

**ESTUDIO DE MOVILIDAD DE LNAPLS EN UN SISTEMA SATURADO
UNIDIMENSIONAL:
CASO SUELO ARENOSO ENTRE TAMIZ NO. 4 A NO. 50**

DIEGO ALFREDO DUARTE ACEVEDO

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2011**

**ESTUDIO DE MOVILIDAD DE LNAPLS EN UN SISTEMA SATURADO
UNIDIMENSIONAL:
CASO SUELO ARENOSO ENTRE TAMIZ NO. 4 A NO. 50**

DIEGO ALFREDO DUARTE ACEVEDO

**Tesis de grado como requisito para optar
al título de Ingeniero Civil**

**Director:
MARIA FERNANDA SERRANO GUZMÁN, Ph.D.**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2011**

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado es para toda mi familia que con su gran apoyo han estado siempre presentes en los momentos difíciles y aquellos donde hemos contado con la fortuna de pasar momentos increíbles, por tal razón sea hoy un motivo más para decirles que hoy no solo es mi triunfo, sino que también hacen parte de él.

AGRADECIMIENTOS

Definitivamente existen muchas personas, dentro de los que están familiares, docentes, amigos y compañeros que valdrían la pena darle las gracias por toda la colaboración brindada desinteresadamente durante todos estos años, pero en esta ocasión voy a agradecerle a una gran mujer la Doctora PhD. María Fernanda Serrano que me orientó, colaboró y ayudó para sacar esta tesis investigativa en convenio con el ICP.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	12
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.3. RELEVANCIA DEL TEMA	13
1.4. OBJETIVOS.....	13
1.4.1. Objetivo General.	13
1.4.2. Objetivos Específicos.	14
1.5. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS.....	14
2. MARCO TEORICO	15
2.1. GENERALIDADES DEL PETRÓLEO.	15
2.2. DERIVADOS DEL PETRÓLEO	16
2.2.1. GASOLINA.....	16
2.2.2. ACEITES.....	19
2.3. SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE HIDROCARBUROS ò DE PETROLEO 23	
2.3.1. MÉTODO A PERCUSIÓN	23
2.3.2. MÉTODO A ROTACIÓN	24
2.3.3. PERFORACIÓN SUBMARINA.....	24
2.4. TIPOS DE NAPLs	24
2.5. MECANISMOS DE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES EN MEDIOS POROSOS SATURADOS	25
2.5.1. TRANSPORTE POR GRADIENTES DE CONCENTRACIÓN	25
2.5.2. TRANSPORTE POR ADVECCIÓN.....	26
2.5.3. CÁLCULO DE LA DISPERSIVIDAD	26
2.5.4. SOLUCIONES PARA LA ECUACIÓN UNITARIA DE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES.....	27
2.6. MODELACIÓN Y SOFTWARE	28
2.6.1. VISUAL MODFLOW	29
2.6.2. HYDRUS 1D, 2D, 3D	29
2.6.3. RBCA	30
2.7. CASOS DE ESTUDIOS EXPERIMENTALES EN 1-D	30
3. MEDOLOGIA DEL ESTUDIO	32
3.1. EQUIPOS	32

3.1.1.	EQUIPO DE ADVECCIÓN	32
3.1.2.	SERIE DE TAMICES.....	36
3.2.	METODOLOGÍA	37
3.2.1.	PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PARA EL ESTUDIO	37
3.2.2.	CLASIFICACIÓN DEL SUELO SIN CONTAMINACIÓN.....	38
3.2.3.	MOVILIDAD DEL NaCl (0.1M) COMO CONTAMINANTE EN LA COLUMNA DE ADVECCION.....	38
3.2.4.	MOVILIDAD DEL ACEITE COMO CONTAMINANTE EN LA COLUMNA DE ADVECCIÓN.....	39
3.2.5.	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO CONTAMINADO	40
4.	R RESULTADOS	43
4.1.	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO NO CONTAMINADO	43
4.2.	INYECCION Y MUESTREO DEL NaCl 0.1M.....	44
4.3.	INYECCIÓN Y MUESTREO DEL ACEITE REF. 15W-40.....	46
4.4.	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO CONTAMINADO CON EL DERRAME DE ACEITE	48
5.	ANALISIS DE RESULTADOS	50
5.1.	INYECCION Y MUESTREO DEL NaCl 0.1M.....	50
5.2.	INYECCIÓN Y MUESTREO DEL ACEITE REF. 15W-40.....	50
5.3.	PARAMETROS DE ADVECCION DETERMINADOS.....	51
5.3.1.	ECUACIÓN DE TRANSPORTE Vs CONTAMIANCIÓN EXPERIMENTAL	53
5.4.	USO DE LOS PARAMETROS DE ADVECCION PARA EL ESTUDIO DEL TRANSPORTE DEL HIDROCARBURO EN EL SUELO	55
5.4.1.	CASO 1	55
5.4.2.	CASO 2	57
5.4.3.	CASO 3	58
5.5.	COMPARACIÓN PROPIEDADES DEL SUELO NO CONTAMINADO vs CONTAMINADO	59
6.	CONCLUSIONES	63
7.	RECOMENDACIONES.....	64
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	65
9.	ANEXO 1 REGISTRO FOTOGRAFICO	67
10.	ANEXO.2	80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Ficha Técnica Gasolina Corriente.	17
Tabla 2 Ficha Técnica Gasolina Extra.	18
Tabla 3 Propiedades del diesel (ACPM).	22
Tabla 4 La muestra de suelo arenoso tamiz N°4 – N°50 no contaminado.	43
Tabla 5 Presenta los resultados obtenidos en el estudio de movilidad de un trazador.....	44
Tabla 6 Resultados salinidad final en cada uno de los muestreadores.	45
Tabla 7 Prueba n.2 columna completamente saturada con agua h ₂ O, inyección del contaminante aceite ref. 15w-40.	47
Tabla 8 Resultados salinidad final en cada uno de los muestreadores.	48
Tabla 9 Ensayos realizados a la muestra de suelo arenoso tamiz n°4 – n°50 contaminado aceite ref. 15w-40.	49
Tabla 10 Datos ecuación de transporte.	53
Tabla 11 RESULTADOS CASOS CON LA ECUACION N°1	59
Tabla 12 Propiedades físicas y mecánicas del suelo no contaminado vs contaminado.	60

LISTA FIGURAS

Figura 1 Método a Percusión [17]	23
Figura 2 Visual Modflow [25] Figura 3 Modelación 3D [26].....	29
Figura 4 Equipo de advección.....	33
Figura 5 Bomba de inyección con dispositivo para inyección simultánea	34
Figura 6 Colector de fracciones	35
Figura 7 Columna de acrílico con cuatro muestreadores.....	36
Figura 8 Serie de tamices	37
Figura 9 Registro salinidad columna advección.....	45
Figura 10 Ubicación Muestreadores columna de advección.....	46
Figura 11 Contaminación aceite ref. 15w-40.....	48
Figura 12 Comparación curvas experimentales vs teórica	54
Figura 13 Comparación curvas experimentales vs teórica	55
Figura 14 Comparación de curvas granulométricas suelo contaminado vs no contaminado	61
Figura 15 Columna de advección	67
Figura 16 Revisión empaques y ajustes terminales columna	67
Figura 17 Compactación del material arenoso en capas 2cms, con pisón de madera.....	68
Figura 18 Compactación del material (30 golpes por capa).....	68
Figura 19 Columna compactada, con sus muestreadores, lista para la saturación con H ₂ O, conectada a la bomba de inyección.....	69
Figura 20 Inicio de la saturación de la columna.	69
Figura 21 Contaminante Aceite 15w-40, coloración roja, marca mobil.	70
Figura 22 Succión e inyección del contaminante	70
Figura 23 Inyección contaminante a la columna de advección	71
Figura 24 Contaminación primeras capas de suelo en la columna de advección con el Aceite Ref. 15w-40	71
Figura 25 Seguimiento de la contaminación del aceite Ref. 15w-40.....	72
Figura 26 Contaminación en el primer muestreador de la columna.	72
Figura 27 Toma de muestras a través del método macro goteó.	73
Figura 28 Recolección muestra del contaminante.	74
Figura 29 Desplazamiento uniforme del contaminante en la columna de advección.....	75
Figura 30 Presencia del contaminante en los 4 muestreadores de la columna. ...	76
Figura 31 Etapa final de la contaminación en la columna advección.....	77
Figura 32 Presencia del contaminante en toda la columna de advección	77
Figura 33 Salida del contaminante.....	78
Figura 34 Recolección Contaminante en la salida de la columna de advección...	78

RESUMEN

TITULO: Estudio de movilidad de LNAPLs en UN Sistema Saturado Unidimensional: Caso suelo arenoso Entre Tamiz N° 4 a N°50

AUTOR: Diego Alfredo Duarte Acevedo

FACULTAD: Ingeniería Civil

DIRECTOR: Ph.D. María Fernanda Serrano Guzmán

El estudio del transporte y detección de compuestos que alteran la calidad del suelo, aire o agua es materia de interés de las autoridades ambientales y de las empresas generadoras de esta contaminación. Los Hidrocarburos, derivados del petróleo, constituyen la principal fuente de energía para el mundo y al mismo tiempo, el uso de éstos los convierte en un importante contaminante del medio ambiente. Se observa, que en la industria de procesamiento de crudo pueden ocurrir derrames cuya movilidad dependerá del tipo de suelo y de las propiedades fisicoquímicas del crudo, entre otros aspectos.

En este trabajo de grado se estudió la movilidad de un LNAPL (Light Non-Aqueous Phase Liquids): aceite, referencia 15W-40 el cual fue inyectado simulando una fuente continua de contaminación (derrame), en una muestra de suelo ajustada para una distribución granulométrica entre el tamiz No. 4 y el 50. Los estudios arrojaron que el comportamiento del crudo, en la matriz porosa respondía a la ecuación.

$$C = \frac{C_0}{2} \operatorname{erfc} \frac{(L - (V_x * t))}{2\sqrt{D_x * t}}$$

Donde C_0 es la concentración inicial, L la longitud de extensión del derrame, V_x la velocidad del flujo subterráneo y t el tiempo que tarda el movimiento. La dispersividad D_x fue estimada 0.1469 cm²/sg para el medio poroso.

PALABRAS CLAVES: LNAPLs, Ecuación de transporte, advección, dispersión, Movilidad contaminantes.

ABSTRACT

TITLE: Study of LNAPLs mobility in an Unidimensional Saturated System: Sandy Soil Sieve No. 4 to No. 50.

AUTHOR: Diego Alfredo Duarte Acevedo

DEPARTMENT: Ingeniería Civil

DIRECTOR: Ph.D. María Fernanda Serrano Guzmán

This study about transport and detection of compounds that may change quality of soil, air or water is a topic of interest for environmental authorities and producers of this contamination. Hydrocarbons, which are petroleum products, are the main source of energy in the world and require processes where spills and mobility may occur, depending on soil type and physicochemical properties of oil, among others.

This work focuses in the LNAPLs (Light Non-Aqueous Phase Liquids) mobility: oil, 15W-40, which was injected simulating a continuous source of contamination (spill) in a soil sample adjusted to a distribution particle size between sieve No. 4 and 50. The studies showed that the behavior of oil in the porous matrix responded to the equation.

$$C = \frac{C_0}{2} \operatorname{erfc} \frac{(L - (V_x * t))}{2\sqrt{D_x * t}}$$

Where C_0 is the initial concentration, L is the length of extension of the spill, V_x is groundwater flow velocity and t is the time that takes compound to travel through the soil. The dispersivity, D_x , was estimated as 0.1469 cm²/sg for this porous medium.

KEY WORDS: LNAPLs, transport equation, advection, dispersion, mobility contaminants.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio del transporte y detección de compuestos que alteran la calidad del suelo, aire o agua es materia de interés de las autoridades ambientales y de las empresas generadoras de esta contaminación. Para el caso específico de compuestos contenidos en el suelo, factores como temperatura, presión, tipo de suelo, propiedades físicas y químicas, contenido de agua, nivel de compactación, localización y tiempo de permanencia del contaminante deben ser considerados cuando se desea conocer la movilidad de los mismos en la matriz de suelo.

Los Hidrocarburos, derivados del petróleo, constituyen la principal fuente de energía para el mundo y al mismo tiempo, el uso de éstos los convierte en un importante contaminante del medio ambiente. En los últimos años, la creciente demanda de energía ha ocasionado un incremento acelerado en la cantidad de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo y sus derivados. [1].

En este trabajo de grado se presentan los resultados relacionados con la movilidad de un hidrocarburo con una densidad menor que la densidad del agua LNAPLs (Light Non-AqueousPhaseLiquids). El LNAPL utilizado fue el aceite, referencia 15W-40 el cual fue inyectado simulando una fuente continua de contaminación (derrame), en una muestra de suelo ajustada para una distribución granulométrica entre el tamiz No. 4 y el 50. El flujo utilizado durante el estudio correspondió a una razón de 10 micro litro/min introducido en la masa de suelo durante un periodo de tiempo determinado (3.5 horas). Los resultados experimentales se compararon con los cálculos de las ecuaciones de movilidad de una fuente continua en una dimensión, a través de la ecuación de Ogata y Banks [30].

1.1. JUSTIFICACIÓN

Los estudios de transporte de contaminantes en suelos que se han desarrollado a lo largo del tiempo han involucrado el conocimiento de la movilidad de compuestos considerando procesos como advección, dispersión y difusión, buscando con ello conocer las propiedades del medio que inciden en dicha movilidad.

Este trabajo sobre transporte de contaminantes es el primero que se realiza en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, y uno de los primeros realizado en la región. Este proyecto realizado por integrantes del semillero de Ingeniería civil, vinculados al Grupo de Detección de Contaminantes y Remediación DeCoR es de interés de Ecopetrol ICP y por lo tanto ha sido cofinanciado por esta entidad y la Universidad.

La información de aquí derivada permite una mejor comprensión del fenómeno de transporte a otras escalas. El abordar propuestas de tesis de grado relacionadas con el estudio de las dinámicas de transporte de los hidrocarburos aporta al conocimiento de esta problemática y posterior formulación de estrategias de remediación de las zonas contaminadas.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cabe resaltar que en la sociedad los modelos de producción de bienes y servicios están directa o indirectamente relacionados con la industria del petróleo, es decir, con el consumo de hidrocarburos. La energía que hoy se utiliza a nivel mundial proviene en su mayoría de la combustión de hidrocarburos; los medios de transporte los emplean como combustibles, y gran parte de la variada gama de productos plásticos se sintetizan a partir de ellos. [2]

La extrema relación lograda en la actualidad hacia los hidrocarburos, y su elevado consumo, han acarreado serios problemas ambientales reflejados en términos de contaminación atmosférica por sus productos de combustión, contaminación de aguas ocasionadas por derrames de petróleo y la producción y acumulación de residuos no biodegradables (plásticos). Como el petróleo, el gas natural y el carbón son recursos naturales no renovables, el consumo de estos recursos debería optimizarse y muchas de sus aplicaciones deberían sustituirse por fuentes más limpias y duraderas. [2]

1.3. RELEVANCIA DEL TEMA

Este trabajo fue socializado durante el Encuentro Regional de la ciencia y la Tecnología, llevado a cabo en Neomundo en Octubre de 2010. El trabajo ha sido cofinanciado por Ecopetrol ICP y por la Dirección General de Investigaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Es el primer trabajo que realizado sobre el tema, por Ingenieros civiles, al interior de la Universidad. Con el estudio, se aporta con ecuaciones ajustadas para determinar el tiempo que tarda la contaminación (derrame simulado) en un medio poroso.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General.

- Estudiar la movilidad de ACEITE (LNAPLs) en un sistema saturado unidimensional en suelos arenosos de granulometría entre Tamiz No.4 y No. 50.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Desarrollar pruebas de movilidad de hidrocarburos en condiciones saturada.
- Aplicar las ecuaciones de transporte en una columna de advección.
- Generar las curvas de concentración vs. tiempo para los cuatro puntos de la columna.

1.5. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

El primer capítulo presenta los objetivos del estudio y la relevancia del mismo. El capítulo Dos, por su parte, describe aspectos técnicos relacionados con hidrocarburos y con la terminología sobre procesos de advección en matriz porosa.

En el tercer capítulo se describe la metodología seguida en el trabajo, incluyendo en ello la descripción de los equipos y materiales empleados para el desarrollo del estudio. Sigue el cuarto capítulo, en donde se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados, mientras que en el capítulo cinco se encuentra la discusión sobre los resultados y una aplicación práctica acerca del estudio realizado.

Culminando se encuentra un resumen de las conclusiones principales acerca de la investigación realizada.

Adicionalmente, se presentan dos anexos. En el primero, se incluye un registro fotográfico, y en el segundo las memorias más relevantes de los ensayos de laboratorio.

2. MARCO TEORICO

LNAPLs son compuestos menos densos que el agua (por sus siglas en inglés Light Non Aqueous Phase Liquids). [33] En este estudio, el aceite ha sido el compuesto derivado del hidrocarburo que fue utilizado en el experimento. La comprensión del tema de movilidad de compuestos en medio poroso requiere conocer aspectos relacionados con sistema de extracción de hidrocarburos, propiedades fisicoquímicas de compuestos derivados del petróleo y procesos que rigen la movilidad de compuestos en el suelo.

2.1. GENERALIDADES DEL PETRÓLEO.

El Petróleo es caracterizado por ser una mezcla muy compleja, de composición variable, de hidrocarburos los cuales poseen una amplia variedad en sus puntos de ebullición, estados sólidos, líquidos y gaseosos, que se disuelven unos en otros para formar una solución de viscosidad variable. En síntesis, el petróleo contiene una serie de Hidrocarburos tales como:[1]

- Saturados o parafinas.
- Etilénicos u oleifinas.
- Acetilénicos.
- Cíclicos ciclánicos.
- Bencénicos o aromáticos.
- Compuestos oxigenados.
- Compuestos sulfurados.
- Compuestos nitrogenados cíclicos.

Y dentro la composición del crudo ó petróleo natural, se encuentran los siguientes elementos químicos que hacen posible formar su estructura molecular[3]:

- Nitrógeno
- Azufre
- Oxígeno
- Colesterina
- Productos derivados de la clorofila
- Trazas de vanadio
- Níquel
- Cobalto
- Molibdeno.

2.2. DERIVADOS DEL PETRÓLEO

Los hidrocarburos líquidos extraídos de la formación geológica se denominan petróleo, y sus derivados son la principal fuente de energía para el hombre, pero el uso de los mismos los convierte en un importante contaminante para el medio ambiente. [1] Los constituyentes de los hidrocarburos pueden ser agrupados en hidrocarburos saturados, insaturados, y aromáticos, de acuerdo a su estructura molecular.

Los hidrocarburos son compuestos formados por carbono e hidrógeno que se originan del petróleo y que tienen diversas aplicaciones en la vida del hombre. Sin embargo, a pesar de la utilidad que tienen estos compuestos en la actualidad, el planeta se encuentra ante una grave crisis ecológica producida por la contaminación que la combustión y el uso indiscriminado de estos productos ejerce sobre el medio ambiente. [2]

2.2.1. GASOLINA

Es una mezcla formada por varios hidrocarburos, donde pueden haber de 200 a 300 hidrocarburos distintos formados por fracciones combustibles provenientes de diferentes procesos de refinación del petróleo. De estos procesos, se logran producir diferentes tipos de gasolina caracterizados de acuerdo al número de octanajes que posea. Estos combustibles son producidos de acuerdo a la necesidad existente en el mercado, dentro de los cuales se destacan dos clases, corriente o de bajo octanaje y extra o Premium de mayor octanaje con los cuales la gran mayoría de vehículos trabaja. Cada tipo de gasolina se compone de una serie de procesos de refinación como destilación atmosférica, ruptura catalítica y térmica, polimerización, entre otros que dan origen a cada una de las mezclas previstas [4]

Comercialmente existen Dos tipos de gasolina a nivel mundial: la gasolina corriente y la gasolina extra (Tabla 1 [7] y 2 [8]), que varían de acuerdo a su octanaje, la primera con un menor octanaje respecto a la segunda y su uso se hace de acuerdo a las especificaciones para las cuales haya sido predispuesta por el ó los fabricantes.

La gasolina se encuentra formada por una mezcla de bajo peso molecular, carbonos (**C₄** y **C₁₀**) y aditivos químicos. Los hidrocarburos de la gasolina alcanzan el 70%; en este porcentaje se incluyen el butano, pentano, como ejemplo de alguna n-alcano, los isoalcanos como el isooctano y isoparafinas, le siguen los cicloalcanos y finalmente los compuestos aromáticos (benceno, tolueno, etilbenceno, etc).[5]

Por ser una mezcla de diversos productos, la gasolina no tiene un punto fijo de ebullición, sino una curva de destilación que inicia a 30°C y finaliza previamente de los 200°C. Su peso específico oscila entre los 700 y 790 Kg/m³. La gasolina para los vehículos se encuentra fusionada con colorantes orgánicos sintéticos y diversos aditivos de varias clases antes de salir al mercado. [6]

Especificación	Método	Mínimo	Máximo
Número de octano RON	D2699	91,5	
Contenido de plomo (gr/l)	D3237/D5059		0,02
Destilación (°C) - 10% Volumen evaporado	D86		75
Destilación (°C) - 50% Volumen evaporado	D86		120
Destilación (°C) - 90% Volumen evaporado	D86		180
Destilación (°C) - Punto final de ebullición (PFE)	D86		221
Residuo			2
Presión de vapor RVP a 37,8 °C (100 °F) – psi	D323/D5191		9,0
Contenido de gomas	D381		4
Estabilidad a la oxidación	D525	240	
Contenido total de azufre (% peso)	D4294/D2622		0,15
Corrosión lámina de cobre	D130		1
Contenido de azufre mercaptano	D3227		0,0015
Color – Visual		Sin color	
Olor		Comercial	
Gravedad API a 60 °F		Reportar	
Número de octano MON	D2700	Reportar	
Benceno	D5580/D3605/PIANO	Reportar	
Olefinas	D5580/D1319/PIANO	Reportar	
Aromáticos (% Vol.)	D5580/D1319/PIANO	Reportar	
Oxigenados			10

Tabla 1 Ficha Técnica Gasolina Corriente.

Especificación	Método	Mínimo	Máximo
Número de octano RON	D2699	95	
Contenido de plomo (gr/l)	D3237/D5059		0,02
Destilación (°C) - 10% Volumen evaporado	D86		74
Destilación (°C) - 50% Volumen evaporado	D86		115
Destilación (°C) - 90% Volumen evaporado	D86		180
Destilación (°C) - Punto final de ebullición (PFE)	D86		215
Residuo	D323/D5191		2
Presión de vapor RVP a 37,8 °C (100 °F) – psi			9,0
Contenido de gomas	D381		4
Estabilidad a la oxidación	D525	240	
Contenido total de azufre (% peso)	D4294/D2622		0,15
Corrosión lámina de cobre	D130		1
Contenido de azufre mercaptano	D3227		0,0015
Color – Visual		Sin color	
Olor		Comercial	
Gravedad API a 60 °F		Reportar	
Número de octano MON	D2700	Reportar	
Índice antidetonante (RON+MON)/2	D2699/D2700	91	
Benceno	D5580/D3605/PIANO	Reportar	
Olefinas	D5580/D1319/PIANO	Reportar	
Aromáticos (% Vol.)	D5580/D1319/PIANO	Reportar	
Oxigenados			10

Tabla 2 Ficha Técnica Gasolina Extra.

