

**COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL
LABORATORIO CON EL CALCULADO A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE
ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI
PARA ARENAS DE LA QUEBRADA ARANZOQUE**

FABIAN ORLANDO JAIMES QUIJANO



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

**COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL
LABORATORIO CON EL CALCULADO A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE
ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI
PARA ARENAS DE LA QUEBRADA ARANZOQUE**

FABIAN ORLANDO JAIMES QUIJANO

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, Diciembre del 2008

Dios guió mis pasos

El me indicó el sendero

Dándome sapiencia y sabiduría

Inculcó en mí el valor y la perseverancia

Cuando a punto de decaer estuve

A mi familia, profesores y amigos

Todo el amor y cariño

Organización, profesionalismo

Respeto, dedicación

Imaginación y responsabilidad

A todos sin falta entregare

Fabián Orlando Jaimes Quijano

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por demostrarme tantas veces su existencia y con ello darme fuerzas para salir adelante de cada tropiezo y permitirme construir otros mundos mentales posibles.

A la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Por brindarme acceso a la información requerida para alcanzar los objetivos trazados en esta tesis además de formarme como un ingeniero integro y humano.

Al Ingeniero Gerardo Bautista García

Por su dirección, paciencia, entrega y valiosos consejos que me permitieron alcanzar los objetivos planteados en este trabajo de grado.

A la Ingeniera María Fernanda Serrano Guzmán

Por su abnegada vocación de servicio hacia el estudiantado de la Universidad Pontificia Bolivariana.

En especial a mis padres, hermanas, esposa e hijo de los cuales siempre recibí su apoyo incondicional.

Finalmente a todos los que mi cabeza no pudo extraer de mi memoria esta noche.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	
1. OBJETIVOS	19
1.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	19
2. ANTECEDENTES	20
3. METODOLOGIA	24
4. MARCO TEORICO	26
4.1. ORIGEN Y FORMACION DE LOS SUELOS	26
4.2. RELACIONES VOLUMETRICAS Y GRAVIMETRICAS	
DE LOS SUELOS	27
4.2.1. Fases del Suelo. Símbolos y definiciones	27
4.2.2. Relaciones de Volumen: n, e, DR, S, CA	29
4.2.2.1. Porosidad (n)	29
4.2.2.2. Relación de vacíos (e)	29
4.2.2.3. Densidad Relativa D_R . (Ó Compacidad relativa)	29
4.2.2.4. Grado de Saturación (S)	30
4.2.2.5. Contenido de aire CA.	30
4.3. SISTEMAS DE CLASIFICACION DE LOS SUELOS	30
4.3.1. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos	31
4.3.2. Clasificación de la AASHTO	35
4.3.3. Método unificado	36

4.3.3.1.	Granulometría	36
4.4.	FLUJO DEL AGUA EN EL SUELO Y ECUACION DE ENERGIA DE BERNOULLI	38
4.5.	PERMEABILIDAD	39
4.5.1.	Coeficiente de Permeabilidad (K)	40
4.5.1.1.	Métodos para hallar la Permeabilidad de una muestra de Suelo	42
4.5.1.1.1.	Indirectos	42
4.5.1.1.2.	Directos	42
4.6.	FORMULAS PARA HALLAR LA PERMEABILIDAD K	46
4.6.1.	Fórmula de Schlichter	46
4.6.2.	Fórmula de Allen Hazen	47
4.6.3.	Fórmula de Terzaghi	47
5.	RESULTADOS OBTENIDOS	48
5.1.	GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS	48
5.1.1.	Aranzoque Sector EDS Cotrander	48
5.1.2.	Aranzoque Sector de Mac Pollo	50
5.2.	CONSTANTES DE PERMEABILIDAD	51
5.2.1.	Tablas de resultados de permeabilidad de las arenas	
	Seleccionadas.	53
5.3.	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS	55
5.3.1.	Tablas de resultados de gravedad específica de sólidos de las arenas seleccionadas.	56
6.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	59
6.1.	RELACIONES VOLUMETRICAS Y GRAVIMETRICAS DE LAS MUESTRAS	59
6.1.1.	Quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander	59

6.1.2. Quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo	61
6.2. ANALISIS DE LAS CONSTANTES DE ALLEN HAZEN, TERZAGHI Y SCHLICHTER PARA LAS ARENAS DE LA QUEBRADA ARANZOQUE EN LOS SECTORES DE LA EDS COTRANDER Y DE MAC POLLO	62
6.2.1. Quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander	62
6.2.2. Quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo	64
6.2.3. Análisis de la constante obtenida en la fórmula de Schlichter	65
6.2.3.1. Quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander	66
6.2.3.2. Quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo	67
6.3. ANALISIS DE LA CONSTANTE OBTENIDA POR LA FORMULA DE TERZAGHI	68
6.4. ANALISIS DE LA CONSTANTE OBTENIDA POR LA FORMULA DE ALLEN HAZEN	68
6.5. ANALISIS DEL AJUSTE PROPUESTO PARA DISMINUIR LOS PORCENTAJES DE ERROR EN LAS ECUACIONES DE ALLEN HAZEN, TERZAGHI Y SCHLICHTER PARA LAS ARENAS DE LA QUEBRADA ARANZOQUE EN EL SECTOR DE LA EDS COTRANDER Y DE MAC POLLO	68
6.5.1. Ajuste propuesto para la ecuación de Allen Hazen	69
6.5.2. Ajuste propuesto para la ecuación de Schlichter	69
6.5.3. Ajuste propuesto para la ecuación de Terzaghi	70
6.6. ANALISIS DE PORCENTAJES DE ERROR PARA LOS COEFICIENTES K	70

6.6.1. Porcentajes de error Allen Hazen	67
6.6.1.1. Quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander	67
6.6.1.2. Quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo	68
6.6.2. Porcentajes de error Terzaghi	69
6.6.2.1. Quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander	69
6.6.2.2. Quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo	71
6.6.3. Porcentajes de error Schlichter	72
6.6.3.1. Quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander	72
6.6.3.2. Quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo	73
7. CONCLUSIONES	79
8. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	81
BIBLIOGRAFÍA	83

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Investigaciones recientes UPB	23
Tabla 2. Nombres típico de los materiales	34
Tabla 3. Sistema de Clasificación ASSHTO	35
Tabla 4. Denominación de la fracción gruesa según el sistema	37
Tabla 5. Clases de Permeabilidad de los suelos para obras De Ingeniería Civil	41
Tabla 6. Valores del coeficiente C_k de Hazen	42
Tabla 7. Valores de corrección de la temperatura (K_t)	42
Tabla 8. Interpretación para los ensayos de campo de Permeabilidad	45
Tabla 9. Relación de Porosidad (n) vs. C .	46
Tabla 10. Determinación de C_o según la forma de los agregados.	47
Tabla 11. Resultados Granulometrías Quebrada Aranzoque Sector EDS Cotrander	48
Tabla 12. Resultados Granulometrías Quebrada Aranzoque Sector Mac Pollo	50
Tabla 13. Permeabilidades de la quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander	53
Tabla 14. Permeabilidades de la quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo.	54

Tabla 15.	Gravedad específica de sólidos de la quebrada Aranzoque sector Mac Pollo.	57
Tabla 16.	Gravedad específica de sólidos de la quebrada Aranzoque sector de la EDS de Cotrander	58
Tabla 17.	Relaciones volumétricas y gravimétricas de la muestra de Aranzoque sector EDS Cotrander	60
Tabla 18.	Relaciones volumétricas y gravimétricas de la muestra de Aranzoque sector Mac Pollo	61
Tabla 19.	Comparación de las Constantes de Permeabilidad de la muestra de Aranzoque sector EDS Cotrander	63
Tabla 20.	Comparación de las Constantes de Permeabilidad de la muestra de Aranzoque sector Mac Pollo	64
Tabla 21.	Determinación de C_o según la forma de los agregados	68
Tabla 22.	Porcentajes de error Allen Hazen Aranzoque EDS Cotrander	70
Tabla 23.	Porcentaje de error Allen Hazen Aranzoque sector Mac Pollo	72
Tabla 24.	Porcentajes de error Terzaghi en las arenas de Aranzoque EDS Cotrander	75
Tabla 25.	Porcentajes de error Terzaghi para Aranzoque en el sector de Mac Pollo	75
Tabla 26.	Porcentajes de error Schlichter en las arenas de Aranzoque EDS Cotrander	77
Tabla 27.	Porcentajes de error Schlichter para Aranzoque sector Mac Pollo	78

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Experimento de Darcy	21
Figura 2. Metodología de la Investigación	25
Figura 3. Esquema de una muestra de suelo.	28
Figura 4. Carta de Plasticidad	33
Figura 5. Detalle de Clasificación en la zona de $LL < 30$ y $IP < 10$	33
Figura 6. Carta de Plasticidad AASHTO	36
Figura 7. Curva Granulométrica	37
Figura 8. Coeficiente de Permeabilidad K	41
Figura 9. Permeámetro de Carga Constante	43
Figura 10. Permeámetro de Carga Variable	43
Figura 11. Ensayos de campo para medir las tasas de Permeabilidad	44

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Ensayos Granulométricos de los agregados Aranzoque Sector EDS Cotrander	49
Gráfica 2. Ensayos Granulométricos de los agregados Aranzoque sector Mac Pollo	51
Gráfica 3. Calibración del matraz N° 2 de los laboratorios de la UPB. Usado en la Investigación.	55
Grafica 4. Relación de comportamiento n Vs. C datos originales Schlichter	65
Grafica 5. Relación de comportamiento de n vs C quebrada Aranzoque Sector EDS Cotrander	66
Grafica 6. Relación de comportamiento de n vs C quebrada Aranzoque Sector de Mac Pollo.	67

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A Registro Fotográfico	86
ANEXO B Ensayos de Granulometría	95
ANEXO C Ensayos de Peso Específico Relativo	102
ANEXO D Ensayos de Permeabilidad	107
ANEXO E Normas de Invias I.N.V.E – 123 para la ejecución de ensayos Granulométricos	138
ANEXO F Normas de Invias I.N.V.E – 123 para la ejecución de ensayos de Peso Especifico Relativo	149
ANEXO G Normas de Invias I.N.V.E – 130 para la ejecución de ensayos de Permeabilidades	164

GLOSARIO

- **ACUIFERO:** Que contiene o segrega agua.
- **AGROLOGICO:** se refiere a la relación que existe entre el suelo y la vegetación.
- **COMPACIDAD:** Grado de acomodo que tienen las partículas sólidas en una masa de suelo.
- **PERMEABILIDAD:** Facilidad que un cuerpo ofrece a ser atravesado por un fluido, en este caso el agua. En la práctica, dicha capacidad de conducir fluidos se mide por medio de un registro del caudal entrante o saliente del sistema.
- **SUELOS COHESIVOS:** Los suelos cohesivos poseen la propiedad de la atracción intermolecular, como las arcillas. Los suelos no cohesivos son los formados por partículas de roca sin ninguna cementación, como la arena y la grava.
- **TAXONOMIA:** Ciencia que se ocupa de los principios, métodos y fines de una clasificación.

RESUMEN

Este trabajo de investigación tiene como objetivo principal comprobar la aplicación de las fórmulas de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi para dos muestras diferentes de arena que tienen como máximo un diez por ciento (10 %) de agregados finos.

Las muestras elegidas fueron recolectadas de la Quebrada Aranzoque en el municipio de Floridablanca, Santander, mas exactamente en los sectores de Mac Pollo y en la entrada a la Estación de Servicio de Cotrander, muestras que cumplieron satisfactoriamente los requerimientos planteados al inicio de la investigación previo análisis granulométrico.

Después de tener un promedio total para los tres (3) ensayos granulométricos realizados a cada una de las muestras se procede a realizar ensayos de Gravedad Específica de los Sólidos (G_s) y Permeabilidad en busca de un coeficiente (K) que facilite la investigación planteada.

En algunos casos las ecuaciones planteadas por Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi con sus constantes originales no eran aplicables para el tipo de muestras utilizadas en este trabajo, por lo tanto estas debieron calcularse.

En conclusión la Constante de Permeabilidad (K) es propia de cada suelo y depende de las diferentes propiedades físicas de estos, en especial del tamaño de las partículas y su compacidad.

ABSTRACT

This work of research has for first objective to prove that the application of the formula of Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi for two samples from different sands that has ten per cent of aggregates softs.

The samples were recollected from the gully Aranzoque in the municipal place of Floridablanca, Santander more exactly from the sectors of Mac Pollo and the entrance of the service station of Cotrander, samples that accomplish satisfactory the requirements detailed at the beginning of the research from previous statements.

After having an average total for three statements realized to each one of the samples we proceed to realize an essay of gravity of the solids and to find a coefficient that easy the written statement.

In some cases we have the equation written by Allen Hazen, Schlichter and Terzaghi with their original constant who weren't applicable for the type of samples utilize in this essay, that's why this had to be calculated.

In conclusion the constant of (k) is from every floor and depends of the differences of physical property of them, especially from the size of the particle and his compactness.

INTRODUCCION

La determinación de la permeabilidad en una arena es identificada mediante el coeficiente de permeabilidad K , este tiene gran incidencia en la Ingeniería Civil debido a los múltiples usos que puede llegar a prestar. Esta característica natural de los suelos es descrita como la capacidad de permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna.

Las ecuaciones de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi son modelos estandarizados para la búsqueda de dicho coeficiente, en la presente investigación se calculan estas ecuaciones, luego se procede 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 concluyeron que dicho coeficiente no es igual y por lo tanto su permeabilidad no es la misma a pesar de que las muestras fueron tomadas de una misma quebrada a no menos de seiscientos ochenta (680) metros en línea recta.

Independientemente de lo anterior, existen factores que influyen en la permeabilidad de un suelo, como por ejemplo la viscosidad del fluido (varia según la temperatura), el tamaño, continuidad de poros y grietas a través de los cuales pasa el fluido o la presencia de discontinuidades.

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

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Comprobar la aplicación de las fórmulas de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi para la determinación del Coeficiente de Permeabilidad de las arenas de la Quebrada Aranzoque en inmediaciones de Mac pollo y la Estación de Servicio de Cotrander en el municipio de Floridablanca.

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

❖ HENRY DARCY

La ley que lleva su nombre fue obtenida por Darcy en forma experimental, trabajando con medios homogéneos y con un solo fluido. Sin embargo la formulación más simple de dicha ley (para sistemas lineales) puede considerarse casi "intuitiva": El caudal de un fluido que circula por un medio poroso lineal depende de:

- Las propiedades geométricas del sistema: Área (**A**) y Longitud (**L**).
- Las características del fluido: Principalmente su Viscosidad (**μ**).
- Las condiciones de flujo: Diferencia de Presión (**DP**) entre los extremos del sistema

De este modo resulta casi "evidente" que, a igualdad de las otras variables del sistema, el caudal (**Q**) que circula por el medio poroso crece en forma directa con la diferencia de presión aplicada y con el área de flujo disponible y decrece cuando aumenta la longitud y la viscosidad del fluido.

En forma analítica esta dependencia se expresa en la siguiente fórmula:

$$Q = K * A * \frac{DP}{(\mu * L)}$$

Donde la constante que vincula ambos términos de la ecuación se conoce como **Permeabilidadⁱ** del medio poroso y constituye una propiedad de dicho medio.

La Ley de Darcy¹ es una de las piedras fundamentales de la mecánica de los suelos. A partir de los trabajos iniciales de Darcy, un trabajo monumental para la época, muchos otros investigadores han analizado y puesto a prueba esta ley. A través de estos trabajos posteriores se ha podido determinar que mantiene su validez para la mayoría de los tipos de flujo de fluidos en los suelos. Para filtraciones de líquidos a velocidades muy elevadas y la de gases a velocidades muy bajas, la ley de Darcy deja de ser válida.

En el caso de agua circulando en suelos, existen evidencias abrumadoras en el sentido de verificar la vigencia de la Ley de Darcy para suelos que van desde los limos hasta las arenas medias. Así mismo es perfectamente aplicable en las arcillas, para flujos en régimen permanente.

Para suelos de mayor permeabilidad que la arena media, deberá determinarse experimentalmente la relación real entre el gradiente y la velocidad para cada suelo y porosidad estudiados.

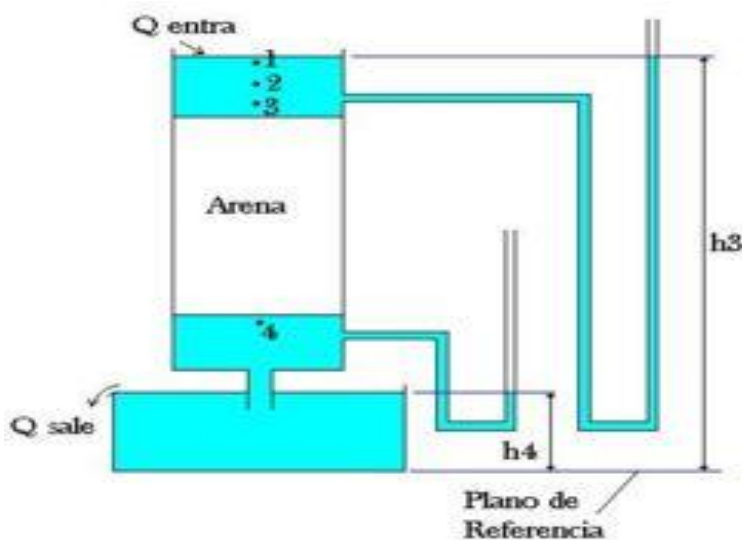


Figura 1. Experimento de Darcy. http://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Darcy

¹ JUAREZ BADILLO – RICO RODRIGUEZ. Mecánica de Suelos. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Ed. Limusa. Tomo I.

❖ KARL VON TERZAGHI

Terzaghi, dio su fórmula para terrenos arenosos:²

$$K = C_1 * d_{10}^2 * (0.7 + 0.03t) \frac{Cm}{Seg}$$

Siendo la porosidad y teniendo C_0 los siguientes valores:

Arenas de granos lisos $C_0 = 800$

Arenas de granos rugosos, angulosos $C_0 = 460$

Arenas con limo $C_0 < 400$

❖ ALLEN HAZEN

La mayoría de ellas se basan en la fórmula establecida por Allen Hazen en 1892, la cual establece lo siguiente:

Donde:

d_{10}^2 = Es el diámetro expresado en centímetros correspondiente al 10% en la curva granulométrica.

Hazen, llamo a este diámetro el “Diámetro Efectivo”

Como ya se ha mencionado, la temperatura influye en el coeficiente de permeabilidad, puesto que altera la viscosidad del agua, factor que se ha de tomar en cuenta cuando se determina el coeficiente de permeabilidad en el

² JUAREZ BADILLO – RICO RODRIGUEZ. Mecánica de Suelos. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Ed. Limusa. Tomo I.

laboratorio o en el campo. Haciendo esta consideración la formula de Hazen se escribirá:

$$K = 116 * (0.7 + 0.03t) * d_{10}^2 \frac{Cm}{Seg}$$

Esta fórmula solo tiene validez para arenas bastante uniformes, cuyo diámetro efectivo variaba entre 0.1 y 0.3 mm, puesto que Hazen realizó sus experimentos con este tipo de arenas. Por otro lado el coeficiente de la formula es el valor medio entre los hallados por Hazen, los cuales estaban en el rango de 41 a 146.

❖ SCHLICHTER

Este personaje además de considerar la temperatura, considera la compacidad:³

$$K = 771 * \left(\frac{d_{10}^2}{C} \right) * (0.7 + 0.03t) \frac{Cm}{Seg}$$

En la cual d_{10} también es expresado en centímetros.

INVESTIGACIONES RECIENTES

Investigadores	Fecha	Arenas Investigadas
Ketty Plata	2007	Topos, Pescadero y Bocas
Héctor Bayona / Sergio Prada	2008	Rio Sogamoso y Magdalena, Barrancabermeja
Paula Moreno / Mauricio Vargas	2008	Rio Manco y Rio Frio
David Carrero / Jhossimar Ventanas	2008	Rio Mirlas y Llana Caliente, San Vicente de Chucuri

Tabla 1. Investigaciones recientes UPB

³ JUAREZ BADILLO – RICO RODRIGUEZ. Mecánica de Suelos. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Ed. Limusa. Tomo I.

3. METODOLOGÍA

Los siguientes puntos muestran los pasos a seguir para el cumplimiento final de los objetivos trazados al inicio de este trabajo de grado:

- Selección de las muestras
- Realización de ensayos
- Comparación de las constantes obtenidas en los ensayos de laboratorio con las propuestas originalmente por Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi.
- Ajuste para disminuir el porcentaje de error de los resultados obtenidos en los laboratorios con respecto a las constantes planteadas teóricamente por Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi.
- Conclusiones
- Observaciones y recomendaciones

Lo anterior es estrictamente el orden consecutivo para la consecución de los objetivos trazados.

Las normas para la presentación del siguiente trabajo de grado en su forma física es regida por la Norma Técnica Colombiana (NTC 1486), patentada por el ICONTEC.

En cuanto a las normas investigativas son utilizadas las del Invias nombradas al final de la Investigación.

Para una mejor comprensión de la metodología se presenta a continuación la siguiente figura explicativa.



Figura 2. Metodología de la Investigación

4. MARCO TEÓRICO

4.1 ORIGEN Y FORMACIÓN DE LOS SUELOS

El geotecnista debe conocer el contexto geológico del suelo, e incluso el climatológico y agrologico. Sin ese entendimiento, su trabajo estará lleno de incertidumbres que pueden traducirse en pérdidas de oportunidades al desconocer propiedades inherentes y sobretodo, se podrán incorporar elementos de riesgo para el diseño, por omitir circunstancias fundamentales intrínsecas y ambientales.

Suelo, en Ingeniería Civil, son los sedimentos no consolidados de partículas sólidas, fruto de la alteración de las rocas, o suelos transportados por agentes como el agua, hielo o viento con contribución de la gravedad como fuerza direccional selectiva, y que pueden tener materia orgánica. El suelo es un cuerpo natural heterogéneo.

La estructura del suelo puede ser natural (la del suelo “in situ”), como un talud, canal en tierra o artificial (suelo como material de construcción), como un terraplén o un relleno.

Según el proceso de formación, el suelo puede ser:

Sedimentario. En este tipo de suelo, las partículas se formaron en un lugar diferente, y fueron transportadas y se depositaron en otro emplazamiento.⁴

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

Residual. Este suelo se ha formado por la meteorización de las rocas en el mismo local donde ahora se encuentra, con escaso o nulo desplazamiento de las partículas.

Relleno artificial. Estos son contruidos por el hombre para los más diversos fines.

4.2 RELACIONES VOLUMETRICAS Y GRAVIMETRICAS EN LOS SUELOS

4.2.1 Fases del Suelo. Símbolos y definiciones

En un suelo se distinguen tres fases constituyentes: la sólida, la líquida y la gaseosa. La fase sólida esta formada por las partículas minerales del suelo (Incluyendo la capa sólida adsorbida); la líquida por el agua (libre, específicamente), aunque en los suelos pueden existir otros líquidos de menor significación; la fase gaseosa comprende sobre todo el aire, si bien pueden estar presentes otros gases (vapores sulfurosos, anhídrido carbónico, etc.). La capa viscosa del agua adsorbida que presenta propiedades intermedias entre la fase sólida y la líquida, suele incluirse en esta última, pues es susceptible de desaparecer cuando el suelo es sometido a una fuerte evaporación (secado).

La fase líquida y gaseosa del suelo suelen comprenderse en el *Volumen de Vacíos*, mientras que la fase sólida constituye el *Volumen de los Sólidos*.

Se dice que un suelo es *totalmente saturado* cuando todos sus vacíos están ocupados por agua. Un suelo en tal circunstancia consta, como caso particular, de solo dos fases, la sólida y la líquida. Muchos suelos yacientes bajo el nivel freático son totalmente saturados. Algunos suelos contienen, además, materia orgánica en diversas formas y cantidades.⁵

⁵ JUAREZ BADILLO – RICO RODRIGUEZ. Mecánica de Suelos. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Ed. Limusa. Tomo I.

La fig. 3 representa el esquema de una muestra de suelo, en el que aparecen las fases principales, así como los conceptos de uso más común en la mecánica de suelos moderna.

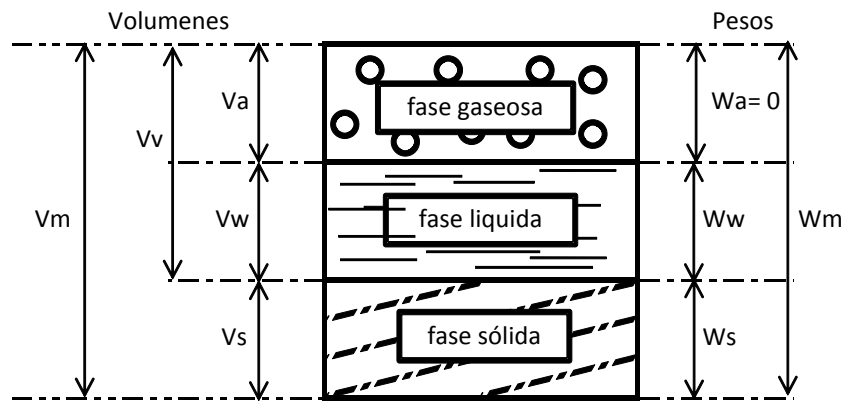


Figura 3. Esquema de una muestra de suelo.

El significado de los símbolos utilizados en la figura 3 es el siguiente:⁶

- V_m Volumen total de la muestra (volumen de la masa)
- V_s Volumen de la fase sólida de la muestra
- V_v Volumen de Vacíos de la muestra
- V_w Volumen de la fase líquida contenida en la muestra
- V_a Volumen de la fase gaseosa de la muestra
- W_m Peso total de la muestra del suelo
- W_s Peso de la fase sólida de la muestra de suelo
- W_w Peso de la fase líquida de la muestra
- W_a Peso de la fase gaseosa de la muestra

⁶ JUAREZ BADILLO – RICO RODRIGUEZ. Mecánica de Suelos. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Ed. Limusa. Tomo I.

4.2.2. Relaciones de Volumen: n, e, DR, S, CA

4.2.2.1. Porosidad (n)

Se define como la probabilidad de encontrar vacíos en el volumen total. Por eso $0 < n < 100\%$ (se expresa en %). En un sólido perfecto $n = 0$; en el suelo $n \neq 0$ y $n \neq 100\%$ ⁷.

$$n = \frac{V_V}{V_T} * 100(\%)$$

4.2.2.2. Relación de vacíos (e)

Es la relación entre el volumen de vacíos y el de los sólidos. Su valor puede ser $e > 1$ y alcanzar valores muy altos. En teoría $0 < e \rightarrow \infty$

$$e = \frac{V_V}{V_S}$$

4.2.2.3. Densidad Relativa D_R . (Ó Compacidad relativa)

Este parámetro nos informa si un suelo está cerca o lejos de los valores máximo y mínimo de densidad, que se pueden alcanzar.

Además $0 \leq D_R \leq 1$, siendo más resistente el suelo cuando el suelo está compacto y $D_R \approx 1$ y menor cuando está suelto y $D_R \approx 0$.

Algunos textos expresan D_R en función del PU seco yd. Aquí, e_{Max} . es para suelo suelto, e_{min} . para suelo compactado y e para suelo natural

Los suelos cohesivos, generalmente tienen mayor proporción de vacíos que los granulares; los valores típicos de n y e son: $e = 0,55 - 5,00$ y $n = 35 - 83\%$

$$D_R = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

⁷ JUAREZ BADILLO – RICO RODRIGUEZ. Mecánica de Suelos. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Ed. Limusa. Tomo I. 1974.

