CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL SISTEMA

Introducción

Este capítulo discute cómo evaluar la vulnerabilidad del sistema a fin de determinar si podrá cumplir con los objetivos del comportamiento (como se sugiere en el cuadro 1) en casos de terremotos moderados o de base operativa (TBO) y terremotos severos o de diseño (TDD). Tomando como base la información del capítulo anterior, los responsables y operadores de los sistemas deben ser capaces de cuantificar el comportamiento de los componentes de su sistema en categorías de vulnerabilidad alta, media y baja.

En general, se debe evaluar cada componente antes de evaluar el sistema en general, como se describió en el capítulo 1. Las secciones previas de esta publicación se centraron en la definición de los objetivos del sistema, la evaluación de las amenazas y la vulnerabilidad de los componentes.

Las siguientes partes de este capítulo tratan sobre la evaluación del sistema de acuerdo con su función, tales como fuente y conducción; dichas funciones luego se relacionan con los objetivos del comportamiento del sistema. Asimismo, se considera el uso de información sobre amenazas sísmicas para la evaluación del sistema, seguido de técnicas de evaluación mediante un modelo computarizado. Finalmente, se discute la mitigación a través de una propuesta integrada.

Evaluación por función

Después de evaluar los componentes del sistema, el siguiente paso del análisis de vulnerabilidad es evaluar las funciones específicas requeridas para poder operar como una unidad. Estas funciones incluyen la fuente, conducción, tratamiento, bombeo, almacenamiento y distribución.

Fuente

Después de evaluar la vulnerabilidad de cada fuente, agrúpelas y estudie la confiabilidad global de las fuentes del sistema. ¿Todas las fuentes son vulnerables al mismo mecanismo de daño? ¿Se cuenta con fuentes alternas o si una de estas fuentes falla, el sistema quedaría fuera de servicio? ¿Existe flexibilidad en el uso de fuentes independientes una de la otra, o las fuentes son interdependientes?

Por ejemplo, en Limón, Costa Rica, los deslizamientos incrementaron la turbiedad de una fuente de agua superficial hasta 2400 NTU, lo cual hizo que se pudiera utilizar solo de manera intermitente. Para

complementar la fuente de agua, la ciudad reactivó pozos que habían sido clausurados en años anteriores. Recientemente se ha creado una fuente alternativa de agua subterránea en otra área para complementar el suministro. Si estas fuentes alternativas hubieran estado disponibles al momento del sismo, hubieran podido ser usadas inmediatamente para restaurar la operación del sistema. Para poder usar el suministro de agua superficial, se redujo la capacidad de carga en los procesos unitarios de la planta y se modificó la selección y dosificación de coagulantes.

Conducción

Después de evaluar cada línea de conducción, considere la capacidad global del sistema para transportar agua desde la fuente hasta los reservorios terminales y el sistema de distribución. ¿El sistema de conducción depende de una sola tubería o existen múltiples tuberías que conectan la fuente al sistema de distribución? ¿Las tuberías de conducción se encuentran alineadas en el mismo corredor y expuestas a amenazas sísmicas comunes, o son independientes? Si existieran líneas de conducción que no se encuentran en operación, ¿qué porción del sistema puede ser abastecido con las líneas restantes? ¿Cuál es la demanda real en áreas en servicio? Puede ser aceptable operar el sistema bajo la demanda usual en la temporada de invierno hasta que se restaure el sistema. Luego de ocurrido un desastre, se pueden implementar medidas de emergencia para el racionamiento del agua.

Tratamiento

La capacidad de tratamiento se debe evaluar de acuerdo con el nivel de tratamiento (calidad) y la capacidad hidráulica (cantidad) de la planta de tratamiento. Puede haber cuatro categorías de operación:

- tratamiento completo con capacidad hidráulica completa
- tratamiento completo con capacidad hidráulica parcial
- tratamiento parcial con capacidad hidráulica completa
- tratamiento parcial con capacidad hidráulica parcial.

Considere el nivel de tratamiento mínimo que se requeriría para cumplir con los objetivos de la operación. Por ejemplo, puede que los procesos unitarios para la remoción de trazas contaminantes, que solo tienen efectos de largo plazo sobre la salud, no necesiten permanecer en operación durante periodos cortos después de un sismo. Asimismo, se podrían emplear alternativas de operación menos eficientes y más costosas durante periodos cortos de tiempo. En Limón, el personal de operaciones pudo operar su planta de tratamiento a la mitad de su capacidad usando una alta dosis de polímeros hasta que la turbiedad disminuyó. En la planta de tratamiento de Rinconada, después del terremoto de Loma Prieta, los operadores optaron por la filtración directa con capacidades de carga menores después de que el floculador y el clarificador resultaran dañados. Las estrategias alternativas de tratamiento se deben estudiar antes de que se produzca un sismo.

Bombeo

Agrupe las capacidades del bombeo según la función. ¿Existe una estación de bombeo con vulnerabilidad baja que pueda abastecer a cada área de servicio? La energía eléctrica es crucial para que la mayoría de las estaciones de bombeo permanezca en operación; sin embargo, la confiabilidad de la energía eléctrica comercial es cuestionable. ¿Existen grupos electrógenos disponibles para operar las estaciones de bombeo críticas? ¿Han sido puestos a prueba con frecuencia bajo carga?

Almacenamiento

Agrupe las instalaciones de almacenamiento según el área de servicio. Para suministrar el flujo requerido para la extinción de incendios, los sistemas generalmente dependen del almacenamiento en el sistema mas que la capacidad de conducción. ¿Qué cantidad de almacenamiento de reserva dispone cada área de servicio o zona de presión? ¿Cada área de servicio tiene conexión múltiple, ya sea a una instalación de almacenamiento en la zona o a una zona más alta? ¿Cuántas instalaciones de almacenamiento aguas abajo de las líneas de conducción son altamente vulnerables y tomarían un periodo largo de reparación? En una comunidad grande en California, un proveedor está construyendo un reservorio grande aguas abajo de la falla de San Andrés a fin de que la comunidad tenga agua durante el periodo en que se esté reparando la línea de conducción. Generalmente, en un sistema de distribución habrá pocos componentes redundantes disponibles aparte de las tuberías.

La evaluación de la función se puede llevar a cabo en un taller que cuente con la participación del personal de operaciones del sistema e ingenieros familiarizados con la vulnerabilidad sísmica de los componentes del sistema. Otra posibilidad es que la evaluación de las tuberías se realice usando un modelo computarizado.

Funciones requeridas para cumplir los objetivos del comportamiento sísmico

Los objetivos del comportamiento del sistema descritos en el capítulo 1 se centraron en los requisitos para satisfacer las demandas para la extinción de incendios, la calidad del agua y los niveles de demanda necesarios después de un sismo. En esta sección, cada uno de estos requisitos está relacionado con la evaluación funcional del sistema. Los objetivos generales del comportamiento del sistema son más difíciles de relacionar con los componentes específicos del sistema y, por tanto, no se discutirán en esta sección.

