

Evaluación de potenciales daños de la tubería de poliducto del Cantón Esmeraldas: criterios geológicos para identificar sitios críticos y propuestas de variantes

Evaluation of potential damage to the Esmeraldas Canton polyduct pipeline: geological criteria to identify critical sites and variant proposals

Avaliação de danos potenciais ao poliduto do cantão de Esmeraldas: critérios geológicos para identificar locais críticos e propostas de variantes

José Luis Castillo Gámez

jose.castillo.gamez@utelvt.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-7069-0404>

Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador

Mirna Geraldine Cevallos Mina

mirna.cevallos.mina@utelvt.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-5383-4522>

Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador

Luis Adrián González Quiñonez

luis.gonzalez@utelvt.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-5026-0028>

Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador

Guido Alexander Landazuri Nazareno

alexlandzuri4@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-7073-5078>

Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador

RESUMEN

En el presente artículo 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 el área de estudio, informes geológicos, mapas con la ayuda de google earth, libros de geomorfología, documentación de los PK's a analizar y mantenimiento de este. Se investigará sobre la infraestructura de la Refinería Estatal de Esmeraldas y poliducto delimitando el área de estudio. Se realizará la caracterización geológica en donde se describirá su litoestratigrafía y geomorfología. Se analizará la información de la sismicidad histórica en estas zonas de Esmeraldas la cual puede causar algún factor de riesgo geológico secundario y afectar al poliducto. Habrá una descripción de los PK's críticos afectados por algún factor de riesgo geológico y se propondrá varias soluciones para los PK's críticos por último las respectivas conclusiones y referencias bibliográficas.

Palabras clave: Poliducto, Geomorfología, PK, Litoestratigrafía.

ABSTRACT

The present paper evaluate the potential damage to the pipe of the pipeline in Esmeraldas city with geological yardstick to identify critical sites and provide solutions. For development of the information available of several programs that let you view historical earthquakes in the study area, geological reports, maps of google earth, geomorphology book, documentation of the PK's to be analyzed and maintenance of this. An investigation will be carried out on the infrastructure of the Esmeraldas State Refinery and pipeline delimiting the study area. The geological characterization will be carried out where its lithostratigraphy and geomorphology will be described. The information on the historical seismicity in this area of Esmeraldas will be analyzed, which may cause some secondary geological risk factor and affect the pipeline. There will be a description of the critical PKs affected by some geological risk factor and various solutions will be proposed for the critical PKs, finally the respective conclusions and bibliographic references.

Keywords: Pipeline, geomorphology, PK's, lithostratigraphy.

RESUMO

No presente artigo, realiza-se uma avaliação de potenciales danos da tubería del poliducto no cantão Esmeraldas com critérios geológicos para identificar sitios críticos e dar soluções. Para descobrir o mesmo, se disponibiliza informações de vários programas que permitem ver os sismos históricos ocorridos na área de estudo, informes geológicos, mapas com ajuda do google earth, livros de geomorfologia, documentação dos PK's a analisar e manter este. Se investigará sobre a infra-estrutura da Refinaria Estatal de Esmeraldas e poliduto delimitando a área de estudo. Se realizará a caracterização geológica e se descreverá sua litoestratigrafia e geomorfologia. Se analisar a informação da sismicidad histórica nestas zonas de esmeraldas, o cual pode causar algum fator de riesgo geológico secundário e afetar o poliduto. Habrá uma descrição dos críticos de PK's por algum fator de riesgo geológico e se propondrá varias soluções para as conclusões de PK's críticas por último las exclusivas e referências bibliográficas afetadas.

Palavras-chave: Poliducto, Geomorfologia, PK, Litoestratigrafía.

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 al 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).

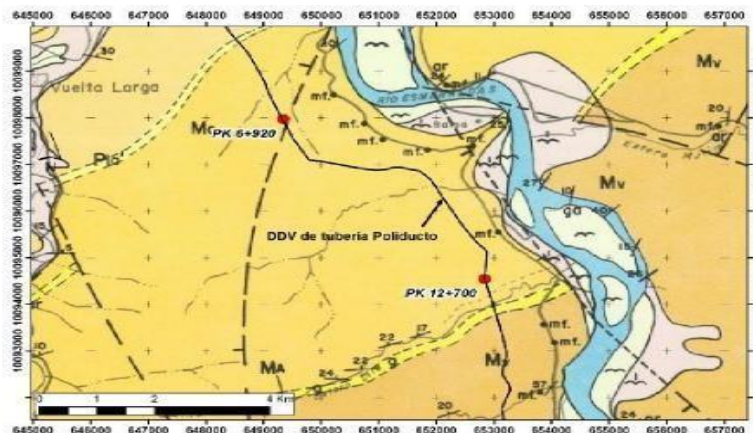
El poliducto en el cantón Esmeraldas se encuentra sobre zonas de colina que no sobrepasan los 200 metros sobre nivel de mar y zonas de terrazas altas y bajas. Los principales rasgos geológicos identificados son: subsidencia o asentamiento del terreno, deslizamiento o derrumbes de estratos rocosos, fracturamiento 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 y eventos tsunamigénicos, 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.

