

**ACUEDUCTO DE OROSI**  
**ESTUDIO DE VULNERABILIDAD DE LA CONDUCCION**  
**EL LLANO - TRES RIOS**  
**INFORME FASE I**

<b>CAPITULO</b>		<b>PAGINA</b>
I.	INTRODUCCION	
	1.1 Antecedentes	1
	1.2 Alcance del Informe	1
	1.3 El Sistema Orosi	2
<b>I</b>	<b>CONDUCCION DE EMBALSE EL LLANO A PLANTA TRES RIOS</b>	<b>3</b>
<b>II</b>	<b>DESARROLLO DEL ESTUDIO</b>	<b>5</b>
	3.1 Revisión de la Información Disponible	5
	3.2 Reconocimientos de Campo	7
IV.	ANALISIS DE VULNERABILIDAD DE LA CONDUCCION	14
	4.1 Riesgos Posibles o Bajo Riesgo	15
	4.2 Riesgo Mediano	15
	4.3 Riesgo Alto	16
	4.4 Riesgo Inminente	17
	4.5 Riesgo Sísmico y Tectónico	17
	4.6 Riesgo Geotécnico	21
	4.7 Riesgo Hidrológico	25
	4.8 Riesgo Estructural	25
	4.9 Análisis de Daños	26
V.	ESTUDIOS ESPECIALES - TERMINOS DE REFERENCIA	29
	Estudio Sísmico y de Corrimiento de Fallas	29
	Estudios Geotécnicos Específicos	29
	Estudios Estructural, Hidráulico e Hidrológico	29
VI.	CONCLUSIONES PRELIMINARES	30

**ANEXOS**

1.	BIBLIOGRAFIA
2.	FOTOGRAFIAS

ACUEDUCTO DE OROSI  
ESTUDIO DE VULNERABILIDAD DE LA CONDUCCION  
EL LLANO - TRES RIOS  
INFORME FASE I

I. INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

En julio de 1991 el suscrito ingeniero civil Ricardo Cajiao, MS en Geotécnia de la Universidad de California en Berkeley, fue requerido por el Banco Mundial para estudiar un deslizamiento que se presentó en el sitio del tapón y que puso en peligro la tubería de conducción del sistema del acueducto de Orosi. En el informe de descartó la alternativa propuesta de construir un túnel y se recomendaron obras de estabilización del talud que ya han sido construidas y cuyo funcionamiento es hasta ahora ampliamente satisfactorio. En ese momento se expresó la preocupación de la vulnerabilidad del sistema en el sifón que cruza el río Navarro.

El Instituto Costarricense de Acueducto y Alcantarillado consciente de la importancia del sistema Orosi para el abastecimiento de agua potable de San José ha efectuado estudios de vulnerabilidad del sistema metropolitano (Ref. 1) y además ha solicitado al suscrito evaluar la vulnerabilidad de la conducción entre el embalse de El Llano y la planta de Tres Ríos. Este estudio será financiado y contratado por la Organización Panamericana de la Salud.

1.2 Alcance del Informe

De acuerdo con el contrato ASC-93/00318-0 firmado el 10 de enero de 1994 con la OPS de San José para efectuar la primera etapa de la consultoría, el alcance del presente informe será el siguiente:

1. Elaborar los términos de referencia para la contratación del estudio de vulnerabilidad del sistema Orosi, en cuanto al riesgo sísmico. En resumen, este estudio sísmico tendrá como objetivo:
  - Recopilación y análisis de actividad sísmica histórica.
  - Análisis de la información existente sobre la geología del área.
  - Determinación de aceleraciones probables en el área de Orosi.
  - Estudio de fallas principales y grado de actividades de ellas.
  - Rupturas superficiales potenciales que cruza la conducción y estimativa de corrimientos.
  - Inestabilidad de taludes por acción sísmica.
  
2. Visita técnica a San José, Costa Rica, a fin de realizar en situ un análisis de los riesgos mayores a que está sometida la conducción de Orosi en toda su longitud. El resultado del análisis será establecer el alcance de estudios especiales que deberán ser llevados a cabo, con el propósito de completar el estudio de vulnerabilidad del sistema Orosi en el tramo del embalse El Llano de la planta de Tres Ríos.
  
3. Elaborar un informe técnico del trabajo realizado que incluya:
  - Un análisis de los riesgos principales que está sometido el sistema Orosi.
  - Términos de referencia para la ejecución de estudios especiales.
  - Recomendación de firma y/o consultores que estarán calificadas para la realización de los estudios especiales.

Estos servicios se prestarán durante un periodo que comenzará alrededor del 10 de enero de 1994 y concluirán a más tardar el 12 de febrero de 1994.

### 1.3 El Sistema Orosi

La ciudad de San José con un millón de habitantes aproximadamente, está siendo abastecida por diferentes fuentes la principal de las cuales es la planta potabilizadora de

Tres Ríos con una capacidad máxima de 2250 litros/sec. A su vez esta planta está básicamente alimentada por el sistema Orosi que capta sus aguas en la cuenca alta del río Grande de Orosi, a unos 40 km al sureste de la ciudad de San José. Una falla del sistema Orosi equivaldría a una reducción en el suministro de agua potable a la ciudad de aproximadamente 43% del total del agua disponible en este momento.

El sistema Orosi está compuesto por una captación de la cuenca alta del río Grande de Orosi, una conducción de 29 km aproximadamente y una planta potabilizadora en el sitio de Tres Ríos.

La situación de una falla del sistema Orosi ha sido analizada por la firma Tahal en su informe "Vulnerabilidad de Sistema Metropolitano". Asimismo en este informe se plantea un plan de emergencia para el caso de ocurrencia de la falla del sistema Orosi basado, naturalmente, en racionamiento y en un aumento a su máxima capacidad de la producción de los pozos de La Valencia, Puente Mula y otras fuentes.

La construcción del sistema Orosi se inició en 1982 con la construcción del túnel de La Carpintera de 900 metros de longitud que hace parte de la conducción. En 1985 se dió inicio a la conducción de tubería de acero y de hierro dúctil desde el embalse de El Llano a Tres Ríos y la ampliación de la planta de tratamiento en estos sitios. El sistema completo del acueducto de Orosi fue inaugurado en 1987.

## II. CONDUCCION DE EMBALSE DE EL LLANO A PLANTA DE TRES RIOS

No es la intención del autor repetir descripciones de una obra que conocen mucho mejor el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, sin embargo, para el beneficio del lector inadvertido y no familiarizado con este proyecto se hace una breve descripción de la conducción que lleva las aguas desde el embalse de El Llano hasta la planta de Tres Ríos.

El acueducto de Orosi, concebido por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) para el suministro de agua potable al área metropolitana, aprovecha el embalse El Llano, la estructura de toma y un tramo del túnel blindado pertenecientes al

proyecto hidroeléctrico Río Macho. Desde el túnel blindado se deriva una conducción de 29.3 km de longitud, de los cuales 28.4 km corresponden a tubería de presión y 0.9 km a un túnel de flujo libre. La tubería está conformada por tres trayectos de características diferentes. El inicial tiene una longitud de 5.2 km en tubería dúctil de 42" de diámetro y 18.6 km de longitud que empata con el túnel a flujo libre llamado de La Carpintera. Entre el extremo inferior de este túnel y la planta de tratamiento Tres Ríos se encuentra el tramo final de la línea que está constituido por una tubería de acero, concreto y hierro dúctil.

Como elemento muy importante de toda la conducción, conviene mencionar el sifón de cruce del río Navarro, afluente del Agua Caliente que tiene una presión de trabajo de 518 m columna de agua.