La disponibilidad de flujo para la extinción de incendios generalmente depende del agua almacenada dentro del sistema y de la capacidad del sistema de distribución para llevar agua al incendio. No depende de la fuente ni del sistema de conducción. Por tanto, los requisitos más estrictos para la extinción de incendios se pueden centrar en los componentes del sistema de almacenamiento y distribución.

La calidad del agua depende de las características de la fuente, el funcionamiento adecuado de la planta de tratamiento y la contaminación en el sistema de distribución. La vulnerabilidad de los procesos unitarios de la planta de tratamiento se puede controlar y se pueden implementar mejoras en caso de que se requieran. La contaminación del sistema de distribución con aguas subterráneas o filtración de aguas residuales es más difícil de controlar si se pierde la presión del sistema.

La demanda global del sistema se puede controlar hasta cierto punto mediante la implementación de un programa de racionamiento de emergencia. Por el lado del suministro, éste dependerá de la fuente y de que el sistema de conducción reparta el agua. Se puede realizar una evaluación de los componentes requeridos del sistema para suministrar la demanda exigida por los objetivos del comportamiento del sistema.

Uso de la información sobre amenazas

La información sobre amenazas es crucial para la evaluación sísmica de los componentes y del sistema en su totalidad. Para realizar una evaluación razonable, se requiere información específica sobre la vibración del terreno, la susceptibilidad a la licuefacción y la vulnerabilidad a los deslizamientos. El mapeo de amenazas es un factor crítico cuando se evalúan las tuberías. Particularmente, la vulnerabilidad de las tuberías está estrechamente relacionada con la susceptibilidad a la licuefacción y el flujo lateral.

Una alternativa típica es sobreponer la información del mapa de amenazas sobre los planos de tuberías para identificar las áreas vulnerables. Luego, esta información se compara con la vulnerabilidad específica del material de la tubería (como se discutió en el capítulo 3) para hacer una evaluación de la vulnerabilidad de la tubería.

La vulnerabilidad a la licuefacción se puede analizar un poco más si se estima la deformación permanente del suelo (DPS) del material licuable y el impacto en la estructura de las tuberías enterradas. La metodología de Youd brinda un mecanismo para estimar la deformación permanente del suelo. O´Rourke (1992) presenta un método para calcular el efecto de los niveles variantes de la deformación permanente del suelo sobre las tuberías. Esta propuesta ha sido usada para proyectos de evaluación de tuberías en Vancouver, Canadá; en el distrito municipal de servicios públicos de East Bay, San Francisco, California; y en San Diego, California.

Técnicas de evaluación a través de un sistema computarizado

Se han desarrollado modelos computarizados que pueden relacionar información sobre amenazas sísmicas, vulnerabilidad de los componentes del sistema de agua y operación del sistema de agua. El uso de una interfase del sistema de información geográfica (GIS), particularmente para realizar un inventario del sistema de tuberías y elaborar mapas de amenazas, es una opción muy eficiente.

Generalmente, los sistemas computarizados están diseñados para modelar escenarios de daños sísmicos representativos de varios terremotos. Por ejemplo, se pueden elaborar modelos de sismos de diferentes fuentes, sismos de subducción, sismos intraplacas y sismos corticales, cada uno de un tamaño y ubicación determinados.

Una vez que se tenga la ubicación, profundidad y longitud de la falla, el programa usa primero las relaciones de atenuación de la intensidad sísmica para estimar la vibración en cada ubicación del área de estudio. La figura 95 muestra un mapa de la Intensidad de Mercalli Modificada (IMM) para un sismo de magnitud 7,5, de una parte de Seattle, Washington (Kennedy, Jenks, Chilton 1990b). Luego, se calcula la amplificación sísmica en el sitio y se determina el nivel de vibración en la superficie terrestre para cada sitio.

Posteriormente, se ingresa la información sobre la susceptibilidad a la licuefacción como tamaño del grano, densidad y nivel freático. El modelo estimará la probabilidad de licuefacción basado en la información sobre susceptibilidad a la licuefacción y vibración del terreno. La figura 96 muestra un mapa de la susceptibilidad a la licuefacción para una parte del sistema de agua de Seattle.

La información sobre tuberías y la vulnerabilidad asociada se ingresa en formato GIS. Las relaciones de daños para la vibración del terreno, licuefacción y deslizamiento se ingresan basadas en la información sobre daños recopilada de sismos pasados, geometría de las tuberías y análisis estructurales. Las figuras 97 y 98 muestran las relaciones de daños a las tuberías debido a la vibración y a la licuefacción, respectivamente. El modelo luego estima la cantidad de daños a cada segmento de la tubería.

Con esa información, la computadora puede elaborar un modelo hidráulico del sistema usando un modelo modificado de análisis de redes. El modelo incluye demandas debido a fugas y rupturas de tuberías y toma en cuenta las presiones cuando distribuye las “demandas” del sistema. El modelo considerará la conectividad del sistema (es decir, si cada nodo está conectado a nodos adyacentes) y calculará las presiones hidráulicas resultantes. La figura 99 muestra el mapa de presiones del sistema para el sismo de magnitud 7,5 en Seattle.

