

EFFECTOS SOBRE LAS LINEAS VITALES

E. Crespo, Universidad de Cornell, Ithaca, New York
T.D. O'Rourke, Universidad de Cornell, Ithaca, New York
K.J. Nyman, Universidad de Cornell, Ithaca, New York

OBSERVACIONES GENERALES

Desde el 19 de Marzo al 3 de Abril de 1987 se envió personal de la Universidad de Cornell al Ecuador en misión de reconocimiento para evaluar los efectos de los sismos del 5 de Marzo de 1987, sobre las líneas vitales. Una visita adicional se realizó entre el 17 y 27 de Agosto para recolectar datos concernientes a los efectos de los deslizamientos e inundaciones sobre las principales líneas vitales y observar los esfuerzos de reconstrucción en las áreas mayormente afectadas. Aunque el objetivo principal de la misión de reconocimiento fue el oleoducto trans-ecuadoriano, se realizaron esfuerzos para conseguir información sobre otros tipos de líneas vitales. Las visitas fueron realizadas a la ciudad de Quito y poblaciones de las provincias de Pichincha, Imbabura y Napo (Figura 4.1). Se realizaron entrevistas con los trabajadores del gobierno y municipios así como con gente de las zonas afectadas.

El daño a las líneas vitales fue severo en áreas cercanas a los epicentros. Específicamente, el daño fue mayor en las tuberías del oleoducto (petróleo crudo) y poliducto (gas propano) trans-ecuadorianos, así como en las principales vías de acceso que unen Quito y Lago Agrio (Figura 6.1), principal ciudad de la región productora de petróleo en el Ecuador. El daño a las líneas vitales en otras áreas fue relativamente leve y está brevemente explicado en los siguientes subcapítulos.

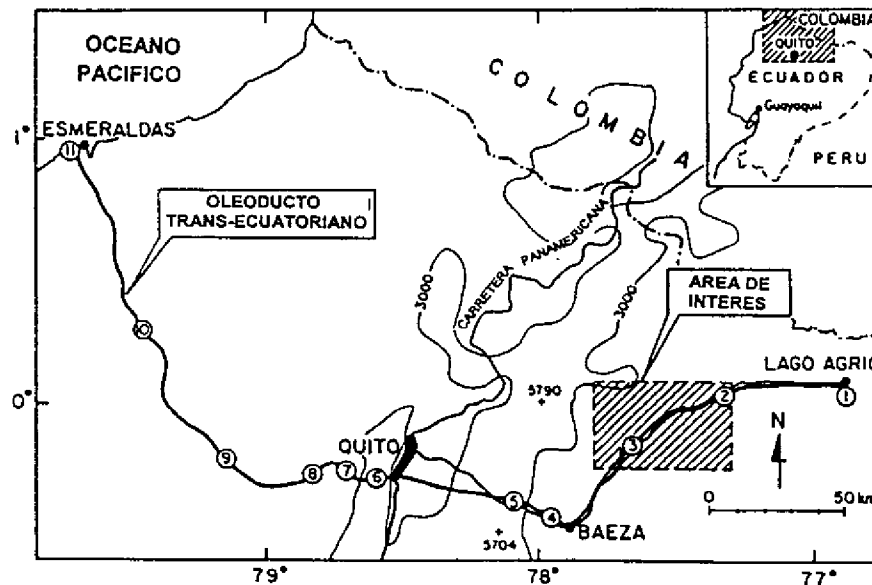


FIGURA 6.1 Ruta y localización de las estaciones del oleoducto trans-ecuadoriano.

Sistemas de Distribución de Agua

Se entrevistó a los personeros de la EMAP, la agencia municipal responsable por el suministro de agua para Quito. Ellos reportaron que no se produjeron daños en la red de tuberías, estaciones de bombeo y reservorios que sirven a la ciudad de Quito. El único daño que se observó en el sistema de agua subterránea fue en la ciudad de Baeza (Figura 6.1) que está aproximadamente a 60 km de los epicentros. Esta observación se realizó en una localidad donde una tubería de PVC de 150 mm de diámetro estaba siendo reparada. El daño total de la tubería en Baeza no pudo ser determinado; sin embargo, existieron daños considerables en estructuras de uno y dos pisos, principalmente construcciones de mampostería reforzada.

Sistemas de Energía Eléctrica

Se contactó con personeros de la EEQ que es la empresa municipal de electricidad de Quito. Ellos indicaron que la electricidad se interrumpió en todos los barrios de Quito por más de 2 horas después del segundo sismo ($M=6.9$). Esta interrupción se atribuyó al funcionamiento del sistema de control de seguridad. Una inspección del equipo eléctrico, posterior a los sismos, determinó que se necesitaba mantenimiento y reparaciones menores.