4.2.2.4. Grado de Saturación (S)

Se define como la probabilidad de encontrar agua en los vacíos del suelo, por lo que $0 \leq S \leq 100\%$. Físicamente en la naturaleza $S \neq 0\%$, pero admitiendo tal extremo, $S = 0\% \rightarrow$ suelo seco y $S = 100\% \rightarrow$ suelo saturado.

$$S = \frac{V_W}{V_V} * 100$$

4.2.2.5. Contenido de aire CA.

Probabilidad de encontrar aire en los vacíos del suelo. $0 \leq CA \leq 100\%$. En el suelo saturado, los vacíos están ocupados por agua $CA = 0$ y en el suelo seco, por aire $CA = 100\%$. Naturalmente, $S + CA = 100\%$.

$$C_A = \frac{V_A}{V_V} * 100$$

4.3. SISTEMAS DE CLASIFICACION DE LOS SUELOS

Resolver un problema de geotecnia supone conocer y determinar las propiedades del suelo; por ejemplo:

- 1) Para determinar la velocidad de circulación de un acuífero, se mide la permeabilidad del suelo, se utiliza la red de flujo y la ley de Darcy.⁸
- 2) Para calcular los asentamientos de un edificio, se mide la compresibilidad del suelo, valor que se utiliza en las ecuaciones basadas en la teoría de la consolidación de Terzaghi.
- 3) Para calcular la estabilidad de un talud, se mide la resistencia al corte del suelo y este valor se lleva a expresiones de equilibrio estático.

⁸ JUAREZ BADILLO – RICO RODRIGUEZ. Mecánica de Suelos. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Ed. Limusa. Tomo I. 1974.

En otros problemas, como pavimentos, no se dispone de expresiones racionales para llegar a soluciones cuantificadas. Por esta razón, se requiere una taxonomía de los suelos, en función de su comportamiento, y eso es lo que se denomina clasificación de suelos, desde la óptica geotécnica. Agrupar suelos por la semejanza en los comportamientos, correlacionar propiedades con los grupos de un sistema de clasificación, aunque sea un proceso empírico, permite resolver multitud de problemas sencillos. Eso ofrece la caracterización del suelo por la granulometría y la plasticidad.

Sin embargo, el ingeniero debe ser precavido al utilizar esta valiosa ayuda, ya que soluciones a problemas de flujos, asentamientos o estabilidad, soportado sólo en la clasificación, puede llevar a resultados desastrosos. Las relaciones de fases constituyen una base esencial de la Mecánica de Suelos. El grado de compacidad relativa de una arena es seguro indicador del comportamiento de ese suelo. La curva granulométrica y los Límites de Atterberg, de gran utilidad, implican la alteración del suelo y los resultados no revelan el comportamiento del suelo in situ.⁹

4.3.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Inicialmente se tienen suelos granulares o finos, según se distribuye el material que pasa el tamiz de 3" = 75 mm; el suelo es *fino* cuando más del 50% pasa el T#200, si no, es *granular*.

- a. Los suelos granulares se designan con estos símbolos

Prefijos

G	Grava	El 50% o mas es retenido en el tamiz numero 4
S	Arena	Si mas del 50% pasa por el tamiz numero 4

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

Sufijos

W	Bien Gradado	P	Mal gradado	Depende del C_u y del C_c
M	Limoso	C	Arcilloso	Depende del W_L y del I_P

Si menos del 5% pasa el Tamiz 200, los sufijos son W o P, según los valores de C_u y C_c . Si más del 12% pasa el T# 200, los sufijos son M o C, dependiendo de W_L e I_P . Si el porcentaje de finos está entre el 5% y el 12%, se utilizan sufijos dobles (clase intermedia).

b. Los suelos finos se designan con estos símbolos.

Prefijos

M	Limo
C	Arcilla
O	Orgánica

Sufijos

L	Baja Plasticidad ($W_L < 50\%$)	En la carta de Plasticidad separados por la línea B
H	Alta Plasticidad ($W_L < 50\%$)	

Esta clasificación está basada sólo en los límites de Atterberg para la fracción que pasa el Tamiz 40, y se obtiene a partir de la llamada CARTA DE PLASTICIDAD así:¹⁰

¹⁰ POLANCO DE HURTDO, Margarita. Mecánica de Suelos: Curso de mecánica de suelos. Tomo I. Universidad del Cauca.

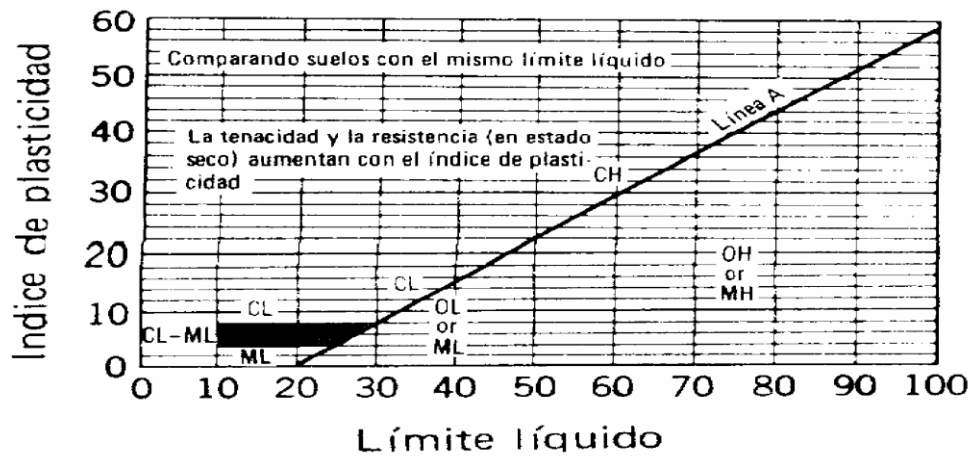


Figura 4. Carta de Plasticidad. Tesis David Carrero Rojas / Jhossimar Ventanas. Comparación del coeficiente de permeabilidad para las arenas de los ríos Llana Caliente y Mirlas. UPB. 2008

Línea A	$IP = 0.73 * (LL - 20)$
Línea U	$IP = 0.90 * (LL - 8)$
Sobre la Línea A	Arcillas Inorganicas
Debajo de la Línea A	Limos y Arcillas Organicas
La línea B	LL = 50 Separa H de L

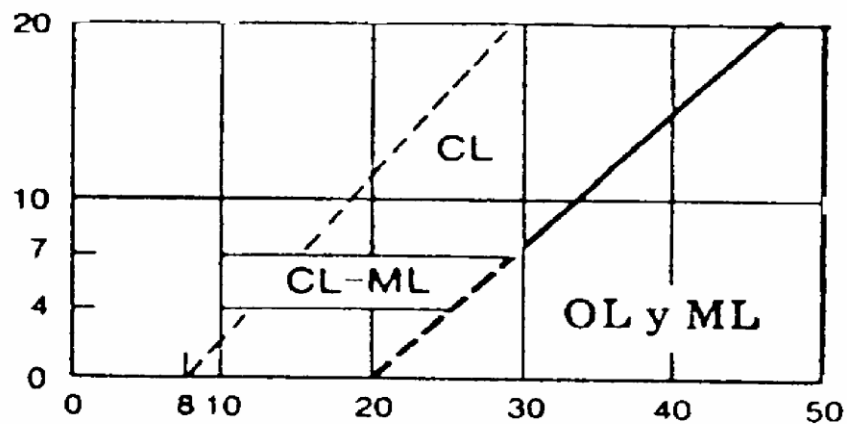


Figura 5. Detalle de Clasificación en la zona de LL < 30 y IP < 10. Tesis David Carrero Rojas / Jhossimar Ventanas. Comparación del coeficiente de permeabilidad para las arenas de los ríos Llana Caliente y Mirlas. UPB. 2008

Este sistema propuesto por Arturo Casagrande (1942) lo adopta el cuerpo de Ingenieros de EE.UU. en los aeropuertos y, actualmente, es ampliamente utilizado en el mundo, al lado del sistema de la AASHTO o el de la ASTM, todos basados en los LÍMITES Y LA GRANULOMETRÍA.

GRUPO	NOMBRES TÍPICOS DEL MATERIAL
GW	Grava Bien gradada, mezclas gravosas, poco o ningún fino
GP	Grava mal gradada, mezclas grava-arena, poco o ningún fino
GM	Grava limosa, mezclas grava, arena, limo
GC	Grava arcillosa, mezclas gravo-arena arcillosas
SW	Arena bien gradada
SP	Arena mal gradada, arenas gravosas, poco o ningún fino
SM	Arenas limosas, mezclas arena-limo
SC	Arenas arcillosas, mezclas arena – arcilla
ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, limo arcilloso, poco plástico, arenas finas limosas, arenas finas arcillosas
CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras
OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad
MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos
CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas
OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos
P _t	Turba (carbón en formación) y otros suelos altamente orgánicos.

Tabla 2. Nombres típico de los materiales

4.3.2. Clasificación de la AASHTO

Este es el sistema del Departamento de Caminos de U.S.A., introducido en 1929 y adoptado por la “American Association of State Highway Officials” entre otras. Es de uso especial para la construcción de vías, en especial para manejo de subrasantes y terraplenes.¹¹

SISTEMA DE CALSIFICACION AASHTO											
Clasif. General	Suelos Granulares (≤ 35 % pasa 0.08 mm)						Suelos Finos (> 35 % bajo 0.08 mm)				
Grupo	A - 1		A-3	A-3			A - 4	A - 5	A - 6	A - 7	
Sub-Grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*				A-7-5** A-7
2 mm	≤ 50										
0.5 mm	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
0.08 mm	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35			≥ 36				
WI				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
IP	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Descripción	Gravas y Arenas		Arena fina	Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas			Suelos Limosos		Suelos Arcillosos		
** A - 7 - 5 : $IP \leq (w_L - 30)$					A - 7 - 6 : $IP > (w_L - 30)$						
IG = $(B/0.08 - 35) (0.2 + 0.005 (w_l - 40)) + (B/0.08 - 15) (IP - 10) * 0.01$ * Para A - 2 - 6 y A - 2 - 7: IG= $(B/0.08 - 15) (IP - 10) * 0.01$ Si el suelo es NP $\rightarrow$ IG = 0; SI IG < 0 $\rightarrow$ IG = 0											

Tabla 3. Sistema de Clasificación ASSHTO

¹¹ JUAREZ BADILLO – RICO RODRIGUEZ. Mecánica de Suelos. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Ed. Limusa. Tomo I. 1974.

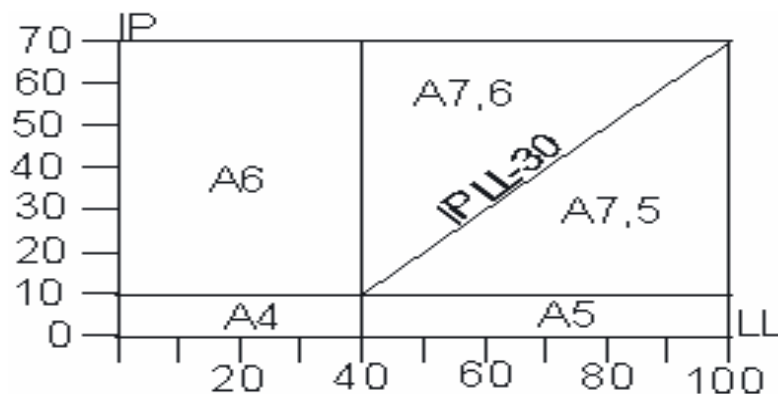


Figura 6. Carta de Plasticidad AASHTO. Tesis David Carrero Rojas / Jhossimar Ventanas. Comparación del coeficiente de permeabilidad para las arenas de los ríos Llana Caliente y Mirlas. Upb. 2008

4.3.3. Método unificado

4.3.3.1 Granulometría

Proceso para determinar la proporción en que participan los granos del suelo, en función de sus tamaños. Esa proporción se llama gradación del suelo. La gradación por tamaños es diferente al término geológico en el cual se alude a los procesos de construcción (a gradación) y la destrucción (degradación) del relieve, por fuerzas y procesos tales como tectonismo, vulcanismo, erosión, sedimentación, etc.

Comprende dos clases de ensayos: El de tamizado para las partículas grueso – granulares (gravas, arenas) y el de sedimentación para la fracción fina del suelo (limos, arcillas), pues no son discriminables por tamizado. Los resultados de los ensayos de tamizado y sedimentación se llevan a un gráfico llamado curva granulométrica. La fracción gruesa tendrá denominaciones, según el sistema:

MATERIAL	AASHTO	ASTM	SUCS
Grava	75 – 2	≥ 2	75 – 4.75
Arena	2 – 0.05	2 – 0.075	4.75 – 0.075
Limo	0.05 – 0.002	0.075 – 0.005	≤ 0.075 Finos
Arcilla	≤ 0.002	≤ 0.005	

Tabla 4. Denominación de la fracción gruesa según el sistema

La curva se dibuja en papel semilogarítmico. Con la escala aritmética (ordenadas) los porcentajes en peso de partículas con que cada uno de los lados de las abscisas. En escala logarítmica (abscisas) los tamaños de los granos en milímetros. Esta escala, en razón de que los F varían de cm a mm. Esta clasificación es necesaria en geotecnia, pero no suficiente. Se complementa siempre la granulometría con el ensayo de Límites de Atterberg, que caracterizan la plasticidad y consistencia de los finos en función del contenido de humedad.

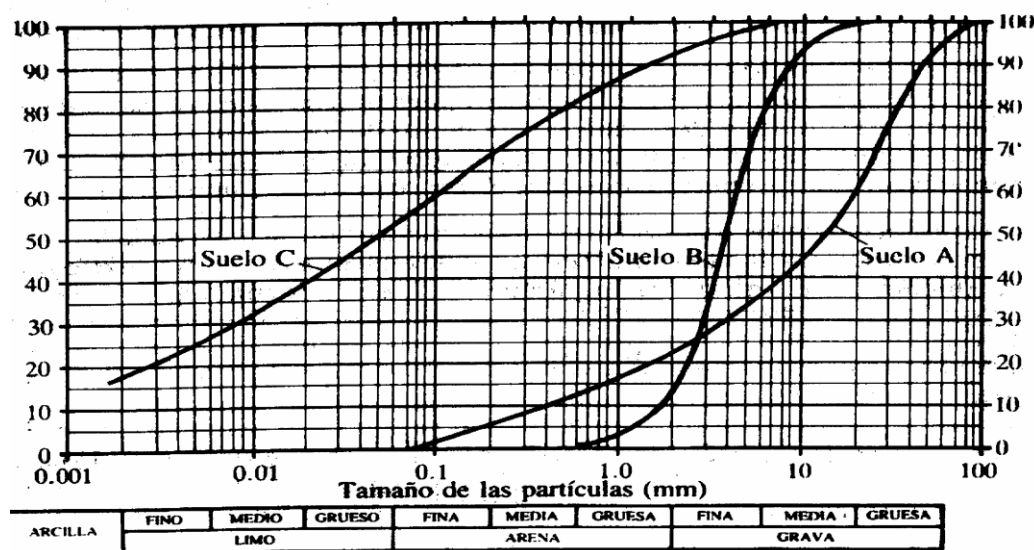


Figura 7. Curva Granulométrica. Tesis David Carrero Rojas / Jhossimar Ventanas. Comparación del coeficiente de permeabilidad para las arenas de los ríos Llana Caliente y Mirlas. UPB. 2008

En la Figura 7. Se muestran tres clases diferentes de suelos representados cada uno por su curva granulométrica.

La curva A explica un suelo bien gradado y de grano grueso

La curva B explica un suelo mal gradado, poco uniforme

La curva C explica un suelo arcilloso o limoso (fino)

La forma de la curva de distribución de tamaños de partículas, indica si los tamaños varían en un rango amplio (curva C) o estrecho (curva B); si el rango tiende a los tamaños mayores del suelo grueso (A) o a los menores del suelo fino (C). Si todos los tamaños tienen proporciones en peso relativamente iguales, el rango es amplio y la curva suave, el suelo así será bien gradado (A y C). La mala gradación puede ser por falta de Extensión (B) o por discontinuidad.

En suelos granulares la gradación, expresada numéricamente, la da el coeficiente de uniformidad C_u con el coeficiente de curvatura C_c .

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} ; C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \rightarrow \text{Bien gradado cuando } \begin{cases} C_u > 4 \text{ a } 6 \\ 1 < C_c < 3 \end{cases}$$

Cuanto más alto sea C_u , mayor será el rango de tamaños del suelo. Los D_i ; $i = 10, 30, 60$ son los tamaños Φ de las partículas, para el cual el $i\%$ del material es más fino que ese tamaño.¹²

4.4. FLUJO DEL AGUA EN EL SUELO Y ECUACION DE ENERGIA DE BERNOULLI

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 puede 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.

¹² POLANCO DE HURTDO, Margarita. Mecánica de Suelos: Curso de mecánica de suelos. Tomo I. Universidad del Cauca

Con la ecuación de Bernoulli podemos calcular la carga total H que causa el flujo del agua:¹³

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

h_z Carga de Elevación

$\frac{U}{r_z}$ Carga de presión debida a la presión de poros V

$\frac{V^2}{2 * g}$ Carga de velocidad cuando la velocidad de flujo es V

4.5. PERMEABILIDAD

La facilidad con que se mueve un fluido a través de cualquier medio poroso es una propiedad de ingeniería denominada *permeabilidad*. En los problemas de ingeniería geotécnica, el fluido es el agua y el medio poroso es la masa de suelos. Cualquier material con vacíos es poroso y si estos están interconectados, posee permeabilidad. En consecuencia, la roca, el concreto, el suelo y muchos otros materiales son porosos y permeables. Los materiales que tienen poros más grandes generalmente poseen mayores relaciones de vacíos y, por lo tanto, aun los suelos más densos son más permeables que materiales como roca y el concreto.

Materiales tales como arcillas y limos en depósitos naturales tienen altos valores de porosidad (o relación de vacíos) pero son casi impermeables, principalmente debido a los poros de tamaños muy pequeños, aunque puedan contribuir también otros factores. Los términos de porosidad y relación de vacíos “ e ” se usan para describir los poros de una masa de suelo.

¹³ JUAREZ BADILLO – RICO RODRIGUEZ. Mecánica de Suelos. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Ed. Limusa. Tomo I. 1947.

La Permeabilidad de una masa de suelos es importante en:

- La evaluación de la cantidad de filtración a través o por debajo de presas y diques, hacia pozos de agua.
- La evaluación de la supresión o fuerzas de filtración bajo estructuras hidráulicas para un análisis de estabilidad.
- La provisión de un control de las velocidades de filtración de tal manera que las partículas de grano fino no sean erosionadas de la masa de suelos.
- Rapidez de asentamiento (consolidación) en los que el cambio de volumen del suelo ocurre en la medida en que el agua es expelida de los poros del suelo como un proceso proporcional bajo un gradiente de energía.

4.5.1. Coeficiente de Permeabilidad (K)¹⁴

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

Generalmente se expresa o bien como una tasa de permeabilidad en centímetros por hora (cm/h), milímetros por hora (mm/h), o centímetros por día (cm/d), o bien como un Coeficiente de Permeabilidad en metros por segundo (m/s) o en centímetros por segundo (cm/s).

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.

¹⁴ JUAREZ BADILLO – RICO RODRIGUEZ. Mecánica de Suelos. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Ed. Limusa. Tomo I. 1947.



Figura 8. Coeficiente de Permeabilidad <http://www.galeon.com/geologiayastronomia>

Clases de Permeabilidad de los Suelos	Coeficiente de Permeabilidad K (m/seg)	
	Limite Inferior	Limite Superior
Permeable	$2 * 10^{-7}$	$2 * 10^{-1}$
Semipermeable	$1 * 10^{-11}$	$1 * 10^{-5}$
Impermeable	$1 * 10^{-11}$	$5 * 10^{-7}$

Tabla 5. Clases de Permeabilidad de los suelos para obras de Ingeniería Civil

La aproximación de uso más frecuente es la propuesta Hazen para arenas:

$$K = C_K * D_{10}$$

D_{10} Tamaño Efectivo en mm

C_k Coeficiente Experimental

C_k	Tipo de Suelo	Intervalo de valores D_{10}
8 - 12	Arenas Uniformes ($U_c \leq 5$)	0.06 – 3.0
5 - 8	Arenas bien gradadas y limosas ($U \geq 5$)	0.003 – 0.6

Tabla 6. Valores del coeficiente C_k de Hazen

Como la densidad y viscosidad del agua varia con la temperatura, es obvio que esta afecta directamente el valor del coeficiente de permeabilidad.¹⁵

°C	K_t	°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

Tabla 7. Valores de corrección de la temperatura (K_t)

4.5.1.1. Métodos para hallar la Permeabilidad de una muestra de Suelo

4.5.1.1.1. Indirectos

- Cálculo a partir de la curva granulométrica
- Cálculo a partir de la prueba de consolidación
- Cálculo con la prueba horizontal de capilaridad

¹⁵ JUAREZ BADILLO – RICO RODRIGUEZ. Mecánica de Suelos. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Ed. Limusa. Tomo I. 1947.

4.5.1.1.2. Directos

- **Ensayo de Carga Constante**

Este tipo de permeámetro es aplicable para suelos fricciónantes, ya que en suelos poco permeables, el tiempo de prueba se hace tan largo, que deja de ser práctico, usando gradientes hidráulicos razonables.

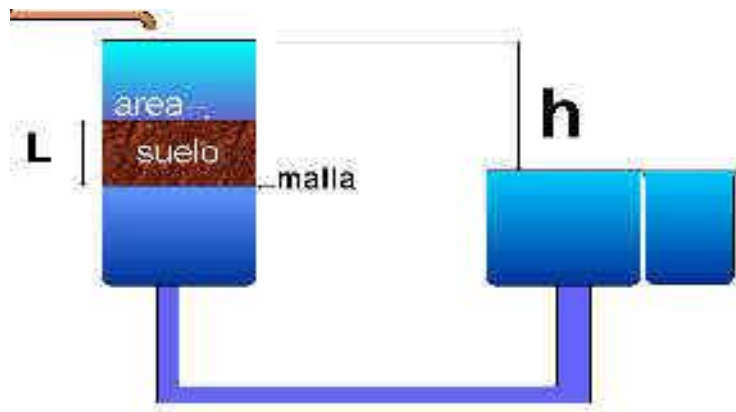


Figura 9. Permeámetro de Carga Constante.

<http://ftp.eia.edu.co/Sitios%20Web/suelos/laboratorio/permeabilidad.htm>

- **Ensayo de Carga Variable**

En este tipo de permeámetro se mide la cantidad de agua que atraviesa una muestra de suelo, por diferencia de niveles en un tubo alimentador. Este permeámetro puede ser utilizado en suelos finos y gruesos variando el diámetro del tubo alimentador, pero lo más común es utilizarlo con los suelos finos poco permeables.¹⁶

¹⁶ 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.

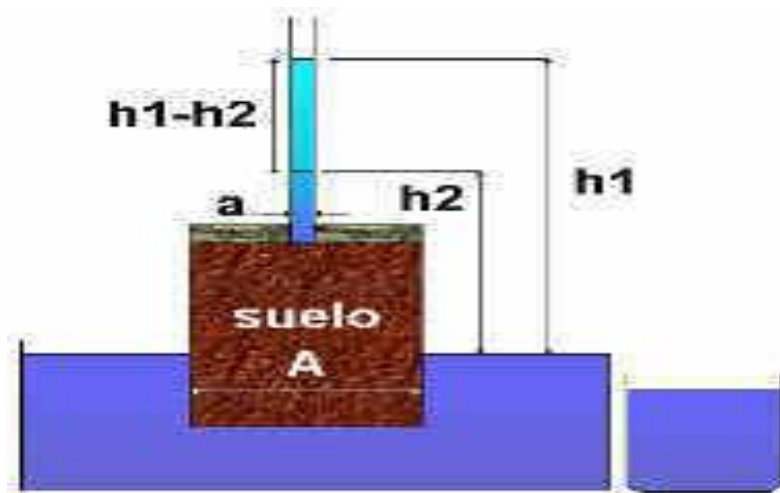


Figura 10. Permeámetro de Carga Variable.

<http://ftp.eia.edu.co/Sitios%20Web/suelos/laboratorio/permeabilidad.htm>

- Ensayo Directo de los suelos en el lugar

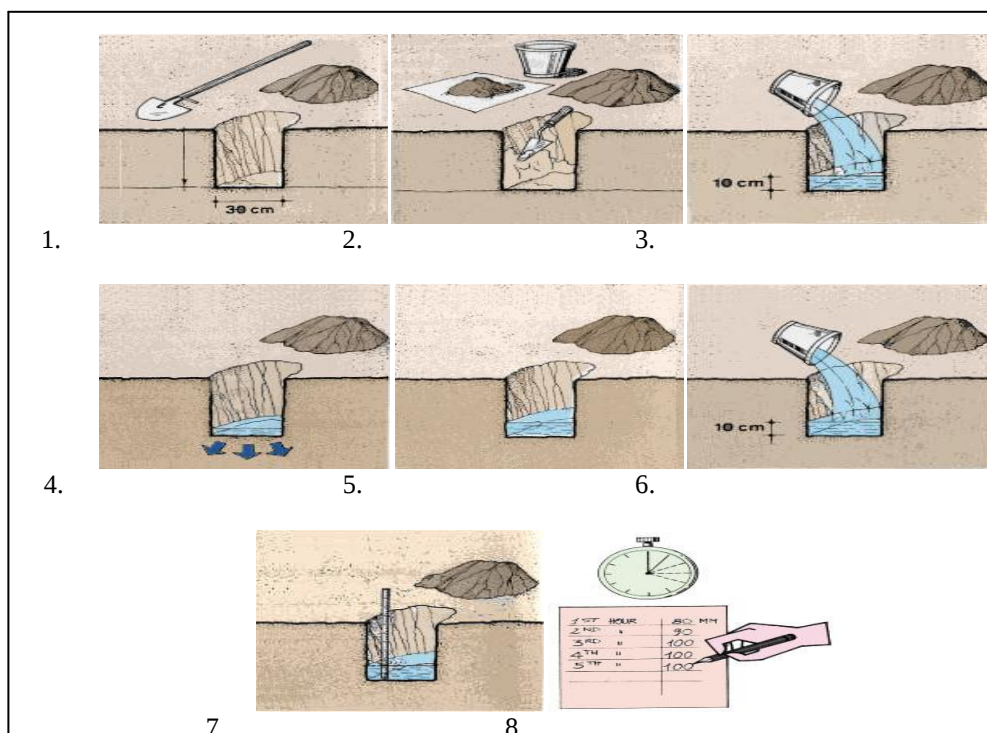


Figura 11. Ensayos de campo para medir las tasas de Permeabilidad.

<http://ftp.eia.edu.co/Sitios%20Web/suelos/laboratorio/permeabilidad>

Metodología del Ensayo.

1. Excave un hoyo de aproximadamente 30 cm de diámetro hasta alcanzar el horizonte superior menos permeable.
2. Recubra completamente las paredes del hoyo con arcilla pesada mojada o revístalas con una lámina de material plástico, si dispone de ella, para impermeabilizarlas.
3. Vierta agua en el hoyo hasta que ésta alcance unos 10 cm de profundidad.
- 4-5 Al principio el agua se filtrará con bastante rapidez y tendrá que reponerla a medida que desaparece. La filtración disminuirá cuando los poros del suelo se saturen de agua. Entonces podrá medir la permeabilidad del horizonte de suelo en el fondo del hoyo.
6. Cerciórese de que el agua contenida en el hoyo tiene unos 10 cm de profundidad como antes. Si no es así, añada agua hasta alcanzar esa profundidad; Compruebe el nivel del agua en el hoyo cada hora, durante varias horas. Anote la tasa de filtración por hora. Si el agua se filtra con demasiada rapidez, añada agua hasta alcanzar nuevamente el nivel de 10 cm. Mida consumo cuidando la profundidad del agua.
7. Cuando las mediciones por hora sean casi iguales, la tasa de permeabilidad es constante y puede dejar de medir.
8. Si hay grandes diferencias en la filtración por hora, continúe añadiendo agua en el hoyo para mantener la profundidad de 10 cm hasta que la tasa de filtración se mantenga casi igual.¹⁷

Se debe tener en cuenta la **tabla 8**. Para la buena interpretación de resultados de este tipo de ensayo.

