

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“Evaluación de potenciales daños de la Tubería de poliducto del cantón Esmeraldas: Criterios geológicos para identificar sitios críticos y propuestas de variantes”

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN PETRÓLEOS

Presentado por:

Antonio Roque Pencheva

José Luis Castillo Gámez

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO – 2015

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Escuela Superior Politécnica del Litoral por la formación académica y moral, Decana Dra. Elizabeth Peña Carpio por darnos la oportunidad de realizar nuestra Tesina, a nuestro tutor Dr. Kervin Chunga Moran por ser nuestro guía y cooperador incondicional.

A los profesores de la facultad Ciencias De La Tierra por brindarnos sus conocimientos.

DEDICATORIA

A mi padre y a mi madre por apoyarme en todo momento, mis hermanas por su cariño, familiares y amigos por su motivación.

GRACIAS

Antonio Roque Pencheva

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de manera especial a mis padres: mi madre Abogada Cecibel María Gámez Batioja, que ha estado conmigo en todo momento y ha sido mi soporte fundamental, mi ejemplo y guía; mi padre Economista José Castillo Ruano, que siempre me aconsejó y me dio ánimos para superarme; Abuelos: Dannis Batioja Quiñónez, Gustavo Ruano Mosquera (+), Luisa Elena Bustos; a mis tíos: Yoconda Araceli Gámez Batioja, Susana María Gámez Batioja; familia en general y amigos quienes siempre me dieron su apoyo y me consideran. GRACIAS

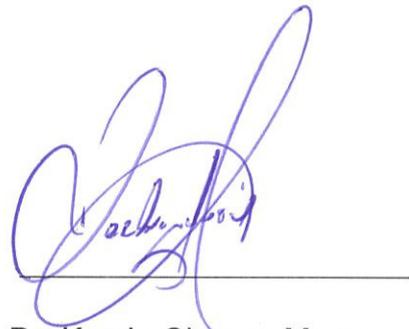
José Luis castillo Gámez

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Dra. Elizabeth Peña Carpio

Decana de la FICT



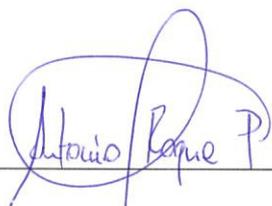
Dr. Kervin Chunga Moran

Profesor de la materia Integradora

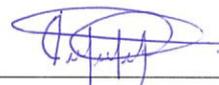
DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de éste Informe de Materia Integradora, nos corresponde exclusivamente, y el patrimonio intelectual del mismo a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Antonio Roque Pencheva



José Luis Castillo Gámez

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se realizó una evaluación de potenciales daños de la Tubería del poliducto en el cantón Esmeraldas con criterios geológicos para identificar sitios críticos y dar soluciones. Para desarrollo del mismo se dispone de información de varios programas que permiten ver los sismos históricos ocurridos en área de estudio, informes geológicos, mapas con la ayuda de google earth, libro de geomorfología, documentación de los PK's a analizar y archivo de costos.

El primer capítulo trata sobre la infraestructura de la Refinería Estatal de Esmeraldas y poliducto delimitando el área de estudio. El capítulo dos trata la caracterización geológica en donde se describirá su Litoestratigrafía y geomorfología. El capítulo tres da información de la sismicidad histórica en esta zona de Esmeraldas la cual puede causar algún factor de riesgo geológico secundario y afectar al poliducto.

El capítulo cuatro indica y describe los PK's críticos afectados por algún factor de riesgo geológico. El capítulo cinco propondrá una o varias soluciones para los PK's críticos afectados el capítulo seis se estimara los costos de las soluciones por último el capítulo 7 las respectivas conclusiones y recomendaciones.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| RESUMEN..... | IX |
| ÍNDICE GENERAL..... | XI |
| ABREVIATURAS..... | XII |
| ÍNDICE MAPAS..... | XIII |
| ÍNDICE FOTOS..... | XIV |
| ÍNDICE TABLAS..... | XV |
| CAPÍTULO 1..... | 1 |
| 1.INTRODUCCIÓN Y GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO..... | 1 |
| 1.1 Introducción..... | 1 |
| 1.2 Antecedentes..... | 3 |
| 1.3 Justificación del estudio..... | 5 |
| 1.4 Objetivo general..... | 5 |
| 1.4.1 Objetivos específicos..... | 6 |
| 1.5 Fases de investigación y metodología..... | 7 |
| 1.6 Área de estudio..... | 8 |
| 1.7 Infraestructura física de la refinería Esmeraldas y tubería de poliducto..... | 10 |

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 2..... | 12 |
| 2. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL SITIO DE ESTUDIO..... | 12 |
| 2.1 Litoestratigrafía formaciones geológicas que atraviesa la tubería..... | 14 |
| 2.2 Geomorfología litoral..... | 18 |
| CAPÍTULO 3..... | 23 |
| 3. SISMICIDAD EN ESMERALDAS..... | 23 |
| CAPÍTULO 4..... | 28 |
| 4. EVALUACIÓN GEOLÓGICA DE POTENCIALES SITIOS INESTABLES CON DAÑO DE LA TUBERÍA..... | 28 |
| 4.1 Identificación de sitios críticos desde análisis geológico..... | 28 |
| 4.1.1 PK-6+920..... | 30 |
| 4.1.2 PK-12+700..... | 34 |
| 4.1.3 PK-25..... | 42 |
| 4.2 Licuefacción..... | 46 |
| CAPÍTULO 5..... | 48 |
| 5. PROPUESTA DE VARIANTES..... | 48 |
| 5.1 PK-6+920..... | 48 |
| 5.2 PK-12+700..... | 52 |
| 5.3 PK-25..... | 55 |

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 6..... | 57 |
| 6. COSTO DE IMPLEMENTOS PARA SOLUCIÓN DE LOS PK'S AFECTADOS POR FACTORES GEOLÓGICOS..... | 57 |
| 6.1 Análisis de costo para PK-6+920..... | 58 |
| 6.2 Análisis de costo para PK-12+700..... | 60 |
| 6.3 Análisis de costo para PK-25..... | 62 |
| CAPÍTULO 7..... | 64 |
| 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 64 |
| 7.1 Conclusiones..... | 64 |
| 7.2 Recomendaciones..... | 66 |
| BIBLIOGRAFÍA | |
| ANEXOS | |

ABREVIATURAS

| | | |
|----------------|---|---|
| Bbls | = | Barriles |
| CDU | = | Unidad de destilación de crudo |
| CEPE | = | Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana |
| CERESIS | = | Reservas Recuperables de Gas (PCN) |
| DDV | = | Derecho de vía |
| FLOPEC | = | Flota petrolera ecuatoriana |
| GLP | = | Gas licuado de petróleo |
| IG | = | Instituto Geofísico de Quito |
| km | = | kilómetro |
| m | = | metro |
| MDT | = | Modelos de elevación digital del terreno |
| M _L | = | Escala sismológica de Richter |
| M _w | = | Escala sismológica de magnitud de momento |
| m.s.n.m | = | Metros sobre el nivel del mar |
| NEIC | = | Centro nacional de información de terremotos |
| OCP | = | Oleoductos de crudos pesados |
| PK | = | Punto kilómetro |
| RENSIG | = | Red sismológica del Instituto Geofísico de Quito |
| SOTE | = | Sistema del Oleoducto Transecuatoriano |
| UTM | = | Sistema de coordenadas universal transversal Mercator |
| WGS | = | Sistema Geodésico mundial |

ÍNDICE DE MAPAS

| | |
|--|----|
| Mapa I: Ubicación de la tubería del poliducto espacial en el terreno comprendido el cantón de la provincia de Esmeraldas..... | 9 |
| Mapa II: Mapa Geológico de Esmeraldas y Punta Galera indicando sitios críticos Pk-6+920 y Pk-12+700 | 13 |
| Mapa III: Extracto del mapa geológico de Esmeraldas y Punta Galera a escala 1:100.000 para parte del cantón Esmeraldas y parroquia Viche, indicando el sitio crítico de PK-25..... | 14 |
| Mapa IV: Mapa de altitudes para la provincia de Esmeraldas | 18 |
| Mapa V: Cuencas estructurales para Esmeraldas y separadas por el levantamiento de la cordillera de Viche..... | 20 |
| Mapa VI: Distribución espacial en el terreno de sismos obtenidos en el catálogo NEIC (centro nacional de información de terremotos) de los Estados Unidos de Norteamérica. La línea roja indica un radio de 50 Km desde cada lado de la tubería del poliducto..... | 26 |
| Mapa VII: Imagen satelital disponible en google-earth y trazado de variante propuesta desde la estación A (cruce de SOTE y Poliducto)..... | 50 |
| Mapa VIII: Mapa topográfico con variante del Pk-12+700 | 54 |
| Mapa IX: Mapa topográfico con variante de Pk- 25 | 56 |

INDICE DE FOTOS

| | |
|--|----|
| Foto 1 Vista panorámica de tubería que esta sobre el Pk-6+920. | 31 |
| Foto 2 Deslizamientos superficiales y desmoronamiento de estratos en el marcador kilométrico PK-6+920..... | 32 |
| Foto 3 Afectación de los soportes H por los deslizamientos y desmoronamientos de estratos PK-6+920..... | 33 |
| Foto 4 Erosión causada por el estero Dile. | 36 |
| Foto 5 El punto PK-12 donde se están construyendo un soporte de fortalecimiento para la tubería..... | 37 |
| Foto 6 Ampliación de paredes para controlar el cauce del río, apilamiento de rocas y tierra..... | 38 |
| Foto 7 Panorama del soporte de tubería en suspensión (construcción). | 40 |
| Foto 8 Vista panorámica del marcador kilométrico PK-25 y del deslizamiento de Tabete del 24 de abril 2013..... | 42 |
| Foto 9 Derecho de vía sobre la colina Tabete | 43 |
| Foto 10 Escarpes activos de deslizamientos del margen fluvial provocando inestabilidad para los soportes de la tubería del poliducto en la parte inferior se observa el cauce del estero Inés..... | 51 |
| Foto 11 Vista panorámica de los derechos de vías del poliducto y la propuesta variante paralela a la tubería del SOTE. | 52 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla I Rasgos geomorfológicas para las estaciones kilométricas desde el PK-00 hasta el PK-36, a lo largo de la tubería del poliducto. | 22 |
| Tabla II Densidad de sismos históricos para intervalos de magnitudes mayores a 4 desde el análisis del catálogo del Instituto Geofísico de Quito. | 27 |
| Tabla III Densidad de sismos históricos e instrumentales para intervalos de magnitudes iguales o mayores a 4 desde los análisis del catálogo NEIC y CERESIS | 27 |
| Tabla IV Coordenadas UTM (WGS 1984, datum 17 sur) de los sitios de mayor inestabilidad con potencial de daño a la tubería del poliducto, del cantón Esmeraldas | 29 |
| Tabla V: Muestras de perforación PK-6+920. | 34 |
| Tabla VI: Muestras de perforación PK-12+700. | 41 |
| Tabla VII: Muestra de perforación PK-25. | 46 |
| Tabla VIII Costo unitario de tubería del poliducto. | 58 |
| Tabla IX Costo de tubería de variante PK-6+920 | 60 |
| Tabla X Costo de tubería de variante PK-12+700. | 62 |
| Tabla XI Costo de tubería de variante de PK-25. | 63 |

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN Y GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.1 Introducción

La Refinería Estatal Esmeraldas construida en el año de 1975 con capacidad de diseño para procesar 110.000 barriles por día (BPD) de crudo pesado, es la más importante infraestructura de refinación que tiene el Ecuador, se encuentra asentada a una distancia de 7 km oeste de la ciudad de Esmeraldas, en la vía Atacames está a 300 metros del río Teaone, 3 Km del río Esmeraldas y 3,8 km de la línea de costa del Océano Pacífico.

