

# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



## Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“ESTUDIO DE RIESGO SÍSMICO PARA LAS ZONAS  
SENSIBLES DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA  
REFINERÍA LA LIBERTAD”

### **PROYECTO DE GRADUACIÓN**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN GEOLOGÍA\***  
**INGENIERO EN PETRÓLEOS**

Presentado por:

María Belén Contreras Gómez\*  
Mónica Cecilia Matamoros Correa  
Fabricio Xavier Reyes Perero

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, PhD. Kervin Chunga Morán y al MSc. Juan Carlos Pindo Macas por la orientación brindada y sobre todo por la gran predisposición para apoyarnos en todo momento.

A la Refinería La Libertad, y a todo el personal de FICT por impartir sus conocimientos durante nuestra estancia en la Facultad.

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por permitirme alcanzar un nuevo objetivo. A mis padres, hermanas y abuela, que con su apoyo han sabido brindarme su aliento y me impulsan a alcanzar mis metas.

De manera muy especial a Diego Encalada por su amor y buenos consejos, que me impulsan a ser mejor cada día, a sus padres que me han brindado confianza y apoyo.

María Belén Contreras Gómez.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, por permitirme lograr una de mis más grandes metas. A mis padres, mis hermanos y sobrinos, que durante mi vida han sido el apoyo incondicional para alcanzar este logro.

Fabricio Xavier Reyes Perero

## DEDICATORIA

A mis padres por su apoyo incondicional, a mis compañeros por brindarme su amistad sincera y desinteresada en los buenos y malos momentos de mi vida universitaria y a mis maestros por compartir conmigo sus conocimientos y experiencia para la exitosa culminación de este trabajo y para formarme como profesional.

Mónica Cecilia Matamoros Correa.

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este Trabajo de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral".

*María Belén Contreras*

**María Belén Contreras Gómez**

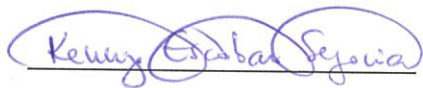
*[Signature]*

**Mónica Cecilia Matamoros Correa**

*Fabrizio Reyes*

**Fabrizio Xavier Reyes Perero**

## TRIBUNAL DE SUSTENTACION



MsC. Kenny Escobar Segovia

Presidenta del Tribunal



Dr. Kervin Chunga Morán

Director del Proyecto

## RESUMEN

En el presente estudio se evalúa el riesgo geológico y sísmico de la Refinería La Libertad, a partir del análisis de fallas geológicas activas y capaces, obteniendo un valor estimado de magnitud de sismo de 8,6 y el valor de máxima aceleración en roca de 0.34 para la principal estructura sismogénica, la zona de subducción, cuya distancia a la zona de estudio es de aproximadamente 66km.

A partir de estos datos y del análisis de registros históricos de sismos, tsunamis e inundaciones se puede concluir que el sitio de estudio tiene una alta probabilidad de ser impactado por dichos eventos. Posteriormente se procede a realizar la modelación de tsunami con el software ITDBT de la NOAA, de donde se determina que el tiempo aproximado de llegada a la zona de estudio es de 40 a 45 min con altura de ola de 5 a 8 m, a partir de un sismo generado en la zona anteriormente analizada.

Posteriormente, se procede a modelar el comportamiento de la zona más sensible de la Refinería La Libertad, el área de almacenamiento de derivados de hidrocarburos, debido a que representa un peligro inminente por la



exposición de los mismos al ambiente, recurriendo al uso del software de análisis estructural SAP2000, se genera un modelo que va a ser sometido a todos estos eventos determinando así, el comportamiento que podría generarse ante tales hechos, concluyendo que estas estructuras son sismo resistentes ante eventos de tal magnitud, teniendo fallas mínimas y asegurando tanto el producto que almacenan como el entorno que rodea al complejo de refinación.

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	<b>viii</b>
<b>ABREVIATURAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>SIMBOLOGÍA</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xxi</b>
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Objetivos del estudio .....	1
1.1.1. Objetivo general .....	1
1.1.2. Objetivos específicos .....	2
1.2. Fases de investigación y metodología .....	3
1.3. Generalidades del sitio de estudio .....	4
1.3.1. Vías de acceso.....	6
1.3.2. Clima y meteorología .....	7
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>9</b>
<b>2. GEOLOGÍA</b> .....	<b>9</b>
2.1. Litoestratigrafía de la península de Santa Elena .....	9
2.1.1. Formación Cayo.....	9

2.1.2. Grupo Ancón .....	11
2.1.3. Formación Tablazo .....	12
2.1.4. Depósitos aluviales .....	12
2.2 Geomorfología Litoral .....	12
2.2.1. El perfil costero .....	13
2.2.2. La planicie levantada .....	14
2.2.3. Llanura aluvial .....	14
2.3. Hidrogeología .....	15
2.4. Descripción geológica de la línea de costa .....	16
<b>CAPITULO 3.....</b>	<b>19</b>
<b>3. TECTÓNICA ACTIVA Y SISMICIDAD .....</b>	<b>19</b>
3.1. Geodinámica activa de la península de Santa Elena y su relación con la zona de subducción .....	19
3.2. Catálogo de sismicidad histórica e instrumental.....	24
3.3. Delineación de fallas geológicas activas .....	28
3.4. Delineación de zonas sismogénicas.....	30
3.5. Estimación de máximas magnitudes y PGA desde fallas activas ..	33
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>42</b>
<b>4. GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGO .....</b>	<b>42</b>

4.1. Introducción a la gestión de riesgo .....	42
4.1.1. Situación general frente al riesgo de la RLL .....	44
4.1.2. Metodología utilizada para el análisis de riesgos externos	45
4.1.3. Identificación de factores de riesgo externo Refinería La Libertad. ....	46
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>65</b>
<b>5. AREA DE ALMACENAMIENTO DE LA RLL.....</b>	<b>65</b>
5.1. Infraestructura física de la Refinería de La Libertad .....	65
5.2. Importancia del almacenamiento de hidrocarburos. ....	69
5.3. Tipos de tanques .....	71
5.3.1. Tanques a presión atmosférica .....	72
5.3.2. Tanques según su eje de simetría. ....	74
5.4. Tanques a presión atmosférica según norma API 650. ....	76
5.4.1. Tanque vertical con techo fijo.....	76
5.4.2. Tanque vertical con techo flotante. ....	77
5.5. Normas aplicadas a tanques .....	79
5.5.1. Aplicación de la norma .....	79
5.6. Elección del elemento representativo a ser analizado estructuralmente.....	80
<b>CAPITULO 6.....</b>	<b>83</b>

<b>6. SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL TANQUE FRENTE A RIESGO SISMICO.....</b>	<b>83</b>
6.1. Definiciones.....	83
6.2. Materiales empleados en tanques de almacenamiento bajo norma API 650.....	84
6.3. Simulación.....	85
6.3.1. Definición de secciones .....	86
6.3.2. Fuerzas o patrones de carga que actúan sobre el tanque.	87
6.3.3. Cargas asignadas .....	88
6.4. Análisis de resultados de la simulación .....	108

## **CONCLUSIONES**

## **ANEXOS**

## **BIBLIOGRAFÍA**

## ABREVIATURAS

API	American Petroleum Institute
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASTM	American Section of the International Association for Testing Materials
Avda.	Avenida
CCQ	Cámara de la Construcción de Quito
Cdla.	Ciudadela
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CEPE	Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana
CERESIS	Centro Regional de Sismología para América del Sur
CSEM	Euro Mediterranean Seismological Centre/ Centre Sismologique Euro-Méditerranéen
EP Petroecuador	Empresa Pública Petroecuador
EPN	Escuela Politécnica Nacional
Fm	Formación
GLP	Gas Licuado de Petróleo
IAEA	International Atomic Energy Agency
IGEPN	Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional
IGM	Instituto Geográfico Militar
INOCAR	Instituto Oceanográfico de la Armada

LSE	Levantamiento Santa Elena
MIDUVI	Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda
NCEDC	Northern California Earthquake Data Center
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
NEIC	National Earthquake Information Center
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PGA	Peak Ground Acceleration
PSI	Productos y Servicios Industriales CIA. Ltda.
RENSIG	Instituto Geofísico del Ecuador de la Escuela Politécnica Nacional
RLL	Refinería La Libertad
SHI	Seguridad e Higiene Industrial, EP Petroecuador
UPSE	Universidad Estatal Península de Santa Elena
USGS	Servicio Geológico de los Estados Unidos

## SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
$\phi_E$	Factor de configuración por elevación.
$\phi_P$	Factor de configuración por planta.
$h_n$	Altura máxima de la edificación de $n$ pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.
$C_s$	Espectro de respuesta inelástica del sismo de diseño.
$C_t$	Constante para el cálculo de periodo de vibración.
$E_x$	Carga por Sismo en X. (EARTH).
$E_y$	Carga por Sismo en Y. (EARTH).
$K_{zt}$	Factor topográfico.
$\bar{x}$	Distancia desde la cresta hasta el sitio donde se encuentra la estructura.
'	Minutos
$\pm$	Estimación o variación
°	Grados
°C	Grados Centígrados
bls	Barriles
BPD	Barriles por día
cm	Centímetros
D	Carga Muerta (DEAD)



E	Este
exp	Función Exponencial
Fa	Coeficiente de amplificación de ordenadas del espectro de respuesta elástica para diseño en roca.
Fd	Coeficiente de amplificación de ordenadas del espectro elástico.
Fs	Coeficiente que considera el comportamiento no lineal de los suelos.
ft	Feet (pies)
H	Distancia Focal
I	Factor de importancia.
in	inches (pulgadas)
K1	Factor de forma de la topografía
K2	Factor que representa la reducción de la velocidad en marcha con la distancia barlovento o sotavento de la cresta.
K3	Factor que representa la reducción de la velocidad en marcha con la altura sobre el terreno local.
km	Kilómetros
L	Carga por Fuerza Hidrostática (LIVE).
lb	Libras fuerza
M	Magnitud
m	Metros

m.s.n.m	metros sobre el nivel del mar
m/s	Metros por segundo
mm	Milímetros
°F	Temperatura en Grados Fahrenheit.
Psi	Pounds per square inches (libras por pulgada cuadrada)
r	Constante según el tipo de suelo.
R	Factor de reducción de resistencia sísmica.
S	Sur
Sa	El espectro de respuesta elástico de aceleraciones expresado como fracción de la aceleración de la gravedad para el nivel del sismo de diseño.
T	Periodo de vibración.
Tc	2do periodo de vibración.
To	1er periodo de vibración.
ton	Toneladas.
TQ	Tanque
W	Carga por el Viento (WIND).
Z	Factor de coeficiente sísmica.
$\alpha$	Constante para el cálculo de periodo de vibración.
$\mu$	Factor de atenuación horizontal.
$\gamma$	Factor de atenuación de altura.
$\eta$	Relación de amplificación espectral.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Ubicación geográfica de los principales centros de refinación del país.....	5
Figura 1. 2. Ubicación de la Refinería La Libertad, cantón La Libertad, provincia de Santa Elena. ....	6
Figura 2. 1. Plano de La Libertad señalando el lugar del desarrollo del proyecto Megaterio de la Universidad Península de Santa Elena y el sector del Cautivo, lugares donde ocurren afloramientos de la Fm. Cayo. ....	11
Figura 2. 2. Geomorfología dominante del tipo B (Ottman, 1967), que comprende acantilados bajos (marcado A y D) con bernas de arena incipiente en la zona de playa El Cautivo (marcado C).....	17
Figura 3. 1. Sismicidad en la zona costera del Ecuador. Distribución espacial de sismos históricos e instrumentales con $5 \leq M_g \leq 7.8$ cartografiadas en el territorio.....	22
Figura 3. 2. Ambiente tectónico en la zona costera del Ecuador. Cinemática y tipo de fallas activas y capaces cartografiadas en el territorio. ....	23
Figura 3. 3. Zonas sismogénicas delineadas para el Golfo de Guayaquil.. ..	32
Figura 3. 4. Mapa de magnitud estimada ( $M_g$ ) desde relaciones empíricas propuestas por Wells & Coppermish (Wells, 1994). Modelo aplicado en este estudio desde datos de fallas activas y capaces. ....	35

Figura 3. 5. Mapa de máximas aceleraciones en roca (PGA) desde la aplicación de modelos de atenuación propuesto por Fukushima & Tanaka (Fukushima Y., 1990). Vista local de Refinería La Libertad. ....	38
Figura 4. 1. Levantamiento de fondo marino, etapa inicial de formación de un tsunami.....	50
Figura 4. 2. Tsunamis históricos cercanos al área de estudio. ....	53
Figura 4. 3. Ondas de desplazamiento continuo, el tiempo de impacto en La Libertad T=40min. ITDB-NOAA. ....	56
Figura 4. 4. Simulación de tsunami en zona sismogénica realizada desde el software WIN/ITLB de la NOAA, ubicada a 66 km de distancia del sitio Refinería La Libertad. ....	57
Figura 4. 5. Trayectoria de tsunami y propagación en la plataforma continental. WIN/ITB Software. ....	58
Figura 4. 6. Llegada de tsunami a la línea de costa de la Península de Santa Elena. WIN/ITB Software. ....	59
Figura 4. 7. Variación de temperatura del mar (color rojo) indicando el desarrollo del "Niño". ....	61
Figura 4. 8. Climatología de la precipitación representativa de La Libertad. Fuente: Oceanografía Física y procesos litorales en La Libertad para el diseño de las obras de protección costera. ....	64
Figura 5. 1. Infraestructura de la Refinería La Libertad.....	67
Figura 5. 2. Área de almacenamiento de la Refinería La Libertad.....	70

Figura 5. 3. Diagrama de tanque vertical.....	74
Figura 5. 4. Diagrama de tanque horizontal.....	75
Figura 5. 5. Diagrama de Esfera.....	75
Figura 5. 6. Tanque TQ-10 con techo fijo. ....	77
Figura 5. 7. Vista aérea de tanque de techo flotante. ....	78
Figura 5. 8. Extracto de Imagen Satelital del tanque CEPE-1. ....	81
Figura 6. 1. Propiedades del material.....	86
Figura 6. 2. Diagrama de distribución de carga originada por la fuerza hidrostática del petróleo.....	90
Figura 6.3. Gráfica de Esfuerzos/Tensión soportadas por las paredes del tanque por acción de la fuerza hidrostática. ....	90
Figura 6.4. Vista lateral de tensiones ejercidas por la fuerza hidrostática en las paredes del tanque. ....	91
Figura 6. 5. Espectro de respuesta elástica e inelástica.....	97
Figura 6. 6. Esfuerzos/Tensión ejercidas por sismos en dirección x.....	99
Figura 6. 7. Esfuerzos/tensión ejercidas por sismos en dirección y.....	99
Figura 6. 8. Esfuerzos/tensión ejercida por acción de la fuerza del viento..	103
Figura 6. 9. Esfuerzos/tensión por acción del peso propio de la estructura.	104
Figura 6. 10. Esfuerzo/tensión resultante de la combinación Comb5. ....	106
Figura 6. 11. Esfuerzos/tensión resultante de la combinación Comb6. ....	108
Figura 6. 12. Esfuerzos/tensión resultante de la combinación Comb7. ....	108
Figura 6. 13. Esfuerzos máximos en una plancha, resultante de Comb 7. .	109

Figura 6. 14. Ubicación de la plancha en el diagrama de esfuerzos máximos resultante de la Comb 7.....	110
---	-----

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Límites del Levantamiento Santa Elena.....	20
Tabla II. Valores de intensidad macrosísmica, magnitud de momento y PGA relacionadas con diferentes zonas sismogénicas. ....	36
Tabla III. Ambientes tectónicos dominantes del área que engloba la Refinería La Libertad y sus alrededores (200 km de radio).....	41
Tabla IV. Capacidad de procesamiento diario de La Refinería La Libertad..	66
Tabla V. Productos derivados que se obtienen en la Refinería La Libertad..	68
Tabla VI. Tipos de tanques, fluidos que almacenan y esquema del tipo de tanque.....	73
Tabla VII. Datos técnicos y características del Tanque CEPE-1.....	82
Tabla VIII. Coeficientes de Sitio.....	92
Tabla IX. Espectro de respuesta elástica, representado por $S_a$ (g).....	95
Tabla X. Factores utilizados en el cálculo de espectro de respuesta inelástica.....	95
Tabla XI. Espectro de respuesta inelástica, representado por $C_s$ (g).....	96
Tabla XII. Datos usados para el cálculo de patrón de carga por viento. ....	100
Tabla XIII. Datos usados para el cálculo del factor topográfico. ....	101

# **CAPÍTULO 1**

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Objetivos del estudio**

#### **1.1.1. Objetivo general**

Evaluar el riesgo geológico y sísmico identificando las amenazas por terremotos de subducción y tsunamis, así como los elementos expuestos y susceptibles a daño en las instalaciones, facilidades y ductos de la Refinería La Libertad, provincia de Santa Elena.



### 1.1.2. Objetivos específicos

- a) Identificar los diversos tipos de fallas geológicas capaces de generar terremotos corticales y de subducción, los cuales permitirán reconocer los ambientes tectónicos dominantes, además identificar fenómenos geológicos secundarios que podrían re-activarse durante y después de algún evento sísmico como, inundación por ola de tsunami.
- b) Caracterizar el potencial tectónico de la estructura sismogénica cercana al componente de estudio (Refinería La Libertad), además se estimarán las máximas magnitudes esperadas y las aceleraciones de rocas (*Peak Ground Acceleration*, PGA).
- c) Identificar los componentes de infraestructura operacional más susceptible de la Refinería La Libertad, que podrían verse afectados por un evento sísmico (de magnitud mayor a 7) y tsunamigénico considerando su localización geomorfológica litoral.
- d) Determinar el comportamiento de la infraestructura más susceptible ante un futuro evento sismogénico, aplicando un modelamiento matemático mediante el software de análisis estructural SAP2000

## 1.2. Fases de investigación y metodología

La fase de investigación y metodología comprende 2 etapas: 1) geología de campo y exploración, y 2) laboratorio y modelación numérica.

La primera fase determina la posición geodinámica regional del sitio de estudio en un radio de 100 km e incluye un escenario tectónico, que caracterizó los rasgos geológicos y estructurales que influyen en el riesgo sísmico a la locación de las instalaciones de la Refinería La Libertad, los más importantes rasgos son las estructuras que demuestren la neotectónica activa, estas son las fallas activas y capaces de generar terremotos mayor a 7.

A partir de estos datos se procede al análisis de los peligros potenciales de origen sísmico que amenazan la zona de estudio, determinando su probabilidad de ocurrencia a partir de registros históricos y la magnitud de dichos eventos.

La segunda etapa comprende trabajo de gabinete y laboratorio, desde la perspectiva industrial de la Refinería La Libertad, donde se analiza los puntos sensibles de las estructuras a partir de las cuales se generaría una pérdida de

producción e interrupción de operaciones por inestabilidades geológicas que podrían reactivarse durante y después de un evento sísmico. La modelación estructural ha sido aplicada al tanque cilíndrico CEPE-1 con techo flotante y fondo plano que almacena crudo de 28,5 API.

### 1.3. Generalidades del sitio de estudio

La Refinería La Libertad inició su construcción por la compañía Anglo Ecuadorian Fields en el año de 1940, ubicada en lo que hoy constituye la Península de Elena, fue el primer centro refinador construido en el Ecuador y en la actualidad es el segundo por su capacidad de producción.

En la actualidad, se encuentra administrada por la Empresa Pública “EP PETROECUADOR – Gerencia de Refinación”. A continuación se muestra la ubicación de las tres principales plantas de refinación existentes en el país.



Figura 1. 1. Ubicación geográfica de los principales centros de refinación del país.

Fuente: EP PETROECUADOR.

En la Refinería la Libertad se procesan 45.000 bls/día de petróleo crudo liviano bombeado desde el oriente ecuatoriano y de los campos de la Península de Santa Elena, del cual se obtienen derivados de petróleo que son destinados a cubrir la demanda de las provincias del Guayas, Manabí, El Oro, Morona Santiago, Cañar, Azuay, Galápagos y Loja. Para ello cuenta con 3 plantas de destilación atmosférica: Parson, con 26.000 bls/día; Cautivo, con 9.500 bls/día, y Universal, con 9.500 bls/día.

Se encuentra ubicada en la provincia de Santa Elena en el cantón La Libertad, sus coordenadas geográficas son  $-2^{\circ} 13'$  de latitud y  $-80^{\circ} 54'$  de longitud, cubriendo una extensión de aproximadamente 2,57 km de longitud.



Figura 1. 2. Ubicación de la Refinería La Libertad, cantón La Libertad, provincia de Santa Elena.

Fuente: (EP PETROECUADOR, 2014).

### 1.3.1. Vías de acceso

La Refinería la Libertad se encuentra localizada en la Calle 27 E Cdla Las Acacias, limita al Norte con el Batallón de Infantería 14 Marañón y Puerto

Nuevo, al Sur la Avda. Eleodoro Solórzano, al este con el Océano Pacífico y Oeste con la Cdla. Santa María. Además dentro de las instalaciones dispone de vías internas pavimentadas y respectivamente señalizadas, con varios accesos en vías circundantes.

### 1.3.2. Clima y meteorología

El cantón La Libertad en la Provincia de Santa Elena, cuenta con un clima desierto tropical influenciado por la corriente fría de Humboldt y la corriente cálida de El Niño, además responde a cambios en las condiciones oceánicas, atmosféricas y de la Zona de convergencia Intertropical. Los principales factores meteorológicos involucrados en su climatología son los vientos, precipitaciones, temperatura del aire y temperatura del mar.

En las zonas costeras del Ecuador existen dos estaciones, la estación seca que por general se presenta en los meses comprendidos entre junio y noviembre, y la estación lluviosa del mes de diciembre a mayo.

- En la estación lluviosa, los meses donde se registran mayores precipitaciones corresponden a enero, febrero, marzo y abril con un promedio

aproximado de 30,5 mm/mes, la temperatura máxima del aire alcanza a 32,3°C y un promedio de 24°C, mientras que la dirección predominante de los vientos es de Oeste-Suroeste con una velocidad promedio de 3,5 m/s.

- La estación seca es cuando se presentan bajas temperaturas, altas nubosidades, ausencia de lluvias y la humedad relativa más elevada con un promedio de 85%, las velocidades de los vientos varían entre 4 y 4,5m/s.

Máximas precipitaciones con efecto de daño por inundación son reportadas en los fenómenos El Niño, en 1983-1984 y 1997-1998, los cuales causaron inundación de miles de hectáreas, personas fallecidas, y grandes pérdidas económicas. Este fenómeno atmosférico y marítimo se presenta debido al aumento de la temperatura en la zona ecuatorial del océano pacífico y sus consecuencias en el país han sido devastadoras. (PSI Productos y Servicios Industriales CIA. LTDA., 2007)

# **CAPÍTULO 2**

## **2. GEOLOGÍA**

### **2.1. Litoestratigrafía de la península de Santa Elena**

El área de estudio de la zona costera de la Refinería La Libertad y su zona adyacente está conformada por formaciones de carácter detrítico que corresponden a la Formación Cayo, Grupo Ancón, la Formación Tablazo y de forma local en el Río Chulluype se presentan depósitos aluviales (PSI, 2007).

#### **2.1.1. Formación Cayo**

Edad: Cretácico Superior (Campaniano- Maastrichtiano)



Secuencia de sedimentos marinos volcanoclásticos; entre ellos predominan lutitas silíceas entre paquetes de areniscas y conglomerados, denominados localmente como Santa Elena Chert, presente en el área de estudio en las cercanías de El Cautivo, borde del área de ruptura de pendiente. Hay zonas con roca expuesta que se dan debido a la explotación de la misma para material de cascajo.

Otros afloramientos se dan en la ruptura de pendiente con escarpes (8m de altura), se trata de bloques alineados hacia el nororiente del área de estudio, en las proximidades del río Chullupe, zona de desarrollo del proyecto Megaterio de la Universidad Península de Santa Elena. La Formación Cayo en este sector incluye el desarrollo de chert con un alto estado de deformación y de textura caótica; comprende poca estratificación, presentándose a veces unidades de roca ígnea con un espesor de 50-60 cm y lentes de toba silicificada de tonalidad amarillenta de espesor considerable.

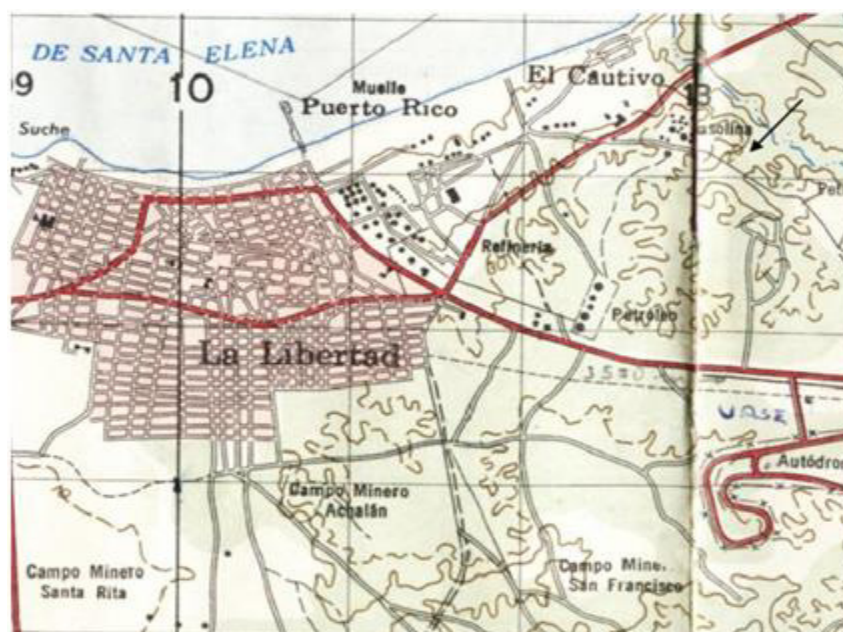


Figura 2. 1. Plano de La Libertad señalando el lugar del desarrollo del proyecto Megaterio de la Universidad Península de Santa Elena y el sector del Cautivo, lugares donde ocurren afloramientos de la Fm. Cayo.

Fuente: (IGM, 2014)

### 2.1.2. Grupo Ancón

Edad: Eoceno Temprano- Eoceno Medio tardío

Esta unidad se presenta litológicamente por una serie estratificada de areniscas, arcillas y lutitas. Localmente se observa en los acantilados de El Cautivo, Punta Chulluye, quebrada del río Chulluye en el cuartel Marañón. La roca es de aspecto seroso, presentándose muy fracturada y deleznable.

### 2.1.3. Formación Tablazo

Edad: Pleistoceno

Consiste de limos de color café a gris, arenas gris verdosa, conglomeradas y areniscas con abundante material bioclástico. Esta unidad yace en discordancia sobre rocas más antiguas (Fm. Cayo y Grupo Ancón), alcanza espesores variables de 1 a 3 m.

### 2.1.4. Depósitos aluviales

Edad: Reciente

Alternancia de arenas y gravas finas procedentes de la erosión de rocas más antiguas del área, su espesor es reducido (1 a 5 m). Este material no consolidado se forma en la desembocadura del río Chulluype y quebrada del mismo en el cuartel Marañón.

## 2.2 Geomorfología Litoral

Según el Estudio para la identificación/mitigación de la contaminación en la zona costera de La Libertad, el área de estudio posee dos dominios

morfológicos, el perfil costero y la planicie levantada. Está desarrollada sobre rocas de la Fm. Tablazo y parcialmente sobre el infrayacente grupo Ancón, afectados fuertemente por el oleaje y quebradas, que dan lugar a un tercer dominio, la llanura aluvial formada por el río Chulluype.

### 2.2.1. El perfil costero

Comprende una línea de costa de aproximadamente 4 km de extensión, formada por acantilados bajos, la parte de la playa de arena tiene una amplitud mediana, con una saliente de nombre Punta Chulluype.

El perfil costero se desarrolla sobre terrenos variables correspondientes a rocas del Grupo Ancón cubiertas a su vez por rocas de la Fm. Tablazo, perfil que va decreciendo paulatinamente en altura desde la Punta Chulluype hasta el punto N 9755803 – E 612405, con excepción de la Fm. Tablazo donde continúa el acantilado en el muelle de Petroindustrial.

En el cuartel Marañón el perfil costero interrumpido por una quebrada del río Chulluype con riberas suaves a verticales estables y grandes bloques de areniscas órgano-detritica desprendido de la Formación Tablazo. En la

actualidad todo el perfil costero se encuentra cubierto en su mayoría por un enrocado de protección contra la acción erosiva del mar.

