

OSV.97.6.ICE

Instituto Costarricense de Electricidad

Sector de Energía

Departamento de Ingeniería Geológica

Estudio de Vulnerabilidad Sísmica del Acueducto de Orosi.

Parte I:

Neotectonismo en la Margen Izquierda del Río Navarro

Geól. Guillermo E. Alvarado Induni, Ph.D.

San José, Marzo, 1997

INDICE

	Página
Motivación	1
Estudios Neotectónicos previos con énfasis en el Sifón	2
Estudios realizados por el ICE	3
Aspectos sismológicos relevantes	2
Litología	3
Análisis local de la Estructura	3
Conclusiones	5
Agradecimientos	5
Figura 1	6
Figura 2	7
Figura 3	8
Figura 4a y 4b	9
Figura 5	10
Tabla 1	11
Tabla 2	12
Referencias	13

Motivación

El Acueducto Metropolitano, comprendido entre Orosi y San José, constituye una línea vital para el país, dado que cerca del 50% de la población del Area Metropolitana se abastece de agua potable por este medio. En otras palabras, se puede afirmar que la gran urbe metropolitana depende de esta obra para su subsistencia y desarrollo.

De acuerdo con la nota del 8 de octubre de 1996 enviada por el Ing. Ronald Calvo, Gerente General del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (A y A), al Ing. Carlos Obregón, Subgerente de Desarrollo y Energía, Instituto Costarricense de Electricidad, (ICE), se solicita una asistencia técnica para hacer estudios y recomendaciones, en relación con la vulnerabilidad sísmica que afecta la línea de conducción del Acueducto de Orosi a la altura de la falla del río Navarro. Dos estudios previos, muy detallados, fueron realizados por Salazar *et al.* (1992) y por Geomatrix (1994) los cuales, sin embargo, dejaron algunos aspectos pendientes, tales como los sitios exactos en donde el Acueducto atraviesa las diferentes ramificaciones de la falla. Para ello, el 22 de octubre de 1996, profesionales del ICE (ingenieros y geólogos) y de A y A, realizaron una visita técnica con el fin de delimitar los alcances de la contratación. El primer aspecto a considerar fue establecer si existen evidencias sobre el punto o los ramales exactos por donde pasa la falla Navarro y, si las condiciones geológicas lo permiten, establecer si es activa o no. Con base en este estudio, se analizaría la posibilidad de una Segunda Etapa, que consistiría en recomendar si se requieren de elementos ingenieriles adicionales para proteger el Acueducto en el sector del Sifón. En ella se procedería a realizar un análisis de la propuesta de protección de la tubería en la zona mencionada, incluida en el Estudio de Vulnerabilidad de Orosi, Fase III (véase Cajiao, 1995), o bien, el recomendar medidas alternas o simplemente el dejar el Acueducto en sus condiciones actuales.

Así, el detalle del estudio en su Primera Etapa fue:

- a) Consulta de trabajos previos
- b) Un estudio fotogeológico, que implicó el análisis de las fotografías aéreas de la zona específica, búsqueda del trazo de la falla y evidencias neotectónicas.
- c) Visita al campo en el tramo del Acueducto (margen izquierda del río Navarro), con el fin de observar si la falla o una de sus ramificaciones corta el tramo del Acueducto.
- d) Visita al campo en los alrededores del Acueducto (río Navarro y cercanías), para afinar las evidencias morfotectónicas y el estudio de los depósitos Cuaternarios.
- e) Informe técnico y confección de figuras.

