

6. ANALISIS DE RIESGOS

6.1 Metodología y Análisis del Riesgo Físico

Debido a que el oleoducto propuesto cruzará la mayoría del territorio Ecuatoriano y un gran número de unidades fisiográficas, para este estudio se consideró necesario realizar una evaluación de riesgos físicos. El propósito principal de la evaluación fue determinar los peligros que podrían afectar la obra propuesta su naturaleza y gravedad.

A base de la información adquirida en la línea base se identificaron 5 aspectos o componentes que presentan riesgos o peligros en términos del proyecto propuesto. Estos componentes son: geotécnica, sismología, vulcanología, inundaciones y tsunamis. Estos componentes fueron descritos en detalle en la Sección 3.1 y en esta sección fueron evaluados a base de una matriz de riesgo la que sirvió para identificar la ubicación de principales lugares en donde el riesgo de cada componente es mayor. La matriz de calificación se presenta a continuación:

MATRIZ DE RIESGOS FISICOS

Probabilidad	A	B	C	D	E
5 - Muy Probable - Mas de una vez por año					
4 - Una vez cada 10 años					
3 - Probable - Una vez cada 10 a 100 años					
2 - Una vez cada 100 a 1000 años					
1 - Improbable Menos de una vez cada 1000 años					
	No importante	Limitada	Serias	Muy Serias	Catastrófica

Consecuencias

Esta matriz se adoptó de la evaluación de riesgos para el Manejo de los Productos Químicos Industriales y Desechos Especiales en el Ecuador (Fundación Natura, 1996). Esta matriz califica al componente en base a la probabilidad de ocurrencia del fenómeno, y a las consecuencias que podría tener el mismo. La probabilidad de ocurrencia es calificada en una

escala de 1 a 5, donde el valor 5 corresponde a una ocurrencia muy probable, de por lo menos una vez por año, y el valor de 1 corresponde a una ocurrencia improbable o menor a una vez en 1.000 años. Las consecuencias son calificadas en una escala de A a E, donde A corresponde a consecuencias no importantes, y E corresponde a consecuencias catastróficas.

Para la evaluación de cada componente, el trayecto del oleoducto y su área de influencia fueron divididos en segmentos y cada segmento se clasificó de acuerdo a la matriz. En la Figura 6.1-1 se presentan los resultados de la evaluación los que se explican a continuación para cada componente.

Geotécnia - La evaluación del riesgo de los aspectos geotécnicos incluye dos componentes principales: estabilidad geomorfológica y suelos. Los parámetros de estos componentes que representan riesgos en términos del proyecto propuesto son los deslizamientos o movimientos de masas y el potencial de erosión. Aunque estos dos componentes se correlacionan directamente, en algunas ocasiones a lo largo de los diferentes segmentos evaluados se observaron discrepancias en cuanto al nivel de riesgo; es decir, en un mismo segmento el riesgo en cuanto a la estabilidad geomorfológica es alta pero en cuanto a suelos es media. En estos casos el nivel más alto de clasificación fue el que se utilizó para el análisis con el propósito de mantener una perspectiva conservadora. En la evaluación de riesgo del trayecto propuesto para el OCP se identificaron 4 áreas críticas o de alto riesgo.

La primera zona corresponde al trayecto entre los km. 78 – 100 alrededor del Volcán El Reventador la que fue calificada de acuerdo a la matriz como 5D. Esta zona presenta un alto riesgo en cuanto a movimientos de masa debido a la evidencia de deslizamientos recientes y antiguos, la presencia de fuertes pendientes (>60%), y suelos con un alto potencial de erosión. La combinación de la evidencia presentada y estos factores indica que en la zona se observarán deslizamientos en el futuro.

La segunda sección del OCP donde se identificaron zonas de alto riesgo incluyó el trayecto entre los km. 151 – 193 correspondiente al área entre Baeza y Santa Rosa (5D). Esta región presenta un terreno con fuertes pendientes (50 a 60 %) donde han ocurridos deslizamientos, por lo tanto de poca estabilidad geomorfológica. Igualmente, los suelos son bastante inestables y tienen un alto potencial de erosión.

La tercera sección que presenta alto riesgo se encuentra entre los kms. 250 al 275 presenta condiciones geotécnicas regular para la construcción. Esta zona se caracteriza por una morfología donde dominan las lomas, y el terreno montañoso (2500 a 3200 m.s.n.m) con laderas de pendientes abruptas o muy abruptas potencialmente inestable. El basamento es rocoso de material volcánico en su mayoría con un porcentaje menor de rocas sedimentarias; los suelos son profundos de buen drenaje y de permeabilidad media o baja.