### 2.2.2. La planicie levantada

Este dominio consiste originalmente de acantilados bajos conformando una amplia llanura con relieve plano de baja pendiente. La planicie se desarrolla sobre terrenos de disposición horizontal con material bioclástico de la Fm. Tablazo.

Cabe señalar que este dominio es afectado por la erosión hídrica del río Chullupe y por la apertura de canteras de materiales para cascajo.

### 2.2.3. Llanura aluvial

Este dominio presenta valles amplios, formados por gravas y arenas de espesor reducido (1 a 5 m), se desarrolla principalmente aguas arriba del sitio del proyecto Megaterio de la UPSE y en menor proporción en la quebrada próxima al Batallón Marañón.

### 2.3. Hidrogeología

El área de estudio cuenta con acuíferos, presentes en la formación Tablazo, unidad donde el nivel estático varía entre 2,50 y 3,00 m de profundidad, que indican las condiciones óptimas para el almacenamiento y circulación de agua subterránea, es decir que es la mejor estructura acuífera de la región debido a su morfología suave y relieve plano, el cual posibilita un lento desplazamiento de la escorrentía superficial, favoreciendo así la infiltración en profundidad.

Al este de la Punta Chullupe se encuentra el río con el mismo nombre, este río es del tipo perenne y por su drenaje se encuentran sedimentos limo-arenosos.

El Río Chullupe forma escurrimientos efímeros, que han dado lugar a un tercer dominio geomorfológico, el cual presenta un mayor desarrollo en la parte media del Río Chullupe, donde se dan amplios valles en planicies levantadas, presenta a lo largo de su drenaje arenas y gravas finas de espesor aproximado en el orden de 1 y 1,5 m, decreciendo hacia la desembocadura con el Océano.

A la altura del campamento del Batallón Marañón el perfil costero es bisectado por un pequeño estero propio del Río Chullupe, originado aguas arriba del

sitio del proyecto Megaterio de la UPSE por escurrimientos efímeros (ríos estacionarios), que han dado las condiciones típicas del dominio de una llanura aluvial originada por el Río Chulluype, donde ocurren riberas suaves a verticales estables y grandes bloques de areniscas órgano-detrítica desprendido de la Formación Tablazo.

## 2.4. Descripción geológica de la línea de costa

El Cantón La Libertad se encuentra en una planicie levantada (hasta 30 m.s.n.m.) de terrenos porosos y permeables. La evidencia de movimiento tectónico es la presencia de material de terrazas marinas pleistocénicas de playa, denominados Fm. Tablazo, preservado como masas levantadas en la costa ecuatoriana.

Por la aridez de la zona y la falta de cobertura vegetal, los cauces presentan el perfil transversal típico de terrenos fácilmente erosionables. En la época de invierno las calles no pavimentadas sufren erosión por la esorrentía que acarrea caudales y sedimentos hacia la playa.

Según la clasificación geomorfológica de F. Ottmans (Ottman, 1967), la costa es del tipo B, es decir que comprende esencialmente acantilados bajos con terrazas marinas que sufren erosión del mar por oleaje y corrientes, y recubierta por depósitos de arena, con espesores reducidos.



Figura 2. 2. Geomorfología dominante del tipo B (Ottman, 1967), que comprende acantilados bajos (marcado A y D) con bermas de arena incipiente en la zona de playa El Cautivo (marcado C).

Fuente: (Google Earth, 2015).



La Figura 2.2. muestra la geomorfología dominante del tipo B, que comprende acantilados bajos (marcado A y D) con bermas de arena incipiente en la zona de playa El Cautivo (marcado C), además se resalta los depósitos aluviales recientes (marcado B y E) en la desembocadura Río Chullupe y pequeño estero cercano al Batallón Marañón.

# **CAPITULO 3**

## **3. TECTÓNICA ACTIVA Y SISMICIDAD**

### **3.1. Geodinámica activa de la península de Santa Elena y su relación con la zona de subducción**

El área de estudio, que corresponde a la Refinería La Libertad ubicada en la península de Santa Elena, se encuentra sobre el Levantamiento de Santa Elena, conformado por rocas de la Formación Tablazo, del Grupo Ancón y por rocas Cretácicas.

A su vez es definido por (Lonsdale, Ecuadorian Subduction System, 1978) como la parte emergida del prisma de acreción. Esta unidad tectónica se originó a partir del Neógeno, producto de la reactivación de la falla La Cruz, provocando dicho levantamiento geológico.

El levantamiento Santa Elena está conformado por un sistema de fallas paralelas a la Falla La Cruz (límite de la Cuenca Progreso) y otro sistema perpendicular, los que han producido microfracturamientos por donde migra petróleo.

El LSE presenta los siguientes límites:

Norte	Cordillera Chongón-Colonche
Sur	Graben de Jambelí
Este	Falla La Cruz
Oeste	Océano Pacífico

Tabla I. Límites del Levantamiento Santa Elena.  
Fuente: Tabla elaborada por los autores.

Desde el punto de vista de la tectónica local para el área de estudio, la activa zona de subducción ecuatoriana afecta los dos bloques continentales móviles, la placa Sudamericana y el Bloque Nor-Andino, ambas sujetas a la

convergencia oblicua de la placa de Nazca, con tendencias estructurales N50E-N80E y movimiento lateral de  $58 \pm 2$  mm/año (Freymueller J., 1993); (Kellogg J. N. a. B., 1982); (Kellogg J. N. a. V., 1995); (Nocquet J.M., 2009); (Pennington, 1981); (Trenkamp R., 2002). El Levantamiento Santa Elena, se encuentra en posición frontal a esta estructura sismogénica.

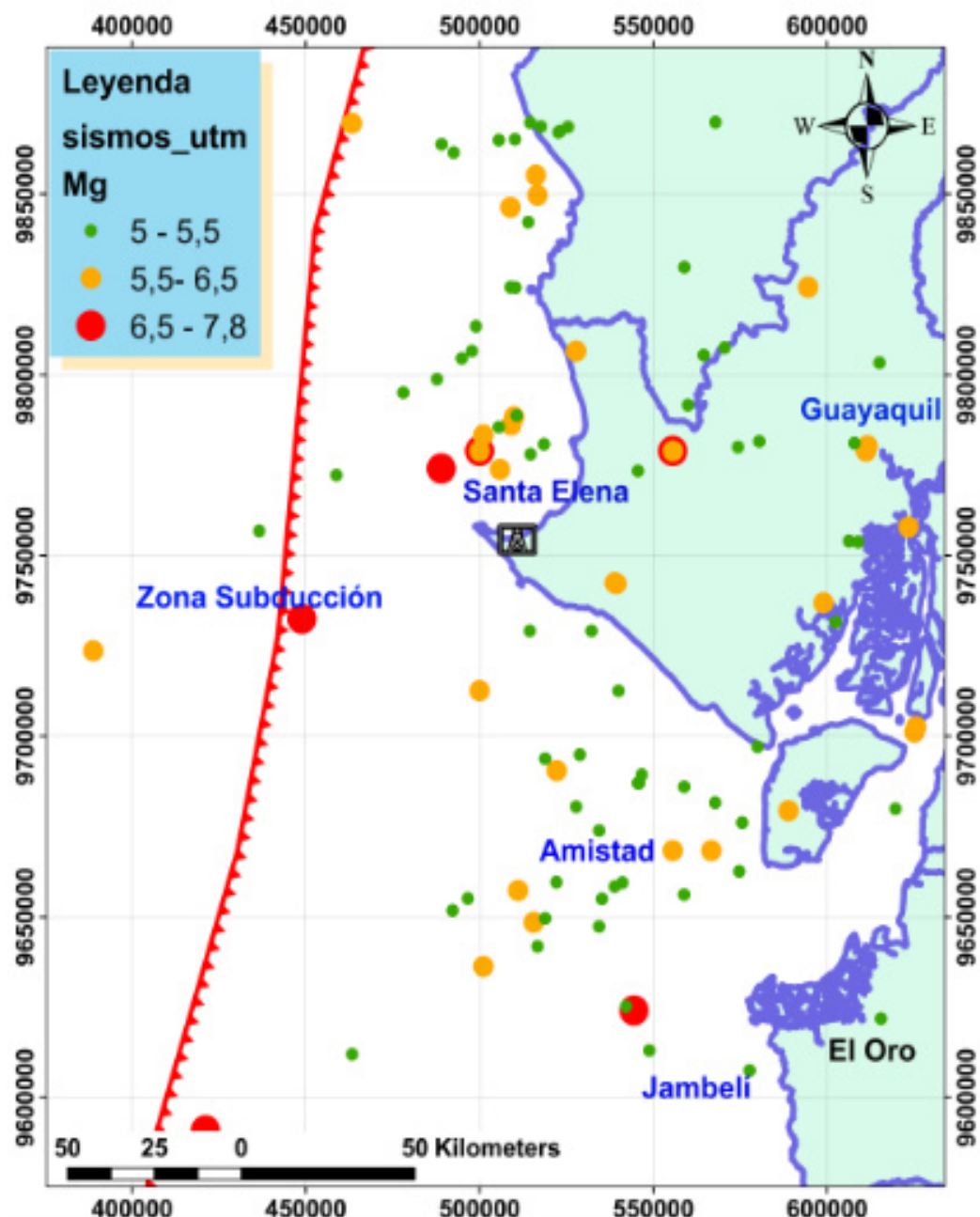


Figura 3. 1. Sismicidad en la zona costera del Ecuador. Distribución espacial de sismos históricos e instrumentales con  $5 \leq Mg \leq 7.8$  cartografiadas en el territorio.

Fuente: Los autores.

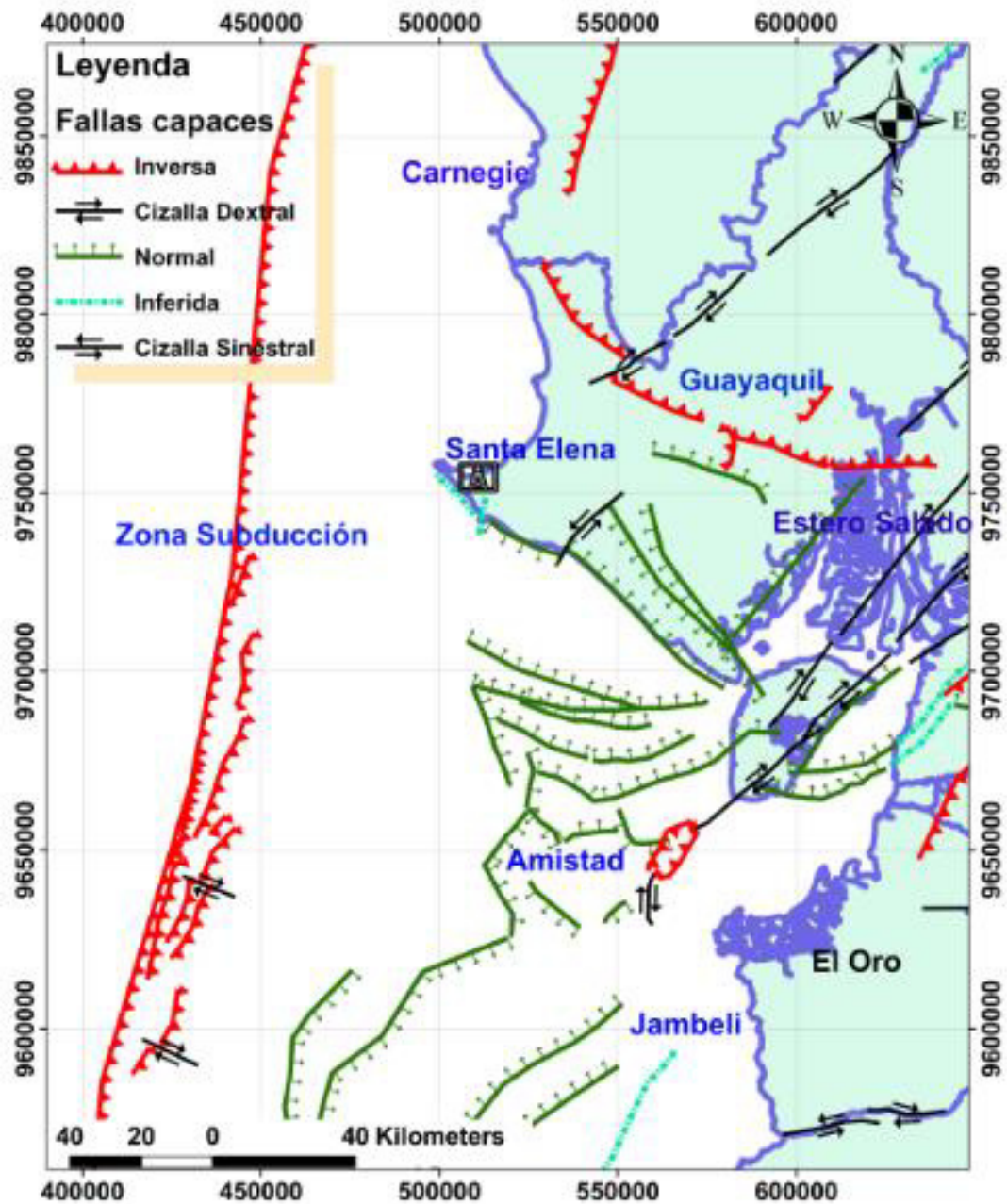


Figura 3. 2. Ambiente tectónico en la zona costera del Ecuador. Cinemática y tipo de fallas activas y capaces cartografiadas en el territorio.

Fuente: Los autores.

### 3.2. Catálogo de sismicidad histórica e instrumental

Se ha elaborado un catálogo sísmico (Anexo 1), para comprender la distribución espacial y recurrencia de los sismos, donde se recogen tanto datos históricos como instrumentales del área que engloba la Refinería de la Libertad y sus alrededores (200 km de radio), a partir de diferentes agencias de todo el mundo. A continuación se listan:

- 1.- “National Earthquake Information Center”, (NEIC, 2014)
- 2.- “Centro Regional de Sismología para América del Sur”, (CERESIS, 1985).
- 3.- “Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, (IGEPN, 2014)
4. - “Northern California Earthquake Data Center”, (NCEDC, 2014).
- 5.- Euro Mediterranean Seismological Centre/ Centre Sismologique Euro-Méditerranéen, (CSEM, 2014).
- 6.- Servicio geológico de los Estados Unidos, (USGS, 2014).

En el Anexo 1, se presentan los sismos en el orden de magnitudes mayores a 5, documentados en los catálogos NCEDC, EMSC, USGS, CERESIS, NEIC, y desde la red local de sismogramas del EPN (desde 1988) para el Golfo de Guayaquil y parte de la península de Santa Elena y provincias del Guayas y El

Oro. Las casillas sombreadas en amarillo representan los terremotos cercanos al Golfo de Guayaquil que originaron Tsunamis con alturas de olas run-up entre 0,2 y 1,8 m.

Esta información sismológica disponible, indica que al interior del Golfo de Guayaquil y parte norte de la provincia de Santa Elena (Figura 3.2) se tiene un corto registro de sismos, iniciando con el primer temblor histórico documentado acontecido el 9 de Mayo de 1653 (Magnitud 5.7 estimada desde intensidad macrosísmica VI, CERESIS). Además de registrarse el primer terremoto macrosísmico en la región costera del Ecuador el 11 de junio de 1787 (magnitud estimada 6,5, intensidad macrosísmica de VIII), en su totalidad se han registrado 142 sismos con magnitudes en el orden de  $5,0 \leq M \leq 7,8$ . Muchos de estos sismos tienen distancias hipocentrales menores a 20 km de profundidad, los cuales son atribuidos a sistemas de fallas corticales y de subducción.

Los terremotos que generaron eventos por tsunamis en el Golfo de Guayaquil son poco documentados, el terremoto del 7 de enero de 1901 de magnitud 7,8 (otros catálogos estiman 7,6) frente a la Península de Santa Elena no tiene suficiente documentación que permita evaluar los daños macrosísmicos en el terreno.



El fuerte terremoto del 2 de octubre de 1933 (Magnitud 6,9) tuvo su epicentro cercano al sitio Refinería La Libertad con distancia aproximada 28 km, este evento documenta oscilaciones del nivel del mar con alturas de ondas de tsunamis en el orden de los 2 a 2,5 m, penetrando como forma de inundación y no como oleaje turbulento para el borde costero de Santa Elena (Arreaga & Ortiz, 2002; Espinoza, 1992). Otro terremoto de considerable magnitud (6,7) con su epicentro cercano (51 km) al área de estudio, ocurrió el 30 de Enero de 1943.

El tsunami del 12 de diciembre de 1953 (magnitud 7.8), generado frente a la costa de Tumbes (frontera Ecuador – Perú) reporta ondas de 20 cm de altura para la población La Libertad y rápida inundación para la franja costera de Salinas (Silgado, 1957). El terremoto y tsunami del 7 de febrero de 1959 (Mw 7,2) y del 5 de agosto de 1996 (Mw 6,2) no proporciona mayores datos relevantes a efectos cosísmicos en el terreno.

No obstante, desde el catálogo del NCEDC, se obtuvo importante información sismológica e instrumental, que indican una alta recurrencia sísmica entre el 21 y 24 de Enero del 2005, siete terremotos de considerables magnitudes en el orden de los 5 a 6,1 tuvieron sus epicentros en la Zona Sismogénica Carnegie cercanos (87 km) a la Refinería de la Libertad.

Según el catálogo del CERESIS, se registraron una recurrencia sísmica en el año de 1961, cuatro terremotos de considerables magnitudes en el orden de los 5,8 a 6,2, mismos que tuvieron sus epicentros en la Zona Sismogénica Amistad con distancia aproximada de 43 km al sitio de la Refinería La Libertad.

La red sismológica local del EPN, desde su funcionamiento en 1988, ha registrado sismos con magnitudes menores a 5,6, estos datos permiten indicar que la recurrencia de terremotos con magnitudes mayores a 6 corresponde a intervalos de recurrencias más largos, siendo el último documentado el 5 de mayo del 2005.

La información sismológica disponible de la RENSIG (llamado así también a la EPN del Instituto Geofísico del Ecuador) comprende actualmente sismos con  $M_s \geq 4$ .

En esta área de estudio seleccionada, según el catálogo de sismos de Northern California Earthquake Data Center (NCEDC, 2014), uno de los últimos sismos considerables fue registrado el 24 de Enero del 2005 con  $M_w$  6,1 y distancia focal de 28,5 km, pero luego de este el 28 de Enero del 2005 se registró un sismo con  $M_w$  6 y distancia focal de 12 km, siendo este de mayor riesgo sísmico debido a su distancia focal más próxima a la superficie.

Muchos de estos sismos hipocentrales son producto de la dinámica entre choques y posterior subducción a través del plano de Benioff de la placa oceánica de Nazca contra el segmento continental conformado por el Bloque Norandino en el Norte y la placa Sudamericana al Sur (Chunga K. M. C., 2013).

Desde un punto de vista del análisis geológico estructural, las secciones sísmicas de reflexión (elaboradas por EP-Petroecuador y también a ser analizadas en este estudio) y registros litológicos de pozos exploratorios efectuados en alta mar (LRG, 1986); (Witt C., 2006), indican para el Golfo de Guayaquil y la provincia de Santa Elena un ambiente distensivo con dominio de fallas cizallas dextrales y sinestrales asociada a la abertura y formación de cuencas distensivas en el Golfo de Guayaquil. Cobos & Montenegro (Cobos L., 2010) definen a la cuenca del Golfo de Guayaquil de tipo “pull-apart” de régimen distensivo. Regionalmente, los principales esfuerzos de deformación son direccionados por el empuje tectónico de la placa oceánica que colisiona y se subduce en la zona tectónica, limitante con el Golfo de Guayaquil (Chunga K. M. C., 2013).

### 3.3. Delineación de fallas geológicas activas

Para proceder a realizar el análisis de escenarios en terremotos, se tomó como base de datos todas las fallas geológicas activas y capaces (conocidas

también como estructuras sismogénicas) cartografiadas al interno del Golfo de Guayaquil y disponible en literatura por LRG (LRG, 1986). Estudios posteriores tales como, (Cobos L., 2010); (Deniaud Y., 1999); (Witt C., 2006); (Chunga, 2010) han permitido completar en nuestro análisis un catálogo de fallas activas y capaces.

El término falla capaz designa a una fuente generadora de futuros terremotos si presenta dislocaciones superficiales durante los últimos 30.000 años (IAEA, 2002).

El término falla potencialmente activa, se lo usa para describir a una fuente generadora de futuros terremotos, siempre que muestre dislocaciones superficiales por lo menos una vez en los últimos 50.000 años. (IAEA, 2002); (Michetti A.M., 2007).

El catálogo de fallas geológicas de tipo activas y capaces para Ecuador, incluye 142 terremotos corticales que describe los parámetros de: (1) distancia de hipocentros inferior a 40 Km, (2) intervalo de magnitudes comprendida entre  $5 \leq M \leq 7,8$ .

Para la complementación de este catálogo, las informaciones sobre localidad de epicentros, intensidad máxima estimada, máxima magnitud asociada,

distancia de área epicentral y efectos cosísmicos en el terreno, han sido obtenidas del análisis y de la combinación de varios catálogos, tales como: (a) “National Earthquake Information Center” (NEIC, 2014), (b) Centro Regional de Sismología para América del Sur” (CERESIS, 1985), (c) “Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN, 2014), (d) “Northern California Earthquake Data Center” (NCEDC, 2014), (e) Euro Mediterranean Seismological Centre/ Centre Sismologique Euro-Méditerranéen (CSEM, 2014), (f) El servicio geológico de los Estados Unidos (USGS, 2014).

En el catálogo NEIC se encuentran registrados datos de terremotos instrumentales del Ecuador desde 1973 (disponible en escala Magnitud momento,  $M_w$ ).

También se encuentran disponibles en el catálogo CERESIS datos de terremotos de época pre- instrumentales en escala de intensidad macrosísmica,  $M_e$ .

### 3.4. Delineación de zonas sismogénicas

Análisis geológico estructural y de tectónica activa han permitido delinear la zona sismogénica del área de estudio, que corresponde a la Refinería La

Libertad, así como de las zonas cercanas en un radio aproximado de 200 Km (Figura 3,4.). Esta zona está formada por un sistema de fallas paralelas a la falla La Cruz y otro sistema perpendicular, donde se encuentra el Levantamiento Santa Elena.

El Levantamiento de Santa Elena, es consecuencia de los esfuerzos de comprensión ejercido por el empuje de la placa oceánica pre-Nazca contra la zona de subducción. Esta zona actualmente está representada por sistemas de fallas normales que delimitan la cuenca del Progreso.

Otra zona de interés para este estudio, es la Zona de Subducción que delimita el segmento oceánico de la trinchera o fosa Ecuador y la colisión continental con la placa de Nazca y el Bloque Norandino. En esta zona se encuentra sistemas de fallas de corrimiento (inversa de bajo ángulo) que dominan la tectónica estructural del Prisma de Acreción.

La zona del estero salado caracterizada por sistemas de fallas de cizallas dextrales, en su mayoría, delimitan la franja de deformación cortical del Sistema Mayor Dextral, donde el Bloque Norandino se desplaza a lo largo de la placa Sudamericana.

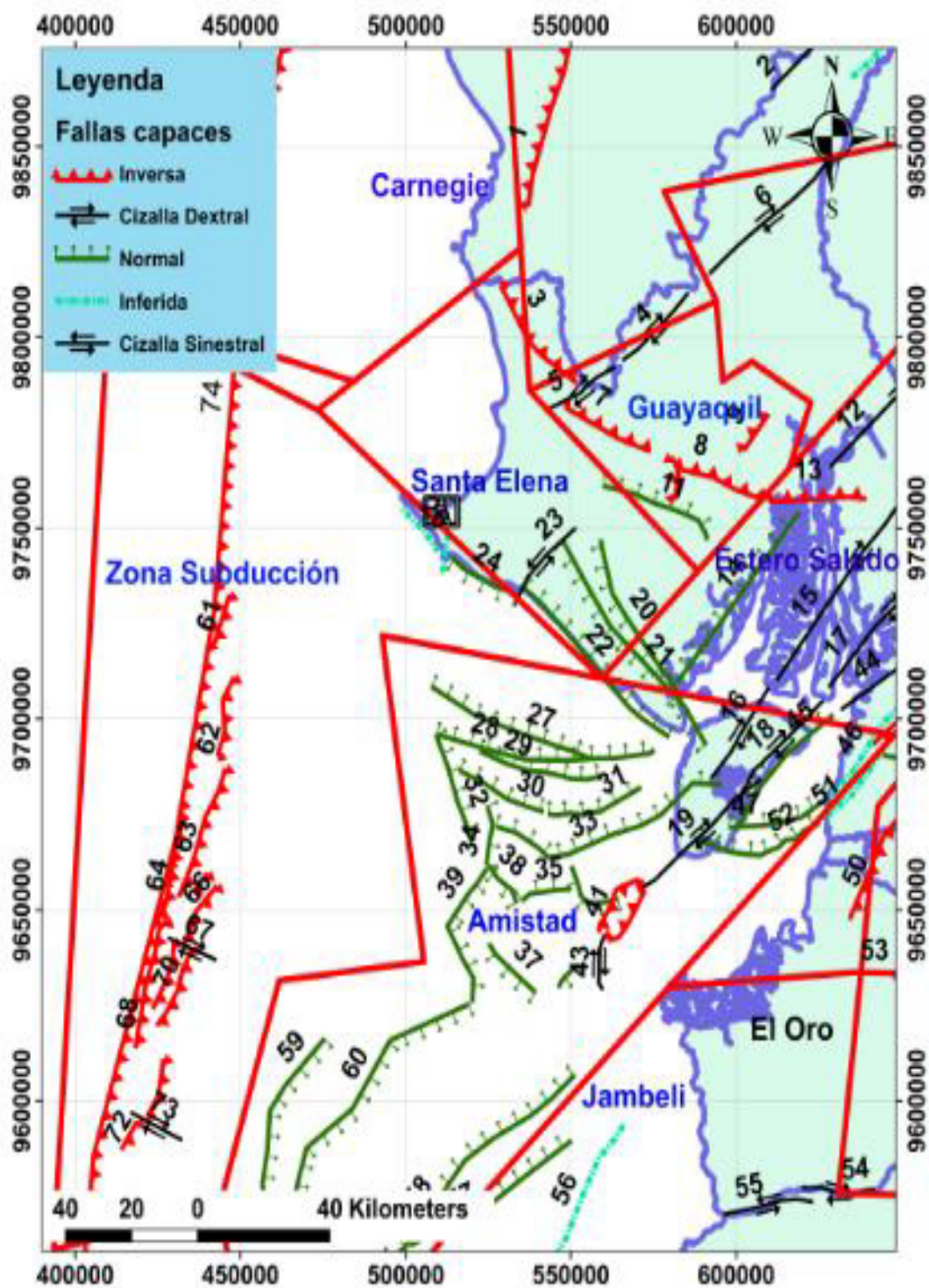


Figura 3. 3. Zonas sismogénicas delineadas para el Golfo de Guayaquil.  
Fuente: Los autores.

### 3.5. Estimación de máximas magnitudes y PGA desde fallas activas

La generación de modelos de máxima magnitud se obtienen desde la aplicación de fórmulas de regresión lineal propuesta por Wells & Coppermish (1994); y los modelos de PGA en roca desde la aplicación de fórmulas propuestas por Joyner & Boore (1981), Campbell (1981) o Fukushima & Tanaka (1990). Cabe señalar que los valores de máximas magnitudes estimadas y PGA han sido calculados desde el análisis de fallas geológicas activas y capaces (Neotectónica), sin tener en cuenta el tipo de suelo, entre otros parámetros de geotécnica.

De acuerdo a las fórmulas de regresión lineal propuesta por Wells & Coppermish (Wells, 1994) el tamaño y la forma de la ruptura en el plano de falla están directamente relacionados con la magnitud del terremoto, como consecuencia de esto, eventos más grandes rompen porciones más largas y más anchas del plano de falla.

En nuestro análisis, todas las fallas enumeradas para el presente estudio se consideran activas y capaces.



El acercamiento más usual para estimar la máxima magnitud es a través de una comparación de la longitud de la ruptura de la falla y su magnitud asociada; confirmando lo anteriormente mencionado, se estima las magnitudes máximas para cada una de las 74 fallas corticales (Anexo 3) basadas en relaciones empíricas de regresión de magnitud-terremoto-ruptura/desplazamiento de falla geológica, propuesta por Wells & Coppersmith (Wells, 1994).

Aplicando la relación empírica de regresión, la máxima magnitud asociada y el máximo desplazamiento estimado para cada una de los segmentos de fallas individualizados en el Golfo de Guayaquil (también aquellas cercanas en la región fronteriza con el Perú,), se deriva desde las siguientes ecuaciones:

$$\text{Magnitud estimada} = 5,08 + 1,16 * \text{LOG}(L)$$

$$\text{Desplazamiento de falla (MD)} = \text{EXP}(-1,38 + 1,02 * \text{LOG}(L))$$

Donde:

L: es la longitud de la falla geológica activa o capaz, expresada en km.