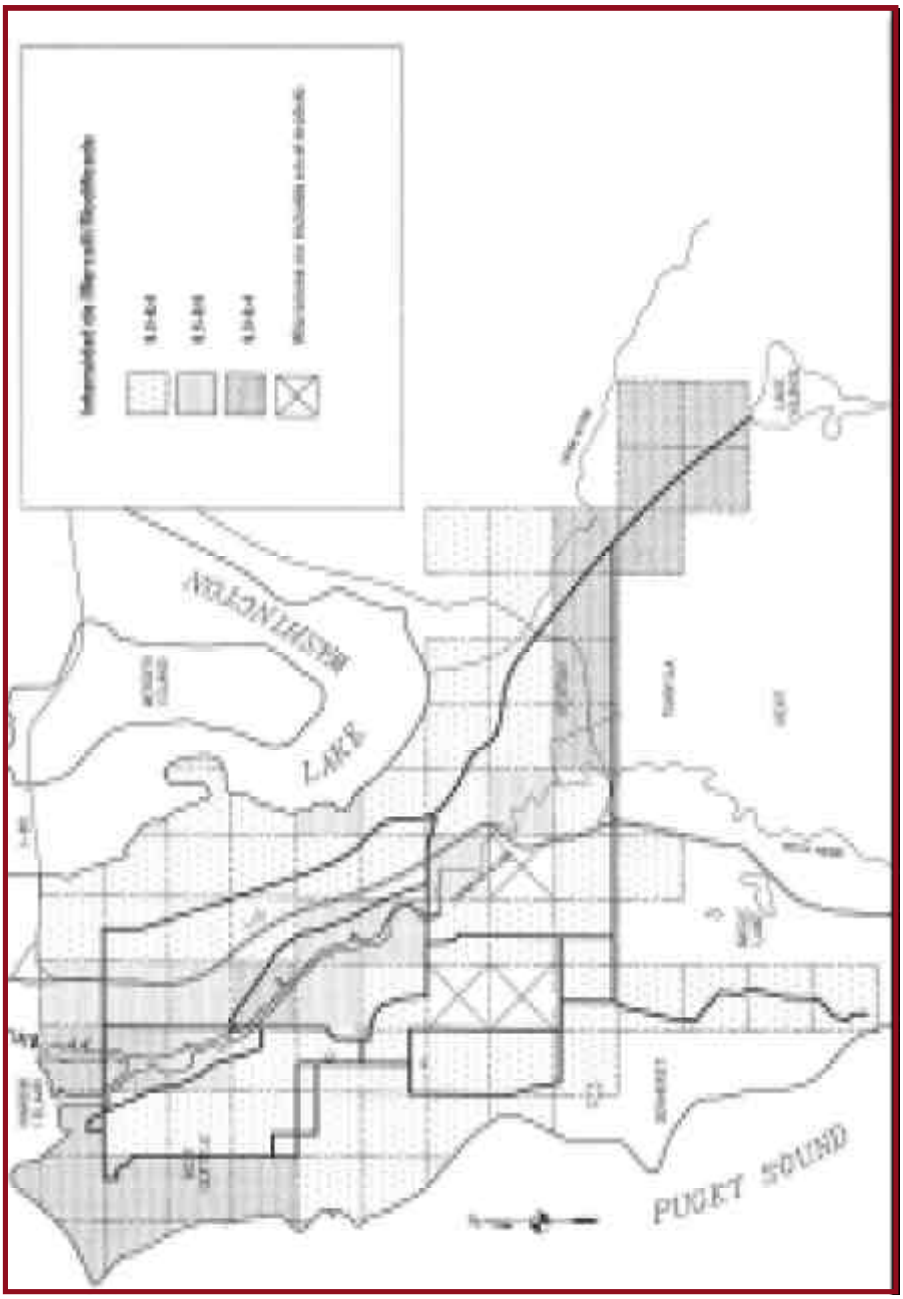
Se han elaborado modelos para estimar el tiempo requerido para poner el sistema nuevamente en funcionamiento, los que se basan en estimados empíricos de los tiempos de reparación para el daño esperado. También se han hecho estimados preliminares sobre el impacto económico que este daño tendría en la comunidad. Esta información se puede usar para justificar los programas de mitigación de sismos.

Prioridades de mitigación e implementación a través de una propuesta integrada

Basados en la evaluación del sistema, se pueden identificar los componentes deficientes desde el punto de vista sísmico y se pueden priorizar de acuerdo con su importancia para la operación del sistema.

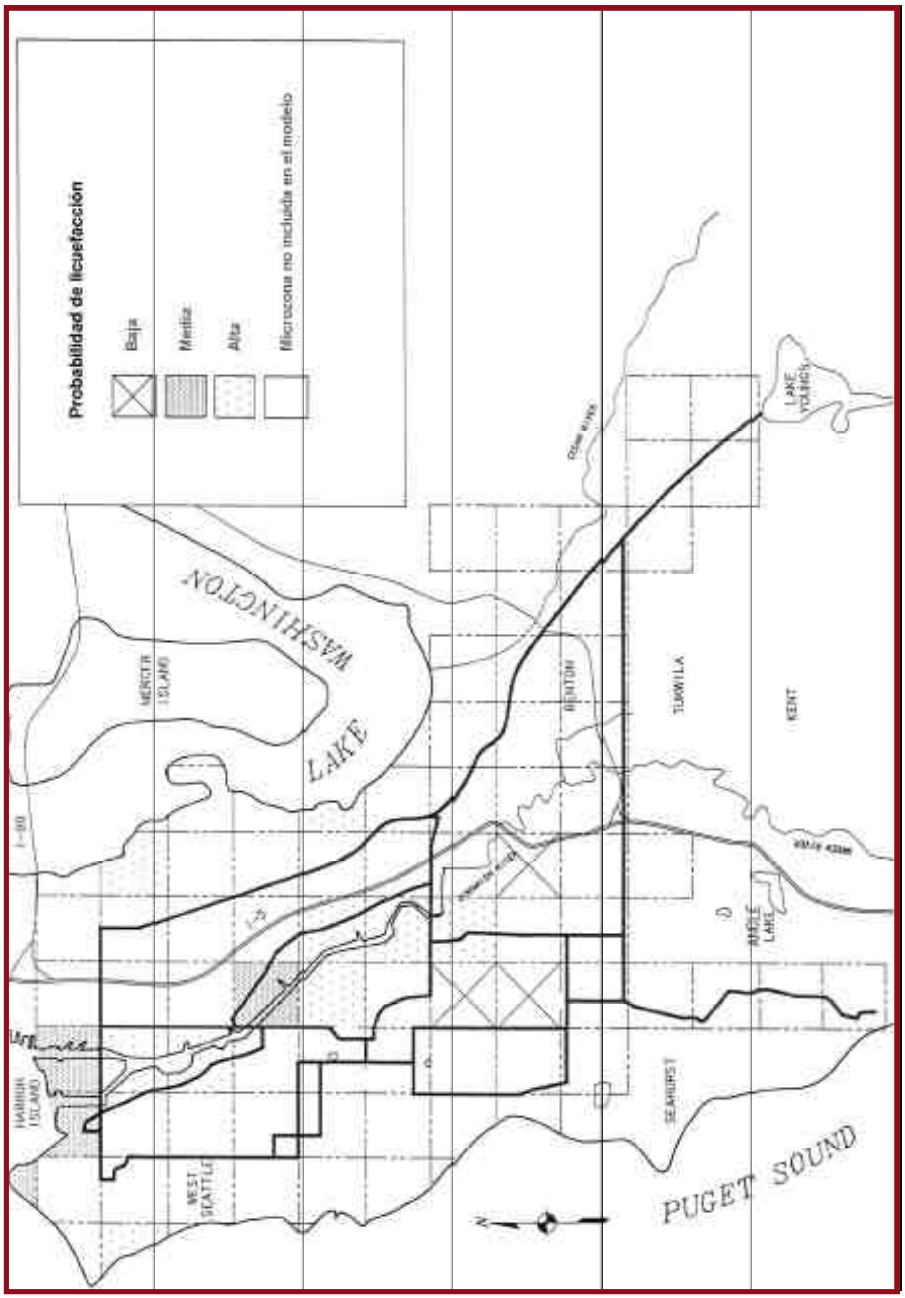
Luego, esta información se debe combinar con los datos sobre planificación, inversión en mejoramiento y mantenimiento para elaborar un programa integrado que incorpore medidas de mitigación de sismos. La información sobre planificación puede identificar aspectos de calidad del agua relacionados con la interconexión de múltiples fuentes. Adicionalmente, se pueden identificar las demandas crecientes del sistema que requieren la adición de una nueva fuente o línea de conducción. Se pueden planificar proyectos de repavimentación para segmentos específicos de carreteras (los costos de construcción de nuevas conducciones se verían reducidos cuando fueran incorporados a un proyecto vial). Asimismo, se puede implementar un programa de reemplazo de las tuberías que requieran un alto mantenimiento.

