

# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



## Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“EVALUACIÓN DE LA SATURACIÓN DE DERIVADOS DE  
HIDROCARBUROS EN EL SUBSTRATO ROCOSO DE LA REFINERÍA LA  
LIBERTAD”

### INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN GEOLOGÍA <sup>(1)</sup>**

**INGENIERO EN PETRÓLEOS <sup>(2)</sup>**

Presentado por:

Diego Moisés Encalada Parrales <sup>(1)</sup>

Walter Andrés Guerrero Ríos <sup>(2)</sup>

Víctor Hugo Narváez Ayala <sup>(2)</sup>

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2015

## AGRADECIMIENTO

A Dios por darnos la fortaleza para seguir cada día.

A nuestros familiares en general, por el apoyo incondicional brindado en cada etapa de nuestras vidas. Al director del presente trabajo, el PhD. Kervin Chunga Morán, por la orientación brindada y sobre todo por la gran predisposición que tuvo para apoyarnos en todo momento. A la Ingeniera Lucrecia Moreno profesora de la UPSE, quien desinteresadamente nos proporcionó todo tipo de ayuda y nos guio en los ensayos correspondientes a esta práctica.

A la Refinería La Libertad, por brindarnos la apertura para realizar el presente trabajo.

A todo el personal que conforma la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, especialmente a quienes tuvimos el honor de tenerlos como profesores, por impartir sus conocimientos durante nuestra estancia en la Facultad.

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por permitirme alcanzar un nuevo objetivo.

De manera muy especial a las personas que son los pilares más importantes de mi vida, mis padres: Fernando y Mónica, quienes han sido siempre mi mayor inspiración y que con mucho sacrificio me han apoyado en todo momento.

A mis hermanos José y Fernando, quienes siempre me brindaron su apoyo y sus palabras de aliento.

Diego Moisés Encalada Parrales.

## DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado primero a Dios, quién me ha acompañado en cada paso que he dado en mi vida. A mis padres, Sr. Walter Efraín Guerrero Pinzón y Sra. Silvia Elizabeth Ríos Cevallos, que con su apoyo incondicional, sus consejos y sacrificio me han ayudado a seguir adelante a pesar de las adversidades. A mi familia y amigos que siempre me impulsan a alcanzar mis metas.

Walter Andrés Guerrero Ríos

## DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico primero a Dios, quien me ha guiado en cada paso que he dado, a mi madre Luz María Ayala por su infinita confianza, apoyo e ilimitado amor que me ha brindado en todos estos años, a mi familia Cristina Narváez, Herlinda Maza, Livia Conde, Mercedes Conde, por su apoyo y sabios consejos los cuales me han servido para encontrarme en el lugar que estoy, y a mis amigos por todas las experiencias que hemos pasado.

Víctor Hugo Narváez Ayala

## TRIBUNAL DE SUSTENTACION



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Kenny Escobar Segovia', written over a horizontal line.

MsC. Kenny Escobar Segovia

Presidenta del Tribunal



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Dr. Kervin Chunga Morán', written over a horizontal line.

Dr. Kervin Chunga Morán

Director del Proyecto

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de éste Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente, y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'D. Encalada', written over a horizontal line.

Diego M. Encalada Parrales

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'W. Guerrero', written over a horizontal line.

Walter A. Guerrero Ríos

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'V. Narváez', written over a horizontal line.

Víctor H. Narváez Ayala

## RESUMEN

La industria petrolera conlleva como toda actividad humana a daños al medio ambiente, siendo uno de los primeros en ser afectado el suelo y los estratos rocosos subyacentes, en donde los hidrocarburos se pueden acumular y migrar hacia cuerpos de agua provocando graves problemas de contaminación.

Nuestro caso de estudio se enfoca en el área comprendida por la Refinería de la Libertad (RLL) y sus cercanías, que al ubicarse dentro de un centro urbano y turístico tan importante para el país, adquiere una necesidad aún mayor el controlar los niveles de saturación de hidrocarburos presentes en el suelo.

El presente trabajo busca generar un mapa de niveles de saturación de hidrocarburos en el área de la RLL y comparar los resultados con la información registrada por estudios anteriores, para lograr establecer la evolución de dichos niveles, identificar la dirección de migración del hidrocarburo a lo largo del suelo y establecer un plan de remediación y control.

Para lo cual se ha procedido a caracterizar geológicamente el sitio, estableciendo parámetros como el de permeabilidad, plasticidad y humedad. En base a ello y a los resultados obtenidos por un estudio anterior realizado por el CEMA en el 2005, se seleccionaron los puntos para la toma de muestras, las cuales fueron sometidas a una prueba de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH).

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	VII
ABREVIATURAS .....	XI
SIMBOLOGÍA .....	XII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI

## CAPÍTULO 1

1 GENERALIDADES.....	2
1.1 Antecedentes y justificación del estudio .....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo General .....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Ubicación general del área .....	4
1.4 Climatología.....	6
1.5 Características Oceanográficas.....	7

## CAPÍTULO 2

2 GEOLOGÍA DE LA LIBERTAD.....	9
2.1 Geología Regional.....	9
2.1.1 Marco Tectónico y Estructural.....	9
2.2 Geología Local.....	13
2.2.1 Estratigrafía.....	14
2.2.2 Geomorfología .....	19
2.2.3 Hidrogeología.....	23

## CAPITULO 3

3 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA R.L.L, INSTALACIONES Y EQUIPOS .....	27
--	----

3.1	Marco teórico .....	27
3.1.1	Petróleo y sus Derivados .....	28
3.2	Proceso de producción de la R.L.L .....	29
3.2.1	Planta Parsons .....	31
3.2.2	Planta Universal .....	31

## CAPITULO 4

4	METODOLOGÍA PARA DETERMINAR SATURACIÓN HIDROCARBURIFERA EN EL ESTRATO ROCOSO.....	33
4.1	Análisis de los Hidrocarburos Totales De Petróleo.....	33
4.1.1	Hidrocarburos totales en suelos .....	35
4.1.2	Fracciones de Hidrocarburos totales de petróleo .....	36
4.2	Análisis de suelos .....	36
4.2.1	Análisis Granulométrico .....	37
4.2.2	Límites de Atterberg .....	37
4.2.3	Análisis Proctor .....	40
4.2.4	Análisis de permeabilidad .....	42
4.3	Programa de Muestreo .....	43
4.4	Diseño del muestreo .....	43
4.4.1	Selección de los sitios para la perforación .....	44
4.4.2	Puntos de Muestreo .....	45
4.4.3	Zonas Vulnerables .....	49
4.5	Características del muestreo .....	50

## CAPÍTULO 5

5	RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS A LAS MUESTRAS DE SUELO DE LA REFINERIA LA LIBERTAD.....	52
5.1	Resultados del análisis de TPH.....	52
5.2	Resultados De Límites de Atterberg .....	58
5.3	Resultados De Granulometría .....	58
5.4	Resultados De Proctor.....	59
5.5	Resultados de Permeabilidad .....	59

## CAPÍTULO 6

6	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	60
6.1	Identificación de zonas contaminadas con hidrocarburos.....	60
6.1.1	Contaminación por fugas en zona de tuberías.....	63
6.1.2	Contaminación en zona de aljibes.....	64
6.1.3	Contaminación en zona de playa .....	66
6.2	Correlación Zonas de estudio - Permeabilidad .....	68

## CAPÍTULO 7

7	REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS .....	69
7.1	Tecnologías de remediación de suelos contaminados por hidrocarburos.....	70
7.1.1	Excavación.....	72
7.1.2	Oxidación in situ .....	72
7.1.3	Incineración.....	72
7.1.4	Extracción de vapor del suelo .....	73
7.1.5	Biorremediación .....	74
7.2	Plan de remediación propuesto para el caso de la RLL .....	74
7.2.1	Excavación y remoción de suelo contaminado .....	75
7.2.2	Eliminación de fuentes de contaminación .....	76
7.2.3	Biorremediación .....	76

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ANEXOS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## ABREVIATURAS

Alm	=	Almacenamiento
API	=	American Petroleum Institute
BIMOT	=	Batallón de infantería
CEMA	=	Centro de estudios del medio ambiente
cm <sup>3</sup>	=	Centímetros
DH	=	Derivados del petróleo
F	=	Grados Fahrenheit
Fm	=	Formación
Fm Kcy	=	Formación Cayo
g	=	Gramos
g/cm <sup>3</sup>	=	Gramos sobre centímetros cúbicos
Gr Paz	=	Grupo Azúcar
Inf	=	Infantería
LSE	=	Levantamiento de Santa Elena
mg/kg	=	Miligramos por kilogramo
mm/mes	=	Milímetros por mes
NW-SE	=	Noroeste – Sureste
Oil	=	Petróleo
RLL	=	Refinería la Libertad
TPH	=	Hidrocarburos totales del petróleo

## SIMBOLOGÍA

N	=	Dirección Norte.
NE	=	Dirección Noreste
SO	=	Dirección Suroeste
°	=	Grados
K	=	Permeabilidad
%	=	Porcentaje

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Imagen Satelital de la Refinería “la Libertad” .....	5
Figura 2.1: Mapa geológico de la Península de Santa Elena. Las líneas rojas representan las fallas.....	14
Figura 2.2: Rasgos Geomorfológicos de los alrededores de la RLL .....	23
Figura 3.1: Componentes básicos de una refinería .....	27
Figura 4.1: Granulometría .....	37
Figura 4.2: Estados de consistencia según su humedad.....	40
Figura 4.3: Ubicación de las perforaciones del CEMA 2005 .....	45
Figura 4.4: Zona de Interés.....	46
Figura 4.5: Focos de contaminación de la R.L.L.....	47
Figura 4.6: Equipo para detección de metales en el subsuelo.....	47
Figura 4.7: Jardín junto a la Refinería La Libertad .....	50
Figura 4.8: Suelo contaminado a 0,5 m cerca de tanques de almacenamiento .....	51
Figura 6.1: Mapa de concentración de TPH en Unidad Libertad .....	62
Figura 6.2: Acercamiento de la zona de interés.....	63
Figura 6.3: Contaminacion por liqueos en uniones bridadas y válvulas.....	64
Figura 6.4: Contaminación del suelo por filtración en las bases de los aljibes .....	65
Figura 6.5: Vista en planta del punto de muestreo cerca a la playa.....	66
Figura 6.6: Obtención de las muestras en el sector de la playa .....	67

Figura 6.7: Excavación de calicatas en zona de playa ..... 67

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1: Clasificación del petróleo según sus enlaces .....	29
Gráfico 3.2: Áreas de la Refinería la Libertad .....	30
Gráfico 3.3: Unidades de la Refinería La Libertad .....	32
Gráfico 4.1: Hidrocarburos Totales De Petróleo .....	34
Gráfico 4.2: Programa de muestreo.....	43
Gráfico 4.3: Pasos para la elaboración del diseño de muestreo .....	44
Gráfico 4.4: Criterios para la elección de las zonas de interés .....	46
Gráfico 4.5: Elementos básicos de un diseño de muestreo .....	48

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I: Límites de las instalaciones de la Refinería “La Libertad” .....	5
Tabla II Límites del Levantamiento de Santa Elena .....	10
Tabla III: Clasificación del petróleo según su densidad .....	28
Tabla IV: Coordenadas de las calicatas realizadas, Diciembre 2015 .....	49
Tabla V: Resultado De TPH en I muestra #1 .....	52
Tabla VI: Resultado De TPH en I muestra #2 .....	53
Tabla VII: Resultado De TPH en I muestra #3 .....	53
Tabla VIII: Resultado De TPH en I muestra #4 .....	54
Tabla IX: Resultado De TPH en I muestra #5 .....	54
Tabla X: Resultado De TPH en I muestra #6 .....	55
Tabla XI: Resultado De TPH en I muestra #7 .....	55
Tabla XII: Resultado De TPH en I muestra #8 .....	56
Tabla XIII: Resultado De TPH en I muestra #9 .....	56
Tabla XIV: Resultado De TPH en I muestra #10.....	57
Tabla XV: Resultado De TPH en I muestra #11.....	57
Tabla XVI: Resultado De Límites de Atterberg .....	58
Tabla XVII: Resultado De Granulometría.....	58
Tabla XVIII: Resultado De Proctor.....	59
Tabla XIX: Resultado De Proctor.....	59
Tabla XX: Identificación por muestras consideradas contaminadas por hidrocarburos .....	61

Tabla XXI: Correlación K avg- Zonas de estudio .....	68
Tabla XXII: Clasificación de técnicas de remediación de suelos contaminados por hidrocarburos .....	71

# CAPÍTULO 1

## 1 GENERALIDADES

### 1.1 Antecedentes y justificación del estudio

La Refinería La Libertad (RLL) se encuentra ubicada en el Cantón La Libertad de la Provincia de Santa Elena. Esta zona es conocida por ser aquella donde se inició la producción petrolera del Ecuador.

Mucho antes de que la refinería fuese instalada, la zona era ya conocida por presentar afloramientos naturales de hidrocarburos que surgen en sitios puntuales a lo largo de la península.

El diseño y la construcción de la RLL fueron realizados por la empresa Anglo Ecuadorian Oilfields en 1940 y posteriormente pasó a manos del estado ecuatoriano a través de PETROECUADOR en el año 1989. A partir de esta fecha se han llevado a cabo variaciones al diseño original con el objetivo de procesar una mezcla de crudo

Oriente y crudo Ancón, así como para incrementar la capacidad operativa, sin embargo, es importante mencionar que durante el traspaso de la empresa no se transfirió información importante como mapas de las líneas de tuberías, e instalaciones bajo el suelo.

A pesar de las adaptaciones que se han realizado, aún existen componentes de la refinería que suponen graves riesgos de contaminación, ya que existe contacto directo del suelo con hidrocarburos debido a problemas de liqueo que presentan filtración, es por ello que en 2005 se llamó a licitación para la realización de un estudio de impacto ambiental, siendo el Centro de Estudios del Medio Ambiente (CEMA) el ganador del concurso.

El estudio realizado por el CEMA permitió identificar las zonas contaminadas y a partir de ello se han implementado varias medidas de remediación.

Nuestro estudio surge de la necesidad de la RLL de constatar el avance y eficacia de los mecanismos de remediación aplicados desde entonces, identificando la distribución actual de los niveles de saturación de hidrocarburos.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Determinar el nivel de saturación por derivados de hidrocarburos transportados y almacenados en los planos de discontinuidades del macizo rocoso, su nivel de riesgo industrial y componentes susceptibles por daño en la Refinería La Libertad.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Delinear discontinuidades en el substrato o macizo rocoso, tales como fallas geológicas, diaclasas o planos de estratificación, donde podrían desplazarse y acumularse los derivados de hidrocarburos (DH).
- Determinar la zona de acumulación y saturación por DH, mediante el análisis de muestras de rocas obtenidas a través de trincheras exploratorias o calicatas para el análisis en el laboratorio.

- Elaborar un mapa de saturación con los valores anómalos proyectados espacialmente para delinear los sitios críticos en el área de infraestructura de la Refinería La Libertad.
- Determinar la permeabilidad del suelo y su relación con la migración de contaminantes.

### **1.3 Ubicación general del área**

La Refinería “La Libertad” (RLL) se encuentra localizada en el cantón La Libertad, perteneciente a la Provincia de Santa Elena.

Las instalaciones de la refinería (véase Figura 1.1) se encuentran limitando con parte del Batallón de Infantería Motorizado - 14 (BIMOT - 14) “Marañón”, así como con inmediaciones del casco urbano de la Libertad, específicamente de los barrios: Carioca y Puerto Nuevo; y de las ciudadelas: Las Acacias y General Enríquez Gallo.

El perímetro de la Refinería presenta los siguientes límites:

<b>Norte</b>	Océano Pacífico
<b>Sur</b>	Av. Eleodoro Solórzano
<b>Este</b>	BIMOT-14 "Marañón" - Barrio Carioca
<b>Oeste</b>	Cdla. Santa María

Tabla I: Límites de las instalaciones de la Refinería "La Libertad"



Figura 1.1 Imagen Satelital de la Refinería "la Libertad"

(Fuente: Google Earth 2015)

## 1.4 Climatología

La climatología de la zona correspondiente a la Península de Santa Elena depende directamente de las alteraciones de las condiciones atmosféricas y oceánicas. Otro factor influyente en el clima son los cambios en las condiciones de la Zona de Convergencia Intertropical.

La interacción de los vientos con la capa superficial del mar da como resultado el origen de las estaciones en la región, las cuales se dividen en:

- **Estación Seca:** Originada por la corriente fría de Humboldt. Comprende los meses desde junio a noviembre.
- **Estación Lluviosa:** Caracterizada por ser una estación muy calurosa con presencia de lluvias, aunque la tasa de precipitación no es muy considerable en comparación con otras regiones del Ecuador. Comprende el intervalo entre diciembre y mayo.

En esta época se registra precipitaciones que alcanzan un promedio de  $30,5 \frac{mm}{mes}$  particularmente en los meses de febrero, marzo y abril; en los que se registra los mayores registros.

Cabe resaltar que los intervalos de meses anteriormente mencionados corresponden a períodos bajo condiciones normales, es decir en años en los que no se presenta ninguna anomalía climática como lo es el Fenómeno del Niño.

El clima de esta región, según la clasificación bioclimática de (Cañadas, 1983), se lo define en la categoría de desértico tropical, ya que la tasa de precipitaciones es muy inferior a la tasa de evaporación.