MD: es el máximo desplazamiento de falla, expresada en metros.

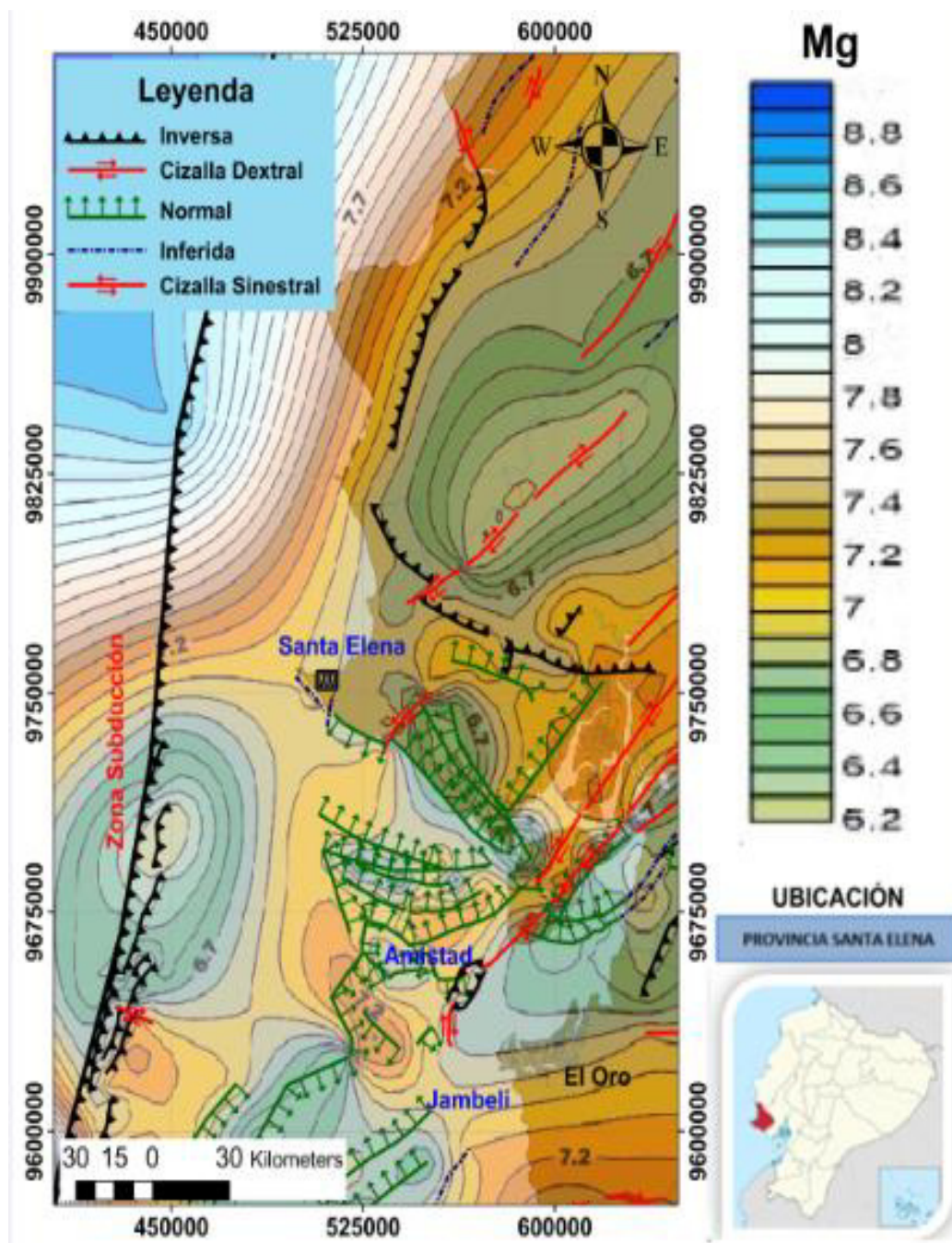


Figura 3. 4. Mapa de magnitud estimada (Mg) desde relaciones empíricas propuestas por Well & Coppermish (Wells, 1994). Modelo aplicado en este estudio desde datos de fallas activas y capaces.

Fuente: Los autores.

El término peak ground acceleration (PGA), se lo usa en ingeniería para medir la intensidad en terremotos, además es utilizado para establecer zonas de riesgo sísmico. Generalmente la unidad de aceleración utilizada es la intensidad del campo gravitatorio ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ).

La aceleración sísmica toma diferentes valores dependiendo de dónde se haya originado el terremoto (Tabla II), y es sencillo correlacionarla con la Escala Macrosísmica Europea (EMS) y la Escala de Magnitud de Momento ( $M_w$ ).

<b>Intensidad Macrosísmica</b>	<b>Magnitud de Momento</b>	<b>PGA</b>	<b>Zonas Sismogénicas</b>
X- XI	8- 8,5	0,45 – 0,6 g	Subducción
IX- X	7- 7,3	0,35-0,39 g	Prisma de acreción
VII- VIII	6- 6,9	0,28- 0,33 g	Fallas Corticales

Tabla II. Valores de intensidad macrosísmica, magnitud de momento y PGA relacionadas con diferentes zonas sismogénicas.

Fuente: Los autores

Aplicando la fórmula propuesta por Fukushima & Tanaka (1990), los modelos de PGA en roca para cada una de los 74 segmentos de fallas individualizados, se deriva desde las siguientes ecuaciones:

$$\log A = \alpha M - \log (R + c10^{\alpha M}) - bR + d$$

Donde A es en  $\text{cm}^2/\text{s}^2$ ,  $a = 0,41$ ,  $b = 0,0034$ ,  $c = 0,032$ ,  $d = 1,30$  and  $\sigma = 0,21$ .

M= Momento de Magnitud estimada =  $5,08 + 1,16 \cdot \text{LOG}(L)$ .

R= Profundidad Falla, expresada en km.

L: es la longitud de la falla geológica activa o capaz, expresada en km.

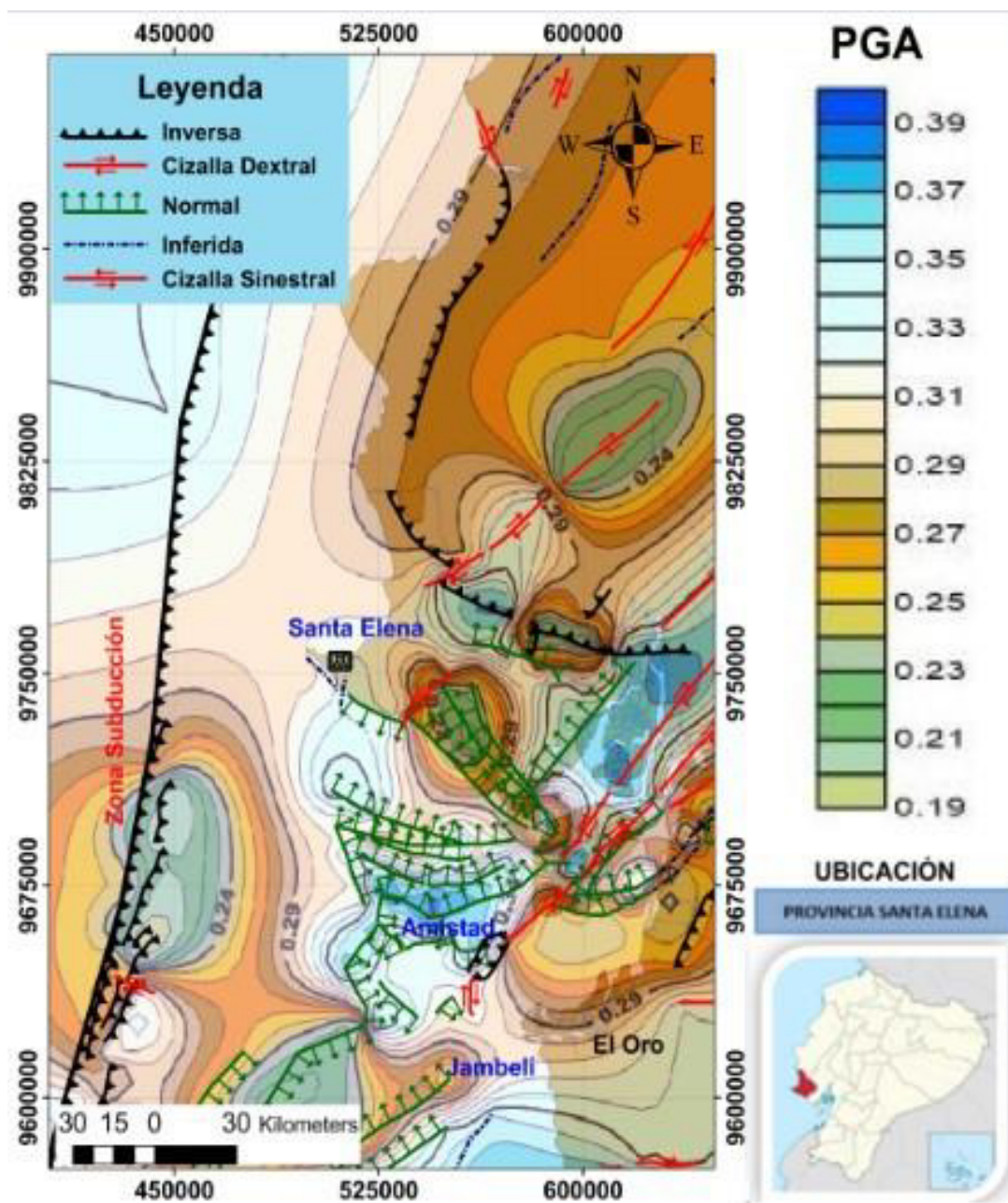


Figura 3. 5. Mapa de máximas aceleraciones en roca (PGA) desde la aplicación de modelos de atenuación propuesto por Fukushima & Tanaka (Fukushima Y., 1990). Vista local de Refinería La Libertad.

Fuente: Los autores.

Por lo tanto: las fallas Salinas, Anconcito, Chanduy, Zapotal son las más próximas al área de estudio y alcanzan los valores de aceleraciones en roca de 0,31 g y 0,33 g, las máximas magnitudes estimadas comprenden valores entre los 6,8 y 7,1, tratándose así de una zona de alta peligrosidad sísmica por tratarse de fallas relativamente superficiales (20 km). Las fallas: Playas, La Cruz, Progreso, que presentan evidencia morfológica y sismológica, alcanzan valores de aceleraciones en el orden de los 0,25 g, 0,21 g, 0,23 g, este valor es estimado desde la distancia hipocentral de las fallas entre los 16, 18 y 20 Km de profundidad, donde las estimaciones de máximas magnitudes comprenden los 6,3, 6,3, 6,5 respectivamente.

La falla Carrizal alcanza valores de aceleración en roca de 0,36 g siendo una de las más considerables, desde un punto de vista de la peligrosidad sísmica, debido a que podría generar sismos en el orden de magnitudes de 6,6 y 6,9.

Al interior de la Zona Amistad, la existencia de fallas geológicas potencialmente capaces de generar sismos de magnitudes considerables a altas, entre ellas las fallas más cercanas que comprenden los cinco componentes de estudios son las fallas: Playas (segmentos 1, 2 y 3, indicado en cartografía como S1, S2 y S3), fallas Data S1 y S2, falla Golfo, falla Posorja, falla Tenguel y falla Domito S2 y S3. Todas estas son consideradas fallas activas con estimaciones de máximos valores de aceleraciones en roca de

0,28 g y 0,39 g. Las máximas magnitudes estimadas que podrían generarse en proximidad está zona comprenden valores de 6,5 y 7,2.

Las fallas activas cartografiadas en el Estero Salado, identificadas en el catálogo como: falla Estero Salado- Posorja, fallas Guayaquil Dolores S1 y S2, falla Puna Norte y falla Guayaquil Babahoyo, alcanzan aceleraciones en roca en el orden de los 0,32 g y 0,36 g estos valores son estimados desde la dimensión de la estructura sismogénica y de las distancia hipocentrales entre los 15 y 33 Km de profundidad. Las máximas magnitudes estimadas alcanzan valores entre los 6,5 y 7,1.

De todos los sistemas de fallas analizados en este estudio, se define a los sistemas de fallas del prisma de acreción (en el catálogo de fallas enumerado desde el segmento 61 al 74) como aquel capaz de generar potenciales terremotos en el orden de 6,2 a 8,66, con una posible asociación tectónica al terremoto del 07 de enero de 1901 de magnitud 7,8. La aceleración en roca estimada para esta estructura sismogénica alcanza los 0,34 g.

Se pudo determinar los ambientes tectónicos dominantes (Tabla III), a partir de los diversos tipos de fallas geológicas identificadas en cada zona sismogénica del área que engloba la Refinería La Libertad y sus alrededores,

además se estimaron las máximas magnitudes esperadas y las aceleraciones en roca.

<b>Ambientes tectónicos dominantes</b>	<b>Zonas Sismogénicas</b>	<b>Fallas asociadas</b>	<b>Rango PGA</b>	<b>Rango máximas magnitudes</b>
Levantamiento Santa Elena	Santa Elena	Salinas, Anconcito, Chanduy, Zapotal	0,31-0,33 g	6,8-7,1
Cuencas estructurales de Amistad y Jambelí	Amistad	Playas (S1, S2, S3), Data (S1,S2), Golfo, Posorja, Tenguel, Domito (S1, S3)	0,28-0,39 g	6,5-7,2
Zona de Subducción	Zona Subducción	Fallas prisma de acreción (13 en total) y falla de subducción	0,19-0,33 g	6,2-8,6
Sistema Mayor Dextral	Estero Salado	Guayaquil Dolores(S1, S2), Río Guayas, Puna Norte, Guayaquil-Babahoyo	0,27-0,38 g	6,5-7,2

Tabla III. Ambientes tectónicos dominantes del área que engloba la Refin. La Libertad y sus alrededores (200 km de radio).

Fuente: Los autores



# **CAPÍTULO 4**

## **4. GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGO**

### **4.1. Introducción a la gestión de riesgo**

La Gestión Integral del Riesgos aplicada a la Refinería de la Libertad, sector industrial muy importante para la provincia de Santa Elena y el país, permite identificar los riesgos externos (geológicos, sísmicos, hidrogeológicos) e internos (de tipo industrial) que podrían afectar el funcionamiento operativo de la infraestructura, provocando pérdidas económicas significativas para el estado.

El Riesgo se puede medir como una combinación de factores que influyen en su nivel, los cuales son: peligro, vulnerabilidad y exposición.

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{Exposición}$$

- Peligro: es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructivo, en un lapso dado (o tiempo determinado). En este sentido, un sólo fenómeno puede provocar distintos peligros, es decir un terremoto puede provocar inundación por tsunamis, grietas en el terreno, fallamiento superficial y subsidencia natural o aceleración de subsidencia antropogénica.
- Exposición: comprende todo lo que puede ser dañado o perdido, está directamente relacionado con la ubicación de los bienes.
- Vulnerabilidad: condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales, que aumentan la susceptibilidad de un sector al impacto de amenazas. (CENTRO PANAMERICANO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES GEOGRÁFICAS, 2014).

**Por ejemplo:** Si un tsunami llegase a impactar a RLL (Refinería la Libertad), son tres los peligros asociados: la máxima inundación run up, el impacto a la infraestructura debido a la velocidad de desplazamiento de la ola y el aumento en el nivel medio del mar provocando una rápida erosión y menores

deslizamientos o derrumbes de estratos rocosos en los acantilados, cada una de estas características tiene intensidades medibles y se puede estimar su periodo de retorno. El terminal petrolero, subestaciones, área de almacenamiento, área de finanzas y bienestar social, son las partes de la infraestructura con mayor exposición debido a su cercanía con el océano. Mientras que, el área de almacenamiento o taquería es la zona más vulnerable por su importancia de las facilidades, por su estructura física y por los daños económicos y de contaminación que se podrían presentar en caso de que dicha área falle.

#### 4.1.1. Situación general frente al riesgo de la Refinería La Libertad

La Refinería la Libertad como prevención ante una situación de peligro de tipo sísmico que pueda provocar fenómenos geológicos y daños a la infraestructura, cuenta con los sistemas contra incendios, equipos de emergencias, autobombas, difusores de sonido, sistema de alarma, lámparas de emergencia, extintores, etc.

A pesar de contar con sistemas que permiten que su operación sea segura, el nivel de riesgo cero no es posible, por tal motivo la empresa en el año 2004

desarrolló un “Plan de Emergencia” acuatizado en el año 2010, que pretende cubrir todos los posibles escenarios de amenazas que puedan enfrentar las instalaciones.

#### 4.1.2. Metodología utilizada para el análisis de riesgos externos

Los riesgos externos consisten en las amenazas geológicas que no dependen de la Refinería La Libertad, considerados los fenómenos naturales no controlados que pueden amenazar sus instalaciones y su operatividad.

Los objetivos primordiales del análisis de riesgos son la prevención de la ocurrencia y la adopción de medidas en respuesta a los efectos causados ante un evento sísmico de gran magnitud o tsunami, esto se consigue a través de un método sistemático de recopilación de información de eventos históricos registrados, evaluación del nivel del peligro desde la dimensión de falla geológica, magnitud de daño que podría ocasionar a la zona de almacenamiento (considerada la más vulnerable).

La identificación de los peligros que pueden originarse de una sola amenaza, consiste en especificar el acontecimiento adverso que puede significar un

peligro potencial para los bienes de la Refinería La Libertad. Además se debe clasificarlos según su naturaleza o la probabilidad de recurrencia, conociendo que el primer reporte de terremoto fuerte local aconteció en enero de 1901 (magnitud 7,6 frente a Salinas); información más antigua no es posible por el corto catálogo de sismos históricos para el litoral Ecuatoriano, esta escasez de información puede subestimar el nivel de sismicidad de un área de estudio.

#### 4.1.3. Identificación de factores de riesgo externo en la Refinería La Libertad.

Las principales amenazas de tipo externo en la Provincia de Santa Elena, están relacionadas con factores geodinámicos externos e internos. El principal factor considerado es su situación geográfica, la cual se encuentra fuertemente influenciada por la subducción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana; que exponen al territorio a amenazas geológicas, esto sumado a la vulnerabilidad a peligros hidrometeorológicos/oceanográficos, tales como los eventos recurrentes del Fenómeno del Niño con impacto de la dinámica de mar en los acantilados y las inundaciones de los ríos por su alto aporte de aguas de escorrentías.

Los fenómenos naturales que se presentan en el área de estudio producto de los factores antes mencionados, pueden causar daños parciales o totales a las instalaciones de la Refinería La Libertad, dependiendo de su magnitud y el lugar donde se originen. Recordando que la costa de Ecuador tiene documentado el sexto terremoto más fuerte del mundo, el 31 de enero de 1906, magnitud 8,8, en Esmeraldas, muy posible que parte de esa influencia de onda marina de tsunami tuvo su efecto en la costa de la península de Santa Elena.

#### 4.1.3.1. Riesgo por terremotos de subducción y cortical

La Refinería de la Libertad se encuentra en una zona de alto nivel de sismicidad, debido a la convergencia de la placa oceánica de Nazca que colisiona y subduce contra el segmento continental de la placa Sudamericana, dicho desplazamiento de la placa de Nazca es de 6 a 8 cm por año en dirección N 80 °E (Baldock 1983, Barazangi & Isacks 1976, Benítez 1995, Bourdon & Eissen et al. 2003, Gustcher et al., 1999, White et al., 2003), el ángulo de subducción a través del plano de Benioff varía entre los 4° y 5° de inclinación por debajo de la Provincia de Santa Elena, incrementando a 17° - 20° por debajo de los Andes. Este análisis sólo se focaliza en el margen costero.

Este empuje tectónico ha formado diferentes niveles de deformación en la corteza continental y la consecuente formación de diversos sistemas de fallas activas como las existentes en el piso marino del Golfo de Guayaquil y en la plataforma continental de la provincia de Santa Elena (Chunga & Quiñonez, 2013). Dichas fallas geológicas son potencialmente capaces de generar sismos de considerables magnitudes que podrían afectar los lugares más vulnerables de la infraestructura de la Refinería La Libertad y la seguridad operacional de la misma.

En el área estudio, el último sismo considerable en el Golfo de Guayaquil y el segmento continental de la provincia de Santa Elena, fue registrado el 21 de mayo de 2005 con Mw 6,3 y distancia focal (H) de 39 Km (NEIC, National Earthquake Information Center).

### **Evaluación de peligro potencial de terremoto**

Para determinar los niveles de amenaza física en la provincia de Santa Elena se tomó los análisis realizados en el capítulo 3 de este estudio, relacionándolos con: (1) el mapa de zonación sísmica del Código Ecuatoriano de la Construcción NEC (2011), donde la zona de subducción y el área de estudio tiene un promedio de 0,45 a 0,50 g (*Peak Ground Acceleration*, PGA), (2) mapa

de fallas activas (2002) elaborada por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional y el USGS de los Estados Unidos, (3) mapa de fallas corticales activas y capaces proporcionada por Chunga (2010).

La estimación de la distancia promedio entre el sitio de estudio y el prisma de acreción es de 66 km, esta zona es la principal estructura sismogénica donde se pueden presentar terremotos en el orden de magnitudes de 8,0 a 8,6, escala momento de magnitud Mw.

#### 4.1.3.2. Riesgo por tsunamis

Un terremoto producido costa fuera puede producir movimientos súbitos de la corteza submarina que generan ondas de energía que pueden viajar hasta miles de kilómetros por el mar a grandes velocidades y, al llegar a las costas, pueden convertirse en olas gigantes, de varios metros de altura, fenómeno conocido como tsunami, el cual puede arrasar con las zonas costeras, incluso varios kilómetros tierra adentro. (Proaño & Yépez, 2012).



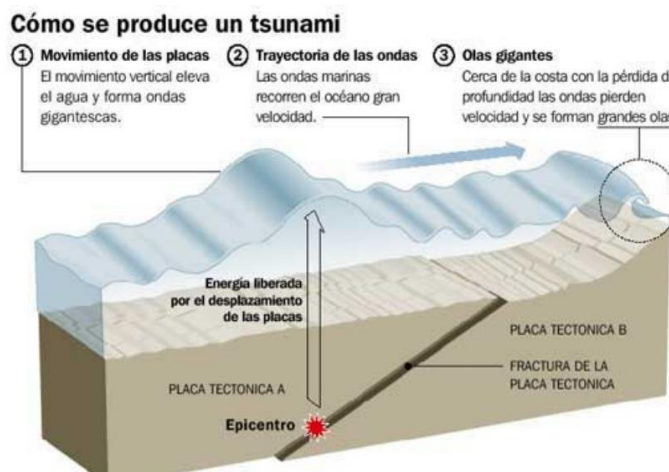


Figura 4. 1. Levantamiento de fondo marino, etapa inicial de formación de un tsunami.

Fuente: (Proaño & Yépez, 2012).

Los tsunamis son generalmente producidos por sismos mayores a 7 grados en la escala de Richter, hipocentros superficiales (inferiores a 60 km) y epicentros oceánicos y continentales cercanos a la línea de costa. A medida que aumenta la magnitud de un terremoto, y/o disminuye la profundidad del foco, la magnitud del tsunami se incrementa, y sus efectos se verán potenciados por las características batimétricas, distancia del epicentro a la línea de costa, estado de la marea y morfología de la topografía en superficie, pueden causar inundaciones súbitas y violentas, especialmente en litorales bajos con desembocaduras fluviales muy amplias, como las de Chanduy y Monteverde, para el sitio de estudio no hay estos rasgos geomorfológicos de entrada fluvial. (Ponce , 2011).

## **Registro de tsunamis que impactaron en el Ecuador**

Las costas ecuatorianas han sido impactadas por tsunamis generados luego de la ocurrencia de sismos de magnitud mayor a 7,5, los efectos destructivos de dichos eventos han sido mayores o menores dependiendo de su intensidad.

Según el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR; Espiniza, 1992), se han contabilizado 5 eventos tsunamigénicos de importancia en el Ecuador, de los cuales los que se presentaron cerca del área de estudio son detallados a continuación:

- 7 de enero de 1901: de magnitud 7,8 (otros catálogos estiman 7,6) frente a la Península de Santa Elena no tiene suficiente documentación que permita evaluar los daños macrosísmicos en el terreno, pero en los catálogos de la NEIC indica un potencial evento de tsunamis.
- 2 de Octubre de 1933: un sismo localizado en las coordenadas 2°S y 81°W (frente a La Libertad en la Península de Santa Elena), con magnitud 6,9 Richter, produjo fuertes oscilaciones del nivel del mar con alturas de ondas de

tsunamis en el orden de 2 a 2,5m, inmediatamente después del terremoto, el mar se retiró y luego se elevó alcanzando el nivel de la alta marea una hora después de ocurrido el sismo. El tsunami causó una inundación en lugar de oleaje turbulento, al arribo a las costas de la provincia de Santa Elena.

- 12 de Diciembre de 1953: el sismo localizado en las coordenadas 3.4°S y 80.6°W con magnitud 7,3, ocurrió en la frontera Ecuador - Perú, frente a la costa de Tumbes, lo cual produjo oscilaciones de 20 cm en la costa norte de la Península de Santa Elena, las ondas fueron no destructivas y el tsunami fue de origen cercano a La Libertad.

Existe escasa información de estos dos eventos tsunamigénicos ocurridos frente a La Libertad y en la frontera Ecuador – Perú mencionados anteriormente. En referencia a los efectos cosísmicos en el terreno de la recurrencia sísmica entre abril 1961 y marzo 1962, al interior de las provincias costeras cercanas, no han sido documentados rasgos geológicos considerables; sin embargo es probable que los movimientos telúricos de aquella época se presentaran como atenuaciones de mayores duraciones en sedimentos cuaternarios de tipo arcilloso no consolidados.

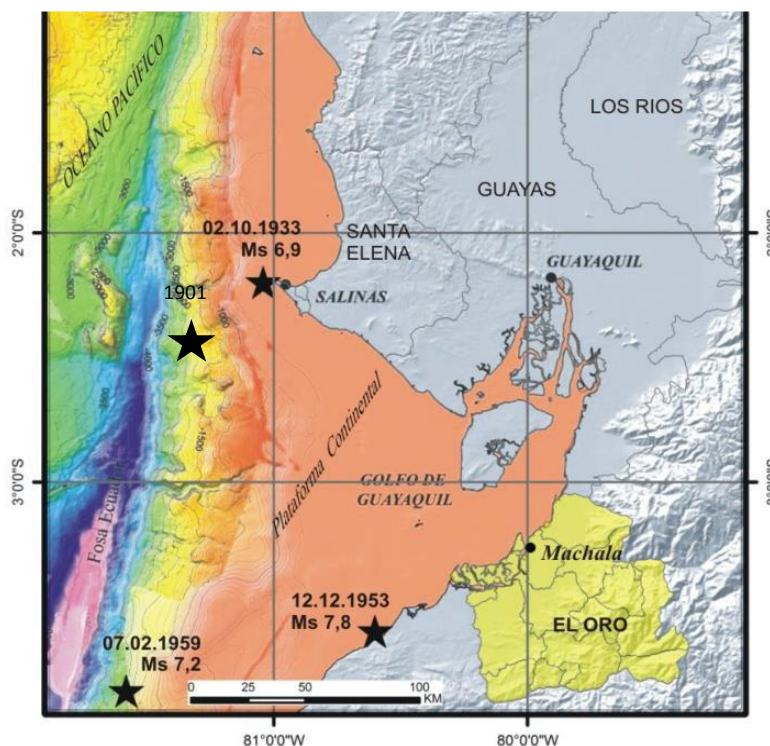


Figura 4. 2. Tsunamis históricos cercanos al área de estudio.  
Fuente: Modificado de Chunga et al., 2009.

### Evaluación de peligro potencial de tsunamis

Para evaluar y determinar la susceptibilidad por tsunami se debe analizar la exposición de la costa ecuatoriana desde el filo costero hasta una distancia de 200 o 500 m. tierra adentro.

La magnitud del daño que puede causar un tsunami en áreas costeras puede ser evaluada según los siguientes parámetros:

- Magnitud del fenómeno que produce el tsunami.
- Topografía submarina en la propagación del tsunami.
- Distancia del epicentro a la costa.
- Configuración de la línea de costa.
- Características direccionales respecto al epicentro.
- Estado de la marea al tiempo de llegada de tsunami.
- Influencia de la topografía en superficie, planicie o terrazas aluviales inundables.

