

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD  
OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A  
PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y  
TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RÍO DEL PLAYÓN  
Y DEL RÍO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL  
PLAYÓN Y CIMITARRA

JANNITH ELIANA ANGULO VANEGAS

DIANA CAROLINA RINCON JAIMES

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERAS  
FACULTAD DE INGENIERA CIVIL  
BUCARAMANGA

2011

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL  
LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE  
ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS  
DEL RÍO DEL PLAYÓN Y DEL RÍO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO  
DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

JANNITH ELIANA ANGULO VANEGAS

DIANA CAROLINA RINCON JAIMES

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil

Director

INGENIERO GERARDO BAUTISTA GARCIA

Magister en Ingeniería Civil  
Área de Geotecnia

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2011

NOTA DE ACEPTACIÓN

-----  
-----  
-----  
-----  
-----

-----  
Presidente del Jurado

-----  
Jurado

-----  
Jurado

FLoridablanca, Agosto 17 de 2011

## DEDICATORIA

Los grandes logros conllevan esfuerzos intangibles, que solo hombres de gran corazón y manos genuinas saben comprender y aplicar.

A Dios quien ha guiado nuestras vidas, que con la sabiduría de su santo espíritu nos iluminó durante nuestros años de estudio para lograr obtener tan apreciado título.

A nuestros padres, quienes han sido el ejemplo perfecto de vida, el apoyo constante para la obtención de nuestros sueños y los amigos incondicionales que paso a paso han visto nuestros aciertos y desaciertos, nuestras luchas, nuestros momentos de gozo, a ellos que día a día nos siguen y nos seguirán enseñando a vivir.

A nuestros hermanos, hermanas, sobrinas y familiares, quienes aún en circunstancias adversas han sido siempre constantes en su apoyo, cariño y fraternidad.

A todos aquellos que con su compañía han aportado una luz más en nuestras vidas y en nuestro caminar, gracias por ser parte de este logro alcanzado, de este sueño hecho realidad.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por llenarnos de todos sus dones y su protección durante nuestros años de estudio, por ser el la paz en los momentos de tensión, y la fuerza cuando las causas se veían perdidas.

Al Ing. Gerardo Bautista García, por su inigualable apoyo, confianza y sobre todo paciencia, gracias por su grandiosa colaboración y su gran compromiso en el desarrollo del presente proyecto.

A todos nuestros docentes que con el compartir de sus conocimientos y el apoyo brindado en cada una de sus áreas, formaron nuestro espíritu de profesionales Bolivarianos, en especial al Ing. Rafael Ortiz por creer en nuestra doble titulación y darnos la oportunidad de llevarla a cabo de la mano de su confianza, apoyo y guía.

A nuestras familias, fuentes inagotables de amor, apoyo y compañía, en especial a Mayis por su admirable colaboración en la realización de este proyecto.

A todos nuestros compañeros de estudio por ser también parte de este sueño, y porque al igual que nosotras lucharon hasta el final por conseguir lo que un día nos propusimos, a Maritza Silva Figueroa y a Juan Carlos Villamizar Parada nuestros compañeros de lucha y nuestros grandes amigos.

Y a todos aquellos que sin mencionarlos saben que habitan siempre en nuestros corazones y en nuestras mentes, a todos gracias por todo el cariño brindado.

## CONTENIDO

INTRODUCCION.....	1
1 OBJETIVOS .....	2
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
2 ANTECEDENTES.....	3
2.1 antecedentes mundiales.....	4
2.1.1 FORMULA DE ALLEN HAZEN .....	4
2.1.2 FORMULA DE SCHLICHTER.....	4
2.1.3 FORMULA DE TERZAGHI .....	5
2.2 antecedentes regionales .....	6
3 METODOLOGIA .....	8
4 MARCO TEORICO .....	10
4.1 RELACION ENTRE LAS FASES DEL SUELO .....	11
4.1.1 Porosidad:.....	12
4.1.2 Relación de vacíos:.....	12
4.1.3 Grado de saturación( $S$ ): .....	12
4.1.4 PESO ESPECÍFICO .....	13
4.2 RELACIONES VOLUMETRICAS Y GRAVIMETRICAS .....	14
4.2.1 RELACIONES ENTRE PESO ESPECÍFICO, RELACION DE VACIOS, CONTENIDO DE AGUA Y DENSIDAD DE LOS SÓLIDOS.....	17
4.3 CLASIFICACION DEL SUELO .....	20
4.3.1 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS.....	20
4.3.2 CURVAS DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA.....	22

4.3.3	TAMAÑO EFECTIVO, COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y COEFICIENTE DE CURVATURA .....	23
4.4	PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS.....	24
5	RESULTADOS OBTENIDOS.....	27
5.1	GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS .....	27
5.1.1	GRANULOMETRIA ARENA RÍO LA CHIMERA.....	27
5.1.2	GRANULOMETRIA ARENA RÍO EL PLAYON .....	28
5.2	CONSTANTES DE PERMEABILIDAD .....	29
5.2.1	ENSAYO N° 1 - MUESTRA RÍO LA CHIMERA (MétODO CABEZA CONSTANTE) .....	29
5.3	RESULTADOS DE PERMEABILIDAD DE LAS ARENAS ANALIZADAS: .	31
5.3.1	Permeabilidad Arena Río La Chimera.....	31
5.3.2	Permeabilidad Arena Río El Playon .....	32
5.4	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SOLIDOS.....	33
5.4.1	Ensayo No 1. Río La Chimera.....	33
5.5	RESULTADOS GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS DE LAS ARENAS ANALIZADAS.....	37
5.5.1	Gravedad Específica Arena Río La Chimera .....	37
5.5.2	Gravedad Específica Arena Río El Playón .....	38
6	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	40
6.1	GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS .....	40
6.2	RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS DE LAS MUESTRAS	40
6.3	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD .....	43
6.3.1	Análisis de la constante obtenida en la fórmula de Schlichter ....	46
6.3.2	Análisis de la constante obtenida en la fórmula de Terzaghi .....	49
6.3.3	Análisis de la constante obtenida en la fórmula de Allen Hazen	50

6.4	Análisis del ajuste propuesto para disminuir los porcentajes de error en las ecuaciones de Allen Hazen, Terzaghi y Schlichter para la arena del Río LA CHIMERA y Río EL PLAYON.....	50
6.4.1	Ajuste propuesto para la ecuación de Allen Hazen.....	50
6.4.2	Ajuste propuesto para la ecuación de Schlichter .....	51
6.4.3	Ajuste propuesto para la ecuación de Terzagui.....	51
6.5	Análisis de porcentajes de error para los coeficientes K en las fórmulas de Terzagui, Schlichter y Allen Hazen para la arena del Río la chimera y Río EL PLAYON. ....	52
6.5.1	Arena de Río La Chimera.....	52
6.5.2	Arena de Río El Playón .....	56
	CONCLUSIONES.....	59
	RECOMENDACIONES .....	61
	BIBLIOGRAFÍA .....	63
	ANEXO A.....	65
	REGISTRO FOTOGRAFICO .....	65
	ANEXO B ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA .....	70
	ANEXO C .....	77
	ENSAYOS DE PESO ESPECÍFICO RELATIVO .....	77
	ANEXO D.....	82
	ENSAYOS DE PERMEABILIDAD .....	82
	ANEXO NORMAS DE INVIAS I.N.V. E - 123 .....	114
	PARA LA EJECUCIÓN DE ENSAYOS GRANULOMÉTRICOS .....	114
	ANEXO F .....	128



NORMAS DE INVIAS I.N.V. E - 128 PARA LA EJECUCIÓN DE ENSAYOS DE PESO ESPECÍFICO RELATIVO.....	128
ANEXO G.....	146
NORMAS DE INVIAS I.N.V. E - 130 PARA LA EJECUCIÓN DE ENSAYOS DE PERMEABILIDADES.....	146

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Corrección por Compacidad en Función de la Porosidad .....	5
Tabla 2. Constante $C_0$ , en función de la porosidad y tipo de suelos .....	5
Tabla 3 Estudios realizados en la Universidad Pontificia Bolivariana. ....	6
Tabla 4 (valores típicos de permeabilidad para los suelos saturados) .....	26
Tabla 5 Resultados Análisis Granulométrico Río La Chimera.....	27
Tabla 6 Resultados Análisis Granulométrico Río El Playón.....	28
Tabla 7 DATOS DEL MOLDE UTILIZADO .....	29
Tabla 8 DATOS DEL PERMEÁMETRO UTILIZADO .....	30
Tabla 9 DATOS TOMADOS DURANTE EL ENSAYO TIPO: .....	30
Tabla 10 Permeabilidades Río La Chimera.....	31
Tabla 11 Permeabilidades Río El Playón.....	32
Tabla 12 Calibración del Matraz No 1.....	34
Tabla 13 Calibración del Matraz No 2.....	35
Tabla 14 Resultados de gravedad específica Río la Chimera. ....	37
Tabla 15 Resultados Gravedad Específica Arena Río El Playón .....	38
Tabla 16 Relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo Río La Chimera .....	41
Tabla 17 Relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo Río El Playón.....	42
Tabla 18 Promedios de las relaciones volumétricas para El Río la Chimera .....	42
Tabla 19 Promedios de las relaciones volumétricas para El Río El Playón ..	43

Tabla 20 Comparación de las constantes de permeabilidad del Río La Chimera .....	44
Tabla 21 Comparación de las constantes de permeabilidad del Río El Playón .....	45
Tabla 22 Valores de la constante de permeabilidad con respecto a la porosidad .....	47
Tabla 23 Porcentaje de error de cada rango Allen Hazen. Río La Chimera .	52
Tabla 24 Porcentaje de error Allen Hazen - Río La Chimera .....	53
Tabla 25 Porcentaje de error de cada rango Terzaghi. Río La Chimera .....	54
Tabla 26 Porcentaje de error Terzaghi - Río La Chimera.....	54
Tabla 27 Porcentaje de error de cada rango Schlichter. Río La Chimera .....	55
Tabla 28 Porcentaje de error Schlichter - Río La Chimera.....	55
Tabla 29 Porcentaje de error de cada rango Schlichter. Río El Playón.....	56
Tabla 30 Porcentaje de error Schlichter - Río El Playón .....	56
Tabla 31 Porcentaje de error de cada rango Terzaghi. Río El Playón.....	57
Tabla 32 Porcentaje de error Terzaghi - Río El Playón.....	57
Tabla 33 Porcentaje de error de cada rango Schlichter. Río El Playón.....	58
Tabla 34 Porcentaje de error Schlichter - Río El Playón.....	58

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1 Diagrama de flujo de procedimientos y actividades.....	9
Figura N° 2 Fases de una muestra de suelo.....	11
Figura N° 3 Obtención de la Humedad .....	13
Figura N° 4 Elemento de suelo en estado natural.....	14
Figura N° 5 Fases del suelo, Volumen de sólidos igual 1 .....	18
Figura N° 6 Muestra de suelo saturada con volumen de sólidos igual a 1 ...	19
Figura N° 7 Carta de Plasticidad, Clasificación de los suelos según el Sistema Unificado.....	22
Figura N° 8 Ensayos granulometricos arena río La Chimera.....	27
Figura N° 9 Ensayos granulométricos arena río El Playón .....	28
Figura N° 10 Calibración del Matraz No 1 .....	34
Figura N° 11 Calibración del Matraz No 2. ....	36
Figura N° 12 Relación de comportamiento $n$ Vs. $C$ datos originales Schlichter.....	47
Figura N° 13 Relación de comportamiento de $V_s$ . $C$ río la Chimera.....	48
Figura N° 14 Relación de comportamiento de $n$ Vs $C$ río El Playon .....	48

## **RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TÍTULO:** COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RÍO DEL PLAYÓN Y DEL RÍO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

**AUTOR:**JANNITH ELIANA ANGULO VANEGAS  
DIANA CAROLINA RINCON JAIMES

**FACULTAD:**INGENIERÍA CIVIL

**DIRECTOR:**INGENIERO GERARDO BAUTISTA GARCIA

### **RESUMEN**

El presente trabajo de grado se inició con la búsqueda y análisis de dos tipos de arenas que fueran oriundas del departamento de Santander las cuales dentro de sus características principales presentaran un contenido de finos menor al 10%, parámetro verificado mediante ensayos de granulometría ejecutados en el laboratorio. Habiendo sido seleccionadas las fuentes de material (arena de río), pertenecientes a los ríos el Playón y la Chimera, se procedió a ejecutar ensayos de gravedad específica (Gs) que permitieran obtener a través de las ecuaciones planteadas por Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi los respectivos coeficientes de permeabilidad (k) y así ser comparados con los valores de k obtenidos en el laboratorio por medio del ensayo de permeabilidad. Dicha comparación determinó que los valores obtenidos según las ecuaciones no son aplicables a las arenas analizadas. Por ende se realizó un ajuste a las ecuaciones anteriormente mencionadas arrojando como resultado constantes propias para cada arena estudiada, que lleva a la obtención de porcentajes de error aceptables para las ecuaciones de Allen Hazen y Schlichter tanto para la arena del río la Chimera como para la del río El Playón estando estos entre un 10 y 25%. Se determinó de igual forma que la fórmula de Terzaghi luego de ser ajustado su error inicial, aún presenta inconsistencias para la aplicabilidad a las arenas estudias ya que su rango supera el 30%.

**PALABRAS CLAVES:** Allen Hazen, Schlichter, Terzaghi, Coeficientes de Permeabilidad (k), Arena de Río, Chimera, El Playón

## GENERAL SUMMARY FOR GRADUATION ASSIGNMENT

TITLE: COMPARISON OF THE COEFFICIENT OF PERMEABILITY OBTAINED IN THE LABORATORY WITH THE CALCULATED ONES FROM ALLEN HAZEN'S, SCHLICHTER'S AND TERZAGHI'S FORMULAE FOR THE SANDS EXTRACTED FROM THE RIVER OF THE PLAYÓN AND OF THE RIVER THE CHIMERA LOCATED IN THE MUNICIPALITY OF THE PLAYÓN AND CIMITARRA

AUTHOR: JANNITH ELIANA ANGULO VANEGAS  
DIANA CAROLINA RINCON JAIMES

FACULTY: CIVIL ENGINEERING.

DIRECTOR: ING. GERARDO BAUTISTA GARCIA

### SUMMARY

This undergraduate project began with the search and further analysis of two types of sands native to Santander, Colombia. These sands contained less than 10% fines; this was verified with granulometry tests performed in the laboratory. The sand samples (river sands) correspond to the "Playón" and "Chimera" rivers. Specific gravity tests were performed on the samples to obtain their coefficient of permeability ( $k$ ) through the equations of Allen Hazen, Schlichter and Terzaghi. These values were then compared to the ones obtained from the permeability tests. This comparison showed that the values obtained by the use of the equations are not applicable to these particular samples. Consequently, the equations were modified to provide a better fit and adequately represent these samples; this was verified by reducing the error for both the "Chimera" and "Playón" samples, which ranges between 10 and 25%. It was determined Terzaghi's formula is not applicable for these samples even after adjusting the initial error; the error for this formula was greater than 30%.

KEY WORDS: Allen Hazen, Schlichter, Terzaghi, Coefficient of permeability ( $k$ ), River Sands, Chimera, Playón.

## INTRODUCCION

Dentro del desarrollo de procesos ingenieriles, es necesario el estudio detallado de los suelos y materiales que en ellos se requieran. Por ende, es de vital importancia el análisis a fondo de propiedades y características como la distribución granulométrica, capacidad de carga, capacidad para drenar agua, compresibilidad, resistencia cortante, entre otras.

Propiedades como la distribución granulométrica, gravedad específica relativa y el coeficiente de permeabilidad, son analizados a un nivel más detallado en el presente documento, con la finalidad de comprobar la aplicación de las ecuaciones de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi en contra posición a los datos adquiridos de manera práctica en el laboratorio para un coeficiente de permeabilidad ( $k$ ), en arenas procedentes de los ríos La Chimera y El Playón ubicados en el departamento de Santander.

Según los análisis y estudios realizados, los resultados concluyen que los coeficientes hallados por los diversos métodos tanto teóricos como prácticos, no son compatibles o no se encuentran dentro de un mismo rango. Cabe resaltar que la permeabilidad de un suelo está influenciada por factores como la presencia de discontinuidades dentro del mismo, la viscosidad del fluido, el tamaño de partículas y la continuidad de poros entre otros.

En el presente documento se exponen los objetivos tanto general como específicos del estudio, los antecedentes y respaldos teóricos estudiados dentro del análisis de resultados, la metodología seguida durante el desarrollo del mismo y las diversas tablas y gráficas arrojadas según los resultados obtenidos con sus respectivas conclusiones y recomendaciones para futuros proyectos que contemplen la temática aquí expuesta.

# 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 en las arenas extraídas del río del Playón y del Río la Chimera ubicados en el Municipio del Playón y Cimitarra, Santander.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar arenas que contengan un porcentaje menor al 10% de finos.
- Realizar ensayos de granulometría, gravedad específica relativa de suelos, permeabilidad, peso unitario.
- 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

El registro del primer uso del suelo como material de construcción se perdió en la antigüedad. Durante años, el arte de la ingeniería de suelos se basó únicamente en experiencias. Sin embargo, con el crecimiento de la ciencia y la tecnología, la necesidad de mejores y más económicos diseños estructurales se volvió crítica. Esto condujo a un estudio detallado de la naturaleza y propiedades del suelo en su relación con la ingeniería.<sup>1</sup>

Los suelos tienen vacíos interconectados a través de los cuales el agua puede fluir de puntos de alta energía a puntos de baja energía. Actualmente los estudios del flujo de agua a través de suelos como medio poroso se basan en los principios citados por los Señores Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi; siendo necesarios para estimar la cantidad de infiltración subterránea bajo varias condiciones hidráulicas, que implican el bombeo de agua para construcciones subterráneas y para el análisis de estabilidad de las presas y de estructuras de retención de tierra sometidas a fuerzas de penetración.<sup>2</sup>

Teniendo en cuenta lo anterior se realiza un breve resumen de los antecedentes de los estudios realizados para la obtención de coeficientes tanto de Permeabilidad como de Pesos específicos a través de la historia y de los estudios realizados por la Universidad Pontificia Bolivariana para las arenas de Santander, por poseer variedad en la composición y permitiendo establecer cuáles de las arenas pertenecientes al Departamento poseen las mejores condiciones para ser utilizadas de la manera más conveniente, teniendo en cuenta los principios planteados a continuación:

---

<sup>1</sup> Braja M. Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. California University, Sacramento 1999. COPYRIGHT por International Thomson Editores, 2001

<sup>2</sup> *Ibidem*.

## 2.1 ANTECEDENTES MUNDIALES

A continuación se enuncian las ecuaciones obtenidas por los Señores Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi; en relación a los estudios realizados por ellos, para establecer los principios del flujo del agua a través de los suelos como medio poroso.<sup>3</sup>

### 2.1.1 FORMULA DE ALLEN HAZEN

Basado en sus estudios empíricos el científico ALLEN HAZEN, obtuvo la siguiente ecuación para hallar el coeficiente de permeabilidad en arenas sueltas muy uniformes:<sup>4</sup>

$$k = C * (D_{10})^2 \text{ (cm/seg)}$$

Dónde:  $100 \leq C_1 \leq 150$

$D_{10}$ : Tamaño efectivo en centímetros

- Corrección por temperatura:

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

### 2.1.2 FORMULA DE SCHLICHTER

Basándose en estudios empíricos, decide introducir una corrección por compacidad en función de la porosidad ( $\eta$ )<sup>5</sup>(Tabla 1)

---

<sup>3</sup> Mg. Silvia Angelone - Ing. María Teresa Garibay y Marina CauchapéCasaux, Geología y Geotecnia Permeabilidad de Suelos, Universidad Nacional del Rosario. Bogotá, 2006. p. 33.

<sup>4</sup> Ibíd.

<sup>5</sup> Ibíd.

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

**Tabla 1. Corrección por Compacidad en Función de la Porosidad**

$\eta$	0.26	0.38	0.46
C	83.4	24.1	12.8

Fuente: Permeabilidad de Suelos, Geología y Geotecnia, Universidad Nacional del Rosario.

### 2.1.3 FORMULA DE TERZAGHI

Para KARL VON TERZAGHI, ingeniero austriaco considerado en los tiempos de hoy como el padre de la Mecánica de Suelos y la Ingeniería Geotécnica, estableció dentro de su fórmula para determinar el coeficiente de permeabilidad (k), la necesidad de introducir una constante que contemplara la porosidad y el tipo de suelo estudiado tal como se muestra a continuación<sup>6</sup>: (Tabla2)

**Tabla 2. Constante  $C_0$ , en función de la porosidad y tipo de suelos**

TIPO DE SUELO	$C_0$
Arena Grano Redondeado	800
Arena Grano Anguloso	460
Arena con Limos	< 400

Fuente: Permeabilidad de Suelos, Geología y Geotecnia, Universidad Nacional del Rosario.

- Ecuación propuesta por Terzaghi:

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

$$\text{Dónde: } C_1 = C_0 * \left( \frac{n - 0,13}{\sqrt[3]{1 - n}} \right)^2$$

<sup>6</sup> Mg. Silvia Angelone - Ing. María Teresa Garibay y Marina CauchapéCasaux, Geología y Geotecnia Permeabilidad de Suelos, Universidad Nacional del Rosario. Bogotá, 2006. p. 34.

Teniendo en cuenta que:

$n = \text{Porosidad}$

$C_0 = \text{Coeficiente que depende del tipo de suelo}$

## 2.2 ANTECEDENTES REGIONALES

La Universidad Pontificia Bolivariana se ha interesado por el estudio y la clasificación de las arenas existentes en el Departamento de Santander debido a su diversidad; los estudios más recientes se presentan en la tabla 3.

**Tabla 3 Estudios realizados en la Universidad Pontificia Bolivariana.**

INVESTIGADORES Y FECHA DE PUBLICACIÓN	ARENAS ESTUDIADAS	AUTORES	CONSTANTES OBTENIDAS
Ketty Plata (2007)	Pescadero	HAZEN	C= 8,55
		SCHLICHTER	C= 92,435
		TERZAGHI	C1= 8,553 Co= 130,07
	Bocas	HAZEN	C= 7,74
		SCHLICHTER	C= 92,876
		TERZAGHI	C1= 7,738 Co= 175,30
	Topos	HAZEN	C= 8,37
		SCHLICHTER	C= 94,889
		TERZAGHI	C1= 8,372 Co= 154,22
Héctor Bayona / Sergio Prada (2008)	Río Sogamoso	HAZEN	C= 13,10
		SCHLICHTER	C= 61,81
		TERZAGHI	C1= 13,097 Co= 100,19
	Río Magdalena	HAZEN	C= 7,78
		SCHLICHTER	C= 101,72
		TERZAGHI	C1= 7,778 Co= 89,88

Continúa pág. siguiente

<b>Paula Moreno / Mauricio Vargas (2008)</b>	Río Manco	HAZEN	C= 32,47
		SCHLICHTER	C= 27,30
		TERZAGHI	C1= 32,467 Co= 757,35
	Río Frío	HAZEN	C= 88,14
		SCHLICHTER	C= 9,41
		TERZAGHI	C1= 88,141 Co= 759,19
<b>Jurley Vanessa Rincón / Luisa Fernanda Uribe (2009)</b>	Río de Oro	HAZEN	C= 8,91
		SCHLICHTER	C= 86,73
		TERZAGHI	C1= 8,908 Co= 133,29
		HAZEN	C= 6,20
		SCHLICHTER	C= 126,64
		TERZAGHI	C1= 6,204 Co= 93,09
<b>Fabián Orlando Jaimes Quijano (2009)</b>	Quebrada Aranzoque	HAZEN	C= 37,71
		SCHLICHTER	C= 20,46
		TERZAGHI	C1= 37,714 Co= 303,77
<b>Lady Magred Jaimes Hernández / Mauricio Alonso Gómez Gualdrón (2010)</b>	Río Toná	HAZEN	C= 10,24
		SCHLICHTER	C= 79,62
		TERZAGHI	C1= 10,244 Co= 43,09
	Trituradora INGESAN S.A	HAZEN	C= 18,08
		SCHLICHTER	C= 44,04
		TERZAGHI	C1= 18,079 Co= 65,97

Fuente: Autor (es)

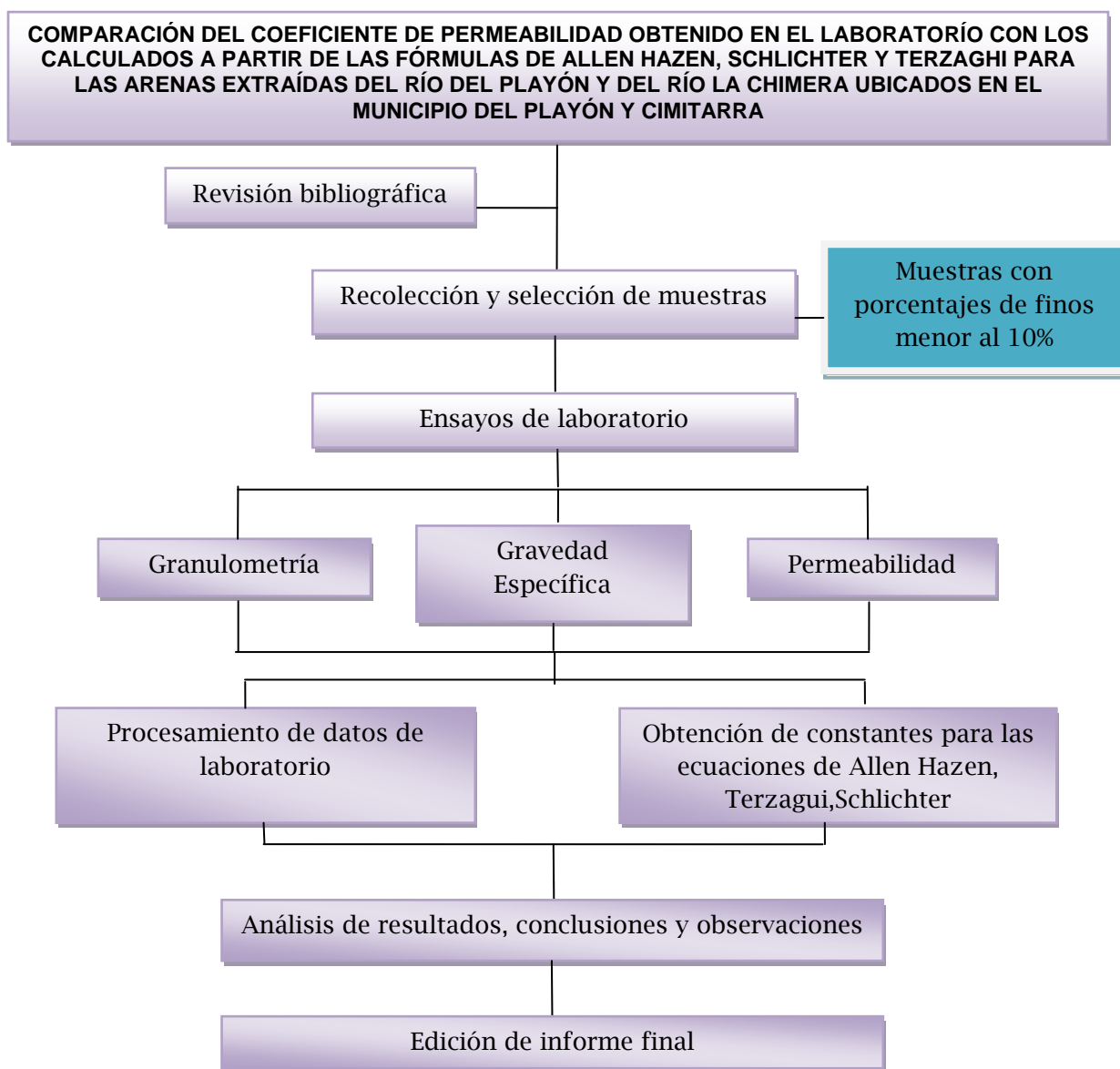
### 3 METODOLOGIA

Durante el desarrollo del presente proyecto se llevaron a cabo las siguientes actividades en forma ordenada:

- Revisión Bibliográfica: se realizó la revisión bibliográfica necesaria para la formulación del proyecto, así como todos los documentos soporte y normas necesarias para ejecución del mismo.
- Recolección y selección de Muestras: las muestras recolectadas pertenecen a los ríos El Playón y La Chimera, ubicados en los municipios del Playón y Cimitarra respectivamente, dichas muestras fueron extraídas mediante la utilización de herramienta menor como palas, sacos entre otras. La selección de estas muestras de arena, estuvo determinada por la presencia de finos menor al 10%, las cuales fueron posteriormente almacenadas en el laboratorio para la realización de pruebas y ensayos requeridos.
- Ensayos de laboratorio: se efectuaron ensayos de laboratorio de granulometría, gravedad específica y permeabilidad a las muestras recolectadas.
- Análisis de resultados, conclusiones y observaciones: posterior a la realización de los ensayos, se procedió a efectuar un análisis a los resultados obtenidos, para la obtención de las constantes de las ecuaciones estudiadas para cada arena, comparadas con los coeficientes de permeabilidad encontrados en el laboratorio y así obtener las conclusiones al respecto del proyecto y formular las observaciones pertinentes al mismo.
- Edición de informe final: todos los datos, resultados y demás memorias fueron recopilados y editados para su posterior uso y/o aprovechamiento

por parte de la universidad. En la figura 1, se presenta el diagrama de flujo de los procedimientos y actividades a seguir para la elaboración del proyecto.

Figura N° 1 Diagrama de flujo de procedimientos y actividades



Fuente: Autores

## 4 MARCO TEORICO

El desarrollo continuo de procesos de interperismo, en donde varios tipos de rocas a través de fenómenos mecánicos y químicos permiten su fractura convirtiéndose en rocas pequeñas, cierta parte de estas rocas permanece en el mismo lugar cubriendo la roca madre de la que fueron derivados y son llamados suelos residuales. Así mismo, otra parte de este suelo es transportado por medios físicos y depositados allí<sup>7</sup>.

Los suelos en general e independientemente de su procedencia presentan un amplio rango según el tamaño de sus partículas, en donde según el predominio de las mismas permite que sean llamados grava, arena y limo o arcilla.

Las *gravas y arenas* son fragmentos de rocas ocasionalmente con partículas de cuarzo, feldespato y otros minerales.