INECEL, el Instituto Ecuatoriano de Electrificación, no reportó daños sobre los servicios hidroeléctricos. Se visitó una pequeña planta hidroeléctrica privada en la ciudad de Papallacta (Figura 6.1, Tabla 6.1), localizada aproximadamente a 50 km de los epicentros. No se detectaron daños en la planta de energía o en sus servicios de bombeo.

TABLA 6.1 Lista de las estaciones de bombeo y reductoras de presión del oleoducto trans-ecuatoriano

N°	Nombre	Elevación (m)
1.	Estación de bombeo de Lago Agrio	296
2.	Estación de bombeo de Lumbaqui	842
3.	Estación de bombeo de El Salado	1,268
4.	Estación de bombeo de Baeza	2,001
5.	Estación de bombeo de Papallacta	3,007
6.	Estación reductora de San Juan	3,496
7.	Estación reductora de Chiriboga	1,997
8.	Estación reductora de La Palma	1,612
9.	Estación reductora de Santo Domingo	566
10.	Estación de bombeo de Quinindé	96
11.	Terminal marino de Balao	0

Carretera Panamericana

La carretera Panamericana es la mayor vía de transporte que conecta las ciudades y los pueblos de la región andina. Los sismos causaron deslizamientos en depósitos volcanoclásticos e interrumpieron el tráfico entre las ciudades de Quito y Cayambe (Figura 1.1). La mayoría de estos deslizamientos afectaron taludes muy pendientes de los cortes de la carretera y se involucraron materiales relativamente superficiales, deslizando y rodando arenas cementadas, ceniza y roca suave.

El transporte entre Quito y la ciudad de El Quinche (20 km al ENE de Quito) fue interrumpido por un deslizamiento relativamente grande, una semana después de los sismos. Este deslizamiento ocurrió en depósitos volcanoclásticos en cortes muy pendientes de la carretera. Se requirieron aproximadamente 24 horas para limpiar la carretera en esta zona.

Suministro de Gas Natural

El gas natural en el Ecuador es utilizado principalmente para cocinar y es suministrado en cilindros presurizados y tanques de propano. No existe una red de distribución de gas natural en el Ecuador. Hay varias líneas de transmisión que son utilizadas para llevar gas propano, una de éstas, conocida como el poliducto, fue dañada por los sismos. Una descripción más detallada de esta línea y su daño asociado se explica más adelante.

Aunque el daño de los sismos sobre las líneas vitales fue pequeño en la mayor parte del país, el daño cerca de los epicentros fue tan grande y tan amplio que tuvo un gran impacto sobre la economía del mismo e incluso con repercusiones mundiales. Aproximadamente 40 km del oleoducto trans-ecuadoriano tuvieron que ser reconstruidos, haciendo de esto la tragedia más extensa sobre una sola tubería en la historia. Debido a la escala e importancia del daño, este capítulo se concentra en las características de las observaciones posteriores a los sismos, relacionadas con el oleoducto trans-ecuadoriano, con descripciones suplementarias del poliducto y vías de acceso adyacentes.

CARACTERÍSTICAS DEL OLEODUCTO Y POLIDUCTO TRANS-ECUATORIANOS

El oleoducto trans-ecuadoriano está compuesto principalmente de una tubería de 660 mm de diámetro y sistemas de bombeo y estaciones reductoras de presión. La tubería entró en funcionamiento en 1972. Está construida con hierro de grado X-60, de paredes desde 9.5 a 20.6 mm de espesor. La tubería es el principal medio de transporte de crudo en el país, transportando virtualmente todo el petróleo de los campos del Oriente al puerto marítimo cerca de Esmeraldas en el Océano Pacífico (Figura 6.1). La tubería opera a una presión interna máxima de 9.7 MPa y mueve de 250.000 a 300.000 barriles diarios de petróleo.

El poliducto está compuesto por una tubería de 150 mm de diámetro y una estación con un equipo compresor con regulación de presión. El espesor de sus paredes es de 7.1 mm. Esta línea fue construida después del oleoducto trans-ecuadoriano y corre paralelamente a él. El poliducto presta varios servicios. Lleva diferentes tipos de hidrocarburos en distintos tiempos, incluyendo gas propano. La tubería se extiende desde Lago Agrío en el Oriente hasta Quito.

