$n_T / n_{20} = 0,8656$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0036 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Rio Sogamoso
 Muestra: Arena Rio sogamoso
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 17 - enero - 2008 Hoja 10 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO Nº 19

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1726,1	gr.
Peso suelo :	210,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,5	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	3,60	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	119,46	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	420	26,5
2	180	410	26,5
3	180	400	26,5
4	180	385	26,5

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	370	26,5
6	180	350	26,5
7	180	340	26,5
8	180	335	26,5

Promedio	180	376	26,5
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,8598$$

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

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO Nº 20

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1758,1	gr.
Peso suelo :	242,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,3	cm

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

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	550	25,8
2	180	520	25,8
3	180	510	25,8
4	180	500	25,8

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	478	25,8
6	180	465	25,8
7	180	445	25,8
8	180	430	25,8

Promedio	180	487	25,8
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,8734$$

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

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0051 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Rio Sogamoso
 Muestra: Arena Rio sogamoso
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 18 - enero - 2008 Hoja 11 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO Nº 21

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1715,4	gr.
Peso suelo :	199,3	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,5	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	3,70	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	122,78	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	570	24
2	180	560	24
3	180	547	24
4	180	530	24

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	520	24
6	180	515	24
7	180	495	24
8	180	480	24

Promedio	180	527	24
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0051 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0047 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO Nº 22

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1741,3	gr.
Peso suelo :	225,2	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,6	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	420	24,5
2	180	400	24,5
3	180	390	24,5
4	180	380	24,5

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	365	24,5
6	180	350	24,5
7	180	345	24,5
8	180	330	24,5

Promedio	180	373	24,5
----------	-----	-----	------

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0039 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0035 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Rio Sogamoso
 Muestra: Arena Rio sogamoso
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 18 - enero - 2008 Hoja 12 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO N° 23

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1733,7	gr.
Peso suelo :	217,6	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,20	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	139,37	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	450	25,3
2	180	440	25,3
3	180	427	25,3
4	180	420	25,3

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	410	25,3
6	180	400	25,3
7	180	385	25,3
8	180	370	25,3

Promedio	180	413	25,3
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,8833$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0046 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0040 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO N° 24

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1735,8	gr.
Peso suelo :	219,7	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,2	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	530	25,7
2	180	510	25,7
3	180	500	25,7
4	180	485	25,7

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	470	25,7
6	180	460	25,7
7	180	450	25,7
8	180	445	25,7

Promedio	180	481	25,7
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,8754$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0051 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0045 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Río Sogamoso
 Muestra: Arena Río sogamoso
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 18 - enero - 2008 Hoja 13 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO Nº 25

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base:	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo:	1746,0	gr.
Peso suelo:	229,9	gr.
Cabeza de agua (h):	63,2	cm

MOLDE		
Diametro (θ):	6,5	cm
Altura (L):	4,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$):	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L):	132,73	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	490	26,2
2	180	470	26,2
3	180	465	26,2
4	180	450	26,2

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	435	26,2
6	180	420	26,2
7	180	400	26,2
8	180	390	26,2

Promedio	180	440	26,2
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,8656$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0047 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0040 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – LOS TOPOS – ENSAYO Nº 26

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base:	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo:	1740,8	gr.
Peso suelo:	224,7	gr.
Cabeza de agua (h):	63,3	cm

MOLDE		
Diametro (θ):	6,5	cm
Altura (L):	4,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$):	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L):	132,73	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	350	26,5
2	180	340	26,5
3	180	325	26,5
4	180	300	26,5

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	290	26,5
6	180	270	26,5
7	180	250	26,5
8	180	230	26,5

Promedio	180	294	26,5
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,8598$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0031 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0027 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Río Sogamoso
 Muestra: Arena Río sogamoso
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 18 - enero - 2008 Hoja 14 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO Nº 27

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1736,6	gr.
Peso suelo :	220,5	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,5	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	350	26,9
2	180	340	26,9
3	180	330	26,9
4	180	319	26,9

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	300	26,9
6	180	290	26,9
7	180	270	26,9
8	180	258	26,9

Promedio	180	307	26,9
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,8521$$

