CONTENIDO

1. ANTECEDENTES

2. PUNTOS VULNERABLES DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO

3. RECOMENDACIONES DE SOLUCION EN SITIOS DE PROBABLE VULNERABILIDAD SISMICA

4. ORGANIZACION PARA COMBATIR DAÑOS EN EL SISTEMA HIDRAULICO PROVOCADOS POR UN SISMO

5. TRABAJOS A DESARROLLAR

6. CONCLUSIONES

SINOPSIS.

Este informe representa un primer intento de reflexión y análisis sobre la situación actual del sistema hidráulico del Acueducto Metropolitano enfatizando aspectos de vulnerabilidad, principalmente desde el punto de vista sísmico.

Forma parte de una primera etapa que permite la formulación de una serie de interrogantes tendientes a lograr una mayor concientización y fija las pautas a seguir en la continuación del proyecto.

1. ANTECEDENTES.

En situaciones de desastre como las causadas por un sismo, la supervivencia de los centros de población afectados, depende en gran medida de la correspondiente supervivencia de sus llamadas líneas de vida. Conductos de gas y petróleo, líneas de agua potable y drenaje, instalaciones para el almacenamiento de gas y petróleo, túneles, líneas de electricidad y redes de comunicación son algunos de los ejemplos reconocidos de líneas de vida.

Un gran porcentaje de las líneas de vida se encuentran localizadas subterráneamente. La interrupción del servicio de alguna de esas líneas subterráneas, puede causar enormes y aún más, catastróficos desajustes de dicho servicio. Si tal interrupción en el servicio es provocada por un sismo, el efecto de la pérdida de ese vital servicio podría amplificarse enormemente, por la imposibilidad de combatir incendios, impidiendo la distribución de energía, provocando la falta de comunicaciones y transporte, así como la proliferación de enfermedades.

Debido a su gran potencial de destrucción, causar daños y provocar desajustes, los problemas sísmicos de las líneas de vida han atraído recientemente la atención de los investigadores.

Se puede deducir que el comportamiento de los sistemas de conductos enterrados es bastante diferente de aquellas estructuras construidas sobre la superficie. Por ejemplo los

puentes y presas, para los cuales la fuerza horizontal de inercia es el factor más importante, son diseñados principalmente por el método del coeficiente sísmico. Sin embargo en el diseño sismo-resistente de conductos subterráneos, este método produce esfuerzos muy pequeños en los tubos, debido a que las fuerzas sísmicas son resistidas principalmente por el suelo que envuelve a la tubería. Por lo que este método no es adecuado para el diseño antisísmico de ductos subterráneos.

Los daños sísmicos causados a los sistemas de conductos enterrados, son causados principalmente por los movimientos del suelo y de fallas geológicas, por el desplazamiento de las ondas sísmicas, licuefacción de arenas o por la diferencia de rigidez de dos estratos adyacentes de suelo.

2. PUNTOS VULNERABLES DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE LA CIUDAD DE SAN JOSE DE COSTA RICA.

En base a la experiencia adquirida en anteriores sismos, se puede considerar que existe riesgo de falla en los siguientes sitios:

a) Zonas donde los estratos superficiales son de un gran espesor y con suelos de mala calidad.

b) Sitios donde existen cambios bruscos en la topografía o la geología del suelo.

c) Areas ganadas al mar y en terraplenes.

d) Sitios de posible licuefacción.

e) Zonas donde pueden ocurrir deslizamientos o asentamientos.

f) Areas donde una falla geológica pudiera deslizarse separarse.

g) Puntos de conexión con otras estructuras, como pueden ser conexiones a la salida y entrada de una planta potabilizadora, cajas de válvulas, conexiones con un tanque, etc.

h) En las interconexiones con ciertas piezas especiales, como pueden ser tes y codos.

i) En sifones invertidos.

j) En sitios sujetos a presiones dinámicas del agua.

