

**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 LLANA CALIENTE Y EL RIO MIRLAS**

**DAVID MAURICIO CARRERO ROJAS
JHOSSIMAR VENTANAS RUEDA**



**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 LLANA CALIENTE Y EL RIO MIRLAS**

**DAVID MAURICIO CARRERO ROJAS
JHOSSIMAR VENTANAS RUEDA**

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, septiembre 2008

Ha sido el omnipotente,
quien ha permitido que la sabiduría
dirija y guíe mis pasos.
Ha sido el todopoderoso,
quien ha iluminado mi sendero
cuando más oscuro ha estado,
Ha sido el creador de todas las cosas,
el que me ha dado fortaleza para continuar
cuando a punto de caer he estado;
por ello, con toda la humildad
que de mi corazón puede emanar,
dedico primeramente mi trabajo a Dios.

De igual forma, a mis padres,
quienes han sabido formarme con buenos
sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado
a salir adelante buscando siempre el mejor camino.

David Mauricio Carrero Rojas

A mis padres

.....Porque gracias a su cariño, guía y apoyo he llegado a realizar unos de los anhelos mas grandes de la vida, fruto del inmenso apoyo, amor y confianza que en mi se deposito y con los cuales he logrado terminar mis estudios profesionales que constituyen el legado mas grande que pudiera recibir y por lo cual les viviré eternamente agradecido por la oportunidad de existir, por su sacrificio en algún tiempo incomprendido, por su ejemplo de superación incansable, por su comprensión y ayuda, por su cariño y amistad incondicional. Con cariño y respeto.....

Jhossimar Ventanas Rueda

"Dios nos manda a que trabajemos con nuestros esfuerzo, haciendo con nuestras manos lo que es bueno, para que tenga que compartir con el que padece necesidad."

Efesios 4 - 28

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Pontificia Bolivariana, y en especial a la facultad 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 Lizcano y al señor Helí Rueda por su ayuda al guiarnos y brindarnos sus conocimientos acerca de las prácticas 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. ORIGEN DE LOS SUELOS	24
4.2. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN.	25
4.2.1. Método ASTM	26
4.2.2. Método AASHTO	26
4.2.3. Método unificado	27
4.2.3.1. Granulometría.	27
4.2.3.1.1. Métodos de tamizado	27
4.2.3.2. Métodos de sedimentación	30
4.2.3.3. Índice de consistencia del suelo	30
4.2.4. Clasificación de los suelos gruesos.	32
4.2.5. Clasificación de los suelos finos.	33

4.3. FLUJO DE AGUA.	34
4.4. COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD	35
4.4.1. Aproximación de k	36
4.4.2. Efecto de la temperatura	37
4.4.3. Prueba de cabeza constante.	37
4.5. PRUEBA INDIRECTA	39
4.6. PRUEBA DIRECTA	39
4.7. FORMAS PARA HALLAR LA PERMEABILIDAD K	40
4.7.1. Formula de schlichter	40
4.7.2. Formula de allen hazen	40
4.7.3. Formula terzaghi	41
4.8. FASES DEL SUELO	42
4.9. RELACIÓN DE PESOS Y VOLÚMENES	43
4.10. RELACIONES FUNDAMENTALES	43
4.10.1. Relación de vacíos	43
4.10.2. Porosidad	43
4.10.3. Grado de saturación	44
4.10.4. Humedad	44
4.11. ESTRUCTURA DE LOS SUELOS	44
5. RESULTADOS OBTENIDOS	46
5.1. GRANULOMETRÍA 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.	55
6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	59
6.1. ARENA DEL RIO LLANA CALIENTE	59
6.1.1. Análisis de las constantes de Allen Hazen, Terzagui y Schlichter para la arena del río Llana Caliente.	61
6.1.2. Análisis del ajuste propuesto para disminuir los porcentajes de error en las ecuaciones de Allen Hazen, Terzagui y Schlichter para la arena del río Llana Caliente.	65
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 Llana Caliente.	67
6.2. ARENA DEL RIO MIRLAS	72
6.2.1 Análisis de las constantes de Allen Hazen, Terzagui y Schlichter para la arena del río Mirlas.	74
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 Mirlas.	79
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 Mirlas.	81
7. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	87
8. CONCLUSIONES	88
BIBLIOGRAFÍA	90

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Determinación de C_o según la forma de los agregados	20
Tabla 2. Relación de porosidad (n) vs. C	21
Tabla 3. Método ASTM	26
Tabla 4. Método AASHTO	27
Tabla 5. Principales grupos de suelos	31
Tabla 6. Subdivisión entre grupos de suelos	31
Tabla 7. Clasificación de gravas y arenas de un suelo	32
Tabla 8. Descripción material en el sistema unificado de clasificación.	34
Tabla 9. Intervalo de valores de k	36
Tabla 10. Valores relativos para el coeficiente de permeabilidad	36
Tabla 11. Valores del coeficiente C_k de Hazen	37
Tabla 12. Valores de coeficiente de corrección de la temperatura (K_t)	37
Tabla 13. Relación de porosidad (n) vs.	40

Tabla 14. Determinación de C_0 según la forma de los agregados.

41

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Aparato de prueba carga constante	38
Figura 2. Esquema de una muestra de suelo, con la indicación de los Símbolos usados	42

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Curva granulométrica	28
Grafica 2. Calibración del matraz	54
Gráfica 3. Relación de comportamiento n vs C datos originales de Schlichter	63
Gráfica 4. Relación de comportamiento de n vs C rio llana caliente	64
Gráfica 5. Relación de comportamiento, datos originales de Schlichter.	76
Grafica6. Relación de comportamiento, datos originales de Schlichter.	77

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Registro fotográfico	92
Anexo B. Ensayos de granulometría	100
Anexo C. Ensayos de peso específico relativo	108
Anexo D. Ensayos de permeabilidad	113
Anexo E. Normas de INVIAS I.N.V.E – 123 / 2002 para la ejecución de ensayos granulométricos	146
Anexo F. Normas de INVIAS I.N.V.E – 128 / 2002 para la Ejecución de ensayos de peso específico relativo de los suelos.	158
Anexo G. Normas de INVIAS I.N.V.E – 130 / 2002 para la ejecución de ensayos de coeficiente de permeabilidad de cabeza constante	174

RESUMEN

Para el desarrollo de esta investigación se realizó en primer lugar una recolección de arenas teniendo en cuenta que la muestra tuviera un porcentaje de finos inferior al 10%, el cual se verificó por medio de la granulometría. Dicho parámetro lo cumplieron las arenas del río MIRLAS y LLANA CALIENTE (El Carmen de Chucurí y San Vicente de Chucurí) respectivamente.

Posteriormente se realizaron los ensayos de peso específico de los sólidos y permeabilidad, este último con el fin de obtener los datos de coeficiente de permeabilidad reales de dichas arenas, para posteriormente compararlas con los valores de k obtenidos por medio de las formulas Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi y verificar la aplicabilidad de las mismas para las arenas del río Mirlas y Llana Caliente.

En las arenas del río Llana Caliente y el río Mirlas se observa que las ecuaciones originales no eran aplicables ya que sus porcentajes de error en comparación con el k obtenido en laboratorio eran muy altos, para Allen Hazen el error fue de 956%, Schlichter de 258,9% y Terzaghi de 672,5%. Dichas ecuaciones se ajustaron modificando las constantes respectivas de las formulas originales para obtener un k ajustado y a si disminuir sus errores, para Hazen el error se disminuyo a 14,8%, para Schlichter a 14,7% y Terzaghi a 22,8%.

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, la temperatura etc.

SUMMARY

For the development of this research it was necessary to realize a sand recollection taking into account that the percent of the fines sample had to be lower than 10%, which was verified by the granulometry. This parameter was satisfied by sands from the rivers: MIRLAS Y LLANA CALIENTE (El Carmen de Chucurí y San Vicente de Chucurí)

After finding the samples, the essays of specific weight and permeability values were realized, this last in order to obtain the real coefficient data of permeability of the sand to compare them with the values of K obtained by the formulas Allen Hazen, Schlichter and Terzaghi and to verify the applicability of each formula for the sand of the Mirlas and Llana Caliente rivers

In the sands of the river Llana Caliente and the river Mirlas is observed that the original equations were not APPLICABLE since their error percentages in comparison with the k obtained in laboratory were very high, for Allen Hazen the error was of 956%, Schlichter of 258,9% and Terzaghi of 672,5%. These equations were adjusted modifying the respective constants of you formulate them originals to obtain an adjusted k and to if to diminish their errors, for Hazen the error you diminishes to 14,8%, for Schlichter to 14,7% and Terzaghi to 22,8%.

This way was possible to find out that the value of the constant k is different for each type of sand and depends on factors like saturation degree, temperature.

INTRODUCCIÓN

La finalidad de la presente tesis está enfocada, en la revisión de las ecuaciones de Allen Hazen Schlichter y Terzaghi aplicadas a las arenas de los ríos MIRLAS y LLANA CALIENTE en la obtención del coeficiente de permeabilidad y compararlos con los obtenidos en el laboratorio.

También se calcularon los coeficientes de permeabilidad de las dos arenas, usando las ecuaciones originales de Terzaghi, Schlichter y Allen Hazen. Luego se continuó a calcular las constantes propias de cada arena por cada método con el fin de disminuir los errores respecto a los valores obtenidos de k en el laboratorio.

Los ensayos determinaron el coeficiente de permeabilidad (K) de una muestra de suelo granular. No todos los suelos tienen la misma permeabilidad, de ahí que se hayan dividido en suelos permeables e impermeables,

Independiente de lo anterior, en el presente documento encontramos en el capítulo 1 el objetivos general y sus objetivos específicos, en el capítulo 2 los respectivos antecedentes, en el capítulo 3 la metodología que se utilizo para realizar el documento, en el capítulo 4 se menciona lo relacionado al origen y sistema de clasificación de suelos, que es y cómo se obtiene los valores de coeficiente de permeabilidad K y las respectivas relaciones volumétricas y gravimétricas de un suelo, en el capítulo 5 encontramos con una presentación de tablas los resultados obtenidos en laboratorio, para posteriormente encontrar en el capítulo 6 un análisis de estos resultados, en el capítulo 7 las observaciones y recomendaciones del presente trabajo, y final mente en el capítulo 8 las respectivas conclusiones.

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 Llana caliente y Mirlas.

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.
- 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 principales propuesta en el estudio de la mecánica de los suelos. A partir de los trabajos iniciales de Darcy, otros investigadores entre los cuales se encuentran Allen Hazen, Terzaghi y Schlichter, han analizado y puesto a prueba esta ley.

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

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

$$Q = K \cdot i \cdot A$$

Donde:

- Q = gasto, descarga o caudal en m³/s.
 - k = una constante, actualmente conocida como coeficiente de permeabilidad de Darcy, variable en función del material de la muestra, en m/s.
 - A = área de la sección transversal de la muestra, en m².
- i = 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 utilizadas para el cálculo de permeabilidad son las siguientes:

Karl von Terzaghi:

La fórmula para hallar la constante de permeabilidad es la siguiente:

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

n = Porosidad.

t = Temperatura en °C.

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

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

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

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

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 $C_{prom} = 116^1$

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

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:

Tabla 2. Relación de Porosidad (n) vs. C . (Tomado de Mecánica de Suelos, Juárez Badillo, TOMO I).

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

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

En el primer semestre del 2007 la estudiante Ketty Plata realizó un estudio similar, trabajando con las arenas de Topos, Pescadero y Bocas.

Producto de esta investigación se obtuvo un ajuste de las ecuaciones de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi, ya que las constantes originales no aplican a las arenas estudiadas.

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

Producto de esta investigación concluyeron que las ecuaciones con las constantes originales no son aplicables a los ríos en un rango de porosidad del 40%, y con el modelo matemático propuesto se obtuvieron porcentajes de error entre el 17% y el 19% en el río Sogamoso y entre el 9% y el 15% en el río Magdalena.

3. METODOLOGÍA

Se realizaron las siguientes actividades de forma ordenada:

- ❖ **Recolección de muestras:** Se recogieron dos (2) tipos diferentes de arenas usadas en los alrededores del Carmen y San Vicente de Chucurí 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 terminados los ensayos de laboratorio de las dos arenas 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.
- ❖ **Redacción del informe:** Se recopilaron todas las memorias, resultados y análisis de los datos de tal forma que puedan ser aprovechados por la universidad.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 ORIGENES DE LOS SUELOS:

El suelo constituye la interface entre las rocas del sustrato continental y la atmósfera, formándose como consecuencia de los fenómenos físicos, físico-químicos y biológicos de intercambio que ahí se producen. El concepto de suelo es, por tanto, un concepto evolutivo. Este se forma como consecuencia de un proceso dinámico, que implica un cambio progresivo desde que la roca se pone en contacto con la atmósfera como consecuencia de la erosión, hasta su desarrollo completo.²

Un concepto muy relacionado es el de regolito, que constituye lo que podríamos llamar el “protosuelo”, es decir, una capa no estructurada de materiales que se acumula sobre la superficie del terreno como consecuencia de procesos diversos. Por su parte, el suelo es un regolito evolucionado, que ha adquirido la estructuración en capas u horizontes que le caracteriza. Por ejemplo, la superficie de la Luna está cubierta por el regolito lunar, formado por fragmentos de rocas y polvo que han resultado de los impactos de meteoritos, y de la acumulación de polvo cósmico, sin que se forme un suelo debido a la ausencia de una atmósfera, agua, y una dinámica superficial que permita su desarrollo³.

También las zonas de alta montaña, por encima de determinadas altitudes, en las que ya no llega a desarrollarse vegetación, tenemos un regolito formado por los restos de la meteorización del sustrato.

² POLANCO DE HURTADO, Margarita. Mecánica de suelos: Curso de mecánica de suelos. Tomo I. Universidad del Cauca.

³ POLANCO DE HURTADO, Margarita. Mecánica de suelos: Curso de mecánica de suelos. Tomo I. Universidad del Cauca.

4.2 SISTEMAS DE CLASIFICACION:

El comportamiento de los suelos es complejo debido a la naturaleza granular y a la coexistencia de partículas sólidas con fluido intersticial que generalmente está compuesto por más de un fluido (agua, contaminantes orgánicos e inorgánicos, gases como aire o metano, etc.). El entendimiento actual del comportamiento de los suelos ha evolucionado a través del siglo XX, incluyendo esfuerzos efectivos, coloides y arcillas, dilatación en corte, fase fluida mixta y suelos no saturados.

Una nueva etapa se anticipa actualmente con el estudio de la geo-química mediada por microorganismos.

Las distintas clasificaciones de suelos intentan capturar y describir este complejo material en vista aplicaciones específicas, con sus correspondientes necesidades: construcción de caminos y pavimentos, agricultura, minería o geomecánica. Las diferentes clasificaciones incluyen: EL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS) Y EL SISTEMA DE LA AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY & TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO).⁴

En lo que respecta la clasificación, ambos sistemas se basan en la granulometría del material y en los límites de consistencia del suelo.

En pocas palabras los suelos se pueden clasificar en suelos GRUESOS y suelos FINOS, pero esta clasificación tan grande cubre una gran cantidad de suelos con propiedades físicas y mecánicas muy distintas desde el punto de vista en que se use en la ingeniería.

⁴ POLANCO DE HURTADO, Margarita. Mecánica de suelos: Curso de mecánica de suelos. Tomo I. Universidad del Cauca.

Lo cual nos lleve a la utilización de medios de clasificación que nos permiten clasificar los suelos de forma más precisa y transmitir la información acerca del mismo en forma comprensible.

El sistema de clasificación de suelos, nos ayuda en la comunicación entre grupos de ingenieros que utilizan el mismo método. Dicho de otra forma es un lenguaje de comunicación.

Con el pasar del tiempo numerosos sistemas de clasificación han sido propuestos y todos usan los tamaños de partículas para diferenciar los suelos, tanto en gravas, arenas, limos y arcillas.⁵

4.2.1. Método ASTM

En la siguiente tabla encontramos la clasificación de suelos según la ASTM

Tabla 3. (POLANCO DE HURTADO, Margarita. Mecánica de suelos: Curso de mecánica de suelos. Tomo I. Universidad del cauca.)

NOMBRE	TAMANO (mm)
Grava	76.20 - 4.76
Arena gruesa	4.76 - 2.00
Arena media	2.00 - 0.42
Arena fina	0.42 - 0.074
Limos	0.074 - 0.005
Arcillas	0.005 - 0.001
Coloides	< 0.001

4.2.2 Método AASHTO

En la siguiente tabla encontramos la clasificación de suelos según la AASHTO

⁵ POLANCO DE HURTADO, Margarita. Mecánica de suelos: Curso de mecánica de suelos. Tomo I. Universidad del cauca.

Tabla 4 POLANCO DE HURTADO, Margarita. (Mecánica de suelos: Curso de mecánica de suelos. Tomo I. Universidad del cauca.)

NOMBRE	TAMANO (mm)
Bolos	> 76.2
Gravas	76.20 - 4.76
Arena	2.00 - 0.074
Limos	0.074 - 0.002
Arcillas	0.002 - 0.001
Coloides	< 0.001

4.2.3 Método unificado

4.2.3.1 Granulometría

Se llama granulometría o análisis granulométrico al proceso de determinación de la proporción en que se encuentra distintos tamaños de partículas presentes en un suelo. A esta proporción también se le da el nombre de gradación del suelo.

El análisis granulométrico puede de dos formas totalmente distintas. Uno es el del TAMIZADO, utilizado especialmente para partículas gruesas, y el otro es el de SEDIMENTACION, utilizado para partículas finas, las cuales no son posibles determinar por tamizado.⁶

4.2.3.1.1 método del tamizado: Este método consiste en pasar partículas del suelo por una cantidad de mallas o tamices con aberturas de tamaños diferente. Las mallas son acomodadas en serie, un encima de otra y en orden descendentes de tamaños de aberturas.

⁶ POLANCO DE HURTADO, Margarita. Mecánica de suelos: Curso de mecánica de suelos. Tomo I. Universidad del cauca.

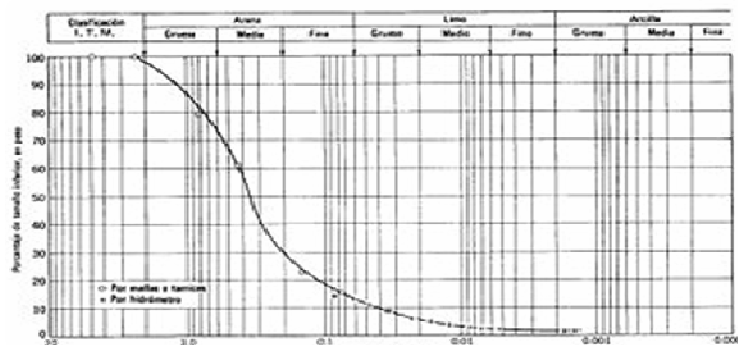
El material debe ser pesado en seco, luego se lava por el tamiz N° 200, se seca nuevamente y se determina su nuevo peso después de lavado, la diferencia de pesos es conocidos como pasa N° 200 por lavado, el material seco y pesado se pasa por cada uno de los tamices y se pesa finalmente el suelo retenido en cada uno de los tamices.

Con los datos obtenidos se puede calcular la cantidad de suelo en peso que pasa por cada malla y con esta información se procede a dibujar la CURVA GRANULOMETRICA que es tal vez el resultado más importante que se puede obtener de un análisis granulométrico.

La curva granulométrica se obtiene de graficar en una escala semilogaritmica, la abertura de el tamiz en mm, en las abscisas, en escala logarítmica VS el porcentaje de partículas que pasa cada tamiz.⁷

Acontinuacion encontramos la grafica de la curva granulométrica.

Grafica 1. Curva granulométrica



En el gráfico es posible definir el porcentaje de partículas que pasan en cualquier tamiz, aunque dicho tamiz no haya sido utilizado.

⁷ POLANCO DE HURTADO, Margarita. Mecánica de suelos: Curso de mecánica de suelos. Tomo I. Universidad del Cauca.

También podemos obtener de la curva los valores de D10, D60, D30. Valores que son de gran importancia a la hora de clasificar el suelo en bien gradado o mal gradado.

El D10 es el diámetro de las partículas correspondientes al 10% de la muestra que pasa. Esto quiere decir que son partículas de tamaño menor al diámetro efectivo. Análogamente el D30 correspondiente a un 30% y el D60 correspondiente a un 60% respectivamente.

Coefficiente de uniformidad:

Definido como la relación entre el D60 y el D10.

$$Cu = D60 / D10$$

Coefficiente de curvatura:

Definido como la relación entre el cuadrado del D30 y el producto entre el D60 el D10.

$$Cc = (D30)^2 / (D60 * D10)$$

La condición de la uniformidad de tamaños es medida por el coeficiente de uniformidad Cu, que tendrá un valor pequeño si la curva se extiende poco horizontalmente o sea si tiende a la verticalidad; en este caso el suelo es uniforme. Un suelo bien gradado presenta una curva granulométrica bastante horizontal.

Un suelo presenta características de mal gradado por dos razones: por no poseer granos de tamaños intermedios o por tener los granos muy uniformes.

El sistema unificado de clasificación de suelos establece que una arena es bien gradada si cumple los siguientes requisitos:

$$Cu > 6 \quad \text{y} \quad 1 < Cc < 3$$

Si no se presenta en el suelo algunas de las dos condiciones, o ninguna la muestra será mal gradada.

Por el contrario una grava es bien gradada si cumple las siguientes condiciones:

$$Cu > 4 \quad \text{y} \quad 1 < Cc < 3$$

Necesariamente se debe cumplir las dos condiciones para que sea bien gradada.

4.2.3.2 Método de sedimentación:

Este método esta basado en la ley de Stockes, determinando la velocidad de caída de esferas de diámetro pequeño el ensayo del hidrómetro se utiliza una pequeña cantidad de suelo en agua para crear una suspensión, utilizando normalmente un agente dispersarse para neutralizar las cargas de las partículas de suelo e inhibir la floculación⁸.

4.2.3.3 Índices de consistencia del suelo:

Sistema unificado de clasificación de suelos.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, es el de uso más extendido en la práctica geotécnica.

Fue inicialmente propuesto por Arthur Casagrande, en tentativamente adoptado por el Departamento de ingeniería de los EEUU en 1942 y definitivamente presentado a la ASCE en 1948.

Dicho sistema fue desarrollado en los años de 1942 por CASAGRANDE, pero posteriormente sufrió algunas modificaciones para ampliar su utilización.

⁸ POLANCO DE HURTADO, Margarita. Mecánica de suelos: Curso de mecánica de suelos. Tomo I. Universidad del cauca.

Para la clasificación de los suelos este sistema se basa en la granulometría del material y en los límites de consistencia de la fracción fina⁹.

Los grupos principales de suelos con sus respectivos símbolos son los siguientes:

Tabla 5. Principales grupos de suelos. (POLANCO DE HURTADO, Margarita. Mecánica de suelos: Curso de mecánica de suelos. Tomo I. Universidad del Cauca.)

PREFIJOS	
G	GRAVA
S	ARENA
M	LIMO
C	ARCILLA
O	ORGANICO
Pt	TURBA

Tabla 6. Subdivisión entre grupos de suelos (POLANCO DE HURTADO, Margarita. Mecánica de suelos: Curso de mecánica de suelos. Tomo I. Universidad del Cauca.)

SUFIJOS	
W	BIEN GRADADA
P	MAL GRADADA
L	BAJA COMPRESIBILIDAD
H	ALTA COMPRESIBILIDAD

Los prefijos en las anteriores tablas indican los principales tipos de suelos y los sufijos las subdivisiones entre los grupos. Para hacer un mejor estudio de los

⁹ POLANCO DE HURTADO, Margarita. Mecánica de suelos: Curso de mecánica de suelos. Tomo I. Universidad del Cauca.

suelos, los clasificaremos en dos grandes grupos; los suelos gruesos y los suelos finos.

4.2.4 CLASIFICACION DE LOS SUELOS GRUESOS:

Un suelo es considerado grueso cuando más de la mitad del material queda retenido en el tamiz N° 200 (Ret N° 200 > 50%). Si un suelo está dentro de los parámetros de grueso puede ser considerado grava o puede ser arena. Es grava (G) si más de la mitad de la fracción gruesa queda retenida en el tamiz N° 4.

Es arena (S) si más de la mitad de la muestra pasa por el tamiz N° 4.

Luego es importante analizar el porcentaje de material que pasa por el tamiz N° 200. Si es menos del 5% es un material limpio, si es más del 12% es un material sucio y si está entre el 5% y el 12% es un material considerado de frontera.

Si el porcentaje de material que pasó por el tamiz N° 200 es menor al 5% es una muestra limpia y tanto como las gravas como las arenas tienen dos clasificaciones cada una.

Tabla 7. Clasificación de gravas y arenas de un suelo. (POLANCO DE HURTADO, Margarita. Mecánica de suelos: Curso de mecánica de suelos. Tomo I. Universidad del Cauca.)

GW	grava bien gradada
GP	grava mal gradada
SW	arena bien gradada
SP	arena mal gradada

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.

4.2.5 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, arcillas inorgánicas, de símbolo genérico C, limos y arcillas orgánicas, de símbolo genérico O.

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. En la siguiente tabla encontramos dicha clasificación

Tabla 8. Descripción material en el sistema unificado de clasificación. Sacada de la carta de clasificación del libro de Crespo pagina 89. Quinta edición.

SIMOLO 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.

4.3. FLUJO DEL AGUA

Los suelos poseen en su interior pequeños vacíos, por lo que el agua puede fluir libremente en el interior de la masa del suelo.