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

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RÍO SOGAMOSO – ENSAYO Nº 28

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1724,3	gr.
Peso suelo :	208,2	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	370	26,6
2	180	360	26,6
3	180	345	26,6
4	180	330	26,6

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	320	26,6
6	180	310	26,6
7	180	290	26,6
8	180	275	26,6

Promedio	180	325	26,6
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,8579$$

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

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



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Rio Sogamoso
 Muestra: Arena Rio sogamoso
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 21 - enero - 2008 Hoja 15 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO N° 29

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1729,0	gr.
Peso suelo :	212,9	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,3	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	360	23,1
2	180	350	23,1
3	180	330	23,1
4	180	310	23,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	300	23,1
6	180	290	23,1
7	180	280	23,1
8	180	275	23,1

Promedio	180	312	23,1
----------	-----	-----	------

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0033 \text{ cm/seg.}$$

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO SOGAMOSO – ENSAYO N° 30

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1721,8	gr.
Peso suelo :	205,7	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,5	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	480	23,5
2	180	470	23,5
3	180	455	23,5
4	180	450	23,5

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	440	23,5
6	180	430	23,5
7	180	420	23,5
8	180	410	23,5

Promedio	180	444	23,5
----------	-----	-----	------

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0047 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0043 \text{ cm/seg.}$$

RIO MAGDALENA



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Rio Magdalena
 Muestra: Arena Rio Magdalena
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 21 - Enero - 2007 Hoja 1 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MAGDALENA – ENSAYO Nº 1

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1741,9	gr.
Peso suelo :	225,8	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,5	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	570	24
2	180	550	24
3	180	540	24
4	180	530	24

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	510	24
6	180	495	24
7	180	485	24
8	180	475	24

Promedio	180	519	24
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0055 \text{ cm/seg.}$$

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MAGDALENA – ENSAYO Nº 2

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1746,5	gr.
Peso suelo :	230,4	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,2	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	600	23,1
2	180	590	23,1
3	180	580	23,1
4	180	570	23,1

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	560	23,1
6	180	555	23,1
7	180	535	23,1
8	180	515	23,1

Promedio	180	563	23,1
----------	-----	-----	------

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0060 \text{ cm/seg.}$$

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



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Rio Magdalena
 Muestra: Arena Rio Magdalena
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 21 - Enero - 2007 Hoja 2 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MAGDALENA – ENSAYO Nº 3

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1737,0	gr.
Peso suelo :	220,9	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,9	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	550	24,1
2	180	530	24,1
3	180	520	24,1
4	180	510	24,1

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	500	24,1
6	180	490	24,1
7	180	480	24,1
8	180	465	24,1

Promedio	180	506	24,1
----------	-----	-----	------

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

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

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0048$ cm/seg.

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MAGDALENA – ENSAYO Nº 4

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1751,5	gr.
Peso suelo :	235,4	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,6	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	510	23,5
2	180	500	23,5
3	180	485	23,5
4	180	480	23,5

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	470	23,5
6	180	460	23,5
7	180	450	23,5
8	180	445	23,5

Promedio	180	475	23,5
----------	-----	-----	------

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0050$ cm/seg.

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0046$ cm/seg.



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Rio Magdalena
 Muestra: Arena Rio Magdalena
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 22 - Enero - 2007 Hoja 3 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MAGDALENA – ENSAYO Nº 5

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1766,6	gr.
Peso suelo :	250,5	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,10	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	136,05	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	560	23,1
2	180	550	23,1
3	180	540	23,1
4	180	530	23,1

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	520	23,1
6	180	500	23,1
7	180	495	23,1
8	180	580	23,1

Promedio	180	534	23,1
----------	-----	-----	------

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

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

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MAGDALENA – ENSAYO Nº 6

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1777,8	gr.
Peso suelo :	261,7	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,5	cm

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

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	520	23
2	180	510	23
3	180	500	23
4	180	490	23

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	475	23
6	180	465	23
7	180	450	23
8	180	430	23

Promedio	180	480	23
----------	-----	-----	----

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

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

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



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Rio Magdalena
 Muestra: Arena Rio Magdalena
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 22 - Enero - 2007 Hoja 4 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MAGDALENA – ENSAYO Nº 7