De las tres pincipales fuentes de abastecimiento de agua potable con que cuenta la Ciudad de San José de Costa Rica, que a saber son: El Sistema Orosi, Puente de Mulas y el conjunto de pozos de La Valencia, se puede decir que la más importante de ellas es el Sistema Orosi; sin embargo, es la fuente de abastecimiento que tiene la mayor vulnerabilidad sísmica. A continuación se enumeran los sitios de mayor riesgo sísmico de cada uno de los tres sistemas de abastecimiento de agua potable antes señalados.

2.1 Sistema Orosi.

Este sistema tiene como puntos vulnerables los siguientes:

a) Zonas de deslave acentuados en los cortes y terraplenes del camino de operación en la Sección 1 de esta conducción.

b) Cruce con las fallas geológicas de Navarro, Agua Caliente y Orosi

c) El sifón invertido del Rio Agua Caliente, el cual tiene una carga estática de 520 m de columna de agua

d) Cruce con el Rio Reventado, por peligro de socavación de la

tubería enterrada bajo el lecho del río.

Adicionalmente a lo anterior, es importante mencionar, que en una porción de un talud del embalse de donde se toma el agua para el Proyecto Orosi, se tienen problemas de erosión, por lo cual el ICE, ha protegido el área con un recubrimiento geotextil, sin embargo, sería muy recomendable que se diera a este problema una solución definitiva, colocando concreto lanzado o alguna otra solución que resuelva este problema en forma radical, ya que una falla en alguna de las paredes del embalse afectaría tanto a la generación de energía eléctrica, como a la fuente de abastecimiento de agua potable para el Proyecto Orosi. Por lo tanto la solución definitiva de este punto vulnerable es de particular relevancia.

2.2 Puente de Mulas.

Este sistema, por lo que se pudo observar tiene pocos puntos de franca vulnerabilidad sísmica. Sólo habría que ponerles atención a las conexiones en sus dos estaciones de bombeo, así como también en algunas zonas donde la tubería no va enterrada, sino aérea.

2.3 Sistema de Pozos de La Valencia.

En este sistema al igual que en el anterior, se ven pocos sitios de vulnerabilidad sísmica. Se puede afirmar que sus puntos más delicados son cada una de las descargas de los pozos que conforman el sistema, así como las conexiones con la planta de bombeo de La Uruca.

Es importante señalar que los sitios que aquí se mencionar

Original en mal estado

como vulnerables se establecen a priori, sin considerar los resultados que pueda arrojar un análisis antisísmico de cada uno de los conductos más importantes del Acueducto Metropolitano.

3. RECOMENDACIONES DE SOLUCION EN SITIOS DE PROBABLE VULNERABILIDAD SISMICA.

3.1 Proyecto Orosi.

En el Proyecto Orosi, que es la fuente de abastecimiento de agua potable más importante para la Ciudad de San José de Costa Rica, es necesario se preste especial atención en algunos sitios de fuertes deslaves del terreno natural, provocados por las altas precipitaciones pluviales que se registran en el área que comprende la Sección 1 de este proyecto.

A lo largo de este proyecto existen 3 o 4 zonas que presentan fuerte erosión causada por el escurrimiento del agua de lluvia, en esos puntos es imprescindible se lleven a cabo las obras de drenaje que implica un proyecto carretero. Ya que aunque el objetivo fundamental es proteger a la linea de conducción, el enfoque que debe considerarse para resolver los problemas de drenaje es desde el punto de vista de un camino.