Los taludes que se observaron en esta zona son actualmente inestables debido a las fuertes pendientes transversales y ya se observan deslizamientos en algunos de ellos. Aunque dentro de la zona existen áreas planas y pequeños valles más estables, en general se concluye que la zona tiene un alto potencial en cuanto a la generación de movimientos de masas y por lo tanto el riesgo se considera alto. La construcción en este tipo de zona de altas pendientes (>60%)

acentúan el riesgo especialmente si se construye perpendicular a la pendiente. En base de esta información el segmento se calificó como 4A.

Finalmente, entre los km., 445 – 473 (5D) en las proximidades de la ciudad de Esmeraldas se encontraron zonas consideradas de alto riesgo debido a la presencia de laderas con pendientes abruptas (de hasta 100%), evidencias de derrumbes recientes, y suelos con alto potencial erosivo.

Sísmico - El análisis del riesgo sísmico se realizó en función de los resultados obtenidos en la evaluación de la Peligrosidad Sísmica que se presenta en la Sección 3.1, en particular, los resultados de las aceleraciones de las zonas sísmicas. Esta información fue adaptada de la mejor forma posible de acuerdo a la matriz de riesgo presentada en esta sección.

En lo que corresponde al parámetro PROBABILIDAD de dicha matriz, se debe aclarar que los resultados obtenidos y presentados en la Sección 3.1 corresponden a un análisis determinístico del peligro sísmico, por lo que no se dispone de los datos de probabilidad de ocurrencia de las aceleraciones calculadas. Sin embargo, se han considerado valores generales de período de retorno para sistemas tectónicos regionales y que están disponibles en la literatura especializada.

Así, para los sismos de la zona de subducción, en los trabajos que se efectuaron para el Escenario del Sismo en Quito (EPN et al, 1994), se considera que la probabilidad de ocurrencia de un sismo en la zona de subducción, similar al de 1906 ($M_s=8.1$) es del 60 %, en los próximos años. Por esta razón a los sismos que se generan en la zona Costera se les a calificado con un valor de 3 en la matriz de riesgo.

Para eventos pertenecientes al sistema transcurrente dextral y de tipo inverso, se consideran períodos de retorno de 200 a 500 años (DNDC, 1992) por lo que fueron calificadas 2. Para sismos generados en el fallamiento inverso del callejón interandino, se consideran períodos de retorno superiores a los 1.000 años.

En lo que tiene que ver con el parámetro CONSECUENCIAS, se ha considerado los resultados de aceleraciones máximas probables obtenidos en el informe de peligro sísmico, distribuidos a lo largo del trazado de la ruta del SOTE en zonas geográficas identificables en el Mapa 3.1-5. En vista de que se consideran las aceleraciones máximas esperadas en los diferentes sitios, las calificaciones A y B no serían aplicables en este caso, y se consideran únicamente los valores C, D y E.

Con estos criterios se procede a calificar dentro de la matriz de riesgo a diferentes zonas geográficas a lo largo del trazado del OCP, y los resultados se presentan en la Tabla 6.1-1. Por lo expuesto anteriormente, se debe indicar que estos resultados son necesariamente de un carácter muy preliminar y no pretenden predecir cuando ocurrirá uno de estos eventos o la cantidad de personas que se verán afectadas.

Vulcanismo - Los riesgos de este componente, fueron evaluados en función a los diferentes fenómenos naturales volcánicos que pudieran afectar los distintos tramos de la tubería. Para el análisis de riesgo se utilizó evidencia histórica, observaciones directas de campo y ubicación geográfica de los principales volcanes de la zona.

Los fenómenos volcánicos considerados son; lahares, flujos de lava, flujos piroclásticos, cenizas y avalanchas. En Tabla 6.1-2 se resume el análisis de riesgo para cada tramo del oleoducto OCP en función de estos diferentes fenómenos. Esta información fue utilizada también para la preparación del mapa de riesgo volcánico (Figura 3.1-6) incluido en la Sección 3.1.