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1761,3	gr.
Peso suelo :	245,2	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,2	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,30	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	142,69	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	570	23,4
2	180	560	23,4
3	180	550	23,4
4	180	550	23,4

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	545	23,4
6	180	540	23,4
7	180	535	23,4
8	180	530	23,4

Promedio	180	548	23,4
----------	-----	-----	------

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0062 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0057 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – BOCAS – ENSAYO Nº 8

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1779,1	gr.
Peso suelo :	263,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

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

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	530	23,9
2	180	520	23,9
3	180	510	23,9
4	180	500	23,9

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	485	23,9
6	180	470	23,9
7	180	455	23,9
8	180	440	23,9

Promedio	180	489	23,9
----------	-----	-----	------

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

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

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



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Rio Magdalena
 Muestra: Arena Rio Magdalena
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 22 - Enero - 2008 Hoja 5 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MAGDALENA – ENSAYO Nº 9

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1756,2	gr.
Peso suelo :	240,1	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,5	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	585	24
2	180	580	24
3	180	570	24
4	180	560	24

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	550	24
6	180	540	24
7	180	530	24
8	180	520	24

Promedio	180	554	24
----------	-----	-----	----

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

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

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MAGDALENA – ENSAYO Nº 10

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1753,6	gr.
Peso suelo :	237,5	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,20	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	139,37	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	600	23
2	180	595	23
3	180	585	23
4	180	570	23

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	560	23
6	180	545	23
7	180	530	23
8	180	520	23

Promedio	180	563	23
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0062 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0058 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Rio Magdalena
 Muestra: Arena Rio Magdalena
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 23 - Enero - 2008 Hoja 6 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MAGDALENA – ENSAYO N° 11

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1745,4	gr.
Peso suelo :	229,3	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

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

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	610	23,6
2	180	600	23,6
3	180	590	23,6
4	180	580	23,6

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	575	23,6
6	180	560	23,6
7	180	550	23,6
8	180	545	23,6

Promedio	180	576	23,6
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,9183$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0068 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0063 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MAGDALENA – ENSAYO N° 12

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1782,2	gr.
Peso suelo :	266,1	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,5	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,60	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	152,64	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	540	23,3
2	180	525	23,3
3	180	510	23,3
4	180	500	23,3

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	490	23,3
6	180	480	23,3
7	180	470	23,3
8	180	465	23,3

Promedio	180	498	23,3
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,9347$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0060 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0056 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Rio Magdalena
 Muestra: Arena Rio Magdalena
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 23 - Enero - 2008 Hoja 7 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – BOCAS – ENSAYO Nº 13

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1768,3	gr.
Peso suelo :	252,2	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,6	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,10	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	136,05	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	575	23,9
2	180	555	23,9
3	180	540	23,9
4	180	530	23,9

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	520	23,9
6	180	510	23,9
7	180	500	23,9
8	180	495	23,9

Promedio	180	528	23,9
----------	-----	-----	------

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

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

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0052 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MAGDALENA – ENSAYO Nº 14

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1775,0	gr.
Peso suelo :	258,9	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,30	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	142,69	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	620	24
2	180	610	24
3	180	600	24
4	180	590	24

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	580	24
6	180	570	24
7	180	560	24
8	180	555	24

Promedio	180	586	24
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0066 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0060 \text{ cm/seg.}$$



Universidad
Pontificia
Bolivariana

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizaci3n: Rio Magdalena
Muestra: Arena Rio Magdalena
Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 23 - Enero - 2008 Hoja 8 de 15
Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MAGDALENA – ENSAYO Nº 15

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1764,3	gr.
Peso suelo :	248,2	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,10	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	136,05	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	630	24,3
2	180	620	24,3
3	180	610	24,3
4	180	595	24,3

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	585	24,3
6	180	560	24,3
7	180	550	24,3
8	180	540	24,3

Promedio	t	Q	T
	180	586	24,3

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0063 \text{ cm/seg.}$$

$$n_T / n_{20} = 0,9036$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0057 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MAGDALENA – ENSAYO Nº 16

