

Gestion de Mantenimiento Ante Geoamenazas para Garantizar la Integridad del Activo en el Oleoducto OCENSA

Hugo García

Oleoducto Central S.A.

Cra 11 No 84-09, Bogotá, CO.

RESUMEN

Los sistemas de tuberías de oleoductos para transporte de hidrocarburos son proyectos lineales que pueden alcanzar gran longitud. Por esta razón, a lo largo de su camino, pueden atravesar diversas condiciones topográficas, formaciones geológicas, tipos de suelo, corrientes de agua y afrontar problemas de inestabilidad geotécnica e hidrológica. El sistema del Oleoducto Central, fue construido en el año 1997 para el transporte de crudo desde el piedemonte llanero en el oriente colombiano hasta la costa atlántica, atravesando a lo largo de sus 830 Km de longitud la cordillera oriental y las estribaciones de la cordillera central de Colombia, lo que constituye un reto para garantizar la integridad del oleoducto ante eventos naturales (Figura 1).

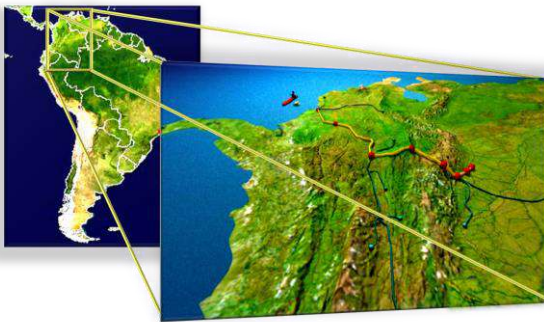


Figura 1. Ubicación del oleoducto Central en Suramérica

Este trabajo busca presentar el proceso llevado a cabo para el diseño, implementación y mejoramiento continuo de la estrategia de mantenimiento para el DDV y la tubería del sistema. Con este sistema de gestión se ha garantizado una operación segura del oleoducto, reduciendo la importancia relativa de la amenaza natural y obtenien-

do el resultado de cero fallas del sistema por esta causa durante la vida útil del oleoducto

LAS GEOAMENAZAS Y SU IMPORTANCIA EN COLOMBIA

Las geoamenazas (también conocidas como amenazas naturales) son afectaciones potenciales a la integridad de los ductos causadas por procesos de inestabilidad del terreno debidos a la acción de corrientes de agua, erosión o movimientos de masa y a la actividad tectónica, la cual se evidencia por el movimiento de las fallas geológicas y los cambios en los taludes del terreno [2].

Las geoamenazas se pueden dividir, de forma general, en geotécnicas (Figura 2) e hidrotécnicas. A su vez los principales agentes detonantes de esas amenazas son los sismos, lluvias y acción antrópica.

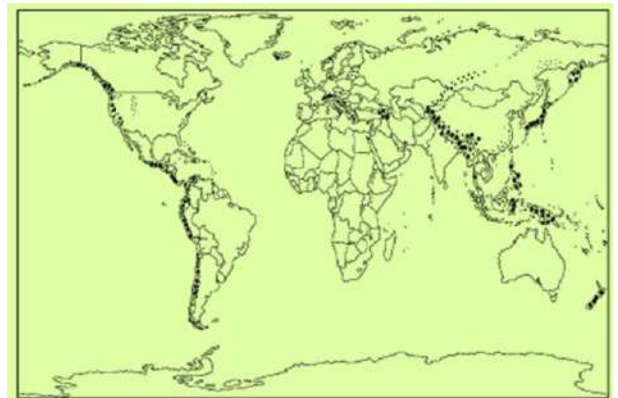


Figura 2. Distribución de los deslizamientos en el mundo

Es de anotar que en Suramérica, y particularmente en el oleoducto OcenSA en Colombia se dan todas las condiciones para que las geoamenazas sean una de las principales amenazas a la integridad de los ductos [8].

Topografía

El oleoducto Ocesa atraviesa la cordillera oriental y las estribaciones de la cordillera central colombianas, lo que implica que se encuentren sitios de alta pendiente y zonas de fallas geológicas.