La Figura 6.1 muestra un plano del oleoducto trans-ecuatoriano con estaciones de bombeo localizadas en los puntos 1 al 5 y el 10, y estaciones reductoras localizadas en los puntos 6 al 9. El final del oleoducto es el terminal marítimo de Balao cerca de Esmeraldas es el punto 11. La tubería transporta petróleo desde una altura inicial de 296 m en la estación de bombeo en Lago Agrio hasta una elevación máxima de 4060 m en las montañas al E de Quito para llegar al terminal marítimo de Balao a nivel del mar. Las elevaciones relativas a nivel del mar de varias bombas y estaciones reductoras están resumidas en la Tabla 6.1. A fin de clarificar la figura, el poliducto no está dibujado, sin embargo sigue la misma dirección del oleoducto en la ruta desde Lago Agrio hasta Quito.

La longitud total del oleoducto trans-ecuatoriano es de 498 km desde Lago Agrio hasta Esmeraldas. Aproximadamente 200 km, desde Lago Agrio hasta la mitad de la vía entre Quito y la estación de bombeo de Papallacta, pasa subaéreamente sobre el terreno. A lo largo de este tramo, la tubería está soportada cada 12 m por un marco en forma de "H" o por un pedestal cimentado en concreto. El marco soportante consiste de dos pilotes de 150 mm de diámetro hincados 6 m bajo tierra y un travesaño soldado entre ellos. El oleoducto descansa sobre dicha viga y se ajusta a una placa central. El pedestal de concreto consiste de una cimentación de 1 m² con un tipo de soporte sostenido verticalmente a la losa. La sección vertical de concreto tiene 50 mm de alto y está fabricada de forma circular en su tope, actuando como una tenaza para soportar la tubería. Los soportes sobre el terreno no tienen aspectos especiales para restringir el movimiento de la tubería lateral o longitudinalmente. Sin embargo, en terrenos con mucha pendiente se utilizan seguros longitudinales para prevenir deslizamientos de la tubería montaña abajo a través de los soportes.

Los restantes 298 km de la tubería desde el E de Quito hasta Esmeraldas se encuentran enterrados. Una sección de la línea, en las localizaciones 8 y 9 de la Figura 6.1, está compuesta de una tubería de 150 mm de diámetro. Todas las otras secciones están conformadas por tubería de 660 mm de diámetro.

El área de mayor ruptura se muestra en la zona sombreada de la Figura 6.1. Esta fue la zona donde los deslizamientos e inundaciones producidos por los sismos dañaron la tubería y la estación de bombeo de El Salado (localización 3).

DAÑO EN EL OLEODUCTO

La Figura 6.2 muestra una vista expandida de la zona sombreada identificada en la Figura 6.1. Esta región incluye la ruta del oleoducto desde su cruce en el río Aguarico hasta su cruce con el río Salado. La tubería sigue un curso en dirección SO a lo largo del drenaje del río Coca. Entre los ríos Aguarico y Salado, la tubería alcanza una altura máxima de 1700 m, para después descender aproximadamente 500 m a la planicie de inundación del río Coca y seguir la ribera N del río hacia la estación de bombeo de El Salado.

El río Coca está profundamente encañonado y bordea las faldas SE del volcán El Reventador. Este volcán es un gran estratovolcán activo caracterizado por un cono en forma de nido en un anillo que se abre hacia el E. Este cono compuesto es la expresión de una reciente fase volcánica. En 1976, el volcán produjo flujos de lava que se extendieron hasta 2 km del oleoducto.