Estudios neotectónicos previos con énfasis en el sector del Sifón

La región en donde se ubica el Sifón del Acueducto Metropolitano está atravesado por una serie de alineamientos estructurales, la mayoría de ellos asociados con fallas (figs. 1 y 2). De ellas, las que nos interesan son:

Falla Navarro

En el estudio de Salazar *et al.* (1992) y de Geomatrix (1994), basado en las evidencias de la interpretación de las fotografías aéreas, imágenes de radar e investigaciones de campo (incluyendo trincheras), concluyen que la falla del río Navarro, orientada ENE, por más de 15 km, es de rumbo sinistral con componente normal, en donde el bloque norte está undido con respecto al sur, con desplazamientos verticales acumulados del orden de varias decenas a centenas de metros. En una trinchera realizada, se observó la zona de fallamiento (normal, inverso y de rumbo) desarrollada en tobas y en depósitos fluvio-lacustres. No obstante, depósitos aluviales datados en 12 000 años, no presentaron evidencia de fallamiento o deformación en uno de los tramos de la falla.

Geomatrix, adicionalmente, concluye que la falla Navarro se divide por los menos en dos ramificaciones cerca del sitio del Sifón del Acueducto Metropolitano, en una zona de unos 200 m de ancho. La traza del lado norte, presumiblemente la más activa, cruza la conducción en una silla de falla a una elevación aproximada de 1100 m (aprox. en la estación 7+000). La otra consiste en una rama que cruza cerca de la estación 7+330, en donde se describen fallas con movimientos de menos de 15 cm, que desplazan a un suelo (horizonte B), pero se desconoce si el mismo afecta la superficie. La edad estimada del suelo es de unos 100 000 años. Por otro lado, en el flanco sur del valle parece existir una traza que pasa por la orilla, posiblemente por la ladera de la montaña, aunque no hay evidencias *in situ* de la misma, lo mismo es válido para la parte del cauce. Geomatrix estimó que los desplazamientos, en el caso de un movimiento telúrico que tenga manifestación en superficie, serían del orden de 0,2 a 0,5 m (horizontal máximo, movimiento puro) y 0,14 a 0,35 m (máximo vertical). Finalmente, concluyen que el ángulo de cruce de la tubería con la zona de falla es casi perpendicular.

Falla Orosi

Consiste en un sistema de gran importancia, ya que está formado por una zona de falla que llega a alcanzar más de 7 km de longitud por un kilómetro de ancho, sobre la cual se asienta la Ciudad de Orosi. Se trata de una falla normal, orientada NNW-SSE donde el bloque deprimido es el oriental (Salazar *et al.*, 1992; Geomatrix, 1994). La falla Orosi parece cortar la intersección entre el río Navarro y el Acueducto (figs. 1 y 2).

Aspectos sismológicos relevantes

Con respecto a la sismicidad, se debe de mencionar dos secuencias sísmicas que se pueden asociar con las fallas Orosí y Navarro, respectivamente son: a) El temblor de Orosi-Paraíso (2-8-1951, I máx = VIII), y b) el enjambre de temblores de Navarro (3/9-09-1980), cuyas magnitudes fueron ≤ 4 (Aguilar, 1980; Geomatrix, 1994).

En general, la zona está caracterizada por microtemblores superficiales ($M < 3$; $h < 20$ km), principalmente concentrados hacia la cuenca media del río Reventado y cerca de Orosi (Salazar *et al.*, 1992).

Finalmente, Montero (1986) determinó que para principios del siglo pasado hasta 1985, el período de ocurrencia de crisis sísmicas en el Valle Central (sismos con magnitud intermedia y superficiales $5 < M < 6,5$; $h < 20$ km), es de $29,5 \pm 9,9$ años. Alvarado y Boschini (1988) estimaron que el período de ocurrencia para sismos con similares características, pero ubicados en el extremo oriental del Valle Central, sería de $42,3 \pm 24,2$ años. Los últimos eventos sísmicos de importancia en el Valle Central fueron el terremoto de Piedras Negras, Alajuela (22-12-1990, $M = 5,7$) y el temblor de Pejibaye de Turrialba (10-7-1993, $M = 4,9$). Si tomamos en consideración que las crisis sísmicas en el Valle Central en el pasado, han durado como máximo 10 años, tendríamos que estamos todavía dentro del período crítico o, en su defecto, que este ya pudo haber concluido. Si se considera un período mayor (1756 a 1987), tenemos que en la región de Cartago se han generado al menos 9 temblores dañinos: en promedio un evento cada 25 años.