En los suelos suele ocurrir que el agua tiende a fluir de las zonas de alta a las de baja presión, la presión se puede expresar como una carga de presión o carga, medida en metros de agua.

Con la ecuación de Bernoulli podemos calcular la carga total H que causa el flujo del agua:

$$H = h_z + \frac{U}{\gamma_w} + \frac{V^2}{2g}$$

Donde: h_z : carga de elevación

$\frac{U}{r_w}$: carga de presión debida a la presión de poros V

$\frac{V^2}{2g}$: carga de velocidad cuando la velocidad de flujo es V

4.4. COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K): cuando un suelo permite que lo atraviese el agua, a este hecho se le denomina permeabilidad. El coeficiente de permeabilidad (k) es conocido como una medida de la resistencia al flujo ofrecida por el suelo, los factores que pueden intervenir o hacer variar el K son:

- a-** la densidad
- b-** la distribución del tamaño de partículas
- c-** la forma y orientación de partículas del suelo
- d-** el grado de saturación (presencia de aire)
- e-** la viscosidad del agua del suelo, varía con la temperatura

El K puede variar desde 1000 m/s en el caso de gravas de grano muy grueso hasta un valor muy pequeño en el caso de arcillas. En la tabla 9 y tabla 10 encontraremos los intervalos de valores de K y sus valores relativos respectivamente.

Intervalo de valores de K

Tabla 9. Permeabilidad de los suelos (K) (cm./seg.) . (Tomado de Mecánica del Suelo, Universidad del Cauca.)

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

VALORES RELATIVOS PARA EL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

Tabla 10. Valores Relativos del Coeficiente de Permeabilidad. (Tomado de Mecánica del Suelo, Universidad del Cauca.)

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

4.4.1. Aproximaciones de k: la aproximación de uso mas frecuente es la propuesta Hazen para arenas:

$$K = C_k * D_{10} \text{ (mm/s)}$$

Donde: D_{10} : tamaño efectivo (mm)
 C_k : coeficiente experimental

A continuación encontraremos la tabla de Valores del coeficiente C_k de Hazen:

Tabla 11. Valores del coeficiente C_k de Hazen. (Mecánica de suelos, Roy Whitlow segunda edición)

C_k	Tipo de suelo	Intervalo de valores de D_{10} (mm)
8 – 12	Arenas uniformes ($U_c < 5$)	0,06 – 3,0
5 – 8	Arenas bien graduadas y Arenas limosas ($U_c \geq 5$)	0,003 – 0,6

4.4.2. Efecto de la temperatura: como la densidad y viscosidad del agua varia con la temperatura, es obvio que esta afecta directamente el valor del coeficiente de permeabilidad.

En la siguiente tabla encontraremos los Valores de coeficiente de corrección de la temperatura (K_t)

Tabla 12. Valores de coeficiente de corrección de la temperatura (K_t). (Mecánica de suelos, Roy Whitlow segunda edición).

$^{\circ}\text{C}$	K_t	$^{\circ}\text{C}$	K_t
0	1.799	25	0.906
4	1.555	30	0.808
10	1.299	40	0.670
15	1.133	50	0.550
20	1.000	60	0.468

4.4.3. Prueba de cabeza constante: esta es usada para determinar el coeficiente de permeabilidad (k) de suelos de granos gruesos tales como gravas y arenas con valores de k mayores de 10^{-4} m/s.

Aparato de prueba carga constante

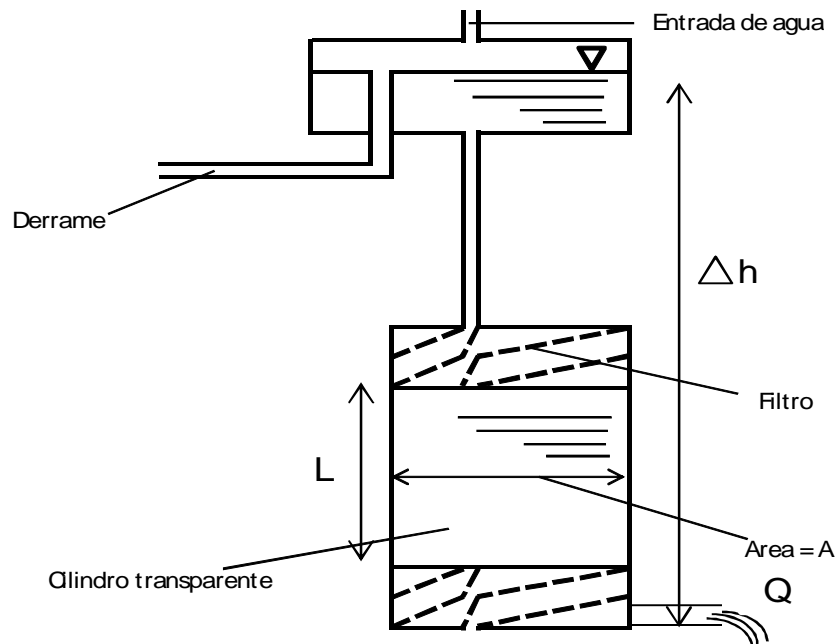


Figura 1. Aparato de prueba carga constante (David Carrero)

Es uno de los métodos más sencillos para determinar el K de un suelo, La muestra de suelo se introduce en el cilindro transparente, con los filtros de grava tanto arriba como debajo, el agua fluye a través de la muestra proveniente de un tanque que mantiene una descarga de agua constante y se mide la cantidad de agua (en cm) que pasa en el tiempo t .¹⁰

Se deben efectuar varios ensayos con velocidades de flujo y cargas diferentes para establecer un valor de K promedio.

¹⁰ 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.

Para obtener el valor de K se aplica la ley de Darcy:

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

$\Delta h = i / L$ (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.

A = área de la sección transversal

4.5. PRUEBAS INDIRECTAS:

Son aquellas que tienen por objeto no buscar el coeficiente de permeabilidad y en vez de este buscan otro parámetro, pero que indirectamente nos puede llevar a encontrar el valor de K.¹¹

4.6. PRUEBAS DIRECTAS:

Son aquellas que tienen como objetivo principal encontrar el coeficiente de permeabilidad K por medio de los ensayos de laboratorio (permeámetro de cabeza

¹¹ 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.

constante y el permeámetro de cabeza variable) o por medio de pruebas de campo (in situ).¹²

4.7. FÓRMULAS PARA HALLAR LA PERMEABILIDAD (K)

4.7.1. Fórmula de Schlichter

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

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

Tabla 13. Relación de Porosidad (n) vs. c. (Tomado de Mecánica de Suelos, Juárez Badillo, TOMO I).

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

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.¹³

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

¹² 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.

¹³ JUÁREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos. Tomo I. Tercera edición. México DF : Limusa Noriega.

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

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

4.7.3. 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.

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

En donde C_0 es un coeficiente con los valores indicados en la siguiente tabla

Tabla 14. Determinación de C_0 según la forma de los agregados. (Tomado de Mecánica de Suelos, Juárez Badillo, TOMO I).

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

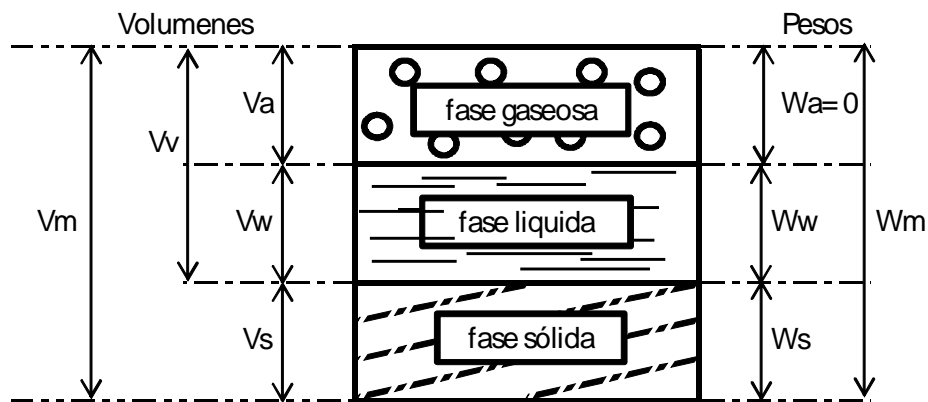
¹⁵ JUÁREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos. Tomo I. Tercera edición. México DF : Limusa Noriega

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

4.8. FASES DEL SUELO: en un suelo se pueden observar 3 fases que la constituyen: sólida líquida y gaseosa, la fase sólida está constituida por las partículas minerales del suelo, la líquida por el agua y la gaseosa está formada mas que todo por el aire ya que también puede tener presencia otros gases.

La fase líquida y gaseosa de un suelo se puede entender como el volumen de vacíos y la fase sólida se entiende como el volumen de los sólidos.¹⁶

Figura 2. Esquema de una muestra de suelo, con la indicación de los símbolos usados: (JUÁREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos. Tomo I.)



V_m = Volumen total.

W_m = Peso total

V_s = Volumen de fase sólidas.

W_s = Peso fase sólida.

➤ ¹⁶ 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.

Vw = Volumen de fase líquida.

Ww = Peso fase líquida.

Va = Volumen fase gaseosa.

Wa = Peso fase gaseosa.

Vv = Volumen de vacíos.

4.9 RELACIÓN DE PESOS Y VOLÚMENES: se suele relacionar el peso de la sustancia y su volumen, por medio del término de peso específico.

γ_s = peso específico del suelo

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

4.10. RELACIONES FUNDAMENTALES:

4.10.1. Relación de vacíos: es la relación entre el volumen de vacíos y el de los sólidos de un suelo

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

Al igual que la porosidad, este permite dar 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

4.10.2. Porosidad: este concepto se le otorga a la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de su masa, es expresado como porcentaje:

$$n\% = \frac{V_v}{V_m} * 100$$

Este nos indica la cantidad de vacíos o poros que tiene la muestra por unidad de volumen.

4.10.3. Grado de saturación: relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos, suele expresarse en porcentaje

$$G_w(\%) = \frac{V_w}{V_v} * 100$$

Este valor expresado en porcentaje indica el porcentaje de volumen de vacíos que está relleno de agua.

4.10.4. Humedad: es la relación entre el peso de agua contenida y el peso de los sólidos.

$$W\% = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

4.11. ESTRUCTURA DE LOS SUELOS: las partículas de un suelo siempre se encuentran en forma organizada y siguiendo la acción de fuerzas naturales. En el caso de suelos que contienen partículas relativamente grandes (gravas, arenas), las fuerzas que intervienen son muy conocidas y sus efectos son fáciles de calificar, por ello no se discute respecto a su mecanismo de estructuración. Pero en el caso de suelos que contienen partículas muy pequeñas como las arcillas, las fuerzas que intervienen en su estructuración son más complejas y su estructura

resultante son verificables por métodos indirectos complicados y apenas en desarrollo.¹⁷

- a) **Estructura simple:** son producidas debido a fuerzas ocasionadas por el campo gravitacional terrestre. Por consiguiente son típicas en los suelos de grano grueso (gravas, arenas),

- b) **Estructura panaloide:** esta estructura es común en granos de pequeño tamaño 0,002mm de diámetro o menores que se depositan en agua algunos casos en el aire.
la gravedad produce un efecto sobre estas partículas que hace que tiendan a sedimentarse, pero dada su pequeña masa puede tocar otra partícula y adherirse a esta neutralizando su peso, haciendo que esta partícula no termine su recorrido

- c) **Estructura floculenta:** cuando dos partículas de diámetro menor de 0,02 mm se sedimentan y se tocan, se adhieren con fuerza y descenden juntas, así otra partícula puede unirse al grupo.

¹⁷ 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.

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 LLANA CALIENTE.***

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

- PROM % ARENAS: $(75,61 + 76,52 + 76,14) / 3$

- PROM % ARENAS: 76,09

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

- PROM % GRAVAS: $(22,08 + 20,03 + 19,64) / 3$

- PROM % GRAVAS: 20,58

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

- PROM % FINOS: $(2,31 + 3,45 + 4,21) / 3$

- PROM % FINOS: 3,32

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

- PROM D_{10} : $(0,20\text{mm} + 0,185\text{mm} + 0,23\text{mm}) / 3$

- PROM D_{10} : 0,205mm

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

- PROM D_{30} : $(0,47\text{mm} + 0,45\text{mm} + 0,66\text{mm}) / 3$

- PROM D_{30} : 0,53mm

- ✓ PROM D_{60} : (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3
 PROM D_{60} : (1,1mm + 1mm + 1,07mm) / 3
 PROM D_{60} : 1,06 mm

- Cu: D_{60} / D_{10}
 Cu: (1,06 / 0,205)
 Cu: 5,17

- Cc: $D_{30}^2 / (D_{60} * D_{10})$
 Cc: $0,53^2 / (1,06 * 0,205)$
 Cc: 1,29

Clasificación del suelo de Arena del río Llana Caliente

Según el sistema unificado de clasificación de suelos la arena del Río Llana Caliente es SP (mal gradada).

• ARENA RÍO MIRLAS

- PROM % ARENAS: (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3
 PROM % ARENAS: (95,44 + 96,57 + 95,64) / 3
 PROM % ARENAS: 95,88

- PROM % GRAVAS: (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3
 PROM % GRAVAS: (2,93 + 1,80 + 2,77) / 3
 PROM % GRAVAS: 2,5

- PROM % FINOS: (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3
 PROM % FINOS: (1,63 + 1,63 + 1,59) / 3
 PROM % FINOS: 1,62

- ✓ PROM D_{10} : (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3
 PROM D_{10} : (0,23mm + 0,185mm + 0,18mm) / 3
 PROM D_{10} : 0,20mm

- ✓ PROM D_{30} : (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3
 PROM D_{30} : (0,3mm + 0,31mm + 0,41mm) / 3
 PROM D_{30} : 0,34mm

- ✓ PROM D_{60} : (Muestra 1 + Muestra 2 + Muestra 3) / 3
 PROM D_{60} : (0,72mm + 0,59mm + 0,88mm) / 3
 PROM D_{60} : 0,73 mm

- Cu: D_{60} / D_{10}
 Cu: (0,73 / 0,20)
 Cu: 3,65

- Cc: $D_{30}^2 / (D_{60} * D_{10})$
 Cc: $0,34^2 / (0,73 * 0,20)$
 Cc: 0,79

Clasificación del suelo de Arena del río Mirlas

Según el sistema unificado de clasificación de suelos la arena del rio Mirlas 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 Cc 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 LLANA CALIENTE (METODO CABEZA CONSTANTE)

➤ MOLDE

- Diámetro (Φ): 6,3 cm
- Altura (L): 4 cm
- Área (A): $(\pi * \Phi^2) / 4$ (cm²)
Área (A): $(\pi * 6,3^2) / 4 = 31,17$ cm².
- Volumen (V): $(A * L)$ (cm³)
Volumen (V): $(31,17 * 4) = 124,69$ cm³.

➤ **PARAMETROS**

- Peso cámara + base (Pcb): 1506,6 gr
- Peso de la cámara + base + suelo (Pcbs): 1709,6 gr.
- Peso del suelo (Ps): (Pcbs - Pcb)
Peso del suelo (Ps): (1709,6,6 - 1506,6) = 203 gr.
- Cabeza de Agua (h): 66 cm.

➤ **ENSAYO**

- Tiempo (t) (seg.) = 180 seg.
- Temperatura (T) (°C) = 23,1 °C
- Caudal promedio :

$$Q_{\text{prom}} = \frac{720 + 690 + 660 + 640 + 630 + 620 + 610 + 600}{8}$$

$$Q_{\text{prom}}: 646 \text{ cm}^3$$

- $n_T / n_{20} (T : 23^\circ\text{C}) = 0,9290$
- Permeabilidad (K_T) : ($Q_{\text{prom}} * L$) / ($A * h * t$)

Permeabilidad (K_T) : $(646 * 4,0) / (31,17 * 66 * 180) = 0,0070 \text{ cm/seg.}$

- $K_{20}: (k_T) * (n_T / n_{20})$

$K_{20}: (0.0070 * 0.9290) = 0.0065 \text{ cm/seg.}$

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

✓ PERMEABILIDAD ARENA RIO LLANA CALIENTE.

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 Llana Caliente.

Tabla 8. Permeabilidad del rio Llana Caliente.

Muestra	temperatura	Kt (cm/sg)	K ₂₀ (cm/sg)
1	23,8	0,013743195	0,01256128
2	23,8	0,006673631	0,006099699
3	23,2	0,010820791	0,010028709
4	23,0	0,009305583	0,008664429
5	23,1	0,009052092	0,008409394
6	23,1	0,006980285	0,006484684
7	23,1	0,008261241	0,007674693
8	23,1	0,009842606	0,009143781
9	22,1	0,0081161	0,007717599
10	23,1	0,006690677	0,006215639
11	23,8	0,005241795	0,004791001
12	23,8	0,006265548	0,005726711
13	23,0	0,006445624	0,006001521
14	23,0	0,007354614	0,006847881
15	23,1	0,006098467	0,005665476
16	23,1	0,00644208	0,005984693
17	22,1	0,007314447	0,006955308
18	23,1	0,006950244	0,006456776
19	23,5	0,005697809	0,005244264
20	23,1	0,005336475	0,004957585
21	23,8	0,007113612	0,006501841

22	23,0	0,006036866	0,005620926
23	23,0	0,006744008	0,006279346
24	23,0	0,007527771	0,007009108
25	23,1	0,010150778	0,009430073
26	23,1	0,004806878	0,004465589
27	22,1	0,00675329	0,006421704
28	23,1	0,008613968	0,008002376
29	22,1	0,006127832	0,005826956
30	23,1	0,004648235	0,00431821
		PROMEDIO	0,006850242
		MEDIANA	0,00643924
		DESVIACION	0,001802596

En la tabla 8 se puede observar que el valor promedio para el K_{20} obtenido para el río Llana Caliente en el laboratorio fue de 0,006850242 cm/sg; que su mediana fue de 0,00643924 cm/sg y que su desviación estándar fue de 0,001802596 cm/sg.

✓ PERMEABILIDAD ARENA RIO MIRLAS

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 Mirlas.

Tabla 9. Permeabilidad del río Mirlas

Muestra	temperatura	Kt (cm/sg)	K_{20} (cm/sg)
1	23,8	0,009998042	0,009138211
2	23,2	0,009353007	0,008668367
3	23,0	0,008978509	0,00835989
4	23,0	0,012470677	0,011611447
5	23,1	0,006780125	0,006298736
6	23,1	0,00760473	0,007064794
7	22,1	0,003718318	0,003535749
8	23,1	0,006506888	0,006044899
9	23,0	0,006644097	0,006186318

10	23,0	0,00675751	0,006291917
11	23,0	0,008506294	0,00792021
12	23,0	0,008715567	0,008115065
13	23,0	0,007408283	0,006897852
14	23,0	0,007029903	0,006545542
15	23,1	0,009089222	0,008443887
16	22,6	0,011227862	0,010553067
17	22,1	0,00658334	0,006260098
18	23,0	0,010176769	0,009475589
19	23,0	0,008164199	0,007601686
20	23,1	0,009637552	0,008953286
21	23,1	0,008308496	0,007718593
22	23,0	0,008294995	0,00772347
23	23,0	0,00586911	0,005464728
24	23,0	0,006335418	0,005898908
25	23,1	0,006333899	0,005884193
26	23,1	0,004806878	0,004465589
27	23,1	0,006726456	0,006248878
28	23,1	0,008085384	0,007511322
29	22,1	0,006388918	0,006075222
30	23,1	0,00656005	0,006094286
		PROMEDIO	0,00723506
		MEDIANA	0,006981323
		DESVIACION	0,001722403

En la tabla 9 se puede observar que el valor promedio para el K_{20} obtenido para el río Mirilas en el laboratorio fue de 0,00723506 cm/sg; que su mediana fue de 0,006981323 cm/sg y que su desviación estándar fue de 0,001722403 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 LLANA CALIENTE

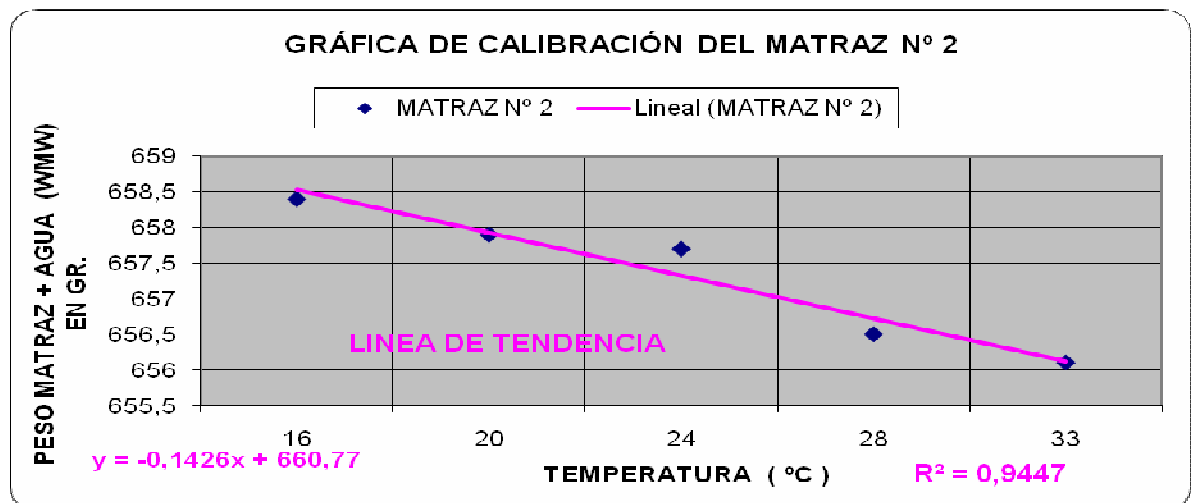
Para realizar este ensayo se hizo necesario utilizar la calibración del matraz N°2, el cuál fue hecho por la Ingeniera Ketty Plata en el año 2007.

➤ **Calibración del Matraz N° 2**

- Peso del Matraz N° 2: 160,8 gr.
- Temperatura ambiente (°C): 20 °C
-

TEMPERATURA (T °C)	16	20	24	28	32
PESO (gr.)	658,4	657,9	657,7	656,5	656,1

Gráfica 2. Calibración del matraz



Con los valores de la gráfica de calibración $Y = - 0,1426x + 660,77$ hallamos el Peso del matraz con agua (Wmw) a diferentes temperaturas.

➤ **Ensayo calculo tipo de muestra 1**

- Prueba: Arena Río Llana Caliente Muestra N° 1
- Matraz N° : 2
- T° (°C) = 23 °C.
- Peso del matraz con agua (Wmw): 657,42 gr.
- Peso del matraz con agua + suelo (Wmws): 708,5 gr.
- Cápsula de evaporación: 1
- Peso de la cápsula de evaporación: 328,6 gr.
- Peso de la cápsula de evaporación + muestra seca: 410,7 gr.
- Peso del suelo antes de secado (Wsi): 85,7 gr.
- Peso del suelo después de secado (Wsf): 82,1 gr.

- Gravedad específica relativa (Gs): $(Wsf) / (Wsf + Wmw - Wmws)$
 $(82,1) / (82,1 + 661,39 - 712,5)$

$Gs_1 = 2.65$

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

- ✓ GRAVEDAD ESPECIFICA DE ARENA DEL RÍO MIRLA

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 Mirilas.

MUESTRA	GS
1	2,64
2	2,79
3	2,62
4	2,67
5	2,76
6	2,65
7	2,67
8	2,67
9	2,68
10	2,65
11	2,68
12	2,69
13	2,68
14	2,56
15	2,71
16	2,67
17	2,67
18	2,67
19	2,66
20	2,67
21	2,59
22	2,63
23	2,70
24	2,69
25	2,65
26	2,67
27	2,67
28	2,65
29	2,69
30	2,57
PROMEDIO	2,67
MEDIANA	2,67
DESVIACION	0,062

En la tabla 10 se puede observar que el valor promedio de la gravedad específica de sólidos es de 2,67 con una mediana de 2,67 y una desviación estándar de 0,062

✓ GRAVEDAD ESPECIFICA ARENA RÍO LLANA CALIENTE

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 LLANA CALIENTE.

MUESTRA	GS
1	2,65
2	2,59
3	2,63
4	2,67
5	2,81
6	2,64
7	2,64
8	2,62
9	2,63
10	2,63
11	2,65
12	2,64
13	2,62
14	2,63
15	2,66
16	2,65
17	2,66
18	2,64
19	2,66
20	2,64
21	2,67
22	2,64
23	2,68
24	2,70
25	2,66
26	2,62
27	2,65
28	2,65
29	2,66
30	2,63
PROMEDIO	2,65

MEDIANA	2,64
DESVIACION	0,038

En la tabla 11 se puede observar que el valor promedio de la gravedad específica de sólidos es de 2,65 con una mediana de 2,64 y una desviación estándar de 0,038.