### **Simulación de propagación de ondas de tsunamis para la Refinería La Libertad**

La estructura sismogénica de máxima probabilidad de ocurrencia de terremotos de magnitudes mayores a 7 y la consecuente formación de tsunamis considerada para esta modelación es el sistema de fallas inversas de bajo ángulo, de 70 km de longitud, la cual se encuentra ubicada a 128 km al oeste de la Isla Puná.

La simulación se genera a partir de los datos de distancia horizontal al sitio de estudio, el relieve submarino del talud y plataforma continental, y cotas batimétricas.

Para el método de simulación aplicado para obtener el tiempo de llegada de la primera onda de tsunami hacia el área de estudio, se ha considerado los modelos numéricos de tsunamis realizados con el software ITDB de la NOAA. Lo importante en este análisis es posicionar la estructura sismógena, es decir su distancia al sitio de la Refinería, determinando el tiempo de impacto.

La simulación numérica es delineada por isolíneas con espacio de tiempo de 5 minutos, siendo estas más estrechas al aproximarse a la línea de costa.

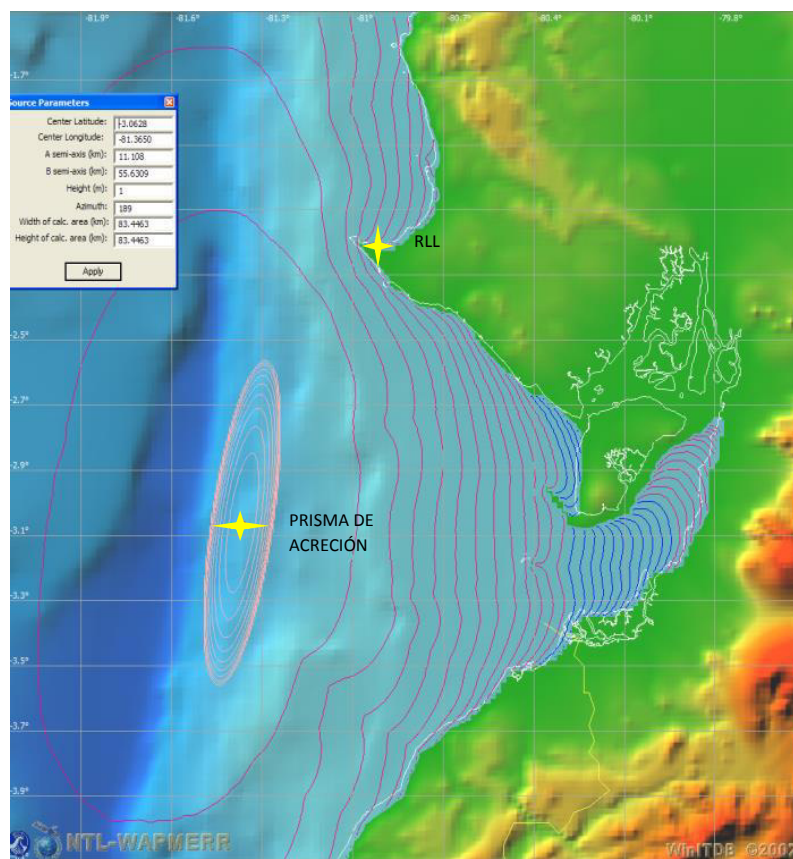


Figura 4. 3. Ondas de desplazamiento continuo, el tiempo de impacto en La Libertad T<sup>~</sup>40min. ITDB-NOAA.  
Fuente: Los autores.

La modelación indica que el tiempo aproximado de llegada de la onda de tsunami con respecto a la ubicación de la Refinería La Libertad es de aproximadamente 40 a 45 minutos desde la fuente sísmica. Cada isólinea indica 5 minutos de tiempo, siendo el primer impacto en La Libertad T<sup>~</sup>40min. ITDB-NOAA. La altura puede ser estimada entre 5 a 8 metros de altura considerando el nivel de marea alta. Datos a partir de un sismo de 8 y 8,6 de magnitud.

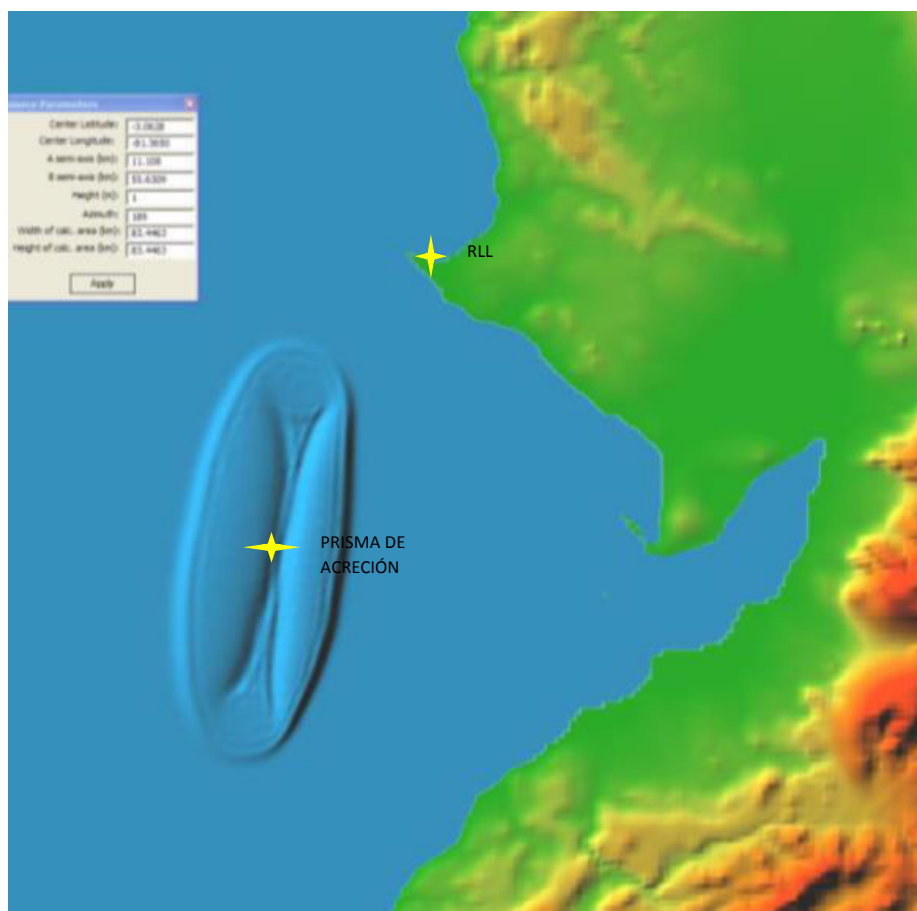


Figura 4. 4. Simulación de tsunami en zona sismogénica realizada desde el software WIN/ITLB de la NOAA, ubicada a 66 km de distancia del sitio Refinería La Libertad.  
Fuente: Los autores.

En la imagen se puede apreciar la deformación inicial de la columna de agua y la propagación de la ola causada por el sismo de gran magnitud.



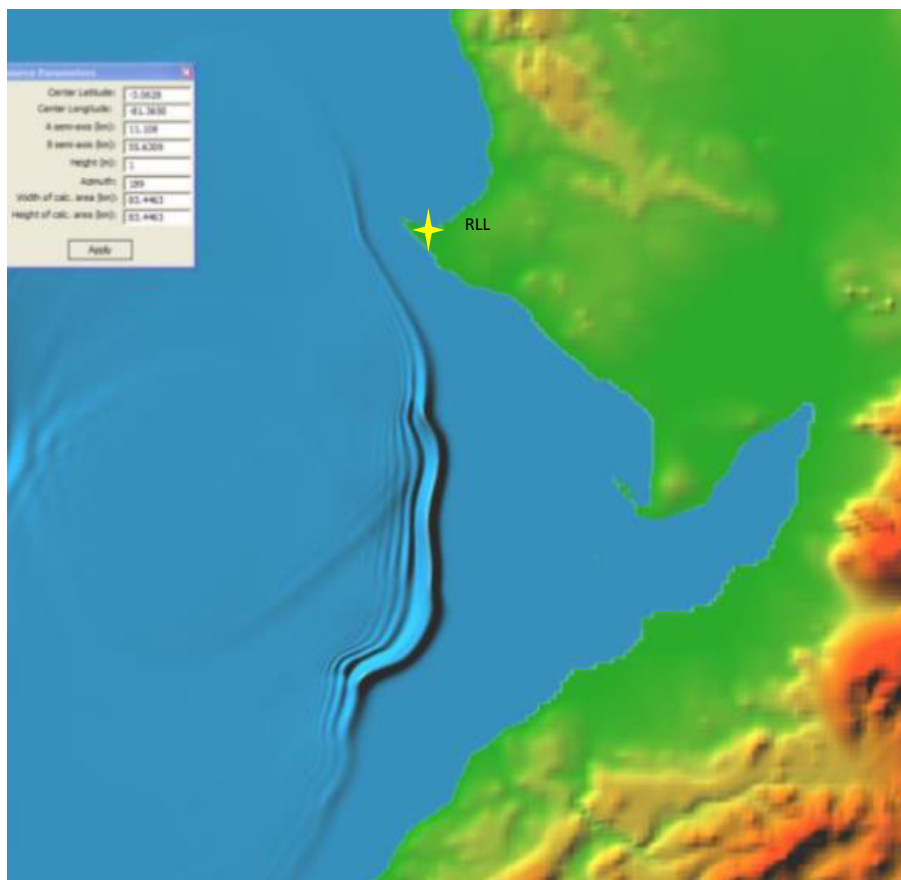


Figura 4. 5. Trayectoria de tsunami y propagación en la plataforma continental. WIN/ITB Software.

Fuente: Autores

La ola se desplaza en un tiempo estimado de 40 minutos hasta llegar a impactar a la Provincia de Santa Elena, lugar en donde se presentaría el ingreso de agua de manera abrupta debido a la morfología del terreno e incrementando su velocidad en las zonas de planicie.

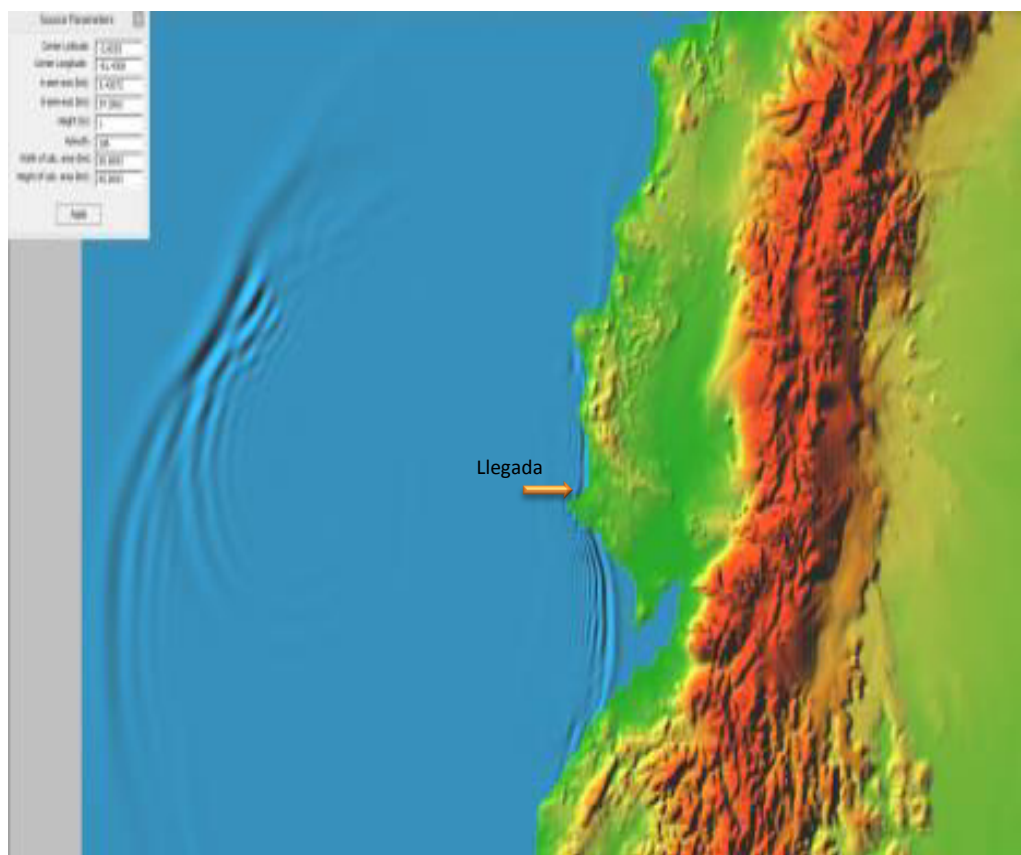


Figura 4. 6. Llegada de tsunami a la línea de costa de la Península de Santa Elena. WIN/ITB Software.  
Fuente: Autores

Es importante mencionar que estos modelamientos no han considerado la variación de las mareas, razón por la cual los valores de altura máxima de ola pueden ser mayores si se considera que se encuentra en una pleamar, es conveniente analizar estas características al momento de construir nuevas estructuras para almacenamiento de hidrocarburos, pero se considera en este estudio una altura entre 5 a 8 m.

#### 4.1.3.3. Riesgo por inundaciones

La inundación se puede definir como un evento natural, resultado de lluvias continuas e intensas, subidas de mareas por encima de los niveles normales, desbordamiento de ríos o por avalanchas producto de tsunamis, esto causa que se sobrepase la capacidad de absorción del terreno causando la invasión de agua en la zona.

La provincia de Santa Elena tiene zonas de planicies inundables y acantilados inestables que podrían causar deslizamientos al impacto de una ola tsunami. En cuanto a las precipitaciones ocurridas en las zonas costeras del país, se registran niveles máximos en los meses de febrero, marzo y abril, con valores de 780, 600, y 700 mm/mes, los meses menos lluviosos son agosto, octubre y septiembre con carencia total de precipitaciones, según los estudios realizados por el INOCAR.

Los eventos hidro-meteorológicos como el fenómeno de “El Niño” son los que generan las inundaciones más graves en el país debido al exceso de precipitaciones.

## Fenómeno de “El Niño”

Su nombre científico es Oscilación del Sur El Niño (*El Niño-Southern Oscillation*, ENSO, por sus siglas en inglés), es un fenómeno meteorológico que consiste en el cambio de movimiento de las corrientes marinas, ocasionando una superposición de aguas cálidas procedentes del hemisferio norte sobre las aguas frías de la corriente de Humboldt. Afecta principalmente a América del Sur, tanto en las costas atlánticas como en las del Pacífico. (Collins, M, y CMIP Modelling Groups, 2005).

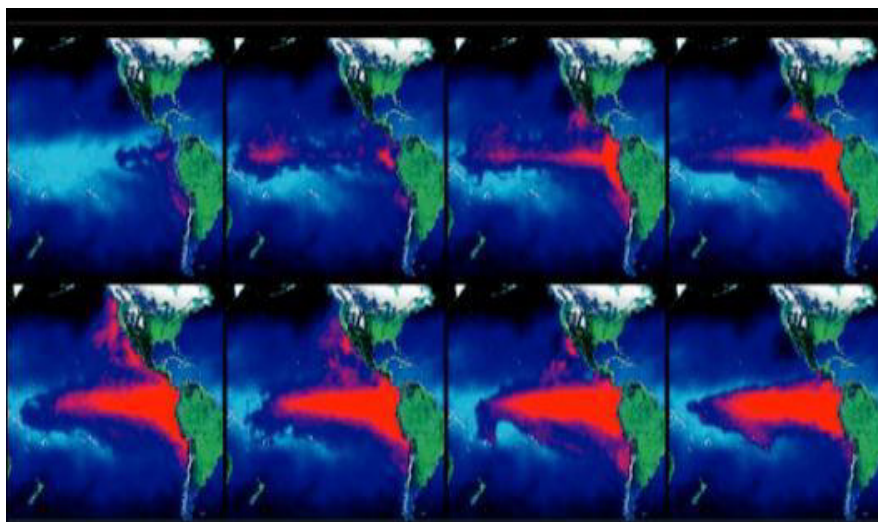


Figura 4. 7. Variación de temperatura del mar (color rojo) indicando el desarrollo del "Niño".

Fuente: Weather National Center 2011.

Al presentarse este fenómeno, la superficie del mar eleva su temperatura y el viento presenta una dirección contraria a lo normal sobre la superficie del mar, dura de 12 a 18 meses y se presenta en intervalos de dos a siete años. Se puede presentar en cualquier época del año, sin embargo sus efectos se ven amplificados en los meses entre diciembre y marzo durante la estación invernal.

### **Registro de inundaciones en el Ecuador**

- “El Niño” de 1982-83: produjo la inundación de 896.100 hectáreas, 600 personas fallecieron y se estimó que las pérdidas llegaron de US\$ 650 millones (CEPAL 1983).
- “El Niño” de 1997-98: dio como resultado la inundación de 1.652.760 hectáreas, causó la muerte de 286 personas y 30.000 personas perdieron sus viviendas o fueron evacuadas; en esta ocasión, los daños asociados superaron los 1.500 millones de dólares (Gasparri et al. 1999).
- “El Niño” de 1997-98: causó la inundación de la parte inferior de la cuenca del Guayas, afectó un área de 78.477km<sup>2</sup>, causando la muerte de 286 personas y un valor total estimado de los daños de 2.869 millones de dólares

(CEPAL), otras áreas afectadas durante este evento fueron las provincias de Manabí y Esmeraldas en donde los sectores agrícola, transporte y comercio se vieron afectados, causando invasión de tierras y nuevos asentamientos humanos.

### **Evaluación de peligro potencial de inundación**

La climatología de la precipitación representativa de la Libertad se observa en la Figura 4.8. La línea continua muestra el ciclo anual con muy poca precipitación (un total de 217,5 mm por año) durante los meses de enero-mayo, la línea con cuadrados muestra las condiciones durante La Niña y la línea con círculos las condiciones durante un evento El Niño. (PSI Productos y Servicios Industriales CIA. LTDA., 2007).

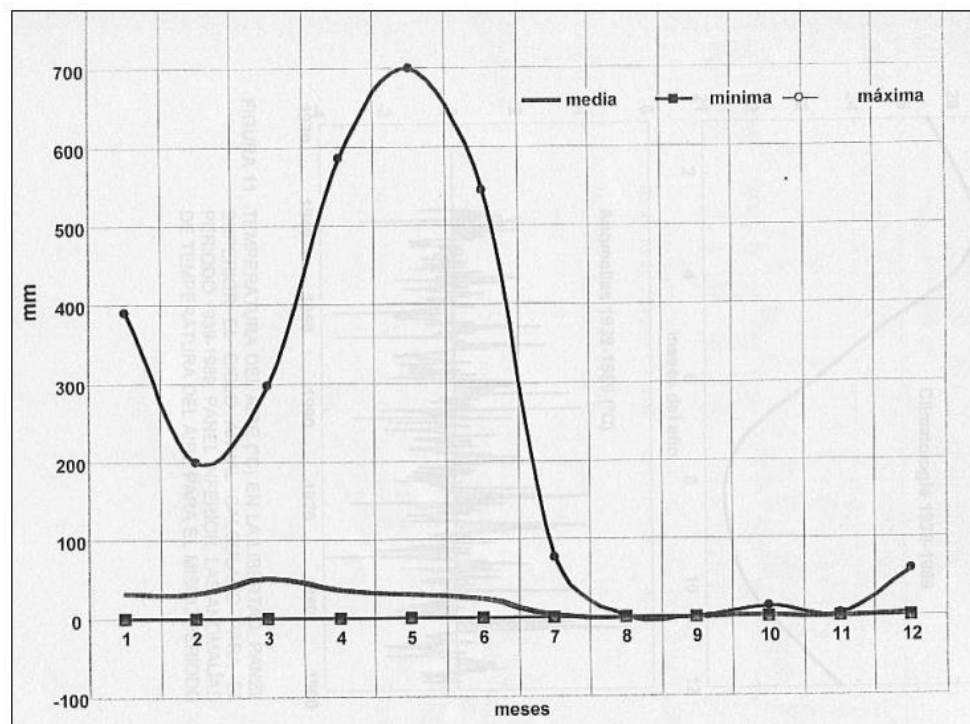


Figura 4. 8. Climatología de la precipitación representativa de La Libertad.  
Fuente: Oceanografía Física y procesos litorales en La Libertad para el diseño de las obras de protección costera.

El efecto del fenómeno del Niño se observa en la línea máxima con un total de 2867,5 mm. lo que indica un incremento en precipitaciones y alargamiento de la estación lluviosa, mientras que la línea mínima, representativa de la Niña tiene hasta 11 mm. como total anual con ausencia de lluvias. (PSI Productos y Servicios Industriales CIA. LTDA., 2007).

# **CAPÍTULO 5**

## **5. AREA DE ALMACENAMIENTO DE LA REFINERÍA LA LIBERTAD**

### **5.1. Infraestructura física de la Refinería de La Libertad**

Los análisis anteriores de las amenazas sísmicas y geológicas indican que la Refinería La Libertad se encuentra en una zona de tectónica activa donde terremotos de subducción pueden afectar las infraestructuras del área de estudio. Este capítulo describe los tipos de derivados de hidrocarburos y los tanques de almacenamientos de los mismos.



En este complejo de refinación encontramos la Plantas: La Libertad y Cautivo. La Refinería la Libertad tiene una capacidad total de procesamiento de 45.000 BPD de petróleo crudo liviano (28,5 grados API), compartidos entre las dos plantas:

<b>REFINERIA LA LIBERTAD</b>		
AREA	PLANTA	CAPACIDAD DIARIA (BPD)
LA LIBERTAD	PARSON	26000
	UNIVERSAL	10000
CAUTIVO	CAUTIVO	9000
CAPACIDAD TOTAL		45000

Tabla IV. Capacidad de procesamiento diario de La Refinería La Libertad.  
Fuente: Tabla elaborada por los autores tomando datos de Refinería La Libertad.

Las Plantas de Cautivo y La Libertad conforman la Refinería La Libertad y se manejan de manera independiente con plantas de destilación atmosférica propias, además de áreas de almacenamiento, nuestro estudio se dirige exclusivamente a la planta La Libertad y su correspondiente área de almacenamiento.



Figura 5. 1. Infraestructura de la Refinería La Libertad.  
Fuente: (EP PETROECUADOR, 2014)

Los derivados que se producen por procesos primarios de refinación dentro de estas plantas son:

<b>DERIVADOS DE PETROLEO REFINERIA LA LIBERTAD</b>		
PRODUCTOS	UNIDADES	CANTIDAD
GASOLINA EXTRA	BLS	1422415,00
GASOLINA SUPER	BLS	62223,00
DIESEL 1	BLS	80033,00
DIESEL 2	BLS	1408491,00
FUEL OIL #4	BLS	5661714,00
JET A-1	BLS	600889,00
GLP	BLS	13646,00
SPRAY OIL	BLS	163322,00
SOLVENTES (RUB, S1, M.T.)	BLS	103098,00
ABSORVER OIL	BLS	932,00
NAFTA BASE SECTOR ELECTICO	BLS	0,00
NAFTA BASE A TERMINALES	BLS	1354415,00
TOTAL	BLS	10871178,00

Tabla V. Productos derivados que se obtienen en la Refinería La Libertad.  
Fuente: Tabla elaborada por los autores a partir de datos de EP  
Petroecuador.

Los derivados producidos en las instalaciones se dirigen a la zona de tanques de acuerdo a su tipo, dicha zona consta de: 69 tanques para almacenar 674.000 barriles de productos blancos 13 tanques para productos negros (329.900 barriles), 12 tanques para crudo (986.000 barriles) y 6 esferas a presión para almacenar gas. En la actualidad, la RLL abastece el 35% del consumo nacional de combustibles, especialmente a la zona centro sur del país.

## 5.2. Importancia del almacenamiento de hidrocarburos.

El procesamiento del crudo ecuatoriano para la elaboración de diferentes productos derivados, crea la necesidad de contar con un área de almacenamiento, con tanques de diferentes tipos para facilitar el transporte y distribución para comercialización, además de servir como elementos de medición de hidrocarburos y sus derivados.

Los productos petroquímicos resultantes de la refinación, son almacenados a condiciones normales como: presión atmosférica y temperatura ambiente, o condiciones especiales dependiendo del tipo de producto. La prioridad fundamental de los tanques de almacenamiento es proteger el producto de las condiciones del ambiente, o que este producto genere alguna consecuencia negativa para el mismo. Teniendo en cuenta todas estas especificaciones, se diseñan e implementan los diversos tipos de tanques cuyas variaciones van desde el tipo de techo, el tipo de fondo, accesorios, entre otras.

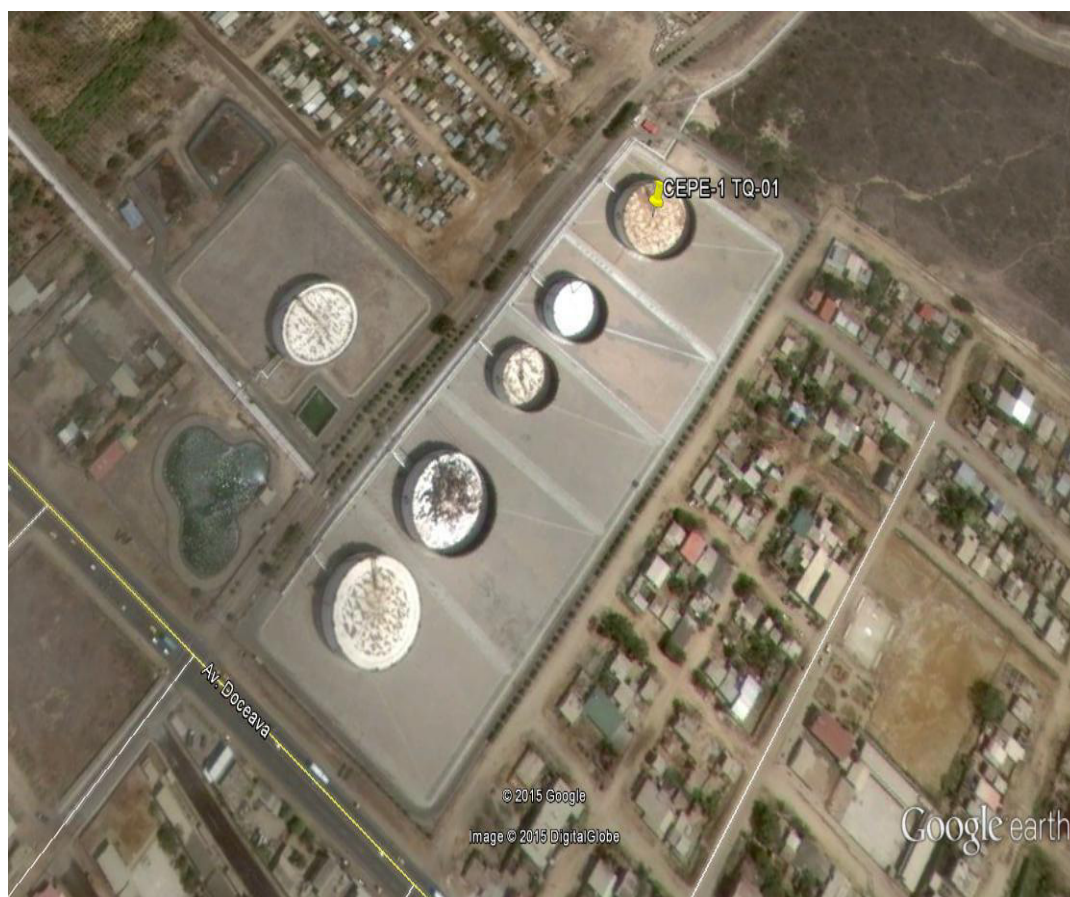


Figura 5. 2. Área de almacenamiento de la Refinería La Libertad.  
Fuente: Google (Earth, 2007)

Dentro del diseño de tanques, su elemento fundamental son planchas de acero estructural, diseñadas bajo estrictas normas y especificaciones, con espesores que dependen de la estructura interna del tanque, son soldadas de manera especial previamente analizada y luego verificada asegurando un funcionamiento integral del tanque.

Además poseen un cubeto que es una estructura diseñada para que contenga un porcentaje adicional de la capacidad máxima operativa del tanque, estas estructuras sirven para contener los fluidos almacenados dentro del tanque ante un posible fallo y derrame, los cubetos son diseñados bajo el compendio de normas de Seguridad e Higiene Industrial. (NORMA PETROECUADOR SHI – 006).