2.2.2. ACEITES

Los aceites Combustibles son mezcla derivada del petróleo crudo, los cuales son producidos por diferentes procesos de refinación, de acuerdo a la demanda exigida en el mercado, estos se clasifican por medio de serie de parámetros establecidos:

2.2.2.1 CLASIFICACIÓN POR TIPO DE SERVICIO.

Los aceites de motor son clasificados por el Instituto Americano del Petróleo (**API**) acorde al tipo del servicio para el que son aptos. La clasificación aparece en el envase de todos los aceites y consta de dos letras: La primera letra determina el tipo de combustible del motor para el que fue diseñado el aceite, utilizando una "S" para motores a gasolina y una "C" para motores diesel. [9]

La segunda letra determina la calidad del aceite donde mayor es la letra (en el alfabeto) mejor es la calidad del aceite. Actualmente en motores a gasolina se utilizan los clasificación SJ mientras que en motores diesel los CH. [9]

Los aceites de mayor calidad o más recientes como el SJ pueden ser utilizados en vehículos viejos con especificaciones de aceite inferiores, pero por ningún motivo se deberá utilizar una aceite de calidad inferior al especificado por el fabricante del motor.[9]

2.2.2.2 CLASIFICACIÓN POR SU GRADO DE VISCOSIDAD

Los aceites de motor también presentan clasificación por su resistencia al fluir, la cual depende en su gran mayoría de la temperatura, por tal razón estos se clasifican de acuerdo a su Viscosidad. La nomenclatura presentada a la hora clasificar consiste en que la numeración baja indica baja viscosidad del aceite y son llamados comúnmente como aceites delgados y la numeración alta señala lo contrario. [10]

Cuando se Habla de viscosidad en aceites es necesario mencionar los Monogrados, que son utilizados para trabajar a una temperatura específica y se encuentran referenciados en el mercado como SAE 10, 30, 40 y los Multigrados que han sido diseñados para trabajar en un rango más amplio de temperaturas, adaptándose fácilmente a las temperaturas presentadas, gracias a la adición de aditivos que permiten que el aceite no pierda la viscosidad al calentarse y mantenga las propiedades requeridas para la protección de los motores, las referencias más comunes en el mercado son SAE 5W-30, 15W-40, 15W-40, entre otros. [10]

La letra "W" encontrada en las etiquetas de los aceites significa, que son aceites que cumplen los requerimientos de viscosidad a bajas temperaturas (bajo 0°C), por tal razón se les denomina con la "W" de Winter. [11]

2.2.2.3 CLASIFICACION ACEITES DE ACUERDO A SU NATURALEZA

La clasificación de los aceites también se encuentra acorde a su naturaleza, donde se encuentran los dos grupos convencionales; que son los obtenidos de la destilación del petróleo, formados por diversos compuestos de diferente composición química y los Aceites Sintéticos que son sometidos a modificaciones en el laboratorio con el fin de obtener algunas ventajas sobre los convencionales, soportando altas temperaturas, con un buen desempeño a temperaturas muy bajas y que presentan un consumo mínimo de aceite. [12]

2.2.2.4 ACPM Y OTROS ACEITES

Por la destilación fraccionada se obtienen diversos tipos de aceites los cuales dependen directamente a la temperatura que haya sido sometida, si es por debajo de 150°C son llamados comúnmente Aceites ligeros y cuando se destilan por encima de dicha temperatura son llamados Aceites pesados.

Los aceites altamente volátiles son los ligeros ya que son de fácil mezcla con el aire produciendo una combustión completa, en cambio los aceites pesados son poco volátiles y producen una combustión incompleta. [13]

El diesel o el aceite combustible para motores (ACPM), es un destilado obtenido de la separación atmosférica del petróleo crudo que se componen de hidrocarburos entre (C10 y C20), además tienen una mayor presencia de ciclo alcanos, los cuales hacen que esta tenga una densidad mayor a la comparada con la gasolina por su baja volatilidad y baja solubilidad, conduciendo a que sean menos móviles. Las viscosidades de este tipo de hidrocarburo varían de 4 a 5 veces más que la gasolina, siendo el ACPM empleado en motores donde se requiere una fuerza mayor, o trabajos pesados, también conocido como el DIESEL. [14]

A continuación en la Tabla 3 se describen algunas de sus principales propiedades [15]:

ACPM				
Grado	Combustible automotor e industrial			
Referencia	Resolución 18 2087 de 17 de Diciembre de 2007 / ASTM D-975 / NTC 1438 (Norma Técnica Colombiana) / Ley 1205 de 2008			
Características	Unidades	Métodos	Mínimo	Máximo
Agua y Sedimento	mL/100 mL	ASTM D-2709 ó ASTM D-1796		0,05
Azufre	ppm	ASTM D-2622 ó ASTM D-4294 ó ASTM D-1266 ó ASTM D-5453		500
Aromáticos	mL/100 mL	ASTM D-1319 ó ASTM D-5186		35
Cenizas	g / 100 g	ASTM D 482		0,01
Color ASTM		ASTM D 1500		3,0
Corrosión al Cobre, 3 h a 50 °C	Clasificación	ASTM D 130		2 (2)
Destilación : Punto Inicial de Ebullición	°C	ASTM D 86	Reportar	
Temp. 50% vol. Recobrado			Reportar	
Temp. 95% vol. Recobrado				360
Punto final de Ebullición			390	
Gravedad API	° API	ASTM D-4052 ó ASTM D-1298, ASTM D-287	Reportar	
Indice de Cetano(7)		ASTM D-4737 ó ASTM D-976	45	
Numero de Cetano(9)		ASTM D-613 ó ASTM D-6890	43	
Punto de Fluidez	°C	ASTM D 97 ó ASTM D 5949		3

Punto de Inflamación	°C	ASTM D 93	52	
Residuos Carbón Micro, (10 % fondos)	g / 100 g	ASTM D 4530		0,20
Viscosidad a 40 °C	mm ² /s	ASTM D 445	1,9	5,0
Lubricidad	Micrómetros	ASTM D 6079		450

Tabla 3 Propiedades del diesel (ACPM).

2.3. SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE HIDROCARBUROS O DE PETROLEO

Existen diferentes sistemas de extracción para hidrocarburos, dependiendo del tipo de yacimiento, el tipo de terreno, los recursos disponibles y la tecnología utilizable en el medio, situaciones que contextualizan los diferentes proyectos y definen el método a emplear, a continuación se presentan unos de los principales sistemas más utilizados y destacados:

2.3.1. MÉTODO A PERCUSIÓN

Sistema de extracción que consiste en emplear un trépano pesado el cual va conectado a una barra maestra la cual aumenta su peso, sosteniendo con un cable de acero conectado a un balancín, proporcionando un movimiento de ascenso y descenso, al ser activado por el motor, retirando periódicamente el trépano con el fin de extraer desechos o materiales inservibles, con una herramienta llamada cuchara, a continuación se presenta un pozo de inyección (Figura 1), donde se denota este método. Este método tiene una desventaja por la cual ha dejado ser utilizada y es debido a al tiempo empleo, haciendo un proceso lento a la hora bombear el crudo, por tal razón actualmente se emplea para pozos de poca capacidad y profundidad. [16]

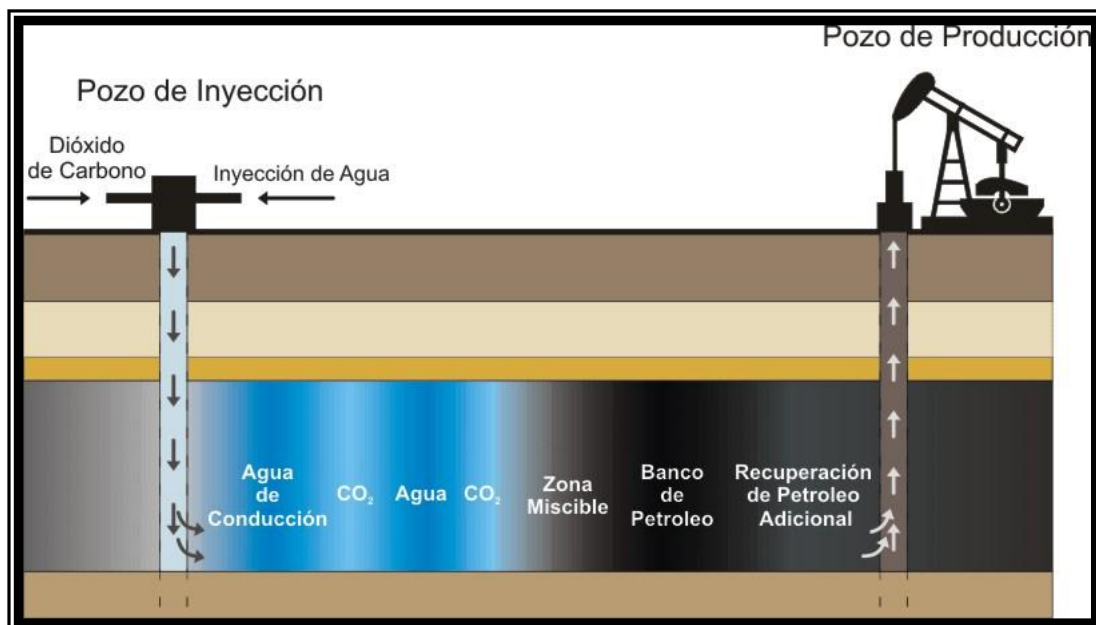


Figura 1 Método a Percusión [17]

2.3.2. MÉTODO A ROTACIÓN

Otro sistema de extracción de petróleo es el método a rotación, que consta de un trépano hueco atornillado a unos caños de acero, que forman las barras de sondeo y van girando impulsadas por medio de la mesa rotativa, esta se localiza en la base de la torre, y conectada a la transmisión de cadena con los motores. Esta mesa rotativa consta en su centro con una perforación cuadrada, a través de la cual se desplaza la columna de perforación en la misma área, descendiendo acorde avanza el trépano. Se inicia la perforación con la ejecución de la mesa rotativa. La operación se realiza las veces que sean necesarias.

Los desechos son llevados hasta la superficie mediante el bombeo de un lodo denso, la inyección formada por una suspensión acuosa de una arcilla especial, llamada bentonita la cual se encuentra constantemente sondeada. Además de estas importantes funciones el lodo funde las paredes de la perforación, evitando o previniendo derrumbes; y enfría al trépano, que se calienta en su trabajo de intenso desgaste. [18]

2.3.3. PERFORACIÓN SUBMARINA

Esta perforación se realiza sobre el mar y se utiliza como medio para la extracción de una mayor cantidad de petróleo. Los equipos Para la realización de esta actividad se instalan sobre una plataforma flotante o que se encuentra anclada por una serie de pilotes construida sobre el fondo marino. Esta se caracteriza por tener una torre de gran altura, la cual tiene como objetivo situar al tubo de perforación y su respectiva Broca ubicada en la parte inferior de este. Las plataformas son ubicadas a gran distancia de la costa y por lo general se encuentran a sobre un profundidad de varios metros de la superficie. [16]

2.4. TIPOS DE NAPLs

Los **NAPLs** (Non-AqueousPhaseLiquids) son líquidos que no se disuelven en el agua. Una parte significativa de las aguas subterráneas y suelos contaminados contiene **NAPLs**. Existen dos grandes tipos de **NAPLs**: los densos y los livianos.

Los **DNAPLs** (Dense Non-AqueousPhaseLiquids) son compuestos más densos que el agua. En este grupo encontramos los desengrasantes industriales y los hidrocarburos clorados utilizados en la limpieza en seco. [19]

Combustibles de hidrocarburos y disolventes aromáticos son considerados como **LNAPLs** (Light Non-AqueousPhaseLiquids), los cuales son compuestos menos densos que el agua. Estos incluyen lubricantes y la gasolina. [19]

Ante un derrame de estos compuestos, los DNAPLs pueden desplazarse hasta el fondo de una capa confinante de un acuífero, en tanto que los LNAPLs pueden viajar en la dirección que se desplacen las aguas subterráneas. [19]

Las aguas subterráneas y la contaminación del subsuelo por líquidos ligeros fase no acuosa (**LNAPLs**) es uno de los problemas en las industrias mundiales, los más apremiantes del medio ambiente, las técnicas geofísicas (por ejemplo, la resistividad eléctrica, la conductividad electromagnética, el radar de penetración de tierra, etc) han demostrado ser éxito de la investigación del subsuelo y las herramientas de caracterización con el radar de penetración terrestre son especialmente populares. Lamentablemente, un alto porcentaje de los estudios actuales relacionados **LNAPLs** se centran en contaminantes específicos, con poco énfasis en la caracterización de las propiedades hidrológicas (por ejemplo, la determinación de contaminantes, índices de saturación, etc). Mediante la comparación de los resultados del laboratorio, mediciones dieléctricas, análisis de los materiales **LNAPLs**, estos muestran que a pesar de algunas limitaciones prácticas de la técnica de análisis, interpretaciones significativas hidrológicas se pueden obtener en los contaminantes, propiedades tales como índice de saturación y los procesos de biodegradación. Una atenuación generalizada del modelo de saturación se ha desarrollado y describe las características de mejora física y la atenuación de las zonas contaminadas, revelando las más importantes atenuaciones donde se relaciona a la zona manchada que rodea la interface agua[20].

2.5. MECANISMOS DE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES EN MEDIOS POROSOS SATURADOS

Los mecanismos de transporte de los desechos peligrosos disueltos en aguas subterráneas, ha permitido el estudio e investigaciones por parte de ingenieros ambientales, hidrólogos, hidrogeólogos, entre otros con el fin de analizar los parámetros de advección y dispersión de estas sustancias en sistemas de una, dos y tres dimensiones, ajustándolas a las ecuaciones de transporte propuestas por Ogata (1970), Oso(1972,1979), Freeze y Cherry (1979), donde por medio de soluciones analíticas y semi analíticas se pueden presentar métodos numéricos que describen claramente estos mecanismos, a través de ejemplos y casos prácticos. [21]

2.5.1. TRANSPORTE POR GRADIENTES DE CONCENTRACIÓN

Este caso se presenta cuando el soluto se desplaza de una zona de mayor concentración hacia un área donde esta menos concentrado. Este proceso es conocido como la difusión molecular o solamente la difusión. La difusión ocurre siempre y cuando exista un gradiente de concentración, aun si el fluido no se desplaza. La masa del fluido es proporcional al gradiente de concentración, el cual es expresado como la Primera Ley de Fick, en sistemas de una dimensión, la fórmula en la que se basa esta es ley es en la ecuación N°3.

$$F = -Dd \left(\frac{dC}{dx} \right)$$

Ecuación N°3

F= Masa del soluto por unidad de área por unidad de tiempo

Dd= Coeficiente difusión (L^2/T)

C=concentración del soluto (M/L^3)

dC/dx= Gradiente de concentración($M/L^3/L$)

El signo negativo indica que el movimiento va de una gran concentración a una menor concentración. [22]

2.5.2. TRANSPORTE POR ADVECCIÓN

El transporte por advección representa el movimiento de un contaminante en el agua subterránea que fluye de acuerdo a la velocidad de infiltración en el espacio de los poros. La ecuación N°4 que rige este proceso está definida de la siguiente manera:[21]

$$Vx = -\frac{K dh}{n dL}$$

Ecuación N°4

Cabe resaltar que la velocidad de infiltración es igual a la velocidad lineal promedio de un contaminante en un medio poroso, y es la velocidad correcta para emplearla en el uso de las ecuaciones de transporte.

Algunos modelos han creado un campo de flujo inducido por medio de inyección o de bombeo y evaluar las curvas de avance de la integración numérica a lo largo de las líneas de flujo, entre otros.[21]

Por tal razón es necesario aclarar que la dispersión no es directamente basada en estos modelos, sino que resulta de la variación de la velocidad y tiempos de llegada en el campo de flujo (charbeneau 1981,1982). En casos donde el bombeo de agua subterránea este dominado por el campo de flujo, puede ser útil descuidar los procesos de dispersión sin pérdida de precisión.[21]

2.5.3. CÁLCULO DE LA DISPERSIVIDAD

Los parámetros de difusión y dispersividad son determinados en el laboratorio utilizando columnas de suelo con medios porosos, los resultados de estos estudios son presentados en unidades de volumen de poros del contaminante diluido. El volumen de un poro es el área de la sección recta de la columna por el largo (L) por la porosidad.[22]

El número total del volumen de poros es representado por U y resuelto por la ecuación N°5.

$$U = \frac{Vx * n * A * t}{A * L * n} = \frac{Vx * t}{L}$$

Ecuación N°5

$$J_{0.84} = \left[(U - 1) / U^{\frac{1}{2}} \right] \text{ Cuando } C/Co \text{ Sea } 0.84$$

$$J_{0.16} = \left[(U - 1) / U^{\frac{1}{2}} \right] \text{ Cuando } C/Co \text{ Sea } 0.16$$

$$D_L = \left(\frac{VxL}{8} \right) (J_{0.84} - J_{0.16})^{\frac{1}{2}}$$

L= largo de la columna

t= tiempo para dicha concentración

A= área sección recta de la columna

Vx= velocidad infiltración

n= porosidad

Co= concentración inicial

C= concentración

2.5.4. SOLUCIONES PARA LA ECUACIÓN UNITARIA DE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES

La ecuación de transporte que rige los sistemas unidimensionales, es difícil de resolver en muchos debido al poco interés práctico que se le ha puesto a este tipo de situaciones, en donde la variación de las características de los acuíferos y los métodos numéricos son tan cambiantes. Sin embargo existen un grupo de situaciones relativamente simples para los sistemas unidimensionales, que cuentan con soluciones analíticas. Estas situaciones son desarrolladas con el fin de obtener conocimiento acerca de los efectos de advección, dispersión del medio.[21]

2.5.4.1 CONTAMINACIÓN CONTINUA 1-D

Este caso se aplica en una columna de suelo infinita, la cual posee una concentración 0 y una Concentración inicial Co del contaminante, aplicando la ecuación 1 se puede despejar el tiempo, la contaminación producida ó el desplazamiento del contaminante [21]. Esta ecuación fue aplicada en el presente estudio.

$$\frac{C(x, t)}{C_o} = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{x - vt}{2\sqrt{Dt * t}} \right) \right]$$

Ecuación N°1

2.5.4.2 CONTAMINACIÓN INSTANTANEA

Esta contaminación corresponde a una inyección interrumpida del contaminante, donde la concentración inicial de la columna es 0. La ecuación que rige este movimiento es la ecuación N° 2.[21]

$$C(x, t) = \frac{M}{(4\pi Dxt)^{\frac{1}{2}}} \exp \left[-\frac{(X - Vxt)^2}{4Dxt} \right]$$

Ecuación N°2

La M es la masa inyectada por el área de la sección recta, de la distribución de la concentración del contaminante inyectado en el 1-D. Las diferencias entre la contaminación interrumpida y la continua, es que la contaminación continua inicia desde una baja concentración, hasta alcanzar la concentración de entrada inicial del contaminante en función del tiempo y la contaminación interrumpida presenta una disminución de la concentración máxima del contaminante generando una serie de curvas con puntos máximos y mínimos. [21]

2.6. MODELACIÓN Y SOFTWARE

La modelación e implementación del software para la movilidad de contaminantes en suelos ha estado acompañada del apoyo tecnológico, por diversos programas construidos por las diferentes empresas. El software desarrollado alrededor de transporte de contaminantes representa una gran ayuda para la comprensión de la movilidad de compuestos en matrices porosas así como también pueden utilizarse para la evaluación de soluciones para posterior remediación en áreas afectadas por derrames. Algunos de los software utilizados para estos fines son:

2.6.1. VISUAL MODFLOW

Es una herramienta computacional que ayuda en la simulación de aguas subterráneas, superficiales y tiene la capacidad de incorporar variables tales como velocidad, áreas, entre otros con el fin de realizar una simulación muy precisa con la realidad, presentando una serie de escenarios tales como ríos, lagunas, arroyos, cuencas que son gran interés en el campo de la Hidrogeología y sus demás ramas. (Figura 2). [23]

Cabe resaltar que Visual Modflow, exhibe sus modelos en tres Dimensiones, siendo uno de los más utilizados internacionalmente para este tipo de estudios (flujo de aguas subterráneas), probado previamente y verificando su eficacia en la resolución y representación de problemas de flujo en tres dimensiones.(Figura 3). También es necesario tener presente que Visual Modflow con su evolución ha venido incorporando poco a poco la interacción y compatibilidad con otros programas tales como Excel, AutoCAD, SIG, entre otros, que contribuyen al desarrollo de procesos más rápidos y eficientes a la hora de obtener o incorporar datos a los proyectos. [23], [24].

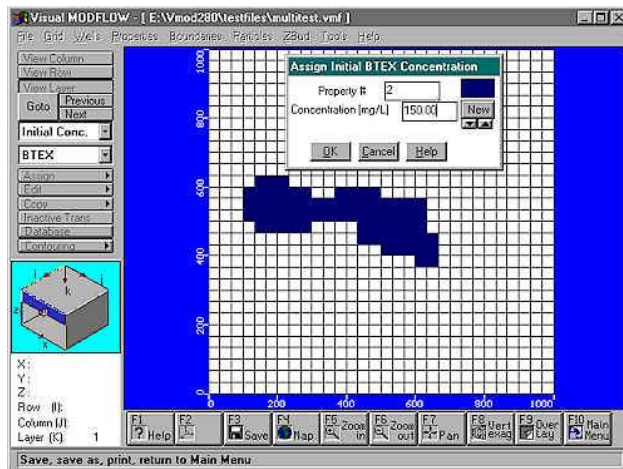


Figura 2 Visual Modflow [25]

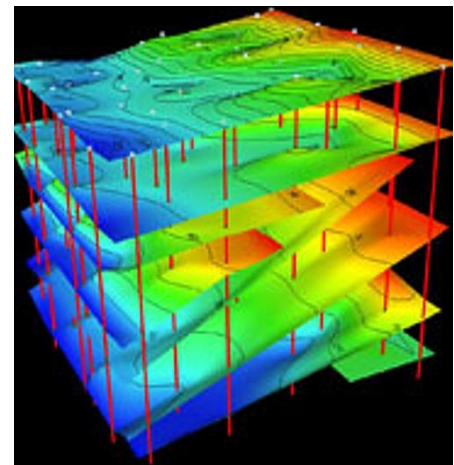


Figura 3 Modelación 3D [26]

Figura

2.6.2. HYDRUS 1D, 2D, 3D

Es un software basado en el análisis de flujo de agua y el transporte de contaminantes o sustancias en medios porosos, los pueden encontrarse en estado saturado o no saturado.

2.6.2.1 HYDRUS 1D

HYDRUS 1D es un software que incluye la simulación en un sistema unidimensional el movimiento del agua, el calor y solventes en varios medios de

comunicación, los cuales pueden presentarse en un medio saturado. El modelo se apoya en un sistema interactivo basado en gráficos de interfaz de datos previamente cargados, una clasificación del perfil del suelo, y la presentación gráfica de los resultados, acompañado de una serie de parámetros y variables que se deben tener en cuenta a la hora de emplear el programa para la simulación de algún medio. [27]

2.6.2.2 HYDRUS 2D/3D

HYDRUS 2D/3D continua el estudio de la versión 1D de la simulación de agua, el calor y el movimiento de solventes pero en dos y tres dimensiones, presentados en medios porosos los cuales pueden encontrarse en estado saturado o parcialmente saturado, con llevando a un estudio más a fondo de los modelos hidráulicos de los suelos, teniendo presentes los parámetros que rigen cada uno de los modelamientos correspondientes.[28]

2.6.3. RBCA

RBCA es un software basado en el riesgo para la gestión de suelos contaminados y aguas subterráneas, su enfoque principales la protección de la salud humana y el medio ambiente, detectando las zonas de mayores riesgos, evaluándolas y clasificándolas por niveles de riesgo. Este enfoque es ampliamente aplicable a los sitios donde exista la posibilidad de contaminación por alguna clase de sustancia química que afecte al medio ambiente sin importar el tipo de entorno geográfico que se encuentre.[29]

2.7. CASOS DE ESTUDIOS EXPERIMENTALES EN 1-D

El manejo de un modelo artificial de red neuronal ha realizado un papel importante en el desarrollo de los modelos unidimensionales, transportando a través de medios saturados contaminantes como cobre y cadmio, evaluando diferentes clases de suelos los cuales son de gran vitalidad para la agricultura de Estados Unidos, donde se analizan los fenómenos de advección, dispersión mecánica y difusión molecular en una dimensión, a través de la ecuación (1) de Ogata y Banks (1961).[30]

$$\frac{C(x,t)}{C_o} = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{x - vt}{2\sqrt{Dt * t}} \right) \right]$$

Ecuación N°1

Por otra parte las investigaciones se han enfocado en obtener soluciones analíticas de los contaminantes en medios saturados, donde la variación del Tiempo - Velocidad son factores fundamentales a estudiar, ya que la velocidad de flujo en el acuífero es de forma sinusoidal y altamente variable y es necesario tener presentes los diversos parámetros que se ven involucrados en este fenómeno.

La mejor forma de representar las soluciones Analíticas es de manera gráfica, con la cual se realiza una comparación con los modelos numéricos existentes. Por tal razón el objeto del estudio en la investigación realizada por Banks y Jerasate consideró la inestabilidad del flujo en medios porosos y la dispersividad longitudinal con fines de evaluar los problemas de salinidad [31].

La movilidad de Aceite en un medio saturado de agua, en una columna de vidrio es una referencia clave para el desarrollo de este trabajo de grado y un aporte muy importante a los estudios experimentales de una Dimensión 1D, ya que con la información proporcionada por estos ensayos y la manera en que se ejecutaron estas prácticas da un parámetro en la forma de realizar los experimentos. [32]

3. MEDOLOGIA DEL ESTUDIO

Para el estudio de la movilidad de un aceite en una matriz de suelos arenosa, ajustada a los tamaños del tamiz No. 4 al No. 50 se utilizaron equipos especializados y muestreadores elaborados con equipos obtenidos en la región. En resumen, los equipos y materiales utilizados fueron:

- Equipo de advección
- Serie de tamices
- Hornos y balanzas
- Recipientes para almacenamiento de muestra
- Herramienta menor, compuesta de tubos, pisones, mangueras, cables.