El transporte de derivados que se procesa en la refinería su mayoría se realiza por el poliducto actualmente de la empresa Petrocomercial, que cuenta con una red de poliductos ubicados de manera estratégica e interconectados entre sí los cuales atraviesan las tres

regiones del Ecuador con una extensión de aproximadamente 1.300 kilómetros. En el año de 1981 CEPE (Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana) inaugura e inicia operaciones del poliducto Esmeraldas-Quito en donde se transportan los siguientes derivados: gasolina súper y extra, diesel y destilado 1, diesel premium y jet fuel. (Petroecuador, 2015)

El poliducto en el cantón Esmeraldas se encuentra sobre zonas de colina que no sobrepasan los 200 metros sobre nivel de mar y zonas de terrazas altas y bajas. Los principales rasgos geológicos identificados son: subsidencia o asentamiento del terreno, deslizamiento o derrumbes de estratos rocosos, fracturamiento o diaclasamiento en el substrato rocoso, planos de fallas geológicas antiguas que podrían direccionar potenciales deslizamientos por gravedad considerando también la alta tasa de precipitación en épocas invernales.

En la sismotectónica Esmeraldas es una provincia ubicada en la costa norte de Ecuador, en una zona con alta probabilidad de ocurrencia de terremotos, esto se debe a que sus costas y todo el perfil costero ecuatoriano se encuentra cerca de lo que se conoce con el nombre de zona de subducción en un área donde dos de las 16 placas tectónicas colisionan creando una gran presión la una

sobre la otra. Es decir el sitio en estudio puede ser afectado por fuertes terremotos de subducción y por terremotos moderados pero locales, a una distancia cercana a la tubería. Altas precipitaciones pueden ser causantes de la actividad de potenciales deslizamientos, todos estos rasgos son analizados en esta tesina.

1.2 Antecedentes

En el Ecuador en los diferentes medios de transportes de crudo o derivado como OCP, SOTE y poliducto los derrames o fugas son causados generalmente por factores de riesgo geológico, corrosión, tuberías viejas y sin mantenimiento, el ser humano entre otros lo que ha ocasionado desastres ambientales e incalculables pérdidas económicas.

Uno de los principales causantes y el que mayor desastre ocasionó para los sistemas de transportes de hidrocarburos son los problemas de riesgo geológico en donde entre los más conocidos tenemos:

El incendio ocurrido en la refinería de Esmeraldas el 26 de febrero de 1988 que es la mayor catástrofe ocasionada en la historia de la explotación petrolera del Ecuador. Esto se originó por el fenómeno

del niño de ese año el cual generó intensas lluvias produciendo un deslizamiento de tierras ya que el terreno era poco consolidado esto ocasiono que los tubos del oleoducto y poliducto se rompieran bastando solo una chispa para ocasionar el incendio que causó muertes, heridos y pérdidas materiales. En donde quedo en duda si se hicieron los respectivos estudios para realizar la construcción de sistemas de transportes de hidrocarburos y la misma refinería por estar en un terreno poco consolidado.

Otro grave daño registrado ocurrió en el sector reventador el 3 de marzo del 2008, a 60 km al este de Quito, fuertes lluvias ocasionaron que un talud arrasara al SOTE que provocó un derrame de 4.000 Bbls de crudo y de un poliducto paralelo que transportaba gasolina, contaminó un pantano y el río Quijos, afluente del Coca que atraviesa la población de Francisco de Orellana. Este derrame ocasionó la contaminación de todo el río Coca sobrepasando los 500 km. (Mendoza, 2014)

1.3 Justificación del estudio

La Refinería de Esmeraldas, es el principal punto de abastecimiento de combustible y refinación de crudo del Ecuador contando con el Poliducto, SOTE y OCP. Según los datos históricos de sismos se encuentra en una zona de alta sismicidad con posibles fallas activas, lugares propensos a derrumbes que podrían afectar la Refinería Esmeraldas y el Poliducto provocando una paralización en la refinación o transporte de derivados. En caso de posible falla provocado por un sismo en el poliducto podría presentar derrame, daños ambientales y pérdida económica debido a la paralización y gastos por remediación y reparación de la tubería afectada.

1.4 Objetivo general

Identificar los sitios susceptibles a fenómenos geológicos que podrían por sismos y por altas precipitaciones afectar con potencial de daño a la tubería del poliducto que transporta derivados de petróleo, desde análisis geomorfológicos y litológicos del terreno.

1.4.1 Objetivos específicos

- Documentar los terremotos de subducción moderada y fuerte (mayor a 5 grados de magnitud) generados cerca del área de estudio.
- Identificar los fenómenos geológicos tales como deslizamientos, subsidencias o asentamiento del terreno, erosión del margen fluvial y desbordamiento de los esteros; que afectan directamente la tubería del poliducto desde el PK-00 hasta el PK-36. Cabe indicar que estos fenómenos pueden ser reactivados por sismos y por fuertes precipitaciones.
- Proponer soluciones técnicas e ingeniería en sitios críticos propensos a colapsos de la tubería del poliducto, así como sugerir variantes o nuevo derecho de vía en terreno estable, distancia de conexión con tubería existente y el costo de inversión.

1.5 Fases de investigación y metodología

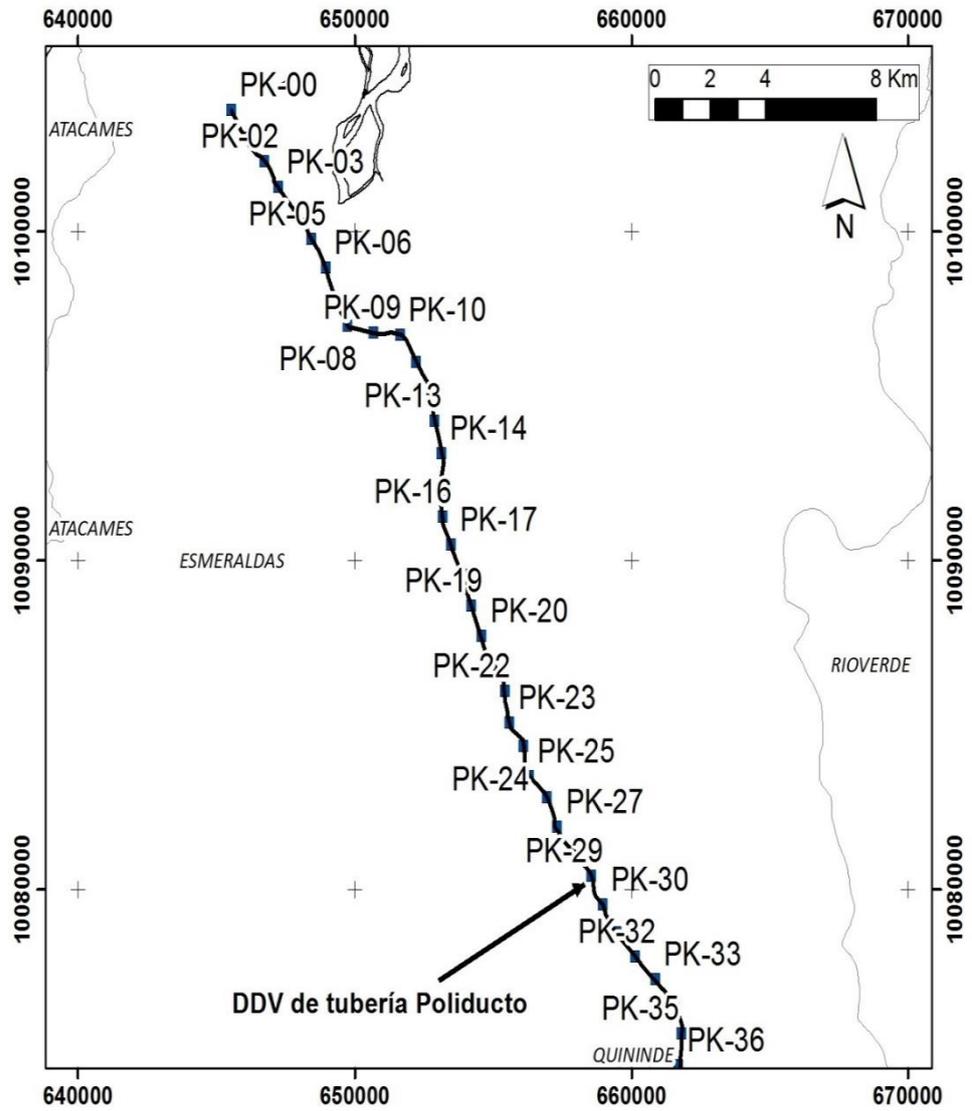
El presente programa de investigación propuesto es organizado en dos principales fases: en la primera fase la compilación de datos geológicos, sísmicos, geomorfológicos, información a escala (1:50.000, 1:10.000), incluyendo (1) la revisión de modelos de elevación digital del terreno (MDT) desde datos topográficos, (2) rasgos morfológicos y tendencias de ríos y esteros en el terreno; han caracterizado las zonas críticas que podrían colapsar parte de la tubería del poliducto. Los fenómenos geológicos activos o potencialmente activos, identificados en el terreno son: fallamiento superficial, deslizamientos de masas de tierras, subsidencia o asentamiento del terreno, macizos rocosos diaclasados y altamente meteorizados, y rápida erosión en márgenes fluviales.

En la segunda fase, los datos de geología de superficie han sido confrontados con los datos de perforaciones geotécnicas (con profundidades de 10 metros) cercanas a los sitios inestables, este análisis ha permitido conocer las características litológicas, estratigráficas y profundidad del substrato rocoso. Las perforaciones geotécnicas han sido proporcionadas por el Tutor de la Tesina. Análisis de imágenes satelitales (desde google earth) y fotos aéreas han proporcionado información, referente al relieve, permitiendo

seleccionar variantes de la tubería. La elaboración del informe final es desarrollado en esta fase donde se explica toda la documentación y datos analizados, la metodología empleada para el estudio, la descripción de los procesos realizados, los resultados obtenidos, las conclusiones y recomendaciones finales.

1.6 Área de estudio

El área de estudio comprende el tramo del DDV (derecho de vía) de la tubería del Poliducto Esmeraldas – Viche, actualmente tiene una longitud instalada de 36 kilómetros. Las coordenadas empleadas en la identificación de los marcadores kilométricos (PK's) es el WGS 1984 UTM zona 17 Sur. Durante la fase de geología de superficie y exploración, se trabajó en 36 marcadores kilométricos desde el PK-00 al PK-36, que comprende los cantones de Esmeraldas y Quininde, provincia de Esmeraldas, norte de la costa del Ecuador (ver mapa I).



Mapa I Ubicación de la tubería del poliducto espacial en el terreno comprendido el cantón de la provincia de Esmeraldas.

1.7 Infraestructura física de la refinería Esmeraldas y tubería de poliducto

En la Refinería Estatal Esmeraldas ubicada en la ciudad de Esmeraldas, es una de las instalaciones hidrocarburíferas más importantes del país. La Refinería deriva gasolina, kerosene, diésel, gas licuado de petróleo GLP, jet fuel, fuel oil N°4, fuel oil N°6, asfalto 80/100 Y RC-2; también butano, propano y azufre sólido.