Las obras que deben llevarse a cabo con el objeto de evitar estos problemas son

a) Construcción de contracunetas en las partes altas de las laderas que quedan por encima del camino de operación, con el objeto de interceptar las aguas de lluvia y conducirlas hacia algún punto de descarga donde no causen problemas, de esta forma se evitaría que estos taludes del camino sean

erosionados por la acción del escurrimiento del agua de lluvia, así mismo, se reduciría enormemente la infiltración de agua en esas laderas, evitando con ello la presión hidrostática sobre éstas, logrando disminuir en gran medida las posibilidades de falla por la acción del agua de lluvia, así como también se reduce la posibilidad de una falla de talud provocada por la acción de un sismo. Las contracunetas deberán construirse de concreto reforzado, de sección trapezoidal y con el área hidráulica que se determine a través de un estudio hidrológico de la zona.

b) Instalación de filtros de arena para el desalojo del agua de infiltración, para eliminar la acción de la presión hidrostática sobre la tubería. Este filtro deberá construirse a todo lo largo de los tramos que sea necesario estabilizar y deberá rematarse en su parte más inferior con un dren longitudinal, el cual se construirá a base de un tubo perforado cuyo diámetro habrá que determinar, embebido en arena fina, a su vez, el tubo perforado deberá estar conectado a otros tubos de descarga a una distancia que permita el desalojo eficiente del agua capturada por el filtro. Como referencia, véase el plano "Protección de talud en la línea de interconexión Las Torres, Red Primaria de 60" de diámetro, Delegación Alvaro Obregón, México, D. F., México".

c) Construcción de cunetas en ambos lados del camino. Esto con el objeto de evitar que el agua de lluvia escurra por la superficie del propio camino; de este modo las cunetas, al igual que las contracunetas interceptan el agua de lluvia que

cae sobre el camino y la conducen hacia un punto de descarga seguro, que para estos casos suele ser un lavadero. Con esto se evita que el agua escurra por las laderas que quedan por abajo del camino, eliminándose así la posibilidad de erosión de estos taludes.

f) Construcción de un recubrimiento contra la erosión en las laderas superior e inferior al camino. En las laderas superiores, quizá lo más recomendable fuese utilizar concreto lanzado para estabilizar los taludes tan pronunciados que existen; sólo se deberá tener cuidado de que los anclajes que sostengan la malla de refuerzo queden asegurados en terreno firme. En las laderas inferiores, posiblemente la solución más adecuada, sea construir una losa de concreto de 5 cm de espesor, reforzada con malla electrosoldada; esta losa deberá anclarse con uno o más dentellones de concreto armado y sus longitudes, tanto en el sentido longitudinal a la tubería, como en el sentido pendiente abajo, se determinarán en campo para cada caso en particular. Es importante señalar que tanto en los taludes superiores e inferiores al camino de operación, es necesario dejar instalados drenes que permitan desalojar el agua de infiltración y evitar el empuje hidrostático sobre los muros de protección.

e) También sería muy recomendable que en los tramos en que se presentan problemas de deslaves, el camino se asfaltara, ya que en esta forma, se le daría pendiente al camino del centro hacia ambos lados, lográndose que el agua escurra rápidamente hacia ambas cunetas. Del mismo modo, la pavimentación del

camino por si misma proporciona una mayor protección contra la erosión del camino.

Los cinco puntos anteriores, aparentemente no tienen una liga con el riesgo sísmico del Proyecto Orosi; sin embargo, estas medidas precautorias, están completamente correlacionadas con la prevención de un problema sísmico, ya que son bastante comunes las fallas de tuberías por deslizamiento de taludes inestables durante el suceso de un movimiento telúrico. Así, con la implementación de las soluciones anteriormente planteadas se logran alcanzar dos objetivos importantes, primero, se brinda protección contra la acción del agua de lluvia, el cual es un evento periódico, y segundo, prevención contra una falla de talud causada por la acción de un sismo, el cual a su vez, es un suceso esporádico, pero de gran poder destructivo.

Así mismo es importante señalar que las recomendaciones que se proponen en los cinco puntos anteriores son muy generales y que la solución deberá hacerse conforme a un estudio detallado para cada punto en particular.

3.2 Sistema Potrerillos.

Este sistema de abastecimiento de agua potable, se construyó como una obra de emergencia para aportar un caudal adicional de agua a la Ciudad de San José durante la época de verano, sin embargo, debido al inicio de operaciones del Sistema Orosi, esta obra dejó de funcionar.