Dentro de las actividades desarrolladas para este proyecto se destacan:

- Preparación de la muestra para el estudio
- Caracterización del suelo sin contaminación
- Muestreo de verificación de condiciones de saturación del suelo
- Muestreo de la movilidad del contaminante en la columna
- Caracterización del suelo contaminado

3.1. EQUIPOS

3.1.1. EQUIPO DE ADVECCIÓN

Este equipo se utiliza para estudiar el movimiento del agua, de los contaminantes, trazadores, nutrientes, entre otros, los cuales se desplazan a través del suelo. El equipo puede ser empleado en los estudios de transporte para flujos saturados o insaturados (Figura 4).



Figura 4 Equipo de advección

Este equipo fue adquirido a Soil Measurement System (SMS), y se compone de la bomba de inyección, el colector de fracciones y la cámara de vacío, subsistemas que se acoplan a una columna.

3.1.1.1 BOMBA DE INYECCION

La bomba de inyección se utiliza para aplicar agua y productos químicos en la parte superior o inferior de una columna de suelo a una tasa controlada con precisión (Figura 5).

Las especificaciones de la bomba son:

Tamaño: 12 " de ancho x 15" de profundidad x 4 1 / 2 " de altura

Peso: 15 libras (6,8 kg)

Alimentación: 110VAC o 220VAC

La unidad viene completa con 10 jeringas y las válvulas de dos vías.



Figura 5 Bomba de inyección con dispositivo para inyección simultánea

Se pueden utilizar simultáneamente diez jeringas, mediante la aplicación de agua a varios lugares en la columna, asegurando una aplicación más uniforme de la solución de lixiviación en la parte superior de la columna.

La Bomba de inyección tiene dos (2) modos de funcionamiento, continuo e intermitente. En el modo continuo de la bomba funciona continuamente, bombeando a una tasa de aproximadamente 120 ml / min (utilizando las diez jeringas 3 ml). El uso de un número más reducido de jeringas resulta en una tasa proporcional de bombeo inferior.

Para la realización del Estudio de Movilidad de Aceite en la columna de advección se utilizó una jeringa de inyección programada en el modo C (Por recomendación del fabricante SMS) y con una frecuencia de 0.1 Seg.

El caudal utilizado durante el experimento dependió de parámetros tales como: objetivos del estudio, diámetro de la columna, tipo de suelo, contaminante a emplear y la conductividad saturada del material en la columna (es decir, qué tan rápido puede el líquido se desplaza por el suelo).

3.1.1.2 COLECTOR DE FRACCIONES

El colector de fracciones se coloca dentro de la cámara de vacío, este almacena el efluente de la columna en incrementos de volumen pequeño, que puede ser analizada en cuanto sus componentes químicos (Figura 6) El colector de fracciones es lo suficientemente pequeño como para caber fácilmente dentro de la cámara de vacío.



Figura 6 Colector de fracciones

3.1.1.3 COLUMNA

Las columnas se utilizan para estudiar las propiedades hidráulicas de los suelos, tales como la conductividad hidráulica saturada, la conductividad hidráulica no saturada, y la retención de agua del suelo (Figura 7). Se acondicionan para trabajar como una celda de flujo y se confina con unas membranas metálicas de bronce y dos placas extraíbles en los extremos del tubo.



Figura 7 Columna deacrílico con cuatro muestreadores

La columna utilizada en el experimento tiene las siguientes dimensiones:

Largo: 62 cms

Diámetro: 10cms

Espaciamiento de los muestreadores: 10cms

En el presente estudio se empleó la columna de advección con sus cuatro muestreadores, la bomba de inyección con una sola jeringa, mangueras y accesorios necesarios para la recolección de muestras en cada uno de los puntos como en la salida de la columna.

3.1.2. SERIE DE TAMICES

La serie de Tamices es utilizada para la clasificación y caracterización de suelos arenosos empleados en este estudio (Figura 8), teniendo como referencia la limitación a que se sometió el ensayo de movilidad en el suelo arenoso existente (Tamiz N°4 al N°50). La serie de tamices utilizada fue, la siguiente: N°10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 200.

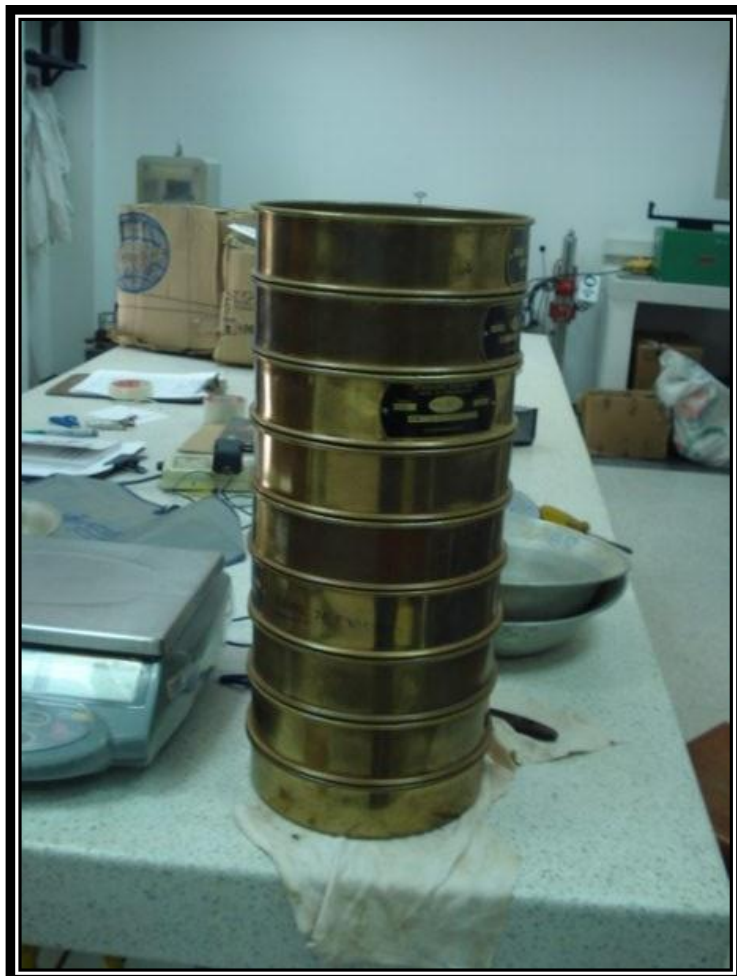


Figura 8 Serie de tamices

3.2. METODOLOGÍA

3.2.1. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PARA EL ESTUDIO

La preparación de la muestra de suelo (suelo arenoso) consiste en el lavado de material través del tamiz N° 200, eliminando impurezas, escombros y desechos que se encuentren en ella, hasta encontrar que el agua que pasa por el tamiz 200 salga lo más clara posible (transparente). Posteriormente, se somete al secado en un horno durante 24 horas.

3.2.2. CLASIFICACIÓN DEL SUELO SIN CONTAMINACIÓN

La clasificación y selección de la muestra de suelo es tomada de los tanques de almacenamiento donde esta se encuentra completamente libre de impurezas y se procede a pasarla a través de los tamices N° 4 al N°50 donde la muestra retenida por estos dos tamices da el parámetro de los tamaños de las partículas de suelo arenoso a emplear. Este proceso se realiza manualmente y se busca obtener aproximadamente 7Kg de este material para compactar la columna de advección.

3.2.3. MOVILIDAD DEL NaCl (0.1M) COMO CONTAMINANTE EN LA COLUMNA DE ADVECCION

Para verificar la saturación de la columna de advección se utiliza un trazador conservativo Cloruro de Sodio, con una concentración de 0.1 M. El procedimiento seguido implicó.

- Compactación del suelo en la columna de advección
- Saturación Columna con agua
- Inyección del trazador

3.2.3.1 COMPACTACIÓN DEL SUELO EN LA COLUMNA DE ADVECCIÓN

Se toma la columna de advección y se ajustan los terminales de la parte inferior, verificando que el caucho, la rejilla y los terminales se encuentren en su lugar.

Para el llenado de la columna, se utiliza un embudo y un tubo. Se debe garantizar que el material fino no se disperse en las paredes de la columna, para evitar el flujo preferencial en estos casos. El suelo se va llenando, en capas de 2 cm, y cada capa se compacta con 30 golpes. En la parte superior, se deja un espacio libre para permitir que el exceso de agua, durante la saturación, pueda moverse hacia la superficie. Finalizada la compactación del material en la columna de advección se le pone el caucho, la rejilla y la tapa, ajustando los terminales y verificando que se encuentre a nivel.

3.2.3.2 CONEXIÓN DEL SISTEMA A LA COLUMNA DE ADVECCIÓN

La conexión del sistema viene acompañado del montaje de la columna de advección sobre el trípode fijándola para evitar cualquier clase de movimiento, procediendo a instalar la jeringa en uno de los terminales que posee la bomba de inyección. A continuación se procede a instalar la manguera de succión que va del terminal lateral que tiene la jeringa de inyección hacia el recipiente donde se encuentra el agua o contaminante y la manguera de inyección la cual va conectada a la parte inferior de la columna por medio de terminal en cobre.

En la parte superior de la columna se conecta otro terminal de cobre y una manguera de 70 cms aproximadamente por donde estará ubicado el desagüe del contaminante.

3.2.3.3 SATURACIÓN COLUMNA

Realizado los pasos anteriores, el equipo se encuentra listo para comenzar a saturar la columna de advección. Se inicia la saturación prendiendo la bomba de inyección en modo C, a 0,1seg para la inyección de agua, conservando siempre que la manguera de succión se encuentre sumergida en el recipiente donde se encuentra el agua y observando que no se presenten fugas en las salidas, muestreadores, jeringas o mangueras. Este proceso se demora alrededor de 10 horas y se realiza su comprobación cuando el volumen de entrada es igual al volumen de salida en un periodo de tiempo determinado (se verifica en un lapso de 10 minutos).

3.2.3.4 INYECCIÓN DEL CONTAMINANTE NaCl Y RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS

Teniendo la columna completamente saturada se inyecta el contaminante, introduciendo la manguera de succión en el contaminante (Solución salina NaCl 0,1M) y se comienzan a recoger muestras en los tubos de ensayos debidamente marcados cada 5 minutos, durante un periodo de 3,5 horas, para obtener un resultado donde se logre que la concentración de salida sea cercana a la concentración de entrada.

3.2.4. MOVILIDAD DEL ACEITE COMO CONTAMINANTE EN LA COLUMNA DE ADVECCIÓN

Para la realización del muestreo de la movilidad del contaminante (Aceite) en la columna de advección es necesario ejecutar el mismo procedimiento realizado a la movilidad del NaCl, cumpliendo con las condiciones de saturación del suelo y siguiendo en práctica estas etapas:

- Compactación del suelo en la columna de advección
- Conexión del sistema a la columna de advección
- Saturación Columna
- Inyección del contaminante (Aceite) y recolección de las muestras.

Teniendo presentes los siguientes aspectos:

La recolección de muestras en los tubos de ensayo se realizan cada 10 minutos debido a que la movilidad del contaminante no permite un rápido desplazamiento a través de la matriz de suelo.

En los tubos de ensayo donde se recolectan las muestras se debe preservar adicionando una gota de Ácido sulfúrico H_2SO_4 y taparlas con pedazo de papel de aluminio, debido a un requerimiento por parte del laboratorio para el posterior análisis de las muestras.

3.2.5. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO CONTAMINADO

Los estudios pertinentes acerca de las propiedades mecánicas y físicas del suelo arenoso, se realizan con el fin de hacer una comparación antes y después de la contaminación de la matriz porosa, indicando los principales cambios que sufren, con sus correspondientes alteraciones. La caracterización del suelo contaminado se realizó por medio de una muestra del suelo obtenido al finalizar el ensayo, la cual se llevó al laboratorio de suelos y se le practicaron las siguientes pruebas:

3.2.5.1 GRANULOMETRÍA

Consiste en el tamizado de la muestra ensayada (previamente fue lavada por el tamiz N°200) por medio de una serie de tamices que empiezan desde el N°4 hasta el N°200 y su respectivo fondo, donde en cada uno de ellos va quedando un porcentaje de la muestra total. Con estos datos se procede a realizar su respectivo análisis granulométrico con el fin de obtener la descripción del suelo y calcular su módulo de finura. **[Norma INV-E213-07]**

Normas De Referencia:

ASTM C-136 – 01
AASHTO T-27 - 99
NLT 150

3.2.5.2 LÍMITES (LÍQUIDO Y PLÁSTICO)

El ensayo de límite líquido, tiene como objetivo determinar la cantidad de humedad que posee un suelo, a través del equipo de límite líquido en el cual se pone una capa del suelo previamente mezclado según las normas INV E – 106 y INVE – 107, donde por medio del ranurador curvo se divide la muestra y por medio de un numero de golpes determinado y una toma de la muestra al finalizar el ensayo determinar su estado. En este caso por tratarse de una arena no es viable que esté presente límite líquido. **[Norma I.N.V. E – 125 – 07]**

Normas De Referencia

AASHTO T 89-02
ASTM D 4318- 00

Limite plástico es un ensayo realizado con el fin de calcular el contenido más bajo de agua, este consiste en elaborar unos rollos de suelo de aproximadamente 1/8" de diámetro sin que se desmoronen, seguidamente tomando una muestra del suelo y llevándola al horno para su secado y de esta manera conocer su plasticidad. Los suelos arenosos no presentan la consistencia necesaria para realizar este tipo de ensayos, por tanto su estado conducirá a un estado NO PLASTICO. **[Norma I.N.V. E – 126 – 07]**

Normas De Referencia

AASHTO T 90-00 (2004)

ASTM D 4318-00

NORMA CHILENA 8102.4

3.2.5.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

Este ensayo consiste en la determinación de la gravedad específica BULK y APARENTE, así como la absorción de agregados finos, donde la muestra de suelo es sometida un periodo de inmersión en agua de más de 15 horas, posteriormente se extrae el agua del picnómetro y se procede a extender la muestra dejarla secar, anotando sus datos respectivos (pesos) para la elaboración de los cálculos. **[Norma I.N.V.E 222 – 223]**

Normas De Referencia

ASTM C 128 – 97

AASHTO T 84 – 00 (2004)

NLT 154 – 92

ASTM C 127 – 88 (Reaprobada en el 2001)

AASHTO T 85 – 91 (2004)

3.2.5.4 PERMEABILIDAD DE SUELOS CABEZA CONSTANTE

Este estudio consiste en la determinación del coeficiente de permeabilidad, por medio del permeámetro de cabeza constante, para el cual es necesario un previo análisis granulométrico del suelo, un montaje correcto del equipo, teniendo muy presente que es un equipo que presenta una alta sensibilidad. **[Norma I.N.V.E-130]**

Normas De Referencia

AASHTO T 215 – 70 (2003)

ASTM D 2434 – 68 (2000)

3.2.5.5 ENSAYO NORMAL DE COMPACTACIÓN (PROCTOR)

Con este método se determina la relación entre la humedad y la masa unitaria de los suelos compactos, a través de un molde en el cual se compacta el material en capas, cada una de 25 golpes con el martillo metálico, el cual viene ajustado para cada uno de los moldes a emplear, ya que existen diferentes tamaños. Este ensayo es realmente uno de los más utilizados debido a que da el parámetro de la Humedad óptima, necesario para la compactación en suelos. **[Norma I.N.V. E – 141 - 142]**

Normas De Referencia

AASHTO T 180– 01

ASTM D 698 – 00

AASHTO T 99 – 01

ASTM D 698 – 00

3.2.5.6 MÉTODO DE CORTE DIRECTO

Por medio de este estudio se pretende determinar la resistencia al corte de la muestra de suelo consolidada y drenada, a través del aparato de corte directo en el cual se introduce el espécimen recubierto en sus extremos por piedras porosas, la cual es sometida a un proceso de drenaje hasta que se consolide y posteriormente se realiza el corte de la muestra lentamente, para que no se vea afectada durante el ensayo. **[Norma I.N.V.E – 154]**

Normas De Referencia

ASTM D 3080 – 98

AASHTO T 236 – 03

4. RESULTADOS

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO NO CONTAMINADO

El análisis de la muestra de suelo no contaminado se realizó en el laboratorio de la Universidad pontificia Bolivariana – seccional Bucaramanga, estos resultados son presentados en el Anexo 2, a continuación se presentan los resultados de cada uno de los ensayos realizados en la tabla N°4(Ver Anexo 2).

Análisis Granulométrico I.N.V.E 213 (Ver Gráfico #)	Módulo de Finura	2.22	Unidades
			N.A
Limite Liquido y plástico E índice de Plasticidad (humedad) del Suelo I.N.V.E125-126	Limite Liquido	No Liquido	N.A
	Limite Plástico	No plástico	N.A
Gravedad Especifica Y absorción de Agregados Finos y Gruesos I.N.V.E-222-223	Gravedad Especifica Bulk(Gsb)	2.63	g/cm3
	Gravedad Especifica Bulksss(Gsb _{sss})	2.65	g/cm3
	Gravedad Especifica Aparente (Gsa)	2.7	g/cm3
	Absorción	0.27	%
Permeabilidad de Suelos Cabeza I.N.V.E-130	Peso Unitario	1.83	g/cm3
	K ₂₀	0.007999817	N.A
Ensayo Modificado de Compactación I.N.V.E-141-142	Densidad Máxima Seca	1.632	g/cm3
	Humedad Optima	16	%
Método Corte Directo I.N.V.E-154	Φ	41.4	°(Grados)
	Cohesión	0.233	kg/cm2

Tabla 4 La muestra de suelo arenoso tamiz N°4 – N°50 no contaminado.

4.2. INYECCION Y MUESTREO DEL NaCl 0.1M

Como se mencionó en la Metodología, el proceso de saturación de la columna se verifica mediante el muestreo de la movilidad de un trazador. La solución de NaCl a 0.1 M, se muestra en la **Tabla 5 y Figura 9** Las muestras presentadas a continuación tienen 2 dígitos, el primero representa el número del muestreador y el segundo dígito el número de la toma. Ejemplo: Muestra 2,3 – Es una muestra tomada del muestreador Numero 2 y su toma es la Numero 3.

Los resultados presentes en este estudio de movilidad son expresados en la unidad mS, que indica los Milisiemens (unidad de medida de la conductancia eléctrica) (Tabla 5 y Tabla 6).

En la Figura 10 se indica el orden de los muestreadores en la columna de advección.

MUESTRA	MEDIDA	UNIDAD	TIEMPO(min)
1	0,1457	mS	5
1,2	1,832	mS	28
1,3	1,874	mS	50
1,4	2,35	mS	107
1,5	2,83	mS	180
1,6	3,08	mS	240
2	0,1048	mS	10
2,2	0,0845	mS	30
2,3	1,913	mS	65
2,4	2,38	mS	120
2,5	2,74	mS	195
2,6	2,94	mS	250
3	0,1718	mS	15
3,2	0,152	mS	35
3,3	0,99	mS	65
3,4	2,33	mS	145
3,5	2,64	mS	210
3,6	2,84	mS	260
4	0,27	mS	20
4,2	0,149	mS	45
4,3	0,1093	mS	90
4,4	2,11	mS	165
4,5	2,62	mS	230
4,6	2,75	mS	275

Tabla 5 Presenta los resultados obtenidos en el estudio de movilidad de un trazador.

PORCENTAJE FINAL DE SALINIDAD	
MUESTREADOR N.1	99,35%
MUESTREADOR N.2	94,84%
MUESTREADOR N.3	91,61%
MUESTREADOR N.4	88,71%
OUTFLOW	90,97%

SALINIDAD NaCl 0.1 MOL	3,1	mS
------------------------	-----	----

Tabla 6 Resultados salinidad final en cada uno de los muestreadores.

La Figura [9] presenta el comportamiento de la salinidad en los 4 muestreadores. El flujo salino se inyectó en forma ascendente (de abajo hacia arriba), y se observa que la concentración salina empieza a aparecer a los 5 minutos de haber iniciado la inyección en el muestreador N°1.

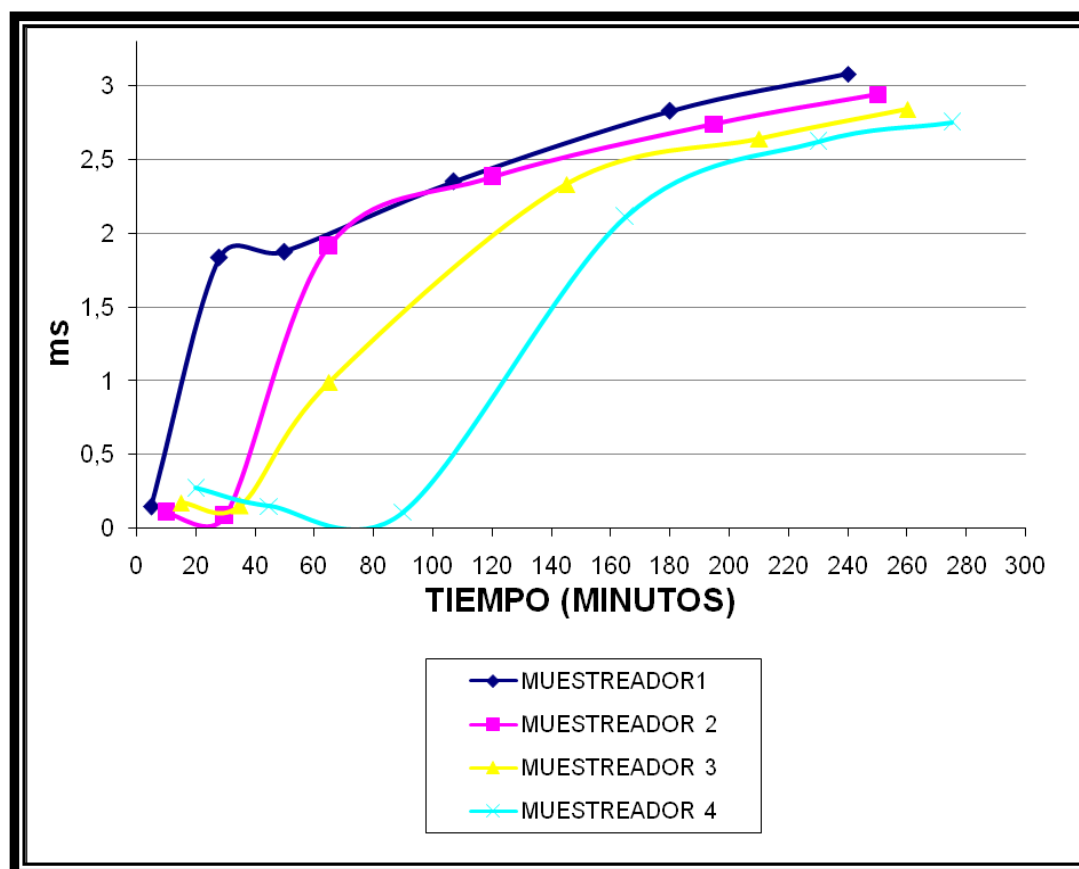


Figura 9 Registro salinidad columna advección

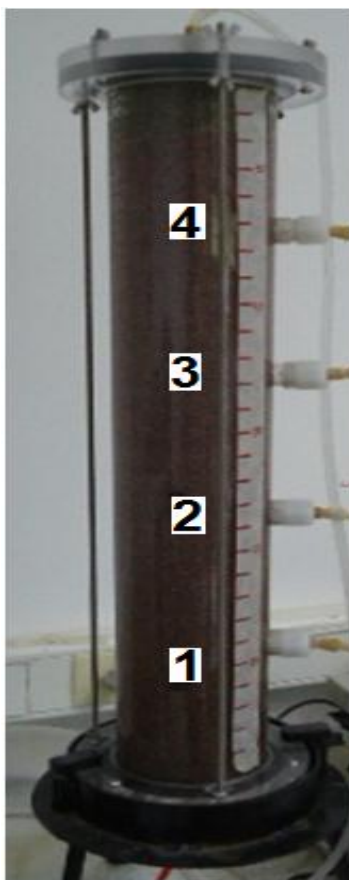


Figura 10 Ubicación Muestreadores columna de advección

4.3. INYECCIÓN Y MUESTREO DEL ACEITE REF. 15W-40

Una vez verificado que el suelo estaba saturado, se procedió a inyectar el aceite 15W-40. La prueba se tardó 4 Horas. La **Tabla 7** y la **Figura10** presentan la información de los datos recolectados.

Las muestras presentadas a continuación tienen 2 dígitos, el primero representa el número del muestreador y el segundo dígito el número de la toma. Ejemplo: Muestra 2,3 – Es una muestra tomada del muestreador Numero 2 y su toma es la Número 3.