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1746,7	gr.
Peso suelo :	230,6	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,5	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	600	24
2	180	590	24
3	180	580	24
4	180	565	24

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	545	24
6	180	530	24
7	180	520	24
8	180	510	24

Promedio	t	Q	T
	180	555	24

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

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

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



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Rio Magdalena
 Muestra: Arena Rio Magdalena
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 24 - Enero - 2008 Hoja 9 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MAGDALENA – 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 (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,30	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	142,69	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	630	23,2
2	180	620	23,2
3	180	610	23,2
4	180	600	23,2

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	590	23,2
6	180	575	23,2
7	180	565	23,2
8	180	550	23,2

Promedio	180	593	23,2
----------	-----	-----	------

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0067 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0062 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MAGDALENA – ENSAYO Nº 18

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1754,1	gr.
Peso suelo :	238,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,2	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	132,73	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	610	22,7
2	180	595	22,7
3	180	590	22,7
4	180	585	22,7

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	580	22,7
6	180	575	22,7
7	180	570	22,7
8	180	565	22,7

Promedio	180	584	22,7
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,9377$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0062 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0058 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Rio Magdalena
 Muestra: Arena Rio Magdalena
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 24 - Enero - 2008 Hoja 10 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MAGDALENA – ENSAYO Nº 19

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1769,7	gr.
Peso suelo :	253,6	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,6	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,40	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	146,01	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	460	23
2	180	450	23
3	180	440	23
4	180	430	23

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	420	23
6	180	410	23
7	180	400	23
8	180	395	23

Promedio	180	426	23
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0049 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0046 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MAGDALENA – ENSAYO Nº 20

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1770,1	gr.
Peso suelo :	254,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

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

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	600	23,4
2	180	585	23,4
3	180	570	23,4
4	180	560	23,4

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	550	23,4
6	180	543	23,4
7	180	530	23,4
8	180	525	23,4

Promedio	180	558	23,4
----------	-----	-----	------

$$n_T / n_{20} = 0,9225$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0066 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0061 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Rio Magdalena
 Muestra: Arena Rio Magdalena
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 24 - Enero - 2008 Hoja 11 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – BOCAS – ENSAYO N° 21

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1776,9	gr.
Peso suelo :	260,8	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,5	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,30	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	142,69	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	620	23,8
2	180	610	23,8
3	180	600	23,8
4	180	590	23,8

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	585	23,8
6	180	570	23,8
7	180	550	23,8
8	180	530	23,8

Promedio	180	582	23,8
----------	-----	-----	------

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0066 \text{ cm/seg.}$$

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

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0060 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – BOCAS – ENSAYO N° 22

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1775,6	gr.
Peso suelo :	259,5	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,4	cm

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

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	550	24
2	180	530	24
3	180	520	24
4	180	520	24

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	500	24
6	180	485	24
7	180	475	24
8	180	450	24

Promedio	180	504	24
----------	-----	-----	----

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0060 \text{ cm/seg.}$$

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

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



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Rio Magdalena
 Muestra: Arena Rio Magdalena
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 24 - Enero - 2008 Hoja 12 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MAGDALENA – ENSAYO N° 23

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1762,0	gr.
Peso suelo :	245,9	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,2	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,5	cm
Altura (L) :	4,30	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	142,69	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	640	24
2	180	632	24
3	180	620	24
4	180	609	24

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	600	24
6	180	590	24
7	180	580	24
8	180	565	24

Promedio	180	605	24
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0069 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0063 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – BOCAS – ENSAYO N° 24

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1771,4	gr.
Peso suelo :	255,3	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,5	cm

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

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	430	23,8
2	180	423	23,8
3	180	409	23,8
4	180	390	23,8

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	375	23,8
6	180	360	23,8
7	180	344	23,8
8	180	330	23,8

Promedio	180	383	23,8
----------	-----	-----	------

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

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

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0041 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Río Magdalena
 Muestra: Arena Río Magdalena
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 25 - Enero - 2008 Hoja 13 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – BOCAS – ENSAYO Nº 25