### **1.5 Características Oceanográficas**

Las costas del Ecuador están sujetas a la acción de fenómenos del Niño, es así como los 2 últimos períodos en los que se registró dicho fenómeno (1982-1983, 1997-1998) se observó que los procesos, tanto de erosión como de sedimentación, se producen en magnitudes muy elevadas en comparación al promedio, lo cual lógicamente, derivan en un cambio de la geomorfología costera de la zona.

En cada estación, las corrientes marinas tienen un comportamiento distinto.

En la Estación Seca, las aguas frías son empujadas desde las costas del Perú por medio de los vientos Alisios del Sudeste, manteniendo de esta manera el frente ecuatorial alrededor de la línea ecuatorial.

El comportamiento de las corrientes cambia durante la época lluviosa, ya que el frente ecuatorial casi desaparece debido al debilitamiento de los vientos Alisios, lo que provoca que las aguas cálidas de la corriente de El Niño se dirijan hacia el Sur, cubriendo casi en su totalidad las costas ecuatorianas.

# CAPÍTULO 2

## 2 GEOLOGÍA DE LA LIBERTAD

### 2.1 Geología Regional

#### 2.1.1 Marco Tectónico y Estructural

La costa ecuatoriana, particularmente la zona suroccidental del país, geológicamente está dividido por 4 unidades tectónicas que son: La cordillera Chongón Colonche, la Cuenca Progreso, el Graben de Jambelí y el Levantamiento de Santa Elena

El sector de interés para el presente estudio, que corresponde al cantón La Libertad, se encuentra sobre el Levantamiento de Santa Elena (LSE).

Está conformado principalmente por rocas pertenecientes al Grupo Azúcar (Gr. PAz) y por rocas Cretácicas. Esto es

identificado por Lonsdale P. (1978) como la parte emergida del “prisma de acreción” (o complejo de subducción en la terminología de Dickinson y Seely, 1979) y a las rocas terciarias las identifica como depósitos de cuenca de la pendiente continental de la fosa.

Esta unidad tectónica se originó a partir del Neógeno, producto de la reactivación de la falla La Cruz, provocando dicho levantamiento geológico.

Con respecto al sistema de subducción ecuatoriano, en el que existe convergencia de las placas de Nazca (oceánica) y la placa Sudamericana (continental), el mencionado Levantamiento, se encuentra en posición frontal al sistema.

El LSE presenta los siguientes límites:

<b>Norte</b>	Cordillera Chongón-Colonche
<b>Sur</b>	Graben de Jambelí
<b>Este</b>	Fala La Cruz
<b>Oeste</b>	Océano Pacífico

Tabla II Límites del Levantamiento de Santa Elena

Las rocas que se formaron durante el Cretácico, fueron originadas por sedimentos volcanoclásticos en un arco volcánico insular y que fueron depositándose en una cuenca marginal. Como consecuencia de la tectónica de placas, estas rocas colisionaron con las rocas originadas en la Placa Sudamericana durante el Paleoceno.

Una vez que ocurrió la convergencia de los cuerpos rocosos, comenzaron a depositarse, en una cuenca de antearco, sedimentos siliciclásticos que corresponden a la litología del Gr. PAz.

Luego de la depositación del Gr. PAz., tuvo lugar un levantamiento de los terrenos alóctonos, el cual está caracterizado por un hiato en el registro sedimentario. Estos eventos estuvieron precedidos por una transgresión regional en el Eoceno Inferior y Eoceno Medio depositándose todas las formaciones correspondientes al Gr. EAn. en cuencas de antearco. (Jaillard et al, 1995).

Bristow y Hoffstetter sostienen que existen interacciones de placas a lo largo de la falla Guayaquil-Dolores, basándose en

el profundo conocimiento de la estratigrafía de la Cuenca Progreso y la Península de Santa Elena. Esto los llevó a aceptar la hipótesis del “Complejo Olistostrómico de Santa Elena”, misma que fue propuesta por Azad y popularizada por Coldman. Según los autores ya mencionados, el emplazamiento de las rocas que conforman el Grupo Azúcar y el Grupo Ancón en la península, fue originado por tectónica de gravedad, provenientes de la Cuenca Progreso, particularmente de formaciones como Guayaquil y Cayo.

El término “olistostromo” designa a un cuerpo sedimentario de material litológico o petrográficamente homogéneo. Contiene una matriz y cuerpos de material coherente (olistolitos) mezclados íntimamente y sin estratificación. No hay restricción en el tamaño de los olistolitos o en la relación olistolitos/matriz. El flujo de detritos, es decir el flujo sedimentario por gravedad de clastos transportados y sostenidos por una matriz es el principal mecanismo de olistostromo (López Orrala, 2000)

El levantamiento de Santa Elena presenta un sistema de fallas subparalelo a la falla La Cruz y otro ortogonal, los que han producido microfracturamiento, el cual es el elemento fundamental en el mecanismo de migración del petróleo. El

estilo estructural del norte del Levantamiento de Santa Elena está caracterizado por la falla transpresiva La Cruz, la cual ha generado una estructura en flor positiva con las respectivas fallas de cabalgamiento (PACIFPETROL 2008, SÍSMICA Y GEOLOGÍA DEL ÁREA NAVARRA)

## **2.2 Geología Local**

El área en la que se encuentra la zona de interés presenta afloramientos de formaciones de origen sedimentario y volcanosedimentarios, tales como la formación Tablazos y la Formación Cayo, respectivamente.

Además existen formaciones pertenecientes al Grupo Ancón y material de depósitos aluviales recientes provenientes del aporte sedimentario del Río Chulluype. Las formaciones antes mencionadas presentan un carácter detrítico y organodetrítico.

En el mapa geológico de la Península de Santa Elena se puede evidenciar que existe, al Este, un predominio de afloramientos del Grupo Azúcar (Gr. PCAz), de edad paleocénica, mientras que en el centro y Oeste se encuentran aflorando Formaciones eocénicas pertenecientes al Grupo Ancón (Gr. EAn), así como también se

observan afloramientos de la Fm. Tablazos que son del Pleistoceno. Las fallas se orientan principalmente en dirección NW-SE (Figura 2.1).



Figura 2.1: Mapa geológico de la Península de Santa Elena. Las líneas rojas representan las fallas

(Fuente: PACIFPETROL)

## 2.2.1 Estratigrafía

### 2.2.1.1 Formación Cayo (Fm. KCy)

**Edad:** Cretácico Superior

**Paleoambiente:** La Fm. KCy está caracterizada por depósitos de sedimentos en zonas batiales, lo cual indica un ambiente de depositación que alcanzan profundidades en el rango de 1000 a 4000 metros de profundidad (Centro de Investigaciones Geológicas de Guayaquil, 2006).

**Descripción:** Esta formación presenta rocas de origen volcánico – sedimentario. Existe predominancia de lutitas, entre las que es común encontrar intercalaciones de areniscas y conglomerados.

Además posee estratos potentes (llegan a tener espesores métricos) de areniscas grauwáquicas y presenta sedimentos resistentes a la erosión, debido a su dureza.

La granulometría de los sedimentos va desde el tamaño de arcillas, hasta dimensiones de tamaño de cantos rodados.

Existen estratos que presentan sedimentos silicificados, hasta alcanzar la formación de chert y

que varían su nivel dependiendo de la edad. Estos sedimentos son conocidos localmente como Santa Elena Chert (Marchant, 1956-1961).

La Fm. no presenta una estratificación bien definida, más bien se presenta con una textura caótica, evidenciando un alto grado de deformación, pero cuenta con la presencia de lentes de toba silicificada, mismas que alcanzan dimensiones cercanas al metro de espesor.

#### **2.2.1.2 Grupo Ancón (Gr. EAn)**

**Edad:** Eoceno Temprano, piso Ypresiano. En la parte superior, la Formación cuenta con una edad de Eoceno Medio tardío.

**Paleoambiente:** Los sedimentos corresponden a un ambiente de depositación marino no muy profundo de salinidad normal, la cual corresponde a la parte externa de la plataforma continental, caracterizada por aguas cálidas pero también con surgencia de

aguas frías (Centro de Investigaciones Geológicas de Guayaquil, 2006).

**Descripción:** El Grupo Ancón se encuentra ampliamente distribuida en toda la provincia de Santa Elena. Está conformado por 4 formaciones, las cuales son: Clay Pebble Beds, Socorro, Seca y Punta Ancón.

En las inmediaciones de la RLL se pudo encontrar afloramientos de este grupo, específicamente en el sector de la quebrada del BIMOT-14 "Marañón".

En cuanto a su litología, consta de areniscas de grano medio a fino, mismas que presentan niveles de guijarros.

La roca es de aspecto ceroso. En ciertas zonas se presenta con mucho fracturamiento y fácilmente erosionable. Dichas fracturas están rellenas con arena grisácea que se altera a café rojizo debido a procesos de meteorización. Existen estratos no muy

desarrollados en los que se puede encontrar facies de areniscas abigarradas.

### 2.2.1.3 Formación Tablazo

**Edad:** Pleistoceno. Esta edad es asumida como tal debido a la posición ocupada estratigráficamente.

**Paleoambiente:** Corresponden a un ambiente de depositación marino somero (mar abierto) (Centro de Investigaciones Geológicas de Guayaquil, 2006).

**Descripción:** Se encuentran principalmente Areniscas y conglomerados. Esta formación presenta terrazas marinas que contienen casi en su totalidad material arenáceo bioclástico (presencia fragmentos de conchas).

Los sedimentos que se encuentran en esta formación son de origen continental y marino.

Se encuentra aflorando en casi toda la superficie de la localidad de estudio, descansando en discordancia sobre rocas del Gr. Ancón.

#### **2.2.1.4 Depósitos Aluviales**

Son depósitos de sedimentos con tamaño que van desde las arenas a gravas. Son transportados y depositados a través del río Chulluype y en la quebrada del BIMOT-14 "Marañón". Estos sedimentos son producto de la erosión de las rocas de las formaciones que se encuentran en la zona.

#### **2.2.2 Geomorfología**

El área de estudio cuenta con afloramientos de la formación Tablazos y del Grupo Ancón (de más reciente a más antiguo) que cubren prácticamente en su totalidad dicha superficie.

Dicha área corresponde a un ambiente sedimentario de playa, el cual está bajo la influencia erosiva del mar y así mismo afectado en menor medida por escurrimientos efímeros (ríos estacionarios), que han dado las condiciones típicas del

dominio de una llanura aluvial originada por el río Chulluype, mismo que se encuentra en las cercanías de la refinería.

Sin embargo, los principales dominios geomorfológicos por los que se caracteriza esta zona de la península son:

- El perfil costero
- Planicie levantada

#### **2.2.2.1 Perfil Costero**

La línea de costa alcanza una longitud aproximada de 4 kilómetros, limitados por salientes conocidas como Punta Chulluype, originada por el río del mismo nombre, al Este y Punta Suche al Oeste (Figura 1.3). La línea de costa sigue una tendencia rectilínea con dirección NE-SO. En las cercanías de la RLL se pueden encontrar acantilados bajos, en los que anteriormente se podía observar afloramientos de formaciones, pero que al momento de realizar el actual trabajo, se encontraban ocultos tras los muros de rocas que fueron ubicados para prevenir la erosión debido al oleaje.

En ciertas zonas de los acantilados bajos, se puede observar una capa de relleno cuaternario el cual tiene un espesor que varía desde el medio metro hasta los 2 metros.

El perfil costero de la zona se ve interrumpido por la presencia de un estero a la altura de los terrenos entre el BIMOT-14 "Marañón" y de la refinería, el cual presenta un canal con pendientes que van desde muy suaves, en la parte central, a pendientes bruscas en las que se puede observar afloramientos de arenisca dura de color café y grano medio a grueso, con presencia abundante de fragmentos de conchas (bioclástica), lo cual corresponde a la Formación Tablazos.

Avanzando hacia el extremo suroccidental nos encontramos con sectores que evidencian la acción erosiva del mar por lo que se explica la presencia de muros de escolleras en la zona cercana al malecón de La Libertad, con el fin de controlar la erosión.

### **2.2.2.2 Planicie Levantada**

Se la puede observar en zonas ubicadas tierra adentro, caracterizada por una llanura con pendiente muy suave la cual va decreciendo hacia el océano. El relieve de esta planicie se ha visto alterado debido a la acción antropológica. Se ha suavizado en sectores en las que existen construcciones, y por el contrario, se ha visto agravada debido a la presencia de canteras en la zona aledañas al río Chulluype. Este dominio geomorfológico está caracterizado en su superficie por afloramientos de la Formación Tablazos, mismos que son de disposición horizontal en la que se encuentran rocas detríticas y organodetríticas. La principal característica de este dominio es el relieve plano, en la que no existen rasgos geomorfológicos abruptos, es decir que cuenta con una topografía suavizada y que sólo se ve afectada en proporciones no muy considerables por la erosión fluvial.

## REFINERÍA "LA LIBERTAD"



Figura 2.2: Rasgos Geomorfológicos de los alrededores de la RLL

(Fuente: Google Earth 2015)

### 2.2.3 Hidrogeología

La zona en la que se llevó a cabo el estudio tiene la principal característica de estar cubierta por la Formación Tablazos, la cual debido a su litología, presenta características óptimas para la circulación y el almacenamiento de fluidos, principalmente agua. De todas las formaciones que comprenden la geología local del sector, la Fm. Tablazos es la que presenta mejor estructura acuífera. Uno de los factores que influyen en el almacenamiento de fluidos en dicha Fm. es su disposición prácticamente horizontal, es decir, que al poseer una morfología suave y un relieve plano, favorece la lenta escorrenría superficial, fomentando las condiciones de

infiltración en el sitio. Pero cabe resaltar un factor muy importante, si bien es cierto la Fm. Tablazos da todas las facilidades para convertirse en un acuífero, las precipitaciones en la región son escasas, lo que conlleva a que la tasa de evaporación sea mayor que la de precipitación, por lo que no ha permitido que dicha Fm. sea considerada como un acuífero considerable en la actualidad. Además, al encontrarse en sectores al nivel del mar, se ve afectada por la intrusión de agua salada.

#### **2.2.3.1 Hidrogeología de la formación Cayo**

Las rocas de esta Formación están caracterizadas por su baja porosidad y permeabilidad, lo cual deriva en un bajo potencial para ser un acuífero, todo esto debido a la presencia de lutitas dentro de su litología, lo cual conlleva a catalogar a dicha formación como de baja calidad desde la perspectiva hidrogeológica.

### **2.2.3.2 Hidrogeología del Grupo Ancón**

La formación perteneciente al Grupo Ancón que se encuentra infrayaciendo a la Fm. Tablazos en este sector, se caracteriza por poseer areniscas y lutitas.

Las areniscas tienen mayor presencia que las lutitas, pero a pesar de esto, no basta para catalogarlas como buenos prospectos para acuíferos. Las areniscas se encuentran en estratos gruesos que presentan fracturas pero no se evidencia un favorecimiento en permeabilidad, esto debido a que las fracturas se encuentran rellenas por arenisca muy fina, lo cual se ve afectado aún más por la posición de los estratos aflorantes, que favorecen a la escorrentía superficial, evitando así la infiltración.

En cuanto a las lutitas, éstas se encuentran ampliamente distribuidas, pero sus características de alta porosidad pero con baja permeabilidad no facilitan la formación de acuíferos.

### **2.2.3.3 Hidrogeología de la Formación Tablazo**

Esta Formación cuenta con areniscas compuestas por abundante material organodetrítico. Las características tanto en porosidad como en permeabilidad la hacen óptima para el almacenamiento y circulación de fluidos a través de ella. Se encuentra distribuida en casi toda la superficie de interés.

# CAPITULO 3

## 3 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA R.L.L, INSTALACIONES Y EQUIPOS

### 3.1 Marco teórico

La refinación es una industria la cual demanda de grandes extensiones de espacio que serán destinado para la ubicación de los equipos necesarios para su correcta operación. Teniendo como principal actividad la separación de los derivados del petróleo



Figura 3.1: Componentes básicos de una refinaría

(Fuente: Autores)

### 3.1.1 Petróleo y sus Derivados

El petróleo es una mezcla homogénea de compuestos orgánicos, principalmente hidrocarburos con presencia en ocasiones de azufre, oxígeno y nitrógeno

#### 3.1.1.1 Clasificación del petróleo

El petróleo puede clasificarse según: su composición química, su densidad, o por la cantidad de azufre que posee en su mezcla.