Estudios realizados por el ICE

El 22 de octubre de 1996, profesionales del ICE y de A y A realizaron una visita técnica con el fin de delimitar los alcances del estudio técnico. De allí se desprendió que lo más apropiado, con el fin de definir con mayor precisión si la falla efectivamente pasa por el flanco norte del valle del río Navarro, justo en donde se construyó el Acueducto de Orosi, era proceder, con la colaboración de A y A, a la limpieza de los cortes de rocas paralelos a la tubería entre el Sifón y la parte alta de la ladera, en un tramo de unos 250 m.

Diversas fallas y fracturas fueron observadas y medidas para determinar cuales podrían corresponder con la falla Navarro. Además, si tienen alguna evidencia del tipo de desplazamiento y una edad relativa o absoluta de su último movimiento.

Paralelamente, se realizó una revisión de las fotografías aéreas y de la literatura, con el fin de revisar el trazo del alineamiento fotogeológico en el sector de interés.

Litología

La litología observada, consistió en una volcanorudita (brechas volcánica de origen sedimentario) hasta un conglomerado inmaduro (rico en matriz tamaño arena), moderadamente meteorizado, café (pardo) a café claro (beige). No se observó una estratificación bien definida. Sobre estas rocas sedimentarias se ha desarrollado un suelo (horizonte A pobremente definido y el horizonte B).

Análisis local de la Estructura

Se observaron diversas diaclasas, fracturas y, en menor proporción, fallas (fig. 3 y 4). En conjunto, consisten en debilidades estructurales orientadas en su mayoría NW ($\sim 35\%$), NE (30%), N-S ($\sim 11\%$), E-W (24%), con buzamientos cercanos a la vertical ($86,6\% > 50^\circ$).

De un total de treinta y siete medidas, sólo ocho poseían estrías de falla, en su mayoría con un rake subhorizontal, pero sin evidencias claras de su real movimiento, indicando únicamente una componente de rumbo. En dos casos, se determinó un movimiento de rumbo sinistral-normal (6+785 y 6+815) y, en otra falla, se determinó un movimiento predominantemente normal, en ambos casos, evidenciadas únicamente por la orientación de las estrías y por la disposición de los escalones.

Por otro lado, se observaron las fallas descritas como normales por Geomatrix para la estación 7+330, las cuales efectivamente desplazan al suelo unos pocos centímetros (< 15 cm), y conforman tres sistemas principales, de mayor a menor importancia: a) N80°-90°W con buzamientos de 72-86° al sur o al norte; b) N50°-55°W; 65°-80° SW y el último y muy subordinado c) N40°E; 75°NW. Por otro lado, se debe de aclarar que, aunque los movimientos de la falla son aparentemente verticales (=normales), perfectamente puede existir un movimiento de rumbo (fig. 4a).

En las fotografías aéreas se puede observar que las ramificaciones de la falla Navarro, atraviesan el trazo del Acueducto con un rumbo N55°E hasta N70°E. Así, se entra en contradicción con lo expresado en el informe de Geomatrix, dado que las orientaciones de las fallas medidas en el afloramiento de la estación 7+330, presumiblemente asociadas con la falla Navarro (Geomatrix, 1996) no concuerdan con el rumbo de la falla (N55°-70°E). La mayoría de ellas poseen un rumbo N50°-90°W, presentándose sólo una con rumbo N40°E. Esto puede deberse a: a) una variación en los esfuerzos locales, b) un sistema de fallas conjugadas o secundario, y c) fallas no genéticamente asociadas con la falla Navarro.