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.

Tasa de Permeabilidad mm/h	Interpretación
≤ 2	Infiltración aceptable: suelo apto
2 - 5	Infiltración rápida: el suelo es apto SOLO si la infiltración se debe a la estructura del suelo que desaparecerá cuando se llene el estanque
5 - 20	Infiltración excesiva: suelo no apto a menos que pueda reducirse la infiltración.

Tabla 8. Interpretación para los ensayos de campo de permeabilidad

<http://ftp.eia.edu.co/Sitios%20Web/suelos/laboratorio/permeabilidad>

4.6 FORMULAS PARA HALLAR LA PERMEABILIDAD K

4.6.1 Fórmula de Schlichter

$$K = 771 * \frac{D_{10}^2}{C} * (0.7 + 0.03t)$$

C es una función de la porosidad (n), que corresponde a los valores a continuación¹⁸:

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

Tabla 9. Relación de Porosidad (n) vs. C .

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

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

¹⁸ JUÁREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos. Tomo I. Tercera edición. México DF : Limusa Noriega

4.6.2 Fórmula de Allen Hazen

$$K = C * (0.7 + 0.03t) * D_{10}^2$$

Los valores de la constante C están comprendidos entre¹⁹:

$$41 \leq C \leq 146$$

Donde Hazen logra establecerlo como un $C_{\text{promedio}} = 116$

t Temperatura en °C.

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

4.6.3 Fórmula de Terzaghi

$$K = C_1 * (0.7 + 0.03t) * D_{10}^2$$

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

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_0 es un coeficiente con los valores indicados en la tabla 10

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

Tabla 10. Determinación de C_0 según la forma de los agregados.

¹⁹ JUÁREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos. Tomo I. Tercera edición. México DF : Limusa Noriega

5. RESULTADOS OBTENIDOS

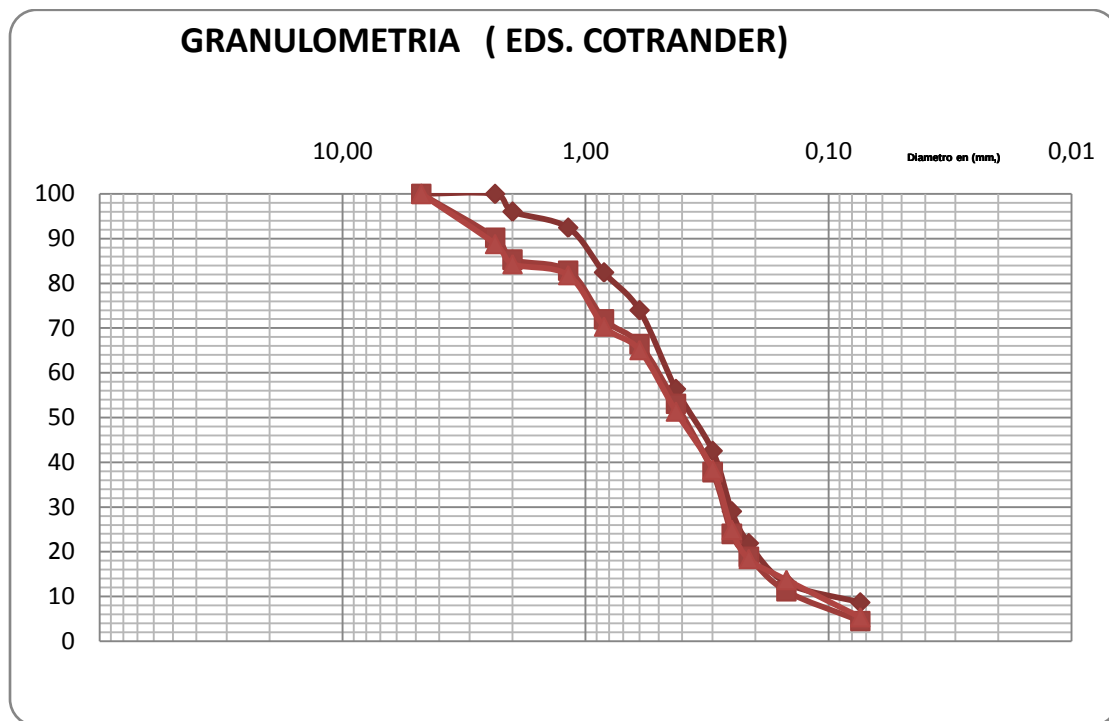
5.1. GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS

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

5.1.1. Aranzoque Sector EDS Cotrander

Quebrada Aranzoque Sector EDS Cotrander				
Evaluado	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Arenas	99.31	89.94	87.86	92.37
Gravas	0.00	9.78	11.18	6.98
Finos	0.69	0.28	0.95	0.64
D ₁₀	0.1	0.15	0.18	0.143
D ₃₀	0.29	0.28	0.38	0.316
D ₆₀	0.36	0.5	0.7	0.52
C _U	$\frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.52}{0.143}$			3.63
C _C	$\frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}} = \frac{0.316^2}{0.52 * 0.143}$			1.34

Tabla 11. Resultados Granulometrías Quebrada Aranzoque Sector EDS Cotrander



Gráfica 1. Ensayos Granulométricos de los agregados Aranzoque Sector EDS Cotrander

Clasificación del suelo de Arena de la quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander

Según el sistema unificado de clasificación de suelos la arena de la Quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander es SP (mal gradada).

Después de obtener los resultados granulométricos se observan gran similitud en las curvas, lo que conlleva a una exactitud en los datos de cada una de las muestras y concluye una buena realización en los ensayos.

Clasificación del suelo de Arena de la quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo

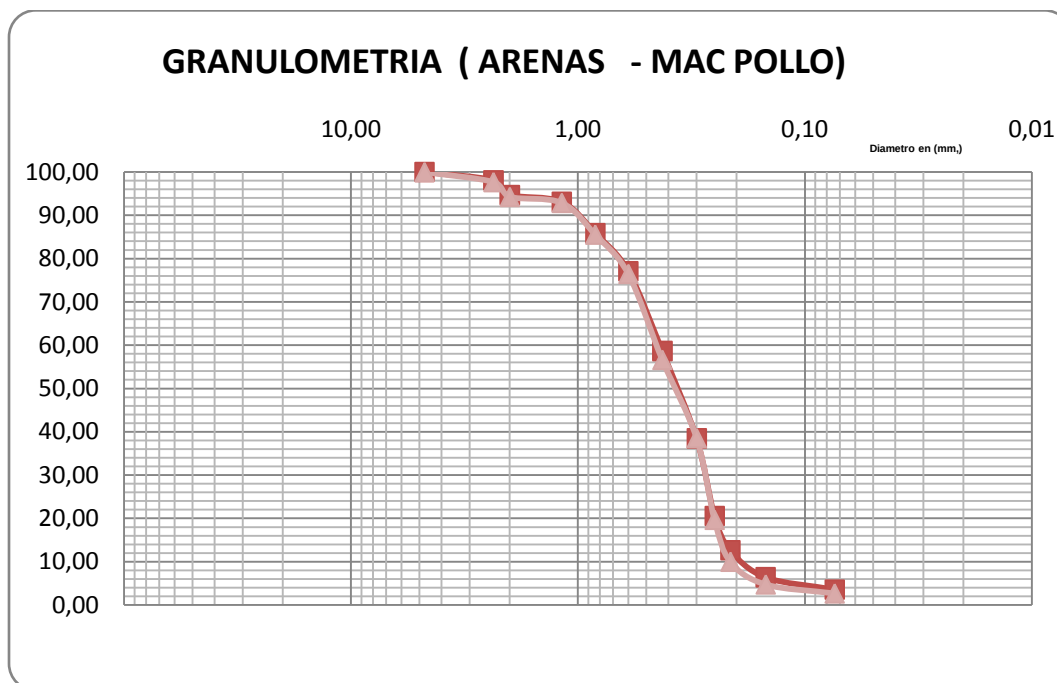
5.1.2. Aranzoque Sector de Mac Pollo

Quebrada Aranzoque Sector Mac Pollo				
Evaluated	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Arenas	98.85	97.29	97.64	97.92
Gravas	0.94	1.92	2.33	1.73
Finos	0.20	0.80	0.04	0.34
D ₁₀	0.12	0.19	0.25	0.18
D ₃₀	0.28	0.28	0.28	0.28
D ₆₀	0.4	0.4	0.62	0.47
C _u	$\frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.47}{0.18}$			2.62
C _c	$\frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}} = \frac{0.28^2}{0.47 * 0.18}$			0.92

Tabla 12. Resultados Granulometrías Quebrada Aranzoque Sector Mac Pollo

Según el sistema unificado de clasificación de suelos la arena del sector de Mac Pollo 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 C_c no está entre 1 y 3 entonces es mal gradada.



Gráfica 2. Ensayos Granulométricos de los agregados Aranzoque sector Mac Pollo

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.

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

- Datos del Permeámetro utilizado

Peso Cámara + Base (gr)	1500.4
Peso Cámara + Base + Suelo (gr)	1570.4
Peso Suelo (gr)	70
Cabeza de Agua (Cm)	67.3

- Datos del Molde Utilizado

Diámetro (Φ) (Cm)	6.3
Altura (L) (Cm)	2.98
Área (A) (Cm ²)	$A = \frac{(\pi * \Phi^2)}{4} = \frac{(\pi * 6.3^2)}{4} = 31.17$
Volumen (V) (Cm ³)	$V = A * L = 31.17 \text{ cm}^2 * 2.98 = 92.89$

- Datos tomados durante el Ensayo (tipo)

Tiempo (Seg.)	180
Temperatura (°C)	23.8
Caudal Promedio (Cm ³)	1251

$$Q_{Promedio} = \frac{1250+1255+1245+1250+1255+1250+1250+1250+1250}{8}$$

$$Q_{Promedio} = 1251 \text{ Cm}^3$$

- $\frac{n_t}{n_{20}}$ (23°C) = 0.9140

- Ecuación para hallar la Permeabilidad K_t

$$K_t = \frac{(Q_{Promedio} * L)}{A * h * t} = \frac{(1251 * 2.98)}{31.17 * 67.3 * 180} = 0.0099 \frac{\text{Cm}}{\text{Seg}}$$

- K_{20} :

$$K_{20} = K_t * \frac{n_T}{n_{20}} = 0.0099 * 0.9140 = 0.0090 \frac{\text{Cm}}{\text{Seg}}$$

5.2.1. Tablas de resultados de permeabilidad de las arenas elegidas

- PERMEABILIDAD ARENA DE LA QUEBRADA ARANZOQUE EN EL SECTOR DE LA EDS DE COTRANDER.

A continuación en la tabla 13 se mostrara un cuadro resumen de los 30 ensayos realizados con el método de cabeza constante en la arena de la quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander, manteniendo una temperatura constante de 24°C.

Muestra	Kt (cm/sg)	K ₂₀ (cm/sg)
1	0.014145204	0.012867892
2	0.013933566	0.012675365
3	0.013594104	0.012366557
4	0.013670286	0.012435860
5	0.014199883	0.012917634
6	0.013375616	0.012167798
7	0.012972258	0.011800863
8	0.013765472	0.012522450
9	0.01316533	0.011976500
10	0.013743701	0.012475157
11	0.013687163	0.012451213
12	0.013407007	0.012196354
13	0.014125963	0.012850388
14	0.014024701	0.012758271
15	0.013274692	0.012075987
16	0.013249714	0.012053265
17	0.013220888	0.012027042
18	0.013402551	0.012192301
19	0.01320867	0.012015927
20	0.013025319	0.011849133
21	0.013136977	0.011950708
22	0.013219066	0.012025384
23	0.01347546	0.012258626
24	0.013442448	0.012228595
25	0.013711837	0.012473658
26	0.013806112	0.012559420
27	0.014214398	0.012930838
28	0.013774923	0.012531048
29	0.013319416	0.012116673
30	0.013628432	0.012397784

Tabla 13. Permeabilidades de la quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander

- PERMEABILIDAD DE LA QUEBRADA ARANZOQUE SECTOR DE MAC POLLO

A continuación en la tabla 14 se mostrara un cuadro resumen de los 30 ensayos realizados con el método de cabeza constante en la arena de la quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo, manteniendo una temperatura constante de 24°C.

Muestra	Kt (cm/sg)	K ₂₀ (cm/sg)
1	0.01977972	0.01799361
2	0.02057631	0.01871827
3	0.01967704	0.01790021
4	0.01987525	0.01808051
5	0.01986708	0.01807308
6	0.02064071	0.01877686
7	0.02076284	0.01888795
8	0.01973348	0.01795155
9	0.02073340	0.01886118
10	0.02118901	0.01927564
11	0.02056477	0.01870777
12	0.02040366	0.01856121
13	0.02055606	0.01869985
14	0.02007085	0.01825845
15	0.01975238	0.01796874
16	0.02137216	0.01944225
17	0.01969500	0.01791654
18	0.01981898	0.01802933
19	0.02062168	0.01875954
20	0.02017711	0.01835511
21	0.02006798	0.01825584
22	0.01995923	0.01815691
23	0.02096566	0.01907246
24	0.02068800	0.01881988
25	0.02032991	0.01849412
26	0.01983862	0.01804720
27	0.02022291	0.01839678
28	0.02160513	0.01965419
29	0.02061830	0.01875647
30	0.02083689	0.01895532

Tabla 14. Permeabilidades de la quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo

5.3. GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS

Se realizaron 30 ensayos para cada una de las arenas seleccionadas para así hallar un Coeficiente G_s promedio de cada una de las muestras.

ENSAYO N° 1 – MUESTRA QUEBRADA ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO

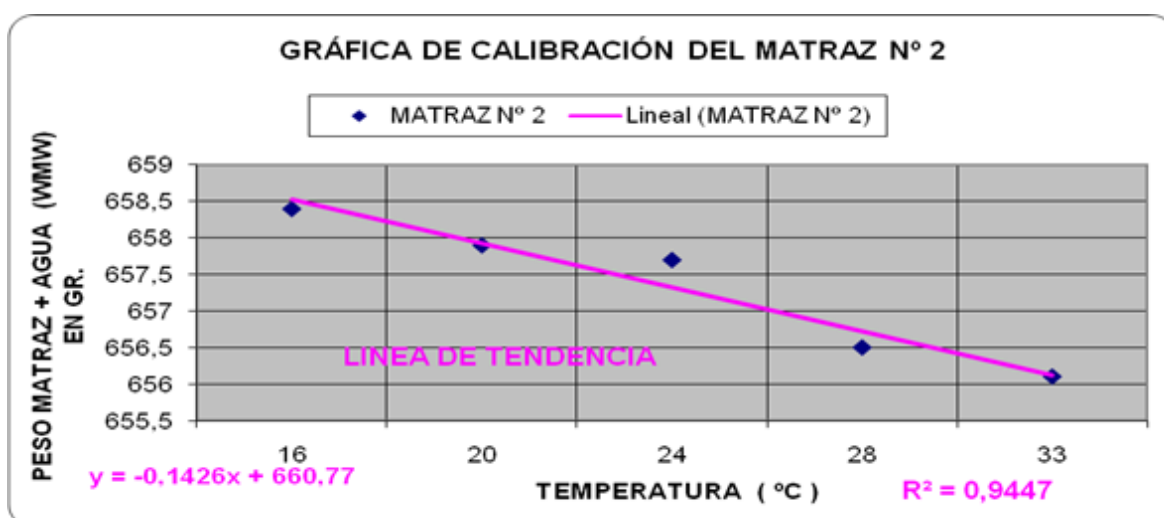
Para el buen desarrollo de nuestro ensayo se hizo necesario utilizar el matraz numero dos (2) de la Universidad Pontificia Bolivariana localizado en el laboratorio de Suelos cuyo instrumento fue calibrado por la Ingeniera Ketty Plata en el año 2006.

- **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	33
PESO (gr.)	658,4	657,9	657,7	656,5	656,1



Gráfica 3. Calibración del matraz N° 2 de los laboratorios de la UPB. Usado en la Investigación.

Con los valores de la gráfica de calibración $Y = - 0,1426x + 660,77$ hallamos el Peso del matraz con agua (W_{mw}) a diferentes temperaturas. Mostrados en la **Gráfica 3**.

- **Ensayo cálculo tipo de muestra 1 Quebrada Aranzoque Sector Mac Pollo**

Matraz Utilizado	2
Temperatura °C	25
Peso del matraz con agua (W_{mw}) gr.	657.30
Peso del matraz con agua + suelo (W_{mws}) gr.	707.50
Capsula de Evaporación N°	1
Peso de la Capsula de Evaporación gr.	328.80
Peso del suelo antes del secado (W_{si}) gr.	80.80
Peso del suelo después del secado (W_{sf}) gr.	80.60
Peso de la capsula + muestra seca gr.	409.40
Gravedad Específica Relativa (G_s)	$G_s = \frac{W_{sf}}{W_{sf} + W_{mw} - W_{mws}}$ $G_s = \frac{80.6}{80.6 + 657.30 - 707.5}$ $G_{s1} = 2.651$

A continuación se presentaran los resultados obtenidos del ensayo de Gravedad Específica Relativa para las dos muestras de la quebrada Aranzoque en sus sectores de Mac Pollo y de la EDS Cotrander.

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

- GRAVEDAD ESPECÍFICA DE ARENA QUEBRADA ARANZOQUE
SECTOR MAC POLLO

A continuación en la tabla 15 se muestra un cuadro resumen de los 30 ensayos realizados en el laboratorio para hallar la gravedad específica de sólidos en esta arena.

MUESTRA	GS
1	2,65
2	2,68
3	2,65
4	2,68
5	2,63
6	2,64
7	2,68
8	2,61
9	2,60
10	2,68
11	2,64
12	2,63
13	2,67
14	2,65
15	2,65
16	2,65
17	2,62
18	2,61
19	2,64
20	2,67
21	2,62
22	2,65
23	2,68
24	2,66
25	2,60
26	2,66
27	2,67
28	2,70
29	2,65
30	2,64

Tabla 15. Gravedad específica de sólidos de la quebrada Aranzoque sector Mac Pollo.

- GRAVEDAD ESPECÍFICA QUEBRADA ARANZOQUE SECTOR EDS
COTRANDER

A continuación en la tabla 16 se mostrará un cuadro resumen de los 30 ensayos realizados en el laboratorio para hallar la gravedad específica de sólidos.

MUESTRA	GS
1	2,65
2	2,66
3	2,62
4	2,63
5	2,61
6	2,61
7	2,60
8	2,65
9	2,62
10	2,64
11	2,68
12	2,62
13	2,63
14	2,65
15	2,66
16	2,60
17	2,61
18	2,69
19	2,59
20	2,71
21	2,54
22	2,55
23	2,71
24	2,60
25	2,65
26	2,72
27	2,62
28	2,66
29	2,58
30	2,76

Tabla 16. Gravedad específica de sólidos de la quebrada Aranzoque sector de la EDS de Cotrander

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.

Seguidamente se presentan el análisis de los resultados más relevantes de la investigación dado a que la relación volumétrica refiere a las condiciones físicas e internas de la muestra estudiada.

6.1. RELACIONES VOLUMETRICAS Y GRAVIMETRICAS DE LAS MUESTRAS

6.1.1. Quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander

A continuación en la tabla 17 se presentan los resultados obtenidos de las relaciones volumétricas del suelo estudiado

ENSAYO	VOLUMENES					PESOS					RELACIONES					
Nº	Va	Vw	Vs	Vv	Vt	Wa	Ww	Ws	Wv	Wt	W%	Sr	n	e	γ_m	γ_d
	cc.	cc.	cc.	cc.	cc.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	%	%			gr/cc.	gr/cc.
1	0	49,76	49,79	49,8	99,55	0	49,8	131,3	49,8	181,1	37,9	1,00	0,500	0,999	1,82	1,32
2	0	42,07	57,68	42,1	99,75	0	42,1	152,1	42,1	194,2	27,7	1,00	0,422	0,729	1,95	1,52
3	0	53,93	86,65	53,9	140,59	0	53,9	228,5	53,9	282,4	23,6	1,00	0,384	0,622	2,01	1,63
4	0	40,13	72,09	40,1	112,22	0	40,1	190,1	40,1	230,2	21,1	1,00	0,358	0,557	2,05	1,69
5	0	40,06	75,28	40,1	115,34	0	40,1	198,5	40,1	238,6	20,2	1,00	0,347	0,532	2,07	1,72
6	0	60,68	98,30	60,7	158,98	0	60,7	259,2	60,7	319,9	23,4	1,00	0,382	0,617	2,01	1,63
7	0	40,93	58,82	40,9	99,75	0	40,9	155,1	40,9	196,0	26,4	1,00	0,410	0,696	1,97	1,55
8	0	46,55	84,38	46,5	130,92	0	46,5	222,5	46,5	269,0	20,9	1,00	0,356	0,552	2,05	1,70
9	0	41,85	82,22	41,9	124,07	0	41,9	216,8	41,9	258,7	19,3	1,00	0,337	0,509	2,08	1,75
10	0	52,71	86,01	52,7	138,72	0	52,7	226,8	52,7	279,5	23,2	1,00	0,380	0,613	2,01	1,63
11	0	61,02	94,84	61,0	155,86	0	61,0	250,1	61,0	311,1	24,4	1,00	0,391	0,643	2,00	1,60
12	0	41,72	82,97	41,7	124,69	0	41,7	218,8	41,7	260,5	19,1	1,00	0,335	0,503	2,09	1,75
13	0	55,32	113,01	55,3	168,33	0	55,3	298,0	55,3	353,3	18,6	1,00	0,329	0,490	2,10	1,77
14	0	56,77	99,09	56,8	155,86	0	56,8	261,3	56,8	318,1	21,7	1,00	0,364	0,573	2,04	1,68
15	0	39,91	59,84	39,9	99,75	0	39,9	157,8	39,9	197,7	25,3	1,00	0,400	0,667	1,98	1,58
16	0	44,20	74,25	44,2	118,46	0	44,2	195,8	44,2	240,0	22,6	1,00	0,373	0,595	2,03	1,65
17	0	74,41	107,02	74,4	181,42	0	74,4	282,2	74,4	356,6	26,4	1,00	0,410	0,695	1,97	1,56
18	0	38,93	69,55	38,9	108,48	0	38,9	183,4	38,9	222,3	21,2	1,00	0,359	0,560	2,05	1,69
19	0	39,99	72,55	40,0	112,53	0	40,0	191,3	40,0	231,3	20,9	1,00	0,355	0,551	2,06	1,70
20	0	40,87	71,98	40,9	112,84	0	40,9	189,8	40,9	230,7	21,5	1,00	0,362	0,568	2,04	1,68
21	0	41,72	82,97	41,7	124,69	0	41,7	218,8	41,7	260,5	19,1	1,00	0,335	0,503	2,09	1,75
22	0	43,56	80,51	43,6	124,07	0	43,6	212,3	43,6	255,9	20,5	1,00	0,351	0,541	2,06	1,71
23	0	44,93	83,51	44,9	128,43	0	44,9	220,2	44,9	265,1	20,4	1,00	0,350	0,538	2,06	1,71
24	0	53,96	86,31	54,0	140,28	0	54,0	227,6	54,0	281,6	23,7	1,00	0,385	0,625	2,01	1,62
25	0	52,12	85,97	52,1	138,09	0	52,1	226,7	52,1	278,8	23,0	1,00	0,377	0,606	2,02	1,64
26	0	53,49	86,16	53,5	139,65	0	53,5	227,2	53,5	280,7	23,5	1,00	0,383	0,621	2,01	1,63
27	0	53,53	86,12	53,5	139,65	0	53,5	227,1	53,5	280,6	23,6	1,00	0,383	0,622	2,01	1,63
28	0	60,98	110,47	61,0	171,45	0	61,0	291,3	61,0	352,3	20,9	1,00	0,356	0,552	2,05	1,70
29	0	42,81	80,32	42,8	123,13	0	42,8	211,8	42,8	254,6	20,2	1,00	0,348	0,533	2,07	1,72
30	0	59,65	93,10	59,6	152,75	0	59,6	245,5	59,6	305,1	24,3	1,00	0,390	0,641	2,00	1,61
Promedio	0	48,95	82,39	48,95	131,34	0	49,0	217,3	49,0	266,2	22,8	1,00	0,374	0,602	2,03	1,65

Tabla 17. Relaciones volumétricas y gravimétricas de la muestra de Aranzoque sector EDS Cotrander

6.1.2. Quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo

En la tabla 18 se muestran los resultados obtenidos de las relaciones volumétricas de la quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo.

