

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

“PELIGROSIDAD SISMICA Y ESTIMACION DE DAÑOS POR
ONDA DE SOBREPRESION Y RADIACION TERMICA DE LA
PLANTA DE ALMACENAMIENTO DE GAS EN MONTEVERDE”

Informe de la materia integradora

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN PETRÓLEO

JHONNY LEON CONTRERAS

SERGIO SACA QUISPE

INGENIERO EN GEOLOGIA

ENRIQUE COLMONT VILLACRÉS

Docente Tutor: Ing. Kervin Chunga, PhD.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2014 – 2015

APROBACIÓN DEL DOCENTE-TUTOR

En mi calidad de Docente -Tutor del informe de investigación: "PELIGROSIDAD SISMICA Y ESTIMACION DE DAÑOS POR ONDA DE SOBREPRESION Y RADIACION TERMICA DE LA PLANTA DE ALMACENAMIENTO DE GAS EN MONTEVERDE" elaborado por los estudiantes ENRIQUE COLMONT, JHONNY LEON Y SERGIO SACA, estudiantes de la materia integradora "ESTRATIGRAFÍA Y GEOLOGÍA ESTATIGRAFIA APLICADA A LA INVESTIGACION PETROLERA Y RIESGO GEOLÓGICO", luego de haber cumplido con su respectiva orientación, estudio y revisión, me permito declarar su aprobación integral.



Ing. Kervin Chunga, PhD.

DOCENTE-TUTOR

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios, que es la base de todo, a mi madre por ser el motor de mi vida, a mi padre por ser un buen consejero, a mis hermanas por ser el apoyo constante, a mis amigos de siempre, Amy, Rommel, Gustavo, Kavir y Luis por el cariño.

Enrique Colmont

DEDICATORIA

Le agradezco a Dios por darme la fuerza cada día de mi vida y por su gracia para alcanzar este logro, y a toda mi familia que es el sostén e impulso para salir adelante especial a mi abuela, madre y madrina.

Jhonny Leon

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

A mis padres, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. A mis hermanos, que siempre han estado junto a mí y brindándome su apoyo.

A mis compañeros de estudio, a mis maestros y amigos, quienes sin su ayuda nunca hubiera podido hacer este proyecto. A todos ellos se los agradezco desde el fondo de mi alma.

Sergio Saca

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

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

Ing. Kervin Chunga, PhD.

TUTOR

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

Ing. Kenny Escobar, Msc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral".

(Reglamento de Graduación de la Espol)

-----

Enrique Colmont

-----

Jhonny Leon

-----

Sergio Saca

RESUMEN

En los últimos años se ha incrementado el interés de predecir cuales son los posibles eventos geológicos que pueden llegar a afectar estructuras importantes que ponen en riesgo las vidas humanas, es por esto que el presente trabajo tiene como objetivo determinar los principales agentes geológicos que pueden desencadenar un desastre natural que afectaría el diseño estructural la planta de almacenamiento de gas del Complejo Monteverde. La metodología utilizada en este estudio está dividida en dos etapas:

La primera etapa se basa en identificar mediante un estudio de caracterización de fallas que estructuras son capaces de ocasionar algún evento sísmico con impacto sobre la planta, esto se logró analizando las fallas cercanas al sitio y mediante relaciones empíricas establecidas en investigaciones anteriores donde se utilizan datos como la longitud de falla y profundidad de la falla, se determinó la magnitud, desplazamiento máximo de la falla y el PGA de cada falla para con estos datos identificar cuáles de están poseen un mayor potencial destructivo.

La segunda etapa consiste en evaluar la magnitud de la explosión de los contenedores de gas de una manera individual, usando el método TNT de la BLEVE (boiling liquid expanding vapour explosion). Este método nos permite cuantificar dos parámetros importantes de la explosión de los tanques: La onda de sobrepresión y la radiación térmica, los mismos que serán evaluados a diferentes distancias medidas del centro de donde ocurrió la explosión, hasta encontrar las zonas seguras donde la radiación o la onda de sobrepresión, no tengan la amenaza de atentar contra las personas y estructuras cercanas a la

planta de almacenamiento. Cabe recalcar que el método aplicado tiene sus propias limitaciones, ya que fue ideado a partir de situaciones experimentales y explosiones a lo largo de la historia, pero si se ajusta mucho a una estimación real.

INDICE

RESUMEN.....	VIII
INDICE.....	XI
ABREVIATURAS.....	XV
SIMBOLOGIA.....	XVII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE TABLAS.....	XX
ÍNDICE DE MAPAS.....	XXI
ÍNDICE ECUACIONES.....	XXII

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 Introduccion.....	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Obejtivo General	2
1.2.2 Objetivos Especificos.....	3

CAPITULO II

ANALISIS DE RIEGOS SISMICO

2.1 Fuentes Sísmicas Cercanas Al Sitio	4
2.2 Sismicidad Histórica E Instrumental En Santa Elena-Monteverde.....	8
2.2.1 Tsunamis	12
2.3 Fallas Geológicas Activas	18

2.3.1 Caracterización De Fallas Activas.....	20
2.3.2 Análisis De Peligro Sísmico	25

CAPITULO III

DESCRIPCION GENERAL DE LA PLANTA DE ALMACENAMIENTO DE GLP

3.1 Características Del Complejo De Gas Monteverde	27
3.2 Condiciones De La Locacion	28
3.3 Propiedades De Los Fluidos	29
3.4 Descripción General.....	31
3.4.1 Terminal Maritimo	33
3.4.2 Interconexion Muelle – Tanquero Refrigerados	34
3.4.3 Sistema De Almacenamiento	35
3.4.4 Esferas De Almacenamiento.....	36
3.4.5 Operación De Los Tanques	37
3.4.6 Grupo De Frios	38
3.4.7 Mezcla, Medicion Y Almacenamiento De Glp	38
3.4.8 Bombas De Captura De Agua De Mar	39
3.4.9 Sistema Contra Incendios	40
3.5 Sistemas De Apoyo	40
3.5.1 Sistema Electrico De Potencia	40
3.5.2 Sistema De Agua Potable	41
3.5.3 Sistema De Aire Comprimido	42
3.5.4 Sistema De Nitrogeno	42
3.5.5 Sistema De Odorizacion	43

3.5.6 Sistema De Hipoclorito.....	43
3.5.7 Sistema De Tratamiento De Efluentes	43
3.6 Puntos Suceptible A Una Explosión.....	44

CAPITULO IV

EVALUACION DE RIESGO GEOLOGICO

4.1 Evaluacion De Riesgos Geologico	46
4.1.2 Factores De Riesgos.....	47
4.2 Evaluación De Riesgos	48

CAPITULO V

CALCULO DE RADIACION TERMICA Y ONDA DE SOBREPRESION

5.1 Explosiones.....	51
5.2 Gas Líquido Presurizado.....	52
5.2.1 Gases Criogénicos.....	53
5.2.2 GLP.....	54
5.3 Blevé (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion).....	54
5.3.1 Las Consecuencias Del Blevé:	56
5.3.2 Termodinámica De La Blevé.....	57
5.3.3 Condiciones Para La Existencia De Blevé En Gases Licuados Y Contenedores Confinados.	58
5.3.4 Blevé Por Escape Masivo De Gas Licuado.....	61
5.3.5 Radiación Termica	63
5.4 Metodo Tnt Para Calculos De Blevés	64
5.4.1 Pasos Para El Metodo Tnt En Blevés	65

5.5	Calculo De La Onda De Sobrepresión Y Radiación Térmica.....	77
-----	---	----

CAPITULO VI

RESULTADOS

6.1	Evaluación De Ondas De Sobrepresión Y Radiación Térmica Por Ruptura De Los Tanques Criogénicos Y Las Esferas De Almacenamiento De La Planta De Gas De Monteverde	80
-----	--	----

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ABREVIATURAS

GLP	Gas Licuado de Petróleo
N	Norte
S	Sur
E	Este
O	Oeste
USGS	United States Geological Survey
NEIC	National Earthquake Information Center
RENSIG	Red Nacional de Sismología del Instituto Geofísico de Quito
CERESIS	Centro Regional de Sismología para America del Sur
M.a	Millones de años
CEC	Código Ecuatoriano de la Construcción
MSK	Escala de Medvedev–Sponheuer– Karnik
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
PGA	Peak Ground Acceleration
PSHA	Probabilistic Seismic Hazard Analysis
API	American Petroleum Institute
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion

EP PETROECUADOR

Empresa Pública Petróleo del
Ecuador

FLOPEC

Flota Petrolera Ecuatoriana

UVCE

Unconfined Vapour Cloud Explosion

GLP

Gas Licuado de Petróleo

mbar

Milibar

TNT

Trinitrotolueno

PSI

Pounds per Square Inch

TM

Toneladas Metricas

SIMBOLOGIA

ΔP	Diferencial de presión.
t^+	Fase positiva.
M_c	Masa del propano.
V_o	Volumen operativo del tanque.
D	Diámetro máximo.
H	Altura del centro de la bola.
t	Tiempo de duración de la bola de fuego.
X'	Distancia de la llama al objeto.
d	Distancia horizontal de la explosión al objeto.
τ	Transmisibilidad atmosférica.
P_w	Presión parcial del vapor de agua en el medio.
F	Factor de vista.
E_p	Poder emisivo.
H_c	Calor de combustión.
ρ	Coefficiente de radiación, valor usado es 0,25.
τ	Coefficiente de transmisión atmosférica.
F	Factor geométrico de visión.
I	Intensidad media de radiación
f	Fracción de vaporización.
T_c	Temperatura crítica de la sustancia.
T_b	Temperatura de ebullición de la sustancia a presión atmosférica.
T_o	Temperatura a la que se encuentra la sustancia en el momento de la explosión.
C_p	Calor específico a presión constante.
H_v	Entalpia de vaporización de la sustancia.
V^*	Volumen de vapor en el depósito antes de la explosión.

V_l	Volumen del líquido en el recipiente antes de la explosión.
f	Fracción de vaporización.
ρ_l	Densidad del líquido a 20 °C kg/m ³ .
ρ_v	Densidad del vapor a 55 °C kg/m ³ .
P_α	Presión atmosférica.
γ	1,14 (Relaciones de calores específicos)
d_n	Distancia normalizada.
β	Fracción de la energía liberada convertida en onda sobrepresión.
$(W_{TNT})_{sobrepresión}$	Magnitud de la onda de sobrepresión
mm	Milímetros
km	Kilómetros
g	Gravedad

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Modelamiento numérico de evento de Tsunami.....	17
Figura 2 Vista de la Planta de Almacenamiento de GLP.....	28
Figura 3 Sistema de funcionamiento de la planta	32
Figura 4 Brazos de carga y descarga.....	33
Figura 5 Puntos susceptibles en la estructura de la planta.....	44
Figura 6 Componentes de una bola de fuego de una BLEVE.....	69
Figura 7 Representación de los ángulos de visión de la BLEVE.....	72

INDICE DE TABLAS

Tabla I Registro de sismicidad en Santa Elena.....	11
Tabla II Registro de tsunamis	14
Tabla III Características climatológicas de Monteverde.....	29
Tabla IV Propiedades del Propano comercial.....	29
Tabla V Propiedades del Butano comercial.....	30
Tabla VI Propiedades del GLP comercial.....	30
Tabla VII Características de los tanques de Propano y Butano.....	36
Tabla VIII Características de esferas de GLP.....	37
Tabla IX Tipos de riesgos Geológicos.....	47
Tabla X Radiación tolerable en materiales.....	64
Tabla XI Constantes experimentales para cálculos de bleves.....	67
Tabla XII Valores de la onda de sobrepresión normalizada.....	76
Tabla XIII Radiación térmica y onda de sobrepresión a 200 m.....	81
Tabla XIV Radiación térmica y onda de sobrepresión a 300 m.....	82
Tabla XV Radiación térmica y onda de sobrepresión a 500 m.....	82
Tabla XVI Radiación térmica y onda de sobrepresión a 1000 m.....	83
Tabla XVII Radiación térmica y onda de sobrepresión a 3000 m.....	84
Tabla XVIII Radiación térmica y onda de sobrepresión a 5000 m.....	85
Tabla XIX Radiación térmica y onda de sobrepresión a 22000 m.....	85

INDICE DE MAPAS

Mapa I Ubicación de zonas con fuentes sismogénéticas.....	7
Mapa II Distribución de sismos en la costa del Ecuador.....	10
Mapa III Distribución de tsunamis en la costa del Ecuador.....	15
Mapa IV Fallas ubicadas a 200 km de Monteverde.....	19
Mapa V Peligro sísmico PGA del Ecuador.....	24
Mapa VI Nivel de sismicidad para la Costa del Ecuador.....	27

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.....	21
Ecuación 2.....	21
Ecuación 3.....	22
Ecuación 4.....	23
Ecuación 5.....	64
Ecuación 6.....	65
Ecuación 7.....	66
Ecuación 8.....	66
Ecuación 9.....	67
Ecuación 10.....	68
Ecuación 11.....	68
Ecuación 12.....	68
Ecuación 13.....	69
Ecuación 14.....	70
Ecuación 15.....	70
Ecuación 16.....	71
Ecuación 17.....	72
Ecuación 18.....	73
Ecuación 19.....	73
Ecuación 20.....	74

Ecuación 21.....	74
Ecuación 22.....	74
Ecuación 23.....	75

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 Introducción

La Península de Santa Elena cuenta con uno de los complejos de almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo (GLP) más grandes e importantes en infraestructura del país, lo que ha logrado desarrollar la industria en esta área y a su vez la economía de las comunas aledañas como Monteverde situada a 1,5 km hacia el norte y San Pablo a 8 km al el sur.

La planta está diseñada para almacenar propano y butano procedentes de otros países, los que posteriormente son mezclados para producir GLP, el mismo con el que se abastece la zona sur-centro del país. La planta tiene la capacidad de cubrir la demanda interna en un lapso de 30 días, por ello la importancia que existe en conocer los posibles riesgos geológicos que pueden llegar a afectar la estructura de la misma, y con esto evaluar las zonas de riesgo en caso de la explosión de cualquiera de los contenedores de gas

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Identificar la peligrosidad sísmica mediante investigación de campo e información bibliográfica para estimar las áreas que podrían ser mayormente afectadas como consecuencia de incendios y/o explosiones de los contenedores de gas, tanto dentro de la planta como en los alrededores.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Establecer cuáles son las principales estructuras sismogénicas que pueden ocasionar eventos sísmicos de gran magnitud afectando la zona de estudio.
- Evaluar los daños operativos dentro del complejo de gas Monteverde, a partir del análisis de datos geológicos, tectónicos y sismológicos.
- Estimar los riesgos que ocasionarían las ondas de sobrepresión y radiación térmica producidas por la explosión de alguno de los tanques de almacenamiento de propano, butano y GLP y definir las posibles zonas de afectación.

CAPITULO II

ANALISIS DE RIESGO SISMICO

2.1 Fuentes Sísmicas Cercanas Al Sitio

El Ecuador presenta diversos registros de una alta sismicidad que han sido acompañados con efectos geológicos y geotécnicos que han impactado sobre el medio físico costero del país de gran manera. Dichos eventos sísmicos con efectos sobre el medio físico y sus consecuencias naturales, provienen de

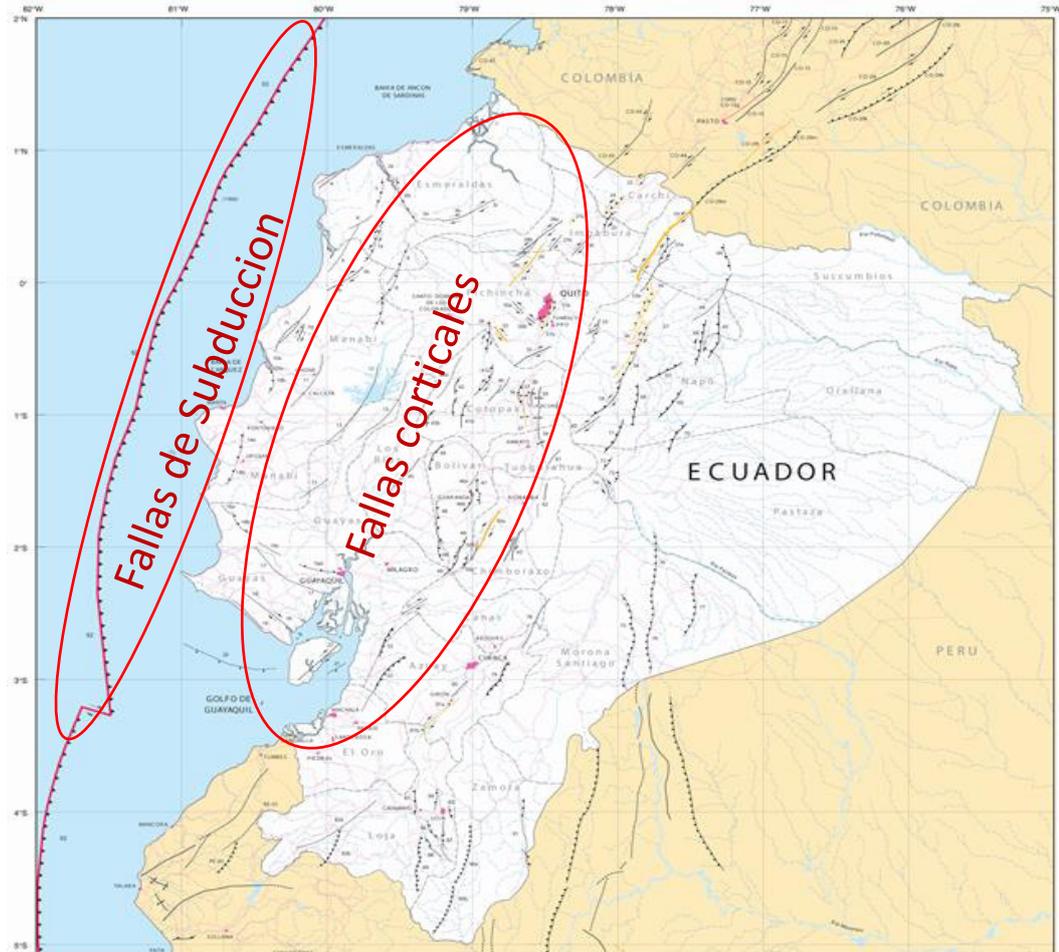
estructuras sismogénicas en la corteza, vinculadas a sistemas de fallas que pertenecen a diferentes dominios tectónicos. Estos eventos sísmicos suelen ir acompañados de fenómenos geológicos considerables y a veces catastróficos inducidos durante o inmediatamente después del terremoto.

Monteverde y nuestra área de estudio puede ser afectada por dos tipos de fuentes sísmicas, (1) las localizadas en la zona de subducción o (2) por terremotos corticales (fallas geológicas ubicadas en la placa continental).

Los terremotos de subducción se generan en el borde tectónico donde la placa oceánica de Nazca subduce dirección N 80° E hacia la placa continental Sudamericana (Beck & Susan, 1992; Espinoza, 1992; Mendoza & Dewey, 1984), con desplazamiento de 6 a 8 cm por año (Baldock 1983, Barazangi & Isacks 1976, Benítez 1995, Bourdon & Eissen et al. 2003, White et al., 2003). El sismo de mayor magnitud registrado con Ms (magnitud Richter) 8,8 es el ocurrido el 31 de enero de 1906, a una profundidad de 25 km, cuyo epicentro se ubica a 138 km al este costa afuera de Esmeraldas, dejando entre 500 a 1500 víctimas mortales (Elizalde, 1985; Espinoza, 1993). Este es el octavo terremoto más fuerte en el mundo registrado en los últimos 110 años. (Gustcher et al., 1999), se presume el origen de este evento a un desplazamiento debido a una ruptura cortical con una longitud cercana a los 500 Km, prolongándose costa afuera a partir de los límites de la provincia de Manabí (Ecuador) hasta Tumaco (Colombia); con una reactivación sísmica en

1942 (M 7,9), 1958 (M 7,8) y 1979 (M 8,1). En 1998 se da también un evento sísmico en Bahía de Caráquez de M 7,1 del que se presume se trata de una consecuencia de la ruptura cortical mencionada anteriormente (ver Mapa 1). Para la península de Santa Elena y Golfo de Guayaquil, se han documentados en 1901 (M 7,6), 1933 (M 6,9) y 12 de diciembre de 1953 (7,8) (Silgado, 1957; Swenson & Beck, 1996).

Los terremotos corticales o superficiales son aquellas fracturas con desplazamiento que se originan en el segmento continental, que alcanzan profundidades entre los 1 km hasta 40 km, las longitudes de fallas pueden llegar hasta los 90 km.