Tabla 6.1-1		
Resumen del Riesgo Sísmico para el OCP		
Zona Geográfica y Kms., en Referencia al OCP	Tipo de Estructura	Calificación Riesgo
Esmeraldas - Viche (490-438)	Costa-Subducción Esmeraldas	3E
Viche – Quinindé (438-395)	Costa-Subducción Esmeraldas	3D
Quinindé – La Concordia (395-363)	Costa-Subducción Esmeraldas	3C
La Unión (364)	Subducción	3D
Piedra de Vapor (R. Blanco) 355	Subducción	3D
24 de Mayo (Pto. Quito) 345	Transcurrente	2D
10 de Agosto (P. V. Maldonado) 320	Subducción	3D
San Vicente de Andoas (312)	Subducción	3D
San Juan de Puerto Quito (317)	Transcurrente	2D
San Miguel de Los Bancos (297)	Transcurrente	2D
Saloya (295)	Transcurrente	2D
Pueblo Nuevo (290)	Transcurrente	2D
Tandayapa (280)	Transcurrente	2D
Los Puentes (Nanegalito) 273	Transcurrente	2D
Calacalí (258)	Transcurrente	2D
Pomasqui (247)	Inverso	2E
Bellavista (Calderón) 237	Inverso	2E
Cruce R. Uravía (234)	Inverso	2E
Yaruquí (216)	Inverso – Transcurrente	2D
Sector Pifo (210)	Transcurrente	2D
La Virgen – Baeza (-148)	Inverso - Sierra Oriental	2E
Baeza – Reventador (148-78)	Inverso - Sierra Oriental	2E
Reventador – Lumbaqui (78-50)	Inverso - Sierra Oriental	2E
Lumbaqui – Lago Agrio (50-0)	Inverso – Oriente	2D

Elaboración: ENTRIX – WALSH, Abril 2001.

Como se puede observar en la Tabla 6.1-2, un mismo volcán puede afectar varias secciones del OCP debido a la combinación de factores orográficos y a la intensidad de los diferentes fenómenos que pueden originarse durante su erupción.

Tal es el caso del volcán El Reventador el cual afecta las 4 primeras secciones del oleoducto debido al potencial de lahares, mientras que la sección 4 (km., 88 - 110) que es la más

próxima al volcán, estaría potencialmente impactada por todos los fenómenos listados anteriormente.

Tabla 6.1-2			
Riesgo Volcánico			
Sección del Oleoducto OCP	Volcán	Fenómeno Volcánico	Calificación Riesgo
0 – 42	Reventador Soche	Lh Lh	3A
42 – 69	Reventador Soche	Lh Lh	2D a 3C
69 – 88	Reventador Cayambe Antisana Sumaco	Lh Lh Lh Lh	2B a 3C
88 – 110	Reventador Cayambe Antisana Sumaco	Lh; Fp Flv; Cza; Avl Lh Lh Lh	2E a 3D
110 – 148	Antisana Sumaco	Lh Lh	2C a 3A
148 – 178	Antisana Chacana	Lh; Fp; Flv; Cza; Avl Flv	1E a 3E
178 – 198	Antisana Chacana	Lh; Cza Flv	1E a 2C
220 – 233	Antisana	Cza	2B
233 – 237	Cotopaxi Guagua Pichincha	Lh Lh	3C
237 – 255	Pululahua Guagua Pichincha	Lh; Fp Lh; Flv; Fp	3E
255 – 270	Guagua Pichincha	Cza	3C
270 – 290	Pululahua	Lh; Cza	3C
290 – 303	Pululahua Guagua Pichincha	Cza; Lh	3C
303 – 330	Quilatoa	Lh	2B
330 – 365	Pululahua	Lh	2B
433 – 480	Guagua Pichincha Cotopaxi Quilotoa Cuicocha Ninahuilca	Lh Lh Lh Lh Lh	2A a 5A

Leyenda: Lh= Lahares, Fp= Flujos Piroclásticos, Flv= Flujos de lava, Cza= Ceniza, Avl= Avalanchas

Elaboración; ENTRIX – WALSH, Abril 2001.

Las clasificaciones de riesgo total para cada tramo presentadas en la tabla anterior indica en ciertos casos un rango de riesgos. Por ejemplo en el tramo del km. 250 – 280 el rango total de riesgo es de 3E. La clasificación 3E (probable ocurrencia en un período entre 10 – 100 años, y de ocurrir catastrófico) se asignó debido a la posibilidad de ocurrencia de lahares y flujos piroclásticos de los volcanes Pululahua y Guagua Pichincha, cuyos lahares se han identificado y a la actividad reciente e histórica del volcán Guagua Pichincha y sus flujos piroclásticos los cuales se han identificado en el Río Alambi.