ENSAYO	VOLUMENES					PESOS					RELACIONES					
Nº	Va	Vw	Vs	Vv	Vt	Wa	Ww	Ws	Wv	Wt	W%	Sr	n	e	γ_m	γ_d
	cc.	cc.	cc.	cc.	cc.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	%	%			gr/cc.	gr/cc.
1	0	64,79	91,07	64,8	155,86	0	64,8	241,2	64,8	306,0	26,9	1,00	0,416	0,711	1,96	1,55
2	0	55,52	69,17	55,5	124,69	0	55,5	183,2	55,5	238,7	30,3	1,00	0,445	0,803	1,91	1,47
3	0	73,04	91,87	73,0	164,90	0	73,0	243,3	73,0	316,3	30,0	1,00	0,443	0,795	1,92	1,48
4	0	65,42	99,79	65,4	165,21	0	65,4	264,3	65,4	329,7	24,8	1,00	0,396	0,656	2,00	1,60
5	0	61,65	108,55	61,6	170,20	0	61,6	287,5	61,6	349,1	21,4	1,00	0,362	0,568	2,05	1,69
6	0	65,85	97,49	65,9	163,34	0	65,9	258,2	65,9	324,1	25,5	1,00	0,403	0,675	1,98	1,58
7	0	62,32	84,50	62,3	146,82	0	62,3	223,8	62,3	286,1	27,8	1,00	0,424	0,737	1,95	1,52
8	0	43,97	56,71	44,0	100,69	0	44,0	150,2	44,0	194,2	29,3	1,00	0,437	0,775	1,93	1,49
9	0	56,91	73,70	56,9	130,61	0	56,9	195,2	56,9	252,1	29,2	1,00	0,436	0,772	1,93	1,49
10	0	69,98	116,75	70,0	186,72	0	70,0	309,2	70,0	379,2	22,6	1,00	0,375	0,599	2,03	1,66
11	0	32,35	34,36	32,3	66,71	0	32,3	91,0	32,3	123,3	35,5	1,00	0,485	0,941	1,85	1,36
12	0	55,55	68,83	55,5	124,38	0	55,5	182,3	55,5	237,8	30,5	1,00	0,447	0,807	1,91	1,47
13	0	63,32	92,54	63,3	155,86	0	63,3	245,1	63,3	308,4	25,8	1,00	0,406	0,684	1,98	1,57
14	0	46,58	57,85	46,6	104,43	0	46,6	153,2	46,6	199,8	30,4	1,00	0,446	0,805	1,91	1,47
15	0	41,99	44,67	42,0	86,66	0	42,0	118,3	42,0	160,3	35,5	1,00	0,485	0,940	1,85	1,37
16	0	88,37	125,47	88,4	213,84	0	88,4	332,3	88,4	420,7	26,6	1,00	0,413	0,704	1,97	1,55
17	0	51,41	63,92	51,4	115,34	0	51,4	169,3	51,4	220,7	30,4	1,00	0,446	0,804	1,91	1,47
18	0	56,09	67,66	56,1	123,75	0	56,1	179,2	56,1	235,3	31,3	1,00	0,453	0,829	1,90	1,45
19	0	41,86	50,41	41,9	92,27	0	41,9	133,5	41,9	175,4	31,4	1,00	0,454	0,831	1,90	1,45
20	0	46,53	59,77	46,5	106,30	0	46,5	158,3	46,5	204,8	29,4	1,00	0,438	0,778	1,93	1,49
21	0	50,89	63,51	50,9	114,40	0	50,9	168,2	50,9	219,1	30,3	1,00	0,445	0,801	1,92	1,47
22	0	36,40	46,52	36,4	82,92	0	36,4	123,2	36,4	159,6	29,5	1,00	0,439	0,783	1,92	1,49
23	0	45,20	54,86	45,2	100,06	0	45,2	145,3	45,2	190,5	31,1	1,00	0,452	0,824	1,90	1,45
24	0	47,74	67,28	47,7	115,03	0	47,7	178,2	47,7	225,9	26,8	1,00	0,415	0,710	1,96	1,55
25	0	60,09	87,98	60,1	148,07	0	60,1	233,0	60,1	293,1	25,8	1,00	0,406	0,683	1,98	1,57
26	0	45,36	64,68	45,4	110,04	0	45,4	171,3	45,4	216,7	26,5	1,00	0,412	0,701	1,97	1,56
27	0	43,63	54,56	43,6	98,19	0	43,6	144,5	43,6	188,1	30,2	1,00	0,444	0,800	1,92	1,47
28	0	42,99	55,20	43,0	98,19	0	43,0	146,2	43,0	189,2	29,4	1,00	0,438	0,779	1,93	1,49
29	0	53,85	83,94	53,8	137,78	0	53,8	222,3	53,8	276,1	24,2	1,00	0,391	0,642	2,00	1,61
30	0	53,11	84,05	53,1	137,16	0	53,1	222,6	53,1	275,7	23,9	1,00	0,387	0,632	2,01	1,62
Promedio	0	54,09	73,92	54,1	128,01	0	54,1	195,8	54,09	249,9	28,4	1,00	0,428	0,752	1,94	1,52

Tabla 18. Relaciones volumétricas y gravimétricas de la muestra de Aranzoque sector Mac Pollo

La importancia principal de estas tablas es primordialmente conocer los valores de porosidad (n) en las arenas seleccionadas para cada una de las muestras, para después reemplazar estos valores en la formula teórica de Terzaghi.

6.2. ANÁLISIS DE LAS CONSTANTES DE ALLEN HAZEN, TERZAGHI Y SCHLICHTER PARA LAS ARENAS DE LA QUEBRADA ARANZOQUE EN LOS SECTORES DE LA EDS COTRANDER Y DE MAC POLLO

El análisis realizado a continuación explica cómo 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.

6.2.1. Quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander

En la tabla 19 se puede apreciar que para las arenas de la quebrada Aranzoque en el sector de EDS Cotrander las constantes promedio obtenidas a partir del coeficiente de permeabilidad hallado en el laboratorio son las siguientes: constante de permeabilidad de Allen Hazen $C = 42,49$; para Schlichter $C = 18,16$; para Terzaghi $C_1 = 42,491$ y la constante $C_0 = 551,78$.

Ensayo	Volumen (Q)	Area (A)	Cabeza (h)	Altura (L)	Temp.	n	K	C	C	C1	Co
Nº	(cm³)	(cm²)	(cm)	(cm)	(°C)	(Lab.)	(Lab.)	(Allen.)	(Schli.)	(Terza.)	(Terza.)
1	1859	33,18	66,0	3,00	24,0	0,500	0,0129	44,31	17,40	44,31	204,16
2	1613	33,18	66,0	3,20	24,0	0,422	0,0127	43,65	17,66	43,65	355,91
3	1116	33,18	66,0	4,51	24,0	0,384	0,0124	42,59	18,10	42,59	479,45
4	1406	33,18	66,0	3,60	24,0	0,358	0,0124	42,83	18,00	42,83	615,52
5	1421	33,18	66,0	3,70	24,0	0,347	0,0129	44,49	17,33	44,49	708,57
6	971	33,18	66,0	5,10	24,0	0,382	0,0122	41,90	18,40	41,90	479,99
7	1501	33,18	66,0	3,20	24,0	0,410	0,0118	40,64	18,97	40,64	363,56
8	1214	33,18	66,0	4,20	24,0	0,356	0,0125	43,12	17,88	43,12	632,62
9	1225	33,18	66,0	3,98	24,0	0,337	0,0120	41,24	18,69	41,24	729,36
10	1144	33,18	66,0	4,45	24,0	0,380	0,0125	42,96	17,95	42,96	499,91
11	1014	33,18	66,0	5,00	24,0	0,391	0,0125	42,88	17,98	42,88	450,33
12	1241	33,18	66,0	4,00	24,0	0,335	0,0122	42,00	18,36	42,00	765,12
13	969	33,18	66,0	5,40	24,0	0,329	0,0129	44,25	17,42	44,25	859,82
14	1039	33,18	66,0	5,00	24,0	0,364	0,0128	43,94	17,55	43,94	592,08
15	1536	33,18	66,0	3,20	24,0	0,400	0,0121	41,59	18,54	41,59	405,49
16	1291	33,18	66,0	3,80	24,0	0,373	0,0121	41,51	18,57	41,51	514,19
17	841	33,18	66,0	5,82	24,0	0,410	0,0120	41,42	18,61	41,42	371,25
18	1426	33,18	66,0	3,48	24,0	0,359	0,0122	41,99	18,36	41,99	596,00
19	1355	33,18	66,0	3,61	24,0	0,355	0,0120	41,38	18,63	41,38	608,17
20	1333	33,18	66,0	3,62	24,0	0,362	0,0118	40,81	18,89	40,81	561,01
21	1216	33,18	66,0	4,00	24,0	0,335	0,0120	41,16	18,73	41,16	749,71
22	1230	33,18	66,0	3,98	24,0	0,351	0,0120	41,41	18,62	41,41	635,10
23	1211	33,18	66,0	4,12	24,0	0,350	0,0123	42,22	18,26	42,22	655,82
24	1106	33,18	66,0	4,50	24,0	0,385	0,0122	42,11	18,31	42,11	469,61
25	1146	33,18	66,0	4,43	24,0	0,377	0,0125	42,96	17,95	42,96	511,49
26	1141	33,18	66,0	4,48	24,0	0,383	0,0126	43,25	17,83	43,25	489,55
27	1175	33,18	66,0	4,48	24,0	0,383	0,0129	44,53	17,31	44,53	502,80
28	928	33,18	66,0	5,50	24,0	0,356	0,0125	43,15	17,87	43,15	632,10
29	1249	33,18	66,0	3,95	24,0	0,348	0,0121	41,73	18,48	41,73	662,30
30	1030	33,18	66,0	4,90	24,0	0,390	0,0124	42,70	18,06	42,70	452,33
Promedio	1232	33,18	66,0	4,21	24,0	0,374	0,0123	42,49	18,16	42,491	551,78

Tabla 19. Comparación de las Constantes de Permeabilidad de la muestra de Aranzoque sector EDS Cotrander

6.2.2. Quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo

La tabla 20. Muestra las diferentes constantes obtenidas para las ecuaciones de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi, con base a las constantes obtenidas en el laboratorio, para las arenas de la quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo.

Ensayo	Volumen (Q)	Area (A)	Cabeza (h)	Altura (L)	Temp.	n	K	C	C	C1	Co
Nº	(cm³)	(cm²)	(cm)	(cm)	(°C)	(Lab.)	(Lab.)	(Allen.)	(Schli.)	(Terza.)	(Terza.)
1	1465	31,17	66,0	5,00	24,0	0,416	0,0180	36,63	21,05	36,63	313,66
2	1905	31,17	66,0	4,00	24,0	0,445	0,0187	38,10	20,23	38,10	258,86
3	1378	31,17	66,0	5,29	24,0	0,443	0,0179	36,44	21,16	36,44	251,95
4	1389	31,17	66,0	5,30	24,0	0,396	0,0181	36,80	20,95	36,80	371,77
5	1348	31,17	66,0	5,46	24,0	0,362	0,0181	36,79	20,96	36,79	505,57
6	1459	31,17	66,0	5,24	24,0	0,403	0,0188	38,22	20,17	38,22	363,14
7	1633	31,17	66,0	4,71	24,0	0,424	0,0189	38,45	20,05	38,45	306,82
8	2263	31,17	66,0	3,23	24,0	0,437	0,0180	36,54	21,10	36,54	264,87
9	1833	31,17	66,0	4,19	24,0	0,436	0,0189	38,39	20,08	38,39	280,53
10	1310	31,17	66,0	5,99	24,0	0,375	0,0193	39,24	19,65	39,24	478,93
11	3559	31,17	66,0	2,14	24,0	0,485	0,0187	38,08	20,25	38,08	194,24
12	1894	31,17	66,0	3,99	24,0	0,447	0,0186	37,78	20,41	37,78	254,11
13	1523	31,17	66,0	5,00	24,0	0,406	0,0187	38,06	20,25	38,06	352,39
14	2219	31,17	66,0	3,35	24,0	0,446	0,0183	37,17	20,74	37,17	250,92
15	2631	31,17	66,0	2,78	24,0	0,485	0,0180	36,58	21,08	36,58	187,04
16	1154	31,17	66,0	6,86	24,0	0,413	0,0194	39,58	19,48	39,58	345,69
17	1971	31,17	66,0	3,70	24,0	0,446	0,0179	36,47	21,14	36,47	246,80
18	1849	31,17	66,0	3,97	24,0	0,453	0,0180	36,70	21,01	36,70	234,84
19	2580	31,17	66,0	2,96	24,0	0,454	0,0188	38,19	20,19	38,19	243,54
20	2191	31,17	66,0	3,41	24,0	0,438	0,0184	37,36	20,64	37,36	268,84
21	2025	31,17	66,0	3,67	24,0	0,445	0,0183	37,16	20,75	37,16	253,18
22	2779	31,17	66,0	2,66	24,0	0,439	0,0182	36,96	20,86	36,96	263,31
23	2419	31,17	66,0	3,21	24,0	0,452	0,0191	38,82	19,86	38,82	251,26
24	2076	31,17	66,0	3,69	24,0	0,415	0,0188	38,31	20,13	38,31	329,77
25	1585	31,17	66,0	4,75	24,0	0,406	0,0185	37,65	20,48	37,65	349,67
26	2081	31,17	66,0	3,53	24,0	0,412	0,0180	36,74	20,99	36,74	323,66
27	2378	31,17	66,0	3,15	24,0	0,444	0,0184	37,45	20,59	37,45	256,12
28	2540	31,17	66,0	3,15	24,0	0,438	0,0197	40,01	19,27	40,01	287,61
29	1728	31,17	66,0	4,42	24,0	0,391	0,0188	38,18	20,19	38,18	403,37
30	1754	31,17	66,0	4,40	24,0	0,387	0,0190	38,58	19,98	38,58	420,77
Promedio	1964	31,17	66,0	4,11	24,0	0,428	0,0185	37,71	20,46	37,714	303,77

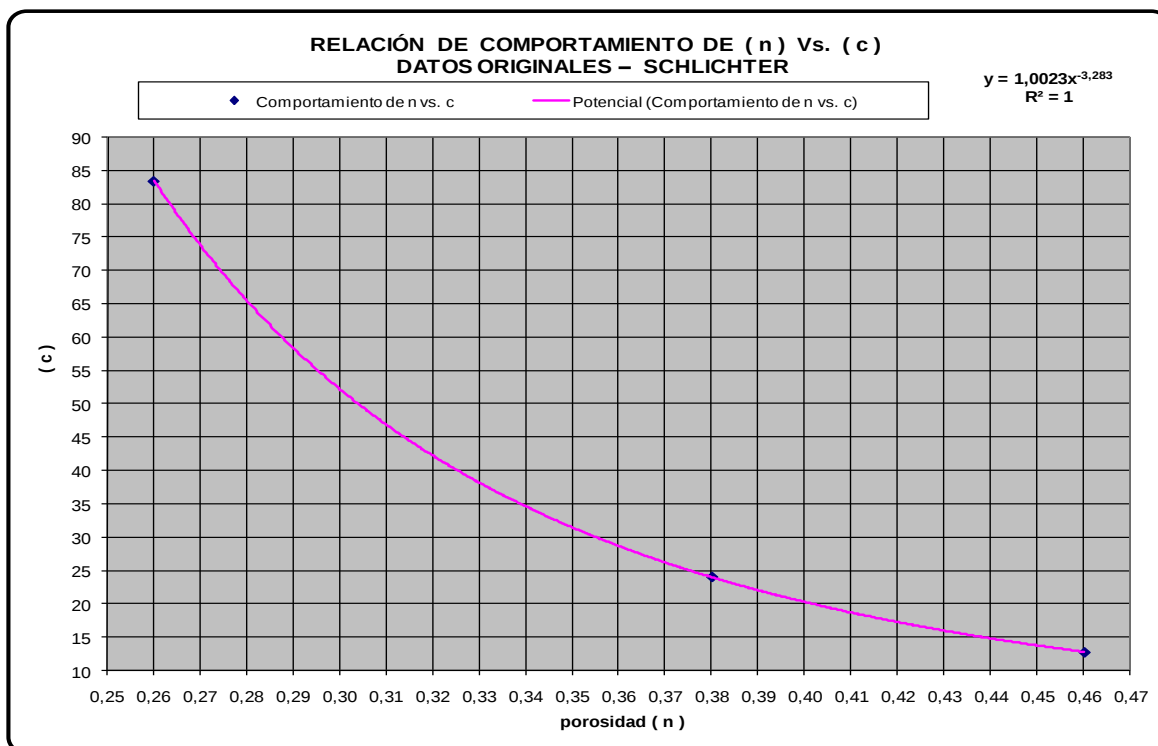
Tabla 20. Comparación de las Constantes de Permeabilidad de la muestra de Aranzoque sector Mac Pollo

En la tabla 20 se puede apreciar que para las arenas de la quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo las constantes promedio obtenidas a partir del coeficiente de permeabilidad hallado en el laboratorio son las siguientes: constante de permeabilidad de Allen Hazen $C = 37,71$; para Schlichter $C = 20,46$; para Terzaghi $C_1 = 37,714$ y la constante $C_0 = 303,77$.

6.2.3. Análisis de la constante obtenida en la fórmula de Schlichter

Para la fórmula de Schlichter se trabajó con el valor promedio obtenido de los ensayos dado a que al final de estos no se encontró ninguna relación entre la porosidad (n) y las constantes halladas.

En la gráfica 4. Se mostrara la correlación que hizo Schlichter para calcular las constantes de permeabilidad de una arena “X”.



Gráfica 4. Relación de comportamiento n Vs. C datos originales Schlichter

La anterior gráfica da a entender la una correlación $R^2 = 1$ con una fórmula:

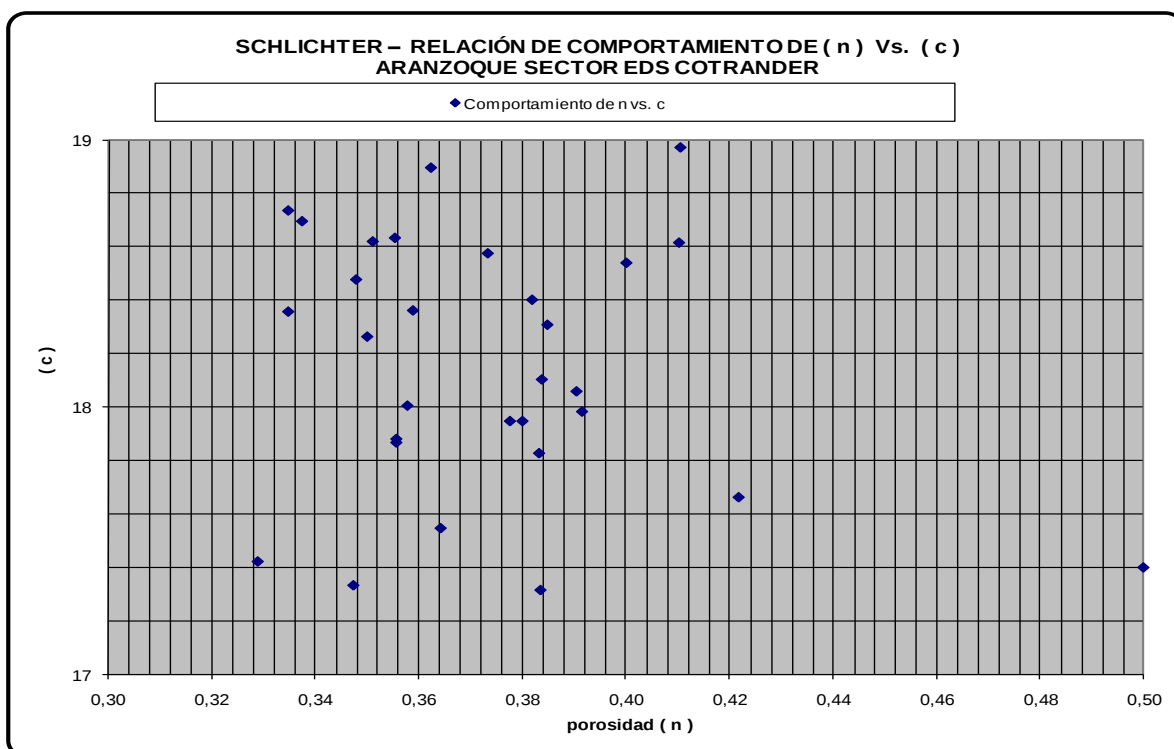
$$Y = 1.0023 * X^{-3.283}$$

Esta calculada con los valores:

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

6.2.3.1. Quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander

La gráfica 5. Es la obtenida a partir de los datos obtenidos de los cálculos de las constantes de Schlichter Vs la porosidad, para la arena de la quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander.

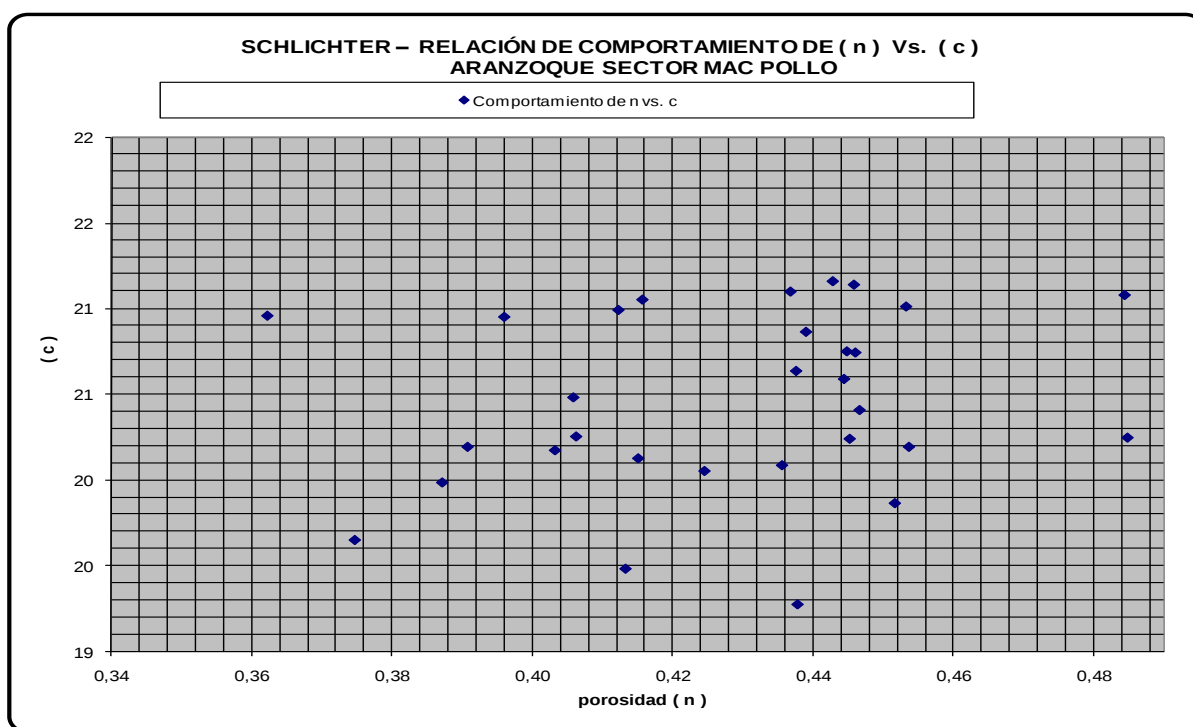


Gráfica 5. Relación de comportamiento de n vs C quebrada Aranzoque Sector EDS Cotrander.

En la gráfica anterior se observa que en la arena de la quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander, no existe ninguna correlación o tendencia entre la porosidad (n) y las constantes calculadas con base a las constantes obtenidas en el laboratorio, dado a los altos valores de estas constantes.

6.2.3.2. Quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo

La gráfica 6. Es la obtenida a partir de los datos obtenidos de los cálculos de las constantes de Schlichter Vs la porosidad, para la arenas de la quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo.



Gráfica 6. Relación de comportamiento de n vs C quebrada Aranzoque Sector de Mac Pollo.

En la gráfica anterior se observa que en las arenas de la quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo, no existe ninguna correlación o tendencia entre la porosidad (n) y las constantes calculadas con base a las constantes obtenidas en el laboratorio.

6.3. ANÁLISIS DE LA CONSTANTE OBTENIDA POR AL FÓRMULA DE TERZAGHI

Según lo establecido por Karl Von Terzaghi para el averiguamiento de las permeabilidades en arenas, es necesario calcular dos (2) constantes C_1 y C_2 . Inversamente una depende de la otra.

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

Tabla 21. Determinación de C_o según la forma de los agregados.

C_1 está en función de la porosidad (n)²⁰.

En este trabajo 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.

6.4. ANÁLISIS DE LA CONSTANTE OBTENIDA POR LA FÓRMULA DE ALLEN HAZEN

Para este caso, se tuvo en cuenta un K_{Promedio} , la cual fue calculada por medio de las constantes obtenidas en el laboratorio.

6.5. ANÁLISIS DEL AJUSTE PROPUESTO PARA DISMINUIR LOS PORCENTAJES DE ERROR EN LAS ECUACIONES DE ALLEN HAZEN, TERZAGHI Y SCHLICHTER PARA LAS ARENAS DE LA QUEBRADA ARANZOQUE EN EL SECTOR DE LA EDS COTRANDER Y DE MAC POLLO

²⁰ 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.

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.

6.5.1. Ajuste propuesto para la ecuación de Allen Hazen

- 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.

6.5.2. 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.

6.5.3. Ajuste propuesto para la ecuación de Terzaghi

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

- Se 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.

6.6. ANÁLISIS DE PORCENTAJES DE ERROR PARA LOS COEFICIENTES K

Luego de realizar los diferentes ensayos planteados en la presente investigación, se obtuvieron una serie de resultados mostrados a continuación. 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.

6.6.1. Porcentajes de error Allen Hazen

6.6.1.1. Quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander

La tabla 22. Muestra los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad ajustados con respecto a los obtenidos en el laboratorio para la arena de la quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander.

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	0,012867892	0,033683593	161,8	0,012329975	4,2	0,3	0-5
2	0,012675365	0,033683593	165,7	0,012329975	2,7	0,5	
3	0,012366557	0,033683593	172,4	0,012329975	0,3	0,6	
4	0,012435860	0,033683593	170,9	0,012329975	0,9	0,8	
5	0,012917634	0,033683593	160,8	0,012329975	4,5	0,9	
6	0,012167798	0,033683593	176,8	0,012329975	1,3	1,0	
7	0,011800863	0,033683593	185,4	0,012329975	4,5	1,1	
8	0,012522450	0,033683593	169,0	0,012329975	1,5	1,1	
9	0,011976500	0,033683593	181,2	0,012329975	3,0	1,2	
10	0,012475157	0,033683593	170,0	0,012329975	1,2	1,2	
11	0,012451213	0,033683593	170,5	0,012329975	1,0	1,3	
12	0,012196354	0,033683593	176,2	0,012329975	1,1	1,5	
13	0,012850388	0,033683593	162,1	0,012329975	4,0	1,6	
14	0,012758271	0,033683593	164,0	0,012329975	3,4	1,8	
15	0,012075987	0,033683593	178,9	0,012329975	2,1	1,8	
16	0,012053265	0,033683593	179,5	0,012329975	2,3	2,1	
17	0,012027042	0,033683593	180,1	0,012329975	2,5	2,3	
18	0,012192301	0,033683593	176,3	0,012329975	1,1	2,5	
19	0,012015927	0,033683593	180,3	0,012329975	2,6	2,5	
20	0,011849133	0,033683593	184,3	0,012329975	4,1	2,6	
21	0,011950708	0,033683593	181,9	0,012329975	3,2	2,7	
22	0,012025384	0,033683593	180,1	0,012329975	2,5	3,0	
23	0,012258626	0,033683593	174,8	0,012329975	0,6	3,2	
24	0,012228595	0,033683593	175,4	0,012329975	0,8	3,4	
25	0,012473658	0,033683593	170,0	0,012329975	1,2	4,0	
26	0,012559420	0,033683593	168,2	0,012329975	1,8	4,1	
27	0,012930838	0,033683593	160,5	0,012329975	4,6	4,2	
28	0,012531048	0,033683593	168,8	0,012329975	1,6	4,5	
29	0,012116673	0,033683593	178,0	0,012329975	1,8	4,5	
30	0,012397784	0,033683593	171,7	0,012329975	0,5	4,6	

Tabla 22. Porcentajes de error Allen Hazen Aranzoque EDS Cotrander

Después de observar los datos obtenidos y realizar el ajuste de error tenemos que para las arenas de la quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander el rango de error no sobrepasa el cinco por ciento (5%). Lo cual quiere decir que para estas arenas es aconsejable trabajar con la formula de Allen Hazen.

6.6.1.2. Quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo

La tabla 23. Muestra los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad ajustados con respecto a los obtenidos en el laboratorio para la arena de la quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo.