Con esa información se puede elaborar un plan de mejoramiento integral que aborde los aspectos de crecimiento y mantenimiento, a la vez que incorpore medidas de mitigación de sismos.



Fuente: Kennedy, Jenks, Chilton (1990b)

Figura 95. Mapa de la Intensidad de Mercalli Modificada para la parte sur de Seattle, Washington, para un sismo de magnitud 7,5.



Fuente: Kennedy, Jenks, Chilton (1990b)

Figura 96. Mapa que muestra la susceptibilidad a la licuefacción de la parte sur de Seattle, para un sismo de magnitud 7,5.

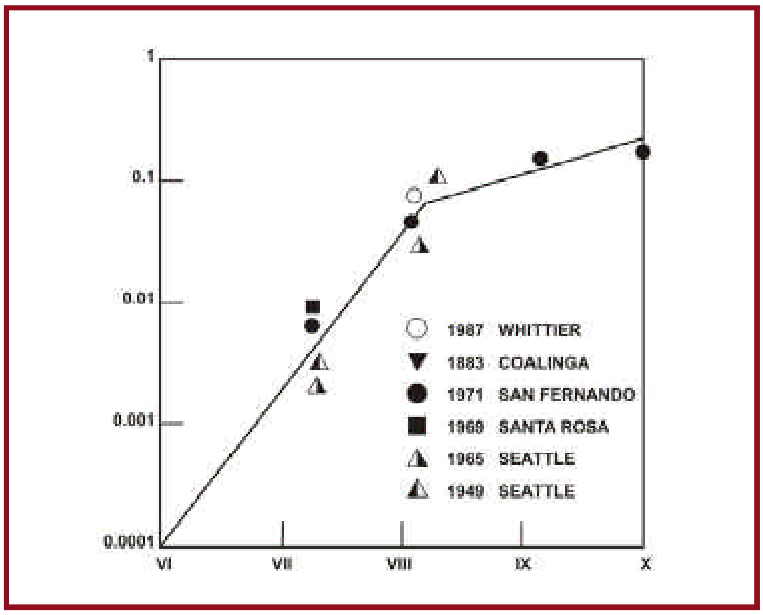


Figura 97. Algoritmo para la identificación de daños a tuberías debido a la vibración del terreno que muestra reparaciones por 1.000 pies (305 m) en función de la MM.

Fuente: Harding Lawson Associates, et. al. (1991)

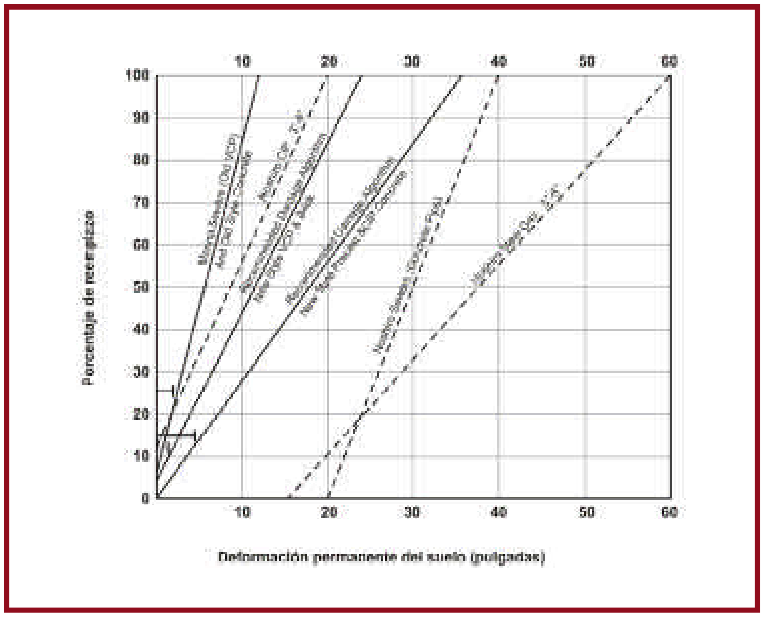
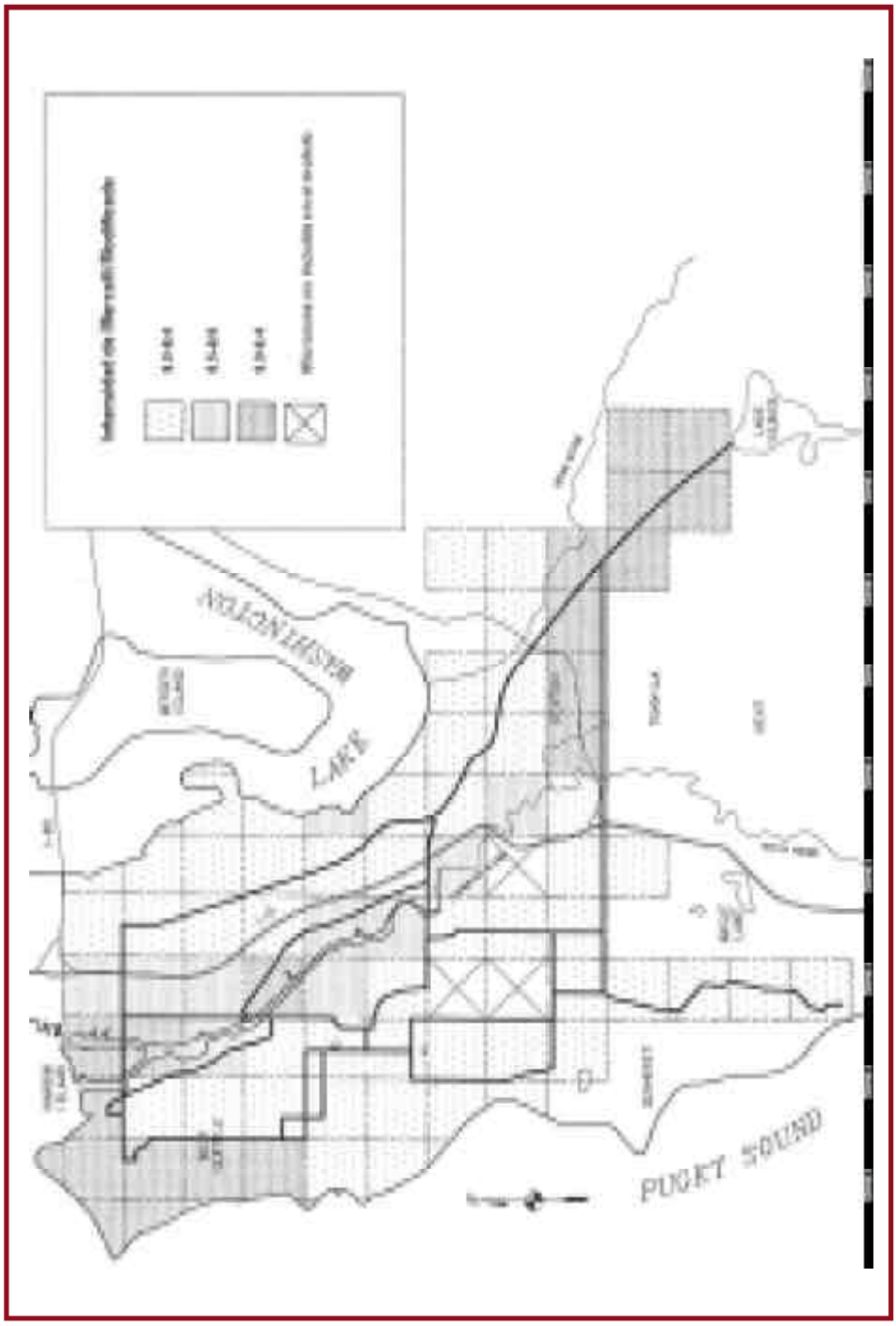