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1619,4	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1933,9	gr.
Peso suelo :	314,5	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,7	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,35	cm
Altura (L) :	4,60	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,67	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	145,68	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	325	23
2	180	325	23
3	180	330	23
4	180	330	23

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	340	23
6	180	330	23
7	180	340	23
8	180	340	23

Promedio	180	333	23
----------	-----	-----	----

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

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

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – BOCAS – ENSAYO Nº 26

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1938,4	gr.
Peso suelo :	422,3	gr.
Cabeza de agua (h) :	64,4	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,35	cm
Altura (L) :	4,63	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,67	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	146,73	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	430	23
2	180	430	23
3	180	430	23
4	180	440	23

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	430	23
6	180	430	23
7	180	440	23
8	180	440	23

Promedio	180	434	23
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0055 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0051 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Rio Magdalena
 Muestra: Arena Rio Magdalena
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 25 - Enero - 2008 Hoja 14 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – BOCAS – ENSAYO N° 27

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1938,5	gr.
Peso suelo :	422,4	gr.
Cabeza de agua (h) :	64,4	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,35	cm
Altura (L) :	4,63	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,67	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	146,73	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	340	23
2	180	340	23
3	180	360	23
4	180	365	23

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	360	23
6	180	360	23
7	180	365	23
8	180	365	23

Promedio	180	357	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 – BOCAS – ENSAYO N° 28

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1950,8	gr.
Peso suelo :	434,7	gr.
Cabeza de agua (h) :	63,9	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,35	cm
Altura (L) :	4,80	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,67	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	152,01	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	265	22
2	180	270	22
3	180	270	22
4	180	280	22

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	280	22
6	180	320	22
7	180	320	22
8	180	320	22

Promedio	180	291	22
----------	-----	-----	----

$$n_T / n_{20} = 0,9531$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0038 \text{ cm/seg.}$$

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



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Rio Magdalena
 Muestra: Arena Rio Magdalena
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 25 - Enero - 2008 Hoja 15 de 15
 Operador: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada
 Cálculo: Héctor Bayona Gutiérrez - Sergio Mauricio Prada

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – BOCAS – ENSAYO N° 29

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1926,1	gr.
Peso suelo :	410,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	64,5	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,35	cm
Altura (L) :	4,43	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,67	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	140,40	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	590	22
2	180	590	22
3	180	605	22
4	180	610	22

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	610	22
6	180	625	22
7	180	625	22
8	180	630	22

Promedio	180	611	22
----------	-----	-----	----

$$n_T / n_{20} = 0,9531$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0074 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0070 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – BOCAS – ENSAYO N° 30

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1516,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1941,0	gr.
Peso suelo :	424,9	gr.
Cabeza de agua (h) :	64,2	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,35	cm
Altura (L) :	4,70	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,67	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	148,85	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	600	22
2	180	595	22
3	180	600	22
4	180	695	22

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	600	22
6	180	600	22
7	180	600	22
8	180	595	22

Promedio	180	611	22
----------	-----	-----	----

$$n_T / n_{20} = 0,9531$$

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0078 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0075 \text{ cm/seg.}$$

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

W_1 = 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, agítese 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.

