

A photograph of industrial machinery, possibly a large pump or turbine, with a prominent horizontal pipe. The pipe is supported by concrete pillars. In the background, there is a concrete wall with a large, irregular crack. The entire image has a reddish tint. A semi-transparent red box is overlaid on the right side of the image, containing the text 'APÉNDICE A' in white capital letters.

APÉNDICE A

SISTEMA DE AGUA DE CIUDAD SÍSMICA EJEMPLO DE UNA EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD

Introducción

Esta sección está diseñada como un ejercicio; póngase en la posición del gerente del sistema con la responsabilidad de desarrollar un programa de mitigación sísmica:

- identifique la vulnerabilidad de cada componente del sistema;
- evalúe la vulnerabilidad del sistema como un todo, y
- desarrolle un programa de mitigación sísmica que incluya tareas de mitigación en orden de prioridad.

En la figura A-1 se ilustra un sistema de agua y sus componentes típicos. Después de la descripción de los componentes del sistema, se incluye una lista de las deficiencias que han sido identificadas por el personal del sistema de agua que participó en este ejercicio.

Descripción del sistema de agua

El sistema se muestra en la figura A-1 y presenta las siguientes características:

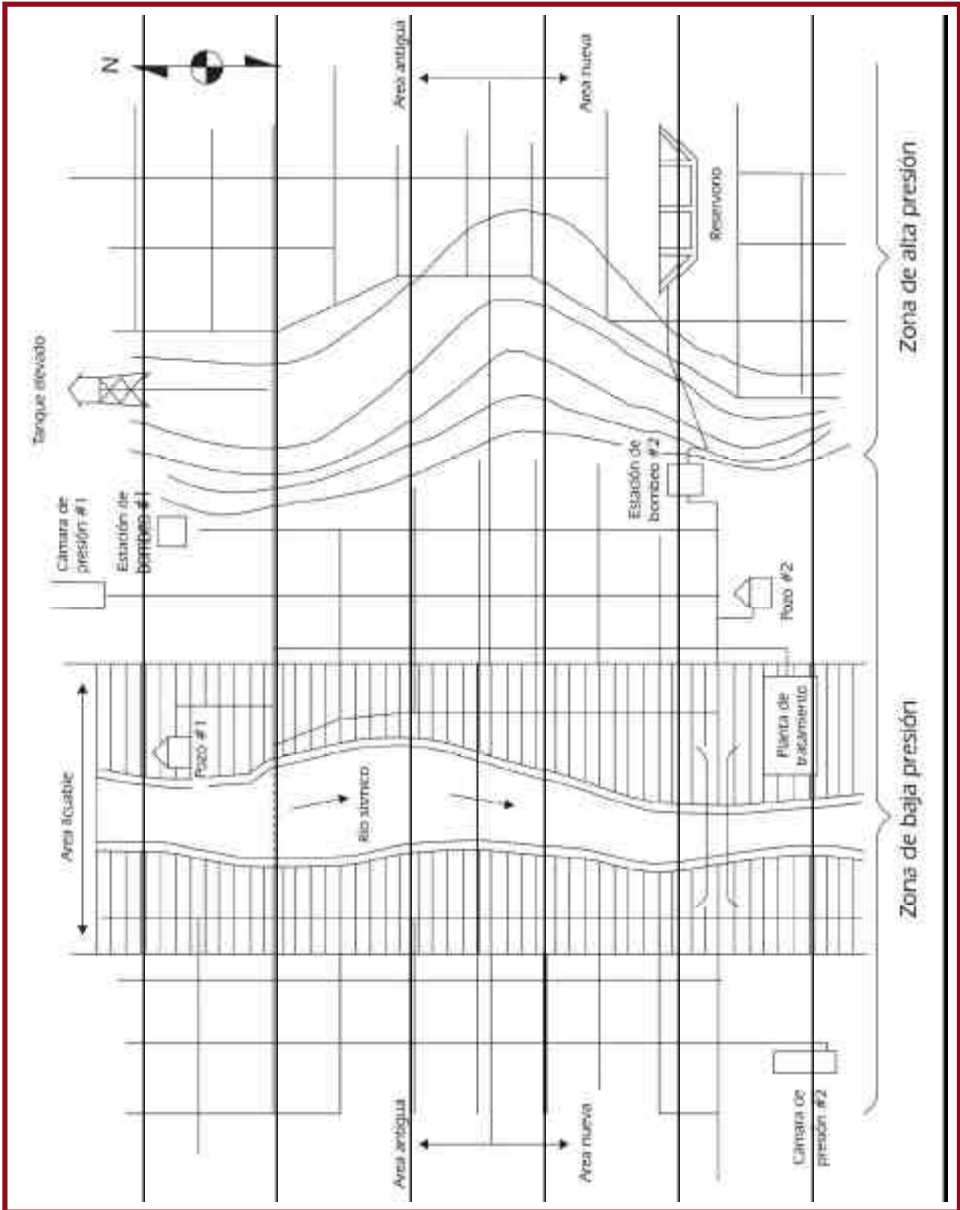
- El agua es suministrada principalmente por la planta de tratamiento de agua que extrae agua no tratada del Río Sísmico.
- Durante periodos de demanda máxima en el verano, se operan los pozos 1 y 2.
- Las cámaras de presión 1 y 2 se ubican en el sistema de baja presión.
- Las estaciones 1 y 2 bombean el agua hacia el sistema de alta presión.
- El agua se almacena en el reservorio ubicado en la zona de alta presión.
- El agua es repartida al lado oeste del Río Sísmico a través de dos cruces sobre el río: uno enterrado y otro colgado en un puente.
- La demanda diaria promedio del sistema es de 10 mgd (37,5 ML/d) y los picos llegan a 18 mgd (67,5 ML/d) durante el verano.
- La planta de tratamiento tiene una capacidad de 13 mgd (49 ML/d). Cada pozo tiene una capacidad de 4 mgd (15 ML/d).