Mapa I. Ubicación de las zonas donde se localizan los dos tipos de fuentes sísmicas que pueden causar terremotos en el Ecuador (Modificado de Mapa de fallas del Ecuador de USGS).

2.2 Sismicidad Histórica E Instrumental En Santa Elena-Monteverde

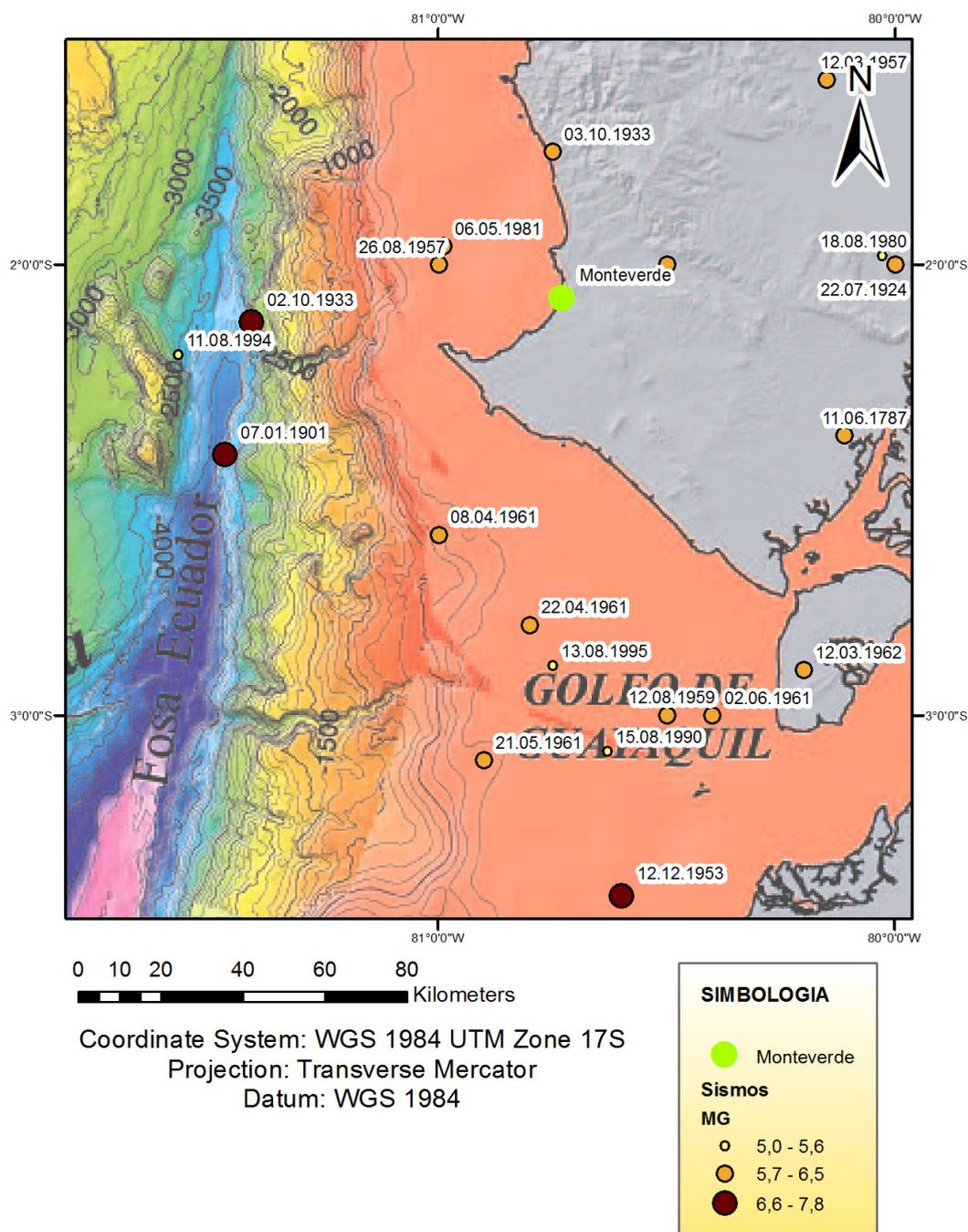
La información de sismicidad instrumental se encuentra disponible en los catálogos del National Earthquake Information Center (NEIC) que registra terremotos instrumentales que han afectado a Ecuador desde 1973, Red Nacional de Sismología del Instituto Geofísico de Quito (RENSIG) a nivel local inicia a recopilar información sismológica con resolución más precisa desde 1988 (en escala de Magnitud momento, M_w), Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS), y en las crónicas de Teodoro Wolf (1872). En este periodo solo un terremoto cortical destructivo ha sido registrado, el evento del 4 de agosto de 1998 de magnitud $M 7,1$ con epicentro en Bahía de Caráquez (Manabí).

Desde 1541 hasta el 2008, el Ecuador ha reportado 129 terremotos interplaca, con grados de intensidades MSK de VI a XI (de fuerte a catastrófica) y 987 observaciones de daños en edificaciones y grietas en el terreno (Catalogo de sismicidad histórica IG-EPN; Egred, 1968, 1975, 2008; Catalogo CERESIS). Una de las primeras fuentes de fuertes terremotos en el Ecuador se reportan en "La Crónica del terremoto" (Wolf, 1892). Sin embargo la mayoría de los terremotos y sus efectos mencionados en este documento se refieren a la zona andina del Ecuador, y en particular la ciudad Quito (los acontecimientos de 28/08/1587, 09/12/1628, 12/15/1651, 10/27/1660, 11/23/1662, 05/01/1678, 04/26/1755, 22/03/1859), de Riobamba (06/20/1698, 02/04/1797), Ambato

(11/22/1687, 20/06/1698), de Latacunga (12/05/1736, 22/02/1757, 09/10/1840), de Tulcán (15/08/1868) y Loja (01/20/1749) el terremoto más antiguo documentado en 1541 en la región del Amazonas, cerca del volcán Antisana, la provincia de Napo (Chunga, 2010).

Las últimas actividades tectónicas registradas se encuentran relacionadas directamente a la cercanía del Ecuador con la zona de subducción (sitio de convergencia la Placa de Nazca con la Placa Sudamericana) y por estructuras sismogénicas localizadas en superficie a una profundidad entre 1 y 30 km. Estas características estructurales convierten al Ecuador, en una zona altamente susceptible a eventos tectónicos (ej. Chunga et al., 2005a, 2005b; Egred, 1968, 1975; Elizalde, 1985; Espinoza, 1992; Gustcher et al., 1999; Mendoza & Dewey, 1984; Winter et al., 1993; Silgado, 1957; Swenson, 1996).

MAPA DE SISMOS



Mapa II. Distribución espacial de terremotos históricos de magnitud ≥ 6 para la costa del Ecuador. Fuente: Información sísmica obtenida de los catálogos de CERECIS y NEIC Modificado por (E.Colmont, J. Leon, S. Saca 2015).

En la parroquia Monteverde del cantón de Santa Elena provincia de Santa Elena, donde se ubica la planta de almacenamiento de GLP, según la información obtenida de los catálogos del “National Earthquake Information Center” (NEIC) y del “Centro Regional de Sismología para América del Sur” (CERESIS), se registran 25 sismos, tanto instrumentales como históricos en el periodo rudo registros sísmicos inferiores a 6 grados, puesto que existe una baja probabilidad de que estos lleguen a causar efectos cosísmicos en el terreno.

Fecha	X	Y	Mg	Prof.	Catálogo
09/07/1653	623433	9757892	5,7	ND	NEIC
11/06/1787	598954	9736905	6,5	20	NEIC
07/01/1901	388787	9778905	7,8	25	NEIC
31/01/1906	443628	9889465	8,8	25	NEIC
22/07/1924	611213	9778905	6,5	ND	NEIC
02/10/1933	500000	9778939	6,9	15	NEIC
03/10/1933	527806	9806570	6,3	ND	NEIC
30/01/1943	555605	9778931	6,2	100	NEIC
12/12/1953	544433	9624184	7,8	30	NEIC
12/03/1957	594551	9824237	6,2	60	NEIC
26/08/1957	500000	9778939	6	ND	NEIC
19/01/1958	681362	10124902	7,9	ND	NEIC
07/02/1959	421156	9591002	7,4	33	NEIC
12/08/1959	604461	9668362	5,7	33	NEIC
21/06/1960	555605	9778931	6,1	ND	NEIC
10/09/1960	388825	9723631	5,7	33	NEIC
08/04/1961	500000	9712620	6,2	25	NEIC
22/04/1961	522229	9890512	5,8	30	NEIC
21/05/1961	511111	9657353	6	27	NEIC
02/06/1961	566675	9668389	6,2	37	NEIC
12/03/1962	588910	9879429	6,2	25	NEIC

Fecha	X	Y	Mg	Prof.	Catálogo
10/12/1970	537744	9561181	7,1	15	NEIC
12/12/1979	682445	10176921	7,7	ND	NEIC
18/08/1980	607878	9781118	5,5	74	NEIC
06/05/1981	501112	9783360	5,8	36	NEIC

Tabla I. Registros de sismicidad en la provincia de Santa Elena a 100 Km a la redonda desde el punto de estudio considerado eventos de $Mg \geq 6$. Fuente: Información sísmica obtenida de los catálogos de CERECIS y NEIC.

Los terremotos en la región costa de Ecuador y las crónicas sobre sus efectos están ausentes durante los siglos XVI y XVII (Wolf, 1872). La falta de información durante este lapso se cree que se debe a la ausencia de documentos históricos que registren eventos ocurridos a lo largo de las poblaciones costeras del país y además por la baja densidad poblacional en esta región del Ecuador en el momento.

2.2.1 Tsunamis

Los tsunamis o también llamados maremotos son terremotos cuyos epicentros se localizan en el mar, cuando estos ocurren cerca de la costa vienen acompañados de movimientos súbitos que producen grandes descargas de energía con velocidades que pueden llegar a los 800 km/h consiguiendo viajar miles de kilómetros, dichas descargas de energía generan olas de algunas decenas de metros de altura, capaces de destruir por completo las zonas costeras y de generar daños considerables en los sectores ubicados varios kilómetros hacia el continente. Se conoce que cuando un sísmico con

epicentro en el mar excede los 7 grados (escala de Richter) puede causar inundaciones violentas especialmente en zonas costeras con amplias desembocaduras de ríos, entre otros, sin embargo existen casos en los que estos eventos han sido asociados a deslizamientos submarinos o por actividad volcánica.

Actualmente no existe un instrumento, equipo o programa computarizado que permita la predicción de un tsunami, sin embargo el conocer la estructura interna de las áreas que de mayor actividad sísmica, podría ayudar a realizar una predicción de ocurrencia de un evento sísmico que genere tsunamis.

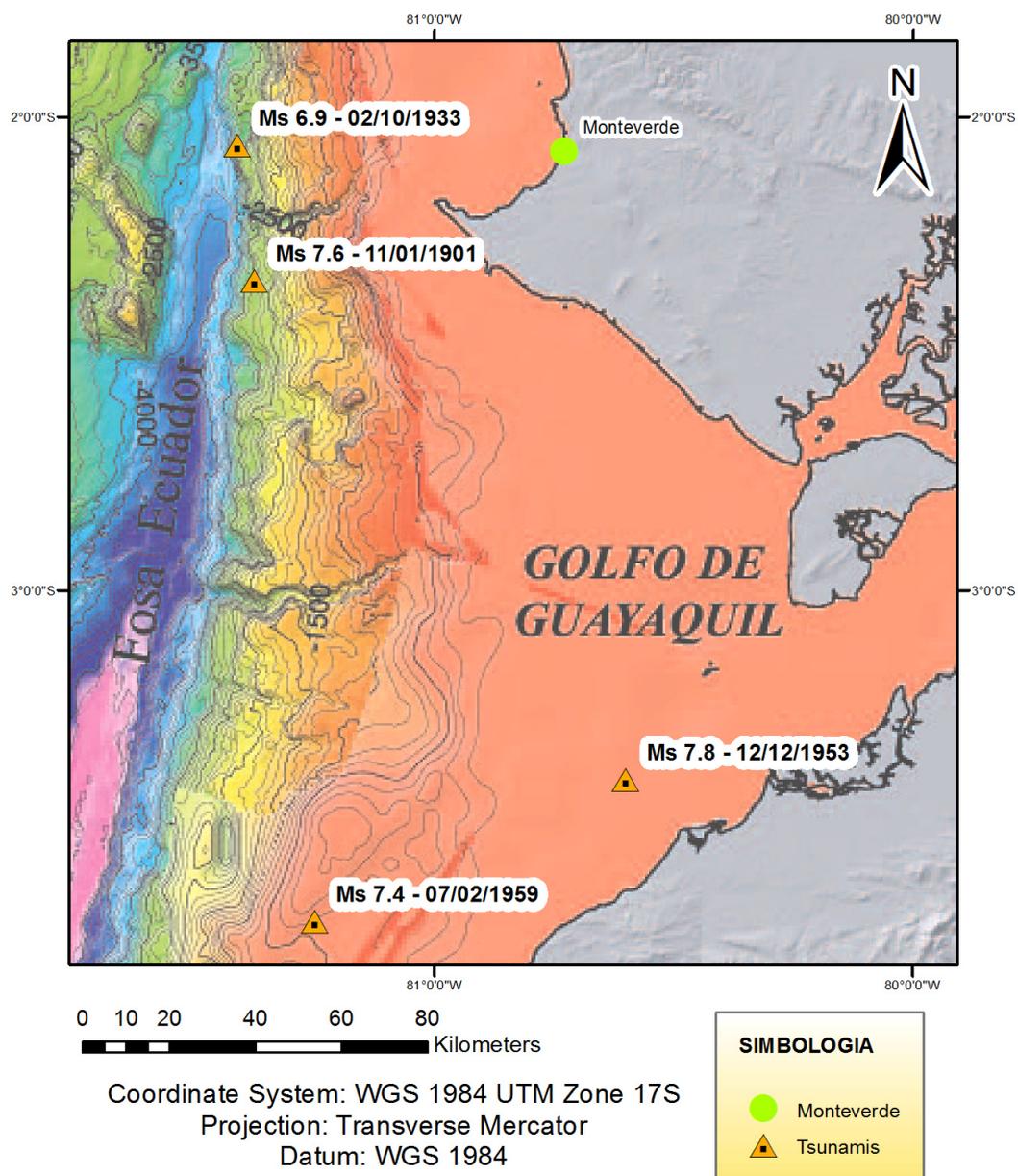
Estos tipos de eventos han sido registrados en la costa del Ecuador, en las cercanías de Guayas, Manabí y Esmeraldas cuando la densidad poblacional de estas zonas era menor, pero no fue hasta principios del siglo XX que la comunidad científica internacional se ha visto obligada a interesarse por las fuentes sísmicas que pueden llegar a generar terremotos devastadores en Ecuador, esto después del terremoto y tsunami del 31/01/1906, con magnitud Ms 8,8, que se generaron en la zona de subducción. La intensidad epicentral calculada para la región costa del norte del país, en la ciudad de Esmeraldas, fue de nueve grados en la escala de X. Los acontecimientos más importantes que se han producido en las cercanías a la zona de estudio según los catálogos sísmicos anteriormente mencionados son tres (ver Tabla II).

Fecha	X	Y	Mg	Prof.	Catálogo
02/10/1933	500000	9778939	6,9	15	NEIC
12/12/1953	544433	9624184	7,8	30	NEIC
07/02/1959	421156	9591002	7,4	33	NEIC

Tabla II. Se muestran los diferentes eventos sísmicos que causaron tsunamis en las cercanías a Monteverde. Fuente: Información sísmica obtenida de los catálogos de CERECIS y NEIC.

El evento sísmico que ha sido considerado el más cercano a la planta de almacenamiento de GLP, es el que se produjo aproximadamente a 66 km de la zona de estudio, ocurrido el 02/10/1933 a las 15h29, de magnitud Mw 6,9 (CERESIS, 1985) ocasionando un evento de tsunami con una altura de ola de aproximadamente 2,5 metros (Espinoza, 1992) (Mapa III). De la información sísmica recopilada, se muestra que durante los años 1961 y 1962 existió una gran recurrencia de eventos sísmicos, con cuatro terremotos reportados en el Golfo de Guayaquil de magnitudes considerables entre los 6 y 6,2.

MAPA DE TSUNAMIS



Mapa III. Modelo digital de la distribución espacial de sismos costeros que han generado tsunamis. Fuente: Información sísmica obtenida de los catálogos de CERECIS y NEIC (E.Colmont, J. Leon, S. Saca 2015).

2.2.1.1 Simulación De Propagación De Ondas Por Tsunami Para El Complejo De Almacenamiento De GLP

Según los registros sismológicos que se han utilizado en el presente trabajo, el evento de 1933 que tuvo lugar a aproximadamente 70 km de la zona de estudio, se dio como consecuencia de la activación del sistema de fallas inversas de bajo ángulo que deforma de manera cortical al prisma de acreción que se encuentra junto al límite de la fosa tectónica de subducción a 140 km al oeste de la isla Puna. Se considera a esta estructura sismogénica cortical capaz de generar sismos de magnitud superior a los 7 grados, desplazamiento verticales con generación de ondas de tsunamis y deslizamientos submarinos, la longitud de dicho sistema de fallas es de 70 km.

Considerando los parámetros anteriormente descritos se procede a realizar la simulación numérica de un evento de tsunami con origen en la familia de fallas utilizando el software WinITDB, el cual muestra la modelación delineada mediante isolíneas que representan espacios de tiempo de 5 minutos, las cuales estarán más juntas cuando se aproximen a la costa (Figura 1).

Según los resultados obtenidos en la simulación se estima que la primera ola de tsunami chocara con las costas donde se encuentra la planta de almacenamiento y el muelle de descarga a aproximadamente 40 minutos

después de ocurrido el sismo, por otra parte dicho evento ya habría destruido las edificaciones en tierra con una elevada intensidad.