Clasificación por su Grados API		
TIPO	API	DENSIDAD
Súper Ligeros	>34	<0,83 g/cm <sup>3</sup>
Ligero	31,1-34	0,87-0,83 g/cm <sup>3</sup>
Mediano	22,3-31,1	0,97-0,879 g/cm <sup>3</sup>
Pesado	10-22,3	1-0,92 g/cm <sup>3</sup>

Tabla III: Clasificación del petróleo según su densidad

(Fuente: Autores)

Clasificación de los hidrocarburos según los enlaces de sus átomos:



Gráfico 3.1: Clasificación del petróleo según sus enlaces

(Fuente: Autores)

### 3.2 Proceso de producción de la R.L.L

El petróleo utilizado en la R.L.L corresponde a una mezcla entre el petróleo proveniente del Oriente Ecuatoriano (70%), que llega por vía marítima desde el Terminal petrolero de Balao, en Esmeraldas, con el petróleo de Ancón (30%) el cual ha sido transportado por líneas de flujo hasta llevar a la R.L.L para así tener el API adecuado para su correcto funcionamiento dentro de las instalaciones de la R.L.L. (EP.PETROECUADOR, 2010)

La R.L.L posee 3 unidades principales denominadas: Unidad Libertad, Unidad Crucita y Unidad Cautivo, el petróleo que arriba es almacenado en tanques de almacenamiento de la Unidad Cautivo para el abastecimiento a la RLL. En las instalaciones de la RLL se encuentran dos plantas de refinamiento: Universal y Parsons. (Velasco, 2013)

De las unidades de Destilación Atmosférica existentes se extraen los diferentes productos de refinamiento, que son almacenados en tanques ubicados en zonas cercanas a cada una de la plantas

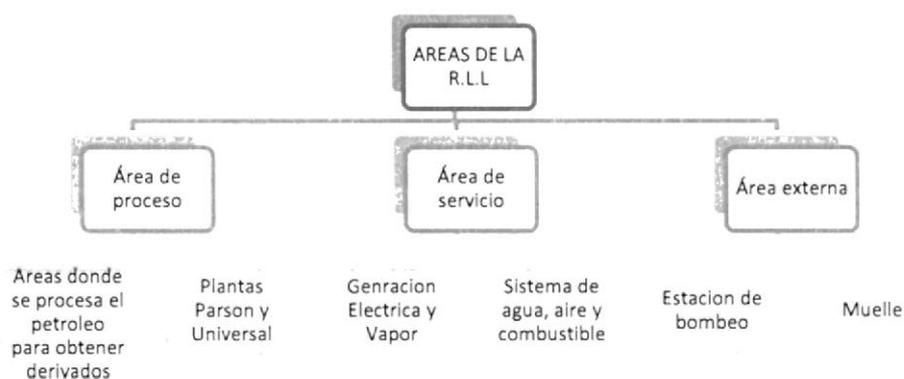


Gráfico 3.2: Áreas de la Refinería la Libertad

(Fuente: Autores)

### **3.2.1 Planta Parsons**

La Planta Parsons ha sido modificada de su diseño original, para manejar 27.000 BPD de crudo de 28,5 a 29,0 API. Esta unidad trabaja tanto con crudo Oriente como con el crudo local. El crudo baja por gravedad desde los tanques, el crudo se precalienta en la serie siguiente de intercambiadores de calor para luego fluir a las bombas booster, hasta el desalador PV10, luego continúa ganando temperatura en los intercambiadores. (Naranjo Rosales, 2011)

### **3.2.2 Planta Universal**

La Planta Universal ha sido modificada de su diseño original, para manejar 10.000 BPD de crudo de 28,5 a 29,0 API. El crudo por gravedad baja desde los tanques 39,40, 41, 42, CP1, 32 Y 33, hasta las bombas de carga CP1A y CP1B. El crudo se precalienta en una serie de intercambiadores y luego fluye al desalados V10. (Naranjo Rosales, 2011)

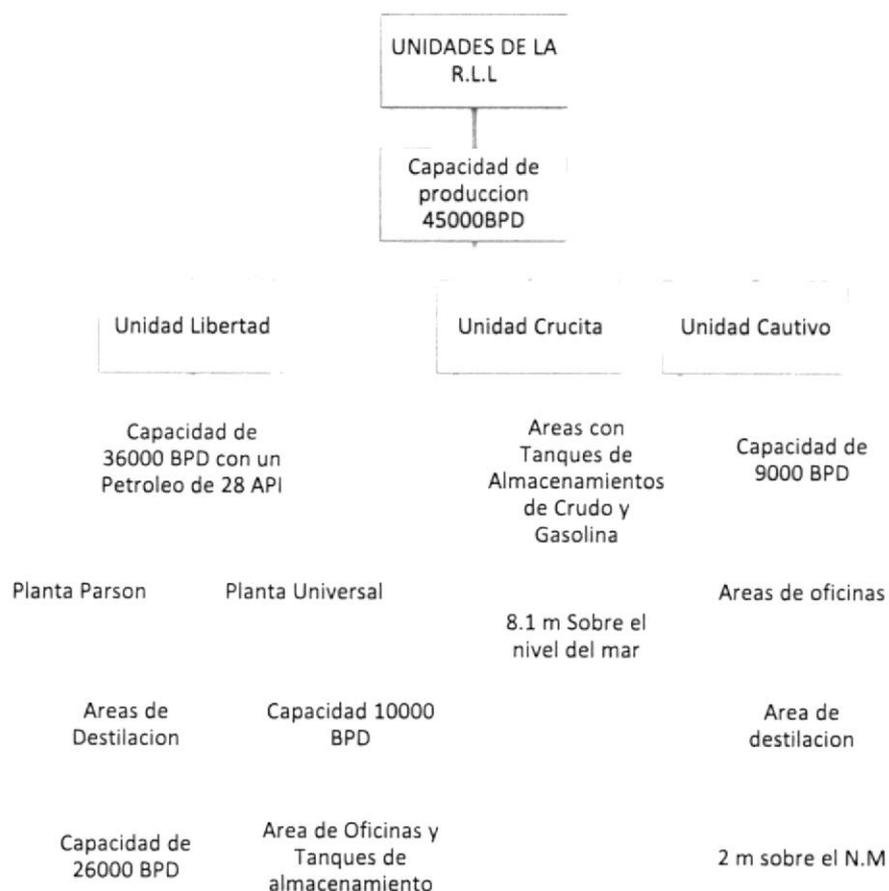


Gráfico 3.3: Unidades de la Refinería La Libertad

(Fuente: Autores-PETROECUADOR)

# CAPITULO 4

## 4 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR SATURACIÓN HIDROCARBURIFERA EN EL ESTRATO ROCOSO

La contaminación medioambiental de los suelos por derrames de hidrocarburos son eventos que con el tiempo se han vuelto muy comunes de observar. Esta contaminación con hidrocarburos es un hecho frecuente en las estaciones de servicio tales como gasolineras, talleres para vehículos, refinerías entre otros, en este caso nos centraremos en el estudio de la saturación de estratos rocosos pertenecientes a la refinería La Libertad, por lo cual describiremos algunos métodos que serán aplicados para nuestro análisis.

### 4.1 Análisis de los Hidrocarburos Totales De Petróleo

Los TPH son una mezcla de compuestos orgánicos conformados por los átomos de hidrogeno y carbono los cuales al entrelazarse forman

los hidrocarburos. Por lo tanto La determinación del TPH es una técnica usada con la finalidad de evaluar los sitios contaminados por dichos hidrocarburos.

La cantidad de hidrocarburos totales de petróleo encontrados en una muestra permite conocer el tipo de contaminación que existe en el sitio. Sin embargo, la cantidad de hidrocarburos totales de petróleo que se mide suministra poca información acerca de cómo estos pueden afectar a la gente, los animales y las plantas. Por lo tanto, se ha dividido a los TPH en grupos de hidrocarburos basado en el comportamiento similar en el suelo o el agua. Dichos grupos son conocidos como fracciones de hidrocarburos del oil o como separación de cadenas, en las cuales cada fragmento contiene muchos componentes individuales. (Caporal, 2009)

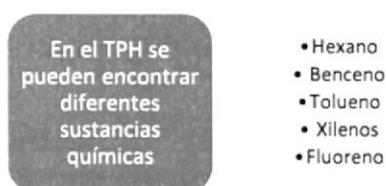


Gráfico 4.1: Hidrocarburos Totales De Petróleo

(Fuente: Autores)

#### 4.1.1 Hidrocarburos totales en suelos

La contaminación del suelo por presencia de hidrocarburos, tiene un gran efecto sobre sus propiedades físicas y químicas ocasionando impedimentos o retardados en el crecimiento de la flora sobre el área contaminada, dichos hidrocarburos tienen consecuencias graves sobre los seres vivos.

La detección del TPH en suelos permite identificar contaminación ya sea por liqueos en tanques de almacenamiento, refinerías de petróleo u otras fuentes de oil. El conocer las características físicas y químicas (porosidad, pH, humedad, temperatura) de un suelo que se ha impactado con hidrocarburos permite diseñar correctamente la biorremediación del lugar contaminado.

La degradación microbiana del oil es mucho menor en los sedimentos que en la columna de agua, y esto se debe a diferentes factores:

- Si el oil se derrama en sobre agua posee un área superficial amplia, por lo tanto esto acelera el ataque y crecimiento microbiano.

- Si el oil se derrama en sedimento estos tienden a acumularse como una delgada película con un área superficial mucho menor, por lo que se reduce la velocidad de biodegradación, en la cual su parte superior es afectada por un proceso denominado bioturbación, el cual consiste en la mezcla constante de sedimentos al ser un área altamente dinámicas.

#### **4.1.2 Fracciones de Hidrocarburos totales de petróleo**

El carbono y el hidrogeno poseen electronegatividades similares, lo que produce un enlace C-H No polar, estos compuestos no polares son compuestos hidrófugos (sustancia que evita la humedad). Los TPH están conformados por 2 tipos de fracciones, los hidrocarburos alifáticos y los aromáticos que fueron explicados en el capítulo anterior.

#### **4.2 Análisis de suelos**

En forma complementaria a una toma de muestra es necesario recolectar información sobre el entorno del punto de muestreo. Uno de los aspectos más importantes es la descripción de los suelos.

### 4.2.1 Análisis Granulométrico

La textura del suelo se refiere a la distribución de las partículas minerales de arena, limo y arcilla en el suelo, el cual está compuesto por minerales que varían en tamaño. Por medio de la Granulometría se determinara el tamaño de agregados del suelo a estudiar:

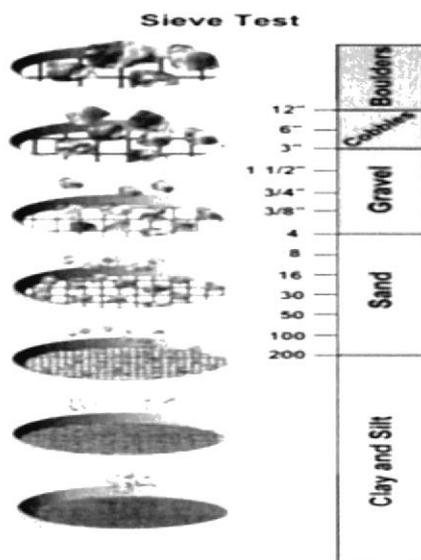


Figura 4.1: Granulometría

(Fuente: Sociedad Geológica Mexicana)

### 4.2.2 Límites de Atterberg

Los límites de atterberg son límites que permiten caracterizar el comportamiento de los suelos o capas granulares. Estos

límites se basan en los 4 estados de consistencia según su humedad: Sólido, Semisólido, Plástico, Fluido. (César García Andreu, 2008)

#### **4.2.2.1 Límite Plástico**

Se denomina plasticidad a la propiedad que presentan algunos suelos de modificar su consistencia en función de la humedad. La plasticidad es una propiedad exclusiva de los suelos finos (arcillas y limos). Los suelos granulares, formados exclusivamente por elementos de granulometría gruesa (arena, gravilla, grava o cantos) no presentan plasticidad. (Frankie, 2013)

Determinación del límite de plasticidad:

1. Colocar aproximadamente 20 g de una muestra representativa de suelo secado al aire, que haya pasado por un tamiz número 40 en un platillo de porcelana
2. Agregue agua de un frasco lavador y revuélvalo
3. Pesar la lata de humedad

4. Del suelo húmedo preparado, separe varias masas de suelo en forma de cilindro moldeándolo con las manos y colóquelas sobre un tabla
5. Moldear hasta obtener cada masa debe estar  $1/8$  de pulgada
6. Al llegar el  $1/8$  de pulgada la muestra se colocara en la lata de humedad, pesarla y ponerla a secar en el horno y nuevamente pesarla.

#### **4.2.2.2 Límite Líquido**

El límite líquido es el máximo contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de humedad el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso

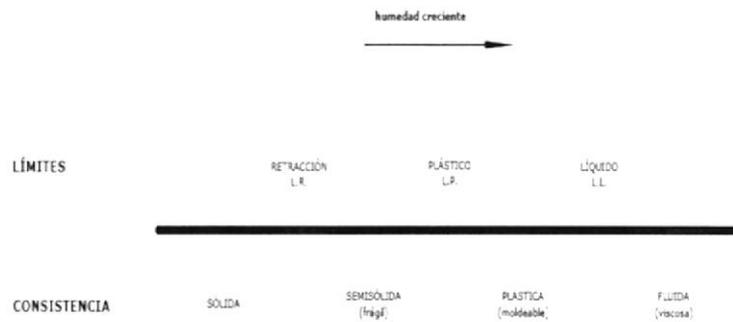


Figura 4.2: Estados de consistencia según su humedad  
(César García Andreu, 2008)

### 4.2.2.3 Índice de plasticidad

El índice plástico resulta de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, permitiendo conocer el rango de humedad en el cual el material tendrá un comportamiento plástico. (César García Andreu, 2008)

### 4.2.3 Análisis Proctor

La compactación es un proceso generalmente mecánico de densificación de un suelo mediante procesos mecánicos que mejoran la resistencia del suelo al corte, reduciendo la relación de vacíos rápidamente. Con este procedimiento se busca que

la densificación obtenida, le permita a la masa de suelo poseer un comportamiento mecánico similar a las de in situ. (B., 2014)

1. Pasar 5 muestra de suelo de 2500 g por un tamiz número 4 para la muestra de la zona de la playa, y 5 muestras de 2500 g por un tamiz número  $\frac{3}{4}$  para la muestra del pozo 26
2. Añadir 0, 100, 200, 300, 400  $cm^3$  de agua destilada, en cada una de las muestras
3. Amasar las muestras humedecidas (la primera no posee agua )
4. Verter la masa al Proctor
5. Compactar las masas, esta estará dividida en 5 capas que serán golpeadas por un martillo para Proctor 25 veces cada capa.
6. Limpiar el fondo recipiente en donde se colocara el Proctor
7. Sacar el collarín del Proctor
8. Limar el cilindro hasta que el suelo quede homogéneo y limpiar el exterior del Proctor, pesar el Proctor y anotar
9. La muestra sobrante en el recipiente será colocado en una tara previamente pesada, pesarla la tara más la muestra, anotar y luego colocarla en el horno.

10. Limpiar y armar el Proctor, luego seguir con las muestras faltantes

#### 4.2.4 Análisis de permeabilidad

El ensayo determina el coeficiente de permeabilidad de una muestra de suelo granular o cohesiva, entendiendo por permeabilidad, la propiedad de un suelo que permite el paso del agua a través de sus vacíos, bajo la acción de una carga hidrostática. No todos los suelos tienen la misma permeabilidad, de ahí que se los haya dividido en suelos permeables e impermeables, estos últimos son generalmente suelos arcillosos, donde la cantidad de escurrimiento del agua es pequeña y lenta. (Geotecnia, 2013)

Permeámetro a carga constante: El permeámetro de carga constante es usado al tener suelos granulares como: gravas, arenas y mezclas de grava y arena, por lo cual se tiene una permeabilidad relativamente alta.

Permeámetro a carga variable: Se usa en suelos poco permeables, tales como: arenas finas, mezcla de arena y limo, limos orgánicos etc. (ESPE, 2014)

### 4.3 Programa de Muestreo

Para la realización de esta investigación se realizó el siguiente organigrama

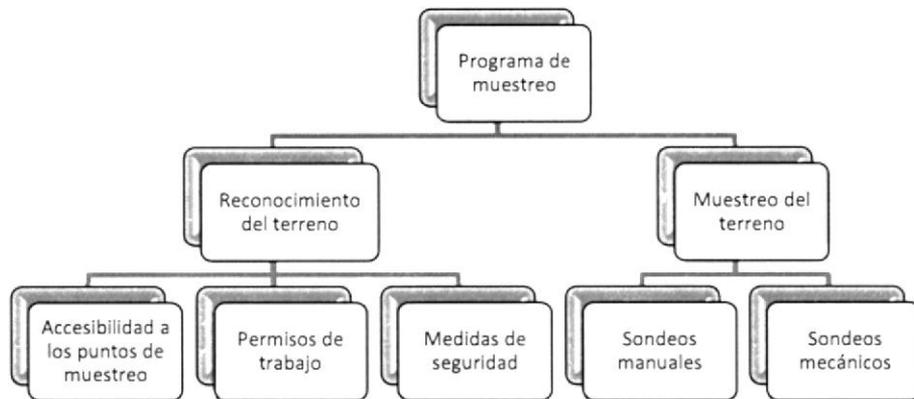


Gráfico 4.2: Programa de muestreo

(Fuente: Autores)

### 4.4 Diseño del muestreo

El diseño de muestreo debe asegurar la obtención de información relevante con un nivel de confiabilidad aceptable de acuerdo al objetivo planteado. Esta información se refiere a la presencia y concentración del contaminante de interés en el emplazamiento a investigar.



Gráfico 4.3: Pasos para la elaboración del diseño de muestreo

(Fuente: Autores)

#### 4.4.1 Selección de los sitios para la perforación

En el año 2005 el CEMA realizó una investigación que consistía en la determinación de las zonas vulnerables y contaminadas dentro de la Refinería La Libertad, en la cual se realizaron 80 perforaciones en las unidades Libertad y Cautivo, de las cuales se pudo determinar las zonas con mayor grado de contaminación. (CEMA, 2005)



Figura 4.3: Ubicación de las perforaciones del CEMA 2005

(Fuente: Google Earth 2015 – CEMA)

#### 4.4.2 Puntos de Muestreo

En base a los resultados del estudio realizado por el CEMA se escogió estratégicamente las nuevas coordenadas para la realización de las calicatas, que permitirían observar y comparar la migración de hidrocarburos que ha sufrido el estrato rocoso de la R.L.L desde el 2005.