En los diseños usados para la construcción de los tanques en la refinería se establece que los cubetos deben contener el 120% del volumen total de contenido del tanque. La plataforma que soporta el tanque, así como el área que comprende el cubeto debe poseer una Geo-membrana, cuya finalidad es evitar que exista absorción y contaminación en las capas del subsuelo. (Petroecuador, 1992)

### 5.3. Tipos de tanques

Los tipos de tanques se clasifican de acuerdo a su finalidad, la ubicación, contenido, temperatura y presión de operación, y su capacidad de almacenamiento, así como las restricciones a las que va a estar sometido.

### 5.3.1. Tanques a presión atmosférica

Por lo general los tanques de almacenamiento de hidrocarburos trabajan a presión atmosférica, y la necesidad de almacenar y proteger estos productos contra los diferentes agentes externos del ambiente determina que existan diferentes tipos de techos.

En la Refinería La Libertad, según los productos a almacenar se pueden identificar los siguientes tipos de tanque:



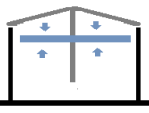
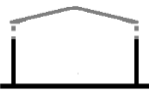

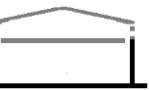
TIPOS DE TANQUES	PRODUCTO QUE ALMACENA	DIAGRAMA DEL TANQUE
TANQUE TIPO ABIERTO	AGUA NO TRATADA	
TANQUE DE TECHO FLOTANTE	GASOLINAS, KEROSENO, NAFTAS	
TANQUE TECHO CONICO SOPORTADO CON TECHO FLOTANTE INTERNO	GASOLINAS, TOLUENO, KEROSENO, NAFTA	
TANQUE TECHO CONICO AUTOSOPORTADO	AGUA POTABLE, AGUA NO TRATADA, DESMINERALIZADA, GASOLINAS, TOLUENO, DIESEL, LODOS, ACEITES, ASFALTOS	
TANQUE CON TECHO CONICO SOPORTADO	AGUA POTABLE, AGUA NO TRATADA, DIESEL, LODOS, ACEITES, ASFALTOS	
TANQUE CON TECHO CONICO O DOMO AUTOSOPORTADO CON TECHO FLOTANTE INTERNO	GASOLINAS, TOLUENO, NAFTAS	

Tabla VI. Tipos de tanques, fluidos que almacenan y esquema del tipo de tanque.

Fuente: Tabla elaborada por los autores tomando datos del Primer Seminario Nacional de Tanques de Almacenamiento. EPN. Quito-Ecuador.1991.

Además existen tanques sin techo, que almacenan fluidos que no generan algún impacto ambiental y esferas de alta presión para almacenar gas.



### 5.3.2. Tanques según su eje de simetría.

TANQUE VERTICAL: Son de forma cilíndrica con un eje de simetría vertical y una base plana de consistencia metálica. Puede resistir una presión máxima de almacenamiento de 5,08 psi. Son los más utilizados por su capacidad de almacenamiento.

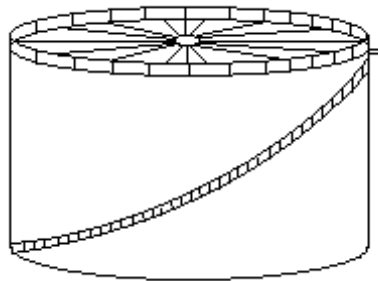


Figura 5. 3. Diagrama de tanque vertical. Fuente: Los autores

TANQUE HORIZONTAL: Son tanques cuyo eje de simetría se encuentra de manera horizontal. Pueden soportar una presión interna de hasta 29 psi, son usados para almacenar fluidos de tipo volátil, como por ejemplo la gasolina liviana.

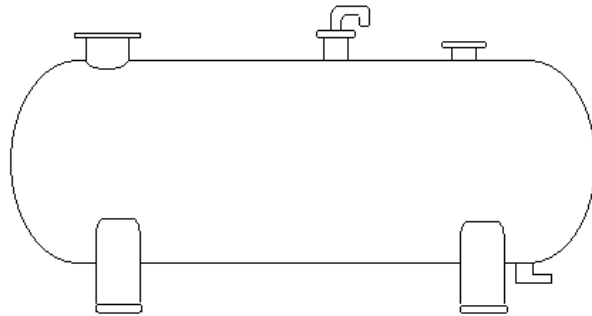


Figura 5. 4. Diagrama de tanque horizontal. Fuente: Los autores.

TANQUE ESFÉRICO O ESFERAS DE ALTA PRESIÓN: poseen forma de esfera. Soportan presiones máximas de 362,59 psi, se caracterizan por contener gases a temperatura y presión crítica, como los gases licuados y comprimidos.

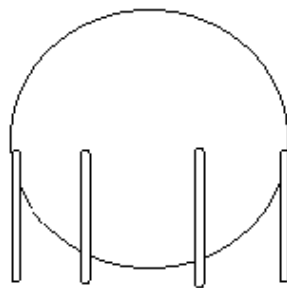


Figura 5. 5. Diagrama de Esfera. Fuente: Los autores.

## 5.4. Tanques a presión atmosférica según norma API 650.

La norma API 650 establece dos tipos de tanques de almacenamiento, de acuerdo al tipo de fluido que se va a almacenar:

- a. El tanque vertical de techo fijo.
- b. El tanque vertical de techo flotante.

Los tanques verticales diseñados bajo la norma API 650, permiten almacenar grandes cantidades volumétricas con un costo bajo, este tipo de tanque solo se puede usar a presión atmosférica o a presiones internas relativamente bajas.

### 5.4.1. Tanque vertical con techo fijo.

Los tanques que poseen techo fijo son usados por lo general para almacenar fluidos no inflamables o que no contengan componentes volátiles, como el diésel, agua, asfalto, petróleo crudo. El techo de este tanque puede ser soportado o auto-soportado, y las formas más comunes que pueden darse son techo Cónico o techo de Domo Geodésico.

Cada tanque posee venteos que permiten la libre circulación de vapores para mantener siempre la presión atmosférica, este accesorio como muchos otros son montados en el techo del tanque, asegurando que el venteo sea permanente, logrando así que el tanque no sufra daños por variación de presión, una sobrepresión o se genere un vacío dentro del tanque.



Figura 5. 6. Tanque TQ-10 con techo fijo.  
Fuente: Foto tomada por los autores.

#### 5.4.2. Tanque vertical con techo flotante.

Es un tanque cuyo techo flota sobre el fluido que contiene, lo que asegura una presión y volumen constante sobre la superficie del fluido. Su finalidad es minimizar el espacio que se genera entre la superficie del fluido y el techo del

tanque, lo que garantiza un medio aislante, además de reducir la velocidad de transferencia de calor, permitiendo que no se generen gases o que el fluido se evapore. Son tanques que se usan por lo general para almacenar productos con un gran contenido de volátiles tales como el: alcohol, gasolinas y combustibles en general, logrando que el riesgo de almacenar estos productos sea mínimo.

La construcción de este tanque con este techo en particular resulta más costoso y presenta un gran nivel de complejidad.



Figura 5. 7. Vista aérea de tanque de techo flotante.  
Fuente: Google Earth 2015. (Earth, 2007)

## 5.5. Normas aplicadas a tanques

The American Petroleum Institute, entidad internacional que regula la industria petrolera, ha designado normas para el diseño y construcción de los diversos elementos que son usados en la industria.

La norma API 650 Welded Tanks for Oil Storage 12va Edición. MARZO 2013, establece los requisitos que deben cumplir los materiales para: diseño, fabricación, montaje e inspección de tanques de almacenamiento de varios tamaños y capacidades, y las presiones internas. Dicha norma sólo se aplica a los tanques o depósitos cuyo fondo es uniforme y se encuentran a una temperatura máxima de diseño de 93°C (200°F). (Institute, 2013).

### 5.5.1. Aplicación de la norma

La norma API 650, proporciona un estándar para diseñar y construir tanques con seguridad adecuada y a un costo consciente al momento de almacenar petróleo, sus derivados y fluidos en general. La norma no establece dimensiones fijas de tanques, sino que permite al diseñador desarrollar

tanques a distintas dimensiones manteniendo los mismos estándares de seguridad.

Siendo esta norma la usada para la construcción y diseño de la mayoría de los tanques dentro de la Refinería La Libertad, proporciona información importante para el análisis estructural de un tanque típico cuando éste es expuesto a fenómenos naturales que afectan la integridad de la estructura.

## 5.6. Elección del elemento representativo a ser analizado estructuralmente

Para realizar la evaluación de daño de tipo estructural en el área de almacenamiento de la RLL al ser impactada por un peligro de tipo sísmico, se ha escogido un elemento representativo de los tanques (Tanque CEPE-1), en donde los resultados obtenidos pueden ser interpretados y relacionados de la misma manera para los tanques restantes.



Figura 5. 8. Extracto de Imagen Satelital de "Google Earth" del tanque CEPE-1.

La elección de este tanque se debió a 3 factores importantes:

- Es uno de los tanques de mayor capacidad dentro del área de estudio.
- Contiene crudo de 20.5 API, uno de los fluidos de mayor densidad almacenados.
- Su tamaño y ubicación pueden generar grandes daños a la infraestructura y la comunidad.



Se procede a realizar el modelamiento matemático mediante el software de SAP 2000 V 14.0.0, y se estableció que el análisis del tanque se realizará considerando las condiciones críticas (donde se puede producir un mayor daño), esto resulta cuando, el tanque se encuentre lleno en su totalidad operativa, la magnitud del sismo sea la mayor (8,66) y la velocidad del viento sea la más elevada.

<b>NOMBRE</b>	<b>CEPE -1 (TQ - 1) – RLL</b>	
TIPO DE TANQUE	CILÍNDRICO	
TIPO DE TECHO	FLOTANTE	
TIPO DE FONDO	PLANO	
PRODUCTO	CRUDO	
NUMERO DE ANILLOS	5	
MATERIAL DEL TANQUE	ASTM A283	
<b>PARAMETROS</b>	<b>UNIDADES</b>	
	<i>m<sup>3</sup></i>	<b>Bis</b>
CAPACIDAD NOMINAL	25082,96	157767,10
CAPACIDAD OPERATIVA	23011,49	144737,92
CAPACIDAD MAXIMA DE OPERACIÓN	24439,42	153719,34
-	mm	Pies
ALTURA NOMINAL	12039,60	39,50
ALTURA OPERATIVA	11734,80	38,50
ALTURA DE REFERENCIA	14558,96	477656,00
DIAMETRO NOMINAL	51777,90	169,88

Tabla VII. Datos técnicos y características del Tanque CEPE-1.  
Fuente: tabla elaborada por los autores tomando datos de EP Petroecuador.

# **CAPITULO 6**

## **6. SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL TANQUE FRENTE A RIESGO SISMICO MEDIANTE EL USO DEL SOFTWARE SAP 2000 V 14.0.0**

### **6.1. Definiciones**

Para el análisis del tanque se deben establecer inicialmente los parámetros de referencia, para nuestro estudio usaremos Unidades del Sistema Ingles.

- Longitud en Pies (Ft.)
- Fuerza en Libras Fuerza (lb.)

- Temperatura en Grados Fahrenheit (°F)

## 6.2. Materiales empleados en tanques de almacenamiento bajo norma API 650.

Acero Estructural ASTM A-36: es utilizado para espesores de planchas iguales o menores a 40 mm. (1 1/2 pulgadas.). Este material es aceptable y usado también, en los perfiles de los elementos estructurales del tanque. Actualmente se están construyendo tanques con este acero. Tiene un esfuerzo de fluencia mínima de 36.000 psi y una resistencia última de 58.000 psi. (ASTM, 1986).

Acero Estructural ASTM A238 °C: Al igual que el A36 este acero también es usado para los perfiles y planchas de los tanques, la mayoría de los tanques que se encuentran en estas instalaciones han sido fabricados con este acero, siendo más económico y posee un mínimo punto de fluencia de 30.000 psi y una resistencia última de 50.000 psi. (ASTM, 1986)

### 6.3. Simulación

Para este objetivo, se utilizaron normas de diseño de tanques, tales como:

- Norma ASTM A36/A36M: Especificación Normalizada para Acero al Carbono Estructural.
- Norma NEC-11: Norma Ecuatoriana de la Construcción, usada para definir la carga sísmica.
- Norma ASCE 07: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.

Se estableció el tipo de acero estructural es tipo cascarón (SHELL) con vista de forma tridimensional. El tanque ha sido dimensionado con datos reales proporcionados por Refinería La Libertad, cuya descripción técnica fue mencionada en el capítulo anterior.

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: A36

Material Type: Steel

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 0.2836

Mass per Unit Volume: 7.345E-04

Units: lb, in, F

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 29000000

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 6.500E-06

Shear Modulus, G: 11153846

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 36000

Minimum Tensile Stress, Fu: 58000

Effective Yield Stress, Fye: 54000

Effective Tensile Stress, Fue: 63800

Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Figura 6. 1. Propiedades del material.  
Fuente: SAP 2000

### 6.3.1. Definición de secciones

La sección de la base del tanque es la parte que recibe la mayor magnitud de fuerza, por tal motivo esta sección está definida por un espesor de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, mientras que el techo del tanque se considera como una sección aparte y tiene un espesor de  $\frac{1}{4}$  de pulgada.

### 6.3.2. Fuerzas o patrones de carga que actúan sobre el tanque.

Dentro de la simulación a la que va a estar expuesto el tanque, se deben asignar los siguientes patrones de carga:

- PATRON DE CARGA HIDROSTÁTICA (VIVA): Aquel que modela la carga que ejerce el fluido (petróleo) en las paredes y sobretodo en la base del tanque.
- PATRON DE CARGA MUERTA: es aquel que determina la fuerza que produce el peso propio del tanque.
- PATRON DE SISMO: Modela el efecto que se genera ante la presencia de un evento sismogénico sobre la estructura, referido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11, 2011.
- PATRON DE VIENTO: Modela el efecto que genera la corriente de aire sobre la estructura, correspondientes a la norma NEC-11 y Norma ASCE07

### 6.3.3. Cargas asignadas

Las cargas se asignan según el patrón de carga correspondiente, estos parámetros son calculados según el diseño del tanque:

#### 6.3.3.1. Fuerza hidrostática.

Mediante ecuaciones matemáticas se modela el comportamiento de la presión que ejerce el fluido dentro del tanque, el esquema de acción de la fuerza hidrostática se proyecta de forma triangular tomando como referencia el eje z.

Las características del tanque CEPE 1 consideradas para esta modelación son:

- Altura Nominal: 39,5 ft
- Altura Operativa: 38,5 ft
- Diámetro Nominal: 169,875 ft
- Fluido: Crudo de 28,5 °API

Para definir la fuerza hidrostática que actúa sobre el tanque, se estableció un patrón dado por la siguiente ecuación:

$$\text{Valor de Patrón} = Ax + By + Cz + D$$

Realizando un análisis podemos concluir que la única variación que pueda existir es con respecto a la altura (eje Z), por lo que las fuerzas en X y Y permanecen constantes (son iguales a 0). Por consiguiente, el valor del patrón queda dado por la ecuación:

$$\text{Patrón} = Cz + D$$

Cuando:

- $z = 39,5$  ft (altura nominal), la fuerza hidrostática o patrón = 0
- $z = 0$  ft, la fuerza hidrostática o patrón = presión máxima.



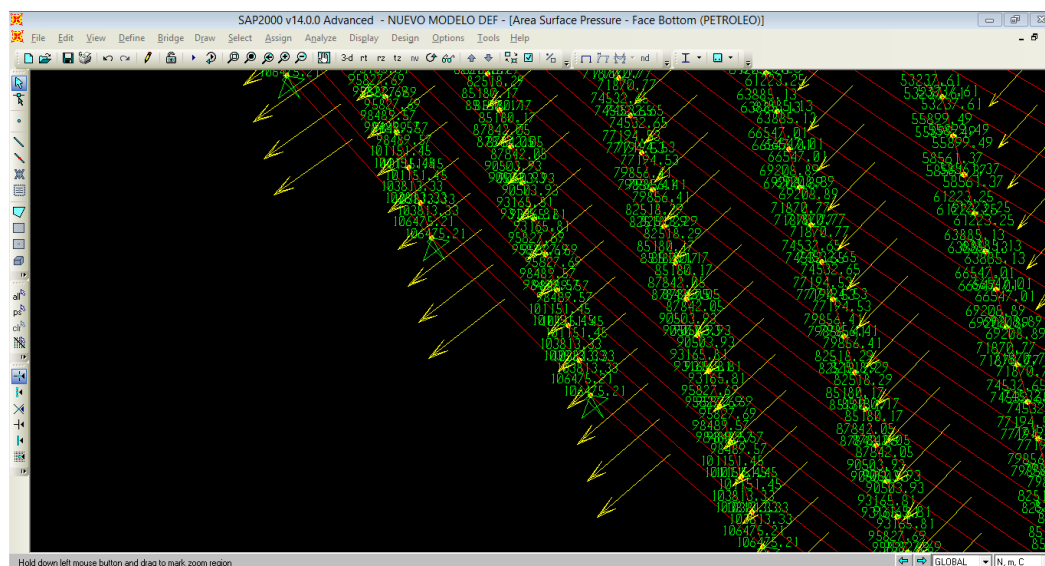


Figura 6. 2. Diagrama de distribución de carga originada por la fuerza hidrostática del petróleo.  
Fuente: SAP 2000

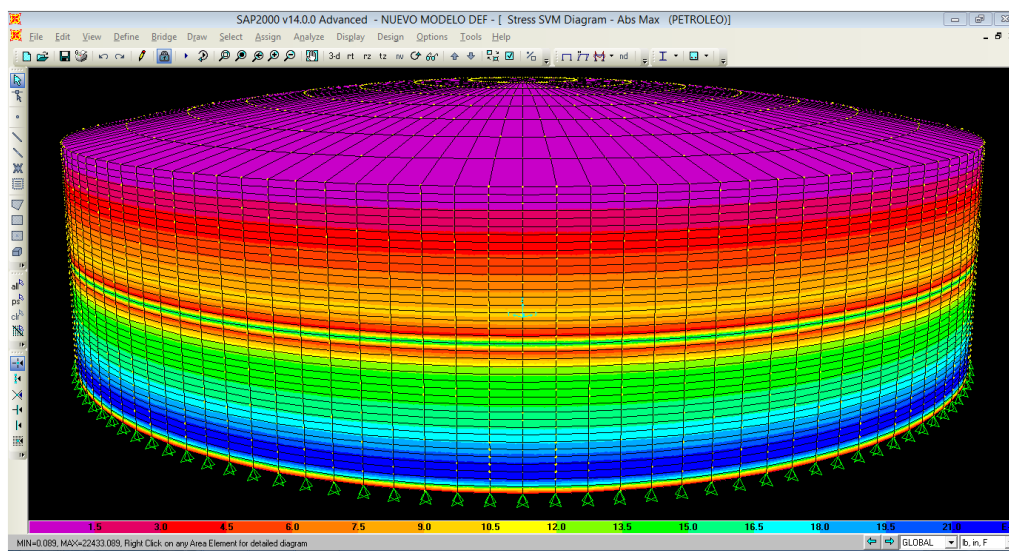


Figura 6.3. Gráfica de Esfuerzos/Tensión soportadas por las paredes del tanque por acción de la fuerza hidrostática.  
Fuente: SAP 2000.

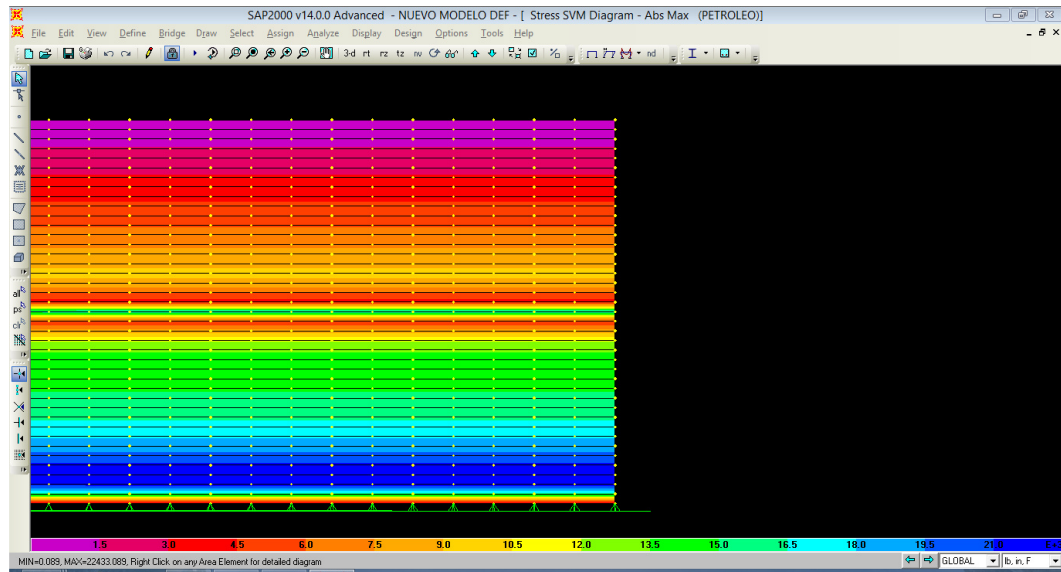


Figura 6.4. Vista lateral de tensiones ejercidas por la fuerza hidrostática en las paredes del tanque.  
Fuente: SAP 2000.

En las figuras 6.4 y 6.5 se puede observar que, la carga producida por la fuerza hidrostática provocada por el almacenamiento de petróleo generará un esfuerzo máximo de 22433,089 psi, y esta presión actuará sobre las paredes del tanque en la parte inferior. Este valor de 22433,098 psi se da para ambas simulaciones tanto con el acero A36 como el acero A238°C, y en ambos casos este esfuerzo no supera el punto mínimo de fluencia.

### 6.3.3.2. Carga por sismo.

#### **Cálculo del espectro de respuesta elástica de diseño**

Para determinar el factor de zona sísmica ( $z$ ) del área de estudio, se recurrió al mapa de peligrosidad sísmica realizado proporcionado por la NEC-11, para estructuras. Para la Provincia de Santa Elena  $z = 0,50$ .

Dicha zona, posee una velocidad media de la onda cortante de  $V_s = 300$  m/s y se ha identificado un suelo tipo D, de acuerdo a información detallada en la tabla 2.3 de la NEC-11. Se procede a determinar los coeficientes de sitio.

FACTOR SISMICO		Z = 0,50
TIPO DE SUELO		D
COEFICIENTE	VALOR	REFERENCIA NEC-11
Fa	1,15	TABLA 2.5
Fd	1,3	TABLA 2.6
Fs	1,65	TABLA 2.7

Tabla VIII. Coeficientes de Sitio.  
Fuente: (NEC-11, 2011)

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones, expresado como fracción de la aceleración de la gravedad  $S_a$ , para el nivel del sismo de diseño, toma en cuenta el factor de zona sísmica  $Z$ , el tipo de suelo y los valores de los coeficientes de amplificación de suelo de las Tablas 2.5, 2.6 y 2.7. Dicho espectro, se obtiene mediante ecuaciones válidas para periodos de vibración estructural  $T$  pertenecientes a 2 rangos. (NEC-11, 2011, Pág. 2-43).

$$S_a = \eta Z F_a \quad \text{Para } 0 \leq T \leq T_c$$

$$S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r \quad \text{Para } T > T_c$$

$$S_a = Z F_a \left(1 + (\eta - 1) \frac{T}{T_o}\right) \quad \text{Para } T \leq T_o$$

Donde  $\eta$  es la relación de amplificación espectral y toma el valor de  $\eta = 1,8$  en las provincias del litoral, excepto esmeraldas.

En este caso se establecieron dos límites para el periodo de vibración:

$$T_o = 0,10 F_s \frac{F_d}{F_a} = 0,186 \text{ s}$$

$$T_c = 0,55 F_s \frac{F_d}{F_a} = 1,025 \text{ s}$$

Definiendo las regiones, se tiene:

**Región 1:**  $T \leq T_o$  ( $T \leq 0,186 \text{ s}$ )

Cuando:  $T = 0 \text{ s}$

$$S_a = Z F_a \left( 1 + (\eta - 1) \frac{T}{T_o} \right) = (0,50 * 1,15 * (1 + (1,8 - 1) * 0)) = 0,575$$

Cuando:  $T = T_o = 0,186$  s

$$S_a = Z F_a \left( 1 + (\eta - 1) \frac{T}{T_o} \right) = (0,50 * 1,15 * (1 + (1,8 - 1) * 1)) = 1,035$$

**Región 2:**             $T_o \leq T \leq T_c$             **0,186 < T < 1,025 s**

$$S_a = \eta Z F_a = 1,8 * 0,50 * 1,15 = 1,035$$

**Región 3:**             $T > T_c$             **T > 1,025 s**

$r = 1,5$  para el tipo de suelo D,

$$S_a = \eta Z F_a \left( \frac{T_c}{T} \right)^r = 1,8 * 0,50 * 1,15 * \left( \frac{1,025}{T} \right)^{1,5} = \frac{1,074}{T^{1,5}}$$

A partir de estos resultados se obtiene la siguiente tabla:

T (s)	Sa (g)
0	0,5750
0,186	1,0350
1	1,0350
1,025	1,0350
1,5	0,5846
2	0,3797
2,5	0,2717
3	0,2067
3,5	0,1640
4	0,1343

Tabla IX. Espectro de respuesta elástica, representado por Sa (g).  
Fuente: Tabla elaborada por los autores.

### Cálculo del espectro de respuesta inelástica

El uso de la estructura del tanque, no considera cargas vivas, para este tipo de estructuras, la Norma Ecuatoriana de la Construcción considera un factor de importancia determinado, así como factores de configuración de planta y elevación que se muestran en la siguiente tabla:

FACTOR DE IMPORTANCIA, I	1,5
FACTOR DE CONFIGURACION POR PLANTA, $\phi_p$	1
FACTOR DE CONFIGURACION POR ELEVACION, $\phi_E$	1

Tabla X. Factores utilizados en el cálculo de espectro de respuesta inelástica.  
Fuente: Tabla elaborada por los autores.

Debido a que el tanque es una estructura uniforme, es decir que posee un perfil uniforme y no existen variaciones en el mismo, el sismo posee las mismas magnitudes tanto en dirección x como en dirección y.

Se procede a calcular el cortante basal de diseño  $C_s$ , tomando en cuenta el factor de reducción de resistencia sísmica  $R$ , que en nuestro estudio  $R = 2$ , factor de reducción para depósitos y reservorios, incluidos los tanques y esferas presurizadas. (NEC-11, Tabla 2-15) (MIDUVI Y CCQ, 2011).

$$C_s = \frac{S_a * I}{R * \phi_p * \phi_e} = \frac{1,5 * S_a}{2} = 0,75 S_a$$

T (s)	Sa (g)	Cs (g)
0	0,5750	0,4313
0,186	1,0350	0,7763
1	1,0350	0,7763
1,025	1,0350	0,7763
1,5	0,5846	0,4385
2	0,3797	0,2848
2,5	0,2717	0,2038
3	0,2067	0,1550
3,5	0,1640	0,1230
4	0,1343	0,1007

Tabla XI. Espectro de respuesta inelástica, representado por  $C_s$  (g). Fuente: Tabla elaborada por los autores.

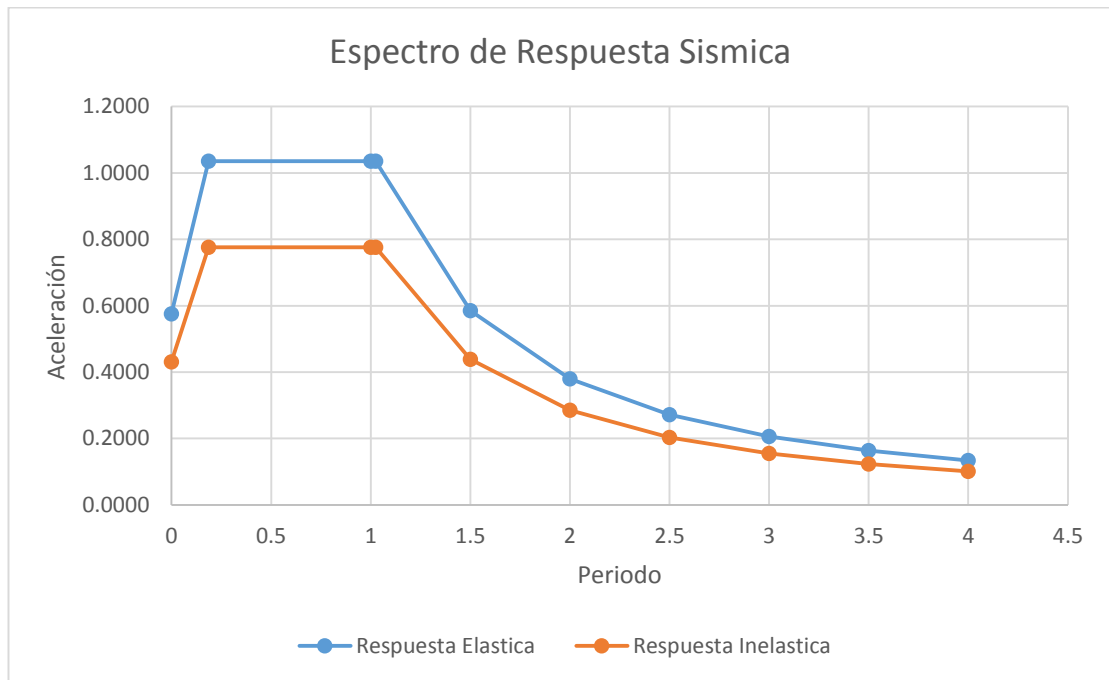


Figura 6. 5. Espectro de respuesta elástica e inelástica.  
Fuente: Los autores

Se determina el periodo de la estructura, como se había definido anteriormente la estructura es simétrica, por lo que el periodo va a ser el mismo en ambas direcciones.

$$T = C_t * h_n^\alpha$$

Donde,  $h_n$  es la altura máxima de la edificación de  $n$  pisos, medida desde la base de la estructura, en metros, es decir 12 mts (39,5 ft).