Sobre la base de lo anterior se han identificado las siguientes secciones del oleoducto con un alto riesgo clasificado como serio y muy probable, entre éstas se incluyen los siguientes tramos: Kms., 80 –100, 155 – 198, 250 – 280, y 430 – 480.

En estas secciones existe una alta probabilidad de recibir el impacto de los fenómenos volcánicos por lo que se deben considerar como zonas de alto riesgo.

Riesgos de Inundación de Ríos y Tsunamis - La información adquirida de todos los cuerpos hídricos que cruzan el oleoducto y de la zona costera en el área de Esmeraldas indica que estos cuerpos presentan un potencial de riesgo en cuanto a posibles inundaciones y maremotos.

Es importante aclarar que para el análisis del riesgo de inundación, los parámetros que fueron evaluados fueron la precipitación, el flujo y caudal actual de los ríos, la pendiente de las diferentes zonas, el potencial de retención de agua de los suelos y los efectos del fenómeno del Niño. En el caso de los maremotos o tsunamis, se consideró el récord histórico de esta parte de la costa.

Las zonas que presentan un riesgo significativo en cuanto a estos parámetros a lo largo del oleoducto son el área de la costa en la región de Esmeraldas entre los kms. 490-470, y el área de las estribaciones Orientales entre los kms. 70 y 110.

La zona de Esmeraldas fue catalogada de alto riesgo (D4) para los dos peligros considerados, tsunamis e inundaciones. Esta calificación indica que estos riesgos (inundaciones) pueden ocurrir una vez cada 10 años y de ocurrir las consecuencias son muy serias para las comunidades y habitantes de Esmeraldas y los poblados adyacentes.

Las inundaciones de esta zona se asocian directamente con el fenómeno climático del Niño el cual se presenta en forma cíclica aproximadamente cada 10 a 15 años. Aunque esta zona tiene normalmente un clima costero relativamente tropical (aproximadamente 820 mm de precipitación al año), durante estos eventos climáticos, la zona puede recibir una alta precipitación (2800 mm). Cuando el régimen de lluvias aumenta, el balance ecológico tanto los suelos como los ríos se ve afectado, y no puede acomodar la cantidad de agua que entra en el sistema. Los suelos se inundan rápidamente, y una vez que esto ocurre los ríos se desbordan y afectan áreas que comúnmente se encuentran fuera del valle de inundación de estos cauces. Este fenómeno se observó durante los mas recientes eventos del Niño en los años 1982 – 1983 y 1997- 1998 donde los daños a la infraestructura de caminos, carreteras, cultivos y propiedades en general fue significativa.

En el caso de los maremotos, en la zona costera entre la frontera del Ecuador y Colombia, (entre Esmeraldas en el Ecuador y la población de Tumaco en Colombia) históricamente se han registrado en los últimos 100 años, 3 tsunamis que afectaron la región costera. El primero de estos eventos ocurrió en 1906, luego en 1958 y el más reciente registrado en 1979. De acuerdo a los datos presentados en la sección 3.1.12.4.4 de la línea de base ambiental el efecto de estos fenómenos varió de leve a severo, incluyendo pérdidas de propiedades y vida humana. Es importante señalar que instalaciones submarinas pueden sufrir los efectos de los maremotos tal y como ya ha ocurrido en la zona costera de La Libertad al sur de Esmeraldas, donde durante el tsunami del 1933 un cable submarino sufrió serios daños como consecuencia del evento.

Las zonas que fueron calificadas de riesgo moderado en esta categoría (3C), incluyen el área entre los kms, 65 y 180 (3C) y entre 0 y 65 (2C). En el primer caso, esta zona recae en las estribaciones orientales la que como se ha indicado anteriormente se caracterizan por sus altas pendientes, altos niveles de precipitación y cauces estrechos. Debido a estos factores los ríos de esta zona se pueden ver afectados por fuertes golpes de agua. Esto ocurre cuando los niveles de precipitación aumentan, como durante tormentas o anomalías en el clima. En el caso del segmento del Oriente se identifica una zona donde la precipitación es alta lo que podría producir inundaciones.