Las unidades Instaladas en la Refinería Esmeraldas, son: (a) concentración de gases, (b) CDU1 Unidad de Destilación de Crudo 1, (c) Unidad de Destilación de Crudo 2 , (d) Unidad de Vacío 1, (e) Unidad de Vacío 2, (f) Unidad de reducción de viscosidad, (g) Unidad de reducción de viscosidad 2, (h) Unidad de hidrotratamiento nafta liviana, (i) Unidad de Isomerización, (j) Unidad de Hidrotratamiento nafta pesada , (k) Unidad de Reformación Catalítica Continua, (l) Unidad de tratamiento de Jet Fuel, (m) Unidad de Hidrotratamiento de Diésel, (n) Unidad de Craqueo Catalítico Fluido, (o) Unidad Merox Gasolina, Unidad Merox LPG antigua, (p) Unidad Merox LPG nueva, (q) Unidad de tratamiento de gas baja presión, (r) Unidad de tratamiento de gas alta presión, (s) Unidad de tratamiento de gas baja presión, (t) Unidad de tratamiento de gas alta presión, (u) Unidad de tratamiento de aguas amargas Antigua, (v) Unidad de tratamiento de

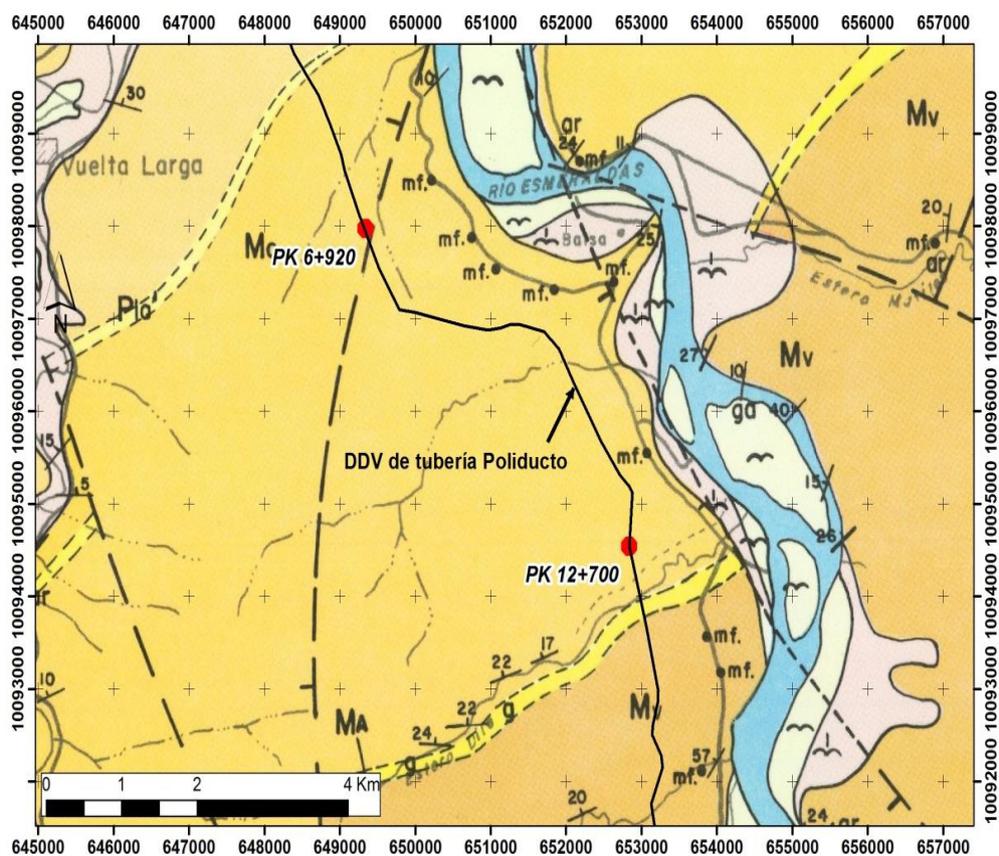
aguas amargas N, (w) Unidad de recuperación de azufre Antigua, (x) Unidad de recuperación de azufre Nueva. (Refinería Estatal Esmeraldas, 2014)

Muchos de los derivados de petróleos son transportados por la tubería de poliducto que en línea continua inicia desde Santo Domingo PK-164 y llega al PK-00 en la Refinería de Esmeraldas. Como lo indicado en esta sección, el área de estudio comprende la identificación de sitios críticos que podrían dañar la tubería del poliducto desde el PK-00 hasta el PK-36. La tubería tiene un diámetro de 16 pulgadas, un espesor de 9.53 con especificación 5LX-52. El cual se lo utilizada para la transportación de derivados del petróleo como Gasolina extra y súper, Diésel 1 y 2, destilados, jet fuel, gasolina de aviación y GLP.

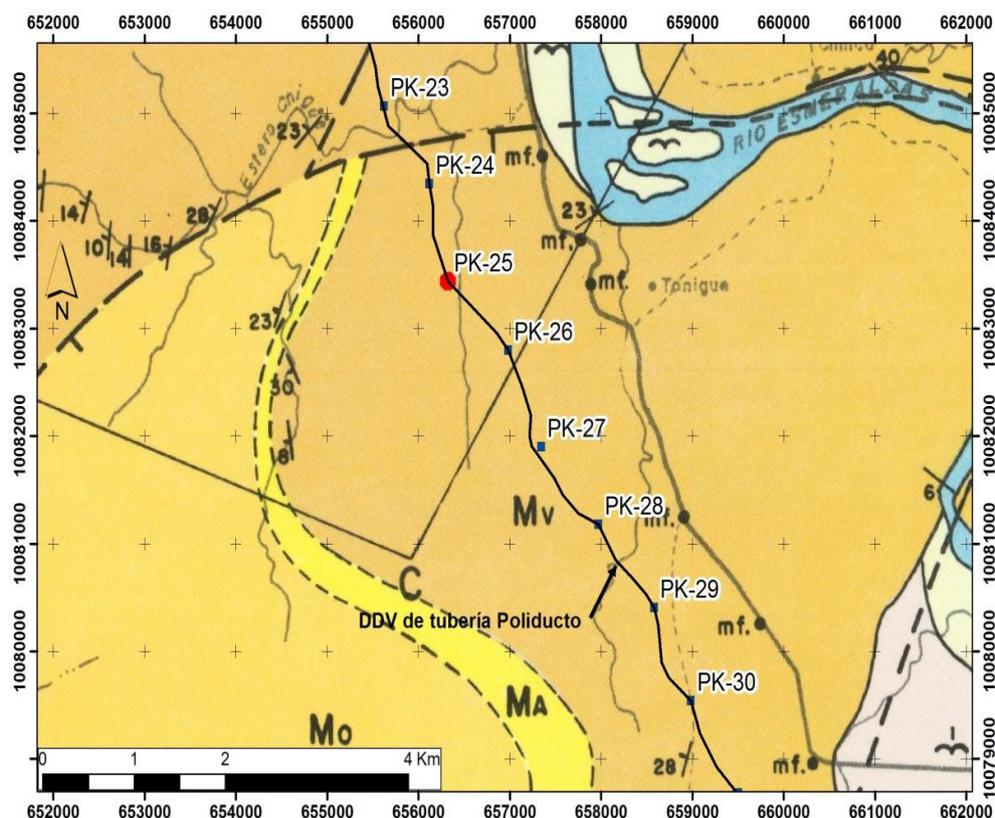
CAPÍTULO 2

2. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL SITIO DE ESTUDIO

En este capítulo analizaremos: (a) las formaciones geológicas predominantes a lo largo de la tubería del poliducto, (b) la distribución espacial de los sismos y terremotos históricos documentados y cercanos al sitio de estudio. Toda esta información nos permitirá comprender la dinámica de acción de fenómenos geológicos extremos que podrían colapsar la tubería del poliducto, es decir fenómenos secundarios que se podrían activar como los deslizamientos, asentamientos del terreno, erosión fluvial y fracturas en el macizo rocoso (ver Mapa II y III).



Mapa II Mapa Geológico de Esmeraldas y Punta Galera indicando sitios críticos PK- 6+920 y Pk- 12+700.



Mapa III Extracto del mapa geológico de Esmeraldas y Punta Galera a escala 1:100.000, para parte del cantón Esmeraldas y parroquia Viche, indicando el sitio crítico de PK-25.

2.1 Litoestratigrafía de formaciones geológicas que atraviesa la tubería

Para este análisis se ha consultado la hoja geológica “Esmeraldas y Punta Galera” de escala 1:100.000 Georeferenciando la información, se determina que la tubería del poliducto desde la Refinería de

Esmeraldas, atraviesa sedimentos fluviales pasando a formaciones miocénicas y pliocénicas (ver anexo A).

A continuación se describe la litología desde las formaciones geológicas desde las más antiguas a la más reciente:

- **Formación Viche (Mioceno inferior-medio) (Mv).**- La secuencia de lodolitas de la formación geológica Viche descansa con aparente concordancia sobre la formación Pambil. Son distinguibles de la formación subyacente por su litología más uniforme y la ausencia de areniscas lajosas. Las lodolitas tienen bandas limosas más duras o calcáreas recalcando la estratificación. La roca fresca es verde oscura gris y meteoriza con un color habano-café. También se encuentran pocas bandas delgadas de tobas gris-claras. Los 1.000 m. medidos en Río Verde están de acuerdo con el espesor calculado en el área del Río Calope (Información obtenida desde la hoja Geológica de Esmeraldas y Punta Galera a escala 1:100.000).

En el pozo camarones-1 la formación Viche y la parte inferior de la Formación Onzole suprayacente tiene un espesor combinado de 330 m. la edad de la formación es Mioceno inferior a Medio.

- **Formación Angostura (Mioceno Medio-Superior) (Ma).**- Las lodolitas de la Formación Viche pasan abruptamente arriba dentro de

areniscas de grano grueso a medio de la Formación Angostura. Las areniscas son de color amarillo-rojizo, a menudo con estratificación cruzada y conglomerado guijarroso cerca de la base. Se encuentran lentes de fósiles quebrados y completos. La formación se vuelve más fina y más uniforme hacia el Oeste donde contiene intercalaciones lodolíticas.

Las areniscas pasan arriba transicionalmente dentro de la Formación Onzole en el área de río Calope, pero en el área del Estero de Tablazo al Oeste, la unión es más abrupta. El espesor de la formación es generalmente cerca de 250 m. pero cerca del río Esmeraldas tiene solamente 40 m. de espesor. No contiene microfósiles para datar las formaciones adyacentes.

- **La Onzole Inferior (Mo).**- Consiste de lodolitas bien estratificadas con listones de arenisca fina. La litología es indistinguible de la formación Viche. La roca fresca es verde oscura gris y meteoriza con un color crema rojizo pálido. Las capas más gruesas de areniscas contienen intercalaciones de grava arenosa y son en parte bioclásticas. En el Río Esmeraldas las lodolitas Onzole inferior tienen 300 m. de espesor pero en la parte suroccidental de la son probablemente del orden de los 800 m. La edad de Onzole Inferior es Mioceno Superior.

- **La Onzole Superior (Plo).**- Consiste de dos miembros predominantemente areniscas con lodolitas intermedias y suprayacentes, que son litológicamente similares a las lodolitas del Onzole inferior. La lodolitas son pobres a bien estratificadas, gris cremosas a anaranjadas-rojizas si están meteorizadas pero verde oscuro-gris si están frescas. Son comunes las fajas delgadas de arenisca media a fina y existen capas ocasionales de areniscas café-rojiza hasta de 1 m. de espesor. Lentas y capas de grava arenosa gruesa y / o fragmentos lodolíticos se encuentran en todas las sucesiones sobre el miembro Sua. Debido a su contenido alto de montmorillonita (aproximadamente el 35%) las lodolitas en toda el área son propensas a los derrumbes. Al este el espesor total del Onzole superior tiene un exceso de 1100 m. y su edad varia.
- **Depósitos Aluviales y Terrazas (Qt).**- Los residuos de superficie de terraza se encuentran en el valle del Río Esmeraldas, solo los tres niveles inferiores se indican en el mapa geológico adjunto a este capítulo. El nivel más alto, cerca de 20 m. sobre el río consiste de 5 m. de gravas guijarrosa gruesas y arenas con estratificación cruzada gris a café rojizo. El nivel de terraza en el área es de a cerca de 7 m. sobre el nivel del río y cubre áreas cerca de la confluencia de los tributarios principales en el Río Esmeraldas y los valles al oeste. Estas terrazas consisten de arena gris, media a fina

con lentes variables de grava. El nivel de terraza más inferior es la extensión del actual curso del río el cual disminuye para exponer planicies anchas de grava.