La línea cuenta con un equipamiento convencional de válvulas (de aire, limpieza y control) dentro de las cuales se destaca la válvula de mariposa instalada al comienzo de la tubería y una de cuyas funciones es autocerrarse cuando detecta una velocidad de flujo por encima de la normal de diseño (sobrevelocidad)

El primer tramo de la conducción corre en una media ladera bastante inestable hasta el kilómetro 4, en este tramo se han presentado las mayores fallas y específicamente la falla del sitio del tapón en la estación 3+800. El primer tramo de la conducción en tubería de hierro dúctil está encofrado en bloques de concreto como se muestra en la fotografía No. 2 hasta la estación 1+100 aproximadamente. El segundo tramo de tubería está enterrada bajo la banca de un carreteable que llega hasta el kilómetro 4 aproximadamente, en general con baja presión. Desde este punto se precipita en el sentido de la pendiente para buscar el cruce del río Navarro en la estación 6+700; allí la tubería sale a la superficie en un tubo de acero que cruza el río y tiene 518 m de cabeza; posteriormente vuelve a enterrarse y a subir por la ladera opuesta hasta alcanzar de nuevo la cota 1500 y recorrer el valle de Coris donde se encuentra la ciudad de Cartago, hasta la estación de Coris donde están localizadas dos válvulas de control de flujo que efectúan la regulación del caudal de la conducción

Geológicamente, la formación corre en su primer tramo de media ladera sobre la formación Pacagua del Terciario compuesta de areniscas donde se pueden diferenciar varios niveles

paralelos a la pendiente. El nivel superficial de suelos que es generalmente inestable y desliza en varios sitios sobre el segundo nivel (A) de areniscas friables, descompuestas y fracturadas. Bajo el nivel A se encuentra otra arenisca más sana que en general es estable y esto es importante porque en muchos tramos la tubería está enterrada en esta formación. El nivel C subyacente que podríamos llamar la capa basal es una roca dura correspondiente a la formación San Miguel de areniscas y calizas que son explotadas en una fábrica de cementos en la cercanía del sitio.

La conducción baja a cruzar el río Navarro y luego sube por la ladera norte enterrada en areniscas friables y limolitas finamente estratificadas. Al final de la rama ascendente, la tubería encuentra unas planadas de suelos cuaternarios recientes, aluviones y cenizas volcánicas depositadas por encima de rocas sedimentarias de la formación Coris. El túnel de La Carpintera fue excavado en rocas ígneas especialmente brechas de muy buena calidad y no se reportaron dificultades mayores durante la construcción; en este momento es un túnel que trabaja a flujo libre y aunque no se ha inspeccionado últimamente, no se nota ninguna disminución de caudales que indique fallas interiores del túnel. Una vez a la salida del túnel la conducción vuelve a ser enterrada en zona de topografía suavemente ondulada hasta llegar a la planta de Tres Ríos.

### III. DESARROLLO DEL ESTUDIO

El objeto de esta primera etapa como se dijo anteriormente, fue el de ejecutar una revisión detallada de la información disponible y un reconocimiento de campo guiado por los ingenieros más familiarizados con la zona que acompañaron al suscrito. Esto con el fin de identificar los riesgos mayores que puedan poner en peligro la conducción El Llano - Tres Ríos y establecer la necesidad y alcance de estudios especializados.

#### 3.1 Revisión de la Información Disponible

Se revisó y analizó toda la información enviada por AyA en diciembre de 1993, anterior al viaje a Costa Rica. La relación de los informes analizados se encuentra en el Anexo No. 1 Bibliografía. A continuación se hace un breve resumen del contenido de los documentos más importantes con los comentarios pertinentes.

- Ref. 1. "Vulnerabilidad Sísmica del Sistema de Tubería del Acueducto Metropolitano", los autores Quesada y Flores, ingenieros del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados han hecho un magnífico trabajo de recolección de información sísmica. En esta referencia se presenta una estadística de los terremotos más notables del país, un mapa de epicentros, otro mapa de aceleraciones y períodos de recurrencia. También se adjunta el informe de la firma Tahal, donde se analizan los riesgos sísmicos y geotécnicos del sistema Orosi y se presenta un plan de emergencia para el suministro racionado de agua a la ciudad de San José en caso de falla de sistema Orosi.
- Ref. 2. "Acueducto Metropolitano, Tramo Embalse El Llano - Río Navarro (Costa Rica): Un Sitio Bajo Amenaza" presentado por los geólogos Salazar, Obando y Mora. Es principalmente una recopilación de datos sísmicos y una descripción de la geología del área. Se identifica el primer tramo de la tubería a media ladera como la zona de mayor riesgo. Tomando positivamente el tono alarmista del artículo, despierta inquietudes de las cuales hay consciencia en el AyA.
- Ref. 3. "Amenaza Sísmica para el Plantel El Alto". El geólogo Alvaro Aguilar presenta un estudio sísmico de este sitio cercano a Cartago con datos de gran interés, especialmente al comparar aceleraciones previstas con las realmente registradas en algunos sismógrafos: generalmente se subestima el valor de la aceleración.
- Ref. 7 a 11. Los informes mensuales de Bel Ingeniería S.A.. sobre los trabajos de estabilización del sitio El Tapón son por demás interesantes. Estos informes no se limitan a la obra supervisada sino también reportan fallas como las observadas en el sitio de Los Vados y en la Vuelta del Queque.

Además de la información suministrada por AyA, el suscrito consultó un buen número de artículos técnicos y publicaciones sobre el tema de riesgo de tubería entre los cuales es notable la Ref. 16, "Earthquake: Correlation Between Pipeline Damage and Geologic Environment" publicada en 1976 y de actualidad y directa aplicación en el sifón de Orosi.

Son notables también las publicaciones recientes de Journal of Geotechnical Engineering de enero y febrero de 1994 que analizan los efectos del terremoto de Armenia.

### 3.2 Reconocimientos de Campo

En la compañía de los ingenieros de AyA, señores Saúl Trejos, Paulino Piquero, Rafael Rodríguez, Oscar Quesada y especialmente del encargado de las líneas de conducción ingeniero Arturo Rodríguez más el consultor independiente Max Stiefel, el suscrito realizó la visita de reconocimiento a lo largo de la conducción de 28 km de la conducción durante los días 11 y 12 de enero de 1994. El reconocimiento se detalla a continuación.

#### Estación 0+00

Existe una conexión a la tubería de carga a la central de Río Macho con una válvula manual de mariposa. Posteriormente hay una caseta con una válvula de protección que se cierra al haber sobrevelocidad; el tiempo de cierre de esta válvula está calibrado en 5 minutos; se cree que se puede reducir este tiempo sin problemas de sobrepresión en la tubería de carga

#### Estación 0+00 a 1+100

Este tramo de la conducción en tubería de hierro dúctil ha sido protegido por bloques de concreto "encofrada". Esto con el fin de evitar rupturas de la tubería bajo la presa del embalse de El Llano por caída de piedras o golpes inesperados. Se ilustra en la fotografías No. 2 y 3.

#### Estación 1+150

Este Vado No. 1 a la quebrada Jucó fue tratado por cunetas revestidas en concreto que se llevan por el cauce abajo de la quebrada hasta el sitios donde ya no hay erosión porque se encuentra aflorando la roca. Sobre este vado está descargando correctamente un tramo largo del carretable como se indica en la fotografía No. 4

### Estación 1+360 a 1+400

En este sitio se detectó en julio de 1992, (Ref. 9 informe de Bel Ingeniería), una grieta que ha sido tratada por medio de un muro de pilotes fundidos en el sitio y amarrados entre sí por una viga cabezal con tensores cada 3 m, la separación entre pilotes es de 1.30 m y no están colocados sobre un eje recto como se ilustra en la fotografía No. 5; los pilotes, amarrados por una viga de gran tamaño enterrada a 1 m de profundidad, están sostenidos con tensores que cruzan el carretable y entran dentro del talud superior y han sido tensionados a 10 ton cada una, la capacidad máxima de prueba fue de 40 ton. Además se construyó un muro de gaviones al fondo de la cañada para mejorar las condiciones de estabilidad de la pata. En la fotografía se puede observar un cajón metálico rojo donde ha sido instalado el inclinómetro No. 1.

### Estación 1+900 a 2+200

En esta vuelta de la carretera, o sea de la conducción, se cruza la quebrada Granados que presenta algunas situaciones de inestabilidad en ambas laderas. En fotografía No. 6 se observa un deslizamiento por encima de la conducción que en esta parte está enterrada en caliza masiva que se puede observar aflorando en la estación 2+200. En la margen derecha de la quebrada Granados en la estación 1+900 se ha construido un muro de gaviones con el fin de mejorar la estabilidad de la pata ya que esta es una zona inestable. El cruce de la quebrada Granados se hace en un vado revestido en concreto que a su vez lleva el agua a una tubería de concreto que evita la erosión del cauce de la quebrada Granados y esta se lleva un buen tramo aguas abajo. Véase las fotografías 8, 9 y 10.

### Estación 2+220

En este sitio hay un vado con descole muy corto que se debe inspeccionar para evitar cualquier erosión en el cauce, que le quita pata al talud desestabilizando la ladera.

### Estación 2+460

Hay un pequeño derrumbe por encima de la banca por erosión de los suelos, se ha controlado con una zanja de coronamiento y un muro de gaviones como se puede observar en la fotografía No. 12.