El tramo de Pifo – La Unión incluye áreas generalmente consideradas de Bajo Riesgo. Aunque la precipitación es baja en la región (400 mm anuales), la zona entre el kilómetro 200 – 240 del OCP se caracteriza por altas pendientes y canales fluviales estrechos donde se pueden presentar golpes de agua en forma esporádica, especialmente bajo condiciones climáticas anómalas. Esta situación se puede incrementar debido a la actividad antropogénica la cual puede aumentar la generación de los desechos sólidos, los cuales al depositarse en canales fluviales estrechos puede generar las condiciones de represamiento necesarias para ocasionar inundaciones y deslizamientos.

Sabotaje y Terrorismo - Este tópico no será tratado de modo cuantitativo ya que por definición, la probabilidad de este tipo de actividades no es bien conocida. Debido a su propia naturaleza, el sabotaje y el terrorismo son eventos impredecibles. Sin embargo, el equipo de trabajo ha intentado caracterizar la ruta del OCP de manera muy general para indicar donde las acciones terroristas o sabotaje se pueden clasificar como de alto, moderado o bajo riesgo. Los expertos militares y de seguridad están mejor capacitados para evaluar estos riesgos y planificar consecuentemente. Los riesgos de protestas violentas, sabotaje y terrorismo, tanto para la etapa de construcción como la etapa de operación del OCP, también están siendo manejados por OCP Ecuador S.A. En este momento, se espera que fuerzas militares Ecuatorianas estén involucradas con los asuntos de seguridad durante la construcción de la tubería. Los asuntos de seguridad y la planificación de contingencias para estas acciones se pueden discutir con el gobierno pero, por razones obvias, no serán discutidos más a fondo en un documento público.

Las zonas con riesgos de seguridad se relatan en la Sección 6.2. Los riesgos de seguridad y la planificación de contingencias se plantean con mayor detalle en la Sección 7.5 del PMA de Construcción, y en la Sección 7.6 del PMA de Operaciones.

6.1.1 Resumen del Análisis de Riesgo Físico

De acuerdo a la evaluación de los riesgos que podrían afectar el OCP se concluye en la Figura 6.1-1 un resumen de las zonas que han sido calificadas como de mayor riesgo a lo largo del trayecto (marcado como alto, medio y bajo). Al considerar todos los parámetros evaluados se concluye que a lo largo del trayecto existen 4 áreas de alto riesgo. Cabe resaltar que la evaluación detallada de estas zonas es imperativa para la fase de planificación y diseño de este oleoducto al igual que para la fase de construcción. A continuación en la Tabla 6.2-1 se resume nuevamente la información pertinente a estos segmentos:

Tabla 6.2-1 Segmentos de Alto Riesgo a lo largo del OCP	
Kilometraje – Referencia al OCP	Riesgo
78-100	Deslizamientos
155-193	Actividad volcánica de lahares del Antisana y deslizamientos
250–280	Deslizamientos, actividad volcánica, erosión de los suelos y fallas sísmicas
438-480	Riesgo Sísmico, tsunamis, y deslizamientos

La planificación y prevención de riesgos de las estaciones de bombeo y del oleoducto deberán ser revisadas nuevamente en función de este análisis. Esto aplica específicamente a la sección del tramo entre los kms. 148 y 193 en el área de las estribaciones Orientales y el 250-280 en la Cordillera Occidental. En el área de la costa (438 - 480) es donde la mayoría de los riesgos coinciden; el oleoducto será enterrado, , además como se señaló en la sección 5 la ruta del SOTE fue ya modificada en el Sector de Wínchele.

En cuanto las estaciones de bombeo y reductoras (EB y ERP) de presión es necesario señalar que de las 7 propuestas, 3 recaen dentro de las zonas de alto riesgo. Estas son: Sardinas ; Páramo y Chiquilpe las cuales se encuentran en el área de influencia de los volcanes Reventador, Guagua Pichincha y el Antisana.

En el segmento de Pifo – La Unión el diseño de la tubería y la construcción de las facilidades va a requerir un análisis detallado de la zona entre los km. 250 - 285 en cuanto a los aspectos geomorfológicos y de geotécnicos. En esta zona además de estudiar detalladamente el diseño de construcción del tubo en áreas inestables, será necesario asegurar la estabilidad del oleoducto.

6.2 Riesgo de Corrosión de los Suelos

Los suelos a lo largo de la ruta del oleoducto han sido caracterizados de acuerdo al potencial de corrosión de la tubería.. La corrosión de las tuberías puede ser lograda aplicando las medidas de protección adecuadas contra este efecto y mediante una supervisión continua durante la fase de operación. La Tabla 6.2-2 presenta un listado de los tramos de la tubería del OCP donde se ha reportado la presencia de suelos altamente corrosivos lo que se debe considerar para la fase diseños finales y de construcción del oleoducto.