Los *limos* son fracciones microscópicas de cuarzo y algunas partículas en forma de escamas (hojuelas) que son fragmentos de minerales micáceos.

Las *arcillas* son partículas microscópicas en forma de escamas de mica, minerales arcillosos y otros minerales. Las arcillas se definen como partículas a 0.002 mm.<sup>8</sup>

---

<sup>7</sup> Braja M. Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. California University, Sacramento 1999. COPYRIGHT por International Thomson Editores, 2001. p. 1.

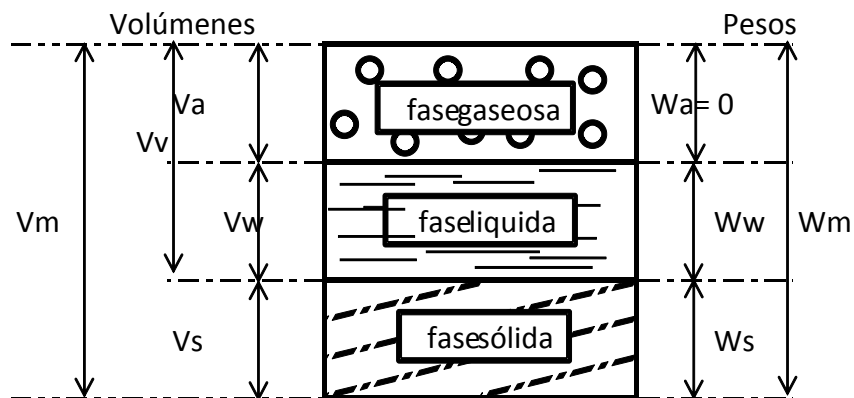
<sup>8</sup>Braja M. Das, Op.Cit., p.3.



#### 4.1 RELACION ENTRE LAS FASES DEL SUELO

En un elemento de suelo se puede definir como un sistema de varias fases, debido a la discontinuidad que puedan presentar sus partículas dejando ver así específicamente tres: **sólida** (partículas minerales), **gaseosa** y **liquida** (agua generalmente). Véase la figura 2<sup>9</sup>

Figura N° 2 Fases de una muestra de suelo



Dónde:

- $V_m$  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

La figura anterior permite apreciar cómo podrían presentarse en una muestra de suelo las tres fases, las cuales se expresan tanto en volumen como en peso, a la izquierda y derecha de la figura respectivamente.

<sup>9</sup> JUAREZ BADILLO - RICO RODRIGUEZ. Mecánica de Suelos. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Ed. Limusa. Tomo I.

Existen tres importantes relaciones de volumen: porosidad, relación de vacíos y grado de saturación.

#### 4.1.1 POROSIDAD:

Es la relación existente entre el volumen de huecos presentes en una muestra de suelo y el volumen total de la misma; suele multiplicarse generalmente por 100, dándose así los valores en porcentaje.

#### 4.1.2 RELACIÓN DE VACIOS:

Es expresada en forma decimal y por lo general alcanza valores superiores a la unidad en donde lo que se evalúa es la relación existente entre el volumen de huecos vacíos y el de partículas sólidas

Tanto la porosidad como la relación de vacíos indican el porcentaje relativo del volumen de poros en una muestra de suelo. Existen las siguientes relaciones entre la porosidad  $n$  y la relación de vacíos  $e$ .<sup>10</sup>

$$n = \frac{e}{1+e} \quad Y \quad e = \frac{n}{1-n}$$

#### 4.1.3 GRADO DE SATURACIÓN( $S$ ):

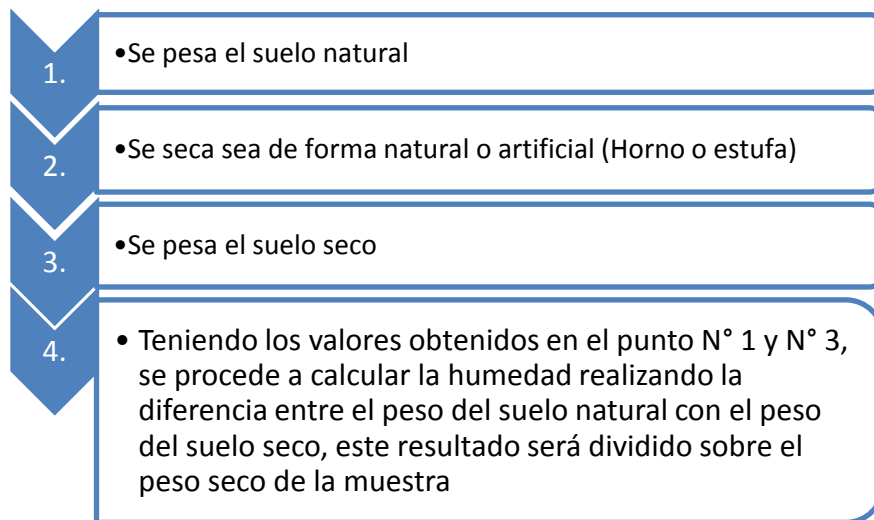
Indica el porcentaje de volumen de huecos que esta relleno de agua. En donde un  $S = 0$ , indica el porcentaje de volumen seco,  $S = 100\%$  un suelo saturado y un valor entre el 0 y el 100% indica un suelo semisaturado.<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup>T. William lambe, Robert v. Whitman, Mecánica de Suelos. Instituto Tecnológico de Massachusetts. Editorial LIMUSA S.A. México, 2004. p. 41.

La relación entre los pesos de las fases anteriormente mencionadas es el contenido de agua, también llamado *humedad*, en donde se analiza el peso del agua dividido por el peso de partículas sólidas en un elemento de suelo. La humedad de una muestra de suelo se obtiene directamente por el siguiente método, ver figura 3.

Figura N° 3 Obtención de la Humedad



Fuente: Autores

El método descrito anteriormente parte del supuesto que el agua es el único producto evaporable presente en el suelo, excepto cuando se trabaja con suelos orgánicos o suelos que contienen volátiles como el asfalto.

#### 4.1.4 PESO ESPECÍFICO

El *peso específico aparente o total*  $\gamma_t$ , es el peso de un elemento de suelo dividido por el volumen de dicho elemento. En cuanto que el *peso específico seco*, es el peso de las partículas minerales dividido por el volumen total del elemento. Los pesos

---

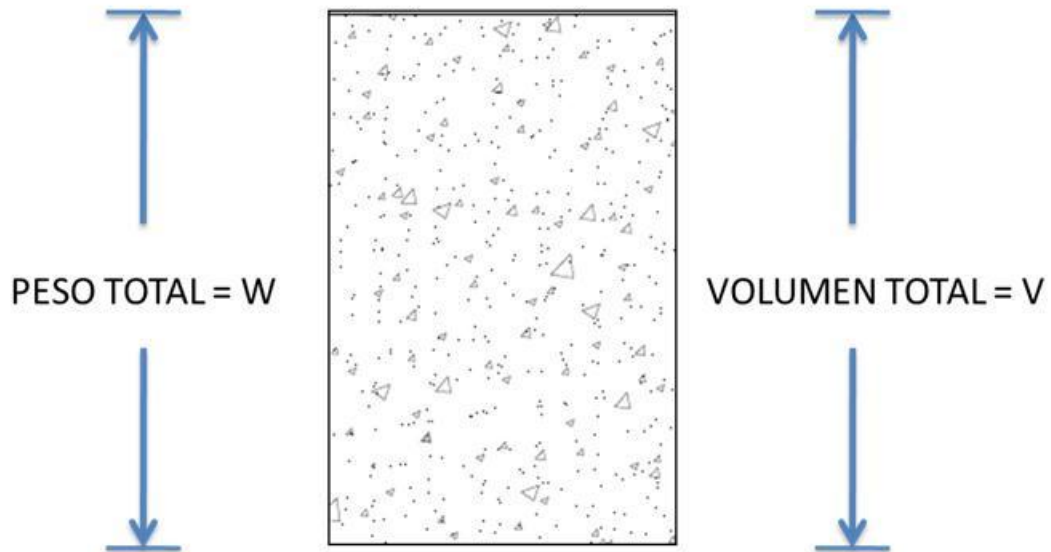
<sup>11</sup>T. William lambe, Robert v. Whitman, Mecánica de Suelos. Instituto Tecnológico de Massachusetts. Editorial LIMUSA S.A. México, 2004. p. 41.

específicos se expresan en unidades de peso por volumen, como gramos por centímetro cúbico ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ) y toneladas por metro cúbico ( $\text{ton}/\text{m}^3$ )<sup>12</sup>.

#### 4.2 RELACIONES VOLUMETRICAS Y GRAVIMETRICAS

Para desarrollar el concepto es necesario remitirnos a la figura 4 en donde se expone una muestra de un elemento de suelo de volumen  $V$  y peso  $W$  como existe en estado natural. Para desarrollar las relaciones volumétricas y gravimétricas, se hace necesario separar las tres fases del suelo (es decir: solido, agua y aire) como se muestra en la figura 3.

Figura N° 4 Elemento de suelo en estado natural



FUENTE: Tomado del Libro Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das. Pág. 18

---

<sup>12</sup>T. William lambe, Robert v. Whitman, Mecánica de Suelos. Instituto Tecnológico de Massachusetts. Editorial LIMUSA S.A. México, 2004. p. 41.

El volumen total de una muestra de suelo está dado por:

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a$$

Dónde:

$V_s$  = volumen de sólidos de suelo.

$V_v$  = volumen de vacíos

$V_w$  = volumen de agua en los vacíos

$V_a$  = volumen de aire en los vacíos

Suponiendo que el peso del aire es despreciable, se puede dar el peso total de la muestra como:

$$W = W_s + W_w$$

Dónde:

$W_s$  = peso de los sólidos del suelo

$W_w$  = peso del agua

Como se ha enunciado anteriormente las relaciones volumétricas usadas para las tres frases en un elemento de suelo son *relación de vacíos, porosidad y grado de saturación*<sup>13</sup> En donde la *relación de vacíos*( $e$ ) se define como la razón del volumen de vacíos al volumen de sólidos,

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

La *porosidad* ( $n$ ) se define como la razón del volumen de vacíos al volumen total,  
o

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

---

<sup>13</sup>Braja M. Das, Op.Cit., p.17

El grado de saturación ( $S$ ) se define como la razón del volumen de agua en los vacíos al volumen total, o

$$S = \frac{V_w}{V_v}$$

El grado de saturación se expresa comúnmente como porcentaje.

Teniendo como base lo anterior se puede obtener la siguiente relación

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{V - V_v} = \frac{\left(\frac{V_v}{V}\right)}{1 - \left(\frac{V_v}{V}\right)} = \frac{n}{1 - n}$$

De la ecuación anterior se tiene que:

$$n = \frac{e}{1 + e}$$

El *contenido de humedad* y el *peso específico*, son las relaciones gravimétricas comunes en el estudio de la mecánica de suelos. El *contenido de humedad* ( $w$ ) se llama también *contenido de agua* y se define como la relación del peso de agua entre el peso de sólidos en un volumen dado de suelo<sup>14</sup>, o

$$w = \frac{W_w}{W_s}$$

El peso específico( $\gamma$ ) es el peso del suelo por volumen unitario:

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

El peso específico se expresa también en términos del peso de sólidos del suelo, contenido de agua y volumen total, es decir:

---

<sup>14</sup>Braja M. Das, Op.Cit., p.19

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{W_s \left[ 1 + \left( \frac{W_w}{W_s} \right) \right]}{V} = \frac{W_s(1 + w)}{V}$$

A veces es necesario conocer el peso por volumen unitario de suelo excluida el agua, denominado *peso específico seco*  $\gamma_d$ . Entonces,

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

Por tanto se puede relacionar el peso específico, peso específico seco y contenido de agua como

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w}$$

#### 4.2.1 RELACIONES ENTRE PESO ESPECÍFICO, RELACION DE VACIOS, CONTENIDO DE AGUA Y DENSIDAD DE LOS SÓLIDOS.

Para determinar la relación existente entre peso específico (o densidad), relación de vacíos y contenido de agua, se debe partir del hecho que se toma un volumen de los sólidos del suelo igual a 1, como se muestra en la figura N°5 Si el volumen de los sólidos de suelo es 1, entonces el volumen de vacíos es numéricamente igual a la relación de vacíos( $e$ ).<sup>15</sup>

Los pesos de los sólidos del suelo y agua se dan como:

$$W_s = G_s \gamma_w$$

$$W_w = w W_s = w G_s \gamma_w$$

---

<sup>15</sup> Braja M. Das, Op.Cit., p.20

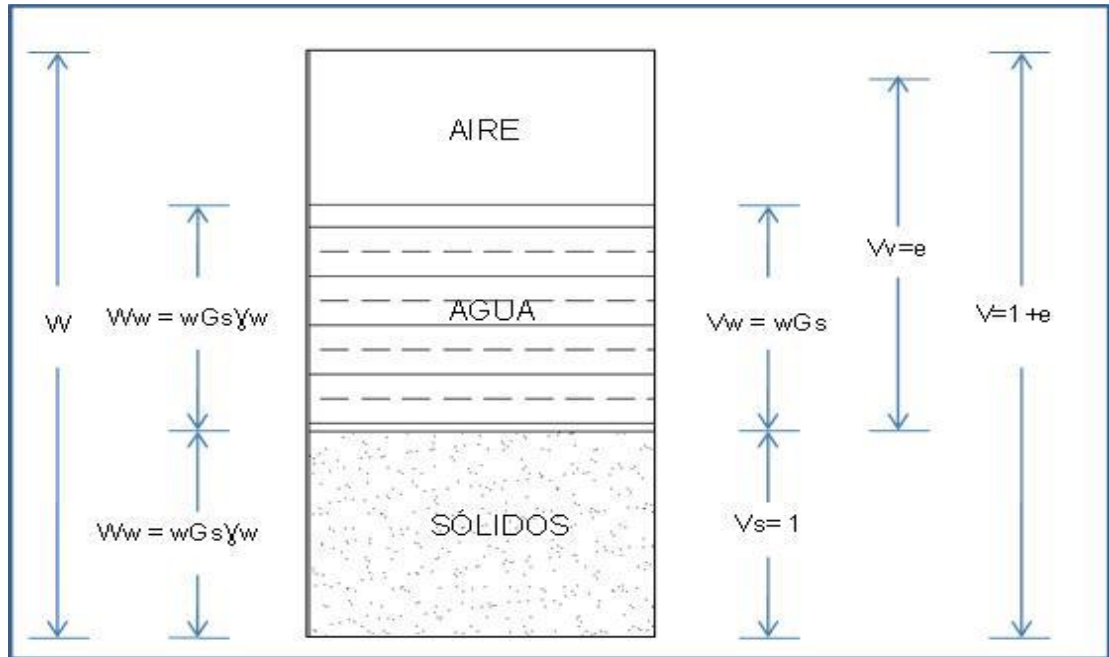
Donde,

$G_s$  = densidad de sólidos

$w$  = contenido de agua

$\gamma_w$  = peso específico del agua

Figura N° 5 Fases del suelo, Volumen de sólidos igual 1



FUENTE: Tomado del Libro Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das. Pág. 21

El peso específico del agua es  $9.81 \text{ KN/m}^3$ . Si se relaciona la definición de peso específico y del peso unitario seco, se puede obtener:

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{G_s\gamma_w + wG_s\gamma_w}{1 + e} = \frac{(1 + w)G_s\gamma_w}{1 + e}$$

Y

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{G_s\gamma_w}{1 + e}$$



Como el peso del agua en el elemento de suelo en consideración es  $wG_s\gamma_w$ , entonces el volumen ocupado por el agua está dado por:

$$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = \frac{wG_s\gamma_w}{\gamma_w} = wG_s$$

Por consiguiente y teniendo en cuenta la definición correspondiente al grado de saturación, se tiene que:

$$S = \frac{V_w}{V_v} = \frac{wG_s}{e}$$

O

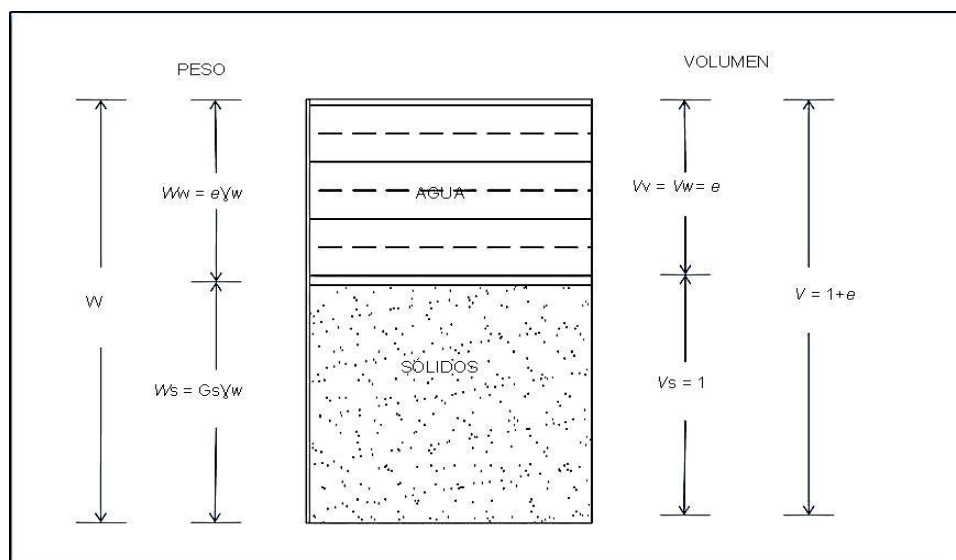
$$Se = wG_s$$

Si se tiene que la muestra de suelo está *saturada*, ver figura N°6, es decir, que los vacíos están completamente llenos con agua, la relación para el peso específico del suelo se obtiene en forma similar:

$$\gamma_{sat} = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{G_s\gamma_w + e\gamma_w}{1 + e} = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{1 + e}$$

Donde,  $\gamma_{sat}$  = peso específico saturado del suelo.

**Figura N° 6 Muestra de suelo saturada con volumen de sólidos igual a 1**



FUENTE: Tomado del Libro Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das. Pág. 22

### 4.3 CLASIFICACION DEL SUELO

Con el fin de mantener un lenguaje común, a nivel mundial se han desarrollado sistemas de clasificación de suelos que expresen de manera concisa las características generales de los mismos. Siendo así, los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos basados en su comportamiento ingenieril. En la actualidad, la clasificación de los suelos se desarrolla mediante dos sistemas que usan la distribución por tamaño de grano y plasticidad. Estos son el Sistema de Clasificación AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.<sup>16</sup> El Sistema AASHTO es usado principalmente en los departamentos de caminos estatales y de condados, mientras que el Sistema Unificado se usa con mayor frecuencia para aspectos de geotecnia.

#### 4.3.1 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS

El Sistema Unificado de Clasificación presenta dos amplias categorías:

1. Suelos de grano grueso, Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo G o S. G significa grava o suelo gravoso y S significa arena o suelo arenoso, el parámetro para su clasificación es que dentro de su granulometría presenten menos del 50% pasando por la malla No 200.
2. Los suelos de grano fino con 50% o más pasando por la malla No 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M, que significa limo orgánico, C para arcilla inorgánica u O para limos y arcillas orgánicas. El símbolo Pt se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos.<sup>17</sup>

---

<sup>16</sup>Braja M. Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. California University, Sacramento 1999. COPYRIGHT por International Thomson Editores, 2001. p. 35

<sup>17</sup>Braja M. Das, Op.Cit., p.37

Otros símbolos son también usados para la clasificación:

- W: bien graduado
- P: mal graduado
- L: baja plasticidad (límite líquido menor que 50)
- H: alta plasticidad (límite líquido mayor que 50)

Para una clasificación apropiada con este sistema, se debe conocer:

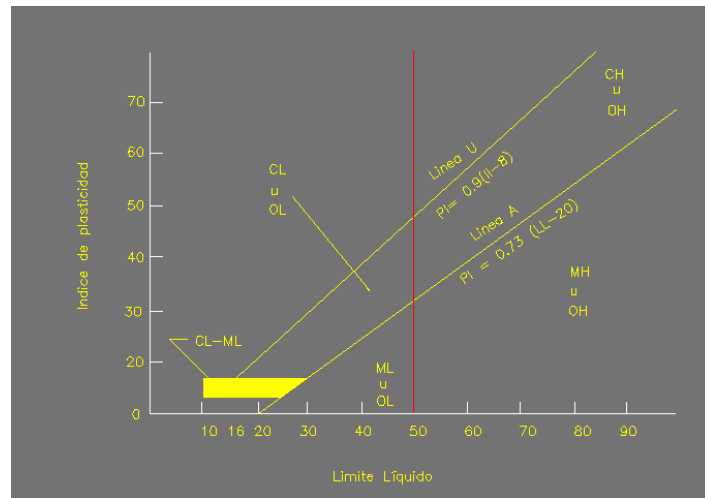
1. Porcentaje de grava, es decir, la fracción que pasa la malla de 76.2 mm y es retenida en la malla No 4 (abertura de 4.75mm)
2. Porcentaje de arena, es decir, la fracción que pasa la malla No 4 (abertura de 4.75 mm) y es retenida en la malla No 200 (abertura de 0.075 mm)
3. Porcentaje de limo y arcilla, es decir, la fracción de finos que pasan la malla No 200 (abertura de 0.075 mm)
4. Coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) y coeficiente de curvatura ( $C_z$ )
5. Límite líquido e índice de plasticidad de la porción del suelo que pasa por la malla No 40

Los símbolos de grupo para suelos tipo grava de grano grueso son GW, GP, GM, GC, GC-GM, GW-GC, GP-GM, Y GP-GC. Similarmente, los símbolos de grupo para suelos de grano fino son CL, ML, OL, CH, MH, OH, CL-ML y Pt. A continuación se presenta en la figura N°7, la carta de plasticidad que permite la clasificación de los suelos según el Sistema Unificado.<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup>Braja M. Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. California University, Sacramento 1999. COPYRIGHT por International Thomson Editores, 2001. p. 41

**Figura N° 7 Carta de Plasticidad, Clasificación de los suelos según el Sistema Unificado**



FUENTE: Tomado del Libro Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das. Pág. 41

#### 4.3.2 CURVAS DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA

Al llevar a cabo ensayos de granulometría por medio del análisis por cribado, generalmente los datos obtenidos suelen representarse en graficas semilogarítmicas como curvas de distribución granulométrica. Los diámetros de las partículas se grafican en escala logarítmica y el porcentaje correspondiente a finos en escala aritmética<sup>19</sup>. Un ejemplo de ello se puede apreciar en el presente trabajo, capítulo 5 RESULTADOS OBTENIDOS, donde se mencionan los ensayos de granulometrías realizados en esta investigación así como su análisis.

Los porcentajes de grava, arena, limo y partículas tamaño arcilla presentes en un suelo se obtiene de la curva de distribución granulométrica.

---

<sup>19</sup>Braja M. Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. California University, Sacramento 1999. COPYRIGHT por International Thomson Editores, 2001. p. 11-12.

### 4.3.3 TAMAÑO EFECTIVO, COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y COEFICIENTE DE CURVATURA

Las curvas granulométricas se usan para comparar diferentes suelos y esencialmente para su clasificación, así como también la determinación de los parámetros básicos de cada suelo. Los parámetros del suelo son:

1. Diámetro efectivo
2. Coeficiente de uniformidad
3. Coeficiente de curvatura

El diámetro en la curva de distribución del tamaño de las partículas correspondiente al 10% de finos se define como diámetro efectivo, o  $D_{10}$  y está dado por la relación:

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

Donde

$C_u$  = coeficiente de uniformidad

$D_{60}$  = diámetro correspondiente al 60% de finos en la curva de distribución granulométrica

*El coeficiente de curvatura se expresa como:*

$$C_z = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$$

Un suelo bien gradado tiene un coeficiente de uniformidad mayor de aproximadamente 4 para gravas y 6 para arenas, y un coeficiente de curvatura

entre 1 y 3 (para gravas y arenas). Un suelo puede tener una combinación de dos o más fracciones uniformemente gradadas.<sup>20</sup>

#### 4.4 PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS

En una muestra de suelo tanto la micro como la macro estructura presentan gran influencia en el grado de permeabilidad que está presente y dado que se hace difícil la obtención de muestras representativas, suelen ser necesarias determinaciones *in situ* de la permeabilidad media.

Entre los métodos utilizados en laboratorio para la determinación de la permeabilidad están:

1. El permeámetro de carga variable.
2. El permeámetro de carga constante.
3. La medida directa o indirecta mediante una prueba de edometría.

Como es necesaria una permeabilidad relativamente grande para obtener una buena precisión en la prueba de carga variable, esta se limita a suelos permeables. Además, el grado de saturación de un suelo no saturado varía durante la prueba por lo que esta solo puede utilizarse en suelos saturados<sup>21</sup>.

El coeficiente de permeabilidad puede calcularse a partir de la fórmula:

$$k = 2.3 \frac{aL}{A(t_1 - t_0)} \log_{10} \left( \frac{h_0}{h_1} \right)$$

---

<sup>20</sup>Braja M. Das, Op.Cit., p. 13.

<sup>21</sup>T. William lambe, Robert v. Whitman, Mecánica de Suelos. Instituto Tecnológico de Massachusetts. Editorial LIMUSA S.A. México, 2004. p. 299.

Dónde:

$a$  = sección transversal de la bureta

$L$  = longitud de la muestra de suelo en el permeámetro

$A$  = sección transversal

$t_0$  = instante en el que el nivel de agua en la bureta esta en  $h_0$

$t_1$  = instante en el que el nivel de agua en la bureta esta en  $h_1$

$h_0, h_1$  = alturas entre las que se determina la permeabilidad

El coeficiente de permeabilidad se deduce de la fórmula:

$$k = \frac{QL}{thA}$$

Dónde:

$Q$  = caudal de agua que se filtra a través del suelo en un tiempo  $t$

$h$  = pérdida de carga total

La permeabilidad a la temperatura  $T$ ,  $k_t$ , puede reducirse a la correspondiente a  $20^\circ\text{C}$ ,  $k_{20^\circ\text{C}}$ , mediante la expresión:

$$k_{20^\circ\text{C}} = \frac{\mu_T}{\mu_{20^\circ}} k_T$$

Donde

$k_{20^\circ\text{C}}$  = permeabilidad a la temperatura de  $20^\circ\text{C}$

$k_T$  = permeabilidad a la temperatura  $T$

$\mu_{20^\circ}$  = viscosidad del agua a la temperatura de  $20^\circ\text{C}$

$\mu_T$  = viscosidad del agua a la temperatura  $T$ .

En la tabla 4, se muestra una clasificación de los suelos según la permeabilidad.

**Tabla 4 (valores típicos de permeabilidad para los suelos saturados)**

TIPO DE SUELO	K (cm/s)
Grava limpia	100 - 1
Arena gruesa	1.0 - 0.01
Arena fina	0.01 - 0.001
Arcilla limosa	0.001 - 0.00001
Arcilla	0.000001

Fuente: Autores

El valor del coeficiente de permeabilidad  $K$  varia ampliamente para diferentes suelos, en la tabla 4 se dan algunos valores típicos para suelos saturados. La permeabilidad de los suelos no saturados es menor y crece rápidamente con el grado de saturación.

La permeabilidad también está relaciona con las propiedades del fluido que pasa a través del suelo por la siguiente ecuación:

$$k = \frac{\gamma_w}{\eta} \bar{K}$$

Dónde:

$\gamma_w =$  peso específico del agua

$\eta =$  viscosidad del agua

$\bar{K} =$  permeabilidad absoluta

La *permeabilidad absoluta*,  $\bar{K}$ , se expresa en unidades de longitud al cuadrado es decir en  $\text{cm}^2$ .



## 5 RESULTADOS OBTENIDOS

### 5.1 GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS

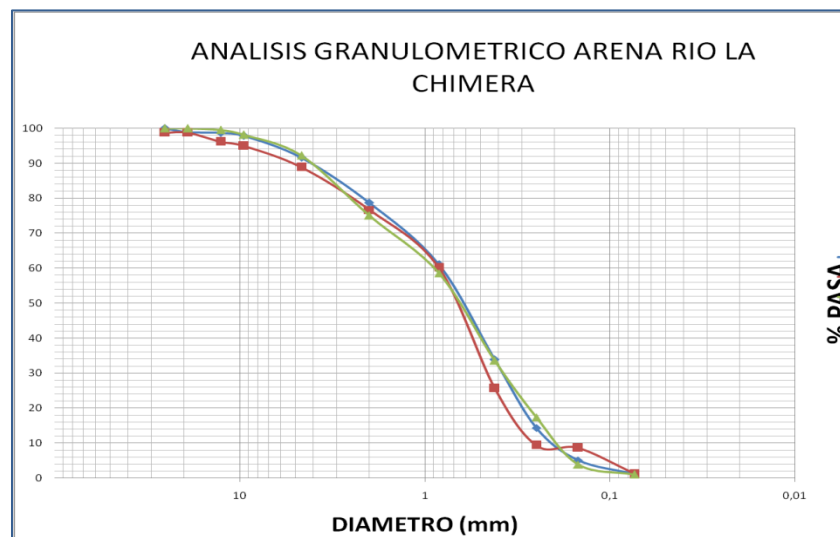
Una vez realizados los 3 ensayos de granulometría a las arenas seleccionadas, estas arrojaron los siguientes resultados representados en la tabla 5:

#### 5.1.1 GRANULOMETRIA ARENA RÍO LA CHIMERA

Tabla 5 Resultados Análisis Granulométrico Río La Chimera

TIPO DE MATERIAL	CONTENIDO
ARENAS	89.78 %
GRAVAS	9.08 %
FINOS	1.14 %
D <sub>10</sub>	0,26mm
D <sub>30</sub>	0,46mm
D <sub>60</sub>	0,83 mm
Cu	3.19
Cc	0,98

Figura N° 8 Ensayos granulometricos arena río La Chimera



Fuente: Autores

### 5.1.1.1 Clasificación del suelo de Arena del río La Chimera

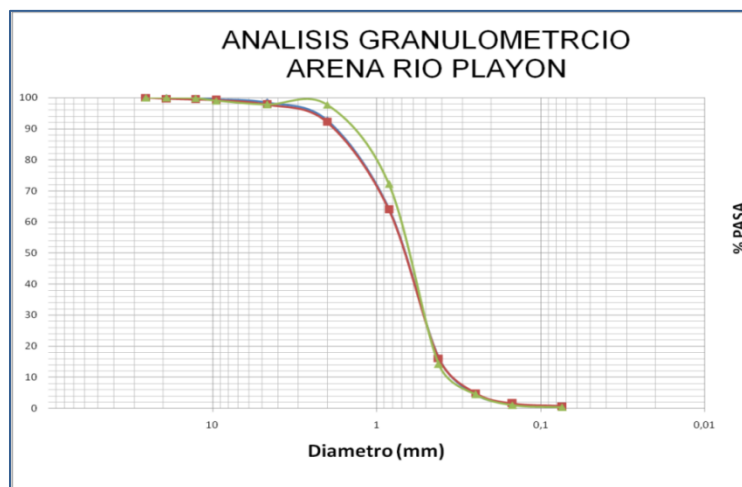
La arena del Río La Chimera presenta un contenido de finos menor al 5% que pasa por la malla # 200, encontrándose que el mayor porcentaje de fracción gruesa pasa por la malla #4, de igual forma los resultados dejan ver que la arena analizada no cumple con los parámetros de  $C_u > 6$  y  $C_c$  (1-3), por tanto es una arena mal gradada (SP) según el Sistema Unificado de Suelos SUCS, ver figura 7.