Los resultados presentados en la Tabla 7 corresponden al ensayo de Grasas y Aceites efectuado a la columna de advección con el fin de conocer el grado de contaminación, después de presentarse la inyección del Aceite. Las unidades correspondientes a mg GyA /L, donde GyA es el nombre del ensayo y mg/L es la concentración de sólidos disueltos, utilizada comúnmente para soluciones acuosas. 1ppm=1mg/L (Figura 10).La Tabla 8 corresponde al nivel de concentración encontrado en esta prueba, una vez se finalizó la inyección.

MUESTREADOR	TOMA	MUESTRA	CONTAMINACION (mg GyA /L)	TIEMPO (MINUTOS)
1	0	-	-	0
1	1	467	0,2	10
1	2	471	264411	30
1	3	475	477041	70
1	4	479	490501	120
1	5	483	557478	160
1	6	487	517844	210
2	1	468	0,2	15
2	2	472	0,2	40
2	3	476	245726	80
2	4	480	507956	130
2	5	484	532911	170
2	6	488	515667	220
3	1	469	0,2	20
3	2	473	0,2	50
3	3	477	383217	90
3	4	481	592011	140
3	5	485	538233	180
3	6	489	529611	230
4	1	470	0,2	25
4	2	474	0,2	60
4	3	478	463989	100
4	4	482	605378	150
4	5	486	507656	195
4	6	490	517656	240

Tabla 7 Prueba n.2 columna completamente saturada con agua h₂O, inyección del contaminante aceite ref. 15w-40.

PORCENTAJE FINAL DE CONTAMINACION	
MUESTREADOR N.1	84,89%
MUESTREADOR N.2	84,54%
MUESTREADOR N.3	86,82%
MUESTREADOR N.4	84,86%
OUTFLOW	85,77%

Contaminación Aceite Ref. 15W-40	610000	mg GyA /L
-------------------------------------	--------	-----------

Tabla 8 Resultados salinidad final en cada uno de los muestreadores.

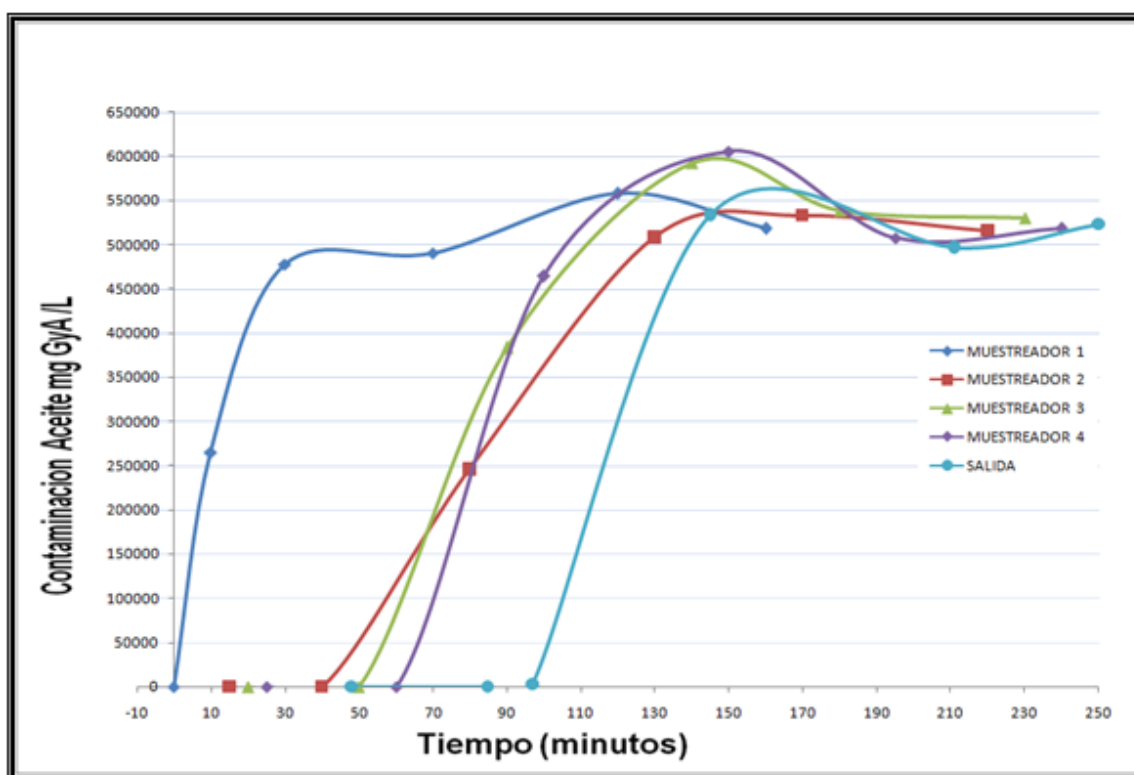


Figura 11 Contaminación aceite ref. 15w-40.

4.4. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO CONTAMINADO CON EL DERRAME DE ACEITE

El análisis de la muestra de suelo contaminado se realizó en el laboratorio de la Universidad pontificia Bolivariana – seccional Bucaramanga, estos resultados son presentados en el **Anexo 2**. La Tabla N° 9 contiene un resumen de la caracterización realizada.

Análisis Granulométrico I.N.V.E 213 (Ver Figura N° 13)	Módulo de Finura	3.77	Unidades
			N.A
Limite Liquido y plástico índice de Plasticidad (humedad) del Suelo I.N.V.E125-126	Limite Liquido	No Liquido	N.A
	Limite Plástico	No plástico	N.A
Gravedad Especifica absorción Y de Agregados Finos y Gruesos I.N.V.E-222-223	Gravedad Especifica Bulk(Gsb)	2.14	g/cm3
	Gravedad Especifica Bulksss(Gsb _{sss})	2.22	g/cm3
	Gravedad Especifica Aparente (Gsa)	2.33	g/cm3
	Absorción	3.79	%
Permeabilidad de Suelos Cabeza I.N.V.E-130	Peso Unitario	1.72	g/cm3
	K ₂₀	0.055938166	N.A
Ensayo Modificado de Compactación I.N.V.E-141-142	Densidad Máxima Seca	1.795	g/cm3
	Humedad Optima	7	%
Método Corte Directo I.N.V.E-154	Φ	39	°(Grados)
	Cohesión	0.120	kg/cm2

Tabla 9 Ensayos realizados a la muestra de suelo arenoso tamiz n°4 – n°50 contaminado aceite ref. 15w-40.

5. ANALISIS DE RESULTADOS

5.1. INYECCION Y MUESTREO DEL NaCl 0.1M

La inyección del muestreador NaCl 0.1M presentó una movilidad completamente uniforme en la matriz de suelo, dando indicios de contaminación en el primer punto muestreador a los 5 minutos de inicio del ensayo con un porcentaje mínimo de salinidad y aumentando paulatinamente en función del tiempo.

Se observó que la contaminación salina de la matriz del suelo es más alta en el primer muestreador (en las primeras capas de suelo) y de ahí en adelante este grado comienza a disminuir porcentualmente. A la salida de la columna de advección se obtuvo un 90.97% de salinidad.

5.2. INYECCIÓN Y MUESTREO DEL ACEITE REF. 15W-40

La columna saturada fue sometida a la inyección del aceite, y fue necesario realizar un ajuste en la toma de las muestras debido a que por ser el aceite una sustancia más viscosa, su desplazamiento fue retardado, por tanto las muestras en cada uno de los puntos se tomaron cada 10 minutos.

El Aceite Ref. 15W-40 de coloración roja se movilizó uniformemente por la matriz de suelo, observando gradualmente la contaminación de una cada una de las capas de suelo arenoso, hasta llegar a su salida.

Con el diseño de Macro goteó utilizado muy comúnmente en la rama de la medicina para la toma de muestras, la recolección de la muestra de aceite se facilitó a pesar de ser una sustancia viscosa. Las muestras recolectadas fueron analizadas con el equipo Soxhlet; los resultados se expresaron en concentración de grasas y aceite.

La contaminación presentada en la matriz de suelo se encontró alrededor de un 85%, logrando su punto más alto en el muestreador N°4 en su cuarta toma registrando un valor de 605.378 mg GyA /L de 610.000 mg GyA /L que es la contaminación pura del aceite.

5.3. PARAMETROS DE ADVECCION DETERMINADOS

Para el desarrollo de este estudio de movilidad es necesario determinar una serie de parámetros y variables necesarias con el fin de comparar los datos experimentales con los teóricos y de esta manera conocer la aproximación real de los ensayos ejecutados.

Porosidad

El suelo introducido en la columna fue compactado en capas de 2 cm y 30 golpes cada capa, buscando con ello garantizar una aproximación de los valores teóricos de la ley de Darcy. Se tomó el cálculo teórico establecido por Henry Darcy para suelos muy húmedos donde $n = 0.1$ [33][34]

Caudal

El flujo del sistema se encuentra determinado por el caudal calculado en el laboratorio donde en el modo C de la bomba de inyección se realizaron varios aforos del mismo obteniendo una relación promedio de $Q = 0,2 \text{ cm}^3/\text{seg}$.

$$Q = \frac{Vol}{t}$$

$$Q = \frac{120}{600} = 0.2 \frac{\text{cm}^3}{\text{seg}}$$

Área Sección Recta de la Columna de Advección

$$A = \pi * r^2$$

$$A = \pi * 5^2 = 78.54 \text{ cm}^2$$

Longitud Columna

El equipo de advección cuenta con una columna de 60 cms de longitud

Velocidad Vx

$$V_x = \frac{\frac{Q}{n}}{A}$$

$$Vx = \frac{\frac{0.2}{78.54}}{0.1} = 0.02546 \text{ cm/seg}$$

$$Vx = 0.02546 * \frac{86400}{100} = 22 \frac{m}{dia}$$

Dispersividad Dx

Para el cálculo de la dispersividad experimental en la columna de advección se debe tener en cuenta la velocidad, porosidad y longitud de la columna, que se deben aplicar a la fórmula de la dispersividad.

DATOS

$$Vx = 22 \frac{m}{dia}$$

$$n=0.1$$

$$L= 60\text{cms}$$

CALCULO

$$\begin{array}{lcl} C1= 0.2 & \xrightarrow{\hspace{2cm}} & t= 25 \text{ min} \\ C2=517656/610000 = 0.8486 & \xrightarrow{\hspace{1cm}} & t= 240\text{min} \end{array}$$

$$U1 = \frac{0.02546 * 25 * 60}{60} = 0.636$$

$$U2 = \frac{0.02546 * 240 * 60}{60} = 6.111$$

$$\text{Al Tiempo } 1J_{0.16} = \left[\frac{(0.636 - 1)}{0.636^{\frac{1}{2}}} \right] = -0.455$$

$$\text{Al Tiempo } 2J_{0.84} = \left[\frac{(6.111 - 1)}{6.111^{\frac{1}{2}}} \right] = 0.136$$

$$Dx = \left(\frac{0.02546 * 60}{8} \right) (0.136 - (-0.455))^{\frac{1}{2}} = 0.1469 \frac{cm^2}{seg}$$

$$Dx = 0.1469 * \frac{86400}{10000} = 1.27 \frac{m^2}{dia}$$

5.3.1. ECUACIÓN DE TRANSPORTE Vs CONTAMIANCIÓN EXPERIMENTAL

La ecuación de transporte para la contaminación Teórica y experimental se rige por la tabla N°10, donde a continuación se presentan los índices de contaminación en función del tiempo y donde las siguientes variables permanecen constantes Longitud: 0.6m, Vx: 22m/d, Dx: 1.27m²/d

TIEMPO (min)	TIEMPO (días)	Valor Beta	Función error	concentración teórica	C/Co
10,08	0,007	2,37	0,001	251,14	0,04%
14,40	0,010	1,69	0,017	5219,04	0,86%
20,16	0,014	1,09	0,122	37065,91	6,08%
24,48	0,017	0,77	0,277	84429,38	13,84%
30,24	0,021	0,42	0,550	167824,63	27,51%
40,32	0,028	-0,04	1,05	319632,32	52,40%
50,40	0,035	-0,40	1,43	436628,44	71,58%
60,48	0,042	-0,70	1,68	512066,38	83,95%
70,56	0,049	-0,96	1,82	556514,70	91,23%
80,64	0,056	-1,19	1,91	581411,06	95,31%
90,72	0,063	-1,39	1,95	594935,07	97,53%
99,36	0,069	-1,55	1,97	601369,19	98,59%
119,52	0,083	-1,89	1,99	607690,01	99,62%
129,60	0,090	-2,04	2,00	608812,53	99,81%
139,68	0,097	-2,19	2,00	609391,27	100%
149,76	0,104	-2,32	2,00	609688,60	100%
158,40	0,110	-2,43	2,00	609824,92	100%
216,00	0,150	-3,09	2,00	609996,29	100%
288,00	0,200	-3,77	2,00	609999,97	100%
309,60	0,215	-3,95	2,00	609999,99	100%
311,04	0,216	-3,96	2,00	609999,99	100%
312,48	0,217	-3,98	2,00	609999,99	100%
313,92	0,218	-3,99	2,00	609999,99	100%
314,64	0,2185	-3,99	2,00	610000,00	100%

Tabla 10 Datos ecuación de transporte.

El tiempo en días presente en la tabla N°10 se ajustó a una serie de valores-día con el fin de presentar una mayor uniformidad de los puntos en la Figura 11 y 12 de concentración vs tiempo del caso experimental sobre el teórico.

Tiempo en minutos fue tomado de la columna del tiempo en días, sometida a su conversión respectiva:

$$\text{Tiempo minutos} = \text{Tiempo en días} * 24 * 60$$

Valor Beta

$$\beta = \frac{(L - (Vx * t))}{2\sqrt{Dt * t}}$$

Función error

$$\text{Funcion error} = \text{Func. Error. Compl} (\beta)$$

Concentración Teórica

$$\text{Conc Teorica} = \frac{\text{Concen Total} * \text{Func Error}}{2}$$

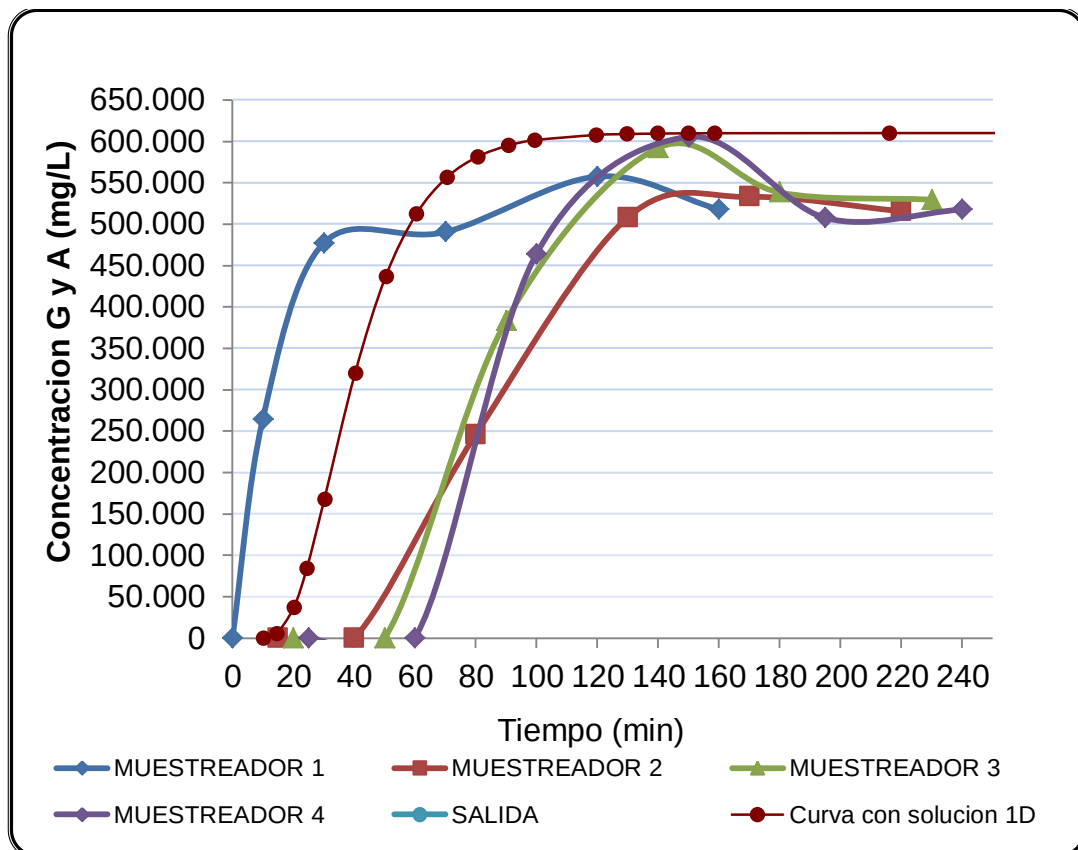


Figura 12 Comparación curvas experimentales vs teórica

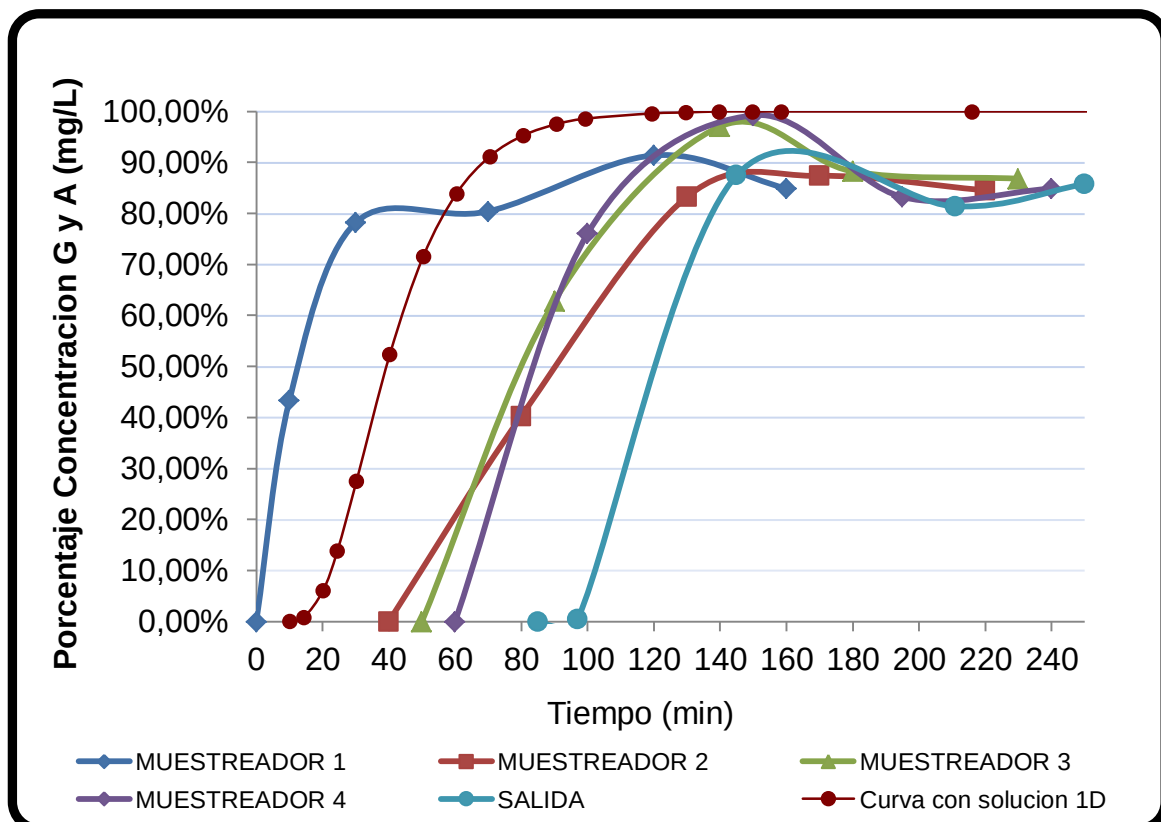


Figura 13 Comparación curvas experimentales vs teórica

5.4. USO DE LOS PARAMETROS DE ADVECCION PARA EL ESTUDIO DEL TRANSPORTE DEL HIDROCARBURO EN EL SUELO

A continuación se presentan tres ejemplos de aplicación de la ecuación de transporte determinada y la aplicación de la ecuación de transporte para las condiciones teóricas de la columna de suelo arenoso vs condiciones experimentales.

5.4.1. CASO 1

Calcule el tiempo que le tardaría a un hidrocarburo en desplazarse a través de una matriz de suelo, asumiendo $C/C_0=0.4$, en un medio de 60 cm de longitud, utilizando la concentración teórica 610000 mg GyA /L (según la ecuación de Ogata y Banks).

SOLUCIÓN:

Para este tipo de problemas es necesario aplicar la siguiente ecuación donde con las variables previamente establecidas y calculadas es posible resolver el tiempo que tardaría en llegar a dicha concentración:

$$C = \frac{Co}{2} \operatorname{erfc} \frac{(L - (Vx * t))}{2\sqrt{Dt * t}}$$

ECUACIÓN N°1

DATOS

$$A = 78.54 \text{ cm}^2$$

$$Q = 0.2 \frac{\text{cm}^3}{\text{seg}}$$

$$n = 0.1$$

$$Vx = 22.0158 \frac{\text{m}}{\text{dia}}$$

$$Dx = 1.2699 \frac{\text{m}^2}{\text{dia}}$$

CÁLCULO

$$244000 = \frac{610000}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{0.6 - 22.00158t}{2\sqrt{1.2699t}} \right)$$

$$\operatorname{erfc}(0.8)^- = \left(\frac{0.6 - 22.00158t}{2\sqrt{1.2699t}} \right)$$

$$0.1793 = \left(\frac{0.6 - 22.00158t}{2\sqrt{1.2699t}} \right)$$

$$t = 0.26991 \text{ dias}$$

$$t = 38.87 \text{ minutos}$$

RESPUESTA

El tiempo que tarda un hidrocarburo en desplazarse en una columna de suelo arenoso, con un porcentaje de contaminación del 40% es de 38.87 minutos.

5.4.2. CASO 2

Calcule la concentración que le tardaría a un hidrocarburo en desplazarse a través de una matriz de suelo, en un medio de 60 cm de longitud, utilizándola concentración teórica 610000 mg GyA /L en un periodo de tiempo de 50 minutos (0.03472 días).

SOLUCIÓN:

Para este tipo de problemas es necesario aplicar la siguiente ecuación donde con las variables previamente establecidas y calculadas es posible resolver el tiempo que tardaría en llegar a dicha concentración:

$$C = \frac{Co}{2} \operatorname{erfc} \frac{(L - (Vx * t))}{2\sqrt{Dt * t}}$$

ECUACION N°1

DATOS

$$A = 78.54 \text{ cm}^2$$

$$Q = 0.2 \frac{\text{cm}^3}{\text{seg}}$$

$$n = 0.1$$

$$Vx = 22.0158 \frac{m}{\text{dia}}$$

$$Dx = 1.2699 \frac{m^2}{\text{dia}}$$

CÁLCULO

$$C = \frac{610000}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{0.6 - 22.00158 * 0.03472}{2\sqrt{1.2699 * 0.03472}} \right)$$

$$C = 501535,319 \text{ G y A (mg/L)}$$

RESPUESTA

La concentración de un hidrocarburo después de transcurridos 50 minutos en una columna de suelo arenoso es de 501535,319G y A (mg/L)

5.4.3. CASO 3

Calcule la extensión que alcanzaría un hidrocarburo en una matriz de suelo, en un periodo de tiempo de 30 minutos (0.0208 horas), asumiendo $C/Co=0.2$.