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 LLANA CALIENTE

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	74,71	87,38	74,7	162,10	0	74,7	231,2	74,7	305,9	32,3	1,00	0,461	0,855	1,89	1,43	
2	0	64,19	88,56	64,2	152,75	0	64,2	234,3	64,2	284,4	27,4	1,00	0,420	0,725	1,86	1,53	
3	0	66,81	95,28	66,8	162,10	0	66,8	252,1	66,8	289,0	26,5	1,00	0,412	0,701	1,78	1,56	
4	0	46,19	72,27	46,2	118,46	0	46,2	191,2	46,2	277,4	24,2	1,00	0,390	0,639	2,34	1,61	
5	0	56,50	80,66	56,5	137,16	0	56,5	213,4	56,5	303,2	26,5	1,00	0,412	0,701	2,21	1,56	
6	0	51,18	73,51	51,2	124,69	0	51,2	194,5	51,2	282,2	26,3	1,00	0,410	0,696	2,26	1,56	
7	0	61,71	94,15	61,7	155,86	0	61,7	249,1	61,7	290,6	24,8	1,00	0,396	0,655	1,86	1,60	
8	0	64,28	104,05	64,3	168,33	0	64,3	275,3	64,3	268,7	23,3	1,00	0,382	0,618	1,60	1,64	
9	0	53,18	77,75	53,2	130,92	0	53,2	205,7	53,2	260,7	25,9	1,00	0,406	0,684	1,99	1,57	
10	0	51,17	85,99	51,2	137,16	0	51,2	227,5	51,2	258,5	22,5	1,00	0,373	0,595	1,88	1,66	
11	0	62,67	96,30	62,7	158,98	0	62,7	254,8	62,7	292,6	24,6	1,00	0,394	0,651	1,84	1,60	
12	0	66,60	104,85	66,6	171,45	0	66,6	277,4	66,6	291,7	24,0	1,00	0,388	0,635	1,70	1,62	
13	0	66,58	107,98	66,6	174,57	0	66,6	285,7	66,6	263,7	23,3	1,00	0,381	0,617	1,51	1,64	
14	0	70,29	98,04	70,3	168,33	0	70,3	259,4	70,3	270,8	27,1	1,00	0,418	0,717	1,61	1,54	
15	0	72,12	99,33	72,1	171,45	0	72,1	262,8	72,1	285,0	27,4	1,00	0,421	0,726	1,66	1,53	
16	0	69,71	83,04	69,7	152,75	0	69,7	219,7	69,7	330,5	31,7	1,00	0,456	0,839	2,16	1,44	
17	0	72,38	99,06	72,4	171,45	0	72,4	262,1	72,4	312,2	27,6	1,00	0,422	0,731	1,82	1,53	
18	0	78,66	105,26	78,7	183,92	0	78,7	278,5	78,7	265,6	28,2	1,00	0,428	0,747	1,44	1,51	
19	0	66,11	99,10	66,1	165,21	0	66,1	262,2	66,1	287,1	25,2	1,00	0,400	0,667	1,74	1,59	
20	0	63,88	95,10	63,9	158,98	0	63,9	251,6	63,9	274,3	25,4	1,00	0,402	0,672	1,73	1,58	
21	0	58,57	97,29	58,6	155,86	0	58,6	257,4	58,6	315,5	22,8	1,00	0,376	0,602	2,02	1,65	
22	0	60,14	92,60	60,1	152,75	0	60,1	245,0	60,1	297,2	24,5	1,00	0,394	0,650	1,95	1,60	
23	0	49,57	90,71	49,6	140,28	0	49,6	240,0	49,6	316,6	20,7	1,00	0,353	0,546	2,26	1,71	
24	0	63,52	104,81	63,5	168,33	0	63,5	277,3	63,5	303,5	22,9	1,00	0,377	0,606	1,80	1,65	
25	0	67,30	113,50	67,3	180,80	0	67,3	300,3	67,3	337,3	22,4	1,00	0,372	0,593	1,87	1,66	
26	0	60,94	85,57	60,9	146,51	0	60,9	226,4	60,9	319,2	26,9	1,00	0,416	0,712	2,18	1,55	
27	0	70,01	95,21	70,0	165,21	0	70,0	251,9	70,0	296,7	27,8	1,00	0,424	0,735	1,80	1,52	
28	0	74,48	106,32	74,5	180,80	0	74,5	281,3	74,5	309,4	26,5	1,00	0,412	0,701	1,71	1,56	
29	0	60,41	92,34	60,4	152,75	0	60,4	244,3	60,4	316,0	24,7	1,00	0,395	0,654	2,07	1,60	
30	0	59,81	86,70	59,8	146,51	0	59,8	229,4	59,8	274,9	26,1	1,00	0,408	0,690	1,88	1,57	
Promedio	0	63,456	93,757	63,46	157,21	0	63,5	248,06	63,5	292,68	25,7	1,00	0,403	0,679	1,88	1,58	

En la tabla anterior se puede observar los diferentes promedios de volúmenes tales como Va: 0,0 cm³; Vw: 63,456 cm³; Vs: 93,757 cm³; Vv: 63,46 cm³; Vt:157,21 cm³; por otra parte se puede observar los promedio de los pesos tales como Wa: 0 gr. ; Ww: 63,5 gr. ; Ws: 248,06 gr. ; Wv: 63,5 gr.; Wt: 292,68; y por ultimo se pueden observar los valores de relaciones volumétricas y gravimétricas tales como W%: 25,7 % ; Sr: 1,00 ; n: 0,403 ; e:0,679; γ_d : 1,88 gr/cm³; γ_m : 1,58 gr/cm³

Vm = Volumen total.

Wm = Peso total

V_s = Volumen de fase sólidas.

V_w = Volumen de fase líquida.

V_a = Volumen fase gaseosa.

V_v = Volumen de vacíos.

n = Porosidad

e = Relación de Vacío

S_r = Grado de Saturación S_r

W_s = Peso fase sólida.

W_w = Peso fase líquida.

W_a = Peso fase gaseosa.

γ_d = Peso Unitario Húmedo

γ_m = Peso Unitario Seco

W = Contenido de agua

G_s = Gravedad específica relativa

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 Llana Caliente.

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 Llana Caliente.

Tabla 13. COMPARACIÓN DE LAS CONSTANTES PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE

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	979	31,17	66,0	5,20	23,8	0,461	0,0126	21,14	36,47	21,14	127,87
2	504	31,17	66,0	4,90	23,8	0,420	0,0061	10,26	75,11	10,26	84,73
3	771	31,17	66,0	5,20	23,2	0,412	0,0100	17,09	45,10	17,09	150,65
4	907	31,17	66,0	3,80	23,0	0,390	0,0087	14,83	51,98	14,83	157,92
5	762	31,17	66,0	4,40	23,1	0,412	0,0084	14,37	53,67	14,37	126,84
6	646	31,17	66,0	4,00	23,1	0,410	0,0065	11,08	69,60	11,08	99,04
7	612	31,17	66,0	5,00	23,1	0,396	0,0077	13,11	58,81	13,11	132,46
8	675	31,17	66,0	5,40	23,1	0,382	0,0091	15,62	49,36	15,62	178,68
9	716	31,17	66,0	4,20	22,1	0,406	0,0077	13,47	57,22	13,47	124,81
10	563	31,17	66,0	4,40	23,1	0,373	0,0062	10,62	72,62	10,62	131,61
11	381	31,17	66,0	5,10	23,8	0,394	0,0048	8,06	95,63	8,06	82,67
12	422	31,17	66,0	5,50	23,8	0,388	0,0057	9,64	80,00	9,64	103,93
13	426	31,17	66,0	5,60	23,0	0,381	0,0060	10,27	75,04	10,27	118,00
14	504	31,17	66,0	5,40	23,0	0,418	0,0068	11,72	65,77	11,72	98,88
15	411	31,17	66,0	5,50	23,1	0,421	0,0057	9,68	79,67	9,68	79,61
16	487	31,17	66,0	4,90	23,1	0,456	0,0060	10,22	75,42	10,22	63,93
17	493	31,17	66,0	5,50	22,1	0,422	0,0070	12,14	63,50	12,14	98,66
18	436	31,17	66,0	5,90	23,1	0,428	0,0065	11,03	69,90	11,03	85,81
19	398	31,17	66,0	5,30	23,5	0,400	0,0052	8,88	86,81	8,88	86,55
20	388	31,17	66,0	5,10	23,1	0,402	0,0050	8,47	91,04	8,47	81,36
21	527	31,17	66,0	5,00	23,8	0,376	0,0065	10,94	70,47	10,94	132,26
22	456	31,17	66,0	4,90	23,0	0,394	0,0056	9,62	80,13	9,62	99,08
23	555	31,17	66,0	4,50	23,0	0,353	0,0063	10,75	71,72	10,75	161,15
24	516	31,17	66,0	5,40	23,0	0,377	0,0070	12,00	64,26	12,00	142,98
25	648	31,17	66,0	5,80	23,1	0,372	0,0094	16,11	47,86	16,11	201,29
26	379	31,17	66,0	4,70	23,1	0,416	0,0045	7,63	101,07	7,63	65,19
27	472	31,17	66,0	5,30	22,1	0,424	0,0064	11,21	68,77	11,21	89,99
28	550	31,17	66,0	5,80	23,1	0,412	0,0080	13,67	56,40	13,67	120,70
29	463	31,17	66,0	4,90	22,1	0,395	0,0058	10,17	75,79	10,17	103,18
30	366	31,17	66,0	4,70	23,1	0,408	0,0043	7,38	104,52	7,38	67,18
Promedio	547	31,17	66,0	5,04	23,1	0,403	0,0069	11,71	69,79	11,706	113,23

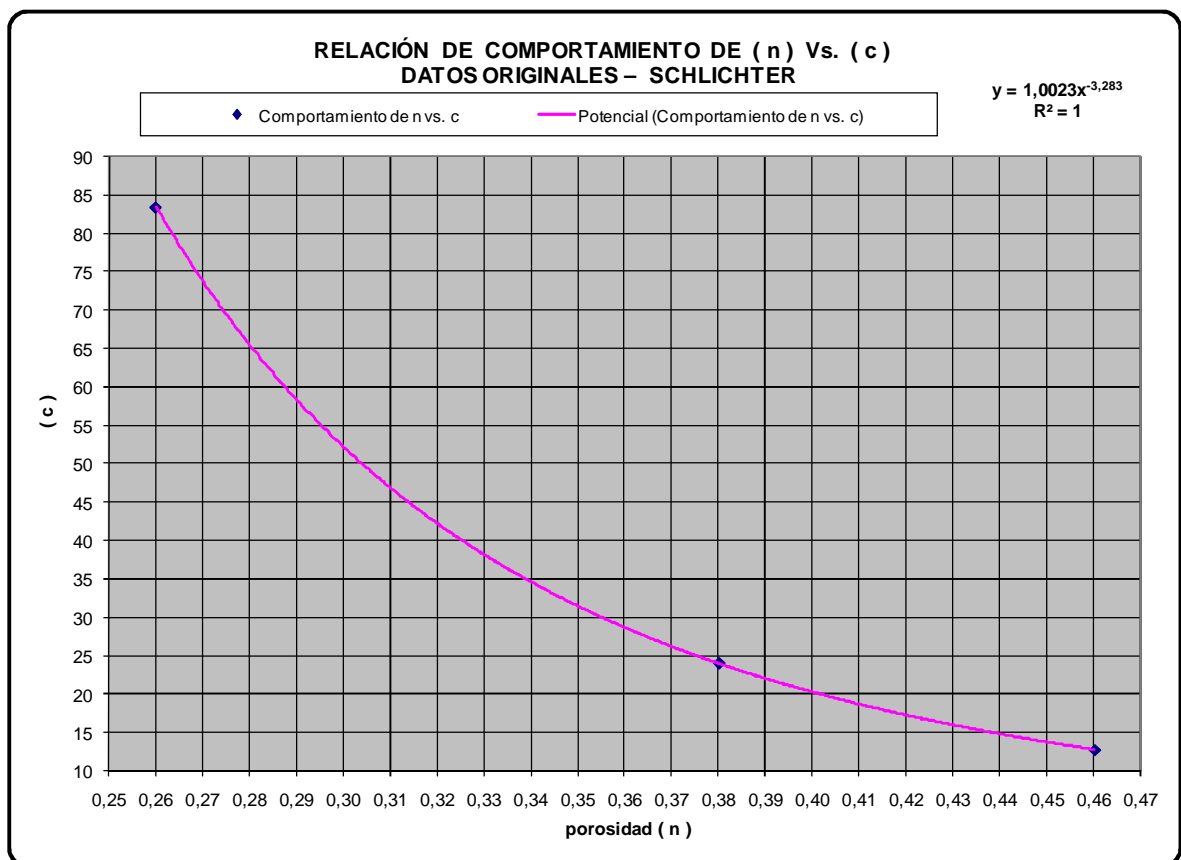
En la tabla anterior se puede apreciar que para las arenas del rio Llana Caliente las constantes promedio obtenidas a partir del coeficiente de permeabilidad hallado en el laboratorio son las siguientes: constante de permeabilidad de Allen Hazen C=11,71; para Schlichter C=69,79; para Terzaghi C1=11,706 y para la constante Co=113,23.

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 3. Relación de comportamiento de la Porosidad (n) Vs (c). Datos originales–Schlichter.

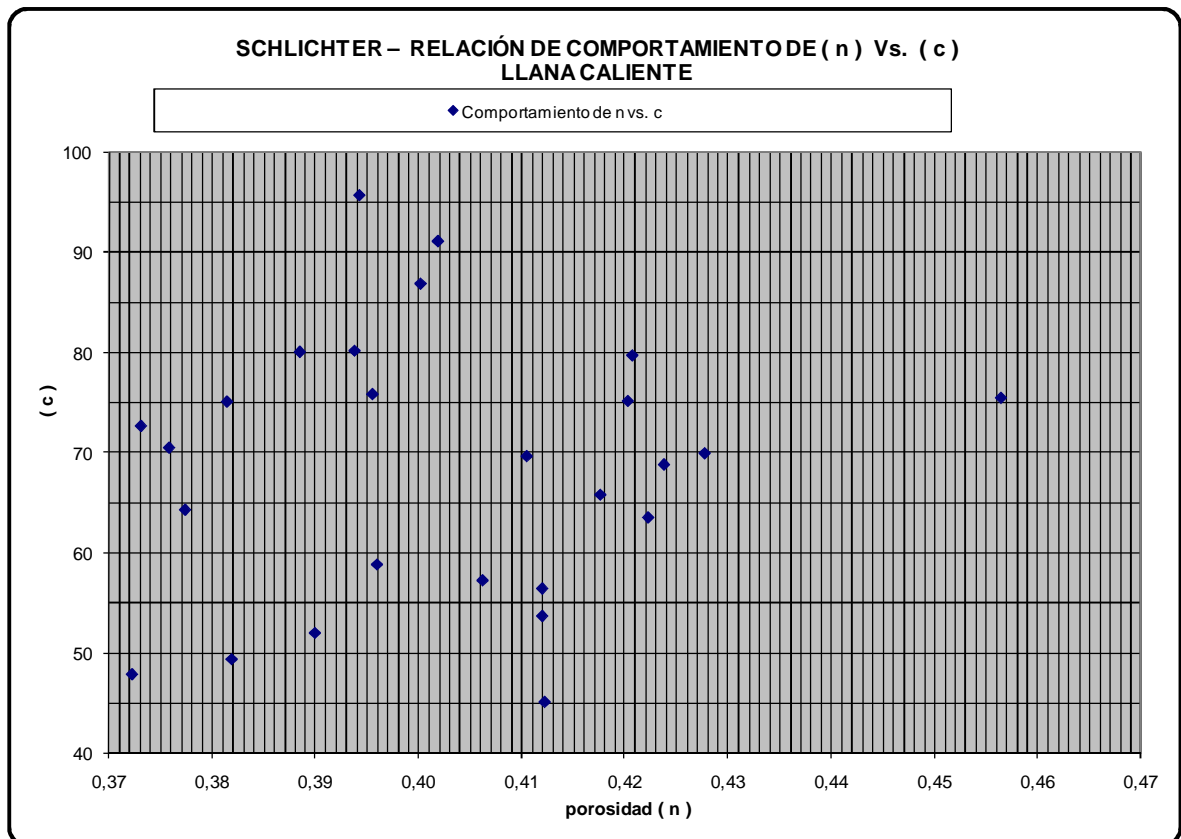


La grafica anterior muestra una correlación $R^2=1$ con una formula $y = 1,0023x^{-3,283}$, esta calculada con los valores:

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 Llana Caliente.

Grafica . Relación de comportamiento de la Porosidad (n) Vs C. Datos Rio Llana Caliente.



La schlichter obtenida representa el 45,5 % de la schlichter original.

En la gráfica anterior se observa que en la arena del Río Llana Caliente 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:

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

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

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 Llana Caliente.

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 Llana Caliente.

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 Llana Caliente.

Tabla 15. PORCENTAJES DE ERROR ALLEN HAZEN - RIO LLANA CALIENTE

N°	$K_{LH}(cm^3/seg)$	$K_{AH.ORIGINAL}(cm^3/seg)$	$ERROR_{AH.ORIGINAL}(\%)$	$K_{AH.AJUSTE}(cm^3/seg)$	$ERROR_{AH.AJUSTE}(\%)$	ERROR	RANGOS
1	0,012561280	0,068931086	448,8	0,006956338	44,6	0,1	0-10
2	0,006099699	0,068931086	1030,1	0,006956338	14,0	2,4	
3	0,010028709	0,068053604	578,6	0,006867785	31,5	3,6	
4	0,008664429	0,06776111	682,1	0,006838268	21,1	4,4	
5	0,008409394	0,067907357	707,5	0,006853027	18,5	5,7	
6	0,006484684	0,067907357	947,2	0,006853027	5,7	6,1	
7	0,007674693	0,067907357	784,8	0,006853027	10,7	7,0	
8	0,009143781	0,067907357	642,7	0,006853027	25,1	8,9	
9	0,007717599	0,066444887	761,0	0,006705438	13,1	10,3	
10	0,006215639	0,067907357	992,5	0,006853027	10,3	10,7	10-20
11	0,004791001	0,068931086	1338,8	0,006956338	45,2	13,1	
12	0,005726711	0,068931086	1103,7	0,006956338	21,5	13,9	
13	0,006001521	0,06776111	1029,1	0,006838268	13,9	14,0	
14	0,006847881	0,06776111	889,5	0,006838268	0,1	14,4	
15	0,005665476	0,067907357	1098,6	0,006853027	21,0	14,5	
16	0,005984693	0,067907357	1034,7	0,006853027	14,5	15,1	
17	0,006955308	0,066444887	855,3	0,006705438	3,6	18,5	
18	0,006456776	0,067907357	951,7	0,006853027	6,1	21,0	
19	0,005244264	0,068492345	1206,0	0,006912062	31,8	21,1	20-30
20	0,004957585	0,067907357	1269,8	0,006853027	38,2	21,5	
21	0,006501841	0,068931086	960,2	0,006956338	7,0	21,7	
22	0,005620926	0,06776111	1105,5	0,006838268	21,7	25,1	
23	0,006279346	0,06776111	979,1	0,006838268	8,9	27,3	
24	0,007009108	0,06776111	866,8	0,006838268	2,4	31,5	30-40
25	0,009430073	0,067907357	620,1	0,006853027	27,3	31,8	
26	0,004465589	0,067907357	1420,7	0,006853027	53,5	38,2	40-50
27	0,006421704	0,066444887	934,7	0,006705438	4,4	44,6	
28	0,008002376	0,067907357	748,6	0,006853027	14,4	45,2	50-60
29	0,005826956	0,066444887	1040,3	0,006705438	15,1	53,5	
30	0,004318210	0,067907357	1472,6	0,006853027	58,7	58,7	
Mediana :			956,0	mediana :		14,8	

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 956,0% y con el ajuste es de 14,8%.

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

Tabla 16. PORCENTAJES DE ERROR TERZAGUI - RIO LLANA CALIENTE

Nº	K _{AB} (cm ³ /seg)	K _{r,ORIGINAL} (cm ³ /seg)	ERROR _{T,ORIGINAL} (%)	K _{r,AJUSTE} (cm ³ /seg)	ERROR _{T,AJUSTE} (%)	ERROR	RANGOS
1	0,012561280	0,078588469	525,6	0,011123628	11,4	4,0	0-10
2	0,006099699	0,057593484	844,2	0,00815194	33,6	6,2	
3	0,010028709	0,053255278	431,0	0,007537899	24,8	8,9	
4	0,008664429	0,043893197	406,6	0,006212764	28,3	9,3	
5	0,008409394	0,05303902	530,7	0,007507289	10,7	9,7	
6	0,006484684	0,052380361	707,8	0,007414061	14,3	10,7	10-20
7	0,007674693	0,04635107	503,9	0,006560658	14,5	11,4	
8	0,009143781	0,040938179	347,7	0,005794503	36,6	14,0	
9	0,007717599	0,049469723	541,0	0,007002081	9,3	14,3	
10	0,006215639	0,037781298	507,8	0,005347669	14,0	14,3	
11	0,004791001	0,046360471	867,7	0,006561989	37,0	14,4	
12	0,005726711	0,044079812	669,7	0,006239178	8,9	14,5	
13	0,006001521	0,040687715	578,0	0,005759051	4,0	14,5	
14	0,006847881	0,05540634	709,1	0,007842366	14,5	14,8	
15	0,005665476	0,056929237	904,8	0,008057921	42,2	20,8	20-30
16	0,005984693	0,074886532	1151,3	0,010599646	77,1	24,8	
17	0,006955308	0,056396447	710,8	0,007982508	14,8	25,8	
18	0,006456776	0,06019656	832,3	0,008520387	32,0	28,3	
19	0,005244264	0,04847313	824,3	0,00686102	30,8	29,7	
20	0,004957585	0,048748791	883,3	0,006900038	39,2	30,8	
21	0,006501841	0,039328679	504,9	0,00556669	14,4	32,0	30-40
22	0,005620926	0,045385971	707,4	0,006424055	14,3	33,6	
23	0,006279346	0,031171932	396,4	0,004412161	29,7	36,6	
24	0,007009108	0,039216555	459,5	0,005550819	20,8	37,0	
25	0,009430073	0,037478534	297,4	0,005304815	43,7	39,2	
26	0,004465589	0,054802835	1127,2	0,007756944	73,7	42,2	
27	0,006421704	0,05708974	789,0	0,008080639	25,8	43,7	40-80
28	0,008002376	0,05303902	562,8	0,007507289	6,2	68,6	
29	0,005826956	0,045176916	675,3	0,006394465	9,7	73,7	
30	0,004318210	0,051423142	1090,8	0,007278573	68,6	77,1	
Mediana:			672,5	Mediana:		22,8	

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 672,5% y con el ajuste es de 22,8%.

Después de hacer el ajuste, se analiza que de los 30 ensayos realizados para esta arena el 16,67% de las muestras tiene porcentajes de error entre 0 y 10. El 30 % de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 10 a 20. El 17,67% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 20 a 30. El 20 % de

las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 30 a 40 y el 16,67% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 40 a 80.

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 Llana Caliente.

Tabla 17. PORCENTAJES DE ERROR SCHLICHTER - RIO LLANA CALIENTE

N°	K _{LAB} (cm ³ /seg)	K _{S.ORIGINAL} (cm ³ /seg)	ERROR _{T.ORIGINAL} (%)	K _{S.AJUSTE} (cm ³ /seg)	ERROR _{T.AJUSTE} (%)	ERROR	RANGOS
1	0,012561280	0,035947194	186,2	0,006564689	47,7	0,2	0-10
2	0,006099699	0,026541994	335,1	0,006564689	7,6	0,3	
3	0,010028709	0,024590673	145,2	0,006481121	35,4	1,0	
4	0,008664429	0,020407056	135,5	0,006453266	25,5	1,5	
5	0,008409394	0,024492285	191,2	0,006467193	23,1	2,8	
6	0,006484684	0,024197691	273,2	0,006467193	0,3	4,0	
7	0,007674693	0,021504525	180,2	0,006467193	15,7	5,8	
8	0,009143781	0,019093845	108,8	0,006467193	29,3	7,5	
9	0,007717599	0,022879632	196,5	0,006327914	18,0	7,6	
10	0,006215639	0,017692004	184,6	0,006467193	4,0	7,9	
11	0,004791001	0,021521272	349,2	0,006564689	37,0	8,1	
12	0,005726711	0,020504976	258,1	0,006564689	14,6	8,6	
13	0,006001521	0,018980573	216,3	0,006453266	7,5	9,0	
14	0,006847881	0,025549968	273,1	0,006453266	5,8	14,2	
15	0,005665476	0,026233374	363,0	0,006467193	14,2	14,6	10--20
16	0,005984693	0,034278687	472,8	0,006467193	8,1	14,8	
17	0,006955308	0,025978845	273,5	0,006327914	9,0	15,7	
18	0,006456776	0,027696812	329,0	0,006467193	0,2	18,0	
19	0,005244264	0,022458569	328,3	0,006522905	24,4	19,2	
20	0,004957585	0,022574696	355,4	0,006467193	30,5	23,1	20-30
21	0,006501841	0,018392557	182,9	0,006564689	1,0	24,4	
22	0,005620926	0,021072334	274,9	0,006453266	14,8	25,5	
23	0,006279346	0,014767201	135,2	0,006453266	2,8	29,3	
24	0,007009108	0,018326951	161,5	0,006453266	7,9	30,5	30-40
25	0,009430073	0,017557742	86,2	0,006467193	31,4	31,4	
26	0,004465589	0,025281469	466,1	0,006467193	44,8	35,4	
27	0,006421704	0,026289344	309,4	0,006327914	1,5	37,0	40-50
28	0,008002376	0,024492285	206,1	0,006467193	19,2	44,8	
29	0,005826956	0,020962928	259,8	0,006327914	8,6	47,7	
30	0,004318210	0,023769679	450,5	0,006467193	49,8	49,8	
Mediana:			258,9	Mediana:	14,7		

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 258,9% y con el ajuste es de 14,7%.

Después de hacer el ajuste, se analiza que de los 30 ensayos realizados para esta arena el 43,33% 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 13,33% 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 10% de las muestras tiene un porcentaje de error entre un rango de 40 a 50.