### 5.1.2 GRANULOMETRIA ARENA RÍO EL PLAYON

**Tabla 6 Resultados Análisis Granulométrico Río El Playón**

TIPO DE MATERIAL	CONTENIDO
ARENAS	98,16 %
GRAVAS	1,98 %
FINOS	0,53 %
$D_{10}$	0,36 mm
$D_{30}$	0,51 mm
$D_{60}$	0,76 mm
$C_u$	32,11
$C_c$	0,95

**Figura N° 9 Ensayos granulométricos arena río El Playón**



Fuente: Autores

### 5.1.2.1 Clasificación del suelo de Arena del río El Playón

La arena del Río El Playón presenta un contenido de finos menor al 5% que pasa por la malla # 200, encontrándose que el mayor porcentaje de fracción gruesa pasa por la malla #4, de igual forma los resultados dejan ver que la arena analizada no cumple con los parámetros de  $C_u > 6$  y  $C_c (1-3)$ , por tanto es una arena mal gradada (SP) según el Sistema Unificado de Suelos SUCS, ver figura 7.

## 5.2 CONSTANTES DE PERMEABILIDAD

Para la obtención de la permeabilidad de cada una de las arenas analizadas fue necesario realizar 30 ensayos según el método de cabeza constante, con el fin de obtener una constante de laboratorio y así hallar el promedio y la desviación estándar de los datos obtenidos. A continuación se presenta un cálculo tipo de un ensayo realizado.

### 5.2.1 ENSAYO N° 1 - MUESTRA RÍO LA CHIMERA (MÉTODO CABEZA CONSTANTE)

**Tabla 7 DATOS DEL MOLDE UTILIZADO**

<b>Diámetro (<math>\emptyset</math>)</b>	<b>6,5 cm</b>
<b>Altura (<math>L</math>)</b>	<b>3.9 cm</b>
<b>Área (<math>A</math>)</b>	$A = \frac{(\pi * \emptyset^2)}{4} = \frac{(\pi * 6.5^2)}{4} = 33.18$
<b>Volumen (<math>V</math>)</b>	$V = (A * L) = (33.18 * 3.9) = 129.402$

Fuente: Autores

**Tabla 8 DATOS DEL PERMEÁMETRO UTILIZADO**

<b>Peso cámara + base (Pcb)</b>	<b>1487,6 gr</b>
<b>Peso de la cámara + base + suelo (Pcbs)</b>	<b>1721,0 gr.</b>
<b>Peso del suelo (Ps)</b>	$P_s = (P_{cbs} - P_{cb}) = (1721.0 - 1487.6) = 233.4\text{gr}$
<b>Cabeza de Agua (h)</b>	<b>65,0 cm.</b>

Fuente: Autores

**Tabla 9 DATOS TOMADOS DURANTE EL ENSAYO TIPO:**

<b>Tiempo (t) (seg.)</b>	<b>180 seg.</b>
<b>Temperatura (T) (°C)</b>	<b>23,5 °C</b>
<b><math>n_T / n_{20}</math> (T : 23.5°C)</b>	<b>0,9311</b>
<b>Caudal promedio :</b>	<b>569cm<sup>3</sup>/seg</b>

Fuente: Autores

- $Q_{prom} = \frac{(610+595+580+570+560+555+545+540)}{8} = 569 \text{ cm}^3/\text{seg}$

$$Q_{promedio} = 569 \text{ cm}^3/\text{seg}$$

- Permeabilidad ( $K_T$ ) : (  $Q_{prom} * L$  ) / (  $A * h * t$  )

$$K_t = \frac{\left( Q_{Promedio} \left( \frac{\text{cm}^3}{\text{seg}} \right) * L(\text{cm}) \right)}{A(\text{cm}^2) * h(\text{cm}) * t(\text{seg})} = \frac{569 \left( \frac{\text{cm}^3}{\text{seg}} \right) * 3.9(\text{cm})}{33.18 (\text{cm}^2) * 65(\text{cm}) * 180(\text{seg})} = 0.0057 \frac{\text{cm}}{\text{Seg}}$$

Permeabilidad ( $K_T$ ): 0,0057 cm/seg.

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

$$K_{20} : (0.0057 * 0,9311) = 0.0053 \text{ cm/seg.}$$

### 5.3 RESULTADOS DE PERMEABILIDAD DE LAS ARENAS ANALIZADAS:

#### 5.3.1 PERMEABILIDAD ARENA RÍO LA CHIMERA

En la tabla 10 se muestra un cuadro resumen de los 30 ensayos correspondientes a los resultados obtenidos a través del método de cabeza constante para el río la Chimera. Manteniendo una temperatura constante de 23.5 °C.

**Tabla 10 Permeabilidades Río La Chimera**

Muestra	temperatura	Kt (cm/seg)	K <sub>20</sub> (cm/seg)
1	23,5	0,005719533	0,005325457
2	23,5	0,00735012	0,00671801
3	24,5	0,005369073	0,004884245
4	23,5	0,00977893	0,008815706
5	23,0	0,007016361	0,00623965
6	23,0	0,005591363	0,004883496
7	24,5	0,005313726	0,004662263
8	23,0	0,005750353	0,004999357
9	24,5	0,009153014	0,007922849
10	23,5	0,004254769	0,003625488
11	23,5	0,012110146	0,010412304
12	23,5	0,009806801	0,008394621
13	23,5	0,005301677	0,004599205
14	23,5	0,005358772	0,004607472
15	23,5	0,005441195	0,004657663
16	23,5	0,007323567	0,006296803
17	23,5	0,005412223	0,004705386
18	24,5	0,00535574	0,004635929
19	23,5	0,005645239	0,004853777
20	24,5	0,009681141	0,008455508
21	23,5	0,005626349	0,005118289

Muestra	temperatura	Kt (cm/seg)	K <sub>20</sub> (cm/seg)
22	23,5	0,005696733	0,005124211
23	24,5	0,007660955	0,006766921
24	23,5	0,009816981	0,008593785
25	23,5	0,006747403	0,005840552
26	23,5	0,006776732	0,005826634
27	23,5	0,009752105	0,008309768
28	23,5	0,005313726	0,004558646
29	23,5	0,00945148	0,008780425
30	23,5	0,005645239	0,005195878
		<b>PROMEDIO</b>	<b>0,00612701</b>
		<b>MEDIANA</b>	<b>0,005260668</b>
		<b>DESVIACION</b>	<b>0,001758427</b>

Fuente: Autores

### 5.3.2 PERMEABILIDAD ARENA RÍO EL PLAYON

En la tabla 11 se muestra un cuadro resumen de los 30 ensayos correspondiente a los resultados obtenidos a través del método de cabeza constante para el río El Playón. Manteniendo una temperatura constante de 23.5 °C.

**Tabla 11 Permeabilidades Río El Playón**

Muestra	temperatura	Kt (cm/seg)	K <sub>20</sub> (cm/seg)
1	23,5	0,01619964	0,014736813
2	23,5	0,017242043	0,016017858
3	23,5	0,01940258	0,017611722
4	23,5	0,014381174	0,013236433
5	23,5	0,01578365	0,014663011
6	23,5	0,009285447	0,00864568
7	23,5	0,007587776	0,006983789
8	23,5	0,01420545	0,012952529
9	23,5	0,017207778	0,015653916
10	23,5	0,014890929	0,013864944
11	23,5	0,01682831	0,015453437
12	23,5	0,013589669	0,012702264
13	23,5	0,016355375	0,014912831
14	23,5	0,017572902	0,015986069
15	23,5	0,017410371	0,015732011
16	23,5	0,017693141	0,016095451

Muestra	temperatura	Kt (cm/seg)	K <sub>20</sub> (cm/seg)
17	23,5	0,012979471	0,012029374
18	23,5	0,015313348	0,014359327
19	23,5	0,015351645	0,014293917
20	23,5	0,018302586	0,016884136
21	23,5	0,017147749	0,015673043
22	23,5	0,015586586	0,014179118
23	23,5	0,014286455	0,012996388
24	23,5	0,016669451	0,015235877
25	23,5	0,016062788	0,014956062
26	23,5	0,014874533	0,013849678
27	23,5	0,017874213	0,01664268
28	23,5	0,01574119	0,015002928
29	23,5	0,018233513	0,017378361
30	23,5	0,018135341	0,017284794
		<b>PROMEDIO</b>	<b>0,014533815</b>
		<b>MEDIANA</b>	<b>0,014934446</b>
		<b>DESVIACION</b>	<b>0,002324957</b>

fuentes: AUTORES

## 5.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS

Para la determinación del Peso Específico, se realizaron 30 ensayos de Gravedad Específica a cada una de las arenas analizadas. A continuación se presenta un cálculo tipo de uno de los ensayos realizados:

### 5.4.1 ENSAYO NO 1. RÍO LA CHIMERA

Para dar continuidad y buen desarrollo a este ensayo fue necesario contar con la calibración del Matraz No 1 y No 2, ver tabla 12 y 13 y figuras 10 y 11 respectivamente, pertenecientes al laboratorio de suelos de la Universidad Pontificia Bolivariana, los cuales fueron realizados en el año 2007 por la Ingeniera Ketty Plata.

- **Calibración del Matraz No 1.**

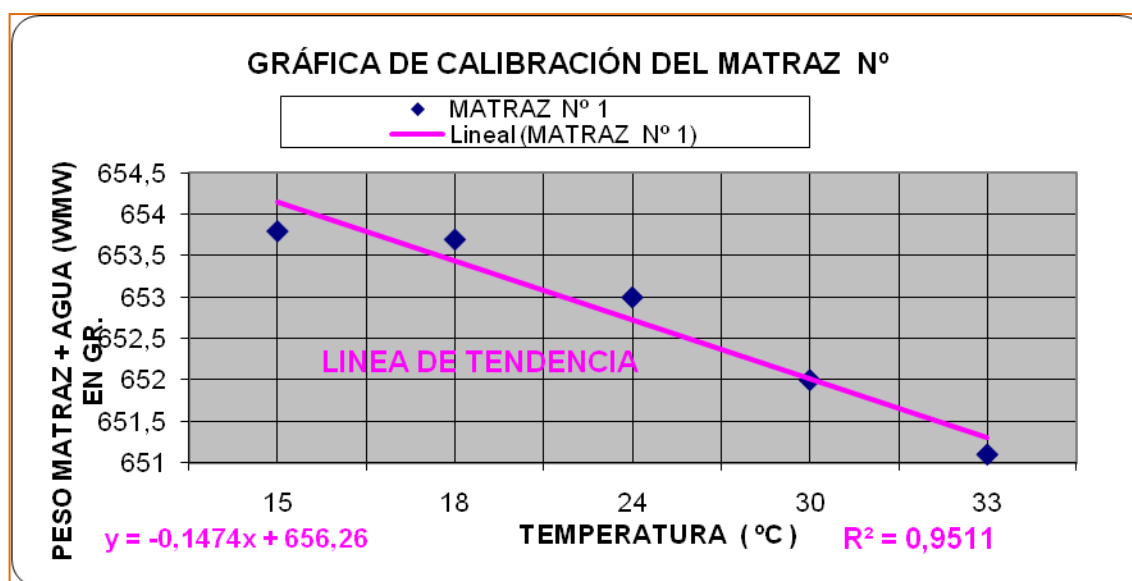
- Peso del Matraz N°1: 157,1 gr.
- Temperatura ambiente (°C): 18 °C

**Tabla 12 Calibración del Matraz No 1.**

TEMPERATURA (°C)	15	18	24	30	33
PESO (gr.)	653,8	653,7	653,0	652,0	651,1

Fuente: Plata Ketty, Trabajo de Grado, Comparación del coeficiente de Permeabilidad Río Topo, Bocas y Pescadero. 2007

**Figura N° 10 Calibración del Matraz No 1**



Fuente: Plata Ketty, Trabajo de Grado, Comparación del coeficiente de Permeabilidad Río Topo, Bocas y Pescadero. 2007.



Con los valores de la gráfica de calibración  $Y = - 0,1474x + 656,26$  se halló el Peso del matraz con agua ( $W_{mw}$ ) a diferentes temperaturas.

- **Ensayo cálculo tipo (matraz No 1), Río La Chimera**

- Prueba: Arena Río La Chimera
- Muestra N° 1
- Matraz N° 1
- $T^{\circ} (\text{°C}) = 23,5^{\circ}\text{C}$ .
- Peso del matraz con agua ( $W_{mw}$ ): 652,75 gr.
- Peso del matraz con agua + suelo ( $W_{mws}$ ): 703.8 gr.
- Cápsula de evaporación: 1
- Peso de la cápsula de evaporación: 298,2 gr.
- Peso de la cápsula de evaporación + muestra seca: 381,7 gr.
- Peso del suelo antes de secado ( $W_{si}$ ): 83,4 gr.
- Peso del suelo después de secado ( $W_{sf}$ ): 83,5 gr.
- Gravedad específica relativa ( $G_s$ ):

$$G_s = \frac{W_{sf}}{(W_{sf} + W_{mw} + W_{mws})} = \frac{83.5}{(83.5 + 652.75 - 703.8)} = 2.57$$

$$G_s = 2.75$$

- **Calibración del Matraz No 2.**

- Peso del Matraz N°: 160,8 gr.
- Temperatura ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ ): 20  $^{\circ}\text{C}$
- 

**Tabla 13 Calibración del Matraz No 2.**

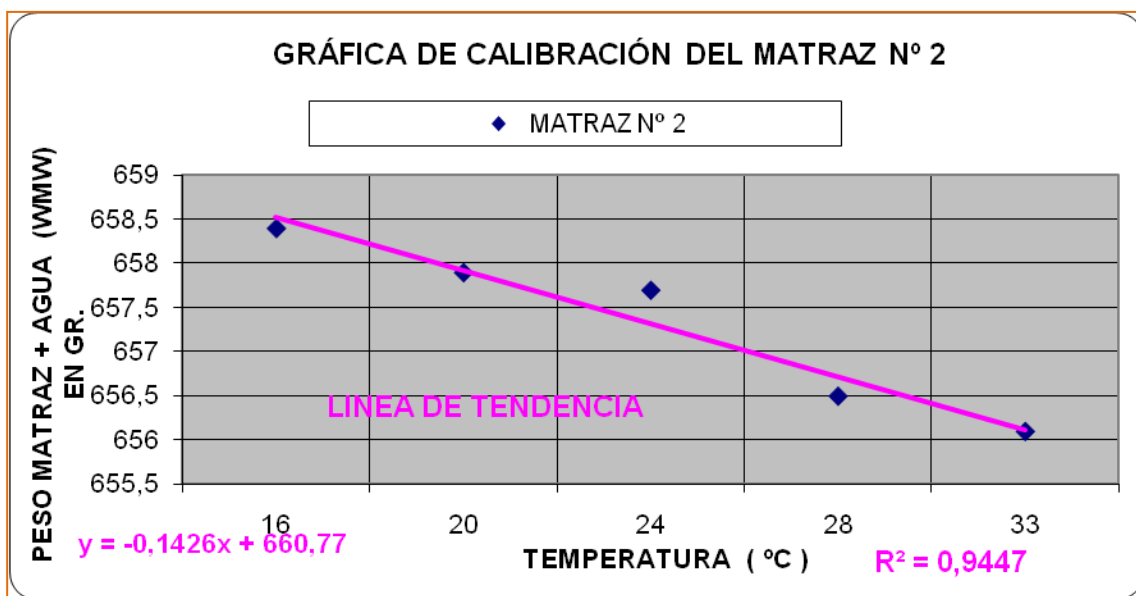
<b>TEMPERATURA (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>16</b>	<b>20</b>	<b>24</b>	<b>28</b>	<b>33</b>
--	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

<b>PESO (gr.)</b>	658,4	657,9	657,7	656,5	656,1
-------------------	-------	-------	-------	-------	-------

Fuente: Plata Ketty, Trabajo de Grado, Comparación del coeficiente de Permeabilidad Río Topo, Bocas y Pescadero. 2007

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

Figura N° 11 Calibración del Matraz No 2.



Fuente: Plata Ketty, Trabajo de Grado, Comparación del coeficiente de Permeabilidad Río Topo, Bocas y Pescadero. 2007

- **Ensayo cálculo tipo (matraz No 2), Río La Chimera**
  - Prueba: Arena Río La Chimera
  - Muestra N° 17
  - Matraz N° 2

- T° (°C) = 23,5°C.
- Peso del matraz con agua (Wmw): 657.363 gr.
- Peso del matraz con agua + suelo (Wmws): 714.3 gr.
- Cápsula de evaporación: 6
- Peso de la cápsula de evaporación: 284.4 gr.
- Peso de la cápsula de evaporación + muestra seca: 376.3 gr.
- Peso del suelo antes de secado (Wsi): 93.9 gr.
- Peso del suelo después de secado (Wsf): 91.9 gr.
- Gravedad específica relativa (Gs):

$$G_s = \frac{W_{sf}}{(W_{sf} + W_{mw} + W_{mws})} = \frac{91.9}{(91.9 + 657.363 - 714.3)} = 2.63$$

$$G_s = 2.63$$

## 5.5 RESULTADOS GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS DE LAS ARENAS ANALIZADAS.

### 5.5.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA ARENA RÍO LA CHIMERA

En la tabla 14 se pueden observar los resultados de gravedad específica producto de los 30 ensayos concernientes a las muestras de arena analizada del río La Chimera. La gravedad específica promedio obtenida fue de 2.61.

**Tabla 14 Resultados de gravedad específica Río la Chimera.**

MUESTRA	GS
1	2,57
2	2,57
3	2,55
4	2,57
5	2,56
6	2,61
7	2,59
8	2,59
9	2,56
10	2,59

11	2,67
12	2,67
13	2,58
<b>MUESTRA</b>	<b>GS</b>
14	2,61
15	2,61
16	2,63
17	2,63
18	2,61
19	2,61
20	2,61
21	2,55
22	2,70
23	2,70
24	2,62
25	2,65
26	2,65
27	2,66
28	2,62
29	2,61
30	2,65
<b>PROMEDIO</b>	2,61
<b>MEDIANA</b>	2,61
<b>DESVIACION</b>	0,042

Fuente: Autores

### 5.5.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA ARENA RÍO EL PLAYÓN

En la tabla 15 se pueden observar los resultados de gravedad específica producto de los 30 ensayos concernientes a las muestras de arena analizada del río El Playón. La gravedad específica promedio obtenida fue de 2.59.

**Tabla 15 Resultados Gravedad Específica Arena Río El Playón**

<b>MUESTRA</b>	<b>GS</b>
1	2,61
2	2,64
3	2,63
4	2,58
5	2,63
6	2,56
7	2,54
8	2,57

9	2,57
10	2,59
11	2,61
<b>MUESTRA</b>	<b>GS</b>
12	2,60
13	2,57
14	2,59
15	2,64
16	2,61
17	2,58
18	2,65
19	2,65
20	2,60
21	2,57
22	2,56
23	2,59
24	2,57
25	2,56
26	2,57
27	2,56
28	2,52
29	2,57
30	2,57
<b>PROMEDIO</b>	2,59
<b>MEDIANA</b>	2,58
<b>DESVIACION</b>	0,033

Fuente: Autores

## 6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de realizar todos los ensayos de granulometría, permeabilidad y gravedad específica de sólidos con las arenas seleccionadas, se analizaron las fases del suelo con el fin de verificar la porosidad ( $n$ ), también se determinaron las constantes a proponer por medio de los resultados del laboratorio, para las diferentes ecuaciones como son Allen Hazen, Terzaghi, Schlichter.

### 6.1 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS

Partiendo de los resultados obtenidos del análisis granulométrico para las arena de los ríos La Chimera y El playón se tiene un porcentaje de finos de 1.14% y 0.53% respectivamente, cumpliendo así con los objetivos planteados al inicio al tener dos materiales con porcentajes de finos menor al 10%. De igual manera y cómo es posible observar, el porcentaje de finos se mantiene en un rango menor al 5 %, lo cual indica que no se hace necesario establecer la búsqueda de los Límites de Atterberg (Límites Líquido y Plástico) en la *Carta de Plasticidad*, ello en cumplimiento y correspondencia con los criterios de clasificación de suelos del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.).

### 6.2 RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS DE LAS MUESTRAS

Se obtuvo la gravedad específica relativa ( $G_s$ ), para las muestras de Río La Chimera y Río El Playón, valores promediados de  $G_{s(R. La Chimera)} = 2.61$  y  $G_{s(R. El Playón)} = 2.59$  respectivamente. Lo anterior indica que no importa la magnitud de su proporción, sea ésta a gran escala o en cantidades pequeñas a utilizar, su valor no variará.

A partir de una muestra representativa de 30 ensayos, por cada material estudiado se procedió a calcular los volúmenes y pesos, así como las relaciones volumétricas y gravimétricas requeridas para calcular el coeficiente de permeabilidad con base en las fórmulas de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi. En las siguientes Tablas N° 16 y 17, se presenta estos datos, para cada una de las arenas estudiadas.

**Tabla 16 Relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo Río La Chimera**

ENSAYO N°	VOLUMENES					PESOS					RELACIONES					
	Va	Vw	Vs	Vv	Vt	Wa	Ww	Ws	Wv	Wt	W%	Sr	n	e	$\gamma_m$	$\gamma_d$
	cc.	cc.	cc.	cc.	cc.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	%	%			gr/cc.	gr/cc.
1	0	66,91	62,51	66,9	129,41	0	66,9	163,4	66,9	230,3	41,0	1,00	0,517	1,070	1,78	1,26
2	0	57,32	65,45	57,3	122,78	0	57,3	171,1	57,3	228,4	33,5	1,00	0,467	0,876	1,86	1,39
3	0	74,12	58,61	74,1	132,73	0	74,1	153,2	74,1	227,3	48,4	1,00	0,558	1,265	1,71	1,15
4	0	64,33	68,40	64,3	132,73	0	64,3	178,8	64,3	243,1	36,0	1,00	0,485	0,941	1,83	1,35
5	0	60,27	59,19	60,3	119,46	0	60,3	154,7	60,3	215,0	39,0	1,00	0,505	1,018	1,80	1,30
6	0	65,11	67,62	65,1	132,73	0	65,1	176,8	65,1	241,9	36,8	1,00	0,491	0,963	1,82	1,33
7	0	61,56	64,54	61,6	126,10	0	61,6	168,7	61,6	230,2	36,5	1,00	0,488	0,954	1,83	1,34
8	0	67,20	62,21	67,2	129,41	0	67,2	162,6	67,2	229,8	41,3	1,00	0,519	1,080	1,78	1,26
9	0	80,45	58,92	80,4	139,37	0	80,4	154,0	80,4	234,4	52,2	1,00	0,577	1,365	1,68	1,10
10	0	65,67	67,06	65,7	132,73	0	65,7	175,3	65,7	241,0	37,5	1,00	0,495	0,979	1,82	1,32
11	0	70,17	69,20	70,2	139,37	0	70,2	180,9	70,2	251,0	38,8	1,00	0,503	1,014	1,80	1,30
12	0	72,35	76,97	72,4	149,32	0	72,4	201,2	72,4	273,5	36,0	1,00	0,485	0,940	1,83	1,35
13	0	61,77	64,33	61,8	126,10	0	61,8	168,1	61,8	229,9	36,7	1,00	0,490	0,960	1,82	1,33
14	0	61,18	64,92	61,2	126,10	0	61,2	169,7	61,2	230,9	36,1	1,00	0,485	0,942	1,83	1,35
15	0	64,23	65,19	64,2	129,41	0	64,2	170,4	64,2	234,6	37,7	1,00	0,496	0,985	1,81	1,32
16	0	57,86	64,92	57,9	122,78	0	57,9	169,7	57,9	227,5	34,1	1,00	0,471	0,891	1,85	1,38
17	0	67,60	65,13	67,6	132,73	0	67,6	170,2	67,6	237,8	39,7	1,00	0,509	1,038	1,79	1,28
18	0	65,49	57,29	65,5	122,78	0	65,5	149,7	65,5	215,2	43,7	1,00	0,533	1,143	1,75	1,22
19	0	66,96	62,45	67,0	129,41	0	67,0	163,2	67,0	230,2	41,0	1,00	0,517	1,072	1,78	1,26
20	0	63,46	65,96	63,5	129,41	0	63,5	172,4	63,5	235,9	36,8	1,00	0,490	0,962	1,82	1,33
21	0	70,54	65,51	70,5	136,05	0	70,5	171,2	70,5	241,8	41,2	1,00	0,519	1,077	1,78	1,26
22	0	72,04	67,33	72,0	139,37	0	72,0	176,0	72,0	248,0	40,9	1,00	0,517	1,070	1,78	1,26
23	0	70,57	58,85	70,6	129,41	0	70,6	153,8	70,6	224,4	45,9	1,00	0,545	1,199	1,73	1,19
24	0	65,14	67,60	65,1	132,73	0	65,1	176,7	65,1	241,8	36,9	1,00	0,491	0,964	1,82	1,33
25	0	39,65	86,45	39,6	126,10	0	39,6	226,0	39,6	265,6	17,5	1,00	0,314	0,459	2,11	1,79
26	0	59,74	56,40	59,7	116,14	0	59,7	147,4	59,7	207,2	40,5	1,00	0,514	1,059	1,78	1,27
27	0	67,17	62,24	67,2	129,41	0	67,2	162,7	67,2	229,9	41,3	1,00	0,519	1,079	1,78	1,26
28	0	61,71	64,38	61,7	126,10	0	61,7	168,3	61,7	230,0	36,7	1,00	0,489	0,959	1,82	1,33
29	0	65,57	63,85	65,6	129,41	0	65,6	166,9	65,6	232,4	39,3	1,00	0,507	1,027	1,80	1,29
30	0	66,96	62,45	67,0	129,41	0	67,0	163,2	67,0	230,2	41,0	1,00	0,517	1,072	1,78	1,26
Promedio	0	65,1	64,86	65,1	129,97	0	65,1	169,5	65,1	234,6	38,8	1,00	0,501	1,014	1,81	1,31

Fuente: Autores

**Tabla 17 Relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo Río El Playón**

ENSAYO Nº	VOLUMENES					PESOS					RELACIONES					
	Va	Vw	Vs	Vv	Vt	Wa	Ww	Ws	Wv	Wt	W%	Sr	n	e	$\gamma_m$	$\gamma_d$
	cc.	cc.	cc.	cc.	cc.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	%	%			gr/cc.	gr/cc.
1	0	90,72	40,35	90,7	131,07	0	90,7	104,4	90,7	195,2	86,9	1,00	0,692	2,249	1,49	0,80
2	0	61,78	55,36	61,8	117,14	0	61,8	143,3	61,8	205,1	43,1	1,00	0,527	1,116	1,75	1,22
3	0	37,60	62,28	37,6	99,88	0	37,6	161,2	37,6	198,8	23,3	1,00	0,376	0,604	1,99	1,61
4	0	73,69	65,68	73,7	139,37	0	73,7	170,0	73,7	243,7	43,3	1,00	0,529	1,122	1,75	1,22
5	0	59,87	69,54	59,9	129,41	0	59,9	180,0	59,9	239,9	33,3	1,00	0,463	0,861	1,85	1,39
6	0	60,03	56,11	60,0	116,14	0	60,0	145,3	60,0	205,3	41,3	1,00	0,517	1,070	1,77	1,25
7	0	64,79	61,31	64,8	126,10	0	64,8	158,7	64,8	223,5	40,8	1,00	0,514	1,057	1,77	1,26
8	0	32,60	83,54	32,6	116,14	0	32,6	216,2	32,6	248,8	15,1	1,00	0,281	0,390	2,14	1,86
9	0	69,92	59,49	69,9	129,41	0	69,9	154,0	69,9	223,9	45,4	1,00	0,540	1,175	1,73	1,19
10	0	68,68	60,74	68,7	129,41	0	68,7	157,2	68,7	225,9	43,7	1,00	0,531	1,131	1,75	1,21
11	0	66,40	63,01	66,4	129,41	0	66,4	163,1	66,4	229,5	40,7	1,00	0,513	1,054	1,77	1,26
12	0	59,34	60,12	59,3	119,46	0	59,3	155,6	59,3	215,0	38,1	1,00	0,497	0,987	1,80	1,30
13	0	61,01	61,77	61,0	122,78	0	61,0	159,9	61,0	220,9	38,2	1,00	0,497	0,988	1,80	1,30
14	0	67,69	65,04	67,7	132,73	0	67,7	168,4	67,7	236,0	40,2	1,00	0,510	1,041	1,78	1,27
15	0	61,90	64,20	61,9	126,10	0	61,9	166,2	61,9	228,1	37,2	1,00	0,491	0,964	1,81	1,32
16	0	67,03	59,06	67,0	126,10	0	67,0	152,9	67,0	219,9	43,8	1,00	0,532	1,135	1,74	1,21
17	0	46,45	59,74	46,4	106,19	0	46,4	154,6	46,4	201,1	30,0	1,00	0,437	0,778	1,89	1,46
18	0	61,61	57,84	61,6	119,46	0	61,6	149,7	61,6	211,3	41,2	1,00	0,516	1,065	1,77	1,25
19	0	64,00	65,42	64,0	129,41	0	64,0	169,3	64,0	233,3	37,8	1,00	0,495	0,978	1,80	1,31
20	0	69,82	66,23	69,8	136,05	0	69,8	171,4	69,8	241,3	40,7	1,00	0,513	1,054	1,77	1,26
21	0	74,83	61,23	74,8	136,05	0	74,8	158,5	74,8	233,3	47,2	1,00	0,550	1,222	1,71	1,16
22	0	64,32	65,09	64,3	129,41	0	64,3	168,5	64,3	232,8	38,2	1,00	0,497	0,988	1,80	1,30
23	0	72,22	67,15	72,2	139,37	0	72,2	173,8	72,2	246,0	41,6	1,00	0,518	1,076	1,77	1,25
24	0	71,82	64,23	71,8	136,05	0	71,8	166,3	71,8	238,1	43,2	1,00	0,528	1,118	1,75	1,22
25	0	53,38	57,47	53,4	110,84	0	53,4	148,8	53,4	202,1	35,9	1,00	0,482	0,929	1,82	1,34
26	0	55,90	61,28	55,9	117,18	0	55,9	158,6	55,9	214,5	35,2	1,00	0,477	0,912	1,83	1,35
27	0	60,50	63,01	60,5	123,51	0	60,5	163,1	60,5	223,6	37,1	1,00	0,490	0,960	1,81	1,32
28	0	51,62	65,55	51,6	117,18	0	51,6	169,7	51,6	221,3	30,4	1,00	0,441	0,788	1,89	1,45
29	0	62,21	64,47	62,2	126,68	0	62,2	166,9	62,2	229,1	37,3	1,00	0,491	0,965	1,81	1,32
30	0	60,66	62,85	60,7	123,51	0	60,7	162,7	60,7	223,3	37,3	1,00	0,491	0,965	1,81	1,32
promedio	0	62,41	62,3	62,4	124,72	0	62,4	161,3	62,41	223,7	39,6	1,00	0,498	1,025	1,80	1,30

Fuente: Autores

En la Tabla 18 se pueden observar los diferentes promedios de volúmenes del Río La Chimera tales como:

**Tabla 18 Promedios de las relaciones volumétricas para El Río la Chimera**



ENSAYO	VOLUMENES					PESOS					RELACIONES					
N°	Va	Vw	Vs	Vv	Vt	Wa	Ww	Ws	Wv	Wt	W%	Sr	n	e	$\gamma_m$	$\gamma_d$
	cc.	cc.	cc.	cc.	cc.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	%	%			gr/cc.	gr/cc.
Promedio	0	65,1	64,86	65,1	129,97	0	65,1	169,5	65,1	234,6	38,8	1,00	0,501	1,014	1,81	1,31

En la Tabla 19 se pueden observar los diferentes promedios de volúmenes del Río El Playón tales como:

**Tabla 19 Promedios de las relaciones volumétricas para El Río El Playón**

ENSAYO	VOLUMENES					PESOS					RELACIONES					
N°	Va	Vw	Vs	Vv	Vt	Wa	Ww	Ws	Wv	Wt	W%	Sr	n	e	$\gamma_m$	$\gamma_d$
	cc.	cc.	cc.	cc.	cc.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	%	%			gr/cc.	gr/cc.
promedio	0	62,41	62,3	62,4	124,72	0	62,4	161,3	62,41	223,7	39,6	1,00	0,498	1,025	1,80	1,30

### 6.3 COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

Teniendo como base el valor de  $k$  hallado en el laboratorio, fueron desarrollados una serie de análisis y cálculos con el fin de determinar las constantes de las ecuaciones de Allen Hazen, Terzaghi y Schlichter, y así proceder a comparar entre los resultados de laboratorio y las constantes teóricas mencionadas anteriormente.