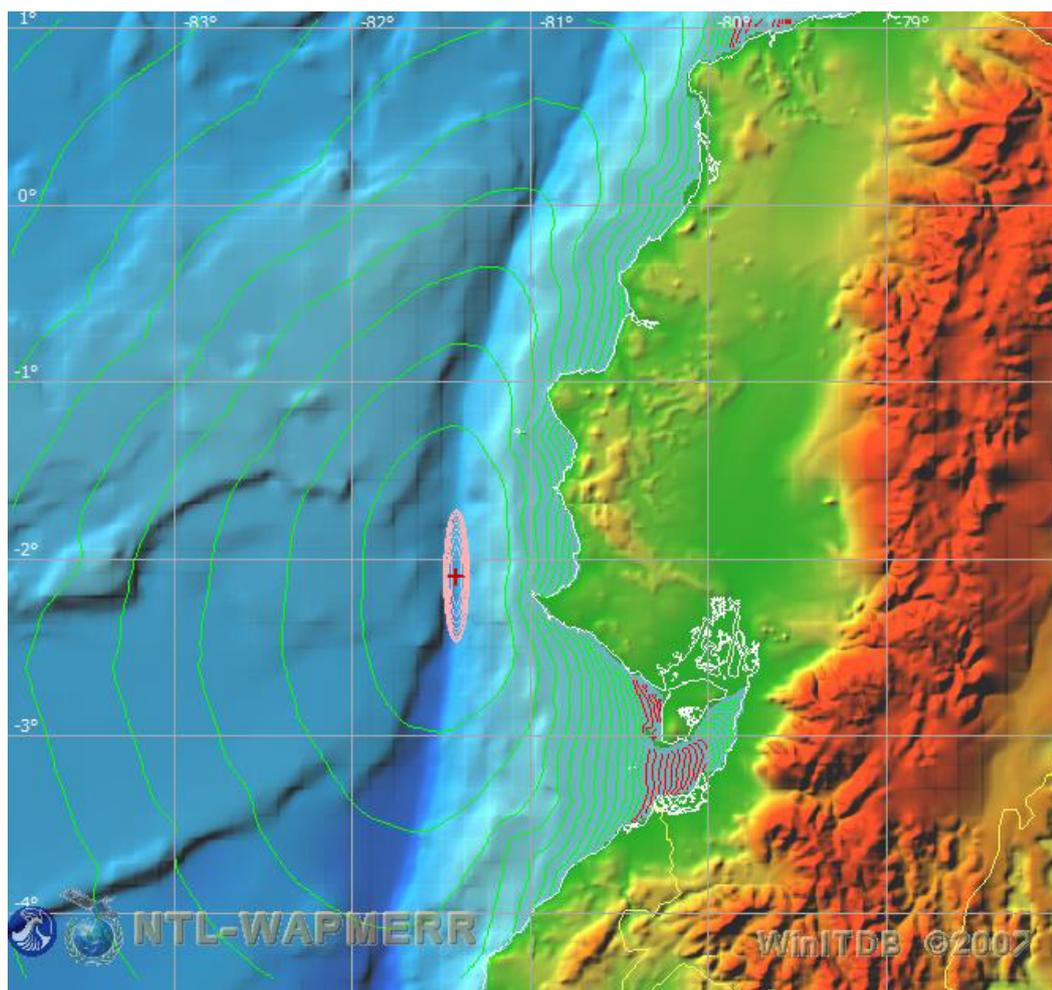
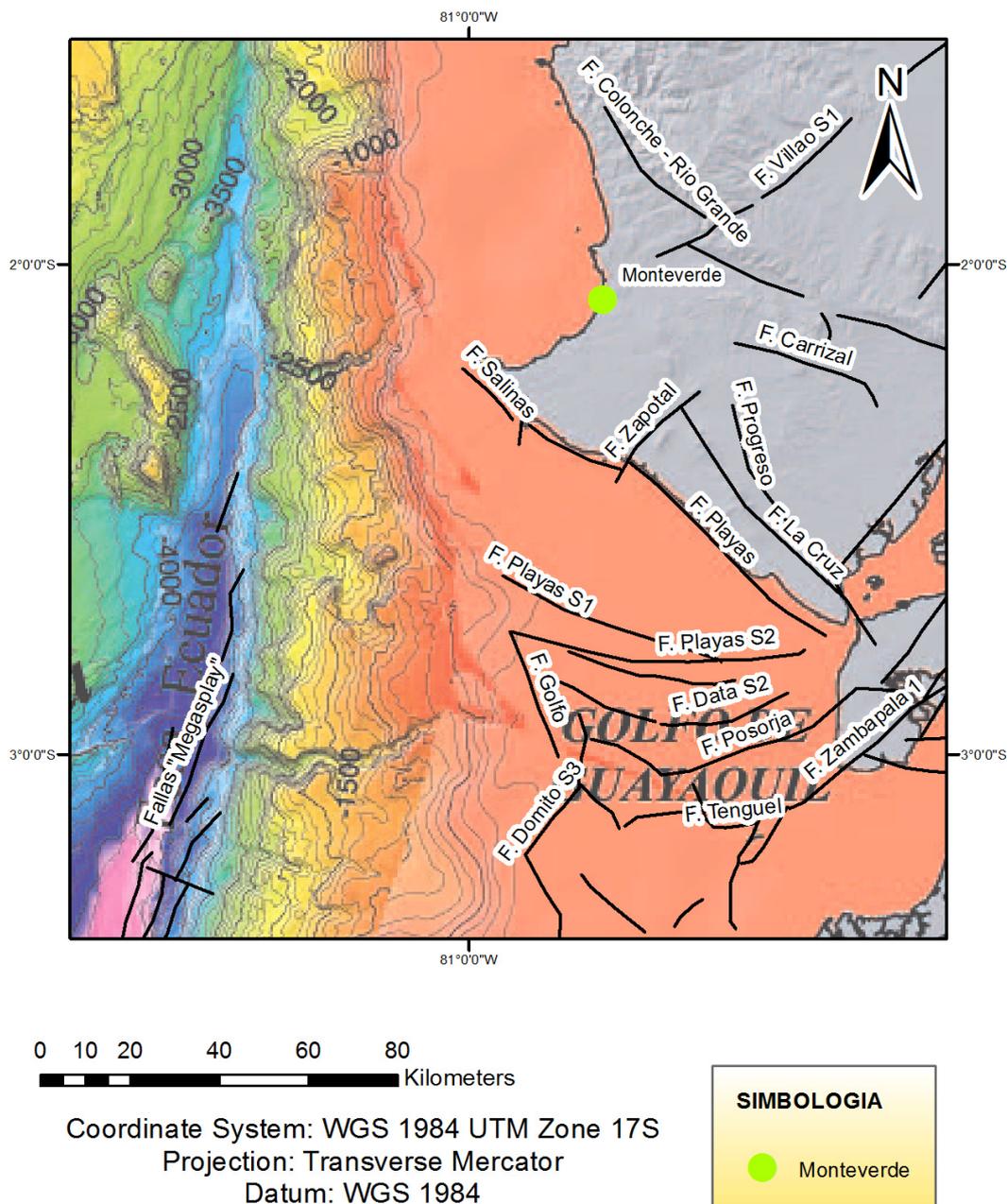


Figura 1. Simulación numérica de la onda de Tsunami generada por el terremoto del 02/10/1933 utilizando el software WinITDB (NOAA). Cada isolinea representa un intervalo de 5 minutos, para el sitio de estudio el tiempo de arribo estimado es de 40 minutos (Modificado por E. Colmont, J. Leon, S. Saca 2015).

2.3 Fallas Geológicas Activas

El área de estudio está ubicada dentro del que se conoce como levantamiento de Santa Elena (el mismo que se debe a su cercanía con la subducción de la cordillera submarina de Carnegie de edad Plio-Mioceno), lugar donde existen afloramientos de rocas que datan del Cretácico (entre 135 y 65 M.a) al Paleógeno (entre 65 y 23 M.a.) que en su mayoría se tratan de rocas sedimentarias de ambientes marino profundo (zonas abisales) a trubidíficas.

Existe un gran número de fallas en las cercanías al área de estudio (Mapa IV) las cuales pueden tratarse de importantes estructuras sismogénicas que podrían afectar la estructura de la planta, entre las que se pueden identificar fallas activas y capaces. Según la geología estructural por falla capaz entendemos que se trata de una falla que se considera capaz de producir la dislocación en correspondencia o en la proximidad de la topografía de la superficie (Chunga, 2010); en otras palabras, una falla capaz es aquella que sirve como fuente generadora de un terremoto, por tratarse de fallas activas que podrían causar la rotura de la tierra, por lo general durante fuertes liberaciones de energía sísmica (Azzaro, 1998).



Mapa IV. Modelo digital de la ubicación de las principales fallas que se encuentran a un radio de 200 km desde el área de estudio Fuente: Información tomada de los catalogos NEIC y RENSIG modificado por (E.Colmont, J. Leon, S. Saca 2015).

Para la selección de fuentes sísmicas que afectarían al canton Monteverde, se han seleccionado los datos y parámetros estructurales de Baldock (1984), Chunga et al. (2005, 2009), Dumont et al. (2005, 2006), Deniaud et al. (1999), Ego et al. (1996), Eguez et al. (2003), LRG (1986), Segovia y Alvarado (2009), Tibaldi et al. (2007), Winter et al. (1989a, 1989b, 1993), y Witt et al. (2006).

2.3.1 Caracterización De Fallas Activas

Para realizar la caracterización de estructuras sismogénicas es necesario contar con tres datos importantes referentes a cada fuente sísmica: (1) identificación y ubicación de las fuentes, (2) la geometría y profundidad de las estructuras y (3) la distancia más cercana entre la falla y el área de estudio. Para este análisis a diferencia del realizado previamente para los registros de sismicidad instrumental, se han considerado fallas capaces que se encuentran a 200 km a la redonda desde la zona de estudio.

Utilizando datos existentes se ha logrado obtener información de las fallas ubicadas dentro del área establecida para el análisis, todas las fallas que se han tomado en consideración para este análisis son calificadas como fallas activas, que incluyen todas las fallas capaces del Cuaternario (Pleistoceno superior - Holoceno) y otras que se encuentran a grandes distancias del lugar que podrían generar eventos sísmicos de gran magnitud con graves consecuencias en la planta de almacenamiento de GLP.

Han sido identificadas 21 fallas activas y capaces las cuales fueron divididas en 44 segmentos (o también llamados sistemas de fallas segmentadas). Las fallas estructuralmente segmentadas corresponden a: (1) falla Carrizal, dividida en seis segmentos, (2) falla Cascol, (3) falla Chanduy, (4) falla Churute, (5) falla Colonche, dividida en siete segmentos, (6) falla Domito, (7) falla Esperanza, (8) falla Estero Salado (de 98.79 Km, considerada la más larga), (9) falla Golfo de Guayaquil, (10) falla Jambelí, (11) falla Jipijapa, dividida en dos segmentos, (12) falla La Cruz, dividida en cuatro segmentos, (13) falla Las Delicias, (14) falla Pallatanga, (15) falla Posorja, (16) falla Puná, (17) falla Punta Salinas, (18) falla San Jacinto, dividida en tres segmentos, (19) falla Santa Clara, dividida en dos segmentos, (20) falla Tenguel, y (21) falla Zambapala – Lechuza, dividida en seis segmentos (Universidad Naval "Comandante Rafael Moran Valverde", 2008) (ver Mapa IV).

Se han estimado las magnitudes para cada segmento de falla mediante la relación empírica entre el área de ruptura o longitud de falla (L) y la magnitud de un evento provocado por dicha estructura, que fue establecida por Leonard (2010), dicha relación se la determina mediante la **ecuación [1]** para fallas normales e inversas y la **ecuación [2]** para fallas de cizalla:

$$M = 1,52 \log(L) + 4,4 \quad [1]$$

$$M = 1,52 \log(L) + 4,33 \quad [2]$$

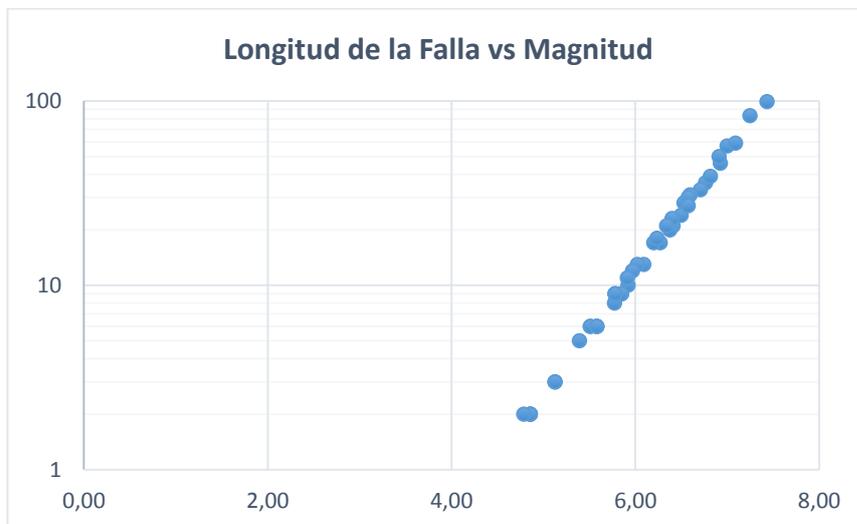


Grafico 1. Relación empírica entre el área de ruptura o longitud de falla (L) y la magnitud de un evento provocado por dicha estructura establecida por Leonard (2010)

Para calcular el desplazamiento máximo esperado de cada segmento de falla se ha utilizado la relación empírica establecido por Wells & Coppersmith (1994) entre la longitud de la falla (L) y dicho desplazamiento, se la determina mediante la **ecuación [3]**:

$$\ln (\text{Máximo desplazamiento}) = -1,38 + (1,02 \log(L)) \quad [3]$$

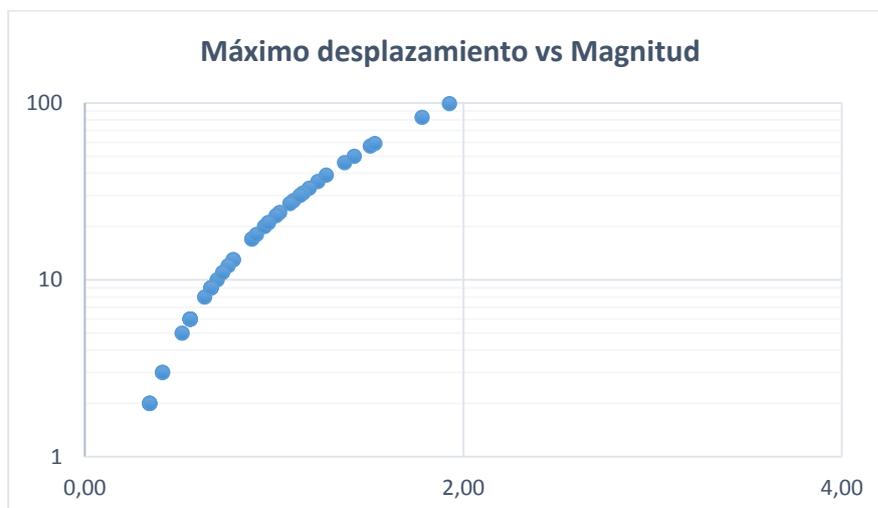


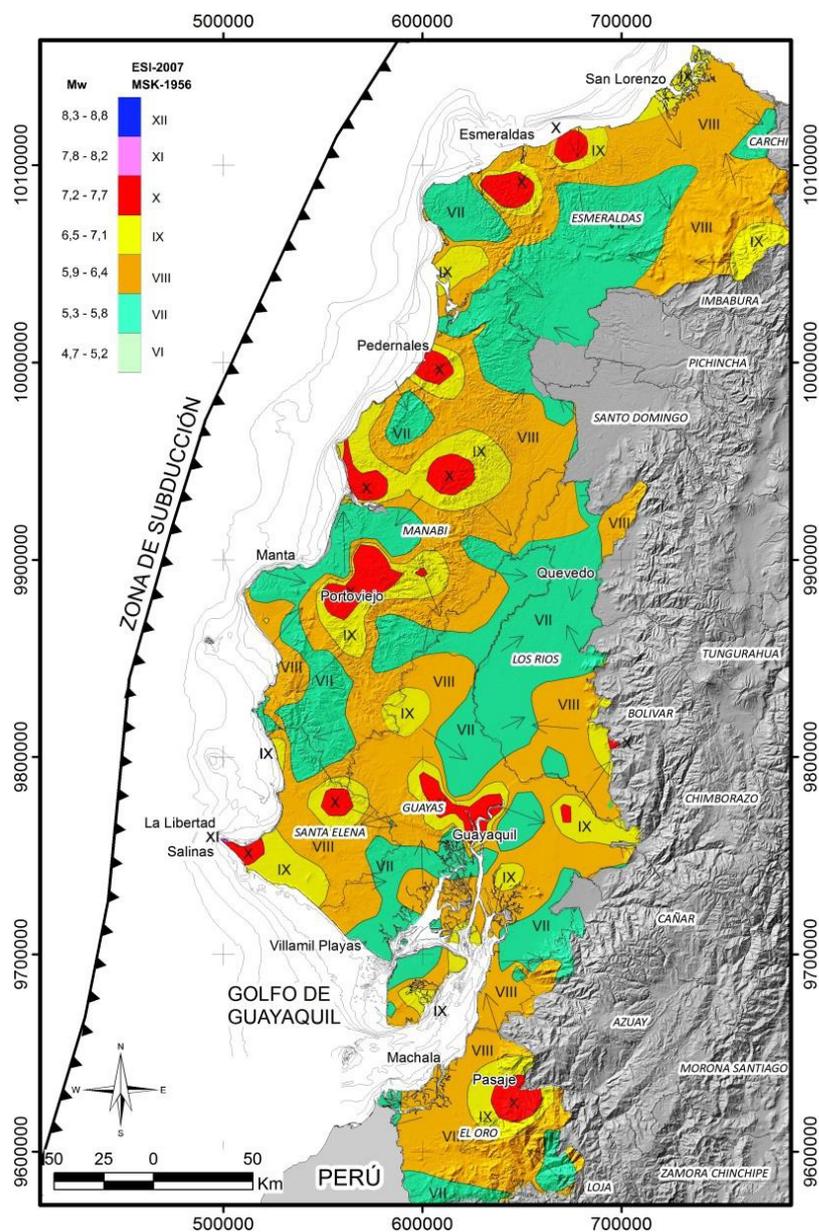
Gráfico 2. Relación empírica establecido por Wells & Coppersmith (1994) entre la longitud de la falla (L) y dicho desplazamiento

Otro parámetro que se ha determinado dentro de este capítulo es la actividad que tiene una falla, la cual es descrita como el promedio anual de la tasa deslizamiento (mm/año) y esta última es calculada mediante la división del valor de máximo desplazamiento por la edad de los depósitos (valor deducido).

Dentro de la caracterización de fallas es importante determinar cuál es la aceleración máxima de la roca o PGA (por sus siglas en inglés de “Peak Ground Acceleration”) puesto que al momento de establecer zonas de riesgo sísmico o normativas sísmicas este parámetro es de vital importancia, Takahashi (2000) establece la relación entre los valores de magnitud (M) y de profundidad de falla (X) mediante la **ecuación [4]**:

$$\log[PGA] = 0,446 M - 0,0035 (X) - \log(X + 0,012 (10)^{0,446M}) + 0,751 \quad [4]$$

Los resultados de la caracterización de cada segmento de falla se presentan en la **Tabla 1** de los Anexos.



Mapa V. Mapa de peligro sísmico en Magnitud del Ecuador basado Datos obtenidos de caracterización de fallas en toda la costa (Modificado de Chunga, 2010).

2.3.2 Análisis De Peligro Sísmico

El análisis de peligrosidad sísmica está basado en: (1) la caracterización de las fuentes sísmicas determinando su magnitud máxima (mediante la relación empírica establecida por Leonard, 2010) como se muestra en la Tabla 1 de los Anexos, (2) la realización de un modelo sismotectónico con datos sismológicos y geológicos, y (3) la caracterización de los efectos cosísmicos inducidos de la propagación de las ondas sísmicas.

La peligrosidad sísmica sin embargo, se la puede definir según la aceleración máxima esperada en la roca, parámetro previamente determinado en la caracterización de fallas, el valor de cada zona representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad

Según la nueva Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-11) el Ecuador se encuentra dividido en seis zonas sísmicas:

- Zona 1: $PGA \leq 0,15$ g (muy baja sismicidad)
- Zona 2: $0,15g < PGA \leq 0,25$ g (baja sismicidad)
- Zona 3: $0,25g < PGA \leq 0,30$ g (moderada sismicidad)
- Zona 4: $0,30g < PGA \leq 0,35$ g (moderada a alta sismicidad)
- Zona 5: $0,35g < PGA \leq 0,40$ g (alta sismicidad)

- Zona 6: $0,40g < PGA \leq 0,50 g$ (muy alta sismicidad)

Donde Monteverde es considerada una zona de muy alta sismicidad (**zona VI**) (ver Mapa 5), además indica que la máxima aceleración (PGA) que se espera en los afloramientos rocosos para un 10% de Probabilidad de Excedencia (PE) es de aproximadamente $0,45m/s^2$ en 50 años, este valor coincide con el obtenido en los estudios previos a la construcción de la planta del almacenamiento de GLP y el muelle de descarga que se encuentra en el mismo sector, realizado por parte de la Universidad Naval “Comandante Rafael Moran Valverde” para la Flota Petrolera Ecuatoriana (FLOPEG), donde mediante el análisis de peligro sísmico probabilístico (PSHA Probabilistic Seismic Hazard Analysis) estimado mediante el uso del algoritmo EZFRISK v 7,26 (Risk Engineering 2008) se obtuvo un valor para PGA en roca para la misma probabilidad de excedencia de $0,45 m/s^2$.

Existen diferentes estudios donde se analizan los valores de aceleración en roca para probabilidades de excedencia mayores o iguales al 10% en 50 años, pero existe más consistencia en los resultados reportados por Tanner & Shedlock (2004) para ordenadas espectrales, de periodos de 0,2 y 1 segundo, y para todas las probabilidades de excedencia donde el valor estimado por el análisis de peligro sísmico probabilístico son igual de consistentes (Universidad Naval "Comandante Rafael Moran Valverde", 2008).

CAPITULO III

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA DE ALMACENAMIENTO DE GLP

3.1 Características Del Complejo De Gas Monteverde

El complejo Monteverde – Chorrillo, es un sistema de recepción, almacenamiento, transporte y distribución de GLP, con el objetivo de reducir costos por el alquiler de un buque anclado en el mar y tener reservas estratégicas de 30 días.



Figura 2. Planta de Almacenamiento de Propano-Butano-GLP ubicado en Monteverde, Santa Elena-Ecuador Fuente: <http://www.elciudadano.gob.ec/Monteverde>.

3.2 Condiciones De La Locación

La tabla III presenta las características climatológicas en el Terminal Marítimo y la Planta de Almacenamiento. Se tiene una presión atmosférica de 14,7 psi y un rango de temperatura ambiente de 21,2 °C a 28,3 °C, las precipitaciones anuales son de aproximadamente 248 mm/año con velocidad de viento de 59,8 km/h y una dirección de viento de S-O. La planta de almacenamiento de GLP tiene una humedad relativa promedio de 86 %, tiene una elevación sobre el nivel del mar de 4m.