Espesores de suelo

La ubicación de Colombia en la zona tropical ecuatorial, hace que los procesos de meteorización de las rocas sean mucho más intensos que en otras regiones del mundo, por esta razón los espesores de suelo residual pueden alcanzar profundidades de varios metros.

Régimen de lluvias

Colombia es uno de los países más lluviosos del mundo por hallarse en la zona tropical.

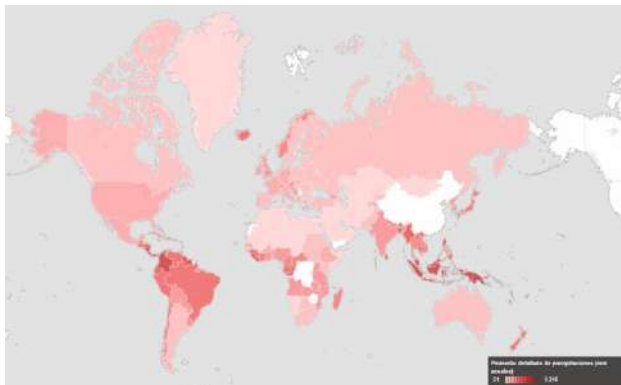


Figura 3. *Mapa mundial de distribución de lluvias*

Sismos

Colombia se encuentra ubicada entre placas tectónicas como son la Caribe y la de Suramérica, esta última es una de las más activas del mundo.

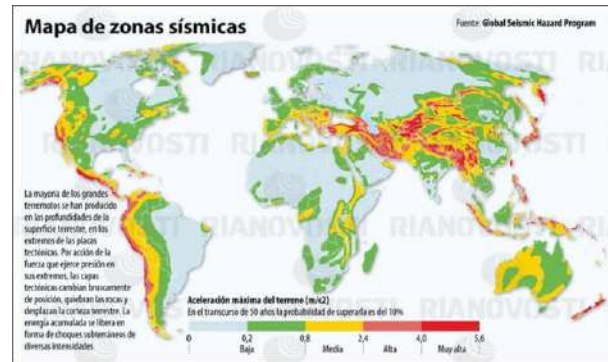


Figura 4. *Mapa mundial de zonas sísmicas*

Por las anteriores razones, en Ocesa se elaboró un plan para monitorear, priorizar y corregir los hallazgos que se presentan a lo largo del trazado del oleoducto.

MECANISMOS DE MONITOREO

Buscan identificar o valorar el efecto de las geoamenazas sobre la tubería o el DDV, se dividen en inspecciones de la superficie y mediciones de parámetros propiamente dichas [4].

Supervisión e inspecciones del DDV

Recorridos aéreos de inspección.

En cumplimiento del DOT 195.412 [6] la superficie del derecho de vía debe ser inspeccionada con intervalos que no superen tres semanas, y por lo menos 26 veces al año. OCENSA cumple y supera esta regulación realizando un recorrido aéreo semanal al derecho de vía, empleando un helicóptero. La alta frecuencia de vuelos empleada se debe a la ocurrencia de eventos de remoción en masa, acciones antrópicas no autorizadas como minería y utilización de maquinaria pesada con fines pecuarios.

Recorridos terrestres de inspección.

Es una Inspección de reconocimiento paso a paso a lo largo del DDV y sus zonas aledañas realizadas por personal experto. Este recorrido permite detallar hallazgos que no son evidenciados desde el aire, es la base para la definición de plan anual de mantenimiento. Para cada hallazgo se elabora un Ficha geotécnica, hidráulica o antrópica. Se busca determinar los siguientes aspectos:

- Movimientos de masa o erosiones
- Invasiones o actividad antrópica
- Estado de la vías de acceso
- Estado de los cruces subfluviales
- Necesidades de mantenimiento de obras

Monitoreo de variables del terreno

Monitoreo topográfico

Consisten en la toma de lecturas de mojones ubicados en los sitios con inestabilidad esperada o detectada, desde referencias ubicadas en sitios estables, BM's de referencia, con equipos y procedimientos topográficos de alta precisión.