### Estación 2+800 a 2+900. Vuelta del Queque

Este es un sitio de pendiente pronunciada situado encima de la población de Orosí que ha presentado deslizamientos y en general inestabilidades desde la época de construcción. Se ilustra en la fotografía No. 13. El último deslizamiento de suelo (S) sobre la capa (A) de arenisca friable y descompuesta se controló perforando drenajes desde la banca de la tubería y bajando el nivel freático. También se construyó un muro de gaviones unos 20 m abajo de la banca como se puede ver en la fotografía No. 14, este es un sitio indudablemente peligroso porque tiene características semejantes a las del sitio del tapón y se cree necesario hacer obras más extensas, mayor número de drenajes y controles con inclinómetros como se recomienda más adelante.

### Estación 3+200

En este sitio hay un muro de gaviones para controlar un pequeño deslizamiento sobre la bancas, causado por erosión de los suelos superficiales.

### Estación 3+400

Se observa un deslizamiento de arenisca fracturada sobre la banca que indica las condiciones de inestabilidad en esta zona de fuertes pendientes.

### Estación 3+800 a 3+900. El Tapón

Este es el sitio más peligroso y vulnerable de la conducción donde se presentó en 1991 un deslizamiento de grandes proporciones que puso en peligro la conducción. En este momento las obras recomendadas se han terminado en muy buena forma y consisten

básicamente, en un muro superior de concreto que asegura la estabilidad de la banca del carreteable donde está enterrada la conducción, este muro ha sido tensionado con anclajes que cruzan el camino y se entierran en el talud opuesto, estos anclajes han sido tensionados con 10 toneladas cada uno. Para proteger la socavación de la pata del muro anterior se construyó, por iniciativa de Bel Ingeniería, un muro inclinado con 60º siguiendo la superficie del terreno. Este muro es de concreto masivo y trabaja por gravedad, a este nivel se instaló una fila de drenajes que complementa otra fila de drenajes colocada a nivel de la banca de la carretera. Por debajo de este muro, se construyeron dos muros de gaviones para reconstruir la pendiente del talud, además las aguas superficiales han sido manejadas por medio de canales y conducidas al fondo de la quebrada donde hay cámaras de disipación de energía y tuberías para controlar la erosión del cauce. Por último, toda la superficie se ha empradizado y arborizado como se puede observar en las fotografías 16, 17 y 18.

Se reporta completa estabilidad de estas obras que tienen un control topográfico permanente, de referencias lejanas y no muestra ningún movimiento. Por otra parte, hay un indicador de talud que muestra una anomalía a una profundidad de 21.5 m que sería muy preocupante a no ser porque el indicador de talud No. 1, colocado en la estación 1+300 también muestra una anomalía idéntica a la misma profundidad de 21.5 m, esto hace sospechar de errores en la instalación de ambos indicadores. Para completar las obras anteriores Bel Ingeniería sugirió y diseñó un canal de desviación de las aguas desde la estación 3+500 hasta la quebrada de El Sapo o de Rosas que tiene un lecho sobre roca y conduce toda la escorrentía superficial al río Navarro, este es un canal en concreto muy bien hecho con cámaras de disipación de energía como se observa en las fotografías 19 y 20.

#### Estación 4+200

En esta estación la tubería comienza a descender en el sentido de la máxima pendiente para buscar el cruce del río Navarro, los primeros tramos se observan en la fotografía 20 y ya cerca al río en la estación 6+700. la tubería sale al aire libre para hacer el cruce del río Navarro en un sifón invertido con una alta cabeza de 520 m.

Todo este tramo descendente se inspeccionó cuidadosamente; hay cunetas revestidas en concreto y dentellones para controlar el flujo superficial y no se observan grietas ni señales de inestabilidad en ninguna parte.

Ya en las proximidades del río Navarro aflora la roca en forma de limolitas terciarias y se observan algunas fallas como la que se muestra en la fotografía 23 que tiene un desplazamiento de por lo menos 50 cm.

#### Estación 6+700 Sifón del Río Navarro

Este sitio fue inspeccionado cuidadosamente y se ilustra en las fotografías 24 a 30. Indudablemente, este es el sitio más vulnerable de la conducción puesto que el río Navarro corre sobre una falla activa, la tubería está soportada por unos pilares y siletas relativamente rígidas y tiene dos anclajes en cada una de las márgenes situación esta que ante un corrimiento de la falla produciría una ruptura de la tubería, por otra parte también hay preocupación sobre la posible socavación de las pilas centrales junto al lecho del río en grandes avenidas, puesto que ya hubo alarma en una creciente reportada de 250 m<sup>3</sup> por segundo, ocurrida en julio de 1992, que profundizó el cauce.

En la margen izquierda la tubería tiene un anclaje, o sea en el extremo norte, con una junta de expansión. La distancia entre pilas es de 24 m y la luz central está soportada por tres pilas centrales y dos siletas cada una a unos 14 y 17 m de las pilas como se puede ver en el plano que se adjunta. En la margen derecha se cree que hay un bloque de anclaje que no está mostrado en los planos pero hay un bunker de concreto donde se aloja una válvula de quiebre de presión tipo Rotovalve para poder efectuar la purga de la tubería en el punto más bajo de esta. La válvula, tanto en la entrada como en la salida, recibe tuberías de acero de 40 cm de diámetro y a continuación de ella hay otra válvula de 30 cm, disipadora, de cono fijo dentro de un gran muro de concreto. Los ingenieros de AyA informan que la tubería de acero fue fabricada por Management que es una compañía alemana y la inspección en fábrica la hizo Halcrow Consultants. Se observó, y los planos lo muestran así, que los dos apoyos de la margen izquierda a continuación del anclaje y de la junta de expansión son pendulares y tiene una pequeña posibilidad de movimiento, pero solamente en el sentido longitudinal; el apoyo en la margen derecha cercana al bloque de

anclaje es fijo. De todas maneras, todas las sillelas y los apoyos están anclados en sentido transversal por medio de pernos y de tornillos y se cree que en una situación de corrimiento estos anclajes estarían mucho mejor sueltos para permitir el movimiento libre de la pila sin arrastrar la tubería consigo, en otra palabras se deben independizar ambas estructuras, la de soporte con la superestructura de la tubería , este punto se discute en mayor detalle más adelante.

#### Estación 7+300

La rama ascendente del sifón termina la pendiente a la cota 1200 aproximadamente donde aparece la formación Coris que predomina en todo el tramo de esta ladera norte del río Navarro y afloran algunas rocas ígneas muy estables, toda esta ladera izquierda del río Navarro presenta estabilidad satisfactoria.

#### Estación 7+400 a 8+400

En todo este tramo se observan suelos lateríticos rojizos que forman una topografía suavemente ondulada y muy estable. Se llega a la cota 1300 en un plano en la estación 8+400 donde empieza una topografía plana de depósitos fluvioacústres que se podría llamar el valle de Coris.

#### Estación 17+700

En este sitio la conducción cruza el río Reventado en un cruce subfluvial encofrado en concreto cuyos detalles constructivos en este momento se están investigando. Este puede ser un sitio crítico de la tubería bajo vibración sísmica pues los suelos granulares pueden ser susceptibles a licuación.

#### Estación 22+000

Este es llamado el valle de Coris, de nuevo con depósitos fluvioacústres, llamados localmente Lahares de origen volcánico y fluvial. La topografía es favorable para estudiar un embalse o pondaje de agua cruda.

### Estación 21+653

En este sitio se encuentra la estación de válvulas Coris, son dos válvulas hidráulicas de regulación, cada una con válvulas de protección de mariposa. La marca es Golden Anderson. La regulación de caudales se efectuá desde esta estación. La conducción en esta zona está hecha en tubería de hierro dulce.

### Estación 23+200 a 23+500

En este tramo se observan humedades notables que han causado un proceso de reptación de los suelos como se ilustra en la fotografía 32 y 35. La banca donde está enterrada la tubería se ha protegido por medio de un muro de gaviones que bajo la presión del suelo ya está completamente abombado y el fenómeno continúa.

En este tramo antes del portal de entrada del túnel de La Carpintera se le debe dar alguna atención porque si el movimiento de reptación se profundiza puede poner en peligro la tubería, esto se ilustra en las fotografías 31, 32 y 33.

### Estación 23+790

En esta parte la tubería sale otra vez a la superficie y la conducción consiste en un tubo de acero como se puede ver en las fotografías 34 y 35, está soportada en silletas y tiene un curva horizontal que es favorable en caso de algún movimiento porque permite alguna expansión. El portal del túnel está en perfectas condiciones, son taludes relativamente bajos protegidos con mortero de cemento, se ve mucha humedad en la zona más no en los taludes. El túnel trabaja a flujo libre y no se ha reportado ningún derrumbe ni se ha notado enturbiamiento del agua o disminución del caudal, es difícil de inspeccionar en este momento y habría que suspender servicio lo cual no es justificado al no haber evidencia de problemas.