Tabla 6.2-2			
Localización de Suelos Altamente Corrosivos			
Clasificación Unidad de Mapa de Suelo	Tramo (km.)	Clasificación Unidad de Mapa de Suelo	Tramo (km.)
SC-A2	289 – 295	SC-A2	395-396
	340 –352		401-402
	355 –359		432-437
SC-L2	282 – 339		443-445
SCO-A	235 – 238		454-459
	245 – 247		468-470
SCR-11	133-134		473-475
	152-153		
	157-158		
	161-163		
	171-172		
	173-174		
	182-183		

Fuente: ENTRIX – WALSH, Estudios Ambientales, Abril 2001.

6.3 Riesgos de Sabotaje y Terrorismo

Se ha intentado prever las zonas con mayor probabilidad de sabotaje y actos subversivos o terrorismo basados en hechos históricos, proximidad a grupos guerrilleros, y patrones de inestabilidad actuales. Estos se presentan en la Figura 6.2-1.

Las zonas de alto riesgo, en lo que respecta a la seguridad de los trabajadores durante la construcción y la seguridad de la tubería durante la fase de operaciones, es el segmento entre Nueva Loja y Lumbaqui en el este, y desde Quinindé hasta el Terminal Marino del OCP en el oeste. La zona este se clasifica de “Alto Riesgo” debido a anteriores y actuales actividades de guerrilla en el Oriente de Ecuador. La zona costera se clasifica de “Alto Riesgo” debido a la reciente inestabilidad civil y actividades de sabotaje.

El segmento del OCP entre Lumbaqui y Baeza se considera de “Riesgo Moderado” debido a su susceptibilidad a actividades de guerrilla, pero está algo alejado del centro de acciones subversivas y de guerrilla. El segmento entre Baeza y Quinindé se considera de “Bajo Riesgo”, hablando comparativamente. Debe ser evidente que ninguna de las zonas de la tubería se consideran libre de riesgos de actos de sabotaje o terrorismo. Nuevamente, las medidas de seguridad según sean desarrolladas por los expertos en la materia, serán implantadas tanto durante la etapa de construcción, al igual que durante la vida útil del proyecto.

6.4 Soporte Técnico para la Instalación de la Tubería del Oleoducto de Crudos Pesados en la Margen del Río Quijos (Alto Coca).

6.4.1 Introducción

La rotura del Oleoducto Transecuatoriano (SOTE) por causa de los diversos desastres naturales desencadenados por los sismos de marzo de 1.987, en el sector del volcán Reventador, a lo largo de la margen del Río Quijos (Alto Coca), es bien conocida.

Las implicaciones sociales, económicas y ambientales que trajo este desastre exigen evidentemente que los estudios necesarios para determinar la factibilidad de instalar otra tubería, la del Oleoducto de Crudos Pesados (OCP) en el mismo corredor utilizado por el SOTE y paralelo al Río Quijos, sean conducidos con buen nivel de detalle, de manera que de ocurrir nuevamente un escenario similar al de marzo de 1.987, la vulnerabilidad del ducto sea considerablemente menor y cualquier afectación directa que pudiera producirse esté dentro de un rango manejable de daño a la tubería.

El primer acercamiento a la incógnita que representa la seguridad del ducto instalado, en una longitud de aproximadamente 17 Km., sobre la margen inmediata de un río por el cual pasó luego de los sismos de marzo 1.987 una creciente de proporciones incomparables, ha sido determinar la viabilidad de dicho trazado desde el punto de vista hidrológico e hidráulico con relación al propio río Quijos y sus tributarios.

A esta altura de su recorrido, el Río Quijos o Alto Coca y sus tributarios, entre los cuales figuran como más importantes el Río Salado, Río Malo, Río Loco, Río Piedra Fina y Río Marker, son susceptibles de conducir eventualmente considerables crecidas inducidas por la alta pluviosidad de la zona (desde 3280 mm hasta 6130 mm anuales). A este fenómeno se suma adicionalmente el riesgo de deslizamientos o movimientos en masa desencadenados por las fuertes lluvias o probables sismos, los cuales provocarían niveles excepcionales de crecida y por tanto severo arrastre de materiales a lo largo del Río Quijos y sus tributarios.