N°	$K_{LAB}(cm^2/seg)$	$K_{AH,ORIGINAL}(cm^2/seg)$	$ERROR_{AH,ORIGINAL}(\%)$	$K_{AH,AJUSTE}(cm^2/seg)$	$ERROR_{AH,AJUSTE}(\%)$	ERROR	RANGOS
1	0,017993614	0,056986531	216,7	0,018527561	3,0	0,2	0-6
2	0,018718272	0,056986531	204,4	0,018527561	1,0	0,2	
3	0,017900207	0,056986531	218,4	0,018527561	3,5	0,7	
4	0,018080512	0,056986531	215,2	0,018527561	2,5	0,9	
5	0,018073081	0,056986531	215,3	0,018527561	2,5	0,9	
6	0,018776858	0,056986531	203,5	0,018527561	1,3	1,0	
7	0,018887952	0,056986531	201,7	0,018527561	1,9	1,0	
8	0,017951547	0,056986531	217,4	0,018527561	3,2	1,2	
9	0,018861177	0,056986531	202,1	0,018527561	1,8	1,2	
10	0,019275644	0,056986531	195,6	0,018527561	3,9	1,3	
11	0,018707770	0,056986531	204,6	0,018527561	1,0	1,5	
12	0,018561211	0,056986531	207,0	0,018527561	0,2	1,5	
13	0,018699848	0,056986531	204,7	0,018527561	0,9	1,6	
14	0,018258452	0,056986531	212,1	0,018527561	1,5	1,8	
15	0,017968742	0,056986531	217,1	0,018527561	3,1	1,9	
16	0,019442254	0,056986531	193,1	0,018527561	4,7	2,0	
17	0,017916543	0,056986531	218,1	0,018527561	3,4	2,3	
18	0,018029325	0,056986531	216,1	0,018527561	2,8	2,5	
19	0,018759540	0,056986531	203,8	0,018527561	1,2	2,5	
20	0,018355114	0,056986531	210,5	0,018527561	0,9	2,7	
21	0,018255842	0,056986531	212,2	0,018527561	1,5	2,8	
22	0,018156908	0,056986531	213,9	0,018527561	2,0	2,9	
23	0,019072463	0,056986531	198,8	0,018527561	2,9	3,0	
24	0,018819877	0,056986531	202,8	0,018527561	1,6	3,1	
25	0,018494119	0,056986531	208,1	0,018527561	0,2	3,2	
26	0,018047196	0,056986531	215,8	0,018527561	2,7	3,4	
27	0,018396782	0,056986531	209,8	0,018527561	0,7	3,5	
28	0,019654185	0,056986531	189,9	0,018527561	5,7	3,9	
29	0,018756470	0,056986531	203,8	0,018527561	1,2	4,7	
30	0,018955321	0,056986531	200,6	0,018527561	2,3	5,7	

Tabla 23. Porcentaje de error Allen Hazen Aranzoque sector Mac Pollo

En la anterior se muestra un análisis de los resultados obtenidos con respecto a los porcentajes de error. Para esta arena se observan muy buenos resultados dado que el porcentaje de error no supera el seis por ciento (6%).

6.6.2. Porcentajes de error Terzaghi

6.6.2.1. Quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander

La tabla 24. Muestra los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad ajustados con respecto a los obtenidos en el laboratorio para la arena de la quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander.

Después de realizar el ajuste se obtuvieron los siguientes porcentajes de error:

El 23.33 % de los ensayos tuvieron porcentajes de error entre el 0 – 10 %

El 36.67% de los ensayos tuvieron porcentajes de error entre el 10 – 20 %

El 20.00 % de los ensayos tuvieron porcentajes de error entre el 20- 30 %

El 20.00 % restante de los ensayos están en porcentajes de error > 30 %

En conclusión para las arenas de la quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander si aplica la fórmula de Terzaghi aunque presentan porcentajes de error mas altos que en las fórmulas de Schlichter y Allen Hazen.

N°	$K_{LAB}(cm^3/seg)$	$K_{T,ORIGINAL}(cm^3/seg)$	$ERROR_{T,ORIGINAL} (%)$	$K_{T,AJUSTE}(cm^3/seg)$	$ERROR_{T,AJUSTE} (%)$	ERROR	RANGOS
1	0,012867892	0,050422349	291,8	0,034777413	170,3	1,6	0-10
2	0,012675365	0,028491245	124,8	0,019651044	55,0	6,8	
3	0,012366557	0,020634377	66,9	0,014231988	15,1	7,3	
4	0,012435860	0,016163154	30,0	0,011148086	10,4	7,4	
5	0,012917634	0,014584404	12,9	0,010059187	22,1	7,9	
6	0,012167798	0,020279918	66,7	0,013987510	15,0	9,3	
7	0,011800863	0,025967005	120,0	0,017910020	51,8	9,7	
8	0,012522450	0,015835570	26,5	0,010922144	12,8	10,4	10-20
9	0,011976500	0,013136437	9,7	0,009060493	24,3	10,4	
10	0,012475157	0,019963661	60,0	0,013769381	10,4	12,7	
11	0,012451213	0,022119402	77,6	0,015256243	22,5	12,7	
12	0,012196354	0,012752340	4,6	0,008795572	27,9	12,8	
13	0,012850388	0,011956415	7,0	0,008246605	35,8	13,1	
14	0,012758271	0,017238480	35,1	0,011889762	6,8	15,0	
15	0,012075987	0,023824700	97,3	0,016432425	36,1	15,1	
16	0,012053265	0,018753177	55,6	0,012934482	7,3	15,9	
17	0,012027042	0,025916853	115,5	0,017875429	48,6	16,7	
18	0,012192301	0,016365636	34,2	0,011287743	7,4	17,5	20-30
19	0,012015927	0,015806019	31,5	0,010901762	9,3	22,0	
20	0,011849133	0,016896929	42,6	0,011654187	1,6	22,1	
21	0,011950708	0,012752340	6,7	0,008795572	26,4	22,5	
22	0,012025384	0,015147670	26,0	0,010447685	13,1	24,3	
23	0,012258626	0,014953712	22,0	0,010313907	15,9	26,4	
24	0,012228595	0,020831727	70,4	0,014368105	17,5	27,9	
25	0,012473658	0,019509535	56,4	0,013456159	7,9	35,8	> 30
26	0,012559420	0,020524052	63,4	0,014155894	12,7	36,1	
27	0,012930838	0,020574163	59,1	0,014190457	9,7	48,6	
28	0,012531048	0,015859531	26,6	0,010938670	12,7	51,8	
29	0,012116673	0,014635966	20,8	0,010094751	16,7	55,0	
30	0,012397784	0,021926903	76,9	0,015123472	22,0	170,3	

Tabla 24. Porcentajes de error Terzaghi en las arenas de Aranzoque EDS Cotrander

6.6.2.2. Quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo

La tabla 25. Muestra los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad ajustados con respecto a los obtenidos en el laboratorio para las arenas de Aranzoque en el sector de Mac Pollo.

N°	$K_{LAB}(cm^3/seg)$	$K_{T,ORIGINAL}(cm^3/seg)$	ERROR _{T,ORIGINAL} (%)	$K_{T,AJUSTE}(cm^3/seg)$	ERROR _{T,AJUSTE} (%)	ERROR	RANGOS
1	0,017993614	0,0458937173	155,1	0,0174266977	3,2	1,0	0-10
2	0,018718272	0,0578479477	209,0	0,0219659413	17,4	3,2	
3	0,017900207	0,0568365431	217,5	0,0215818921	20,6	5,6	
4	0,018080512	0,0389066116	115,2	0,0147735638	18,3	6,1	
5	0,018073081	0,0285985134	58,2	0,0108593872	39,9	7,9	
6	0,018776858	0,0413654949	120,3	0,0157072475	16,3	8,3	
7	0,018887952	0,0492488653	160,7	0,0187007098	1,0	12,1	10-20
8	0,017951547	0,0542190340	202,0	0,0205879753	14,7	13,0	
9	0,018861177	0,0537873089	185,2	0,0204240412	8,3	13,1	
10	0,019275644	0,0321979344	67,0	0,0122261543	36,6	13,8	
11	0,018707770	0,0770511278	311,9	0,0292577458	56,4	14,7	
12	0,018561211	0,0584357104	214,8	0,0221891257	19,5	15,4	
13	0,018699848	0,0424520505	127,0	0,0161198329	13,8	16,3	
14	0,018258452	0,0582117481	218,8	0,0221040831	21,1	17,4	
15	0,017968742	0,0768534702	327,7	0,0291826915	62,4	18,3	
16	0,019442254	0,0449933716	131,4	0,0170848197	12,1	18,6	
17	0,017916543	0,0580769043	224,2	0,0220528803	23,1	19,5	
18	0,018029325	0,0614185760	240,7	0,0233217752	29,4	20,0	20-30
19	0,018759540	0,0616237147	228,5	0,0233996702	24,7	20,6	
20	0,018355114	0,0546210417	197,6	0,0207406251	13,0	20,9	
21	0,018255842	0,0576838645	216,0	0,0219036358	20,0	21,1	
22	0,018156908	0,0551643724	203,8	0,0209469379	15,4	23,1	
23	0,019072463	0,0607256184	218,4	0,0230586464	20,9	24,7	
24	0,018819877	0,0456556892	142,6	0,0173363141	7,9	24,7	
25	0,018494119	0,0423118776	128,8	0,0160666066	13,1	27,8	
26	0,018047196	0,0446072554	147,2	0,0169382042	6,1	29,4	>30
27	0,018396782	0,0574627599	212,4	0,0218196783	18,6	36,6	
28	0,019654185	0,0546698133	178,2	0,0207591445	5,6	39,9	
29	0,018756470	0,0371993023	98,3	0,0141252667	24,7	56,4	
30	0,018955321	0,0360392236	90,1	0,0136847633	27,8	62,4	

Tabla 25. Porcentajes de error Terzaghi para Aranzoque en el sector de Mac Pollo

Después de realizar el ajuste se obtuvieron los siguientes porcentajes de error:

El 20.00 % de los ensayos tuvieron porcentajes de error entre el 0 – 10 %

El 40.00% de los ensayos tuvieron porcentajes de error entre el 10 – 20 %

El 26.67 % de los ensayos tuvieron porcentajes de error entre el 20- 30 %

El 13.33 % restante de los ensayos están en porcentajes de error > 30 %

En conclusión para las arenas de la quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo si aplica la fórmula de Terzaghi aunque presentan porcentajes de error mucho mas altos que en las formulas de Schlichter y Allen Hazen. Hay que recalcar que estos porcentajes son muy parecidos a los del sector de la EDS Cotrander debido a la fuente de captación.

6.6.3. Porcentajes de error Schlichter

6.6.3.1. Quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander

La tabla 26. muestra los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad ajustados con respecto a los obtenidos en el laboratorio para la arena de la quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander.

Al igual que la fórmula de Allen Hazen, la de Schlichter aplica muy bien para las arenas de la quebrada Aranzoque en el sector de la EDS Cotrander como se puede observar en la tabla 22 debido a que genera errores de hasta el cinco por ciento (5%) en sus resultados finales.

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	0,012867892	0,022920886	78,1	0,012329975	4,2	0,3	0-5
2	0,012675365	0,013125663	3,6	0,012329975	2,7	0,5	
3	0,012366557	0,009616887	22,2	0,012329975	0,3	0,6	
4	0,012435860	0,007635237	38,6	0,012329975	0,9	0,8	
5	0,012917634	0,006939541	46,3	0,012329975	4,5	0,9	
6	0,012167798	0,009459267	22,3	0,012329975	1,3	1,0	
7	0,011800863	0,011995966	1,7	0,012329975	4,5	1,1	
8	0,012522450	0,00749069	40,2	0,012329975	1,5	1,1	
9	0,011976500	0,00630365	47,4	0,012329975	3,0	1,2	
10	0,012475157	0,009318702	25,3	0,012329975	1,2	1,2	
11	0,012451213	0,010278049	17,5	0,012329975	1,0	1,3	
12	0,012196354	0,006135339	49,7	0,012329975	1,1	1,5	
13	0,012850388	0,005787075	55,0	0,012329975	4,0	1,6	
14	0,012758271	0,008110394	36,4	0,012329975	3,4	1,8	
15	0,012075987	0,011038691	8,6	0,012329975	2,1	1,8	
16	0,012053265	0,008781311	27,1	0,012329975	2,3	2,1	
17	0,012027042	0,011973538	0,4	0,012329975	2,5	2,3	
18	0,012192301	0,007724631	36,6	0,012329975	1,1	2,5	
19	0,012015927	0,007477656	37,8	0,012329975	2,6	2,5	
20	0,011849133	0,007959364	32,8	0,012329975	4,1	2,6	
21	0,011950708	0,006135339	48,7	0,012329975	3,2	2,7	
22	0,012025384	0,007187479	40,2	0,012329975	2,5	3,0	
23	0,012258626	0,007102067	42,1	0,012329975	0,6	3,2	
24	0,012228595	0,009704677	20,6	0,012329975	0,8	3,4	
25	0,012473658	0,009116975	26,9	0,012329975	1,2	4,0	
26	0,012559420	0,009567819	23,8	0,012329975	1,8	4,1	
27	0,012930838	0,009590106	25,8	0,012329975	4,6	4,2	
28	0,012531048	0,00750126	40,1	0,012329975	1,6	4,5	
29	0,012116673	0,006962224	42,5	0,012329975	1,8	4,5	
30	0,012397784	0,010192275	17,8	0,012329975	0,5	4,6	

Tabla 26. Porcentajes de error Schlichter en las arenas de Aranzoque EDS Cotrander

6.6.3.2. Quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo

La tabla 27. Muestra los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad ajustados con respecto a los obtenidos en el laboratorio para la arenas de la quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo.

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	0,017993614	0,021172863	17,7	0,018515727	2,9	0,1	0-6
2	0,018718272	0,026528334	41,7	0,018515727	1,1	0,2	
3	0,017900207	0,026075104	45,7	0,018515727	3,4	0,6	
4	0,018080512	0,018050503	0,2	0,018515727	2,4	0,9	
5	0,018073081	0,013471093	25,5	0,018515727	2,4	1,0	
6	0,018776858	0,019148116	2,0	0,018515727	1,4	1,0	
7	0,018887952	0,022675089	20,1	0,018515727	2,0	1,1	
8	0,017951547	0,024902059	38,7	0,018515727	3,1	1,3	
9	0,018861177	0,02470858	31,0	0,018515727	1,8	1,3	
10	0,019275644	0,015065313	21,8	0,018515727	3,9	1,4	
11	0,018707770	0,035111987	87,7	0,018515727	1,0	1,4	
12	0,018561211	0,026791704	44,3	0,018515727	0,2	1,4	
13	0,018699848	0,019633597	5,0	0,018515727	1,0	1,6	
14	0,018258452	0,026691351	46,2	0,018515727	1,4	1,8	
15	0,017968742	0,035023979	94,9	0,018515727	3,0	2,0	
16	0,019442254	0,020769993	6,8	0,018515727	4,8	2,0	
17	0,017916543	0,026630929	48,6	0,018515727	3,3	2,3	
18	0,018029325	0,028127988	56,0	0,018515727	2,7	2,4	
19	0,018759540	0,028219863	50,4	0,018515727	1,3	2,4	
20	0,018355114	0,025082221	36,6	0,018515727	0,9	2,6	
21	0,018255842	0,026454807	44,9	0,018515727	1,4	2,7	
22	0,018156908	0,02532572	39,5	0,018515727	2,0	2,9	
23	0,019072463	0,027817607	45,9	0,018515727	2,9	2,9	
24	0,018819877	0,021066343	11,9	0,018515727	1,6	3,0	
25	0,018494119	0,019570952	5,8	0,018515727	0,1	3,1	
26	0,018047196	0,020597261	14,1	0,018515727	2,6	3,3	
27	0,018396782	0,026355728	43,3	0,018515727	0,6	3,4	
28	0,019654185	0,025104079	27,7	0,018515727	5,8	3,9	
29	0,018756470	0,017289354	7,8	0,018515727	1,3	4,8	
30	0,018955321	0,016772685	11,5	0,018515727	2,3	5,8	

Tabla 27. Porcentajes de error Schlichter para Aranzoque sector Mac Pollo

Al igual que la fórmula de Allen Hazen, la de Schlichter aplica muy bien para las arenas de la quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo como se puede observar en la tabla 27 debido a que genera errores de hasta el seis por ciento (6%) en sus resultados finales.

7. CONCLUSIONES

- Las ecuaciones de Terzaghi, Schlichter y Allen Hazen con sus constantes originales, no son aplicables para las arenas de la Quebrada Aranzoque en los sectores de Mac Pollo y de la Estación de Servicio de Cotrander en inmediaciones del municipio de Floridablanca.
- Las arenas seleccionadas para la presente investigación cumplieron con el primer objetivo que se había propuesto, el de seleccionar arenas con un porcentaje inferior al diez por ciento (10%) de finos.
- Se realizaron los ensayos de granulometría, peso específico seco y permeabilidad para clasificar el suelo, determinar las constantes de trabajo y obtener la permeabilidad respectivamente.
- Las constantes obtenidas son validas para los sectores de Mac Pollo y de la EDS Cotrander para porosidades entre el 36% - 49% y el 32% y el 50% respectivamente.
- Las constantes obtenidas experimentalmente de la ecuación de Terzaghi, para las arenas de la quebrada Aranzoque en el sector de Mac Pollo y en el de la Estación de Servicio de Cotrander a la altura de Floridablanca presentan los mayores porcentajes de error. Mientras que para las ecuaciones de Allen Hazen y Schlichter se presentan errores máximos de entre el cinco y el seis por ciento en sus porcentajes de error lo que conlleva a una excelente aproximación en el cálculo del coeficiente de permeabilidad solamente a partir del D_{10} y la temperatura.

- Los ensayos de Gravedad Específica de los Sólidos de las muestras estudiadas arrojaron valores de 2,64 y 2,65 lo que nos da a entender que estas son arenas mal gradadas.
- Por medio del Coeficiente de Permeabilidad (K) se puede reconfirmar la clasificación del suelo hallada en el ensayo granulométrico. En esta investigación los valores obtenidos se encuentran por el orden de $1 \cdot 10^{-2}$ cm/seg, lo que indica que las muestras son arenas mal gradadas y limpias.
- 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.

8. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- Como recomendación principal para un buen desarrollo de futuros trabajos de grado se sugiere el acondicionamiento de un área destinada a solo ésta para evitar interrupciones y demoras generadas por el horario de clases programadas en los actuales laboratorios.
- Es aconsejable tomar muestras en el mismo tiempo conservando las condiciones inicialmente establecidas, con el fin de observar posibles cambios importantes al momento del análisis.
- Las muestras se deben recoger y transportar siguiendo los requerimientos necesarios para evitar alteraciones tales como contaminación y segregación. Si se desean obtener resultados mas precisos es necesaria la adquisición por parte de la Universidad Pontificia Bolivariana de un toma muestras bishop, para evitar la contaminación de la misma por la manipulación y el transporte hacia el laboratorio de investigación.
- En el laboratorio se deben almacenar las muestras bien etiquetadas y aisladas de otras para evitar confusiones.
- Es importante a la hora de realizar los ensayos granulométricos contar con un juego de tamices en perfecto estado, debido a que la falta de estos elementos conllevan a un porcentaje de error mayor. O en su defecto contar con tamices calibrados para brindar una mejor de calidad y precisión en los resultados.
- Se recomienda a la Universidad Pontificia Bolivariana la adquisición de bandejas para el secado de las muestras al horno debido a que las

existentes se encuentran en un deplorable estado, esto conlleva a resultados imprecisos.

- En el ensayo de permeabilidad por el método de cabeza constante, se sugiere estandarizar un número determinado de golpes a la hora de compactar la muestra para asegurar resultados más exactos.
- Se sugiere para próximas investigaciones del mismo tema que la recolección de las muestras se haga teniendo en cuenta diferentes condiciones climáticas y topográficas para poder realizar análisis más profundos debido a que como observamos en los trabajos realizados los resultados son muy parecidos si se toman de un mismo sector.

BIBLIOGRAFÍA

- JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de Suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos TOMO I. Tercera edición. México D.F. Limusa Noriega Editores, 2000. 642 pág.
ISBN: 968 – 18 – 0069 – 9
- POLANCO HURTADO, Margarita. Mecánica de Suelos. Universidad del Cauca.
- WHITLOW, Roy. Fundamentos de Mecánica de Suelos, Traducción autorizada de la segunda edición de la obra BASIC SOIL MECHANICS. Segunda edición. México D.F. Compañía Editorial Continental 1994. 589 pág.
ISBN: 968 – 26 – 1239 – X
- MARIN BERNAL, Rodrigo. Normas de Ensayo para Carreteras TOMO I. Bogotá D.C. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1998. 425 pág.
ISBN: 958 – 8060 – 00 – 1
- KETTY PLATA, comparación del coeficiente de permeabilidad obtenido en el laboratorio con los calculados a partir de las fórmulas de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi para arenas del río Topos, Pescadero y Bocas, Universidad Pontificia Bolivariana, 2007.
- 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 río Sogamoso y el río Magdalena), Universidad Pontificia Bolivariana, 2008.
- PAULA MARCELA MORENO Y EDGAR MAURICIO VARGAS, 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 río Manco y el río Frio), Universidad Pontificia Bolivariana, 2008.
- DAVID MAURICIO CARRERO Y JHOSSIMAR VENTANAS RUEDA, 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 río Llana Caliente y el Río Mirlas), Universidad Pontificia Bolivariana, 2008.
- http://www.inlab.com.ar/Darcy_1.htm
- http://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Darcy
- <http://www.galeon.com/geologiayastronomia>
- ftp://ftp.fao.org/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm
- <http://ftp.eia.edu.co/Sitios%20Web/suelos/laboratorio/permeabilidad.htm>
- <http://www.seed.slb.com/es/scictr/lab/permeability/index.htm>

ANEXOS

ANEXO A

REGISTRO FOTOGRAFICO



Fig. 1. Muestras Representativas de la Investigación



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

GRANULOMETRIA



Fig. 3. Lavado de la muestra previo cuarteo de separación del material



Fig. 4. Tamizado de cada una de las muestras.

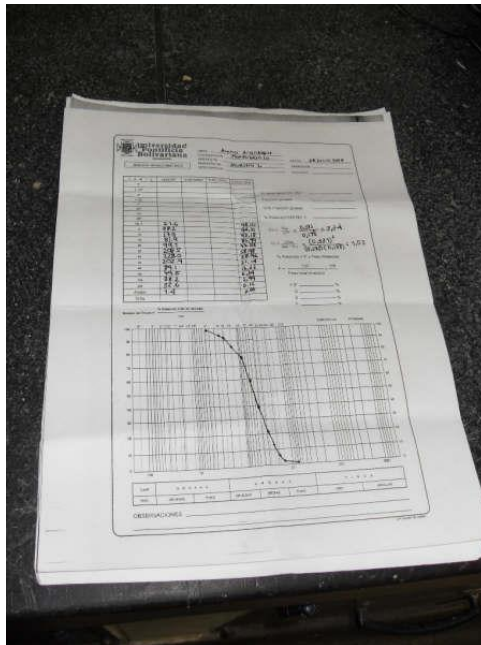


Fig. 5. Formato tipo para el Ensayo de Granulometría

PESO ESPECÍFICO SECO



Fig. 6. Elementos usados en la realización de este ensayo.

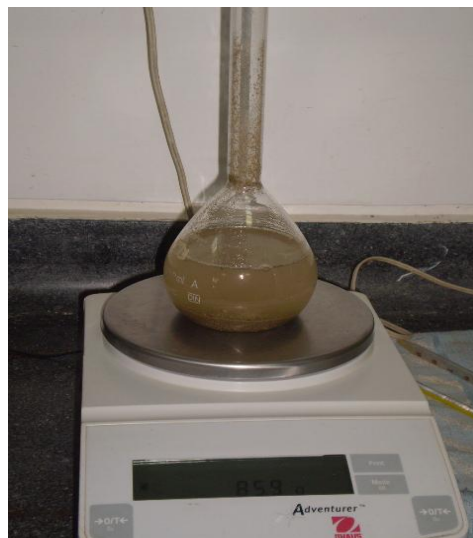


Fig. 7. Peso del matraz + muestra + agua, este peso debe estar en el rango de entre 80–100gr.



Fig. 8. Adición de agua hasta la marca establecida.



Fig. 9. Extracción de aire a la muestra utilizando la bomba de vacíos.



Fig.10. Toma de temperatura de la muestra.



Fig.11. Peso de la muestra previo conocimiento del peso de la capsula.



Fig.12. Se introduce la cápsula al horno a una temperatura de 110°C preferiblemente por 18 horas.



Fig.13. Muestras después de 18 horas de permanecer dentro del horno industrial.

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD



Fig.16. Se pasa la muestra por el tamiz numero 4.



Fig.17. Se pesan todos los elementos del permeámetro y se adjuntan estos datos en el formato utilizado.



Fig.18. Adición del material a la capsula del permeámetro.



Fig.19. Se golpea la muestra para lograr una compactación continua y pareja.



Fig.20. Se enraza la muestra dentro de la cápsula del permeámetro para lograr una buena uniformidad.



Fig.21. Se estandariza el flujo de agua que entra al cono del permeámetro, para asegurar una mejor investigación.



Fig.22. Permeámetro, con flujo constante funcionando correctamente.



Fig.23. Se toma la altura de la cabeza de agua (h).



Fig.24. Se toma un caudal (Q) en un tiempo de 180 segundos.

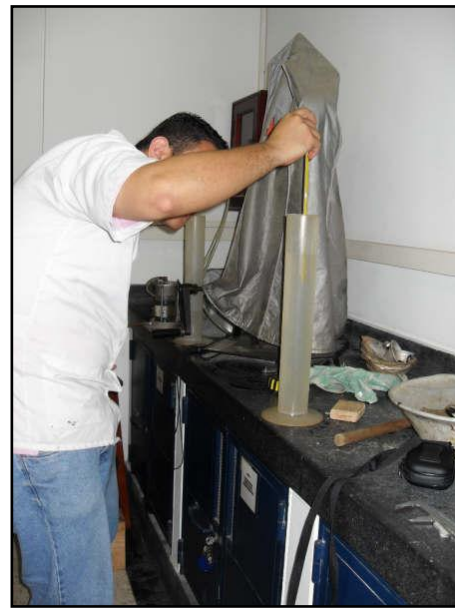


Fig.25. Se toma la temperatura para concluir con el ensayo. Este mismo procedimiento se debe realizar 8 veces por muestra. Para un total de 240 ensayos de cada arena.

ANEXO B

ENSAYOS DE GRANULOMETRIAS



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

Localización: Floridablanca Fecha: 28 - julio - 2008
 Muestra: Aranzoque Sector Mac Pollo Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano
 Ensayo N°: N° 1 Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – MUESTRA N° 1

W1 = 1431 gr. W2 = 1416,2 gr.

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	13,50	0,94	99,06
N° 8	2,36	36,90	2,58	96,48
N° 10	2,00	39,00	2,73	93,75
N° 16	1,18	86,40	6,04	87,71
N° 20	0,84	85,90	6,00	81,71
N° 30	0,60	265,90	18,58	63,13
N° 40	0,43	274,30	19,17	43,96
N° 50	0,30	200,70	14,03	29,94
N° 60	0,25	79,10	5,53	24,41
N° 80	0,21	84,60	5,91	18,50
N° 100	0,15	35,90	2,51	15,99
N° 200	0,07	30,90	2,16	13,83
FONDO	-----	2,90	0,20	13,63
TOTAL		1.236,00	86,37	

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

% GRAVAS	0,94	Cu=	D60	Cc=	D30^2
% ARENAS	98,85		D10		D60 *D10
% FINOS	0,20				

D10 (mm) =	0,12	Cu =	3,33
D30 (mm) =	0,28		
D60 (mm) =	0,4	Cc =	1,63

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO

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

SW = Si cumple con ambas condiciones

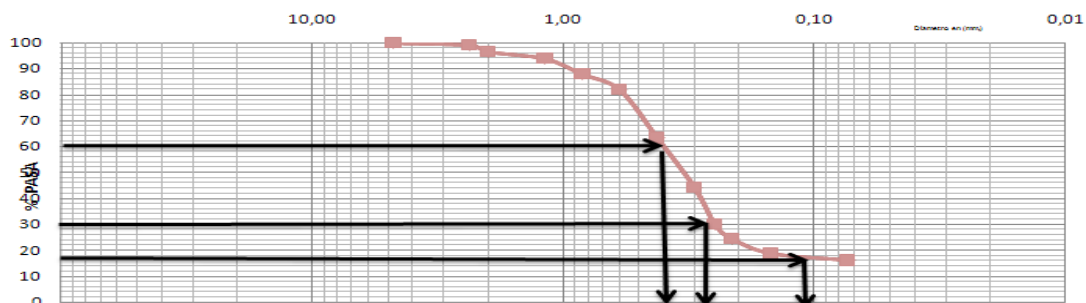
SP = Si alguna de las condiciones no cumple

SW = Arena Bien Gradada - (Well)

SP = Arena Mal Gradada - (Poor)

CLASIFICACIÓN SUCS: SP

GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS (ARENAS - MAC POLLO)



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: Floridablanca
Muestra: Aranzoque Sector Mac Pollo
Ensayo N°: N° 2

Fecha: 28 - JULIO - 2008
Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano
Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – MUESTRA N° 2

W1 = 1130,9 gr. W2 = 1125,3 gr.