Para la arena del río La Chimera las constantes promedio logradas a partir del coeficiente de permeabilidad hallado en el laboratorio fueron las siguientes, ver promedio tabla 20:

- Allen Hazen  $C=6,43$
- Schlichter  $C=128,67$
- Terzaghi  $C1=6,430$  y para la constante  $Co=32,55$

Para la arena del río El Playón las constantes promedio logradas a partir del coeficiente de permeabilidad hallado en el laboratorio fueron las siguientes, ver promedio tabla 21:

- Allen Hazen  $C=7,98$
- Schlichter  $C=100,22$
- Terzaghi  $C1=7,982$  y para la constante  $Co=45,57$

**Tabla 20 Comparación de las constantes de permeabilidad del Río La Chimera**

Ensayo	Volumen (Q)	Área (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	569	33,18	65,0	3,90	23,5	0,517	0,0053	5,61	137,51	5,61	23,05
2	771	33,18	65,0	3,70	23,5	0,467	0,0067	7,07	109,00	7,07	40,98
3	544	33,18	67,9	4,00	24,5	0,558	0,0049	5,03	153,13	5,03	15,91
4	964	33,18	66,0	4,00	23,5	0,485	0,0088	9,28	83,07	9,28	47,43
5	763	33,18	65,5	3,60	23,0	0,505	0,0062	6,64	116,11	6,64	29,64
6	547	33,18	65,5	4,00	23,0	0,491	0,0049	5,20	148,35	5,20	25,51
7	551	33,18	66,0	3,80	24,5	0,488	0,0047	4,81	160,42	4,81	23,97
8	581	33,18	66,0	3,90	23,0	0,519	0,0050	5,32	144,91	5,32	21,55
9	872	33,18	67,0	4,20	24,5	0,577	0,0079	8,17	94,40	8,17	23,00
10	423	33,18	66,5	4,00	23,5	0,495	0,0036	3,82	201,98	3,82	18,20
11	1163	33,18	67,5	4,20	23,5	0,503	0,0104	10,96	70,33	10,96	49,29
12	872	33,18	67,0	4,50	23,5	0,485	0,0084	8,84	87,23	8,84	45,20
13	550	33,18	66,0	3,80	23,5	0,490	0,0046	4,84	159,22	4,84	23,88
14	548	33,18	65,0	3,80	23,5	0,485	0,0046	4,85	158,93	4,85	24,70
15	550	33,18	66,0	3,90	23,5	0,496	0,0047	4,90	157,22	4,90	23,14
16	774	33,18	65,5	3,70	23,5	0,471	0,0063	6,63	116,29	6,63	37,23
17	549	33,18	67,9	4,00	23,5	0,509	0,0047	4,95	155,63	4,95	21,42
18	571	33,18	66,0	3,70	24,5	0,533	0,0046	4,78	161,33	4,78	17,66
19	571	33,18	66,0	3,90	23,5	0,517	0,0049	5,11	150,87	5,11	20,95
20	964	33,18	65,0	3,90	24,5	0,490	0,0085	8,72	88,45	8,72	42,84
21	537	33,18	65,5	4,10	23,5	0,519	0,0051	5,39	143,07	5,39	21,93
22	539	33,18	66,5	4,20	23,5	0,517	0,0051	5,40	142,91	5,40	22,19
23	774	33,18	66,0	3,90	24,5	0,545	0,0068	6,98	110,53	6,98	23,92
24	968	33,18	66,0	4,00	23,5	0,491	0,0086	9,05	85,21	9,05	44,34
25	689	33,18	65,0	3,80	23,5	0,314	0,0058	6,15	125,38	6,15	140,60
26	758	33,18	65,5	3,50	23,5	0,514	0,0058	6,13	125,68	6,13	25,66
27	986	33,18	66,0	3,90	23,5	0,519	0,0083	8,75	88,12	8,75	35,48
28	551	33,18	66,0	3,80	23,5	0,489	0,0046	4,80	160,64	4,80	23,74
29	948	33,18	65,5	3,90	23,5	0,507	0,0088	9,24	83,40	9,24	40,69
30	571	33,18	66,0	3,90	23,5	0,517	0,0052	5,47	140,93	5,47	22,43
Promedio	701	33,18	66,0	3,92	23,7	0,501	0,0061	6,43	128,67	6,430	32,55

Fuente: Autores

**Tabla 21 Comparación de las constantes de permeabilidad del Río El Playón**

Ensayo	Volumen (Q)	Área (A)	Cabeza (h)	Altura (L)	Temp.	n	K	C	C	Cl	Co
Nº	(cm³)	(cm²)	(cm)	(cm)	(°C)	(Lab.)	(Lab.)	(Allen.)	(Schli.)	(Terza.)	(Terza.)
1	1580	33,18	64,5	3,95	23,5	0,692	0,0147	8,09	95,26	8,09	11,68
2	1400	33,18	48,0	3,53	23,5	0,527	0,0160	8,80	87,65	8,80	33,79
3	2541	33,18	66,0	3,01	23,5	0,376	0,0176	9,67	79,71	9,67	116,22
4	1329	33,18	65,0	4,20	23,5	0,529	0,0132	7,27	106,06	7,27	27,68
5	1571	33,18	65,0	3,90	23,5	0,463	0,0147	8,05	95,74	8,05	48,10
6	1030	33,18	65,0	3,50	23,5	0,517	0,0086	4,75	162,38	4,75	19,54
7	793	33,18	66,5	3,80	23,5	0,514	0,0070	3,84	201,02	3,84	16,10
8	1600	33,18	66,0	3,50	23,5	0,281	0,0130	7,11	108,39	7,11	251,32
9	1739	33,18	66,0	3,90	23,5	0,540	0,0157	8,60	89,68	8,60	30,42
10	1501	33,18	65,8	3,90	23,5	0,531	0,0139	7,61	101,26	7,61	28,65
11	1709	33,18	66,3	3,90	23,5	0,513	0,0155	8,49	90,85	8,49	35,79
12	1488	33,18	66,0	3,60	23,5	0,497	0,0127	6,98	110,52	6,98	32,81
13	1729	33,18	65,5	3,70	23,5	0,497	0,0149	8,19	94,14	8,19	38,48
14	1732	33,18	66,0	4,00	23,5	0,510	0,0160	8,78	87,82	8,78	37,79
15	1814	33,18	66,3	3,80	23,5	0,491	0,0157	8,64	89,24	8,64	42,30
16	1836	33,18	66,0	3,80	23,5	0,532	0,0161	8,84	87,22	8,84	33,05
17	1645	33,18	67,9	3,20	23,5	0,437	0,0120	6,61	116,71	6,61	47,64
18	1677	33,18	66,0	3,60	23,5	0,516	0,0144	7,89	97,77	7,89	32,67
19	1540	33,18	65,5	3,90	23,5	0,495	0,0143	7,85	98,22	7,85	37,49
20	1773	33,18	66,5	4,10	23,5	0,513	0,0169	9,27	83,15	9,27	39,07
21	1656	33,18	66,3	4,10	23,5	0,550	0,0157	8,61	89,57	8,61	28,66
22	1599	33,18	67,0	3,90	23,5	0,497	0,0142	7,79	99,01	7,79	36,56
23	1345	33,18	66,2	4,20	23,5	0,518	0,0130	7,14	108,02	7,14	29,11
24	1591	33,18	65,5	4,10	23,5	0,528	0,0152	8,37	92,14	8,37	32,04
25	1774	33,18	67,8	3,50	23,5	0,482	0,0150	8,21	93,87	8,21	42,89
26	1499	33,18	65,4	3,70	23,5	0,477	0,0138	7,61	101,37	7,61	41,00
27	1711	33,18	65,5	3,90	23,5	0,490	0,0166	9,14	84,36	9,14	45,07
28	1601	33,18	66,0	3,70	23,5	0,441	0,0150	8,24	93,57	8,24	58,00
29	1715	33,18	66,0	4,00	23,5	0,491	0,0174	9,54	80,78	9,54	46,67
30	1736	33,18	65,5	3,90	23,5	0,491	0,0173	9,49	81,22	9,49	46,39
Promedio	1609	33,18	65,4	3,79	23,5	0,498	0,0145	7,98	100,22	7,982	45,57

Fuente: Autores

### 6.3.1 ANÁLISIS DE LA CONSTANTE OBTENIDA EN LA FÓRMULA DE SCHLICHTER

Con base en las unidades establecidas en el modelo de Hazen; Schlichter emplea una constante definida igual a 771, teniendo en cuenta la compacidad además de la temperatura, según la siguiente expresión:

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

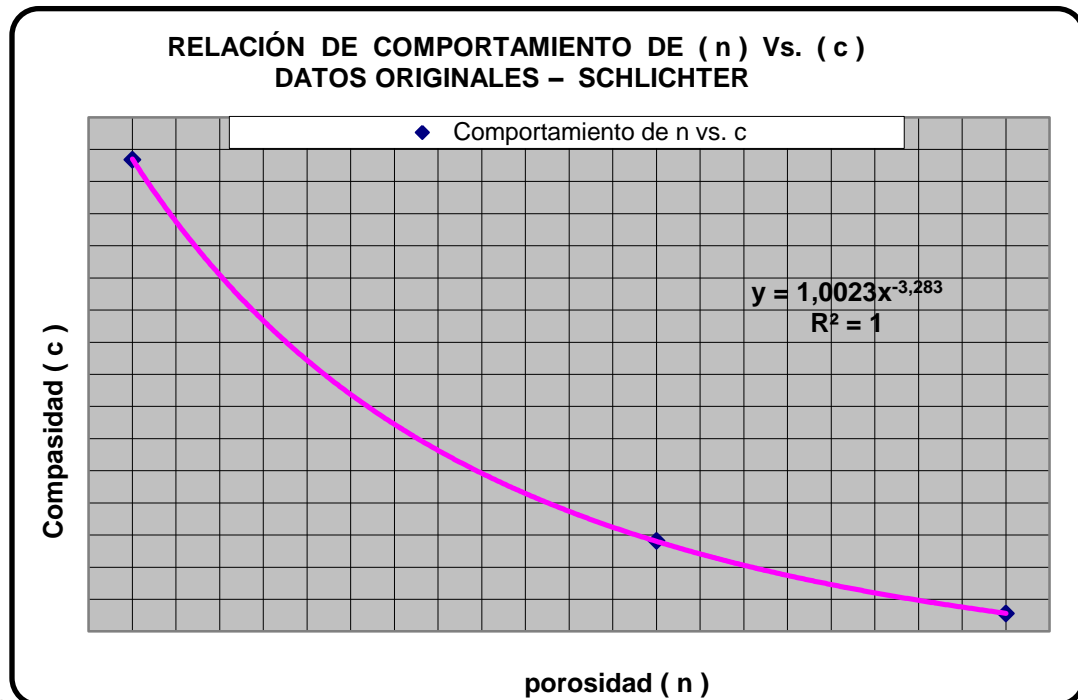
C es una función de  $\eta$  que responde a los valores consignados en la tabla 22

Tabla 22 Valores de la constante de permeabilidad con respecto a la porosidad

$\eta$	C
0.26	83.4
0.38	24.1
0.45	12.8

En la figura 12. Se muestra la correlación que hizo Schlichter para calcular las constantes de permeabilidad de una arena "X".

Figura N° 12 Relación de comportamiento n Vs. C datos originales Schlichter



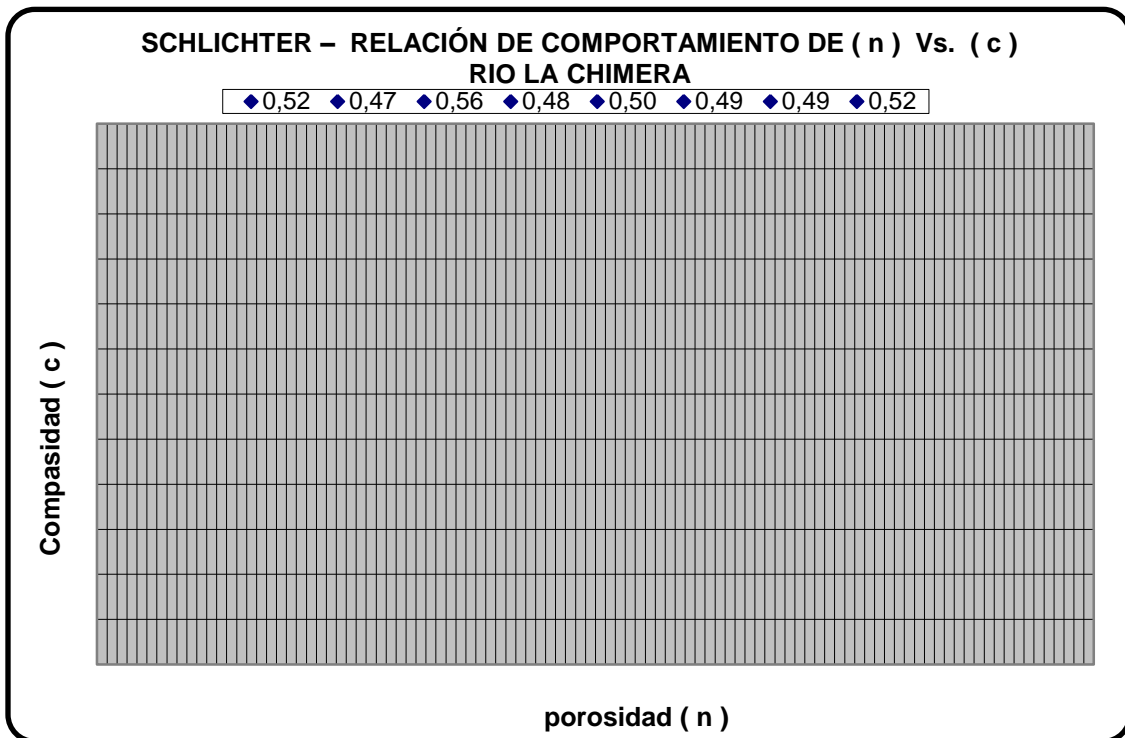
Como se evidencia en figura N° 12 se encuentra que existe una correlación  $R^2 = 1$   
Fuente: Autores  
con una fórmula:

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

Las figuras 13 y 14 son las obtenidas a partir de los datos calculados de las constantes de Schlichter Vs la porosidad, para la arena del Río La Chimera y Río El Playón por lo que se observa que en las arenas estudiadas no existe ninguna correlación o tendencia entre la porosidad (n) y las constantes calculadas con base a las constantes obtenidas en el laboratorio.

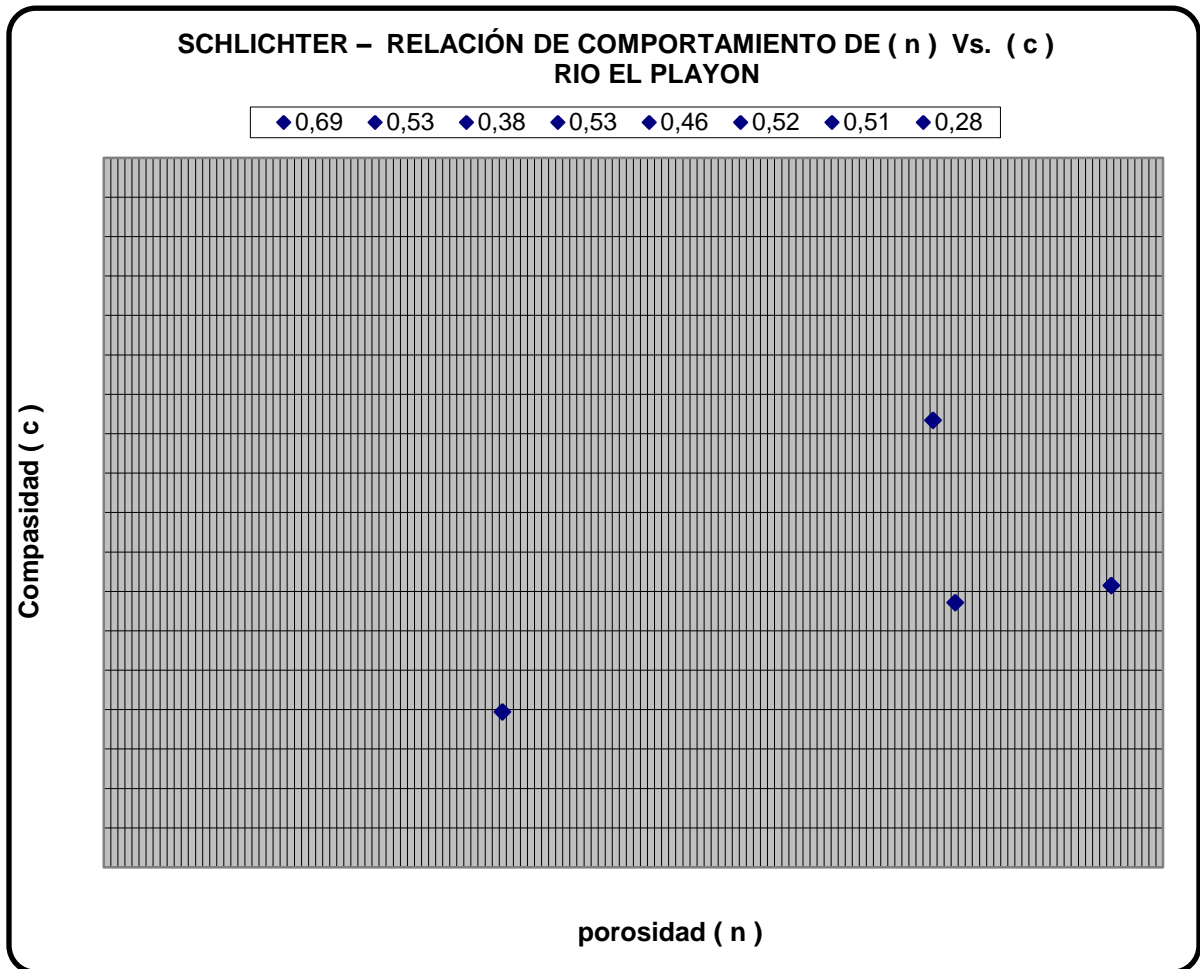
Para la fórmula se optó por dar un valor promedio ya que no se encontró una correlación ni tendencia de ningún tipo entre la porosidad (n) y las constantes encontradas en los 30 ensayos.

**Figura N° 13 Relación de comportamiento de Vs. C río la Chimera**



Fuente: Autores

**Figura N° 14 Relación de comportamiento de n Vs C río El Playon**



Fuente: Autores

### 6.3.2 ANÁLISIS DE LA CONSTANTE OBTENIDA EN LA FÓRMULA DE TERZAGHI

Según lo establecido en la fórmula de Terzagui, se hace necesario calcular dos constantes  $C_1$  y  $C_0$ , en donde  $C_0$  en función del tipo de suelo y  $C_1$ , en función de la porosidad (n). Igual se establece que la constante de permeabilidad depende en gran medida de la forma de las partículas gruesas que posea el suelo y la relación de porosidad del mismo

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

### 6.3.3 ANÁLISIS DE LA CONSTANTE OBTENIDA EN LA FÓRMULA DE ALLEN HAZEN

Se halló una constante promedio, que fue calculada por medio de las constantes obtenidas en laboratorio (K).

### 6.4 ANÁLISIS DEL AJUSTE PROPUESTO PARA DISMINUIR LOS PORCENTAJES DE ERROR EN LAS ECUACIONES DE ALLEN HAZEN, TERZAGHI Y SCHLICHTER PARA LA ARENA DEL RÍO LA CHIMERA Y RÍO EL PLAYON.

Posterior a la realización de los ensayos requeridos para el buen término de este proyecto se hizo necesario calcular los valores de las constantes de permeabilidad teóricas de Hazen, Terzaghi y Schlichter y su respectiva comparación con la constante de permeabilidad obtenida en el laboratorio, datos a lo cual hubo necesidad de aplicar un ajuste como mecanismo de disminución del porcentaje de error existente.

#### 6.4.1 AJUSTE PROPUESTO PARA LA ECUACIÓN DE ALLEN HAZEN

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

- Se hallaron las constantes K de permeabilidad para los 30 ensayos realizados de cada una de las arenas estudiadas.



- Se tomó la constante promedio C de los 30 ensayos. Este valor promedio de C se reemplazó en la ecuación de Hazen para obtener un valor de K ajustado y posteriormente compararlo con el K de permeabilidad obtenido en el laboratorio.
- Y finalmente 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.

#### 6.4.2 AJUSTE PROPUESTO PARA LA ECUACIÓN DE SCHLICHTER

Para la disminución del factor de error propuesto para la fórmula de Schlichter se realizó lo siguiente:

- Se hallaron las constantes K de permeabilidad para los 30 ensayos realizados de cada una de las arenas estudiadas
- Se tomó la constante promedio C de los 30 ensayos. Este valor promedio de C se reemplazó en la ecuación de Schlichter para obtener un valor de K ajustado y posteriormente compararlo con el K de permeabilidad obtenido en el laboratorio.
- Y finalmente 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.

#### 6.4.3 AJUSTE PROPUESTO PARA LA ECUACIÓN DE TERZAGUI

Para la disminución del factor de error propuesto para la fórmula de Terzagui se realizó lo siguiente:

- Se hallaron las constantes K de permeabilidad para los 30 ensayos realizados de cada una de las arenas estudiadas.

- Se utilizaron los 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.
- Y finalmente 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.

## 6.5 ANÁLISIS DE PORCENTAJES DE ERROR PARA LOS COEFICIENTES K EN LAS FÓRMULAS DE TERZAGUI, SCHLICHTER Y ALLEN HAZEN PARA LA ARENA DEL RÍO LA CHIMERA Y RÍO EL PLAYON.

Tomando como valores reales las constantes de permeabilidad, se procedió a comparar los errores con las constantes teóricas halladas a través de las fórmulas de Terzaghi, Schlichter y Allen Hazen.

### 6.5.1 ARENA DE RÍO LA CHIMERA

#### 6.5.1.1 Porcentajes de Error de Allen Hazen

Los porcentajes de error de cada rango para las treinta muestras de ALLEN HAZEN, tomadas para la arena perteneciente al Río La Chimera se presentan a continuación en la tabla 23, de igual forma los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad con respecto a los obtenidos en el laboratorio para dicha arena se muestran en la tabla 24.

**Tabla 23 Porcentaje de error de cada rango Allen Hazen. Río La Chimera**

<b>% DE ERROR</b>	<b>DATOS</b>
<10	20%
10-20	10%
20-30	36%
>30	34%

Fuente: Autores

**Tabla 24 Porcentaje de error Allen Hazen - Río La Chimera**

N°	$K_{LAB}$ (cm <sup>3</sup> /seg)	$K_{AH.ORIGINAL}$ (cm <sup>3</sup> /seg)	ERROR <sub>AH.ORIGINAL</sub> (%)	$K_{AH.AJUSTE}$ (cm <sup>3</sup> /seg)	ERROR <sub>AH.AJUSTE</sub> (%)	ERROR	RANGOS
1	0,0053	0,1102	1968,83	0,0061	14,7	2,9	<10
2	0,0067	0,1102	1539,99	0,0061	9,1	3,1	
3	0,0049	0,1125	2203,88	0,0062	27,7	4,6	
4	0,0088	0,1102	1149,75	0,0061	30,7	4,9	
5	0,0062	0,1090	1646,86	0,0060	3,2	7,8	
6	0,0049	0,1090	2131,97	0,0060	23,7	9,0	
7	0,0047	0,1125	2313,57	0,0062	33,8	14,8	10-20
8	0,0050	0,1090	2080,25	0,0060	20,8	17,6	
9	0,0079	0,1125	1320,28	0,0062	21,3	19,3	
10	0,0036	0,1102	2938,89	0,0061	68,4	19,4	20-30
11	0,0104	0,1102	958,12	0,0061	41,4	20,9	
12	0,0084	0,1102	1212,44	0,0061	27,3	21,2	
13	0,0046	0,1102	2295,51	0,0061	32,8	23,8	
14	0,0046	0,1102	2291,21	0,0061	32,5	25,9	
15	0,0047	0,1102	2265,45	0,0061	31,1	26,4	
16	0,0063	0,1102	1649,69	0,0061	3,0	27,2	
17	0,0047	0,1102	2241,45	0,0061	29,8	27,5	
18	0,0046	0,1125	2327,28	0,0062	34,5	27,8	
19	0,0049	0,1102	2169,87	0,0061	25,8	28,9	
20	0,0085	0,1125	1230,81	0,0062	26,2	29,9	>30
21	0,0051	0,1102	2052,56	0,0061	19,3	30,4	
22	0,0051	0,1102	2050,08	0,0061	19,2	30,7	
23	0,0068	0,1125	1562,90	0,0062	7,8	31,2	
24	0,0086	0,1102	1182,03	0,0061	28,9	32,7	
25	0,0058	0,1102	1786,37	0,0061	4,6	32,9	
26	0,0058	0,1102	1790,88	0,0061	4,8	33,9	
27	0,0083	0,1102	1225,84	0,0061	26,5	34,1	
28	0,0046	0,1102	2316,82	0,0061	34,0	34,7	
29	0,0088	0,1102	1154,77	0,0061	30,4	41,3	
30	0,0052	0,1102	2020,42	0,0061	17,5	68,6	
		PROMEDIO:	1835,96	PROMEDIO:	24,4		

Fuente: Autores

#### 6.5.1.2 Porcentajes de Error de Terzaghi.

Los porcentajes de error de cada rango para las treinta muestras de Terzaghi, tomadas para la arena perteneciente al Río La Chimera se presentan a continuación en la tabla 25, de igual forma los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad con respecto a los obtenidos en el laboratorio para dicha arena se muestran en la tabla 26.