La captación se ubica aguas abajo de la captación del Sistema de Puente de Mulas, sobre la margen derecha del Río Virilla. Esta

captación consiste en una galería filtrante a lo largo del pie de la ladera de una montaña, la galería sirve a su vez de conducción para llevar el agua hasta el cárcamo de bombeo, el cual está totalmente equipado pero sin operar y totalmente abandonado.

Sería muy recomendable operar esta estación de bombeo durante un lapso de un mes o 15 días cada seis meses, con el objeto de tener esta estación de bombeo en condiciones de operar, para subsanar cualquier emergencia que se pudiera presentar en el Acueducto Metropolitano.

De este modo, esta estación de bombeo pudiera proporcionar un caudal significativo de agua a la Ciudad de San José, si algún sismo llegase a dañar alguna de las tres principales fuentes de abastecimiento de agua potable de esta ciudad.

3.3 Bombeo Guadalupe.

Aledaña a la planta potabilizadora de Guadalupe, se encuentra ubicada una estación de bombeo que actualmente está fuera de servicio y sin equipos de bombeo, debido a que la zona que abastecía, actualmente es alimentada por gravedad, a través del Sistema Orosi, por lo cual, se desmontaron los equipos para utilizarlos en otros sitios donde se requiere bombeo.

Sin embargo, se recomienda que también esta estación de bombeo se utilizara 15 días o un mes cada seis meses, con el objeto de que pudiese entrar en servicio cuando se presentara alguna situación de emergencia en el sistema, sobre todo si se tiene en cuenta, que si el Sistema Orosi quedara fuera de servicio, la zona que abastecía el bombeo de Guadalupe, no es posible alimentarla de otra fuente.

Es importante tener listo el Bombeo de Guadalupe, ya que éste puede cubrir parte del área abastecida por el Sistema Orosi, el cual, como se ha mencionado en repetidas ocasiones, es la fuente es importante para la Ciudad de San José, pero así mismo la más vulnerabilidad, por lo cual es imprescindible tener fuentes alternas a este sistema, para cubrir cualquier eventualidad.

Otro aspecto importante a llevar a cabo en este mismo sitio, sería la construcción de un "by pass" que permitiera en un fomento dado conducir el agua de la planta potabilizadora y del caudal proveniente de Orosi, a la red de distribución, sin tener que pasar por el tanque de almacenamiento, evitando con esto, suspensiones en el servicio, cuando se tenga que hacer algún trabajo de mantenimiento en el Tanque de Guadalupe; así mismo, se previenen los problemas que pudiere causar cualquier falla estructural que pudiese sufrir el tanque por la acción de un temblor.

3.4 Manantiales de Ojo de Agua.

Esta es otra fuente alterna para el suministro de agua potable para la Ciudad de San José; sin embargo, es un sistema que se puso en operación sólo por algún tiempo y después se abandonó, pero no solo se abandonó el sistema, sino que se ha ido desmantelando poco a poco. Por lo cual se recomienda poner el sistema nuevamente en condiciones de servicio y operarlo dos veces por año como se recomienda para los sistemas de Potrerillos y Guadalupe, para tenerlo en condiciones de operación durante cualquier emergencia.

ORGANIZACION PARA COMBATIR DAÑOS EN EL SISTEMA HIDRAULICO PROVOCADOS POR UN SISMO.

Para atender los daños en el sistema hidráulico provocados por un sismo debe existir una organización que pueda enfrentar el problema en forma inmediata, ágil y adecuada.

Esta organización parte del supuesto de que se han implementado planes para brindar el servicio en situaciones de emergencia, entre otros, debe existir coordinación entre el área operativa y la administrativa de la Institución, así como el establecimiento de contratos con la empresa privada.