SOLUCIÓN:

Para este tipo de problemas es necesario aplicar la siguiente ecuación donde con las variables previamente establecidas y calculadas es posible resolver el tiempo que tardaría en llegar a dicha concentración:

$$C = \frac{Co}{2} \operatorname{erfc} \frac{(L - (Vx * t))}{2\sqrt{Dt * t}}$$

ECUACION N°1

DATOS

$$n = 0.1$$

$$Vx = 22.0158 \frac{m}{dia}$$

$$Dx = 1.2699 \frac{m^2}{dia}$$

CÁLCULO

$$0.2 = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{L - 22.00158 * 0.0208}{2\sqrt{1.2699 * 0.0208}} \right)$$

$$0.5952 = \left(\frac{L - 22.00158 * 0.0208}{2\sqrt{1.2699 * 0.0208}} \right)$$

$$\mathbf{L = 0.6511mts}$$

RESPUESTA

La distancia recorrida de un hidrocarburo después de transcurridos 30 minutos con una $C/Co = 0.2$ en un suelo arenoso es de 65.1cms

	n	$Vx \frac{m}{dia}$	$Dx \frac{m^2}{dia}$	L (cms)	C/Co	C (mg GyA /L)	t (minutos)
CASO 1	0.1	22.0158	1.2699	60	0.4	610000	38.87
CASO 2	0.1	22.0158	1.2699	60	0.82 ò [501535,319 GyA (mg/L)]	610000	50
CASO 3	0.1	22.0158	1.2699	65.11	0.2	610000	30

Tabla 11 RESULTADOS CASOS CON LA ECUACION N°1

5.5. COMPARACIÓN PROPIEDADES DEL SUELO NO CONTAMINADO vs CONTAMINADO

Con los resultados obtenidos de los ensayos realizados a la matriz del suelo antes y después de someterlo a la contaminación se elabora el siguiente cuadro (Tabla N° 11) comparativo de las propiedades del suelo donde explícitamente se ve reflejado los notorios cambios presentados en este tipo de arenas gradadas y sometidas a un proceso de contaminación:

ENSAYO		No Contaminado	Contaminado	Unidades
Análisis Granulométrico I.N.V.E 213 (Ver Figura N°13)	Módulo de Finura	2.22	3.77	N.A
Limite Liquido y plástico E índice de Plasticidad (humedad) del Suelo I.N.V.E125-126	Limite Liquido	No Liquido	No Liquido	N.A
	Limite Plástico	No plástico	No plástico	N.A
Gravedad Especifica Y absorción de Agregados Finos y Gruesos I.N.V.E-222-223	Gravedad Especifica Bulk(Gsb)	2.63	2.14	g/cm3
	Gravedad Especifica Bulksss(Gs b _{sss})	2.65	2.22	g/cm3
	Gravedad Especifica Aparente (Gsa)	2.7	2.33	g/cm3
	Absorción	0.27	3.79	%
Permeabilidad de Suelos Cabeza I.N.V.E-130	Peso Unitario	1.83	1.72	g/cm3
	K ₂₀	0.007999817	0.055938166	N.A
Ensayo Modificado de Compactación I.N.V.E-141-142	Densidad Máxima Seca	1.632	1.795	g/cm3
	Humedad Optima	16	7	%
Método Corte Directo I.N.V.E-154	Φ	41.4	39	°(Grados)
	Cohesión	0.233	0.120	kg/cm2

Tabla 12 Propiedades físicas y mecánicas del suelo no contaminado vs contaminado.

El módulo de finura presentado antes y después de la contaminación realizada al suelo arenoso es bastante variable, ya que incrementa en más de un 50 % después de la inyección del aceite indicando que las partículas de suelo no son tan finas como al principio. Esto pudiera explicarse considerando que el grano tiende a ser encapsulado por el aceite cambiando aparentemente la granulometría del medio (Figura 13).

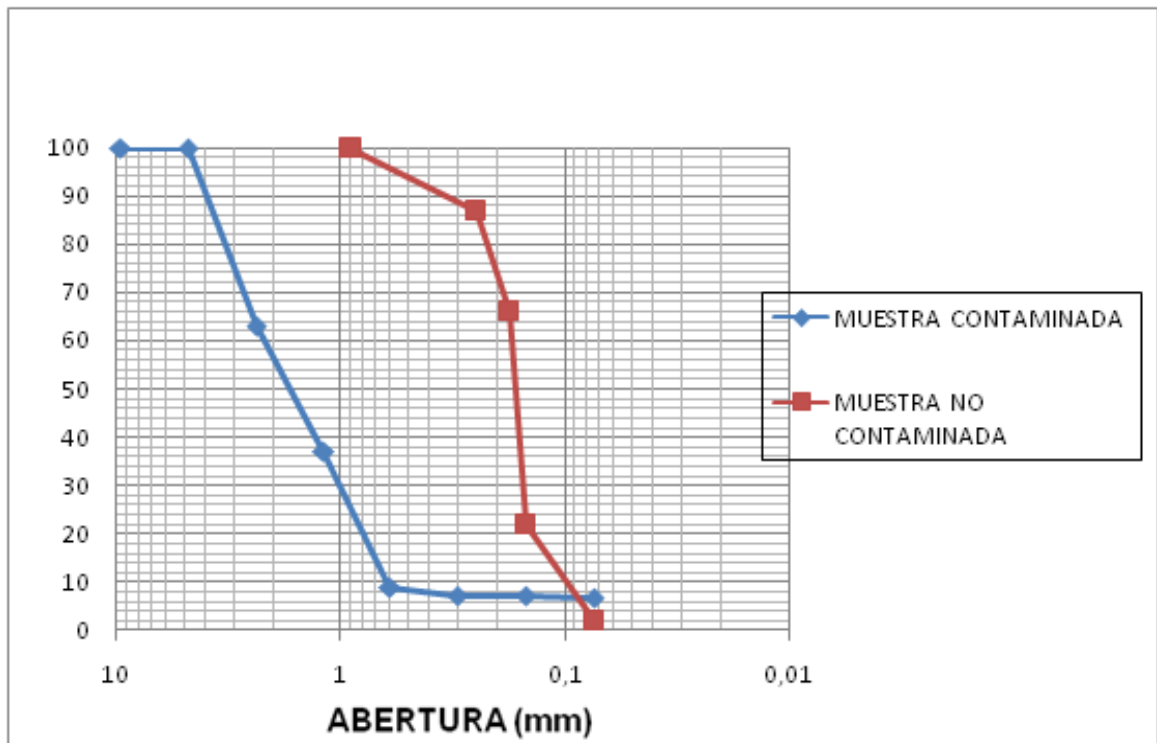


Figura 14 Comparación de curvas granulométricas suelo contaminado vs no contaminado

En cuanto a los límites de Atterberg se observó que no hubo cambios en las muestras de suelo ensayadas. Era de esperarse, que por tratarse de suelo arenoso no cambiaran estas propiedades en el material.

La gravedad específica de la arena disminuye en un 13,7% después de presentarse la inyección de aceite en la matriz de suelo pero el porcentaje de absorción del material aumenta notablemente en un 1403% indicando la presencia de poros permeables más grandes donde el agua tiene cabida.

Por el flujo de la sustancia líquida los poros tienden a presentar espacios más grandes entre partículas por la movilidad del mismo a través de la columna de advección, por tanto se observa que la permeabilidad Promedio K20 es mayor cuando ha ocurrido el fenómeno de contaminación.

En lo concerniente al ensayo de compactación el porcentaje de humedad óptimo para el suelo no contaminado es de 13,5% y de un 7 % para el suelo contaminado con el aceite Ref. 15W-40, siendo este último menor a causa de la humedad proporcionada por el contaminante, que se encuentra inmerso en la muestra de suelo.

El método de corte directo indica que el corte realizado a la muestra de suelo no contaminado presenta una mayor resistencia en comparación a la muestra contaminada con el Aceite, debido a que la cohesión entre sus partículas es mayor permitiendo que estas se encuentren más unidas y resistan más al corte. El aceite al estar embebido en el suelo arenoso impide que las partículas se encuentren bien unidas y pierdan la fricción normal entre ellas.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha estudiado mediante simulaciones a escalas la movilidad de hidrocarburos en suelos arenosos comprendidos entre un tamiz N°4 a N°50 en condiciones saturadas, determinando el índice de contaminación presente en un periodo de tiempo para cada uno de sus puntos referenciados como muestreadores en la columna de advección.

El desarrollo de estos ensayos fue ejecutado mediante una metodología de trabajo planteada en base a experiencias ya realizadas en otros estudios, permitiendo establecer los pasos a seguir en el montaje y desarrollo de las pruebas, que consistieron en una primera etapa del desarrollo de una prueba de salinidad con el fin de verificar la saturación del sistema y recolección de muestras y posteriormente la movilidad del hidrocarburo (Aceite 15W-40 de coloración roja).

Los resultados experimentales fueron ajustados a las ecuaciones de transporte en medios saturados, cuando se presenta una carga de 610000 mg GyA /L. Según los resultados del estudio, la ecuación de transporte que rige el movimiento de un fluido en este medio es:

$$C = \frac{C_0}{2} \operatorname{erfc} \frac{(L - (Vx * t))}{2\sqrt{Dx * t}}$$

El resultado más importante de este trabajo corresponde a la determinación de los parámetros con los cuales puede determinarse la movilidad de un contaminante en el medio en donde la concentración vs tiempo permite generar las curvas de contaminación del ensayo realizado en el laboratorio con las curvas obtenidas del ajuste de la ecuación Teórica de Ogata y Banks.

En resumen, durante el desarrollo de este proyecto fue posible:

- Llevar a cabo pruebas de movilidad de hidrocarburos en condiciones saturada.
- Aplicar las ecuaciones de transporte en una columna para determinar la ecuación que rija la movilidad de un compuesto.
- Emplear las curvas de concentración vs tiempo para los muestreadores de la columna, evidenciando que para este tipo de derrame continuo, la concentración en los distintos muestreadores sufre un desplazamiento (slag), pero que las curvas tienen un comportamiento cuya tendencia puede ser explicada con las ecuaciones correspondientes para transporte de contaminantes.

7. RECOMENDACIONES

Es de vital importancia continuar con el estudio de movilidad de contaminantes para los diversos suelos existentes, con el fin de poder generar una base de datos mas amplia, ya que en la actualidad son escasas las fuentes de información alrededor de esta temática.

El presente estudio es un soporte para futuras tesis de investigación y la aplicación de procesos de remediación a suelos contaminados es uno de los temas que podrían tratarse a raíz del presente estudio.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Romaniuk R., Brandt J.F., Rios P.R., Giuffré L. 2007. "Atenuación natural y remediación inducida en suelos contaminados con hidrocarburos". Ciencia del Suelo. Volumen 25, pp. 139-149.
- [2] Domenech, X., 1994. Química Ambiental. El impacto ambiental de los residuos. 2ª Edic., Miraguano Ediciones, Madrid.
- [3] tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20849/Capitulo2.pdf.
- [4] energia3.mecon.gov.ar/contenidos/archivos/.../Hidrocarburos.pdf.
- [5] Bastián Celis Huaiquilaf "contaminación de aguas subterráneas por hidrocarburos líquidos livianos en fase no acuosa" Ciencia, Ahora, nº 22, año 11, septiembre 2008 - Marzo 2009.
- [6] Corpodib "Determinación de la contaminación ambiental debida al porcentaje de evaporación en las gasolinas colombianas" Marzo de 2004.
- [7] <http://portal.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=216&conID=37366> Tomada de la página web de Ecopetrol.³ Consultada en febrero de 2010.
- [8] <http://portal.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=216&conID=37367> Tomada de la página web de Ecopetrol.³ Consultada en febrero de 2010.
- [9] Lorena y Karol Tesis De Grado: Análisis, localización, implementación y rentabilidad de puntos de venta para Lubrilaca Cía Ltda. Con su respectivo plan de mercadeo Guayaquil – Ecuador Año 2003.
- [10] Clasificación de los lubricantes, Camara Argentina de Lubricantes.
- [11] <http://www.quiminet.com/pr8/Lubricantes%2Bautomotrices.htm>- Marzo 2010.
- [12] <http://www.api.org>- Noviembre 2010.
- [13] Luis Estuardo Reyes Arce, Diseño de una propuesta para el mantenimiento y operación de las plantas eléctricas en el hospital general san juan de dios, universidad de san Carlos de Guatemala, Guatemala, Noviembre de 2005.
- [14] Ibarra D., Evaluación del potencial de biodegradación de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) en suelos contaminados procedentes de petrosantander (Colombia) Inc., Tesis, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 2008.
- [15] <http://portal.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=216&conID=37368> Tomada de la página web de Ecopetrol.³ Consultada en febrero de 2010.
- [16] Richard S. Kraus Prospección, perforación y producción de petróleo y gas natural.
- [17] <http://yacimientos-de-petroleo.blogspot.com/2008/02/extraccin-de-petrleo-y-recuperacin.html>
- [18] Ingeniería Aplicada de Yacimientos Petrolíferos - B.C Craft y M.F Hawkins, Jr.
- [19] Serrano, M.F., Detection and monitoring of DNAPLs in the subsurface under transient conditions using crosswell radar, Tesis Doctoral, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayaguez, 2008.
- [20] Evaluating LNAPL contamination using GPR signal attenuation analysis and dielectric property measurements: Practical implications for hydrological studies. Nigel J. Cassidy Junio 2007

- [21] Ground Water Contamination : Transport and Remediation de Bedient, Philip B. Rifai, Hanadi S. Newell, Charles J. Mecanismos de Transporte de contaminantes
- [22] Contaminant Hydrogeology. 2nd ed. Water - Conservation, c1999 Fetter, C. W.
- [23] <http://www.swstechnology.com/groundwater-software/groundwater-modeling/visual-modflow-pro>. Visitada el 28 de Enero de 2010.
- [24] http://www.ground-watermodels.com/visual_modflow_demo/vmdemo_d.pdf Enero 2010.
- [25] http://www.scientific-solutions.ch/tech/hydro/VisualMF/RT3D_i4.jpg. Enero 2010.
- [26] <http://www.mgs.co.uk/data/images/375/large.jpg>. Enero de 2010.
- [27] <http://www.pc-progress.com/en/Default.aspx?hydrus-1d>. Enero 2010.
- [28]] <http://www.pc-progress.com/en/Default.aspx?hydrus-3d>. Enero 2010.
- [29] http://www.groundwatersoftware.com/rbca_tool_kit.htm. Febrero 2010.
- [30] Transporte de Contaminantes en Aguas Subterráneas mediante Redes Neuronales Artificiales. Ignacio García(1), José G. Rodríguez(2), Felipe López(2) y Yenisse M. Tenorio
- [31] Analytical Solution for Conservative Solute Transport in One-Dimensional Homogeneous Porous Formations with Time-Dependent Velocity Mritunjay Kumar Singh¹; Vijay P. Singh²; Premlata Singh³; and Divya Shukla⁴
- [32] Oil mobility in a saturated water-wetted bed of glass beads. Francesco Gioia*, Guido Alfani, Sergio Andreutti, Fabio Murena. Octubre 2002.
- [33] Revista Puente Vol. 4 N°2

9. ANEXO 1 REGISTRO FOTOGRAFICO

ENSAYO ESTUDIO DE movilidad de LNAPLs en UN SISTEMA SATURADO UNIDIMENSIONAL: Caso suelo arenoso ENTRE TAMIZ No. 4 a No. 50



Figura 15 Columna de advección



Figura 16 Revisión empaques y ajustes terminales columna



Figura 17 Compactación del material arenoso en capas 2cms, con pisón de madera.

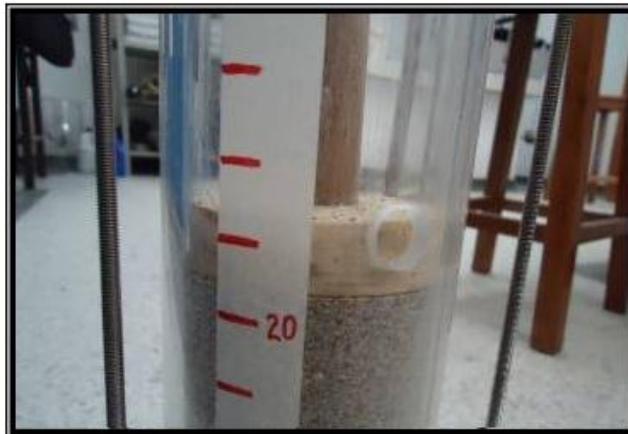


Figura 18 Compactación del material (30 golpes por capa)



Figura 19 Columna compactada, con sus muestreadores, lista para la saturación con H₂O, conectada a la bomba de inyección.



Figura 20 Inicio de la saturación de la columna.



Figura 21 Contaminante Aceite 15w-40, coloración roja, marca mobil.



Figura 22 Succión e inyección del contaminante



Figura 23 Inyección contaminante a la columna de advección



Figura 24 Contaminación primeras capas de suelo en la columna de advección con el Aceite Ref. 15w-40

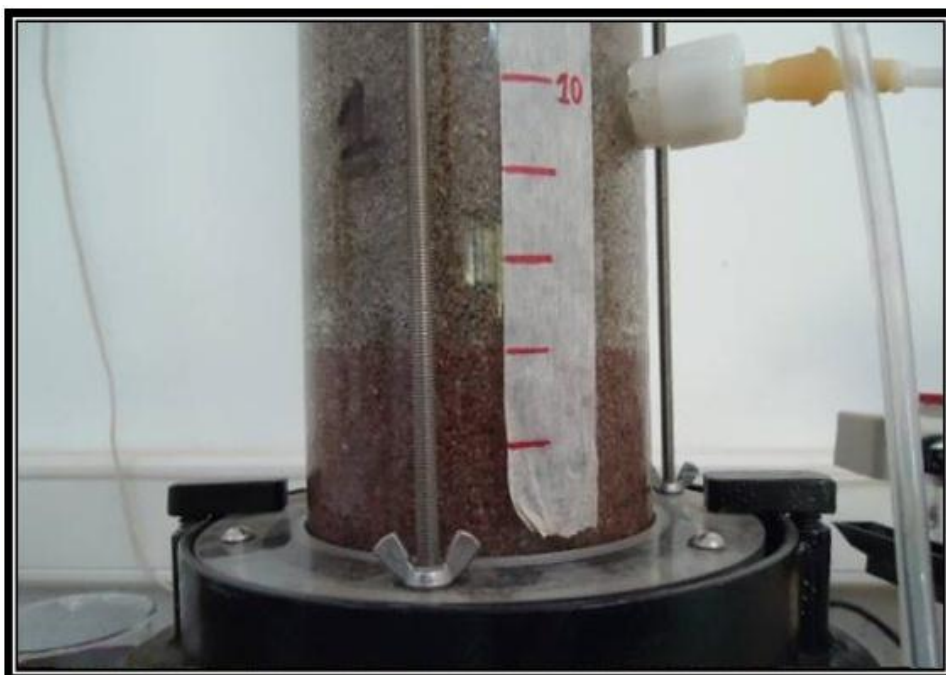


Figura 25 Seguimiento de la contaminación del aceite Ref. 15w-40

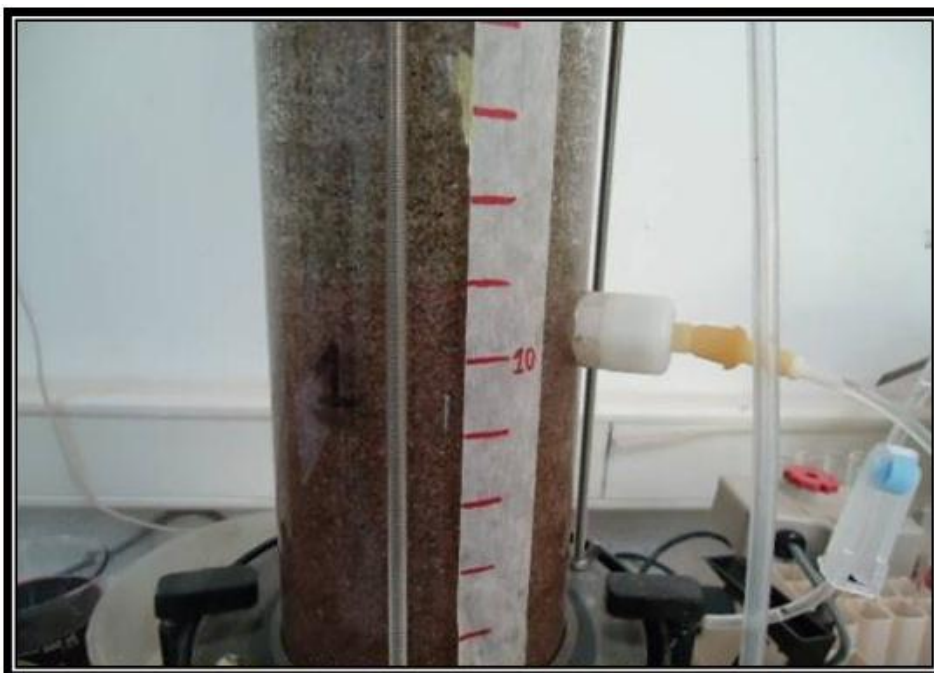


Figura 26 Contaminación en el primer muestreador de la columna.

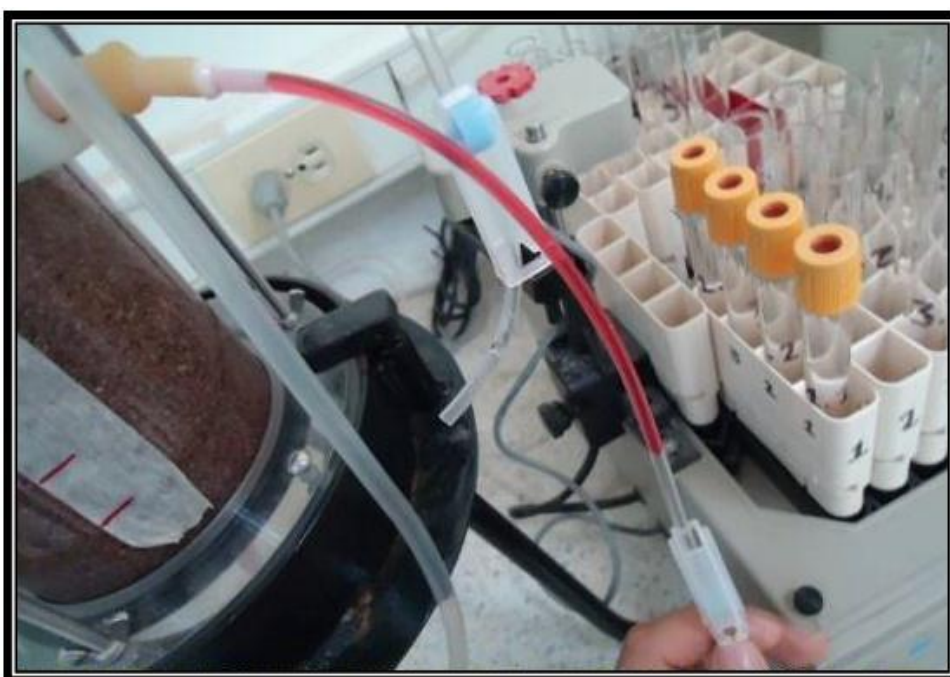


Figura 27 Toma de muestras a través del método macro goteó.



Figura 28 Recolección muestra del contaminante.



Figura 29 Desplazamiento uniforme del contaminante en la columna de advección.



Figura 30 Presencia del contaminante en los 4 muestreadores de la columna.

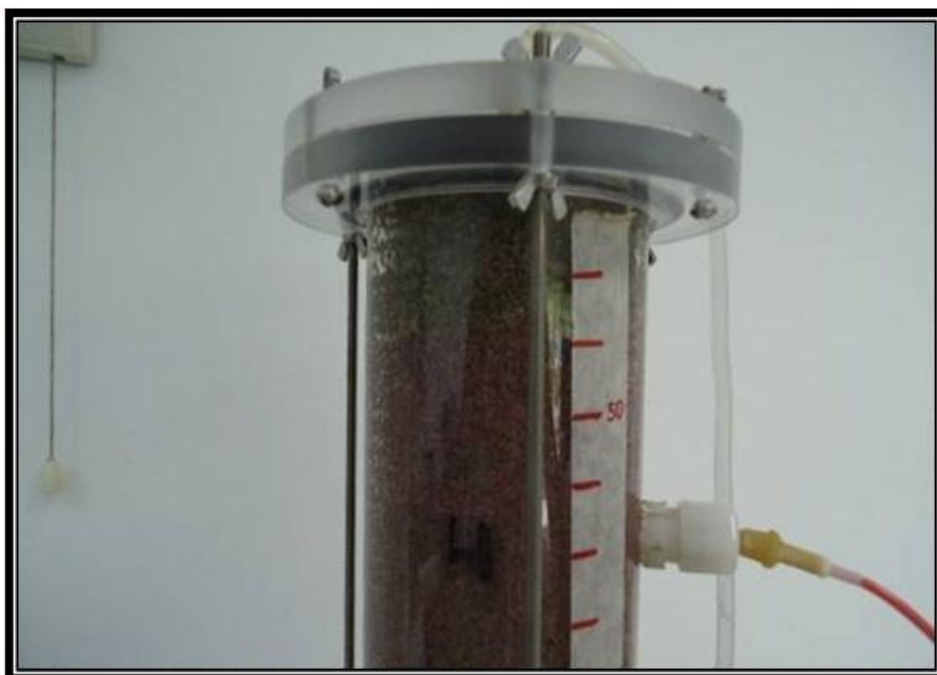


Figura 31 Etapa final de la contaminación en la columna advección.



Figura 32 Presencia del contaminante en toda la columna de advección



Figura 33 Salida del contaminante.



Figura 34 Recolección Contaminante en la salida de la columna de advección.