### Estación 24+700

La salida del túnel en la estación 24+700 se puede ver en la fotografía 36, tiene válvulas de aire caseras en tubería galvanizada de 3 pulgadas y vuela a enterrarse la tubería hasta la planta de Tres Ríos. Inmediatamente a la salida sobre la margen izquierda hay un antiguo deslizamiento en una pendiente muy pronunciada que ha sido estabilizado con unos piloticos de tubería rellena en concreto. Hay un muro de concreto también en la parte baja de la cañada, hay dos casas de habitación que podrían estar en peligro en caso de reactivarse este deslizamiento, se cree necesario dedicarle alguna atención y hacer algunas obras en este sitio. Esto se ilustra en la fotografía 37. Por último en la estación 28+000 se encuentra la planta de Tres Ríos que es una obra de ingeniería notable, con un mantenimiento excelente y donde se analizó la entrada de la conducción de Orosi. No se ve la necesidad de colocar uniones flexibles ni hacer ningún tipo de obras.

Como conclusión última de la visita al campo se puede decir que la conducción se encuentra en muy buen estado, los sitios más peligrosos están estabilizados. no se ve peligro inminente en ninguna parte y que indudablemente el sitio más vulnerable de la conducción es el cruce del río Navarro en un sifón que tiene alto riesgo sísmico y de corrimiento de fallas y también hasta cierto grado el riesgo hidrológico en una avenida grande del río que podría mover las pilas centrales.

#### IV. ANALISIS DE VULNERABILIDAD DE LA CONDUCCION

No hay tal cosa como una tubería de conducción invulnerable (Ref. 16 ) y la conducción del acueducto de Orosi no es una excepción. Por lo contrario, la conducción El Llano - Tres Ríos está expuesta a riesgos de diversa índole que se analizarán a continuación.

Los tipos de riesgos son tan numerosos como la imaginación alcance a crearlos. Por esto es necesario limitarlos de acuerdo con su probabilidad de ocurrencia y a los daños que puedan causar en Bajo, Mediano y Alto Riesgo y las consecuencias Leves, Graves y Catastróficas.

#### 4.1 Bajo Riesgo

De ocurrencia improbable pero no imposible estarían algunos eventos que en criterio del autor serían los siguientes:

- a. Sabotaje: Poco probable en Costa Rica con su tradición de civismo y democracia. De ocurrencia diaria en otros países en los polductos y oleoductos.
- b. Conflicto Interinstitucional: Muy poco probable porque siempre el agua potable tiene prioridad sobre la generación eléctrica. Sin embargo, un daño grave en la planta de Río Macho que afecte el embalse puede afectar la captación de Orosi y por ende el suministro a la estación de Tres Ríos. Este riesgo se analizará someramente dentro del estudio hidráulico y estructural.
- c. Volcanismo: Cabe dentro de lo posible que una erupción del volcán activo Iruzu afecte la conducción, especialmente en los tramos descubiertos y cercanos al volcán como el del valle de Coris, río Reventado y aún el sifón sobre el río Navarro. Existe el precedente de un taponamiento del río Reventado por causa de ceniza volcánica que causó daños importantes por inundaciones en barrios de Cartago. Sin embargo, no se prevén daños a la tubería enterrada por causa directa de erupciones volcánicas y no se justifica hacer estudios detallados sobre este riesgo.

#### 4.2 Riesgo Mediano

Ciclones Tropicales y Huracanes: Hacia los meses de agosto a octubre principalmente (84% de las ocurrencias), anualmente se forman ciclones tropicales en las latitudes comprendidas entre los 5º y los 20º al norte del Ecuador, los cuales toman el nombre de depresiones tropicales, tormentas tropicales o huracanes, respectivamente en orden creciente según sea su magnitud. Estos ciclones tropicales se trasladan siguiendo los vientos Alisios en dirección oeste, con desviaciones sur o norte, más comúnmente esta última.

El autor ha consultado la referencia bibliográfica (Ref. 15), la cual presenta la trayectoria de los ciclones tropicales entre los años 1871 a 1986 , e información histórica entre 1987 y 1992, es decir 121 años de registros históricos, y halló que solamente en octubre del año 1988 el huracán Joan tuvo posibilidades de dirigirse a la costa costarricense con violencia destructiva después de haber azotado la costa norte colombiana y las islas de San Andrés y Providencia, pero muy cerca a la zona costera de Costa Rica cambió de rumbo hacia el norte y se amortiguó parcialmente en Nicaragua. De haber seguido su curso, este huracán podría, dentro de lo posible, haber golpeado el área de la conducción de Oroquí.

El autor ha indagado con expertos en meteorología, y la opinión compartida es que los huracanes pierden rápidamente su fuerza una vez se adentran en zonas montañosas continentales, y que el impacto sobre la conducción no sería directa puesto que está enterrada en su mayor parte, sino indirecto al provocar altísimas precipitaciones debido a las banda nubosas externas a éste, que pueden llegar a estar apartadas hasta 250 km o más del "ojo" del huracán. Este riesgo hará parte del estudio hidrológico. Un ciclón con un "ojo" concentrado de fuerza devastadora como el que destruyó a Biloxi y otras poblaciones de Missisipi en la década de 1970 no tiene precedente en Costa Rica y menos aún en regiones montañosas. Por lo tanto, es un riesgo que no amerita posteriores estudios.

#### 4.3 Riesgo Alto

Dentro de los riesgos probables se han identificado claramente los siguientes que son objeto de análisis más profundo y ameritan hacer estudios especiales:

- a. Riesgo Sísmico que incluye no solo temblores y terremotos, sino también fenómenos tectónicos de corrimiento de fallas.
- b. Riesgo Geotécnico, por estabilidad de laderas, licuación de suelos, reptación o flujo de suelos.
- c. Riesgo Hidrológico por avenidas extraordinarias de ríos que cruzan la conducción y por insuficiencia del vertedero del embalse El Llano.

- d. Riesgo Estructural por corrosión de la tubería, sobrepresión hidráulica, desplazamiento de soportes.

#### 4.4 Riesgo Inminente

Por fortuna en la revisión de la conducción el autor no encontró situación alguna que pueda clasificarse como riesgo inminente; esto es cuando el evento está en proceso o su ocurrencia sea previsible en un futuro cercano. La condición más alarmante en mi opinión es la del sifón que cruza el río Navarro. En este sitio, la tubería está altamente esforzada con una presión máxima de 518 m de cabeza y soportado sobre ambos márgenes del río por anclajes con luces centrales de 24 m. La tubería está amarrada a sus soportes por tornillos de anclaje que impiden cualquier movimiento transversal y limitan a pocos centímetros el movimiento longitudinal a pesar de la junta de expansión que se instaló en el extremo ascendente. Es preocupante el comportamiento que tendría la tubería en este sitio bajo terremoto que causa movimientos relativos entre soportes y lo que es más grave, podría activar el corrimiento de la falla activa que se ha identificado a lo largo del cauce del río Navarro.

En la opinión del suscrito, la tubería debe soltarse de sus soportes intermedios entre anclajes para evitar que los corrimientos relativos entre pilas arrastren la tubería creando esfuerzos transversales y eventualmente una falla de la misma. En la referencia 16 se recomienda claramente esta medida.

La experiencia del suscrito en la Central de El Colegio con una tubería de alta presión, 1000 metros de cabeza, bajo empujes laterales de un deslizamiento fue exitosa al demoler los soportes de concreto afectados y soltar la tubería para permitir su retorno al alineamiento recto. Esta situación se ilustra en las fotografías 39 a 43.

#### 4.5 Riesgo Sísmico y Tectónico

El movimiento relativo de la placa del Caribe con respecto a la placa Coco ha hecho de Centroamérica una zona de intensa actividad sísmica permanente. Costa Rica no es una

excepción y es un país que se puede catalogar como altamente sísmico. Dentro del país el área donde más se han registrado los fenómenos telúricos es el Valle Central, que presenta una actividad sísmica intensa y permanente. Dentro del valle central donde se encuentra San José y Cartago, la zona de mayor intensidad sísmica y que históricamente ha presentado los más grandes terremotos se encuentra al suroeste de San José que es precisamente el área donde está localizada la conducción de Orosi. Por esta razón es la opinión del autor que el mayor riesgo que afectaría la conducción de Orosi es el riesgo sísmico y tectónico.