6.2. ARENA DEL RIO MIRLAS

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

ENSAYO	VOLUMENES					PESOS					RELACIONES					
	Nº	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	63,33	89,42	63,3	152,75	0	63,3	238,3	63,3	301,6	26,6	1,00	0,415	0,708	1,97	1,56
2	0	69,18	83,56	69,2	152,75	0	69,2	222,7	69,2	291,9	31,1	1,00	0,453	0,828	1,91	1,46
3	0	69,52	86,34	69,5	155,86	0	69,5	230,1	69,5	299,6	30,2	1,00	0,446	0,805	1,92	1,48
4	0	90,63	90,17	90,6	180,80	0	90,6	240,3	90,6	330,9	37,7	1,00	0,501	1,005	1,83	1,33
5	0	69,31	95,91	69,3	165,21	0	69,3	255,6	69,3	324,9	27,1	1,00	0,420	0,723	1,97	1,55
6	0	79,05	107,99	79,0	187,03	0	79,0	287,8	79,0	366,8	27,5	1,00	0,423	0,732	1,96	1,54
7	0	65,40	93,58	65,4	158,98	0	65,4	249,4	65,4	314,8	26,2	1,00	0,411	0,699	1,98	1,57
8	0	75,88	95,57	75,9	171,45	0	75,9	254,7	75,9	330,6	29,8	1,00	0,443	0,794	1,93	1,49
9	0	77,61	96,96	77,6	174,57	0	77,6	258,4	77,6	336,0	30,0	1,00	0,445	0,800	1,92	1,48
10	0	78,17	96,39	78,2	174,57	0	78,2	256,9	78,2	335,1	30,4	1,00	0,448	0,811	1,92	1,47
11	0	73,60	107,20	73,6	180,80	0	73,6	285,7	73,6	359,3	25,8	1,00	0,407	0,687	1,99	1,58
12	0	73,22	104,46	73,2	177,68	0	73,2	278,4	73,2	351,6	26,3	1,00	0,412	0,701	1,98	1,57
13	0	76,45	107,46	76,5	183,92	0	76,5	286,4	76,5	362,9	26,7	1,00	0,416	0,711	1,97	1,56
14	0	76,94	106,98	76,9	183,92	0	76,9	285,1	76,9	362,0	27,0	1,00	0,418	0,719	1,97	1,55
15	0	55,85	81,31	55,8	137,16	0	55,8	216,7	55,8	272,5	25,8	1,00	0,407	0,687	1,99	1,58
16	0	58,07	91,55	58,1	149,63	0	58,1	244,0	58,1	302,1	23,8	1,00	0,388	0,634	2,02	1,63
17	0	61,82	81,57	61,8	143,39	0	61,8	217,4	61,8	279,2	28,4	1,00	0,431	0,758	1,95	1,52
18	0	65,43	90,43	65,4	155,86	0	65,4	241,0	65,4	306,4	27,2	1,00	0,420	0,724	1,97	1,55
19	0	48,00	86,04	48,0	134,04	0	48,0	229,3	48,0	277,3	20,9	1,00	0,358	0,558	2,07	1,71
20	0	60,58	79,70	60,6	140,28	0	60,6	212,4	60,6	273,0	28,5	1,00	0,432	0,760	1,95	1,51
21	0	60,50	79,77	60,5	140,28	0	60,5	212,6	60,5	273,1	28,5	1,00	0,431	0,758	1,95	1,52
22	0	61,57	94,29	61,6	155,86	0	61,6	251,3	61,6	312,9	24,5	1,00	0,395	0,653	2,01	1,61
23	0	54,57	76,36	54,6	130,92	0	54,6	203,5	54,6	258,1	26,8	1,00	0,417	0,715	1,97	1,55
24	0	56,78	77,26	56,8	134,04	0	56,8	205,9	56,8	262,7	27,6	1,00	0,424	0,735	1,96	1,54
25	0	60,95	79,32	61,0	140,28	0	61,0	211,4	61,0	272,4	28,8	1,00	0,435	0,768	1,94	1,51
26	0	60,21	86,30	60,2	146,51	0	60,2	230,0	60,2	290,2	26,2	1,00	0,411	0,698	1,98	1,57
27	0	69,83	95,38	69,8	165,21	0	69,8	254,2	69,8	324,0	27,5	1,00	0,423	0,732	1,96	1,54
28	0	74,05	106,75	74,0	180,80	0	74,0	284,5	74,0	358,5	26,0	1,00	0,410	0,694	1,98	1,57
29	0	74,07	88,03	74,1	162,10	0	74,1	234,6	74,1	308,7	31,6	1,00	0,457	0,841	1,90	1,45
30	0	61,45	81,95	61,4	143,39	0	61,4	218,4	61,4	279,8	28,1	1,00	0,429	0,750	1,95	1,52
Promedio	0	67,402	91,266	67,4	158,67	0	67,4	243,2	67,402	310,63	27,8	1,00	0,424	0,740	1,96	1,53

En la tabla anterior se observan los diferentes promedios de volúmenes tales como Va: 0,0 cm³; Vw: 67,402 cm³; Vs: 91,266cm³; Vv: 67,4 cm³; Vt:158,67 cm³; por otra parte se puede observar los promedio de los pesos tales como Wa: 0 gr. ; Ww: 67,4gr. ; Ws: 243,2gr. ; Wv: 67,402gr.; Wt: 310,63; y por último se pueden

observar los valores de relaciones volumétricas y gravimétricas tales como $W\%:27,8 \%$; $Sr: 1,00$; $n: 0,424$; $e:0,740$; $\gamma_d: 1,53 \text{ gr/cm}^3$; $\gamma_m: 1,96 \text{ gr/cm}^3$

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.

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

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 Mirlas.

Tabla 19. COMPARACIÓN DE LAS CONSTANTES PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS

Ensayo N°	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	756	31,17	66,0	4,90	23,8	0,415	0,0091	16,16	47,72	16,16	139,58
2	707	31,17	66,0	4,90	23,2	0,453	0,0087	15,52	49,67	15,52	99,57
3	665	31,17	66,0	5,00	23,0	0,446	0,0084	15,04	51,28	15,04	101,52
4	796	31,17	66,0	5,80	23,0	0,501	0,0116	20,88	36,92	20,88	95,26
5	474	31,17	66,0	5,30	23,1	0,420	0,0063	11,30	68,20	11,30	93,86
6	469	31,17	66,0	6,00	23,1	0,423	0,0071	12,68	60,81	12,68	102,67
7	270	31,17	66,0	5,10	22,1	0,411	0,0035	6,49	118,89	6,49	57,53
8	438	31,17	66,0	5,50	23,1	0,443	0,0060	10,85	71,07	10,85	75,20
9	439	31,17	66,0	5,60	23,0	0,445	0,0062	11,13	69,29	11,13	75,97
10	447	31,17	66,0	5,60	23,0	0,448	0,0063	11,32	68,13	11,32	75,41
11	543	31,17	66,0	5,80	23,0	0,407	0,0079	14,24	54,12	14,24	130,96
12	566	31,17	66,0	5,70	23,0	0,412	0,0081	14,60	52,82	14,60	128,72
13	465	31,17	66,0	5,90	23,0	0,416	0,0069	12,41	62,15	12,41	106,23
14	441	31,17	66,0	5,90	23,0	0,418	0,0065	11,77	65,49	11,77	98,66
15	765	31,17	66,0	4,40	23,1	0,407	0,0084	15,15	50,88	15,15	139,19
16	866	31,17	66,0	4,80	22,6	0,388	0,0106	19,15	40,27	19,15	207,11
17	530	31,17	66,0	4,60	22,1	0,431	0,0063	11,48	67,15	11,48	86,94
18	754	31,17	66,0	5,00	23,0	0,420	0,0095	17,04	45,24	17,04	141,14
19	703	31,17	66,0	4,30	23,0	0,358	0,0076	13,67	56,39	13,67	195,49
20	793	31,17	66,0	4,50	23,1	0,432	0,0090	16,07	47,98	16,07	120,97
21	684	31,17	66,0	4,50	23,1	0,431	0,0077	13,85	55,66	13,85	104,72
22	614	31,17	66,0	5,00	23,0	0,395	0,0077	13,89	55,50	13,89	141,47
23	518	31,17	66,0	4,20	23,0	0,417	0,0055	9,83	78,44	9,83	83,42
24	546	31,17	66,0	4,30	23,0	0,424	0,0059	10,61	72,67	10,61	85,23
25	521	31,17	66,0	4,50	23,1	0,435	0,0059	10,56	73,01	10,56	77,87
26	379	31,17	66,0	4,70	23,1	0,411	0,0045	8,01	96,20	8,01	71,34
27	470	31,17	66,0	5,30	23,1	0,423	0,0062	11,21	68,75	11,21	90,77
28	516	31,17	66,0	5,80	23,1	0,410	0,0075	13,48	57,19	13,48	121,39
29	455	31,17	66,0	5,20	22,1	0,457	0,0061	11,14	69,19	11,14	69,39
30	528	31,17	66,0	4,60	23,1	0,429	0,0061	10,94	70,49	10,94	84,53
Promedio	571	31,17	66,0	5,09	23,0	0,424	0,0072	13,02	62,72	13,016	106,74

En la tabla anterior se puede apreciar que para las arenas del río Mirlas las constantes promedio obtenidas a partir del coeficiente de permeabilidad hallado en el laboratorio son las siguientes: constante de permeabilidad de Allen Hazen C=13,02; para Schlichter C=62,72; para Terzaghi C1=13,016 y para la constante Co=106,74

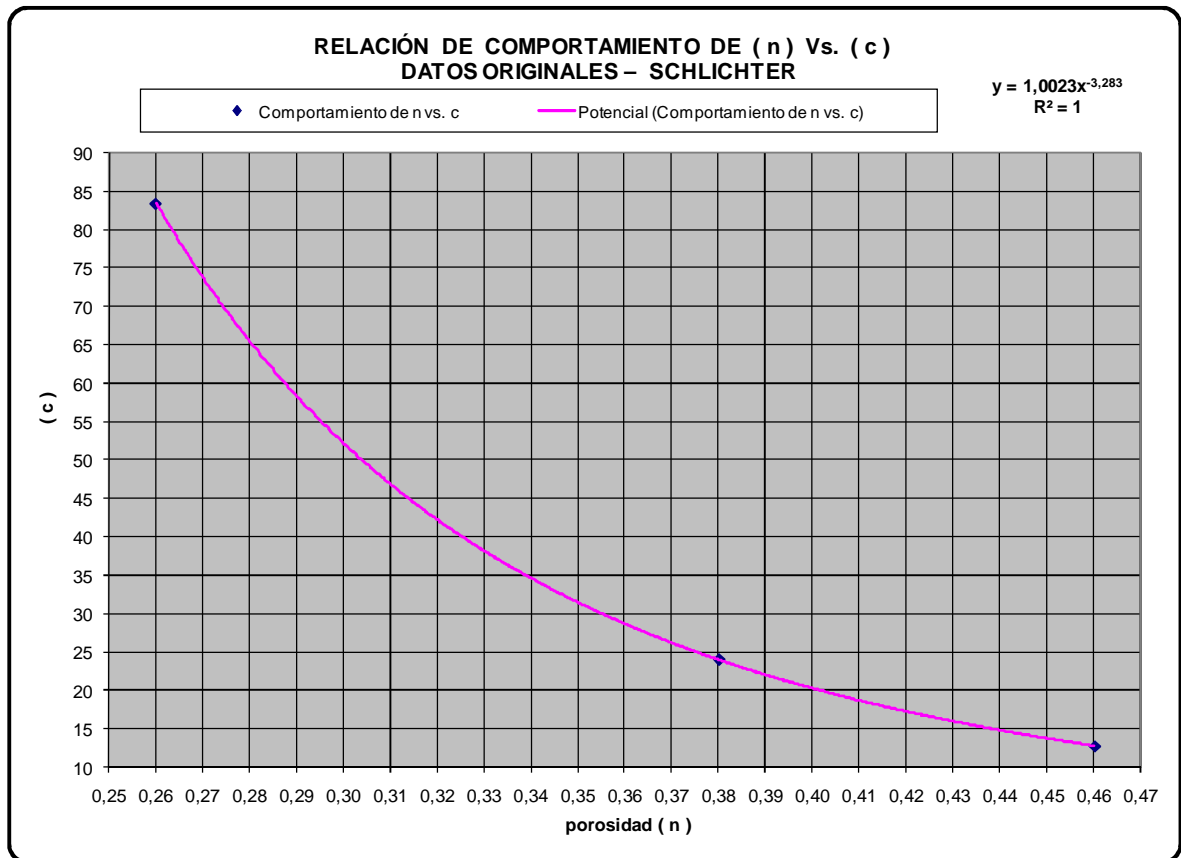
Análisis de la constante obtenida en la fórmula de Schlichter

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.

Gráfica 5. Relación de comportamiento de la Porosidad (n) Vs (c). Datos originales–Schlichter.

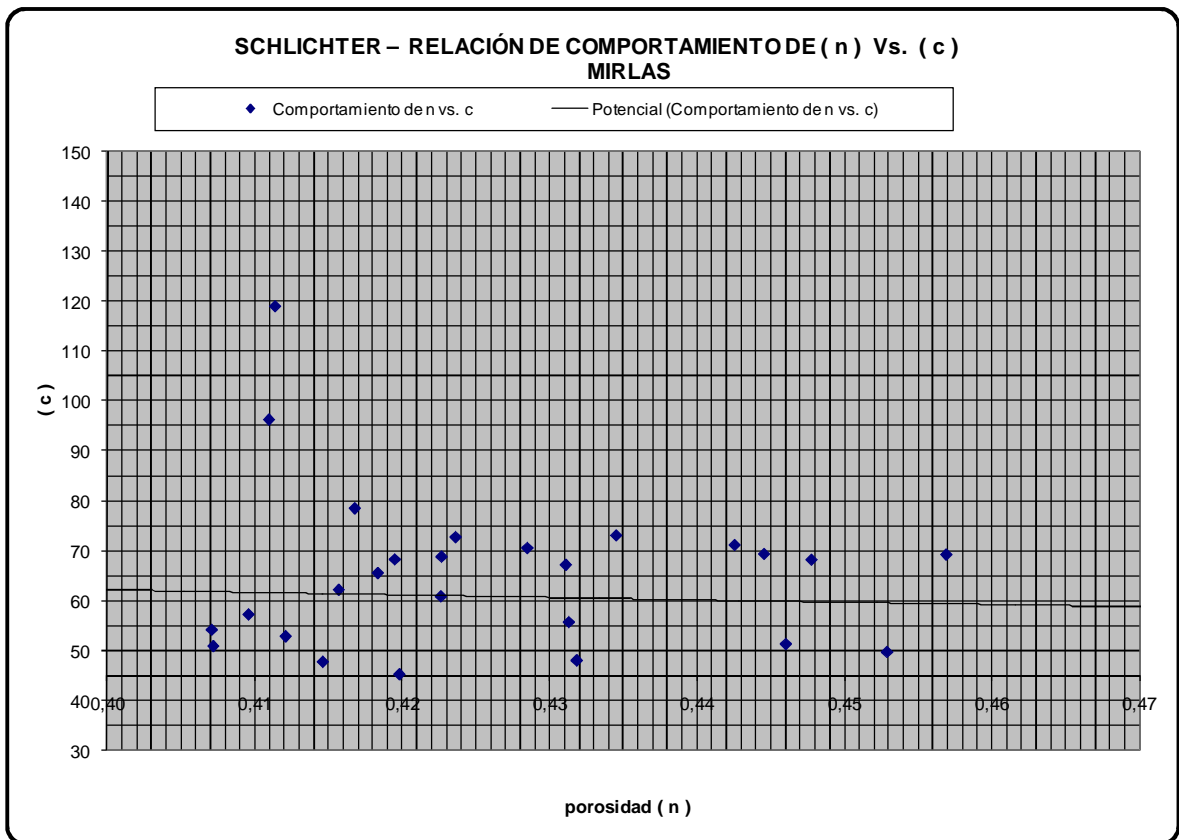


La gráfica anterior nos muestra una correlación $R^2=1$ con una fórmula $y = 1,0023x^{-3,283}$, está calculada con los valores:

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 Mirlas.

Gráfica 6. . Relación de comportamiento de la Porosidad (n) Vs C. Datos Río Mirlas.



La schlichter obtenida representa el 27,3 % de la schlichter original.

En la gráfica anterior se observa que en la arena del Río Mirilas 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:

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

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

C_1 está en función de la porosidad (n).

En este proyecto de tesis 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 Mirlas.

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 Mirlas.

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 Mirlas.

Tabla 21. PORCENTAJES DE ERROR ALLEN HAZEN - RIO MIRLAS

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	0,009138211	0,0656096	618,0	0,007361779	19,4	0,5	0-10
2	0,008668367	0,0647744	647,3	0,007268065	16,2	1,2	
3	0,008359890	0,064496	671,5	0,007236826	13,4	1,7	
4	0,011611447	0,064496	455,5	0,007236826	37,7	2,5	
5	0,006298736	0,0646352	926,2	0,007252445	15,1	3,3	
6	0,007064794	0,0646352	814,9	0,007252445	2,7	3,5	
7	0,003535749	0,0632432	1688,7	0,007096255	100,7	3,6	
8	0,006044899	0,0646352	969,3	0,007252445	20,0	3,8	
9	0,006186318	0,064496	942,6	0,007236826	17,0	3,8	
10	0,006291917	0,064496	925,1	0,007236826	15,0	5,2	
11	0,007920210	0,064496	714,3	0,007236826	8,6	5,8	
12	0,008115065	0,064496	694,8	0,007236826	10,8	5,8	
13	0,006897852	0,064496	835,0	0,007236826	4,9	7,3	
14	0,006545542	0,064496	885,3	0,007236826	10,6	7,6	
15	0,008443887	0,0646352	665,5	0,007252445	14,1	8,9	
16	0,010553067	0,0639392	505,9	0,00717435	32,0	9,0	
17	0,006260098	0,0632432	910,3	0,007096255	13,4	10,6	10--20
18	0,009475589	0,064496	580,7	0,007236826	23,6	11,1	
19	0,007601686	0,064496	748,4	0,007236826	4,8	12,1	
20	0,008953286	0,0646352	621,9	0,007252445	19,0	13,1	
21	0,007718593	0,0646352	737,4	0,007252445	6,0	13,1	
22	0,007723470	0,064496	735,1	0,007236826	6,3	14,8	
23	0,005464728	0,064496	1080,2	0,007236826	32,4	17,5	
24	0,005898908	0,064496	993,4	0,007236826	22,7	18,4	
25	0,005884193	0,0646352	998,5	0,007252445	23,3	24,8	20-30
26	0,004465589	0,0646352	1347,4	0,007252445	62,4	28,6	
27	0,006248878	0,0646352	934,3	0,007252445	16,1	29,4	30-40
28	0,007511322	0,0646352	760,5	0,007252445	3,4	32,2	
29	0,006075222	0,0632432	941,0	0,007096255	16,8	37,5	40-50
30	0,006094286	0,0646352	960,6	0,007252445	19,0	44,6	
Mediana :			825,0	Mediana :	16,1		

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 825,0% y con el ajuste es de 16,1%.

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 río Mirlas.

Tabla 22. PORCENTAJES DE ERROR TERZAGUI - RIO MIRLAS

C	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	0,009138211	0,052377221	473,2	0,006988235	23,5	1,8	0-10
2	0,008668367	0,069646832	703,5	0,009292368	7,2	2,7	
3	0,008359890	0,065876282	688,0	0,008789296	5,1	2,9	
4	0,011611447	0,097509505	739,8	0,013009841	12,0	4,5	
5	0,006298736	0,053687	752,3	0,007162987	13,7	6,6	
6	0,007064794	0,055050733	679,2	0,007344938	4,0	7,7	
7	0,003535749	0,049163217	1290,5	0,006559418	85,5	9,6	
8	0,006044899	0,064303742	963,8	0,008579486	41,9	10,6	10-20
9	0,006186318	0,065145371	953,1	0,008691777	40,5	11,2	
10	0,006291917	0,066746135	960,8	0,008905353	41,5	11,9	
11	0,007920210	0,048383841	510,9	0,006455433	18,5	13,2	
12	0,008115065	0,050435358	521,5	0,006729149	17,1	13,2	
13	0,006897852	0,051946456	653,1	0,006930761	0,5	14,2	
14	0,006545542	0,053076129	710,9	0,007081484	8,2	14,4	
15	0,008443887	0,048530254	474,7	0,006474967	23,3	14,4	
16	0,010553067	0,04076373	286,3	0,005438748	48,5	15,9	
17	0,006260098	0,057604664	820,2	0,007685687	22,8	18,6	
18	0,009475589	0,05370873	466,8	0,007165886	24,4	21,7	20-30
19	0,007601686	0,031107822	309,2	0,004150445	45,4	24,3	
20	0,008953286	0,05921025	561,3	0,007899906	11,8	27,6	
21	0,007718593	0,058963553	663,9	0,007866991	1,9	29,8	
22	0,007723470	0,043675834	465,5	0,005827285	24,6	30,3	30-40
23	0,005464728	0,052405903	859,0	0,006992061	27,9	34,6	40-50
24	0,005898908	0,05537151	838,7	0,007387736	25,2	40,6	
25	0,005884193	0,060454171	927,4	0,008065871	37,1	40,9	
26	0,004465589	0,050075005	1021,4	0,00668107	49,6	49,5	
27	0,006248878	0,055074043	781,3	0,007348048	17,6	62,1	50-130
28	0,007511322	0,049502532	559,0	0,00660469	12,1	70,2	
29	0,006075222	0,070045221	1053,0	0,009345521	53,8	74,9	
30	0,006094286	0,057677081	846,4	0,007695349	26,3	122,2	
Mediana :			707,2	Mediana :		23,4	

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 707,2,2% y con el ajuste es de 23,4%.

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 Mirlas.

Tabla 23. PORCENTAJES DE ERROR SCHLICHTER- RIO MIRLAS

N°	K _{LAB} (cm ³ /seg)	K _{S.ORIGINAL} (cm ³ /seg)	ERROR _{T.ORIGINAL} (%)	K _{S.AJUSTE} (cm ³ /seg)	ERROR _{T.AJUSTE} (%)	ERROR	RANGOS
1	0,009138211	0,024170382	164,5	0,006952825	23,9	0,8	0-10
2	0,008668367	0,031897966	268,0	0,006864317	20,8	0,9	
3	0,008359890	0,030205773	261,3	0,006834814	18,2	0,9	
4	0,011611447	0,044314338	281,6	0,006834814	41,1	1,2	
5	0,006298736	0,024745849	292,9	0,006849565	8,7	1,4	
6	0,007064794	0,025356509	258,9	0,006849565	3,0	2,0	
7	0,003535749	0,022705896	542,2	0,006702051	89,6	3,1	
8	0,006044899	0,029502574	388,1	0,006849565	13,3	3,1	
9	0,006186318	0,029878251	383,0	0,006834814	10,5	5,0	
10	0,006291917	0,030595526	386,3	0,006834814	8,6	5,8	
11	0,007920210	0,022371739	182,5	0,006834814	13,7	6,2	
12	0,008115065	0,023289091	187,0	0,006834814	15,8	7,7	
13	0,006897852	0,023965198	247,4	0,006834814	0,9	7,7	
14	0,006545542	0,024470837	273,9	0,006834814	4,4	9,6	
15	0,008443887	0,022438791	165,7	0,006849565	18,9	10,0	
16	0,010553067	0,018964869	79,7	0,006775808	35,8	11,3	
17	0,006260098	0,026485673	323,1	0,006702051	7,1	11,3	
18	0,009475589	0,024754051	161,2	0,006834814	27,9	11,8	
19	0,007601686	0,014689951	93,2	0,006834814	10,1	13,3	
20	0,008953286	0,027219949	204,0	0,006849565	23,5	14,3	
21	0,007718593	0,027109404	251,2	0,006849565	11,3	14,5	
22	0,007723470	0,020269569	162,4	0,006834814	11,5	15,3	
23	0,005464728	0,024170827	342,3	0,006834814	25,1	15,4	
24	0,005898908	0,025498665	332,3	0,006834814	15,9	15,4	
25	0,005884193	0,027777378	372,1	0,006849565	16,4	25,3	
26	0,004465589	0,023129486	417,9	0,006849565	53,4	26,7	
27	0,006248878	0,025366948	305,9	0,006849565	9,6	28,8	
28	0,007511322	0,022873474	204,5	0,006849565	8,8	31,2	
29	0,006075222	0,032059592	427,7	0,006702051	10,3	34,0	
30	0,006094286	0,026532979	335,4	0,006849565	12,4	40,9	
Mediana :			270,9	Mediana :		13,5	

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 270,9% y con el ajuste es de 13,5%.

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

- La muestra debe ser traída a los laboratorios en bolsas herméticamente cerradas con el fin de evitar que se altere la muestra con suciedades del exterior.
- Llegada la muestra a laboratorio se procede a extenderla en una bandeja suficientemente grande, con el fin de evitar segregaciones para poder obtener una muestra representativa cuando se desee extraer para realizar una prueba.
- Para garantizar una buena confiabilidad en los resultados de granulometría es necesario contar con tamices en muy buen estado y totalmente limpios de partículas ajenas a la muestra, ya que estas representan un porcentaje de error en los resultados que se obtendrán.
- Para el ensayo de gravedad específica de sólidos, es necesario extraer todas las burbujas de aire del matraz para disminuir los porcentajes de error.
- Con el fin de evitar pérdida de material, se debe tener bandejas totalmente limpias, secas y sin ningún orificio por donde se puedan presentar fugas de la muestra.
- Para el ensayo de permeabilidad es recomendable que al compactar todas las muestras se haga con un número determinado de golpes y utilizando la misma fuerza de compactación con el fin de obtener mejores tendencias en los resultados.
- Para una mejor toma de datos en el laboratorio de permeabilidad es recomendable tener una marca en el equipo que permita tener una altura constante de la cabeza de agua.