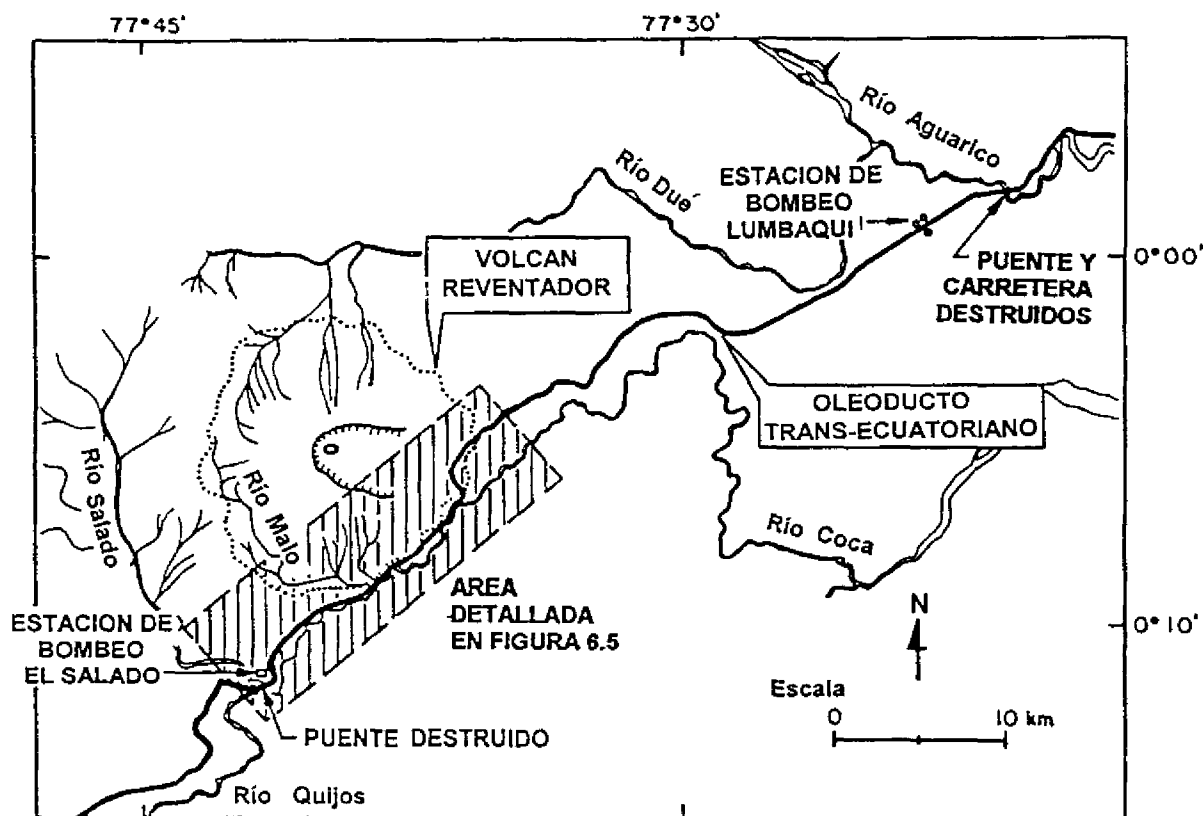


FIGURA 6.2 Área de mayor daño del oleoducto.

Los dos sismos del 5 de Marzo de 1987 ocurrieron después de un mes de fuertes lluvias, durante las cuales se midieron hasta 600 mm de precipitación. El fuerte sacudimiento inició el deslizamiento de rocas y suelos, avalanchas y flujos de lodo. Los flujos y las inundaciones resultantes fueron drenados hacia el N en el río Dué y hacia el S y el E en los ríos Salado y Coca.

La inundación a lo largo del río Dué ingresó al río Aguarico y destruyó el oleoducto y el puente que cruzaba el Aguarico, aproximadamente a 50 km al NE de la estación de bombeo de El Salado. Las aguas de la inundación alcanzaron una altura de 5 m sobre el piso del puente. La Figura 6.3 muestra un segmento de la tubería enterrada, la misma que fue dañada en el lado O del río en la unión entre el puente y el pilar de concreto. La Figura 6.4 presenta una vista del lado E del río donde el oleoducto ingresó sobre el pilar como una estructura superpuesta. Al O de esta localización, el oleoducto fue presionado longitudinalmente y desplazado fuera de sus soportes en una distancia de 4 km.

El puente de la carretera que cruzaba el río Salado fue completamente destruido. El oleoducto trans-ecuatoriano en esta zona había sido construido excavando una trinchera de 3 a 4 m de profundidad en el fondo del río y enterrado en ella. La tubería fue protegida con concreto para evitar efectos de flotación. La tubería no fue dañada en el cruce del río Salado y este segmento de la línea fue incorporado sin reparaciones durante la reconstrucción del sistema del oleoducto.



FIGURA 6.3 Oleoducto trans-ecuatoriano cortado por las inundaciones, orilla E del río Aguarico.



FIGURA 6.4 Oleoducto trans-ecuatoriano al O del río Aguarico empujado hacia el Sur por la inundación. Nótese el pilar remanente y la cimentación del puente en la ribera.

La Figura 6.5 presenta una vista expandida del área (zona sombreada en la Figura 6.2) de mayor daño de la tubería. Aproximadamente 12 km de la tubería fueron destruidos a lo largo de las riberas del río Coca, desde el E de la estación de bombeo de El Salado hasta 12 km al E de la confluencia de los ríos Salado y Coca. A lo largo de este segmento, el daño fue generado por deslizamientos y flujos de escombros en suelos residuales y rocas ígneas de los flancos de las montañas del lado N del río Salado. Sin embargo, el mayor daño fue originado por la inundación del río Coca, lo cual se muestra en el área punteada en la figura. La inundación afectó la alineación de la tubería dando como resultado una severa socavación y remoción de la misma. Dos secciones del oleoducto, cada una de aproximadamente 1 a 2 km de largo, quedaron intactos a lo largo de esta porción del río. Estas secciones fueron recuperadas durante la reconstrucción y usadas como bases provisionales para el restablecimiento del flujo en la línea reparada.