2.2 Geomorfología litoral

La provincia de Esmeraldas tiene una complejidad en sus relieves que van desde planicies aluviales que contrastan con colinas medias y altas alcanzando altitudes en el orden de los 100 a 500 metros sobre el nivel de mar (ver mapa IV).

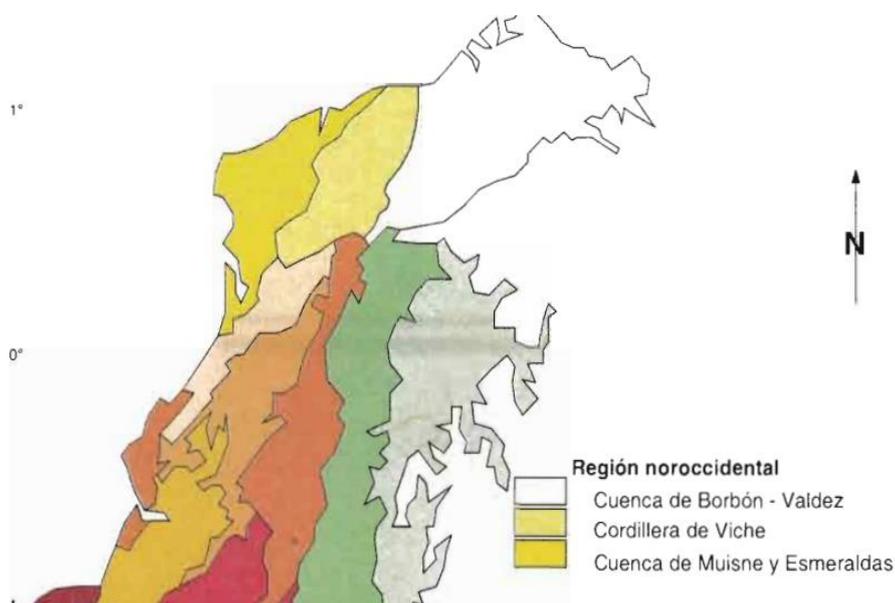


Mapa IV Mapa de altitudes para la provincia de Esmeraldas.

Fuente: (Gutiérrez, 2014)

Desde un punto de vista del análisis geomorfológico, se distinguen dos sistemas diferentes: (1) el margen costanero de Esmeraldas caracterizado por la unión de relieves de colinas que constituyen la cordillera costanera de elevaciones moderadas producto de la tectónica intensa que dio lugar a estructuras geológicas, y (2) zona interna representada por grandes llanuras ligeramente onduladas y alomadas con zonas de colinas no mayores a los 200 metros y zona de Terraza aluviales situadas a lo largo de los ríos, los valles que están asociados a los principales drenajes de la zona presentan una etapa de madurez, ya que es común observar que los ríos forman curvas en su trayecto, esta es una de las principales características de la etapa de madurez de los valles en los que se produce el alargamiento de los mismos.

Las principales cuencas estructurales para la provincia de Esmeraldas son la cuenca de Borbón – Valdez y la cuenca de Muisne-Esmeraldas separadas por el horst o cordillera de Viche (ver Mapa V).



Mapa V Cuencas estructurales para Esmeraldas separadas por el levantamiento de la cordillera de Viche.

Fuente: (Alain Winckell, 1997)

La cordillera Viche se encuentra en una franja de 40 km de ancho, parte central de la región noroccidental entre la formación Borbón-Valdez al este y la de Atacames-Muisne. La cima más alta va desde los 600 metros con un decrecimiento hasta los 250 m aproximadamente.

La hoja de Esmeraldas con la de Punta galera abarca una parte de la zona costanera en el noroeste del país. El relieve es ondulado con colinas sobre los 200 m. El área tiene una estación húmeda desde enero hasta junio.

Las cuencas de Muisne y Esmeraldas, ubicadas al Noroeste de las altas colinas de Viche y al norte de la cordillera costanera, se extienden hasta el océano Pacífico. El decrecimiento de las altitudes al sur prosigue aquí y las colinas centrales descienden progresivamente del sureste al noroeste. Altitudes bajas generalmente no mayores a los 100 metros. Para determinar los rasgos geomorfológicos a través de la tubería del poliducto se usó la información proporcionada por el libro de Paisajes Naturales del Ecuador de Alain Winckell, 1997, que se detalla a continuación en la siguiente tabla, haciendo referencia a las estaciones kilométricas desde el PK-00 hasta el PK-36.

| Id. | Estaciones PK's | Descripción geomorfológica |
|------------------------------|----------------------------|---|
| U109 Formación Borbón | 00 a 02 | Terrazas escalonadas conformadas por material aluvial, limo-arcillosos y areno-limosos. |
| U57 | 02 a 07 | Colinas bajas y medias con altitudes entre 10 a 150 m, vertiente con pendiente cercana a 40%, terrazas entre arenosas y limosas, suelos pardos arcillosos profundos. |
| U46 | 07 a 14 | Colinas altas con extensas vertientes de fuerte pendiente, con modelado rectilíneo a cóncavo, substrato compuesto por limolitas, areniscas arcillosas y conglomerados no cementados, suelo arcilloso poco erosionado a medianamente erosionado. |
| U8 Formación Angostura | 14 a 16 | Relieve de colinas altas, substrato conformado areniscas, arenas y conglomerados (formación Angostura), buzamiento moderado al sur, suelos humíferos bien desarrollados, arcilla a limo-arcillosa. |
| U9 Formación Viche | 20 a 22 | Relieve de colinas altas, potente sedimentación oligo-miocena de arcillas y lutitas (formación Viche) con intercalaciones de areniscas y conglomerados poco cementados, limolitas y tobas volcánicas. |
| U109 Formación Borbón | 22 a 24 | Terrazas escalonadas conformadas por material aluvial limo-arcillosos y areno-limosos. |
| U9 Formación Viche | 24 a 30 | Relieve de colinas altas, potente sedimentación oligo-miocena de arcillas y lutitas (formación Viche) con intercalaciones de areniscas y conglomerados poco cementados, limolitas y tobas volcánicas. |
| U109 Formación Borbón | 30 a 32 | Terrazas escalonadas conformadas por material aluvial limo-arcillosos y areno-limosos. |
| U9 Formación Viche | 32 a 36 | Relieve de colinas altas, potente sedimentación oligo-miocena de arcillas y lutitas (formación Viche) con intercalaciones de areniscas y conglomerados poco cementados, limolitas y tobas volcánicas. |

Tabla I Rasgos geomorfológicas para las estaciones kilométricas desde el PK-00 hasta el PK-36, a lo largo de la tubería del poliducto.

Fuente: (Alain Winckell, 1997)

CAPÍTULO 3

3. SISMICIDAD EN ESMERALDAS

La Refinería Estatal de Esmeraldas ubicada en el PK-00 y el tramo del poliducto de estudio (36 km de longitud) que atraviesa las planicies litorales y zonas de colinas de la provincia de Esmeraldas desde un punto de vista del análisis de riesgo sísmico, se encuentran en una zona de tectónica activa (es decir de alta sismicidad), cercana a la zona de subducción ecuatoriana (donde convergen la placa oceánica de Nazca contra el segmento continental de la placa Sudamericana), la cual es considerada una de las áreas más activas en el mundo.

En este estudio hacemos referencia a los fuertes terremotos de subducción en Esmeraldas cercanos al proyecto en un área de 50 km de radio. La historia sísmica de Esmeraldas inicia en 1906, donde se tiene reporte del sexto terremoto más fuerte del mundo, alcanzando una magnitud de Mw 8,8 (otras fuentes indican una magnitud Mw 8,6).

Terremotos siguientes acontecieron en:

- El de marzo de 1987 magnitud Mw 7,0 profundidad de 10 km.
- El 2 de febrero de 1958 magnitud Mw 7,3 profundidad de 40 km.
- El 12 de diciembre de 1979 magnitud Mw 7,7 profundidad de 24 km.

Los tsunamis locales y formados a causa de los terremotos de subducción frente a la provincia de Esmeraldas, son documentados desde 1877, reportados cinco históricos eventos, como se detalla a continuación:

[a]. 11 de octubre de 1877, causado por un sismo de magnitud Mw 8,7, en la zona de Buenaventura fue el epicentro pero los efectos de oleaje fueron sentido en Esmeraldas.

[b]. 31 de enero de 1906, ocasionado por un sismo de magnitud Mw 8,8, su epicentro en Tumaco-Colombia.

[c]. 2 de octubre de 1933, causado por un sismo magnitud 6,9 en escala de Richter.

[d]. 19 de Enero de 1958, ocasionado por un sismo de Mw 7,7.

[e]. 12 de Diciembre 1979, provocado por un sismo de Mw 7,7.

La distribución espacial de los sismos en el terreno y de acuerdo a catálogos NEIC (Centro nacional de información de terremotos) y IG (Instituto Geofísico de Quito) consultados se establece que 489 sismos han sido generados cercanos al área en estudio con magnitudes comprendidas entre el rango de $4 \leq M \leq 6,7$ y profundidades focales desde $0,1 \leq H \leq 45$ km. La información de sismos históricos inicia el 5 de enero de 1973 al 8 de febrero del 2012. Datos más relevantes no ha sido posible debido a que la red sismológica local del instituto geofísico de la Escuela Politécnica Nacional inició sus operaciones en 1988.

Los terremotos históricos más significativos son:

[a]. 10 de marzo de 1974 (magnitud M_L 5,6 profundidad 43 km),

[b]. 9 de abril de 1976 (magnitud M_L 6,7 profundidad 9 km),

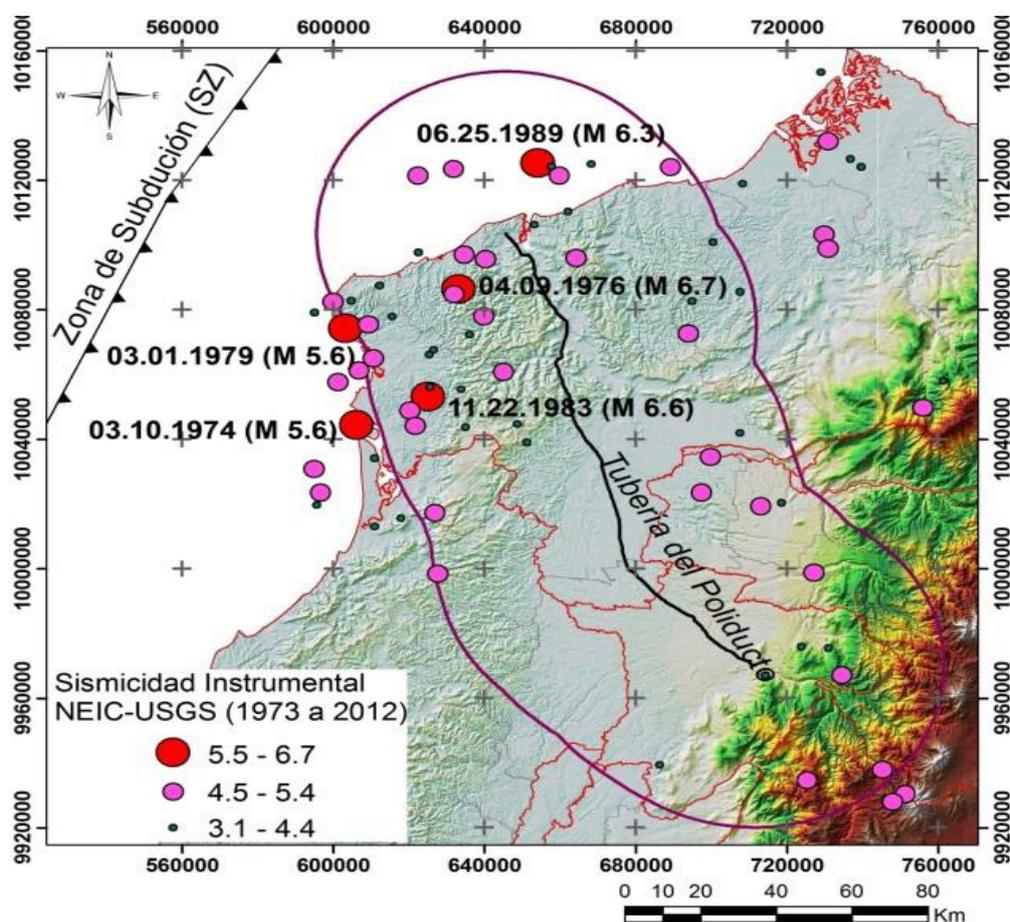
[c]. 1 de marzo de 1979 (magnitud M_L 5,6 profundidad 33 Km),

[d]. 22 de noviembre de 1983 (magnitud M_L 6,6; profundidad 54 km), y

[e]. 25 de junio de 1989 (magnitud M_L 6,3; profundidad 15 km).