Tamiz	Abertura mm.	Peso Retenido gr.	% Ret. Parcial %	% Pasa %
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"		0,0	0,00	100,00
N° 4	4,75	21,7	1,92	98,08
N° 8	2,36	38,3	3,38	96,62
N° 10	2,00	18,0	1,59	98,41
N° 16	1,18	82,0	7,25	92,75
N° 20	0,84	99,2	8,77	91,23
N° 30	0,60	208,6	18,44	81,56
N° 40	0,43	228,1	20,17	79,83
N° 50	0,30	203,0	17,95	82,05
N° 60	0,25	89,2	7,89	92,11
N° 80	0,213	70,6	6,24	93,76
N° 100	0,149	32,1	2,84	97,16
N° 200	0,074	31,3	2,77	97,23
FONDO	-----	1,5	0,13	99,87
TOTAL		1123,4	99,34	

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

% GRAVAS	1,92
% ARENAS	97,29
% FINOS	0,80

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

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

D10 (mm) =	0,19
D30 (mm) =	0,28
D60 (mm) =	0,4

$$Cu = 2,11$$

$$Cc = 1,03$$

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO

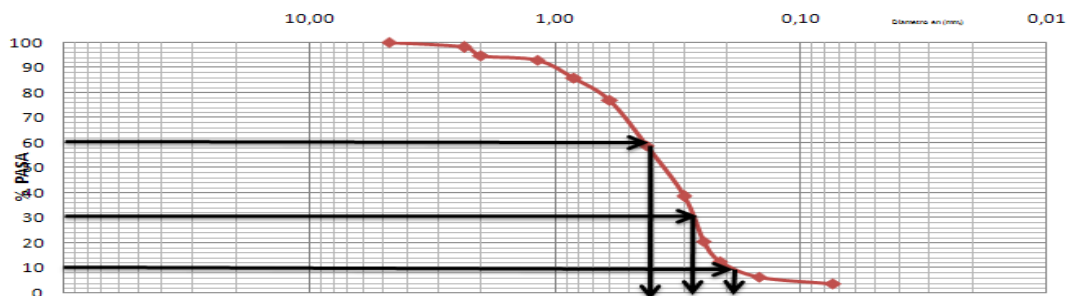
$Cu \geq 6$; $Cc = 1 \leq Cc \leq 3$

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 - MAC POLLO)



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: Floridablanca
Muestra: Aranzoque Sector Mac Pollo
Ensayo N°: N° 3

Fecha: 28 - Julio - 2008
Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano
Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – MUESTRA N° 3

W1 = 1306,8 gr. W2 = 1303,2 gr.

Tamiz	Abertura mm.	Peso Retenido gr.	% Ret. Parcial %	% Pasa %
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"		-	0,00	100,00
N° 4	4,75	30,4	2,33	97,67
N° 8	2,36	44,7	3,42	94,25
N° 10	2,00	18,0	1,38	92,88
N° 16	1,18	95,7	7,32	85,55
N° 20	0,84	118,8	9,09	76,46
N° 30	0,60	259,5	19,86	56,60
N° 40	0,43	236,1	18,07	38,54
N° 50	0,30	246,8	18,89	19,65
N° 60	0,25	126,6	9,69	9,96
N° 80	0,213	68,5	5,24	4,72
N° 100	0,149	27,1	2,07	2,65
N° 200	0,074	34,1	2,61	0,04
FONDO	-----	0,5	0,04	0,00
TOTAL		1306,8	100,00	

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

% GRAVAS	2,33
% ARENAS	97,64
% FINOS	0,04

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

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

D10 (mm) =	0,25
D30 (mm) =	0,28
D60 (mm) =	0,62

Cu =	2,48
Cc =	0,51

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO

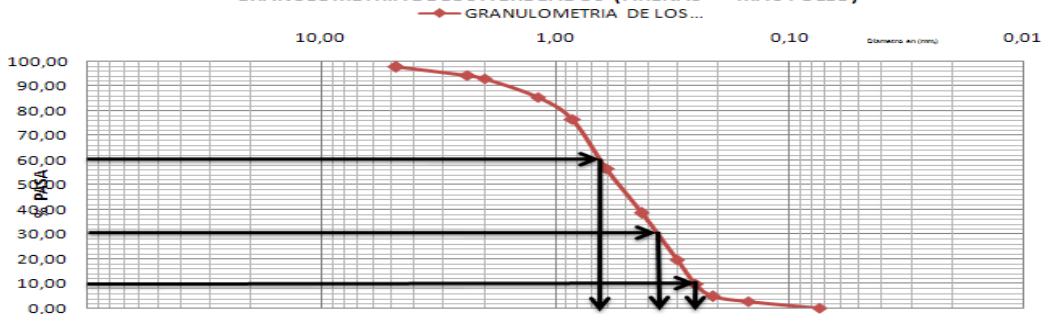
$Cu \geq 6$; $Cc = 1 \leq Cc \leq 3$

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 - MAC POLLO)



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: Floridablanca

Fecha: 29 - Septiembre - 2008

Muestra: Sector Estación Cotrander

Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano

Ensayo N°: N° 1

Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – ESTACION COTRANDER – MUESTRA N° 1

W1 = 1101 gr. W2 = 1081,9 gr.

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	-	-	100,00
N° 8	2,36	43,60	3,96	96,04
N° 10	2,00	39,40	3,58	92,46
N° 16	1,18	110,20	10,01	82,45
N° 20	0,84	93,00	8,45	74,01
N° 30	0,60	194,00	17,62	56,39
N° 40	0,43	152,20	13,82	42,56
N° 50	0,30	148,90	13,52	29,04
N° 60	0,25	78,50	7,13	21,91
N° 80	0,21	97,70	8,87	13,03
N° 100	0,15	48,00	4,36	8,67
N° 200	0,07	54,00	4,90	3,77
FONDO	-----	7,60	0,69	3,08
TOTAL		1.067,10	96,92	

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

% GRAVAS	0,00
% ARENAS	99,31
% FINOS	0,69

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

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

D10 (mm) =	0,1
D30 (mm) =	0,29
D60 (mm) =	0,36

$$Cu = 3,60$$

$$Cc = 2,34$$

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO

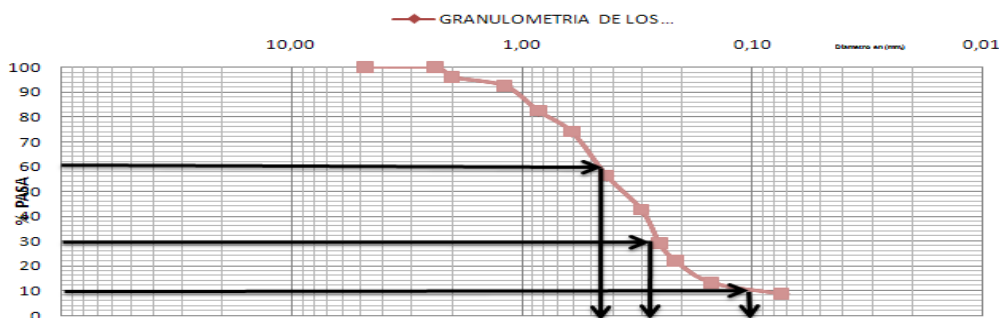
$$Cu \geq 6 \quad ; \quad Cc = 1 \leq Cc \leq 3$$

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

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

CLASIFICACIÓN SUCS: SP

GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS (EDS. COTRANDER)



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: Floridablanca
Muestra: Sector Estacion Cotrander
Ensayo N°: N° 2

Fecha: 29 - Septiembre - 2008
Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano
Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – ESTACION COTRANDER – MUESTRA N° 2

W1 = 1243,9 gr. W2 = 1224,8 gr.

Tamiz	Abertura mm.	Peso Retenido gr.	% Ret. Parcial %	% Pasa %
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"		0,0	0,00	100,00
N° 4	4,75	121,6	9,78	90,22
N° 8	2,36	60,9	4,90	85,33
N° 10	2,00	30,7	2,47	82,86
N° 16	1,18	135,1	10,86	72,00
N° 20	0,84	69,1	5,56	66,44
N° 30	0,60	166,1	13,35	53,09
N° 40	0,43	189,7	15,25	37,84
N° 50	0,30	171,8	13,81	24,03
N° 60	0,25	63,9	5,14	18,89
N° 80	0,213	95,2	7,65	11,24
N° 100	0,149	83,1	6,68	4,56
N° 200	0,074	53,2	4,28	0,28
FONDO	-----	3,2	0,26	0,02
TOTAL		1238,6	99,98	

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

% GRAVAS	9,78
% ARENAS	89,94
% FINOS	0,28

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

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

D10 (mm) =	0,15
D30 (mm) =	0,28
D60 (mm) =	0,5

$$Cu = 3,33$$

$$Cc = 1,05$$

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO

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

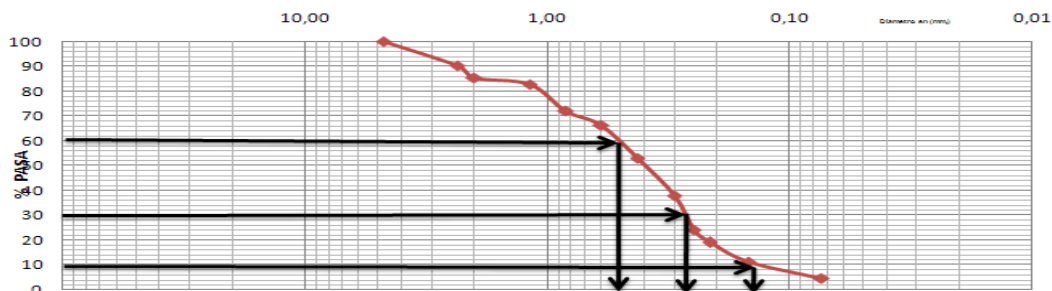
SW = Si cumple con ambas condiciones
SP = Si alguna de las condiciones no cumple

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

CLASIFICACIÓN SUCS: SP

GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS (ARENAS - EDS. COTRANDER)

GRANULOMETRIA DE LOS...



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: Floridablanca
Muestra: Sector Estacion Cotrander
Ensayo N°: N° 3

Fecha: 29 - Septiembre - 2008
Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano
Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – ESTACION COTRANDER – MUESTRA N° 3

W1 = 1133,8 gr. **W2 =** 1145,2 gr.

Tamiz	Abertura mm.	Peso Retenido gr.	% Ret. Parcial %	% Pasa %
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"		-	0,00	100,00
N° 4	4,75	126,8	11,18	88,82
N° 8	2,36	51,1	4,51	84,31
N° 10	2,00	27,8	2,45	81,86
N° 16	1,18	130,3	11,49	70,37
N° 20	0,84	59,6	5,26	65,11
N° 30	0,60	155,8	13,74	51,37
N° 40	0,43	147,2	12,98	38,38
N° 50	0,30	152,7	13,47	24,92
N° 60	0,25	73,8	6,51	18,41
N° 80	0,213	53,1	4,68	13,72
N° 100	0,149	94,5	8,33	5,39
N° 200	0,074	50,3	4,44	0,95
FONDO	-----	7,3	0,64	0,31
TOTAL		1130,3	99,69	

0,14

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

% GRAVAS	11,18
% ARENAS	87,86
% FINOS	0,95

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

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

D10 (mm)	0,18
D30 (mm)	0,38
D60 (mm)	0,70

$$Cu = 3,89$$

$$Cc = 1,15$$

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO

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

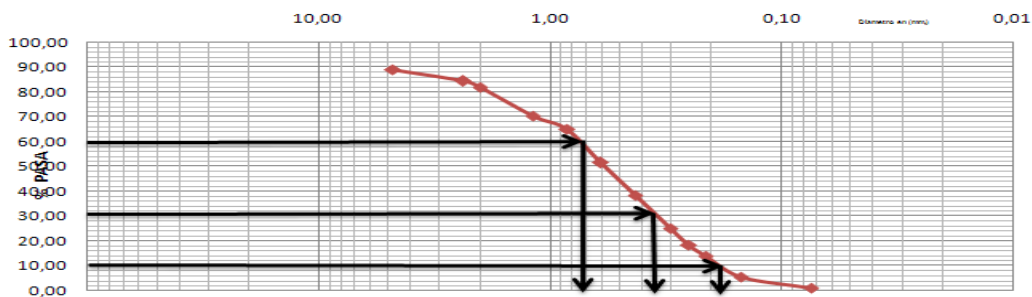
SW = Si cumple con ambas condiciones
SP = Si alguna de las condiciones no cumple

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

CLASIFICACIÓN SUCS: SP

GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS (ARENAS - EDS. COTRANDER)

—●— GRANULOMETRIA DE LOS...



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



PESO ESPECÍFICO RELATIVO (Gs)

Hoja 1 de 2

Localización : Floridablanca
Muestra : Aranzoque Sector Mac Pollo
Cantidad de Ensayos : 15

Fecha : 30 y 31 - Julio - 2008
Operador : Fabian Orlando Jaimes Quijano
Cálculo : Fabian Orlando Jaimes Quijano

PESO ESPECÍFICO RELATIVO - ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO

PRUEBA N°	1	2	3	4	5
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	25	25	24,5	24,8	24,8
WMWS (gr.)	707,5	714,4	708,4	718,6	710,3
WMW (gr.)	657,30	657,30	657,25	657,22	657,22
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	1	2	3	4	5
PESO CAPSULA (gr.)	328,8	337,5	313,8	338,4	296
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	409,4	428,6	396,0	436,4	381,6
Ws - INICIAL - (gr.)	80,8	92,30	82,40	98,30	85,8
Ws - FINAL - (gr.)	80,6	91,1	82,2	98,0	85,6
Gs	2,65	2,68	2,65	2,68	2,63

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

PRUEBA N°	6	7	8	9	10
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	23,8	24	24	24	24,3
WMWS (gr.)	712,4	713,2	710	709,8	709
WMW (gr.)	657,34	657,30	657,30	657,30	657,27
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	1	2	3	4	5
PESO CAPSULA (gr.)	328,8	336,8	313,8	338,4	296
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	417,4	426,0	399,2	423,8	378,6
Ws - INICIAL - (gr.)	88,8	89,60	85,60	85,40	82,8
Ws - FINAL - (gr.)	88,6	89,2	85,4	85,4	82,6
Gs	2,64	2,68	2,61	2,60	2,68

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

PRUEBA N°	11	12	13	14	15
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	23,9	24,1	23,8	23,2	23,6
WMWS (gr.)	718,4	716	716	719	712,6
WMW (gr.)	657,32	657,29	657,34	657,46	657,38
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	6	7	8	9	10
PESO CAPSULA (gr.)	337,6	358,8	322,2	360,6	328
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	436,0	453,6	416,0	459,4	416,6
Ws - INICIAL - (gr.)	98,4	94,80	94,20	98,80	88,6
Ws - FINAL - (gr.)	98,4	94,8	93,8	98,8	88,6
Gs	2,64	2,63	2,67	2,65	2,65



**Universidad
Pontificia
Bolivariana**

PESO ESPECÍFICO RELATIVO (Gs)

Hoja 2 de 2

Localización : Floridablanca
Muestra : Aranzoque Sector Mac Pollo
Cantidad de Ensayos : 15

Fecha : 01/08/2008 - 04/08/2008
Operador : Fabian Orlando Jaimes Quijano
Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

PESO ESPECÍFICO RELATIVO – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO

PRUEBA N°	16	17	18	19	20
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	23,9	24	24	23,6	23,8
WMWS (gr.)	712,2	716,8	707,2	730	723,8
WMW (gr.)	657,32	657,30	657,30	657,38	657,34
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	6	7	8	9	10
PESO CAPSULA (gr.)	337,6	358,8	322,2	360,3	328
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	425,8	455,0	403,0	458,2	426,8
Ws - INICIAL - (gr.)	88,8	96,60	81,20	98,80	99
Ws - FINAL - (gr.)	88,2	96,2	80,8	97,9	98,8
Gs	2,65	2,62	2,61	3,87	3,06

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

PRUEBA N°	21	22	23	24	25
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	23,8	23,7	23,9	24	24,1
WMWS (gr.)	711,2	707,8	714,8	718,4	718,8
WMW (gr.)	657,34	657,36	657,32	657,30	657,29
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	1	2	3	4	5
PESO CAPSULA (gr.)	337,6	336,8	313,2	338,4	296,0
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	424,7	417,8	406,0	436,4	396
Ws - INICIAL - (gr.)	87,4	81,60	92,60	99,00	100
Ws - FINAL - (gr.)	87,1	81,0	82,7	98,0	100,0
Gs	2,62	2,65	3,28	2,66	2,60

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

PRUEBA N°	26	27	28	29	30
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	23,8	23,7	23,5	23,8	23,7
WMWS (gr.)	710,6	712,2	711	717,6	707
WMW (gr.)	657,34	657,36	657,40	657,34	657,70
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	11	12	13	14	15
PESO CAPSULA (gr.)	386,2	362,6	284,2	324,8	284,2
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	471,6	450,2	369,4	421,6	363,6
Ws - INICIAL - (gr.)	86,4	88,20	85,80	97,40	80
Ws - FINAL - (gr.)	85,4	87,6	85,2	96,8	79,4
Gs	2,66	2,67	2,70	2,65	2,64

$$Gs \text{ Promedio} = 2,72$$



PESO ESPECÍFICO RELATIVO (Gs)

Hoja 1 de 2

Localización: Floridablanca Fecha: 6 - Octubre - 2008
 Muestra: Aranzoque Sector EDS Cotrander Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano
 Cantidad de Ensayos: 15 Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

PESO ESPECÍFICO RELATIVO – ARANZOQUE SECTOR EDS COTRANDER

PRUEBA N°	1	2	3	4	5
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	24,1	24,1	24,1	24,3	24,2
WMWS (gr.)	712,2	708,8	707,4	709,8	726,4
WMW (gr.)	657,29	657,29	657,29	657,27	657,28
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	1	2	3	4	5
PESO CAPSULA (gr.)	325,0	337,6	327,6	386,8	300,1
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	414,6	420,2	408,6	472,4	395,4
Ws - INICIAL - (gr.)	91,2	82,80	81,60	86,00	95,8
Ws - FINAL - (gr.)	89,6	82,6	81,0	85,6	95,3
Gs	2,58	2,66	2,62	2,59	3,64

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

PRUEBA N°	6	7	8	9	10
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	24,3	24,2	24,2	24,3	24,2
WMWS (gr.)	709,2	717,4	707,4	709,8	718,6
WMW (gr.)	657,27	657,28	657,28	657,27	657,28
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	6	7	8	9	10
PESO CAPSULA (gr.)	167,8	284,4	284,4	316,6	328,2
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	252,0	382,0	366,4	401,6	426,8
Ws - INICIAL - (gr.)	84,4	97,20	82,00	85,40	99
Ws - FINAL - (gr.)	84,2	97,6	82,0	85,0	98,6
Gs	2,61	2,60	2,57	2,62	2,64

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

PRUEBA N°	11	12	13	14	15
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	25	24,8	24,8	24,9	24,7
WMWS (gr.)	722,4	708,4	707	710,4	719,4
WMW (gr.)	657,30	657,22	657,22	657,21	657,24
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	11	12	13	14	15
PESO CAPSULA (gr.)	363,2	337,8	282,8	325,2	295,8
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	468,2	421,8	363,2	410,6	395,4
Ws - INICIAL - (gr.)	85,2	84,80	81,80	86,00	99,8
Ws - FINAL - (gr.)	84,3	84,0	80,4	85,4	99,6
Gs	4,39	2,56	2,63	2,65	2,66



Universidad
Pontificia
Bolivariana

PESO ESPECÍFICO RELATIVO (Gs)

Hoja 2 de 2

Localización : Floridablanca

Fecha : 7 - Octubre - 2008

Muestra : Aranzoque Sector EDS Cotrander

Operador : Fabian Orlando Jaimes Quijano

Cantidad de Ensayos : 15

Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

PESO ESPECÍFICO RELATIVO – ARANZOQUE SECTOR EDS COTRANDER

PRUEBA N°	16	17	18	19	20
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	24,3	24,4	24,5	24,3	24,3
WMWS (gr.)	712,2	710,6	707,8	707,6	709,6
WMW (gr.)	657,27	657,24	657,25	657,27	657,27
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	16	17	18	19	20
PESO CAPSULA (gr.)	280,8	338,4	313,4	298,0	283,2
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	370,0	425,0	393,8	380,0	366,2
Ws - INICIAL - (gr.)	89,8	87,20	81,00	82,60	83,6
Ws - FINAL - (gr.)	89,2	86,6	80,4	82,0	83,0
Gs	2,60	2,61	2,69	2,59	2,71

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

PRUEBA N°	21	22	23	24	25
MATRAZ N°	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
TEMPERATURA (°C)	23,1	23,1	23,1	23,3	23,1
WMWS (gr.)	706,2	711,2	706,4	704,8	706,4
WMW (gr.)	657,44	657,44	657,44	657,42	657,44
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	1	2	3	4	5
PESO CAPSULA (gr.)	325,0	337,6	327,6	386,8	284,6
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	405,4	426,0	405,2	463,8	363,2
Ws - INICIAL - (gr.)	83,6	91,60	81,00	81,80	82,4
Ws - FINAL - (gr.)	80,4	88,4	77,6	77,0	78,6
Gs	2,54	2,55	2,71	2,60	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)	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3
WMWS (gr.)	716,8	716,2	705,2	705,4	708,8
WMW (gr.)	657,27	657,27	657,27	657,27	657,27
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	6	7	8	9	10
PESO CAPSULA (gr.)	167,8	284,4	316,6	337,8	282,8
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA (gr.)	262,0	379,6	393,4	416,4	363,6
Ws - INICIAL - (gr.)	98,6	99,60	80,10	82,80	85,6
Ws - FINAL - (gr.)	94,2	95,2	76,8	78,6	80,8
Gs	2,72	2,62	2,66	2,58	2,76

Gs Promedio = 2,72

ANEXO D

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Foridablanca
 Muestra: Aranzoque Sector EDS Cotrander
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 29 - Septiembre - 2008 Hoja 1 de 15
 Operador: Fabian Orlando Jaimés Quijano
 Cálculo: Fabian Orlando Jaimés Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS COTRANDER – ENSAYO Nº 1

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1637,2	gr.	
Peso suelo :	136,8	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (Ø) :	6,5	cm	
Altura (L) :	3,00	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	33,18	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	99,55	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1880	24,0
2	180	1870	24,0
3	180	1850	24,0
4	180	1850	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1850	24,0
6	180	1850	24,0
7	180	1860	24,0
8	180	1860	24,0

Promedio	180	1859	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0141 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0129 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS COTRANDER – ENSAYO Nº 2

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1657,8	gr.	
Peso suelo :	157,4	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (Ø) :	6,3	cm	
Altura (L) :	3,20	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	99,75	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1600	24,0
2	180	1610	24,0
3	180	1620	24,0
4	180	1620	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1620	24,0
6	180	1610	24,0
7	180	1610	24,0
8	180	1610	24,0

Promedio	180	1613	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0139 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0127 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca

Fecha: 29 - Septiembre - 2008

Hoja 2 de 15

Muestra: Aranzoque Sector EDS Cotrander

Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano

Cantidad de Ensayos: 2

Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS. COTRANDER – ENSAYO N° 3

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base:	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo:	1734,3	gr.	
Peso suelo:	233,9	gr.	
Cabeza de agua (h):	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (Ø):	6,3	cm	
Altura (L):	4,51	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$):	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L):	140,59	cm ³	

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1130	24,0
2	180	1120	24,0
3	180	1120	24,0
4	180	1120	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1110	24,0
6	180	1110	24,0
7	180	1110	24,0
8	180	1110	24,0

Promedio	180	1116	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0136 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0124 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS. COTRANDER – ENSAYO N° 4

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base:	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo:	1695,6	gr.	
Peso suelo:	195,2	gr.	
Cabeza de agua (h):	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (Ø):	6,3	cm	
Altura (L):	3,60	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$):	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L):	112,22	cm ³	

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1400	24,0
2	180	1410	24,0
3	180	1410	24,0
4	180	1400	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1400	24,0
6	180	1410	24,0
7	180	1410	24,0
8	180	1410	24,0

Promedio	180	1406	24
----------	-----	------	----

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

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

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0124 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
 Muestra: Aranzoque Sector EDS Cotrander
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 29 - Septiembre - 2008 Hoja 3 de 15
 Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano
 Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS. COTRANDER – ENSAYO N° 5

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1702,7	gr.	
Peso suelo :	202,3	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	3,70	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	115,34	cm ³	

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1430	24,0
2	180	1430	24,0
3	180	1420	24,0
4	180	1400	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1420	24,0
6	180	1400	24,0
7	180	1420	24,0
8	180	1450	24,0

Promedio	180	1421	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0142 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0129 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS. COTRANDER – ENSAYO N° 6

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1764,7	gr.	
Peso suelo :	264,3	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	990	24,0
2	180	970	24,0
3	180	980	24,0
4	180	980	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	970	24,0
6	180	970	24,0
7	180	950	24,0
8	180	960	24,0

Promedio	180	971	24
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0134 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0122 \text{ cm/seg.}$$



Universidad
Pontificia
Bolívariana

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca

Fecha: 30 - Septiembre - 2008

Hoja 4 de 15

Muestra: Aranzoque Sector EDS. Cotrander

Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano

Cantidad de Ensayos: 2

Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS. COTRANDER – ENSAYO N° 7

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1658,3	gr.	
Peso suelo :	157,9	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	3,20	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	99,75	cm ³	

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1540	24,0
2	180	1530	24,0
3	180	1520	24,0
4	180	1500	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1520	24,0
6	180	1450	24,0
7	180	1470	24,0
8	180	1480	24,0

Promedio	180	1501	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0130 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0118 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS. COTRANDER – ENSAYO N° 8

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1728,1	gr.	
Peso suelo :	227,7	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	1210	24,0
2	180	1220	24,0
3	180	1200	24,0
4	180	1200	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1200	24,0
6	180	1230	24,0
7	180	1220	24,0
8	180	1230	24,0

Promedio	180	1214	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0138 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0125 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca

Muestra: Aranzoque Sector EDS. Cotrander

Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 30 - Septiembre - 2008

Hoja 5 de 15

Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano

Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS. COTRANDER – ENSAYO N° 9

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1720,1	gr.	
Peso suelo :	219,7	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	3,98	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	124,07	cm ³	

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1200	24,0
2	180	1250	24,0
3	180	1210	24,0
4	180	1230	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1210	24,0
6	180	1210	24,0
7	180	1250	24,0
8	180	1240	24,0

Promedio	180	1225	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0132 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0120 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS. COTRANDER – ENSAYO N° 10

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1732,2	gr.	
Peso suelo :	231,8	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	4,45	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	138,72	cm ³	

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1160	24,0
2	180	1160	24,0
3	180	1170	24,0
4	180	1110	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1110	24,0
6	180	1100	24,0
7	180	1190	24,0
8	180	1150	24,0

Promedio	180	1144	24
----------	-----	------	----

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

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

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0125 \text{ cm/seg.}$$



Universidad
Pontificia
Bolivariana

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
Muestra: Aranzoque Sector EDS. Cotrander
Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 30- Septiembre - 2008 Hoja 6 de 15
Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano
Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS. COTRANDER – ENSAYO N° 11