Existen estudios y recopilaciones históricas de los sismos en el valle central entre los cuales se deben mencionar los del geólogo Walter Montero y Luis E. Morales, y otra de Walter Montero y Miyamura en 1981. A. Aguilar en 1987 también estudió la incidencia de las fuerzas sísmicas en la región central de Costa Rica en el plantel El Alto cerca a Cartago. Estos estudios zonifican el área y muestran que la zona de mayor sismicidad y donde se han presentado aceleraciones mayores con períodos de recurrencia de unos 40 años están alrededor de Cartago y Orosi que afecta directamente el trazado de la tubería en toda su longitud y especialmente el sifón que cruza el río Navarro, donde se reporta una falla activa.

El ingeniero Oscar Quesada y el ingeniero Armando Florez del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado, AyA, escribieron un informe de fecha 1990, titulado "Vulnerabilidad Sísmica del Sistema de Tuberías del Acueducto Metropolitano" (ref. No.1). En este informe hace una recolección muy interesante de la sismicidad del valle central basado en trabajos de geólogos y en la información que fue posible recolectar. Se menciona el estudio inicial que se hizo en asocio con Conacid, entidad mexicana, con buena experiencia en desastres naturales ya que sufrieron el terremoto de 1985. En este estudio se recomendó hacer un análisis más profundo sobre el riesgo sísmico de la conducción y especialmente de los daños que podrían ocurrir dentro del área metropolitana a las tuberías de acueducto y alcantarillado. Este segundo estudio fue realizado por la empresa israelí Tahal Consulting Engineers y hace parte de esta misma referencia. Sin entrar en un análisis detallado, Tahal reconoce la alta sismicidad de la zona y el peligro que esto representa para las laderas de apoyo y para el sifón que cruza el río Navarro o Aguas Calientes.

Para hacer un resumen de la sismicidad del valle central se puede decir que los terremotos que mayor daño causan son los de foco superficial, o sea los que la fuente de energía se encuentra a menos de 20 km de la superficie; una magnitud no muy grande entre 5 y 6 con un foco muy superficial puede causar destrozos muy grandes. Históricamente, hay dos sismos el primero ocurrido en 1910 que causó grandes daños, casi la destrucción de la ciudad de Cartago y el segundo más reciente en 1951 El Paraíso, que afectó fuertemente la población de Orosi. Esto significa que el período de ocurrencia de estos grandes terremotos es de 40 años y teniendo en cuenta que el último fue hace más de 40 años es preocupante esta circunstancia desde el punto de vista probabilístico. Otro terremoto que ocasionó grandes daños en la capital de San José fue el ocurrido en 1924 y el de Tres Ríos en 1912.

En relación con las aceleraciones se informa que estas pueden llegar al 50% de la aceleración de la gravedad y en todo caso son de magnitud, entre el 20% y el 35%. En la referencia No. 2, " Acueducto Metropolitano, Tramo Embalse El Llano - Río Navarro, Un sitio bajo amenaza" de los geólogos Luis Guillermo Salazar, Luis Obando y Rolando Mora, se hace nuevamente una recopilación de datos sísmicos, geológicos y tectónicos muy interesante, de esta recopilación se debe destacar lo siguiente: la ciudad de Cartago fue sacudida por un terremoto en 1689 aproximadamente y ya más seguramente el 2 de septiembre de 1841 y últimamente el 13 de abril de 1910 y el 4 de mayo del mismo año. Este último, según Montero y Miyamura, fue la mayor catástrofe sísmica en el historia de Costa Rica, pues se reportaron más de 300 muertos; el epicentro estaba localizado a unos 9 km de profundidad y aunque la magnitud no fue mayor de 6, los daños causados fueron muy grandes. Hay una relación directa entre este sismo con la falla Orosi - Agua Caliente, que es una falla de rumbo aproximado este-oeste. La misma referencia reporta el terremoto del 21 de agosto de 1951 del Paraíso y proponen como fuente sísmica la falla Agua Caliente - Orosi de nuevo, cuyo epicentro se localizó cerca del poblado de Orosi, que fue semidestruido.

La Ref. 2 también tiene datos muy interesantes sobre la tectónica reciente o neotectónica que muestran cuaternarios desplazados por fallas de actividad reciente. Dentro de estas fallas se encuentran tres sistemas importantes que son la falla de Río Navarro, la falla de

Orosi y la falla de Agua Caliente. Cada una de ellas presenta morfología típica de falla activa.

La información citada en los párrafos anteriores es amplia y suficiente para catalogar la zona de la conducción de Orosi como altamente sísmica y como uno de los mayores riesgos que hacen vulnerable esta conducción. Por lo tanto, se ha decidido contratar un estudio especializado para evaluar el riesgo sísmico y tectónico a que está sometida la tubería. Las amenazas bajo estas denominaciones que tiene la tubería son las siguientes:

- Amenaza tectónica que consiste en corrimientos de las fallas activas y fracturación neotectónica que pueda causar desplazamientos en los soportes de las tuberías y por lo tanto cizallamiento de la misma. Esto es especialmente crítico en el cruce del río Navarro, donde la cabeza a que está sometida la conducción es de 518 m como ya se ha expresado anteriormente.
- Los sismos en sí también involucran un grado de peligrosidad alto en la tubería, puesto que la onda generada en un terremoto puede no ser armónica entre los soportes de la tubería y el tubo en sí. Esto es especialmente en los sitios donde la tubería flexible conecta con estructuras rígidas que restringen su movimiento: anclajes, estación de válvulas de Coris, portales del túnel de La Carpintera, bloque de cruce de río Reventado.
- La aceleración horizontal en un evento sísmico, puede causar deslizamientos en taludes o laderas de estabilidad precaria como se encuentran algunos sitios de la conducción en sus primeros cuatro kilómetros
- El otro factor de vulnerabilidad para la conducción consistiría en la licuación de los suelos sueltos granulares saturados y con un nivel freático alto que pueden perder su resistencia por efecto de exceso de presión de poros bajo las fuerzas dinámicas de un evento sísmico. Esto es especialmente cierto en el valle fluviolacustre de Coris compuesto de suelos granulares y cenizas volcánicas, y en el cruce del río Reventado. También este punto merece un estudio especial tanto sísmico como geotécnico

Para ejecutar el estudio sísmico y tectónico se deberá contratar con una firma especializada en este campo más que con un individuo puesto que incluye diversas disciplinas. La recomendación sobre varios nombres y los términos de referencia los presentó el suscrito en su viaje a San José y se incluyen en el próximo capítulo bajo el rubro de Estudio Sísmico y de Corrimiento de Falla.

#### 4.6 Riesgo Geotécnico

La estabilidad natural de una ladera se disturba al construir una carretera, la banca de un ferrocarril o cualquier otro movimiento de tierra. La conducción de Orosi que básicamente está enterrada, en la banca de una carretera entre el km 0 y el km 4 ha disturbado la estabilidad de esta ladera de por sí precaria por sus fuertes pendientes y un régimen de lluvias muy alto. Sin ánimo de crítica para los diseñadores de la conducción, es sorprendente que la captación no se hubiera hecho en el distribuidor de la central de río Macho a nivel del río Orosi para buscar un trayecto más suave en la zona de la población de Orosi y subir a las laderas del valle de Coris con la presión suficiente de la caída de la central hidroeléctrica.

Desde la misma inauguración de la obra en 1987 se han presentado movimientos en el terreno e inestabilidades que han requerido toda la atención y el mantenimiento de AyA. En un comienzo fueron botaderos autorizados y no autorizados que presentaron movimientos de peligro para la conducción en el tramo arriba citado. El deslizamiento más peligroso se presentó en 1991 en el sitio de El Tapón varias veces mencionado en este informe. Es muy satisfactorio ver ahora que las obras recomendadas han cumplido su objetivo y que este sitio se encuentra en buenas condiciones de estabilidad.

Diversas publicaciones y la propia experiencia de AyA indican que la zona más inestable desde el punto de vista geotécnico es el primer tramo de la conducción especialmente entre el 1+00 y 4+00. En la Ref. 2 "Acueducto Metropolitano, Tramo Embalse Llano - Río Navarro: Un sitio bajo amenaza", los geólogos Salazar, Obando y Mora escriben un artículo técnico bastante alarmante identificando algunas zonas de este tramo como las más peligrosas no solo para la conducción sino para la población de Orosi por algún

rompimiento que podría causar aludes e inundaciones. El autor no comparte el grado de alarmismo de este artículo pero sí concuerda en que este es el tramo más peligroso de esta conducción.