La toma de lecturas periódicas y su correspondiente análisis revelará los desplazamientos horizontales y verticales de la superficie del sitio en estudio. A partir de estos datos se puede obtener la dirección del movimiento, velocidad de desplazamiento, extensión del área inestable y el campo de desplazamientos en la superficie de la masa. Estos datos no solo permiten mantener actualizado el nivel de riesgo en los sitios estudiados sino que son la entrada de modelos empleados para verificar la respuesta de la tubería en los sitios inestables y ayudan a dimensionar cualquier obra a realizarse.

Monitoreo con inclinómetros y piezómetros

Este tipo de monitoreo se implementa en zonas de sensibilidad geotécnica identificadas previamente y en las que se precise tener información específica. Se realiza por medio de instrumentos especialmente diseñados para medir la respuesta del terreno ante determinadas variaciones en las condiciones de su entorno.

- Inclinómetros: permite conocer los desplazamientos de la masa de suelo en profundidad, el punto de falla y el estrato en movimiento.
- Piezómetros: sirven para conocer las variaciones del nivel piezométrico que

puedan afectar la estabilidad de un talud. Puede ser correlacionado con lluvias.

Monitoreo de agentes detonantes

Lluvias

Ocensa tiene contrato con un proveedor de servicios de pronóstico del clima, para conocer de forma oportuna la ocurrencia de lluvias extraordinarias y establecer a partir de ellas la probabilidad de afectación por deslizamiento derivado de las precipitaciones. En Convenio con el Ideam se desarrolló un modelo de pronóstico estadístico que relaciona la lluvia inmediata o acumulada con la ocurrencia de movimientos de masa [7].

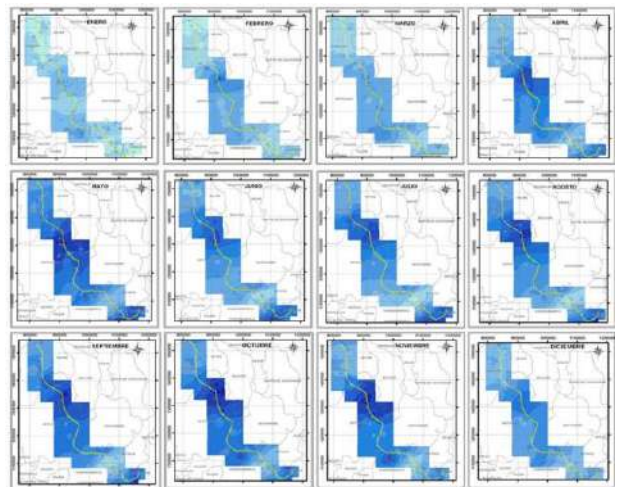


Figura 5. *Análisis mensual de lluvias en el área de influencia del oleoducto OCENSA*

Sismos

Ocensa realizó un completo estudio de amenaza sísmica, identificando las principales sismo fuentes, la propagación de las ondas por los estratos rocosos y los perfiles de suelo en los que se amortiguaría la onda, para de esta manera conocer cuál sería la respuesta en cualquier sitio y la probabilidad de afectación del oleoducto [5]. De esta manera, OCENSA posee una aplicación en Google maps que le permite conocer el riesgo al que está sometido el ducto

después de un evento sísmico y tomar las medidas pertinentes.