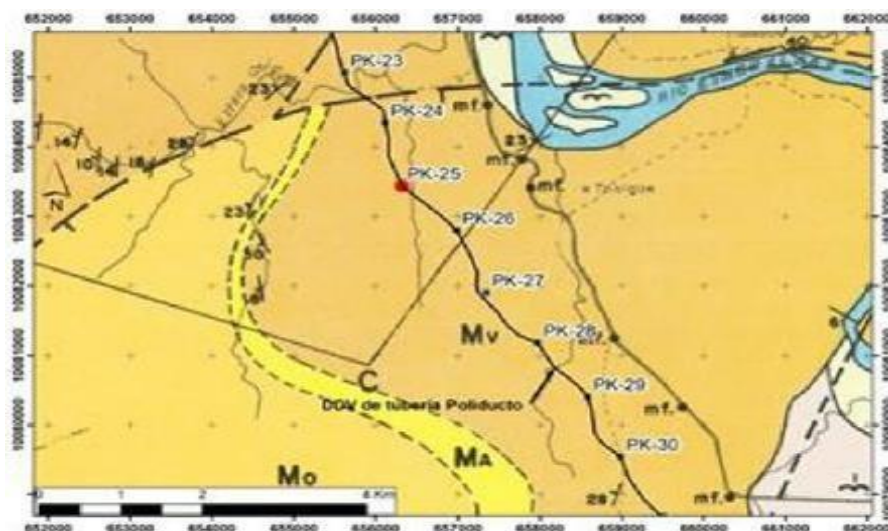
DESARROLLO

Caracterización geológica del sitio de estudio

En este capítulo analizaremos en el área estudio de 36 Km (desde PK-00 hasta PK-36): (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.



Mapa I. Sitios críticos PK-6+920 y PK-12+700.



Mapa II. Sitio crítico Pk-25.

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 mapa geológico).

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 recalando la estratificación. La roca fresca es verde oscuro gris y meteoriza con un color habano-café.

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. El espesor de la formación es generalmente cerca de 250 m. pero cerca del río Esmeraldas tiene solamente 40 m. La Onzole Inferior (Mioceno Superior) (Mo)-Consiste de lodolitas bien estratificadas con listones de arenisca fina. La litología es indistinguible de la formación viche. La roca fresca es verde oscuro 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 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. Al este el espesor total del Onzole superior tiene un exceso de 1100 m. y su edad varía.

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 guijarroso 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.