Uno de los puntos en consideración es que también este tramo es el de más difícil acceso para cualquier reparación o rompimiento de la tubería. Esto hace una falla geotécnica en esta zona doblemente crítica y tal vez crítica por tres fases a saber: el rompimiento de la tubería en sí que requiere una reparación rápida, suministro y montaje de nuevos tubos, etc.; traslado de equipo y de tuberías nuevas al sitio que ha podido ser aislado de la red de acceso por el mismo deslizamiento; inundaciones y aludes sobre el valle abajo que pueden afectar a la población de Orosi.

Por todo lo anterior, es claro y se ha decidido contratar un estudio geotécnico especializado bien sea con ingenieros locales que pudiera ser Bel Ingeniería S.A. de amplia experiencia y que ha trabajado en esta zona o con Gómez, Cajiao y Asociados que a través del suscrito tiene la información y el conocimiento necesario para ejecutar los trabajos establecidos en el próximo capítulo Estudios Especiales. Se propone que estos estudios en vez de ser generales a través de toda la longitud de la conducción, se concentre en los sitios que ya se conoce ofrecen problemas y en algunos otros que se puedan identificar como deslizamientos potenciales por interpretación de fotografías aéreas.

Se hace a continuación una breve descripción de cada sitio crítico y se recomienda un programa de investigación de campo y controles de movimiento y nivel freático, que se debe implementar con anterioridad al estudio geotécnico.

1. Estación 1+360 a 1+450. Deslizamiento detenido con pilotes anclados.
  - Estudiar drenaje 20 m bajo la banca
  - Revisar lecturas del indicador de talud
  - Enviarme líneas de geofísica (perfiles interpretados)
  - Estudiar drenaje superficial

2. Q. Granados, 1+900 a 2+200. La quebrada está entubada y con obras de estabilización en ambas márgenes con gaviones.
  - Dos líneas de geofísica en derrumbe margen izquierda sobre la banca.
3. Estación 2+220. Vado con entrega muy corta.
  - Inspección para entregar determinar sitios donde no produzca erosión.
4. Estación 2+460. Pequeño derrumbe por erosión sobre la banca.
  - Construir zanja superior de coronamiento.
5. Vuelta del Queque. Estación 2+800 a 2+900. Deslizamiento de suelo sobre roca semejante al Tapón. Peligroso.
  - Complementar topografía y enviarme líneas de geofísica (perfiles interpretados)
  - Establecer controles topográficos superficiales en todo el área con transversales cada 25 metros.
  - Instalar 3 indicadores: uno en la banca y uno en cada cañada.
  - Fila de drenajes unos 25 m por debajo de la banca.
  - Construir más zanjas de drenaje superficial en terrazas de 15 m verticales.
6. Estación 3+200. Deslizamiento sobre la banca retenido con muro de gaviones.
  - Instalar drenajes.
7. Estación 3+400. Deslizamiento de arenisca sobre la banca.
  - Instalar dos drenes horizontales.
  - Inspección permanente. Puede requerir anclajes y protección con malla y mortero

8. El Tapón, Estación 3+800. Deslizamiento mayor estabilizado con obras que funcionan bien.
- Revisar lectura del único piezómetro.
  - Instalar tres indicadores de 30 m: uno en la banca y sobre estos ejes, dos en la pata del muro de concreto de gravedad.
  - Tomar caudales de los drenes que funcionan y relacionados con lluvias.
  - Lectura de piezómetros relacionados con parámetros externos como lluvias y sismos.
  - Estudiar tensores desde muro inclinado a estrato C.
9. Estación 17+700. Cruce Río Reventado. Riesgo alto de ruptura de la tubería por cizallamiento en las conexiones del bloque de concreto durante sismo.
- Dos perforaciones a 15 m con buen muestreo y ensayo de penetración standard.
10. Acceso Túnel, Estación 23+200 a 23+500. Reptación.
- Inspección detallada localizando fuentes de agua.
  - Tres sondeos dejando piezómetros de L=15 m.
  - Levantamiento topográfico
  - Diseño de drenaje superficial y subdrenes en zanjas rellenas de gravas con geotextil.
  - Arborizar.
11. Salida Túnel Estación 24+700. Antiguo deslizamiento.
- Instalar indicador de 20 m unos 10 m abajo de la banca.
  - Puede requerir drenes, medir nivel en el indicador
  - Arborizar.

#### 4.7 Riesgo Hidrológico

En el mes de julio de 1992 ocurrió una creciente del río Navarro que fue debidamente registrada en el limnógrafo instalado en Puente Negro. En esta creciente el agua alcanzó niveles muy altos, profundizó el cauce del río en el sitio del sifón y produjo preocupación en los ingenieros de AyA y en Bel Ingeniería quien reportó y ofreció hacer un estudio de socavación para las pilas que soportan el sifón. La creciente mencionada alcanzó un caudal de 250 m<sup>3</sup>/s que es el correspondiente a una frecuencia de 7 años o sea es una creciente bastante frecuente.

El río Reventado en las cercanías de Cartago fue taponado por cenizas procedentes del volcán Irazú y causó graves inundaciones en algunos de los barrios perimetrales de Cartago, posteriormente hubo una avenida grande cuando se destapó el taponamiento y también preocupa a los ingenieros de AyA una avenida de estas características que puedan causar daños en el cruce de la tubería en la estación 17 km aproximadamente.

El embalse de El Llano está directamente sobre el primer kilómetro de la conducción y preocupa la capacidad del vertedero de este embalse que descarga directamente a la quebrada Jucol que a su vez baja al río Grande de Orosi que bordea la población del mismo nombre.

Las tres situaciones anteriores, combinadas con el análisis de ciclones que se hizo en los capítulos anteriores, indican la conveniencia de efectuar una revisión de la hidrología de la zona en estos sitios específicos. Por lo tanto, se recomienda contratar dentro del rubro genérico Estudios Estructurales un análisis de la hidrología con énfasis en estos tres puntos mencionados

#### 4.8 Riesgo Estructural

El principal riesgo estructural de una tubería de acero es el de corrosión. Cuando el suscrito visitó el proyecto fue informado por los funcionarios de AyA que ya existía un estudio de corrosión bastante amplio y unas recomendaciones del consultor Halcrow Consultants de Londres para la contratación de la protección catódica de la tubería. Por lo

tanto, se supone que AyA contratará esta protección y no se justifica profundizar y hacer otro estudio de corrosión de la tubería, simplemente una revisión del estudio existente y algunas recomendaciones complementarias si es del caso.

Aunque el comportamiento actual de la conducción es plenamente satisfactorio en sus aspectos hidráulicos se cree conveniente hacer una revisión de las válvulas de expulsión de aire, estudiar la posibilidad de vibraciones en la tubería, estudiar el comportamiento hidráulico bajo carga estática y dinámica. Además se debe estudiar la posibilidad de calibrar la válvula de seguridad al arranque de la tubería para disminuir el tiempo de cierre; esto con base en un cálculo de los caudales instantáneos en diversos sitios críticos de la tubería en caso de ruptura.

La parte más importante del estudio estructural es sin duda el análisis del cruce del río Navarro en el sitio del sifón. Se deberá hacer diseños de ingeniería para unas silleas que se puedan adosar a las existentes o construir nuevas que permitan el desplazamiento o el corrimiento de las fallas sin ruptura por cizallamiento de la tubería, este es un trabajo básicamente de ingeniería y que implica un estudio estructural.

Se recomienda para efectuar este estudio al ingeniero Enrique Silva quien estuvo haciendo la asesoría junto con el suscrito para el deslizamiento del sitio del tapón y conoce suficientemente el proyecto. Los términos de referencia para este estudio se presenta en el capítulo siguiente Estudios Especiales.

#### 4.9 Análisis de Daños

##### 4.9.1 Daño Leve

No hay daño leve ante una falla o ruptura de la conducción de Orosi. En el mejor de los casos es necesario cambiar un tubo, arreglar una unión, etc. Durante esta operación los tanques de reserva tendrán que suplir la falta de más de 100.000 m<sup>3</sup>/día para evitar racionamientos; si el daño requiere de 5 días o más para su reparación, el problema ya no es leve. Como se recomienda en el estudio de Tahal para estas emergencias es necesario estar preparado en suministros y equipos.

#### 4.9.2 Daño Grave

Una ruptura de la tubería en los primeros 7 km de la conducción es un daño grave por distintas razones con un común denominador: dificultad de acceso.