Se encuentra establecido que para estructuras de acero sin arriostramientos:



$C_t = 0,072$  y  $\alpha = 0,80$ . (NEC-11, sección 2.7.2.2.1., 2011).

$$T = C_t * h_n^\alpha = 0,072 * 12^{0,80} = 0,525$$

### Calculo de la carga sísmica reactiva $w$ o cortante basal.

Este periodo se encuentra dentro de la meseta del espectro (parte constante en la gráfica) (Figura 6.6), por lo que se concluye que las dimensiones del tanque son las adecuadas para el espectro del sismo.

Para poder aplicar el espectro del sismo en el modelamiento, se determina el cortante basal o carga sísmica reactiva  $W$ , que resulta de la suma de los pesos multiplicado por la carga sísmica de la estructura. Para este cálculo, su  $C_s$  es 0,75 de la respuesta inelástica.

$$W = \sum pesos = \sum (peso + fluido) = 345.8595 \text{ ton}$$

$$V_x = V_y = C_s * W = 0,75 * 345,8595 = 259,3946 \text{ ton}$$

Siendo este el valor del cortante basal, aplicado en el centroide de la estructura, el cual debido a su forma cilíndrica, este se encuentra a la altura de 19,25 ft.

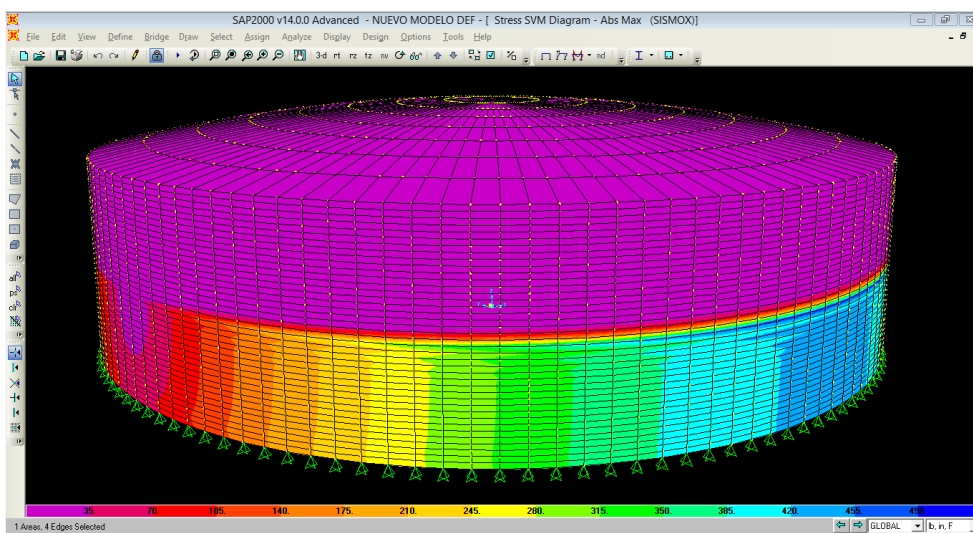


Figura 6. 6. Esfuerzos/Tensión ejercidas por sismos en dirección x.  
Fuente: SAP 2000.

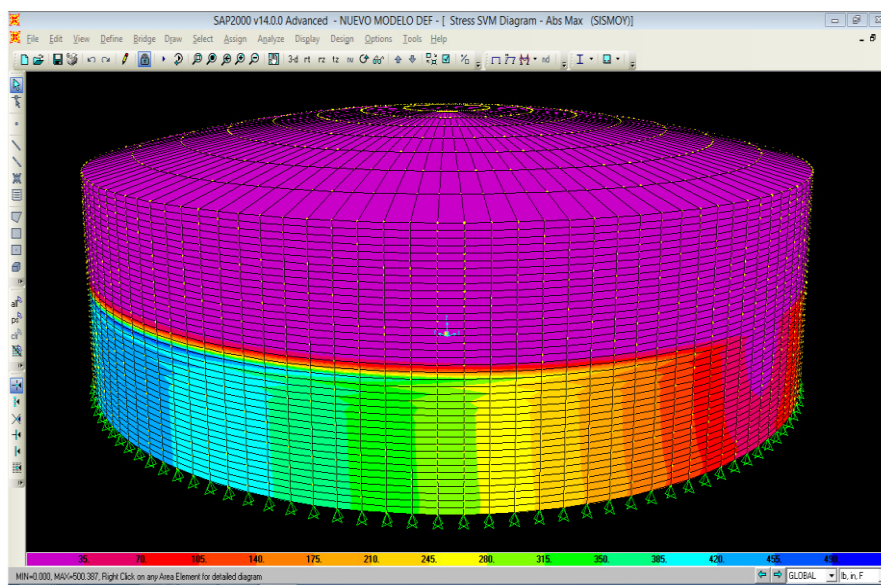


Figura 6. 7. Esfuerzos/tensión ejercidas por sismos en dirección y.  
Fuente: SAP 2000.

Como es una estructura simétrica la respuesta ante el sismo va a ser idéntico en dirección Y como en X, y por lo tanto ejercerán con la misma magnitud de esfuerzo, siendo el esfuerzo máximo generado por el sismo de 500,387 psi.

El resultado de la simulación ante el sismo va a ser igual para ambos aceros A36 y A238°C, y este esfuerzo resultante no supera el punto mínimo de fluencia.

#### 6.3.3.3. Carga de viento.

Para este patrón de carga se establecieron los siguientes parámetros:

FACTOR DE IMPORTANCIA	1,5
TIPO DE EXPOSICION	B
FACTOR DE RAFAGA	0,85
FACTOR DE DIRECCIONAMIENTO	0,9
DIRECCION DEL VIENTO	SUR-SUROESTE
ANGULO DE DIRECCION DEL VIENTO	225°

Tabla XII. Datos usados para el cálculo de patrón de carga por viento.  
Fuente: (NEC-11, 2011), (ASCE07, 2002).

El Factor de importancia de 1,5 por ser un tanque de almacenamiento de combustibles, una exposición del tipo B, debido a que, se encuentra rodeado de una zona urbana y sub-urbana, adicional a esto se encuentra a sus

alrededores estructuras de iguales dimensiones (tanques de almacenamiento), esto es determinado del factor de rugosidad de exposición del tipo B, el factor de ráfaga es un valor fijo 0,85, debido a que esta estructura es rígida en su totalidad, el factor de direccionamiento también es un parámetro dado para tanques con un valor de 0,90.

Otro factor importante es el factor topográfico  $K_{zt}$ , cuya incidencia depende de la altura a la que se encuentra la estructura y se calcula a continuación:

$$\text{Factor Topográfico } K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2$$

El parámetro  $K_1$  está definido por la norma para un sistema tridimensional en colina = 0,95 (Figura 6-4, factor topográfico, ASCE-07,2002). También tenemos que  $L_h = 400 \text{ mts} = 1312,33 \text{ ft}$ ,  $\bar{x} = 30 \text{ mts} = 98,42 \text{ ft}$ .

COEFICIENTE	VALOR	REFERENCIA ASCE07 - 05
$K_1$	0,95	Figura 6-4
$\mu$	1,5	Figura 6-4
$\gamma$	4	Figura 6-4

Tabla XIII. Datos usados para el cálculo del factor topográfico.  
Fuente: (ASCE07, 2002).

Donde:

$\mu$ : es el factor de atenuación horizontal

$\gamma$ : es el factor de atenuación de altura

$\bar{x}$ : es la distancia desde la cresta hasta el sitio donde se encuentra la estructura

K1: es el factor de forma de la topografía

K2: factor que representa la reducción de la velocidad en marcha con la distancia barlovento o sotavento de la cresta.

K3: factor que representa la reducción de la velocidad en marcha con la altura sobre el terreno local.

$$K_2 = \left(1 - \frac{\bar{x}}{\mu L_h}\right) = \left(1 - \frac{98,42}{1,5 * 1312,33}\right) = 0,95$$

$$K_3 = e^{-\frac{\gamma z}{L_h}} = e^{-\frac{4}{1312,33}} = 0,9969$$

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 = (1 + (0,95 * 0,95 * 0,9969))^2 = 3,608$$

Ingresando cada uno de estos valores en el software, se modela el comportamiento del tanque frente a la acción del viento.

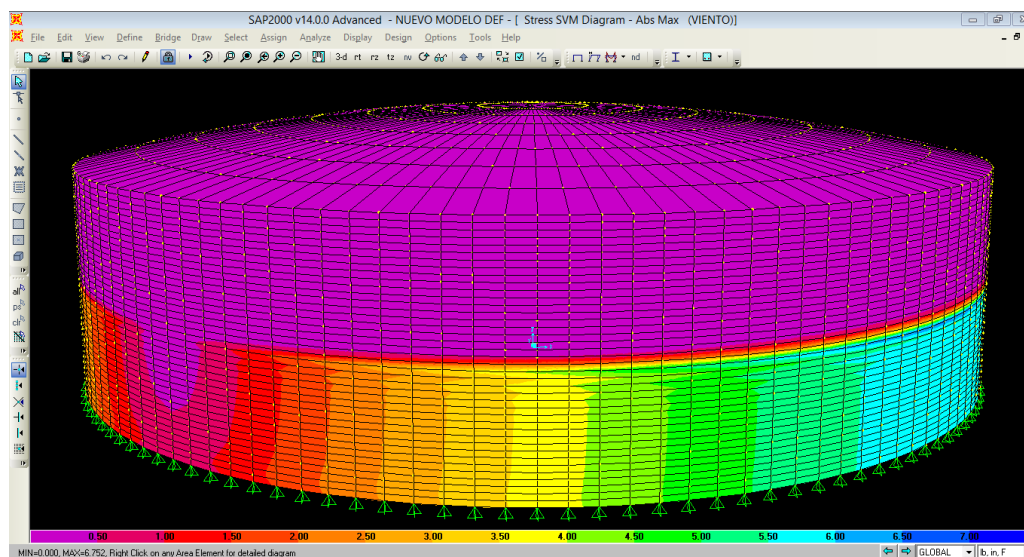


Figura 6. 8. Esfuerzos/tensión ejercida por acción de la fuerza del viento.  
Fuente: SAP 2000.

Donde se puede observar que el tanque va a tener un esfuerzo máximo de 6,752 psi en las paredes, en la parte inferior del tanque. El esfuerzo máximo que genera la simulación del tanque ante la carga de viento es mínima en referencia al mínimo punto de fluencia del acero en ambos casos.

#### 6.3.3.4. Carga muerta

El patrón de carga muerta corresponde directamente al peso propio de la estructura. Según el software el esfuerzo máximo ejercido por la carga muerta es de 6597,503 psi. Donde la máxima exposición va a estar dada en la transición del techo al cuerpo del tanque (parte superior). El peso propio del

tanque sea tanto para el acero A36 y el A238°C, no superan sus correspondientes mínimos puntos de fluencia, por lo que en ambos casos la estructura conserva su integridad.

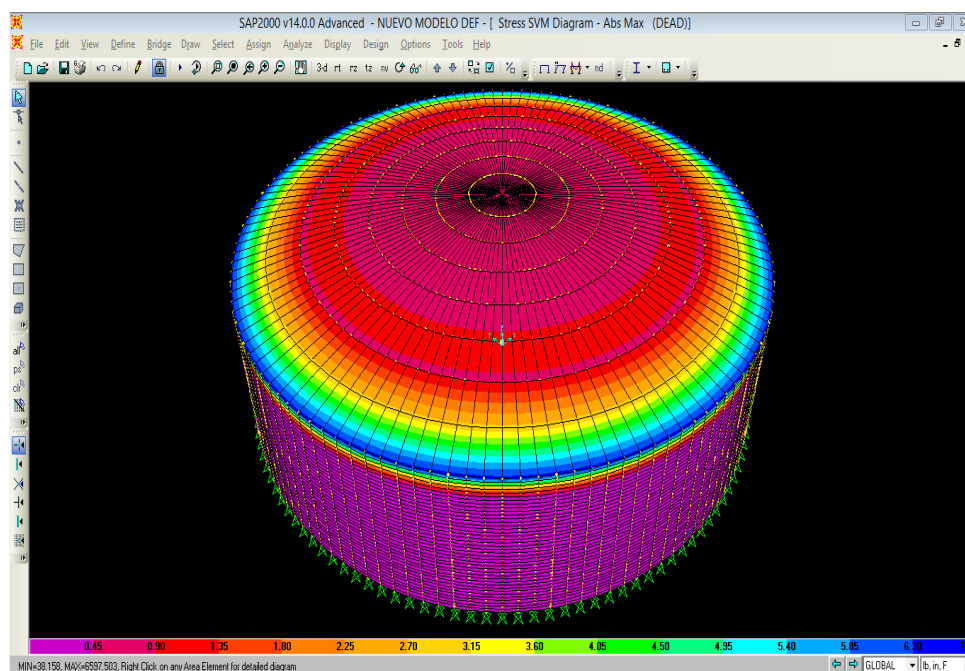


Figura 6. 9. Esfuerzos/tensión por acción del peso propio de la estructura.  
Fuente: SAP 2000.

### 6.3.3.5. Combinaciones de carga.

El tanque se encuentra sometido a diferentes combinaciones de carga, establecidas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-11, sección

1.1.6.3.2), combinaciones que rigen el diseño de toda estructura utilizando el método de la Resistencia. (NEC-11) (MIDUVI Y CCQ, 2011).

Para nuestro modelo solo se tomaron en cuenta las cargas: muerta (D), viva (L), viento (W) y sismo (E), por lo que las combinaciones que rigen esta simulación son:

- Comb1:  $1,4D$
- Comb2:  $1,2D + 1,6L$
- Comb3:  $1,2D + L$
- Comb4:  $1,2D + 0,5W$
- Comb5:  $1,2D + 1,0W + 1,0L$
- Comb6:  $1,2D + 1,0Ex + 1,0L$
- Comb7:  $1,2D + 1,0Ey + 1,0L$
- Comb8:  $0,9D + 1,0W$
- Comb9:  $0,9D + 1,0Ex$
- Comb10:  $0,9D + 1,0Ey$

Donde las combinaciones: Comb5, Comb6, Comb7, podrían ser catalogadas como las más críticas y que presentan grandes exposiciones a daños.



## Combinación comb5

Combinación que tiene en su configuración, la acción de las cargas: muerta, viento y viva (petróleo), con sus respectivos factores de incrementos. En el análisis de acuerdo a la simulación, se puede observar que sumadas todas las cargas de la configuración, el esfuerzo máximo que resiste el sistema es de 22574,429 psi. Por lo que se concluye que el modelo se mantiene íntegro y no existe deformación alguna, esto debido a que no sobrepasa el esfuerzo mínimo de fluencia del acero estructural A36 y del acero estructural A238°C.

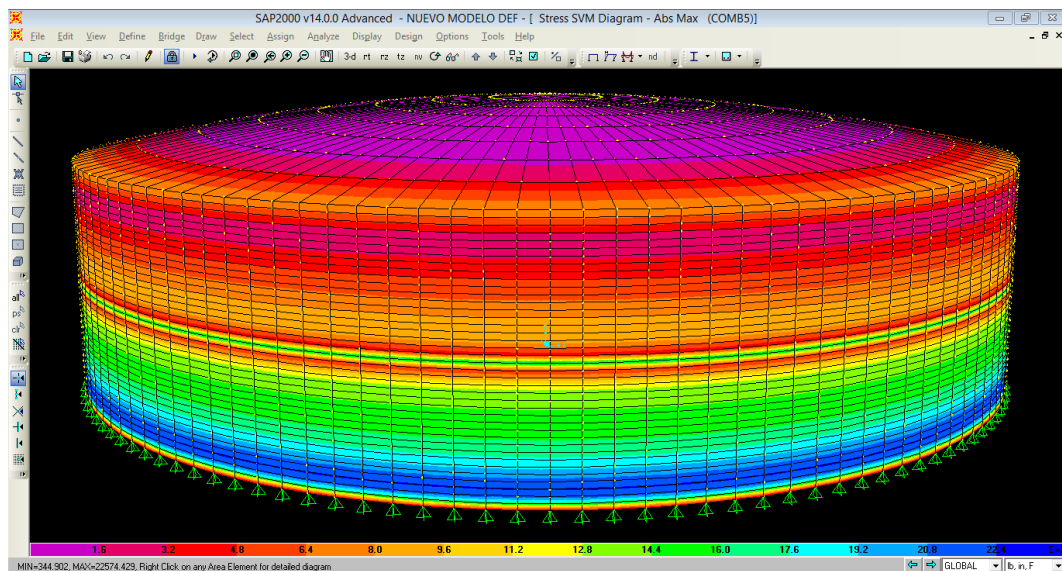


Figura 6. 10. Esfuerzo/tensión resultante de la combinación Comb5.  
Fuente SAP.2000

### **Combinaciones Comb6 y Comb7**

Combinaciones que tienen en su configuración, la acción de las cargas: muerta, sismo (sismo Ex en combinación Comb6 y sismo Ey en combinación Comb7) y viva (petróleo), con sus respectivos factores de incrementos.

En el análisis de acuerdo modelación, se puede observar que sumadas todas las cargas de la configuración, la presión máxima que resiste el sistema es de 22.611,915 psi. Repitiéndose este valor tanto para la Comb6 y la Comb7, por ser una estructura simétrica, siendo estos los casos más críticos, se puede observar que el modelo se mantiene íntegro y no existe deformación alguna debido a que no sobrepasa el esfuerzo mínimo de fluencia del acero estructural A36 y del acero A238°C.

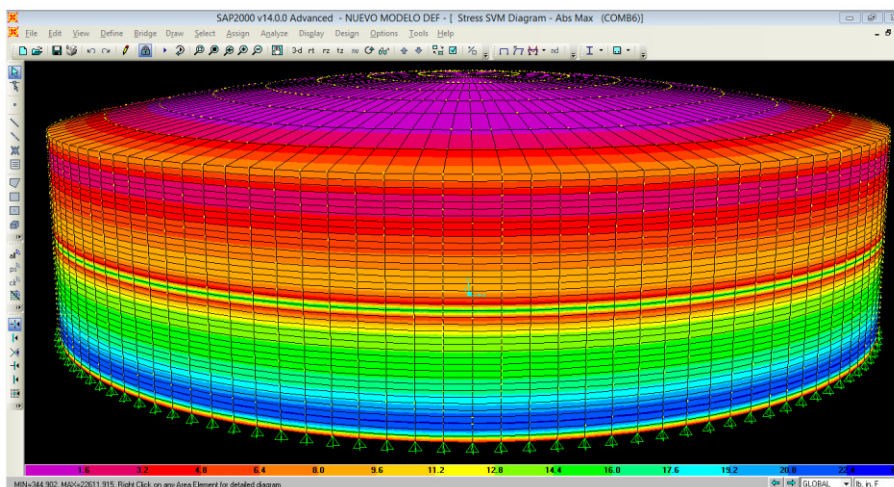


Figura 6. 11. Esfuerzos/tensión resultante de la combinación Comb6.  
Fuente SAP.2000

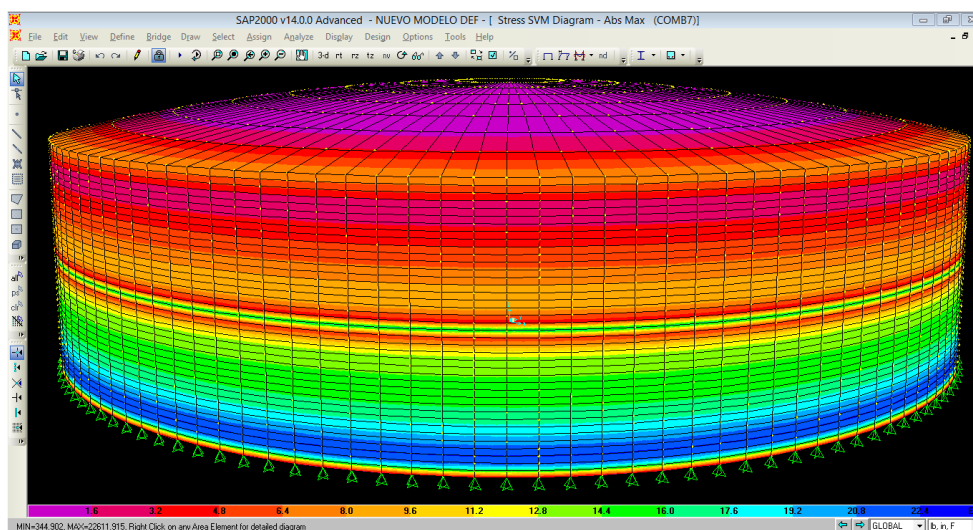


Figura 6. 12. Esfuerzos/tensión resultante de la combinación Comb7.  
Fuente SAP.2000

#### 6.4. Análisis de resultados de la simulación

Los resultados de la simulación en SAP2000 permiten concluir que el área más crítica del tanque son las planchas que se encuentran en la parte inferior del

tanque, debido a que son aquellas que, además de soportar la estructura del tanque, soportaran la fuerza generada por la fuerza hidrostática del petróleo contenido en él.

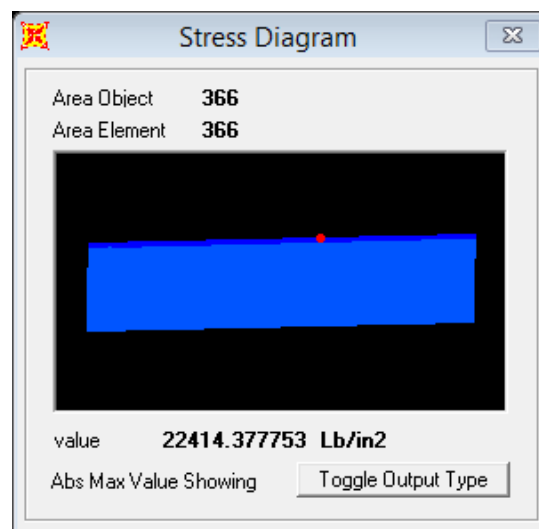


Figura 6. 13. Esfuerzos máximos en una plancha, resultante de Comb 7.  
Fuente SAP.2000

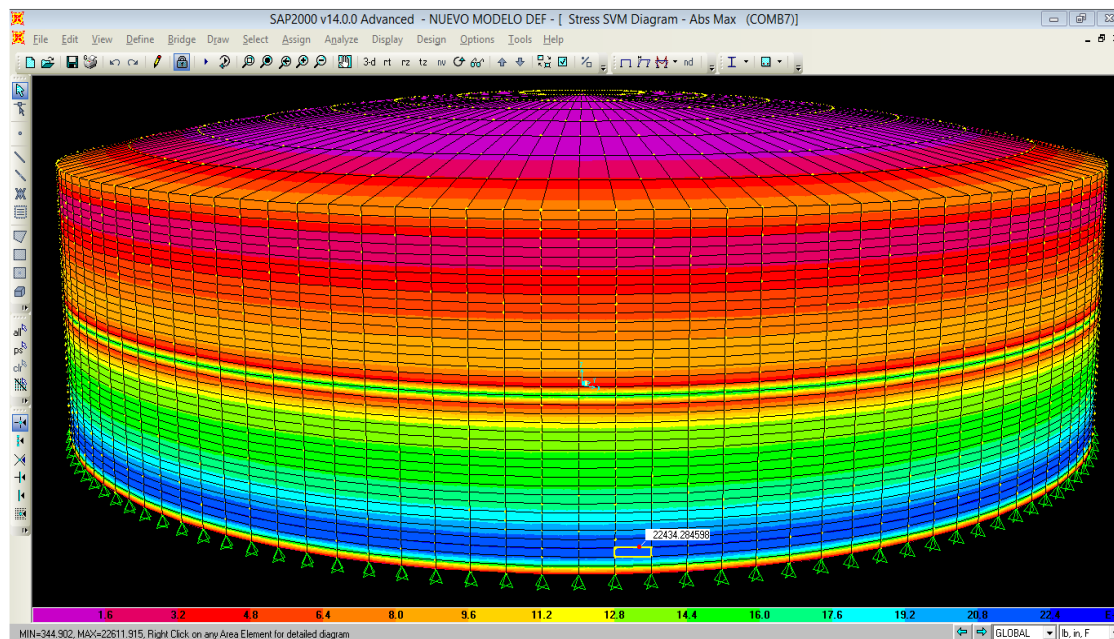


Figura 6. 14. Ubicación de la plancha en el diagrama de esfuerzos máximos resultante de la Comb 7.  
Fuente SAP.2000

Tomando en cuenta el esfuerzo máximo encontrado en la simulación de la combinación crítica (Comb6 o Comb7) es de 22.611,915 psi con respecto a la resistencia mínima del acero A36 (resistencia = 36.000 psi), podemos hallar un factor de seguridad de diseño:

$$\text{Factor de Seguridad por Diseño} = \frac{36.000 \text{ psi}}{22611,915 \text{ psi}} = 1,592$$

Y para el acero A238°C con su mínima resistencia a fluir de 30.000 psi, su factor de seguridad sería:

$$\text{Factor de Seguridad por Diseño} = \frac{30.000 \text{ psi}}{22.611,915 \text{ psi}} = 1,326$$

Lo que indica que en ambos casos (acero A36 y acero A238°C), el diseño de este tanque se encuentra apto para una situación de sobre carga, sea esta por agentes externos o propias del diseño, y va a mantener su diseño original o de darse el caso se generarían pequeñas deformaciones, frente a la acción de un evento sísmico como el sismo de magnitud de 8,6 que se describe en el análisis de capítulos anteriores.

Por lo que se puede correlacionar la mayoría de los tanques que se encuentren en el área de almacenamiento, que presenten características de dimensionamiento similar al tanque escogido para el modelamiento, también soportarían los efectos de este evento sismogénico, asegurando que el fluido almacenado dentro de ellos no sufra exposición al ambiente, afectando la población aledaña o al medio ambiente.

## CONCLUSIONES

1. Los ambientes tectónicos dominantes que se encuentran en la región de estudio son: el Levantamiento Santa Elena, las Cuencas estructurales de Amistad y Jambelí, la Zona de Subducción y el Sistema Mayor Dextral. Estas zonas sismogénicas encierran sistemas de fallas potencialmente peligrosas para generar terremotos corticales y de subducción, con magnitudes estimadas de 6,2 hasta los 8,6.
2. Los sistemas de fallas geológicas que se encuentran en la región de estudio y que son potencialmente peligrosas para generar terremotos son:
  - El sistema de fallas inversas de bajo ángulo que forman el prisma de acreción (principal estructura sismogénica) dentro de la zona de subducción, las máximas magnitudes estimadas comprenden valores entre 6,2 y 8,6.
  - El sistema de deformación cortical llamado sistema mayor dextral (falla Guayaquil- Caracas) dentro de la zona Estero Salado, donde la estimación de la máxima magnitud está en el orden de 7,5 y 7,2.
  - El sistema de fallas paralelo a la falla la Cruz y otro perpendicular dentro de la zona Santa Elena, cuyas máximas magnitudes estimadas alcanzan valores entre los 6,8 y 7,1.