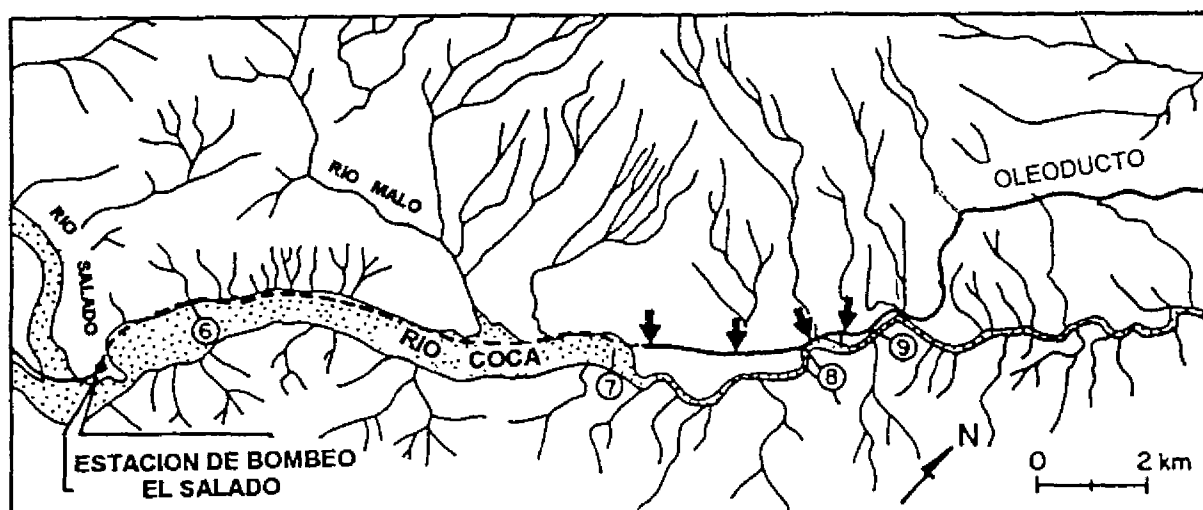


FIGURA 6.5 Área de inundación, deslizamientos y flujos de escombros.

Como se describió anteriormente, la tubería de 150 mm de diámetro del poliducto seguía aproximadamente la misma ruta que el oleoducto trans-ecuatoriano, por lo que el primero fue destruido y dañado aproximadamente en los mismos sitios que el segundo.

Aproximadamente 5 km del oleoducto trans-ecuatoriano, inmediatamente al E de la sección descrita arriba, fueron dañados por deslizamientos y flujos de escombros que interceptaron la línea. Las flechas negras en la Figura 6.5 muestran los puntos de mayor daño donde el oleoducto fue totalmente cortado. La mayoría de los deslizamientos y flujos de escombros fueron originados en depósitos volcanoclásticos jóvenes que rodean al volcán El Reventador a una altura entre 1.400 y 2.000 m

La tubería fue dañada por deslizamientos y flujos de escombros en otras dos localizaciones aproximadamente a 7 y 10 km al E del área mostrada en la Figura 6.3. En una de ellas, la tubería fue interrumpida por un deslizamiento de escombros volcánicos de un talud con una fuerte pendiente inmediatamente adyacente a la línea. En la otra zona, la tubería fue dañada por un flujo de escombros que se originó como un deslizamiento de un talud muy pronunciado de lutitas finas.

Las Figuras 6.6 a 6.9 muestran las fotografías tomadas durante el reconocimiento realizado en helicóptero, aproximadamente 3 semanas después de los sismos. Los sitios de las fotografías son identificados como 6 a 9 en la Figura 6.5 correspondiendo cada número a la fotografía respectiva.



FIGURA 6.6 Oleoducto roto por un flujo de escombros que erosionó hasta 6 m por debajo de la tubería



FIGURA 6.7 Inundación a lo largo del río Coca. Nótese la tubería rota y deformada al lado izquierdo de la fotografía.



FIGURA 6.8 Tuberías del oleoducto y poliducto (en blanco) trans-ecuatorianos interrumpidas por flujos de escombros y erosión profunda a lo largo del río Coca.



FIGURA 6.9 Planicie de un gran flujo de escombros con el oleoducto trans-ecuatoriano deformado en la dirección del movimiento.