CARACTERISTICAS DE LA LOCACION	
Elevación sobre el nivel del mar	4 m (13´)
Presión Barométrica	1,01 bar (14,7 psi)
Temperatura Media (Min/Max)	21,2 °C / 28,3 °C
Nivel Hidrométrico promedio anual	248 mm/año
Precipitaciones máximas anuales	4.050 mm /año
Velocidad y dirección prevalente del viento	59,8 km/h / S-W
Humedad relativa	76 – 96 %
Zona Sísmica	6 (CEC)

Tabla III. Características climatológicas en el Terminal Marítimo y Planta de Almacenamiento. Fuente: Reporte técnico de la empresa pública “FLOPEC”.

3.3 Propiedades De Los Fluidos

PROPANO COMERCIAL		
	Mole Fractions	Mass Fractions
Ethane	6,8 %	4,60 %
Propane	82,4 %	81,40 %
n-Butane	6,1 %	8,00 %
i-Butane	4,5 %	5,90 %
n-Pentane	0,1 %	0,10 %
H2O	0,0 %	0,00 %
Total		100,00 %

Tabla IV. Propiedades del Propano Comercial Fuente: Empresa Pública FLOPEC

BUTANO COMERCIAL		
	Mole Fractions	Mass Fractions
Ethane	0,0 %	0,00 %
Propane	7,8 %	6,00 %
n-Butane	46,3 %	47,00 %
i-Butane	44,3 %	45,00 %
n-Pentane	1,6 %	2,00 %
H2O	0,0 %	0,00 %
Total		100,00 %

Tabla V. Propiedades del Butano Comercial. Fuente: Empresa Publica "FLOPEC"

GLP COMERCIAL		
	Mole Fractions	Mass Fractions
Ethane	5,7 %	3,68 %
Propane	70,2 %	66,32 %
n-Butane	12,7 %	15,80 %
i-Butane	11,0 %	13,70 %
n-Pentane	0,3 %	0,48 %
H2O	0,0 5	0,00 %
Total		100,00 %

Tabla VI. Propiedades del GLP Comercial. Fuente: Reporte técnico de la empresa pública "FLOPEC"

El límite definido de la composición de Propano y Butano producido. El rango aceptable de desvío para el propano es de 75 % a 85 %, y para el Butano es de 15 % a 25 %. El punto de ajuste es de 70 % Propano y 30 % Butano.

3.4 Descripción General

La Planta de Almacenamiento de GLP en Monteverde tiene 4 Tanques de Almacenamiento Refrigerado de Propano y Butano, cuenta con 3 esferas para el almacenamiento presurizado de GLP. Los 2 Tanques de Almacenamiento Refrigerado de Propano tienen una capacidad de 18.700 TM o 32.700 m³ y un Diámetro de 41 m cada uno. Para el Almacenamiento de Butano, una capacidad de 8800 TM y con un diámetro de 29,4 m. La Planta de Almacenamiento tiene una capacidad de 5.5000 TM de Almacenamiento Refrigerado y Presurizado. La proyección de implementar 3 esferas de GLP con capacidad de almacenamiento presurizado de 5000 TM y 2 tanques presurizados de 500 TM cada uno de GLP. La planta tiene una capacidad de producir GLP de un Caudal hasta 19.000 TM/día a un intervalo de temperatura desde 0 °C hasta 5 °C, garantizando un Transporte de GLP para PETROECUADOR de aproximadamente 8000 TM/día.

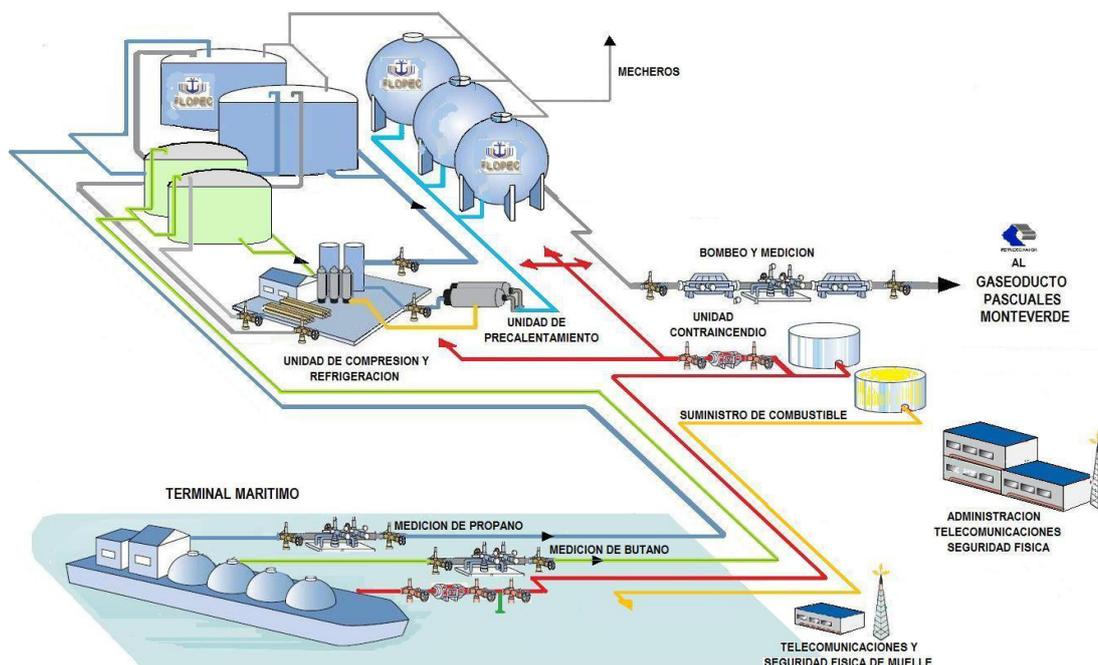


Figura 3. Planta de Almacenamiento de Propano-Butano-GLP. Fuente: “Flopec”

El terminal Marítimo de Monteverde, tiene una capacidad de transporte de aproximadamente 800 TM/h de Propano Refrigerado y 400 TM/h de Butano Refrigerado. Los productos propano y butano comercial son recibidos desde el buque refrigerado (a baja presión) y descargados individual con un caudal máximo de 1.200 TM/h.

El terminal Marítimo provee a todo el Ecuador a través del Gasoductos de PETROECUADOR y tiene como objetivo tener el menor número posible de paradas no programadas. Los sistemas del terminal son proyectadas de forma que la falla de un simple elemento no sea fuente de paralización de la producción total de GLP por periodo superior al de almacenamiento, es decir,

la configuración de la planta permite que el suministro mínimo de proyecto (8.000 TM/ día requiere PETROECUADOR) sea mantenido.

3.4.1 Terminal Marítimo

El terminal Marítimo tiene una longitud de aproximadamente 1.450 m, con el propósito de recibir los buques que suministran Propano y Butano Refrigerado a la Planta de Almacenamiento. Está compuesto por dos brazos de carga y descarga de Propano y Butanos desde los buques, cual es uno de los principales sistemas de operación, operando de modo independiente cada uno y tiene una línea de líquido de 18" y una línea de vapor de 8" localizado a 2.500 m desde los tanques de Almacenamiento Refrigerado.



Figura 4. Dos brazos de carga y descarga (E. Colmont, J. León, S. Saca, 2015).

Las líneas de líquido y vapor tienen válvulas motorizadas de bloqueo y de operación. Cada línea de carga/descarga posee también un tanque hidroneumático, localizado cerca de los brazos, lleno con un nivel de líquido mantenido por un manto de nitrógeno, protege al sistema contra los efectos hidráulicos transitorios. En las líneas de flujo de 18" en la carga y descarga de propano y butano, se utilizan sistemas de control con el propósito de mantener un valor requerido de los valores de flujo el cual se utiliza dispositivos inteligentes con algoritmo de control y válvulas con actuadores neumáticos.

El muelle tiene líneas para recibir diésel sucio desde los buques atracados en puerto, y de envió de agua potable y diésel limpio para los mismos. En tierra se encuentra con una planta de tratamiento de ese diésel sucio, para purificarlo y almacenarlo en el tanque de diésel limpio para el retorno a los buques y para las necesidades de diésel de la planta y la de los generadores auxiliares.

3.4.2 Interconexión Muelle – Tanquero Refrigerados

En la interconexión del muelle con los tanqueros refrigerados en la planta de almacenamiento, tiene un conjunto y ruta de tuberías, el sistema está conformado por líneas de carga y descarga de Propano y Butano para llevar estos productos, desde los buques hasta los tanques refrigerados, además de las estaciones de medición, para el control de las líneas de retorno de vapor de Propano y Butano a los buques. La ruta de tuberías tiene dos líneas de

descarga de bombas de Propano y una línea de descarga de las bombas de Butano para sus respectivos calentadores de Propano y Butano, para luego llevar estos componentes a la mezcla y producir el GLP.

3.4.3 Sistema De Almacenamiento

Tanque De Almacenamiento De Propano Y Butano

El almacenamiento de Propano y Butano se realiza en tanques aislados y refrigerados de pared simple, ubicados en el patio de tanques en la planta de almacenamiento, con una capacidad total de 95.000 m³. Estos recipientes son cilindros verticales de fondo plano, apoyados sobre una base de hormigón, con techo en forma de domo y aislados térmicamente.

Con estos tanques la planta de Monteverde puede almacenar Propano y Butano a bajas temperaturas, de tal modo que las presiones de vapor son superiores a la atmosférica, esto permite mantener los volúmenes de 32.700 m³ y 14.900 m³ en cada uno de los tanques, con poca presión. Los productos refrigerados y almacenados en los tanques, pueden ser transferidos a las esferas presurizadas con la utilización de las bombas de transferencias de Propano y Butano.

	Tanque de Propano	Tanque de Butano
Numero de tanques	2	2
Capacidad Volumétrica (m ³)	32.700	14.900
Presión interna (bar)	0,118	0,118
Temperatura Interna (°C)	-44	-11
Altura	34	26
Díámetro Interno	35	27
Estado	LIQUIDO	LIQUIDO

Tabla VII. Características de los Tanques de Propano y Butano Fuente: Departamento de Ingeniería y Facilidades de “FLOPEC”

3.4.4 Esferas De Almacenamiento

Las esferas de almacenamiento presentan un diámetro interno de 18,250 m y tiene una capacidad de almacenamiento de 3.180m³ a una temperatura de 5°C hasta 40 °C y presión interna en un rango de 2,7 bar hasta 14,7 bar. El objetivo del sistema de almacenamiento es recibir los valores de temperatura, presión y nivel, luego procesar los valores de masa, densidad y volumen, determina los niveles de interfaz y los volúmenes de lastre de condensado.

PROPIEDADES DE LAS ESFERAS	
Numero de esferas	3
Capacidad Volumétrica (m ³)	3.180m ³
Presión interna (bar)	5°C – 40°C
Temperatura Interna (°C)	2,7 – 14,7 bar
Diámetro Interno(m)	18,250
Estado	LIQUIDO

Tabla VIII. Características de las Esferas de Almacenamiento de GLP. Fuente: Libro de CEPSA.

3.4.5 Operación De Los Tanques

Los tanques disponen de un sistema automático de calentamiento eléctrico a pruebas de explosión compuesto por resistencia eléctrica con sus respectivas tuberías para protegerlos mecánicamente, cables y control de temperatura mínima por sensores, con el propósito de mantener la temperatura mínima en el suelo del tanque aproximadamente 15 °C, para proteger la base de hormigón. Los tanques hidroneumáticos garantizan la eliminación de los vapores formados en los cabezales, protegiendo las bombas de los problemas de cavitación. En esta área también cuenta con las bombas de recirculación de Butano para los Chillers, con lo cual se cierra el circuito de refrigeración.

El sistema tiene tres intercambiadores de calor tipo carcasa-tubo ; dos para calefacción de Propano y uno para calefacción de Butano, el cual debe de calentar estos productos a una temperatura de 0 °C y máxima de 5 °C para

mezclar, utilizando el agua de mar como fluido caliente. El sistema tiene líneas individuales de entrada y salida de productos y agua de mar, definidos en cabezales de entrada y salida con válvulas de control de presión diferencial localizado en una tubería de “bypass”. El sistema posee las respectivas válvulas de control de temperatura en la salida de agua de mar de cada intercambiador.

3.4.6 Grupo De Fríos

Están ubicados detrás de los tanques refrigerados con el propósito de realizar la re-licuefacción de los vapores de propano y el sub-enfriamiento del Butano para el mantenimiento de la presión de los tanques refrigerados de Propano y Butano. La re-licuefacción se realiza en la mayor concentración de vapores de Propano que emanan de los tanques como consecuencia de llenado del mismo. La formación de vapores por descompresión desde la presión de operación de los buques hasta los tanques atmosféricos.

3.4.7 Mezcla, Medición Y Almacenamiento De GLP

El sistema de mezclas tiene dos paquetes de mezcla y medición de GLP, cada paquete posee dos líneas de entrada de producto; uno de Propano y otro de Butano, cada uno con su respectivo medidor de flujo de masa y sus respectivas válvula de control de caudal, para mezclar a una proporción de masa de 70 %

de Propano y 30 % Butanos, especificando el GLP de exportación de planta. El GLP pasa por un mezclador estático, recibe odorantes para darle un olor característico, después de esta etapa puede ser enviado a almacenamiento presurizado en las esferas de GLP, o puedes ser enviado directamente a exportación a la salida de la planta, está conectada directamente con el gasoducto de PETROECUADOR adyacente.

El sistema de almacenamiento de GLP está formado por tres esferas, cada una con capacidad de 20.000 barriles, para almacenar GLP presurizado a temperatura ambiente.

3.4.8 Bombas De Captura De Agua De Mar

Las bombas de captura de agua de mar están instaladas en un área adyacente a la estructura del muelle, aproximadamente a la mitad del mismo. El sistema está compuesto por cuatro bombas verticales su función es la captación de agua de mar para proveer el medio de intercambio térmico para los intercambiadores de Propano y Butano, cediendo calor, y posteriormente para el grupo de frío.

Las descargas de las cuatro bombas se unen en un cabezal principal. El cabezal de envío tiene un tanque hidroneumático, para amortiguar impactos en la tubería debido a los golpes de ariete o a la hidráulica del sistema. El nivel

en el tanque se mantiene con aire presurizado, vía accionadamente de las válvulas de admisión y descarga desde el sistema de compresión de aire.

3.4.9 Sistema Contra Incendios

El sistema de contraincendios descarga a las dos secciones del cabezal principal de las bombas de captura de agua de mar se tiene dos bombas adicionales que pertenecen al sistema contra incendio. Es accionada por un motor a diésel, esta bomba presuriza el anillo contra incendio del muelle a través del cabezal de descarga principal. El sistema contraincendios está constituido por los equipos principales, divididos en dos anillos; el anillo de la planta y el anillo del puente.

3.5 Sistemas De Apoyo

3.5.1 Sistema Eléctrico De Potencia

La importancia del sistema eléctrico para los procesos de la planta es proveer de una red de potencia que tiene dos fuentes de alimentación, alternativas e independientes, con el objetivo de garantizar la energía en todo momento de los procesos. La fuente principal de alimentación del sistema está formada por una línea de 69 Kv, mientras que la fuente secundaria o alternativa está representada por una planta de generación auxiliar de 10,8 MVA instalados,

repartidos en tres generadores de 3.600 KVA cada uno, con capacidad para sincronizarse automáticamente al sistema.

Todo el sistema de potencia posee doble barra de alimentación para las cargas más importantes y barra simple para cargas menos críticas. El objetivo es garantizar el máximo nivel de confiabilidad desde el diseño de la red de potencia en forma integral, cada una de las ramas del sistema dual es capaz de alimentar toda la carga asignada a ambas ramas ya sea con el alimentador principal o con generación auxiliar propio. Fuente: Empresa Publica "FLOPEC"

3.5.2 Sistema De Agua Potable

El sistema de agua potable de la planta se alimenta del acueducto existente y está formado por los equipos de almacenamiento y distribución de agua potable dentro de las instalaciones y para el servicio a buques. Los componentes principales de ese sub-sistema son el tanque de agua potable que almacena agua para el suministro a los buques, el paquete de hipoclorito, las bombas de agua potable a los buques utilizadas para el envío de agua potable a los buques y para el consumo interno de los usuarios de la planta. El sistema contiene adicional un generador de agua fresca, que repone agua para el sistema contra incendios y alimenta al generador de agua potable,

usado para suministrar agua a los buques frente a eventuales problemas de suministro de agua de la red de abastecimiento externa.

3.5.3 Sistema De Aire Comprimido

El sistema de aire comprimido para instrumentación y servicio de la planta se subdivide en dos sub-sistemas: el primero que atiende a la planta de almacenamiento y el segundo atiende a las necesidades de los equipos instalados en el muelle. El paquete de aire comprimido que atiende los equipos de la planta de proceso se compone de: dos conjuntos de filtros de aire atmosférico, dos compresores de aire, filtros de aire comprimido, un tanque de aire de servicio entre otros.

3.5.4 Sistema De Nitrógeno

El sistema de nitrógeno se localiza en la planta de almacenamiento y comprende una Planta de Generación de Nitrógeno, formado por una unidad de compresión, absolvedores de membranas, y tanque de almacenamiento. El sistema tiene todos los requerimiento de la planta y alimento el recipiente de almacenamiento ubicado en el área del muelle.

3.5.5 Sistema De Odorizacion

El sistema consiste de dos paquetes de Odorizacion para almacenamiento e inyección (dosificación de odorante) al GLP. Para minimizar los problemas de mantenimiento y paralizaciones de la unidad de inyección del odorante, se tiene como fuente de presurización de este sistema, al sistema de Nitrógeno.

3.5.6 Sistema De Hipoclorito

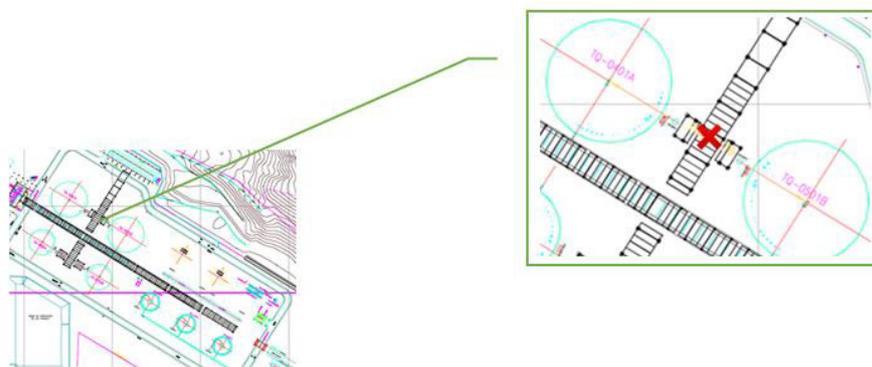
El sistema consiste en un paquete de generación de hipoclorito de agua de mar para inyección (dosificación) en la succión de las bombas de captura de agua de mar correspondiente al sistema contra incendio del área del muelle. El sistema es compuesto de una unidad de producción de solución de hipoclorito de sodio. La unidad es capaz de producir una solución de hipoclorito a 1.000 ppm de forma a dosificar de 450 a 1.800 m³/h de agua de mar. La concentración de final de la solución hipoclorito es de 3 ppm. La unidad es del tipo de cerrada, no habiendo recirculación de producto, está compuesto de filtros, tanque y bombas dosificadoras.

3.5.7 Sistema De Tratamiento De Efluentes

El drenaje de la estación posee completa segregación entre los sistemas pluvial limpio y contaminado El sistema contaminado se trata antes de verter

el efluente al mar, para minimizar la contaminación de las aguas marinas. La estación de tratamientos de efluentes del Terminal Marítimo de Monteverde está constituida por los siguientes equipos: Tanquillas de recolección, Enrejadas, Desarenador, Separador agua-aceite Bomba, Tanque de acumulación de desechos oleosos

3.6 Puntos Susceptible A Una Explosión



**Figura 5. Puntos más sensibles a riesgos de la planta de almacenamiento de gas.
Tomado de (Empresa Publica "Flopec")**

Uno de los puntos más susceptibles para que ocurra una BLEVE es en el centro de los dos tanques de TQ-0401A y TQ-0501B, se tiene una distancia de 38 m hacia el centro del tanque TQ-0401A.

Cual no es necesario que exista presencia de fuego para que se produzca una BLEVE. Puede ser debido a algún problema estructural con el tanque como

corrosión, fatiga, daños por impacto, etc. Si el tanque se rompiera y además se abre totalmente, el resultado será una BLEVE.