**Tabla 25 Porcentaje de error de cada rango Terzaghi. Río La Chimera**

<b>% DE ERROR</b>	<b>DATOS</b>
<20	13.3%
20-30	20%
30-50	43.3%
>50	23.3%

Fuente: Autores

**Tabla 26 Porcentaje de error Terzaghi - Río La Chimera**

N°	$K_{LAB}$ (cm <sup>2</sup> /seg)	$K_{T-ORIGINAL}$ (cm <sup>2</sup> /seg)	ERROR (%) <sub>T-ORIGINAL</sub>	$K_{T-AJUSTE}$ (cm <sup>2</sup> /seg)	ERROR (%) <sub>T-AJUSTE</sub>	ERROR	RANGOS
1	0,0053	0,1848	3371,0	0,0075	41,2	8,2	<10
2	0,0067	0,1312	1852,4	0,0053	20,6	9,9	
3	0,0049	0,2456	4928,8	0,0100	104,6	12,5	10-20
4	0,0088	0,1487	1586,8	0,0061	31,4	19,9	
5	0,0062	0,1684	2599,1	0,0069	9,8	20,5	20-30
6	0,0049	0,1532	3036,6	0,0062	27,6	25,3	
7	0,0047	0,1556	3237,2	0,0063	35,8	26,5	
8	0,0050	0,1856	3612,8	0,0076	51,1	27,0	
9	0,0079	0,2756	3378,3	0,0112	41,5	27,7	
10	0,0036	0,1594	4295,9	0,0065	78,9	27,9	
11	0,0104	0,1690	1523,0	0,0069	34,0	31,3	30-50
12	0,0084	0,1486	1669,8	0,0060	28,0	31,9	
13	0,0046	0,1541	3250,5	0,0063	36,3	33,9	
14	0,0046	0,1492	3138,4	0,0061	31,8	35,9	
15	0,0047	0,1610	3357,5	0,0066	40,7	36,2	
16	0,0063	0,1353	2049,0	0,0055	12,6	36,4	
17	0,0047	0,1757	3634,1	0,0071	51,9	37,2	
18	0,0046	0,2100	4428,8	0,0085	84,3	40,8	
19	0,0049	0,1853	3718,7	0,0075	55,4	41,3	
20	0,0085	0,1579	1767,6	0,0064	24,0	41,6	
21	0,0051	0,1867	3547,5	0,0076	48,4	45,3	
22	0,0051	0,1847	3505,3	0,0075	46,7	46,8	
23	0,0068	0,2263	3244,7	0,0092	36,1	48,5	
24	0,0086	0,1550	1704,1	0,0063	26,6	51,2	
25	0,0058	0,0332	469,0	0,0014	76,8	52,1	>50
26	0,0058	0,1817	3018,3	0,0074	26,9	55,5	
27	0,0083	0,1874	2154,8	0,0076	8,3	76,8	
28	0,0046	0,1536	3270,5	0,0063	37,1	79,0	
29	0,0088	0,1726	1866,2	0,0070	20,0	84,4	
30	0,0052	0,1853	3467,2	0,0075	45,1	104,8	
		PROMEDIO:	2889,5	PROMEDIO:	40,4		

Fuente: Autores

### 6.5.1.3 Porcentajes de Error de Schlichter

Los porcentajes de error de cada rango para las treinta muestras de Schlichter tomadas para la arena perteneciente al Río La Chimera se presentan a continuación en la tabla 27, de igual forma los porcentajes de error de los

coeficientes de permeabilidad con respecto a los obtenidos en el laboratorio para dicha arena se muestran en la tabla 28

**Tabla 27 Porcentaje de error de cada rango Schlichter. Río La Chimera**

<b>% DE ERROR</b>	<b>DATOS</b>
<10	20%
10-20	26.6%
20-30	26.6%
>30	26.6%

Fuente: Autores

**Tabla 28 Porcentaje de error Schlichter - Río La Chimera**

N°	$K_{LAB}$ (cm <sup>3</sup> /seg)	$K_{T,ORIGINAL}$ (cm <sup>3</sup> /seg)	ERROR (%) <sub>T,ORIGINAL</sub>	$K_{T,AJUSTE}$ (cm <sup>3</sup> /seg)	ERROR (%) <sub>T,AJUSTE</sub>	ERROR	RANGOS
1	0,0053	0,0838	1472,9	0,0057	6,9	2,3	<10
2	0,0067	0,0599	792,2	0,0057	15,3	2,5	
3	0,0049	0,1102	2155,8	0,0058	19,0	6,9	
4	0,0088	0,0678	668,7	0,0057	35,4	9,6	
5	0,0062	0,0765	1125,9	0,0056	9,8	9,6	
6	0,0049	0,0697	1328,0	0,0056	15,3	9,7	
7	0,0047	0,0709	1420,0	0,0058	24,7	11,1	
8	0,0050	0,0841	1581,7	0,0056	12,6	11,2	10-20
9	0,0079	0,1229	1450,6	0,0058	26,6	12,7	
10	0,0036	0,0725	1900,0	0,0057	57,0	14,1	
11	0,0104	0,0768	637,3	0,0057	45,3	15,3	
12	0,0084	0,0677	706,5	0,0057	32,2	15,3	
13	0,0046	0,0702	1425,6	0,0057	23,7	17,3	
14	0,0046	0,0680	1375,7	0,0057	23,5	19,1	
15	0,0047	0,0732	1472,7	0,0057	22,2	21,0	20-30
16	0,0063	0,0618	881,4	0,0057	9,6	22,2	
17	0,0047	0,0797	1594,6	0,0057	20,9	23,6	
18	0,0046	0,0948	1945,0	0,0058	25,4	23,8	
19	0,0049	0,0840	1630,3	0,0057	17,2	24,7	
20	0,0085	0,0719	750,3	0,0058	31,3	24,9	
21	0,0051	0,0846	1552,3	0,0057	11,2	25,4	
22	0,0051	0,0837	1533,7	0,0057	11,1	26,6	>30
23	0,0068	0,1019	1405,9	0,0058	14,1	31,5	
24	0,0086	0,0706	721,4	0,0057	33,8	32,2	
25	0,0058	0,0164	180,2	0,0057	2,6	32,5	
26	0,0058	0,0824	1313,7	0,0057	2,3	33,8	
27	0,0083	0,0849	921,3	0,0057	31,5	35,2	
28	0,0046	0,0700	1434,8	0,0057	24,8	35,4	
29	0,0088	0,0784	792,7	0,0057	35,2	45,3	
30	0,0052	0,0840	1516,3	0,0057	9,5	57,0	
		PROMEDIO:	1256,3	PROMEDIO:	21,7		

Fuente: Autores

## 6.5.2 ARENA DE RÍO EL PLAYÓN

### 6.5.2.1 Porcentajes de Error de Allen Hazen

Los porcentajes de error de cada rango para las treinta muestras de ALLEN HAZEN, tomadas para la arena perteneciente al Río El Playón se presentan a continuación en la tabla 29, de igual forma los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad con respecto a los obtenidos en el laboratorio para dicha arena se muestran en la tabla 30.

**Tabla 29 Porcentaje de error de cada rango Schlichter. Río El Playón**

% DE ERROR	DATOS
<10	63.3%
10-20	26.6%
> 20	10%

Fuente: Autores

**Tabla 30 Porcentaje de error Schlichter - Río El Playón**

N°	$K_{LAB}$ (cm <sup>2</sup> /seg)	$K_{AHORIGINAL}$ (cm <sup>2</sup> /seg)	ERROR (%)	$K_{AHAJUSTE}$ (cm <sup>2</sup> /seg)	ERROR (%)	ERROR	RANGOS
1	0,015	0,211	1333,3	0,0145	1,4	0,9	<10
2	0,016	0,211	1218,7	0,0145	9,3	1,2	
3	0,018	0,211	1099,3	0,0145	17,5	1,4	
4	0,013	0,211	1495,8	0,0145	9,8	1,7	
5	0,015	0,211	1340,5	0,0145	0,9	2,5	
6	0,009	0,211	2343,1	0,0145	68,1	2,5	
7	0,007	0,211	2924,5	0,0145	108,1	2,8	
8	0,013	0,211	1530,7	0,0145	12,2	3,1	
9	0,016	0,211	1249,3	0,0145	7,2	4,6	
10	0,014	0,211	1423,4	0,0145	4,8	4,8	
11	0,015	0,211	1266,8	0,0145	6,0	4,9	
12	0,013	0,211	1562,9	0,0145	14,4	6,0	
13	0,015	0,211	1316,4	0,0145	2,5	7,2	
14	0,016	0,211	1221,3	0,0145	9,1	7,3	
15	0,016	0,211	1242,6	0,0145	7,6	7,6	
16	0,016	0,211	1212,3	0,0145	9,7	9,1	
17	0,012	0,211	1655,9	0,0145	20,8	9,3	
18	0,014	0,211	1371,0	0,0145	1,2	9,7	
19	0,014	0,211	1377,7	0,0145	1,7	9,8	
20	0,017	0,211	1151,0	0,0145	13,9	11,8	
21	0,016	0,211	1247,7	0,0145	7,3	12,2	
22	0,014	0,211	1389,7	0,0145	2,5	12,7	
23	0,013	0,211	1525,2	0,0145	11,8	13,9	
24	0,015	0,211	1286,3	0,0145	4,6	14,4	
25	0,015	0,211	1312,3	0,0145	2,8	15,9	
26	0,014	0,211	1425,1	0,0145	4,9	16,4	
27	0,017	0,211	1169,2	0,0145	12,7	17,5	
28	0,015	0,211	1307,9	0,0145	3,1	20,8	
29	0,017	0,211	1115,4	0,0145	16,4	68,1	
30	0,017	0,211	1122,0	0,0145	15,9	108,1	
		PROMEDIO:	1407,9	PROMEDIO:	13,6		

Fuente: Autores

### 6.5.2.2 Porcentajes de Error de Terzaghi.

Los porcentajes de error de cada rango para las treinta muestras de Terzaghi, tomadas para la arena perteneciente al Río El Playón se presentan a continuación en la tabla 31, de igual forma los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad con respecto a los obtenidos en el laboratorio para dicha arena se muestran en la tabla 32.

**Tabla 31 Porcentaje de error de cada rango Terzaghi. Río El Playón**

% DE ERROR	DATOS
<20	33.3%
20-30	16.6%
> 30	50%

Fuente: Autores

**Tabla 32 Porcentaje de error Terzaghi - Río El Playón**

N°	$K_{LAB}$ (cm <sup>2</sup> /seg)	$K_{T,ORIGINAL}$ (cm <sup>2</sup> /seg)	ERROR <sub>T,ORIGINAL</sub> (%)	$K_{T,AJUSTE}$ (cm <sup>2</sup> /seg)	ERROR <sub>T,AJUSTE</sub> (%)	ERROR	RANGOS
1	0,015	1,010	6752,2	0,058	290,3	1,1	<10
2	0,016	0,379	2267,4	0,022	34,8	1,8	
3	0,018	0,121	588,4	0,007	60,8	2,4	
4	0,013	0,383	2789,8	0,022	64,6	4,4	
5	0,015	0,244	1563,4	0,014	5,3	5,3	
6	0,009	0,354	3995,0	0,020	133,2	6,2	
7	0,007	0,347	4869,5	0,020	183,0	7,7	
8	0,013	0,041	218,3	0,002	81,9	11,1	
9	0,016	0,412	2529,7	0,023	49,8	16,6	10-20
10	0,014	0,387	2692,7	0,022	59,1	18,4	20-30
11	0,015	0,345	2135,5	0,020	27,3	20,6	
12	0,013	0,310	2338,2	0,018	38,9	21,4	
13	0,015	0,310	1979,1	0,018	18,4	21,5	
14	0,016	0,338	2017,1	0,019	20,6	24,6	
15	0,016	0,298	1791,1	0,017	7,7	27,3	
16	0,016	0,390	2320,3	0,022	37,9	34,8	
17	0,012	0,202	1579,3	0,012	4,4	37,9	
18	0,014	0,352	2348,4	0,020	39,5	38,9	>30
19	0,014	0,305	2033,9	0,017	21,5	39,5	
20	0,017	0,346	1947,4	0,020	16,6	42,2	
21	0,016	0,438	2691,6	0,025	59,0	49,8	
22	0,014	0,310	2088,1	0,018	24,6	56,5	
23	0,013	0,357	2648,4	0,020	56,5	59,0	
24	0,015	0,380	2397,0	0,022	42,2	59,1	
25	0,015	0,279	1765,2	0,016	6,2	60,8	
26	0,014	0,270	1851,4	0,015	11,1	64,6	
27	0,017	0,295	1675,1	0,017	1,1	81,9	
28	0,015	0,207	1279,3	0,012	21,4	133,2	
29	0,017	0,298	1614,3	0,017	2,4	183,0	
30	0,017	0,298	1624,6	0,017	1,8	290,3	
<b>PROMEDIO:</b>			2279,7	<b>PROMEDIO:</b>	47,4		

Fuente: Autores

### 6.5.2.3 Porcentajes de Error de Schlichter

Los porcentajes de error de cada rango para las treinta muestras de Schlichter tomadas para la arena perteneciente al Río El Playón se presentan a continuación en la tabla 33, de igual forma los porcentajes de error de los coeficientes de permeabilidad con respecto a los obtenidos en el laboratorio para dicha arena se muestran en la tabla 34.

**Tabla 33 Porcentaje de error de cada rango Schlichter. Río El Playón**

% DE ERROR	DATOS
< 10	50%
10 - 20	40%
>20	10%

Fuente: Autores

**Tabla 34 Porcentaje de error Schlichter - Río El Playón**

N°	$K_{LAB}$ (cm <sup>3</sup> /seg)	$K_{L.ORIGINAL}$ (cm <sup>3</sup> /seg)	ERROR (%) <sub>L.ORIGINAL</sub>	$K_{L.AJUSTE}$ (cm <sup>3</sup> /seg)	ERROR (%) <sub>L.AJUSTE</sub>	ERROR	RANGOS
1	0,015	0,419	2740,2	0,014	4,9	1,0	<10
2	0,016	0,171	970,4	0,014	12,6	1,1	
3	0,018	0,057	221,8	0,014	20,5	1,2	
4	0,013	0,173	1206,3	0,014	5,8	2,0	
5	0,015	0,112	660,6	0,014	4,5	2,4	
6	0,009	0,160	1755,6	0,014	62,0	4,5	
7	0,007	0,157	2153,3	0,014	100,6	4,9	
8	0,013	0,022	67,0	0,014	8,1	5,8	
9	0,016	0,186	1085,5	0,014	10,5	6,1	
10	0,014	0,175	1161,8	0,014	1,0	6,3	
11	0,015	0,157	913,8	0,014	9,4	6,6	
12	0,013	0,141	1008,9	0,014	10,3	7,8	
13	0,015	0,141	845,6	0,014	6,1	8,1	
14	0,016	0,154	860,6	0,014	12,4	8,1	
15	0,016	0,135	760,9	0,014	11,0	9,4	
16	0,016	0,176	993,3	0,014	13,0	10,3	
17	0,012	0,093	671,2	0,014	16,4	10,5	
18	0,014	0,159	1009,7	0,014	2,4	10,6	
19	0,014	0,139	870,9	0,014	2,0	11,0	
20	0,017	0,157	828,4	0,014	17,0	12,4	
21	0,016	0,197	1155,3	0,014	10,6	12,6	
22	0,014	0,141	895,1	0,014	1,2	13,0	
23	0,013	0,162	1145,1	0,014	7,8	15,8	
24	0,015	0,172	1028,9	0,014	8,1	16,4	
25	0,015	0,127	750,4	0,014	6,3	17,0	
26	0,014	0,123	790,4	0,014	1,1	19,0	
27	0,017	0,135	708,3	0,014	15,8	19,4	
28	0,015	0,095	533,1	0,014	6,6	20,5	
29	0,017	0,136	680,4	0,014	19,4	62,0	
30	0,017	0,136	685,1	0,014	19,0	100,6	
<b>PROMEDIO:</b>			971,9	<b>PROMEDIO:</b>	14,2		

Fuente: Autores



## CONCLUSIONES

- Con base en el análisis granulométrico realizado para las arenas de los ríos La Chimera y El Playón, se concluye que si son aptas para los estudios del presente proyecto dado que cumplen con el prerequisite establecido para la selección del material como lo es el poseer un porcentaje de finos menor al 10%. De igual manera se determinó que para las dos arenas analizadas el  $C_u$  es menor a 6 y el  $C_c$  es menor a 1 indicando con ello que son clasificables como ARENAS POBREMENTE GRADADAS según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.).
- Realizados los ensayos de granulometría, gravedad específica relativa de los suelos, peso unitario y permeabilidad, se lograron obtener los parámetros necesarios para la determinación de las constantes de permeabilidad de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi, observándose que en su totalidad estas son mayores a las constantes halladas directamente en el laboratorio.
- Al verificar y ajustar las fórmulas de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi y posteriormente al ser comparadas con las constantes halladas en el laboratorio, se concluye que las dos primeras arrojan porcentajes de error aceptables tanto para la arena del Río La Chimera como la del Río El Playón estando estos entre un 10 y 30%.
- Se determinó que la fórmula de Terzaghi luego de ser ajustado su error inicial, aun presenta inconsistencias para la aplicabilidad a las arenas estudiadas ya que su rango supera el 30%.

- A pesar que la fórmula de Terzaghi no se encuentra dentro de un porcentaje de error aceptable para ninguna de las arenas analizadas, se puede concluir con base en los resultados obtenidos que la arena del Río El Playón presenta un mejor comportamiento con referencia a la arena del Río La Chimera, ya que la primera de ellas posee porcentajes de error para las fórmulas de Allen Hazen y Schlichter menores al 15%, caso contrario para las arenas del Río la chimera los cuales están entre el 20 y el 25% para las mismas formulas mencionadas anteriormente.

## RECOMENDACIONES

- Para realizar los ensayos en el laboratorio se recomienda verificar que todos los implementos a utilizar estén completamente limpios, libres de cualquier impureza, ya que estas pueden causar alteraciones en los resultados.
- Al momento de realizar las pruebas granulométricas se puede generar algún tipo de error, ya que los tamices que se utilizan en las investigaciones no se encuentran en buenas condiciones, generando distorsión en los tamaños de las partículas presentes en la muestra.
- Para garantizar el éxito de la prueba de gravedad específica de sólidos se recomienda que con la utilización del extractor de aire se realice la extracción total de los vacíos, para obtener los pesos reales de la muestra seca.
- Al momento de realizar la prueba de permeabilidad se hace necesario tener la muestra totalmente saturada, de este punto dependen los buenos resultados, por tal motivo se recomienda realizar las pruebas en un mismo período de tiempo es decir consecutivas.
- Con el proceso de prueba y error en el ensayo de permeabilidad, se encontró que un factor importante es la compactación, de esta manera se recomienda unificar la cantidad de golpes en este caso se realizó de la siguiente manera, 15 golpes en la primera capa y 15 golpes en la segunda, con este procedimiento se obtuvo datos más acertados.

- Por tratarse de muestras relativamente bajas en peso se recomienda utilizar balanzas estabilizadas y digitales para disminuir la fuente de error.
- Debido a que las pruebas de permeabilidad se realizan en un laboratorio compartido se recomienda dejar la muestra, que será utilizada, dos días antes en remojo, esto porque no se posee el espacio ni tiempo necesario para dejarla un lapso de tiempo más largo, esto ayudara a la optimización del proceso.
- Debido a la cantidad de ríos y quebradas que posee Santander y a la diversidad en la composición en las arenas que son sustraídas para realizar actividades de construcción, se debería completar la caracterización total de estas, realizando una base de datos para lograr una comparación entre ellas y así asignarles el uso adecuado.

## BIBLIOGRAFÍA

- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Compendio de tesis y otros trabajos de grado. Quinta actualización. Santafé de Bogotá D.C.: INCONTEC 2004. 34 p. NTC 1486.
- JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de Suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos TOMO I. Tercera edición. México D.F. Limusa Noriega Editores, 2000. 642 pág.  
ISBN: 968 - 18 - 0069 - 9.
- MARIN BERNAL, Rodrigo. Normas de Ensayo para Carreteras TOMO I. Bogotá D.C. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1998. 425 pág.  
ISBN: 958 - 8060 - 00 - 1.
- POLANCO HURTADO, Margarita. Mecánica de Suelos. Universidad del Cauca.
  - WHITLOW, Roy. Fundamentos de Mecánica de Suelos, Traducción autorizada de la segunda edición de la obra BASIC SOIL MECHANICS. Segunda edición. México D.F. Compañía Editorial Continental 1994. 589 pág. ISBN: 968 - 26 - 1239 - X

## WEBGRAFIA

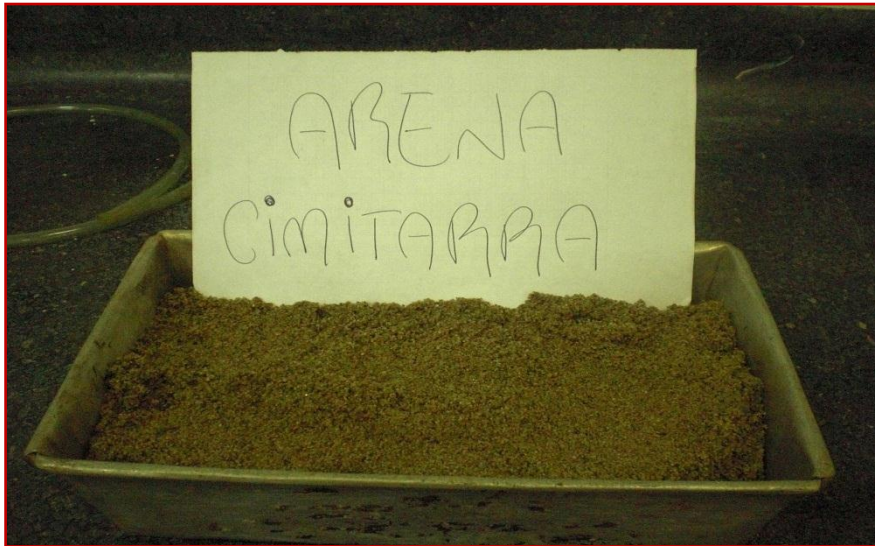
- [http://www.inlab.com.ar/Darcy\\_1.htm](http://www.inlab.com.ar/Darcy_1.htm), Octubre de 2009.
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Ley\\_de\\_Darcy](http://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Darcy), Octubre de 2009.
- <http://www.galeon.com/geologiayastronomia>, Octubre de 2009.
- [ftp://ftp.fao.org/FI/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s09.htm](ftp://ftp.fao.org/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm) Octubre de 2009.
- <http://ftp.eia.edu.co/Sitios%20Web/suelos/laboratorio/permeabilidad.htm>, Octubre de 2009.
- <http://www.seed.slb.com/es/scictr/lab/permeability/index.htm>, Octubre de 2009.
- <http://fiselect2.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Permeabilidad%20en%20Suelos.pdf>. Octubre de 2009.
- <http://www.lacomunidadpetrolera.com/cursos/propiedades-de-la-roca-yacimiento/definicion-de-la-permeabilidad.php>, Octubre de 2009.

# **ANEXO A**

## **REGISTRO FOTOGRAFICO**

Una cualidad del investigador es la observación, por tanto una vez escogidas las muestras de arena se inicia con una breve descripción de cada una de ellas, como se presenta a continuación:

Muestra 1. Arena proveniente del Río la Chimera, localizada en el municipio de Cimitarra Santander, esta Arena se caracteriza por poseer una textura fina, presentando un color café amarillento uniforme.



Muestra 2. Arena proveniente del Río El Playón, localizada en el municipio del Playón Santander, caracterizada por ser Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.





Para determinar si una arena es apta para realizar la **COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD** el primer paso es aplicar el método de la granulometría que consiste en pasar el material por tamices de diferentes diámetros de abertura, como se muestra en las siguientes fotografías captadas en el desarrollo de la práctica en el laboratorio:



**Paso 1.** Verificar el buen estado de los tamices y su diámetro



**Paso 2.** Una vez limpio y seco el material se pone en el tamiz superior para posteriormente aplicar movimientos que permitan el paso del material para su clasificación



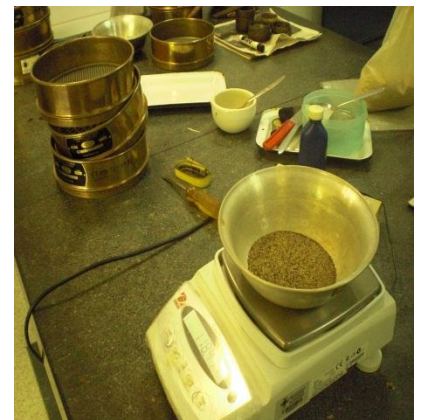
**Paso 3.** El material va quedando retenido en el tamiz de acuerdo a su tamaño



**Paso 3.** Ibíd.



**Paso 4.** El material incrustado entre las mallas del tamiz es retirado y depositado junto al material retenido en dicha malla



**Paso 5.** El material es pesado con el fin de obtener los datos y así proseguir con el análisis de resultados

Los ensayos y materiales necesarios para realizar la comparación anteriormente mencionada son los siguientes:

#### PESO ESPECÍFICO:



Llenado del matraz hasta un nivel medio lleno con agua potable



En condiciones óptimas se procede a llenarlo con el material seleccionado

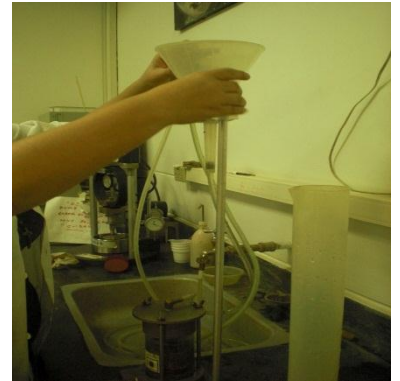
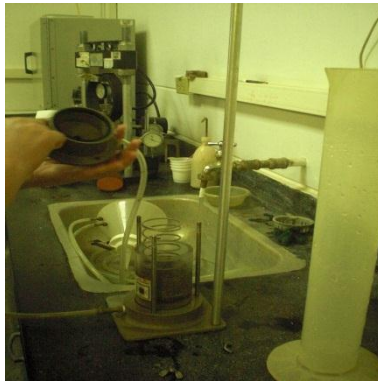


Se llena hasta encontrar el embolo para proseguir con la extracción de aire contenido dentro del matraz



Una vez succionado el aire contenido se vacía en un molde el cual reposará por un día, aproximadamente, en el horno para su secado y posterior pesado.

# PERMEABILIDAD



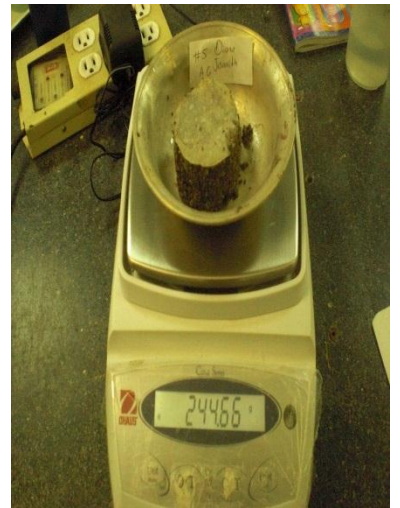
PESO DE LAS MUESTRA Y ACONDICIONAMIENTO DEL METODO



INFILTRACIÓN DE AGUA A TRAVES DE UNA MUESTRA DE SUELO POR MEDIO DEL PERMEAMETRO DE CABEZA CONSTANTE



RETIRO, PESAJE Y SECADO FINAL DE LAS MUESTRAS DE SUELO ESTUDIADAS



# **ANEXO B**

## **ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA**



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RÍO DEL PLAYÓN Y DEL RÍO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Localización: Río Playonero, Playon Santander

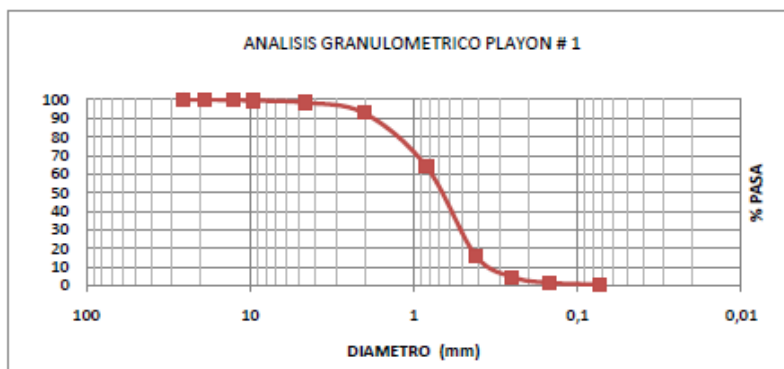
Descripción : Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 88111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 88633

Fecha: Noviembre de 2008

ARENA PLAYON # 1

TAMIZ #	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO TOTAL	% PASA TOTAL
3					
2 1/2"					
2"					
1 1/2"					
1"	25,4	0	0	0	100
3/4"	19,05	0	0	0	100
1/2"	12,7	5,2	0,31	0,31	99,69
3/8"	9,52	3,2	0,19	0,51	99,49
No 4	4,85	17,6	1,06	1,57	98,43
10	2	95,4	5,75	7,32	92,68
20	0,84	472,8	28,50	35,82	64,18
40	0,42	795,9	47,97	83,79	16,21
60	0,25	193,8	11,88	95,47	4,53
100	0,149	52,8	3,18	98,66	1,34
200	0,074	14,4	0,87	99,52	0,48
FONDO		7,9	0,48	100,00	0,00
TOTAL		1659			



D10 =	0,35	Cu =	2,285714286
D30 =	0,51		
D60 =	0,8	Cc =	1,821428571
% FINO	0,48	ARENA MAL GRADADA SP	
% GRAVAS	1,57		
% ARENAS	97,96		



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RÍO DEL PLAYÓN Y DEL RÍO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Localización: Río Playonero, Playon Santander

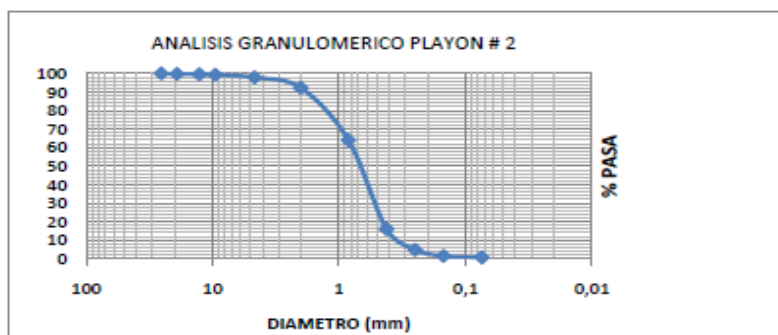
Descripción : Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

Fecha: Noviembre de 2008

ARENA PLAYON # 2

TAMIZ #	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO TOTAL	% PASA
3					
2 1/2"					
2"					
1 1/2"					
1"	25,4	0	0	0	100
3/4"	19,05	4,8	0,29	0,29	99,71
1/2"	12,7	4	0,24	0,53	99,47
3/8"	9,52	3,8	0,23	0,76	99,24
No 4	4,65	23,6	1,42	2,18	97,82
10	2	94	5,65	7,83	92,17
20	0,84	468,6	28,18	36,01	63,99
40	0,42	796,3	47,89	83,90	16,10
60	0,25	186,6	11,22	95,12	4,88
100	0,149	55,4	3,33	98,45	1,55
200	0,074	13,6	0,82	99,27	0,73
FONDO		12,1	7E-01	100	-1E-14
TOTAL		1662,8			



D10 =	0,35	Cu =	2,257142857
D30 =	0,52	Cc =	1,880650995
D60 =	0,79		
% FINO	0,73	ARENA MAL GRADADA SP	
% GRAVAS	2,18		
% ARENAS	97,10		



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAIDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

ANALISIS GRANULOMETRICO

Localización: Rio Playonero, Playon Santander

Descripción : Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

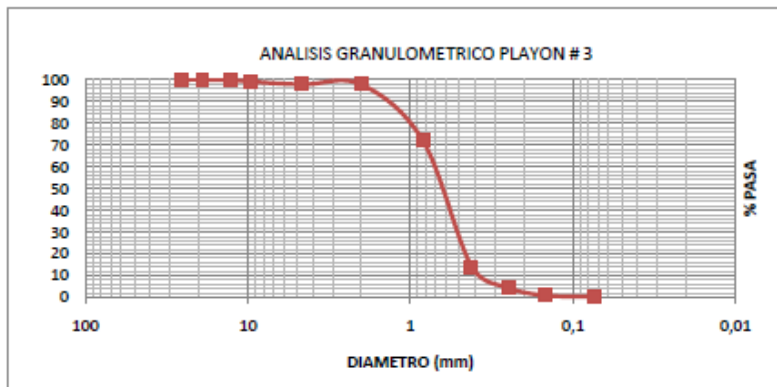
Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

Fecha: Noviembre de 2008

ARENA PLAYON # 3

PESO INICIAL	P1= 1642,6 gr
PESO FINAL	P2=1638,3 gr

TAMIZ #	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO TOTAL	% PASA
3					
2 1/2"					
2"					
1 1/2"					
1"	25,4	0	0	0	100
3/4"	19,05	0	0	0	100
1/2"	12,7	2,6	0,158285645	0,158285645	99,84171436
3/8"	9,52	12,6	0,767076586	0,925362231	99,07463777
No 4	4,65	20,8	1,266285158	2,191647388	97,80835261
10	2	0,83	0,050529648	2,242177036	97,75782296
20	0,84	419,8	25,55704371	27,79922075	72,20077925
40	0,42	951,87	57,94898332	85,74820407	14,25179593
60	0,25	159,6	9,718303421	95,46450749	4,535492512
100	0,149	58	3,530987459	98,99549495	1,004505053
200	0,074	10,2	0,62098676	99,61646171	0,383538293
FONDO		6,3	0,383538293	100	7,77156E-16
TOTAL		1642,6			



D10 =	0,38	Cu =	1,84
D30 =	0,51		
D60 =	0,7	Cc =	1,92
% FINO	0,38	ARENA MAL GRADADA SP	
% GRAVAS	2,19		
% ARENAS	97,42		



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAIDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

ANALISIS GRANULOMETRICO

Localización: Rio La Chimera, Cimitarra Santander.