Figura 98. Algoritmo para la identificación de daños a tuberías debido a la licuefacción y al flujo lateral que muestra el porcentaje de reemplazo en función de la deformación permanente del suelo.



Fuente: Kennedy,Jenks, Chilton (1990b)

Figura 99. Presión del sistema en la mitad sureña de Seattle después de un escenario de sismo de magnitud 7,5, elaborado según el modelo de estimación de pérdidas.

CAPÍTULO 5

MONITOREO Y CONTROL DEL SISTEMA

La estrategia propuesta para reducir la pérdida de agua debido a la ruptura de tuberías después de un sismo es monitorear el movimiento sísmico del terreno y la presión o caudal del sistema de agua. Con esa información se pueden aislar los componentes dañados del sistema para ahorrar agua. Los reservorios se pueden aislar de las tuberías dañadas en el sistema de distribución o también las áreas dañadas del sistema de conducción-distribución se pueden aislar de los componentes del sistema que no fueron afectados.

Razones para usar los sistemas de monitoreo y control

Los sistemas de monitoreo y control se pueden aplicar por dos razones: (1) los tanques de agua se vaciaron debido a la ruptura de tuberías en sismos recientes o (2) las tuberías vulnerables son muy costosas de reemplazar.

La ruptura de tuberías durante un sismo y el consecuente desagüe del reservorio es algo que sucede a menudo. El agua que se pierde inmediatamente después de un sismo generalmente no puede ser reemplazada durante varios días a raíz de los cortes de energía que ponen fuera de funcionamiento a las bombas o debido al daño a las tuberías del sistema de conducción.

En el sismo de Whittier Narrows de 1987, uno de los reservorios del sistema de agua de la ciudad de Whittier, California, se vació aproximadamente 4 pies (1,2 m) a través de las tuberías dañadas antes de que el personal pudiera aislar el tanque. El sismo ocurrió durante horas normales de trabajo; si hubiera ocurrido durante la noche o en un fin de semana, el tanque se hubiera vaciado por completo.

En el terremoto de Loma Prieta de 1989, el sistema auxiliar de abastecimiento de agua de San Francisco, California, no pudo suministrar el agua requerida para la extinción de incendios en el distrito Marina porque el daño al sistema de tuberías hizo que el tanque de la calle Jones se vaciara. Un reservorio que abastecía a una zona de presión crítica en el sistema de agua de Santa Cruz, que suministraba agua a dos hospitales, se vació durante el mismo terremoto. Debido a que el sistema no pudo volver a ser llenado después del daño, fue aislado porque hubo un corte de luz.

En Rio Dell, California, luego de los terremotos de Cabo Mendocino de 1992, un reservorio se vació debido a la ruptura de una tubería dispuesta en un puente. La ciudad se quedó sin agua por cuatro días.

El reemplazo de todos los materiales de las tuberías del sistema de agua que son vulnerables a un sismo constituiría una medida de mitigación costosa. El sistema de agua de Seattle, Washington, tiene aproximadamente 2.400 km de tuberías de 12 pulgadas (305 mm) de diámetro, o menos, y aproximadamente 550 km de tuberías de más de 12 pulgadas (305 mm) de diámetro. Aproximadamente seis por ciento se encuentra en áreas altamente vulnerables a la licuefacción. La mayor parte del sistema ha sido construido con tuberías de hierro fundido. El costo estimado para reemplazar todo el sistema con tuberías de hierro dúctil o acero soldado sobrepasaría US$ 1,5 mil millones; solamente el reemplazo de tuberías en áreas particularmente vulnerables tendría un costo estimado de US$ 100 millones. Estos costos exceden el presupuesto financiero del Departamento de Agua de Seattle destinado al reemplazo de tuberías vulnerables. Sin embargo, para otros sistemas, el reemplazo de tuberías críticas de conducción o distribución en áreas con suelos particularmente vulnerables podría justificarse desde el punto de vista económico.

Dependiendo de la configuración del sistema de agua, se puede implementar una medida de monitoreo y control para mitigar los efectos de algunos daños a un costo menor que el requerido para el reemplazo de tuberías vulnerables.

Alternativas de monitoreo y control

El control sísmico de un sistema de agua se puede llevar a cabo mediante el uso de interruptores sísmicos que se activan cuando se produce una aceleración máxima del suelo (PGA) umbral, un exceso de caudal a través de una tubería o una reducción en la presión del sistema. También se puede dar una combinación de estas tres alternativas.

Foto: D.B. Ballantyne

Figura 100. Interruptor sísmico que controla la válvula de corte en Yokosuka, Japón.

Los interruptores sísmicos (figura 100) desconectan el sistema antes de que se produzca alguna inundación o pérdidas secundarias, tales como erosión. Desafortunadamente, los interruptores se activarían independientemente del estado de funcionamiento del sistema. Puede que el daño a la tubería sea solo moderado y que el suministro de agua pueda mantener la demanda a pesar de las pérdidas de agua del sistema. Si ese fuera el caso, se preferiría mantener el sistema en operación a tener que interrumpirlo. La PGA umbral de activación del dispositivo debe ser calibrada a un nivel en el que se espera que ocurran daños significativos a la tubería.