Si no se tiene presencia de fuego, la nube se desplazara con el viento hacia los terrenos bajos, debido a que el propano es más pesado que el aire.

Los tanques con aislamiento térmico se pueden degradar por vibración mecánica, impactos.

CAPITULO IV

EVALUACIÓN DE RIESGO GEOLOGICO

4.1 Evaluación De Riesgos Geológico

La Gestión de Riesgos es definida como un conjunto de acciones, mecanismos y herramientas cuyo propósito fundamental es intervenir ante la posible amenaza o la vulnerabilidad de un determinado sector, poblado, o área industrial a fin de reducir el impacto negativo que ello representa para la misma población.

4.1.1 Factores De Riesgos

Los factores de riesgo asociado dependen de la incidencia de un riesgo predominante, en este caso son los de origen natural, provocados por un foco de sismicidad local, presencia de peligros de eventos tsunami-génicos u otros.

En cada uno de los casos citados pueden derivarse agentes de incidentes secundarios, debido por lo general al colapso de estructuras o fallas en equipos: eléctricos, bombeo, soporte, medición, contención o de seguridad.

Los factores asociados se presentan en la tabla:

RIESGOS GEOLOGICOS	DEFINICION	CLASIFICACION
INTERNOS	Originados por procesos geológico endógenos.	<ul style="list-style-type: none"> • Terremotos
EXTERNOS	Originados por procesos geológicos exógenos.	<ul style="list-style-type: none"> • Movimiento de laderas. • Corrientes fluviales por lluvias torrenciales. • Inundaciones costeras. • Suelos expansivos. • Erosión de suelo.
MIXTOS	Procesos geológicos resultantes de las alteraciones humanas de la dinámica natural de los procesos geológicos naturales de erosión sedimentaria.	<ul style="list-style-type: none"> • erosión del suelo. • colapso de embalses por relleno de sedimentos. • desaparición de playas.
ARTIFICIALES	procesos geológicos desencadenados artificiales a consecuencias de las intervenciones humanas sobre el medio geológico	<ul style="list-style-type: none"> • movimientos de laderas por modificaciones del relieve. • colapso de edificaciones por exceso de peso y diseño no sismo resistentes.

Tabla IX. Tomado de (BAQUE DOMINGUEZ & LEMA CEFLA, 2013)

4.2 Evaluación De Riesgos

Toda actividad económica conlleva riesgos, es decir la posibilidad de pérdidas o daños, los diferentes actores de un proceso económico tienen la potencialidad de causar daño; a través de fenómenos llamados accidentes. Una organización estructurada dentro del conjunto de etapas para la prevención-mitigación de accidentes como: planificación, objetivos, estrategias, organización, descontaminación, rehabilitación, evacuación y seguimiento, permiten un adecuado desarrollo de las operaciones de un complejo industrial o tecnológico que requiera el uso de gases, fluidos o sólidos altamente inflamables. Consideremos como riesgo tecnológico a la probabilidad de que: un objeto, un material, un proceso peligroso, una sustancia tóxica o un fenómeno, debido a interacciones irregulares ocasionan un número indeterminado de consecuencias para la salud, economía, medio ambiente y desarrollo integral de un entorno poblado determinado. Entre los riesgos industriales más comunes para el Complejo de Gas Monteverde (complejo industrial), tenemos los siguientes:

- Riesgo de explosiones: se caracterizan por producir una onda de choque que ocasiona daño de edificios o viviendas; también, puede provocar lesiones graves como fracturas en las personas. Las explosiones pueden producirse en forma de detonación o de una deflagración.

- Riesgo por deflagración: una deflagración es una combustión súbita con llama a baja velocidad de propagación, sin explosión. Se suele asociar, erróneamente, con las explosiones.
- Las reacciones que provoca una deflagración son idénticas a las de una combustión, pero se desarrollan a una velocidad comprendida entre 1m/s y la velocidad del sonido. En una deflagración, el frente de llama avanza por fenómenos de difusión térmica. Por el contrario, en una detonación la combustión está asociada a una onda de choque que avanza a velocidad superior a la del sonido. Para que se produzca una deflagración se necesita: una mezcla de producto inflamable con el aire, en su punto de inflamación, una aportación de energía de un foco de ignición, una reacción espontánea de sus partículas volátiles al estímulo calórico que actúa como catalizador o iniciador primario de reacción. Típicos ejemplos de deflagración son: encender un cerillo, la combustión de mezclas de gas y aire en una estufa u horno de gas, la mezcla de combustible-aire en un motor de combustión interna, la rápida combustión de una carga de pólvora en una arma de fuego, las mezclas pirotécnicas en los fuegos artificiales o en los dispositivos o cartuchos de fragmentación de roca segura.

- **Riesgo por detonación:** Una detonación es una combustión supersónica que implica la existencia de una onda expansiva y una zona de reacción detrás de ella. Una detonación es un drástico proceso de transformación de la energía que contiene un material, casi siempre de naturaleza química, que se intercambia a elevadas velocidades con el medio adyacente. Así, para medir el poder detonante de un material con propiedades explosivas, se utiliza la definición de "poder detonante" y se expresa en metros por segundo, dadas las características particulares del material químico en cuestión.
- **Riesgos físicos:** se presentan por lo general como ruido y vibraciones producidas por maquinaria o vehículos pesados, sobreexposición a radiación; estos riesgos, están presentes en zonas de calderas e intercambiadores de calor.

CAPITULO V

CALCULO DE RADIACION TERMICA Y ONDA DE SOBREPRESION.

4.1 Explosiones

Como ya se explicó anteriormente la zona de Monteverde está ubicada en una zona de alta actividad sísmica, debido a que el país se encuentra afectado a todos los fenómenos tectónicos provocados por el cinturón de fuego del pacífico, debido a esto es de suma importancia el análisis de posibles explosiones que se pueden dar en tanques de almacenamiento de gas en la

planta, tanto para los tanques criogénicos como para las esferas, las cuales almacenan GLP y sus compuestos como lo son el butano y el propano.

4.1 Gas Líquido Presurizado

Un Gas líquido presurizado es una sustancia que es transportada y guardada como un líquido bajo presión. En otras palabras, la sustancia ha sido liquidificada mediante el aumento de la presión. El propano como líquido se incrementa con la temperatura del propano. A -42 grados C, el propano puede ser conservado como líquido en un contenedor abierto. A 25 C la presión necesaria para mantenerlo como líquido es 0.95 Mpa (138 psia). Si un litro de propano líquido a 25 grados C es liberado, se expandirá a 270 lt de vapor de propano. Esto es llamado el ratio de expansión y es un factor importante a recordar si un líquido propano es accidentalmente liberado. El propano no es tóxico, pero tiene un efecto anestésico cuando es inhalado en altas concentraciones. La gravedad específica del propano a 21 grados C es 1.52 esto significa que el vapor de propano es 1.52 veces tan pesado como el aire. El propano tiene un punto de ebullición atmosférico de -42 grados C (ver Gráfico 3). Si la piel entra en contacto con el líquido frío, rápidamente resultará congelada. La baja temperatura de ebullición también nos sugiere que si el propano liquidificado por presión es liberado de repente, hervirá violentamente por la gran diferencia entre el punto de ebullición y la temperatura del ambiente. (ALBERDI)

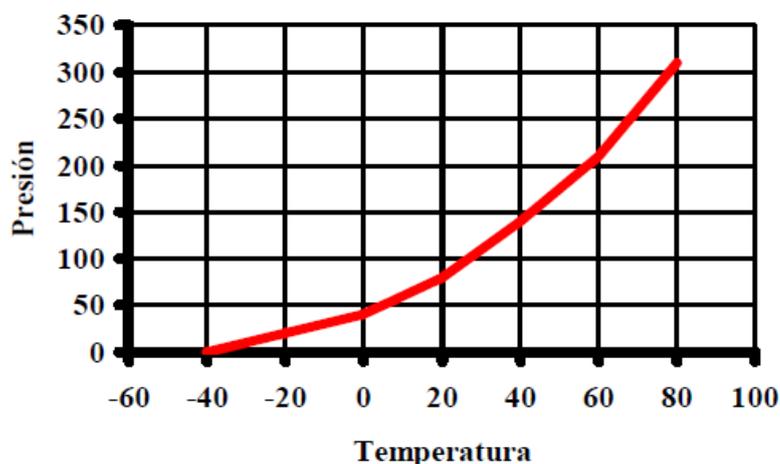


Grafico 3. Comportamiento del propano a diferentes temperaturas y presiones.
Tomado del libro Blevé prevención y respuestas (ALBERDI)

4.1.1 Gases Criogénicos

Sustancia que, en condiciones normales de presión y temperatura, es un gas. Los gases criogénicos se almacenan a una temperatura muy inferior a la temperatura ambiental normal (generalmente a -90°C) y a una presión igual o ligeramente superior a la atmosférica, que en muchos casos es suficiente para el gas se licue. Si la temperatura del gas es superior a su punto de ebullición a la presión de almacenamiento, el gas criogénico está comprimido. Si la temperatura del gas es inferior a su punto de ebullición a la presión de almacenamiento, el gas criogénico está licuado. (BOTTA, 2011)

4.1.2 GLP

Es una mezcla de propano y butano los cuales son componentes derivados del petróleo. A temperatura ambiente y presión atmosférica se presenta como un gas incoloro, inodoro y con más densidad que el aire. La composición del gas licuado de petróleo varia en su mezcla porcentual en los diferentes países, en nuestro caso la planta de almacenamiento de gas en Monteverde maneja porcentajes del 70% de propano y 30% de butano. Con un rango de desviación de:

Rango del propano 75%-85%

Rango del butano 15%-25%

4.1 BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion)

Este evento pertenece a la categoría de explosión, este tipo de explosión se da en tanques o esferas que almacenan gases licuados a altas presiones y temperaturas, en los que por ruptura o fuga del mismo, el fluido del interior entra en estado de ebullición y ocurre una expansión del vapor.

Una de las causas más comunes de este tipo de explosiones se debe a un incendio externo que envuelve al tanque presurizado, eleva la temperatura del

fluido contenido y aumenta la presión dentro del este, llegando un punto en que la presión alcanza valores que el recipiente no puede resistir, debilitándolo estructuralmente ocasionando una fisura o ruptura del mismo, esta ruptura también se puede ocasionar debido a la colisión de sedimentos o rocas de gran magnitud, atraídas por un tsunami en la costa de Monteverde, o a su vez por un sismo de grado mayores a 7 que pueden dañar la estructura (tanques criogénicos o esferas) parcial o completamente. Debido a estos posibles fenómenos naturales en los tanques se produce un súbito descenso de la presión, comienza el proceso llamado nucleación espontánea y todo el fluido contenido cambia su estado a gaseoso en forma instantánea, aumentando su volumen miles de veces. (BAQUE & LEMA, 2010)

Esta vaporización se acompaña de una gran expansión por el paso del líquido a vapor. Es este proceso de expansión el que proporciona la energía que agrieta la estructura del recipiente, proyecta los fragmentos y ocasiona la rápida mezcla con el aire (que da por resultados la característica bola de fuego cuando se produce la ignición al entrar en contacto con el fuego que origino inicialmente la BLEVE), así como la pulverización del resto del líquido frío. Gran parte de las pequeñas gotas de la pulverización arden al salir proyectadas en el aire; sin embargo, no es raro que el líquido frío salga despedido desde la zona de incendio a demasiada velocidad para que pueda tener lugar su ignición y caiga al suelo todavía en forma líquida. En una ocasión

se encontraron trozos de pavimento de asfalto disueltos por el gas en estado líquido a distancias de 800 metros del lugar donde ocurrió. Todo este proceso genera una onda de sobrepresión acompañada de radiación térmica, que puede arrasar con todo lo que encuentre a su paso, en este análisis estimaremos las diferentes magnitudes de radiación térmica y onda de sobrepresión a diferentes distancias, empleando el método TNT para cálculos de BLEVES. (BOTTA, 2011)

5.3.1 Las consecuencias del Blevé:

- Radiación térmica.
- Onda de sobrepresión.
- Fuego.
- Fragmentos despedidos por la explosión.
- Lluvia de combustibles en áreas cercanas.

Para nuestro estudio nos centraremos en los dos primeros casos y los más relevantes donde calcularemos la onda de sobrepresión y la radiación térmica en áreas

5.3.2 Termodinámica De La Blevé

Cualquier líquido o gas licuado almacenado en el interior de un recipiente se encuentra en las dos fases, líquido y vapor en situación de equilibrio, según la curva de saturación presión - temperatura, donde a cada temperatura del líquido le corresponde una determinada presión de vapor, que es la que está soportando la pared interior del recipiente expuesto a la fase vapor. A medida que incrementa la temperatura, obviamente la presión de equilibrio aumenta, hasta alcanzarse el punto crítico, y a partir del cual solo es posible la fase gaseosa de la sustancia. Por ello se define la temperatura crítica como aquella temperatura máxima a la que se puede licuar un gas. Y la correspondiente presión crítica es la presión de vapor máxima que puede tener un líquido. El sobrecalentamiento de una sustancia puede lograrse mediante calentamiento, superando su punto de ebullición sin que llegue a transformarse en vapor, o bien disminuyendo la presión, permaneciendo la temperatura constante. (Bestratén & Turmo, 2015). Al ocurrir la rotura total o parcial del tanque, se presentara una despresurización instantánea, desde la presión de almacenamiento a la presión atmosférica a temperatura constante, esta mezcla de líquido-vapor contenida en el tanque y en equilibrio, tendrá una temperatura mucho mayor que la correspondiente a la temperatura de saturación a estas condiciones. El sistema se encontrara en La sección de líquido sobrecalentado (Figura 4; diagrama P-V), que tendrá una fuerte

tendencia al equilibrio ante cualquier perturbación. Esta tendencia se ve reflejada en la ocurrencia de una vaporización instantánea por parte de una fracción del líquido presente y una expansión por parte del vapor en el recipiente. Dependiendo del estado de sobrecalentamiento que tenga el sistema será la rapidez de su evaporización y la fracción de líquido que cambiara a fase vapor aumentando su volumen total del sistema. (CRUZ, 2009)

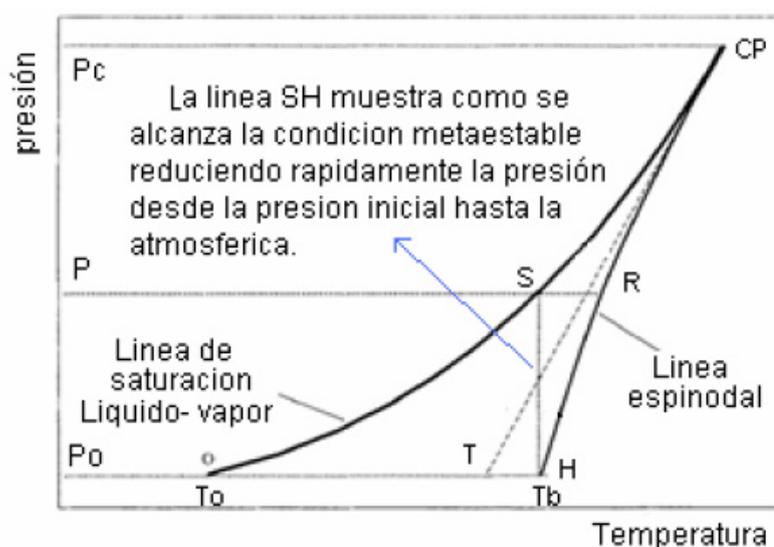


Gráfico 4. Curva del comportamiento de las temperaturas y presiones críticas del gas licuado. Tomada de (CRUZ, 2009)

5.3.3 Condiciones para la existencia de bieve en gases licuados y contenedores confinados.

5.3.3.1 Generación Súbita

En el ambiente de un gas a alta presión, que puede ser debida a fenómenos físicos como por ejemplo, la evaporación instantánea de un líquido que entra

en contacto con una superficie caliente, la detonación de un explosivo de alta potencia, o por el autoconfinamiento de gases pesados. La diferencia entre estos dos tipos básicos de explosiones se debe fundamentalmente al confinamiento.

Cuando un líquido entra en contacto con una sustancia u objeto a una temperatura muy superior a su punto de ebullición, se produce una súbita evaporación del líquido y la consiguiente expansión del vapor generado. Es el caso de los derrames a temperatura ambiente de líquidos refrigerantes o de gases criogénicos licuados. En dichos casos, el líquido recibe calor de la superficie más caliente a una velocidad tal, que instantáneamente se genera un gas a alta presión. Si el área de contacto entre el líquido y la superficie caliente es grande, la vaporización puede producirse lo suficientemente rápida para causar una onda de presión, propagándose en todas las direcciones. La velocidad de evaporación es generalmente baja, pero la rápida generación del gas, produce con frecuencia presiones lo suficientemente elevadas para destruir edificios o contenedores.

El análisis de las explosiones por rotura del recipiente lo podemos hacer siguiendo dos dimensiones: la espacial y la temporal. Este tipo de explosión es un proceso relativo donde no importa porque y de donde, pero si se rompe el recipiente, y se produce una súbita liberación de gas a alta presión en el ambiente, entonces estamos frente a una explosión.

Este análisis teórico se hace bajo la hipótesis de que la rotura del recipiente sucede por causas externas ajenas al producto involucrado, y que el recipiente se encuentra en óptimas condiciones. El fallo estructural del recipiente se puede producir por: un calentamiento localizado o generalizado externo produciendo una disminución en la resistencia mecánica del recipiente, por un proyectil externo o por un impacto mayor como puede ser el choque de un vehículo.

Este análisis teórico se hace bajo la hipótesis de que el contenido del recipiente no está sufriendo ningún cambio fisicoquímico. El fallo de las paredes del contenedor se puede deber a corrosión interna o externa, espesor no adecuado de las paredes, fallos del material, fallos en la soldaduras, es decir, un debilitamiento del recipiente por fenómenos de diseño o construcción.

La onda de presión provocada por la rotura del contenedor es muy direccional, desplazándose fundamentalmente en la dirección de la descarga y causando efectos de presión a distancia mucho mayor en dicha dirección. No obstante, se generan, prácticamente en todas direcciones, significativos efectos de presión. (BOTTA, 2011)

5.3.3.2 Producto En Estado Líquido Sobrecalentado

Se entiende como líquido sobrecalentado su temperatura es superior a la que lo correspondería si se hallara en equilibrio con su presión de vapor. Esta situación de inestabilidad se presenta bajo una exposición del recipiente a un incendio o en recipientes sobrellenados. No toda temperatura de sobrecalentamiento permite la formación de BLEVES. Debe superarse una temperatura límite. En caso de fisura de un depósito, incluso pequeña, y producirse un descenso de la presión para igualarse a la atmosférica, el gas licuado estará ineludiblemente en condiciones de sobrecalentamiento que podría fácilmente llegar a ser muy peligroso. (Bestratén & Turmo, 2015)

5.3.4 BLEVE Por Escape Masivo De Gas Licuado

Si se rompe el recipiente, este gas o vapor que está licuado se despresuriza y se expande, se expande dentro y fuera del recipiente, el líquido entra bruscamente en ebullición y una gran cantidad de él se evapora muy rápidamente, en forma casi instantánea. El cambio de estado líquido-vapor supone un gran aumento de volumen. La expansión del vapor produce una onda de presión destructiva, que es en definitiva la que produce la explosión.

1- Que el recipiente contenga un líquido que, en condiciones ambientales normales de presión y de temperatura, sería un gas.

2- Que el líquido sufra una despresurización intensa y súbita, para que se produzca su ebullición instantánea.

3- Que se produzca un escape en masa entre $1/3$ y $1/2$ de la cantidad total del líquido.

Lo que produce la onda de presión es la masa de líquido que hierve y se expande rápidamente fuera del recipiente. Para que esta onda de presión produzca una explosión destructiva, la cantidad de masa que se tiene que escapar debe ser significativa. Esto prácticamente sólo se produce cuando en un recipiente se produce una gran rotura.

El funcionamiento de una válvula de seguridad o la aparición de una pequeña fisura en el recipiente provocan una despresurización insuficiente (escape de masa insignificante), que sólo da lugar a la ebullición de una pequeña parte del líquido.

La mayor parte de las BLEVE se producen por un fallo del recipiente debido a la acción del fuego. Sin embargo, el recipiente puede fallar también debido a un impacto que ocasione su rotura, perforación o debilitamiento estructural.