La coordinación con el área administrativa consiste en que ésta debe estar anuente a dar el apoyo financiero y de suministros en una forma expedita, evitando los trámites burocráticos, los cuales deben quedar para una etapa posterior. En una situación de emergencia los encargados directos deben conocer su papel y actuar en la forma que se establezca.

Se deben tener contemplados contratos con la empresa privada para la utilización y alquiler de maquinaria y equipo para atender la emergencia, según las necesidades del Instituto, el cual solicitará la ayuda correspondiente dependiendo de la disponibilidad de las empresas en ceder el equipo en ese momento. Al tener contemplados convenios o contratos con la empresa privada se actuará en forma más expedita. Le corresponde a la Administración Superior del Instituto la elaboración de estos convenios siguiendo las pautas que para tal efecto recomiende la Dirección de Operaciones.

A la Dirección de Operaciones le corresponde definir áreas prioritarias que deben ser abastecidas, dependiendo de factores

tales como número de habitantes, industrias, zonas hospitalarias si es factible abastecerlas de otras zonas, etc. Junto con estas zonas, como también con las definidas en el estudio de vulnerabilidad, se debe realizar un listado de las necesidades mínimas de tuberías, válvulas, accesorios y piezas necesarios para enfrentar la emergencia; se debe mantener este "stock" mínimo distribuido en diferentes sitios estratégicamente ubicados; dichos materiales deben estar disponibles y estar inventariados con archivos múltiples conteniendo el tipo, la cantidad y la ubicación de los recursos.

Se deben definir las líneas de comunicación y de autoridad en un centro de operaciones de emergencia determinado, donde se instalará un Comité de Emergencias. Debe asignarse un centro alterno en caso que el primer sitio se dañe.

Una vez ocurrido el suceso y antes de tomar cualquier medida es necesario realizar una evaluación de los daños en el sistema, definidos éstos, dirigir los recursos disponibles hacia las áreas que se consideren prioritarias.

A la cabeza de la organización estarán el Presidente Ejecutivo y el Gerente General. Serán los que dicten las pautas a seguir, éstos junto con los Gerentes de Area y el Director de Operaciones constituirán el Comité de Emergencias. Los gerentes de área velarán porque las dependencias a su cargo actúen de manera adecuada.

El peso de la organización recae en el Director de Operaciones, o en su defecto, en orden descendente en los subdirectores del Area Metropolitana y de Ingeniería. Estos serán

los coordinadores y canalizadores de la información entre el comité y los departamentos responsables de la operación y mantenimiento del Acueducto Metropolitano (Distribución, Plantas, Bombeo y Operación). Cada uno de estos departamentos son los encargados de hacer el diagnóstico y evaluación de los daños ocasionados en cada uno de los sistemas que tienen a cargo. Utilizando a su personal, cada inspector o encargado se movilizará por su zona e informará al jefe del departamento respectivo los daños ocasionados. Estos a su vez le informarán al Director de Operaciones, quien lo comunicará al Comité de Emergencias. Este comité es el que decidirá que acciones tomar y hacia que áreas se deben dirigir los recursos.

Los departamentos encargados de realizar las reparaciones serán los mismos que cotidianamente las realizan. Si éstos no dieran abasto, personal y equipo de otras direcciones y departamentos de la Institución se incorporarían al trabajo o se recurriría a la empresa privada. Todos bajo el mando, coordinación y requerimientos que dicte el Director de Operaciones.

Por lo tanto los directores y jefes de otras dependencias que tienen a su cargo personal de campo y equipo, a saber: Construcción, Servicios Generales, Medición, Optimización de Sistemas, Divisiones Regionales y Unidades Ejecutoras estarán a disposición y bajo el mando directo del Director de Operaciones. Su función principal será la de suministrar personal y equipo, ya sea para efectuar reparaciones o supervisar las obras que realizaría la empresa privada, y si se les requiere estarían a cargo de alguna obra específica.