Condiciones geológicas

Hasta hace poco, los sismos de magnitud 7,2 con epicentro a 50 kilómetros de profundidad bajo la Ciudad Sísmica eran considerados como los sismos máximos esperados. Estudios recientes han determinado la posibilidad de sismos de magnitud 8,5 con el foco a 100 kilómetros al oeste.

El Río Sísmico ha dejado depósitos aluviales a lo largo de su cauce, el mismo que a través de los años ha cambiado de curso mediante meandros por una parte significativa del valle. Los suelos más cercanos a los bordes del valle y al lado este son de origen glacial y son materiales adecuados.

Figura A-1. Esquema del sistema de agua de Ciudad Sísmica



Componentes del sistema

Pozo 1

- construido en 1948;
- cimentado sobre terreno licuable;
- estructura – ¿mampostería reforzada?, techo no anclado a las paredes;
- tuberías enterradas – hierro fundido;
- paneles del centro de control de motores (CCM) – no anclados;
- tuberías de extracción de agua del pozo – sin apoyo lateral; y
- grupo electrógeno (añadido en 1975).

Pozo 2

- construido en 1983;
- construido sobre suelo agrícola de origen glaciar;
- estructura – mampostería reforzada; techo anclado a las paredes;
- tubería enterrada – hierro dúctil;
- paneles eléctricos, equipo y tuberías – con apoyos adecuados; y
- no cuenta con grupo electrógeno.

Planta de tratamiento de agua

- construida en 1971;
- construida sobre suelo licuable;
- estructuras – apoyadas en pilotes; cerco de tubos, captación de río – sin pilotes;
- usa reactores-clarificadores (floculadores);
- el cloro es suministrado por cilindros de una tonelada (no anclados);
- equipo y tuberías – sin apoyo lateral excepto lo requerido para los cambios de dirección de las tuberías, donde se presentan las fuerzas del empuje; y
- grupo electrógeno para la operación de la planta, bombeo de agua no tratada, y bombeo al sistema.

Red de tuberías

- conducción-distribución en área “antigua” – construida en 1948;
- conducción-distribución en área “nueva” – construida en 1971;
- cruce de río enterrado – construido en 1948; y
- cruce de río a través de puentes, puente de vigas de concreto con arcos múltiples – construido en 1973.

Estación de bombeo 1

- construida en 1957;
- ubicada sobre suelo agrícola de origen glaciar;
- edificio: pórticos de madera;

- ¿tubería enterrada?;
- tuberías diseñadas para resistir las fuerzas del empuje;
- ¿panel eléctrico anclado?; y
- no cuenta con grupo electrógeno.

Estación de bombeo 2

- construida en 1971;
- ubicada sobre suelo glaciar;
- estructura – ¿mampostería reforzada?; ¿techo anclado?;
- ¿material en la tubería enterrada?;
- tuberías diseñada para resistir las fuerzas del empuje;
- ¿panel eléctrico anclado?; y
- no cuenta con grupo electrógeno.

Reservorio apoyado

- construido en 1961;
- cimentado sobre suelos adecuados; un lado es un terraplén artificial;
- revestido de concreto;
- techo de concreto añadido en 1978; y
- vía de acceso construida sobre ladera inestable.