5.3.5 Radiación Térmica

La intensidad de la radiación térmica recibida por un ser vivo u objeto ubicado en el campo de influencia de un incendio depende de las condiciones atmosféricas, de la geometría del incendio y de las características físico-químicas del producto en combustión. Para evaluar las consecuencias que puede causar la radiación térmica de un incendio de una determinado sustancia, se calcula la irradiación que recibida en la ecuación descrita en el procedimiento TNT más adelante, en la cual se sustituyen los valores del coeficiente de transmisión atmosférica d , el factor de visión F y la intensidad media de radiación E . Un procedimiento complementario para calcular las consecuencias en una población es el método "PROBIT" de vulnerabilidad a radiaciones térmicas, desarrollado en la NTP 291-1991. En función de la dosis recibida se puede estimar de forma orientativa el porcentaje de personas afectadas, a diferentes grados de quemaduras y/o a muertes. Los valores de la irradiación recibida en función de la distancia se comparan con referencias como las indicadas en la tabla, que dan la máxima radiación tolerable para materiales y personas. (Turmo, 2015)

Material y personas	Máxima radiación tolerable W/m²
cemento	60000
hormigón	200000
acero	40000
vidrio	30000
pared de ladrillo	400000
madera	10000
Personas durante 20 seg sin quemadura	6500
bomberos y personas protegidas	4700
personas desprotegidas	4000

Tabla X. Radiaciones tolerables para ciertos materiales y personas. Tomado de la fuente. (Bestratén & Turmo, 2015)

5.4 Método TNT Para Cálculos De Bleves

El TNT (trinitrotolueno) es una explosión convencional, el cual permite predecir de una manera rápida, sencilla y precisa, los daños provocados por la explosión de una nube de vapor no confinado, a partir de la masa de TNT que equivaldría la cantidad de hidrocarburos implicado, que ocasionaría el mismo nivel daño. La relación entre la masa de hidrocarburos y el equivalente de TNT viene dada por la siguiente expresión:

$$W_{TNT} = \alpha * W_c \frac{\Delta H_c}{\Delta H_{TNT}} \quad [5]$$

Una vez conocida la masa de TNT equivalente, se puede determinar el valor de pico de sobrepresión (ΔP), el impulso (I), y la duración de la fase positiva

(t^+) en un punto de situados a una distancia d del lugar de la explosión. Para ello se recurrirá a los gráficos detallados en los métodos de cálculo, en los cuales cada uno de estos parámetros viene dado según la distancia normalizada, y se calcula mediante la siguiente expresión.

$$d_n = \frac{d}{\sqrt[3]{W_{TNT}}} \quad [6]$$

Las limitaciones del método TNT son debidas principalmente a la gran diferencia entre la explosión de una nube de vapor y una nube de TNT. Las ondas de sobre presión son muy diferentes, en el caso de la onda TNT tiene una amplitud muy grande pero corta de duración, mientras que para las nubes de vapor la amplitud es menor y la duración de tiempo de la onda es mucho mayor. Este fenómeno hace que para puntos próximos al origen de la explosión el error derivado de este método sea muy grande, mientras que los puntos más alejados (distancia mayores a 10 veces el diámetro a la bola de fuego), la cura de sobrepresión vs tiempo se aproxima más a la realidad.

5.4.1 Pasos Para El Método TNT En BLEVES

La característica predominante, aparte de la onda explosiva, es la Radiación Térmica, este fenómeno se caracteriza por una radiación intensa desde su inicio (la explosión mecánica). Los parámetros que se deben evaluar para la

predicción del peligro originado por la bola de fuego son: diámetro, duración y la cantidad de radiación térmica. Existen varios métodos asociados para el cálculo de estos parámetros, pero todos los investigadores se basan en las ecuaciones siguientes (BAQUE & LEMA, 2010):

$$D = aMc^b \quad [7]$$

$$t = cMc^e \quad [8]$$

El valor de las constantes a utilizarse en este estudio será la de [Gayle (2)], en donde; D son metros, Mc esta dado en kilogramos y t es en segundos.

Generalmente al presentar valores con otras constantes, varía el resultado final, pero estos valores son los más aproximados a otras fuentes dadas por Marshall y API. La imprecisión no se basa solo en la diferencia de estas constantes sino también en los parámetros como la masa de combustible inicial antes de la explosión, hay que tener en cuenta que cierta cantidad de la masa real del líquido al calentarse se evaporara y como es obvio la masa total disminuye o puede haber desahogos por parte de válvulas de alivio que diferencian del valor inicial de la masa de líquido almacenado. (Casal, Montiel, Planas, & Vilchez, 1999)

Autor	Referencia	a	b	c	e
Gayle (1)	[BGAS89]	3,680	0,326	0,245	0,356
Gayle (2)	[BGAS89]	6,140	0,325	0,410	0,340
Brasie	[BGAS89]	3,800	0,333	0,300	0,333
Marshall	[BGAS89]	5,500	0,333	0,380	0,333
Roberts	[LEES86]	5,800	0,333	0,450	0,333
SRD	[BGAS89]	6,000	0,333	0,005	-
Fay-Lewis	[FAY77]	6,360	0,333	2,570	0,167
Hardee	[BGAS89]	6,240	0,333	1,110	0,167
Hasegawa	[BGAS89]	5,280	0,277	1,099	0,097
Hasegawa i Sato	[HASE78]	5,250	0,314	1,070	0,181
Moorhouse	[BGAS89]	5,330	0,327	0,923	0,303
TNO	[BGAS89]	6,480	0,325	0,852	0,260
Maurer	[LIHO82]	3,510	0,333	0,320	0,333
High	[LIHO82]	6,200	0,320	0,490	0,320
HSCC	[LIHO82]	6,450	0,333	5,530	0,333
API	[KAYE85]	5,330	0,327	1,089	0,327

Tabla XI. Constantes para cálculos de BLEVES. (Casal, Montiel, Planas, & Vilchez, 1999)

5.4.1.1 Masa Del Propano Líquido

$$M_c = V_o * \delta_{liquido@T^{\circ}C} \quad [9]$$

Donde:

M_c = masa del propano.

V_o = volumen operativo del tanque.

5.4.1.2 Diámetro De La Bola De Fuego

$$D = 6,14M_c^{0,325} \quad [10] \quad [\text{Constantes T.N.O.}]$$

Donde:

D = diámetro máximo (m).

M_c = masa total del combustible (kg).

5.4.1.3 Altura De La Bola De Fuego

$$H = 0,75D \quad [11] \quad [\text{Constantes T.N.O.}]$$

Donde:

H = altura del centro de la bola (m).

D = diámetro máximo (m).

5.4.1.4 Duración De La Bola De Fuego

$$t = 0,41M_c^{0,340} \quad [12] \quad [\text{Constantes T.N.O.}]$$

Dónde:

t = tiempo de duración (s).

M_c = masa total del combustible (kg).

Formulas tomadas de (BOTTA, 2011)

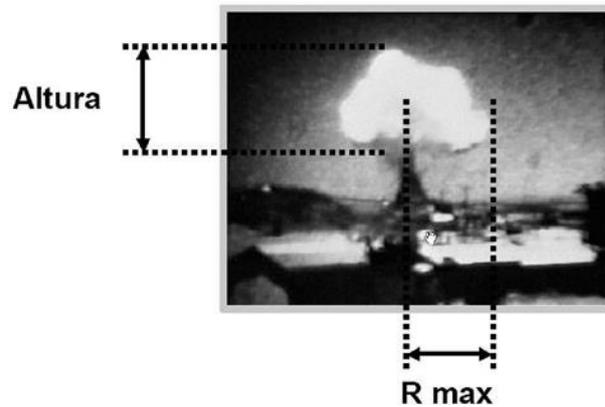


Figura 6. Representación de bola de fuego producida por la explosión de una BLEVE tomada de (BOTTA, 2011)

5.4.1.5 Distancia De La Llama Al Objetivo

Esta distancia determina la longitud desde la esfera de contención hasta el punto distante dado como dato.

$$X' = \sqrt{H^2 + d^2} - \frac{D}{2} \quad [13]$$

Donde:

X' = distancia de la llama al objeto. (m)

H = altura del suelo al centro de la bola de fuego. (m)

d = distancia horizontal de la explosión al objeto. (m)

D = diámetro máximo de la bola de fuego. (m)

5.4.1.6 Transmisibilidad Atmosférica

Este valor es necesario si se desea determinar la cantidad de calor un objeto a determinada distancia de la llama. En este caso si existe humo negro generado por la combustión del hidrocarburo afectara a la radiación total emitida. Su cálculo se fundamenta en la ecuación:

$$\tau = 2,02 (P_w \cdot X')^{-0.09} \quad [14]$$

Donde:

τ = transmisibilidad atmosférica

P_w = presión parcial del vapor de agua en el medio (Pa)

X' = Distancia de la llama al objetivo (m) Formulas tomada de la fuente.

(Bestratén & Turmo, 2015)

5.4.1.7 Factor De Vista

Se define como la fracción de la energía total radiante, emitida por la superficie de la llama que alcanza a un infinitésimo de la superficie de un objeto cercana a ella.

$$F = \frac{D^2}{4r^2} \quad [15]$$

Donde:

F = Factor de vista.

D = Diámetro de la bola de fuego.

r = Radio de la bola de fuego.

Formulas tomadas de (BAQUE & LEMA, 2010)

5.4.1.8 Poder Emisivo

Es la cantidad de calor emitido en forma de radiación por unidad de superficie de la llama. La radiación térmica de un incendio proviene tanto de los gases emitidos (vapor de agua, dióxido y monóxido de carbono) como de las partículas luminosas de ceniza.

$$E_p = \frac{\eta W H_c}{\pi D^2 t} \quad [16]$$

Donde:

E_p = poder emisivo (kW/M²).

H_c = calor de combustión (KJ . kg⁻¹)

η = coeficiente de radiación, valor usado es 0,25

W = Masa del combustible (kg)

t = tiempo (en segundos)

5.4.1.9 Intensidad De Radiación

$$I = \tau F E_p \quad [17]$$

Donde:

E_p = poder emisivo (kW/M²).

τ = coeficiente de transmisión atmosférica.

F = Factor geométrico de visión.

I = Intensidad media de radiación (kW/m²).

La intensidad de radiación considera la cantidad de energía que se propaga en determinado espacio. Formulas tomadas de (Bestratén & Turmo, 2015)

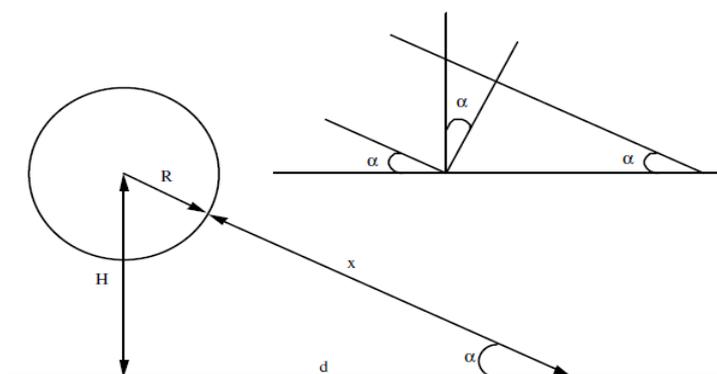


Figura 7. Ángulos usados para cálculo de factor de vista. Tomada de (Casal, Montiel, Planas, & Vilchez, 1999)

5.4.1.10 Dosis Térmica

Una vez calculada la irradiación térmica, hay que proceder al cálculo de la dosis de radiación térmica para personas expuestas. Una de las fórmulas más empleadas es la de Eisenberg:

$$dosis = t * l^{\frac{4}{3}} \quad [18]$$

Donde:

t = tiempo de exposición (s).

l = irradiación recibida (kW/m²).

Formula tomada de la fuente. (BOTTA, 2011)

5.4.1.11 Sobrepresión

$$f = 1 - e^{\left\{ -2,63 \cdot \frac{C_p}{H_v} \cdot (T_c - T_b) \left[1 - \left(\frac{T_c - T_0}{T_c - T_b} \right)^{0,38} \right] \right\}} \quad [19]$$

Donde:

f = Fracción de vaporización.

T_c = Temperatura crítica de la sustancia (K)

T_b = Temperatura de ebullición de la sustancia a presión atmosférica (K)

T_0 = Temperatura a la que se encuentra la sustancia en el momento de la Explosión (K)

C_p = Calor específico a presión constante J/kg °K

H_v = Entalpia de vaporización de la sustancia (KJ kg-1)

$$V^* = V + V_l \cdot f \cdot \left(\frac{\rho_l}{\rho_v}\right) \quad [20]$$

V = Volumen de vapor en el depósito antes de la explosión.

V_l = Volumen del líquido en el recipiente antes de la explosión (m3).

f = Fracción de vaporización.

ρ_l = Densidad del líquido a 27 °C kg/m3.

ρ_v = Densidad del vapor a 67 °C kg/m3.

$$W_{TNT} = \left(\frac{0,021 P V^*}{\gamma - 1}\right) \left[1 - \left(\frac{P_\alpha}{P}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right] \quad [21]$$

V^* = volumen del vapor dentro del depósito más el volumen de vapor generado en la vaporización, en m3.

P_α = Presión atmosférica (bar).

$\gamma = 1,14$ (Relaciones de calores específicos)

Formulas tomada de la fuente. (Casal, Montiel, Planas, & Vilchez, 1999)

$$(W_{TNT})_{sobrepresión} = \beta \cdot W_{TNT} \quad [22]$$

El método del TNT equivalente permite predecir, los daños ocasionados por la explosión de una nube de vapor no confinada, a partir de la masa de TNT que equivale a la cantidad de hidrocarburo β es utilizado con el valor de 0,4.

$$d_n = \frac{d}{(\beta \cdot W_{TNT})^{1/3}} = \frac{d}{((W_{TNT})_{sobrepresión})^{1/3}} \quad [23]$$

d_n = es la distancia normalizada (m.kg^{-1/3})

β = es la fracción de la energía liberada convertida en onda de sobrepresión

d = es la distancia real (desde el centro del epicentro) a la que se requiere saber la sobrepresión.

El valor de la sobrepresión se estima a partir de la masa de TNT equivalente. Aunque represente una imprecisión el diferenciar una BLEVE con el TNT, la equivalencia en poder explosivo da resultados precisos al someterlos a la prueba explosiva con hidrocarburos.

$$d_n = \frac{d}{(\beta \cdot W_{TNT})^{1/3}} = \frac{d}{((W_{TNT})_{sobrepresión})^{1/3}} \quad [23]$$

Formulas tomadas de (Casal, Montiel, Planas, & Vilchez, 1999)

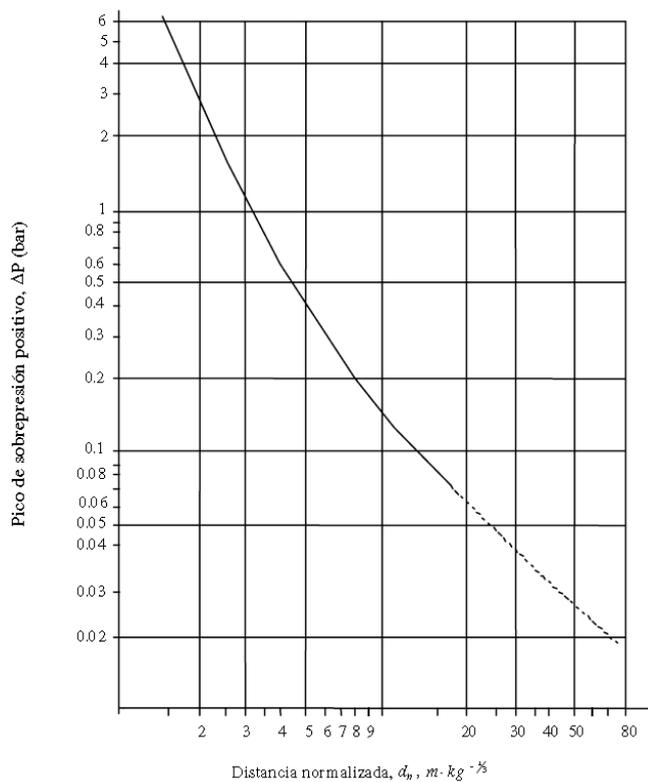


Gráfico 4. Curva para obtener el pico de sobrepresión usando el valor de la distancia normalizada, (Casal, Montiel, Planas, & Vilchez, 1999)

SOBREPRESIÓN (BAR)	DAÑOS OCASIONADOS
0,8	demolición total
0,7	destrucción de maquinaria pesada
0,48	destrucción completa de viviendas
0,4	daños irreversibles
0,17	destrucción de casas en un 50%
0,15	daños graves reparables
0,14	destrucción parcial de muros
0,05	daños estructurales menores
0,04	cristales rotos en un 90%
0,01	cristales rotos en un 50%

Tabla XII. Magnitud de daño de la onda de sobre presión. Tomada de la fuente (BAQUE & LEMA, 2010)

5.5 Cálculo De La Onda De Sobrepresión Y Radiación Térmica

En esta sección se calculará la onda de sobrepresión y la radiación térmica, producida por la explosión de los tanques criogénicos que contienen butano y propano, y las esferas que almacenan GLP. Se desea determinar cuál es el mayor alcance de la onda de sobrepresión y la radiación térmica causada por la explosión de las esferas y tanques criogénicos, que puede causar estragos en los alrededores de Monteverde, comparándolas a las distancias de 200, 300, 500, 1.000, 3.000, 5.000 metros, en caso de ocurrir un foco de calentamiento cerca a los depósitos que incrementa la temperatura de 27°C a 67° y provoca la elevación interna de la presión hasta los 14 bares para los tanques criogénicos y 30 bares para las esferas de GLP.

Para los tanques criogénicos se trabajan con la sustancia pura, tanto para el butano y propano respectivamente, pero las esferas estimaremos nuestros cálculos en el escenario que estén llenas de propano por ser la sustancia con mayor volatilidad que el butano.

$T_{\text{ambiente}} = 27^{\circ}\text{C}$

$T = 67^{\circ}\text{C}$

HR = 50 % (presión parcial del vapor de agua = 1155 Pa)

$\gamma = 1,14$

$\beta = 0,4$

Datos de las sustancia a las respectivas temperaturas y presiones.

PROPIEDADES DEL BUTANO
Hv= 362068,96 [J/kg]
tb= 272°K
Tcr= 242,98°K
To= 340°K
hc=49608[kj/Kg]
Presión 1 bar
densidad vapor a 27°C= 0,2332 [Kg/m3]
densidad líquido a 27°C= 0,2337 [Kg/m3]
densidad vapor a 67°C= 0,2056 [Kg/m3]
densidad líquido a 67°C= 0,2060 [Kg/m3]
Cv= 1741,379 [J/Kg°k]
Cp=1886,20 [J/Kg°K]
f=0,606
Presión 14 bar
densidad vapor a 27°C= 571,3 [Kg/m3]
densidad líquido a 27°C= 572,5 [Kg/m3]
densidad vapor a 67°C= 520,434 [Kg/m3]
densidad líquido a 67°C= 521,5 [Kg/m3]
Cv= 1906,88 [J/Kg°k]
Cp=2725,86 [J/Kg°K]
f=0,739

PROPIEDADES DEL PROPANO
Hv= 430000 [J/kg]
tb= 231°K
Tcr= 369,8°K
To= 340°K
hc=46000 [kj/Kg]
Presión 1 bar
densidad vapor a 27°C= 0,1767 [Kg/m3]
densidad líquido a 27°C= 0,1771 [Kg/m3]
densidad vapor a 67°C= 0,1558 [Kg/m3]
densidad líquido a 67°C= 0,1562 [Kg/m3]
Cv= 1677,21 [J/Kg°k]
Cp=1867,045 [J/Kg°K]
f=0,7142
Presión 14 bar
densidad vapor a 27°C= 489,72 [Kg/m3]
densidad líquido a 27°C= 490,9 [Kg/m3]
densidad vapor a 67°C= 26,28 [Kg/m3]
densidad líquido a 67°C= 26,28 [Kg/m3]
Cv= 1766,13 [J/Kg°k]
Cp=2178,636 [J/Kg°K]
f=0,7681
Presión 30 bar
densidad vapor a 27°C= 494,56 [Kg/m3]
densidad líquido a 27°C= 495,7 [Kg/m3]
densidad vapor a 67°C= 415,624 [Kg/m3]
densidad líquido a 67°C= 416,5 [Kg/m3]
Cv= 1857,97 [J/Kg°k]
Cp=3477,27 [J/Kg°K]
f=0,9030

Los resultados los podemos ver en los anexos:

- Anexo tabla II Cálculos de la bola de fuego
- Anexo tabla III cálculos de la onda de sobrepresión y la radiación térmica a 200 metros
- Anexo tabla IV cálculos de la onda de sobrepresión y la radiación térmica a 300 metros.
- Anexo tabla V cálculos de la onda de sobrepresión y la radiación térmica a 500 metros.
- Anexo tabla VI cálculos de la onda de sobrepresión y la radiación térmica a 1000 metros.
- Anexo tabla VII cálculos de la onda de sobrepresión y la radiación térmica a 3000 metros.
- Anexo tabla VIII cálculos de la onda de sobrepresión y la radiación térmica a 5000 metros.
- Anexo tabla IX cálculos de la onda de sobrepresión y la radiación térmica a 2200 metros.