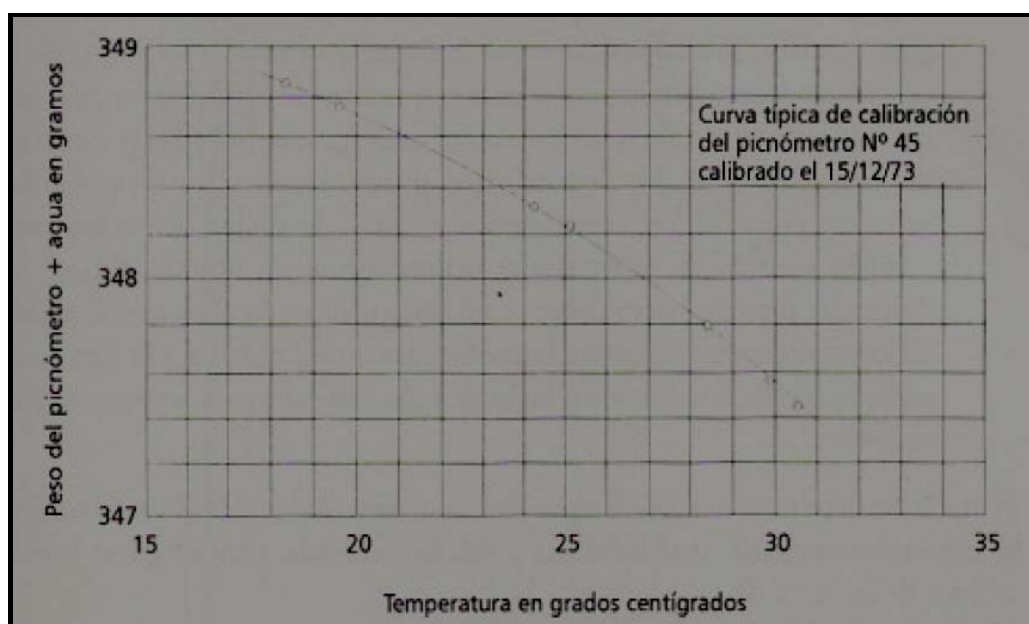


Figura 1. Curva típica de calibración del picnómetro.

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.

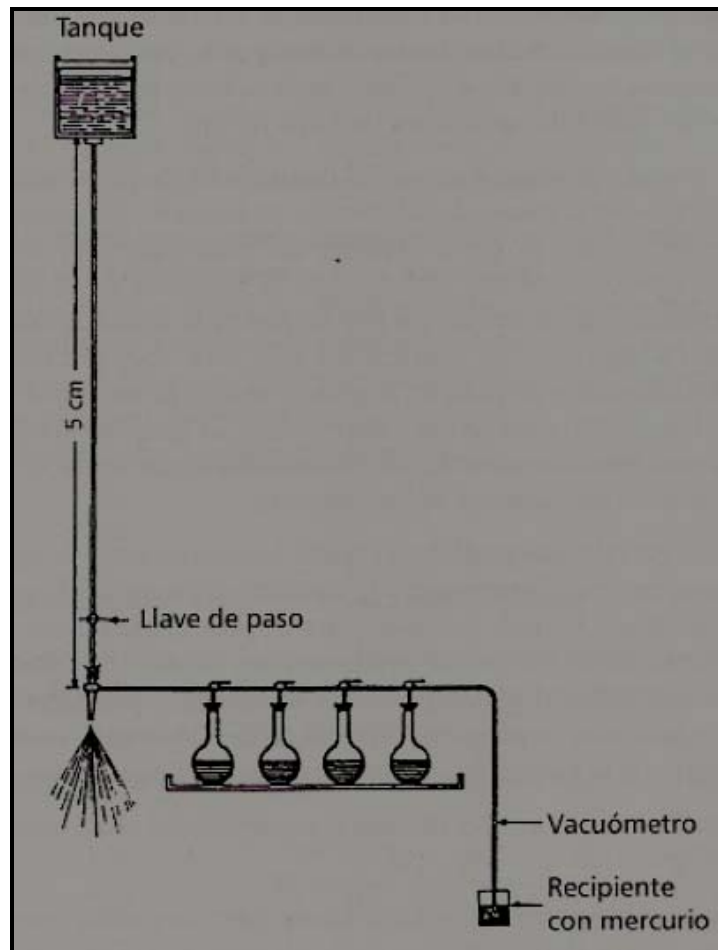


Figura 2. Sistema elemental de aplicación de vacío.

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, agítase 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.

- Transfiérase 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:

- Anótense 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.
- Anótese 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 :

$$W_0 \times K$$

$$G_s = \frac{\quad}{W_0 + W_2 - W_1}$$

Donde:

K = Factor de corrección basado en el peso específico del agua a 20°C (ver Tabla No. 1).

W2 = 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).

W0 = Peso del suelo seco (g).

W1 = 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

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.