- El sistema de fallas normales con componentes de cizallas dentro de la zona Amistad capaz de generar potenciales terremotos en el orden de 6,5 y 7,2.
3. Las estructuras sismogénicas cercanas al componente de estudio son de gran potenciales tectónico, debido a los siguientes valores:
- Las fallas Salinas, Anconcito, Chanduy, Zapotal, alcanzan máximas aceleraciones en roca en el orden de los 0,32 g y 0,36 g;
  - Las fallas Playas (S1, S2, S3), Data (S1,S2), Golfo, Posorja, Tenguel, Domito (S1, S3), con estimaciones de máximos valores de aceleraciones en roca de 0,28 g y 0,39 g;
  - Las fallas del prisma de acreción (13 en total) y falla de subducción, está ultima con un valor máxima aceleración en roca que alcanza los 0,34 g;
  - Las fallas Guayaquil Dolores (S1, S2), Río Guayas, Puna Norte, Guayaquil-Babahoyo, podrían generar máximas aceleraciones en roca comprenden valores de 0,27 y 0,38.
4. Otra zona de peligrosidad sísmica es la Dorsal Carnegie, que a pesar de no presentar fallas activas y capaces, está en colisión a lo largo de la zona de subducción, siendo una de las más considerables debido a la alta ocurrencia de sismos.



5. La modelación realizada con el software ITDBT de la NOAA, indica que el tiempo aproximado de llegada de la onda de tsunami con respecto a la ubicación de la Refinería La Libertad es de aproximadamente 40 a 45 min con altura de ola de 5 a 8 m, originado desde la principal estructura sismogénica (prisma de acreción).

6. Mediante el análisis estructural realizado en el software sap2000, se determinó que el cuerpo puede soportar un evento sismogénico de gran magnitud como el sismo de 8,6, generando así un esfuerzo máximo de fluencia de 22.611,915 lb/in<sup>2</sup> durante un caso crítico, por lo que la estructura diseñada tanto en acero A-36 (mínimo punto de fluencia de 36.000 psi) como en acero A238°C (mínimo punto de fluencia de 30.000 psi) presentaran deformaciones mínimas en la integridad del tanque.

# **ANEXOS**

## Anexo 1. Catálogo de sismos

Tiempo	latitud	longitud	mag	Prof.	Fuente
02/10/19 33	-2	- 81,09 9	6,7	35	NCEDC
30/01/19 43	-2	-80,5	6,7	100	NCEDC
14/12/19 70	-1,3	- 80,85 4	5,7	17,2	NCEDC
28/04/19 73	-1,8	79,96 5	5,5	79,1	NCEDC
08/05/19 77	-1,3	- 81,06 7	5,1	27	NCEDC
08/05/19 77	-1,2	- 81,09 8	5,1	42	NCEDC
21/05/19 77	-1,6	- 80,90 7	5	48	NCEDC
26/05/19 77	-1,9	- 81,19 7	5,1	10	NCEDC
18/02/19 80	-2,3	-79,78	5,5	73,2	NCEDC
18/08/19 80	-2	- 79,99 6	5,8	55,7	NCEDC
06/05/19 81	-2	- 80,94 7	6,3	56,5	NCEDC
06/05/19 81	-1,9	- 80,91 1	6,4	11,3	NCEDC
27/06/19 81	-3,1	- 80,32 7	5,1	49	NCEDC
26/08/19 82	-2,7	- 79,87 4	5,9	66,6	NCEDC
21/07/19 83	-1,2	- 80,90 8	5	34,4	NCEDC
07/12/19 85	-2	- 80,86 8	5	44,9	NCEDC
20/08/19 88	-2,5	- 79,58 7	5	47,4	NCEDC
16/02/19 90	-3,1	- 80,68 3	5,3	76,4	NCEDC
13/10/19 90	-2,2	- 80,04 4	5	75,6	NCEDC
18/08/19 92	-2,9	- 79,92 3	5,3	27	NCEDC

11/08/19 94	-2	- 80,83 3	5,1	14,7	NCEDC
05/08/19 96	-1,9	- 80,91 8	6,2	16,3	NCEDC
17/01/19 98	-2,2	-80,02	5	100	NCEDC
01/07/19 98	-1,2	-80,95	5,2	33	NCEDC
18/02/19 99	-2,2	- 79,59 5	5	66,6	NCEDC
20/09/20 00	-1,9	- 80,46 1	5,5	33	NCEDC
17/03/20 02	-3	- 79,67 1	5,1	69	NCEDC
11/11/20 02	-2,4	- 80,07 8	5,1	33	NCEDC
11/08/20 04	-3,1	- 80,80 1	5,3	42,1	NCEDC
21/01/20 05	-1,2	- 80,84 1	5,4	10	NCEDC
21/01/20 05	-1,2	- 80,86 9	5	10	NCEDC
22/01/20 05	-1,2	- 80,79 2	5,2	26,1	NCEDC
23/01/20 05	-1,2	- 80,79 6	5	15,9	NCEDC
24/01/20 05	-2,3	- 80,64 6	5,6	28,5	NCEDC
24/01/20 05	-1,4	-80,85	6,1	14,7	NCEDC
24/01/20 05	-1,4	-80,92	5,8	24,5	NCEDC
24/01/20 05	-1,4	- 80,87 4	5,1	15	NCEDC
28/01/20 05	-1,2	-81,33	6	12	NCEDC
17/02/20 05	-1,8	- 81,04 6	5,5	10	NCEDC
27/03/20 05	-1,2	- 80,77 1	5,1	18,2	NCEDC
05/11/20 05	-2	- 80,33 1	5,1	67,3	NCEDC
20/12/20 05	-1,9	- 80,90 4	5,3	21,1	NCEDC

13/07/2006	-1,7	-	81,009	5	48,7	NCEDC
26/01/2008	-2,9	-80,39		5,2	64,3	NCEDC
18/07/2008	-2	-	80,276	5	75,9	NCEDC
19/07/2009	-1,7	-	80,366	5,4	54,9	NCEDC
28/02/2010	-1,2	-80,39		5,2	35	NCEDC
14/12/2013	-2,8	-	80,587	5	55,7	NCEDC
14/12/2013	-2,8	-80,58		5	40	CSEM
13/11/2012	-1,7	-81,61		5,1	35	CSEM
17/11/2011	-1,7	-81,64		5,9	30	CSEM
19/07/2009	-1,8	-80,42		5,3	48	CSEM
26/01/2008	-2,7	-80,28		5,1	66	CSEM
13/07/2006	-1,8	-81,11		5	10	CSEM
20/12/2005	-1,9	-80,95		5,2	55	CSEM
17/02/2005	-1,8	-81,02		5,1	40	CSEM
24/01/2005	-1,5	-80,47		5,4	60	CSEM
24/01/2005	-1,6	-80,92		5,5	10	CSEM
24/01/2005	-2,5	-80,71		5,2	20	CSEM EMSC
14/12/2013	-2,8	-80,59		5	55,7	USGS
19/07/2009	-1,7	-	80,366	5,4	54,9	USGS
18/07/2008	-2	-	80,276	5	75,9	USGS
26/01/2008	-2,9	-80,39		5,2	64,3	USGS
13/07/2006	-1,7	-	81,009	5	48,7	USGS
20/12/2005	-1,9	-	80,904	5,3	21,1	USGS
05/11/2005	-2	-	80,331	5,1	67,3	USGS
17/02/2005	-1,8	-	81,046	5,5	10	USGS
24/01/2005	-1,4	-	80,874	5,1	15	USGS
24/01/2005	-1,4	-80,92		5,8	24,5	USGS

24/01/2005	-1,4	-80,85		6,1	14,7	USGS
24/01/2005	-2,3	-	80,646	5,6	28,5	USGS
11/11/2002	-2,4	-	80,078	5,1	33	USGS
20/09/2000	-1,9	-	80,461	5,5	33	USGS
17/01/1998	-2,2	-80,02		5	100	USGS
05/08/1996	-1,9	-	80,918	6,2	16,3	USGS
11/08/1994	-2	-	80,833	5,1	14,7	USGS
13/10/1990	-2,2	-	80,044	5	75,6	USGS
07/12/1985	-2	-	80,868	5	44,9	USGS
26/08/1982	-2,7	-	79,874	5,9	66,6	USGS
06/05/1981	-1,9	-	80,911	6,4	11,3	USGS
06/05/1981	-2	-	80,947	6,3	56,5	USGS
18/08/1980	-2	-	79,996	5,8	55,7	USGS
18/02/1980	-2,3	-79,78		5,5	73,2	USGS
26/05/1977	-1,9	-	81,197	5,1	10	USGS
21/05/1977	-1,6	-	80,907	5	48	USGS
28/04/1973	-1,8	-	79,965	5,5	79,1	USGS
14/12/1970	-1,3	-	80,854	5,7	17,2	USGS
30/01/1943	-2	-80,5		6,7	100	USGS
02/10/1933	-2	-	81,099	6,7	35	USGS
09/07/1653	-2,2	-79,89		5,7	ND	CERESIS
11/06/1787	-2,4	-80,11		6,5	20	CERESIS
07/01/1901	-2,4	-81,46		7,8	25	CERESIS
22/07/1924	-2	-80		6,5	ND	CERESIS


02/10/19 33	-2	-81	6,9	15	CERESIS
03/10/19 33	-1,8	-80,75	6,3	ND	CERESIS
30/01/19 43	-2	-80,5	6,2	100	CERESIS
12/12/19 53	-3,4	-80,6	7,8	30	CERESIS
12/03/19 57	-1,6	-80,15	6,2	60	CERESIS
26/08/19 57	-2	-81	6	ND	CERESIS
07/02/19 59	-3,7	-81,71	7,4	33	CERESIS
12/08/19 59	-3	-80,5	5,7	33	CERESIS
21/06/19 60	-2	-80,5	6,1	ND	CERESIS
10/09/19 60	-2,5	-82	5,7	33	CERESIS
08/04/19 61	-2,6	-81	6,2	25	CERESIS
22/04/19 61	-2,8	-80,8	5,8	30	CERESIS
21/05/19 61	-3,1	-80,9	6	27	CERESIS
02/06/19 61	-3	-80,4	6,2	37	CERESIS
10/12/19 70	-4	-80,66	7,1	15	CERESIS
12/03/19 62	-2,9	-80,2	6,2	25	CERESIS
18/08/19 80	-2	-80,03	5,5	74	CERESIS
06/05/19 81	-2	-80,99	5,8	36	CERESIS
26/08/19 82	-2,7	-79,87	5,8	70	NEIC
06/11/19 89	-2,8	-80,74	5	ND	EPN
10/02/19 90	-3,2	-80,86	5,6	ND	EPN
16/02/19 90	-3,2	-80,69	5	ND	EPN
15/08/19 90	-3,1	-80,63	5	19	EPN
10/02/19 90	-3,2	-80,83	5,5	56	NEIC
13/10/19 90	-3,2	-80,85	5,1	ND	EPN

18/08/19 92	-2,8	-80,47	5,1	0,4	EPN
27/04/19 93	-2,6	-80,64	5,3	0,3	EPN
24/06/19 93	-2,9	-80,32	5,4	13,3	EPN
11/08/19 94	-2,2	-81,57	5	11,8	EPN
26/03/19 95	-2,1	-79,75	5,3	3,3	EPN
14/06/19 95	-3,5	-80,56	5,3	0,3	EPN
27/06/19 95	-3,1	-80,47	5,3	ND	EPN
13/08/19 95	-2,9	-80,75	5	16	EPN
05/08/19 96	-2,1	-81,37	5,5	6,6	EPN
05/08/19 96	-2	-81	6,3	3,3	NEIC
15/02/19 97	-2,8	-80,83	5,4	10	EPN
16/09/19 98	-3,5	-79,68	5	18,9	EPN
17/03/20 02	-3,4	-79,96	5,3	17,7	EPN
11/08/20 04	-3,2	-81,07	5	35,9	EPN
24/01/20 05	-2,3	-80,65	5,6	28	NEIC
24/01/20 05	-2,5	-80,87	5,2	20,1	EPN
09/04/20 05	-3,6	-80,3	5	13,3	EPN
13/05/20 05	-3,4	-80,62	5,2	13,3	EPN
21/05/20 05	-3,3	-80,99	6,3	39	NEIC
21/05/20 05	-3,5	-81,33	5,5	9,3	EPN
29/05/20 05	-3,1	-81,03	5,2	5,6	EPN
15/08/20 07	-3,1	-80,65	5	18,3	EPN
26/01/20 08	-3	-80,69	5,4	18	EPN
18/07/20 08	-2,1	-80,59	5,1	15,7	EPN

## Anexo 2. Catálogo de fallas

Id.	Falla capaz	tipo	Longitud de falla (Km)	Prof. falla (Km)	Distancia falla - sitio (Km)	Azímuth	Buzamiento aparente	Dirección inclinación	Rake	Ancho de falla (Km)	Posición estructural de falla	Máximo desplaz. (m) de relaciones empinadas propuestas por We & Coppe smith, 1994	Magnitud estimada de relaciones empinadas por We & Coppe smith, 1994	Magnitud estimada de dimensiones y distancia focal de falla	PGA Fukushima & Tanaka (1990)	Niveles de confiabilidad de estudios morfológicos	Bibliografía referenciada
1	F. Jijapa	Inversa	67,47	23	83,8	15	45	100	90,00	12	Foot wall	1,2	6,9	6,8	0,28	deducida	Eguez et al., 2003
2	F. Duale	Cizalla sinistral	97,31	18	148,64	47	85	90	0,00	10	right lateral	1,0	6,7	6,7	0,26	deducida	Chunga 2010
3	F. Colónche - Río Grande	Inversa	34,31	23	33,44	28	45	60	90,00	10	Foot wall	1,1	6,8	6,7	0,28	cierta	Chunga 2010
4	F. Vilho S1	Cizalla de srmal	26,79	12	67,58	66	85	60	180,00	6	Foot wall	0,8	6,3	6,1	0,33	deducida	Chunga 2010
5	F. Vilho S2	Cizalla de srmal	24,58	15	40,84	59	85	60	180,00	10	Foot wall	1,1	6,7	6,6	0,31	cierta	Chunga 2010
6	F. Río Colmes	Cizalla de srmal	49,97	12	102,02	53	85	85	180,00	6	Foot wall	0,8	6,3	6,4	0,28	deducida	Chunga 2010
7	F. Colónche - Bachiller	Inversa	28,19	18	47,84	63	45	285	90,00	14	Hanging wall	1,2	6,9	6,6	0,37	deducida	Litton 1986
8	F. Colónche - Choncom	Inversa	28,17	15	72,92	77	45	275	90,00	10	Foot wall	1,1	6,8	6,9	0,20	cierta	Chunga 2010
9	F. El Achote - Petral	Inversa	12,77	10	91,62	43	45	200	90,00	20	right lateral	1,5	7,1	7,1	0,29	deducida	Dumont et al., 2005
10	F. Colinas	Inversa	10,16	20	68,88	11	45	5	90,00	18	Foot wall	1,2	6,9	7,0	0,24	deducida	Chunga 2010
11	F. Carizal	Normal	36,25	12	49,21	77	45	105	-90,00	20	Foot wall	1,4	7,1	6,9	0,35	cierta	Winkler 2005
12	F. Guayaquil - Babahoyo	Cizalla de srmal	58,83	23	118,18	48	85	40	180,00	10	Foot wall	1,3	7,0	6,8	0,34	deducida	Winkler 2005
13	F. Guayaquil - Duran	Inversa	29,87	33	98,65	86	45	4	90,00	16	right lateral	1,6	7,2	7,0	0,37	deducida	Litton 1986
14	F. Estero Salado - Posso	Normal	38,12	33	84,22	41	45	40	-90,00	16	right lateral	1,5	7,1	6,9	0,36	deducida	Litton 1986
15	F. Río Guayas	Cizalla de srmal	82,39	15	110,72	40	85	40	180,00	17	Foot wall	1,7	7,2	7,0	0,35	deducida	Litton 1986
16	F. Puna - Río Guayas	Cizalla de srmal	29,65	15	107,47	39	85	40	180,00	13	Hanging wall	1,4	7,1	6,9	0,36	deducida	Dumont et al., 2005
17	F. Guayaquil - Dolores S.	Cizalla de srmal	87,93	15	125,97	41	85	40	180,00	15	Foot wall	1,4	7,0	7,0	0,32	cierta	Litton 1986
18	F. Guayaquil - Dolores S.	Cizalla de srmal	34,26	15	117,04	47	85	40	180,00	16	Foot wall	1,7	7,2	7,0	0,36	cierta	Litton 1986
19	F. Zambapala 1	Cizalla de srmal	45,61	18	113,78	56	85	50	180,00	12	right lateral	1,1	6,8	6,7	0,26	deducida	Litton 1986
20	F. Progreso	Normal	49,93	18	48,69	13	45	330	-90,00	10	No determinada	0,9	6,5	6,5	0,23	deducida	Litton 1986
21	F. La Cruz	Normal	69,89	16	37,27	32	45	320	-90,00	10	No determinada	0,7	6,3	6,3	0,21	deducida	Litton 1986
22	F. Playas	Normal	59,2	20	32,18	47	45	240	-90,00	8	Hanging wall	1,0	6,6	6,6	0,25	cierta	Litton 1986
23	F. Zapotal	Cizalla sinistral	27,94	20	31,3	44	85	45	0,00	14	Hanging wall	1,5	7,1	7,1	0,31	cierta	Litton 1986
24	F. Chumby	Normal	23,2	20	24,06	54	85	105	0,00	14	right lateral	1,1	6,8	6,6	0,32	cierta	Litton 1986
25	F. Ancónco	Inferida	10,91	20	21,4	4	85	15	180,00	16	right lateral	1,2	6,9	6,7	0,33	deducida	Litton 1986
26	F. Salinas	Inferida	16,07	20	7,51	46	85	300	180,00	14	Foot wall	1,3	7,0	6,9	0,31	cierta	Litton 1986
27	F. Playas S1	Normal	52,29	15	45,97	57	45	105	-90,00	10	No determinada	1,4	7,1	6,9	0,35	deducida	Litton 1986
28	F. Playas S2	Normal	67,13	15	58,44	74	45	90	-90,00	10	Foot wall	0,9	6,7	6,7	0,25	cierta	Eguez et al., 2003
29	F. Playas S3	Normal	38,36	15	63,89	70	45	95	-90,00	8	Foot wall	0,9	6,5	6,4	0,28	deducida	Winkler 2005
30	F. Dava S1	Normal	27,76	15	68,25	70	45	110	-90,00	12	Foot wall	1,4	7,0	6,8	0,35	cierta	Eguez et al., 2003
31	F. Dava S2	Normal	30,08	15	85,55	71	45	70	-90,00	18	Foot wall	1,6	7,2	7,0	0,37	cierta	Hungerbueher 2001
32	F. Gobo	Normal	31,19	15	58,44	22	45	345	-90,00	18	Foot wall	1,5	7,1	7,1	0,31	deducida	Hungerbueher 2002
33	F. Pasorra	Normal	75,62	23	84,37	75	45	75	-90,00	14	right lateral	1,4	7,0	6,8	0,39	deducida	Chunga 2010
34	F. Domingo S2	Normal	16,29	16	78,29	13	45	10	-90,00	14	Hanging wall	1,3	7,0	6,7	0,35	deducida	Wit et al., 2007
35	F. Esperanza S1	Normal	15,8	20	103,77	44	45	75	-90,00	14	Hanging wall	1,1	6,8	6,6	0,32	cierta	Litton 1986
36	F. Esperanza S2	Normal	8,84	20	125,96	37	45	85	-90,00	14	right lateral	1,4	7,0	6,9	0,31	deducida	Wit et al., 2005
37	F. Esperanza S3	Normal	19,38	20	114,16	37	45	320	-90,00	14	Hanging wall	1,7	7,3	7,2	0,33	deducida	Wit et al., 2007
38	F. Esperanza S4	Normal	13,89	20	93,99	48	45	230	-90,00	14	Hanging wall	1,1	6,8	6,7	0,32	cierta	Litton 1986
39	F. Domingo S3	Normal	41,78	16	93,71	39	45	70	-90,00	16	Hanging wall	1,6	7,2	7,0	0,37	cierta	Litton 1986
40	F. Tenguel	Normal	29,87	12	100,87	23	45	320	-90,00	16	Hanging wall	1,5	7,1	6,9	0,36	cierta	Litton 1986
41	F. Amista S1	Inversa	18,07	16	114,13	37	45	40	90,00	16	Hanging wall	1,3	6,9	6,8	0,34	cierta	Litton 1986
42	F. Amista S2	Inversa	16,68	16	114,79	86	45	35	90,00	16	Foot wall	1,1	6,8	6,7	0,32	cierta	Litton 1986
43	F. Amista S3	Cizalla de srmal	15,23	16	121,4	24	85	8	180,00	14	Hanging wall	1,1	6,8	6,6	0,32	cierta	Litton 1986
44	F. Puna Norte	Cizalla de srmal	63,57	15	131,6	59	85	300	180,00	14	Foot wall	0,9	6,5	6,4	0,27	cierta	Litton 1986
45	F. Puna S2	Normal	40,91	18	120,75	34	45	40	-90,00	10	Hanging wall	0,8	6,4	6,3	0,27	cierta	Wit et al., 2005
46	F. Jambel None	Inferida	48,71	15	139,33	48	45	50	90,00	15	Hanging wall	0,8	6,4	6,5	0,22	cierta	Wit et al., 2005
47	F. Jambel Sur	Normal	12,32	15	120,07	85	45	340	-90,00	12	Foot wall	1,0	6,6	6,4	0,34	deducida	Wit et al., 2005
48	F. Naranjal	Inversa	31,38	18	145,66	54	45	45	90,00	4	Foot wall	0,9	6,5	6,3	0,36	deducida	Wit et al., 2005
49	F. El Carmo	Normal	17,65	8	148,13	77	45	40	-90,00	4	Hanging wall	0,9	6,5	6,4	0,27	deducida	Wit et al., 2005
50	F. Ponce - Enriquez	Inversa	46,75	20	165,13	24	45	120	-90,00	10	Foot wall	0,8	6,5	6,5	0,26	deducida	Litton 1986
51	F. Boca Tenguel	Inferida	25,67	15	140,71	54	45	35	90,00	5	Hanging wall	0,7	6,2	6,1	0,24	deducida	Wit et al., 2005
52	F. Jambel	Normal	39,54	12	116,23	70	45	85	-90,00	10	Hanging wall	0,9	6,6	6,6	0,23	deducida	Wit et al., 2005
53	F. Pasaje	Cizalla de srmal	50,51	12	173,51	88	85	178	180,00	10	Foot wall	1,3	6,9	6,8	0,33	deducida	Wit et al., 2005
54	F. Babas	Cizalla de srmal	22,23	12	208,21	90	85	180	180,00	30	Hanging wall	1,8	7,3	7,3	0,34	deducida	Wit et al., 2007
55	F. Muanabell	Cizalla sinistral	27,83	30	203,05	76	85	166	0,00	28	Foot wall	2,0	7,4	7,4	0,37	deducida	Wit et al., 2007
56	F. S5	Inferida	81,81	20	169,71	39	85	40	-90,00	20	Foot wall	1,5	7,1	7,0	0,35	deducida	Wit et al., 2007
57	F. Mancom Zorros	Normal	56,34	16	169,55	57	45	33	-90,00	12	right lateral	1,0	6,6	6,4	0,34	deducida	Chunga 2010
58	F. Mancom Tumbes	Normal	106,44	18	153,04	52	45	38	-90,00	16	Foot wall	1,2	6,9	7,0	0,24	deducida	Chunga 2010
59	F. Banco Puna S2	Normal	30,05	20	148,63	44	45	16	-90,00	18	Hanging wall	0,7	6,2	6,1	0,26	deducida	Chunga 2010
60	F. Banco Puna S1	Normal	89,16	20	129,33	68	45	158	-90,00	10	Hanging wall	0,8	6,4	6,5	0,21	deducida	Chunga 2010
61	Falla Prisma 1	Inversa	14,09	10	66,46	18	45	108	90,00	13	Hanging wall	1,0	6,6	6,6	0,28	deducida	Chunga 2010
62	Falla Prisma 2	Inversa	21,65	10	71,24	34	45	124	90,00	13	Foot wall	0,9	6,2	6,2	0,29	deducida	Chunga 2010
63	Falla Prisma 3	Inversa	36,96	10	93,06	24	45	114	90,00	10	right lateral	0,8	6,4	6,4	0,21	deducida	Chunga 2010
64	Falla Prisma 4	Inversa	31,69	10	111,35	14	45	104	90,00	8	Hanging wall	0,9	6,5	6,5	0,25	deducida	Chunga 2010
65	Falla Prisma 5	Inversa	19,57	10	119,47	43	45	134	90,00	14	right lateral	1,1	6,8	6,9	0,19	deducida	Chunga 2010
66	Falla Prisma 6	Inversa	18,51	10	119,57	43	45	133	90,00	8	Foot wall	0,5	6,3	6,7	0,19	deducida	Chunga 2010
67	Falla Prisma 7	Inversa	15,94	10	135,88	72	45	162	90,00	16	No determinada	1,4	7,0	7,0	0,30	deducida	Eguez et al., 2003
68	Falla Prisma 8	Inversa	15,83	11	131,1	41	45	131	90,00	20	Foot wall	1,2	6,8	6,8	0,27	deducida	Eguez et al., 2003
69	Falla Prisma 9	Inversa	19,55	10	137,76	30	45	120	90,00	20	No determinada	1,0	6,7	6,7	0,25	deducida	Eguez et al., 2003
70	Falla Prisma 10	Inversa	23,76	10	136,88	80	45	170	90,00	30	No determinada	1,8	7,3	7,2	0,33	deducida	Eguez et al., 2003
71	Falla Prisma 11	Inversa	17,04	10	136,68	35	45	125	90,00	12	No determinada	1,2	6,9	6,8	0,28	deducida	Eguez et al., 2003
72	Falla Prisma 12	Inversa	9,06	10	184,56	60	45	150	90,00	20	No determinada	1,4	7,0	7,0	0,30	cierta	Eguez et al., 2003
73	Falla Prisma 13	Inversa	17,3	10	182,12	40	45	130	90,00	20	No determinada	1,8	7,3	7,2	0,33	deducida	Eguez et al., 2003
74	Subducción	Inversa	1211,7	40	66,03	31	45	98	90,00	20	Hanging wall	5,8	8,7	8,7	0,34	deducida	Wit et al., 2007

### Anexo 3. Producción de derivados 2014

 <b>PRODUCCIÓN DE DERIVADOS - REFINERÍA LA LIBERTAD</b> (a)													
<b>Año 2014</b> Cifras en barriles													
Mes	GASOLINA EXTRA	GASOLINA SUPER	DIESEL 1	DIESEL 2	FUEL OIL #4	JET A-1	G L P	SPRAY OIL	SOLVENTES (RUB, S1, M.T)	ABSORBER OIL	NAFTA BASE SECTOR ELECTRICO	NAFTA BASE A TERMINALES	TOTAL (b)
ENERO	198.788	5.412	14.684	186.720	761.942	79.433	1.941	19.812	10.741	463	0	182.851	1.279.937
FEBRERO	174.772	5.272	11.277	138.432	568.078	61.856	1.457	17.894	15.690	0	0	123.875	994.729
MARZO	180.519	14.255	11.908	162.013	678.480	59.020	1.508	29.371	8.883	0	0	161.910	1.145.958
ABRIL	152.429	6.216	5.620	183.435	754.456	79.573	1.395	21.199	12.867	0	0	188.340	1.217.189
MAYO	161.509	9.696	10.964	190.771	738.397	79.989	1.914	19.156	13.638	468	0	169.923	1.226.501
JUNIO	169.132	5.472	9.383	175.779	802.653	78.602	1.862	19.385	11.948	0	0	202.225	1.274.216
JULIO	175.139	6.155	4.402	165.052	591.031	80.904	1.184	9.307	14.021	0	0	140.496	1.047.195
AGOSTO	210.128	9.745	11.795	206.290	766.679	81.511	2.384	27.197	15.309	0	0	184.795	1.331.038
<b>TOTAL</b>	<b>1.422.415</b>	<b>62.223</b>	<b>80.033</b>	<b>1.408.491</b>	<b>5.661.714</b>	<b>600.889</b>	<b>13.646</b>	<b>163.322</b>	<b>103.098</b>	<b>932</b>	<b>0</b>	<b>1.354.415</b>	<b>9.516.762</b>
Ene-Ago 2013	1.175.416	66.913	87.337	1.630.039	5.648.732	536.298	16.039	171.921	109.514	298	64.485	1.472.847	9.506.992
Var. % 14/13	21,0	-7,0	-8,4	-13,6	0,2	12,0	-14,9	-5,0	-5,9			-8,0	0,1
<b>Notas:</b> Información provisional sujeta a revisión a) Se refiere a producción en planta de derivados terminados y productos intermedios importados para mezcla en refinería. No se consideran consumos internos b) La producción total de Refinería La Libertad no incluye la producción de 1'354.415 bls de Nafta base que se envía al Terminal Pascuales y Libertad, para mezcla de Gasolina Extra, Gasolina para pesca artesanal y Sector Eléctrico c) A partir del 01 de junio 2014 con Resolución RTE INEN 028 reformada, permite la variación del número de octano de la gasolina de RON 87 hasta 85 octanos y a la de RON 92 hasta 90 octanos, por el lapso de 18 meses.													
<b>Fuente:</b> Reportes Gerencia de Refinación, EP PETROECUADOR <b>Elaboración:</b> Departamento de Planificación y Estadísticas-EP PETROECUADOR													