CAPITULO VI

RESULTADOS

6.1 Evaluación De Ondas De Sobrepresión Y Radiación Térmica Por Ruptura De Los Tanques Criogénicos Y Las Esferas De Almacenamiento De La Planta De Gas De Monteverde

Según los cálculos realizados en el capítulo anterior, sobre magnitud de la explosión en las esferas y tanques criogénicos, se obtuvo los siguientes resultados de las dosis de radiación térmica y distancia normalizada de la onda de sobrepresión. Donde la los valores de la distancia normalizada se

ingresaron en el grafico 3, y luego estos valores se compararon con la tabla de magnitud de daños tabla XII. Para el caso de la radiación térmica los valores se comparan con los datos de la tabla X, y se estimó la radiación que podrán recibir las personas y objetos a las distancias establecidas en el problema.

Sustancia	Tanques	Distancia (m)	Dosis de radiación recibida (W/m ²)	(Wtnt) sobrepresión (kg)	dn (m kg ^{1/3})
propano	TQ T0401A	200	1533953,5	6814,0	10,6
propano	TQ T0501B	200	1534662,3	6476,5	10,7
butano	TQ T0602A	200	980013,7	3259,6	13,5
butano	TQ T0702B	200	978898,2	2825,2	14,2
propano	ESF. E1301B	200	41585080,6	1842,8	16,3
propano	ESF. E1301C	200	41584153,8	1861,4	16,3
propano	ESF. E1301A	200	41586007,0	1824,2	16,4

Tabla XIII Resultados de la onda de sobre presión y la radiación térmica a 200 metros (E. Colmont, J. Leon, S. Saca 2015).

Podemos observar en las tablas que la onda de sobrepresión está en un rango de distancia normaliza de 10-16 lo que nos dará un valores de 0,8 a 0,10 lo que nos representa, una magnitud de daños de destrucción parcial de muros a esta distancia de la explosión, lo que llama la atención es la radiación térmica producida con un rango de magnitudes de entre 1 a más de 40 millones de watts por metro cuadrado, dosis es muy alta que sobre pasa el límite de la tabla X.

Sustancia	Tanques	Distancia (m)	Dosis de radiación recibida (W/m ²)	(Wtnt) sobrepresión (kg)	dn (m kg ^{1/3})
propano	TQ T0401A	300	571116,01	6814,05	15,9
propano	TQ T0501B	300	571401,5	6476,6	16,1
butano	TQ T0602A	300	351156,3	3259,6	20,3
butano	TQ T0702B	300	350732,9	2825,3	21,3
propano	ESF. E1301B	300	49267231,7	1842,8	24,5
propano	ESF. E1301C	300	49263934,2	1861,4	24,4
propano	ESF. E1301A	300	49270528,1	1824,2	24,6

Tabla XIV. Resultados de la onda de sobre presión y la radiación térmica a 300 metros (E. Colmont, J. Leon, S. Saca 2015).

A esta distancia de 300 la distancia normalizada aumenta de rango de 15 a 24, pero su poder destructivo va disminuyendo y ahora su magnitud de daños se representara en daños estructurales menores y la radiación térmica disminuirá su magnitud de dosis pero muy poco siguiendo siendo letal para cualquier estructura y ser vivo.

Sustancia	Tanques	Distancia (m)	Dosis de radiación recibida (W/m ²)	(Wtnt) sobrepresión (kg)	dn (m kg ^{1/3})
propano	TQ T0401A	500	148142,6	6814,0	26,4
propano	TQ T0501B	500	148219,8	6476,5	26,8
butano	TQ T0602A	500	89175,4	3259,6	33,7
butano	TQ T0702B	500	89064,6	2825,2	35,4
propano	ESF. E1301B	500	40696715,6	1842,8	40,8
propano	ESF. E1301C	500	40690807,2	1861,4	40,7
propano	ESF. E1301A	500	40702622,9	1824,2	40,9

Tabla XV. Resultados de la onda de sobre presión y la radiación térmica a 500 metros (E. Colmont, J. Leon, S. Saca 2015).

A la distancia de 500 metro la onda de presión incrementa en rango de la distancia normaliza de 26 a 40, lo que nos representara una magnitud de daños de cristales ratos en un 90%. La radiación térmica sigue siendo el parámetro más crítico, pues su magnitud no desciende mucho, y sigue siendo letal para cualquier estructura y ser vivo.

Sustancia	Tanques	Distancia (m)	Dosis de radiación recibida (W/m ²)	(Wtnt) sobrepresión (kg)	dn (m kg ^{1/3})
propano	TQ T0401A	1.000	22112,5	6814,0	52,8
propano	TQ T0501B	1.000	22124,3	6476,5	53,7
butano	TQ T0602A	1.000	13191,6	3259,6	67,5
butano	TQ T0702B	1.000	13175,0	2825,2	70,8
propano	ESF. E1301B	1.000	14084700,6	1842,8	81,6
propano	ESF. E1301C	1.000	14081356,0	1861,4	81,3
propano	ESF. E1301A	1.000	14088045,0	1824,6	81,9

Tabla XVI. Resultados de la onda de sobre presión y la radiación térmica a 1000 metros (E. Colmont, J. Leon, S. Saca 2015).

A los 1.000 metros, como sucede en los casos anteriores, la magnitud de daño provocada por la onda de sobrepresión desciende, y la magnitud de daños estará representada en daños de cristales en un 50%. Aquí podemos observar que la que la magnitud de radiación térmica, disminuyó a más de la mitad para las esferas tomando como ejemplo el caso anterior (a 500 metros), la radiación sigue siendo letal para cualquier estructura y ser vivo, en cambio para los tanques criogénicos están en un rango de 10.000 a 20.000 watts por metro cuadrado dosis que puede resistir el hormigón armado y el cemento pero aún sigue siendo letal para cualquier ser vivo, podemos concluir que tanto la

radiación como la onda de sobrepresión, disminuirán su magnitud mientras más se alejen del centro de la explosión.

Sustancia	Tanques	Distancia (m)	Dosis de radiación recibida (W/m ²)	(Wtnt) sobrepresión (kg)	dn (m kg ^{1/3})
propano	TQ T0401A	3.000	1042,2	6814,0	158,3
propano	TQ T0501B	3.000	1042,7	6476,5	161
butano	TQ T0602A	3.000	620,3	3259,6	202,4
butano	TQ T0702B	3.000	619,5	2825,2	212,3
propano	ESF. E1301B	3.000	926354,5	1842,8	244,8
propano	ESF. E1301C	3.000	926088,9	1861,4	243,9
propano	ESF. E1301A	3.000	926620,1	1824,8	245,6

Tabla XVII. Resultados de la onda de sobre presión y la radiación térmica a 3000 metros (E. Colmont, J. Leon, S. Saca 2015).

A esta distancia la onda de sobrepresión ya no genera algún problema. Observamos que la radiación bajo drásticamente para las esferas de almacenamiento, en un rango de 920.000 a 930.000 de watts por metro cuadrado a este rango sigue siendo muy letal para cualquier estructura y ser vivo, en cambio los tanques criogénicos ahora están en un rango 600 a 1.400 watts por metro cuadrado, a este rango de dosis a ya puede ser soportado por cualquier ser vivo.

Sustancia	Tanques	Distancia (m)	Dosis de radiación recibida (W/m ²)	(Wtnt) sobrepresión (kg)	dn (m kg ^{1/3})
propano	TQ T0401A	5.000	251,0	6814,0	263,8
propano	TQ T0501B	5.000	251,2	6476,5	268,3
butano	TQ T0602A	5.000	149,4	3259,6	337,3
butano	TQ T0702B	5.000	149,2	2825,2	353,8
propano	ESF. E1301B	5.000	229245,5	1842,8	407,9
propano	ESF. E1301C	5.000	229178,7	1861,4	406,6
propano	ESF. E1301A	5.000	229312,2	1824,2	409,3

Tabla XVIII. Resultados de la onda de sobre presión y la radiación térmica a 5000 metros (E. Colmont, J. León, S. Saca 2015).

A 5000 metros de distancia del centro de la explosión, los resultados nos dan la información de que la onda de sobrepresión no arroja daños a niveles destructivos y la radiación térmica provocada por los tanques criogénicos entran en un rango de resistencia para los seres vivos. Mientras tanto las esferas pasan los 200.000 watts por metros cuadrados, superando la dosis resistencia de una pared de hormigón armado.

Sustancia	Tanques	Distancia (m)	Dosis de radiación recibida (W/m ²)	(Wtnt) sobrepresión (kg)	dn (m kg ^{1/3})
propano	TQ T0401A	22.000	4,04	6814,04	1160,8
propano	TQ T0501B	22.000	4,04	6476,5	1180,6
butano	TQ T0602A	22.000	2,4	3259,6	1484,2
butano	TQ T0702B	22.000	2,4	2825,2	1556,6
propano	ESF. E1301B	22.000	3734,4	1842,8	1794,9
propano	ESF. E1301C	22.000	3733,3	1861,4	1788,9
propano	ESF. E1301A	22.000	3735,5	1824,2	1801

Tabla XIX. Resultados de la onda de sobre presión y la radiación térmica a 2200 metros (E. Colmont, J. León, S. Saca 2015).

Recién a los 22 kilómetros de distancia del centro de la explosión, la onda de sobrepresión y la radiación térmica son inofensivas para cualquier estructura o ser vivo.

CONCLUSIONES

1. El área de estudio se encuentra localizada en la zona con mayor actividad sísmica en todo el país según la norma de la construcción 2011, que la ubica en la zona IV con un valor de aceleración máxima en la de 0,40g con probabilidad de excedencia del 10% en cincuenta años, valor que coincide con los análisis probabilísticos realizados previamente a la construcción de la planta. Según los resultados obtenidos en la caracterización de fallas realizada en el presente trabajo se identificaron tres fallas capaces de ocasionar daños en la estructura de la planta, las cuales están localizadas a 87 km (Falla estero salado), 53 km (Falla cascol) 118 km (Falla Puna) del punto de estudio que pueden generar eventos sísmicos.
2. Se determinó que la radiación térmica y el poder destructivo de las ondas de sobrepresión las cuales son letales para la estación de Monteverde así como para las comunas cercanas a la planta. Siendo la radiación térmica el parámetro más crítico en comparación con las ondas de sobrepresión, desde el área de estudio en el caso de verse afectadas las esferas de almacenamiento y los tanques criogénicos, queda demostrado en los resultados que la zona de seguridad para las personas y estructuras, va a depender de qué tipo de contenedor explote. El análisis fue realizado de manera individual para cada tanque de hidrocarburo, si el evento geológico causa la explosión de uno de los tanques criogénicos: T0401A,

T0501B, T0602A, T0702B sometidos a diferencial de presión de 0,1 bares a 14 bares y un cambio de temperatura de 27°C a 67°C, las ondas de sobrepresión alcanzarán una magnitud de destrucción hasta los 3000 metros desde la explosión de los contenedores criogénicos. Si la explosión es causada en la esferas de almacenamientos: E13013A, E13101B, E1301C, sometidas con un diferencial de presión 14 bares a 30 bares y un cambio de temperatura de 27°C a 67°C el alcance destructivo de las ondas de sobrepresión será destructivo hasta 3000 m y la dosis de radiación segura para cualquier ser vivo y estructura será hasta los 22000m, desde el punto en el que colisionaron las esferas de almacenamiento.

RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de paleosismología para determinar recurrencia de terremotos de subducción mayores a 8 grados
- Utilizar otros métodos para calcular BLEVE con el fin de efectuar una comparación entre los valores obtenidos.
- Calcular la magnitud de la explosión en caso de que todos los tanques sean afectados simultáneamente.
- Identificar claramente las áreas de riesgo especificando las vías de evacuación.
- Inspeccionar periódicamente las líneas de transporte desde los Navíos de carga de productos hasta las instalaciones de la planta
- Los resultados de este informe deben ser conocidos por las personas que trabajan en la planta y en las comunidades aledañas.
- Establecer un radio de afectación de por lo menos 25 kilómetros desde la planta.

ANEXOS

	Caracterización y Fallas Activas y Capaces	Tipo	Long. (Km)	Salto de Falla (mt)	Prof (Km)	Rumb	Buz	Distancia (Km)	Máximo desplaz. (m) desde relaciones empíricas propuestas por Well & Coppermish, 1994	Magnitud estimada desde relaciones empíricas propuestas por Leonard, 2010	PGA Takahashi, 2000
1a	Falla Carrizal	normal	3	0,42	20	NW	45N	20	0,41	5,13	0,09
1b	Falla Carrizal	normal	6	0,55	21	NW	45N	22	0,56	5,58	0,12
1c	Falla Carrizal	normal	6	0,56	21	NW	45N	28	0,56	5,58	0,12
1d	Falla Carrizal	normal	9	0,65	10	NW	45N	34	0,67	5,85	0,26
1e	Falla Carrizal	normal	2	0,36	21	NW	45N	49	0,34	4,86	0,07
1f	Falla Carrizal	normal	13	0,79	21	N40W	45N	52	0,78	6,09	0,18
2	Falla Cascol	dextral	83	178	12	N45W	90	53	1,78	7,25	0,41
3	Falla Chanduy	normal	36	124	24	N45E	N	37	1,23	6,77	0,23
4	Falla Churute	normal	33	119	12	N50W	S	102	1,18	6,71	0,35
5a	Falla Colonche	inversa	6	0,56	25	N120E	N	23	0,56	5,51	0,10
5b	Falla Colonche	inversa	13	0,89	20	N120E	N	61	0,78	6,02	0,17
5c	Falla Colonche	inversa	28	110	21	N120E	N	51	1,10	6,53	0,23
5d	Falla Colonche	inversa	6	0,55	12	N120E	N	35	0,56	5,51	0,19
5e	Falla Colonche	inversa	9	0,92	12	N120E	N	23	0,67	5,78	0,22
5f	Falla Colonche	inversa	12	0,75	16	N120E	N	28	0,76	5,97	0,20
5g	Falla Colonche	inversa	31	115	21	N120E	N	61	1,15	6,60	0,24
6	Falla Domito	normal	39	128	16	N10E	N	112	1,27	6,82	0,31
7	Falla Esperanza	normal	21	0,97	20	N40W	N	128	0,97	6,41	0,22
8	Falla Estero Salado	normal	99	192	12	NNE	80S	87	1,93	7,43	0,43
9	F. Golfo de Guayaquil	normal	24	104	26	N30E	N	138	1,03	6,50	0,19
10	Falla Jambeli	dextral	30	113	12	N50E	90	125	1,14	6,58	0,33
11a	Falla Jipijapa	normal	46	137	12	N10E	40E	73	1,37	6,93	0,38
11b	Falla Jipijapa	normal	10	0,68	10	N20E	40E	64	0,70	5,92	0,27
12a	Falla La Cruz	normal	6	0,87	16	N40W	45S	39	0,56	5,58	0,16
12b	Falla La Cruz	normal	27	108	10	N40W	45S	39	1,08	6,58	0,36
12c	Falla La Cruz	normal	8	0,9	10	N40W	45S	66	0,63	5,77	0,25
12d	Falla La Cruz	normal	3	0,44	10	N40W	45S	62	0,41	5,13	0,17
13	Falla Las Delicias	normal	17	0,89	26	N10E	40E	26	0,88	6,27	0,16
14	Falla Pallatanga	dextral	57	151	12	NNE	90	135	1,51	7,00	0,38
15	Falla Posorja	normal	59	154	17	N50E	S	94	1,53	7,09	0,34
16	Falla Puna	dextral	50	142	10	NE	90	118	1,42	6,91	0,40
17	Falla Punta Salinas	dextral	17	0,88	18	N40E	90	116	0,88	6,20	0,21
18a	Falla San Jacinto	normal	9	0,66	33	N60W	S	43	0,67	5,85	0,10
18b	Falla San Jacinto	normal	2	0,37	10	N20W	S	50	0,34	4,86	0,14
18c	Falla San Jacinto	normal	2	0,37	10	N20W	S	49	0,34	4,86	0,14
19a	Falla Santa Clara	dextral	23	101	18	NE	90	123	1,01	6,40	0,24
19b	Falla Santa Clara	dextral	18	0,9	18	NE	90	123	0,91	6,24	0,22
20	Falla Tenguel	normal	20	0,95	12	N30W	N	112	0,95	6,38	0,30
21a	F. Zambapala-Lechuza	dextral	9	0,68	25	NE	90	114	0,67	5,78	0,12
21b	F. Zambapala-Lechuza	dextral	11	0,72	25	NE	90	114	0,73	5,91	0,13
21c	F. Zambapala-Lechuza	dextral	2	0,35	25	NE	90	113	0,34	4,79	0,06
21d	F. Zambapala-Lechuza	dextral	5	0,51	25	NE	90	112	0,51	5,39	0,09
21e	F. Zambapala-Lechuza	dextral	9	0,68	25	NE	90	110	0,67	5,78	0,12
21f	F. Zambapala-Lechuza	dextral	21	0,96	12	NE	90	116	0,97	6,34	0,30

Tabla I Caracterización de fallas activas a 200 km a la redonda del sitio de estudio.

sustancia	tanques	CAPACIDAD VOLUMETRICA (M ³)	Porcentaje operativo (%)	VOLUMEN liquido OPERATIVO (M ³)	Volumen gas, m ³	presión interna del tanque al momento de la explosión (bar)	densidad del vapor a 27°C y presión 0,1 bar (kg/m ³) y para las esferas 14,0 bar	DENSIDAD Del líquido A 27°C y presión 0,1 bar(kg/m ³) y para las esferas 14,0 bar	W, MASA LIQ [Mc] (kg)	diámetro máximo D (m)	tiempo t (seg)	altura H (m)
propano	TQ T0401A	32700	0,4515	14764,05	17936	14	0,1767	0,1771	5784	102,5	7,8	76,9
propano	TQ T0501B	32700	0,6446	21078,42	11622	14	0,1767	0,1771	5787	102,6	7,8	76,9
butano	TQ T0602A	14900	0,2279	3395,71	11504	14	0,2337	0,2332	3480	86,9	6,6	65,2
butano	TQ T0702B	14900	0,7111	10595,39	4305	14	0,2337	0,2332	3477	86,9	6,6	65,2
propano	ESF. E1301B	3180	0,6	1908	1272	30	489,72	490,9	1559561	632,3	52,3	474,2
propano	ESF. E1301C	3180	0,5	1590	1590	30	489,72	490,9	1559186	632,2	52,3	474,2
propano	ESF. E1301A	3180	0,7	2226	954	30	489,72	490,9	1559936	632,3	52,3	474,2

Tabla II Cálculos de bola de fuego

sustancia	tanques	\uparrow (adimensional)	factor geométrico de vista F (adimensional)	Poder de combustión kJ/kg	poder emisivo Ep (kW/m ²)	intensidad radiación térmica I (kW/m ²)	altura/ d	Θ ángulo (°)	cos (Θ)	radiación recibida (W/m ²) I cos Θ	dosis de radiación recibida (W/m ²)	V*	Wtnt (kg)	(Wtnt) sobrepresión (kg)	dn (m kg ^{1/3})
propano	TQ T0401A	0,677	0,057	46000	258,3	10	0,38	21	0,93	9343,3	1533953,5	29305,7	17035,1	6814,0	10,6
propano	TQ T0501B	0,6771	0,057	46000	258,3	10	0,38	21	0,93	9345,5	1534662,3	27854,0	16191,3	6476,5	10,7
butano	TQ T0602A	0,6756	0,043	49608	277,1	8	0,33	18,1	0,95	7600,1	980013,7	14018,9	8149,0	3259,6	13,5
butano	TQ T0702B	0,6756	0,043	49608	277,1	8	0,33	18,1	0,95	7595,6	978898,2	12150,6	7063,0	2825,2	14,2
propano	ESF. E1301B	0,6651	0,377	46000	273,1	68,5	2,37	67,1	0,39	26638,5	41585080,6	2998,5	4606,9	1842,8	16,3
propano	ESF. E1301C	0,6651	0,377	46000	273,1	68,5	2,37	67,1	0,39	26639,7	41584153,8	3028,8	4653,4	1861,4	16,3
propano	ESF. E1301A	0,6651	0,377	46000	273,1	68,5	2,37	67,1	0,39	26637,3	41586007,0	2968,3	4560,4	1824,2	16,4