De igual modo, la mayoría de las fallas, fracturas y diaclasas medidas en otros tramos, poseen rumbos hacia el NW (~35%). Sólo un sistema de fallas (6+815) bien definido, observable cerca de la intersección del Acueducto con la carretera (6+805) que conduce a las Cóncavas, posee un rumbo con similar orientación al de la falla Navarro. La primera, N55°E; 50°SE con dos fases tectónicas, una de ellas de tipo normal-sinistral, mientras que la otra falla asociada importante, posee un rumbo N50°E; 60°SE. Aunque la orientación de dichas fallas concuerda con la de la falla Navarro, incluyendo el tipo de movimiento de la primera, no se observó que desplacen el suelo, aunque en la fracturas abiertas éste visiblemente se introduce (figs. 5 a y b).

Ambos sistemas se ubican en la misma posición que la falla Navarro, deducido del análisis fotogeológico. Por ello, se puede concluir que, aunque las evidencias son pobres y no 100% contundentes, existen elementos de juicio para asegurar que el ramal aparentemente más activo de la falla (7+330), no representa un mayor peligro para el Acueducto, dado que se ubica en la parte topográfica alta y plana. Mientras que el otro, aunque con ausencia de evidencias *in situ* de neotectonismo (desplazamiento de suelos), se ubica cerca (escasos 100 m) del Sifón.

Sin embargo, existe otro rasgo mofotectónico de importancia que constituye el lineamiento o falla Orosi (Salazar *et al.*, 1992; Geomatrix, 1994), con una orientación N35°-40°W, de la cual, sin embargo, no se encontraron zonas de debilidad estudiadas (fig. 4b).

Conclusiones

1. En las fotografías aéreas se observa que en el flanco derecho del valle del río Navarro, las ramificaciones de la falla del mismo nombre atraviezan el trazo del Acueducto casi perpendicular con un rumbo N55°E hasta N70°E, mientras que la falla Orosí lo realiza oblicuo con un rumbo N35°-40°W.
2. Las fallas normales mencionadas por Geomatrix (estación 7+330), las cuales efectivamente desplazan al suelo unos pocos centímetros (≤ 15 cm), conforman tres sistemas principales, de mayor a menor importancia: a) N80°-90°W con buzamientos de 72-86° al sur o al norte; b) N50°-55°W; 65°-80° SW y c) N40°E; 75°NW. Este último sistema se presenta subordinado con respecto a los anteriores y es el único que concuerda con la orientación de la falla Navarro.
3. Uno de los sistemas de fallas bien definido (6+815), observable cerca de la intersección del Acueducto con la carretera que conduce a las Cóncavas, posee similar orientación al de la falla Navarro, incluyendo el tipo de movimiento (normal-sinistral), aunque no se observó que desplacen el suelo.
4. Tan solo menos de un 6% del total de fracturas y fallas medidas, coinciden con el trazo fotogeológico de la falla Navarro. Por ello, se puede concluir, que aunque las evidencias son pobres y no contundentes, existen elementos de juicio para asegurar que tanto el ramal aparentemente más activo (7+330), como aquel ubicado cerca del Sifón (6+815), merecen especial cuidado en el caso de activarse, dada la presión elevada del Acueducto y los peligros asociados en las poblaciones aledañas,
5. Finalmente, con base en los detallados estudios emprendidos por Geomatrix y complementados con el presente informe, se desprende que la falla Navarro es una falla activa, aunque desconocemos cuando podría ser su próxima reactivación. Con base en los períodos de ocurrencia para el Valle Central (Alvarado y Boschini, 1988), tenemos que existe cierta posibilidad de que un evento telúrico, de magnitud intermedia y profundidad somera, ocurra en el Valle Central Oriental (Valle del Guarco-Turrialba-Irazú) en los próximos 15 a 63 años. Más difícil aún y con una probabilidad más baja, sería el especular si sería la falla Navarro la próxima en activarse, o más bien, una de las tantas que se ubican en esta región sumamente fallada (vease Geomatrix, 1994; Montero y Alvarado, 1995).
6. En fin, ante un evento sísmico, cualquiera que sea la falla activa en el Valle del Guarco, el Acueducto podría verse afectado por el efecto del evento telúrico en sí (sacudida sísmica) u otro efecto secundario (derrumbes y/o avalanchas) en otros sectores (véase Salazar *et al.*, 1992).