- En el primer tramo de 4 km, la más probable causa de falla sería geotécnica, por deslizamientos que destruiría al mismo tiempo la banca de la carretera de acceso dificultando la reparación.
- En el tramo del sifón, en sus dos ramas, descendente y ascendente, también el acceso es difícil y ya bajo alta presión la ruptura causaría cárcavas de erosión y disturbancia de los suelos.
- En el cruce del río Navarro donde la tubería tiene 518 m de presión la reparación de una ruptura es muy difícil y debe ser cuidadosamente analizada en el estudio especial de daños estructurales. Se estima que un arreglo de la tubería puede tomar hasta un mes, suponiendo que los tubos de acero, uniones, equipos de soldadura y grúas estén disponibles.

#### 4.9.3 Daño Catastrófico

Se entiende como evento catastrófico aquel que cause pérdida de vidas humanas. Sería temerario aseverar que una falla en la conducción de Orosi no será catastrófica. Sin embargo, en la opinión del autor no hay un riesgo evidente que pueda causar daños catastróficos como sería la ruptura de la presa del embalse El Llano. La falla que causaría un daño grave a la población de Orosi sería una ruptura de la tubería en el sector de Los Vados y la vuelta del Queque. Se calculará en el estudio hidráulico los caudales totales e instantáneos que puedan producirse en caso de ruptura, pero el suscrito anticipa que serán de una magnitud manejable en los cauces y quebradas naturales.

En igual forma una ruptura en el sitio de cruce del río Navarro produciría caudales que se estiman menores que el de la creciente de julio de 1992 de 250 m<sup>3</sup>/s. Por lo tanto, esta falla no sería catastrófica.

## V. ESTUDIOS ESPECIALES

A continuación se adjuntan los términos de referencia de los estudios especiales que se recomienda ejecutar con base en el análisis de vulnerabilidad de la conducción de Orosi descrito en el capítulo anterior.

- 5.1 Estudio Sísmico y de Corrimiento de Fallas. Estos términos fueron entregados oportunamente en San José al ingeniero Saúl Trejos en enero de 1994 junto con una lista de invitados recomendados. Se adjuntan de nuevo a este informe.
- 5.2 El estudio geotécnico puede efectuarlo la firma de la cual es socio el suscrito Gómez, Cajiao y Asociados\* pues ya tiene un conocimiento adecuado del proyecto y sus problemas si AyA y la OPS lo consideran conveniente. Se encargaría del estudio al ingeniero asociados de la firma Jorge Durán. Como alternativa se propone a la firma local Bel Ingeniería muy conocedora del proyecto.
- 5.3 El estudio hidráulico, hidrológico y estructural podría ser ejecutado si AyA y la OPS lo considera conveniente, por el ingeniero Enrique Silva quien participó también en el estudio del deslizamiento de El Tapón. Otra forma sería que el grupo de diseño de AyA, que merece toda mi consideración, desarrollara el alcance de los trabajos establecidos en los términos de referencia, con todo el soporte y asistencia del suscrito y del ingeniero Silva. Se adjuntan los términos.

13 de enero de 1994

Señor  
Ing. Saúl Trejos Bastos  
Gerencia de Ingeniería  
Presente

Ref.: Acueducto de Orosi  
Estudio Sísmico de fallas

Estimado Ing. Trejos:

En cumplimiento al contrato de consultoría suscrito con la OPS, me permito presentar a su consideración los términos de referencia para la ejecución de un estudio sísmico orientado hacia determinar las características de las fallas activas que cruzan la tubería de Orosi entre el embalse El Llano y la Planta de Tres Ríos.

Me permito sugerir las siguientes firmas y personas que creo están capacitadas para desarrollar el estudio de riesgo sísmico.

1. Ing. Guillermo Santana Fax: (510) 231-9471  
Earthquake Engineering Center Room 18 Tél: (510) 231-5628  
Richmond Field Station Bldg 451  
1301, 46 St, Richmond, Ca 94804

2. Greomatrix Consultants Fax: (415) 436-1365  
Tel: (415) 434-9400

Att. Mr. Mahmut Otus T. Bullard  
100 Pine Street 10 th Floor  
San Francisco, Ca 94111



Ing. Saúl Trejos

Pág..2..

3. Kennedy Jenks Consultants

Fax: (206) 952-3435

Tél: (206) 874-0555

Att. Mr. Donald B. Ballantyne

530 South 336 St.

Federal Way, Washington 98003

Quedo a su disposición para aclarar o ampliar cualquier punto que usted considere necesario.

Atentamente,

Ricardo Cajiao

CC: Ing. Homero Silva- OPS, San José

**AGUEDUETO DE OROSI**  
**Estudio de Riesgo Sísmico y Cruce de Fallas**  
**Términos de Referencia**

**INDICE**

- I      INTRODUCCION
  
- II     DESCRIPCION DEL PROYECTO
  
- III    OBJETO DEL ESTUDIO
  
- IV    INFORMACION DISPONIBLE
  
- V     ALCANCE DE TRABAJOS
  
- VI    PLAZO
  
- VII   FORMA DE PAGO

ACUEDUCTO DE OROSI  
Conducción El Llano- Tres Ríos  
Estudio de Riesgo Sísmico y Cruce de Fallas  
Términos de Referencia

I INTRODUCCION

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, AyA, está llevando a cabo una evaluación de la vulnerabilidad del Acueducto de Orosi que suministra cerca del 50% del agua potable a la Ciudad de San José. Esta evaluación es coordinada por el consultor privado Ing. Ricardo Cajiao, y es financiado por la Organización Panamericana de la Salud, OPS (PAHO).

Dentro del estudio de vulnerabilidad se estudiará el riesgo sísmico en esta región de alta actividad y el cruce de fallas que puedan presentar desplazamientos y afectar la conducción. Se presentan a continuación los términos de referencia que establece el objetivo del estudio y el alcance de los trabajos sin excluir cualquier otro trabajo que el Consultor con su experiencia quiera proponer.

II DESCRIPCION DEL PROYECTO

El Acueducto de Orosi aprovecha las aguas de la cuenca alta del río Agua Caliente principalmente en la hoya del río Orosi y sus afluentes el río Macho y otros. Estas aguas se regulan en el embalse de El Llano, situado unos 40 Km al sur-este de San José, construido para propósitos hidroeléctricos y de suministro de agua potable.

## Características

El acueducto de Orosi, concebido por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) para el suministro de agua potable al área metropolitana, aprovecha el embalse El Llano, la estructura de toma y un tramo del túnel blindado pertenecientes al proyecto hidroeléctrico Río Macho. Desde el túnel blindado se deriva una conducción de 29.3 km de longitud, de los cuales 28.4 km corresponden a tubería de presión y 0.9 km a un túnel de flujo libre. La tubería está conformada por tres trayectos de características diferentes. El inicial tiene una longitud de 5.2 km en tubería dúctil de 42" de diámetro y 18.6 km de longitud que empata con el túnel a flujo libre (llamado de La Carpintera). Entre el extremo inferior de este túnel y la planta de tratamiento Tres Ríos se encuentra el tramo final de la línea que está constituido por una tubería de acero de 36" de diámetro y 4.6 km de longitud.

Como elemento muy importante de toda la conducción, conviene mencionar el sifón de cruce del río Navarro, afluente del Agua Caliente que tiene una presión de trabajo de 518 m columna de agua.

La línea cuenta con un equipamiento convencional de válvulas (de aire, limpieza y control) dentro de las cuales se destaca la válvula de mariposa instalada al comienzo de la tubería y una de cuyas funciones es autocerrarse cuando detecta una velocidad de flujo por encima de la normal de diseño (sobrevelocidad).

## III OBJETO DEL ESTUDIO

El estudio tiene como objetivo general evaluar la



vulnerabilidad del acueducto de Orosi en el tramo de los 28 km de conducción entre el embalse El Llano y la planta de Tratamiento de Tres Ríos bajo fenómenos sísmicos de temblores, terremotos y rompimientos superficiales por desplazamientos de fallas.