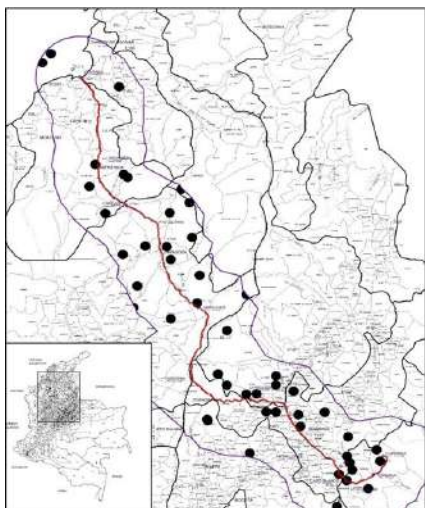


Figura 6. Sismos de magnitud 5 a 6 en el área de influencia del oleoducto

Monitoreo del ducto

Herramienta inteligente

Las herramientas de inspección de ductos (*In Line Inspection* - ILI), se emplean en la industria del transporte de hidrocarburos para la obtención de información geo-referenciada (información inercial), de la geometría del ducto y para la detección de diversos tipos de anomalías, cuyos resultados (datos de entrada) son fundamentales para la planeación de programas de integridad. Estas herramientas son dispositivos que se insertan y se mueven al interior del ducto, generalmente impulsadas por el fluido bombeado.

Herramienta inercial

Las herramientas de inspección inercial tienen como función principal medir la coordenadas (x, y, z) de localización del ducto para determinar su alineamiento en planta y perfil y -a partir de esta información- calcular las deformaciones por flexión a lo largo del ducto.

Los resultados de la inspección con esta herramienta brindan información sobre la ubicación espacial del ducto. Si se tiene una línea de base de referencia de la ubicación espacial del ducto, se pueden determinar los sitios con desplazamientos relativos entre campañas de inspección.

EVALUACIÓN DEL RIESGO Y PRIORIZACIÓN

Para la evaluación del riesgo local por Geomamenazas se establece un análisis cualitativo, considerando una matriz de análisis, que expresa la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de inestabilidad geotécnica o de hidrotecnia y su correspondiente impacto actual y futuro a la tubería y DDV.

Asignación del riesgo

En las Tablas 1, 2 3 y 4 se observan los criterios cualitativos observados en el oleoducto para definir la prioridad y el nivel de riesgo de una obra de acuerdo con la probabilidad de ocurrencia y consecuencias de un fenómeno.

Cuando el nivel de riesgo o la complejidad de un hallazgo es importante, es necesario hacer estudios adicionales que permitan valorar correctamente el riesgo y las medidas de control a implementar.

Tabla 1. *Medidas cualitativas de probabilidad*

1	Remota probabilidad de afectación de la tubería o del del DDV.
2	Afectación a la tubería en el largo plazo o afectación potencial al DDV o vía de acceso crítica en el corto plazo
3	Afectación a la tubería en el corto plazo o afectación al DDV o vía de acceso crítica inminente.
4	Afectación a la tubería inminente.

Tabla 2. *Medidas cualitativas de consecuencia o impacto*

A	Consecuencias despreciables para los activos de Ocesa. - Erosiones incipientes, Deslizamientos alejados del DDV
B	Consecuencias menores para los activos de Ocesa. - Deslizamiento pequeño, cárcavas o tubificaciones importantes.
C	Consecuencias importantes para los activos de Ocesa. - Tubería protegida provisionalmente, socavación importante sin destape de tubería, Cárcava de grandes dimensiones, deslizamiento de moderadas dimensiones

D	Parada total del sistema o daños muy cuantiosos. - Tubería destapada en corriente importante o en zona de seguridad reservada. Deslizamiento de grandes dimensiones.
---	--

Tabla 3. *Matriz de asignación de riesgo local*

PROBABILIDAD	4	PRIORIDAD 2		PRIORIDAD 0
	3	PRIORIDAD 2		PRIORIDAD 1
	2	PRIORIDAD 3		PRIORIDAD 2
	1	PRIORIDAD 3		PRIORIDAD 2
		A	B	C
IMPACTO				

Tabla 4. *Criterios de atención según prioridad y riesgo*

PRIORIDAD	RIESGO	CRITERIO DE ATENCIÓN
0	ALTO	INMEDIATO: EMERGENCIA
1	MEDIO	CORTO PLAZO (1 - 3 meses)
2	BAJO	MEDIANO PLAZO (3 - 6 MESES)
3	MÍNIMO	LARGO PLAZO: MONITOREO

Criterio de atención

De acuerdo con el nivel de riesgo asignado al hallazgo, debe ser la celeridad de la respuesta. Por esto cuando el riesgo es Alto, se asigna una Prioridad 0 y la acción debe ser acometida en forma inmediata. En la Tabla 4 se muestra el plazo asignado en OCENSA para a atención de un sitio según el riesgo encontrado.