Figura 4.4: Zona de Interés

(Fuente: Google Earth 2015 – CEMA)

La selección de cada sitio de perforación dependió de:

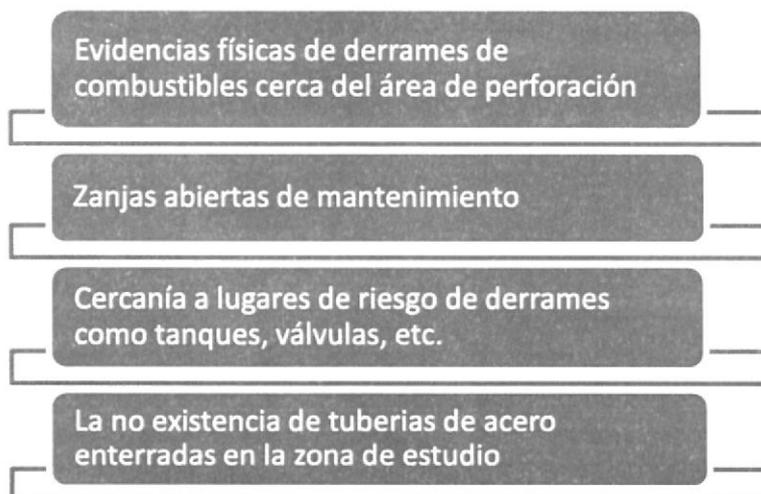


Gráfico 4.4: Criterios para la elección de las zonas de interés

(Fuente: Autores)



Figura 4.5: Focos de contaminación de la R.L.L

(Fuente: Autores)

Para poder perforar en las zonas de estudio señaladas se procedió al descarte de metales en el subsuelo por medio del detector de metales modelo Garrett

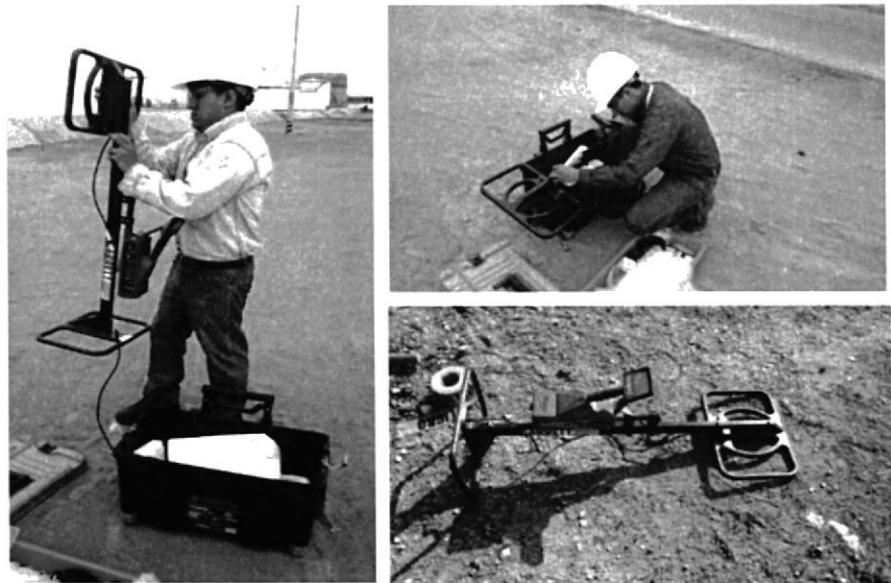


Figura 4.6: Equipo para detección de metales en el subsuelo

(Fuente: Autores)

#### 4.4.2.1 Elementos del Diseño de Muestreo

Un diseño de muestreo debe considerar tres elementos básicos

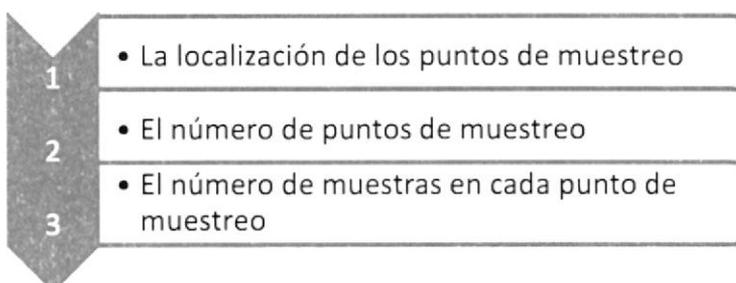


Gráfico 4.5: Elementos básicos de un diseño de muestreo

(Fuente: Ministerio del ambiente del Ecuador MAE)

Por lo cual dada la Grafica 4.5 existen 3 zonas de interés por lo que requiere de 6 perforaciones en el suelo a distintos niveles de profundidad, tomando hasta 2 muestras por cada estrato que se logre perforar en cada uno de los pozos, estas perforaciones corresponden a las siguientes coordenadas:

POZO	PROFUN- DIDAD	COORDENADAS		OBSERVACIONES
Muestra 1 PS 17A	1 m	0510781	9754647	Sector La Carioca
Muestra 2 PS 17A	2 m	0510781	9754647	Sector La Carioca
Muestra 3 PS 17A	2,5 m	0510781	9754647	Sector La Carioca
Muestra 4 PS 17B	2 m	0510767	9754640	Sector La Carioca
Muestra 5 PS 17B	1 m	0510767	9754640	Sector La Carioca
Muestra 6 Pozo 26	0,5 m	0510925	9754520	Sector La Carioca
Muestra 7 Pozo Inf.	2,5 m	0510796	9754838	Sector Playa
Muestra 8 Pozo 2	1 m	0511068	9754469	Sección Tanques De Almacenamiento
Muestra 9 Pozo 2	2 m	0511068	9754469	Sección Tanques De Almacenamiento
Muestra 10 Pozo 1	1 m	511140	9754460	Sección Piscinas
Muestra 11 Pozo 1	2 m	511140	9754460	Sección Piscinas

Tabla IV: Coordenadas de las calicatas realizadas, Diciembre 2015

(Fuente: Autores)

#### 4.4.3 Zonas Vulnerables

Las zonas aledañas a la refinería la libertad son las más vulnerables tales son: Batallón de Infantería 14 Marañón, Puerto Nuevo, la Cda. Santa María



Figura 4.7: Jardín junto a la Refinería La Libertad

(Fuente: Autores)

#### 4.5 Características del muestreo

Las perforaciones de los pozos se inició a nivel de terreno en algunos sectores y en otros dentro de zanjas previamente existentes en las que se encuentran instaladas tuberías de transporte de hidrocarburos, se perforo hasta 2 metros de profundidad o hasta alcanzar el nivel freático, en las cuales se tomaron muestras de suelo metro a metro y cuando se llegaba al nivel freático se tomaba muestras de agua. Luego todas las muestras fueron llevadas al laboratorio para realizarles los respectivos análisis correspondientes, descritos en la sección anterior.



Figura 4.8: Suelo contaminado a 0,5 m cerca de tanques de almacenamiento  
(Fuente: Autores)

# CAPÍTULO 5

## 5 RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS A LAS MUESTRAS DE SUELO DE LA REFINERIA LA LIBERTAD

### 5.1 Resultados del análisis de TPH

Muestra #1: Profundidad 1m - PS17A

Coordenadas Geográficas: 0510781 - 9754647

Parámetro	Unidades	Resultado	U K=2	Valor máximo permisible	Método de análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (#)	mg/kg	191,97	---	No Especifica	5220 F

Tabla V: Resultado De TPH en l muestra #1

(Fuente: ELICROM)

Muestra #2: Profundidad 2m - PS17A

Coordenadas Geográficas: 0510781 - 9754647

Parámetro	Unidades	Resultado	U K=2	Valor máximo permisible	Método de análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (#)	mg/kg	72,10	---	No Especifica	5220 F

Tabla VI: Resultado De TPH en I muestra #2

(Fuente: ELICROM)

Muestra #3: Profundidad 2,5 m - PS17A

Coordenadas Geográficas: 0510781- 9754647

Parámetro	Unidades	Resultado	U K=2	Valor máximo permisible	Método de análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (#)	mg/kg	59,08	---	No Especifica	5220 F

Tabla VII: Resultado De TPH en I muestra #3

(Fuente: ELICROM)

Muestra #4: Profundidad 2 m

Coordenadas Geográficas: 0510767- 9754640

Parámetro	Unidades	Resultado	U K=2	Valor máximo permisible	Método de análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (#)	mg/kg	147,00	---	No Especifica	5220 F

Tabla VIII: Resultado De TPH en l muestra #4

(Fuente: ELICROM)

Muestra #5: Profundidad 1 m

Coordenadas Geográficas: 0510767- 9754640

Parámetro	Unidades	Resultado	U K=2	Valor máximo permisible	Método de análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (#)	mg/kg	122,75	---	No Especifica	5220 F

Tabla IX: Resultado De TPH en l muestra #5

(Fuente: ELICROM)

Muestra #6: Profundidad 45 cm – Pozo 26

Coordenadas Geográficas: 0510425 E; 9754520 N

Parámetro	Unidades	Resultado	U K=2	Valor máximo permisible	Método de análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (#)	mg/kg	2930,13	---	No Especifica	5220 F

Tabla X: Resultado De TPH en l muestra #6

(Fuente: ELICROM)

Muestra #7: Profundidad 2,5 m - Playa

Coordenadas Geográficas: 0510796- 9754838

Parámetro	Unidades	Resultado	U K=2	Valor máximo permisible	Método de análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (#)	mg/kg	103,07	---	No Especifica	5220 F

Tabla XI: Resultado De TPH en l muestra #7

(Fuente: ELICROM)

Muestra #8: Profundidad 1 m – Pozo 2

Coordenadas Geográficas: 0511068- 9754469

Parámetro	Unidades	Resultado	U K=2	Valor máximo permisible	Método de análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (#)	mg/kg	56,67	---	No Especifica	5220 F

Tabla XII: Resultado De TPH en I muestra #8

(Fuente: ELICROM)

Muestra #9: Profundidad 2 m – Pozo 2

Coordenadas Geográficas: 0511068- 9754469

Parámetro	Unidades	Resultado	U K=2	Valor máximo permisible	Método de análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (#)	mg/kg	100,04	---	No Especifica	5220 F

Tabla XIII: Resultado De TPH en I muestra #9

(Fuente: ELICROM)

Muestra #10: Profundidad 1 m – Pozo 1

Coordenadas Geográficas: 0514626- 9755430

Parámetro	Unidades	Resultado	U K=2	Valor máximo permisible	Método de análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (#)	mg/kg	1186,87	---	No Especifica	5220 F

Tabla XIV: Resultado De TPH en l muestra #10

(Fuente: ELICROM)

Muestra #11: Profundidad 2 m – Pozo 1

Coordenadas Geográficas: 0514626 - 9755430

Parámetro	Unidades	Resultado	U K=2	Valor máximo permisible	Método de análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (#)	mg/kg	1067,11	---	No Especifica	5220 F

Tabla XV: Resultado De TPH en l muestra #11

(Fuente: ELICROM)

## 5.2 Resultados De Límites de Atterberg

Zona	Coordenadas		Muestras	Descripción	Límites de Atterbert		
	Este	Norte			LL	LP	IP
La Carioca	510781	9754647	2	Terreno Natural	57	24	33
Tanques de alm.	511068	9754469	1	Terreno de Relleno	25	22	3
Playa	510796	9754838	1	Arena	No Plástico		

Tabla XVI: Resultado De Límites de Atterberg

Fuente: (Moreno, 2015)

## 5.3 Resultados De Granulometría

Zona	Coordenadas		Muestras	Descripción	Granulometría		
	Este	Norte			N°10	N°40	N°200
La Carioca	510781	9754647	2	Terreno Natural	99,83	97,79	62,34
Tanques de alm.	511068	9754469	1	Terreno de Relleno	86,5	81,34	47,76
Playa	510796	9754838	1	Arena	91,35	40,96	7,38

Tabla XVII: Resultado De Granulometría

Fuente: (Moreno, 2015)

## 5.4 Resultados De Proctor

Zona	Coordenadas		Muestras	Descripción	Proctor	
	Este	Norte			Y	w
La Carioca	510781	9754647	2	Terreno Natural	1613	16,8
Tanques de alm.	511068	9754469	1	Terreno de Relleno	1750	13,5
Playa	510796	9754838	1	Arena	----	----

Tabla XVIII: Resultado De Proctor

Fuente: (Moreno, 2015)

## 5.5 Resultados de Permeabilidad

Zona	Coordenadas		Muestras	Descripción	Permeabilidad
	Este	Norte			
La Carioca	510781	9754647	2	Terreno Natural	7,09E-0,5
Tanques de alm.	511068	9754469	1	Terreno de Relleno	----
Playa	510796	9754838	1	Arena	1,15E-0,1

Tabla XIX: Resultado De Proctor

Fuente: (Moreno, 2015)

# CAPÍTULO 6

## 6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Perforaciones y calicatas han permitido diferenciar tres unidades litológicas, primero el material de relleno arcillo-arenoso, seguido por sedimentos arenosos y una capa más profunda de rocas arenosas bioclásticas, los cuales se ubican en profundidades aproximadas de hasta 1 m, 1,75 m y 2,5 m respectivamente.

### 6.1 Identificación de zonas contaminadas con hidrocarburos

Según la "NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS" expedida por el Ministerio de Ambiente del Ecuador, el valor permisible máximo de TPH en suelos destinados a usos Industriales es de 200 mg/kg de concentración en peso seco de suelo.

Basado en esto podemos identificar las muestras que al sobrepasar dicho valor establecido, pueden considerarse como suelo contaminado, lo cual se detalla en la tabla a continuación:

Sector de Calicata	Muestra	Profundidad (m)	TPH (mg/kg)	Condición del suelo
La Carioca 1	1	1	191,97	No contaminado
	2	2	72,10	No contaminado
	3	2,5	59,08	No contaminado
La Carioca 2	4	2	147,00	No contaminado
	5	1	122,75	No contaminado
Tanques de Almacenamiento	6	0,45	2930,13	Contaminado
Playa	7	2,5	1103,07	Contaminado
Tanques de almacenamiento	8	1	56,67	No contaminado
	9	2	100,04	No contaminado
Piscinas	10	1	1186,87	Contaminado
	11	2	1067,11	Contaminado

Tabla XX: Identificación por muestras consideradas contaminadas por hidrocarburos

(Fuente: Autores)

Identificamos tres zonas con problemas de contaminación que corresponden al área de tanques de almacenamiento, playa, y piscinas de desechos. Encontrándose estas dos últimas muy cercanas a zonas tanto residenciales como turísticas del Cantón La

Libertad, por lo cual supone un grave peligro para la salud de sus habitantes.

La concentración y desplazamiento de derivados de hidrocarburo se presenta en la unidad 1 de relleno, sin embargo, existe un alto riesgo de que la contaminación acelere su migración por estar cerca del nivel freático hasta el mar y se genere un daño mayor.

### MAPA DE CONCENTRACIÓN DE TPH



Figura 6.1: Mapa de concentración de TPH en Unidad Libertad

(Fuente: Google Earth- Autores)

## MAPA DE CONCENTRACIÓN DE TPH (2015)

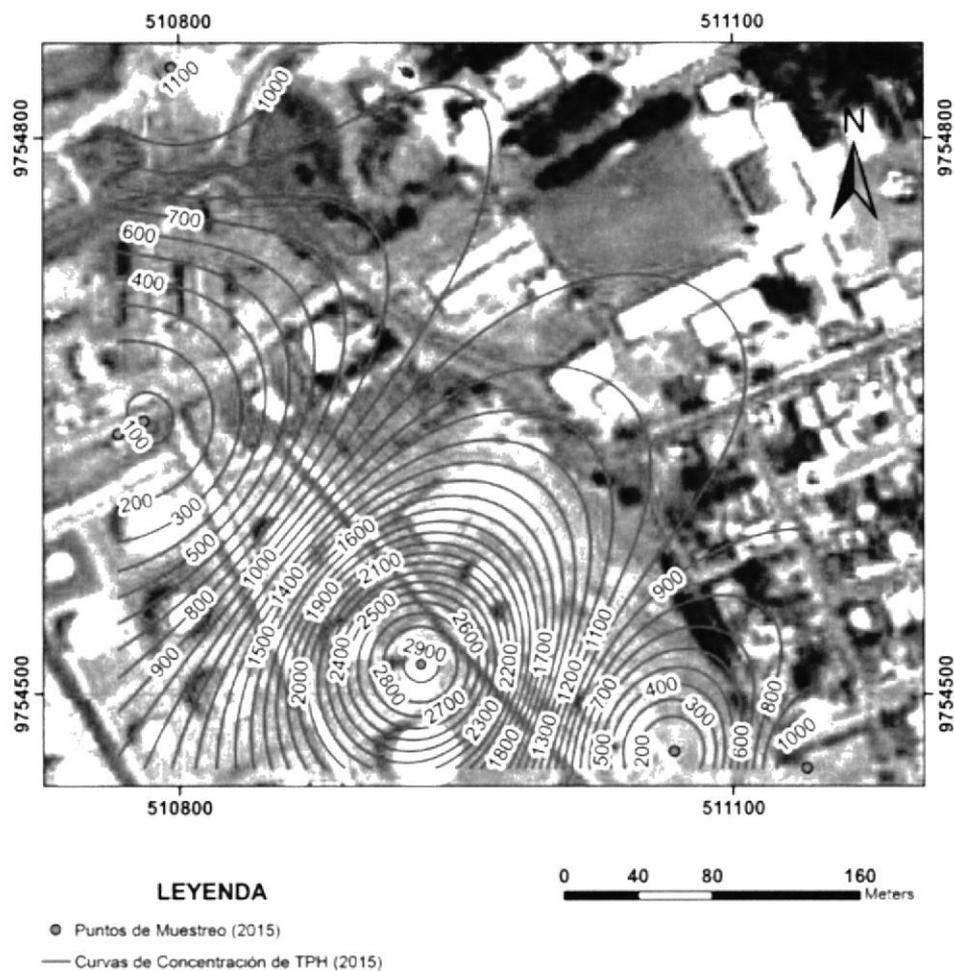


Figura 6.2: Acercamiento de la zona de interés

(Fuente: Google Earth- Autores)

### 6.1.1 Contaminación por fugas en zona de tuberías

Durante la inspección visual de las instalaciones de la RLL, se pudieron identificar filtraciones de hidrocarburos en la zona de

tuberías, especialmente en las uniones bridadas y las válvulas de compuerta, las cuales aunque se ubican dentro de canales de cemento, la base no se encuentra impermeabilizada y existe un contacto directo entre el hidrocarburo y el suelo, como se aprecia en la siguiente figura.