Sin embargo, con el adecuado conocimiento y entendimiento de los potenciales peligros de deslizamientos de laderas a lo largo del Río Quijos y sus tributarios, el riesgo hidrológico para el OCP puede minimizarse a niveles aceptables, fundamentalmente por medio de medidas tales como una tapada suficientemente profunda sobre la tubería en los tramos en los que la traza está directamente comprometida por cualquier flujo mayor que transite por el cauce del río.

El primer paso dentro del estudio de riesgo hidrológico del Río Quijos y sus tributarios ha sido recopilar e interpretar la información disponible sobre la geología e hidrología de la zona, a través de fotografía aérea, registros de datos hidrológicos, cartas topográficas, informes geológicos previos y recorridos de comprobación en campo.

Con todo ello, ha sido posible establecer los criterios según los cuales se comportarían el Río Quijos y sus tributarios y la peligrosidad que implicarían para el nuevo oleoducto en el evento de producirse eventos de crecida extraordinaria.

6.4.2 Condiciones Generales del Río Quijos

El Río Quijos es un curso de agua mayor que corre hacia el noreste en el área del volcán Reventador, con un cauce formado por material aluvial de tamaño pequeño a mediano.

El sismo de marzo 1.987 y los deslizamientos masivos asociados a éste, causaron el represamiento del Río Quijos a la altura del Río Malo, lo cual degeneró, al romperse el dique, en una creciente que produjo que las aguas alcancen niveles extraordinarios, arrastrando grandes volúmenes de sedimentos y enderezando el cauce del río en la mayoría de meandros existentes previamente.

Como resultado de este evento, el canal hidráulico que constituye el cauce del Río Quijos se erosionó severamente y se ensanchó, dando incluso al río la posibilidad de correr por varios canales en determinadas secciones; por lo cual los hidrólogos opinan que el Río Quijos posee en la actualidad un cauce que permitiría que transiten por él importantes caudales de crecida (crecidas milenarias incluso) sin causar los estragos en las márgenes que hubieran causado si hubieran sucedido con anterioridad al evento de marzo 1.987.

6.4.3 Riesgos Hidrológicos Causados por los Deslizamientos

Como se dijo anteriormente, deslizamientos masivos de materiales que conforman las laderas de los cañones del Río Quijos y sus tributarios pueden ser fácilmente desencadenados por abundantes precipitaciones o sismos de origen volcánico y tectónico.

Los potenciales escenarios en los que se podría verse envuelto el Oleoducto de Crudos Pesados a lo largo del área considerada, en caso de producirse deslizamientos importantes son los siguientes:

- De producirse un deslizamiento que represe uno de los tributarios del Río Quijos y cause un embalse que al romperse libere caudales significativos con niveles de agua excepcionales, sucederá que una creciente alcance el cruce del oleoducto bajo o sobre este río. A la altura de dicho cruce, se produciría inundación y erosión lateral de las partes bajas de las márgenes del tributario, algo de socavación del lecho del cauce, depósito de sedimentos arrastrados y probablemente un cambio parcial de cauce o apertura de otro canal, debido a que los materiales en los cuales están conformados los cauces en esta zona son muy erosionables.
- Debido al depósito de sedimentos provenientes del dique natural, no se debería esperar significativa socavación del fondo del cauce. Sin embargo, la inundación de las partes bajas de las márgenes podría ocasionar la formación de algunos otros canales o brazos del río en formas muy variables según el tributario que se considere.
- De no estar enterrada la tubería a suficiente profundidad, probablemente se produciría exposición de la misma. No se prevé la rotura de la tubería puesto que las velocidades del flujo en planicies de inundación son más bien reducidas, siempre y cuando la longitud, profundidad y velocidad del flujo estén dentro de las capacidades estructurales de la tubería; pero se debe considerar que el revestimiento puede verse afectado, con las consecuencias a esperarse.

Por tanto, la tapada que se le debe dar a la tubería en estos cruces es fundamental para preservar su integridad en caso de producirse este evento. Para minimizar el riesgo de exposición de la tubería se debe necesariamente incrementar la tapada sobre la clave del tubo en las márgenes de los ríos tributarios, en una longitud que deberá definirse luego del estudio hidrogeológico en detalle de cada río tributario cruzado.

Las consecuencias de un evento de esta naturaleza en el Río Quijos serán despreciables puesto que el área de drenaje o cuenca hidrográfica del Río Malo, que es el mayor tributario del Quijos, es menor al 2% del área de drenaje de este último.