La ventaja de activar la válvula de corte cuando se produce un exceso de caudal es que refleja la condición real del sistema; es decir, la válvula solo se cerrará si el caudal es alto. También puede ser útil monitorear roturas de tuberías que no fueron causadas por sismos. Se debe tener cuidado al seleccionar el límite de rebose que produciría el cierre de la válvula de corte; hay que considerar la carga máxima así como el flujo requerido para la extinción de incendios. No resultaría conveniente interrumpir un sistema que está distribuyendo agua para la extinción de incendios pero que no está dañado.

La ventaja de activar la válvula de corte en caso de que se reduzca la presión del sistema es que refleja el comportamiento global del sistema y no solo los flujos localizados. La desventaja es que no puede definir adecuadamente la función del sistema local.

Control y monitoreo local versus central

Las decisiones respecto al monitoreo y control del sistema se pueden tomar en el ámbito local mediante un sistema automatizado. Las decisiones sobre el control local se basarían en niveles umbrales

predefinidos, como ya se discutió. La ventaja principal del monitoreo y control local es que es altamente confiable y su desventaja es que los valores umbrales predefinidos pueden no ser apropiados para todas las situaciones.

Como parte del plan de respuesta frente a emergencias, los sistemas más pequeños pueden incorporar un dispositivo de cierre manual de válvulas para aislar algún componente del sistema.

La información sobre la condición del sistema se puede transmitir a una ubicación central con el Sistema de Adquisición de Datos y Control de Supervisión (SCADA, Supervisory Control and Data Acquisition) (figura 101), donde se pueden tomar decisiones sobre el control, ya sea manualmente o con el uso de una computadora. Los operadores del sistema deben estar capacitados para aislar manualmente segmentos del sistema de conducción o distribución desde su ubicación central usando el sistema SCADA. Las decisiones se deben tomar sobre la base de la información recibida acerca de la condición del sistema. Generalmente, los operadores del sistema comprenden muy bien cómo operan sus sistemas y podrían capacitarse para estudiar más detenidamente las condiciones de operación en caso de sismos.

Foto: D.B. Ballantyne

Figura 101. Torre de microondas para el sistema SCADA.

La información podría introducirse directamente a una computadora para tomar decisiones sobre el control a fin de retransmitirla a la ubicación remota usando el sistema SCADA. Una alternativa intermedia sería que los operadores usen la computadora como una herramienta que los ayude a tomar decisiones sobre la operación.

La desventaja principal de la toma de decisiones en el nivel central es la poca confiabilidad del sistema SCADA.

Válvulas de control

Existe una gama de equipos de control, incluida una variedad de válvulas y actuadores de válvulas. El factor primario en la selección del sistema es la confiabilidad. Los dos tipos de válvulas más frecuentes para el aislamiento son las válvulas de globo y las de mariposa. Se han utilizado válvulas de compuerta, pero son difíciles de operar con fuentes de energía almacenada en el lugar, tales como baterías o aire comprimido.

Las válvulas de globo, configuradas como válvulas de reducción de presión o válvulas controladoras de nivel, se activan con la presión de agua del sistema, pero no operarán si el sistema ha sido desaguado. Se usan comúnmente como válvulas controladoras para limitar el nivel máximo del agua en un reservorio o como válvulas de reducción de presión para llevar agua desde una zona de presión más alta a una más baja. Su ventaja reside en que usan la presión del sistema para activarse y en que probablemente ya se encuentren instaladas y estén siendo usadas para otros propósitos. Su desventaja es que no operarán si no hay agua en el sistema.

Las válvulas de mariposa se activan al darles un cuarto de vuelta, en lugar de múltiples vueltas como es el caso de la válvula de compuerta. Para activarlas, se pueden utilizar actuadores hidráulicos o neumáticos. La energía se puede almacenar sin problemas en forma de aire comprimido o nitrógeno para poder propulsar los actuadores.

Otra posibilidad sería utilizar actuadores eléctricos. El sistema no debe depender del suministro ininterrumpido de energía eléctrica comercial para poder operar. Las válvulas que requieren actuadores eléctricos necesitan generadores de emergencia. Entre las desventajas se encuentran sus altos costos de capital y de mantenimiento, y su falta de confiabilidad.

Las baterías, que continuamente son recargadas por dispositivos de carga lenta, son útiles para la operación de los sistemas SCADA, interruptores sísmicos y solenoides para válvulas piloto.

Configuraciones del aislamiento

En esta sección se describen tres configuraciones del sistema de monitoreo y control del aislamiento.

Aislamiento del reservorio

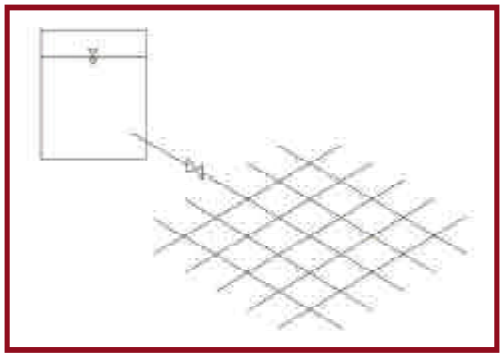


Figura 102. Aislamiento del reservorio con válvulas sísmicas.

Foto: D.B. Ballantyne

Figura 103. Válvula de corte activada por sismos en Yokosuka, Japón.

Los reservorios se pueden aislar de las tuberías dañadas en el sistema de distribución (como se muestra en la figura 102) al instalar en o cerca del reservorio una válvula de corte o aislamiento (figura 103). Dicha válvula se activaría con el movimiento sísmico del terreno, el exceso de caudal o la reducción de presión, y aislaría el reservorio del sistema. Como mínimo, una práctica recomendable es tener una válvula operada manualmente en la salida de cada reservorio. El agua se almacenaría en el reservorio; sin embargo, dependiendo de la configuración, el sistema de distribución podría ser puesto fuera de servicio. Observe que en algunas configuraciones, el área de distribución puede ser alimentada por múltiples reservorios o fuentes. En ese caso, cerrar un reservorio no produciría la interrupción total del sistema. La acción que tomaría el personal de operaciones sería evaluar los sistemas de conducción y distribución, y aislar las áreas afectadas. Una vez que dichas áreas hayan sido aisladas, se volvería a abrir la válvula de corte del reservorio para que siga funcionando en el componente intacto del sistema. Se espera llevar a cabo esta actividad de la manera más rápida posible y en estrecha coordinación con el departamento de bomberos. Potencialmente, el agua se destinaría a las zonas de incendio y el personal de operaciones se encargaría de abrir y cerrar las válvulas apropiadas. El agua almacenada también podría estar disponible en camiones cisterna para la extinción de incendios o para bebida. Esta alternativa tiene diversas ventajas:

- Se ahorraría agua independientemente del daño de las tuberías, suponiendo que el reservorio permanezca intacto.
- Sería menos costosa que el aislamiento del área y solo se requeriría una válvula para cada reservorio.
- La válvula puede ya estar instalada como una válvula controladora de nivel y solo se requeriría equipo piloto adicional.