Cámara de presión 1

- construida en 1948;
- no cuenta con anclajes;
- los cimientos parecen ser de muro circular;
- 90 pies (27 m) de alto, 60 pies (18 m) de diámetro; y
- conexión externa rígida de tuberías.

Cámara de presión 2

- construida por AWWA D100-84;
- cuenta con anclajes;
- 90 pies (27 m) de alto, 80 pies (24 m) de diámetro; y
- conexión de tuberías a través de la parte inferior.

Tanque elevado

- 150.000 galones (568.000 litros) de capacidad;
- 100 pies (30 m) desde el suelo hasta la altura máxima del agua;
- construido en 1963 por un conocido fabricante de tanques;
- tanque apoyado en seis soportes;
- arriostrado con varillas circulares de fierro y uniones empernadas; y
- cimentación individual para cada soporte del tanque.

Deficiencias del sistema y sus componentes: Alternativas de mitigación

Esta sección describe algunas alternativas de mitigación para el sistema de agua de Ciudad Sísmica, que han sido propuestas por el personal del sistema de agua. Las instalaciones se agrupan según la función del sistema y se describen las deficiencias de cada instalación, seguido de las alternativas de mitigación. Las alternativas de mitigación presentadas no necesariamente se aplican a todas las situaciones similares, ni tampoco se da por sentado que la lista de conceptos sea necesariamente completa.

El alcance de las medidas de mitigación dependerá de los recursos disponibles. Las alternativas de mitigación deben ser implementadas según las prioridades de las categorías de servicios descritas en el capítulo 1 y se deberá dar mayor prioridad a las alternativas de mitigación de bajo costo.

Fuente

Origen de las deficiencias.

Pozo 1

- La tubería de revestimiento del pozo y las tuberías enterradas son vulnerables porque se encuentran en suelos licuables.
- Es probable que la estructura de mampostería no sea reforzada debido a la edad de la edificación.
- Los paneles del centro de control de motores (CCM) y las tuberías no se encuentran anclados.
- Cuenta con grupo electrógeno.

En términos generales, podría decirse que resultaría costoso adecuar este servicio dada la vulnerabilidad del pozo.

Pozo 2

- La instalación tiene una vulnerabilidad baja; sin embargo, no tiene suministro de energía de emergencia.

Planta de tratamiento de agua.

- La instalación se construyó antes de que se realicen modificaciones importantes al Código Uniforme de Construcción después del terremoto de San Fernando de 1971. Por tanto, las estructuras del edificio no son del todo confiables.
- Las estructuras están apoyadas en pilotes, lo cual ayudará a mitigar los efectos de la licuefacción.
- En la bocatoma, las tuberías descubiertas y las tuberías de agua tratada son vulnerables a la licuefacción, que produce la deformación permanente del suelo (DPS).
- Es probable que esta tubería enterrada, instalada en 1971, sea de hierro fundido y, por tanto, vulnerable a la deformación permanente del suelo.
- Los deflectores del clarificador están sujetos al efecto ondulante debido al movimiento de olas producido por el sismo.

Evaluación funcional y recomendaciones para la mitigación.

- Uno de los pozos y la planta de tratamiento deben cumplir con la demanda.
- Construya interconexiones de emergencia con otros sistemas de abastecimiento de agua que puedan existir en los alrededores.
- Elabore un plan de racionamiento de agua que pueda ser implementado rápidamente en caso de que la fuente tenga que ser reducida.
- Debido a que el pozo 1 es altamente vulnerable, transfiera el grupo electrógeno al pozo 2 (si cuenta con el tamaño adecuado) y realice una prueba bajo carga. Con ese cambio se reducirá

la vulnerabilidad del pozo 2. Otra posibilidad es construir un nuevo pozo para aumentar la producción de aguas subterráneas del pozo 1, pero ubíquelo al lado opuesto del río (si la hidrogeología lo permite) de manera que las fuentes puedan estar mejor distribuidas a lo largo de todo el sistema.