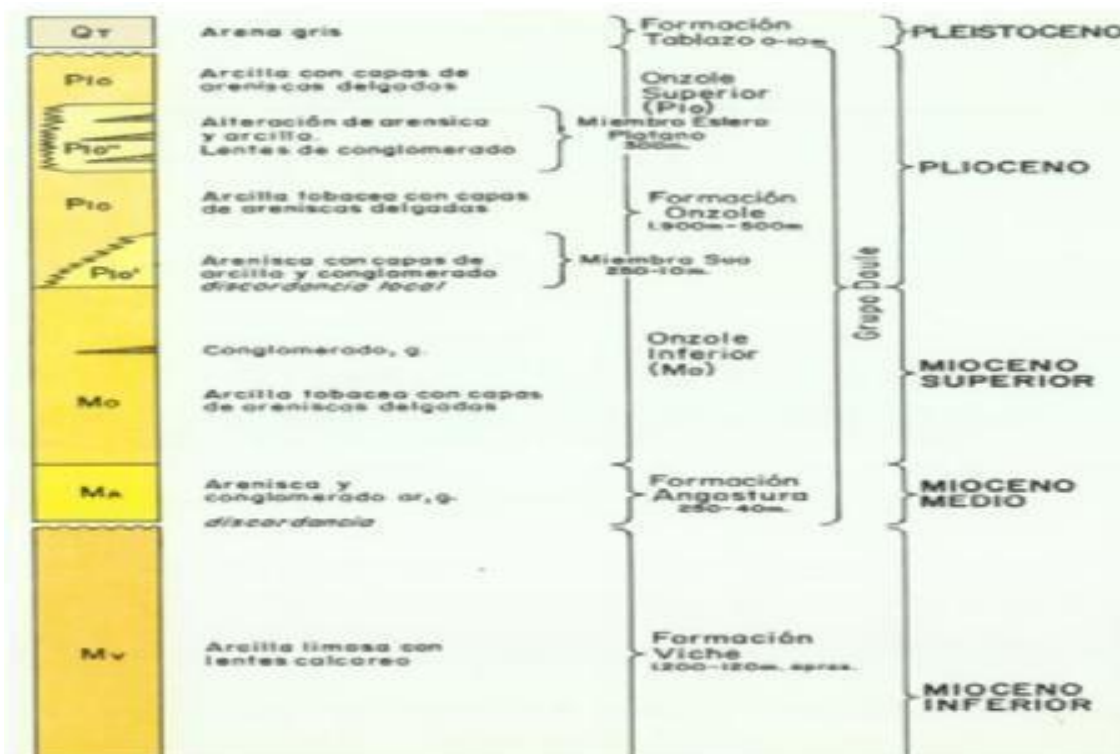


Figura 1. Columna estratigráfica de las formaciones de interés.
fuente: (La misión británica y la dirección general de geología, 2014)

Sismicidad

Desde un punto de vista del análisis de riesgo sísmico, la tubería en estudio se encuentra en una zona de tectónica activa (es decir de alta sismicidad), cercana a la zona de subducción ecuatorial. La histórica sísmica de Esmeraldas inicia en 1906, donde se tiene reporte del sexto terremoto más fuerte del mundo, alcanzando una magnitud de 8.8 (otras fuentes indican una magnitud de 8.6). Terremotos subsiguientes acontecieron en:

El 5 de marzo de 1987 magnitud 7.0, profundidad de 10 km

El 2 d febrero de 1958 magnitud 7.3, profundidad de 40 km

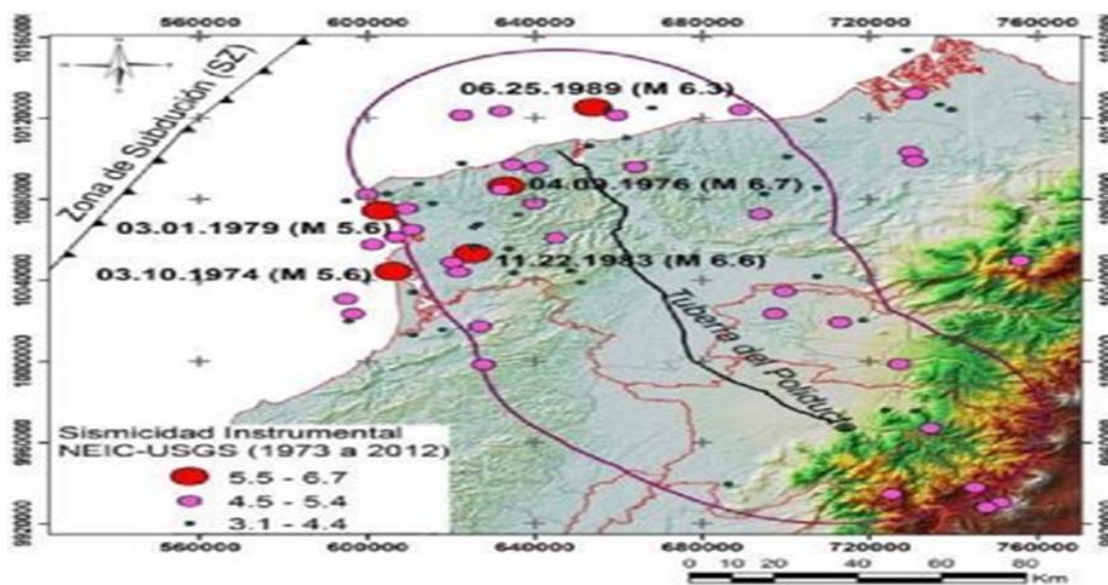
El 12 de diciembre de 1979 magnitud 7.7 profundidad de 24 km

Estos terremotos generalmente ocasionan eventos geológicos secundarios como Tsunamis en este caso todos los mencionados anteriormente ocasionaron uno. 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 5.6; profundidad 43 Km),
- [b] 9 de abril de 1976 (magnitud 6.7; profundidad 9 Km),
- [c] 1 de marzo de 1979 (magnitud 5.6; profundidad 33 Km),
- [d] 22 de noviembre de 1983 (magnitud 6.6; profundidad 54 Km), y
- [e] 25 de junio de 1989 (magnitud 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.