La priorización es la base para la elaboración del plan de mantenimiento civil, la elección de los sitios y su programación. En la medida en que aparezcan hallazgos nuevos o las condiciones de los antiguos varíen es necesario realizar reprogramación de obras, añadir o excluir hallazgos según el nivel de riesgo. Este proceso está enmarcado dentro del llamado “mantenimiento basado en condición”.

Deformaciones de la tubería

Para determinar la necesidad de realizar un alivio de tensiones y acciones asociadas, se utilizan los criterios de deformación máxima admi-

sible, de acuerdo a la calidad del acero API5L - X70 de la tubería del oleoducto y de la soldadura. De esta manera se determina el momento de realizar una excavación de acuerdo con la deformación hallada y con la tendencia histórica (Figura 7)

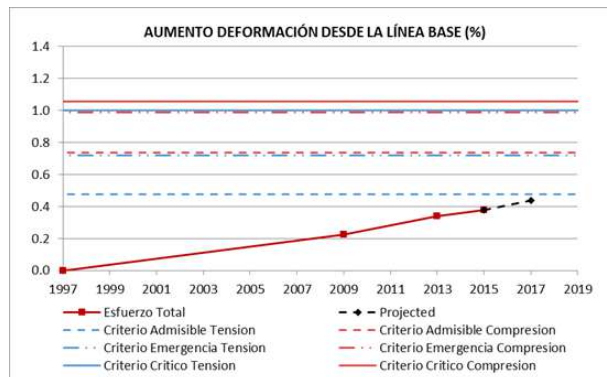


Figura 7. *Criterios para realizar excavaciones de alivio basado en riesgo*

PLAN DE OBRAS

Como resultado de los hallazgos en los diferentes mecanismos de monitoreo y el dimensionamiento realizado en el recorrido terrestre y las visitas puntuales, se elabora el plan anual de mantenimiento.

Con él se busca atender los hallazgos prioridad 0 y 1 y algunos de los de prioridad 2. OCENSA destina anualmente un presupuesto operativo para ejecución de obras civiles y de geotecnia que permite de manera preventiva mantener la integridad de la tubería y el DDV.

De otro lado, se tiene un plan de mantenimiento mayor de excavaciones (mantenimientos capitalizables) consistentes en alivios de tensiones en zonas donde el ducto ha tenido desplazamientos, de esta forma se analizan todos los puntos identificados en corridas de herramientas inerciales y que tienen seguimientos con monitoreo topográfico o inclinómetros.

Estas excavaciones se planean anualmente para evitar que las deformaciones inducidas a la tubería por desplazamientos del terreno lleguen a límites de alto riesgo de rotura.

Obras de Mantenimiento

Estas obras corresponden a aquellas que son ejecutadas de manera proactiva antes de que un evento ocurra. Son aquellas realizadas dentro del mantenimiento común del derecho de vía.

Entre las obras típicas de mantenimiento preventivo se encuentran las siguientes:

- Limpieza y descolmatación de canales
- Sellado de grietas
- Reparaciones menores
- Rocería
- Cortacorrientes y barreras vivas

Obras correctivas

Este tipo de obras se realizan de manera reactiva, cuando ya se ha presentado un evento en el derecho de vía o sus vías de acceso. Tienen como objeto restituir el sitio a su condición original. Estas obras se consideran típicas y no requieren diseños detallados o análisis específicos. Entre ellas se cuentan:

- Construcción de canales, trinchos y manejo superficial de aguas
- Construcción de gaviones y estructuras de contención
- Construcción de filtros
- Realización de estructuras de cruce, bateas, disipadores



Figura 8. *Obras de manejo de aguas en el DDV OCENSA*

Alivios de esfuerzos

Cuando la tubería del oleoducto atraviesa sitios con problemas de inestabilidad geotécnica, con el tiempo puede llegar a acumular esfuerzos y deformaciones debido al movimiento del terreno pudiendo llegar a comprometer su integridad.