El personal de otros departamentos técnicos estarán disponibles para cualquier inspección, trabajo, diseño o supervisión que se requiera.

5. TRABAJOS A DESARROLLAR.

5.1 Investigación en el país.

El consultor después de ubicarse y haber recorrido el Area de Estudio, ha establecido prioridades para la continuación del estudio antes de la visita de los ingenieros costarricenses a México. Estos deben recopilar y resumir una serie de información local de la zona de estudio, la cual se refiere a la geología de la zona, sismología, características mecánicas y dinámicas del suelo, características de las tuberías de agua potable y alcantarillado del sistema del Area Metropolitana, identificación del tipo de interconexiones con estructuras importantes, etc., con el propósito de procesarla y resumirla para su posterior utilización en el análisis de vulnerabilidad de las obras y tuberías prioritarias y poder también correlacionarla y compararla con los datos que se tengan en México.

La información a recopilar es la siguiente:

A) Geología de la zona de estudio.

a) Fallas geológicas.

b) Vulcanismo.

c) Suelos en general.

B) Sismología.

a) Historial.

b) Daños causados.

c) Magnitudes.

d) Intensidades.

e) Epicentros.

f) Estaciones sismológicas.

g) Tipos de sismógrafos y dirección de mediciones (X,Y,Z).

C) Valores generales de mecánica de suelos en los puntos de mayor relevancia.

a) Estratos de suelo y sus espesores.

b) Características mecánicas de cada estrato.

c) Niveles freáticos.

d) Valor de N.

e) Cohesión y Angulo de fricción.

f) Módulo de deformación.

g) Densidad de los estratos.

h) Geometría de los estratos.

i) Características dinámicas del suelo. velocidad de onda longitudinal, velocidad de onda transversal, período de vibración del suelo (predominante).

D) Datos del sistema de agua potable y alcantarillado.

a) Materiales de tuberías.

b) Diámetros de tuberías.

c) Tipos de uniones de tuberías.

d) Tanques.

e) Plantas de tratamiento.

f) Estaciones de bombeo.

Esto va a permitir la respuesta a muchas interrogantes, a saber:

-Cuáles fueron los principales problemas que tuvieron que enfrentar?

-Qué tipo de daños se dieron y cuáles fueron los más frecuentes?

-Qué disponibilidad de equipos, materiales y mano de obra existía?

-Cómo fue la interrelación con otras instituciones del Estado, cuyas obras también fueron dañadas?

-Qué papel desempeñó la empresa privada en la emergencia?

-Qué tipo de organización (administrativa, física, económica, etc.) existía antes del terremoto? Ayudó la condición imperante a la buena ejecución de las medidas correctivas?

-Cómo se afectó la situación económica, social y de salud pública, específicamente durante y después de ocurrido el evento?

-Cuál fue la participación extranjera en este campo?

El estudio de éstas y otras interrogantes permitirá cuantificar la importancia del análisis de la vulnerabilidad de nuestros sistemas de abastecimiento de agua principalmente en el campo sísmico.

2- Visita a sitios específicos.

Se hará un recorrido por la ciudad a algunos sitios donde ocurrieron daños importantes, lo cual permitiría visualizar su magnitud, impacto y posterior reparación.

Muchas de las acciones correctivas que se aplicaron podrían

ser consideradas y adaptadas a nuestro sistema.

Dentro de los lugares a visitar están:

a) Acueducto Xochimilco (el cual dejó de aportar siete metros cúbicos por segundo de agua debido a algunas fallas).

b) Túneles del acuafférico.

c) Tanques de Chalmita y Cerro de la Caldera (cincuenta mil metros cúbicos).

d) Plantas de tratamiento de agua potable y aguas negras.

e) Estaciones de bombeo.

f) Observación de técnicas de reparación.

g) Ubicación de los sitios de almacenamiento de repuestos.

3- Correlación y análisis con la información.