8. CONCLUSIONES

- Las ecuaciones de Terzaghi, Schlichter y Allen Hazen con sus constantes originales, no son aplicables para las arenas del río MIRLAS y el río LLANA CALIENTE en los municipios del Carmen y San Vicente de Chucuri respectivamente.
- Las constantes obtenidas en esta investigación permiten que las ecuaciones de Terzagui, Schlichter y Allen Hazen sean aplicables a las arenas del río MIRLAS y LLANA CALIENTE con errores promedios entre el 13.5% y el 23.4% y entre el 14.7% y el 22.8% respectivamente.
- El coeficiente de permeabilidad ajustado de la ecuación de Terzagui es la que menos se ajusta para las 2 arenas en cuestión, ya que sus porcentajes de error son los mas altos en comparación con las ecuaciones ajustadas propuestas por Schlichter y Allen Hazen.
- Se observó que la ecuación que mejor se ajusta a las arenas de MIRLAS Y LLANA CALIENTE, es la ecuación de Schlichter con porcentajes de error ajustados de 13.5% y 14.7% respectivamente.
- Los ajustes realizados tienen un menor rango de error en las arena del rio LLANA CALIENTE, ya que sus porcentajes de error para Allen Hazen es de 14.8%, Schlichter es de 14.7% y de Terzagui es de 22.8%. Esto debido a que el 46.66% y el 43.33% respectivamente se encuentra entre un rango de error de (0 -10)%.

- La ecuación de Schlichter original mostraba una relación inversa entre la constante (c) y la porosidad (n). En esta investigación no se observó esa tendencia, muy probablemente debido al rango no muy grande de porosidades obtenidas, por lo tanto se halló una constante única para cada arena.
- Los valores obtenidos en el laboratorio de gravedad específica de sólidos para las 2 arenas estudiadas son 2.65 y 2.67; estos valores son propios de las arenas mal gradadas.

BIBLIOGRAFÍA

HÉCTOR BAYONA GUTIÉRREZ Y SERGIO MAURICIO PRADA URIBE, Tesis (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 río Magdalena), universidad Pontificia Bolivariana, 2008.

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.

KETTY PLATA, tesis (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 Pescadero y el rio Bocas), universidad Pontificia Bolivariana, 2007.

MARIN BERNAL, Rodrigo. Normas de Ensayo para Carreteras TOMO I. Bogotá D.C. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1998. 425 pág.

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.

ANEXOS

ANEXO A

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fig. 1. Muestra representativa rio Llana Caliente



Fig. 2. Selección de los tamices a utilizar
En orden decreciente

PESO ESPECÍFICO



Fig. 3. Toma del peso matraz + muestra, Este peso debe estar entre un rango de 80 – 100 gr



Fig. 4. adición de agua hasta la marca establecida



Fig. 5. Extracción de aire a la muestra



Fig. 6. Movimiento que se hace al matraz para una mejor extracción de de aire



Fig. 8. Limpieza de la capsula



Fig.7. peso de la muestra + capsula luego de extraer el aire



Fig. 8. Deposito para el secado de la muestra

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD



Fig. 9. Muestra rio Mirlas



Fig. 10 Se pesa la cámara y todos los elementos en la que estará contenida la muestra de suelo



Fig. 11. Adición de la muestra a la capsula cilíndrica del permeámetro



Fig. 12. Se colocan los respectivos filtros a la muestra



Fig. 13. Permeámetro listo para el ensayo



Fig. 14. Filtración de agua por la muestra en un tiempo t

ANEXO B

ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA

RIO LLANA CALIENTE



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

Localización: San Vicente de Chucuri
 Muestra: Arena río Llana Caliente
 Ensayo N°: N° 1
 Fecha: 01-ago-08
 Operador: David Carrero - Jhossimar ventanas
 Cálculo: David Carrero - Jhossimar ventanas

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – RÍO LLANA CALIENTE – MUESTRA N° 1

W1 = 2.499,2 gr. W2 = 2.457,4 gr.

Tamiz	Abertura mm.	Peso Retenido gr.	% Ret. Parcial %	% Pasa %
1 1/2"		0	0,00	100
1"	25,4	79,2	3,17	96,83
3/4"	19,05	63,2	2,53	94,30
1/2"	12,7	123,2	4,93	89,37
3/8"	9,50	94,4	3,78	85,60
N° 4	4,75	191,7	7,67	77,92
N° 8	2,36	232,5	9,30	68,62
N° 10	2,00	74,8	2,99	65,63
N° 16	1,18	430,7	17,23	48,40
N° 20	0,84	153,1	6,13	42,27
N° 30	0,60	385,7	15,43	26,84
N° 40	0,43	263,1	10,53	16,31
N° 50	0,30	118,6	4,75	11,56
N° 60	0,25	38,6	1,54	10,02
N° 80	0,213	100,6	4,03	5,99
N° 100	0,149	10,4	0,42	5,58
N° 200	0,074	81,6	3,27	2,31
FONDO	-----	57,8	2,31	0,00
TOTAL		2499,2	100,00	

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

% GRAVAS	22,08
% ARENAS	75,61
% FINOS	2,31

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

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

D10 (mm) =	0,2
D30 (mm) =	0,47
D60 (mm) =	1,1

$$Cu = 5,50$$

$$Cc = 1,00$$

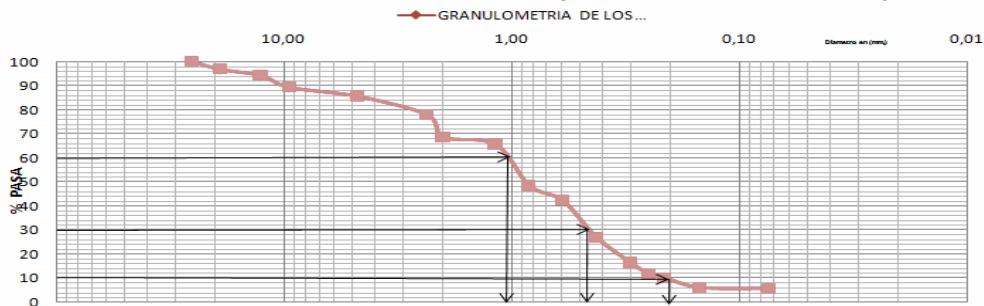
CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO
 $Cu \geq 6$; $Cc = 1 \leq Cc \leq 3$

SW = Si cumple con ambas condiciones
 SP = Si alguna de las condiciones no cumple

SW = Arena Bien Gradada – (Well)
 SP = Arena Mal Gradada – (Poor)

CLASIFICACIÓN SUCS: SP

GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS (ARENAS - LLANA CALIENTE)



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: San Vicente de Chucuri
 Muestra: Arena río Llana Caliente
 Ensayo N°: N° 2

Fecha: 01-ago-08
 Operador: David Carrero - Jhossimar ventanas
 Cálculo: David Carrero - Jhossimar ventanas

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – RÍO Llana Caliente – MUESTRA N° 2

W1 = 1751,4 gr. W2 = 1697,2 gr.

Tamiz	Abertura mm.	Peso Retenido gr.	% Ret. Parcial %	% Pasa %
1 1/2"				
1"	25,4	0	0,00	100,00
3/4"	19,05	20,4	1,16	98,84
1/2"	12,7	148,2	8,46	90,37
3/8"	9,50	55,6	3,17	87,20
N° 4	4,75	126,6	7,23	79,97
N° 8	2,36	156,5	8,94	71,03
N° 10	2,00	53,8	3,07	67,96
N° 16	1,18	311,1	17,76	50,20
N° 20	0,84	108,8	6,21	43,99
N° 30	0,60	281,3	16,06	27,93
N° 40	0,43	177,1	10,11	17,81
N° 50	0,30	84,2	4,81	13,01
N° 60	0,25	30,6	1,75	11,26
N° 80	0,213	71,2	4,07	7,19
N° 100	0,149	9,2	0,53	6,67
N° 200	0,074	56,4	3,22	3,45
FONDO	-----	60,4	3,45	0,00
TOTAL		1751,4	100,00	

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

% GRAVAS	20,03
% ARENAS	76,52
% FINOS	3,45

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

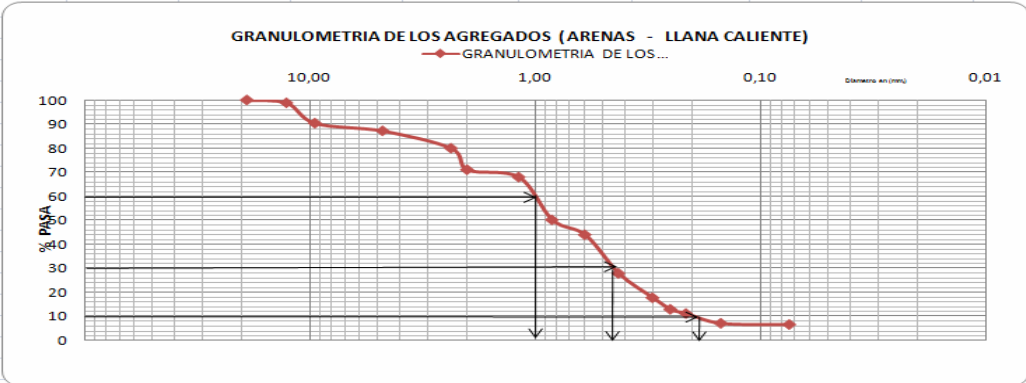
$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$$

D10 (mm) =	0,185
D30 (mm) =	0,45
D60 (mm) =	1

Cu =	5,41
Cc =	1,09

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 Gradada – (Well)
 SP = Arena Mal Gradada – (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: San Vicente de Chucuri
 Muestra: Arena río Llana Caliente
 Ensayo N°: N° 3

Fecha: 01-ago-08
 Operador: David Carrero - Jhossimar ventanas
 Cálculo: David Carrero - Jhossimar ventanas

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – RÍO Llana Caliente – MUESTRA N° 3

W1 = 1809,2 gr. W2 = 1741,2 gr.

Tamiz	Abertura mm.	Peso Retenido gr.	% Ret. Parcial %	% Pasa %
1 1/2"				
1"	25,4	0	0,00	100,00
3/4"	19,05	32,6	1,80	98,20
1/2"	12,7	94	5,20	93,00
3/8"	9,50	80,8	4,47	88,54
N° 4	4,75	148,0	8,18	80,36
N° 8	2,36	155,0	8,57	71,79
N° 10	2,00	53,2	2,94	68,85
N° 16	1,18	324,6	17,94	50,91
N° 20	0,84	119,8	6,62	44,28
N° 30	0,60	297,4	16,44	27,85
N° 40	0,43	161,6	8,93	18,91
N° 50	0,30	95,0	5,25	13,66
N° 60	0,25	33,0	1,82	11,84
N° 80	0,213	70,4	3,89	7,95
N° 100	0,149	10,2	0,56	7,38
N° 200	0,074	57,4	3,17	4,21
FONDO	-----	76,2	4,21	0,00
TOTAL		1809,2	100,00	

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

% GRAVAS	19,64
% ARENAS	76,14
% FINOS	4,21

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

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

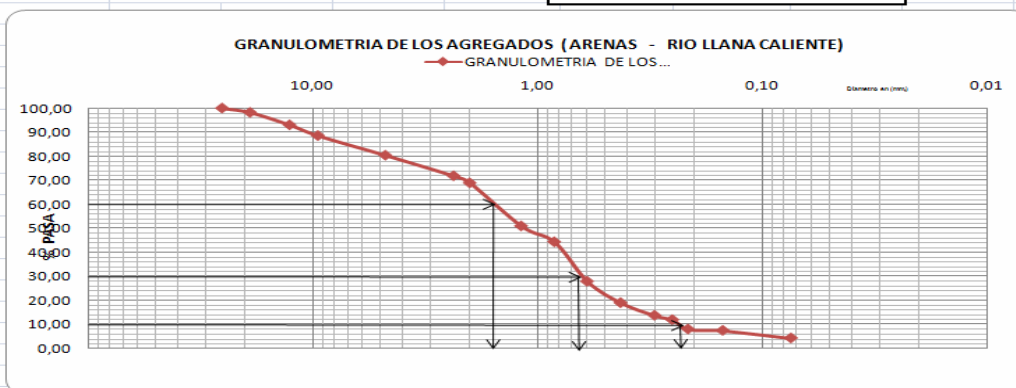
D10 (mm) =	0,23
D30 (mm) =	0,66
D60 (mm) =	1,07

Cu = 4,65

Cc = 1,77


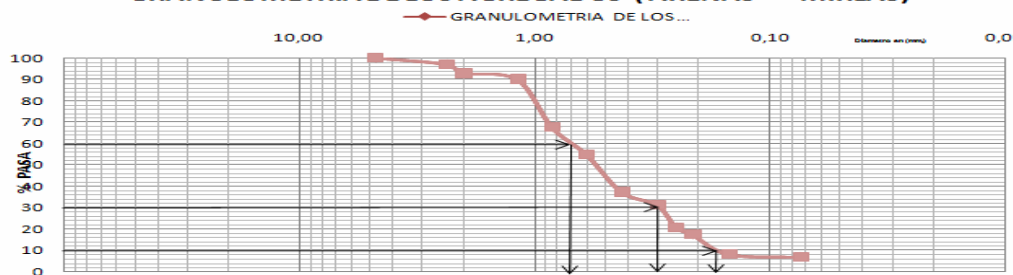
CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO
 $Cu \geq 6$; $Cc = 1 \leq Cc \leq 3$
 SW = Si cumple con ambas condiciones
 SP = Si alguna de las condiciones no cumple
 SW = Arena Bien Gradada - (Well)
 SP = Arena Mal Gradada - (Poor)

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%

RIO MIRLAS

	Universidad Pontificia Bolivariana	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS																																																																																																			
Localización: El Carmen de Chucuri Muestra: Mirlas Ensayo N°: N° 1	Fecha: 31 - julio de 2008 Operador: David Carrero - Jhossimar ventanas Cálculo: David Carrero - Jhossimar ventanas																																																																																																				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – MIRLAS – MUESTRA N° 1																																																																																																					
W1 = 1855,6 gr.		W2 = 1850,4 gr.																																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Tamiz</th> <th>Abertura mm.</th> <th>Peso Retenido gr.</th> <th>% Ret. Parcial %</th> <th>% Pasa %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1 1/2"</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1"</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3/4"</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1/2"</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3/8"</td><td></td><td>0</td><td>-</td><td>100,00</td></tr> <tr><td>N° 4</td><td>4,75</td><td>54,40</td><td>2,93</td><td>97,07</td></tr> <tr><td>N° 8</td><td>2,36</td><td>79,00</td><td>4,26</td><td>92,81</td></tr> <tr><td>N° 10</td><td>2,00</td><td>51,60</td><td>2,78</td><td>90,03</td></tr> <tr><td>N° 16</td><td>1,18</td><td>416,20</td><td>22,43</td><td>67,60</td></tr> <tr><td>N° 20</td><td>0,84</td><td>236,00</td><td>12,72</td><td>54,88</td></tr> <tr><td>N° 30</td><td>0,60</td><td>326,80</td><td>17,61</td><td>37,27</td></tr> <tr><td>N° 40</td><td>0,43</td><td>111,80</td><td>6,03</td><td>31,25</td></tr> <tr><td>N° 50</td><td>0,30</td><td>195,40</td><td>10,53</td><td>20,72</td></tr> <tr><td>N° 60</td><td>0,25</td><td>61,00</td><td>3,29</td><td>17,43</td></tr> <tr><td>N° 80</td><td>0,21</td><td>171,60</td><td>9,25</td><td>8,18</td></tr> <tr><td>N° 100</td><td>0,15</td><td>24,00</td><td>1,29</td><td>6,89</td></tr> <tr><td>N° 200</td><td>0,07</td><td>97,60</td><td>5,26</td><td>1,63</td></tr> <tr><td>FONDO</td><td>-----</td><td>30,20</td><td>1,63</td><td>(0,00)</td></tr> <tr><td>TOTAL</td><td></td><td>1.855,60</td><td>100,00</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Tamiz	Abertura mm.	Peso Retenido gr.	% Ret. Parcial %	% Pasa %	1 1/2"					1"					3/4"					1/2"					3/8"		0	-	100,00	N° 4	4,75	54,40	2,93	97,07	N° 8	2,36	79,00	4,26	92,81	N° 10	2,00	51,60	2,78	90,03	N° 16	1,18	416,20	22,43	67,60	N° 20	0,84	236,00	12,72	54,88	N° 30	0,60	326,80	17,61	37,27	N° 40	0,43	111,80	6,03	31,25	N° 50	0,30	195,40	10,53	20,72	N° 60	0,25	61,00	3,29	17,43	N° 80	0,21	171,60	9,25	8,18	N° 100	0,15	24,00	1,29	6,89	N° 200	0,07	97,60	5,26	1,63	FONDO	-----	30,20	1,63	(0,00)	TOTAL		1.855,60	100,00		
Tamiz	Abertura mm.	Peso Retenido gr.	% Ret. Parcial %	% Pasa %																																																																																																	
1 1/2"																																																																																																					
1"																																																																																																					
3/4"																																																																																																					
1/2"																																																																																																					
3/8"		0	-	100,00																																																																																																	
N° 4	4,75	54,40	2,93	97,07																																																																																																	
N° 8	2,36	79,00	4,26	92,81																																																																																																	
N° 10	2,00	51,60	2,78	90,03																																																																																																	
N° 16	1,18	416,20	22,43	67,60																																																																																																	
N° 20	0,84	236,00	12,72	54,88																																																																																																	
N° 30	0,60	326,80	17,61	37,27																																																																																																	
N° 40	0,43	111,80	6,03	31,25																																																																																																	
N° 50	0,30	195,40	10,53	20,72																																																																																																	
N° 60	0,25	61,00	3,29	17,43																																																																																																	
N° 80	0,21	171,60	9,25	8,18																																																																																																	
N° 100	0,15	24,00	1,29	6,89																																																																																																	
N° 200	0,07	97,60	5,26	1,63																																																																																																	
FONDO	-----	30,20	1,63	(0,00)																																																																																																	
TOTAL		1.855,60	100,00																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>% GRAVAS</td> <td>100- % Pasa Tamiz N° 4</td> </tr> <tr> <td>% ARENAS</td> <td>100 - % Gravas - % Pasa Tamiz N° 200</td> </tr> <tr> <td>% FINOS</td> <td>% Pasa Tamiz N° 200</td> </tr> </table>	% GRAVAS	100- % Pasa Tamiz N° 4	% ARENAS	100 - % Gravas - % Pasa Tamiz N° 200	% FINOS	% Pasa Tamiz N° 200																																																																																															
% GRAVAS	100- % Pasa Tamiz N° 4																																																																																																				
% ARENAS	100 - % Gravas - % Pasa Tamiz N° 200																																																																																																				
% FINOS	% Pasa Tamiz N° 200																																																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>% GRAVAS</td> <td>2,93</td> <td>Cu = $\frac{D_{60}}{D_{10}}$</td> <td>Cc = $\frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$</td> </tr> <tr> <td>% ARENAS</td> <td>95,44</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>% FINOS</td> <td>1,63</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	% GRAVAS	2,93	Cu = $\frac{D_{60}}{D_{10}}$	Cc = $\frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$	% ARENAS	95,44			% FINOS	1,63																																																																																											
% GRAVAS	2,93	Cu = $\frac{D_{60}}{D_{10}}$	Cc = $\frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$																																																																																																		
% ARENAS	95,44																																																																																																				
% FINOS	1,63																																																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>D10 (mm) =</td> <td>0,18</td> <td>Cu = 4,00</td> </tr> <tr> <td>D30 (mm) =</td> <td>0,3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D60 (mm) =</td> <td>0,72</td> <td>Cc = 0,69</td> </tr> </table>	D10 (mm) =	0,18	Cu = 4,00	D30 (mm) =	0,3		D60 (mm) =	0,72	Cc = 0,69																																																																																												
D10 (mm) =	0,18	Cu = 4,00																																																																																																			
D30 (mm) =	0,3																																																																																																				
D60 (mm) =	0,72	Cc = 0,69																																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO</th> </tr> <tr> <td>Cu = ≥ 6</td> <td>Cc = 1 ≤ Cc ≤ 3</td> </tr> <tr> <td>SW = Si cumple con ambas condiciones</td> <td>SP = Si alguna de las condiciones no cumple</td> </tr> <tr> <td>SW = Arena Bien Gradada - (Well)</td> <td>SP = Arena Mal Gradada - (Poor)</td> </tr> </table>			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 Gradada - (Well)	SP = Arena Mal Gradada - (Poor)																																																																																											
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 Gradada - (Well)	SP = Arena Mal Gradada - (Poor)																																																																																																				
CLASIFICACIÓN SUCS: SP																																																																																																					
GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS (ARENAS - MIRLAS)																																																																																																					
																																																																																																					
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%																																																																																																					



Universidad Pontificia Bolivariana

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

Localización: El Carmen de Chucuri Fecha: 31 - julio de 2008
 Muestra: Mirlas Operador: David Carrero - Jhossimar ventana
 Ensayo N°: N° 2 Cálculo: David Carrero - Jhossimar ventana

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – RÍO MIRLAS – MUESTRA N° 2

W1 = 1610,6 gr. W2 = 1591 gr.

Tamiz	Abertura mm.	Peso Retenido gr.	% Ret. Parcial %	% Pasa %
1 1/2"				
1"	25,4			
3/4"	19,05			
1/2"	12,7			
3/8"	9,50	0,0	0,00	100,00
N° 4	4,75	29,0	1,80	98,20
N° 8	2,36	63,4	3,94	94,26
N° 10	2,00	37,6	2,33	91,93
N° 16	1,18	364,4	22,63	69,30
N° 20	0,84	118,2	7,34	61,96
N° 30	0,60	315,8	19,61	42,36
N° 40	0,43	188,4	11,70	30,66
N° 50	0,30	136,0	8,44	22,22
N° 60	0,25	116,2	7,21	15,00
N° 80	0,213	127,4	7,91	7,09
N° 100	0,149	10,0	0,62	6,47
N° 200	0,074	78,0	4,84	1,63
FONDO	-----	26,2	1,63	0,00
TOTAL		1610,6	100,00	

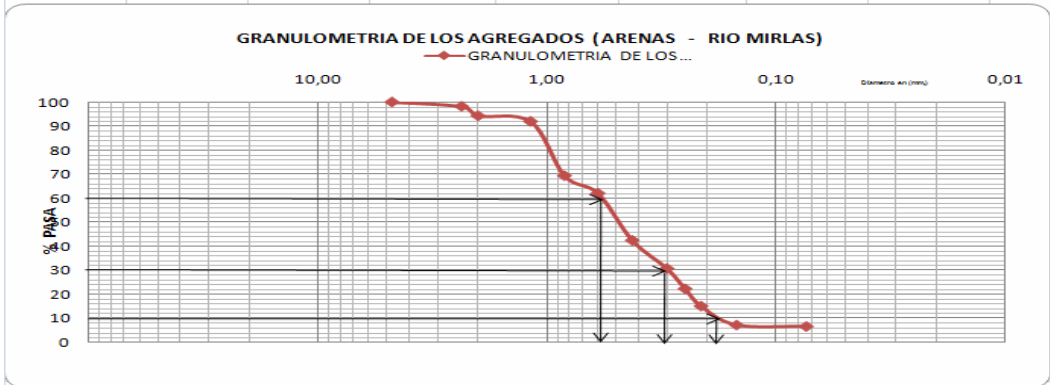
% GRAVAS	100 – % Pasa Tamiz N° 4
% ARENAS	100 – % Gravas – % Pasa Tamiz N° 200
% FINOS	% Pasa Tamiz N° 200

% GRAVAS = 1,80 Cu = $\frac{D_{60}}{D_{10}}$ Cc = $\frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$
 % ARENAS = 96,57 D10
 % FINOS = 1,63

D10 (mm) = 0,185 Cu = 3,19
 D30 (mm) = 0,31
 D60 (mm) = 0,59 Cc = 0,88

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 Gradada – (Well)
 SP = Arena Mal Gradada – (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%



Universidad Pontificia Bolivariana

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

Localización: El Carmen de Chucuri
 Muestra: Mirlas
 Ensayo N°: N° 3

Fecha: 31 - julio de 2008
 Operador: David Carrero - Jhossimar ventana
 Cálculo: David Carrero - Jhossimar ventana

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – RÍO MIRLAS – MUESTRA N° 3

W1 = 1809,2 gr. W2 = 1788,2 gr.