Sin embargo, esta alternativa también tiene algunas desventajas:

- Puede que no haya presión de agua suficiente para las tareas de extinción de incendios o para ayudar al personal de operaciones a identificar las fugas.
- Todo el sistema puede ser interrumpido durante el proceso de identificación de fugas, lo cual podría generar problemas asociados con la contaminación crítica del sistema de agua o la reactivación oportuna del sistema.

Aislamiento en los cruces de falla o río

Se podría instalar una válvula de corte en cada lado de una tubería altamente vulnerable, como un cruce de falla o río. Esta configuración se muestra en la figura 104. Las mismas inquietudes respecto al aislamiento del reservorio se aplican al aislamiento de los cruces de falla o río.

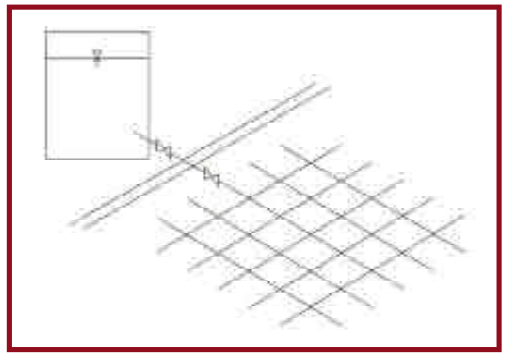


Figura 104. Aislamiento con válvulas sísmicas de un cruce de falla o río.

Aislamiento de áreas vulnerables

Las áreas predefinidas de las redes del sistema de conducción o distribución que son vulnerables se pueden aislar de las áreas del sistema que tienen probabilidad de permanecer intactas, como se muestra en la figura 105. Las áreas que son particularmente vulnerables a sufrir daños en las tuberías, como aquellas que son susceptibles a la licuefacción, serían aisladas del resto del sistema. Las válvulas de corte se activarían por el movimiento sísmico del terreno, por el exceso de caudal, o por la reducción en la presión del sistema.

La ventaja principal de esta alternativa es que áreas importantes del sistema permanecerían en funcionamiento después del terremoto. Esto podría mitigar los problemas asociados con el servicio de agua, la contaminación del sistema de agua o la reactivación inmediata del sistema.

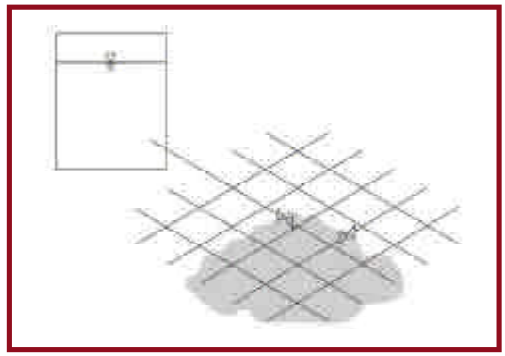


Figura 105. Aislamiento del área con válvulas sísmicas donde las tuberías son vulnerables debido a la alta licuefacción.

Este tipo de sistema puede requerir la instalación y el mantenimiento de nuevas válvulas específicamente para este propósito. También depende de saber dónde se romperá la tubería. Si se produjera daño considerable a las tuberías en el área que no fue aislada, el reservorio aún podría desaguarse.

Configuraciones del sistema

Las configuraciones del sistema de agua varían considerablemente y un sistema depende de su configuración para saber si se presta o no al monitoreo y control. A continuación se incluyen las configuraciones de algunos sistemas de Estados Unidos.

Sistema de agua de Seattle, Washington, cuenta con grandes reservorios que alimentan a pocas tuberías importantes de distribución; por tanto, dichos reservorios podrían ser aislados. Asimismo, el sistema de Seattle tiene un área en particular que es mucho más vulnerable a la licuefacción que otras áreas; dicha área podría ser aislada.

Sistema de la ciudad de Bellevue, Washington, es abastecido por una sola tubería de conducción importante que atraviesa su sistema de norte a sur. La línea piezométrica de esta tubería es lo suficientemente alta para abastecer a la mayor parte del sistema por gravedad. El sistema se divide en 23 zonas de presión alimentadas a través de válvulas de reducción de presión que hacen que el agua caiga en cascada a través del sistema. El sistema de Bellevue se puede prestar a un sistema de monitoreo y control al monitorear y aislar zonas completas de presión. Se pueden añadir sistemas de control a las válvulas de reducción de presión existentes. No se requerirían nuevas válvulas de corte, lo cual reduciría de manera significativa los costos de instalación.

Sistema de agua de Memphis, Tennessee, que es abastecido por un gran número de pozos pequeños y reservorios apoyados. El sistema se encuentra interconectado a través de una red de tuberías y sería fácil aislar un reservorio de almacenamiento al cerrar una bomba impulsora que bombea agua al sistema. Desafortunadamente, el sistema está tan interconectado que aislar un solo reservorio no resultaría muy eficaz. El aislamiento de una sección vulnerable del sistema de distribución sería difícil y requeriría un gran número de válvulas de control. Las condiciones subterráneas son tales, que existe un alto potencial de licuefacción cerca de los ríos Mississippi y Wolf y Nonconnah Creek. El sistema de Memphis se puede prestar al aislamiento de tuberías críticas en áreas particularmente vulnerables, tales como cruces de río.

Inquietudes

El aislamiento de reservorios o segmentos dañados de un sistema de agua después de un sismo es una alternativa de mitigación viable para permitir que las áreas no afectadas del sistema sigan operando. Lo que resulta inquietante es que algunos segmentos del sistema quedarán aislados inadvertidamente aun cuando no haya ocurrido un sismo, pero no haya causado daño significativo al sistema de agua. Esta sección aborda dichas inquietudes.

Impactos asociados con el servicio crítico

El suministro continuo de agua es de vital importancia para ciertos servicios como las unidades de diálisis renal, hospitales, grandes centros de comunicaciones y de cómputo, y sistemas contra incendios; estos últimos pueden incluso ser más críticos después de un terremoto. Los sistemas de control del aislamiento discutidos aquí proponen desconectar automáticamente determinados sectores de un sistema de agua. Sin embargo, puede haber responsabilidades asociadas con dichos sistemas, particularmente si la interrupción ocurre como consecuencia del mal funcionamiento del sistema de control. Por ejemplo, un edificio con aspersores contra incendios podría quemarse o el funcionamiento del hospital podrían resultar afectadas.