Tal y como se mencionó anteriormente, los ingenieros costarricenses deberán recopilar una serie de datos previos a la visita a México. Esta información podrá ser analizada y correlacionada con la que se derive de las reuniones que se lleven a cabo en México. Lógicamente, muchas de las medidas preventivas a aplicar están íntimamente relacionadas con el análisis de los resultados de esta actividad.

Posteriormente se elaborará un informe que resuma toda la información recopilada, el cual podrá ser utilizado para la definición de políticas a seguir en etapas más complejas.

6. CONCLUSIONES.

Se puede decir que existen básicamente dos formas de resistir los embates sísmicos en una tubería: la primera es construir la

línea con tubos de una resistencia tal que el tubo por sí mismo sea capaz de soportar los esfuerzos a que sea sometido y la segunda, es construir la línea con tubería de resistencia normal, sólo agregando en puntos estratégicos la instalación de juntas flexibles antisísmicas que le permitan a la tubería desplazamientos longitudinales y giro, disminuyendo así la transmisión de esfuerzos a la tubería.

En líneas existentes quizá lo más conveniente sea llevar a cabo el análisis de riesgo sísmico de esas conducciones y determinar los puntos susceptibles de falla durante la acción de un sismo y tener listas las piezas antisísmicas de reparación, o sea que en lugar de hacer la reparación con los materiales convencionales, se utilizarían piezas de repuesto sismoresistentes, con las cuales se evitaría la ocurrencia de problemas posteriores.

Si por alguna causa lo anterior no fuese posible, entonces cuando menos, se debe contar con el almacenamiento de una cantidad suficiente de piezas de repuesto, que permitan la reparación inmediata de los puntos que se hayan detectado como vulnerables durante un análisis sísmico.

Se puede decir de antemano que los puntos donde se presentan incrementos súbitos de los esfuerzos causados por fuerza axial, fuerza cortante y momento flexionante, es en aquellos donde la tubería se conecta con otras estructuras, tales como son las cajas de válvulas, anclajes, entradas y salidas de los tanques de almacenamiento, etc.

En estos puntos la solución más adecuada, es la instalación de

Original en
mal estado

juntas flexibles antisísmicas, las cuales permiten disminuir los diferentes esfuerzos que genera un sismo.

El Proyecto Orsi tiene la enorme ventaja de estar construido con tubos de hierro dúctil y acero, que son por sí mismas tuberías bastantes resistentes a los movimientos sísmicos, sin embargo, estas tuberías resisten los temblores siempre y cuando estén alojadas en terreno firme, de otra forma las tuberías son susceptibles de falla.

La tubería de hierro dúctil tiene la ventaja que sus uniones aunque no sean antisísmicas proporcionan una cierta flexibilidad, que permite a la tubería seguir un poco el movimiento del suelo durante la ocurrencia de un sismo. Esta característica no se presenta cuando la tubería es de acero unida con soldadura, en este caso la tubería no tiene uniones que permitan giro o desplazamientos longitudinales, así que la tubería casi no puede seguir el movimiento del suelo durante un temblor, provocando el aumento de esfuerzos en la tubería.

Es importante mencionar que debido a la escasez de tiempo, en esta primera etapa no fue posible visitar los sistemas de drenaje; únicamente se estudió la red de drenaje sanitario de San José en planos.

Sin embargo, tomando como referencia los daños ocurridos a la red de drenaje de la Ciudad de México durante los temblores del 19 y 20 de setiembre de 1985, se puede decir que la red de drenaje de esa ciudad solo sufrió daños de poca importancia debido básicamente a dos razones, primero a que el tipo de juntas de unión de la tubería proporcionan una cierta flexibilidad y segunda, la más importante, como la red de drenaje funciona por

gravedad, en general está enterrada a profundidades mayores que la red de agua potable.

De lo anterior, se puede deducir que las estructuras que se encuentran enterradas, se ven afectadas por las ondas sísmicas cuando se encuentran alojadas superficialmente.