Estos registros históricos de moderada a alta sismicidad tuvieron su origen antes del funcionamiento de la tubería del poliducto, sin embargo, la distribución espacial desde el catalogo del RENSIG (Red sismológica

del Instituto Geofísico de Quito) indica que sismos con magnitudes entre 4 a 4,5 son frecuente en la zona de Esmeraldas (ver mapa VI)



Mapa VI Distribución espacial en el terreno de sismos obtenidos en el catálogo NEIC (centro nacional de información de terremotos) de los Estados Unidos de Norteamérica. La línea roja indica un radio de 50 km desde cada lado de la tubería del poliducto.

En la Tabla II, la red sismológica local de RENSIG registra 414 eventos sísmicos con valores de magnitudes comprendidas entre los 4 y 4,5,

mientras que magnitudes moderadas 5 eventos que están en el orden de los 5 a 6, desde el 23 de noviembre de 1990 al 11 de mayo de 1994.

| Intervalo Magnitud | No. eventos | Primer registro | Último registro | Catálogos |
|--------------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------|
| 4 a 5 | 414 | 10/09/1988 | 23/05/2011 | EPN |
| 5 a 6 | 5 | 23/11/1990 | 11/05/1994 | EPN |

Tabla II Densidad de sismos históricos para intervalos de magnitudes mayores a 4 desde el análisis del catálogo del Instituto Geofísico de Quito.

En la Tabla III, el catálogo NEIC de la USGS de los Estados Unidos de Norteamérica documenta 12 eventos de sismicidad moderada entre los 5 a 6 grados de magnitudes, así como tres terremotos entre el orden de los 6 a 7 grados, el último registrado el 25 de junio de 1989.

| Intervalo Magnitud | No. eventos | Primer registro | Último registro | Catálogos |
|--------------------|-------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 4 a 5 | 58 | 05/01/1973 | 12/01/2012 | NEIC, CERESIS |
| 5 a 6 | 12 | 10/03/1974 | 08/02/2012 | NEIC, CERESIS |
| 6 A 7 | 3 | 09/04/1976 | 25/06/1989 | NEIC, CERESIS |

Tabla III Densidad de sismos históricos e instrumentales para intervalos de magnitudes iguales o mayores a 4 desde los análisis del catálogo NEIC y CERESIS

CAPÍTULO 4

4. EVALUACIÓN GEOLÓGICA DE POTENCIALES SITIOS INESTABLES CON DAÑO DE LA TUBERÍA

4.1 Identificación de sitios críticos desde análisis geológico

Análisis geomorfológicos, topográficos y litológicos han permitido caracterizar los sitios inestables que podrían provocar daños a la tubería del poliducto que atraviesa el cantón Esmeraldas. Revisando el mapa geológico de la hoja Esmeraldas y Punta Galera, la tubería atraviesa zonas rocosas fácilmente erosionables, es más muchos de estos estratos tienen fracturas considerables los cuales pasan a ser inestables y generar deslizamientos durante las altas tasas de precipitaciones. Las lluvias frecuentes, la actividad sísmica expresada en tectónica del sitio la convierten en una zona de riesgo, la cual incrementa su nivel de daño por las obras o infraestructuras

asentadas en el derecho de vía. Daños considerables por rupturas de la tubería, desde su instalación en 1981, ya han sido reportadas en Esmeraldas, víctimas mortales, incendios a viviendas, deslizamientos considerables que represaron parte del cauce fluvial, son indicios de la importancia de este estudio; el cual permite obtener nuevos parámetros de análisis para la identificación de sitios críticos que podrían repetir parte de la historia de daño, afectación y pérdidas económicas por la paralización de la Refinería de Esmeraldas y para el Estado Ecuatoriano.

En nuestro estudio se ha identificado tres sitios inestables los cuales pueden ser considerados como críticos, debido al avance de desarrollo del fenómeno geológico se detalla la ubicación de los siguientes PK's en análisis.

| Id. | PK's | X (mE) | Y (mN) | Amenaza geológica |
|------------|-------------|---------------|---------------|--|
| 1 | 6+920 | 649.337 | 10.097.985 | Deslizamiento en el DDV y asentamiento (subsistencia) del terreno. |
| 2 | 12+700 | 652.839 | 10.094.541 | Erosión fluvial a un costado del DDV y desprendimiento de estratos provocando caídas de rocas. |
| 3 | 25+000 | 656.321 | 10.083.438 | Diaclasamiento (fracturamiento) en substrato rocoso, y por filtración de agua de escorrentía se forman deslizamientos. |

Tabla IV Coordenadas UTM (WGS 1984, datum 17 sur) de los sitios de mayor inestabilidad con potencial de daño a la tubería del poliducto, del cantón Esmeraldas

4.1.1 PK-6+920

Este análisis en el sitio demuestra que el DDV está construido sobre una zona de colina, material de limolita altamente alterable o meteorizado, fácilmente erosionable y como lo demuestra la foto es erosionable a los costados del DDV. La dinámica erosiva del estero ha provocado retroceso del margen fluvial, dejando al descubierto los soportes de la tubería del poliducto. Sistemas de protección de concreto o espigones para reducir la dinámica de erosión del río no ha sido empleado.

Los deslizamientos identificados en el sitio producen movimientos de masa de estratos rocosos, esto conlleva a la formación de un retroceso del talud. Se producen principalmente bajo la influencia de lluvias que humedecen el terreno, también hay la activación del deslizamiento por sismo fuertes mayores de magnitud 6.

El tramo de la tubería del poliducto se encuentra propenso a la remoción de tierra de velocidad lenta, el substrato rocoso corresponde a limolitas intercaladas con areniscas bien diaclasadas, las cuales permiten una infiltración de aguas y formación de escarpes activos de deslizamientos. Todos estos

rasgos geológicos permiten recomendar la delineación de una variante.



Foto 1 Vista panorámica de tubería que esta sobre el Pk-6+920.



Foto 2 Deslizamientos superficiales y desmoronamiento de estratos en el marcador kilométrico PK 6+920.



Foto 3 Afectación de los soportes H por los deslizamientos y desmoronamientos de estratos PK-6+920.

Para comprender el material litológico del sitio se ha consultado una perforación geotécnica de 10 m proporcionada por el tutor de tesina, en ella podemos constatar dos tipos de litología: desde la superficie 0 m hasta los 9,5 m se detalla una arcilla altamente meteorizada intercalada con arena fina, manchas de oxidación y residuos de

materia orgánica, consistencia de medio firme a dura y alta plasticidad; más en profundidad de 9,5 m a 10 m hay una roca moderadamente dura de limolita. La perforación está ubicada en el Pk 6+750, longitud de 10 m de profundidad como se observa en la tabla V.

| Profundidad (metros) | Litología | Distancia a sitio crítico (km) |
|-----------------------------|---|---------------------------------------|
| 0-9,5 | Arcilla café oscura con capas de arena fina, limo con pintas de oxidación y residuo orgánico. Consistencia medio firme a dura. Alta plasticidad | 0,17 |
| 9,5-10 | Limolita café oscura completamente meteorizada. | |

Tabla V: Muestras de perforación PK-6+920.

4.1.2 PK-12+700

Este tramo de la tubería del oleoducto que fue colocada hace 23 años, 40 personas incluido el cuerpo de ingenieros se encargan del mantenimiento y hacer respetar su derecho de vía el cual tienen que

dejarlo lo más despejado posible, este volumen son 15 metros de radio por los 500 Km de tubería que tiene el oleoducto desde Lago Agrio hasta Balao que luego se despacha a los barcos de FLOPEC (flota petrolera ecuatoriana).

El oleoducto transporta todo el crudo del país de todas las perforaciones que se realizan en el oriente, bombea 13.000 barriles de petróleo por día en una operación permanente durante todo el año, desde Esmeraldas hasta Quininde el terreno es desfavorable porque hay muchos esteros y ríos.

Este es el caso de este punto de la tubería que el estero Dile de a poco hace erosionar la parte de tierra donde está la tubería.



Foto 4 Erosión en el margen fluvial causada por el estero Dile.

Otro problema es que cuando llueve el terreno se hace demasiado lodoso y es fácil que el terreno tenga movimiento lo cual desvía la tubería y hace que se dañe los marcos H.



Foto 5 El punto PK-12 donde se están construyendo un soporte de fortalecimiento para la tubería.

Lo que los encargados de mantenimiento primero hicieron fue desviar el cauce del estero Dile porque este estaba haciendo

erosionar la tierra en donde está asentada la tubería dejándola de a poco al aire, con un muro de piedras de andesita traídas desde Santo Domingo las cuales tienen una gran dureza y tardaría muchísimos años para que estas erosionen el muro de aproximadamente 3 metros de altura.



Foto 6 Ampliación de paredes para controlar el cauce del río (apilamiento de rocas y tierra) y evitar la erosión en el margen fluvial

Otra medida tomada para que la tubería no caiga por la erosión que provoco el estero es una estructura la cual tiene una cimentación 8 metros debajo del suelo la cual quieren hacer más resistente con hormigón y 8 metros por encima hasta donde se encuentra la tubería para hacer las respectivas reparaciones y quede asegurada con cables con un soporte por si algún evento de riesgo geológico ocurre o que quede en el aire por la erosión.



Foto 7 Panorama del soporte de tubería en suspensión (construcción).

Se realizó perforaciones de muestreo de 10 metros de profundidad en el Pk 12+700 y se obtuvo en 1,5 metros limo arcilloso café claro con capas de arena, consistencia firme a medio firme y alta plasticidad, 1 metro limo café claro con capas de arena fina, consistencia firme y plasticidad media, 2 metros limo café claro

medianamente compacto con estratos de arena fina, 1 metro limo café claro con capas de arena fina, consistencia firme y plasticidad media a baja, 2 metros limo café claro medianamente compacto con estratos de arena fina, 2,5 metros limo café claro con capas de arena fina, consistencia de firme a muy firme y plasticidad media a baja.

| Profundidad (metros) | Litología | Distancia a sitio crítico (Km) |
|-----------------------------|--|---------------------------------------|
| 0-0,5 | Limo arcilloso café oscuro con capas de arena fina, raíces y fragmentos de roca | 1,15 |
| 0,5-4,5 | Arcilla café clara con limo y capas de arena fina, consistencia de medio firme a muy firme y alta plasticidad. | |
| 4,5-10 | Limo arcilloso café oscuro duro con arena y fragmentos de roca. Alta plasticidad. | |

Tabla VI: Muestras de perforación PK-12+700.