Descripción : Arena fina, color café amarillento uniforme.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111

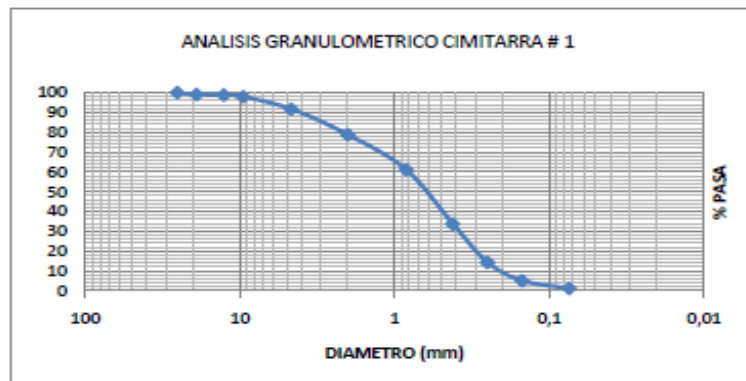
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

Fecha: Noviembre de 2008

ARENA CIMITARRA # 1

PESO INICIAL	P1= 1631,9 gr
PESO FINAL	P2= 1618,9gr

TAMIZ #	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO TOTAL	% PASA
3					
2 1/2"					
2"					
1 1/2"					
1"	25,4	0	0	0	100
3/4"	19,05	17,8	1,09	1,09	98,91
1/2"	12,7	3,2	0,20	1,29	98,71
3/8"	9,52	14	0,86	2,14	97,86
No 4	4,65	101,4	6,21	8,36	91,64
10	2	210,8	12,92	21,28	78,72
20	0,84	287,4	17,61	38,89	61,11
40	0,42	444,5	27,24	66,13	33,87
60	0,25	318,4	19,51	85,64	14,36
100	0,149	151,2	9,27	94,90	5,10
200	0,074	64	3,92	98,82	1,18
FONDO		19,2	1,18	100,00	0,00
TOTAL		1631,9			



D10 =	0,26	Cu =	3,19
D30 =	0,46	Cc =	2,13
D60 =	0,83		
% FINO	1,18	ARENA MAL GRADADA SP	
% GRAVAS	8,36		
% ARENAS	90,47		





UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.

Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111

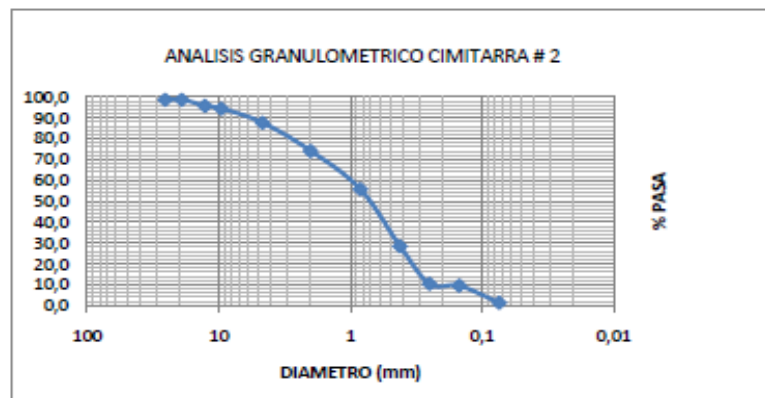
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

Fecha: Noviembre de 2008

ARENA CIMITARRA # 2

PESO INICIAL	P1= 1572,5 gr
PESO FINAL	P2=1556,7 gr

TAMIZ #	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO TOTAL	% PASA
3					
2 1/2"					
2"					
1 1/2"					100
1"	25,4	18,6	1,3	1,3	98,7
3/4"	19,05	0	0,0	1,3	98,7
1/2"	12,7	41,4	2,9	4,2	95,8
3/8"	9,52	19	1,3	5,6	94,4
No 4	4,65	95,8	6,8	12,3	87,7
10	2	192	13,5	25,9	74,1
20	0,84	259,8	18,3	44,2	55,8
40	0,42	387	27,3	71,5	28,5
60	0,25	256,8	18,1	89,6	10,4
100	0,149	11	0,8	90,4	9,6
200	0,074	116,8	8,2	98,6	1,4
FONDO		19,4	1,4	100,0	0,0
TOTAL		1417,6			



D10 =	0,26	Cu =	3,19
D30 =	0,46		
D60 =	0,83	Cc =	2,13
% FINO	1,37	ARENA MAL GRADADA SP	
% GRAVAS	12,33		
% ARENAS	86,30		



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAIDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

ANALISIS GRANULOMETRICO

Localización: Rio La Chimera, Cimitarra Santander.

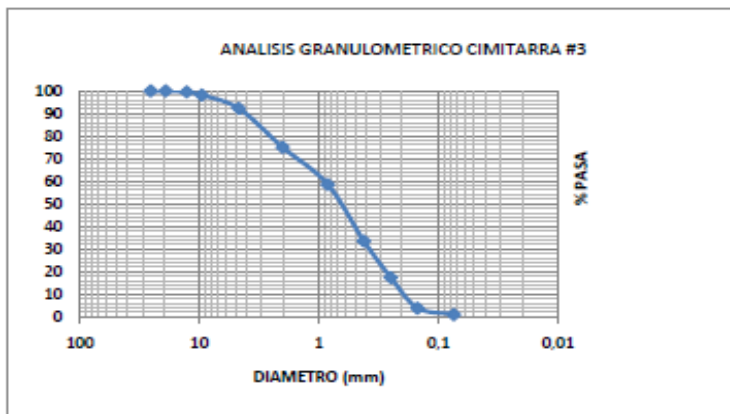
Descripcion : Arena fina, color café amarillento uniforme.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

Fecha: Noviembre de 2008

ARENA CIMITARRA # 3

TAMIZ #	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO TOTAL	% PASA
3					
2 1/2"					
2"					
1 1/2"					
1"	25,4	0	0	0	100
3/4"	19,05	0	0	0	100
1/2"	12,7	7,4	0,44	0,44	99,56
3/8"	9,52	23,8	1,41	1,85	98,15
No 4	4,65	99,8	5,92	7,77	92,23
10	2	290	17,20	24,97	75,03
20	0,84	277,2	16,44	41,41	58,59
40	0,42	421,9	25,02	66,43	33,57
60	0,25	272,8	16,18	82,61	17,39
100	0,149	228,6	13,56	96,17	3,83
200	0,074	47,6	2,82	98,99	1,01
FONDO		17	1,01	100,00	0,00
TOTAL		1686,1			



D10 =	0,26	Cu =	3,19
D30 =	0,46	Cc =	2,13
D60 =	0,83		
% FINO	1,01	ARENA MAL GRADADA SP	
% GRAVAS	7,77		
% ARENAS	91,22		

# **ANEXO C**

**ENSAYOS DE PESO ESPECÍFICO RELATIVO**



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

PESO ESPECIFICO RELATIVO (GS)

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.

Descripción : Arena fina, color café amarillento uniforme.


Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111


Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633


Cantidad de ensayos: 30

fecha: Noviembre de 2008

PRUEBA N°	1	2	3	4	5
MATRAZ N°	1	2	1	2	1
TEMPERATURA ( °C )	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5
WMWS ( gr.)	703,8	715,2	712,7	708,3	703,8
WMW ( gr.)	652,75	657,36	652,75	657,36	652,75
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	1	2	3	4	5
PESO CAPSULA ( gr.)	298,2	324,8	328,7	327,9	338,7
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA ( gr.)	381,7	419,4	427,3	411,2	422,5
Ws - INICIAL - ( gr.)	83,4	94,6	98,4	83,3	84
Ws - FINAL - ( gr.)	83,5	94,6	98,6	83,3	83,8
$GS = \frac{Ws \text{ Final}}{Ws \text{ Final} + WMW - WMWS}$	2,57	2,57	2,55	2,57	2,56
PRUEBA N°	6	7	8	9	10
MATRAZ N°	2	1	2	1	1
TEMPERATURA ( °C )	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5
WMWS ( gr.)	716,2	704,7	709,8	712,4	721,6
WMW ( gr.)	657,36	652,75	657,36	652,75	652,75
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	6	7	8	9	10
PESO CAPSULA ( gr.)	284,3	327,5	333,7	284,8	337,6
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA ( gr.)	379,6	412,2	419,1	382,7	449,8
Ws - INICIAL - ( gr.)	95,3	84,5	85,5	97,8	93,9
Ws - FINAL - ( gr.)	95,3	84,7	85,4	97,9	112,2
$GS = \frac{Ws \text{ Final}}{Ws \text{ Final} + WMW - WMWS}$	2,61	2,59	2,59	2,56	2,59
PRUEBA N°	11	12	13	14	15
MATRAZ N°	2	1	1	2	1
TEMPERATURA ( °C )	23	23	23	23	23
WMWS ( gr.)	708,9	713,6	713,3	712,5	706,2
WMW ( gr.)	657,43	652,82	652,82	657,43	652,82
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	11	12	13	14	15
PESO CAPSULA ( gr.)	280,9	316,6	295,7	284,7	285,5
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA ( gr.)	363,2	413,7	394,4	373,9	372,1
Ws - INICIAL - ( gr.)	82,7	97,2	97,4	89,2	86,6
Ws - FINAL - ( gr.)	82,3	97,1	98,7	89,2	86,6
$GS = \frac{Ws \text{ Final}}{Ws \text{ Final} + WMW - WMWS}$	2,67	2,67	2,58	2,61	2,61

		UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA				
		COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA				
		PESO ESPECIFICO RELATIVO (GS)				
Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.						
Descripción : Arena fina, color café amarillento uniforme.						
Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111 Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633						
Cantidad de ensayos: 30						
fecha: Noviembre de 2008						
PRUEBA N°	16	17	18	19	20	
MATRAZ N°	1	2	2	1	2	
TEMPERATURA ( °C )	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	
WMWS ( gr.)	714,7	714,3	711,6	707,6	715,6	
WMW ( gr.)	652,746	657,363	657,363	652,746	657,363	
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	5	6	9	4	1	
PESO CAPSULA ( gr.)	338,8	284,4	284,9	330,5	298,2	
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA ( gr.)	438,8	376,3	372,9	419,5	392,5	
Ws - INICIAL - ( gr.)	91,8	93,9	87,9	91,5	94,2	
Ws - FINAL - ( gr.)	100	91,9	88	89	94,3	
GS = $\frac{Ws \text{ Final}}{Ws \text{ Final} + WMW - WMWS}$	2,63	2,63	2,61	2,61	2,61	
PRUEBA N°	21	22	23	24	25	
MATRAZ N°	1	2	1	1	2	
TEMPERATURA ( °C )	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	
WMWS ( gr.)	710,5	709,3	708,5	711,9	714,1	
WMW ( gr.)	652,75	657,36	652,75	652,75	657,36	
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	3	2	7	1	13	
PESO CAPSULA ( gr.)	328,8	324,8	327,7	298,2	296,2	
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA ( gr.)	423,8	407,2	416,3	393,9	387,3	
Ws - INICIAL - ( gr.)	94,9	82,5	88,7	95,7	91	
Ws - FINAL - ( gr.)	95	82,4	88,6	95,7	91,1	
GS = $\frac{Ws \text{ Final}}{Ws \text{ Final} + WMW - WMWS}$	2,55	2,70	2,70	2,62	2,65	
PRUEBA N°	26	27	28	29	30	
MATRAZ N°	1	2	1	2	1	
TEMPERATURA ( °C )	23	23	23	23	23	
WMWS ( gr.)	707,1	717	703,8	717	709,2	
WMW ( gr.)	652,82	657,43	652,82	657,43	652,82	
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	12	14	7	10	6	
PESO CAPSULA ( gr.)	316,5	284,7	327,6	337,7	284,4	
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA ( gr.)	403,7	380,1	410,1	434,2	375	
Ws - INICIAL - ( gr.)	87,2	95,3	82,3	96,4	91	
Ws - FINAL - ( gr.)	87,2	95,4	82,5	96,5	90,6	
GS = $\frac{Ws \text{ Final}}{Ws \text{ Final} + WMW - WMWS}$	2,65	2,66	2,62	2,61	2,65	
PROMEDIO GS		2,61				

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA					
	COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA				
	PESO ESPECIFICO RELATIVO (GS)				
Localización: Rio Playonero, Playon Santander					
Descripción : Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.					
Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111					
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633					
Cantidad de ensayos: 30					
fecha: Noviembre de 2008					
PRUEBA Nº	1	2	3	4	5
MATRAZ Nº	1	1	1	1	1
TEMPERATURA ( °C )	23	23	23	23	23
WMWS ( gr.)	708,6	705,8	722,8	713,2	706,7
WMW ( gr.)	652,82	652,82	652,82	652,82	652,82
CAPSULA DE EVAPORACIÓN Nº	1	2	3	4	5
PESO CAPSULA ( gr.)	298,1	324,8	324,9	327,9	339,4
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA ( gr.)	388,5	410,1	437,9	426,4	426,4
Ws - INICIAL - ( gr.)	90,7	85,5	109,7	98,6	87,8
Ws - FINAL - ( gr.)	90,4	85,3	113	98,5	87
GS = $\frac{Ws \text{ Final}}{Ws \text{ Final} + WMW - WMWS}$	2,61	2,64	2,63	2,58	2,63
PRUEBA Nº	6	7	8	9	10
MATRAZ Nº	1	1	1	1	1
TEMPERATURA ( °C )	23	23	23	23	23
WMWS ( gr.)	708,6	704,8	703,3	703,1	712,4
WMW ( gr.)	652,82	652,82	652,82	652,82	652,82
CAPSULA DE EVAPORACIÓN Nº	6	7	8	9	10
PESO CAPSULA ( gr.)	284,5	327,5	337,7	284,9	337,7
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA ( gr.)	376,1	413,2	420,4	367,2	434,7
Ws - INICIAL - ( gr.)	91,8	85,8	82,6	82,5	97,2
Ws - FINAL - ( gr.)	91,6	85,7	82,7	82,3	97
GS = $\frac{Ws \text{ Final}}{Ws \text{ Final} + WMW - WMWS}$	2,56	2,54	2,57	2,57	2,59
PRUEBA Nº	11	12	13	14	15
MATRAZ Nº	1	1	1	1	1
TEMPERATURA ( °C )	23	23	23	23	23
WMWS ( gr.)	703,9	710,1	706,3	705,7	706,1
WMW ( gr.)	652,82	652,82	652,82	652,82	652,82
CAPSULA DE EVAPORACIÓN Nº	11	12	13	14	15
PESO CAPSULA ( gr.)	280,9	316,5	296,2	284,7	286,7
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA ( gr.)	363,7	409,5	383,7	370,9	372,4
Ws - INICIAL - ( gr.)	82,6	93,1	87,7	86,3	87,1
Ws - FINAL - ( gr.)	82,8	93	87,5	86,2	85,7
GS = $\frac{Ws \text{ Final}}{Ws \text{ Final} + WMW - WMWS}$	2,61	2,60	2,57	2,59	2,64

		UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA				
		COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA PESO ESPECIFICO RELATIVO (GS)				
Localización: Rio Playonero, Playon Santander						
Descripción : Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.						
Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111 Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633						
Cantidad de ensayos: 30						
fecha: Noviembre de 2008						
PRUEBA N°	16	17	18	19	20	
MATRAZ N°	1	1	1	1	1	
TEMPERATURA ( °C )	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	
WMWS ( gr. )	718,30	712,50	709,50	702,00	717,20	
WMW ( gr. )	652,75	652,75	652,75	652,75	652,75	
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	1	2	3	4	5	
PESO CAPSULA ( gr. )	298,2	324,7	329,5	332,1	338,6	
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA ( gr. )	404,4	422,3	420,7	411,2	443,3	
Ws - INICIAL - ( gr. )	106,4	97,6	91,9	83,5	97,2	
Ws - FINAL - ( gr. )	106,2	97,6	91,2	79,1	104,7	
GS = $\frac{Ws \text{ Final}}{Ws \text{ Final} + WMW - WMWS}$	2,61	2,58	2,65	2,65	2,60	
PRUEBA N°	21	22	23	24	25	
MATRAZ N°	1	1	1	1	1	
TEMPERATURA ( °C )	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	
WMWS ( gr. )	709	705	708,5	708	710,4	
WMW ( gr. )	652,75	652,75	652,75	652,75	652,75	
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	6	7	8	9	10	
PESO CAPSULA ( gr. )	284,3	327,6	337,7	284,8	337,6	
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA ( gr. )	376,4	413,4	428,6	375,3	432,2	
Ws - INICIAL - ( gr. )	90,31	85,81	91,11	90,51	93,51	
Ws - FINAL - ( gr. )	92,1	85,8	90,9	90,5	94,6	
GS = $\frac{Ws \text{ Final}}{Ws \text{ Final} + WMW - WMWS}$	2,57	2,56	2,59	2,57	2,56	
PRUEBA N°	26	27	28	29	30	
MATRAZ N°	1	1	1	1	1	
TEMPERATURA ( °C )	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	
WMWS ( gr. )	705,9	709	713	709,3	716,5	
WMW ( gr. )	652,75	652,75	652,75	652,75	652,75	
CAPSULA DE EVAPORACIÓN N°	11	12	13	14	15	
PESO CAPSULA ( gr. )	280,9	316,5	296,2	284,8	285,5	
PESO CAPSULA + MUESTRA SECA ( gr. )	368	408,9	396,1	377,3	389,8	
Ws - INICIAL - ( gr. )	87,2	92,3	99,9	92,5	86,3	
Ws - FINAL - ( gr. )	87,1	92,4	99,9	92,5	104,3	
GS = $\frac{Ws \text{ Final}}{Ws \text{ Final} + WMW - WMWS}$	2,57	2,56	2,52	2,57	2,57	
PROMEDIO GS		2,588470653				

# **ANEXO D**

## **ENSAYOS DE PERMEABILIDAD**





UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RÍO DEL PLAYÓN Y DEL RÍO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.							
Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.							
Monitor de investigación: Jennith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111 Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633							
Cantidad de ensayos: 30							
Fecha: Noviembre de 2008							
PRUEBA N°1							
Molde							
Díametro	6,3	Altura (cm)	3,9	Área (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	129,413982
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1721					
Peso suelo :		233,4					
Cabeza de agua ( h ) :		65					
Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. 9C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. 9C
1	180	610	23,5	5	180	560	23,5
2	180	595	23,5	6	180	555	23,5
3	180	580	23,5	7	180	545	23,5
4	180	570	23,5	8	180	540	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. 9C
					180	569,375	23,5
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,005719533	cm/seg.			
		$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,005203059	cm/seg.			
PRUEBA N°2							
Molde							
Díametro	6,3	Altura (cm)	3,7	Área (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	122,777368
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1732					
Peso suelo :		244,4					
Cabeza de agua ( h ) :		65					
Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. 9C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. 9C
1	180	830	23,5	5	180	770	23,5
2	180	810	23,5	6	180	745	23,5
3	180	790	23,5	7	180	735	23,5
4	180	770	23,5	8	180	720	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. 9C
					180	771,25	23,5
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,00735012	cm/seg.	$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,006686404	cm/seg.





UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAIDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.

Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

Cantidad de ensayos: 30

fecha: Noviembre de 2008

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.

Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

fecha: Noviembre de 2008

PRUEBA N°3

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,7	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	122,777368
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1734					
Peso suelo :		246,4					
Cabeza de agua ( h ) :		65					
Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	400	23,5	5	180	365	23,5
2	180	365	23,5	6	180	360	23,5
3	180	375	23,5	7	180	350	23,5
4	180	375	23,5	8	180	350	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	370	23,5
$\frac{nt}{n20}$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,003526152	cm/seg.			
		$K_{20} = K_t \cdot \frac{nt}{n20}$	0,00320774	cm/seg.			

PRUEBA N°4

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	4	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	132,73229
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1743					
Peso suelo :		255,4					
Cabeza de agua ( h ) :		66					
Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	965	23,5	5	180	960	23,5
2	180	980	23,5	6	180	950	23,5
3	180	980	23,5	7	180	945	23,5
4	180	970	23,5	8	180	940	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	962,8571429	23,5
$\frac{nt}{n20}$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,009769871	cm/seg.	$K_{20} = K_t \cdot \frac{nt}{n20}$	0,008887651	cm/seg.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RÍO DEL PLAYÓN Y DEL RÍO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.

Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

Cantidad de ensayos: 30

fecha: Noviembre de 2008

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.

Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

fecha: Noviembre de 2008

PRUEBA N°5

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,6	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	119,459061
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1708,6					
Peso suelo :		221					
Cabeza de agua ( h ) :		65,5					
Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	820	23	5	180	740	23
2	180	805	23	6	180	740	23
3	180	780	23	7	180	725	23
4	180	770	23	8	180	720	23
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	762,5	23
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$		0,007016361	cm/seg.		
		$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$		0,006382784	cm/seg.		

PRUEBA N°6

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	4,3	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	142,687211
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1740,1					
Peso suelo :		252,5					
Cabeza de agua ( h ) :		65,5					
Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	580	23	5	180	540	23
2	180	580	23	6	180	535	23
3	180	555	23	7	180	515	23
4	180	555	23	8	180	515	23
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	546,875	23
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,006010715	cm/seg.	$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,005467947	cm/seg.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAIDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.

Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

Cantidad de ensayos: 30

fecha: Noviembre de 2008

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.

Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

fecha: Noviembre de 2008

PRUEBA N°7

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	4	Área (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	132,73229
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1738,5					
Peso suelo :		250,9					
Cabeza de agua ( h ) :		66,5					

Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	280	23	5	180	250	23
2	180	265	23	6	180	245	23
3	180	260	23	7	180	245	23
4	180	255	23	8	180	240	23

PROMEDIO

	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
	180	255	23

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,002567967	cm/seg.
--------------------	--------	---	-------------	---------

		$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,00233608	cm/seg.
--	--	------------------------------------	------------	---------

PRUEBA N°8

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,9	Área (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	129,413982
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1719,9					
Peso suelo :		232,3					
Cabeza de agua ( h ) :		66					

Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	615	23	5	180	575	23
2	180	615	23	6	180	570	23
3	180	590	23	7	180	550	23
4	180	585	23	8	180	550	23

PROMEDIO

	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
	180	581,25	23

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,005750353	cm/seg.
--------------------	--------	---	-------------	---------

		$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,005231097	cm/seg.
--	--	------------------------------------	-------------	---------



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Rio La Chimera, Cimitarra Santander.							
Descripción : Arena fina, color café amarillento uniforme.							
Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111 Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633							
Cantidad de ensayos: 30							
fecha: Noviembre de 2008							
Localización: Rio La Chimera, Cimitarra Santander.							
Descripción : Arena fina, color café amarillento uniforme.							
Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111 Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633							
fecha: Noviembre de 2008							
PRUEBA N° 9							
Molde							
Diametro	6,5	Altura (cm)	3,6	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	119,459061
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1721					
Peso suelo :		233,4					
Cabeza de agua ( h ) :		66					
Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	385	23	5	180	370	23
2	180	380	23	6	180	370	23
3	180	380	23	7	180	370	23
4	180	375	23	8	180	365	23
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	374,375	23
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,003418821	cm/seg.			
		$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,003110101	cm/seg.			
PRUEBA N° 10							
Molde							
Diametro	6,5	Altura (cm)	4	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	132,73229
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1738					
Peso suelo :		250,4					
Cabeza de agua ( h ) :		66,5					
Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	465	23,5	5	180	420	23,5
2	180	435	23,5	6	180	405	23,5
3	180	435	23,5	7	180	400	23,5
4	180	430	23,5	8	180	390	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	422,5	23,5
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,004254769	cm/seg.	$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,003870563	cm/seg.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RÍO DEL PLAYÓN Y DEL RÍO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.

Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

Cantidad de ensayos: 30

fecha: Noviembre de 2008

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.

Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

fecha: Noviembre de 2008

PRUEBA N° 11

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	4,2	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	139,368904
Peso cámara + base :	1487,6						
Peso cámara + base + suelo:	1746						
Peso suelo :	258,4						
Cabeza de agua ( h ) :	67,5						

Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1240	23,5	5	180	1150	23,5
2	180	1250	23,5	6	180	1130	23,5
3	180	1200	23,5	7	180	1125	23,5
4	180	1200	23,5	8	180	1005	23,5

PROMEDIO

	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C				
	180	1162,5	23,5				

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,012110146	cm/seg.			
		$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,0110166	cm/seg.			

PRUEBA N° 12

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	4,5	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	149,323826
Peso cámara + base :	1487,6						
Peso cámara + base + suelo:	1775						
Peso suelo :	287,4						
Cabeza de agua ( h ) :	67						

Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	970	23,5	5	180	865	23,5
2	180	872	23,5	6	180	850	23,5
3	180	890	23,5	7	180	830	23,5
4	180	890	23,5	8	180	810	23,5

PROMEDIO

	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C				
	180	872,125	23,5				

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,009806801	cm/seg.	$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,008921247	cm/seg.
--------------------	--------	---	-------------	---------	------------------------------------	-------------	---------



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.							
Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.							
Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111 Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633							
Cantidad de ensayos: 30							
fecha: Noviembre de 2008							
Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.							
Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.							
Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111 Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633							
fecha: Noviembre de 2008							
<b>PRUEBA N° 13</b>							
Molde							
Diametro	6,5	Altura (cm)	3,8	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	126,095675
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1727,8					
Peso suelo :		240,2					
Cabeza de agua ( h ) :		66					
Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	610	23,5	5	180	535	23,5
2	180	590	23,5	6	180	525	23,5
3	180	560	23,5	7	180	520	23,5
4	180	550	23,5	8	180	510	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	550	23,5
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,005301677	cm/seg.			
		$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,004822935	cm/seg.			
<b>PRUEBA N° 14</b>							
Molde							
Diametro	6,5	Altura (cm)	3,8	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	126,095675
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1730					
Peso suelo :		242,4					
Cabeza de agua ( h ) :		65					
Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	600	23,5	5	180	540	23,5
2	180	590	23,5	6	180	525	23,5
3	180	550	23,5	7	180	515	23,5
4	180	550	23,5	8	180	510	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	547,5	23,5
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,005358772	cm/seg.	$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,004874875	cm/seg.





UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RÍO DEL PLAYÓN Y DEL RÍO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.							
Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.							
Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111 Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633							
Cantidad de ensayos: 30							
fecha: Noviembre de 2008							
Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.							
Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.							
Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111 Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633							
fecha: Noviembre de 2008							
PRUEBA Nº 15							
Molde							
Diametro	6,5	Altura (cm)	3,9	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	129,413982
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1731					
Peso suelo :		243,4					
Cabeza de agua ( h ) :		66					
Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. ºC	Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. ºC
1	180	610	23,5	5	180	535	23,5
2	180	590	23,5	6	180	525	23,5
3	180	560	23,5	7	180	520	23,5
4	180	550	23,5	8	180	510	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. ºC
					180	550	23,5
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$		0,005441195	cm/seg.		
		$K_{20} = K_t \cdot \frac{nt}{n20}$		0,004949855	cm/seg.		
PRUEBA Nº 16							
Molde							
Diametro	6,5	Altura (cm)	3,7	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	122,777368
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1730					
Peso suelo :		242,4					
Cabeza de agua ( h ) :		65,5					
Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. ºC	Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. ºC
1	180	830	23,5	5	180	770	23,5
2	180	815	23,5	6	180	750	23,5
3	180	790	23,5	7	180	735	23,5
4	180	780	23,5	8	180	725	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. ºC
					180	774,375	23,5
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$		0,007323567	cm/seg.	$K_{20} = K_t \cdot \frac{nt}{n20}$	0,006662249
						cm/seg.	



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACION DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.

Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimés ID: 68633

Cantidad de ensayos: 30

fecha: Noviembre de 2008

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.

Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimés ID: 68633

fecha: Noviembre de 2008

PRUEBA Nº 17

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	4	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	132,73229
Peso cámara + base :	1487,6						
Peso cámara + base + suelo:	1730,8						
Peso suelo :	243,2						
Cabeza de agua ( h ) :	67,9						

Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	590	23,5	5	180	550	23,5
2	180	580	23,5	6	180	525	23,5
3	180	560	23,5	7	180	520	23,5
4	180	560	23,5	8	180	515	23,5

PROMEDIO

	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
	180	550	23,5

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q*L}{A*h*T}$	0,005424551	cm/seg.
--------------------	--------	-------------------------	-------------	---------

		$K_{20} = Kt * \frac{nt}{n20}$	0,004934714	cm/seg.
--	--	--------------------------------	-------------	---------

PRUEBA Nº 18

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,9	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	129,413982
Peso cámara + base :	1487,6						
Peso cámara + base + suelo:	1732						
Peso suelo :	244,4						
Cabeza de agua ( h ) :	65,5						

Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	380	23,5	5	180	350	23,5
2	180	365	23,5	6	180	345	23,5
3	180	360	23,5	7	180	345	23,5
4	180	355	23,5	8	180	320	23,5

PROMEDIO

	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
	180	352,5	23,5

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q*L}{A*h*T}$	0,003513932	cm/seg.	$K_{20} = Kt * \frac{nt}{n20}$	0,003196624	cm/seg.
--------------------	--------	-------------------------	-------------	---------	--------------------------------	-------------	---------



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.

Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

Cantidad de ensayos: 30

fecha: Noviembre de 2008

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.

Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

fecha: Noviembre de 2008

PRUEBA Nº 19

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,9	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	129,413982
Peso cámara + base :	1487,6						
Peso cámara + base + suelo:	1720,8						
Peso suelo :	233,2						
Cabeza de agua ( h ) :	66						

Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	600	23,5	5	180	560	23,5
2	180	595	23,5	6	180	550	23,5
3	180	590	23,5	7	180	550	23,5
4	180	580	23,5	8	180	540	23,5

PROMEDIO

	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
	180	570,625	23,5

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,005645239	cm/seg.
--------------------	--------	---	-------------	---------

		$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,005135474	cm/seg.
--	--	------------------------------------	-------------	---------

PRUEBA Nº 20

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,7	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	122,777368
Peso cámara + base :	1487,6						
Peso cámara + base + suelo:	1733,9						
Peso suelo :	246,3						
Cabeza de agua ( h ) :	66						

Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	390	23,5	5	180	370	23,5
2	180	385	23,5	6	180	365	23,5
3	180	385	23,5	7	180	360	23,5
4	180	375	23,5	8	180	350	23,5

PROMEDIO

	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
	180	372,5	23,5

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,00349619	cm/seg.
--------------------	--------	---	------------	---------

		$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,003180484	cm/seg.
--	--	------------------------------------	-------------	---------





UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.

Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

Cantidad de ensayos: 30

fecha: Noviembre de 2008

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.

Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

fecha: Noviembre de 2008

PRUEBA N° 23

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,7	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	122,777368
Peso cámara + base:	1487,6						
Peso cámara + base + suelo:	1722,8						
Peso suelo:	235,2						
Cabeza de agua ( h ):	66						

Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	380	23,5	5	180	350	23,5
2	180	380	23,5	6	180	350	23,5
3	180	375	23,5	7	180	345	23,5
4	180	360	23,5	8	180	340	23,5

PROMEDIO

	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C				
	180	360	23,5				

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,003378868	cm/seg.			
--------------------	--------	---	-------------	---------	--	--	--

		$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,003073756	cm/seg.			
--	--	------------------------------------	-------------	---------	--	--	--

PRUEBA N° 24

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	4	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	132,73229
Peso cámara + base:	1487,6						
Peso cámara + base + suelo:	1740						
Peso suelo:	252,4						
Cabeza de agua ( h ):	66						

Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1000	23,5	5	180	960	23,5
2	180	985	23,5	6	180	950	23,5
3	180	980	23,5	7	180	945	23,5
4	180	980	23,5	8	180	940	23,5

PROMEDIO

	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C				
	180	967,5	23,5				

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,009816961	cm/seg.	$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,008930507	cm/seg.
--------------------	--------	---	-------------	---------	------------------------------------	-------------	---------



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RÍO DEL PLAYÓN Y DEL RÍO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.

Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

Cantidad de ensayos: 30

fecha: Noviembre de 2008

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.

Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

fecha: Noviembre de 2008

PRUEBA Nº 25

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,8	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	126,095675
Peso cámara + base :	1487,6						
Peso cámara + base + suelo:	1810,4						
Peso suelo :	322,8						
Cabeza de agua (h) :	65						

Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	740	23,5	5	180	680	23,5
2	180	720	23,5	6	180	675	23,5
3	180	700	23,5	7	180	655	23,5
4	180	695	23,5	8	180	650	23,5

PROMEDIO

	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
	180	689,375	23,5

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,006747403	cm/seg.
		$K_{20} = K_t \cdot \frac{nt}{n20}$	0,006138113	cm/seg.

PRUEBA Nº 26

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,5	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	116,140753
Peso cámara + base :	1487,6						
Peso cámara + base + suelo:	1698,2						
Peso suelo :	210,6						
Cabeza de agua (h) :	65,5						

Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	815	23,5	5	180	735	23,5
2	180	800	23,5	6	180	735	23,5
3	180	775	23,5	7	180	720	23,5
4	180	765	23,5	8	180	715	23,5

PROMEDIO

	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
	180	757,5	23,5

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,006776732	cm/seg.	$K_{20} = K_t \cdot \frac{nt}{n20}$	0,006164793	cm/seg.
--------------------	--------	---	-------------	---------	-------------------------------------	-------------	---------



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAIDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Rio La Chimera, Cimitarra Santander.							
Descripción : Arena fina, color café amarillento uniforme.							
Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111 Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633							
Cantidad de ensayos: 30							
fecha: Noviembre de 2008							
Localización: Rio La Chimera, Cimitarra Santander.							
Descripción : Arena fina, color café amarillento uniforme.							
Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111 Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633							
fecha: 6 de Noviembre de 2008							
PRUEBA N° 27							
Molde							
Diametro	6,5	Altura (cm)	3,9	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	129,413982
Peso cámara + base :			1487,6				
Peso cámara + base + suelo:			1720				
Peso suelo :			232,4				
Cabeza de agua ( h ) :			66				
Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	995	23,5	5	180	980	23,5
2	180	985	23,5	6	180	875	23,5
3	180	983	23,5	7	180	860	23,5
4	180	980	23,5	8	180	855	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	939,125	23,5
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,00929084	cm/seg.			
		$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,008451877	cm/seg.			
PRUEBA N° 28							
Molde							
Diametro	6,5	Altura (cm)	3,8	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	126,095675
Peso cámara + base :			1487,6				
Peso cámara + base + suelo:			1728				
Peso suelo :			240,4				
Cabeza de agua ( h ) :			66				
Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	600	23,5	5	180	535	23,5
2	180	590	23,5	6	180	530	23,5
3	180	560	23,5	7	180	520	23,5
4	180	555	23,5	8	180	520	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	551,25	23,5
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,005313726	cm/seg.	$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,004833897	cm/seg.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RÍO DEL PLAYÓN Y DEL RÍO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.

Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

Cantidad de ensayos: 30

fecha: Noviembre de 2008

Localización: Río La Chimera, Cimitarra Santander.

Descripción: Arena fina, color café amarillento uniforme.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

fecha: 6 de Noviembre de 2008

PRUEBA N° 29

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,9	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	129,413982
Peso cámara + base :			1487,6				
Peso cámara + base + suelo:			1726				
Peso suelo :			238,4				
Cabeza de agua ( h ) :			65,5				

Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1100	23,5	5	180	885	23,5
2	180	1050	23,5	6	180	870	23,5
3	180	1050	23,5	7	180	870	23,5
4	180	900	23,5	8	180	860	23,5

PROMEDIO

	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C				
	180	948,125	23,5				

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,00945148	cm/seg.			
--------------------	--------	---	------------	---------	--	--	--

		$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,008598011	cm/seg.			
--	--	------------------------------------	-------------	---------	--	--	--

PRUEBA N° 30

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,9	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	129,413982
Peso cámara + base :			1487,6				
Peso cámara + base + suelo:			1720,8				
Peso suelo :			233,2				
Cabeza de agua ( h ) :			66				

Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	600	23,5	5	180	560	23,5
2	180	595	23,5	6	180	550	23,5
3	180	590	23,5	7	180	550	23,5
4	180	580	23,5	8	180	540	23,5

PROMEDIO

	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C				
	180	570,625	23,5				

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,005645239	cm/seg.	$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,005135474	cm/seg.
--------------------	--------	---	-------------	---------	------------------------------------	-------------	---------





UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RÍO DEL PLAYÓN Y DEL RÍO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Río Playonero, Playon Santander							
Descripción : Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.							
Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111 Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633							
Cantidad de ensayos: 30							
Fecha: Noviembre de 2008							
<b>PRUEBA N°1</b>							
Molde							
Diametro	6,5	Altura (cm)	3,95	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	131,073136
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1636,8					
Peso suelo :		149,2					
Cabeza de agua ( h ) :		64,5					
Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1655	23,5	5	180	1575	23,5
2	180	1635	23,5	6	180	1550	23,5
3	180	1605	23,5	7	180	1525	23,5
4	180	1590	23,5	8	180	1505	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	1580	23,5
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,01619964	cm/seg.			
		$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,014736813	cm/seg.			
<b>PRUEBA N°2</b>							
Molde							
Diametro	6,5	Altura (cm)	3,53	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	117,136246
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1692,3					
Peso suelo :		204,7					
Cabeza de agua ( h ) :		48					
Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1519	23,5	5	180	1390	23,5
2	180	1488	23,5	6	180	1350	23,5
3	180	1434	23,5	7	180	1322	23,5
4	180	1410	23,5	8	180	1290	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	1400,375	23,5
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,017242043	cm/seg.	$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,015685086	cm/seg.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAIDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Río Playonero, Playon Santander

Descripción: Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

Cantidad de ensayos: 30

fecha: Noviembre de 2008

Localización: Río Playonero, Playon Santander

Descripción: Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

fecha: Noviembre de 2008

PRUEBA N°3

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,01	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	99,8810479
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1717,9					
Peso suelo :		230,3					
Cabeza de agua ( h ) :		66					
Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	2800	23,5	5	180	2471	23,5
2	180	2670	23,5	6	180	2443	23,5
3	180	2585	23,5	7	180	2430	23,5
4	180	2550	23,5	8	180	2380	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	2541,125	23,5
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097		$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,01940258	cm/seg.		
			$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,017650527	cm/seg.		

PRUEBA N°4

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	4,2	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	139,368904
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1722,6					
Peso suelo :		235					
Cabeza de agua ( h ) :		65					
Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1405	23,5	5	180	1310	23,5
2	180	1385	23,5	6	180	1295	23,5
3	180	1360	23,5	7	180	1275	23,5
4	180	1345	23,5	8	180	1260	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	1329,375	23,5
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097		$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,014381174	cm/seg.	$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,013082554
						cm/seg.	



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAIDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Rio Playonero, Playon Santander

Descripcion : Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimés ID: 68633

Cantidad de ensayos: 30

fecha: Noviembre de 2008

Localización: Rio Playonero, Playon Santander

Descripcion : Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimés ID: 68633

fecha: Noviembre de 2008

PRUEBA N°5

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,9	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	129,413982
Peso cámara + base :	1487,6						
Peso cámara + base + suelo:	1732						
Peso suelo :	244,4						
Cabeza de agua ( h ) :	65						

Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1640	23,5	5	180	1565	23,5
2	180	1625	23,5	6	180	1540	23,5
3	180	1600	23,5	7	180	1520	23,5
4	180	1580	23,5	8	180	1500	23,5

PROMEDIO

	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
	180	1571,25	23,5

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q*L}{A*h*T}$	0,01578365	cm/seg.
--------------------	--------	-------------------------	------------	---------

		$K_{20} = Kt * \frac{nt}{n20}$	0,014358386	cm/seg.
--	--	--------------------------------	-------------	---------

PRUEBA N°6

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,5	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	116,140753
Peso cámara + base :	1487,6						
Peso cámara + base + suelo:	1695,1						
Peso suelo :	207,5						
Cabeza de agua ( h ) :	65						

Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1135	23,5	5	180	1015	23,5
2	180	1095	23,5	6	180	995	23,5
3	180	1045	23,5	7	180	970	23,5
4	180	1035	23,5	8	180	950	23,5

PROMEDIO

	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
	180	1030	23,5

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q*L}{A*h*T}$	0,009285447	cm/seg.	$K_{20} = Kt * \frac{nt}{n20}$	0,008446971	cm/seg.
--------------------	--------	-------------------------	-------------	---------	--------------------------------	-------------	---------



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RÍO DEL PLAYÓN Y DEL RÍO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Río Playonero, Playon Santander

Descripción: Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

Cantidad de ensayos: 30

fecha: Noviembre de 2008

Localización: Río Playonero, Playon Santander

Descripción: Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

fecha: Noviembre de 2008

PRUEBA N°7

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,8	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	126,095675
Peso cámara + base :	1487,6						
Peso cámara + base + suelo:	1714,3						
Peso suelo :	226,7						
Cabeza de agua ( h ) :	66,5						

Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	910	23,5	5	180	780	23,5
2	180	855	23,5	6	180	750	23,5
3	180	820	23,5	7	180	730	23,5
4	180	790	23,5	8	180	710	23,5

PROMEDIO

	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C				
	180	793,125	23,5				

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,007587776	cm/seg.			
--------------------	--------	---	-------------	---------	--	--	--

		$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,0069026	cm/seg.			
--	--	------------------------------------	-----------	---------	--	--	--

PRUEBA N°8

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,5	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	116,140753
Peso cámara + base :	1487,6						
Peso cámara + base + suelo:	1796,5						
Peso suelo :	308,9						
Cabeza de agua ( h ) :	66						

Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1730	23,5	5	180	1580	23,5
2	180	1680	23,5	6	180	1540	23,5
3	180	1640	23,5	7	180	1520	23,5
4	180	1615	23,5	8	180	1495	23,5

PROMEDIO

	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C				
	180	1600	23,5				

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,01420545	cm/seg.	$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,012922698	cm/seg.
--------------------	--------	---	------------	---------	------------------------------------	-------------	---------



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Río Playonero, Playon Santander							
Descripción: Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.							
Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111 Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633							
Cantidad de ensayos: 30							
fecha: Noviembre de 2008							
Localización: Río Playonero, Playon Santander							
Descripción: Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.							
Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111 Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633							
fecha: Noviembre de 2008							
PRUEBA N° 9							
Molde							
Diametro	6,5	Altura (cm)	3,8	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	126,095675
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1707,6					
Peso suelo :		220					
Cabeza de agua ( h ) :		66					
Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1785	23,5	5	180	1725	23,5
2	180	1780	23,5	6	180	1715	23,5
3	180	1760	23,5	7	180	1710	23,5
4	180	1740	23,5	8	180	1700	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	1739,375	23,5
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q*L}{A*h*T}$		0,016766553	cm/seg.		
		$K_{20} = Kt * \frac{nt}{n20}$		0,015252533	cm/seg.		
PRUEBA N° 10							
Molde							
Diametro	6,5	Altura (cm)	3,9	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	129,413982
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1712,2					
Peso suelo :		224,6					
Cabeza de agua ( h ) :		65,8					
Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1575	23,5	5	180	1485	23,5
2	180	1550	23,5	6	180	1465	23,5
3	180	1530	23,5	7	180	1455	23,5
4	180	1505	23,5	8	180	1440	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	1500,625	23,5
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q*L}{A*h*T}$		0,014890929	cm/seg.	$K_{20} = Kt * \frac{nt}{n20}$	0,013546278
							cm/seg.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RÍO DEL PLAYÓN Y DEL RÍO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Río Playonero, Playon Santander

Descripción: Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

Cantidad de ensayos: 30

fecha: Noviembre de 2008

Localización: Río Playonero, Playon Santander

Descripción: Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

fecha: Noviembre de 2008

PRUEBA Nº 11

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,9	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	129,413982
Peso cámara + base :			1487,6				
Peso cámara + base + suelo:			1720,6				
Peso suelo :			233				
Cabeza de agua ( h ) :			66,3				

Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1850	23,5	5	180	1670	23,5
2	180	1800	23,5	6	180	1655	23,5
3	180	1725	23,5	7	180	1645	23,5
4	180	1685	23,5	8	180	1640	23,5

PROMEDIO				t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
				180	1708,75	23,5

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,01682831	cm/seg.
--------------------	--------	---	------------	---------

$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,015308714	cm/seg.
------------------------------------	-------------	---------

PRUEBA Nº 12

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,6	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	119,459061
Peso cámara + base :			1487,6				
Peso cámara + base + suelo:			1709,9				
Peso suelo :			222,3				
Cabeza de agua ( h ) :			66				

Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1540	23,5	5	180	1475	23,5
2	180	1530	23,5	6	180	1465	23,5
3	180	1515	23,5	7	180	1445	23,5
4	180	1500	23,5	8	180	1435	23,5

PROMEDIO				t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
				180	1488,125	23,5

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,013589669	cm/seg.
--------------------	--------	---	-------------	---------

$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,012362522	cm/seg.
------------------------------------	-------------	---------



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Rio Playonero, Playon Santander

Descripcion : Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

Cantidad de ensayos: 30

fecha: Noviembre de 2008

Localización: Rio Playonero, Playon Santander

Descripcion : Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

fecha: Noviembre de 2008

PRUEBA Nº 13

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,7	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	122,777368
Peso cámara + base :	1487,6						
Peso cámara + base + suelo:	1716						
Peso suelo :	228,4						
Cabeza de agua ( h ) :	65,5						

Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1810	23,5	5	180	1720	23,5
2	180	1780	23,5	6	180	1690	23,5
3	180	1760	23,5	7	180	1680	23,5
4	180	1735	23,5	8	180	1660	23,5

PROMEDIO				t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
				180	1729,375	23,5

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,016355375	cm/seg.
		$K_{20} - Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,014878484	cm/seg.

PRUEBA Nº 14

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	4	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	132,73229
Peso cámara + base :	1487,6						
Peso cámara + base + suelo:	1728,1						
Peso suelo :	240,5						
Cabeza de agua ( h ) :	66						

Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1805	23,5	5	180	1710	23,5
2	180	1790	23,5	6	180	1700	23,5
3	180	1765	23,5	7	180	1695	23,5
4	180	1730	23,5	8	180	1660	23,5

PROMEDIO				t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
				180	1731,875	23,5

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,017572902	cm/seg.	$K_{20} - Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,015986069	cm/seg.
--------------------	--------	---	-------------	---------	------------------------------------	-------------	---------



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAIDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Río Playonero, Playon Santander

Descripción: Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

Cantidad de ensayos: 30

fecha: Noviembre de 2008

Localización: Río Playonero, Playon Santander

Descripción: Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

fecha: Noviembre de 2008

PRUEBA N° 15

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,8	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	126,095675
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1725					
Peso suelo :		237,4					
Cabeza de agua ( h ) :		66,3					

Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1900	23,5	5	180	1825	23,5
2	180	1875	23,5	6	180	1765	23,5
3	180	1860	23,5	7	180	1755	23,5
4	180	1830	23,5	8	180	1705	23,5

PROMEDIO

	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
	180	1814,375	23,5

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,017410371	cm/seg.
		$K_{20} = K_t \cdot \frac{nt}{n20}$	0,015838214	cm/seg.

PRUEBA N° 16

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,8	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	126,095675
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1706					
Peso suelo :		218,4					
Cabeza de agua ( h ) :		66					

Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1939	23,5	5	180	1810	23,5
2	180	1900	23,5	6	180	1795	23,5
3	180	1870	23,5	7	180	1770	23,5
4	180	1830	23,5	8	180	1770	23,5

PROMEDIO

	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
	180	1835,5	23,5

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,017693141	cm/seg.	$K_{20} = K_t \cdot \frac{nt}{n20}$	0,016095451	cm/seg.
--------------------	--------	---	-------------	---------	-------------------------------------	-------------	---------





UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RÍO DEL PLAYÓN Y DEL RÍO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Río Playonero, Playon Santander

Descripción: Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

Cantidad de ensayos: 30

fecha: Noviembre de 2008

Localización: Río Playonero, Playon Santander

Descripción: Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

fecha: Noviembre de 2008

PRUEBA N° 17

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,2	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	106,185832
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1708,5					
Peso suelo :		220,9					
Cabeza de agua ( h ) :		67,9					

Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1700	23,5	5	180	1640	23,5
2	180	1665	23,5	6	180	1630	23,5
3	180	1650	23,5	7	180	1625	23,5
4	180	1640	23,5	8	180	1610	23,5

PROMEDIO

	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
	180	1645	23,5

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,012979471	cm/seg.
		$K_{20} = K_t \cdot \frac{nt}{n20}$	0,011807425	cm/seg.

PRUEBA N° 18

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,6	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	119,459061
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1701,5					
Peso suelo :		213,9					
Cabeza de agua ( h ) :		66					

Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1805	23,5	5	180	1625	23,5
2	180	1805	23,5	6	180	1600	23,5
3	180	1790	23,5	7	180	1590	23,5
4	180	1670	23,5	8	180	1530	23,5

PROMEDIO

	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
	180	1676,875	23,5

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,015313348	cm/seg.	$K_{20} = K_t \cdot \frac{nt}{n20}$	0,013930553	cm/seg.
--------------------	--------	---	-------------	---------	-------------------------------------	-------------	---------



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAIDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Rio Playonero, Playon Santander							
Descripcion : Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.							
Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111 Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633							
Cantidad de ensayos: 30							
fecha: Noviembre de 2008							
Localización: Rio Playonero, Playon Santander							
Descripcion : Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.							
Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111 Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633							
fecha: Noviembre de 2008							
PRUEBA Nº 19							
Molde							
Diametro	6,5	Altura (cm)	3,9	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	129,413982
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1729,5					
Peso suelo :		241,9					
Cabeza de agua ( h ) :		65,5					
Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. ºC	Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. ºC
1	180	1650	23,5	5	180	1540	23,5
2	180	1625	23,5	6	180	1485	23,5
3	180	1585	23,5	7	180	1440	23,5
4	180	1570	23,5	8	180	1425	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. ºC
					180	1540	23,5
$\frac{nt}{n20}$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$		0,015351645	cm/seg.		
		$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$		0,013965392	cm/seg.		
PRUEBA Nº 20							
Molde							
Diametro	6,5	Altura (cm)	4,1	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	136,050597
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1732,5					
Peso suelo :		244,9					
Cabeza de agua ( h ) :		66,5					
Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. ºC	Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. ºC
1	180	1860	23,5	5	180	1755	23,5
2	180	1840	23,5	6	180	1740	23,5
3	180	1810	23,5	7	180	1710	23,5
4	180	1790	23,5	8	180	1680	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. ºC
					180	1773,125	23,5
$\frac{nt}{n20}$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$		0,018302586	cm/seg.	$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,016649863
							cm/seg.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAIDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Rio Playonero, Playon Santander

Descripcion : Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

Cantidad de ensayos: 30

fecha: Noviembre de 2008

Localización: Rio Playonero, Playon Santander

Descripcion : Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

fecha: Noviembre de 2008

PRUEBA Nº 21

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,9	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	129,413982
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1714					
Peso suelo :		226,4					
Cabeza de agua ( h ) :		66,3					

Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1745	23,5	5	180	1640	23,5
2	180	1710	23,5	6	180	1620	23,5
3	180	1680	23,5	7	180	1600	23,5
4	180	1660	23,5	8	180	1595	23,5

PROMEDIO

				t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
				180	1656,25	23,5

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,016311274	cm/seg.
--------------------	--------	---	-------------	---------

$K_{20} = K_t \cdot \frac{nt}{n20}$	0,014838366	cm/seg.
-------------------------------------	-------------	---------

PRUEBA Nº 22

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,9	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	129,413982
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1728,3					
Peso suelo :		240,7					
Cabeza de agua ( h ) :		67					

Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1690	23,5	5	180	1575	23,5
2	180	1665	23,5	6	180	1555	23,5
3	180	1640	23,5	7	180	1535	23,5
4	180	1605	23,5	8	180	1530	23,5

PROMEDIO

				t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
				180	1599,375	23,5

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,015586586	cm/seg.	$K_{20} = K_t \cdot \frac{nt}{n20}$	0,014179118	cm/seg.
--------------------	--------	---	-------------	---------	-------------------------------------	-------------	---------



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAIDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Rio Playonero, Playon Santander

Descripcion : Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 60633

Cantidad de ensayos: 30

fecha: Noviembre de 2008

Localización: Rio Playonero, Playon Santander

Descripcion : Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 60633

fecha: Noviembre de 2008

PRUEBA Nº 23

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	4,2	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	139,368904
Peso cámara + base :			1487,6				
Peso cámara + base + suelo:			1735,9				
Peso suelo :			248,3				
Cabeza de agua ( h ) :			66,2				
Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1445	23,5	5	180	1310	23,5
2	180	1405	23,5	6	180	1300	23,5
3	180	1390	23,5	7	180	1280	23,5
4	180	1360	23,5	8	180	1270	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	1345	23,5
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$		0,014286455	cm/seg.		
		$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$		0,012996388	cm/seg.		

PRUEBA Nº 24

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	4,1	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	136,050597
Peso cámara + base :			1487,6				
Peso cámara + base + suelo:			1725,1				
Peso suelo :			237,5				
Cabeza de agua ( h ) :			65,5				
Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo Nº	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1670	23,5	5	180	1590	23,5
2	180	1640	23,5	6	180	1565	23,5
3	180	1605	23,5	7	180	1540	23,5
4	180	1600	23,5	8	180	1515	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	1590,625	23,5
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$		0,01666945	cm/seg.	$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,015164198
						cm/seg.	



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAIDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Río Playonero, Playon Santander							
Descripción : Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.							
Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111 Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633							
Cantidad de ensayos: 30							
fecha: Noviembre de 2008							
Localización: Río Playonero, Playon Santander							
Descripción : Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.							
Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111 Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633							
fecha: Noviembre de 2008							
PRUEBA N° 25							
Molde							
Diametro	6,5	Altura (cm)	3,5	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	volumen (cm <sup>3</sup> )	116,140753
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1700,1					
Peso suelo :		212,5					
Cabeza de agua ( h ) :		67,8					
Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1850	23,5	5	180	1780	23,5
2	180	1820	23,5	6	180	1745	23,5
3	180	1800	23,5	7	180	1715	23,5
4	180	1795	23,5	8	180	1685	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	1773,75	23,5
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$		0,015329983	cm/seg.		
		$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$		0,013945685	cm/seg.		
PRUEBA N° 26							
Molde							
Diametro	6,5	Altura (cm)	3,7	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	volumen (cm <sup>3</sup> )	122,777368
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1714,2					
Peso suelo :		226,6					
Cabeza de agua ( h ) :		65,4					
Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1565	23,5	5	180	1480	23,5
2	180	1540	23,5	6	180	1465	23,5
3	180	1535	23,5	7	180	1450	23,5
4	180	1515	23,5	8	180	1440	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	1498,75	23,5
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$		0,014195937	cm/seg.	$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,012914044
							cm/seg.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAIDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Rio Playonero, Playon Santander							
Descripción : Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.							
Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111 Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633							
Cantidad de ensayos: 30							
fecha: Noviembre de 2008							
Localización: Rio Playonero, Playon Santander							
Descripción : Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.							
Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111 Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633							
fecha: 6 de Noviembre de 2008							
PRUEBA N° 27							
Molde							
Diametro	6,5	Altura (cm)	3,9	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	129,413982
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1720,6					
Peso suelo :		233					
Cabeza de agua ( h ) :		65,5					
Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1765	23,5	5	180	1705	23,5
2	180	1740	23,5	6	180	1690	23,5
3	180	1725	23,5	7	180	1680	23,5
4	180	1715	23,5	8	180	1670	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	1711,25	23,5
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q*L}{A*h*T}$		0,017058768	cm/seg.		
		$K_{20} = Kt * \frac{nt}{n20}$		0,015518361	cm/seg.		
PRUEBA N° 28							
Molde							
Diametro	6,5	Altura (cm)	3,7	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	122,777368
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1730					
Peso suelo :		242,4					
Cabeza de agua ( h ) :		66					
Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1675	23,5	5	180	1585	23,5
2	180	1650	23,5	6	180	1565	23,5
3	180	1630	23,5	7	180	1555	23,5
4	180	1605	23,5	8	180	1540	23,5
PROMEDIO					t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	1600,625	23,5
$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q*L}{A*h*T}$		0,015023056	cm/seg.	$K_{20} = Kt * \frac{nt}{n20}$	0,013666474
						cm/seg.	



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COMPARACION DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD OBTENIDO EN EL LABORATORIO CON LOS CALCULADOS A PARTIR DE LAS FÓRMULAS DE ALLEN HAZEN, SCHLICHTER Y TERZAGHI PARA LAS ARENAS EXTRAÍDAS DEL RIO DEL PLAYÓN Y DEL RIO LA CHIMERA UBICADOS EN EL MUNICIPIO DEL PLAYÓN Y CIMITARRA

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)  
CABEZA CONSTANTE

Localización: Rio Playonero, Playon Santander

Descripcion : Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

Cantidad de ensayos: 30

fecha: Noviembre de 2008

Localización: Rio Playonero, Playon Santander

Descripcion : Arena de grano medio, color pardo claro con pintas blancas.

Monitor de investigación: Jannith Eliana Angulo Vanegas ID: 68111  
Diana Carolina Rincón Jaimes ID: 68633

fecha: 6 de Noviembre de 2008

PRUEBA N° 29

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	4	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	132,73229
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1726					
Peso suelo :		238,4					
Cabeza de agua ( h ) :		66					

Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1775	23,5	5	180	1705	23,5
2	180	1750	23,5	6	180	1690	23,5
3	180	1735	23,5	7	180	1675	23,5
4	180	1720	23,5	8	180	1670	23,5

			PROMEDIO		t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	1715	23,5

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,017401676	cm/seg.			
--------------------	--------	---	-------------	---------	--	--	--

		$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,015830305	cm/seg.			
--	--	------------------------------------	-------------	---------	--	--	--

PRUEBA N° 30

Molde

Diametro	6,5	Altura (cm)	3,6	Area (cm <sup>2</sup> )	33,1830724	Volumen (cm <sup>3</sup> )	119,459061
Peso cámara + base :		1487,6					
Peso cámara + base + suelo:		1720					
Peso suelo :		232,4					
Cabeza de agua ( h ) :		65,5					

Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C	Ensayo N°	t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
1	180	1765	23,5	5	180	1735	23,5
2	180	1760	23,5	6	180	1720	23,5
3	180	1750	23,5	7	180	1715	23,5
4	180	1740	23,5	8	180	1705	23,5

			PROMEDIO		t. en (seg)	Q (cm <sup>3</sup> )	T. °C
					180	1736,25	23,5

$\frac{nt}{n20} =$	0,9097	$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$	0,0159766	cm/seg.	$K_{20} = Kt \cdot \frac{nt}{n20}$	0,014533913	cm/seg.
--------------------	--------	---	-----------	---------	------------------------------------	-------------	---------

**ANEXO 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  $\mu\text{m}$  (No.200).

## **2. EQUIPO**

**2.1** Dos balanzas. Una con sensibilidad de 0.01 g para pesar material que pase el tamiz de 2 mm (No.10). Otra con sensibilidad 0.1 % del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 2 mm (No.10).