Figura 6.3: Contaminación por lı́quidos en uniones bridadas y válvulas

(Fuente: Autores)

Actualmente la RLL se encuentra efectuando una excavación del suelo contaminado en estos canales con tuberías para posteriormente impermeabilizar la base con cemento.

### 6.1.2 Contaminación en zona de aljibes

Otra fuente de contaminación lo constituyen las piscinas de desechos, denominadas “aljibes”, que no están

adecuadamente impermeabilizadas en la base y filtran directamente al subsuelo (Figura 6.4), lo cual a largo plazo puede generar graves problemas de contaminación de las aguas subterráneas.



Figura 6.4: Contaminación del suelo por filtración en las bases de los aljibes

(Fuente: Autores)

Las aljibes constituyen un problema especialmente grave debido a que como se aprecia en la Figura 6.4 , existen residencias apenas a pocos metros de este foco de contaminación y la emanación de gases de aromáticos pueden causar a mediano plazo, serios problemas en la salud de los moradores del barrio La Carioca.

### 6.1.3 Contaminación en zona de playa

La zona de playa se ubica frente al BIMOT-14 “Marañón” y según nuestros estudios parece ser el punto de encuentro de la migración de hidrocarburos con el Océano Pacífico. Durante la excavación de calicatas se pudo percibir una fuerte emanación de gases, y a una profundidad de 2,5 m fue claramente visible la presencia de hidrocarburos líquidos, lo cual se corroboró posteriormente con los resultados de TPH. Además del batallón militar, existe un jardín de niños que se ubica unos escasos 150 m de la zona de playa, desde allí también es perceptible un fuerte olor a hidrocarburo. Esto es especialmente alarmante ya que los niños podrían intoxicarse por la presencia de vapores de aromáticos. Actualmente el jardín se mantiene cerrado.

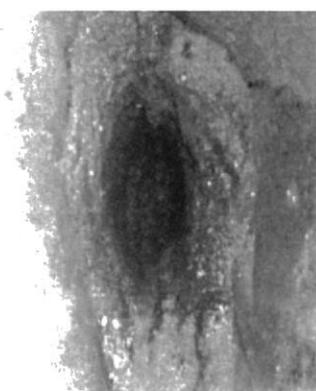


Figura 6.5: Vista en planta del punto de muestreo cerca a la playa

(Fuente: Autores)



Figura 6.6: Obtención de las muestras en el sector de la playa

(Fuente: Autores)



Figura 6.7: Excavación de calicatas en zona de playa

(Fuente: Autores)

## 6.2 Correlación Zonas de estudio - Permeabilidad

Sector de Calicata	Muestra	Profundidad (m)	TPH (mg/kg)	Condición del suelo	K avg
La Carioca	1	1	191,97	No contaminado	7,09E-0,5
	2	2	72,10	No contaminado	
	3	2,5	59,08	No contaminado	
	4	2	147,00	No contaminado	
	5	1	122,75	No contaminado	
Playa	7	2,5	1103,07	Contaminado	1,15E-0,1
Tanques de almacenamiento	8	1	56,67	No contaminado	-----
	9	2	100,04	No contaminado	

Tabla XXI: Correlación K avg- Zonas de estudio

(Fuente: Autores)

# CAPÍTULO 7

## 7 REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS

Las actividades antropogénicas con frecuencia provocan consecuencias ambientales especialmente observables en el suelo, por ser éste el primer punto de contacto de una fuga accidental de sustancias líquidas o sólidas que pueden ser tóxicas. Si bien el suelo no es un medio importante en la dispersión de contaminantes, en combinación con el agua y en menor medida con el aire se transforma en un agente dispersante de la contaminación presente (Coria, 2007).

Un suelo contaminado es aquel cuyas características han sido alteradas negativamente por la presencia de compuestos químicos de carácter peligroso de origen antropogénico, en concentraciones que superan los Niveles Genéricos de Referencia y que conllevan a un riesgo inaceptable

para la salud humana o el medio ambiente (Ministerio de la Presidencia Española, 2005).

La industria petrolera a lo largo de la historia se ha visto implicada lamentablemente en muchos casos de contaminación a gran escala que han generado fuertes impactos ambientales y en la salud de los seres humanos, caso histórico de Texaco en el Oriente, sin embargo para nuestra área de estudio en Santa Elena hay emanaciones naturales de hidrocarburos en sitios densamente poblados.

### **7.1 Tecnologías de remediación de suelos contaminados por hidrocarburos**

Existen diversos métodos de remediación ambiental que se han venido desarrollando y probando su eficacia para los diferentes casos de contaminación, algunos son adecuados para limpiar suelos contaminados o acuíferos subterráneos; mientras que otros son adecuados para la limpieza de líneas costeras. Estos procesos varían significativamente en el grado de contaminación que pueden remover, en el tiempo que requieren, y en los costos asociados. Una limpieza exitosa quizá requiera de una combinación de métodos de remediación (Peters & Wentz, 1991).

Podemos clasificar en dos grandes grupos a los métodos de remediación, los cuales son descritos en la Tabla XXII.

<b>Técnicas tradicionales</b>	<b>Técnicas Innovadoras</b>
Incineración	Extracción de vapores del suelo
Mezclar, enterrar y cubrir	Aspersión de aire
Dispersión sobre el terreno	Desorción química
Solidificación	Deshalogenación química
Reuso y Reciclado	Enjuague del suelo in situ
	Extracción con solvente
	Lavado del suelo
	Medidas Fitocorrectivas
	Biorremediación

Tabla XXII: Clasificación de técnicas de remediación de suelos contaminados por hidrocarburos

(Fuente: Centro de Investigaciones del Petróleo de Cuba. J. Álvarez, M. Díaz, 2003)

Sin embargo, en este estudio nos direccionamos en las técnicas consideradas aplicables para la remediación del suelo contaminado de la Refinería de La Libertad son:

### **7.1.1 Excavación**

Para pequeñas zonas, todo el suelo contaminado puede ser excavado. El suelo excavado puede entonces ser tratado por otro método de remediación. El beneficio principal de la excavación es la seguridad de que todo el contaminante ha sido removido, lo cual evita de responsabilidades futuras por realizar una mala remediación del suelo (Campbell & Akers, 1990).

### **7.1.2 Oxidación in situ**

Consiste en aplicar un químico oxidante como el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) o el permanganato de potasio ( $KMnO_4$ ) en el subsuelo, con el objetivo de transformar los contaminantes en sustancias menos peligrosas. Entre sus desventajas está el hecho de que es muy costoso y puede generar impactos secundarios al ambiente (Hulling & Pivetz, 2006).

### **7.1.3 Incineración**

Se somete el suelo contaminado con hidrocarburos a altas temperaturas ( $1200\text{ }^{\circ}C$ ) para que los contaminantes se

evaporen y se quemen luego en condiciones controladas. Se requiere la depuración de gases. La disposición final de los suelos contaminados puede hacerse en hornos de cemento por la técnica denominada valorización de residuos lo que permite una eliminación segura de pasivos ambientales. (Coria, 2007)

#### **7.1.4 Extracción de vapor del suelo**

Los compuestos volátiles se remueven en fase vapor del suelo mediante la obtención de un gradiente de presión/concentraciones realizado a través de pozos de extracción. Se aplica para combustibles volátiles pero no es adecuado para aceites, e hidrocarburos pesados. Es una opción poco costosa aplicable a suelos con alta permeabilidad, sin embargo se debe considerar que los gases extraídos requerirán posteriormente un tratamiento y los líquidos residuales tratamiento y disposición final (Coria, 2007).

### **7.1.5 Biorremediación**

La degradación biológica puede ser usada en algunos sitios para remover hidrocarburos del suelo. Los suelos fértiles generalmente contienen más de un millón de bacterias degradadoras de hidrocarburos por gramo de suelo seco (Testa & Winegardner, 1991).

Durante la biodegradación de los hidrocarburos del petróleo las bacterias oxidan el petróleo a dióxido de carbono, agua y energía, y aproximadamente 50 % del carbono en el petróleo es usado para biomasa bacteriana (Bartha & Sharabi, 1993).

## **7.2 Plan de remediación propuesto para el caso de la RLL**

Debido a las características antes analizadas será necesario implementar una combinación de excavación junto con biorremediación, así como crear barreras que impidan el avance de la migración de los hidrocarburos contaminantes.

### **7.2.1 Excavación y remoción de suelo contaminado**

Debido a que la Refinería La Libertad se encuentra enclavada dentro del área urbana de la ciudad, es necesario remover y trasladar los suelos contaminados hasta una zona adecuada para su posterior tratamiento, en este caso sería la zona de “land farming” del que dispone la refinería. Las zonas a excavar serían las correspondientes al suelo sin impermeabilizar de las piscinas de residuos, por lo cual se recomienda vaciar los residuos en piscinas o tanques provisionales. La remoción de suelo debe continuar hasta la profundidad en que las muestras de suelo muestren niveles aceptables de concentración de hidrocarburos (TPH)

En aquellos lugares donde existe liqueo y filtración de hidrocarburos hacia el suelo como la zona de tuberías de transporte a lo largo de la Refinería donde no es posible realizar la excavación por medio de maquinaria pesada, se deberá proceder manualmente.

### **7.2.2 Eliminación de fuentes de contaminación**

Es importante atacar la causa del problema que corresponde a las fugas en las uniones bridadas de tubería y demás accesorios debido a fallas en las empacaduras. Además se ha identificado liqueo en las válvulas de compuerta instaladas a lo largo de las tuberías, se recomienda revisar si también hay problema en las empacaduras, de ser así cambiarlas.

Otra medida importante es la de impermeabilizar las piscinas con geomembranas o con una capa de concreto una vez que se ha concluido la etapa de excavación para evitar nuevas filtraciones.

### **7.2.3 Biorremediación**

La última etapa de la remediación ambiental será la de tratar el suelo contaminado que ha sido transportado a un área previamente impermeabilizada con geomembranas, para garantizar que no se produzca la filtración y contaminación de la zona de tratamiento. La biorremediación aplicada para este caso consistiría en utilizar las bacterias degradadoras de

hidrocarburos ya presentes en el suelo contaminado para renovarlo y poder ser liberado nuevamente al ambiente.

Para ello primero se debe homogenizar el suelo contaminado en montones de tierra, para posteriormente recibir una aireación mecánica en la cual se le agregará fertilizantes nitrogenados (urea, fosfatos, etc.) que servirán de nutrientes y acelerarán el crecimiento de las bacterias degradadoras del hidrocarburo.

El suelo se debe ir colocando sobre geomembranas formando biopilas, a las que se debe colocar una tubería para posteriores inyecciones de aire para estimular la acción bacteriana. Adicionalmente se debe colocar una tubería para liberar los gases producto de la digestión bacteriana y se toman muestras tanto del fondo como de la superficie de la biopila para determinar el punto de inicio de la remediación para la misma. De esta forma se llevará un control de la velocidad con la que las bacterias van degradando el hidrocarburo.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CONCLUSIONES

1. El área de estudio no presenta fallas geológicas ni diaclasas que sean considerables, por lo que la migración del hidrocarburo, proveniente de la refinería, no está asociado a dichas fracturas. Al realizar los muestreos a varias profundidades se determinó que la migración se lleva a cabo en el suelo (material de relleno no litificado), ya que el fluido no alcanza el plano de estratificación de la roca.
2. Se han identificado tres zonas con una saturación de hidrocarburo en el suelo por encima de los niveles máximos permisibles dictados por el Ministerio del Ambiente del Ecuador; estos comprenden la zona de playa, aljibes y tanques de almacenamiento.
3. Las zonas con suelo contaminado de la playa y aljibes se ubican cerca de áreas residenciales, escolares y turísticas por lo cual supone un alto riesgo de afectación a la salud pública.
4. La comparación de los mapas de saturación de TPH obtenidos durante el estudio del CEMA en el 2005 y el realizado en el presente trabajo ha permitido evidenciar una disminución clara de la saturación de

hidrocarburos en los suelos contaminados, por lo cual podemos concluir que las acciones de remediación efectuadas por la RLL han dado resultados positivos.

## **RECOMENDACIONES**

1. Realizar un nuevo muestreo de mayor densidad de calicatas y a mayores profundidades, para verificar que la pluma de contaminación no ha migrado a través de estratos más profundos.
2. Tomar muestras de suelo y realizarles un análisis para determinar las concentraciones y tipos de bacterias presentes, que corroboren la factibilidad de la biorremediación como método eficaz para el tratamiento del suelo contaminado.
3. Tener precaución al seleccionar los puntos donde se van a realizar las calicatas, ya que al no existir un mapa detallado de las antiguas instalaciones subterráneas de la RLL se puede perforar alguna tubería abandonada con acumulación de gases y producirse una explosión, por lo cual se recomienda perforar con cuidado y apoyarse con el uso de un detector de metales

4. Durante la perforación de calicatas se debe contar con equipo de seguridad y protección necesario para evitar intoxicaciones por emanación de gases.
5. Almacenar herméticamente las muestras para evitar que su composición sea alterada por algún agente externo.
6. La RLL debe llevar un control de los liqueos de las uniones bridadas de la tubería y válvulas, así como impermeabilizar los canales donde se acumulan estos hidrocarburos.
7. Se deben impermeabilizar las bases de los aljibes o piscinas de residuos para evitar que continúe la filtración de hidrocarburos al suelo.

## **ANEXOS**

Fotos durante la obtención de muestras para TPH



FOTO 1 (Armado del equipo detector de metales)



FOTO 2 (Perforación manual de calicata en zona de tanques de almacenamiento)



*FOTO 3 (Suelo contaminado en pozo 26)*



*FOTO 4 (Calicata ubicada en la zona de tanques de almacenamiento)*



*FOTO 5 (Medición de espesor de unidades litológicas)*



*FOTO 6 (Medición de espesor de unidades litológicas)*



*FOTO 7 (Tamizado de muestras durante ensayos de granulometría)*



*FOTO 8 (Durante el ensayo PROCTOR)*



*FOTO 9 (Secado de muestras durante ensayo PROCTOR)*



*FOTO 10 (Tamizado de muestras durante ensayo de granulometría)*

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Azad, P. (1973). *Sand and Sandstone*. Duncan.
2. Bartha, R., & Sharabi, N. E.-D. (Abril de 1993). Testing of Some Assumptions about Biodegradability in Soil. *APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY*, 59(4), 1201-1205. Recuperado el 03 de Febrero de 2015, de <http://aem.asm.org/content/59/4/1201.full.pdf>
3. Benavides López de Mesa, J., Quintero, G., Guevara Vizcaíno, A. L., Jaimes Cáceres, D. C., Gutiérrez Riaño, S. M., & Miranda García, J. (22 de Junio de 2006). *Bioremediación de suelos contaminados con derivados del petróleo*. *NOVA*, 4(5), 82-89. Recuperado el 01 de Febrero de 2015, de <http://www.unicolmayor.edu.co/publicaciones/index.php/nova/article/view/60/118>
4. B., I. D. (10 de 4 de 2014). *Acadmeica edu*. Obtenido de [http://www.academia.edu/6929063/Ensayo\\_de\\_compactaci%C3%B3n\\_proctor\\_modificado](http://www.academia.edu/6929063/Ensayo_de_compactaci%C3%B3n_proctor_modificado)
5. Bristow, & Hoffstetter. (1977). *Lexique Stratigrafique Internacional*. París.
6. Campbell, R. E., & Akers, R. T. (23-26 de Septiembre de 1990). Characterization and Cleanup of Chromium-Contaminated Soil for

- Compliance with CERCLA at the Naval Petroleum Reserve . *SPE*(1).  
Recuperado el 04 de Febrero de 2015
7. Cañadas, L. (1983). *El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador*. Quito.
  8. Caporal, A. M. (14 de 9 de 2009). *DETERMINACIÓN DE HIDROCARBUROS TOTALES DEL PETRÓLEO EN SUELOS Y SEDIMENTOS DE LA CUENCA DEL RÍO COATZACOALCOS*.  
Obtenido de  
<http://cdigital.uv.mx/bitstream/12345678/915/1/Arizbeth%20Melanie%20Aleman%20Caporal.pdf>
  9. CEMA. (2005). *Contaminacion de la Refineria la libertad* . Guayaquil .
  10. Centro de Investigaciones Geológicas de Guayaquil. (2006). *Micropaleontología ecuatoriana*. Guayaquil.
  11. Coldman, S. (1931). *Stratigraphy of Southwest Ecuador and Ancón oil field studie*. Houston.
  12. Coria, I. (Agosto de 2007). Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. *UAIS*, 1-7. Recuperado el 03 de Febrero de 2015, de <http://www.sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/ing/uais-iga-600-001%20-%20remediacion.pdf>
  13. Dickinson, W., & Seely, D. (1979). Structure and Stratigraphy of fore-arc regions. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 2-31.