FALLAS PRESENTADAS DURANTE EL ENSAYO

Una falla presentada durante los experimentos realizados, se genera durante la inyección del contaminante (Aceite ref. 15W-40), más específicamente en la jeringa, la cual se le debe ajustar muy bien el caucho que posee adentro de la misma para que cuando se esté bombeando no se voltee y dañe la continuidad del ensayo, por tal razón se recomienda antes de colocar la jeringa sacarle el aire, comprimiendo con fuerza para que este no vaya a presentar falla, repitiendo este procedimiento 3 veces para tener mayor confiabilidad y certeza de que se encuentra completamente ajustado.

10. ANEXO.2

BUIB

Floridablanca,

Ingeniera
MARIA FERNANDA SERRANO GUZMAN
Directora dirección General de Investigaciones
Universidad Pontificia Bolivariana
Km 7 Vía Piedecuesta
Floridablanca

Asunto: Entrega de Resultados

Respetada Ingeniera

Por medio de la presente realizo entrega de los resultados correspondientes a las muestras identificadas con códigos: 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496. cuyos análisis fueron contratados con el Laboratorio de Analisis Químico de Aguas Residuales de la Universidad Pontificia Bolivariana.

Agradezco su atención.

Cordialmente,


Ing. Uca: Diomar Milena Rodríguez Rojas
Coordinadora Laboratorio de Analisis Químico de Aguas Residuales (E)

Anexo Tres Folios

Felisa P

LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES	PÁG. 1/3
REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO F-5.10-01	
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	

CLIENTE: PROYECTO INVES. ING CIVIL.	CLIENTE: PROYECTO INVES. ING CIVIL.	CLIENTE: PROYECTO INVES. CIVIL. ING CIVIL.	CLIENTE: PROYECTO INVES. ING CIVIL.
CODIGO: 467	CODIGO: 468	CODIGO: 469	CODIGO: 470
FUENTE: 1.1	FUENTE: 1.2	FUENTE: 1.3	FUENTE: 1.4
FECHA DE RECEPCION: 25-10-10	FECHA DE RECEPCION: 25-10-10	FECHA DE RECEPCION: 25-10-10	FECHA DE RECEPCION: 25-10-10
FECHA DE REPORTE: 23-10-10	FECHA DE REPORTE: 23-10-10	FECHA DE REPORTE: 23-10-10	FECHA DE REPORTE: 23-10-10

ANALISIS	UNIDADES	VALOR				METODO
		467	468	469	470	
Grasas y aceites	mg GyA /L	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	5520-B

CODIGO: 471	CODIGO: 472	CODIGO: 473	CODIGO: 474
FUENTE: 2.1	FUENTE: 2.2	FUENTE: 2.3	FUENTE: 2.4

ANALISIS	UNIDADES	VALOR				METODO
		471	472	473	474	
Grasas y aceites	mg GyA /L	264411	<0.2	<0.2	<0.2	5520-B

CODIGO: 475	CODIGO: 476	CODIGO: 477	CODIGO: 478
FUENTE: 3.1	FUENTE: 3.2	FUENTE: 3.3	FUENTE: 3.4

ANALISIS	UNIDADES	VALOR				METODO
		475	476	477	478	
Grasas y aceites	mg GyA /L	477041	245726	383217	463989	5520-B

EL MONITOREO FUE REALIZADO POR EL CLIENTE

Diomar M. Rodríguez
Ing:Qca. DIOMAR MILENA RODRIGUEZ ROJAS
Coordinadora Laboratorio de Aguas Residuales (E)

"Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras analizadas"
"El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente solo en forma total previa autorizacion del Laboratorio de Aguas Residuales".

SEDE MEDELLÍN Campus de Laureles Circular 1ª No. 70-01 / Teléfono: (057) (4) 4159015 / Fax: (057) (4) 2502080 / Apartado Aéreo 56006 / E-mail: comreip@upb.edu.co
SECCIONAL BUCARAMANGA Autopista a Piedecuesta Km.7 / Teléfono: (057) (7) 8796220 / Fax: (057) (7) 8796221 / E-mail: info@upbbga.edu.co
SECCIONAL MONTERÍA Km. 8 Vía Cereté / Teléfono: (057) (4) 7860146 / Fax: (057) (4) 7860912 / E-mail: crelinter@upbmonteria.edu.co
SECCIONAL PALMIRA Seminario Cristo Sacerdote, Km. 1 - Vía Tienda Nueva / Teléfono (057) (2) 2702545 / Fax: (057) (2) 2723121 / E-mail: upbpalmira@upb.edu.co
www.upb.edu.co / Colombia / Suramérica

LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES	PÁG. 2/3
REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO F-5.10-01	

DESCRIPCION DE LA MUESTRA

CLIENTE: PROYECTO INVES. ING CIVIL.	CLIENTE: PROYECTO INVES. ING CIVIL.	CLIENTE: PROYECTO INVES. ING CIVIL.	CLIENTE: PROYECTO INVES. ING CIVIL.
CODIGO: 479	CODIGO: 480	CODIGO: 481	CODIGO: 482
FUENTE: 4.1	FUENTE: 4.2	FUENTE: 4.3	FUENTE: 4.4
FECHA DE RECEPCION: 25-10-10	FECHA DE RECEPCION: 25-10-10	FECHA DE RECEPCION: 25-10-10	FECHA DE RECEPCION: 25-10-10
FECHA DE REPORTE: 23-10-10	FECHA DE REPORTE: 23-10-10	FECHA DE REPORTE: 23-10-10	FECHA DE REPORTE: 23-10-10

ANALISIS	UNIDADES	VALOR				METODO
		479	480	481	482	
Grasas y aceites	mg GyA /L	490501	507956	592011	605378	5520-B

CODIGO: 483	CODIGO: 484	CODIGO: 485	CODIGO: 486
FUENTE: 5.1	FUENTE: 5.2	FUENTE: 5.3	FUENTE: 5.4

ANALISIS	UNIDADES	VALOR				METODO
		483	484	485	486	
Grasas y aceites	mg GyA /L	557478	532911	538233	507656	5520-B

CODIGO: 487	CODIGO: 488	CODIGO: 489	CODIGO: 490
FUENTE: 6.1	FUENTE: 6.2	FUENTE: 6.3	FUENTE: 6.4

ANALISIS	UNIDADES	VALOR				METODO
		487	488	489	490	
Grasas y aceites	mg GyA /L	517844	515667	529811	517656	5520-B

EL MONITOREO FUE REALIZADO POR EL CLIENTE

Diomar M. Rodríguez
Ing: Qca. DIOMAR MILENA RODRIGUEZ ROJAS
Coordinadora Laboratorio de Aguas Residuales (E)

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
BUCARAMANGA
LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO
DE AGUAS RESIDUALES
ACREDITADO ISO 17025

"Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras analizadas"
" El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Aguas Residuales".

SEDE MEDELLÍN Campus de Laureles Circular 1ª No. 70-01 / Teléfono: (057) (4) 4159015 / Fax: (057) (4) 2502080 / Apartado Aéreo 56006 / E-mail: comrelp@upb.edu.co
SECCIONAL BUCARAMANGA Autopista a Piedecuesta Km.7 / Teléfono: (057) (7) 6796220 / Fax: (057) (7) 6796221 / E-mail: info@upbga.edu.co
SECCIONAL MONTERÍA Km. 8 Vía Cereté / Teléfono: (057) (4) 7860146 / Fax: (057) (4) 7860912 / E-mail: creinter@upbmonteria.edu.co
SECCIONAL PALMIRA Seminario Cristo Sacerdote, Km. 1 - Vía Tienda Nueva / Teléfono (057) (2) 2702545 / Fax: (057) (2) 2723121 / E-mail: upbpalmira@upb.edu.co
www.upb.edu.co / Colombia / Suramérica

LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES	PÁG. 3/3
REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO F-5.10-01	

DESCRIPCION DE LA MUESTRA

CLIENTE: PROYECTO INVES. ING CIVIL.	CLIENTE: PROYECTO INVES. ING CIVIL.	CLIENTE: PROYECTO INVES. ING CIVIL.	CLIENTE: PROYECTO INVES. ING CIVIL.
CODIGO: 491	CODIGO: 492	CODIGO: 493	CODIGO: 494
FUENTE: 0.1	FUENTE: 0.2	FUENTE: 0.3	FUENTE: 0.4
FECHA DE RECEPCION: 25-10-10	FECHA DE RECEPCION: 25-10-10	FECHA DE RECEPCION: 25-10-10	FECHA DE RECEPCION: 25-10-10
FECHA DE REPORTE: 23-10-10	FECHA DE REPORTE: 23-10-10	FECHA DE REPORTE: 23-10-10	FECHA DE REPORTE: 23-10-10

ANALISIS	UNIDADES	VALOR				METODO
		491	492	493	494	
Grasas y aceites	mg GyA /L	0	0	2640	533677	5520-B

CODIGO: 495	CODIGO: 496
FUENTE: 0.5	FUENTE: 0.6

ANALISIS	UNIDADES	VALOR		METODO
		495	496	
Grasas y aceites	mg GyA /L	496415	523179	5520-B

EL MONITOREO FUE REALIZADO POR EL CLIENTE

Diomar M. Rodriguez

Ing.: Qca. DIOMAR MILENA RODRIGUEZ ROJAS
Coordinadora Laboratorio de Aguas Residuales (E)



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
BUCARAMANGA
LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO
DE AGUAS RESIDUALES
ACREDITADO ISO 17025

"Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras analizadas"
" El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Aguas Residuales".

SEDE MEDELLÍN Campus de Laureles Circular 1° No. 70-01 / Teléfono: (057) (4) 4159015 / Fax: (057) (4) 2502080 / Apartado Aéreo 58006 / E-mail: comrelp@upb.edu.co
SECCIONAL BUCARAMANGA Autopista a Piedecuesta Km.7 / Teléfono: (057) (7) 8796220 / Fax: (057) (7) 6796221 / E-mail: info@upbbga.edu.co
SECCIONAL MONTERÍA Km. 8 Vía Careté / Teléfono: (057) (4) 7860146 / Fax: (057) (4) 7860912 / E-mail: crelinter@upbmonteria.edu.co
SECCIONAL PALMIRA Seminario Cristo Sacerdote, Km. 1 - Vía Tienda Nueva / Teléfono (057) (2) 2702545 / Fax: (057) (2) 2723121 / E-mail: upbpalmira@upb.edu.co
www.upb.edu.co / Colombia / Suramérica



BULC 02505
Ciudad, 09 nov. 2010

Doctora
MARIA FERNANDA SERRANO GUZMAN
Jefe Departamento de investigaciones
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
Autopista via Piedecuesta Km 7
Bucaramanga

Asunto: resultados de Laboratorio

Cordial saludo

Adjunto a la presente comunicación estoy remitiendo los resultados de un (1) ensayos de análisis granulométrico por tamizado, realizado bajo la norma INVE-213-07, un ensayo (1) de límites de plasticidad, realizado bajo la norma INVE-125-126, un (1) ensayo de gravedad específica y absorción de los agregados realizados bajo la norma INVE-222, un (1) ensayo de permeabilidad cabeza constante, realizado bajo la norma INVE-130-07, un (1) ensayo de compactación Proctor normal, realizado bajo la norma INVE-142 y un (1) de corte directo, realizado bajo la norma INVE-154-07, correspondientes a la orden de trabajo No. 14/10/10.

Con el ánimo de seguir prestando nuestros servicios,


Ing. Luz Marina Torrado Gómez
Coordinadora Laboratorios de Ingeniería Civil

Anexo(nueve folios) resultados

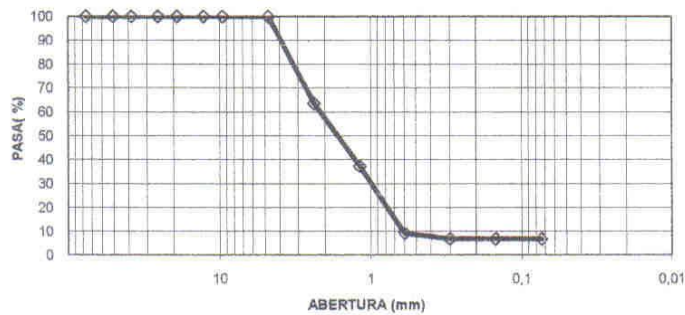
REPORTE DE ENSAYO

 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUENAVISTA Km 7 vía Piedecuesta ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS I.N.V. E - 213	OBRA: INVESTIGACIÓN		FECHA DE INFORME: miércoles, 03 de noviembre de 2010
	SOLICITADO POR: DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES		FECHA DE RECEPCIÓN: jueves, 28 de octubre de 2010
	APIQUE No. NO APLICA	Nº DE ENSAYOS: 1	FECHA DE PRUEBA: viernes, 29 de octubre de 2010
	MUESTRAS: NO APLICA	PROFUNDIDAD: NO APLICA	CÁLCULO: Ing. Luz Marina Torrado Gómez
	DESCRIPCIÓN: Arena saturada con aceite		OPERADOR: Heli Rueda
	INFORME N°: 14/10/2010		PÁGINAS: 1

PESO MUESTRA (gr)	1.285
PESO MUESTRA LAVADA POR TAMIZ N° 200 (gr)	1.248

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO Retenido			Pasa (%)
		Parcial (gr)	Parcial (%)	Acumulado (%)	REAL
3/8"	9,52	0	0,0	0,0	100
Nº 4	4,75	0	0,0	0,0	100
Nº 8	2,360	470	36,5	36,5	63
Nº 16	1,180	337	26,2	62,8	37
Nº 30	0,600	362	28,1	90,9	9
Nº 60	0,300	32	2,5	93,4	7
Nº 100	0,149	0	0,0	93,4	7
Nº 200	0,074	0	0,0	93,4	6,6
Fondo		37	2,9	96,3	

GRANULOMETRÍA CON LAVADO SOBRE TAMIZ N° 200



OBSERVACIONES:

MÓDULO DE FINURA= 3,77

*LOS RESULTADOS SON VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS.

*SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME.

FIN DEL REPORTE

Fecha: 08/11/2010

Informe de ensayo

Página 1 de 1

Aprobado por: Ing. Luz Marina Torrado G.

Firma:

REPORTE DE ENSAYO																																																						
 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA Km 7 vía a Piedecuesta		OBRA:				FECHA DE INFORME:																																																
		INVESTIGACION				miércoles 3 de noviembre de 2010																																																
		SOLICITADO POR:				FECHA DE RECEPCION:																																																
		DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION U.P.B				jueves 28 de octubre de 2010																																																
		APIQUE No.: N.R		N° DE ENSAYOS: 1		FECHA DE PRUEBA: martes 2 de noviembre de 2010																																																
LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (HUMEDAD) DEL SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO - AGREGADO I.N.V.E - 125-126		MUESTRA N°:		PROFUNDIDAD:		CÁLCULO:																																																
		N.R		N.R		Ing. Luz Marina Torrado G.																																																
		DESCRIPCIÓN:				OPERADOR:																																																
		Arena saturada con aceite				HELI RUEDA																																																
		INFORME N: 14/10/2010				PÁGINA: 1 de 1																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Prueba N°</th> <th>Cápsula N°</th> <th>N° Golpes</th> <th>Peso cápsula + suelo húmedo (g)</th> <th>Peso cápsula + suelo seco (g)</th> <th>Peso del agua (g)</th> <th>Peso de la cápsula (g)</th> <th>Peso del suelo seco (g)</th> <th>Contenido de agua (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="9">LÍMITE LÍQUIDO</td> </tr> <tr> <td colspan="9">NO LÍQUIDO</td> </tr> <tr> <td colspan="9">LÍMITE PLÁSTICO</td> </tr> <tr> <td colspan="9">NO PLÁSTICO</td> </tr> </tbody> </table>										Prueba N°	Cápsula N°	N° Golpes	Peso cápsula + suelo húmedo (g)	Peso cápsula + suelo seco (g)	Peso del agua (g)	Peso de la cápsula (g)	Peso del suelo seco (g)	Contenido de agua (%)	LÍMITE LÍQUIDO									NO LÍQUIDO									LÍMITE PLÁSTICO									NO PLÁSTICO								
Prueba N°	Cápsula N°	N° Golpes	Peso cápsula + suelo húmedo (g)	Peso cápsula + suelo seco (g)	Peso del agua (g)	Peso de la cápsula (g)	Peso del suelo seco (g)	Contenido de agua (%)																																														
LÍMITE LÍQUIDO																																																						
NO LÍQUIDO																																																						
LÍMITE PLÁSTICO																																																						
NO PLÁSTICO																																																						
OBSERVACIONES: LOS RESULTADOS SON VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME																																																						
FIN DE REPORTE																																																						

FORMATO REPORTE DE ENSAYO																													
 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA LABORATORIO DE INGENIERIA CIVIL Km 7 vía Piedecuesta (Oficina A-202)	OBRA:	INVESTIGACION																											
	SOLICITADO POR:																												
	DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION U.P.B.																												
	SONDEO:	Nº DE ENSAYOS:																											
	NO APLICA	1																											
GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS I.N.V. E - 222 - 223	MUESTRAS:	PROFUNDIDAD:																											
	1	NO APLICA																											
	DESCRIPCIÓN:																												
	ARENA SATURADA CON ACEITE																												
	INFORME N°:	14/10/10																											
	PÁGINAS:	1																											
PESO ESPECIFICO AGREGADOS FINOS <table border="1"> <thead> <tr> <th>NOMBRE</th> <th>UNIDAD</th> <th>VALOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso en el aire de la muestra seca (A)</td> <td>g</td> <td>480,8</td> </tr> <tr> <td>Peso del picnometro aforado lleno de agua (B)</td> <td>g</td> <td>629,0</td> </tr> <tr> <td>Peso total del picnometro aforado con la muestra y lleno de agua (C)</td> <td>g</td> <td>903,1</td> </tr> <tr> <td>Peso de la muestra saturada y superficialmente seca (s)</td> <td>g</td> <td>499,0</td> </tr> <tr> <td>Gravedad especifica bulk (Gsb)</td> <td>g/cm³</td> <td>2,14</td> </tr> <tr> <td>Gravedad especifica bulk ssa (Gsb_{ssa})</td> <td>g/cm³</td> <td>2,22</td> </tr> <tr> <td>Gravedad especifica aparente (Gsa)</td> <td>g/cm³</td> <td>2,33</td> </tr> <tr> <td>Absorción</td> <td>%</td> <td>3,79%</td> </tr> </tbody> </table>			NOMBRE	UNIDAD	VALOR	Peso en el aire de la muestra seca (A)	g	480,8	Peso del picnometro aforado lleno de agua (B)	g	629,0	Peso total del picnometro aforado con la muestra y lleno de agua (C)	g	903,1	Peso de la muestra saturada y superficialmente seca (s)	g	499,0	Gravedad especifica bulk (Gsb)	g/cm ³	2,14	Gravedad especifica bulk ssa (Gsb _{ssa})	g/cm ³	2,22	Gravedad especifica aparente (Gsa)	g/cm ³	2,33	Absorción	%	3,79%
NOMBRE	UNIDAD	VALOR																											
Peso en el aire de la muestra seca (A)	g	480,8																											
Peso del picnometro aforado lleno de agua (B)	g	629,0																											
Peso total del picnometro aforado con la muestra y lleno de agua (C)	g	903,1																											
Peso de la muestra saturada y superficialmente seca (s)	g	499,0																											
Gravedad especifica bulk (Gsb)	g/cm ³	2,14																											
Gravedad especifica bulk ssa (Gsb _{ssa})	g/cm ³	2,22																											
Gravedad especifica aparente (Gsa)	g/cm ³	2,33																											
Absorción	%	3,79%																											
OBSERVACIONES: LOS RESULTADOS SON VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS. SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME.																													
FIN DEL REPORTE																													

Luz Marina Tortado G.

 Universidad Pontificia Bolivariana REGIONAL SUCUMAMANGA Km 7 vía Piedecuesta				PERMEABILIDAD DE SUELOS CABEZA VARIABLE INVE-130-07	
OBRA: INVESTIGACIÓN		FECHA DE INFORME: miércoles, 03 de noviembre de 2010			
SOLICITADO POR: Arena saturada con aceites		FECHA DE RECEPCIÓN: jueves, 28 de octubre de 2010			
SONDEO: NO APLICA	N° DE ENSAYOS: 1	FECHA DE PRUEBA: martes, 02 de noviembre de 2010			
MUESTRAS: No. 1	PROFUNDIDAD: NO APLICA	CÁLCULO: Ing. Luz Marina Torrado			
DESCRIPCIÓN: Arena saturada con aceite		OPERADOR: Heli Rueda			
INFORME N° 14/10/10		PÁGINAS: 1 de 1			

Dimensiones de la muestra

Diámetro molde D (cm):	6,31	Area de la pipeta a (cm ²):	0,679	Peso Cámara + base (g)	1504,4
Altura muestra L (cm):	4,00	h (cm)	64,3	Peso Cámara + base + suelo (g)	1720,0
Area muestra, A (cm ²):	31,27			Peso de Suelo (g)	215,6
Volúmen V (cm ³):	125,09			Peso Unitario γ (g/cm ³)	1,72

ENSAYO No.	t (seg)	Q (cm ³)	T (°C)	K (cm/seg)	n _γ /n ₂₀	K ₂₀ (cm/seg)
1	300	820,0	26	0,06273933	0,8694	0,054545577
2	300	848,0	26	0,06488165	0,8694	0,056408109
3	300	849,0	26	0,06495816	0,8694	0,056474628
4	300	857,0	26,2	0,06506972	0,8656	0,056324349
PROMEDIO K ₂₀						0,055938166

OBSERVACIONES:

1. Se utilizó el material en las condiciones en que éste salió de la columna de experimentación.
2. En las cuatro determinaciones se observaron burbujas de aire.

LOS RESULTADOS SON VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS

SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME

FIN DEL REPORTE

Fecha: 08/11/2010

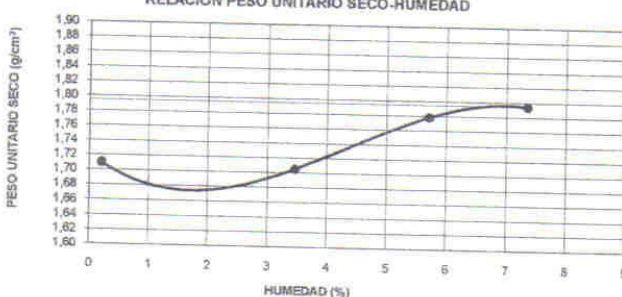
Informe de ensayo

Página 1 de 1

Aprobado por: Ing. Luz Marina Torrado G.

Firma:

Luz Marina Torrado G.