Tabla III. Cálculos de la onda de sobrepresión y la radiación térmica a 200 metros

sustancia	tanques	\uparrow (adimensional)	factor geométrico de vista F (adimensional)	Poder de combustión kJ/kg	poder emisor Ep (kW/m ²)	intensidad radiación térmica I (kW/m ²)	altura/ d	Θ ángulo (°)	cos (Θ)	radiación recibida (W/m ²) I cos Θ	dosis de radiación recibida (W/m ²)	V*	Wtnt (kg)	(Wtnt) sobrepresión (kg)	dn (m kg ^{1/3})
propano	TQ T0401A	0,6495	0,027	46000	258,3	4,6	0,26	14,4	0,97	4453,3	571116,018	29305,70	17035,12	6814,0	15,8
propano	TQ T0501B	0,6495	0,027	46000	258,3	4,6	0,26	14,4	0,97	4454,4	571401,499	27854,01	16191,26	6476,5	16,1
butano	TQ T0602A	0,6484	0,020	49608	277,1	3,6	0,22	12,3	0,98	3519,7	351156,3	14018,86	8149,03	3259,6	20,2
butano	TQ T0702B	0,6484	0,020	49608	277,1	3,6	0,22	12,3	0,98	3517,5	350732,9	12150,64	7063,05	2825,2	21,2
propano	ESF. E1301B	0,6527	0,317	46000	273,1	56,6	1,58	57,7	0,53	30250,1	49267231,7	2998,54	4606,91	1842,8	24,5
propano	ESF. E1301C	0,6527	0,317	46000	273,1	56,6	1,58	57,7	0,53	30250,5	49263934,2	3028,79	4653,38	1861,4	24,4
propano	ESF. E1301A	0,6527	0,317	46000	273,1	56,6	1,58	57,7	0,53	30249,8	49270528,1	2968,30	4560,45	1824,2	24,6

Tabla IV. Cálculos de la onda de sobrepresión y la radiación térmica a 300 metros

sustancia	tanques	\uparrow (adimensional)	factor geométrico de vista F (adimensional)	Poder de combustión kJ/kg	poder emisor Ep (kW/m ²)	intensidad radiación térmica I (kW/m ²)	altura/ d	Θ ángulo (°)	cos (Θ)	radiación recibida (W/m ²) I cos Θ	dosis de radiación recibida (W/m ²)	V*	Wtnt (kg)	(Wtnt) sobrepresión (kg)	dn (m kg ^{1/3})
propano	TQ T0401A	0,6174	0,010	46000	258,3	1,6	0,15	8,7	0,99	1618,6	148142,561	29305,70	17035,12	6814,0	26,4
propano	TQ T0501B	0,6174	0,010	46000	258,3	1,6	0,15	8,7	0,99	1619,0	148219,762	27854,01	16191,26	6476,5	26,8
butano	TQ T0602A	0,6166	0,007	49608	277,1	1,3	0,13	7,4	0,99	1259,1	89175,4	14018,86	8149,03	3259,6	33,7
butano	TQ T0702B	0,6166	0,007	49608	277,1	1,3	0,13	7,4	0,99	1258,2	89064,6	12150,64	7063,05	2825,2	35,4
propano	ESF. E1301B	0,6284	0,210	46000	273,1	36,1	0,95	43,5	0,73	26210,6	40696715,6	2998,54	4606,91	1842,8	40,8
propano	ESF. E1301C	0,6284	0,210	46000	273,1	36,1	0,95	43,5	0,73	26209,3	40690807,2	3028,79	4653,38	1861,4	40,7
propano	ESF. E1301A	0,6284	0,210	46000	273,1	36,1	0,95	43,5	0,73	26211,8	40702623	2968,30	4560,45	1824,2	40,9

Tabla V cálculos de la onda de sobrepresión y la radiación térmica a 500 metros

sustancia	tanques	\uparrow (adimensional)	factor geométrico de vista F (adimensional)	Poder de combustión kJ/kg	poder emisor Ep (kW/m ²)	intensidad radiación térmica I (kW/m ²)	altura/ d	Θ ángulo (°)	cos (Θ)	radiación recibida (W/m ²) I cos Θ	dosis de radiación recibida (W/m ²)	V*	Wtnt (kg)	(Wtnt) sobrepresión (kg)	dn (m kg ^{1/3})
propano	TQ T0401A	0,5776	0,003	46000	258,3	0,4	0,08	4,4	1,00	388,7	22112,5437	29305,70	17035,12	6814,0	52,8
propano	TQ T0501B	0,5776	0,003	46000	258,3	0,4	0,08	4,4	1,00	388,8	22124,2686	27854,01	16191,26	6476,5	53,7
butano	TQ T0602A	0,5773	0,002	49608	277,1	0,3	0,07	3,7	1,00	300,3	13191,6	14018,86	8149,03	3259,6	67,5
butano	TQ T0702B	0,5773	0,002	49608	277,1	0,3	0,07	3,7	1,00	300,1	13175,0	12150,64	7063,05	2825,2	70,8
propano	ESF. E1301B	0,5874	0,082	46000	273,1	13,1	0,47	25,4	0,90	11826,6	14084700,6	2998,54	4606,91	1842,8	81,6
propano	ESF. E1301C	0,5874	0,082	46000	273,1	13,1	0,47	25,4	0,90	11825,2	14081356	3028,79	4653,38	1861,4	81,3
propano	ESF. E1301A	0,5874	0,082	46000	273,1	13,1	0,47	25,4	0,90	11828,0	14088045	2968,30	4560,45	1824,2	81,9

Tabla VI cálculos de la onda de sobrepresión y la radiación térmica a 1000 metros

sustancia	tanques	\uparrow (adimensional)	factor geométrico de vista F (adimensional)	Poder de combustión kJ/kg	poder emisivo Ep (kw/m ²)	intensidad radiación térmica I (kW/m ²)	altura/ d	Θ ángulo (°)	cos (Θ)	radiación recibida (W/m ²) I cos Θ	dosis de radiación recibida (W/m ²)	V*	Wtnt (kg)	(Wtnt) sobrepresión (kg)	dn (m kg ^{1/3})
propano	TQ T0401A	0,5217	0,00029	46000	258,3	0,0393	0,03	1,5	1,00	39,3	1042,19	29305,70	17035,12	6814,0	158,3
propano	TQ T0501B	0,5217	0,00029	46000	258,3	0,0393	0,03	1,5	1,00	39,3	1042,74	27854,01	16191,26	6476,5	161,0
butano	TQ T0602A	0,5216	0,00021	49608	277,1	0,0303	0,02	1,2	1,00	30,3	620,3	14018,86	8149,03	3259,6	202,4
butano	TQ T0702B	0,5216	0,00021	49608	277,1	0,0303	0,02	1,2	1,00	30,3	619,5	12150,64	7063,05	2825,2	212,3
propano	ESF. E1301B	0,5255	0,01083	46000	273,1	1,5550	0,16	9,0	0,99	1535,9	926354,5	2998,54	4606,91	1842,8	244,8
propano	ESF. E1301C	0,5255	0,01083	46000	273,1	1,5547	0,16	9,0	0,99	1535,7	926088,9	3028,79	4653,38	1861,4	243,9
propano	ESF. E1301A	0,5255	0,01084	46000	273,1	1,5552	0,16	9,0	0,99	1536,1	926620,1	2968,30	4560,45	1824,2	245,6

Tabla VII Cálculos de la onda de sobrepresión y la radiación térmica a 3000 metros

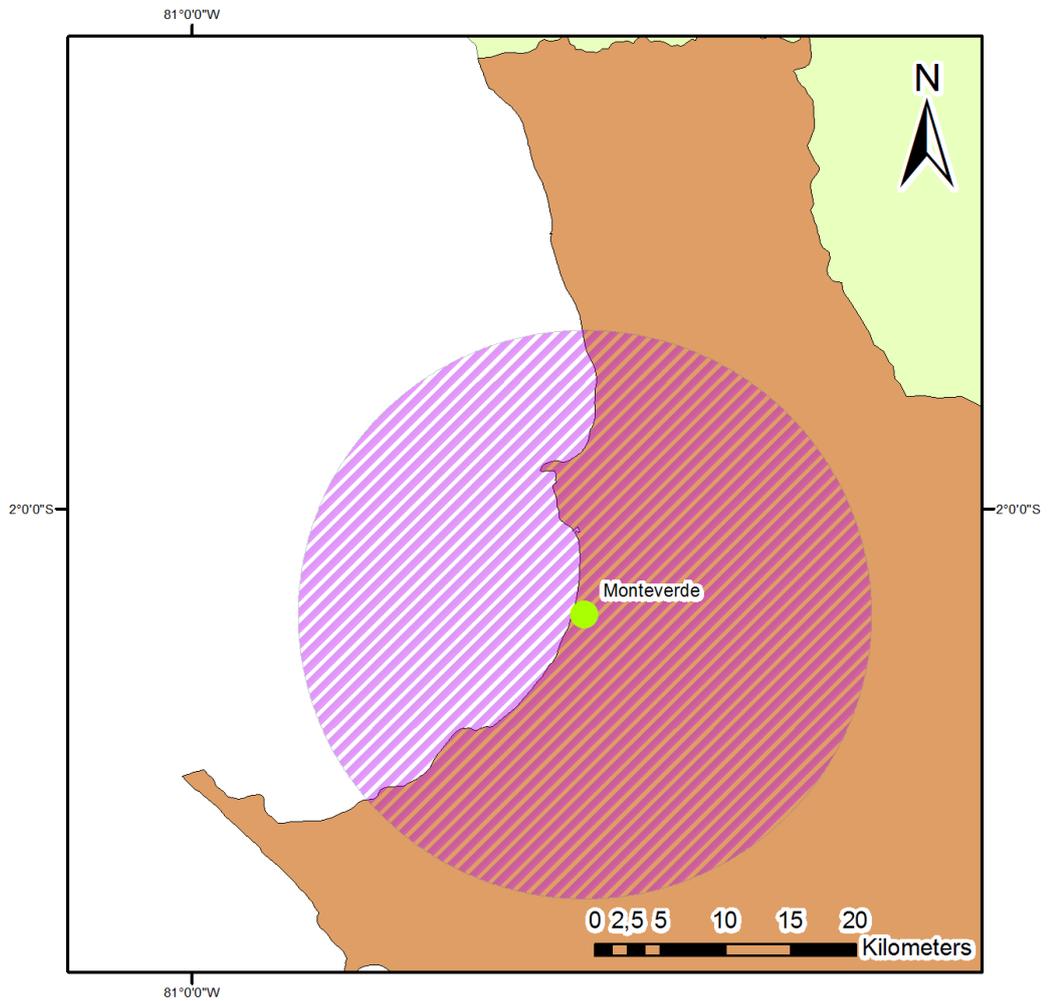
sustancia	tanques	↑ (adimensional)	factor geométrico de vista F (adimensional)	Poder de combustión kJ/kg	poder emisor Ep (kW/m ²)	intensidad radiación térmica I (kW/m ²)	altura/ d	Θ ángulo (°)	cos (Θ)	radiación recibida (W/m ²) I cos Θ	dosis de radiación recibida (W/m ²)	V*	Wtnt (kg)	(Wtnt) sobrepresión (kg)	dn (m kg ^{1/3})
propano	TQ T0401A	0,4980	0,00011	46000	258,3	0,0135	0,02	0,9	1,00	13,5	251,05	29305,70	17035,12	6814,0	263,8
propano	TQ T0501B	0,4980	0,00011	46000	258,3	0,0135	0,02	0,9	1,00	13,5	251,18	27854,01	16191,26	6476,5	268,3
butano	TQ T0602A	0,4979	0,00008	49608	277,1	0,0104	0,01	0,7	1,00	10,4	149,4	14018,86	8149,03	3259,6	337,3
butano	TQ T0702B	0,4979	0,00008	49608	277,1	0,0104	0,01	0,7	1,00	10,4	149,2	12150,64	7063,05	2825,2	353,8
propano	ESF. E1301B	0,5002	0,00396	46000	273,1	0,5413	0,09	5,4	1,00	538,9	229245,5	2998,54	4606,91	1842,8	407,9
propano	ESF. E1301C	0,5002	0,00396	46000	273,1	0,5412	0,09	5,4	1,00	538,8	229178,7	3028,79	4653,38	1861,4	406,6
propano	ESF. E1301A	0,5002	0,00396	46000	273,1	0,5414	0,09	5,4	1,00	539,0	229312,2	2968,30	4560,45	1824,2	409,3

Tabla VIII Cálculos de la onda de sobrepresión y la radiación térmica a 5000 metros

sustancia	tanques	\uparrow (adimensional)	factor geométrico de vista F (adimensional)	Poder de combustión kJ/kg	poder emisivo Ep (kw/m ²)	intensidad radiación térmica I (kW/m ²)	altura/ d	Θ ángulo (°)	cos (Θ)	radiación recibida (W/m ²) I cos Θ	dosis de radiación recibida (W/m ²)	V*	Wtnt (kg)	(Wtnt) sobrepresión (kg)	dn (m kg ^{1/3})
propano	TQ T0401A	0,4355	0,00001	46000	258,3	0,0006	0,0035	0,2	1,00	0,6	4,04	29305,70	17035,12	6814,0	1160,8
propano	TQ T0501B	0,4355	0,00001	46000	258,3	0,0006	0,0035	0,2	1,00	0,6	4,04	27854,01	16191,26	6476,5	1180,6
butano	TQ T0602A	0,4355	0,00000	49608	277,1	0,0005	0,0030	0,2	1,00	0,5	2,4	14018,86	8149,03	3259,6	1484,2
butano	TQ T0702B	0,4355	0,00000	49608	277,1	0,0005	0,0030	0,2	1,00	0,5	2,4	12150,64	7063,05	2825,2	1556,6
propano	ESF. E1301B	0,4360	0,00021	46000	273,1	0,0246	0,0216	1,2	1,00	24,6	3734,4	2998,54	4606,91	1842,8	1794,9
propano	ESF. E1301C	0,4360	0,00021	46000	273,1	0,0246	0,0216	1,2	1,00	24,6	3733,3	3028,79	4653,38	1861,4	1788,9
propano	ESF. E1301A	0,4360	0,00021	46000	273,1	0,0246	0,0216	1,2	1,00	24,6	3735,5	2968,30	4560,45	1824,2	1801,0

Tabla IX cálculos de la onda de sobrepresión y la radiación térmica a 22000 metros

MAPA DE RADIACION TERMICA

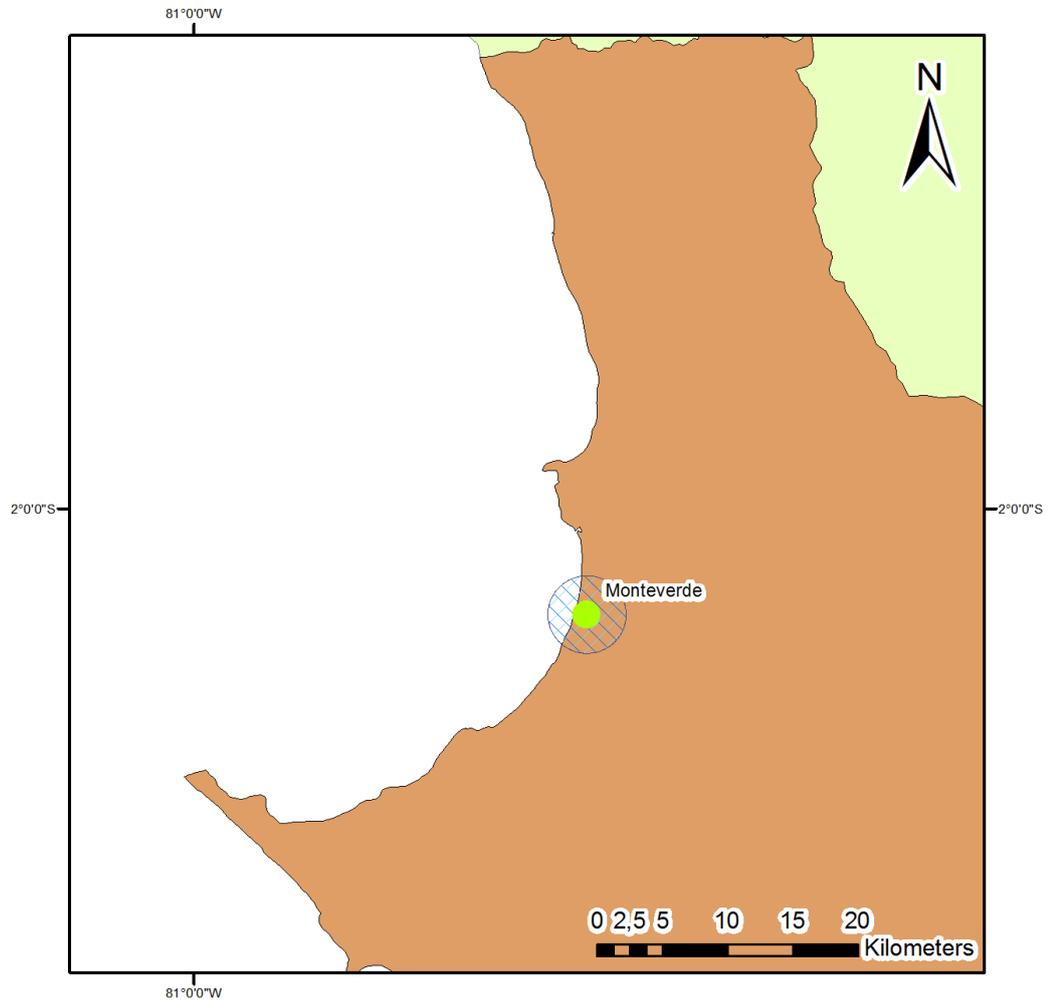


Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984



Mapa I: Mapa de afectación por la onda de radiación térmica.

MAPA DE ONDA DE SOBREPRESION



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984



Mapa II: Mapa de afectación por la onda de sobrepresión.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Alberdi, J. B. (s.f.). *Bleves prevencion y respuestas*. Buenos aires: ciquime.
- 2) Baque, e., & Lema, J. C. (8 de marzo de 2010). Plan de gestión de riesgos geológicos y de infraestructura para la poblacion de monteverde desde el analisis estructural del complejo de gas monteverde. santa elena, santa elena, ecuador: upse.
- 3) Benito, B., & Jimenez, M. (s.f.). *Peligrosidad Sismica*. E.U.I.T. de Topografia (UPM).
- 4) Bestratén, M., & Turmo, E. (29 de 01 de 2015). *www.insht.es*. Obtenido de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_293.pdf
- 5) BOTTA, N. A. (2011). *Dinamicas de las explosiones industriales*. Rosario: Red proteger.
- 6) Casal, C., Montiel, H., Planas, E., & Vilchez, J. (1999). *Analisis De Riesgos En Instalaciones Industriales*. Barcelona: Edicions UPC.
- 7) CERESIS. (2014). *Catalogo de terremotos para America del Sur. Datos de hipocentros e intensidades. Ecuador*.
- 8) Chunga, K. (2010). *Terremoti crostali e zonazione sismica dell'Ecuador attraverso l'integrazione dei dati geologici, sismologici e morfostrutturali*. Como.

- 9) Cruz, d. c. (18 de mayo de 2009). Estudio de la onda de presión y la radiación térmica producida por la explosión tipo BLEVE en tanques de almacenamiento de GLP. Bucaramanga, Santander, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- 10) Demoraes, F., & D'Ercole, R. (2001). *Cartografía de riesgos y capacidades en el Ecuador*. Quito.
- 11) PETROECUADOR EP. (2014). *Análisis cuantitativos de riesgos (ACR) para la planta de almacenamiento de gas Monteverde*. Monteverde-Santa Elena.
- 12) Turmo, E. (14 de febrero de 2015). *www.insht.es*. Obtenido de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_326.pdf
- 13) Universidad Naval "Comandante Rafael Morán Valverde". (2008). *Estudios Geológicos, Geotécnicos y de Riesgo Sísmico para el proyecto: "Terminal marítimo y planta de almacenamiento de GLP en Monteverde, Provincia de Santa Elena"*. Guayaquil.
- 14) van den Berg, b., & van swaaij, w. (2005). Methods for the calculation of Physical Effects "yellow book". En *Vapour cloud explosion* (pág. capítulo 5 del "yellow book"). Holanda: Publicatierreeks Gevaarlijke Stoffen 2.
- 15) Wells, D. L., & Coppersmith, K. J. (1994). *New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area surface displacement: Bulletin of Seismological Society of America* (Vol. 84).