14. EP.PETROECUADOR. (15 de 3 de 2010). *Documents*. Obtenido de [http://www.eppetroecuador.ec/idc/groups/public/documents/peh\\_otros/000546.pdf](http://www.eppetroecuador.ec/idc/groups/public/documents/peh_otros/000546.pdf)
15. ESPE. (15 de 7 de 2014). Obtenido de <http://noticias.espe.edu.ec/hfbonifaz/files/2012/09/PERMEABILIDAD.pdf>
16. Frankie. (6 de 1 de 2013). *Estudios Geotécnicos* . Obtenido de Geosupport.com:  
<http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/descriptores-geotecnicos-5-plasticidad-limites-de-atterberg-y-consistencia/>
17. Geotecnia, L. d. (10 de 5 de 2013). Obtenido de [http://icc.ucv.cl/geotecnia/03\\_docencia/02\\_laboratorio/manual\\_laboratorio/permeabilidad.pdf](http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/permeabilidad.pdf)
18. González, M. (16 de 12 de 2011). *La Guía* . Obtenido de [fisica.laguia2000.com/complementos-matematicos/mecanica-de-suelos-determinacion-de-la-permeabilidad](http://fisica.laguia2000.com/complementos-matematicos/mecanica-de-suelos-determinacion-de-la-permeabilidad)
19. Huling, S. G., & Pivetz, B. E. (2006). In-Situ Chemical Oxidation. *EPA*, 1. Recuperado el 19 de Febrero de 2015, de <http://www.cluin.org/download/contaminantfocus/pcb/ISCO-600R06072.pdf>
20. Lonsdale, P. (1978). Ecuadorian Subduction System. *AAPG Bulletin*, 2454-2477.

21. López Orrala, F. E. (2000). *Respuestas de las Formaciones Santo Tomás y Atalanta del Grupo Ancón al fracturamiento hidráulico, análisis estadístico e indicaciones para el fracturamiento*. Guayaquil.
22. Marchant, S. (1956-1961). *A note on stratigraphical nomenclature in SW Ecuador*.
23. Ministerio de la Presidencia Española. (2005). *Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados*. Madrid: Boletín Oficial del Estado.
24. Mora, J. G. (1 de 2 de 2015). *tecdigital*. Obtenido de [http://tecdigital.tec.ac.cr/file/3547207/Informe\\_3.\\_Juan\\_Gabriel\\_Valenciano\\_Mora\\_200962323+REV.pdf](http://tecdigital.tec.ac.cr/file/3547207/Informe_3._Juan_Gabriel_Valenciano_Mora_200962323+REV.pdf)
25. Naranjo Rosales, W. R. (2011). *LICITACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS Y SE PRESENTARA LA MANERA COMO OPERARA ESTE SISTEMA, CON EL FIN DE TENER MAYOR SEGURIDAD INDUSTRIAL EN LAS UNIDADES "LA LIBERTAD" Y "CRUCITA" DE LA REFINERÍA*. Guayaquil .
26. PACIFPETROL. (2008). *Estudio Geológico de la Formación Atlanta en el Área gasífera Navarra*.
27. PACIFPETROL. (2008). *Sísmica y Geología del Área Navarra*. Guayaquil.

28. Peters, R. W., & Wentz, C. A. (1991). *Remediation of Oil Field Wastes, Advances in Filtration and Separation Technology* (Vol. 3). Houston: Gulf Publishing Co. Recuperado el 04 de Febrero de 2015
29. PSI. (2007). *Estudio para la identificación/mitigación de la contaminación en la zona costera de La Libertad*. Guayaquil
30. Testa, S. M., & Winegardner, D. L. (1991). *Restoration of Petroleum-Contaminated Aquifers*. Chelsea, Michigan: Lewis Publishers, Inc. Recuperado el 04 de Febrero de 2015
31. Testing of Some Assumptions about Biodegradability in Soil as Measured by Carbon Dioxide Evolution. (s.f.)
32. Velasco, T. (13 de 5 de 2013). *Scribd*. Obtenido de [https://es.scribd.com/tany\\_velasco](https://es.scribd.com/tany_velasco)



## Determinación de la Distribución Granulométrica de Suelos y Agregados Gruesos y Finos

<b>TESIS:</b> ANALISIS DE SATURACION DEL ESTRATO ROCOSO DE LA REFINERIA LA LIBERTAD POR PRESENCIA DE HIDROCARBUROS  <b>TESISTA:</b> VICTOR HUGO NARVÁEZ AYALA, ESTUDIANTE DE LA FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA - ESPOL	<b>CALICATA</b>	1 (Sector Carioca)
	<b>MUESTRA N° :</b>	1
	<b>PROFUNDIDAD :</b>	3 m
	<b>COORDENADAS:</b>	<b>NORTE:</b> 9754647 <b>ESTE:</b> 510781

Ensayo de Contenido de Humedad	Material Serie	
	Gruesa	Fina
Recipiente N°		H
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda (P1)		208,88
Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)		188,49
Masa de Agua (P3 = P1 - P2)		20,39
Masa del Recipiente (P4)		19,71
Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)		168,78
% de Humedad (W = P3 × 100 ÷ P5)		12,08

**OBSERVACIONES :**

Normas de Referencia

INEN 154-1986  
 INEN 696-1982  
 INEN 697-1982  
 ASTM C 117-95  
 ASTM C 136-96a  
 ASTM C 1140-98  
 AASHTO T 11-91  
 AASHTO T 27-93

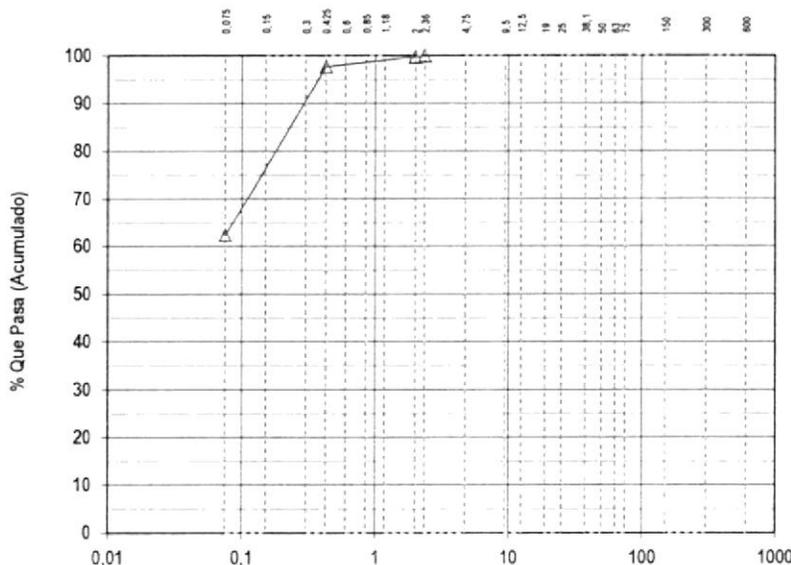
SERIE GRUESA			
Tamiz ASTM Abertura / N°.	Masa Retenida		% Pasante Acumulado
	Parcial	Acumulada	
600, mm. 24 "			
300, mm. 12 "			
150, mm. 6 "			
75, mm. 3 "			
63, mm. 2 ½ "			
50, mm. 2 "			
38,1 mm. 1 ½ "			
25, mm. 1 "			
19, mm. ¾ "			
12,5 mm. 1/2 "			
9,5 mm. 3/8 "			
4,75 mm. No. 4			
Pasa No. 4			

SERIE FINA				
Tamiz ASTM Abertura / N°.	Masa Retenida		% Pasante Acumulado	% Pasante Corregido
	Parcial	Acumulada		
2,36 mm. No. 8				
2, mm. No. 10	0,29	0,29	99,83	
1,18 mm. No. 16				
0,85 mm. No. 20				
0,60 mm. No. 30				
0,425 mm. No. 40	3,42	3,71	97,79	
0,3 mm. No. 50				
0,15 mm. No. 100				
0,075 mm. No. 200	59,63	63,34	62,34	
Pasa No. 200				

Masa inicial del material para Lavado = 188 gr.  
 Masa final corregida por Humedad de los finos = 168,2 gr.  
 Masa Total del Material utilizados para el Ensayo (gr)

### CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMETRICA

TAMICES ASTM (Abertura en milímetros)



#### Distribución del Tamaño de las Partículas Valores expresados en Porcentajes

Pedrón Rodado (> 12")	0,0
Canto Rodado (12"-3")	0,0
Grava (¾"-N°4)	0,0
	0,0
Arena (N°4-N°200)	0,2
	2,0
	35,5
Finos (> N°200)	62,3

#### Condiciones de Filtro

D15 =	Cu =
D30 =	
D60 =	Cc =

<b>Responsable:</b> Ing. Lucrecia Moreno A.	<b>Laboratorista:</b> ROGER MAGALLANES	<b>Fecha Toma Muestra:</b> FEBRERO DEL 2015	<b>Fecha Ensayo:</b> FEBRERO DEL 2015
--	---	--	--



## Determinación del Limite Liquido, Limite Plastico e Indice de Plasticidad de los Suelos

<b>TESIS:</b> ANALISIS DE SATURACION DEL ESTRATO ROCOSO DE LA REFINERIA LA LIBERTAD POR PRESENCIA DE HIDROCARBUROS  <b>TESISTA:</b> VICTOR HUGO NARVÁEZ AYALA, ESTUDIANTE DE LA FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA - ESPOL	<b>CALICATA</b>	1 (Sector Carioca)
	<b>MUESTRA N° :</b>	1
	<b>PROFUNDIDAD mts. :</b>	3,0
	<b>COORDENADAS:</b>	<b>NORTE:</b> 9754647
		<b>ESTE:</b> 510781

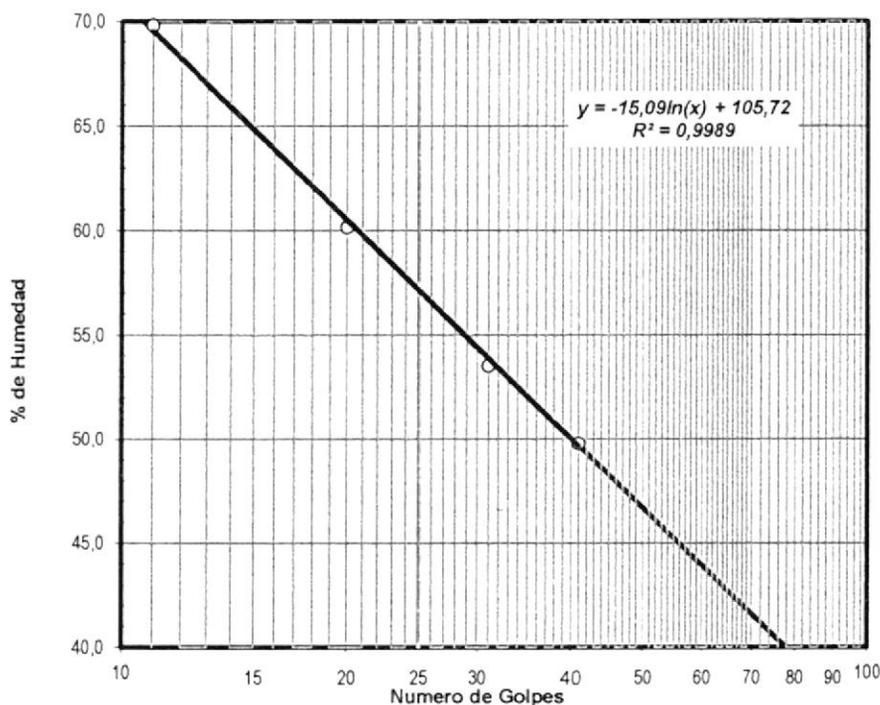
LIMITE LÍQUIDO				
RECIPIENTE #	5	7	3	4
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	27,37	32,35	32,27	30,12
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	20,02	23,61	24,22	23,16
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	7,35	8,74	8,05	6,96
MASA DE RECIPIENTE (P4)	9,49	9,08	9,18	9,18
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	10,53	14,53	15,04	13,98
% DE HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)	69,80	60,15	53,52	49,79
# DE GOLPES	11	20	31	41

LIMITE PLÁSTICO				
RECIPIENTE #	8	9	9	
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	19,67	21,14	21,53	
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	17,63	18,81	19,15	
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	2,04	2,33	2,38	
MASA DE RECIPIENTE (P4)	9,13	9,26	9,41	
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	8,50	9,55	9,74	
% DE HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)	24,00	24,40	24,44	

Observaciones :

Normas de Referencia  
 INEN 691-1982  
 INEN 692-1982  
 ASTM D 4318-98  
 AASHTO T 89-94  
 AASHTO T 90-94

Segun carta de la composicion mineralogica en la plasticidad (Day, 1999).



<b>RESULTADOS</b>
<b>L. Líquido = 57</b>
<b>L. Plástico = 24</b>
<b>I. Plasticidad = 33</b>

Clasificación Según  
 Carta de Plasticidad  
 ASTM D2487 SUCS = CH

Laboratorista ROGER MAGALLANES	Responsable ING. LUCRECIA MORENO	Fecha Toma Muestra FEBRERO DEL 2015	Fecha Ensayo FEBRERO DEL 2015
-----------------------------------	-------------------------------------	--	----------------------------------



### Determinación de la Relación Humedad-Densidad de Suelos Curva de Compactacion

TESIS: ANALISIS DE SATURACION DEL ESTRATO ROCOSO DE LA REFINERIA LA LIBERTAD POR PRESENCIA DE HIDROCARBUROS	MATERIAL: TERRENO NATURAL  CALICATA: 1 (Sector Carioca)				
TESISISTA: VICTOR HUGO NARVÁEZ AYALA, ESTUDIANTE DE LA FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA - ESPOL	COORDENADAS <table style="float: right; border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">NORTE:</td> <td>9754647</td> </tr> <tr> <td>ESTE:</td> <td>510781</td> </tr> </table>	NORTE:	9754647	ESTE:	510781
NORTE:	9754647				
ESTE:	510781				

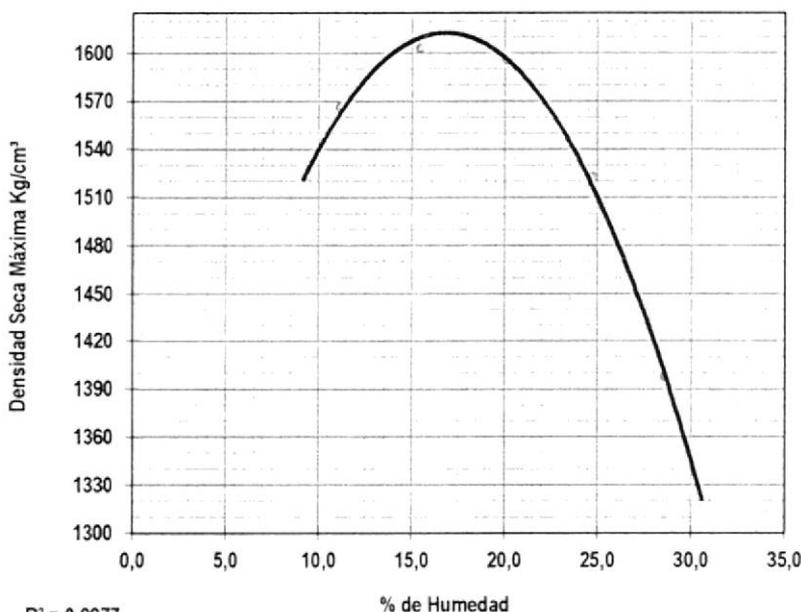
MASA DEL CILINDRO (P7)	3720
VOLUMEN DEL CILINDRO (V)	1006,02
MASA DEL MARTILLO (Kg.)	4,36
ALTURA DE CAÍDA DEL MARTILLO (cm.)	45,5
TIPO DEL ENSAYO	Modificado
# DE CAPAS	5
# DE GOLPES POR CAPA	25

**Observaciones:**  
Normas de Referencia  
 ASTM D 698-91  
 ASTM D 1557-91  
 AASHTO T 99-94  
 AASHTO T 180-93

Modificado Met A,  
 Porcion que pasa en la malla No 4 (4,57 mm)  
 puede usarse si el 20% o menos por peso de  
 material es retenido en la maya n° 5

#### DATOS DEL ENSAYO

PUNTO #	1		2		3		4		5		6	
	Material para ensayo		Grueso	Fino								
RECIPIENTE #	5		H1		O		Y		AE			
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	139		198		139		120		151			
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	127		174		119		100		122			
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	12		24		20		20		29			
MASA DE RECIPIENTE (P4)	20		19		20		20		20			
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	107		155		99		80		101			
% DE HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)	11		15		20		25		29			
% DE HUMEDAD PROMEDIO	11,15		15,45		20,11		24,74		28,58			
% DE HUMEDAD AÑADIDA AL SUELO	TN		100		200		300		400			
MASA DE CILINDRO + SUELO HÚMEDO (P6)	5471		5582		5649		5631		5528			
MASA DE SUELO HÚMEDO (P8 = P6 - P7)	1751		1862		1929		1911		1808			
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO (Dh = P8 ÷ V)	1741		1851		1917		1900		1797			
DENSIDAD SECA DEL SUELO (Ds = Dh ÷ (1 + W ÷ 100))	1566		1603		1596		1523		1398			