Tamiz	Abertura mm.	Peso Retenido gr.	% Ret. Parcial %	% Pasa %
1 1/2"				
1"	25,4			
3/4"	19,05	0	0,00	100,00
1/2"	12,7	15,9	0,88	99,12
3/8"	9,50	9,0	0,50	98,62
N° 4	4,75	25,2	1,39	97,23
N° 8	2,36	74,6	4,12	93,11
N° 10	2,00	46,8	2,59	90,52
N° 16	1,18	421,6	23,30	67,22
N° 20	0,84	133,6	7,38	59,83
N° 30	0,60	292,2	16,15	43,68
N° 40	0,43	227,0	12,55	31,14
N° 50	0,30	169,6	9,37	21,76
N° 60	0,25	57,0	3,15	18,61
N° 80	0,213	176,7	9,77	8,84
N° 100	0,149	14,6	0,81	8,04
N° 200	0,074	116,6	6,44	1,59
FONDO	-----	28,8	1,59	0,00
TOTAL		1809,2	100,00	

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

% GRAVAS	2,77
% ARENAS	95,64
% FINOS	1,59

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

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

D10 (mm) =	0,23
D30 (mm) =	0,42
D60 (mm) =	0,88

Cu = 3,83

Cc = 0,87

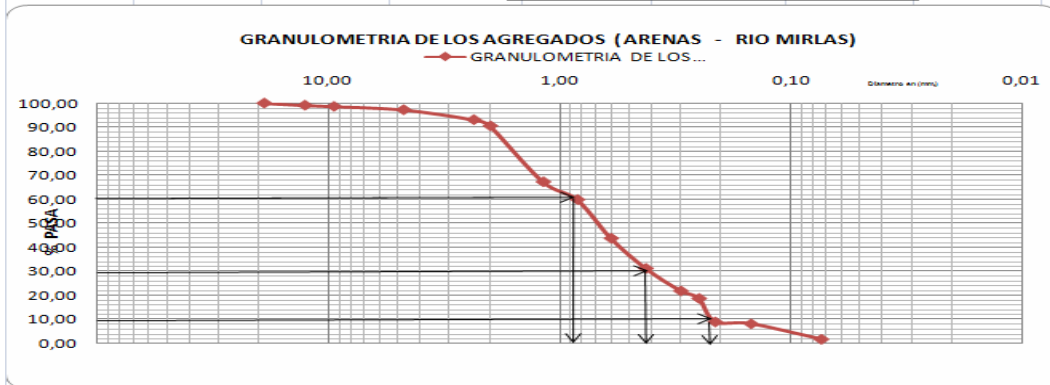
CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO

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

SW = Si cumple con ambas condiciones
 SP = Si alguna de las condiciones no cumple

SW = Arena Bien Gradada - (Well)
 SP = Arena Mal Gradada - (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 LLANA CALIENTE



PESO ESPECÍFICO RELATIVO (Gs)

Hoja 1 de 2

Localización: San Vicentien de Chucuri
 Muestra : Arena Río Llana Caliente
 Cantidad de Ensayos : 15

Fecha : 05-ago-08
 Operador : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Vent
 Cálculo: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Vent

PESO ESPECÍFICO RELATIVO – LLANA CALIENTE

PRUEBA N°	1	2	3	4	5
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	23,5	23,8	23,8	23,9	23,9
WMWS (gr.)	708,5	708,6	708,1	710,1	714,3
WMW (gr.)	657,42	657,38	657,38	657,36	657,36
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	1	2	3	4	5
PESO CAPSULA (gr.)	328,6	361,0	296,4	313,4	386,6
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	410,7	444,4	378,2	397,7	469,6
Ws - INICIAL - (gr.)	85,7	86,00	85,00	87,60	90,3
Ws - FINAL - (gr.)	82,1	83,4	81,8	84,3	88,4
Gs	2,65	2,59	2,63	2,67	2,81

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

PRUEBA N°	6	7	8	9	10
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	24	24	24	24	24
WMWS (gr.)	712	710,1	709,8	711,2	707,5
WMW (gr.)	657,35	657,35	657,35	657,35	657,35
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	6	7	8	9	10
PESO CAPSULA (gr.)	283,3	329,0	359,3	322,4	338,5
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	371,3	413,9	444,1	409,2	419,5
Ws - INICIAL - (gr.)	91,4	88,10	87,90	89,60	83,8
Ws - FINAL - (gr.)	88,0	84,9	84,8	86,8	81,0
Gs	2,64	2,64	2,62	2,63	2,63

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

PRUEBA N°	11	12	13	14	15
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	24	24	24	23	23
WMWS (gr.)	709,8	714,3	708,5	706,9	709,5
WMW (gr.)	657,35	657,35	657,35	657,49	657,49
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	11	12	13	14	15
PESO CAPSULA (gr.)	282,9	327,4	337,8	324,9	328
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	372,2	419,1	420,5	404,7	411,4
Ws - INICIAL - (gr.)	86,5	94,70	85,50	82,10	87,3
Ws - FINAL - (gr.)	84,3	91,7	82,7	79,8	83,4
Gs	2,65	2,64	2,62	2,63	2,66



PESO ESPECÍFICO RELATIVO (Gs)

Hoja 2 de 2

Localización: San Vicentien de Chucuri
 Muestra: Arena Río Llana Caliente
 Cantidad de Ensayos: 15

Fecha: 06-ago-08
 Operador: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Vent
 Cálculo: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Vent

PESO ESPECÍFICO RELATIVO – LLANA CALIENTE

PRUEBA N°	16	17	18	19	20
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	22,2	22,2	22,3	22,8	22,8
WMWS (gr.)	708,8	708,9	710	708,9	709,5
WMW (gr.)	657,60	657,60	657,59	657,52	657,52
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	16	17	18	19	20
PESO CAPSULA (gr.)	337,5	283,4	328,8	328,3	327,6
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	419,8	365,6	413,1	410,6	411,2
Ws - INICIAL - (gr.)	84,7	85,20	86,90	84,80	86,2
Ws - FINAL - (gr.)	82,3	82,2	84,3	82,3	83,6
Gs	2,65	2,66	2,64	2,66	2,64

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

PRUEBA N°	21	22	23	24	25
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	23,5	23,7	23,8	23,8	23,8
WMWS (gr.)	707,3	709,3	706,5	712,5	711,5
WMW (gr.)	657,42	657,39	657,38	657,38	657,38
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	21	22	23	24	25
PESO CAPSULA (gr.)	322,6	361,2	296,6	284,8	337,5
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	403,3	444,5	376,3	372,8	424,3
Ws - INICIAL - (gr.)	83,2	85,70	82,00	90,60	89,1
Ws - FINAL - (gr.)	80,7	83,3	79,7	88,0	86,8
Gs	2,62	2,65	2,61	2,68	2,66

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

PRUEBA N°	26	27	28	29	30
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	24	24	24,2	24,7	24,1
WMWS (gr.)	712,2	715,6	715,1	712,5	718,1
WMW (gr.)	657,35	657,35	657,32	657,25	657,33
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	26	27	28	29	30
PESO CAPSULA (gr.)	362,9	399,4	314,1	359,4	329,1
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	451,7	492,9	407,0	448,0	427,1
Ws - INICIAL - (gr.)	90,7	95,70	95,10	90,90	100
Ws - FINAL - (gr.)	88,8	93,5	92,9	88,6	98,0
Gs	2,62	2,65	2,65	2,66	2,63

$$Gs \text{ Promedio} = 2,65$$

RIO MIRLAS



PESO ESPECÍFICO RELATIVO (Gs)

Hoja 1 de 2

Localización : El Carmen de Chucuri
 Muestra : Arena Rio Mirlas
 Cantidad de Ensayos : 15

Fecha : 04-ago-08
 Operador : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Vent
 Cálculo: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Vent

PESO ESPECÍFICO RELATIVO – MIRLAS

PRUEBA N°	1	2	3	4	5
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	23	23	23	23	23
WMWS (gr.)	708	712,1	707,7	708,4	710
WMW (gr.)	657,49	657,49	657,49	657,49	657,49
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	1	2	3	4	5
PESO CAPSULA (gr.)	328,9	377,2	338,4	337,7	396,3
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	408,8	466,3	419,6	416,7	475,6
Ws - INICIAL - (gr.)	84,6	87,20	85,50	83,50	83,6
Ws - FINAL - (gr.)	81,3	85,2	81,2	81,4	82,3
Gs	2,64	2,79	2,62	2,67	2,76

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

PRUEBA N°	6	7	8	9	10
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	23,4	23,4	23,7	23,7	23,8
WMWS (gr.)	706,8	707,2	706,5	706,9	708,7
WMW (gr.)	657,43	657,43	657,39	657,39	657,38
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	6	7	8	9	10
PESO CAPSULA (gr.)	313,8	328,5	360,9	322,4	386,3
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	393,1	408,0	439,4	401,3	468,8
Ws - INICIAL - (gr.)	83,2	83,30	82,40	83,90	87,5
Ws - FINAL - (gr.)	79,3	79,5	78,5	78,9	82,5
Gs	2,65	2,67	2,67	2,68	2,65

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

PRUEBA N°	11	12	13	14	15
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	23,8	23,8	24	24	24
WMWS (gr.)	708,3	707,2	708,2	708,3	706,9
WMW (gr.)	657,38	657,38	657,35	657,35	657,35
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	11	12	13	14	15
PESO CAPSULA (gr.)	284,3	363,0	284,5	325,0	337,3
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	365,5	442,3	365,6	408,7	415,8
Ws - INICIAL - (gr.)	86,2	84,00	86,20	86,20	83,2
Ws - FINAL - (gr.)	81,2	79,3	81,1	83,7	78,5
Gs	2,68	2,69	2,68	2,56	2,71



PESO ESPECÍFICO RELATIVO (Gs)

Hoja 2 de 2

Localización : El Carmen de Chucuri
 Muestra : Arena Río Mirlas
 Cantidad de Ensayos : 15

Fecha : 04/08/2008 - 05/08/2008
 Operador : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Vent
 Cálculo : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Vent

PESO ESPECÍFICO RELATIVO - MIRLAS

PRUEBA N°	16	17	18	19	20
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	24	24	24,1	24	24
WMWS (gr.)	708,1	709,5	707,4	709,1	708,1
WMW (gr.)	657,35	657,35	657,33	657,35	657,35
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	16	17	18	19	20
PESO CAPSULA (gr.)	282,8	382,8	327,2	337,4	325
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	364,0	466,2	407,3	420,3	406,2
Ws - INICIAL - (gr.)	85,5	88,00	84,50	87,10	85,6
Ws - FINAL - (gr.)	81,2	83,4	80,1	82,9	81,2
Gs	2,67	2,67	2,67	2,66	2,67

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

PRUEBA N°	21	22	23	24	25
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	24,2	24,1	24,5	24,1	24
WMWS (gr.)	708,9	708,3	709,3	707,8	706,5
WMW (gr.)	657,32	657,33	657,28	657,33	657,35
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	21	22	23	24	25
PESO CAPSULA (gr.)	328,2	328,4	314,8	313,3	165,4
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	412,3	410,6	402,3	393,7	244,3
Ws - INICIAL - (gr.)	86,7	85,90	84,80	84,80	83,1
Ws - FINAL - (gr.)	84,1	82,2	82,7	80,4	78,9
Gs	2,59	2,63	2,70	2,69	2,65

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

PRUEBA N°	26	27	28	29	30
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	23,2	23,3	23	23,9	24
WMWS (gr.)	709,9	709,6	711,9	707,2	709,2
WMW (gr.)	657,46	657,45	657,49	657,36	657,35
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	26	27	28	29	30
PESO CAPSULA (gr.)	337,5	280,5	314,0	328,0	281,5
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	421,3	363,9	401,4	407,4	366,4
Ws - INICIAL - (gr.)	85,9	85,70	90,30	82,30	85,5
Ws - FINAL - (gr.)	83,8	83,4	87,4	79,4	84,9
Gs	2,67	2,67	2,65	2,69	2,57

$$Gs \text{ Promedio} = 2,67$$

ANEXO D

ENSAYOS DE PERMEABILIDADES

RÍO LLANA CALIENTE



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació San Vicente de Chucuri
 Muestra : Arena Rio Llana Caliente
 Cantidad de Ensayos : 2

Fecha : 11 - agosto - 2008 Hoja 1 de 15
 Operador : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 1

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1504,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1745,0	gr.
Peso suelo :	240,9	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,20	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	162,10	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1040	23,8
2	180	1020	23,8
3	180	1000	23,8
4	180	990	23,8

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	970	23,8
6	180	950	23,8
7	180	940	23,8
8	180	920	23,8

Promedio	180	979	23,8
----------	-----	-----	------

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0137$ cm/seg.

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0126$ cm/seg.

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 2

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1506,3	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1749,4	gr.
Peso suelo :	243,1	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	4,90	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	152,75	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	580	23,8
2	180	560	23,8
3	180	540	23,8
4	180	515	23,8

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	490	23,8
6	180	470	23,8
7	180	450	23,8
8	180	430	23,8

Promedio	180	504	23,8
----------	-----	-----	------

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0067$ cm/seg.

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0061$ cm/seg.



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació San Vicente de Chucuri
 Muestra : Arena Rio Llana Caliente
 Cantidad de Ensayos : 2

Fecha : 11 - agosto - 2008 Hoja 2 de 15
 Operador : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO Nº 3

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1506,2	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1767,2	gr.
Peso suelo :	261,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,20	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	162,10	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	830	23,2
2	180	810	23,2
3	180	785	23,2
4	180	775	23,2

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	760	23,2
6	180	750	23,2
7	180	735	23,2
8	180	720	23,2

Promedio	180	771	23,2
----------	-----	-----	------

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0108 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0100 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO Nº 4

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1509,2	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1709,4	gr.
Peso suelo :	200,2	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	3,80	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	118,46	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	970	23,0
2	180	950	23,0
3	180	930	23,0
4	180	920	23,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	895	23,0
6	180	880	23,0
7	180	860	23,0
8	180	850	23,0

Promedio	180	907	23
----------	-----	-----	----

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0093 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0087 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació San Vicente de Chucuri
 Muestra : Arena Rio Llana Caliente
 Cantidad de Ensayos : 2

Fecha : 11 - agosto - 2008 Hoja 3 de 15
 Operador : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO Nº 5

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1505,2	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1727,6	gr.
Peso suelo :	222,4	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	4,40	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	137,16	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	830	23,1
2	180	810	23,1
3	180	790	23,1
4	180	770	23,1

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	750	23,1
6	180	730	23,1
7	180	720	23,1
8	180	695	23,1

Promedio	180	762	23,1
----------	-----	-----	------

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0091 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0084 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO Nº 6

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1506,6	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1709,6	gr.
Peso suelo :	203,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	4,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	124,69	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	720	23,1
2	180	690	23,1
3	180	660	23,1
4	180	640	23,1

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	630	23,1
6	180	620	23,1
7	180	610	23,1
8	180	600	23,1

Promedio	180	646	23,1
----------	-----	-----	------

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0070 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0065 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localización: San Vicente de Chucur
 Muestra : Arena Rio Llana Caliente
 Cantidad de Ensayos : 2

Fecha : 12 - agosto - 2008 Hoja 4 de 15
 Operador : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 7

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1502,8	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1761,4	gr.
Peso suelo :	258,6	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	155,86	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	660	23,1
2	180	640	23,1
3	180	630	23,1
4	180	610	23,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	600	23,1
6	180	590	23,1
7	180	580	23,1
8	180	585	23,1

Promedio	180	612	23,1
----------	-----	-----	------

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0083 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0077 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 8

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1505	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1690,4	gr.
Peso suelo :	185,4	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,40	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	168,33	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	750	23,1
2	180	720	23,1
3	180	700	23,1
4	180	680	23,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	660	23,1
6	180	640	23,1
7	180	630	23,1
8	180	620	23,1

Promedio	180	675	23,1
----------	-----	-----	------

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0098 \text{ cm/seg.}$

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



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localización: San Vicente de Chucur
 Muestra : Arena Rio Llana Caliente
 Cantidad de Ensayos : 2

Fecha : 12 - agosto - 2008 Hoja 5 de 15
 Operador : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 9

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1504,2	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1718,4	gr.
Peso suelo :	214,2	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	4,20	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	130,92	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	780	22,1
2	180	760	22,1
3	180	740	22,1
4	180	720	22,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	705	22,1
6	180	690	22,1
7	180	670	22,1
8	180	660	22,1

Promedio	180	716	22,1
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9509$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0081 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0077 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 10

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1504,2	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1740,4	gr.
Peso suelo :	236,2	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	4,40	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	137,16	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	630	23,1
2	180	610	23,1
3	180	590	23,1
4	180	570	23,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	545	23,1
6	180	530	23,1
7	180	520	23,1
8	180	510	23,1

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

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0067 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0062 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localización: San Vicente de Chucur
 Muestra : Arena Rio Llana Caliente
 Cantidad de Ensayos : 2

Fecha : 12 - agosto - 2008 Hoja 6 de 15
 Operador : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 11

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1504,4	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1769,2	gr.
Peso suelo :	264,8	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,10	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	158,98	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	420	23,8
2	180	410	23,8
3	180	395	23,8
4	180	380	23,8

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	370	23,8
6	180	365	23,8
7	180	355	23,8
8	180	350	23,8

Promedio	180	381	23,8
----------	-----	-----	------

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

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

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 12

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1511,2	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1797,2	gr.
Peso suelo :	286,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,50	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	171,45	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	460	23,8
2	180	450	23,8
3	180	435	23,8
4	180	435	23,8

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	415	23,8
6	180	405	23,8
7	180	390	23,8
8	180	385	23,8

Promedio	180	422	23,8
----------	-----	-----	------

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0063 \text{ cm/seg.}$

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



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizaci3n: San vicente de Chucuri
 Muestra : Arena Rio Llana Caliente
 Cantidad de Ensayos : 2

Fecha : 11 - agosto - 2008 Hoja 7 de 15
 Operador : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 C3lculo : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 13

PERMEAMETRO		
Peso c3mara + base :	1506	gr.
Peso c3mara + base + suelo :	1790,0	gr.
Peso suelo :	284,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,60	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	174,57	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	460	23,0
2	180	450	23,0
3	180	440	23,0
4	180	430	23,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	415	23,0
6	180	410	23,0
7	180	405	23,0
8	180	400	23,0

Promedio	180	426	23
----------	-----	-----	----

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

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

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0060 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 14

PERMEAMETRO		
Peso c3mara + base :	1506,2	gr.
Peso c3mara + base + suelo :	1775,0	gr.
Peso suelo :	268,8	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,40	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	168,33	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	645	23,0
2	180	530	23,0
3	180	505	23,0
4	180	505	23,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	485	23,0
6	180	470	23,0
7	180	455	23,0
8	180	440	23,0

Promedio	180	504	23
----------	-----	-----	----

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0074 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0068 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació San Vicente de Chucuri
 Muestra : Arena Rio Llana Caliente
 Cantidad de Ensayos : 2

Fecha : 12 - agosto - 2008 Hoja 8 de 15
 Operador : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 15

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1507	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1778,2	gr.
Peso suelo :	271,2	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,50	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	171,45	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	465	23,1
2	180	450	23,1
3	180	435	23,1
4	180	420	23,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	400	23,1
6	180	385	23,1
7	180	370	23,1
8	180	360	23,1

Promedio	180	411	23,1
----------	-----	-----	------

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0061 \text{ cm/seg.}$$

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 16

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1507,2	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1735,8	gr.
Peso suelo :	228,6	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	4,90	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	152,75	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	530	23,1
2	180	525	23,1
3	180	515	23,1
4	180	490	23,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	475	23,1
6	180	465	23,1
7	180	455	23,1
8	180	440	23,1

Promedio	180	487	23,1
----------	-----	-----	------

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

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

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0060 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació San Vicente de Chucuri
 Muestra : Arena Rio Llana Caliente
 Cantidad de Ensayos : 2

Fecha : 12 - agosto - 2008 Hoja 9 de 15
 Operador : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 17

PERMEAMETRO	
Peso cámara + base :	1505,7 gr.
Peso cámara + base + suelo :	1776,0 gr.
Peso suelo :	270,3 gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0 cm

MOLDE	
Diametro (θ) :	6,3 cm
Altura (L) :	5,50 cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17 cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	171,45 cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	530	22,1
2	180	520	22,1
3	180	510	22,1
4	180	500	22,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	490	22,1
6	180	480	22,1
7	180	460	22,1
8	180	450	22,1

Promedio	180	493	22,1
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9509$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0073 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0070 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 18

PERMEAMETRO	
Peso cámara + base :	1513 gr.
Peso cámara + base + suelo :	1800,3 gr.
Peso suelo :	287,3 gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0 cm

MOLDE	
Diametro (θ) :	6,3 cm
Altura (L) :	5,90 cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17 cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	183,92 cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	475	23,1
2	180	460	23,1
3	180	445	23,1
4	180	435	23,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	430	23,1
6	180	420	23,1
7	180	415	23,1
8	180	410	23,1

Promedio	180	436	23,1
----------	-----	-----	------

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0070 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0065 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació San Vicente de Chucuri
 Muestra : Arena Rio Llana Caliente
 Cantidad de Ensayos : 2

Fecha : 12 - agosto - 2008 Hoja 10 de 15
 Operador : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 19

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1506	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1777,2	gr.
Peso suelo :	271,2	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,30	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	165,21	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	435	23,5
2	180	420	23,5
3	180	410	23,5
4	180	400	23,5

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	390	23,5
6	180	385	23,5
7	180	375	23,5
8	180	370	23,5

Promedio	180	398	23,5
----------	-----	-----	------

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

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

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 20

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1504	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1764,0	gr.
Peso suelo :	260,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,10	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	158,98	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	425	23,1
2	180	415	23,1
3	180	405	23,1
4	180	395	23,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	380	23,1
6	180	370	23,1
7	180	360	23,1
8	180	350	23,1

Promedio	180	388	23,1
----------	-----	-----	------

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

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

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



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació San Vicente de Chucuri
 Muestra : Arena Rio Llana Caliente
 Cantidad de Ensayos : 2

Fecha : 13 - agosto - 2008 Hoja 11 de 15
 Operador : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 21

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1501,6	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1769,0	gr.
Peso suelo :	267,4	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	155,86	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	570	23,8
2	180	560	23,8
3	180	550	23,8
4	180	540	23,8

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	520	23,8
6	180	505	23,8
7	180	490	23,8
8	180	480	23,8

Promedio	180	527	23,8
----------	-----	-----	------

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0071 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0065 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 22

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1506,2	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1760,0	gr.
Peso suelo :	253,8	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	4,90	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	152,75	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	520	23,0
2	180	500	23,0
3	180	480	23,0
4	180	460	23,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	440	23,0
6	180	430	23,0
7	180	415	23,0
8	180	405	23,0

Promedio	180	456	23
----------	-----	-----	----

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

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

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



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació San Vicente de Chucuri
 Muestra : Arena Rio Llana Caliente
 Cantidad de Ensayos : 2

Fecha : 13 - agosto - 2008 Hoja 12 de 15
 Operador : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 23

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1506,9	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1756,0	gr.
Peso suelo :	249,1	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	4,50	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	140,28	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	595	23,0
2	180	585	23,0
3	180	575	23,0
4	180	560	23,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	550	23,0
6	180	540	23,0
7	180	525	23,0
8	180	510	23,0

Promedio	180	555	23
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0067 \text{ cm/seg.}$$

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 24

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1508,8	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1795,3	gr.
Peso suelo :	286,5	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,40	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	168,33	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	560	23,0
2	180	540	23,0
3	180	530	23,0
4	180	520	23,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	510	23,0
6	180	500	23,0
7	180	490	23,0
8	180	480	23,0

Promedio	180	516	23
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0075 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0070 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizaci3n: San Vicente de Chucuri
 Muestra: Arena Rio Llana Caliente
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 13 - agosto - 2008 Hoja 13 de 15
 Operador: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 C3lculo: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 25

PERMEAMETRO	
Peso c3mara + base :	1505,7 gr.
Peso c3mara + base + suelo :	1815,6 gr.
Peso suelo :	309,9 gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0 cm

MOLDE	
Diametro (θ) :	6,3 cm
Altura (L) :	5,80 cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17 cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	180,80 cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	700	23,1
2	180	680	23,1
3	180	670	23,1
4	180	660	23,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	640	23,1
6	180	625	23,1
7	180	610	23,1
8	180	600	23,1

Promedio	180	648	23,1
----------	-----	-----	------

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0102 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0094 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 26

PERMEAMETRO	
Peso c3mara + base :	1509,1 gr.
Peso c3mara + base + suelo :	1744,2 gr.
Peso suelo :	235,1 gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0 cm

MOLDE	
Diametro (θ) :	6,3 cm
Altura (L) :	4,70 cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17 cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	146,51 cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	430	23,1
2	180	410	23,1
3	180	390	23,1
4	180	380	23,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	370	23,1
6	180	360	23,1
7	180	350	23,1
8	180	340	23,1

Promedio	180	379	23,1
----------	-----	-----	------

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0048 \text{ cm/seg.}$$

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



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació San Vicente de Chucuri
 Muestra : Arena Rio Llana Caliente
 Cantidad de Ensayos : 2

Fecha : 12 - agosto - 2008 Hoja 14 de 15
 Operador : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo : David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 27

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1510	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1770,0	gr.
Peso suelo :	260,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,30	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	165,21	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	530	22,1
2	180	505	22,1
3	180	490	22,1
4	180	475	22,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	460	22,1
6	180	450	22,1
7	180	440	22,1
8	180	425	22,1

Promedio	180	472	22,1
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9509$

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

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0064$ cm/seg.

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 28

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1506,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1796,1	gr.
Peso suelo :	290,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,80	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	180,80	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	590	23,1
2	180	580	23,1
3	180	570	23,1
4	180	555	23,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	545	23,1
6	180	530	23,1
7	180	520	23,1
8	180	510	23,1

Promedio	180	550	23,1
----------	-----	-----	------

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0086$ cm/seg.

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0080$ cm/seg.



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizaci3n: San Vicente de Chucuri
 Muestra: Arena Rio Llana Caliente
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 12 - agosto - 2008 Hoja 15 de 15
 Operador: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 C3lculo: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 29

PERMEAMETRO		
Peso c3mara + base :	1506,2	gr.
Peso c3mara + base + suelo :	1760,0	gr.
Peso suelo :	253,8	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	4,90	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	152,75	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	500	22,1
2	180	490	22,1
3	180	480	22,1
4	180	470	22,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	460	22,1
6	180	445	22,1
7	180	435	22,1
8	180	425	22,1

Promedio	180	463	22,1
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9509$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0061$ cm/seg.