- De ocurrir en cambio, un represamiento del propio Río Quijos, tal como el acontecido en marzo 1.987, sucederá que aguas arriba del dique se depositarán sedimentos hasta que el nivel del agua alcance la parte superior del dique natural y el flujo que desborde empiece a lavarlo.

Mientras esto no ocurra, algunas planicies de inundación (partes bajas) se verán cubiertas con agua. En estas zonas inundadas, la probable socavación no será considerable, dado que en embalses la velocidad de flujo del agua es reducida. Consecuentemente, aguas arriba del dique no se espera exposición de la tubería.

Aguas abajo del dique, el caudal se verá enormemente reducido mientras el agua se represa, para posteriormente aumentar dramáticamente cuando el dique se rompa. Una vez iniciado el tránsito de la creciente, las márgenes del río serán erosionadas, sobre todo en los meandros pronunciados del río donde las márgenes son altas; y en donde no lo son y el flujo pueda pasar por encima probablemente se formen nuevos canales de río.

Dos son los tramos del Río Quijos más susceptibles a ser afectados por la ocurrencia de un evento de esta naturaleza, aguas abajo de la confluencia con el Río Malo, sumando una longitud total de alrededor de 3.5 Km.

Aún cuando la magnitud de la creciente causada por un posible deslizamiento que tapone el Río Quijos no se puede cuantificar con mayor precisión, y consecuentemente el caudal que transite a lo largo de la sección considerada tampoco, los impactos generales de un evento de este tipo pueden deducirse aproximadamente en base a la evaluación de lo sucedido en marzo 1.987.

Uno de los principales criterios analizados en este estudio del comportamiento hidrológico excepcional del Río Quijos, ha sido la determinación de la crecida para modelar lo que sucedería cuando un caudal importante transite por el cauce del río.

El orden de magnitud de la crecida de diseño depende principalmente del tipo de río y del grado de vulnerabilidad del ducto. En un río ancho y con varios canales como es el Quijos antes de la confluencia con el Malo, un incremento significativo de caudal no implica un aumento exagerado de niveles de agua, velocidades de flujo y socavación. Además la socavación más importante, que es la de tipo local, depende de los meandros y confluencias antes que del caudal.

La información hidrológica disponible para el área no es tan completa como se desearía, sobre todo del año 87 en adelante; por lo que la selección de la crecida de diseño debe basarse más bien en lo que pueda pasar en caso de que se repita un represamiento del Río Quijos. Por tanto, se ha considerado en los análisis hidrológicos realizados una crecida con un período de retorno de 1.000 años (crecida milenaria).

Con este criterio de crecida se ha determinado por medio de modelos hidrológicos puntuales a lo largo del Río Quijos que si el río experimenta esta magnitud de evento, en la sección transversal en la cual el agua más se acerca al trazado del ducto, la distancia remanente es de 8 metros (Ingeconsult, 2000), aún cuando el río adopta un ancho total de 800 metros. Por lo cual la seguridad del ducto no se ve comprometida para una creciente de corta duración y velocidad de flujo moderada en las orillas.

De todas formas, para disminuir la vulnerabilidad del oleoducto al instalarse paralelo a la margen del Río Quijos es indispensable incrementar la tapada sobre la tubería en las secciones susceptibles de ser afectadas, de acuerdo a las recomendaciones del estudio citado, donde se determina el valor obtenido de la comparación entre la cota del fondo del cauce y la cota del trazado y a partir del hecho de que durante una creciente inducida por un deslizamiento sobre el cauce, predomina el depósito de materiales antes que la socavación.

6.4.4 Conclusiones

- Desde el punto de vista hidrológico e hidráulico es factible y práctico instalar la tubería del OCP paralela a la margen del Río Quijos, a lo largo del área estudiada en el sector del volcán Reventador.
- En el área de estudio considerada, la gran mayoría de la longitud de la tubería estará sobre el nivel de influencia del Río Quijos.
- Las secciones de la tubería que inminentemente sean susceptibles de ser comprometidas por una creciente igual a la milenaria serán protegidas para permanecer seguras e intactas durante la ocurrencia del evento.
- Las secciones de tubería que pudieran ser perjudicadas por un deslizamiento masivo que resulte en represamiento del Río Quijos o uno de sus tributarios, pueden ser diseñadas para ser construidas minimizando el potencial riesgo hidrológico para la integridad del ducto. Estos riesgos pueden ser reducidos a niveles económicos y ambientales aceptables.