REPORT DE ENSAYO																																																																																			
 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA LABORATORIO DE INGENIERIA CIVIL Km 7 vía Piedecuesta (Oficina A-202)	OBRA: INVESTIGACION		FECHA DE INFORME: miércoles, 03 de noviembre de 2010																																																																																
	SOLICITADO POR: DEPARTAMENTO INVESTIGACION U.P.B.		FECHA DE RECEPCIÓN: jueves, 28 de octubre de 2010																																																																																
	SONDEO: N.R.	N° DE ENSAYOS: 1	FECHA DE PRUEBA: martes, 02 de noviembre de 2010																																																																																
	APIQUE N°: N.R.	PROFUNDIDAD: N.R.	CÁLCULO: Ing. Luz Marina Torrado G.																																																																																
	DESCRIPCIÓN: arena saturada en aceite		OPERADOR: Vicente Paez																																																																																
INFORME N°: 14/10/2010		PAGINAS: 1																																																																																	
RELACIONES DE HUMEDAD – MASA UNITARIA SECA EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN) _____ (ENSAYO NORMAL DE COMPACTACION) <u> X </u> I.N.V. E - 141 - 142 <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Profundidad</td> <td style="width: 50%;">NR</td> </tr> <tr> <td>Calda</td> <td>12"</td> </tr> <tr> <td>Numero de Capas</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Golpes por Capa</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Peso del Martillo</td> <td>5.5 lb</td> </tr> </table> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Molde No</td> <td style="width: 50%;">0</td> </tr> <tr> <td>Diametro (cm)</td> <td>10,14</td> </tr> <tr> <td>Altura Molde (cm)</td> <td>11,8</td> </tr> <tr> <td>Peso Molde (gr)</td> <td>3197,8</td> </tr> <tr> <td>Volumen (cm³)</td> <td>936,8</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>ENSAYO</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso molde + Suelo Húmedo (g)</td> <td>4803</td> <td>4851</td> <td>4959</td> <td>5002</td> </tr> <tr> <td>Peso Suelo Húmedo (g)</td> <td>1605,2</td> <td>1653,2</td> <td>1761,2</td> <td>1804,2</td> </tr> <tr> <td>Peso específico húmedo (g/cm³)</td> <td>1,71</td> <td>1,78</td> <td>1,88</td> <td>1,93</td> </tr> <tr> <td>Cápsula N°</td> <td>21</td> <td>56</td> <td>57</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>Peso cap. y s. húmedo (g)</td> <td>79,01</td> <td>83,01</td> <td>73,32</td> <td>80,80</td> </tr> <tr> <td>Peso cap. y s. seco (g)</td> <td>77,11</td> <td>79,14</td> <td>69,00</td> <td>74,14</td> </tr> <tr> <td>Peso cap. (g)</td> <td>21,28</td> <td>21,07</td> <td>20,52</td> <td>10,98</td> </tr> <tr> <td>Peso agua (g)</td> <td>1,90</td> <td>3,87</td> <td>4,32</td> <td>6,66</td> </tr> <tr> <td>Humedad (%)</td> <td>0,20</td> <td>3,46</td> <td>5,71</td> <td>7,34</td> </tr> <tr> <td>Peso específico seco (g/cm³)</td> <td>1,71</td> <td>1,71</td> <td>1,78</td> <td>1,79</td> </tr> </tbody> </table> PROCTOR MODIFICADO RELACIÓN PESO UNITARIO SECO-HUMEDAD 				Profundidad	NR	Calda	12"	Numero de Capas	3	Golpes por Capa	25	Peso del Martillo	5.5 lb	Molde No	0	Diametro (cm)	10,14	Altura Molde (cm)	11,8	Peso Molde (gr)	3197,8	Volumen (cm ³)	936,8	ENSAYO	1	2	3	4	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD					Peso molde + Suelo Húmedo (g)	4803	4851	4959	5002	Peso Suelo Húmedo (g)	1605,2	1653,2	1761,2	1804,2	Peso específico húmedo (g/cm ³)	1,71	1,78	1,88	1,93	Cápsula N°	21	56	57	45	Peso cap. y s. húmedo (g)	79,01	83,01	73,32	80,80	Peso cap. y s. seco (g)	77,11	79,14	69,00	74,14	Peso cap. (g)	21,28	21,07	20,52	10,98	Peso agua (g)	1,90	3,87	4,32	6,66	Humedad (%)	0,20	3,46	5,71	7,34	Peso específico seco (g/cm ³)	1,71	1,71	1,78	1,79
Profundidad	NR																																																																																		
Calda	12"																																																																																		
Numero de Capas	3																																																																																		
Golpes por Capa	25																																																																																		
Peso del Martillo	5.5 lb																																																																																		
Molde No	0																																																																																		
Diametro (cm)	10,14																																																																																		
Altura Molde (cm)	11,8																																																																																		
Peso Molde (gr)	3197,8																																																																																		
Volumen (cm ³)	936,8																																																																																		
ENSAYO	1	2	3	4																																																																															
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD																																																																																			
Peso molde + Suelo Húmedo (g)	4803	4851	4959	5002																																																																															
Peso Suelo Húmedo (g)	1605,2	1653,2	1761,2	1804,2																																																																															
Peso específico húmedo (g/cm ³)	1,71	1,78	1,88	1,93																																																																															
Cápsula N°	21	56	57	45																																																																															
Peso cap. y s. húmedo (g)	79,01	83,01	73,32	80,80																																																																															
Peso cap. y s. seco (g)	77,11	79,14	69,00	74,14																																																																															
Peso cap. (g)	21,28	21,07	20,52	10,98																																																																															
Peso agua (g)	1,90	3,87	4,32	6,66																																																																															
Humedad (%)	0,20	3,46	5,71	7,34																																																																															
Peso específico seco (g/cm ³)	1,71	1,71	1,78	1,79																																																																															
OBSERVACIONES: A LAS HUMEDADES REPORTADAS SE LE QUITÓ LA HUMEDAD DEL ACEITE 3,2% Densidad máxima seca: <u>1,795 g/cm³</u> Humedad óptima: <u>7 %</u> LOS RESULTADOS SON VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS. SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME. FIN DEL REPORTE																																																																																			

Fecha: 08/11/2010

Informe de Ensayo

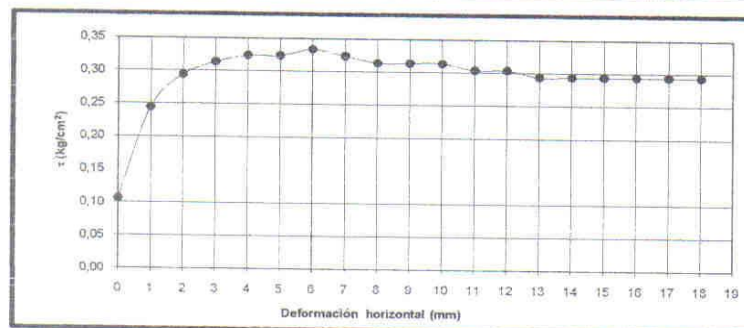
Página 1 de 1

Aprobado por: Ing. Luz Marina Torrado G.

Firma: *Luz Marina Torrado G.*

 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA Km 7 vía a Piedecuesta	OBRA:		FECHA DE INFORME:
	INVESTIGACION		lunes, 08 de noviembre de 2010
	SOLICITADO POR:		FECHA DE RECEPCION:
	DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION U.P.B		jueves, 28 de octubre de 2010
	APIQUE:	Nº DE ENSAYOS:	FECHA DE PRUEBA:
N.R.	1	viernes, 05 de noviembre de 2010	
MUESTRA Nº:	PROFUNDIDAD:	CALCULO:	
1	2,50	Ing. Luz Marina Torrado G.	
DESCRIPCION:		OPERADOR:	
ARENA SATURADA CON ACEITE		Vicenta páez	
INFORME N:		PAGINA:	
14/10/10		1 de 4	

VELOCIDAD: 1,0 mm/min AREA: 30,91 cm ²				W(%) Inicial			
σ_c : 0,250 kg/cm ² $\tau_{máx}$: 0,333 kg/cm ²				Peso Muestra+molde (gr)	272,80	Cápsula No.	40
				Peso del Molde(gr)	146,80	Peso cápsula	11,30
				Peso Muestra (g)	125,80	Cápsula + sh	57,40
				Altura de la muestra(cm)	2,00	Cápsula + ss	53,94
				Volumen (cm ³)	61,82	Agua	3,46
				Humedad (%)	8,11	ss	42,64
				γ (gr/cm ³)	2,03	W(%)	8,11
				γ_{sat} (gr/cm ³)	1,88		
Tiempo min	Lectura de Garga	P kg	τ kg/cm ²	Def. Horizontal mm	Def. Vertical 10 ⁻² mm	$d\sigma$	
0	0	3,274	0,106	0	0	0,4237	
0,5	14	7,550	0,244	1,0	22	0,9771	
1,0	19	9,077	0,294	2,0	84	1,1747	
1,5	21	9,688	0,313	3,0	80	1,2538	
2,0	22	9,994	0,323	4,0	114	1,2933	
2,5	22	9,994	0,323	5,0	156	1,2933	
3,0	23	10,299	0,333	6,0	200	1,3328	
3,5	22	9,994	0,323	7,0	284	1,2933	
4,0	21	9,688	0,313	8,0	326	1,2538	
4,5	21	9,688	0,313	9,0	366	1,2538	
5,0	21	9,688	0,313	10,0	386	1,2538	
5,5	20	9,383	0,304	11,0	404	1,2142	
6,0	20	9,383	0,304	12,0	418	1,2142	
6,5	19	9,077	0,294	13,0	420	1,1747	
7,0	19	9,077	0,294	14,0	426	1,1747	
7,5	19	9,077	0,294	15,0	428	1,1747	
8,0	19	9,077	0,294	16,0	30	1,1747	
8,5	19	9,077	0,294	17,0	30	1,1747	
9,0	19	9,077	0,294	18,0	30	1,1747	

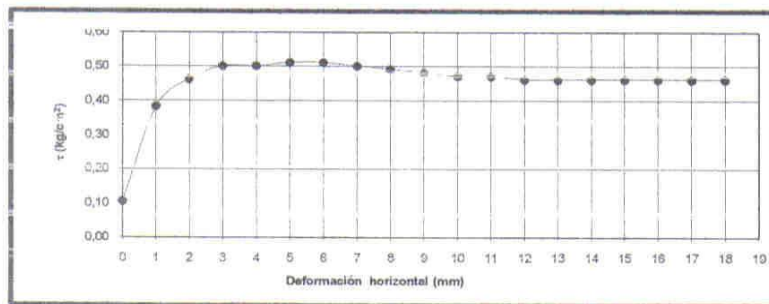


 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA Km 7 vía a Pácora	OBRA:		FECHA DE INFORME:
	INVESTIGACION		lunes, 08 de noviembre de 2010
	SOLICITADO POR:		FECHA DE RECEPCION:
	DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION		jueves, 28 de octubre de 2010
	APIQUE:	N° DE ENSAYOS:	FECHA DE PRUEBA:
N.R.	1	viernes, 03 de noviembre de 2010	
MUESTRA N°:	PROFUNDIDAD:	CALCULO:	
1	2,50	Ing. Luz Marina Torrado G.	
DESCRIPCION:		OPERADOR:	
ARENA SATURADA CON ACEITE		Vicente paez	
INFORME N°:		PAGINA:	
14/10/2010		2 de 4	

VELOCIDAD: 1,0 mm/min
 AREA: 30,91 cm²
 σ : 0,500 kg/cm²
 σ_{max} : 0,511 kg/cm²

				W(%) Inicial	
Peso Muestra+molde (gr)	255,40	Cápsula No.	44		
Peso del Molde(gr)	148,40	Peso cápsula	10,65		
Peso Muestra (g)	107,00	Cápsula + sh	96,37		
Altura de la muestra(cm)	2,00	Cápsula +ss	53,26		
Volumen (cm ³)	0,70				
Humedad (%)	7,30	ss	42,41		
γ (g/cm ³)	1,73	W(%)	7,30		
γ_s (g/cm ³)	1,81				

Tiempo	Lectura de	P	T	Def. Horizontal	Def. Vertical	σ/σ
min	Carga	kg	kg/cm ²	mm	10 ⁻² mm	
0	0	3,274	0,1069	0	0	0,2118
0,5	20	11,020	0,3536	1,0	10	0,7032
1,0	36	14,270	0,4617	2,0	20	0,9233
1,5	40	15,492	0,5012	3,0	30	1,0024
2,0	40	15,492	0,5012	4,0	40	1,0024
2,5	41	15,797	0,5111	5,0	50	1,0221
3,0	41	15,797	0,5111	6,0	60	1,0221
3,5	40	15,492	0,5012	7,0	70	1,0024
4,0	39	15,196	0,4913	8,0	80	0,9826
4,5	38	14,881	0,4814	9,0	90	0,9620
5,0	37	14,575	0,4715	10,0	100	0,9431
5,5	37	14,575	0,4715	11,0	110	0,9431
6,0	36	14,270	0,4617	12,0	120	0,9233
6,5	36	14,270	0,4617	13,0	130	0,9233
7,0	36	14,270	0,4617	14,0	140	0,9233
7,5	36	14,270	0,4617	15,0	150	0,9233
8,0	36	14,270	0,4617	16,0	160	0,9233
8,5	36	14,270	0,4617	17,0	170	0,9233
9,0	36	14,270	0,4617	18,0	180	0,9233



 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA Km 7 vía a Piedecuesta	OBRA:		FECHA DE INFORME:
	INVESTIGACION		lunes, 08 de noviembre de 2010
	SOLICITADO POR:		FECHA DE RECEPCION:
	DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION		jueves, 28 de octubre de 2010
	APIQUE:	N° DE ENSAYOS:	FECHA DE PRUEBA:
1	1	viernes, 05 de noviembre de 2010	
MUESTRA N°:	PROFUNDIDAD:	CALCULO:	
1	2,50	Ing. Luz Marina Torrado G.	
DESCRIPCION:		OPERADOR:	
ARENA SATURADA CON ACEITE		Vicente páez	
INFORME N°:		PAGINA:	
14/10/2010		3 de 4	

VELOCIDAD: 1,0 mm/min
 AREA: 30,91 cm²

σ : 1,000 kg/cm²
 $\tau_{\text{máx}}$: 0,936 kg/cm²

VELOCIDAD:

1,0

mm/min

AREA:

30,91

cm²

σ :

1,000

kg/cm²

τ_{máx}:

0,936

kg/cm²

Peso Muestra+molde (gr)

258,40

Peso del Molde(gr)

151,40

Peso Muestra (g)

107,00

Altura de la muestra(cm)

2,00

Volumen (cm3)

61,82

Humedad (%)

7,80

g (g/cm3)

1,73

gd(g/cm3)^a

1,61

W(%) Inicial

Cápsula No.

54

Peso cápsula

21,76

Cápsula + sh

66,80

Cápsula +ss

63,62

Agua

3,18

ss

41,86

W(%)

7,80

Tiempo

Lectura de

P

T

Def.Horizontal

Def.Vertical

τ/σ

min

Carga

kg

kg/cm²

mm

10⁻² mm

0

0

3,274

0,1059

0

0

0,1059

0,5

45

17,019

0,5506

1,0

-2

0,5506

1,0

63

22,517

0,7285

2,0

24

0,7285

1,5

74

25,877

0,8372

3,0

54

0,8372

2,0

80

27,709

0,8965

4,0

100

0,8965

2,5

83

28,626

0,9261

5,0

160

0,9261

3,0

84

28,931

0,9360

6,0

220

0,9360

3,5

84

28,931

0,9360

7,0

270

0,9360

4,0

83

28,626

0,9261

8,0

328

0,9261

4,5

83

28,626

0,9261

9,0

368

0,9261

5,0

82

28,320

0,9162

10,0

400

0,9162

5,5

80

27,709

0,8965

11,0

426

0,8965

6,0

79

27,404

0,8866

12,0

444

0,8866

6,5

78

27,099

0,8767

13,0

460

0,8767

7,0

77

26,793

0,8668

14,0

476

0,8668

7,5

76

26,488

0,8569

15,0

480

0,8569

8,0

76

26,488

0,8569

16,0

480

0,8569

8,5

76

26,488

0,8569

17,0

480

0,8569

9,0

76

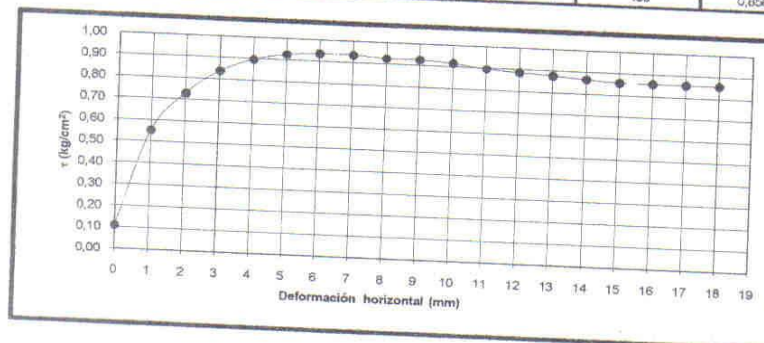
26,488

0,8569

18,0

480

0,8569



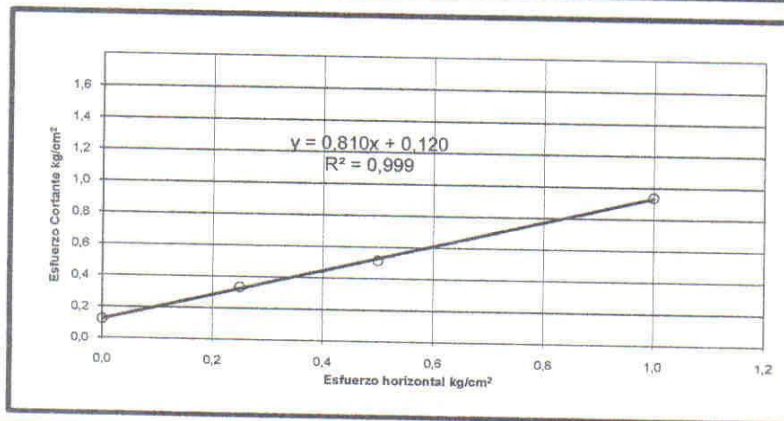
ENVOLVENTE

 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA Km 7 vía a Piedecuesta	OBRA: INVESTIGACION		FECHA DE INFORME: lunes, 08 de noviembre de 2010
	SOLICITADO POR: DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION		FECHA DE RECEPCION: jueves, 28 de octubre de 2010
	APIQUE: N.R.	N° DE ENSAYOS: 1	FECHA DE PRUEBA: viernes, 05 de noviembre de 2010
	MUESTRA N°: 1	PROFUNDIDAD: 2,50	CALCULO: ING. LUZ MARIAN TORRADO
	DESCRIPCIÓN: ARENA SATURADA CON ACEITE		OPERADOR: VICENTE PAEZ
INFORME N°: 14/10/2010		PAGINA: 4 de 4	

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE
MÉTODO DE CORTE DIRECTO
I.N.V. E - 154 - 07**

GRAFICA DE ESFUERZO NORMAL Vs ESFUERZO CORTANTE

Muestra No	Humedad	Area	Densidad Humeda	Densidad Seca	Esfuerzo Normal	Esfuerzo Cortante Máx
	%	cm²	g/cm³	g/cm³	kg/cm²	kg/cm²
1	8,11	30,91	2,03	1,68	0,25	0,333
2	7,30	30,91	1,73	1,61	0,5	0,511
3	7,60	30,91	1,73	1,61	1,0	0,936



$\phi =$	39,0	°
Cohesión=	0,120	kg/cm²

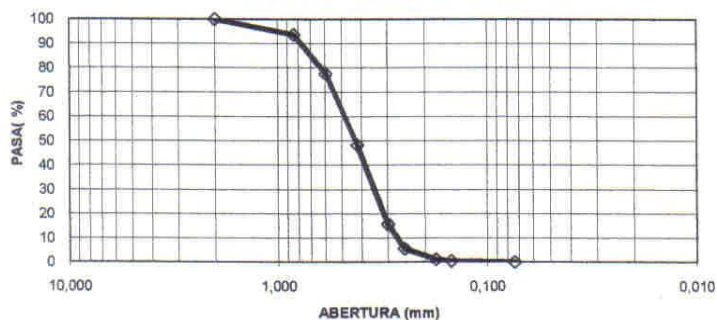
REPORTE DE ENSAYO

 Universidad Pontificia Bolivariana REGIONAL BOGOTÁ Km 7 vía Piedecuesta	OBRA: INVESTIGACIÓN		FECHA DE INFORME: lunes, 08 de noviembre de 2010
	SOLICITADO POR: DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES U.P.B		FECHA DE RECEPCIÓN: viernes, 05 de noviembre de 2010
	APIQUE No. NO APLICA	Nº DE ENSAYOS: 1	FECHA DE PRUEBA: lunes, 08 de noviembre de 2010
	MUESTRAS: NO APLICA	PROFUNDIDAD: NO APLICA	CÁLCULO: Ing. Luz Marina Torrado Gómez
	DESCRIPCIÓN: Arena pasa tamiz #50		OPERADOR: Vicente Paez
INFORME N°: 03/11/2010		PÁGINAS: 1	

PESO MUESTRA (gr)	952
PESO MUESTRA LAVADA POR TAMIZ N° 200 (gr)	952

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO Retenido			Pasa (%)
		Parcial (gr)	Parcial (%)	Acumulado (%)	REAL
Nº 10	2,000	0	0,0	0,0	100
Nº 20	0,841	60	6,3	6,3	94
Nº 30	0,595	153	16,1	22,4	78
Nº 40	0,420	280	29,4	51,8	48
Nº 50	0,300	310	32,6	84,4	16
Nº 60	0,250	96	10,0	94,4	6
Nº 80	0,177	43	4,5	98,9	1
Nº 100	0,149	6	0,6	99,6	0
Nº 200	0,074	4	0,4	99,9	0
Fondo		1	0,1	100,0	

GRANULOMETRÍA CON LAVADO SOBRE TAMIZ N° 200



OBSERVACIONES:

MÓDULO DE FINURA= 6,68

*LOS RESULTADOS SON VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS.

*SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME.

FIN DEL REPORTE

Fecha: 12/11/2010

Informe de ensayo

Página 1 de 1

Aprobado por: Ing. Luz Marina Torrado G.

Firma:

Luz Marina Torrado G.

REPORT DE ENSAYO									
 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA Km 7 vía a Piedecuesta		OBRA:				FECHA DE INFORME:			
		INVESTIGACION				Lunes 8 de Noviembre de 2010			
		SOLICITADO POR:				FECHA DE RECEPCION:			
		DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION U.P.B				Viernes 5 de Noviembre de 2010			
		APIQUE No.: N.R		N° DE ENSAYOS: 1		FECHA DE PRUEBA: Lunes 8 de Noviembre de 2010			
LIMITE LIQUIDO Y PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (HUMEDAD) DEL SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO - AGREGADO I.N.V.E - 125-126		MUESTRA N°: N.R		PROFUNDIDAD: N.R		CALCULO: Ing. Luz Marina Torrado G.			
		DESCRIPCION: Arena pasa tamiz N° 50				OPERADOR: HELI RUEDA			
		INFORME N: 03/11/2010				PAGINA: 1 de 1			
Prueba N°	Cápsula N°	N° Golpes	Peso cápsula + suelo húmedo (g)	Peso cápsula + suelo seco (g)	Peso del agua (g)	Peso de la cápsula (g)	Peso del suelo seco (g)	Contenido de agua (%)	
LÍMITE LIQUIDO									
NO LIQUIDO									
LÍMITE PLÁSTICO									
NO PLASTICO									
OBSERVACIONES:									
LOS RESULTADOS SON VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS									
SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME									
FIN DE REPORTE									

FORMATO REPORTE DE ENSAYO																													
 Universidad Pontificia Bolivariana REGIONAL BUENAMANGA LABORATORIO DE INGENIERIA CIVIL Km 7 vía Piedecuesta (Oficina A-202)	OBRA:	INVESTIGACION																											
	SOLICITADO POR: DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION U.P.B																												
	SONDEO: NO APLICA	N° DE ENSAYOS: 1																											
	FECHA DE INFORME: Viernes, 12 de Noviembre de 2010																												
GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS I.N.V. E - 222 - 223	FECHA DE RECEPCIÓN: Viernes, 05 de Noviembre de 2010																												
	MUESTRAS: 1	PROFUNDIDAD: NO APLICA																											
	FECHA DE PRUEBA: Miércoles, 10 de Noviembre de 2010																												
	CÁLCULO: Ing. Luz Marina Torrado G.																												
DESCRIPCIÓN: ARENA PASA Tamiz # 50		OPERADOR: Vicente Paaz																											
INFORME N°:		PÁGINAS: 1																											
PESO ESPECÍFICO AGREGADOS FINOS <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">NOMBRE</th> <th style="text-align: center;">UNIDAD</th> <th style="text-align: center;">VALOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso en el aire de la muestra seca (A)</td> <td style="text-align: center;">g</td> <td style="text-align: center;">492,8</td> </tr> <tr> <td>Peso del picnometro aforado lleno de agua (B)</td> <td style="text-align: center;">g</td> <td style="text-align: center;">500,0</td> </tr> <tr> <td>Peso total del picnometro aforado con la muestra y lleno de agua (C)</td> <td style="text-align: center;">g</td> <td style="text-align: center;">935,0</td> </tr> <tr> <td>Peso de la muestra saturada y superficialmente seca (e)</td> <td style="text-align: center;">g</td> <td style="text-align: center;">628,2</td> </tr> <tr> <td>Gravedad específica bulk (Gsb)</td> <td style="text-align: center;">g/cm³</td> <td style="text-align: center;">2,55</td> </tr> <tr> <td>Gravedad específica bulk sss (Gsb_{sss})</td> <td style="text-align: center;">g/cm³</td> <td style="text-align: center;">3,25</td> </tr> <tr> <td>Gravedad específica aparente (Gsa)</td> <td style="text-align: center;">g/cm³</td> <td style="text-align: center;">8,53</td> </tr> <tr> <td>Absorción</td> <td style="text-align: center;">%</td> <td style="text-align: center;">0,27</td> </tr> </tbody> </table>			NOMBRE	UNIDAD	VALOR	Peso en el aire de la muestra seca (A)	g	492,8	Peso del picnometro aforado lleno de agua (B)	g	500,0	Peso total del picnometro aforado con la muestra y lleno de agua (C)	g	935,0	Peso de la muestra saturada y superficialmente seca (e)	g	628,2	Gravedad específica bulk (Gsb)	g/cm ³	2,55	Gravedad específica bulk sss (Gsb _{sss})	g/cm ³	3,25	Gravedad específica aparente (Gsa)	g/cm ³	8,53	Absorción	%	0,27
NOMBRE	UNIDAD	VALOR																											
Peso en el aire de la muestra seca (A)	g	492,8																											
Peso del picnometro aforado lleno de agua (B)	g	500,0																											
Peso total del picnometro aforado con la muestra y lleno de agua (C)	g	935,0																											
Peso de la muestra saturada y superficialmente seca (e)	g	628,2																											
Gravedad específica bulk (Gsb)	g/cm ³	2,55																											
Gravedad específica bulk sss (Gsb _{sss})	g/cm ³	3,25																											
Gravedad específica aparente (Gsa)	g/cm ³	8,53																											
Absorción	%	0,27																											
OBSERVACIONES: LOS RESULTADOS SON VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS. SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME.																													
FIN DEL REPORTE																													

 Universidad Pontificia Bolivariana REGIONAL BUCARAMANGA Km 7 vía Piedecuesta			PERMEABILIDAD DE SUELOS CABEZA CONSTANTE INVE-130-07		REPORTES DE ENSAYO	
		OBRA: INVESTIGACIÓN		FECHA DE INFORME: Lunes, 08 de Noviembre de 2010		
		SOLICITADO POR: DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES U.P.B		FECHA DE RECEPCIÓN: Viernes, 05 de Noviembre de 2010		
		SONDEO: NO APLICA	Nº DE ENSAYOS: 1	FECHA DE PRUEBA: Lunes, 08 de Noviembre de 2010		
		MUESTRAS: No. 1	PROFUNDIDAD: NO APLICA	CÁLCULO: Ing. Luz Marina Torrado		
		DESCRIPCIÓN: ARENA PASA TAMIZ Nº 50		OPERADOR: Heli Rueda		
		INFORME Nº 03/11/10		PÁGINAS: 1 de 1		

Dimensiones de la muestra

Diámetro molde D (cm):	6,4	Área de la pipeta a (cm ²):	0,679	Peso Cámara + base (g)	1506,1
Altura muestra L (cm):	5,30	h (cm)	64,4	Peso Cámara + base + suelo (g)	1818,9
Área muestra, A (cm ²):	32,17			Peso de Suelo (g)	312,8
Volumen V (cm ³):	170,50			Peso Unitario γ (g/cm ³)	1,83

ENSAYO No.	t (seg)	Q (cm ³)	T (°C)	K (cm/seg)	n ₁ /n ₂₀	K ₂₀ (cm/seg)
1	600	88,0	24	0,00938017	0,9097	0,008533138
2	600	82,0	24	0,00874061	0,9097	0,007951333
3	600	81,0	24	0,00863402	0,9097	0,007854366
4	600	79,0	24	0,00842083	0,9097	0,007660431
				PROMEDIO K ₂₀		0,007999817

OBSERVACIONES:

1. Se utilizó el material en las condiciones en que éste salió de la columna de experimentación.

LOS RESULTADOS SON VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS

SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME

FIN DEL REPORTE

Fecha: 12/11/2010

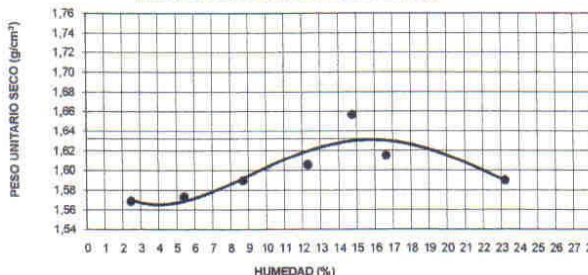
Informe de ensayo

Página 1 de 1

Aprobado por: Ing. Luz Marina Torrado G.