4.1.3 PK-25

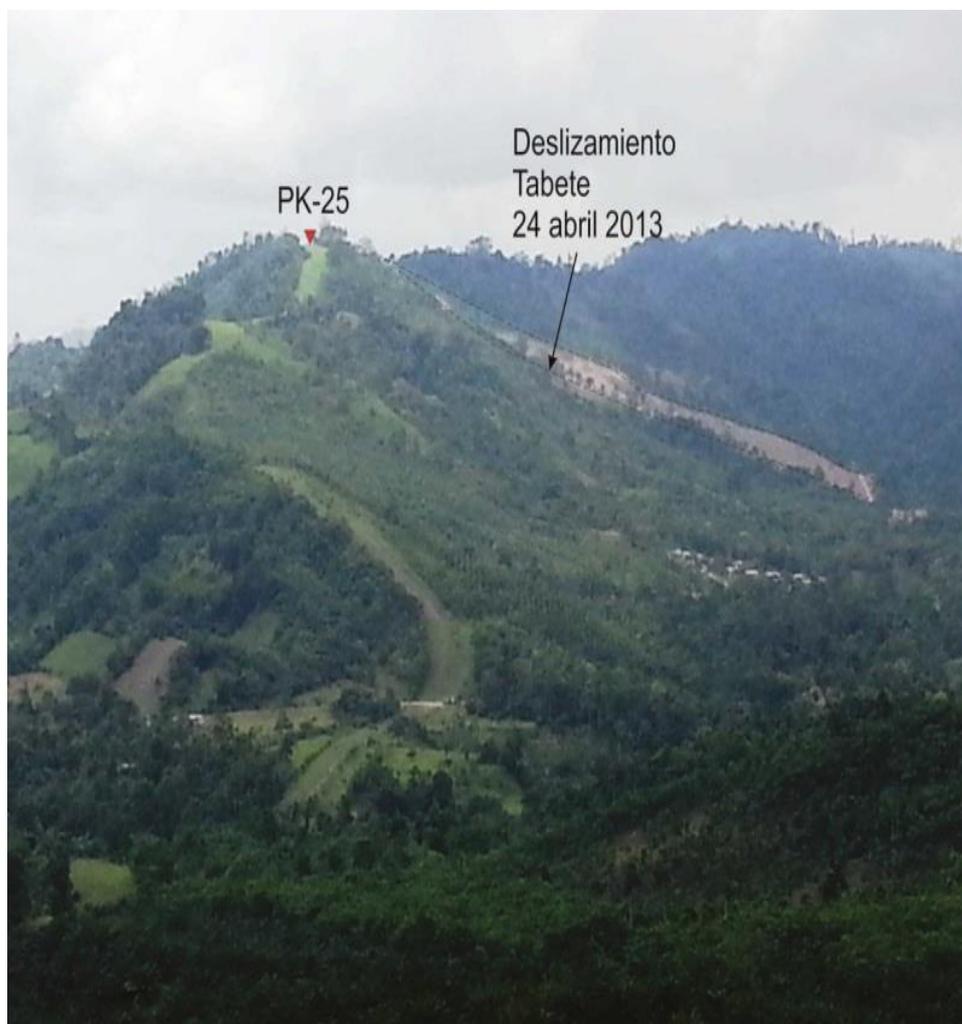


Foto 8 Vista panorámica del marcador kilométrico PK-25 y del deslizamiento de Tabete del 24 de abril 2013

Como lo indicado en la sección precedente, la colina alta de Tabete presenta un alto nivel de inestabilidad debido a que sustrato

rocoso es bien diaclasado (fracturado) y en adición, los planos de fallas antiguas que pueden direccionar movimientos gravitatorios de detritos en particular los meses invernales donde altas tasas de precipitaciones son frecuentes. Análisis de imágenes satelitales han sido empleados en este sitio, descartando por su complejidad morfológica posibles propuestas de derechos de vías hacia los flancos oeste de las altas colinas.



Foto 9 Derecho de vía sobre la colina Tabete

Este sitio es considerado de alto nivel de inestabilidad por los siguientes motivos:

[a]. El substrato rocoso donde descansa la tubería del poliducto, está conformado por estratos de limolitas compactas pero bien diaclasadas y con planos de fallamientos con dirección de rumbo entre los 80 y 189°, inclinación de 70NW y 58NW (noroeste), los desplazamiento tienen valores de “rake” entre -90 y -120, asociado a fallas de tipo normal con componente de cizalla dextral.

[b]. La pendiente de la ladera tiene valores de inclinación entre los 16 a 35°, tipo escarpado y con cobertura vegetal.

[c]. Durante los meses de febrero, marzo y abril 2013, la zona de Tabete ha sido escenario de altas tasas de precipitaciones, provocando un saturamiento del terreno, como consecuencia de este evento, el 24 de abril de 2013 aconteció un deslizamiento tipo “debris flow” o “colada de detritos”, removiendo 700.000 metros cúbicos de material y cobrando la vida de 13 personas de la comunidad de Tabete. El escarpe principal de deslizamiento se encuentra a pocas decenas de metros talud inferior del DDV, el material ha sido desplazado a través de antiguos planos de fallas geológicas, de allí su alto nivel de inestabilidad en el terreno.

[d]. Fracturamiento o diaclasamiento de forma rectilínea son evidenciada en el escarpe principal del deslizamiento del 24 de abril del 2013, estos rasgos de fracturas tuvieron su formación antes del evento de Tabete. Un análisis geológico estructural en detalle indica que las diaclasas de tipo rectilínea tienen dirección de rumbo de N144° e inclinación de 70°W con espaciamiento de abertura de 5mm (ver foto 8).

[e]. Se realizó perforaciones de muestreo de 10 metros de profundidad cerca al Pk-25 y se obtuvo limo arcilloso café oscuro con residuos orgánicos, consistencia de blanda a medio firme y alta plasticidad a la profundidad de 1.50 metros del suelo, luego cambio a estrato limo arcilloso café claro con pintas de oxidación y algo de fragmentos de roca, consistencia de medio firme a dura y alta plasticidad en los 8.50 metros restantes.

| Profundidad (metros) | Litología | Distancia a sitio crítico (km) |
|-----------------------------|--|---------------------------------------|
| 0-1,5 | Limo arcilloso café oscuro con residuo orgánico, consistencia de blanda a medio firme y alta plasticidad | 1,75 |
| 1,5-10 | Limo arcilloso café claro con pintas de oxidación y fragmentos de roca. Consistencia de medio firme a dura y alta plasticidad. | |

Tabla VII: Muestra de perforación PK-25.

4.2 Licuefacción

La licuefacción de suelo se produce en suelos granulados saturados como arenas o grabas con poco drenaje lo que ocasiona una fuerza externa que provoca la inestabilidad del suelo que da inicio a un talud. Pasando de un estado sólido del terreno a uno líquido que por gravedad tiende a moverse, también puede existir otro agente externo como un sismo que provocaría el inicio del mismo.

Los asentamientos se producen en suelos granulares con poca permeabilidad y participación de agua que ocupa los espacios porosos del terreno provocando un desplazamiento del lugar afectado.

CAPÍTULO 5

5. PROPUESTA DE VARIANTES

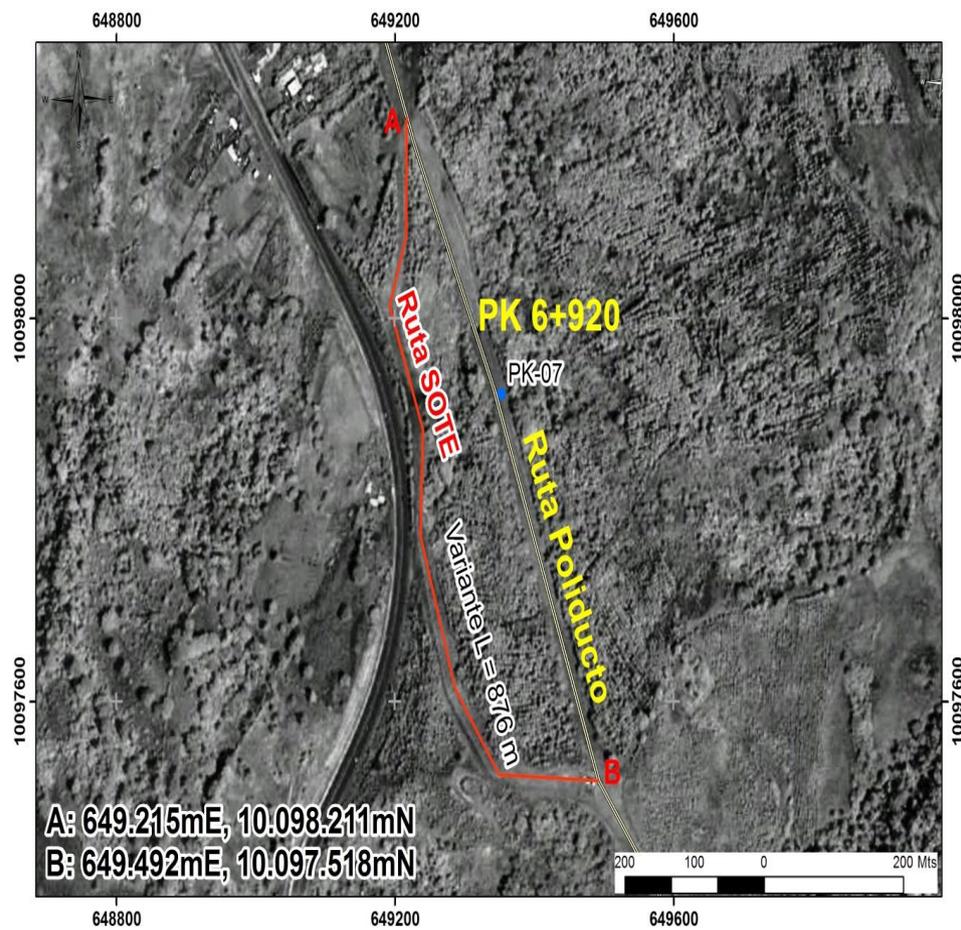
En este capítulo se proponen varias alternativas para solucionar los principales sitios críticos del poliducto del cantón Esmeraldas, basándose en variantes prácticas y manteniendo el derecho de vía.

5.1 PK-6+920

El tramo Pk-6+690 la tubería del poliducto se encuentra afectada por un activo escarpe de deslizamiento y desmoronamiento de estratos de limolitas, como consecuencia de la dinámica de erosión fluvial del estero Inés. El DDV en el tramo del poliducto es muy estrecho por lo que recomendar un desplazamiento horizontal de pocos metros no es conveniente más aún porque los escarpes de desprendimiento ya están afectados los soportes "H".

Aquí se pone a consideración las siguientes propuestas de variantes:

Opción 1: Reconocimiento del terreno y análisis de imágenes satelitales proponen el desplazamiento o variante de la tubería del poliducto hacia la estación A (coordenadas UTM, 649.215mE y 10.098.211mN), donde se intersecta con el derecho de vía del SOTE, continuando el trayecto hasta la estación B (coordenadas UTM, 649.492mE y 10.097.518mN). La variante propuesta tiene longitud de 876 metros.



Mapa VII : Imagen satelital disponible en google-earth y trazado de variante propuesta desde la estación A (cruce de SOTE y Poliducto) continuando por la ruta del SOTE e intersectando nuevamente con el poliducto en la estación B. PK 6+920.



Foto 10 Escarpes activos de deslizamientos y desmoronamiento del margen fluvial provocando inestabilidad para los soportes de la tubería del poliducto. En la parte inferior se observa el cauce del estero Inés.



Foto 11 Vista panorámica de los derechos de vías del poliducto y la propuesta variante paralela a la tubería del SOTE.