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 30

PERMEAMETRO		
Peso c3mara + base :	1506,1	gr.
Peso c3mara + base + suelo :	1744,2	gr.
Peso suelo :	238,1	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	4,70	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	146,51	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	425	23,1
2	180	410	23,1
3	180	395	23,1
4	180	380	23,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	370	23,1
6	180	360	23,1
7	180	350	23,1
8	180	240	23,1

Promedio	180	366	23,1
----------	-----	-----	------

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

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

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

RIO MIRLAS



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: El Carmen de Chucuri
 Muestra: Arena Río Mirlas
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 15 - agosto - 2008 Hoja 1 de 15
 Operador: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO N° 1

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1510,4	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1755,1	gr.
Peso suelo :	244,7	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	4,90	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	152,75	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	830	23,8
2	180	810	23,8
3	180	790	23,8
4	180	770	23,8

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	745	23,8
6	180	720	23,8
7	180	700	23,8
8	180	680	23,8

Promedio	180	756	23,8
----------	-----	-----	------

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0100$ cm/seg.

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO N° 2

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1511,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1739,3	gr.
Peso suelo :	228,2	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	4,90	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	152,75	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	770	23,2
2	180	750	23,2
3	180	730	23,2
4	180	715	23,2

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	695	23,2
6	180	680	23,2
7	180	665	23,2
8	180	650	23,2

Promedio	180	707	23,2
----------	-----	-----	------

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0094$ cm/seg.

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0087$ cm/seg.



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizaci3n: El Carmen de Chucuri
 Muestra: Arena Rio Mirlas
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 15 - agosto - 2008 Hoja 2 de 15
 Operador: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 C3lculo: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO N3

PERMEAMETRO		
Peso c3mara + base :	1502,2	gr.
Peso c3mara + base + suelo :	1738,9	gr.
Peso suelo :	236,7	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	155,86	cm ³

Muestra N3	t (seg.)	Q (cm ³)	T (3C)
1	180	730	23,0
2	180	710	23,0
3	180	690	23,0
4	180	670	23,0

Muestra N3	t (seg.)	Q (cm ³)	T (3C)
5	180	650	23,0
6	180	640	23,0
7	180	620	23,0
8	180	610	23,0

Promedio	180	665	23
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0090 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0084 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO N4

PERMEAMETRO		
Peso c3mara + base :	1509,4	gr.
Peso c3mara + base + suelo :	1756,0	gr.
Peso suelo :	246,6	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,80	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	180,80	cm ³

Muestra N4	t (seg.)	Q (cm ³)	T (3C)
1	180	880	23,0
2	180	860	23,0
3	180	835	23,0
4	180	810	23,0

Muestra N4	t (seg.)	Q (cm ³)	T (3C)
5	180	780	23,0
6	180	760	23,0
7	180	735	23,0
8	180	710	23,0

Promedio	180	796	23
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0125 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0116 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: El Carmen de Chucuri
 Muestra: Arena Río Mirlas
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 19 - agosto - 2008 Hoja 3 de 15
 Operador: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO N° 5

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1507	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1768,0	gr.
Peso suelo :	261,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,30	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	165,21	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	560	23,1
2	180	535	23,1
3	180	510	23,1
4	180	490	23,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	460	23,1
6	180	435	23,1
7	180	410	23,1
8	180	390	23,1

Promedio	180	474	23,1
----------	-----	-----	------

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

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

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 6

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1509,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1802,4	gr.
Peso suelo :	293,3	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	6,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	187,03	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	545	23,1
2	180	520	23,1
3	180	500	23,1
4	180	480	23,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	460	23,1
6	180	445	23,1
7	180	415	23,1
8	180	390	23,1

Promedio	180	469	23,1
----------	-----	-----	------

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0076 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0071 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizaci3n: El Carmen de Chucuri
 Muestra: Arena Rio Mirlas
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 19 - agosto - 2008 Hoja 4 de 15
 Operador: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 C3lculo: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO N° 7

PERMEAMETRO		
Peso c3mara + base :	1503,8	gr.
Peso c3mara + base + suelo :	1759,0	gr.
Peso suelo :	255,2	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,10	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	158,98	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	335	22,1
2	180	310	22,1
3	180	300	22,1
4	180	280	22,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	260	22,1
6	180	245	22,1
7	180	220	22,1
8	180	210	22,1

Promedio	180	270	22,1
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9509$

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

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 8

PERMEAMETRO		
Peso c3mara + base :	1506,7	gr.
Peso c3mara + base + suelo :	1767,1	gr.
Peso suelo :	260,4	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,50	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	171,45	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	500	23,1
2	180	490	23,1
3	180	460	23,1
4	180	445	23,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	420	23,1
6	180	410	23,1
7	180	400	23,1
8	180	380	23,1

Promedio	180	438	23,1
----------	-----	-----	------

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0065$ cm/seg.

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0060$ cm/seg.



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: El Carmen de Chucuri
 Muestra: Arena Mirflas
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 19 - agosto - 2008 Hoja 5 de 15
 Operador: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO N° 9

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1505	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1769,0	gr.
Peso suelo :	264,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,60	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	174,57	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	490	23,0
2	180	480	23,0
3	180	465	23,0
4	180	450	23,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	430	23,0
6	180	415	23,0
7	180	405	23,0
8	180	380	23,0

Promedio	180	439	23
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0066 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0062 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – MIRLAS – ENSAYO N° 10

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1505,5	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1768,0	gr.
Peso suelo :	262,5	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,60	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	174,57	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	480	23,0
2	180	465	23,0
3	180	470	23,0
4	180	460	23,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	445	23,0
6	180	430	23,0
7	180	420	23,0
8	180	405	23,0

Promedio	180	447	23
----------	-----	-----	----

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

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

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



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: El Carmen de Chucuri
 Muestra: Arena Río Mirlas
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 19 - agosto - 2008 Hoja 6 de 15
 Operador: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO N° 11

PERMEAMETRO	
Peso cámara + base :	1507,7 gr.
Peso cámara + base + suelo :	1799,1 gr.
Peso suelo :	291,4 gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0 cm

MOLDE	
Diametro (θ) :	6,3 cm
Altura (L) :	5,80 cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17 cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	180,80 cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	610	23,0
2	180	590	23,0
3	180	570	23,0
4	180	545	23,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	530	23,0
6	180	520	23,0
7	180	500	23,0
8	180	480	23,0

Promedio	180	543	23
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0085 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0079 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO N° 12

PERMEAMETRO	
Peso cámara + base :	1508,3 gr.
Peso cámara + base + suelo :	1792,3 gr.
Peso suelo :	284,0 gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0 cm

MOLDE	
Diametro (θ) :	6,3 cm
Altura (L) :	5,70 cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17 cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	177,68 cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	620	23,0
2	180	605	23,0
3	180	595	23,0
4	180	580	23,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	560	23,0
6	180	540	23,0
7	180	525	23,0
8	180	505	23,0

Promedio	180	566	23
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0087 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0081 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: El Carmen de Chucuri
 Muestra: Arena Río Mirlas
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 19 - agosto - 2008 Hoja 7 de 15
 Operador: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO N° 13

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1508,7	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1801,0	gr.
Peso suelo :	292,3	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,90	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	183,92	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	510	23,0
2	180	500	23,0
3	180	490	23,0
4	180	475	23,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	460	23,0
6	180	440	23,0
7	180	430	23,0
8	180	415	23,0

Promedio	180	465	23
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0074 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0069 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – MIRLAS – ENSAYO N° 14

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1509	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1800,0	gr.
Peso suelo :	291,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,90	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	183,92	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	520	23,0
2	180	485	23,0
3	180	480	23,0
4	180	460	23,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	435	23,0
6	180	405	23,0
7	180	390	23,0
8	180	355	23,0

Promedio	180	441	23
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0070 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0065 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: El Carmen de Chucuri
 Muestra: Arena Río Mirlas
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 19 - agosto - 2008 Hoja 8 de 15
 Operador: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO N° 15

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1505,2	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1727,6	gr.
Peso suelo :	222,4	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	4,40	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	137,16	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	845	23,1
2	180	825	23,1
3	180	800	23,1
4	180	775	23,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	755	23,1
6	180	730	23,1
7	180	710	23,1
8	180	680	23,1

Promedio	180	765	23,1
----------	-----	-----	------

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0091 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0084 \text{ cm/seg.}$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO N° 16

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1492,8	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1742,4	gr.
Peso suelo :	249,6	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	4,80	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	149,63	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	910	22,6
2	180	900	22,6
3	180	895	22,6
4	180	870	22,6

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	860	22,6
6	180	850	22,6
7	180	835	22,6
8	180	810	22,6

Promedio	180	866	22,6
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9399$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0112 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0106 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: El Carmen de Chucuri
 Muestra: Arena Río Mirlas
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 20 - agosto - 2008 Hoja 9 de 15
 Operador: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO Nº 17

PERMEAMETRO	
Peso cámara + base :	1507,5 gr.
Peso cámara + base + suelo :	1731,4 gr.
Peso suelo :	223,9 gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0 cm

MOLDE	
Diametro (θ) :	6,3 cm
Altura (L) :	4,60 cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17 cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	143,39 cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	580	22,1
2	180	570	22,1
3	180	550	22,1
4	180	530	22,1

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	525	22,1
6	180	510	22,1
7	180	495	22,1
8	180	480	22,1

Promedio	180	530	22,1
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9509$

$K = Q * L / A * h * t = 0,0066 \text{ cm/seg.}$

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO Nº 18

PERMEAMETRO	
Peso cámara + base :	1508,4 gr.
Peso cámara + base + suelo :	1755,5 gr.
Peso suelo :	247,1 gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0 cm

MOLDE	
Diametro (θ) :	6,3 cm
Altura (L) :	5,00 cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17 cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	155,86 cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	800	23,0
2	180	790	23,0
3	180	780	23,0
4	180	855	23,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	735	23,0
6	180	710	23,0
7	180	690	23,0
8	180	670	23,0

Promedio	180	754	23
----------	-----	-----	----

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0102 \text{ cm/seg.}$

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0095 \text{ cm/seg.}$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: El Carmen de Chucuri
 Muestra: Arena Río Mirlas
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 20 - agosto - 2008 Hoja 10 de 15
 Operador: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO N° 19

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1504,2	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1740,0	gr.
Peso suelo :	235,8	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	4,30	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	134,04	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	770	23,0
2	180	760	23,0
3	180	735	23,0
4	180	715	23,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	690	23,0
6	180	670	23,0
7	180	650	23,0
8	180	635	23,0

Promedio	180	703	23
----------	-----	-----	----

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0082$ cm/seg.

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0076$ cm/seg.

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO N° 20

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1506,8	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1725,4	gr.
Peso suelo :	218,6	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	4,50	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	140,28	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	840	23,1
2	180	830	23,1
3	180	820	23,1
4	180	800	23,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	780	23,1
6	180	770	23,1
7	180	760	23,1
8	180	745	23,1

Promedio	180	793	23,1
----------	-----	-----	------

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0096$ cm/seg.

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0090$ cm/seg.



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: El Carmen de Chucuri
 Muestra: Arena Río Mirlas
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 20 - agosto - 2008 Hoja 11 de 15
 Operador: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO Nº 21

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1505,6	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1724,1	gr.
Peso suelo :	218,5	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	4,50	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	140,28	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	760	23,1
2	180	740	23,1
3	180	715	23,1
4	180	695	23,1

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	670	23,1
6	180	650	23,1
7	180	630	23,1
8	180	610	23,1

Promedio	180	684	23,1
----------	-----	-----	------

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0083 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0077 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO Nº 22

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1509	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1766,3	gr.
Peso suelo :	257,3	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,00	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	155,86	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	690	23,0
2	180	670	23,0
3	180	650	23,0
4	180	625	23,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	600	23,0
6	180	580	23,0
7	180	560	23,0
8	180	540	23,0

Promedio	180	614	23
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0083 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0077 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: El Carmen de Chucuri
 Muestra: Arena Río Mirlas
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 20 - agosto - 2008 Hoja 12 de 15
 Operador: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO Nº 23

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1507,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1716,1	gr.
Peso suelo :	209,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	4,20	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	130,92	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	600	23,0
2	180	575	23,0
3	180	550	23,0
4	180	530	23,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	510	23,0
6	180	480	23,0
7	180	460	23,0
8	180	435	23,0

Promedio	180	518	23
----------	-----	-----	----

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

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

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO Nº 24

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1506,3	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1718,8	gr.
Peso suelo :	212,5	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	4,30	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	134,04	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	640	23,0
2	180	610	23,0
3	180	580	23,0
4	180	550	23,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	535	23,0
6	180	510	23,0
7	180	480	23,0
8	180	460	23,0

Promedio	180	546	23
----------	-----	-----	----

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0063$ cm/seg.

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



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: El Carmen de Chucuri
 Muestra: Arena Río Mirlas
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 20 - agosto - 2008 Hoja 13 de 15
 Operador: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO Nº 25

PERMEAMETRO	
Peso cámara + base :	1509,5 gr.
Peso cámara + base + suelo :	1726,5 gr.
Peso suelo :	217,0 gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0 cm

MOLDE	
Diametro (θ) :	6,3 cm
Altura (L) :	4,50 cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17 cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	140,28 cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	510	23,1
2	180	590	23,1
3	180	565	23,1
4	180	540	23,1

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	520	23,1
6	180	500	23,1
7	180	485	23,1
8	180	460	23,1

Promedio	180	521	23,1
----------	-----	-----	------

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0063 \text{ cm/seg.}$

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

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO Nº 26

PERMEAMETRO	
Peso cámara + base :	1509,1 gr.
Peso cámara + base + suelo :	1744,2 gr.
Peso suelo :	235,1 gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0 cm

MOLDE	
Diametro (θ) :	6,3 cm
Altura (L) :	4,70 cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17 cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	146,51 cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	430	23,1
2	180	410	23,1
3	180	390	23,1
4	180	380	23,1

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	370	23,1
6	180	360	23,1
7	180	350	23,1
8	180	340	23,1

Promedio	180	379	23,1
----------	-----	-----	------

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0048 \text{ cm/seg.}$

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



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: El Carmen de Chucuri
 Muestra: Arena Río Mirlas
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 20 - agosto - 2008 Hoja 14 de 15
 Operador: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO N° 27

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1510	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1770,0	gr.
Peso suelo :	260,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,30	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	165,21	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	530	23,1
2	180	505	23,1
3	180	490	23,1
4	180	475	23,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	460	23,1
6	180	445	23,1
7	180	430	23,1
8	180	425	23,1

Promedio	180	470	23,1
----------	-----	-----	------

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0067 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0062 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO LLANA CALIENTE – ENSAYO N° 28

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1506,1	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1796,1	gr.
Peso suelo :	290,0	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,80	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	180,80	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	600	23,1
2	180	580	23,1
3	180	550	23,1
4	180	520	23,1

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	500	23,1
6	180	480	23,1
7	180	460	23,1
8	180	440	23,1

Promedio	180	516	23,1
----------	-----	-----	------

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0081 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0075 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: El Carmen de Chucuri
 Muestra: Arena Río Mirlas
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 20 - agosto - 2008 Hoja 15 de 15
 Operador: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas
 Cálculo: David Mauricio Carrero Rojas - Jhossimar Ventanas

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO Nº 29

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1507,6	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1748,0	gr.
Peso suelo :	240,4	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,20	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	162,10	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	520	22,1
2	180	500	22,1
3	180	485	22,1
4	180	465	22,1

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	440	22,1
6	180	425	22,1
7	180	410	22,1
8	180	395	22,1

Promedio	180	455	22,1
----------	-----	-----	------

$n_T / n_{20} = 0,9509$

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

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0061$ cm/seg.

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – RIO MIRLAS – ENSAYO Nº 30

PERMEAMETRO		
Peso cámara + base :	1507,5	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1731,8	gr.
Peso suelo :	224,3	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE		
Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	4,60	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	143,39	cm ³

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	580	23,1
2	180	570	23,1
3	180	550	23,1
4	180	530	23,1

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	525	23,1
6	180	510	23,1
7	180	490	23,1
8	180	470	23,1

Promedio	180	528	23,1
----------	-----	-----	------

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

$K = Q * L / A * h * t = 0,0066$ cm/seg.

$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0061$ 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 $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$) y se pesa.
- Se tamiza en seco siguiendo el procedimiento indicado en las secciones 4.2 y 4.3

6. CALCULOS

6.1 Valores de análisis de tamizado para la porción retenida en el Tamiz de 2 mm (No.10).

- Se calcula el porcentaje que pasa el tamiz de 2 mm (No.10) dividiendo el peso que pasa dicho tamiz por el del suelo originalmente tomado y se multiplica el resultado por 100. Para obtener el peso de la porción retenida en el mismo tamiz, réstese del peso original, el peso del pasante por el Tamiz de 2 mm (No.10).
- Para comprobar el peso total de suelo que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4), se agrega al peso del material que pasa el tamiz de 2 mm (No.10), el peso de la fracción que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4) y que queda retenida en el de 2 mm (No.10). Para comprobar el material que pasa por el tamiz de 9.5 mm (3/8"), se agrega al peso total del suelo que pasa por el tamiz de 4.75 mm (No.4) el peso de la fracción que pasa el tamiz de 9.5 mm (3/8") y que queda retenida en

el de 4.75 mm (No.4). Para los demás tamices continúese el cálculo de la misma manera.

- Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide el peso total que pasa (sección 6.1.2) por el peso total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.

6.2 Valores del análisis por tamizado para la porción que pasa el tamiz de 2 mm (No.10).

- Se calcula el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 75 µm (No.200) de la siguiente forma:

$$\% \text{ Pasa } 75 \mu\text{m} = \frac{\text{Peso total} - \text{Peso Ret. en el tamiz de } 75 \mu\text{m}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

- Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

$$\% \text{ Ret.} = \frac{\text{Peso ret. en el tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

- Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100% los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Ret. acumulado}$$

6.3 Porcentaje de humedad higroscópica.- La humedad higroscópica se considera como la pérdida de peso de una muestra secada al aire cuando se seca posteriormente al horno, expresada como un porcentaje del peso de la muestra secada al horno. Se determina de la manera siguiente.

$$\% \text{ humedad higroscópica} = \frac{W - W_1}{W_1} \times 100$$

Donde:

W = Peso de suelo secado al aire

W₁ = Peso de suelo secado en el horno

7. OBSERVACIONES

7.1 El informe deberá incluir lo siguiente:

- El tamaño máximo de las partículas contenidas en la muestra.
- Los porcentajes retenidos y/o que pasan, para cada uno de los tamices utilizados.
- Toda información que se juzgue de interés.

Los resultados se presentarán: (1) en forma tabulada, o (2) en forma gráfica; siendo esta última forma, la indicada cada vez que el análisis comprenda un ensayo completo de sedimentación.

Las pequeñas diferencias resultantes en el empate de las curvas obtenidas por tamizado y por sedimento respectivamente, se corregirán en forma gráfica.

7.2 Los siguientes errores posibles producirán determinaciones imprecisas en un análisis granulométrico por tamizado.

- Aglomeraciones de partículas que no han sido completamente disgregadas. Si el material contiene partículas finas plásticas, la muestra debe ser disgregada antes del tamizado.
- Tamices sobrecargados. Este es el error más común y más serio asociado con el análisis por tamizado y tenderá a indicar que el material ensayado es más grueso de lo que en realidad es. Para evitar esto las muestras muy grandes deben ser tamizadas en varias porciones y las porciones retenidas en cada tamiz se juntarán luego para realizar la pesada.
- Los tamices han sido agitados por un periodo demasiado corto o con movimientos horizontales o rotacionales inadecuados. Los tamices deben agitarse de manera que las partículas sean expuestas a las aberturas del tamiz con varias orientaciones y así tengan mayor oportunidad de pasar a través de él.
- La malla de los tamices está rota o deformada; los tamices deben ser frecuentemente inspeccionados para asegurar que no tienen aberturas más grandes que la especificada.
- Pérdidas de material al sacar el retenido de cada tamiz.

- Errores en las pesadas y en los cálculos.

8. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

ASTM D 422

AASHTO T 88

MOP E 115 (Venezuela)

NLT 104

ANEXO F

NORMAS DE INVIAS I.N.V. E – 128 PARA LA EJECUCIÓN DE
ENSAYOS DE PESO ESPECÍFICO RELATIVO

DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO DE LOS SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL

I.N.V. E - 128

1. OBJETO

1.1 Este método de ensayo se utiliza para determinar el peso específico de los suelos y del llenante mineral (filler) por medio de un picnómetro. Cuando el suelo está compuesto de partículas mayores que el tamiz de 2.38 mm (No.8), deberá seguirse el método de ensayo para determinar el Peso Específico y la Absorción del Agregado Grueso, Norma INV E-223. Cuando el suelo está compuesto por partículas mayores y menores que el tamiz de 2.38 mm (No.8), se utilizará el método de ensayo correspondiente a cada porción (Normas INV E-222 e INV E-223). El valor del peso específico para el suelo será el promedio ponderado de los dos valores así obtenidos. Cuando el valor del peso específico sea utilizado en cálculos relacionados con la porción hidrométrica del Análisis Granulométrico de Suelos (Norma INV E-124), debe determinarse el peso específico de la porción de suelo que pasa el tamiz de 2.00 mm (No.10) de acuerdo con el método que se describe en la presente Norma.

2. DEFINICION

Peso específico.- Es la relación entre el peso en el aire de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada y el peso en el aire del mismo volumen de agua destilada, a la misma temperatura.

3. EQUIPO

3.1 Frasco volumétrico (Picnómetro), de 100 a 500 cm³ de capacidad.

3.2 Bomba de vacío, con tuberías y uniones, o en su defecto un mechero o un dispositivo para hervir el contenido del picnómetro.

3.3 Horno, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).

3.4 Balanzas, una capacidad de 1200g y sensibilidad de 0.01g y otra con capacidad de 200g y sensibilidad de .001g.

3.5 Pipeta.

3.6 Termómetro graduado, con una escala de 0 a 50°C (32 a 122°F) y con precisión de 0.1°C (0.18°F).

3.7 Cápsula de evaporación.

3.8 Baño de agua (Baño maría).

3.9 Guantes de asbesto.

3.10 Tamices de 2.36 mm (No.8) y 4.75 mm (No.4).

4. CALIBRACION DEL PICNOMETRO

El peso del picnómetro lleno de agua debe ser calibrado para varias temperaturas. El picnómetro con agua se calibra directamente dentro del intervalo de temperaturas que se espera encontrar en el laboratorio.

El proceso de calibración es el siguiente:

4.1 Llénese el picnómetro con agua destilada o desmineralizada, sin burbujas de aire, hasta una altura algo menor que la marca de calibración y colóquese al "Baño maría" hasta que se equilibre su temperatura con la del baño.

Sáquese el picnómetro del "Baño maría", ajústese con una pipeta el nivel del agua en el picnómetro de manera que la parte de abajo del menisco coincida con la marca de calibración en el cuello del picnómetro y remuévase el agua que se encuentre adherida en la parte interior del cuello por encima de la marca de calibración; luego, pésese el picnómetro con agua con una precisión de 0.01 g. Inmediatamente después de la pesada, agítase el picnómetro suavemente y determínese la temperatura del agua con una precisión de 0.1°C, introduciendo el termómetro hasta la mitad de la profundidad del picnómetro.

4.2 Repítase el procedimiento anterior aproximadamente a la misma temperatura. Luego, háganse dos determinaciones adicionales, una a la temperatura del laboratorio y otra a una temperatura aproximadamente 5°C (9°F) menor que la temperatura del laboratorio.

4.3 Dibújese una curva de calibración que muestre la relación entre las temperaturas y los pesos correspondientes del picnómetro más agua. Prepárese la curva de calibración para cada picnómetro que se utilice en la determinación de los pesos específicos y consérvense esas curvas en el archivo. Una curva de calibración típica se muestra en la Figura No. 1.

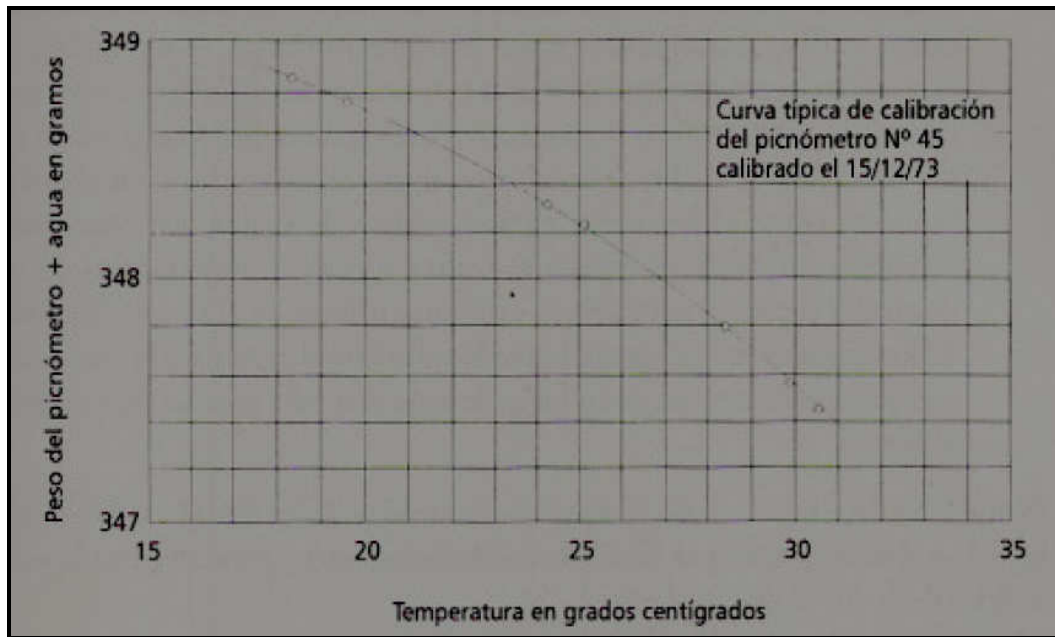


Figura 1. Curva típica de calibración del picnómetro.