- La planta de tratamiento es vulnerable, pero debe ser reforzada si se espera que continúe funcionando después de ocurrido un sismo.
- Elabore un plan de operaciones para la planta de tratamiento que incluya tratamientos alternativos como evitar el clarificador o toda la planta, pero manteniendo la cloración.
- Considere la filtración directa con una tasa de filtración reducida. Tenga a disposición el equipo y material necesarios para operar la planta en esas modalidades.
- El río puede estar particularmente turbio después de un terremoto debido a que la cuenca hidrográfica está sujeta a deslizamientos. Evalúe el uso de coagulantes alternativos, dosis de coagulantes y tasas de aplicación reducidas para los procesos unitarios. Sepa dónde adquirir esos productos químicos alternativos.
- Como mínimo, ancle los cilindros de cloro. Adapte la instalación de cloración según las normas vigentes para que tenga la capacidad de contener y neutralizar el cloro en el lugar. Otra posibilidad sería convertir el sistema a hipoclorito de sodio.
- Ancle el equipo y las tuberías. Observe que el equipo rotatorio y las tuberías de impulsión diseñados para resistir las fuerzas del empuje estén bien anclados.
- Reemplace o instale una bocatoma en paralelo. Si fuese posible, utilice la perforación direccional para instalar la bocatoma debajo del margen del río que está sujeto a un esparcimiento lateral significativo. Otra posibilidad sería estabilizar el alineamiento, incluido el margen del río. Una tercera alternativa sería usar una tubería que sea altamente resistente a la deformación permanente del suelo. Esta propuesta debe ser evaluada detenidamente para ver si resulta factible.
- Añada flexibilidad a las tuberías enterradas y a las estructuras de interfases. Considere instalar una segunda tubería de agua tratada que vaya desde la planta hasta el sistema de distribución usando materiales sismorresistentes para tuberías, tales como acero soldado o hierro dúctil con uniones rígidas. La deformación permanente del suelo debe ser limitada lo más lejos posible del río.
- Instale deflectores de fibra de vidrio en el reactor y en el clarificador.
- Evalúe las estructuras de los edificios.

Red de tuberías

Deficiencias de las tuberías

- El cruce enterrado del río (sifón) es altamente vulnerable a la deformación permanente del suelo.
- El cruce a través de puentes es vulnerable al asentamiento diferencial en los estribos del puente y al desplazamiento diferencial a lo largo del tramo del puente. A la larga, la vulnerabilidad del cruce dependerá del comportamiento del puente.
- Las tuberías en la ladera que conectan la zona de alta presión pueden estar sujetas a deslizamientos.

La vulnerabilidad de la tubería se puede clasificar como sigue (en orden descendente de vulnerabilidad):

1. Área antigua de la ciudad (es de suponer que es una tubería de hierro fundido): licuable.
2. Área nueva de la ciudad: licuable.
3. Área antigua de la ciudad: no licuable.
4. Área nueva de la ciudad: no licuable.

Evaluación funcional y recomendaciones para la mitigación

- Debido a que el transporte de agua al lado oeste del río es un problema, evalúe detenidamente los cruces del río y discuta la vulnerabilidad del puente con el propietario (municipalidad, ciudad, etc.). Las medidas de mitigación podrían incluir:
 - adición de juntas flexibles a ambos lados de los estribos;
 - adición de válvulas de corte a cada lado del cruce;
 - provisiones necesarias para la estructura del puente.
- Proporcione válvulas de corte para el cruce enterrado. Si cuenta con financiamiento, construya un nuevo cruce usando la perforación direccional para evitar la capa licuable de suelo. Las alternativas incluyen:
 - construir un pozo adicional en el lado oeste del río;
 - instalar un cruce de río temporal en caso de que ambos cruces fallen durante el evento sísmico.
- Identifique y opere regularmente (al menos una vez por año) las válvulas existentes. Proporcione válvulas de corte automáticas u operadas manualmente entre las áreas licuables y no licuables del sistema. Brinde válvulas controladoras de nivel para alimentar el sistema desde la zona de alta presión hasta la zona de baja presión.
- Inicie un programa de largo plazo para el reemplazo de tuberías (especialmente, la tubería de hierro fundido) en áreas licuables.
- Construya estaciones de extracción de agua del río para permitir que los camiones de bomberos bombeen agua en casos de extinción de incendios.
- Establezca el trazado de la tubería en la ladera o instale una tubería en paralelo en un alineamiento estable.

Estaciones de bombeo a zona de alta presión

Deficiencias.

Estación de bombeo 1.

- La estructura puede no estar anclada a los cimientos. Por lo demás, las estructuras de madera resisten bien los terremotos.
- Los paneles eléctricos pueden no estar debidamente anclados.
- No cuenta con energía eléctrica de emergencia.
- Observe que si bien la tubería enterrada probablemente es de hierro fundido (de acuerdo con la fecha de construcción), la tubería de hierro fundido en suelos adecuados no es altamente vulnerable a sismos.

Estación de bombeo 2.

- La instalación puede no estar diseñada según las normas sísmicas vigentes.
- Los paneles eléctricos pueden no estar anclados.
- No cuenta con energía eléctrica de emergencia.

Evaluación funcional y recomendaciones para la mitigación

- Al menos una de las dos estaciones de bombeo debe estar en operación para abastecer a la zona de alta presión.
- Evalúe las edificaciones. Los costos para su adecuación deben mantenerse al mínimo.