En esta sección se presenta una sola alternativa, continuar con el DDV del SOTE.

5.2 PK-12+700

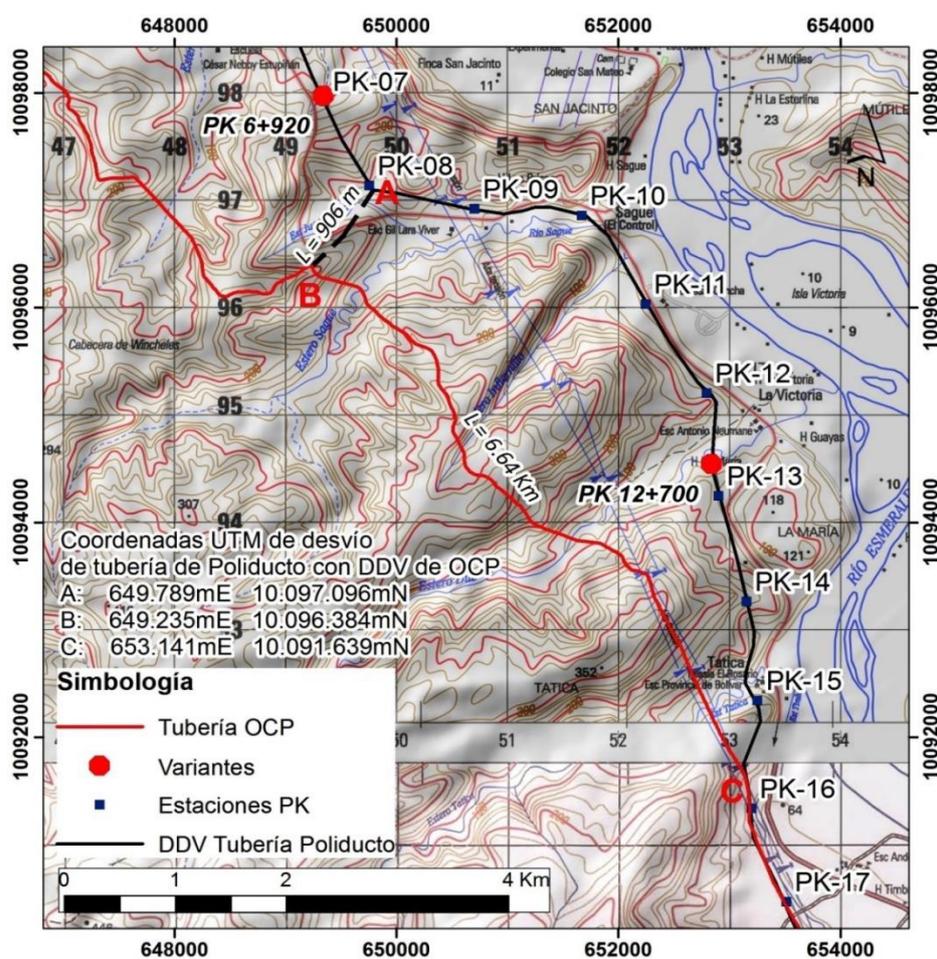
Sobre el derecho de vía (DDV) se encuentran el Poliducto atravesando una colina alongada de dirección norte-sur, donde el

estero Dile está cursando en forma meándrica las llanuras aluviales presentando erosión a un lado de la pared de la formación sobre el cual se encuentra suspendida la tubería. Análisis morfológico han permitido delinear dos opciones para el cambio de tubería del Poliducto:

Opción 1: La tubería del poliducto mantendrá el derecho de vía (compartido con SOTE), siempre y cuando se tomen en consideración sistemas técnicos de remediación en el Estero Dile. Es recomendable realizar estructuras de espigones que permitan la formación de terrazas aluviales no inundables y de esta manera cambiar los procesos de margen fluvial erosivo a orilla de acreción. La segunda fase de este sistema es la elaboración de un soporte metálico para reforzar la tubería y alivianar el peso sobre la formación erosionada.

Opción 2: La segunda alternativa propuesta resultó del análisis morfométrica del terreno, el DDV de la tubería del OCP se encuentra a una distancia considerable de 2,51 Km desde el marcador kilométrico PK- 12+700, sin embargo hay una única distancia menor en el PK- 08 donde se recomienda realizar una variante (referido en la Figuras abreviación "A") de 906 metros al suroeste hasta intersectarse con el DDV de la tubería del OCP (referido en la Figuras

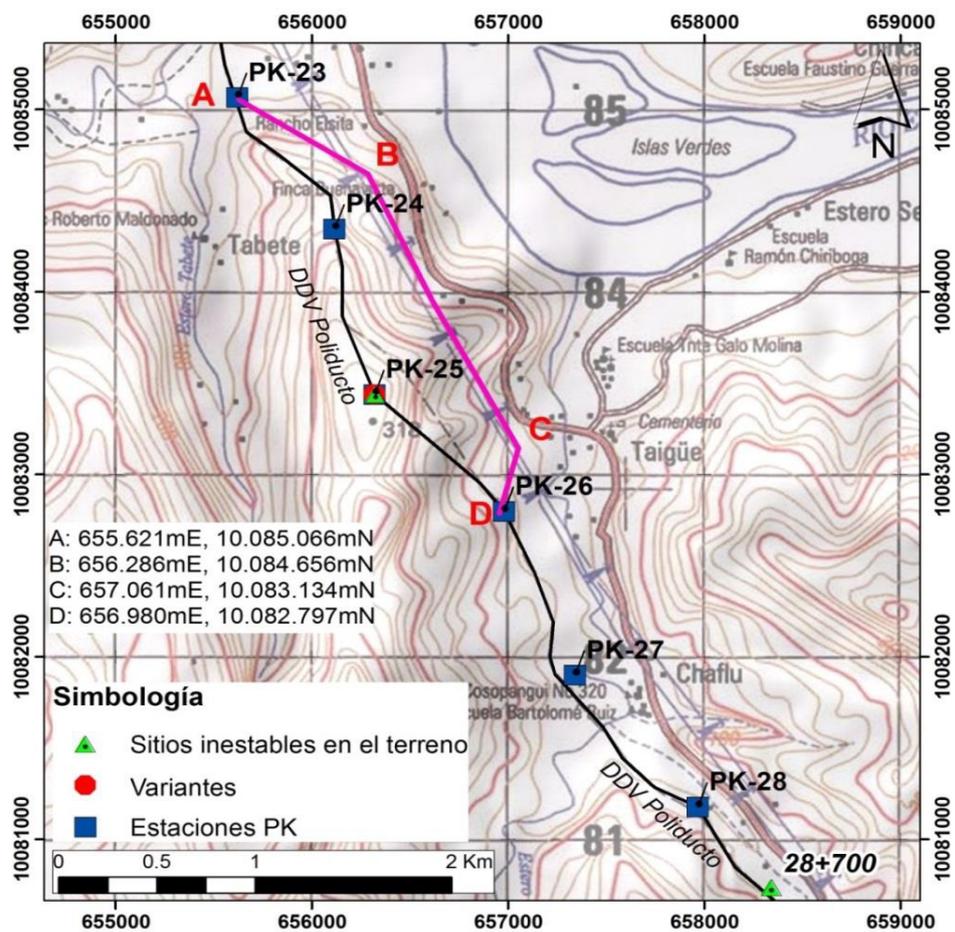
con abreviación “B”); El tramo entre el referente B y C tienen una longitud de 6.64 Km y su proyección en el terreno continúa a lo largo del DDV del OCP hasta intersectar con el DDV del Poliducto en el PK 15+740 y distancia de variante total es 7546 metros (es decir la suma de distancias A-B + C-D) ; el punto A tiene 82 m.s.n.m y se encuentra en una zona de valle aluvial intracolinas, el punto B corresponde a una zona de ladera de colina alta donde alcanzan los 185 m.s.n.m.



Mapa VIII Mapa topográfico con variante del Pk- 12+700.

5.3 PK-25

La colina de Tabete presenta un alto nivel de inestabilidad debido a que el substrato rocoso es bien diaclasado (fracturado) y en adición, los planos de fallas antiguas que pueden direccionar movimientos de detritos en particular los meses invernales donde altas tasas de precipitaciones son frecuentes. Análisis de imágenes satelitales han sido empleados en este sitio, descartando por su complejidad morfológica posibles propuestas de derechos de vías hacia los flancos oeste de las altas colinas. En esta estación PK-25 se propone una variante (A) que inicie el desvío de la tubería en el marcador kilométrico PK-23 y bordeando las bajas terrazas aluviales cercana a la carretera principal desde la estación (B) hasta intersectar la estación (C) y finalmente con el DDV del marcador kilométrico PK-26 (D).



Mapa IX Mapa topográfico con variante de Pk- 25.

CAPÍTULO 6

6. COSTO DE IMPLEMENTOS PARA SOLUCIÓN DE LOS PK'S AFECTADOS POR FACTORES GEOLÓGICOS

En este capítulo se dará a conocer el costo de inversión para la solución de los PK's críticos y la instalación de variantes de tuberías.

Para obtener el costo de las instalaciones de tubería en las variantes, se hicieron los respectivos cálculos utilizando el valor de costo unitario de la tubería del poliducto (ver tabla VIII).

Para cada PK afectado se hizo el correspondiente análisis de implementación de variantes del DDV, mostrado en el capítulo 5 y para cada uno en este presente se obtendrá su costo.

6.1 Análisis de costo para PK-6+920

En el PK-6+920 el cual tiende a tener deslizamientos de estratos por precipitaciones la solución dada es una variante de tubería de 876 m (ver mapa VII) en el cual el valor de costo de la tubería para el poliducto con transportación hasta el área afectada y sin transportación se dará en la siguiente tabla.

| Costo unitario de tubería del poliducto sin transportación | | |
|---|----------------------------|--------------------|
| Longitud (m) | Diámetro (pulgadas) | Precio (\$) |
| 8 | 16 | 1.944 |
| Costo unitario de tubería del poliducto con transportación | | |
| Longitud (m) | Diámetro (pulgadas) | Precio (\$) |
| 8 | 16 | 2.200 |

Tabla VIII: Costo unitario de tubería del poliducto

Fuente: (Ángulo, 2014)

Con los datos de la tabla VIII, se obtiene el valor de costos con las siguientes ecuaciones, para esta variante de la tubería del poliducto:

$$1) \quad N = \frac{X}{l}$$

$$2) \quad C = N \times p$$

l= longitud unitaria de tubería con transportación

x= distancia de conexión con tubería

N= cantidad de tubos

p= precio de tubería unitaria con transportación

C= costo de total de tubería para conexión

De donde;

$$l = 8 \text{ m}; \quad x = 876 \text{ m}; \quad P = \$ 2.200$$

$$N = \frac{X}{l}$$

$$N = \frac{876 \text{ m}}{8 \text{ m}}$$

$$N = 109,5$$

$$N = 110$$

$$C = N \times p$$

$$C = 110 \times 2.200$$

$$C = \$ 242.000$$

La siguiente tabla muestra los resultados del análisis:

| Costo de tubería de variante PK-6+920 (876 m) | |
|--|-------------------------|
| Cantidad de tubos | Costo total (\$) |
| 110 | 242.000 |

Tabla IX Costo de tubería de variante PK-6+920

6.2 Análisis de costo para PK-12+700

Este PK tiene el problema de erosión por margen fluvial del estero Dile en donde se propusieron dos soluciones únicamente se analizará la solución de la opción 2 en donde se sugirió una variante de tubería.

En donde se realizará los cálculos con ayuda de los estudios realizados en el mapa topográfico VIII en donde se puede observar la distancia A-B que tiene una longitud de 906 metros y la distancia B-C una longitud de 6.640 metros en donde sumando las dos hallaremos la distancia total de desvío de tubería que se necesita para esta opción el cual es 7.542 m

En este análisis haremos una variante de una zona inestable geológicamente a una estable como es el derecho de vía del OCP.