$R^2 = 0,9977$

<b>RESULTADOS</b>
<b>Densidad Seca Máxima</b> <b>1613 Kg./m<sup>3</sup></b>
<b>% de Humedad Optima</b> <b>16,8 %</b>

Laboratorista ROGER MAGALLANES	Responsable Ing. Lucrecia Moreno Alcivar	Fecha Toma Muestra FEBRERO, 2015	Fecha Ensayo FEBRERO, 2015
-----------------------------------	---	-------------------------------------	-------------------------------

LABORATORISTA ROJER MAGALLANES	RESPONSABLE ING LUCRECIA MORENO ALCIVAR	FECHA FEBRERO DEL 2015
-----------------------------------	--	---------------------------

Observaciones:

$$m = \frac{L * a}{A * t(\text{seg})}$$

$$K = \frac{L * a}{h} \frac{h_1}{h_2} = \frac{A * t(\text{seg})}{h_2}$$

Tiempo real	Tiempo relativo	lectura leída	Δh	m	h/h sigt	log(h/h sigt)	Permeabilidad (cm/seg)
8:34	0	0	100	0	1	0	0
8:36	5	4,1	95,9	0,00169	1,04275287	0,0418642	7,07515E-05
8:41	10	8,2	91,8	0,00085	1,08932462	0,0855789	7,22974E-05
8:46	15	12,6	87,4	0,00056	1,14416476	0,1346749	7,58679E-05
	20	16,6	83,4	0,00042	1,19904077	0,18152188	7,66941E-05
	25	20,6	79,4	0,00034	1,25944584	0,23067182	7,79682E-05
	30	24,9	75,1	0,00028	1,33155792	0,28634963	8,06563E-05
	35	28,4	71,6	0,00024	1,39664804	0,33407511	8,06564E-05
	40	32	68	0,00021	1,47058824	0,38566248	8,14723E-05
	45	35,2	64,8	0,00019	1,54320988	0,43386458	8,14713E-05
	50	38,4	61,6	0,00017	1,62337662	0,48450832	8,18831E-05
	55	42	58	0,00015	1,72413793	0,54472718	8,36911E-05
	60	44,2	55,8	0,00014	1,7921147	0,58339632	8,21628E-05
	88	88	12	0,00004	8,333333333	2,12026354	8,14385E-05
	220						7,90008E-05

a (cm)	2,0106
A (cm <sup>2</sup> )	31,725
L (cm)	8
h (cm)	100

TEMA: "ANÁLISIS DE SATURACION DEL ESTRATO ROCOSO DE LA REFINERIA LA LIBERTAD POR PRESENCIA DE HIDROCARBUROS"	LOCALIZACION: REFINERIA DE LA LIBERTAD	COORDENADAS: N 9754,647 E 510,781	TUTOR: ING. KERVIN CHUNGA
	PROFUNDIDAD: 3 m		
			VICTOR HUGO NARVAEZ AYALA
			1 (Sector Caroca)

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD CON CARGA VARIABLE**

UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA  
 FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA  
 CARRERA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO






## Determinación de la Distribución Granulométrica de Suelos y Agregados Gruesos y Finos

TESISTA: ANALISIS DE SATURACION DEL ESTRATO ROCOSO DE LA REFINERIA LA LIBERTAD POR PRESENCIA DE HIDROCARBUROS	CALICATA	3 (Sector Playa)
	MUESTRA N° :	1
	PROFUNDIDAD:	3 m
TESISTA: VICTOR HUGO NARVÁEZ AYALA, ESTUDIANTE DE LA FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA - ESPOL	COORDENADAS:	NORTE: 9754838 ESTE: 510796

Ensayo de Contenido de Humedad	Material Serie	
	Gruesa	Fina
Recipiente N°		CB
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda (P1)		249,12
Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)		233,04
Masa de Agua (P3 = P1 - P2)		16,08
Masa del Recipiente (P4)		20,13
Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)		212,91
% de Humedad (W = P3 × 100 ÷ P5)		7,55

**OBSERVACIONES :**

Normas de Referencia

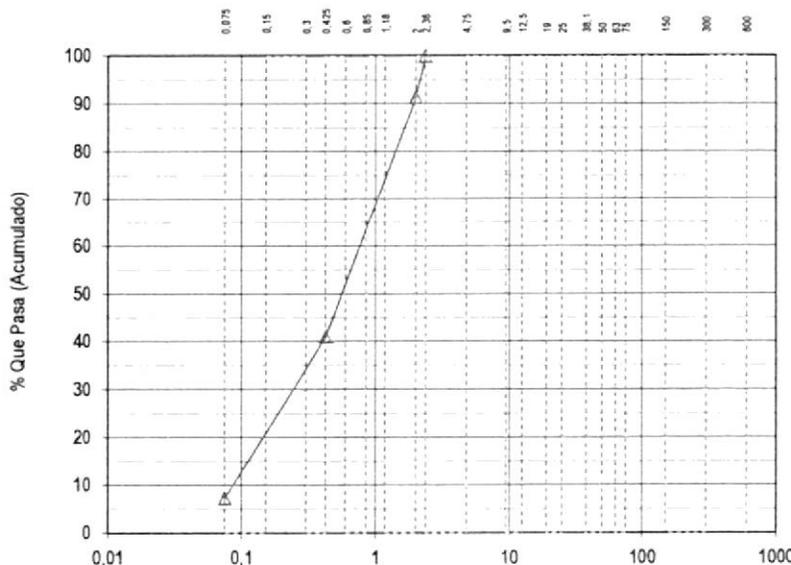
INEN 154-1986  
INEN 696-1982  
INEN 697-1982  
ASTM C 117-96  
ASTM C 136-96a  
ASTM C 1140-98  
AASHTO T 11-91  
AASHTO T 27-93

SERIE GRUESA			
Tamiz ASTM Abertura / N°.	Masa Retenida		% Pasante Acumulado
	Parcial	Acumulada	
600, mm. 24 "			
300, mm. 12 "			
150, mm. 6 "			
75, mm. 3 "			
63, mm. 2 ½ "			
50, mm. 2 "			
38,1 mm. 1 ½ "			
25, mm. 1 "			
19, mm. 3/4 "			
12,5 mm. 1/2 "			
9,5 mm. 3/8 "			
4,75 mm. No. 4			
Pasa No. 4			

SERIE FINA				
Tamiz ASTM Abertura / N°.	Masa Retenida		% Pasante Acumulado	% Pasante Corregido
	Parcial	Acumulada		
2,36 mm. No. 8				
2, mm. No. 10	18,75	18,75	91,35	
1,18 mm. No. 16				
0,85 mm. No. 20				
0,60 mm. No. 30				
0,425 mm. No. 40	109,17	127,92	40,96	
0,3 mm. No. 50				
0,15 mm. No. 100				
0,075 mm. No. 200	72,76	200,68	7,38	
Pasa No. 200				
Masa inicial del material para Lavado = 233 gr.				
Masa final corregida por Humedad de los finos = 216,7 gr.				
Masa Total del Material utilizados para el Ensayo (gr)				

### CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMETRICA

TAMICES ASTM (Abertura en milímetros)



*Distribución del Tamaño de las Partículas  
Valores expresados en Porcentajes*

Pedrón Rodado (> 12")		0,0	
Canto Rodado (12"-3")		0,0	
Grava (3"-N°4)	Gruesa (3"-3/4")	0,0	0,0
	Fina (3/4"-N°4)	0,0	
Arena (N°4-N°200)	Gruesa (N°4-N°10)	8,7	92,6
	Media (N°10-N°40)	50,4	
	Fina (N°40-N°200)	33,6	
Finos (> N°200)			7,4

*Condiciones de Filtro*

D<sub>15</sub> = 0,111      Cu = 6,86  
D<sub>30</sub> = 0,241  
D<sub>60</sub> = 0,763      Cc = 0,69

Cu >= 6 OK  
1 > Cc > 3 No Cumple

<b>Responsable:</b> Ing. Lucrecia Moreno A.	<b>Laboratorista:</b> ROGER MAGALLANES	<b>Fecha Toma Muestra:</b> FEBRERO DEL 2015	<b>Fecha Ensayo:</b> FEBRERO DEL 2015
--	---	--	--



# Determinación del Limite Liquido, Limite Plastico e Indice de Plasticidad de los Suelos

TESIS: ANALISIS DE SATURACION DEL ESTRATO ROCOSO DE LA REFINERIA LA LIBERTAD POR PRESENCIA DE HIDROCARBUROS

CALICATA	3 (Sector Playa)
MUESTRA N° :	1
PROFUNDIDAD mts. :	3,0
COORDENADAS:	NORTE: 9754838
	ESTE: 510796

TESISTA: VICTOR HUGO NARVÁEZ AYALA, ESTUDIANTE DE LA FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA - ESPOL

## LIMITE LÍQUIDO

RECIPIENTE #									
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)									
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)									
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)									
MASA DE RECIPIENTE (P4)									
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)									
% DE HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)									
# DE GOLPES									

## LIMITE PLÁSTICO

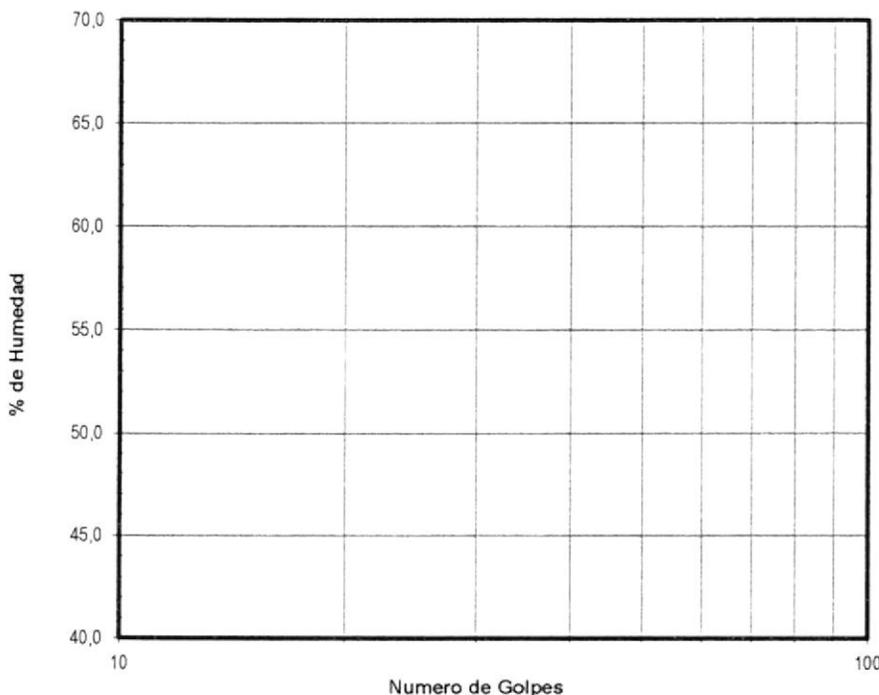
RECIPIENTE #									
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)									
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)									
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)									
MASA DE RECIPIENTE (P4)									
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)									
% DE HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)									

Observaciones :

- Normas de Referencia*  
 INEN 691-1982  
 INEN 692-1982  
 ASTM D 4318-98  
 AASHTO T 89-94  
 AASHTO T 90-94

Segun carta de la composicion mineralogica en la plasticidad (Day, 1999).

# NP



### RESULTADOS

L. Líquido =

L. Plástico =

I. Plasticidad =

Laboratorista ROGER MAGALLANES	Responsable ING. LUCRECIA MORENO	Fecha Toma Muestra FEBRERO DEL 2015	Fecha Ensayo FEBRERO DEL 2015
-----------------------------------	-------------------------------------	--	----------------------------------



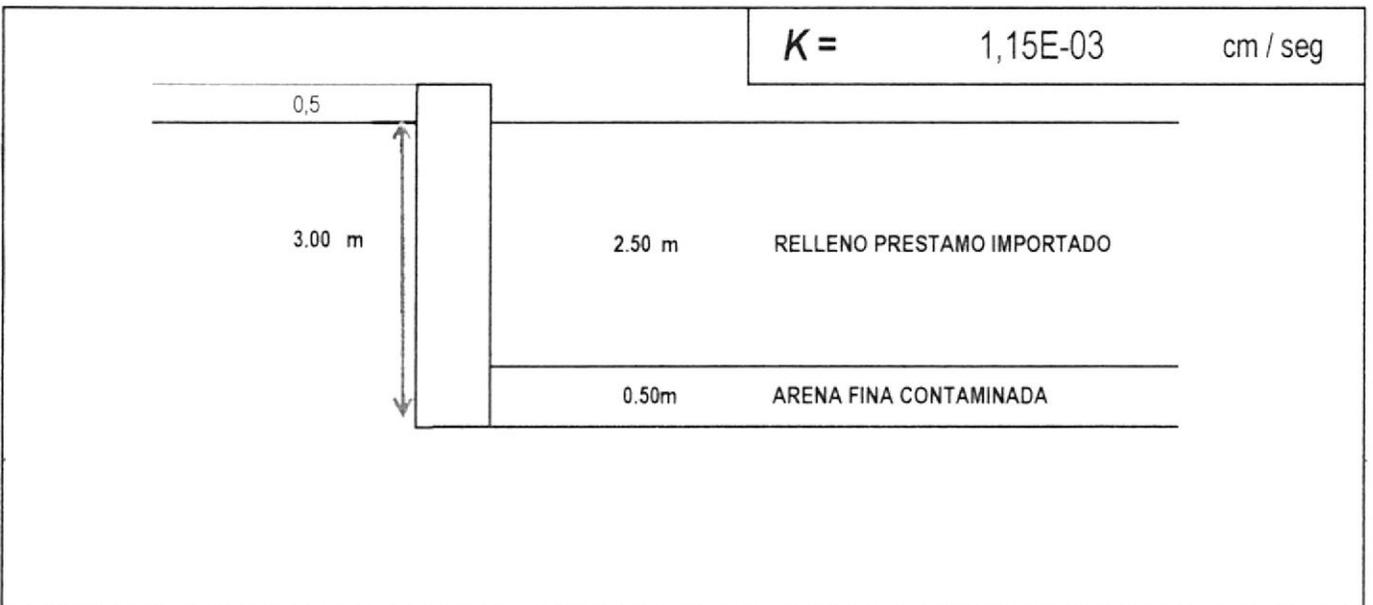
**UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA**  
**FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA**  
**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO**



## ENSAYO DE PERMEABILIDAD CON CARGA CONSTANTE

TESIS : "ANALISIS DE SATURACION DEL ESTRATO ROCOSO DE LA REFINERIA LA LIBERTAD POR PRESENCIA DE HIDROCARBURO"			
LOCALIZACIÓN:	REFINERIA DE LA LIBERTAD	PROFUNDIDAD :	3 m
CALICATA:	3 (Sector Playa)	COORDENADAS:	N 9754.838 E 510.796
TESISTA:	VICTOR HUGO NARVAEZ	TUTOR:	ING. KERVIN CHUNGA

DATOS			REF. MECANICA DE SUELO. ING. LUIS MARIN NIETO
volumen	5,2 lts	5200 cm <sup>3</sup>	$k = \frac{Q}{5,5 * r * H}$
tiempo	10 min	600 seg	
H	2,7 m	270 cm	
NIVEL FREATICO	2 m		
DIAMETRO	4 pulgada	10,16 cm	
RADIO (r)	2 pulgada	5,08 cm	



<b>REF. MECANICA DE SUELO. AUTOR: ING. LUIS MARIN NIETO</b>
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD K cm/seg. SEGÚN CASAGRANDE Y RE FADUM (1940)
ARENAS LIMPIAS Y MEZCLAS LIMPIAS DE ARENA Y GRAVA
OBSERVACIONES :

LABORATORISTA ROJER MAGALLANES	RESPONSABLE ING LUCRECIA MORENO ALCIVAR	FECHA FEBRERO DEL 2015
-----------------------------------	--	---------------------------



## Determinación de la Distribución Granulométrica de Suelos y Agregados Gruesos y Finos

<b>TESISTA:</b> ANALISIS DE SATURACION DEL ESTRATO ROCOSO DE LA REFINERIA LA LIBERTAD POR PRESENCIA DE HIDROCARBUROS	<b>CALICATA</b>	2 (Sector Carioca)
	<b>MUESTRA N° :</b>	1
	<b>PROFUNDIDAD :</b>	2,5 m
<b>TESISTA:</b> VICTOR HUGO NARVÁEZ AYALA, ESTUDIANTE DE LA FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA - ESPOL	<b>COORDENADAS:</b>	<b>NORTE:</b> 9754640
		<b>ESTE:</b> 510767

Ensayo de Contenido de Humedad	Material Serie	
	Gruesa	Fina
Recipiente N°		CB
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda (P1)	249,12	
Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)	233,04	
Masa de Agua (P3 = P1 - P2)	16,08	
Masa del Recipiente (P4)	20,13	
Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)	212,91	
% de Humedad (W = P3 × 100 ÷ P5)	7,55	