- En caso requerido, ancle los paneles eléctricos.
- Instale un grupo electrógeno permanente en una de las estaciones de bombeo. Adquiera un grupo portátil e instale las conexiones adecuadas en cada estación de bombeo o haga los arreglos necesarios con el departamento de bomberos para bombear de una de las estaciones usando una de sus bombas. Asegúrese de que haya hidrantes para que los bomberos puedan usarlos para la conexión.

Almacenamiento – Zona de baja presión

Deficiencias

Cámara de presión 1.

- La proporción de altura con relación a diámetro es de 1,5 y el tanque no se encuentra anclado. Como resultado, es poco probable que el tanque resista un sismo moderado sin que se produzcan daños o fallas significativos.

Cámara de presión 2.

- La cámara de presión fue construida en conformidad con las normas AWWA D100 que incluyen recomendaciones para el diseño sísmico.
- Debido a que el tanque se encuentra en la zona sísmica 3 (zonificación del Código Uniforme de Construcción), las recomendaciones sísmicas se habrían basado en los requerimientos del usuario.
- La norma AWWA D100 solo exige criterios de diseño sísmico en la zona 4 designada por el Código Uniforme de Construcción.

Evaluación funcional y recomendaciones para la mitigación.

- Evalúe los criterios de diseño para la cámara de presión 2. Si su diseño no es sismorresistente, refuércelo.
- Es probable que la cámara de presión 1 requiera mejoras significativas. Considerando su edad, la estructura puede estar deteriorada.
- Evalúe la cámara de presión 1 tomando en cuenta la construcción de un tanque de almacenamiento de reemplazo.
- Instale válvulas de corte sísmico en cada cámara de presión para almacenar agua en caso de que el sistema de distribución resulte gravemente dañado.
- Instale válvulas controladoras de nivel para permitir que el caudal de agua de la zona de alta presión alimente a la zona de baja presión en caso de que la cámara de presión 1 falle y ambos cruces de río estén fuera de servicio.

Almacenamiento – Zona de alta presión

Deficiencias

Reservorio apoyado.

- No se conoce la vulnerabilidad del terraplén artificial ni los criterios de diseño sísmico para la cubierta de concreto. Si no es adecuado, podría colapsar y taponar la estructura de entrada.
- Debido a que la vía de acceso es inestable, podría restringir el acceso después de un terremoto.
- No cuenta con un sistema automatizado de válvulas de corte; si el reservorio falla, se podría producir una inundación aguas abajo.

Tanque elevado.

- Los tanques de esa época probablemente no fueron diseñados en conformidad con las normas vigentes. Pueden haber sido diseñados para soportar cierta carga sísmica estática.
- Los arriostramientos transversales con uniones empernadas son vulnerables en las uniones debido a la poca área transversal que pueden romperse antes de que la barra entre en fluencia.
- Las columnas individuales actuarán independientemente, dándole mayor vulnerabilidad al tanque.
- El tanque quizás sea susceptible a un sismo moderado. Si colapsa, caería en un área no cercada.

Evaluación funcional y recomendaciones para la mitigación

- El reservorio apoyado tiene el mayor volumen de almacenamiento de todo el sistema y puede abastecer a la zona de baja presión si se añade una válvula controladora de nivel.
- Investigue la estabilidad del terraplén artificial en el reservorio y la vía de acceso. Si son vulnerables, refuércelos.
- Si el nivel freático es alto debido a filtraciones del reservorio, instale un revestimiento flexible.
- Si bien la cubierta de concreto puede colapsar, no tendría el mismo efecto devastador que la ruptura del reservorio. La adecuación del coronamiento es una prioridad menor.
- Añada una válvula de corte en la salida del reservorio.

El tanque elevado tiene una capacidad mucho menor que el reservorio apoyado y abastece a la misma zona de presión. Es cuestionable si es económicamente factible reforzarlo según lo estipulado por las normas vigentes. Puede resultar más apropiado realizar intervenciones menos costosas que le permitirían soportar un evento sísmico moderado, pero aún así no cumpliría las normas vigentes.

Intervenciones que no son muy costosas pueden incluir el reemplazar los arriostramientos transversales y conectar las columnas de los cimientos individuales con vigas de conexión. Cuando decida reforzar uno de los componentes, tenga cuidado de no sobrecargar el otro (como las columnas de apoyo).

La información sobre el diseño original puede ser proporcionada por los fabricantes del tanque que a menudo conservan los planos de construcción y los ponen a disposición del propietario del tanque cuando se requiere una evaluación detallada de la estructura.