Para obtener el costo de esta variante se usaran los datos de la tabla VIII y las ecuaciones 1 y 2 para una distancia de conexión de tubería.

$$l = 8 \text{ m}; \quad x = 7.546 \text{ m}; \quad P = \$ 2.200$$

$$N = \frac{x}{l}$$

$$N = \frac{7.546 \text{ m}}{8 \text{ m}}$$

$$N = 943,25$$

$$N = 944$$

$$C = N \times p$$

$$C = 944 \times 2.200$$

$$C = \$ 2.076.800$$

En la siguiente tabla se mostrara los resultados obtenidos en el análisis.

| Costo de tubería de variante PK-12+700 (906 m) | |
|---|-------------------------|
| Cantidad de tubos | Costo total (\$) |
| 944 | 2.076.800 |

Tabla X Costo de tubería de variante PK-12+700

6.3 Análisis de costo para PK-25

En el PK-25 en la colina de Tabete tenemos un talud el cual por precipitaciones es muy susceptible a deslizamientos por lo que la propuesta es una variante de tubería para el poliducto como observamos en el Mapa IX.

Usaremos los datos de la tabla VIII por ser el mismo tipo de tubo y con las ecuaciones 1 y 2 los precios de esta variante la cual tiene 2830 m para la conexión con la tubería.

$$I= 8 \text{ m}; \quad x= 2.830 \text{ m}; \quad P= \$ 2.200$$

$$N= \frac{X}{I}$$

$$N= \frac{2.830 \text{ m}}{8 \text{ m}}$$

$$N = 353,75$$

$$N = 354$$

$$C = N \times p$$

$$C = 354 \times 2.200$$

$$C = \$ 778.800$$

Los resultados obtenidos se mostraran en la siguiente tabla después del análisis previo.

| Costo de tubería de variante PK-25 (2830 m) | |
|--|-------------------------|
| Cantidad de tubos | Costo total (\$) |
| 354 | 778.800 |

Tabla XI Costo de tubería de variante de PK-25

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

1. La tubería del poliducto trazado en el territorio del cantón Esmeraldas, es asentada en una zona de alta sismicidad, reconocida por tener el sexto terremoto de subducción más fuerte del mundo (31 de enero de 1906, Mw 8,8); localmente hay fallas geológicas superficiales que podrían generar sismos entre los 5 a 6 grados de magnitud, ambas fuentes sísmicas pueden provocar daños a la tubería. Los principales fenómenos geológicos que podrían activarse durante y después de un terremoto son: subsidencias o asentamientos de terrenos, fracturamiento o diaclasamiento en el sustrato rocoso los cuales ya presentan una inestabilidad como el reportado en el PK-25, deslizamientos también pueden desplazarse a lo largo de planos de

fallas geológicas antiguas, este último fenómeno también pueden ser reactivados por intensas lluvias como el deslizamiento de Tabete, cerca de la tubería acontecida en abril 2013.

2. Análisis geológicos y geomorfológicos y visitas al sitio han permitido identificar tres sitios considerados críticos por su alta probabilidad de daño a la tubería, referenciados en las estaciones kilométricas PK-6+920, PK-12+700 y PK-25.

3. Para la estación PK-6+920 el tramo de la tubería del poliducto se encuentra propenso a daño por la remoción de tierra de velocidad lenta, el substrato rocoso bien fracturado corresponde a limolitas compactas intercaladas con areniscas bien diaclasadas, relleno de yeso y niveles de margas, las cuales permiten una infiltración de aguas y formación de escarpes activos de deslizamientos.

4. En el PK-12+700, la tubería se encuentra asentada en una zona de colinas que es erosionada rápidamente por el estero Dile que hace socavar la base del margen fluvial donde está la tubería y provoca fragilidad en la superficie que la sostiene, también cuando hay altas precipitaciones la saturación de agua en el substrato provoca caídas de parte del substrato, el soporte H está actualmente al descubierto.

5. En el Pk-25 el substrato rocoso donde descansa la tubería del poliducto, está conformado por estratos de limolitas compactas pero

bien diaclasadas lo que permite la infiltración de agua y provocó deslizamientos de tierra en la colina de Tabete. Las tres principales tuberías de transportes de hidrocarburos y sus derivados (ejemplo, SOTE, Poliducto y OCP) atraviesan este relieve altamente inestable. La pared vertical descubierta por el escarpe del deslizamiento de Tabete permite evidenciar los fracturamientos y planos de fallas geológicas en el substrato rocoso, grietas de tracción abiertas donde descansan las tuberías, con estos rasgos geológicos nuestro análisis indican un nivel moderado a alto de riesgo y potencial daño a las tuberías.

7.2 Recomendaciones

1. Es importante el estudio en detalle a escala 1:5.000 para identificar potenciales efectos geológicos antes de la sección de DDV o trayectoria de la tubería.
2. En el sitio crítico PK-6+920 se recomienda el desvío de la tubería hasta el punto más cercano con el derecho de vía del SOTE (876 metros de desvío) de esta manera se mantiene el derecho de vía y se asienta la tubería en una zona libre de deslizamiento y desmoronamiento.

3. En el sitio crítico PK-12+700 se recomienda por el costo de la misma mantener el mismo DDV, en donde realizara una estructura metálica de soporte para la tubería y un espigón que permita la acreción en la pared que pasa la tubería.
4. En el sitio crítico Pk-25 se recomienda cambiar la ruta del poliducto evitando pasar sobre la colina de Tabete que es un área muy inestable debido a que el substrato rocoso es bien diaclasado.
5. Las propuestas y variantes analizadas para cada PK crítico del poliducto afectado por algún factor de riesgo geológico son varias y la mejor solución se la elige dependiendo de la eficiencia y costo.
6. Los rasgos geológicos de inestabilidad y su potencial daño a la tubería poliducto podrían generar pérdidas de millones de dólares al Estado Ecuatoriano por la paralización de transporte de hidrocarburos desde la Refinería Esmeraldas hasta la ciudad de Quito, la pérdida puede ser mayor si el efecto de daño alcanza las otras dos tuberías, por lo que se recomienda realizar estudios detallados antes de empezar una infraestructura importante en un terreno con evidencias geológicas de alta inestabilidad.
7. Construir canales para direccionar las aguas de escorrentía y no quede represado en el DDV, hemos confirmado que el represamiento

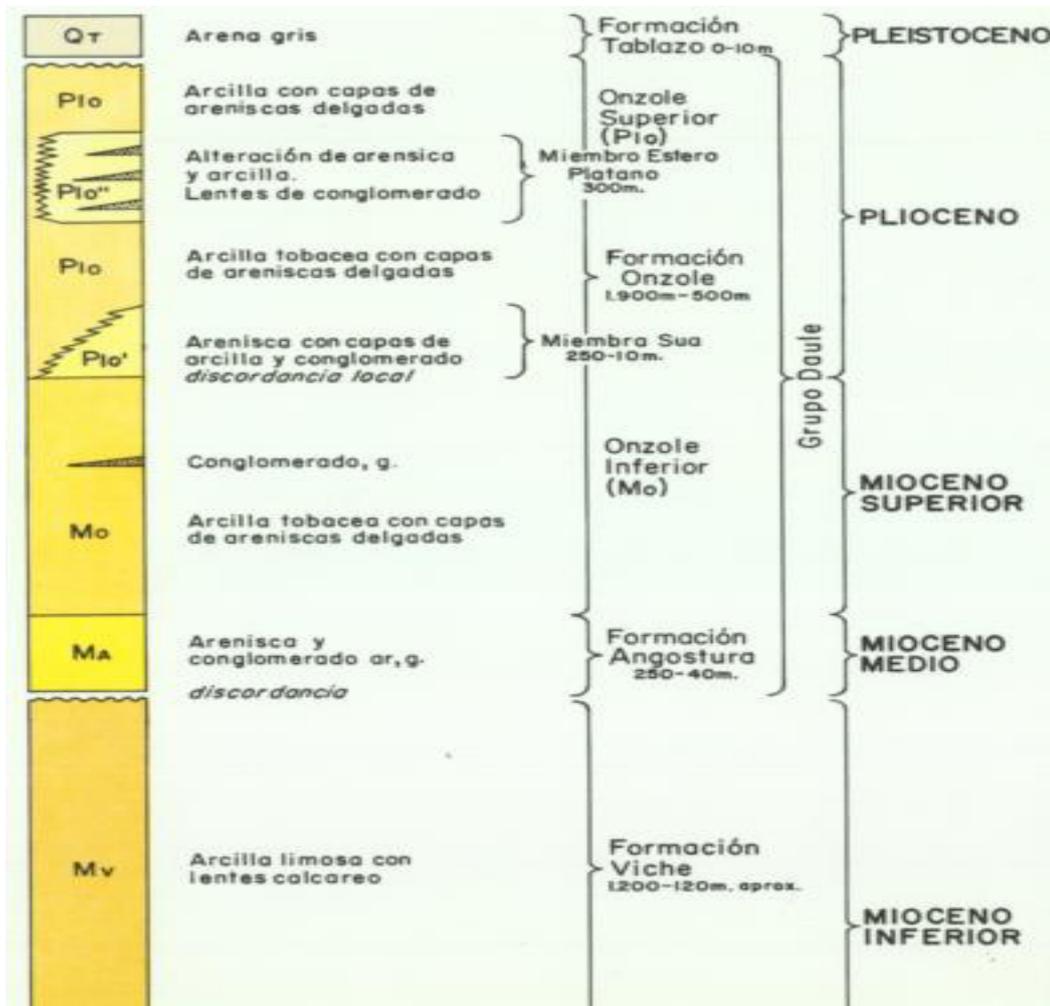
de las aguas son indicios para formación de escarpes de deslizamientos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alain Winckell, C. Z. (1997). *Los Paisajes Naturales del Ecuador*. Quito.
2. Ángulo, A. (2014). *Costo de tubería del poliducto de 16 pulgadas*. Esmeraldas.
3. Gutiérrez, S. G. (6 de Diciembre de 2014). <http://es.calameo.com>. Obtenido de <http://es.calameo.com:> <http://es.calameo.com/read/00119297291b14c0f3978>
4. La Misión Británica y la Dirección General de Geología y Minas. (2014). *Esmeraldas y Punta Galera*. Guayaquil.
5. Mendoza, W. G. (20 de Diciembre de 2014). http://www.eppetroecuador.ec/idc/groups/public/documents/peh_otros/000579.pdf. Obtenido de http://www.eppetroecuador.ec/idc/groups/public/documents/peh_otros/000579.pdf: http://www.inredh.org/index.php?option=com_content&id=151:acciones-judiciales-por-derrames-de-petroleo&Itemid=126
6. Petroecuador. (Lunes de Enero de 2015). <http://www.eppetroecuador.ec>. Obtenido de <http://www.eppetroecuador.ec>: http://www.eppetroecuador.ec/idc/groups/public/documents/peh_otros/000579.pdf
7. Refinería Estatal Esmeraldas. (2014). *Unidades instaladas en la refinería de Esmeraldas*. Guayaquil.
8. SOLUM. (2013). *Hoja estratigráfica y resultado de laboratorio*. Guayaquil.

ANEXOS

Anexo A



Columna Estratigráficas (a escala 1: 20.000) de las formaciones geológicas que atraviesa la tubería del polducto desde el PK-00 (ciudad de Esmeraldas) hasta el PK-36 (Viche). Extracto de imagen de la hoja geológica Esmeraldas y Punta Galera a escala 1: 10000

Fuente: (La Misión Británica y la Dirección General de Geología y Minas, 2014)

Anexo B



Perfil topográfico desde google earth del PK36 (izquierda) al PK-00 (derecha), alcanzando altitudes mayores de 377 m.s.n.m.