Agradecimientos: Se agradece la colaboración en el campo recibida por el Ing. Arturo Rodríguez (A y A), Sr. Francisco Arias y Sr. Lorenzo Murillo (ICE). A la Ing. Aída Marín y al Sr. Luis Madrigal (ICE) por el apoyo recibido. Al Géol. Allan López, quien revisó el documento para su edición final.

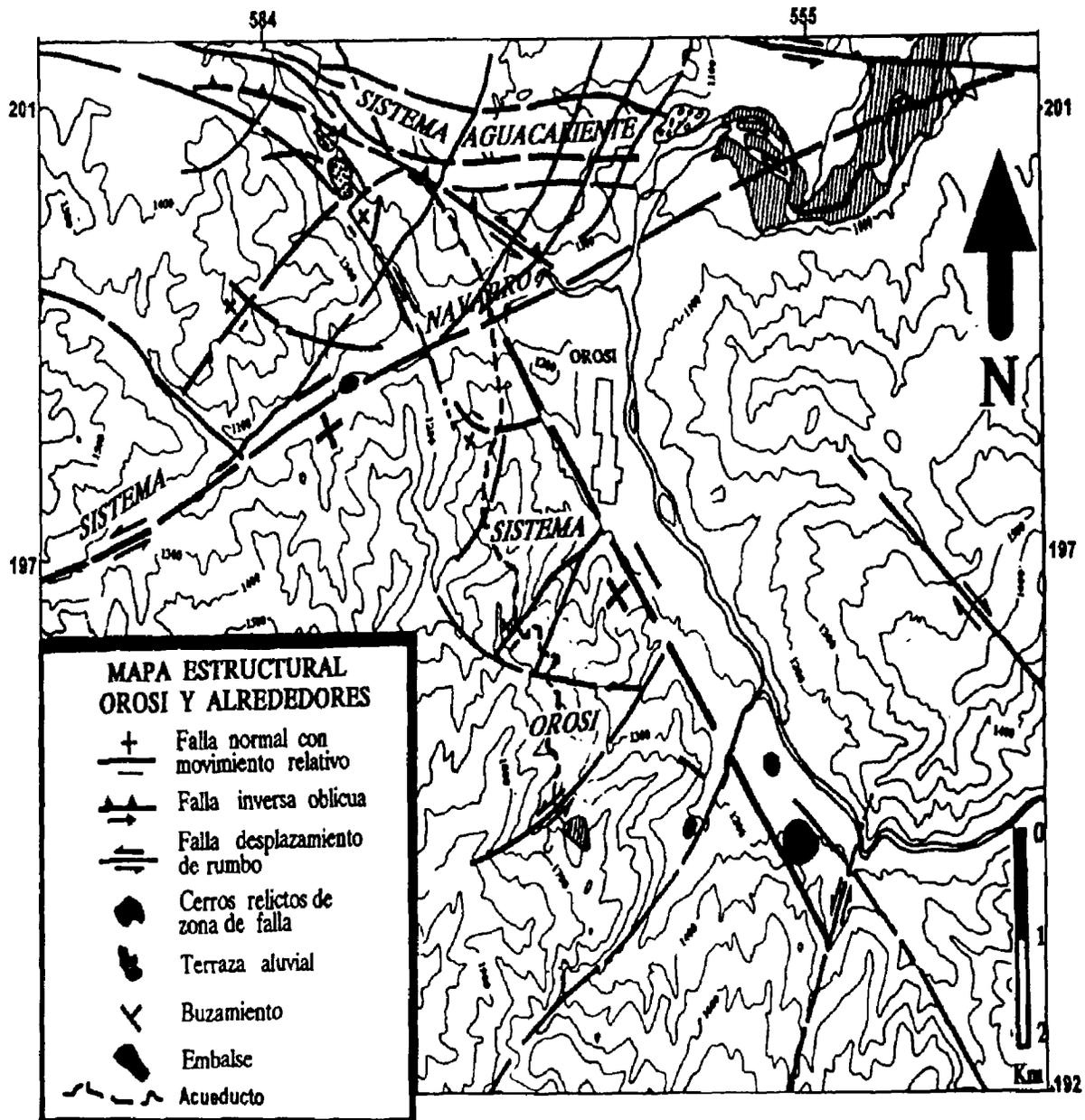


Fig. 2. Mapa estructural de Orosi y alrededores (modificado de Salazar *et al.*, 1992).