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1755,6	gr.	
Peso suelo :	255,2	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	1010	24,0
2	180	1020	24,0
3	180	1020	24,0
4	180	1020	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1010	24,0
6	180	1010	24,0
7	180	1010	24,0
8	180	1010	24,0

Promedio	180	1014	24
----------	-----	------	----

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

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

$$K_{20} = k_T * nT / n_{20} = 0,0125 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS COTRANDER – ENSAYO N° 12

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1723,8	gr.	
Peso suelo :	223,4	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 N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1240	24,0
2	180	1220	24,0
3	180	1230	24,0
4	180	1210	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1260	24,0
6	180	1250	24,0
7	180	1250	24,0
8	180	1270	24,0

Promedio	180	1241	24
----------	-----	------	----

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0134 \text{ cm/seg.}$$

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

$$K_{20} = k_T * nT / n_{20} = 0,0122 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizaci3n: Floridablanca
 Muestra: Aranzoque Sector EDS Cotrander
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 01 - Octubre - 2008 Hoja 7 de 15
 Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano
 Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS. COTRANDER – ENSAYO N° 13

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1810,1	gr.	
Peso suelo :	309,7	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (Ø) :	6,3	cm	
Altura (L) :	5,40	cm	
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	31,17	cm²	
Volumen (V) : (A * L) :	168,33	cm³	

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	980	24,0
2	180	970	24,0
3	180	960	24,0
4	180	970	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	970	24,0
6	180	950	24,0
7	180	980	24,0
8	180	970	24,0

Promedio	180	969	24
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0141 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0129 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS. COTRANDER – ENSAYO N° 14

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1755,2	gr.	
Peso suelo :	254,8	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (Ø) :	6,3	cm	
Altura (L) :	5,00	cm	
Area (A) : (π / 4 * Ø²) :	31,17	cm²	
Volumen (V) : (A * L) :	155,86	cm³	

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	1040	24,0
2	180	1060	24,0
3	180	1040	24,0
4	180	1050	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	1040	24,0
6	180	1020	24,0
7	180	1060	24,0
8	180	1000	24,0

Promedio	180	1039	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0140 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0128 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació Floridablanca

Fecha : 01 - Octubre - 2008

Hoja 8 de 15

Muestra : Aranzoque Sector EDS Cotrander

Operador : Fabian Orlando Jaimes Quijano

Cantidad de Ensayos : 2

Cálculo : Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS. COTRANDER – ENSAYO N° 15

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1662,6	gr.	
Peso suelo :	162,2	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (Ø) :	6,3	cm	
Altura (L) :	3,20	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm²	
Volumen (V) : (A * L) :	99,75	cm³	

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	1500	24,0
2	180	1520	24,0
3	180	1520	24,0
4	180	1520	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	1540	24,0
6	180	1550	24,0
7	180	1570	24,0
8	180	1570	24,0

Promedio	180	1536	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0133 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0121 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS. COTRANDER – ENSAYO N° 16

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1701,1	gr.	
Peso suelo :	200,7	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (Ø) :	6,3	cm	
Altura (L) :	3,80	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm²	
Volumen (V) : (A * L) :	118,46	cm³	

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	1290	24,0
2	180	1290	24,0
3	180	1280	24,0
4	180	1290	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	1300	24,0
6	180	1310	24,0
7	180	1290	24,0
8	180	1280	24,0

Promedio	180	1291	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0132 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0121 \text{ cm/seg.}$$



Universidad
Pontificia
Bolivariana

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca

Muestra: Aranzoque sector EDS Cotrander

Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 01 - Octubre - 2008

Hoja 9 de 15

Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano

Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS. COTRANDER – ENSAYO N° 17

PERMEAMETRO

Peso cámara + base :	1500,4	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1783,6	gr.
Peso suelo :	283,2	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE

Diametro (ϕ) :	6,3	cm
Altura (L) :	5,82	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \phi^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	181,42	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	850	24,0
2	180	840	24,0
3	180	820	24,0
4	180	850	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	840	24,0
6	180	850	24,0
7	180	840	24,0
8	180	840	24,0

Promedio	180	841	24
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0132 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0120 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS. COTRANDER – ENSAYO N° 18

PERMEAMETRO

Peso cámara + base :	1500,4	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1688,6	gr.
Peso suelo :	188,2	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE

Diametro (ϕ) :	6,3	cm
Altura (L) :	3,48	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \phi^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	108,48	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1410	24,0
2	180	1450	24,0
3	180	1400	24,0
4	180	1470	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1410	24,0
6	180	1440	24,0
7	180	1400	24,0
8	180	1430	24,0

Promedio	180	1426	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0134 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0122 \text{ cm/seg.}$$



Universidad
Pontificia
Bolivariana

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca

Muestra: Aranzoque Sector EDS. Cotrander

Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 02 - Octubre - 2008

Hoja 10 de 15

Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano

Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS. COTRANDER – ENSAYO N° 19

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1696,6	gr.	
Peso suelo :	196,2	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	3,61	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	112,53	cm ³	

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1370	24,0
2	180	1370	24,0
3	180	1370	24,0
4	180	1380	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1360	24,0
6	180	1350	24,0
7	180	1340	24,0
8	180	1300	24,0

Promedio	180	1355	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0132 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0120 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS. COTRANDER – ENSAYO N° 20

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1695,8	gr.	
Peso suelo :	195,4	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	3,62	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	112,84	cm ³	

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1340	24,0
2	180	1330	24,0
3	180	1340	24,0
4	180	1320	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1330	24,0
6	180	1340	24,0
7	180	1330	24,0
8	180	1330	24,0

Promedio	180	1333	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0130 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0118 \text{ cm/seg.}$$



Universidad
Pontificia
Bolivariana

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: El Carmen de Chucuri

Muestra: Aranzoque Sector EDS Cotrander

Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 02 - Octubre - 2008

Hoja 11 de 15

Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano

Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS. COTRANDER – ENSAYO N° 21

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base:	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo:	1723,8	gr.	
Peso suelo:	223,4	gr.	
Cabeza de agua (h):	66,0	cm	

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

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1210	24,0
2	180	1220	24,0
3	180	1230	24,0
4	180	1230	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1210	24,0
6	180	1210	24,0
7	180	1210	24,0
8	180	1210	24,0

Promedio	180	1216	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0131 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0120 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS. COTRANDER – ENSAYO N° 22

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base:	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo:	1716,8	gr.	
Peso suelo:	216,4	gr.	
Cabeza de agua (h):	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (ϕ):	6,3	cm	
Altura (L):	3,98	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \phi^2$):	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L):	124,07	cm ³	

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1250	24,0
2	180	1230	24,0
3	180	1220	24,0
4	180	1220	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1240	24,0
6	180	1230	24,0
7	180	1220	24,0
8	180	1230	24,0

Promedio	180	1230	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0132 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0120 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
 Muestra: Aranzoque Sector EDS. Cotrander
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 02 - Octubre - 2008 Hoja **12** de **15**
 Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano
 Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS COTRANDER – ENSAYO N° 23

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1725,9	gr.	
Peso suelo :	225,5	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (Ø) :	6,3	cm	
Altura (L) :	4,12	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm²	
Volumen (V) : (A * L) :	128,43	cm³	

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	1200	24,0
2	180	1200	24,0
3	180	1220	24,0
4	180	1200	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	1210	24,0
6	180	1210	24,0
7	180	1220	24,0
8	180	1230	24,0

Promedio	180	1211	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0135 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0123 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS COTRANDER – ENSAYO N° 24

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1734,3	gr.	
Peso suelo :	233,9	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (Ø) :	6,3	cm	
Altura (L) :	4,50	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm²	
Volumen (V) : (A * L) :	140,28	cm³	

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	1120	24,0
2	180	1110	24,0
3	180	1110	24,0
4	180	1110	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	1100	24,0
6	180	1100	24,0
7	180	1100	24,0
8	180	1100	24,0

Promedio	180	1106	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0134 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0122 \text{ cm/seg.}$$



Universidad
Pontificia
Bolivariana

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca

Muestra: Aranzoque Sector EDS Cotrander

Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 03 - Octubre - 2008

Hoja 13 de 15

Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano

Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS COTRANDER – ENSAYO N° 25

PERMEAMETRO

Peso cámara + base :	1500,4	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1732,2	gr.
Peso suelo :	231,8	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE

Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	4,43	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	138,09	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1160	24,0
2	180	1150	24,0
3	180	1150	24,0
4	180	1160	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1110	24,0
6	180	1130	24,0
7	180	1150	24,0
8	180	1160	24,0

Promedio	180	1146	24
----------	-----	------	----

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

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

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0125 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS COTRANDER – ENSAYO N° 26

PERMEAMETRO

Peso cámara + base :	1500,4	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1733,1	gr.
Peso suelo :	232,7	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE

Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	4,48	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	139,65	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1140	24,0
2	180	1140	24,0
3	180	1140	24,0
4	180	1150	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1130	24,0
6	180	1130	24,0
7	180	1150	24,0
8	180	1150	24,0

Promedio	180	1141	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0138 \text{ cm/seg.}$$

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



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca

Fecha: 03 - Octubre - 2008

Hoja 14 de 15

Muestra: Aranzoque Sector EDS Cotrander

Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano

Cantidad de Ensayos: 2

Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS COTRANDER – ENSAYO N° 27

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1733,5	gr.	
Peso suelo :	233,1	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (Ø) :	6,3	cm	
Altura (L) :	4,48	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	139,65	cm ³	

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1190	24,0
2	180	1190	24,0
3	180	1200	24,0
4	180	1180	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1160	24,0
6	180	1160	24,0
7	180	1160	24,0
8	180	1160	24,0

Promedio	180	1175	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0142 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0129 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS COTRANDER – ENSAYO N° 28

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1801,2	gr.	
Peso suelo :	300,8	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (Ø) :	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	940	24,0
2	180	920	24,0
3	180	920	24,0
4	180	920	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	910	24,0
6	180	920	24,0
7	180	940	24,0
8	180	950	24,0

Promedio	180	928	24
----------	-----	-----	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0138 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0125 \text{ cm/seg.}$$



Universidad
Pontificia
Bolivariana

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca

Muestra: Aranzoque Sector EDS Cotrander

Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 03 - Octubre - 2008

Hoja 15 de 15

Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano

Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR EDS COTRANDER – ENSAYO N° 29

PERMEAMETRO

Peso cámara + base :	1500,4	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1716,8	gr.
Peso suelo :	216,4	gr.
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm

MOLDE

Diametro (θ) :	6,3	cm
Altura (L) :	3,95	cm
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²
Volumen (V) : (A * L) :	123,13	cm ³

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1250	24,0
2	180	1250	24,0
3	180	1260	24,0
4	180	1250	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1260	24,0
6	180	1250	24,0
7	180	1240	24,0
8	180	1230	24,0

Promedio	180	1249	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0133 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0121 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD+ – ARANZOQUE SECTOR EDS COTRANDER – ENSAYO N° 30

PERMEAMETRO

Peso cámara + base :	1500,4	gr.
Peso cámara + base + suelo :	1751,3	gr.
Peso suelo :	250,9	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	1020	24,0
2	180	1020	24,0
3	180	1030	24,0
4	180	1040	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1020	24,0
6	180	1040	24,0
7	180	1030	24,0
8	180	1040	24,0

Promedio	180	1030	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0136 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0124 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
 Muestra: Aranzoque Sector Mac Pollo
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 04 - Agosto - 2008 Hoja **1** de **15**
 Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano
 Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 1

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1748,1	gr.	
Peso suelo :	247,7	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (Ø) :	6,3	cm	
Altura (L) :	5,00	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm²	
Volumen (V) : (A * L) :	155,86	cm³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	1460	24,0
2	180	1470	24,0
3	180	1470	24,0
4	180	1480	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	1470	24,0
6	180	1460	24,0
7	180	1450	24,0
8	180	1460	24,0

Promedio	180	1465	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0198 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0180 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 2

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1686,1	gr.	
Peso suelo :	185,7	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (Ø) :	6,3	cm	
Altura (L) :	4,00	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm²	
Volumen (V) : (A * L) :	124,69	cm³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
1	180	1900	24,0
2	180	1920	24,0
3	180	1950	24,0
4	180	1940	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm³)	T (°C)
5	180	1920	24,0
6	180	1950	24,0
7	180	1900	24,0
8	180	1960	24,0

Promedio	180	1930	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0208 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0190 \text{ cm/seg.}$$



Universidad
Pontificia
Bolivariana

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
Muestra: Aranzoque Sector Mac Pollo
Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 04 - Agosto - 2008 Hoja 2 de 15
Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano
Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 3

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1752,0	gr.	
Peso suelo :	251,6	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	5,29	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	164,90	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1370	24,0
2	180	1370	24,0
3	180	1380	24,0
4	180	1370	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1390	24,0
6	180	1380	24,0
7	180	1380	24,0
8	180	1380	24,0

Promedio	180	1378	24
----------	-----	------	----

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0197 \text{ cm/seg.}$$

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

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0179 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 4

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1772,3	gr.	
Peso suelo :	271,9	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 Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1400	24,0
2	180	1390	24,0
3	180	1400	24,0
4	180	1410	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1340	24,0
6	180	1400	24,0
7	180	1390	24,0
8	180	1380	24,0

Promedio	180	1389	24
----------	-----	------	----

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0199 \text{ cm/seg.}$$

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

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0181 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació Foridablanca
 Muestra : Aranzoque Sector Mac Pollo
 Cantidad de Ensayos : 2

Fecha : 04 - Agosto - 2008 Hoja 3 de 15
 Operador : Fabian Orlando Jaimes Quijano
 Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 5

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1793,2	gr.	
Peso suelo :	292,8	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	5,46	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	170,20	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1390	24,0
2	180	1380	24,0
3	180	1350	24,0
4	180	1340	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1320	24,0
6	180	1330	24,0
7	180	1340	24,0
8	180	1330	24,0

Promedio	180	1348	24
----------	-----	------	----

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0199 \text{ cm/seg.}$$

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

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0181 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 6

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1765,0	gr.	
Peso suelo :	264,6	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	5,24	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	163,34	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1490	24,0
2	180	1460	24,0
3	180	1450	24,0
4	180	1460	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1460	24,0
6	180	1460	24,0
7	180	1450	24,0
8	180	1440	24,0

Promedio	180	1459	24
----------	-----	------	----

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0206 \text{ cm/seg.}$$

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

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0188 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació Floridablanca
 Muestra : Aranzoque Sector Mac Pollo
 Cantidad de Ensayos : 2

Fecha : 05 - Agosto - 2008 Hoja 4 de 15
 Operador : Fabian Orlando Jaimes Quijano
 Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO N° 7

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1729,5	gr.	
Peso suelo :	229,1	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	4,71	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	146,82	cm ³	

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1650	24,0
2	180	1620	24,0
3	180	1620	24,0
4	180	1630	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1620	24,0
6	180	1630	24,0
7	180	1640	24,0
8	180	1650	24,0

Promedio	180	1633	24
----------	-----	------	----

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0208 \text{ cm/seg.}$$

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

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0189 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO N° 8

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1653,7	gr.	
Peso suelo :	153,3	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	3,23	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	100,69	cm ³	

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	2300	24,0
2	180	2280	24,0
3	180	2260	24,0
4	180	2270	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	2250	24,0
6	180	2240	24,0
7	180	2250	24,0
8	180	2250	24,0

Promedio	180	2263	24
----------	-----	------	----

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0197 \text{ cm/seg.}$$

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

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0180 \text{ cm/seg.}$$



Universidad
Pontificia
Bolivariana

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
Muestra: Aranzoque Sector Mac Pollo
Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 05 - Agosto - 2008 Hoja 5 de 15
Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano
Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 9

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1698,5	gr.	
Peso suelo :	198,1	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	4,19	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	130,61	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1820	24,0
2	180	1810	24,0
3	180	1800	24,0
4	180	1830	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1860	24,0
6	180	1840	24,0
7	180	1850	24,0
8	180	1850	24,0

Promedio	180	1833	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0207 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0189 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 10

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1820,0	gr.	
Peso suelo :	319,6	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	5,99	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	186,72	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1330	24,0
2	180	1330	24,0
3	180	1320	24,0
4	180	1330	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1320	24,0
6	180	1310	24,0
7	180	1270	24,0
8	180	1270	24,0

Promedio	180	1310	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0212 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0193 \text{ cm/seg.}$$



Universidad
Pontificia
Bolivariana

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
Muestra: Aranzoque Sector Mac Pollo
Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 05 - Agosto - 2008 Hoja 6 de 15
Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano
Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO N° 11

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1592,3	gr.	
Peso suelo :	91,9	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (ϕ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	2,14	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \phi^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	66,71	cm ³	

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	3600	24,0
2	180	3580	24,0
3	180	3590	24,0
4	180	3600	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	3500	24,0
6	180	3640	24,0
7	180	3480	24,0
8	180	3480	24,0

Promedio	180	3559	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0206 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0187 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARAZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO N° 12

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1686,5	gr.	
Peso suelo :	186,1	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (ϕ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	3,99	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \phi^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	124,38	cm ³	

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1900	24,0
2	180	1910	24,0
3	180	1910	24,0
4	180	1910	24,0

Muestra N°	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1890	24,0
6	180	1880	24,0
7	180	1880	24,0
8	180	1870	24,0

Promedio	180	1894	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0204 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0186 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació Floridablanca
 Muestra : Aranzoque Sector Mac Pollo
 Cantidad de Ensayos : 2

Fecha : 06 - Agosto - 2008 Hoja 7 de 15
 Operador : Fabian Orlando Jaimes Quijano
 Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 13

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1748,1	gr.	
Peso suelo :	247,7	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 Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1520	24,0
2	180	1510	24,0
3	180	1530	24,0
4	180	1520	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1520	24,0
6	180	1520	24,0
7	180	1530	24,0
8	180	1530	24,0

Promedio	180	1523	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0206 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0187 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 14

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1658,5	gr.	
Peso suelo :	158,1	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	3,35	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	104,43	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	2200	24,0
2	180	2250	24,0
3	180	2220	24,0
4	180	2230	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	2200	24,0
6	180	2200	24,0
7	180	2220	24,0
8	180	2230	24,0

Promedio	180	2219	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0201 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = K_T * n_T / n_{20} = 0,0183 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
 Muestra: Aranzoque Sector Mac Pollo
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 06 - Agosto - 2008 Hoja 8 de 15
 Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano
 Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 15

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1620,1	gr.	
Peso suelo :	119,7	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (Ø) :	6,3	cm	
Altura (L) :	2,78	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	86,66	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	2660	24,0
2	180	2630	24,0
3	180	2630	24,0
4	180	2630	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	2610	24,0
6	180	2620	24,0
7	180	2620	24,0
8	180	2650	24,0

Promedio	180	2631	24
----------	-----	------	----

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0198 \text{ cm/seg.}$$

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

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0180 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 16

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1838,4	gr.	
Peso suelo :	338,0	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (Ø) :	6,3	cm	
Altura (L) :	6,86	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	213,84	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1180	24,0
2	180	1200	24,0
3	180	1170	24,0
4	180	1160	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1150	24,0
6	180	1140	24,0
7	180	1130	24,0
8	180	1100	24,0

Promedio	180	1154	24
----------	-----	------	----

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0214 \text{ cm/seg.}$$

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

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0194 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
 Muestra: Aranzoque Sector Mac Pollo
 Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 06 - Agosto - 2008 Hoja 9 de 15
 Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano
 Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 17

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1672,5	gr.	
Peso suelo :	172,1	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	3,70	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	115,34	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1990	24,0
2	180	2000	24,0
3	180	2010	24,0
4	180	1990	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1930	24,0
6	180	1940	24,0
7	180	1960	24,0
8	180	1950	24,0

Promedio	180	1971	24
----------	-----	------	----

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0197 \text{ cm/seg.}$$

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

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0179 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 18

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1681,5	gr.	
Peso suelo :	181,1	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	3,97	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	123,75	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1840	24,0
2	180	1830	24,0
3	180	1830	24,0
4	180	1850	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1860	24,0
6	180	1860	24,0
7	180	1860	24,0
8	180	1860	24,0

Promedio	180	1849	24
----------	-----	------	----

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0198 \text{ cm/seg.}$$

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

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0180 \text{ cm/seg.}$$



Universidad
Pontificia
Bolivariana

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
Muestra: Aranzoque Sector Mac Pollo
Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 08 - Agosto - 2008 Hoja 10 de 15
Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano
Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 19

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1634,4	gr.	
Peso suelo :	134,0	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	2,96	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	92,27	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	2600	24,0
2	180	2590	24,0
3	180	2590	24,0
4	180	2590	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	2580	24,0
6	180	2570	24,0
7	180	2560	24,0
8	180	2560	24,0

Promedio	180	2580	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0206 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0188 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 20

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1664,4	gr.	
Peso suelo :	164,0	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	3,41	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	106,30	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	2210	24,0
2	180	2200	24,0
3	180	2180	24,0
4	180	2190	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	2210	24,0
6	180	2180	24,0
7	180	2180	24,0
8	180	2180	24,0

Promedio	180	2191	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0202 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0184 \text{ cm/seg.}$$



Universidad
Pontificia
Bolivariana

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
Muestra: Aranzoque Sector Mac Pollo
Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 08 - Agosto - 2008 Hoja 11 de 15
Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano
Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 21

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1672,4	gr.	
Peso suelo :	172,0	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	3,67	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	114,40	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	2060	24,0
2	180	2000	24,0
3	180	2050	24,0
4	180	2040	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	2020	24,0
6	180	2020	24,0
7	180	2010	24,0
8	180	2000	24,0

Promedio	180	2025	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0201 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0183 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 22

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1625,7	gr.	
Peso suelo :	125,3	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	2,66	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	82,92	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	2800	24,0
2	180	2780	24,0
3	180	2780	24,0
4	180	2770	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	2780	24,0
6	180	2780	24,0
7	180	2780	24,0
8	180	2760	24,0

Promedio	180	2779	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0200 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0182 \text{ cm/seg.}$$



Universidad
Pontificia
Bolivariana

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
Muestra: Aranzoque Sector Mac Pollo
Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 08 - Agosto - 2008 Hoja 12 de 15
Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano
Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 23

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1648,2	gr.	
Peso suelo :	147,8	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (ϕ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	3,21	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \phi^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	100,06	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	2450	24,0
2	180	2440	24,0
3	180	2440	24,0
4	180	2420	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	2400	24,0
6	180	2400	24,0
7	180	2400	24,0
8	180	2400	24,0

Promedio	180	2419	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0210 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0191 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 24

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1680,5	gr.	
Peso suelo :	180,1	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (ϕ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	3,69	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \phi^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	115,03	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	2120	24,0
2	180	2120	24,0
3	180	2120	24,0
4	180	2100	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	2000	24,0
6	180	2070	24,0
7	180	2080	24,0
8	180	2000	24,0

Promedio	180	2076	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0207 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0188 \text{ cm/seg.}$$



Universidad
Pontificia
Bolivariana

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
Muestra: Aranzoque Sector Mac Pollo
Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 11 - Agosto - 2008 Hoja 13 de 15
Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano
Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 25

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1735,8	gr.	
Peso suelo :	235,4	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	4,75	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	148,07	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1610	24,0
2	180	1600	24,0
3	180	1600	24,0
4	180	1600	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1570	24,0
6	180	1570	24,0
7	180	1570	24,0
8	180	1560	24,0

Promedio	180	1585	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0203 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0185 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 26

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1680,4	gr.	
Peso suelo :	180,0	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	3,53	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	110,04	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	2070	24,0
2	180	2050	24,0
3	180	2060	24,0
4	180	2060	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	2100	24,0
6	180	2060	24,0
7	180	2050	24,0
8	180	2200	24,0

Promedio	180	2081	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0198 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0180 \text{ cm/seg.}$$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació Floridablanca
 Muestra : Aranzoque Sector Mac Pollo
 Cantidad de Ensayos : 2

Fecha : 11 - Agosto - 2008 Hoja 14 de 15
 Operador : Fabian Orlando Jaimes Quijano
 Cálculo : Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 27

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1649,1	gr.	
Peso suelo :	148,7	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	3,15	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	98,19	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	2400	24,0
2	180	2410	24,0
3	180	2380	24,0
4	180	2380	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	2350	24,0
6	180	2350	24,0
7	180	2360	24,0
8	180	2390	24,0

Promedio	180	2378	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0202 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0184 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 28

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1649,1	gr.	
Peso suelo :	148,7	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (θ) :	6,3	cm	
Altura (L) :	3,15	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	98,19	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	2550	24,0
2	180	2540	24,0
3	180	2540	24,0
4	180	2540	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	2540	24,0
6	180	2560	24,0
7	180	2530	24,0
8	180	2520	24,0

Promedio	180	2540	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0216 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0197 \text{ cm/seg.}$$



Universidad
Pontificia
Bolivariana

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

METODO DE CABEZA CONSTANTE

Localizació: Floridablanca
Muestra: Aranzoque Sector Mac Pollo
Cantidad de Ensayos: 2

Fecha: 11 - Agosto - 2008 Hoja 15 de 15
Operador: Fabian Orlando Jaimes Quijano
Cálculo: Fabian Orlando Jaimes Quijano

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 29

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1733,0	gr.	
Peso suelo :	232,6	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (Ø) :	6,3	cm	
Altura (L) :	4,42	cm	
Area (A) : ($\pi / 4 * \theta^2$) :	31,17	cm ²	
Volumen (V) : (A * L) :	137,78	cm ³	

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
1	180	1710	24,0
2	180	1720	24,0
3	180	1720	24,0
4	180	1730	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1700	24,0
6	180	1750	24,0
7	180	1740	24,0
8	180	1750	24,0

Promedio	180	1728	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0206 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0188 \text{ cm/seg.}$$

CONSTANTE DE PERMEABILIDAD – ARANZOQUE SECTOR MAC POLLO – ENSAYO Nº 30

PERMEAMETRO			
Peso cámara + base :	1500,4	gr.	
Peso cámara + base + suelo :	1730,0	gr.	
Peso suelo :	229,6	gr.	
Cabeza de agua (h) :	66,0	cm	

MOLDE			
Diametro (Ø) :	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	1750	24,0
2	180	1740	24,0
3	180	1740	24,0
4	180	1780	24,0

Muestra Nº	t (seg.)	Q (cm ³)	T (°C)
5	180	1780	24,0
6	180	1710	24,0
7	180	1750	24,0
8	180	1780	24,0

Promedio	180	1754	24
----------	-----	------	----

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

$$K = Q * L / A * h * t = 0,0208 \text{ cm/seg.}$$

$$K_{20} = k_T * n_T / n_{20} = 0,0190 \text{ cm/seg.}$$

ANEXO E

NORMAS DE INVIAS I.N.V. E – 123
PARA LA EJECUCIÓN DE ENSAYOS GRANULOMÉTRICOS

ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

I.N.V. E - 123

1. OBJETO

1.1 El análisis granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo.

1.2 Esta norma describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 75 μm (No.200).

2. EQUIPO

2.1 Dos balanzas. Una con sensibilidad de 0.01 g para pesar material que pase el tamiz de 2 mm (No.10). Otra con sensibilidad 0.1 % del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 2 mm (No.10).

2.2 Tamices de malla cuadrada:

75 mm (3"), 50 mm (2"), 37.5 mm (1-1/2"), 25 mm (1"), 19.0 mm (3/4"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No.4), 2.00 mm (No.10), 850 μm (No.20), 425 μm (No.40), 250 μm (No.60), 106 μm (No.140) y 75 μm (No.200).