**OBSERVACIONES :**  
*Normas de Referencia*  
 INEN 154-1986  
 INEN 696-1982  
 INEN 697-1982  
 ASTM C 117-96  
 ASTM C 136-96a  
 ASTM C 1140-98  
 AASHTO T 11-91  
 AASHTO T 27-93

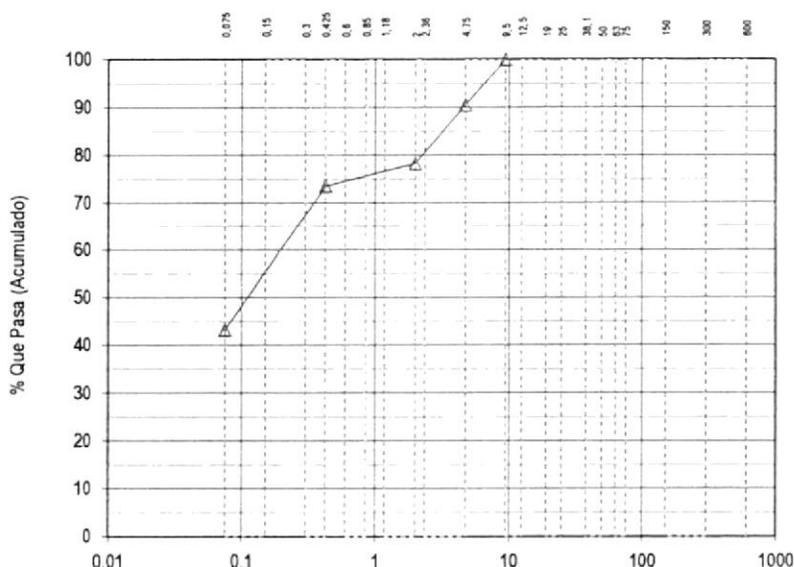
SERIE GRUESA				
Tamiz ASTM Abertura / N°.	Masa Retenida		% Pasante	
	Parcial	Acumulada	Acumulado	
600, mm. 24 "				
300, mm. 12 "				
150, mm. 6 "				
75, mm. 3 "				
63, mm. 2 ½ "				
50, mm. 2 "				
38,1 mm. 1 ½ "				
25, mm. 1 "				
19, mm. ¾ "				
12,5 mm. 1/2 "				
9,5 mm. 3/8 "				
4,75 mm. No. 4	20,51	20,5	90,53	
Pasa No. 4				

SERIE FINA				
Tamiz ASTM Abertura / N°.	Masa Retenida		% Pasante	
	Parcial	Acumulada	Acumulado	Corregido
2,36 mm. No. 8				
2, mm. No. 10	8,75	29,26	86,50	78,31
1,18 mm. No. 16				
0,85 mm. No. 20				
0,60 mm. No. 30				
0,425 mm. No. 40	11,17	40,43	81,34	73,64
0,3 mm. No. 50				
0,15 mm. No. 100				
0,075 mm. No. 200	72,76	113,19	47,76	43,24
Pasa No. 200				

Masa inicial del material para Lavado = 233 gr.  
 Masa final corregida por Humedad de los finos = 216,7 gr.  
 Masa Total del Material utilizados para el Ensayo (gr)

### CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMETRICA

TAMICES ASTM (Abertura en milímetros)



*Distribución del Tamaño de las Partículas*  
 Valores expresados en Porcentajes

Pedrón Rodado (> 12")	0,0
Canto Rodado (12"-3")	0,0
Grava (¾"-N°4)	9,5
Gruesa (¾"-¾")	0,0
Fina (¾"-N°4)	9,5
Arena (N°4-N°200)	47,3
Gruesa (N°4-N°10)	12,2
Media (N°10-N°40)	4,7
Fina (N°40-N°200)	30,4
Finos (> N°200)	43,2

Condiciones de Filtro	
D15 =	Cu =
D30 =	
D60 = 0,195	Cc =

<b>Responsable:</b> Ing. Lucrecia Moreno A.	<b>Laboratorista:</b> ROGER MAGALLANES	<b>Fecha Toma Muestra:</b> FEBRERO DEL 2015	<b>Fecha Ensayo:</b> FEBRERO DEL 2015
--	---	--	--



## Determinación del Limite Liquido, Limite Plastico e Indice de Plasticidad de los Suelos

TESIS: ANALISIS DE SATURACION DEL ESTRATO ROCOSO DE LA REFINERIA LA LIBERTAD POR PRESENCIA DE HIDROCARBUROS	CALICATA	2 (Sector Carioca)
	MUESTRA N° :	1
	PROFUNDIDAD mts. :	2,5
TESISTA: VICTOR HUGO NARVÁEZ AYALA, ESTUDIANTE DE LA FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA - ESPOL	COORDENADAS:	NORTE: 9754640
		ESTE: 510767

### LIMITE LÍQUIDO

RECIPIENTE #	P	O	W3	P3
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	30,93	35,85	33,87	37,05
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	25,61	30,45	29,15	32,41
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	5,32	5,40	4,72	4,64
MASA DE RECIPIENTE (P4)	9,52	9,28	9,12	9,03
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	16,09	21,17	20,03	23,38
% DE HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)	33,06	25,51	23,56	19,85
# DE GOLPES	10	20	31	44

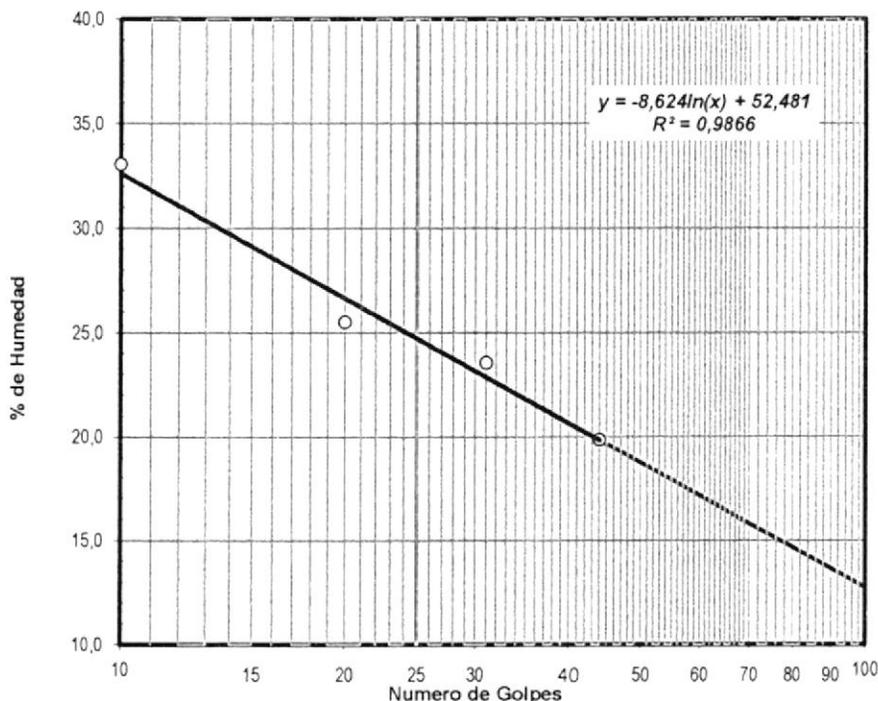
### LIMITE PLÁSTICO

RECIPIENTE #	6	L1	W6
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	17,33	17,44	16,87
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	15,87	15,93	15,53
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	1,46	1,51	1,34
MASA DE RECIPIENTE (P4)	9,25	9,34	9,46
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	6,62	6,59	6,07
% DE HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)	22,05	22,91	22,08

Observaciones :

*Normas de Referencia*  
 INEN 691-1962  
 INEN 692-1982  
 ASTM D 4318-98  
 AASHTO T 89-94  
 AASHTO T 90-94

Segun carta de la composicion mineralogica en la plasticidad (Day, 1999),



<b>RESULTADOS</b>
L. Líquido = 25
L. Plástico = 22
I. Plasticidad = 03

Clasificación Según  
 Carta de Plasticidad  
 ASTM D2487 SUCS = ML

Laboratorista ROGER MAGALLANES	Responsable ING. LUCRECIA MORENO	Fecha Toma Muestra FEBRERO DEL 2015	Fecha Ensayo FEBRERO DEL 2015
-----------------------------------	-------------------------------------	--	----------------------------------



### Determinación de la Relación Humedad-Densidad de Suelos Curva de Compactacion

TESIS: ANALISIS DE SATURACION DEL ESTRATO ROCOSO DE LA REFINERIA LA LIBERTAD POR PRESENCIA DE HIDROCARBUROS	MATERIAL: RELLENO	
	CALICATA: 2 (Sector Carioca)	
TESISTA: VICTOR HUGO NARVÁEZ AYALA, ESTUDIANTE DE LA FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA - ESPOL	COORDENADAS	NORTE: 9754640 ESTE: 510767

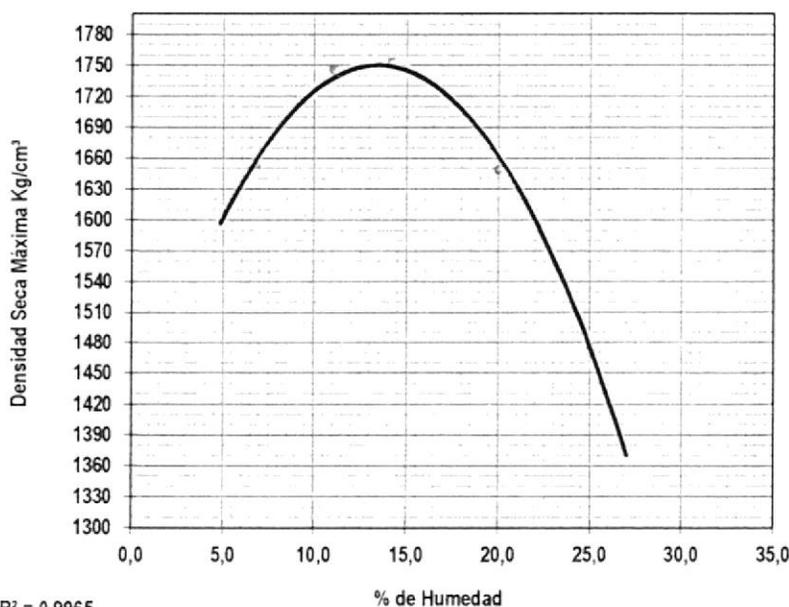
MASA DEL CILINDRO ( P7 )	3720
VOLUMEN DEL CILINDRO ( V )	1006,02
MASA DEL MARTILLO ( Kg. )	4,36
ALTURA DE CAÍDA DEL MARTILLO ( cm. )	45,5
TIPO DEL ENSAYO	Modificado
# DE CAPAS	5
# DE GOLPES POR CAPA	25

**Observaciones:**  
Normas de Referencia  
 ASTM D 698-91  
 ASTM D 1557-91  
 AASHTO T 99-94  
 AASHTO T 180-93

Modificado Met. B. Porcion que pasa en la malla No 3/8 pulg. Puede usarse si el suelo retenido sobre la malla n° 4 es mas del 20 % y 20% o menos por peso es retenido en la malla 9,5mm (3/8 pulg)

#### DATOS DEL ENSAYO

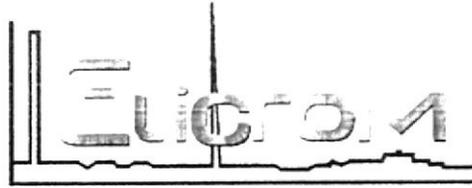
PUNTO #	1		2		3		4		5		6	
	Material para ensayo		Grueso	Fino								
RECIPIENTE #	RC		2		Y		A		B			
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA ( P1 )	228		189		152		74		63			
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	214		172		135		65		54			
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	13		17		16		10		9			
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	20		20		20		17		17			
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	195		153		115		48		37			
% DE HUMEDAD ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	7		11		14		20		25			
% DE HUMEDAD PROMEDIO	6,83		11,06		14,21		20,02		25,02			
% DE HUMEDAD AÑADIDA AL SUELO	TN		100		200		300		400			
MASA DE CILINDRO + SUELO HÚMEDO ( P6 )	5498		5671		5734		5711		5577			
MASA DE SUELO HÚMEDO ( P8 = P6 - P7 )	1778		1951		2014		1991		1857			
DENSIDAD HÚMEDA DEL SUELO ( Dh = P8 ÷ V )	1767		1939		2002		1979		1846			
DENSIDAD SECA DEL SUELO ( Ds = Dh ÷ ( 1 + W ÷ 100 ) )	1654		1746		1753		1649		1476			



<b>RESULTADOS</b>
<b>Densidad Seca Máxima</b> <b>1750 Kg./m³</b>
<b>% de Humedad Optima</b> <b>13,5 %</b>

Laboratorista ROGER MAGALLANES	Responsable Ing. Lucrecia Moreno Alcivar	Fecha Toma Muestra FEBRERO DEL 2015	Fecha Ensayo FEBRERO DEL 2015
-----------------------------------	---	--	----------------------------------





MUESTREO Y ANÁLISIS DE SUELO

**VICTOR HUGO  
NARVAEZ AYALA**

**UBICACIÓN: PROV. SANTA ELENA – CIUDAD LA LIBERTAD  
REFINERÍA LA LIBERTAD  
INFORME DE ENSAYO N° IEM-0078-01-15**

**TÉCNICOS RESPONSABLES**

**ING. BRICIO SANTANA S.**

**(Guayaquil – Ecuador)**

**ENERO 2015**

  
**Autorizado por: Ing. Shirley Sáenz T.  
Elicrom Cía. Ltda.**



INFORME N° IEM-0078-01-15  
MUESTREO Y ANALISIS DE SUELO  
VICTOR HUGO NARVAEZ AYALA

## 8 RESULTADOS

Muestra # 1: Profundidad 1 m – PS17A  
Coordenadas Geográficas: 0510781 – 9754647

Parámetro	Unidades	Resultado	U K=2	Valor máximo permisible	Método de análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (#)	mg/Kg	191,97	---	No Especifica	5220 F

Muestra # 2: Profundidad 2 m – PS17A  
Coordenadas Geográficas: 0510781 – 9754647

Parámetro	Unidades	Resultado	U K=2	Valor máximo permisible	Método de análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (#)	mg/Kg	72,10	---	No Especifica	5220 F

Muestra # 3: Profundidad 2,5 m – PS17A  
Coordenadas Geográficas: 0510781 – 9754647

Parámetro	Unidades	Resultado	U K=2	Valor máximo permisible	Método de análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (#)	mg/Kg	59,08	---	No Especifica	5220 F

Muestra # 4: Profundidad 2 m  
Coordenadas Geográficas: 0510767 - 9754640

Parámetro	Unidades	Resultado	U K=2	Valor máximo permisible	Método de análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (#)	mg/Kg	147,00	---	No Especifica	5220 F

Muestra # 5: Profundidad 1 m  
Coordenadas Geográficas: 0510767 - 9754640

Parámetro	Unidades	Resultado	U K=2	Valor máximo permisible	Método de análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (#)	mg/Kg	122,75	---	No Especifica	5220 F

Muestra # 6: Profundidad 45 cm – Pozo 26  
Coordenadas Geográficas: No Especifica

Parámetro	Unidades	Resultado	U K=2	Valor máximo permisible	Método de análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (#)	mg/Kg	2930,13	---	No Especifica	5220 F



INFORME N° IEM-0078-01-15  
MUESTREO Y ANALISIS DE SUELO  
VICTOR HUGO NARVAEZ AYALA

Muestra # 7: Profundidad 2,5 m - Playa  
Coordenadas Geográficas: 0510796 - 9754838

Parámetro	Unidades	Resultado	U K=2	Valor máximo permisible	Método de análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (#)	mg/Kg	103,07	---	No Especifica	5220 F

Muestra # 8: Profundidad 1 m – Pozo 2  
Coordenadas Geográficas: 0511068 - 9754469

Parámetro	Unidades	Resultado	U K=2	Valor máximo permisible	Método de análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (#)	mg/Kg	56,67	---	No Especifica	5220 F

Muestra # 9: Profundidad 2 m – Pozo 2  
Coordenadas Geográficas: 0511068 - 9754469

Parámetro	Unidades	Resultado	U K=2	Valor máximo permisible	Método de análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (#)	mg/Kg	100,04	---	No Especifica	5220 F

Muestra # 10: Profundidad 1 m – Pozo 1  
Coordenadas Geográficas: 0514626 - 9755430

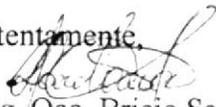
Parámetro	Unidades	Resultado	U K=2	Valor máximo permisible	Método de análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (#)	mg/Kg	1186,87	---	No Especifica	5220 F

Muestra # 11: Profundidad 2 m – Pozo 1  
Coordenadas Geográficas: 0514626 - 9755430

Parámetro	Unidades	Resultado	U K=2	Valor máximo permisible	Método de análisis
Hidrocarburos Totales de Petróleo (#)	mg/Kg	1067,11	---	No Especifica	5220 F

Este informe no podrá reproducirse excepto en su totalidad sin la aprobación escrita del laboratorio ELICROM MEDIO AMBIENTE. El presente informe se refiere solamente al sitio descrito en el numeral 3 de este informe en las condiciones ambientales descritas al momento del ensayo en el numeral 5.

Atentamente,

  
Ing. Qco. Brício Santana S.  
Elicrom Cía. Ltda.