Los objetivos particulares son proveer al Instituto AyA con datos concisos dentro de la mejor precisión posible para diseñar y construir obras que minimicen el riesgo de falla de la conducción por fenómenos sísmicos. No es el propósito de este estudio generar otros estudios subsiguientes, sino que se requieren respuestas oportunas de acuerdo con el mejor estado del arte. Para lograr estos objetivos se debe:

- 3.1 Estudiar y analizar la historia sísmica del Valle Central para determinar aceleraciones probables, períodos de recurrencia, zona de epicentros, etc.
- 3.2 Analizar y evaluar el comportamiento de la conducción bajo sismos severos en sus distintos tramos como son tubería al aire, enterrada, en túnel y el sifón de alta presión y estudiar la susceptibilidad a liquefacción del Valle fluvio lacustre del área de Cartago. Proponer métodos de análisis para evaluar el comportamiento de los taludes naturales bajo sismo severo cuya estabilidad puede poner en peligro la conducción.
- 3.3 Reconocer y caracterizar las fallas que afectan la conducción, en cuanto a su tipo, geometría, expresión superficial, actividad reciente y rata de corrimiento.
- 3.4 Desarrollar un mapa geológico con secciones donde las fallas mayores son cruzados por la conducción.

## II. OBJETO DEL ESTUDIO

El objeto del estudio será la evaluación de los riesgos denominados por simplicidad como estructurales, y que son aquellos que directa o indirectamente pueden conducir a que la tubería se rompa. Se relacionan a continuación con su respectivo alcance del trabajo.

## III. ALCANCE DE LOS TRABAJOS

### 3.1 Estudios Hidráulicos

El alcance de los trabajos de los temas hidráulicos consistirá en la revisión de las presiones de diseño estáticas y dinámicas y de los métodos utilizados para su cálculo que estén en los archivos de AyA. Los cálculos se complementarán si fuere necesario.

Dentro de este estudio se examinarán la localización y tipo de las válvulas de admisión y expulsión de aire, la posibilidad de almacenamiento de aire explosivo y algunos otros fenómenos de tipo hidrodinámico, tales como posibilidad de vibraciones de los tramos de tubería cercanos a válvulas. Se investigarán los riesgos que pueden derivarse de la operación de las válvulas en la conducción o de salidas de limpia. Se podrán estimar caudales instantáneos de descarga en algunos sitios claves de la tubería en caso de que llegase a fallar. Con base en estos caudales se recomendará el tiempo de cierre más conveniente de la válvula de seguridad.

### 3.2 Comportamiento Estructural

Los aspectos estructurales de la conducción se revisarán bajo el punto de vista de la resistencia a las presiones hidráulicas bajo condiciones de presiones estáticas y dinámicas. El alcance del trabajo comprenderá el examen de las condiciones de instalación (en zanja, en proyección positiva), del tipo y estado de las juntas o uniones, empujes en codos y accesorios, resistencia a cargas externas (vehículos, por ejemplo)

### 3.3 Estudios Hidrológicos

El estudio relacionado con el tema hidrológico estará circunscrito al riesgo que tiene el sifón de cruce del río Navarro para determinar si el gálibo es apropiado para una creciente (que tenga una muy baja probabilidad de ocurrencia, o la máxima probable si así se requiere. También bajo el aspecto de hidrología se estudiará la magnitud de la erosión hidráulica en el lecho del río alrededor de las pilas intermedias del sifón y del peligro que presentaría para la estabilidad de estas pilas. Para ello se revisará el informe presentado por el ingeniero Jorge Arturo Araya Araya y se complementará con los datos históricos de la estación de Puete Negro. Los estudios hidrológicos también comprenderán una investigación sobre el régimen de descarga del vertedero del embalse El Llano. También se estudiará el riesgo de socavación del cruce sobre el río Reventado.

### 3.4 Estudios Estructurales para el Sifón de Cruce del Río Navarro

El sifón es el componente de la tubería con mayor riesgo estructural, no sólo por su misma instalación cruzando una falla geológica sino por la gran presión interna que soporta. El alcance del trabajo para el sifón consistirá en analizar su condición actual como estructura, esfuerzos de trabajo, comportamiento de la junta de expansión; de soportes móviles. Se analizará la resistencia estructural a deformaciones causadas por corrimiento de la falla geológica y se propondrán soluciones que reduzcan este riesgo.

### 3.5 Corrosión

AyA posee estudios y recomendaciones para proteger la tubería contra corrosión. El alcance del trabajo en este tema será revisar la documentación existente y hacer recomendaciones adicionales si fuere del caso.

### 3.6 Inspección y Reuniones

La tubería será inspeccionada para conseguir la información que sea pertinente al alcance del trabajo y se sostendrán las reuniones con los ingenieros de AyA que sean necesarias

para completar la información existente y para absolver las preguntas que ellos o el consultor puedan tener con relación a los temas anteriormente descritos.

### 3.7 Informe

El informe final incluirá una descripción del trabajo realizado junto con esquemas básicos necesarios que ilustren las soluciones o recomendaciones que sean planteadas, especialmente el soporte de la tubería en el sifón sobre el río Navarro.

## IV. PLAZO

Es la intención de la OPS y del instituto AyA contratar este estudio en la última semana de febrero para comenzar los estudios el 1º de marzo 1994. El plazo previsto para el desarrollo del estudio será de 3 meses calculado con la siguiente forma:

- Revisión información existente	Marzo 1 - 20
- Visita al sitio del proyecto	Marzo 20 - 27
- Análisis de información adicional	Abril 1 - 30
- Diseño conceptual e informe	Mayo 1 - 31

## V. FORMA DE PAGO

La contratación se hará por medio de la Oficina de PAHO en Washington (alternativamente la OPS en San José). El consultor deberá proponer una suma global fija por sus servicios: honorarios, costos y gastos, incluyendo pasajes, viáticos, materiales, estadía y cualquier otro costo inherente al trabajo.

La forma de pago prevista será la siguiente: un tercio del valor como anticipo, un tercio al efectuar la visita de campo y el último tercio al entregar el informe final.

## VI. CONCLUSIONES PRELIMINARES

Con base en el reconocimiento de campo y en la revisión de la información existente y en las reuniones sostenidas con los diversos funcionarios de AyA , se pueden sacar las siguientes conclusiones preliminares sobre la vulnerabilidad de la conducción de Orosi.

- 6.1 Evidentemente la conducción del sistema de Orosi es vulnerable y esta circunstancia es muy grave para el correcto abastecimiento de la ciudad de San José y poblaciones vecinas.
- 6.2 La conducción está sometida a dos riesgos de importancia y que la hacen altamente vulnerable:
- Riesgo sísmico y de corrimientos de fallas en el sitio de cruce del sifón sobre el río Navarro.
  - Riesgo geotécnico de deslizamientos en los primeros 4 km de la conducción.
- 6.3 En menor grado la conducción El Llano - Tres Ríos es vulnerable por los siguientes riesgos:
- Riesgo geotécnico por licuación de los suelos en la planada alta del valle de Coris, especialmente en el cruce del río reventado. También la reptación de los suelos en las cercanías del portal de entrada del túnel de La Carpintera ofrece ciertos riesgos:
  - Riesgo hidrológico por socavación de las pilas del sifón en el río Navarro; también podría ocurrir una avenida del río Reventado. Por otra parte, es conveniente revisar el funcionamiento previsto en el diseño del vertedero de excesos del embalse de El Llano.
- 6.4 El grado de vulnerabilidad se puede reducir por medio de medidas de prevención, obras de estabilización, modificaciones estructurales que serán recomendadas en la Fase III de este estudio. Sin embargo, una medida que el autor recomienda se tome prontamente es soltar la tubería de sus soportes en el sifón que cruza el río Navarro para permitir el posible

movimiento de las pilas sin arrastrar el tubo de acero; es conveniente consultar previamente al fabricante sobre esta medida.

6.5 Aunque el sitio de El Tapón ha sido estabilizado y muestra un comportamiento satisfactorio, continua siendo uno de los sitios de mayor peligro geotécnico. Para aumentar las medidas de seguridad se recomienda:

- Anclar el muro de gravedad con tensores largos que alcancen el estrato C (20 m aprox.) colocados en dos filas a 5 m de distancia y espaciados 5 m intercalados con los superiores en forma de malla triangular; el tensionamiento será de 50 ton de capacidad de diseño y 20 ton de trabajo.
- Perforar e instalar dos nuevas filas de drenes de 20 m horizontales bajo la última fila existente aproximadamente cada 20 m verticales.
- Instalar tres indicadores de talud adicionales: uno sobre la banca a 60 metros del existente y los otros dos en la pata del muro de gravedad formando dos ejes con los anteriores. Registrar el nivel freático cada vez que se tomen lecturas (cada dos semanas).

6.6 Aunque la seguridad del embalse de El Llano es responsabilidad de el Instituto Costarricense de Electricidad, es conveniente revisar los estudios de estabilidad del dique bajo condición sísmica y del vertedero en tormenta extraordinaria. Ambos son factores de riesgo para el sistema Orosi.