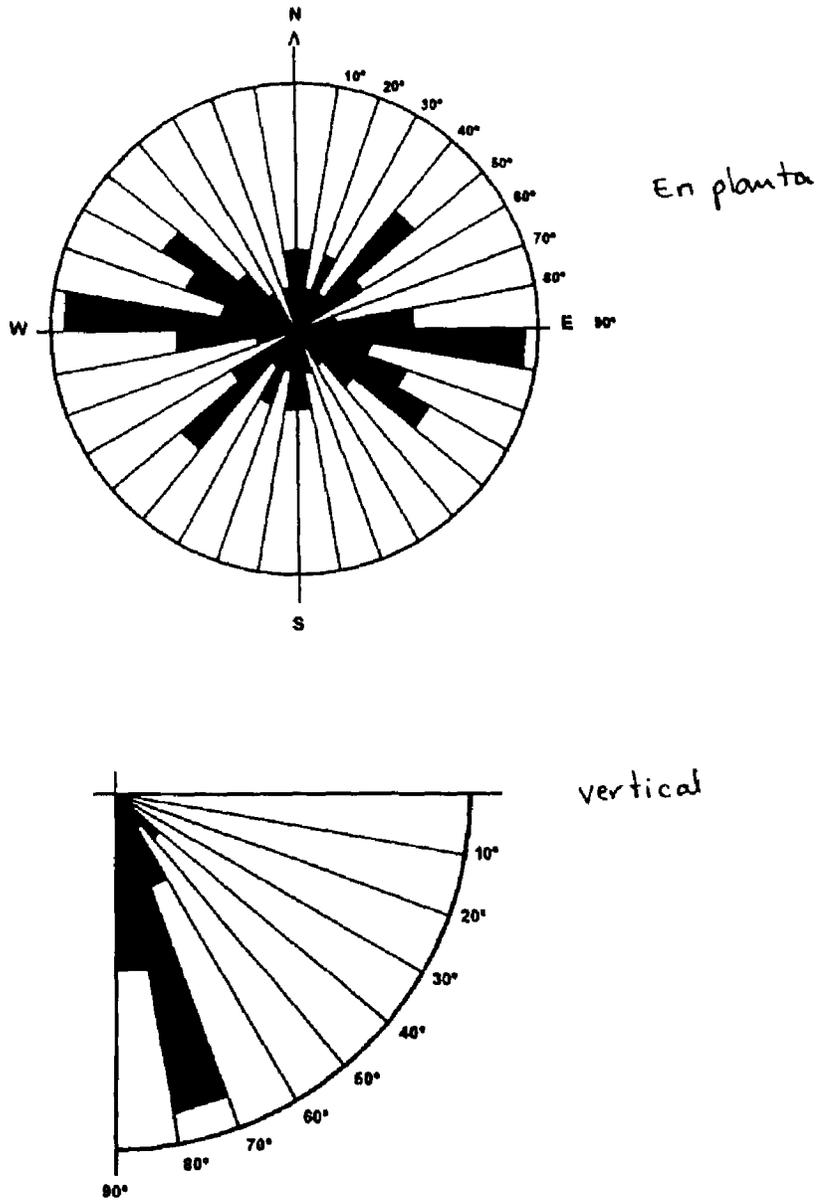


Fig. 3. Rosa Simétrica de rumbos y Rosa de Buzamientos medidos en el sector estudiado. Incluye los principales sistemas de fallas, diaclasas y fracturas.