## **2.2 Tamices de malla cuadrada:**

75 mm (3"), 50 mm (2"), 37.5 mm (1-1/2"), 25 mm (1"), 19.0 mm (3/4"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No.4), 2.00 mm (No.10) 850 µm (No.20), 425 µm (No.40), 250 µm (No.60), 106 µm (No.140) y 75 µm (No.200).

Se puede usar, como alternativa, una serie de tamices que, al dibujar la gradación, dé una separación uniforme entre los puntos del gráfico; esta serie estará integrada por los siguientes:

75 mm (3"), 37.5 mm (1-1/2"), 19.0 mm (3/4"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No.4), 2.36 mm (No.8), 1.10 mm (No.16), 600 µm (No.30), 300 µm (No.50), 150 µm (No.100), 75 µm (No.200).

**2.3** Horno, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °F).

**2.4** Envases, adecuados para el manejo y secado de las muestras.

**2.5** Cepillo y brocha, para limpiar las mallas de los tamices.

### **3. MUESTRA**

**3.1** Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hace, bien con la muestra entera, o bien con parte de ella después de separar los finos por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca en el horno una pequeña porción húmeda del material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, entonces el análisis con tamices, se puede efectuar sin previo lavado.

**3.2** Prepárese una muestra para el ensayo como se describe en la preparación de muestras para análisis granulométrico Norma INV E-106, la cual estará constituida por dos fracciones: Una retenida sobre el tamiz de 2 mm (No.10) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayarán por separado.

**3.3** El peso del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, como se indica en la Norma INV E-106, será suficiente para las cantidades requeridas para el análisis mecánico, como sigue:

- Para la porción de muestra retenida en el tamiz de 2 mm (No.10) el peso dependerá del tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la Tabla No.1.

TABLA No.1

Diámetro Nominal de las partículas más grandes mm (pulg)	Peso mínimo aproximado de la porción Gramos, g
9.5 (3/8")	500
19.0 (3/4")	1000
25.0 (1")	2000
37.5 (1 1/2")	3000
50.0 (2")	4000
75.0 (3")	5000

- El tamaño de la porción que pasa tamiz de 2 mm (No.10) será aproximadamente de 115 g, para suelos arenosos, y de 65 g para suelos arcillosos y limosos.

**3.4** En la Norma INV E-106, se dan indicaciones para la pesada del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, así como para la separación del suelo sobre el Tamiz de 2 mm (No.10) por medio del tamizado en seco, y para el lavado y pesado de las fracciones lavadas y secadas retenidas en dicho tamiz. De estos dos pesos, los porcentajes, retenido y que pasa el Tamiz de 2 mm (No.10), pueden calcularse de acuerdo con el numeral 6.1.

- Se puede tener una comprobación de los pesos, así como de la completa pulverización de los terrones, pesando la porción de muestra que pasa el Tamiz de 2 mm (No.10) y agregándole este valor al peso de la porción de muestra lavada y secada en el horno, retenida en el Tamiz de 2 mm (No.10).

#### **4. ANALISIS POR MEDIO DE TAMIZADO DE LA FRACCION RETENIDA EN EL TAMIZ DE 2.00 mm (No.10)**

**4.1** Sepárese la porción de muestra retenida en el tamiz de 2 mm (No.10) en una serie de fracciones usando los tamices de:

75 mm (3"), 50 mm (2"), 37.5 mm (1- $\frac{1}{2}$ "), 25.0 mm (1"), 19.0 mm (3/4"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No.4) y 2.00 mm (No.10), o los que sean necesarios dependiendo del tipo de muestra, o dependiendo de las especificaciones para el material que se ensaya.

**4.2** En la operación de tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla. Debe comprobarse al desmontar los tamices que la operación está terminada; esto se sabe cuándo 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  $\mu\text{m}$  (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  $\mu\text{m}$  (No.200) se analizará por tamizado en seco, lavando la muestra previamente sobre el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No.200)

## **5.2** Procedimiento para el análisis granulométrico por lavado sobre el tamiz de 75 $\mu\text{m}$ (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  $110 \pm 5$  °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  $\mu\text{m}$  (No.200) con abundante agua, evitando frotarla contra el tamiz y teniendo mucho cuidado de que no se pierda ninguna partícula de las retenidas en él.
  
- Se recoge lo retenido en un recipiente, se seca en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$ ) y se pesa.
  
- Se tamiza en seco siguiendo el procedimiento indicado en las secciones 4.2 y 4.3

## **6. CALCULOS**

**6.1** Valores de análisis de tamizado para la porción retenida en el Tamiz de 2 mm (No.10).

- Se calcula el porcentaje que pasa el tamiz de 2 mm (No.10) dividiendo el peso que pasa dicho tamiz por el del suelo originalmente tomado y se multiplica el resultado por 100. Para obtener el peso de la porción retenida en el mismo tamiz, réstese del peso original, el peso del pasante por el Tamiz de 2 mm (No.10).



- Para comprobar el peso total de suelo que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4), se agrega al peso del material que pasa el tamiz de 2 mm (No.10), el peso de la fracción que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4) y que queda retenida en el de 2 mm (No.10). Para comprobar el material que pasa por el tamiz de 9.5 mm (3/8"), se agrega al peso total del suelo que pasa por el tamiz de 4.75 mm (No.4) el peso de la fracción que pasa el tamiz de 9.5 mm (3/8") y que queda retenida en el de 4.75 mm (No.4). Para los demás tamices continúese el cálculo de la misma manera.
  
- Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide el peso total que pasa (sección 6.1.2) por el peso total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.

**6.2** Valores del análisis por tamizado para la porción que pasa el tamiz de 2 mm (No.10).

- Se calcula el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 75 μm (No.200) de la siguiente forma:

$$\% \text{ Pasa } 75\mu\text{m} = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso Ret. en el tamiz de } 75\mu\text{m}}{\text{Peso Total}} * 100$$

Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

$$\%Retenido = \frac{PesoRetenidoeneltamiz}{PesoTotal} * 100$$

- Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100% los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

$$\% Pasa = 100 - \% Ret. acumulado$$

**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.

$$\% Humedad Higroscopica = \frac{W - W_1}{W_1} * 100$$

Dónde:

W = Peso de suelo secado al aire

W<sub>1</sub> = 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 período demasiado corto o con movimientos horizontales o rotacionales inadecuados. Los tamices deben agitarse de manera que las partículas sean expuestas a las aberturas del tamiz con varias orientaciones y así tengan mayor oportunidad de pasar a través de él.
- La malla de los tamices está rota o deformada; los tamices deben ser frecuentemente inspeccionados para asegurar que no tienen aberturas más grandes que la especificada.
- Pérdidas de material al sacar el retenido de cada tamiz.
- Errores en las pesadas y en los cálculos.

## 8. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

ASTM D 422

AASHTO T 88

MOP E 115 (Venezuela)

NLT 104

# **ANEXO F**

**NORMAS DE INVIAS I.N.V. E - 128 PARA LA  
EJECUCIÓN DE ENSAYOS DE PESO ESPECÍFICO  
RELATIVO**

**DETERMINACION DEL PESO ESPECÍFICO  
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 cm<sup>3</sup> de capacidad.

**3.2** Bomba de vacío, con tuberías y uniones, o en su defecto un mechero o un dispositivo para hervir el contenido del picnómetro.

**3.3** Horno, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ).

**3.4** Balanzas, una capacidad de 1200g y sensibilidad de 0.01g y otra con capacidad de 200g y sensibilidad de .001g.

**3.5** Pipeta.



**3.6** Termómetro graduado, con una escala de 0 a 50°C (32 a 122°F) y con precisión de 0.1°C (0.18°F).

**3.7** Cápsula de evaporación.

**3.8** Baño de agua (Baño maría).

**3.9** Guantes de asbesto.

**3.10** Tamices de 2.36 mm (No.8) y 4.75 mm (No.4).

#### **4. CALIBRACION DEL PICNOMETRO**

El peso del picnómetro lleno de agua debe ser calibrado para varias temperaturas. El picnómetro con agua se calibra directamente dentro del intervalo de temperaturas que se espera encontrar en el laboratorio.

El proceso de calibración es el siguiente:

**4.1** Llénese el picnómetro con agua destilada o desmineralizada, sin burbujas de aire, hasta una altura algo menor que la marca de calibración y

colóquese al "Baño maría" hasta que se equilibre su temperatura con la del baño.

Sáquese el picnómetro del "Baño maría", ajústese con una pipeta el nivel del agua en el picnómetro de manera que la parte de abajo del menisco coincida con la marca de calibración en el cuello del picnómetro y remuévase el agua que se encuentre adherida en la parte interior del cuello por encima de la marca de calibración; luego, pésese el picnómetro con agua con una precisión de 0.01 g. Inmediatamente después de la pesada, agítese el picnómetro suavemente y determínese la temperatura del agua con una precisión de 0.1°C, introduciendo el termómetro hasta la mitad de la profundidad del picnómetro.

**4.2** Repítase el procedimiento anterior aproximadamente a la misma temperatura. Luego, háganse dos determinaciones adicionales, una a la temperatura del laboratorio y otra a una temperatura aproximadamente 5°C (9°F) menor que la temperatura del laboratorio.

**4.3** Dibújese una curva de calibración que muestre la relación entre las temperaturas y los pesos correspondientes del picnómetro más agua. Prepárese la curva de calibración para cada picnómetro que se utilice en la determinación de los pesos específicos y consérvense esas curvas en el archivo. Una curva de calibración típica se muestra en la Figura No. 1.

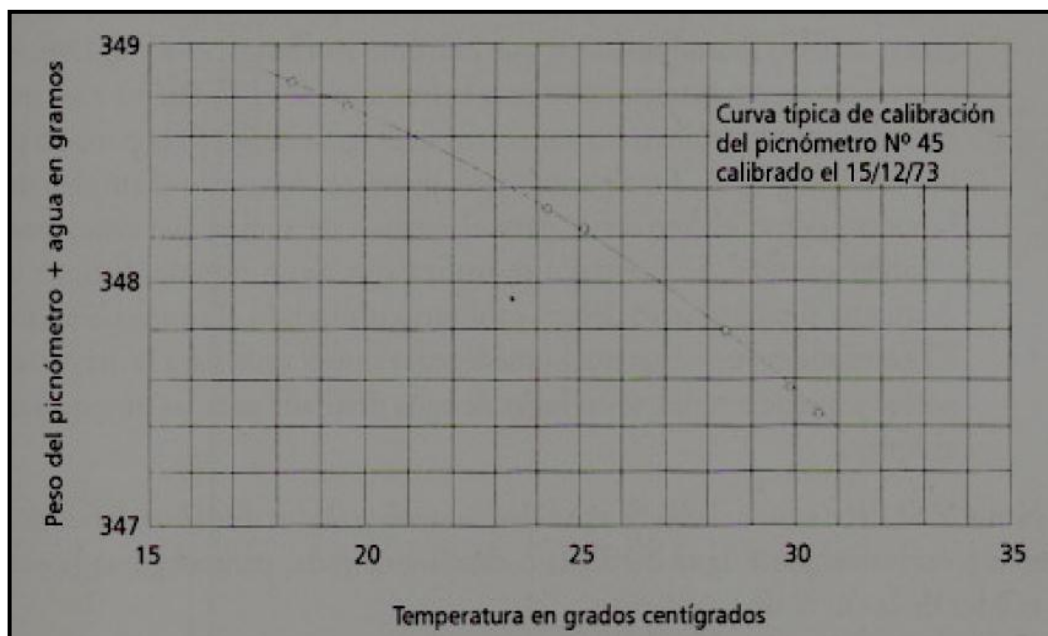


Figura 1. Curva típica de calibración del picnómetro.

Nota 1: No se debe utilizar la misma curva de calibración para todos los picnómetros de igual capacidad. Cada uno de los picnómetros, aún los de igual capacidad, tienen pesos diferentes; por lo tanto, deberán ser individualmente calibrados.

Si el picnómetro no está limpio, la curva de calibración no será válida, porque cambia su peso. También, si la parte interior del cuello del picnómetro no está limpia, se formará un menisco irregular.

Cuando se calibra el picnómetro para una temperatura menor que la del laboratorio, hay una tendencia a que se condense agua en la parte interior del picnómetro, aun cuando se haya tenido mucho cuidado en el secado y

la pesada se haya realizado rápidamente. Siempre que sea posible, la pesada debe hacerse a la misma temperatura a la cual está el picnómetro.

## 5. PREPARACION DE LA MUESTRA

**5.1** Debe tenerse especial cuidado en obtener muestras representativas para la determinación del peso específico de los sólidos. La muestra de suelo puede ensayarse a su humedad natural, o puede secarse al horno; sin embargo, algunos suelos, principalmente aquellos que tienen un alto contenido de materia orgánica, son muy difíciles de rehumedecer después de que se han secado al horno. Estos suelos pueden ser ensayados sin haberse secado previamente en el horno, en cuyo caso, el peso de la muestra seca se determina al final del ensayo.

**5.2** Cuando la muestra contenga partículas de diámetros mayores y menores que la abertura del tamiz de 2.38 mm (No.8), la muestra debe ser separada por dicho tamiz y debe determinarse el peso específico de la fracción fina [pasante del tamiz de 2.38 mm (No.8)] y el peso específico aparente de la fracción gruesa. El valor del peso específico para la muestra total viene dado por la siguiente expresión:

$$G = \frac{100}{\frac{\% \text{ Pasante del } N^{\circ} 8}{G_s} + \frac{\% \text{ Retenido en el } N^{\circ} 8}{G_a}}$$

Dónde:

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 <sup>3</sup>	25 - 35 g.
250 cm <sup>3</sup>	55 - 65 g.
500 cm <sup>3</sup>	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.

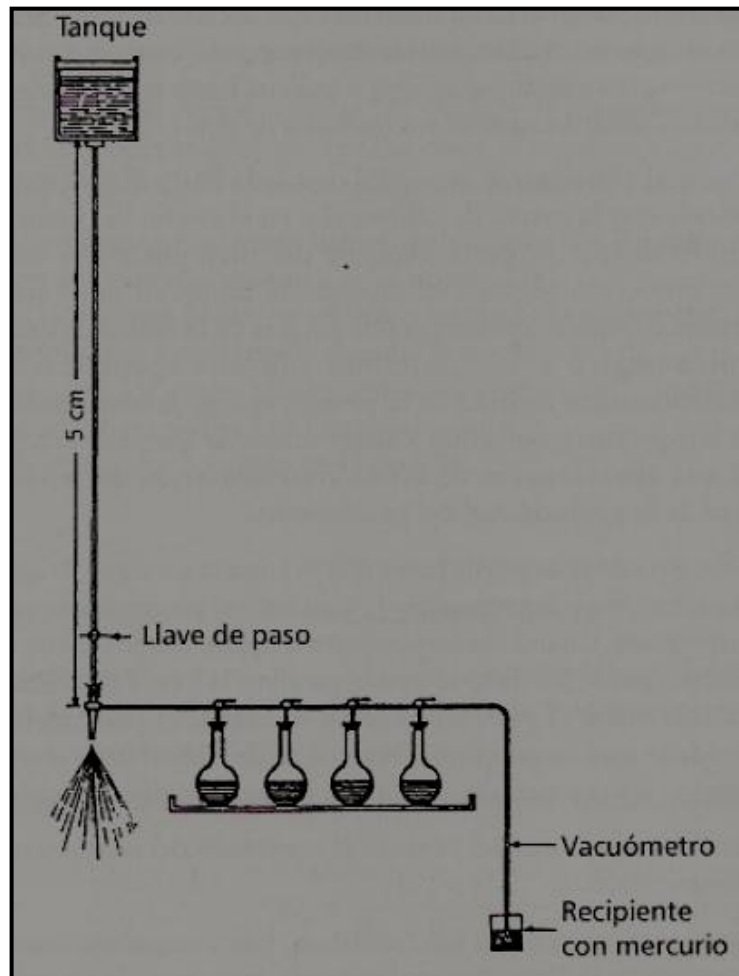


Figura 2. Sistema elemental de aplicación de vacío.

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.

- Transfírase con mucho cuidado el contenido del picnómetro a una cápsula de evaporación.

Enjuáguese el picnómetro con agua destilada, hasta asegurarse que toda la muestra ha sido removida de él. Introdúzcase la cápsula de evaporación con la muestra en un horno a  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $221 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ), hasta peso constante. Sáquese la muestra seca del horno, déjese enfriar a la temperatura del laboratorio y determínese el peso del suelo seco con una aproximación de 0.01 g.

- Anótense todos los resultados en la planilla.

**6.2** Suelos secados al horno.- El procedimiento para determinar el peso específico de los sólidos en suelos secados al horno, debe consistir de los siguientes pasos:

- Anótese en la planilla toda la información requerida para identificar la muestra.
- Séquese el suelo al horno hasta obtener la condición de peso constante. El horno debe estar a una temperatura de  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $221 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ). Sáquese la muestra del horno y déjese enfriar a la temperatura del laboratorio; debe protegerse contra una ganancia de humedad hasta que sea pesada. Selecciónese una muestra representativa; la cantidad requerida dependerá de la capacidad del picnómetro que se va a utilizar (véase la tabla del numeral 6.1.). Pésese la muestra con aproximación de 0.01 g. Después de pesado,

transfiérase el suelo al picnómetro teniendo mucho cuidado de no perder material durante la operación. Para evitar posibles pérdidas del material previamente pesado, la muestra puede ser pesada después de que se transfiera al picnómetro. Esta eventual pérdida bajará el valor del peso específico calculado.

Llénese el picnómetro hasta la mitad de su contenido con agua destilada sin burbujas de aire y déjese reposar la suspensión durante la noche.

Nota 6: El secado de ciertos suelos a 105°C (221°F), puede causar la pérdida del agua absorbida y de cristalización; en tales casos, el secado se hará a una temperatura de 60°C (140°F) y se recomienda aplicar una presión de vacío más baja.

- Extráigase el aire atrapado dentro de la suspensión del suelo en agua por uno de los dos métodos descritos en el numeral 6.1.
  
- Si la extracción de aire se realizó calentando la suspensión, déjese enfriar el picnómetro y su contenido durante la noche.
  
- Realícense los pasos subsiguientes del ensayo en la misma forma que los indicados para suelos a su humedad natural.
  
- Anótense todos los datos en la planilla.

## 7. CALCULOS

Las siguientes cantidades se obtienen por pesada directa.

- a) Peso del picnómetro + agua + sólidos a la temperatura del ensayo =  $W_1$  (g).
  
- b) Peso de la tara + suelo seco (g). El peso de la tara debe ser restado de este valor para obtener el peso del suelo seco,  $W_0$ .

El peso específico de los sólidos se calcula con dos decimales, mediante la siguiente fórmula:

$$G_s = \frac{W_0 * K}{W_0 + W_2 - W_1}$$

Dónde:

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/cm<sup>3</sup>.

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  $\mu\text{m}$  (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.

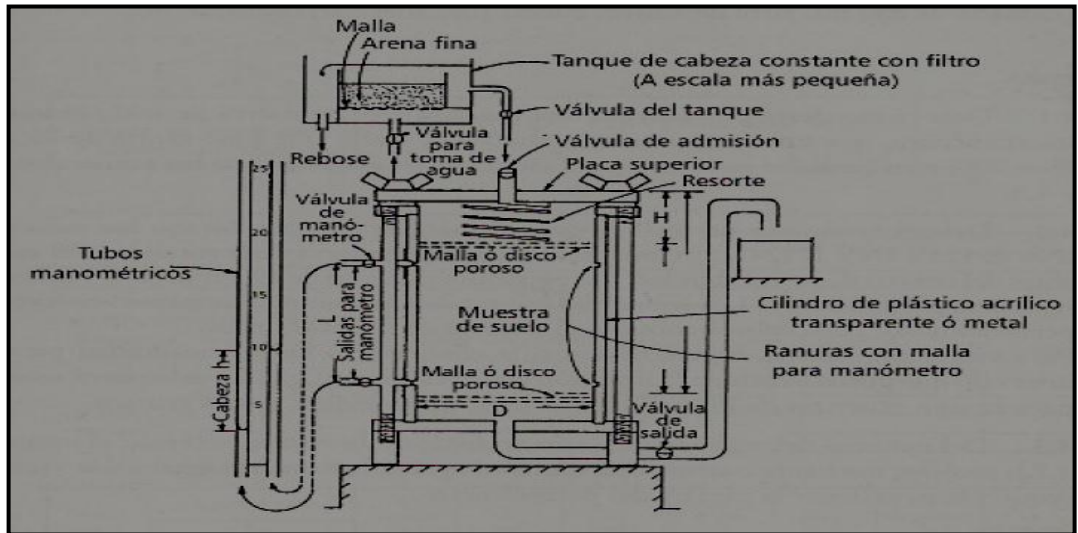


Figura 1. Permeámetro de cabeza constante.

**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 pistón vibratorio provisto de un pie de compactación de 50 mm (2") de diámetro; un pistón 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)

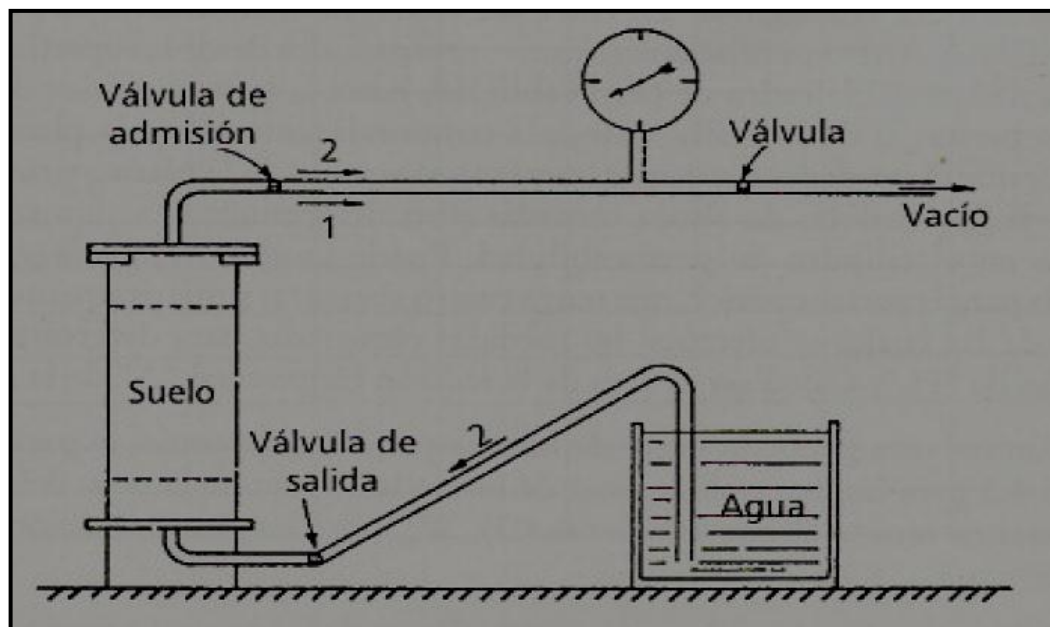


Figura 2. Dispositivo para saturar y evacuar especímenes.

**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  $\mu\text{m}$  (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<sub>1</sub>" medida en cuatro puntos simétricamente espaciados desde la superficie superior de la placa tope del cilindro de permeabilidad, hasta la parte superior de la piedra porosa superior, o de la malla, colocada temporalmente sobre la placa porosa o malla inferior. Esto deduce automáticamente el espesor de la placa porosa superior o malla de las medidas de altura tomadas para determinar el volumen del suelo colocado en el cilindro de permeabilidad. Puede también emplearse una



placa duplicada para la parte superior, que tenga cuatro aberturas simétricamente colocadas, a través de las cuales se efectúan las medidas requeridas para determinar el valor promedio de " $H_1$ ". Calcúlese el área de la sección transversal "A" de la muestra.

**5.3** Tómese una pequeña parte de la muestra escogida como se prescribe en el numeral 4.3 para las determinaciones de humedad. Anótese el peso del remanente de la muestra secada al aire (numeral 4.3),  $W_1$ , para las determinaciones de peso unitario.

**5.4** Colóquese el suelo preparado mediante uno de los procedimientos siguientes, en capas delgadas uniformes aproximadamente iguales en espesor al tamaño máximo de las partículas después de compactadas, pero no menor de 15 mm (0.60"), aproximadamente.

- Para suelos con un tamaño máximo de 9.5 mm (3/8") o menos; colóquese en el aparato el tamaño apropiado de embudo, como se prescribió en el numeral 3.3, con el conducto en contacto con la placa porosa o malla inferior, o con la capa previamente formada, y llénese el embudo con suelo suficiente para formar una capa, tomando suelo de diferentes áreas de la muestra en la bandeja. Levántese el embudo a una altura de 15 mm (0.60"), o aproximadamente igual al espesor de la capa no consolidada que se va a conformar y distribúyase el suelo con movimiento lento en espiral, trabajando desde el perímetro del aparato hacia el centro, de manera que se forme una capa uniforme. Vuélvase a mezclar en la

bandeja el suelo para cada capa sucesiva, con el fin de reducir la segregación que hubiera podido producirse.

- Para suelos con un tamaño máximo mayor de 9.5 mm (3/8") distribúyase el suelo con un cucharón. Puede lograrse un extendido uniforme deslizando el cucharón con suelo en posición casi horizontal hacia abajo y a lo largo de la superficie interior hasta llegar al fondo o hasta la capa formada, inclinándolo luego el cucharón y levantándolo hacia el centro con un sencillo movimiento lento; esto permite al suelo correr suavemente sobre el cucharón sin segregación. Gírese suficientemente el cilindro para la cucharada siguiente progresando así en torno al perímetro interior para formar una "capa uniforme compactada de espesor igual al tamaño máximo de las partículas".

<b>L. N. V.</b> OFICINA DE INVESTIGACIONES Y DESARROLLO TECNOLÓGICO	<b>ENSAYO DE PERMEABILIDAD SOBRE          SUELOS GRANULARES</b>	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, $d$ , cm.	Altura antes, $H_1$	Peso anterior, $W_1$
Área, $A$ , $sq$ cm.	Altura después, $H_2$	Peso después, $W_2$
Longitud, $L$ , cm.	Altura neta, cm	Peso neta, g
	Contenido de humedad [Secado al aire]	_____
W (máx)	Peso unitario seco, $grs./cm^3$ [ $lbs./pie^3$ ] W	_____
W (mín)	Relación de vacíos, $e$ .	_____
	Densidad relativa, D.R.	_____

(c) ENSAYO DE PERMEABILIDAD (GRADO DE COMPACTACION)

Ensayo No.	MANÓMETRO		Cabeza h	Q $cm^2$	t (seg)	Q / At	h / L	Temperatura $^{\circ}C$	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,  $H_1-H_2$ , midiendo la profundidad,  $H_2$ , desde la superficie superior de la placa tope perforada empleada para medir  $H_1$ , hasta el tope de la placa porosa superior o malla, en cuatro puntos simétricamente dispuestos después de comprimir ligeramente el resorte para asentar la placa porosa o la malla durante las medidas, el peso final secado al aire del suelo empleado en el ensayo ( $W_1-W_2$ ), pesando el remanente de suelo dejado en la bandeja. Calcúlense y anótense los pesos unitarios, la relación de vacíos, y el peso unitario relativo de la muestra de ensayo.

Con el empaque en su sitio, presiónese hacia abajo la placa superior contra el resorte y fíjese seguramente en la parte superior del cilindro del permeámetro, produciendo un sello a prueba de aire. Esto satisface la condición descrita en el numeral 2.1 de mantener el peso unitario inicial, sin cambio significativo de volumen durante el ensayo.

Empleando una bomba de vacío o una aspiradora adecuada, aspírese la muestra, bajo 500 mm (20") de mercurio como mínimo, durante 15 minutos, para remover el aire de los vacíos y el adherido a las partículas. Continúese la operación mediante una saturación lenta de la muestra de abajo hacia arriba (Figura No. 2), bajo vacío total, con el fin de liberar

cualquier aire remanente en la muestra. La saturación continuada de la muestra puede mantenerse más adecuadamente mediante el uso de: (1) agua 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 anótase el tiempo, "t", la cabeza, "h", (diferencia de nivel en los manómetros), el gasto, "Q", y la temperatura del agua, "T".

**6.2** Repítanse las pruebas con incrementos de cabeza de 5 mm para establecer exactamente la zona de flujo laminar con velocidad,  $v$  (siendo  $v = Q/At$ ) directamente proporcional al gradiente hidráulico, "i" (siendo  $i = h/L$ ). Cuando se hagan patentes las desviaciones de la relación lineal, indicando con ello la iniciación de condiciones de flujo turbulento, pueden emplearse intervalos de cabeza de 10 mm para llevar el ensayo suficientemente dentro de la zona del flujo turbulento como para definir esta zona si esto fuere significativo para las condiciones del campo.

Se requieren valores mucho más bajos del gradiente hidráulico  $h/L$ , de los que generalmente se reconocen para asegurar condiciones de flujo laminar. Se sugieren los siguientes valores: compactación suelta, relaciones de  $h/L$  de 0.2 a 0.3, y compactación densa, relaciones de  $h/L$  de 0.3 a 0.5. Los



valores menores de h/L se aplican a suelos gruesos y los mayores a suelos finos.

**6.3** Al concluir el ensayo de permeabilidad, drénese y examínese la muestra para establecer si era esencialmente homogénea y de carácter isotrópico. Cualquier clase de rayas o capas horizontales alternadas claras y oscuras son evidencia de la segregación de finos.

## **7. CALCULOS**

**7.1** Calcúlese el coeficiente de permeabilidad, k, así:

$$K = \frac{Q * L}{A * t * h}$$

Dónde:

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** Corrijase 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