Mapa III. Distribución espacial de Sismos catálogo NEIC.

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.

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:

El PK 6+920, 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.



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

En el PK-12+700, la tubería se ubica en una terraza y en la parte de abajo se encuentra el estero Deler que poco a poco hace erosionar la pared de tierra donde está el poliducto provocando desmoronamiento del talud que soporta la tubería dejándola al descubierto lo cual puede provocar daños.



Foto 2. Vista panorámica de tubería que esta sobre el PK-12+700.

En el PK-25, este tramo de la tubería se encuentra sobre la colina 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.



Foto 3. Vista panorámica de tubería que esta sobre el PK-25.

Propuesta de Variantes

Se realiza varias propuestas de variantes para dar solución a los principales puntos críticos del poliducto del cantón Esmeraldas, manteniendo el derecho de vía.

En el PK-6+920, 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.

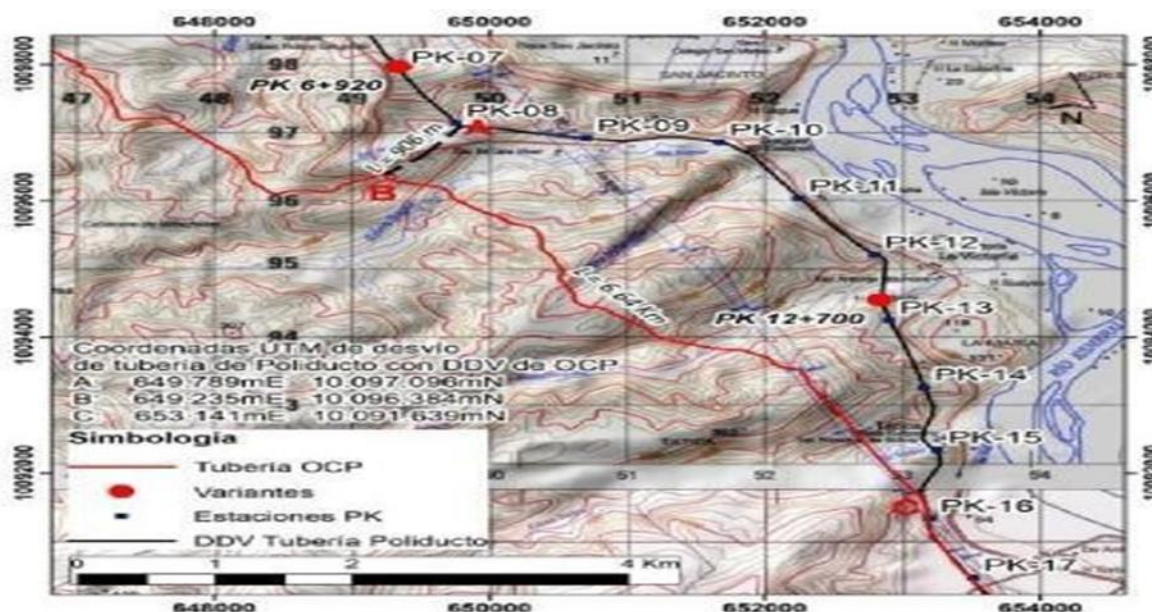


Mapa IV. Imagen satelital disponible en google-earth y trazado de la variante propuesta.

En el PK 12+700, sobre el derecho de vía (DDV) se encuentra el poliducto atravesando una colina alargada 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 la cual se encuentra suspendida la tubería. Análisis morfológicos han permitido delinear dos opciones para el cambio de tubería del poliducto:

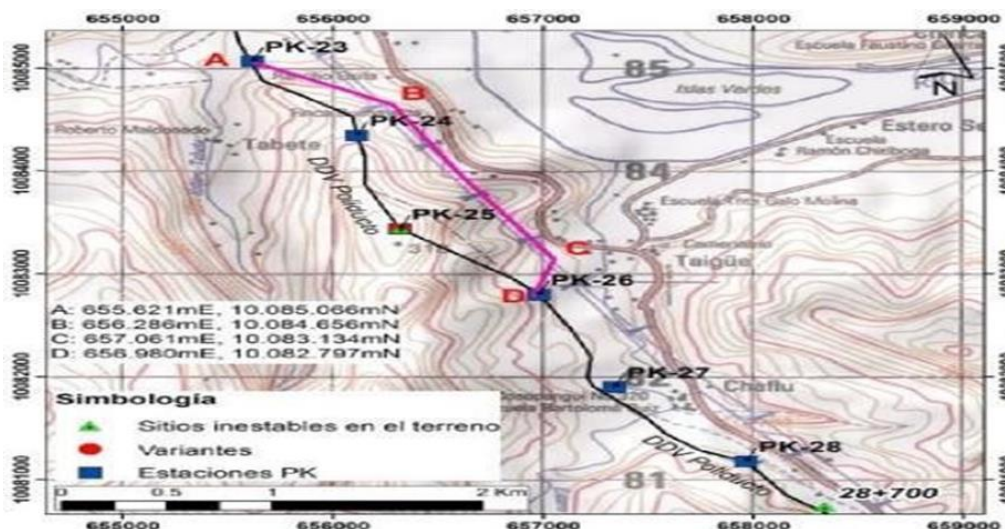
Opción 1: La tubería del poliducto mantendrá el derecho de vía (compartido con SOTE), siempre y cuando se tomen en consideración sistemas técnicos de remediación en el Estero Dile. Es recomendable realizar estructuras de espigones que permitan la formación de terrazas aluviales no inundables y de esta 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 morfométrico 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+05 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 punto A tiene 82 m.s.n.m y se encuentra en una zona de valle aluvial de intracolinas, el punto B corresponde a una zona de ladera de colina alta donde alcanzan los 185 m.s.n.m.



Mapa V. Mapa topográfico con variante del PK-12+700.

Para el PK-25, los análisis de imágenes satelitales han sido empleados en este sitio, descartando por su complejidad morfológica, posibles propuestas de derechos de vías hacia los flancos al 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 VI. Mapa topográfico con variante del PK-25.

CONCLUSIONES

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 puede ser reactivados por intensas lluvias como el deslizamiento de Tabete, cerca de la tubería acontecida en abril 2013.

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.

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 sustrato rocoso bien fracturado corresponde a limolitas compactas intercaladas con areniscas bien diaclasadas, las cuales permiten una infiltración de aguas y formación de escarpes activos de deslizamientos.

En el PK-12+700, la tubería se encuentra asentada en una zona de colinas que es erosionada rápidamente por el estero Deler 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 sustrato provoca caídas de parte del sustrato, el soporte H está actualmente al descubierto.

En el PK-25 el sustrato 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.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alain Winckell, C. Z. (1997). Los Paisajes Naturales del Ecuador. Quito. Castillo, S. R. (2014). Deslizamiento superficiales y desmoronamiento de estratos Esmeraldas.
- Amaya Orozco, S. E., & Garnica Piranque, A. C. (2020). *Selección de alternativas para retrasar la corrosión en tuberías en ambientes agresivos* (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).
- Berrones, R. F., & Vassilev, V. H. (1999). Consideraciones sísmicas en el diseño de tuberías. *Tecnología y ciencias del agua*, 14(2), 49-64.
- Castillo, S. R. (2014). Mapa topográfico variante PK-12+700. Esmeraldas.
- Castillo, S. R. (2014). Vista panorámica de tubería en el Pk-6+920. Esmeraldas.
- Cueli-Corugedo, A., Renatovich-Latypov, O., Rinatovna-Latypova, D., & Adames-Montero, Y. (2019). Protección de la tubería principal contra la corrosión en áreas complejas. *Ingeniería Mecánica*, 22(2), 74-78.
- Herrera, C. A. M., Félix, I. C., Flores, J. R., & Pérez, O. M. (2009). Corrosión en tuberías de línea y de revestimiento de pozos del campo geotérmico de Cerro Prieto, BC. *Geotermia*, 45.
- La Misión Británica y la Dirección General de Geología y Minas. (2014). Esmeraldas y Punta Galera. Guayaquil. Gutiérrez, S. G. (6 de Diciembre de 2014). <http://es.calameo.com>. Obtenido de <http://es.calameo.com>: http://es.calameo.com/read/00119297291b14_e0f3978
- Marrero-Águila, R., & Zelaya-Reina, A. R. (2014). Evaluación de problemas de corrosión en tuberías de una central hidroeléctrica. *Tecnología Química*, 34(1), 1-10.
- Pencheva, S. J. (2014). Deslizamiento de Tabete. Esmeraldas.
- Pencheva, S. J. (2014). Mapa topográfico con variante para 12+700. Guayaquil.
- Pencheva, S. J. (2014). Soporte de tubería para Pk-12+700. Esmeraldas.
- Pencheva, S. J. (2014). Vista panorámica de DDV de SOTE PK-6+920. Esmeraldas.
- Peñaranda, S., Calderón, J. A., Delgado, J., & Restrepo, A. (2005). Análisis estadístico de los factores que intervienen en la corrosión de tuberías enterradas. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (34), 23-34.
- 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.