Nota 1: No se debe utilizar la misma curva de calibración para todos los picnómetros de igual capacidad. Cada uno de los picnómetros, aún los de igual capacidad, tienen pesos diferentes; por lo tanto, deberán ser individualmente calibrados.

Si el picnómetro no está limpio, la curva de calibración no será válida, porque cambia su peso. También, si la parte interior del cuello del picnómetro no está limpia, se formará un menisco irregular.

Cuando se calibra el picnómetro para una temperatura menor que la del laboratorio, hay una tendencia a que se condense agua en la parte interior del picnómetro, aun cuando se haya tenido mucho cuidado en el secado y la pesada se haya realizado rápidamente. Siempre que sea posible, la pesada debe hacerse a la misma temperatura a la cual está el picnómetro.

5. PREPARACION DE LA MUESTRA

5.1 Debe tenerse especial cuidado en obtener muestras representativas para la determinación del peso específico de los sólidos. La muestra de suelo puede ensayarse a su humedad natural, o puede secarse al horno; sin embargo, algunos suelos, principalmente aquellos que tienen un alto contenido de materia orgánica, son muy difíciles de rehumedecer después de que se han secado al horno. Estos suelos pueden ser ensayados sin haberse secado previamente en el horno, en cuyo caso, el peso de la muestra seca se determina al final del ensayo.

5.2 Cuando la muestra contenga partículas de diámetros mayores y menores que la abertura del tamiz de 2.38 mm (No.8), la muestra debe ser separada por dicho tamiz y debe determinarse el peso específico de la fracción fina [pasante del tamiz de 2.38 mm (No.8)] y el peso específico aparente de la fracción gruesa. El valor del peso específico para la muestra total viene dado por la siguiente expresión:

$$G = \frac{100}{\frac{\% \text{ Pasante del No.8}}{G_s} + \frac{\% \text{ Retenido en el No.8}}{G_a}}$$

Donde:

G : Peso Específico Total

G_s : Peso Específico de los sólidos (Pasa tamiz No.8)

G_a : Peso específico aparente (Retenido en el tamiz No.8)
(Según Ensayo INV E-223)

- Cuando el valor del peso específico va a ser empleado en cálculos relacionados con el análisis granulométrico por hidrómetro (Ensayo INV E-124), el peso específico deberá determinarse para la fracción de suelo que va a ser usada en el análisis por hidrómetro o para otros fines (generalmente la porción pasante del tamiz No.200). En algunos casos, puede ser necesario el empleo de otros líquidos, como el Kerosene, para el análisis de suelos que contienen sales solubles en agua. Si el ensayo se realiza con algún líquido distinto al agua destilada, el picnómetro deberá calibrarse utilizando el mismo líquido.
- El Kerosene es mejor agente humedecedor que el agua para la mayoría de los suelos y puede emplearse en lugar de agua destilada para la muestras secadas al horno.

Nota 2: Se debe evitar el uso de agua que contenga sólidos disueltos. Es esencial que se use exclusivamente agua destilada o desmineralizada, para asegurar la continua validez de la curva de calibración.

6. PROCEDIMIENTO

6.1 Suelos con su humedad natural.- El procedimiento para determinar el peso específico de los suelos a su humedad natural deberá consistir de los siguientes pasos:

- Anótese en una planilla de datos toda la información concerniente a la muestra como : obra, No. de sondeo, No. de la muestra y cualquier otro dato pertinente.
- Colóquese en la cápsula de evaporación una muestra representativa del suelo. La cantidad necesaria se escogerá de acuerdo con la capacidad del picnómetro.

Capacidad del picnómetro	Cantidad requerida aproximada
100 cm ³	25 - 35 g.
250 cm ³	55 - 65 g.
500 cm ³	120 - 130 g.

Empleando una espátula, mézclase el suelo con suficiente agua destilada o desmineralizada, hasta formar una masa pastosa; colóquese luego la mezcla en el picnómetro y llénese con agua destilada hasta aproximadamente la mitad del frasco.

- Para remover el aire atrapado, conéctese el picnómetro a la línea de vacío hasta obtener una presión absoluta dentro del frasco no mayor de 100 mm de mercurio. El tiempo de aplicación del vacío dependerá

del tipo de suelo ensayado. Un esquema de un sistema elemental de aplicación de vacío aparece en la Figura No. 2.

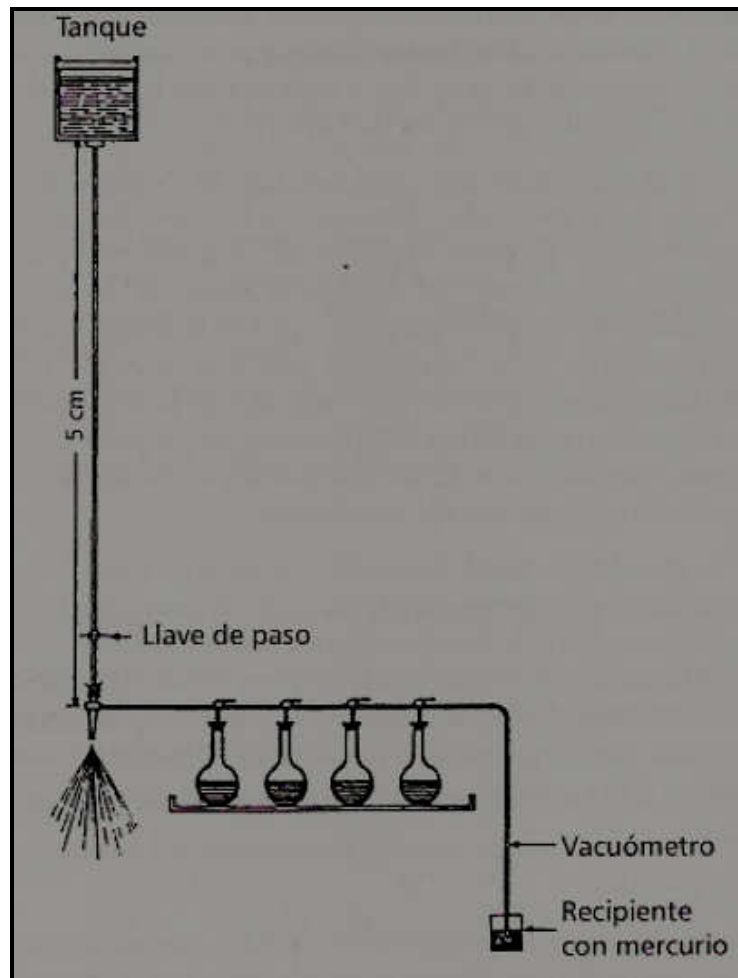


Figura 2. Sistema elemental de aplicación de vacío.

Como proceso alternativo, el aire atrapado puede ser removido calentando la suspensión levemente durante un período mínimo de 10 minutos, rotando ocasionalmente el picnómetro para facilitar la expulsión de aire. El proceso de calentamiento debe adelantarse con mucho cuidado, porque pueden ocurrir pérdidas de material. Las

muestras que sean calentadas, deberán dejarse enfriar a la temperatura ambiente.

Nota 3: Algunos suelos hierven violentamente al someterlos a una presión de aire reducido. En esos casos, es necesario aplicar una reducción gradual de la presión o utilizar un frasco de mayor tamaño.

- Llénese el picnómetro con agua destilada y sin burbujas de aire, hasta 2 cm por debajo de la marca y aplíquese vacío nuevamente hasta que a la suspensión se le haya extraído la mayor parte del aire; remuévase con cuidado el tapón del picnómetro y obsérvese cuánto baja el nivel del agua en el cuello. Si la superficie de agua baja menos de 3 mm no es necesario seguir aplicando vacío. En el caso en que la superficie del agua baje más de 3 mm, se deberá seguir aplicando vacío hasta lograr esta condición.

Nota 4: La remoción incompleta del aire atrapado en la suspensión del suelo es la causa más importante de error en la determinación de pesos específicos y tenderá a bajar el peso específico calculado. Se deberá extraer completamente el aire de la suspensión aplicando vacío o calentando. La ausencia de aire atrapado debe ser verificada como se describió durante el ensayo. Es conveniente destacar que el aire disuelto en el agua no afectará los resultados; por lo tanto, no es necesario aplicar vacío al picnómetro cuando se calibra o se llena hasta la marca de calibración con agua destilada o desmineralizada sin burbujas de aire.

- Llénese el picnómetro con agua destilada hasta que el fondo del menisco coincida con la marca de calibración en el cuello del picnómetro. Séquese completamente la parte exterior del picnómetro

y, usando un papel absorbente, remuévase con cuidado la humedad de la parte interior del picnómetro que se encuentra por encima de la marca de calibración. Pésese el picnómetro y su contenido con una aproximación de 0.01 g. Inmediatamente después de la pesada, 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:

- Anótese en la planilla toda la información requerida para identificar la muestra.
- Séquese el suelo al horno hasta obtener la condición de peso constante. El horno debe estar a una temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($221 \pm 9^{\circ}\text{F}$). Sáquese la muestra del horno y déjese enfriar a la temperatura del laboratorio; debe protegerse contra una ganancia de humedad hasta que sea pesada. Selecciónese una muestra representativa; la cantidad requerida dependerá de la capacidad del picnómetro que se va a utilizar (véase la tabla del numeral 6.1.). Pésese la muestra con aproximación de 0.01 g. Después de pesado, transfírase el suelo al picnómetro teniendo mucho cuidado de no perder material durante la operación. Para evitar posibles pérdidas del material previamente pesado, la muestra puede ser pesada después de que se transfiera al picnómetro. Esta eventual pérdida bajará el valor del peso específico calculado.

Llénese el picnómetro hasta la mitad de su contenido con agua destilada sin burbujas de aire y déjese reposar la suspensión durante la noche.

Nota 6: El secado de ciertos suelos a 105°C (221°F) , puede causar la pérdida del agua absorbida y de cristalización; en tales casos, el

secado se hará a una temperatura de 60°C (140°F) y se recomienda aplicar una presión de vacío más baja.

- Extráigase el aire atrapado dentro de la suspensión del suelo en agua por uno de los dos métodos descritos en el numeral 6.1.
- Si la extracción de aire se realizó calentando la suspensión, déjese enfriar el picnómetro y su contenido durante la noche.
- Realícense los pasos subsiguientes del ensayo en la misma forma que los indicados para suelos a su humedad natural.
- Anótense todos los datos en la planilla.

7. CALCULOS

Las siguientes cantidades se obtienen por pesada directa.

- a) Peso del picnómetro + agua + sólidos a la temperatura del ensayo = W_1 (g).
- b) Peso de la tara + suelo seco (g). El peso de la tara debe ser restado de este valor para obtener el peso del suelo seco, W_0 .

El peso específico de los sólidos se calcula con dos decimales, mediante la siguiente fórmula :

$$W_0 \times K$$

$$G_s = \frac{\quad}{W_0 + W_2 - W_1}$$

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 prerrequisitos, 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.

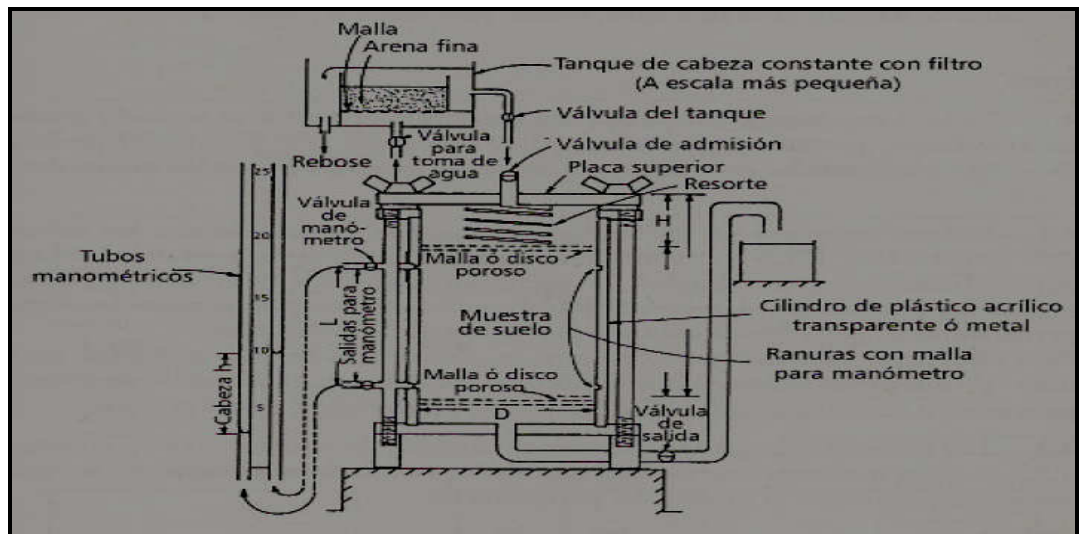


Figura 1. Permeámetro de cabeza constante.

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)

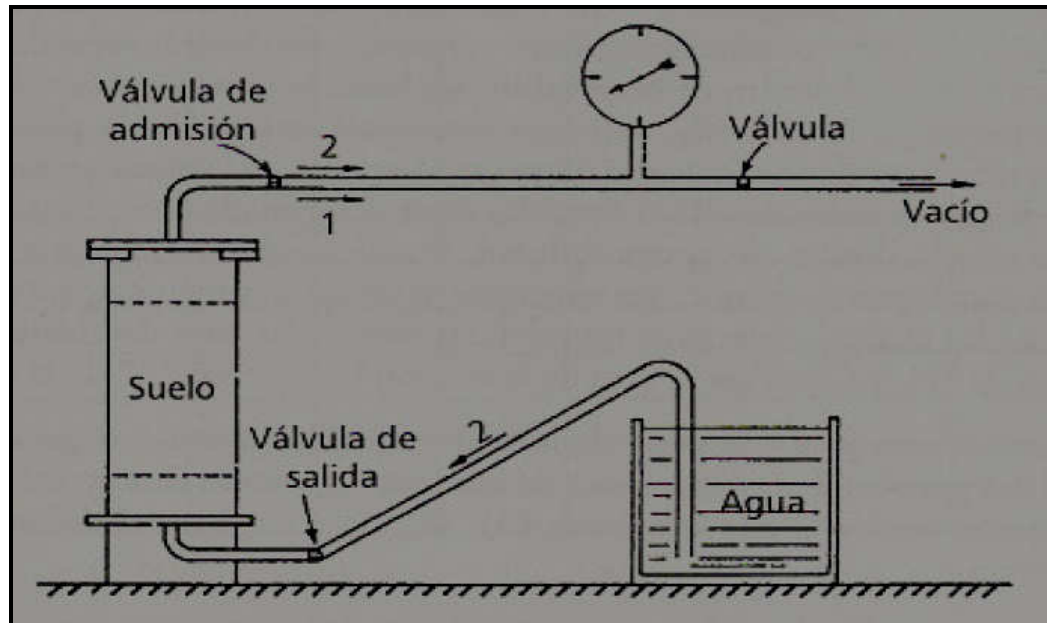


Figura 2. Dispositivo para saturar y evacuar especímenes.

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".

Ensayo No. _____ Fecha de ensayo _____

Localización de la muestra _____ fecha muestra _____ Naturaleza _____

Sondeo _____ Muestra _____ Profundidad _____

(a) DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL _____

Para ser empleado: _____

(b) DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO

Diámetro, d , cm.	Altura antes, H_1	Peso anterior, W_1
Área, A , sq cm.	Altura después, H_2	Peso después, W_2
Longitud, L , cm.	Altura neta, cm	Peso neta, g
	Contenido de humedad [Secado al aire]	_____
W (máx)	Peso unitario seco, grs./cm^3 [lbs./pie^3] W	_____
W (mín)	Relación de vacíos, e .	_____
	Densidad relativa, D.R.	_____

(c) ENSAYO DE PERMEABILIDAD (GRADO DE COMPACTACIÓN)

Ensayo No.	MANOMETRO		Cabeza h	C cm^2	t (seg)	Q / At	h / L	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	k (cm k/seg)
	H_1	H_2							
1									
2									
3									
4									
5									
6									

Figura 3.

5.5 Compáctense capas sucesivas de suelo al peso unitario relativo deseado, mediante un procedimiento apropiado, como sigue, hasta una altura de alrededor de 20 mm (0.8") por encima de la salida del manómetro superior.

Peso unitario mínimo (Peso unitario relativo del 0%). Continúese colocando capas de suelo en forma sucesiva mediante uno de los procedimientos descritos en el numeral 5.4 hasta cuando el aparato esté lleno al nivel apropiado.

Peso unitario máximo (Peso unitario relativo del 100%).

- Compactación mediante el pisón vibratorio.- Compáctese perfectamente cada capa de suelo con el pisón vibratorio mediante golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie de la capa siguiendo una trayectoria regular. La presión de contacto y la duración de la acción vibratoria en cada punto no deberá hacer que el suelo escape por debajo de los bordes de la pata de compactación, tendiendo así a que se afloje la capa. Efectúese un número de coberturas suficientes para producir un peso unitario máximo, como quedaría evidenciado prácticamente cuando no haya movimiento visible de las partículas superficiales adyacentes a los bordes del pisón de compactación.

- Compactación mediante el pisón de peso deslizante.- Compáctese completamente cada capa de suelo mediante golpes de compactación uniformemente distribuidos sobre la superficie de la capa. Ajustese la altura de caída y proporcionense suficientes

coberturas para producir el peso unitario máximo, de acuerdo con el tamaño de las partículas y con el contenido de grava del suelo.

- Compactación mediante otros métodos.- La compactación puede cumplirse mediante otros métodos aprobados, como los proporcionados mediante equipos de empaque vibratorios, en los cuales se tiene cuidado de obtener un espécimen uniforme sin segregaciones de partículas por sus tamaños.

Peso unitario relativo intermedio entre 0 y 100 %. Mediante tanteos, en un recipiente separado del mismo diámetro que el cilindro de permeabilidad, ajústese la compactación para obtener valores que puedan repetirse para el peso unitario relativo. Compáctese el suelo en el cilindro de permeabilidad mediante estos procedimientos en capas delgadas hasta una altura de alrededor de 20 mm (0.80") por encima de la salida del manómetro superior.

Con el fin de relacionar sistemáticamente y de manera representativa, las condiciones de peso unitario relativo que pueden regir en depósitos naturales o en terraplenes compactados, deberá efectuarse una serie de ensayos de permeabilidad que cubran el rango de los pesos unitarios relativos en el campo.

5.6 Preparación del espécimen para ensayo de permeabilidad.

Nivélese la superficie superior del suelo colocando la placa porosa o la malla superior en posición y rotándola suavemente a derecha e izquierda.

Mídanse y anótense: la altura final de la muestra, H_1-H_2 , midiendo la profundidad, H_2 , desde la superficie superior de la placa tope perforada empleada para medir H_1 , hasta el tope de la placa porosa superior o malla, en cuatro puntos simétricamente dispuestos después de comprimir ligeramente el resorte para asentar la placa porosa o la malla durante las medidas, el peso final secado al aire del suelo empleado en el ensayo (W_1-W_2), pesando el remanente de suelo dejado en la bandeja. Calcúlense y anótense los pesos unitarios, la relación de vacíos, y el peso unitario relativo de la muestra de ensayo.

Con el empaque en su sitio, presiónese hacia abajo la placa superior contra el resorte y fíjese seguramente en la parte superior del cilindro del permeámetro, produciendo un sello a prueba de aire. Esto satisface la condición descrita en el numeral 2.1 de mantener el peso unitario inicial, sin cambio significativo de volumen durante el ensayo.

Empleando una bomba de vacío o una aspiradora adecuada, aspírese la muestra, bajo 500 mm (20") de mercurio como mínimo, durante 15 minutos, para remover el aire de los vacíos y el adherido a las partículas. Continúese la operación mediante una saturación lenta de la muestra de abajo hacia arriba (Figura No. 2), bajo vacío total, con el fin de liberar cualquier aire remanente en la muestra. La saturación continuada de la muestra puede mantenerse más adecuadamente mediante el uso de: (1) agua desaireada, (2) de agua mantenida a una temperatura de flujo suficientemente alta para causar una disminución, del gradiente de temperatura en el espécimen durante el ensayo. Podrá emplearse agua natural o agua con bajo contenido de minerales, pero deberá anotarse en el formato de ensayo, en cualquier caso, el fluido utilizado. Esto satisfará la

condición descrita en el numeral 2.1. para la saturación de los vacíos del suelo.

- Agua natural es la que se presenta in situ en el suelo o en la roca. Debería emplearse esta agua, pero (al igual que el agua desaireada), puede ser un refinamiento poco práctico para la ejecución de ensayos en gran escala.

- Después de saturado el espécimen y que el permeámetro se encuentre lleno de agua, ciérrase la válvula del fondo sobre el tubo de desagüe (véase Figura No. 2) y desconéctese el vacío. Debe tenerse cuidado de constatar que el sistema de flujo de permeabilidad y que el sistema de manómetros se hallen libres de aire y estén trabajando satisfactoriamente. Llénese el tubo de admisión con agua proveniente del tanque de carga constante, abriendo ligeramente la válvula del filtro del tanque. Conéctese el tubo de admisión al tope del permeámetro, ábranse ligeramente la válvula de admisión y los grifos del manómetro de salida, para permitir que fluya el agua, eliminándose así el aire. Conéctense los tubos manométricos de agua con las salidas de manómetro, y llénense con agua para remover el aire. Ciérrase la válvula de admisión y ábrase la de desagüe, para que el agua alcance, en los tubos manométricos, un nivel estable con cabeza cero.

6. PROCEDIMIENTO

6.1 Abrase ligeramente la válvula de admisión del tanque filtrante para la primera prueba hasta lograr las condiciones descritas en el numeral 2.1., absteniéndose de tomar las medidas de gasto y de cabeza hasta que se alcance una condición de cabeza estable sin que exista variación apreciable de los niveles de los manómetros. Mídase y anótese el tiempo, "t", la cabeza, "h", (diferencia de nivel en los manómetros), el gasto, "Q", y la temperatura del agua, "T".

6.2 Repítanse las pruebas con incrementos de cabeza de 5 mm para establecer exactamente la zona de flujo laminar con velocidad, v (siendo $v = Q/At$) directamente proporcional al gradiente hidráulico, "i" (siendo $i = h/L$). Cuando se hagan patentes las desviaciones de la relación lineal, indicando con ello la iniciación de condiciones de flujo turbulento, pueden emplearse intervalos de cabeza de 10 mm para llevar el ensayo suficientemente dentro de la zona del flujo turbulento como para definir esta zona si esto fuere significativo para las condiciones del campo.

Se requieren valores mucho más bajos del gradiente hidráulico h/L , de los que generalmente se reconocen para asegurar condiciones de flujo laminar. Se sugieren los siguientes valores: compactación suelta, relaciones de h/L de 0.2 a 0.3, y compactación densa, relaciones de h/L de 0.3 a 0.5. Los valores menores de h/L se aplican a suelos gruesos y los mayores a suelos finos.

6.3 Al concluir el ensayo de permeabilidad, drénese y examínese la muestra para establecer si era esencialmente homogénea y de carácter isotrópico. Cualquier clase de rayas o capas horizontales alternadas claras y oscuras son evidencia de la segregación de finos.

7. CALCULOS

7.1 Calcúlese el coeficiente de permeabilidad, k, así:

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

Donde:

- k = Coeficiente de permeabilidad,
- Q = Gasto, es decir cantidad de agua descargada.
- L = Distancia entre manómetros
- A = Area de la sección transversal del espécimen
- t = Tiempo total de desagüe
- h = Diferencia de cabeza (altura) sobre los manómetros

7.2 Corriójase la permeabilidad [para la que corresponde a 20 °C (68 °F)], multiplicando k por la relación de la viscosidad de agua a la temperatura del ensayo con respecto a la viscosidad del agua a 20 °C (68 °F).

8. INFORME

8.1 El informe del ensayo de permeabilidad deberá incluir la siguiente información:

Proyecto, fechas, número de la muestra, sitio, y cualquier otra información pertinente.

Análisis granulométrico, clasificación, tamaño máximo de partícula, y porcentaje de cualquier sobretamaño de material no utilizado.

Peso unitario seco, relación de vacíos, peso unitario relativo al cual se colocó el material, pesos unitarios máximo y mínimo.

Relación de cualquier desviación de estas condiciones de ensayo, de manera que los resultados puedan evaluarse y emplearse.

Datos completos de ensayo, como se indican en el formato para los datos de ensayo y curvas de ensayo que representan velocidad, Q/At , contra el gradiente hidráulico, h/L , que cubran la extensión de las identificaciones de suelo y de pesos unitarios relativos.

9. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

AASHTO T 215

ASTM D 2434

CLASIFICACIÓN Y SUBDIVISIÓN DEL SISTEMA DE UNIFICADO CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS) PARA LOS SUELOS GRUESOS

SIMBOLOS	SIGNIFICADOS	CONDICIONES		CARACTERÍSTICAS
G	Gravas			
S	Arenas			
W	(Well) Bien Graduada			
P	(Poor) Mal Graduada			
GW	Grava Bien Graduada	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$		Estos dos grupos deben contener un porcentaje de finos < 5% para poder mantener una nomenclatura sencilla.
SW	Arena Bien Graduada	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$		
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)