Se puede usar, como alternativa, una serie de tamices que, al dibujar la gradación, dé una separación uniforme entre los puntos del gráfico; esta serie estará integrada por los siguientes:

75 mm (3"), 37.5 mm (1-1/2"), 19.0 mm (3/4"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No.4), 2.36 mm (No.8), 1.10 mm (No.16), 600 μ m (No.30), 300 μ m (No.50), 150 μ m (No.100), 75 μ m (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 (1-1/2"), 25.0 mm (1"), 19.0 mm (3/4"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No.4) y 2.00 mm (No.10), o los que sean necesarios dependiendo del tipo de muestra, o dependiendo de las especificaciones para el material que se ensaya.

4.2 En la operación de tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla. Debe comprobarse al desmontar los tamices que la operación está terminada; esto se sabe cuando no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas apresadas en la malla, deben separarse con un pincel o cepillo y reunir las con lo retenido en el tamiz.

Cuando se utilice una tamizadora mecánica, se pondrá a funcionar por diez minutos aproximadamente; el resultado se puede verificar usando el método manual.

4.3 Se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0.1 % La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso inicial de la muestra no debe diferir en más de 1 %

5 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA FRACCION FINA

5.1 El análisis granulométrico de la fracción que pasa el tamiz de 2 mm (No.10) se hará por tamizado y/o sedimentación según las características de la muestra y según la información requerida.

- Los materiales arenosos que contengan muy poco limo y arcilla, cuyos terrones en estado seco se desintegren con facilidad, se podrán tamizar en seco.
- Los materiales limo arcillosos, cuyos terrones en estado seco no rompan con facilidad, se procesarán por la vía húmeda.
- Si se requiere la curva granulométrica completa incluyendo la fracción de tamaño menor que el tamiz de 75 μm (No.200), la gradación de ésta se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios. Ver Norma de Ensayo INV E-124.
- Se puede utilizar procedimientos simplificados para la determinación del contenido de partículas menores de un cierto tamaño, según se requiera.

- La fracción de tamaño mayor que el tamiz de 75 μm (No.200) se analizará por tamizado en seco, lavando la muestra previamente sobre el tamiz de 75 μm (No.200)

5.2 Procedimiento para el análisis granulométrico por lavado sobre el tamiz de 75 μm (No.200).

- Se separan mediante cuarteo, 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos arcillosos y limosos, pesándolos con exactitud de 0.01 g.
- Humedad higroscópica.- Se pesa una porción de 10 a 15 g de los cuarteos anteriores y se seca en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C ($230 + 9$ °F). Se pesan de nuevo y se anotan los pesos.
- Se coloca la muestra en un recipiente apropiado, cubriéndola con agua y se deja en remojo hasta que todos los terrones se ablanden.
- Se lava a continuación la muestra sobre el tamiz de 75 μm (No.200) con abundante agua, evitando frotarla contra el tamiz y teniendo mucho cuidado de que no se pierda ninguna partícula de las retenidas en él.
- Se recoge lo retenido en un recipiente, se seca en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) y se pesa.
- Se tamiza en seco siguiendo el procedimiento indicado en las secciones 4.2 y 4.3

6. CALCULOS

6.1 Valores de análisis de tamizado para la porción retenida en el Tamiz de 2 mm (No.10).

- Se calcula el porcentaje que pasa el tamiz de 2 mm (No.10) dividiendo el peso que pasa dicho tamiz por el del suelo originalmente tomado y se multiplica el resultado por 100. Para obtener el peso de la porción retenida en el mismo tamiz, réstese del peso original, el peso del pasante por el Tamiz de 2 mm (No.10).
- Para comprobar el peso total de suelo que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4), se agrega al peso del material que pasa el tamiz de 2 mm (No.10), el peso de la fracción que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4) y que queda retenida en el de 2 mm (No.10). Para comprobar el material que pasa por el tamiz de 9.5 mm (3/8"), se agrega al peso total del suelo que pasa por el tamiz de 4.75 mm (No.4) el peso de la fracción que pasa el tamiz de 9.5 mm (3/8") y que queda retenida en el de 4.75 mm (No.4). Para los demás tamices continúese el cálculo de la misma manera.
- Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide el peso total que pasa (sección 6.1.2) por el peso total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.

6.2 Valores del análisis por tamizado para la porción que pasa el tamiz de 2 mm (No.10).

- Se calcula el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 75 μ m (No.200) de la siguiente forma:

$$\% \text{ Pasa } 75\mu\text{m} = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso Ret. en el tamiz de } 75\mu\text{m}}{\text{Peso Total}} * 100$$

Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

$$\%Retenido = \frac{\text{Peso Retenido en el tamiz}}{\text{Peso Total}} * 100$$

- 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.

$$\% \text{ Humedad Higroscopica} = \frac{W - W_1}{W_1} * 100$$

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

MOP E 115 (Venezuela)

AASHTO T 88

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.

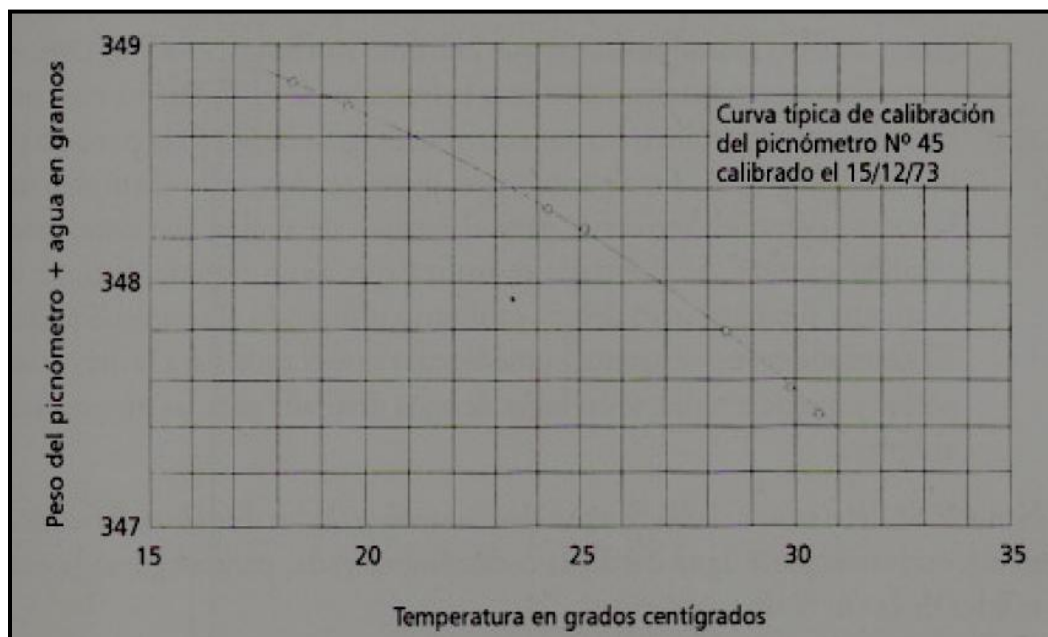


Figura 1. Curva típica de calibración del picnómetro.

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:

$$G = \frac{100}{\frac{\% \text{ Pasante del N}^{\circ} 8}{G_s} + \frac{\% \text{ Retenido en el N}^{\circ} 8}{G_a}}$$

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, mézclese el suelo con suficiente agua destilada o desmineralizada, hasta formar una masa pastosa; colóquese luego la mezcla en el picnómetro y llénese con agua destilada hasta aproximadamente la mitad del frasco.

- Para remover el aire atrapado, conéctese el picnómetro a la línea de vacío hasta obtener una presión absoluta dentro del frasco no mayor de 100 mm de mercurio. El tiempo de aplicación del vacío dependerá del tipo de suelo ensayado. Un esquema de un sistema elemental de aplicación de vacío aparece en la Figura No. 2.

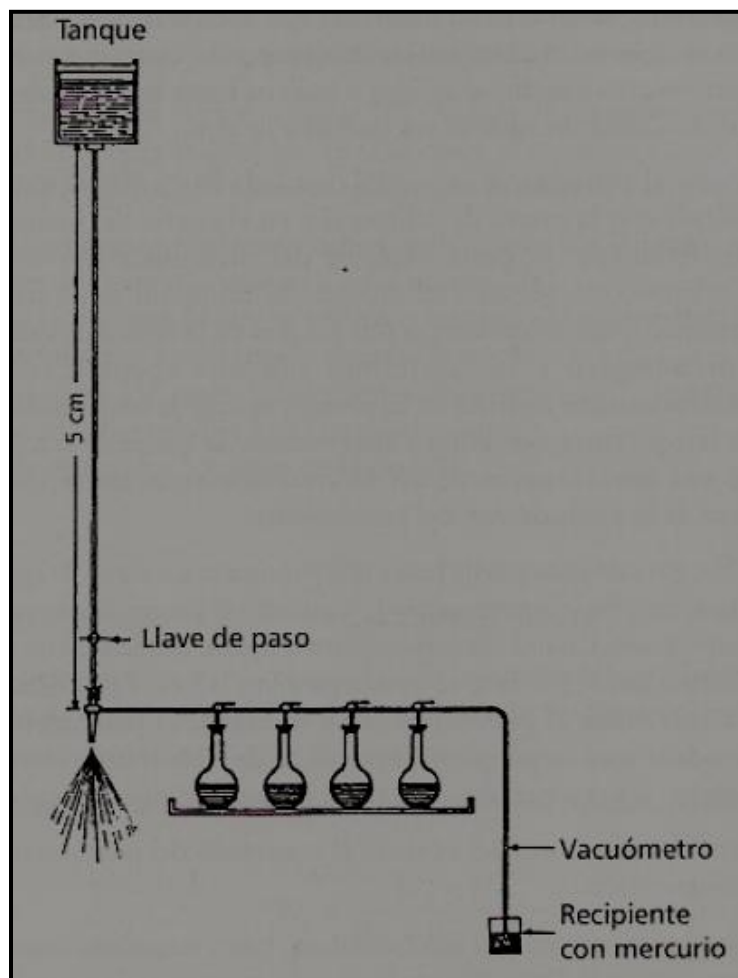


Figura 2. Sistema elemental de aplicación de vacío.

Como proceso alternativo, el aire atrapado puede ser removido calentando la suspensión levemente durante un período mínimo de 10 minutos, rotando ocasionalmente el picnómetro para facilitar la expulsión de aire. El proceso de calentamiento debe adelantarse con mucho cuidado, porque pueden ocurrir pérdidas de material. Las muestras que sean calentadas, deberán dejarse enfriar a la temperatura ambiente.

Nota 3: Algunos suelos hierven violentamente al someterlos a una presión de aire reducido. En esos casos, es necesario aplicar una reducción gradual de la presión o utilizar un frasco de mayor tamaño.

- Llénese el picnómetro con agua destilada y sin burbujas de aire, hasta 2 cm por debajo de la marca y aplíquese vacío nuevamente hasta que a la suspensión se le haya extraído la mayor parte del aire; remuévase con cuidado el tapón del picnómetro y obsérvese cuánto baja el nivel del agua en el cuello. Si la superficie de agua baja menos de 3 mm no es necesario seguir aplicando vacío. En el caso en que la superficie del agua baje más de 3 mm, se deberá seguir aplicando vacío hasta lograr esta condición.

Nota 4: La remoción incompleta del aire atrapado en la suspensión del suelo es la causa más importante de error en la determinación de pesos específicos y tenderá a bajar el peso específico calculado. Se deberá extraer completamente el aire de la suspensión aplicando vacío o calentando. La ausencia de aire atrapado debe ser verificada como se describió durante el ensayo. Es conveniente destacar que el aire disuelto en el agua no afectará los resultados; por lo tanto, no es necesario aplicar vacío al picnómetro cuando se calibra o se llena hasta la marca de calibración con agua destilada o desmineralizada sin burbujas de aire.

- Llénese el picnómetro con agua destilada hasta que el fondo del menisco coincida con la marca de calibración en el cuello del picnómetro. Séquese completamente la parte exterior del picnómetro y, usando un papel absorbente, remuévase con cuidado la humedad de la parte interior del picnómetro que se encuentra por encima de la marca de calibración. Pésese el picnómetro y su contenido con una aproximación de 0.01 g. Inmediatamente después de la pesada, agítese la suspensión hasta asegurar una temperatura uniforme y determínese la temperatura de la suspensión con una aproximación

de 0.1°C introduciendo un termómetro hasta la mitad de la profundidad del picnómetro.

Nota 5: Una gota de agua puede hacer que se cometa un error de aproximadamente 0.05 g. Este error puede ser minimizado tomando el promedio de varias lecturas a la misma temperatura. Cuando la suspensión sea opaca, una luz fuerte detrás del cuello del picnómetro puede ser de gran ayuda para ver la base del menisco.

Cuando se determina el peso específico y se calibra el picnómetro, debe tenerse extremo cuidado para asegurar que las medidas de temperatura sean representativas del picnómetro y su contenido, durante la realización de las pesadas.

- 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.

- Anótese 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.

- Peso del picnómetro + agua + sólidos a la temperatura del ensayo = W_1 (g).
- Peso de la tara + suelo seco (g). El peso de la tara debe ser restado de este valor para obtener el peso del suelo seco, W_0 .

El peso específico de los sólidos se calcula con dos decimales, mediante la siguiente fórmula:

$$G_s = \frac{W_0 * K}{W_0 + W_2 - W_1}$$

Donde:

K = Factor de corrección basado en el peso específico del agua a 20°C (ver Tabla No. 1).

W2 = Peso del picnómetro más agua a la temperatura del ensayo, en gramos (obtenido de la curva de calibración como se indica en la Figura No.1).

W0 = Peso del suelo seco (g).

W1 = Peso del picnómetro + agua + suelo (g).

8. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

AASHTO T 100

MOP E-110

Tabla 1

Peso específico (G) del agua y factor de corrección (K)

Para temperaturas entre 18 °C y 32.9 °C.

Temp.	G	K	Temp.	G	K	Temp.	G	K
18.0	0.99862	1.0004	19.0	0.99843	1.0002	20.0	0.99823	1.0000
.1	60	4	.1	41	2	.1	21	0
.2	58	4	.2	39	2	.2	19	0
.3	56	3	.3	37	1	.3	17	09999
.4	54	3	.4	35	1	.4	15	9
.5	52	3	.5	33	1	.5	13	9
.6	50	3	.6	31	1	.6	10	9
.7	49	3	.7	29	1	.7	08	8
.8	47	2	.8	27	0	.8	06	8
.9	45	2	.9	25	0	.9	04	8
21.0	0.99802	0.9998	22.0	0.99780	0.9996	23.0	0.99756	0.9993
.1	00	8	.1	78	6	.1	54	3
.2	798	8	.2	75	5	.2	51	3
.3	96	7	.3	73	5	.3	49	3
.4	93	7	.4	70	5	.4	46	2
.5	91	7	.5	68	5	.5	44	2
.6	89	7	.6	65	4	.6	42	2
.7	87	6	.7	63	4	.7	39	2
.8	85	6	.8	60	4	.8	37	1
.9	83	6	.9	58	4	.9	34	1
24.0	0.99732	0.9991	25.0	0.99707	0.9988	26.0	0.99681	0.9986
.1	29	1	.1	04	8	.1	78	6
.2	27	0	.2	02	8	.2	76	5
.3	24	0	.3	699	8	.3	73	5
.4	22	0	.4	97	7	.4	70	5
.5	20	0	.5	94	7	.5	68	4
.6	17	89	.6	91	7	.6	65	4
.7	14	9	.7	89	7	.7	63	4
.8	12	9	.8	87	6	.8	60	4
.9	09	9	.9	84	6	.9	57	3
27.0	0.99654	0.9983	28.0	0.99626	0.9988	29.0	0.99597	0.9977
.1	51	3	.1	23	0	.1	94	7
.2	48	2	.2	20	0	.2	91	7
.3	46	2	.3	17	0	.3	88	6
.4	43	2	.4	14	79	.4	85	6
.5	40	2	.5	11	9	.5	82	6
.6	37	1	.6	08	9	.6	79	6
.7	34	1	.7	06	8	.7	76	5
.8	32	1	.8	03	8	.8	73	5
.9	29	1	.9	00	8	.9	70	5
30.0	0.99567	0.9974	31.0	0.99537	0.9971	32.0	0.99505	0.9968
.1	64	4	.1	33	1	.1	02	8
.2	61	4	.2	30	1	.2	499	8
.3	58	3	.3	27	0	.3	96	7
.4	55	3	.4	24	0	.4	93	7
.5	52	3	.5	21	0	.5	90	7
.6	49	3	.6	18	69	.6	86	6
.7	46	2	.7	15	9	.7	83	6
.8	43	2	.8	12	9	.8	80	6
.9	40	2	.9	09	9	.9	77	5

Nota: En esta tabla el peso específico del agua está basado en que la densidad del agua a 4 °C es igual a 1g/cm³.

El factor de corrección K, se obtiene dividiendo el peso específico del agua a la temperatura considerada, por el peso específico del agua a 20

ANEXO G

NORMAS DE INVIAS I.N.V. E – 130 PARA LA EJECUCIÓN DE
ENSAYOS DE PERMEABILIDADES

PERMEABILIDAD DE SUELOS GRANULARES (CABEZA CONSTANTE)

I.N.V. E - 130

1. OBJETO

Este método de ensayo cubre un procedimiento para determinar el coeficiente de permeabilidad mediante un método de cabeza constante para el flujo laminar de agua a través de suelos granulares. El procedimiento está destinado a establecer valores representativos del coeficiente de permeabilidad de suelos granulares presentes en depósitos naturales o colocados en terraplenes, o cuando se empleen como bases bajo pavimentos. Para limitar las influencias de consolidación durante el ensayo, este procedimiento está limitado a suelos granulares alterados que no contengan más de 10 % de partículas que pasen tamiz de 75 μm (No.200).

2. CONDICIONES FUNDAMENTALES DE ENSAYO

2.1 Las siguientes condiciones ideales de ensayo son prerequisites, para el flujo laminar de agua a través de suelos granulares bajo condiciones de cabeza constante:

Continuidad de flujo sin cambios en el volumen del suelo durante el ensayo.

Flujo con los vacíos del suelo saturados con agua y sin burbujas de aire dentro de los mismos.

Flujo uniforme sin cambios en el gradiente hidráulico, y

Proporcionalidad directa de la velocidad de flujo con gradientes hidráulicos por debajo de ciertos valores críticos, en los cuales se inicia el flujo turbulento.

2.2 Todos los demás tipos de flujo que involucran saturación parcial de los vacíos del suelo, flujo turbulento, y flujo no uniforme son de carácter transitorio y producen variables y coeficientes de permeabilidad que dependen del tiempo; por esto, requieren condiciones y procedimientos especiales de ensayo.

3. EQUIPO

3.1 Permeámetros, como se indican en la Figura No. 1, deberán tener cilindros para muestras con diámetro mínimo de aproximadamente 8 a 12 veces el tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la Tabla No. 1. El permeámetro deberá ajustarse con : (1) un disco poroso o una malla

reforzada adecuada para el fondo, con una permeabilidad mayor que la de la muestra de suelo, pero con aberturas suficientemente pequeñas para impedir el movimiento de partículas; (2) tomas de manómetros para medir la pérdida de carga, h , sobre una longitud, l , equivalente al menos al diámetro del cilindro; (3) un disco poroso o una malla adecuada reforzada con un resorte adherido a la parte superior, o cualquier otro dispositivo, para aplicar una ligera presión de resorte, de 22 a 44 N (5 a 10 lbf) de carga total, cuando la placa superior se halla colocada en su sitio. Esto mantendrá el peso unitario y el volumen del suelo sin cambio durante la saturación y durante el ensayo de permeabilidad, para satisfacer los requerimientos prescritos en el numeral 2.1.

TABLA No. 1
Diámetro del Cilindro

Tamaño Máximo de partícula entre Abertura de tamices	Diámetro Mínimo del cilindro			
	% retenido (*) > 35%		% retenido (*) < 35%	
	2.00 mm (No.10)	9.5 mm (3/8")	2.00 mm (No.10)	9.5 mm (3/8")
2.0 mm (No.10) y 9.5 mm (3/8") 9.6 mm (3/8") y 19 mm (3/4")	75 mm (3")	150 mm (6")	115 mm (4.5")	230 mm (9")

(*) % retenido = suelo total retenido en el tamiz del tamaño indicado inmediatamente debajo.

3.2 Tanque de cabeza constante con filtro, como se muestra en la Figura 1, para suministrar agua y para remover aire de la conexión de agua,

provisto de válvulas de control adecuadas para mantener las condiciones descritas en el numeral 2.1

Si se prefiere, puede emplearse agua desairada.

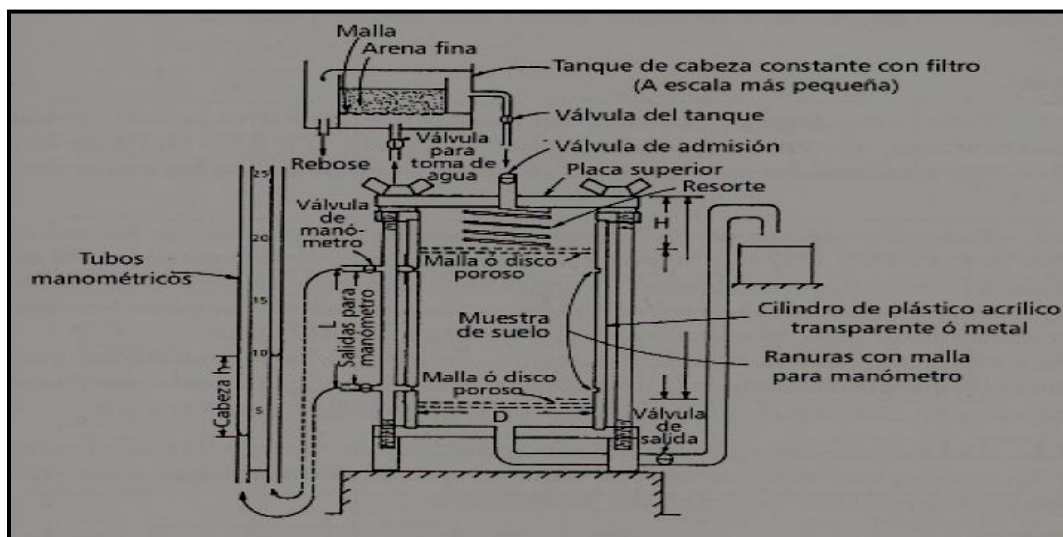


Figura 1. Permeámetro de cabeza constante.

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)

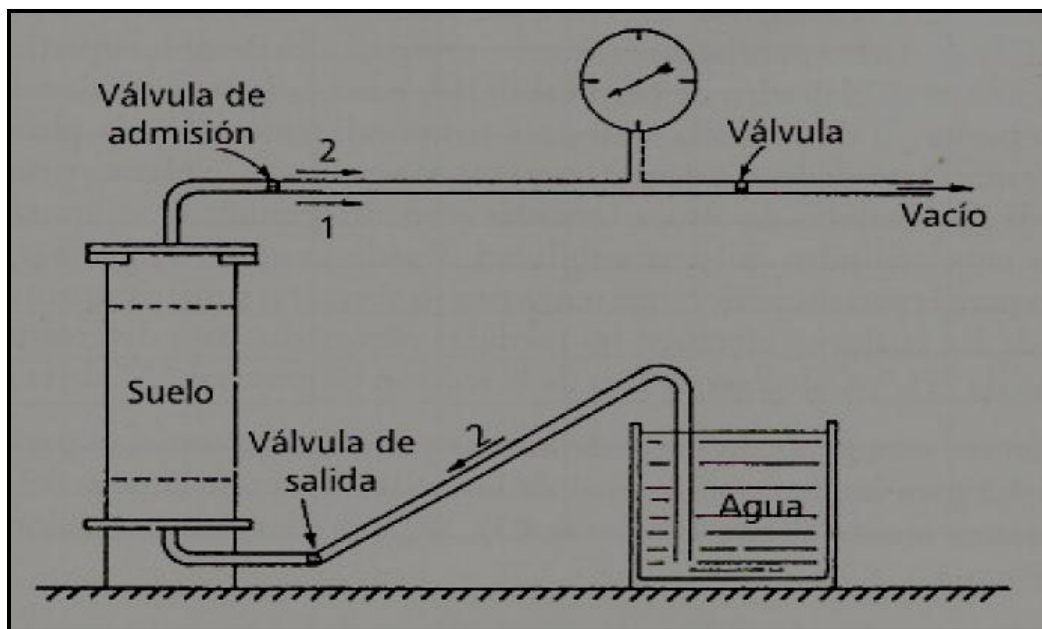


Figura 2. Dispositivo para saturar y evacuar especímenes.

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 sobre tamaños 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 sobre tamaños (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".

I. N. V. OFICINA DE INVESTIGACIONES Y DESARROLLO TECNOLÓGICO	ENSAYO DE PERMEABILIDAD SOBRE SUELOS GRANULARES	HOJA No. _____ DE _____
---	--	-------------------------

Ensayo No. _____ Fecha de ensayo _____
 Localización de la muestra _____ Fecha muestra _____ Informe _____
 Sonda _____ Muestra _____ Profundidad _____

(a) DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL _____

Para ser empleado: _____

(b) DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO

Diámetro, ϕ , 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	Q cm^2	t (seg)	Q/A	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 deberán hacer que el suelo escape por debajo de los bordes de la pata de compactación, tendiendo así a que se afloje la capa. Efectúese un número de coberturas suficientes para producir un peso unitario máximo, como quedaría evidenciado prácticamente cuando no haya movimiento visible de las partículas superficiales adyacentes a los bordes del pisón de compactación.
- Compactación mediante el pisón de peso deslizante.- Compáctese completamente cada capa de suelo mediante golpes de compactación uniformemente distribuidos sobre la superficie de la capa. Ajústese la altura de caída y 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, H1-H2, midiendo la profundidad, H2, desde la superficie superior de la placa tope perforada empleada para medir H1, hasta el tope de la placa porosa superior o malla, en cuatro puntos simétricamente dispuestos después de comprimir ligeramente el resorte para asentar la placa porosa o la malla durante las

medidas, el peso final secado al aire del suelo empleado en el ensayo (W1-W2), pesando el remanente de suelo dejado en la bandeja. Calcúlense y anótense los pesos unitarios, la relación de vacíos, y el peso unitario relativo de la muestra de ensayo.

Con el empaque en su sitio, presiónese hacia abajo la placa superior contra el resorte y fíjese seguramente en la parte superior del cilindro del permeámetro, produciendo un sello a prueba de aire. Esto satisface la condición descrita en el numeral 2.1 de mantener el peso unitario inicial, sin cambio significativo de volumen durante el ensayo.

Empleando una bomba de vacío o una aspiradora adecuada, aspírese la muestra, bajo 500 mm (20") de mercurio como mínimo, durante 15 minutos, para remover el aire de los vacíos y el adherido a las partículas. Continúese la operación mediante una saturación lenta de la muestra de abajo hacia arriba (Figura No. 2), bajo vacío total, con el fin de liberar cualquier aire remanente en la muestra. La saturación continuada de la muestra puede mantenerse más adecuadamente mediante el uso de: (1) agua desairada, (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 desairada), 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 = Área de la sección transversal del espécimen
- t = Tiempo total de desagüe
- h = Diferencia de cabeza (altura) sobre los manómetros

7.2 Corríjase la permeabilidad [para la que corresponde a 20 °C (68 °F)], multiplicando k por la relación de la viscosidad de agua a la temperatura del ensayo con respecto a la viscosidad del agua a 20 °C (68 °F).

8. INFORME

8.1 El informe del ensayo de permeabilidad deberá incluir la siguiente información:

Proyecto, fechas, número de la muestra, sitio, y cualquier otra información pertinente.

Análisis granulométrico, clasificación, tamaño máximo de partícula, y porcentaje de cualquier sobre tamaño 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