Firma:

Luz Marina Torrado G.

REPORTE DE ENSAYO																																																																																																			
 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA LABORATORIO DE INGENIERIA CIVIL Km 7 vía Piedecuesta (Oficina A-202)	OBRA:		FECHA DE INFORME:																																																																																																
	SOLICITADO POR:		FECHA DE RECEPCIÓN:																																																																																																
	DEPARTAMENTO INVESTIGACION U.P.B.		viernes, 16 de noviembre de 2010																																																																																																
	SONDEO:	N° DE ENSAYOS:	FECHA DE PRUEBA:																																																																																																
	N.R.	1	Sábado, 16 de Noviembre de 2010																																																																																																
RELACIONES DE HUMEDAD – MASA UNITARIA SECA EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN) _____ (ENSAYO NORMAL DE COMPACTACION) <u> X </u> I.N.V. E - 141 - 142	APIQUE N°		CÁLCULO:																																																																																																
	N.R.		Ing. Luz Marina Torrado G.																																																																																																
	DESCRIPCIÓN:		OPERADOR:																																																																																																
	ARENA PASA TAMIZ #50		Vicente Paez																																																																																																
INFORME N°		PAGINAS:																																																																																																	
03/11/2010		1																																																																																																	
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Profundidad</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">NR</td> <td style="width: 50%;">Molde No</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>Calda</td> <td style="text-align: center;">12"</td> <td>Diametro (cm)</td> <td style="text-align: center;">10,14</td> </tr> <tr> <td>Numero de Capas</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td>Altura Molde (cm)</td> <td style="text-align: center;">11,6</td> </tr> <tr> <td>Golpes por Capa</td> <td style="text-align: center;">25</td> <td>Peso Molde (gr)</td> <td style="text-align: center;">3197,8</td> </tr> <tr> <td>Peso del Martillo</td> <td style="text-align: center;">5,5 lb</td> <td>Volumen (cm³)</td> <td style="text-align: center;">936,8</td> </tr> </table>				Profundidad	NR	Molde No	0	Calda	12"	Diametro (cm)	10,14	Numero de Capas	3	Altura Molde (cm)	11,6	Golpes por Capa	25	Peso Molde (gr)	3197,8	Peso del Martillo	5,5 lb	Volumen (cm ³)	936,8																																																																												
Profundidad	NR	Molde No	0																																																																																																
Calda	12"	Diametro (cm)	10,14																																																																																																
Numero de Capas	3	Altura Molde (cm)	11,6																																																																																																
Golpes por Capa	25	Peso Molde (gr)	3197,8																																																																																																
Peso del Martillo	5,5 lb	Volumen (cm ³)	936,8																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>ENSAYO</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso molde + Suelo Húmedo (g)</td> <td>4703,2</td> <td>4751,2</td> <td>4816,2</td> <td>4886,6</td> <td>4978,9</td> <td>4962</td> <td>5033</td> </tr> <tr> <td>Peso Suelo Húmedo (g)</td> <td>1505,4</td> <td>1553,4</td> <td>1618,4</td> <td>1688,8</td> <td>1781,1</td> <td>1764,2</td> <td>1835,2</td> </tr> <tr> <td>Peso específico húmedo (g/cm³)</td> <td>1,61</td> <td>1,66</td> <td>1,73</td> <td>1,80</td> <td>1,90</td> <td>1,88</td> <td>1,96</td> </tr> <tr> <td>Cápsula N°</td> <td>62</td> <td>72</td> <td>9</td> <td>19</td> <td>52</td> <td>3</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Peso cap. y s. húmedo (g)</td> <td>80,79</td> <td>106,1</td> <td>95,76</td> <td>104,66</td> <td>109,79</td> <td>80,2</td> <td>195,2</td> </tr> <tr> <td>Peso cap. y s. seco (g)</td> <td>77,61</td> <td>99,2</td> <td>87,54</td> <td>93,47</td> <td>96,48</td> <td>72,6</td> <td>161,6</td> </tr> <tr> <td>Peso cap. (g)</td> <td>21,07</td> <td>19</td> <td>18,21</td> <td>21,12</td> <td>22,29</td> <td>34,2</td> <td>34,18</td> </tr> <tr> <td>Peso agua (g)</td> <td>3,18</td> <td>6,90</td> <td>8,22</td> <td>11,19</td> <td>13,31</td> <td>7,60</td> <td>33,60</td> </tr> <tr> <td>Humedad (%)</td> <td>2,42</td> <td>5,40</td> <td>8,66</td> <td>12,27</td> <td>14,74</td> <td>16,59</td> <td>23,17</td> </tr> <tr> <td>Peso específico seco (g/cm³)</td> <td>1,57</td> <td>1,57</td> <td>1,59</td> <td>1,61</td> <td>1,66</td> <td>1,62</td> <td>1,59</td> </tr> </tbody> </table>				ENSAYO	1	2	3	4	5	5	6	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD								Peso molde + Suelo Húmedo (g)	4703,2	4751,2	4816,2	4886,6	4978,9	4962	5033	Peso Suelo Húmedo (g)	1505,4	1553,4	1618,4	1688,8	1781,1	1764,2	1835,2	Peso específico húmedo (g/cm ³)	1,61	1,66	1,73	1,80	1,90	1,88	1,96	Cápsula N°	62	72	9	19	52	3	1	Peso cap. y s. húmedo (g)	80,79	106,1	95,76	104,66	109,79	80,2	195,2	Peso cap. y s. seco (g)	77,61	99,2	87,54	93,47	96,48	72,6	161,6	Peso cap. (g)	21,07	19	18,21	21,12	22,29	34,2	34,18	Peso agua (g)	3,18	6,90	8,22	11,19	13,31	7,60	33,60	Humedad (%)	2,42	5,40	8,66	12,27	14,74	16,59	23,17	Peso específico seco (g/cm ³)	1,57	1,57	1,59	1,61	1,66	1,62	1,59
ENSAYO	1	2	3	4	5	5	6																																																																																												
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD																																																																																																			
Peso molde + Suelo Húmedo (g)	4703,2	4751,2	4816,2	4886,6	4978,9	4962	5033																																																																																												
Peso Suelo Húmedo (g)	1505,4	1553,4	1618,4	1688,8	1781,1	1764,2	1835,2																																																																																												
Peso específico húmedo (g/cm ³)	1,61	1,66	1,73	1,80	1,90	1,88	1,96																																																																																												
Cápsula N°	62	72	9	19	52	3	1																																																																																												
Peso cap. y s. húmedo (g)	80,79	106,1	95,76	104,66	109,79	80,2	195,2																																																																																												
Peso cap. y s. seco (g)	77,61	99,2	87,54	93,47	96,48	72,6	161,6																																																																																												
Peso cap. (g)	21,07	19	18,21	21,12	22,29	34,2	34,18																																																																																												
Peso agua (g)	3,18	6,90	8,22	11,19	13,31	7,60	33,60																																																																																												
Humedad (%)	2,42	5,40	8,66	12,27	14,74	16,59	23,17																																																																																												
Peso específico seco (g/cm ³)	1,57	1,57	1,59	1,61	1,66	1,62	1,59																																																																																												
PROCTOR MODIFICADO RELACIÓN PESO UNITARIO SECO-HUMEDAD 																																																																																																			
OBSERVACIONES: Densidad máxima seca: <u>1,632 g/cm³</u> Humedad óptima: <u>16 %</u> LOS RESULTADOS SON VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS. SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME. FIN DEL REPORTE																																																																																																			

Fecha: 12/11/2010

Informe de Ensayo

Página 1 de 1

Aprobado por: Ing. Luz Marina Torrado G. Firma: *Luz Marina Torrado G.*

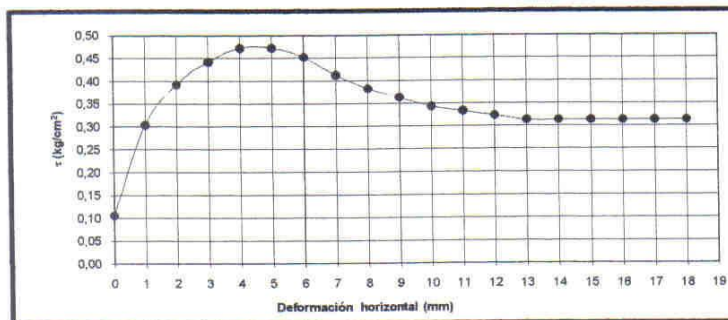
 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA Km 7 vía a Piedecuesta	OBRA: INVESTIGACION		FECHA DE INFORME: viernes, 12 de noviembre de 2010
	SOLICITADO POR: DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION U.P.B		FECHA DE RECEPCION: viernes, 05 de noviembre de 2010
	APIQUE: N.R.	N° DE ENSAYOS: 1	FECHA DE PRUEBA: jueves, 11 de noviembre de 2010
	MUESTRA N°: 1	PROFUNDIDAD: 0,00	CALCULO: Ing. Luz Marina Torrado G.
	DESCRIPCION: ARENA PASA TAMIZ N° 50		OPERADOR: Vicente páez
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE MÉTODO DE CORTE DIRECTO I.N.V. E - 154 - 07			PAGINA: 1 de 4
INFORME N°: 03/11/10			

VELOCIDAD: 1,0 mm/min
AREA: 30,91 cm²

σ_c : 0,250 kg/cm²
 $\tau_{máx}$: 0,472 kg/cm²

W(%) Inicial			
Peso Muestra+moldes (gr)	281,20	Cápsula No.	99
Peso del Molde(gr)	149,20	Peso cápsula	8,81
Peso Muestra (g)	132,00	Cápsula + sh	84,59
Altura de la muestra(cm)	1,94	Cápsula +ss	71,19
Volumen (cm ³)	59,87	Agua	13,40
Humedad (%)	21,48	ss	62,38
γ (g/cm ³)	2,20	W(%)	21,48
γ_d (g/cm ³)	1,81		

Tiempo min	Lectura de Carga	P kg	τ kg/cm ²	Def. Horizontal mm	Def. Vertical 10 ⁻³ mm	τ/σ
0	0	3,274	0,106	0	0	0,4237
0,5	20	9,393	0,304	1,0	64	1,2142
1,0	28	12,132	0,392	2,0	186	1,5700
1,5	34	13,659	0,442	3,0	340	1,7676
2,0	37	14,575	0,472	4,0	520	1,8862
2,5	37	14,575	0,472	5,0	695	1,8862
3,0	36	13,965	0,452	6,0	780	1,8071
3,5	31	12,743	0,412	7,0	900	1,6490
4,0	28	11,826	0,383	8,0	1020	1,5304
4,5	26	11,216	0,363	9,0	1190	1,4514
5,0	24	10,605	0,343	10,0	1338	1,3723
5,5	23	10,299	0,333	11,0	1364	1,3328
6,0	22	9,994	0,323	12,0	1378	1,2933
6,5	21	9,688	0,313	13,0	1382	1,2538
7,0	21	9,688	0,313	14,0	1386	1,2538
7,5	21	9,688	0,313	15,0	1392	1,2538
8,0	21	9,688	0,313	16,0	1394	1,2538
8,5	21	9,688	0,313	17,0	1394	1,2538
9,0	21	9,688	0,313	18,0	1396	1,2538



Fecha: 12/11/2010 Reporte de ensayo

Página 1 de 4

Aprobado por: Ing. Luz Marina Torrado G.

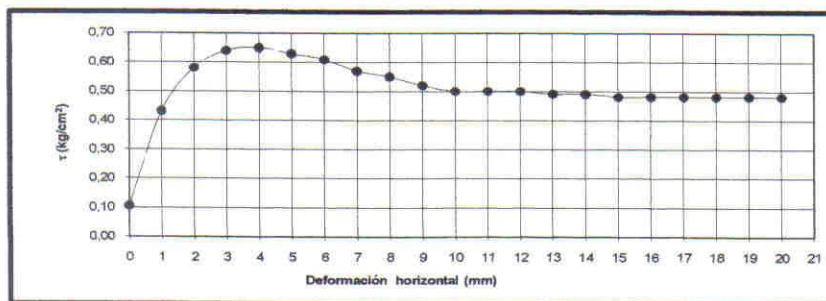
Firma: 

 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUICARAMANGA Km 7 vía a Piedecuesta	OBRA:		FECHA DE INFORME:
	INVESTIGACION		viernes, 12 de noviembre de 2010
	SOLICITADO POR:		FECHA DE RECEPCION:
	DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION		viernes, 05 de noviembre de 2010
	APIQUE:	N° DE ENSAYOS:	FECHA DE PRUEBA:
	N.R.	1	jueves, 11 de noviembre de 2010
MUESTRA N°:	PROFUNDIDAD:	CALCULO:	
1	0,00	Ing. Luz Marina Torrado G.	
DESCRIPCION:		OPERADOR:	
ARENA PASA TAMIZ N° 50		Vicente páez	
INFORME N°:		PAGINA:	
03/11/2010		2 de 4	

				W(%) Inicial	
				Cápsula No.	83
				Peso cápsula	8,66
				Peso cápsula + sh	82,75
				Cápsula +ss	70,19
				Agua	12,56
				ss	61,51
				W(%)	20,42
				γ _s (g/cm³)	2,13
				γ _t (g/cm³)	1,77

VELOCIDAD:	1,0	mm/min
AREA:	30,91	cm²
σ :	0,500	kg/cm²
τ _{máx} :	0,649	kg/cm²

Tiempo min	Lectura de Carga	P kg	τ kg/cm²	Def. Horizontal mm	Def. Vertical 10⁻³ mm	σ/τ
0	0	3,274	0,1059	0	0	0,2118
0,5	33	13,354	0,4320	1,0	40	0,8640
1,0	48	17,935	0,5802	2,0	100	1,1605
1,5	54	19,768	0,6395	3,0	200	1,2791
2,0	55	20,073	0,6494	4,0	320	1,2988
2,5	53	19,463	0,6297	5,0	460	1,2593
3,0	51	18,852	0,6099	6,0	542	1,2198
3,5	47	17,630	0,5704	7,0	634	1,1407
4,0	45	17,019	0,5506	8,0	680	1,1012
4,5	42	16,103	0,5210	9,0	724	1,0419
5,0	40	15,492	0,5012	10,0	748	1,0024
5,5	40	15,492	0,5012	11,0	760	1,0024
6,0	40	15,492	0,5012	12,0	770	1,0024
6,5	39	15,186	0,4913	13,0	774	0,9826
7,0	39	15,186	0,4913	14,0	778	0,9826
7,5	38	14,881	0,4814	15,0	782	0,9629
8,0	38	14,881	0,4814	16,0	784	0,9629
8,5	38	14,881	0,4814	17,0	784	0,9629
9,0	38	14,881	0,4814	18,0	784	0,9629
9,5	38	14,881	0,4814	19,0	784	0,9629
10,0	38	14,881	0,4814	20,0	784	0,9629



Fecha: 12/11/2010

Reporte de ensayo

Página 2 de 4

Aprobado por: Ing. Luz Marina Torrado G. Firma:

Luz Marina Torrado G.

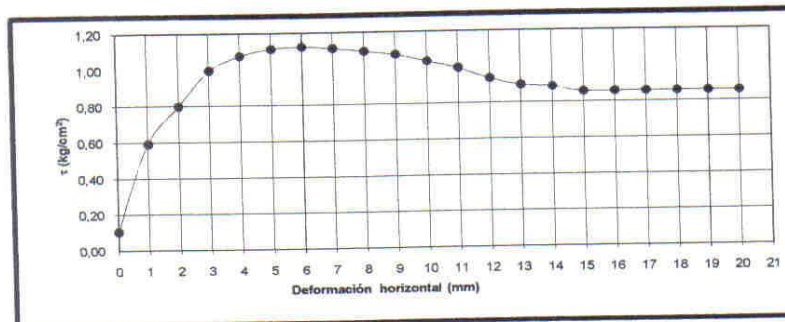
 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA Km 7 vía a Piedecuesta	OBRA: INVESTIGACION		FECHA DE INFORME: viernes, 12 de noviembre de 2010
	SOLICITADO POR: DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION		FECHA DE RECEPCION: viernes, 05 de noviembre de 2010
	APIQUE: N.R.	N° DE ENSAYOS: 1	FECHA DE PRUEBA: jueves, 11 de noviembre de 2010
	MUESTRA N°: 1	PROFUNDIDAD: 0,00	CÁLCULO: Ing. Luz Marina Torrado G.
	DESCRIPCIÓN: ARENA PASA TAMIZ N° 50		OPERADOR: Vicente páez
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE MÉTODO DE CORTE DIRECTO I.N.V. E - 154 - 07			INFORME N°: 03/11/2010
			PÁGINA: 3 de 4

VELOCIDAD: 1,0 mm/min
 AREA: 30,91 cm²

σ : 1,000 kg/cm²
 $\tau_{máx}$: 1,124 kg/cm²

W(%) Inicial	
Peso Muestra+molde (gr)	259,80
Peso del Molde(gr)	150,80
Peso Muestra (g)	119,00
Altura de la muestra(cm)	1,93
Volumen (cm ³)	59,66
Humedad (%)	19,86
g (g/cm ³)	1,99
gd(g/cm ³)	1,66
Cápsula No.	205
Peso cápsula	8,36
Cápsula + sh	96,73
Cápsula + ss	82,09
Agua	14,64
ss	73,71
W(%)	19,86

Tiempo min	Lectura de Carga	P kg	τ kg/cm ²	Def. Horizontal mm	Def. Vertical 10 ⁻² mm	τ/σ
0	0	3,274	0,1059	0	0	0,1059
0,5	49	18,241	0,5901	1,0	110	0,5901
1,0	70	24,855	0,7976	2,0	158	0,7976
1,5	90	30,764	0,9953	3,0	220	0,9953
2,0	98	33,207	1,0743	4,0	300	1,0743
2,5	102	34,429	1,1139	5,0	430	1,1139
3,0	103	34,735	1,1237	6,0	520	1,1237
3,5	102	34,429	1,1139	7,0	614	1,1139
4,0	100	33,816	1,0941	8,0	692	1,0941
4,5	98	33,207	1,0743	9,0	758	1,0743
5,0	94	31,986	1,0348	10,0	800	1,0348
5,5	90	30,764	0,9953	11,0	820	0,9953
6,0	84	28,931	0,9360	12,0	836	0,9360
6,5	80	27,709	0,8965	13,0	838	0,8965
7,0	79	27,404	0,8866	14,0	838	0,8866
7,5	76	26,488	0,8569	15,0	830	0,8569
8,0	76	26,488	0,8569	16,0	818	0,8569
8,5	76	26,488	0,8569	17,0	814	0,8569
9,0	76	26,488	0,8569	18,0	808	0,8569
9,5	76	26,488	0,8569	19,0	806	0,8569
10,0	76	26,488	0,8569	20,0	800	0,8569



Fecha: 12/11/2010

Reporte de ensayo

Página 3 de 4

Aprobado por: Ing. Luz Marina Torrado G.

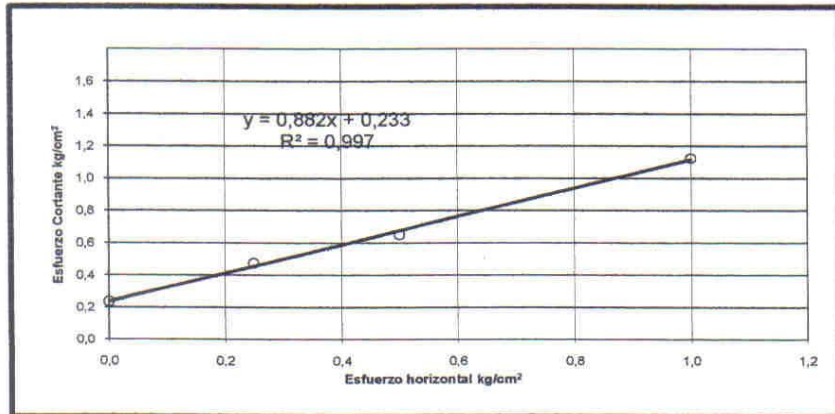
Firma: 

ENVOLVENTE

 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUENAVISTA Km 7 vía a Piedecuesta	OBRA: INVESTIGACION		FECHA DE INFORME: viernes, 12 de noviembre de 2010
	SOLICITADO POR: DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION		FECHA DE RECEPCION: viernes, 05 de noviembre de 2010
	APIQUE: N.R.	N° DE ENSAYOS: 1	FECHA DE PRUEBA: jueves, 11 de noviembre de 2010
	MUESTRA N°: 1	PROFUNDIDAD: 0,00	CALCULO: ING. LUZ MARIAN TORRADO
	DESCRIPCIÓN: ARENA PASA TAMIZ N° 50		OPERADOR: VICENTE PAEZ
INFORME N°: 03/11/2010		PAGINA: 4 de 4	

GRAFICA DE ESFUERZO NORMAL Vs ESFUERZO CORTANTE

Muestra No	Humedad %	Area cm²	Densidad Humeda g/cm³	Densidad Seca g/cm³	Esfuerzo Normal kg/cm²	Esfuerzo Cortante Máx kg/cm²
1	21,48	30,91	2,20	1,81	0,25	0,472
2	20,42	30,91	2,13	1,77	0,5	0,649
3	19,86	30,91	1,99	1,66	1,0	1,124



$\phi =$	41,4	°
Cohesión=	0,233	kg/cm²

Fecha: 12/11/2010

Reporte de ensayo

Página 4 de 4

Aprobado por: Ing. Luz Marina Torrado G.

Firma: 