Contaminación de la fuente de agua potable

Cuando un sistema de agua se suspende y se desagua por el uso ininterrumpido del agua, existe una mayor probabilidad de que el sistema se contamine por el retrosifonaje a través de conexiones cruzadas o infiltración de aguas subterráneas contaminadas. La probabilidad es mucho mayor después de un sismo si las tuberías matrices de agua y desagüe se rompen, lo cual podría permitir el paso de aguas residuales a la tubería matriz de agua. Por esta razón, los proveedores de agua tienen procedimientos establecidos para mantener los sistemas en operación. Si los sistemas son interrumpidos intencionalmente, el personal de operaciones debe hacer todo lo posible para minimizar la posibilidad de que se contaminen las tuberías. Este es un proceso que demanda tiempo.

Reactivación inmediata del sistema

El llenado de las tuberías puede llevar mucho tiempo. Normalmente, cuando una tubería ha sido vaciada y luego se ha vuelto a llenar o cuando se llena por primera vez, este proceso se realiza lentamente para permitir el escape de aire y minimizar la ocurrencia del golpe de ariete, lo cual podría dañar la tubería. Después del terremoto de Loma Prieta, se desaguó una parte del sistema auxiliar de abastecimiento de agua del Departamento de Bomberos de San Francisco. El equipo de bomberos decidió no llenarlo rápidamente debido a que temían que se produjera el golpe de ariete y daños adicionales a la tubería. Si se interrumpe el funcionamiento de un componente del sistema de agua y éste se desagua inadvertidamente, se debe tener en cuenta el escape de aire y el golpe de ariete cuando se vuelva a llenar para evitar que se produzcan daños.

Confiabilidad

Existen muchas inquietudes respecto a la confiabilidad del sistema de monitoreo y control. Los sistemas diseñados únicamente para controlar la operación del sistema después de un sismo tal vez se usen solo una vez cada 25 años o más. El personal de operaciones es escéptico respecto al mantenimiento del equipo que se usa regularmente, mucho más del equipo que solo se usaría una vez en la vida util del sistema. Un sistema de control de sismos combinado con un sistema que se usa y mantiene regularmente puede resultar más adecuado.

Se puede preferir un sistema local de monitoreo y control antes que un sistema centralizado. El sistema SCADA no solo depende del hardware encargado de transmitir y recibir la información en ambos extremos del sistema, sino también de que el corredor de transmisión conecte dichos extremos. Los cables enterrados están expuestos a daños sísmicos debido al flujo lateral y al movimiento de las fallas. Las torres de microondas para los sistemas SCADA conectados por radio pueden desalinearse en caso de sismos. Una falla en el SCADA del sistema de agua de Seattle produjo la activación incorrecta de una señal bajo condiciones no sísmicas. Asimismo, en Seattle, la ruptura de un solo cable enterrado generó la disfunción de todo el sistema de agua.

Los aspectos de hardware relacionadas con el cierre de válvulas y la confiabilidad del suministro de energía ya han sido abordados. La confiabilidad de cada sistema de monitoreo y control del aislamiento se debe evaluar durante la configuración.

Costo

La instalación de los sistemas SCADA y las válvulas de corte específicamente para el control de sistemas después de un sismo es costosa. Es mejor usar las válvulas existentes y modificar la estrategia para lograr el control deseado del sistema después de un sismo. Un ejemplo es el sistema de agua de Bellevue, que es abastecido a través de una serie de válvulas de reducción de presión. Por un costo mínimo, se podrían añadir interruptores sísmicos a los sistemas piloto de las válvulas de reducción de presión seleccionadas.

Recomendaciones

El impacto, la contaminación, la reactivación inmediata del sistema y la confiabilidad son problemas asociados a la interrupción involuntaria del sistema. Para atenuar la gravedad de la interrupción involuntaria se debe mejorar la confiabilidad del control o usar fuentes o reservorios alternos.

Mejoramiento de la confiabilidad del control

La confiabilidad del control se puede mejorar al fortalecer el sistema de control o brindar redundancia y flexibilidad. El fortalecimiento del sistema puede incluir la selección de sistemas y diseños sismorresistentes para cada componente del sistema, tales como:

- sistemas de telemetría radial, en lugar de sistemas cableados debido a la vulnerabilidad de los conductos enterrados al movimiento permanente del terreno;
- estructuras sismorresistentes que albergan componentes del sistema;
- anclajes para los equipos, y
- suministro de energía de emergencia para sistemas que dependen de la energía eléctrica.

La redundancia y flexibilidad en el sistema de control puede incluir:

- sistemas de telemetría radiales y cableados;
- actuadores accionados eléctrica o neumáticamente con previsiones para mecanismos de anulación de las funciones automáticas y operación manual;
- decisiones en el ámbito local respecto a la apertura y cierre de válvulas de control con mecanismos de anulación de las funciones automáticas en el centro de operaciones del nivel central;
- una combinación de válvulas activadas por sismos o por un exceso de caudal, que necesitan exceder el umbral establecido para activarse;
- sistemas de control con componentes redundantes, y
- personal capacitado que sepa cómo operar el sistema y tomar acción en caso de emergencias.

Uso de fuentes o reservorios alternos

La provisión de fuentes o reservorios alternos o redundantes para cada sistema o componente del mismo (figura 106) minimizará las incertidumbres relacionadas con la interrupción involuntaria. La estrategia de control debería aislar uno de las fuentes o reservorios y permitir que el otro continúe funcionando. Se tienen dos escenarios:

- un sismo que causa daños significativos al sistema de agua
- la activación involuntaria del sistema de aislamiento.

Si un sismo causa un daño significativo al sistema de agua, el agua del suministro o reservorio aislado permanecería almacenada hasta haber aislado los componentes dañados. Se perdería el suministro o el reservorio que se dejó en funcionamiento. El personal de mantenimiento identificaría y aislaría las fugas, y abriría la válvula de corte del reservorio.

Si la activación del sistema de aislamiento es involuntaria, todo el sistema de agua continuaría operando y sería abastecido por el reservorio en funcionamiento. El reservorio aislado luego se reactivaría una vez que el personal de mantenimiento se haya percatado del aislamiento involuntario.

Puede haber casos en que una sola fuente de suministro o reservorio resultara inadecuado para abastecer las demandas normales, y se requiera dos fuentes o reservorios. Esta necesidad deberá ser considerada en el diseño de los sistemas de aislamiento.

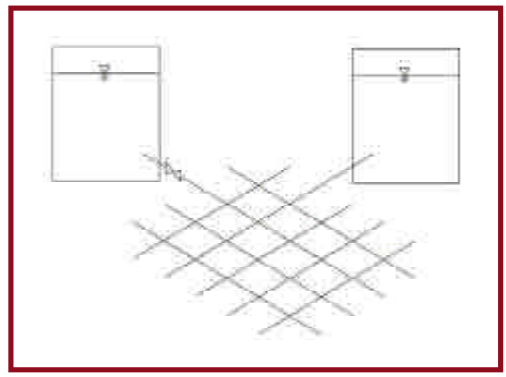


Figura 106. En sistemas con dos suministros es preferible una válvula sísmica que controle a uno de los suministros.