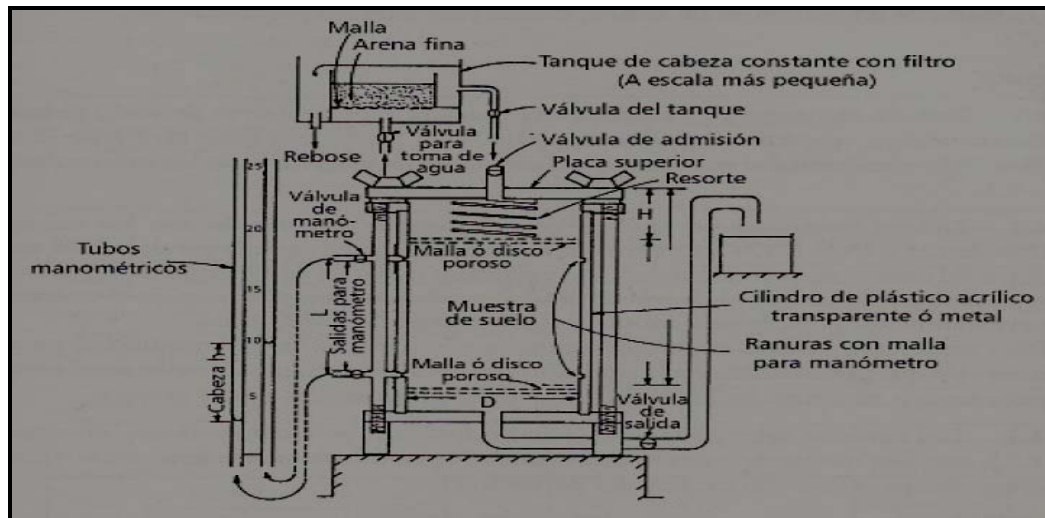


Figura 1. Permeámetro de cabeza constante.

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)

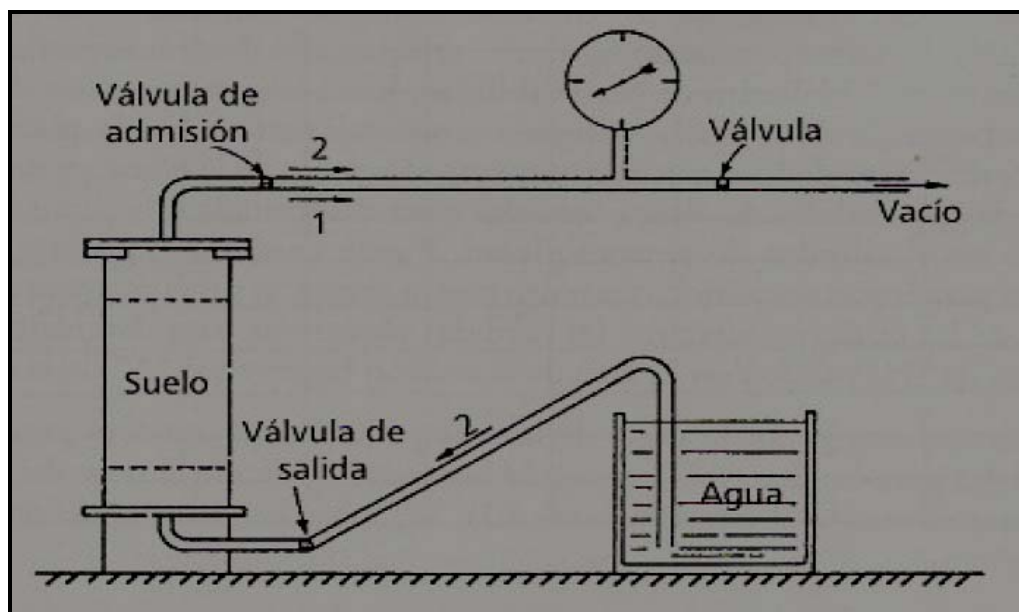


Figura 2. Dispositivo para saturar y evacuar especímenes.

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, inclinando 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".

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. Ajústese la altura de caída y proporciónense 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, H1-H2, midiendo la profundidad, H2, desde la superficie superior de la placa tope perforada empleada para medir H1, 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 (W1-W2), 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 anótase 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 Corríjase 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	IP < 4	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 > 7		
SC	Arena Arcillosa			

Tabla 6. Clasificación y subdivisión de los suelos gruesos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)