Para mantener la tubería con valores de deformaciones por debajo de los criterios establecidos es necesario realizar actividades de alivio de deformaciones. Estas actividades consisten en retirar el suelo circundante a la tubería permitiendo que esta se relaje buscando su alineamiento original



Figura 9. Obras de alivio de tensiones en el DDV OCENSA

Obras especiales

Este ítem corresponde a la construcción de obras de gran escala recomendadas en los estudios especializados y que responden a un diseño específico, tales como:

- Obras de drenaje: lechos drenantes, drenes horizontales.
- Obras de contención: Pilotes, sistemas de anclaje.

Obras de elusión

Contempladas en el caso que se requiera construir una variante para evitar un problema geotécnico o hidrotécnico importante.

RESULTADOS DEL PROGRAMA

La implementación de esta estrategia dentro del programa de mantenimiento del oleoducto de OCENSA ha permitido tener una operación

desde su construcción sin rupturas de la tubería a causa de amenazas naturales.

La valoración de la importancia relativa de las amenazas técnicas a la integridad del ducto, ha variado con el tiempo, basado en el análisis de los eventos históricos ocurridos. De esta manera, las amenazas de clima y fuerzas naturales (geoamenazas) han disminuido en el peligro que representan (Tabla 5). Esto es un logro del proceso de mantenimiento implementado y mantenido de forma consistente a través de los años.

Tabla 5. Valor relativo de importancia de amenazas técnicas a la integridad

AMENAZA	2011	2018
Corrosión Externa	13%	15%
Corrosión Interna	8%	0%
SCC	2%	0%
Fallas de Fabricación	3%	2%
Fallas de construcción	8%	21%
Fallas de Equipos	9%	2%
Terceras Partes	20%	41%
Operaciones Incorrectas	12%	1%
Clima, Fuerzas Naturales y Geotecnia	25%	20%

REFERENCIAS

- [1] ASME B31.4. "Pipeline transportation systems for liquid hydrocarbons and other liquids" 2002.
- [2] AMÓRTEGUI V. "Natural Hazards in Hydrocarbon Transportation Lines". Geotechnical Special Publication No 220. ASCE, 2011.
- [3] API Standard 1160. "Managing System Integrity for Hazardous liquid pipelines" First edition. November 2001.
- [4] ARPEL, "Guía de monitoreo e inspección en la gestión de integridad de ductos frente a las geoamenazas", 2016.
- [5] CORRALES J., et al. "Study for the determination of seismic hazard for the OCENSA oil pipeline", International Geotechnical Pipeline Conference, IPG2015-8538, Bogotá, 2015.

[6] DOT 195. "Transportation of Hazardous Liquids by Pipeline" October 1, 2008.

[7] GARCÍA H., et al. "Technological platform for the monitoring of natural hazards in the OCENSA pipeline system" International Geotechnical Pipeline Conference, IPG2013-1912, Bogotá, 2013.

[8] GARCÍA H., et al. "Integrity management program for geo-hazards in OCENSA pipeline system", International Pipeline Conference, IPC2010-31162, Canadá, 2010.

HUGO GARCÍA, MSc.

Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Colombia, magíster en geotecnia de la Universidad de Brasilia. Experiencia en planes de mantenimiento, diseño y construcción de obras civiles y de geotecnia de 15 años, de los cuales 9 son específicamente en el sector de hidrocarburos para el Oleoducto Central de Colombia (OCENSA). Actualmente ocupa el cargo de Superintendente de Mantenimiento de Oleoducto de Ocesa con responsabilidad del mantenimiento mecánico, civil, ambiental y atención de Emergencias. Periódicamente dicta cursos como profesor de cátedra en universidades colombianas y actualmente es capacitador del módulo de fuerzas de la naturaleza del curso de Integridad de ductos de ARPEL.

HUGO GARCÍA

Tel Oficina: ++571 3250200 Ext. 7802

Tel personal: ++57 310 213 9128

Dirección Oficina: Cra 11 No 84-09, Bogotá.

E-mail: hugo.garcia@ocensa.com.co

Bogotá

Colombia