## Anexo 4. Datos Técnicos y Característicos de Tanques de Almacenaje de La Libertad

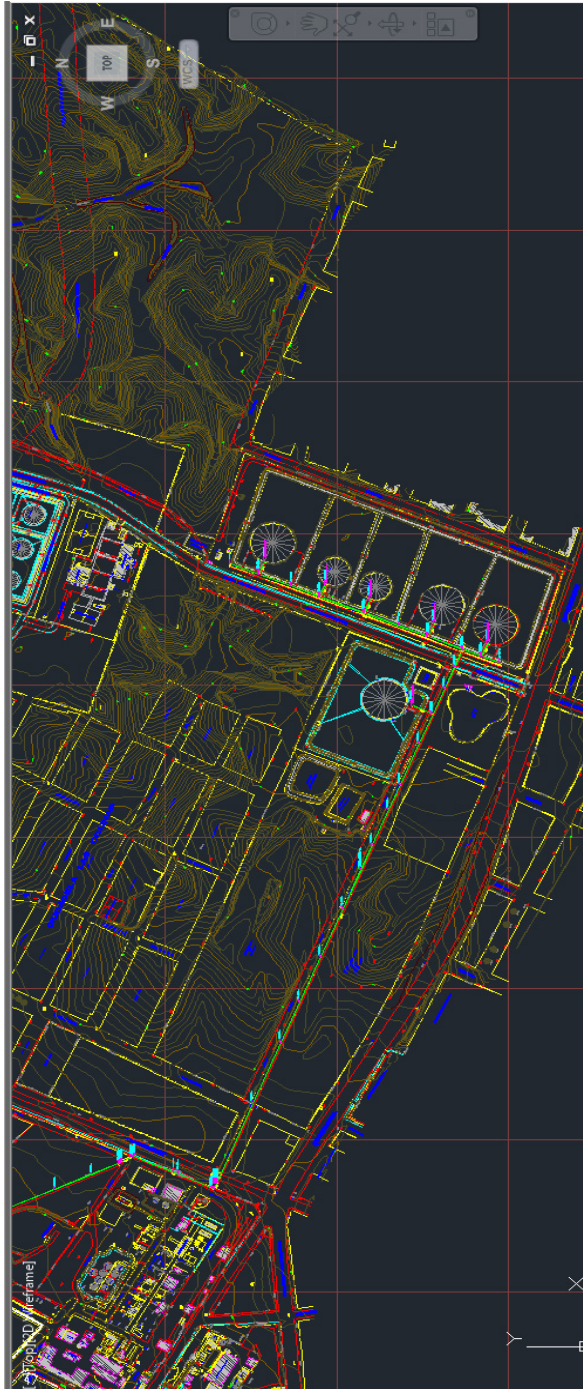
TKS.	PROPIETARIO	CODIGO DEL TANQUE	TIPO DE TANQUE	TIPO DE TECHO	TIPO DE FONDO	UBICACIÓN
CEPE-1	RLL	300323	CILINDRICO	FLOTANTE	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - CRUCITA
55	RLL	309159	CILINDRICO	FLOTANTE	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - CRUCITA
39	RLL	300319	CILINDRICO	FLOTANTE	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - CRUCITA
40	RLL	300320	CILINDRICO	FLOTANTE	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - CRUCITA
54	RLL	306291	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
42	RLL	300322	CILINDRICO	FLOTANTE	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - CRUCITA
41	RLL	300321	CILINDRICO	FLOTANTE	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - CRUCITA
41	RLL	300321	CILINDRICO	FLOTANTE	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - CRUCITA
5	RLL	300287	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
4	RLL	300286	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
6	RLL	300288	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
9	RLL	300291	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
33	RLL	300313	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
10	RLL	300281	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
32	RLL	300312	CILINDRICO	FLOTANTE	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
20	RLL	300300	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
3	RLL	305188	CILINDRICO	FLOTANTE	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
52	RLL	306292	CILINDRICO	FLOTANTE	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
1	RLL	300283	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
12	RLL	300292	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
8	RLL	300290	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
43	RLL	300324	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
2	RLL	300284	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
7	RLL	300289	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
44	RLL	300325	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
29	RLL		CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
34	RLL	300314	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
27	RLL	300307	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
28	RLL	300308	CILINDRICO	FLOTANTE	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
53	RLL		CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
30	RLL	300310	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
22	RLL	300302	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
13	RLL	300293	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
21	RLL	300301	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
23	RLL	300303	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
11	RLL	300280	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
15	RLL	300295	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
16	RLL	300296	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
14	RLL	300294	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
25	RLL	300305	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
60	RLL	306078	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
49	RLL	300330	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
46	RLL	300327	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
17	RLL	300297	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
RD-4	RLL	300339	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
RD-2	RLL	300337	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
RD-3	RLL	300338	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
37	RLL	300317	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
RD-6	RLL	300341	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
RD-7	RLL	300342	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
RD-8	RLL	300343	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
38	RLL	300318	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
RD-1	RLL	300336	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
RD-9	RLL		CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
160	RLL		CILINDRICO	CIL. CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
51	RLL	300332	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
50	RLL	300331	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
RD-5	RLL	300340	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
19	RLL	300299	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
36	RLL	300316	CILINDRICO	HORIZONTAL	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
35	RLL	300315	CILINDRICO	HORIZONTAL	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
RD-11	RLL	300344	CILINDRICO	HORIZONTAL	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
45	RLL	300296	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
47	RLL	300328	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
48	RLL	300329	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD
148	RLL	300334	CILINDRICO	CONICO	PLANO	SANTA ELENA - LA LIBERTAD - REFINERIA LA LIBERTAD



PRODUCTO	CAPACIDAD NOMINAL		CAPACIDAD OPERATIVA		CAPACIDAD MINIMA DE OPERACIÓN		CAPACIDAD MAXIMA DE OPERACIÓN		ALTURA NOMINAL		ALTURA OPERATIVA	
CRUDO	25082.96	157767.1	23011.49	144737.92	1427.93	8981.41	24439.42	153719.31	12039.60	39.5000	11734.80	38.5000
CRUDO	25394.07	159723.9	22565.42	141932.2	1508.82	9490.19	24074.24	151422.40	12049.13	39.5313	11430.00	37.5000
CRUDO	25027.36	157417.35	22435.40	141114.42	1457.87	9169.73	23893.27	150284.13	12039.60	39.5000	11501.44	37.7344
CRUDO	23563.53	148210.14	21405.65	134637.49	1512.42	9512.83	22918.07	144150.31	11277.60	37.0000	10972.80	36.0000
DIESEL 2	13831.34	86996.50	11646.77	73255.97	802.49	5047.51	12449.26	78303.48	12249.15	40.1875	11029.95	36.1875
CRUDO	12473.15	78453.78	11271.91	70898.16	721.20	4536.21	11993.11	75434.38	12020.55	39.4375	11563.35	37.9375
DIESEL 2	12477.12	78478.75	11249.52	70757.36	746.68	4696.48	11966.20	75265.12	12014.20	39.4167	11557.00	37.9167
CRUDO	12411.24	78064.34	11205.22	70478.71	739.62	4652.07	11944.83	75130.71	11988.80	39.3333	11544.30	37.8750
DIESEL 2	8976.35	56459.54	8191.32	51521.85	595.51	3745.64	8787.83	55273.78	11201.40	36.7500	10966.45	35.9792
DIESEL 2	9071.48	57057.89	7815.12	49155.62	696.11	4378.40	8511.23	53534.02	11201.40	36.7500	10501.31	34.4531
FUEL OIL	8880.46	55856.41	7655.50	48151.64	770.17	4844.22	8425.66	52995.80	8915.40	29.2500	8458.20	27.7500
FUEL OIL	8872.59	55806.91	7445.57	46831.22	844.03	5308.79	8289.60	52140.01	8813.80	29.1600	8229.60	27.0000
CRUDO	9001.34	56616.7	7639.89	48053.46	603.49	3795.84	8243.37	51849.23	10642.60	34.9167	9753.60	32.0000
FUEL OIL	8530.45	53654.91	7587.81	47725.88	626.19	3938.62	8214.00	51664.50	8689.98	28.5104	8372.48	27.4688
CRUDO	8922.46	56120.57	7567.58	47598.63	630.80	3967.61	8198.38	51566.25	10521.95	34.5208	9664.70	31.7083
GAS. BASE	8557.98	53828.07	7421.42	46679.32	689.15	4334.62	8110.57	51013.94	8661.40	28.4167	8210.55	26.9375
GAS. ALTO OC	8546.43	53755.44	7510.41	47239.05	435.05	2736.38	7945.46	49975.43	14579.60	47.8333	13563.60	44.5000
GAS. EXTRA	8276.77	52059.34	7157.35	45018.37	430.33	2706.69	7587.68	47725.07	14452.60	47.4167	13258.80	43.5000
GAS. ALTO OC	7103.18	44677.68	6192.98	38952.67	431.00	2710.91	6623.98	41663.58	10261.60	36.2500	11277.60	37.0000
DIESEL 2	6251.69	39321.94	5656.77	35580.01	354.30	2228.48	6011.07	37808.49	14097.00	46.2500	13550.90	44.4583
GAS. ALTO OC	7255.79	45637.55	5213.73	32793.4	568.25	3574.18	5781.98	36367.56	10337.80	33.9167	9610.73	31.5313
FUEL OIL	4870.24	30632.88	4502.35	28318.93	290.16	1825.05	4792.51	30143.98	12192.00	40.0000	11998.33	39.3646
DIESEL 2	3432.46	21589.52	2993.60	18829.18	296.37	1864.11	3289.97	20693.29	7480.30	24.5417	7175.50	23.5417
SPRAY OIL	3409.13	21442.78	2915.03	18334.98	295.92	1861.28	3210.96	20196.33	8991.60	29.5000	8467.73	27.7813
FUEL OIL	3212.24	20204.38	2992.01	18819.17	195.19	1227.71	3187.20	20046.88	12169.78	39.9271	12074.53	39.6146
B. JP1	3170.65	19942.79	2704.27	17009.34	310.77	1954.68	3015.04	18964.03	8759.23	28.7376	8324.85	27.3125
DIESEL 2	3241.95	20391.25	2681.65	16867.07	299.46	1883.55	2981.11	18750.62	8991.60	29.5000	8261.35	27.1042
FUEL OIL	3145.90	19787.11	2915.71	18339.26	41.50	261.03	2957.21	18600.29	8843.96	29.0156	8386.76	27.5156
GAS. BASE	3044.61	19150.02	2624.76	16509.24	268.14	1686.55	2892.90	18195.79	8545.51	28.0365	8120.06	26.6406
B. JP1	3109.39	19557.47	2610.80	16421.44	187.37	1178.52	2798.17	17599.96	11899.90	39.0417	10712.45	35.1458
B. JP1	1208.34	7600.23	1035.85	6515.30	112.45	707.29	1148.30	7222.59	9178.80	30.1142	7772.40	25.5000
DIESEL 2	1185.57	7457.01	1024.25	6442.34	103.32	649.86	1127.57	7092.20	8813.80	28.9167	8382.00	27.5000
DIESEL 1	1182.03	7434.74	1022.82	6433.34	104.12	654.90	1126.94	7088.24	8788.40	28.8333	8377.24	27.4844
GAS. BASE	1171.26	7367.00	1017.39	6399.19	102.72	646.09	1120.10	7045.22	8712.20	28.5833	8331.20	27.3333
DIESEL 1	1176.04	7397.07	1010.63	6356.67	103.79	652.82	1114.42	7009.49	8740.78	28.6771	8280.40	27.1667
JP1	988.32	6216.35	893.59	5620.51	75.02	471.86	968.61	6092.37	10304.46	33.8073	10098.09	33.1302
SLOP	878.74	5527.08	824.64	1380.04	31.32	197.00	855.96	5383.83	7569.20	24.8333	7373.94	24.1927
JP1	813.18	5114.75	635.74	3998.68	118.83	747.42	754.56	4746.04	6172.20	20.2500	5715.00	18.7500
JP1	790.02	4969.08	654.10	4114.16	100.04	629.23	754.14	4743.40	6146.80	20.1667	5867.40	19.2500
JP1	759.45	4776.80	636.70	4004.72	105.48	663.45	742.18	4668.17	5842.00	19.1667	5719.76	18.7656
SLOP	494.29	3109.02	435.39	2738.5	34.71	218.32	470.10	2956.84	10896.60	35.7500	10363.20	34.0000
DESL	410.82	2583.96	387.69	2438.47	12.77	80.32	400.45	2518.75	9067.80	29.7500	8839.20	29.0000
GAS. EXTRA	394.57	2481.79	340.96	2144.55	39.34	247.44	380.29	2391.95	7467.60	24.5000	7197.73	23.6146
JP1	329.36	2071.61	288.57	1815.05	34.29	215.68	322.86	2030.73	7229.48	23.7188	7086.60	23.2500
JP1/RUBBER	300.33	1889.02	272.03	1711.02			282.04	1773.98	4572.00	15.0000		
GASOLINA	300.32	1888.96	271.96	1710.58	10.01	62.96	281.97	1773.54	4572.00	15.0000	4292.60	14.0833
JP1/SOLV	296.44	1864.55	260.17	1636.42	20.45	128.63	280.61	1764.98	4508.50	14.7917	4267.20	14.0000
DIESEL 2	299.52	1883.92	263.63	1658.18	16.55	104.10	280.18	1762.28	4560.89	14.9635	4267.20	14.0000
DIESEL 3	279.74	1759.51	269.24	1693.47	9.14	57.49	278.38	1750.96	4568.83	14.9896	4546.60	14.9167
SPRAY /D.2.	289.51	1820.96	270.22	1699.63	7.60	47.80	277.82	1747.44	4445.00	14.5833	4267.20	14.0000
SPRAY /D.2.	295.48	1858.51	257.47	1619.44	19.86	124.92	277.32	1744.29	4546.60	14.9167	4267.20	14.0000
DIESEL 2	300.41	1889.52	252.02	1585.16	20.01	125.86	272.04	1711.08	4572.00	15.0000	4140.20	13.5833
GASOLINA	286.40	1801.40	257.43	1619.19	8.97	56.42	266.39	1675.54	4378.33	14.3646	4073.53	13.3646
GASOLINA	291.31	1832.28	253.46	1594.22	9.09	57.17	262.55	1651.39	4451.35	14.6042	4013.20	13.1667
SLOP	270.91	1703.97	219.41	1380.04	37.81	237.82	257.22	1617.86	5430.84	17.8177	5156.20	16.9167
JP1	196.06	1233.18	161.59	1016.37	24.65	155.04	186.24	1171.41	6094.41	19.9948	5789.61	18.9948
JP1	195.82	1231.67	161.59	1016.37	24.45	153.79	186.04	1170.16	6108.70	20.0417	5803.90	19.0417
DIESEL 2	160.79	1011.34	144.91	911.46	5.27	33.15	150.18	944.60	3860.80	12.6667	3606.80	11.8333
GAS. ALTO OC	118.56	745.72	93.59	588.68	22.64	142.40	116.23	731.06	4400.55	14.4375	4311.65	14.1458
GAS. CAS. H.	116.59	733.33	112.94	710.37	2.19	13.77	115.13	724.15	3016.25	9.8958	2895.60	9.5000
GAS. CAS. H.	115.55	726.79	112.27	706.16	2.78	17.49	115.05	723.64	2997.20	9.8333	2946.40	9.6667
ABS. OIL	101.67	639.48	225.21	1416.53	1.68	10.57	91.71	576.84	3225.80	10.5833	2743.20	9.0000
SLOP	78.96	496.64	65.48	411.83	6.82	42.90	72.29	454.69	3581.40	11.7500	3276.60	10.7500
SLOP	66.69	419.48	54.33	341.72	6.25	39.31	60.58	381.04	3302.00	10.8333	2997.20	9.8333
SLOP	46.99	295.56	34.76	218.62	6.20	39.00	40.95	257.57	2362.20	7.7500	2057.40	6.7500
GAO	11.26	70.82	9.60	60.38	1.42	8.93	11.02	69.31	2413.00	7.9167	2362.20	7.7500

ALTURA DE REFERENCIA		DIAMETRO NOMINAL		NUMERO DE ANILLOS	FECHA DE CALIBRACION, RECALIBRACION Y RECOMPUTO	ESPECIFICACION DEL MATERIAL DEL TANQUE	TIPO DE SISTEMA DE CONTROL DE LA CORROSION
14558.96	47.7656	51777.9000	169.8750	5	25 - abr - 11	ASTMA283°C	
14741.53	48.3646	52060.4750	170.8021		29-Sep-13	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
14635.16	48.0156	51808.0625	169.9740	6	marzo 08	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
14521.66	47.6432	51811.2375	169.9844	7	noviembre 10	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
12446.00	40.8333	37992.0500	124.6458	5	14-Oct-02	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
14970.13	49.1146	36556.9500	119.9375		enero 12	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
14541.50	47.7083	36560.9188	119.9505	6	septiembre 10	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
14547.85	47.7292	36553.7750	119.9271	6	octubre 06	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
11740.36	38.5182	31962.7250	104.8646	5	septiembre 10	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
11410.95	37.4375	31951.6125	104.8281	9	marzo 05	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
9979.03	32.7396	35598.1000	116.7917	6	mayo 11	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
9020.18	29.5938	35609.2125	116.8281	5	marzo 05	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
11055.35	36.2708	32875.5375	107.8594	6	junio 06	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
8956.68	29.3854	35620.3250	116.8646	5	26 - marzo - 2001	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
11172.83	36.6563	32889.8250	107.9063	6	5-Oct-10	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
8855.08	29.0521	35613.9750	116.8438	5		ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
16553.66	54.3099	27425.6500	89.9792	6	mayo 11	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
17272.00	56.6667	27109.7375	88.9427	6	16-Feb-02	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
13344.53	43.7813	27395.4875	89.8802	7	01 -abr - 08	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
14304.96	46.9323	23735.5100	77.8724	8	diciembre 10	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
12890.50	42.2917	27385.9625	89.8490	8	marzo 05	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
12514.26	41.0573	22269.4500	73.0625	5	22-Jun-01	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
7723.19	25.3385	24377.6500	79.9792	5	diciembre 02	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
		21944.0125	71.9948	6		ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
12760.33	41.8646	18345.1500	60.1875		3-May-02	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
8915.40	29.2500	21336.0000	70.0000		25-Jun-04	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
9359.43	30.7068	21328.0625	69.9740		noviembre 04	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
9156.70	30.0417	21326.4750	69.9688	5	31 - dic - 05	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
11293.48	37.0521	21342.0000	70.0197	6	16 - ene -03	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
12274.55	40.2708	18275.3000	59.9583	5	3-May-02	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
8388.35	27.5208	13709.6500	44.9792	5	octubre 86	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
9144.00	30.0000	13190.5375	43.2760	5	16-Sep-02	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
9110.66	29.8906	13101.6375	42.9844		junio 10	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
9043.99	29.6719	13079.4125	42.9115	5	marzo 05	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
9096.38	29.8438	13081.0000	42.9167	5	24-Mar-03	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
10587.04	34.7344	11056.9375	36.2760	5	30-Jun-09	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
7780.34	25.5260	12187.2375	39.9844	5	noviembre 07	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
6600.83	21.6563	12784.1375	41.9427	3	noviembre 04	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
6429.38	21.0938	12769.8500	41.8958	3	junio 10	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
6619.88	21.7188	12788.9000	41.9583	3	23-Jun-10	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
11129.96	36.5156	7596.1875	24.9219	6	19-Mar-99	ASTMA283°C	
9317.04	30.5677	7604.1250	24.9479		28-Sep-06		
7715.25	25.3125	8212.1375	26.9427	5	25-Sep-06	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
7562.85	24.8125	7625.5250	25.0181	4	29-Jun-09	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
		9142.476	29.9950	3		ASTMA283°C	
4792.66	15.7240	9142.4125	29.9948	3	12 - dic - 86	ASTMA283°C	
4740.28	15.5521	9140.825	29.9896	3	25-Jun-04	ASTMA283°C	
4768.85	15.6458	9155.1125	30.0365	3	26-Sep-02	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
4810.13	15.7813	8832.85	28.9792	3	11-Sep-01	ASTMA283°C	
4719.64	15.4844	9140.825	29.9896	3	15-Mar-06	ASTMA283°C	
4862.51	15.9531	9088.4375	29.8177	3	abril 98	ASTMA283°C	
4784.73	15.6979	9144.0000	30.0000	3	diciembre 86	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
4737.10	15.5417	9140.825	29.9896	3	11-Sep-01	ASTMA283°C	
4765.68	15.6354	9137.65	29.9792	3	26-Sep-00	ASTMA283°C	
5741.99	18.8385	7967.6625	26.1406		2-Sep-09		
6289.68	20.6354	6399.2125	20.9948	4	29 - dic - 08	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
6334.13	20.7813	6388.1000	20.9583	4	7-Jun-04	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
4094.16	13.4323	7308.85	23.9792	3	8-Jul-10	ASTMA283°C	
		5800.6488	19.0310	4	19-Jul-06	ASTMA283°C	Protección Catódica Corriente Impresa
		3011.4900	9.8802	5	febrero 09	ASTMA283°C	
		3048.0000	10.0000	5	12-May-09	ASTMA283°C	
		3244.9008	10.6460	5	27-Feb-01	ASTMA283°C	
3629.03	11.9063	5297.4875	17.3802	3	julio 10	ASTMA283°C	
3649.66	11.9740	5068.8875	16.6302	2	20-Jul-10	ASTMA283°C	
2573.34	8.4427	5021.2625	16.4740	1	20-Jul-10	ASTMA283°C	
2514.60	8.2500	2436.81	7.9948		03 - dic - 86	ASTMA283°C	

## Anexo 5. Topografía Refinería La Libertad, Crucita.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ASTM, A. S. (1986). *ASTM A36/A36M Especificación Normalizada para Acero al Carbono Estructural*. West Conshohocken.
2. CENTRO PANAMERICANO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES GEOGRÁFICAS. (2014). *Reducción del riesgo de desastres: elementos teóricos, conceptuales*.
3. CERESIS. (1985). *Catálogos de terremotos para América del Sur*. Lima.
4. Chunga K., M. C. (2013). Estimaciones de máximos niveles de sismicidad para el Litoral Ecuatoriano a través de la integración de datos geológicos y sismotectónicos. . *Revista Científica y Tecnológica UPSE*. , Pág. 73-86.
5. Chunga K., Q. M. (2013). Evidencia de un depósito sedimentario de tsunamis en la planicie aluvial de Villamil Playas, Golfo de Guayaquil. *Revista Acta Oceanográfica del Pacífico Vol. 18 No. 1*, pág. 163 – 180.
6. Chunga K., T. T. (2014). First evidence of paleo-tsunami deposits of a major historic event in Ecuador. *Science of Tsunami Hazards Journal, Vol. 33, No. 1*, p. 55-69. ISSN 8755-6839.

7. Chunga, K. (2010). *Shallow crustal earthquakes and seismic zonation for Ecuador through the integration of geological, seismological and morphostructural data*. Insubria: University of Insubria.
8. Chunga, K., & Pazmiño, A. (2011). Riesgos geológicos en el Golfo de Guayaquil: revisión de datos sismológicos y de fallas activas.
9. Cobos L., M. G. (2010). Estudio integrado del Golfo de Guayaquil del Mioceno al reciente. *Revista CICYT-ESPOL*, 1-8.
10. Collins, M, y CMIP Modelling Groups. (2005). *¿El niño o la Niña pueden cambiar el clima?*
11. CSEM, E. (15 de 11 de 2014). *Euro Mediterranean Seismological Centre/ Centre Sismologique Euro-Mediterranéen*. Obtenido de <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/?filter=yes>
12. DEMORAES, F., & D'ERCOLE, R. (2011). *Cartografía de riesgos y capacidades en el Ecuador*. Quito.
13. Deniaud Y., B. P. (1999). Opening and tectonic and sedimentary evolution of the Gulf of Guayaquil: Neogene and Quaternary fore-arc basin of the south Ecuadorian Andes. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences–Series II A–Earth and Planetary Sciences* 328, 181-187.
14. Earth, G. (21 de Mayo de 2007). Refinería La Libertad. La Libertad, Santa Elena, Ecuador.

15. EP PETROECUADOR. (2014). *Plan de Emergencia Refinería La Libertad*. La Libertad.
16. Freymueller J., K. J. (1993). motions in the North Andean Region. *Journal of Geophysical Research*, 21853-21863.
17. Fukushima Y., T. T. (1990). A New Attenuation Relation for Peak Horizontal Acceleration of Strong Earthquake Ground Motion in Japan, *Bull. Seism. Soc. Am. Bull. Seism. Soc. Am.*, 757-783.
18. IAEA. (2002). *Evaluation of Seismic Hazards for Nuclear Power Plants*.
19. IGEPN. (15 de 11 de 2014). *Red Nacional de Sismografos del Instituto*. Obtenido de <http://www.epn.edu.ec/>
20. IGM. (15 de 11 de 2014). *Instituto Geográfico Militar*. Obtenido de <http://www.igm.gob.ec/work/index.php>
21. INOCAR. (2014). *INSTITUTO OCEANOGRÁFICO DE LA ARMADA*. Recuperado el 14 de diciembre de 2014, de <http://www.inocar.mil.ec/web/index.php/que-son-los-tsunamis/73-eventos-en-el-ecuador#page>
22. Institute, A. P. (2013). *API 650, Welded Tanks for Oil Storage* (Doceava ed.). Washington.
23. Kellogg J. N., a. B. (1982). Subduction of the Caribbean Plate and basement uplifts in the overriding South American Plate. *Tectonics*, 251-276.

24. Kellogg J. N., a. V. (1995). Tectonic development of Panama, Costa Rica, and the Colombian Andes: constraints from Global Positioning System, geodetic studies, and gravity. *Geological Society of America Special*, 75-90.
25. Lonsdale, P. (1978). Ecuadorian Subduction System. *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull.*
26. LRG. (1986). *El Estudio de la Cuenca del Golfo de Guayaquil*. Guayaquil.
27. Michetti A.M., E. E. (2007). *La Scala di Intensità ESI 2007*, ed. L. Guerrieri e E. Vittori (*Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*). Roma.
28. MIDUVI Y CCQ, M. d. (2011). *Nec-11 Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Quito.
29. NCEDC. (15 de 11 de 2014). *Northern California Earthquake Data Center* . Obtenido de <http://quake.geo.berkeley.edu/anss/catalog-search.html>
30. NEIC. (15 de 11 de 2014). *National Earthquake Information Center*. Obtenido de <http://neic.usgs.gov/>
31. Nocquet J.M., M. P. (11 de 15 de 2009). *Geodésica, geodinámica y ciclo sísmico en Ecuador*. Obtenido de <http://renag.unice.fr/regal/PERSO/JMN/>

32. Ottman, F. (1967). *Introducción a la Geología Litoral y Marina*. Buenos Aires: EUDEBA.
33. Pennington, W. (1981). Subduction of the eastern Panama Basin and seismotectonics of northwestern South America. *Journal of Geophysical Research*, v.
34. Petroecuador, E. (1992). *NORMA PETROECUADOR SHI - 006 "DISTANCIA MÍNIMAS DE SEGURIDAD"*. QUITO .
35. Ponce , M. (2011). *Impacto de tsunami en la costa del Golfo de Guayaquil a partir del análisis de la sismicidad local aplicando simulación numérica*. Guayaquil: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.
36. Proaño , C., & Yépez, G. (2012). *Determinación de la Amenaza tsunamigénica en el Golfo de Guayaquil utilizando software libre* . Quito: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
37. PSI. (2007). *Estudio para la identificación/ mitigación de la contaminación en la zona costera de La Libertad*. Guayaquil.
38. PSI Productos y Servicios Industriales CIA. LTDA. (2007). *Estudio para la identificación/mitigación de la contaminación en la zona costera de La Libertad*. Guayaquil.
39. Rivera, M. (2010). *Estudio de identificación de zonas de riesgos en la provincia de Santa Elena - Ecuador*. Santa Elena.



40. Trenkamp R., e. a. (2002). Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America. *Journal of South American Earth Sciences*, 157-171.
41. USGS. (15 de 11 de 2014). *El servicio geológico de los Estados Unidos*. Obtenido de [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)
42. Wells, D. L. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 974-1002.
43. Witt C., B. J. (2006). Development of the Gulf of Guayaquil (Ecuador) during the Quaternary as an effect of the North Andean block tectonic escape. *Tectonics*.