Serie Mitigación de Desastres

Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario

Guías para el análisis de vulnerabilidad

Organización Panamericana de la Salud
Oficina Regional de la
Organización Mundial de la Salud

Washington, D.C., 1998

Publicado en inglés con el título:
Natural Disaster Mitigation in Drinking Water and Sewerage Systems: Guidelines for Vulnerability Analysis

Foto de la cubierta: OPS/OMS

ISBN 92 75 32250 3

Catalogación por la Biblioteca de la OPS:

Organización Panamericana de la Salud
Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado. Washington, D.C.,: OPS, c1998. 110 p. -- (Serie Mitigación de Desastres).
ISBN 92 75 32250 3
I. Título. II. (series)
1. MITIGACIÓN PREVIA AL DESASTRE. 2. DESASTRES NATURALES. 3. ANALISIS DE VULNERABILIDAD. 4. ABASTECIMIENTO DE AGUA — normas. 5. EMERGENCIAS EN DESASTRES.
LC HV553

© Organización Panamericana de la Salud, 1998

Una publicación del Programa de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Coordinación del Socorro en Casos de Desastre, OPS/OMS.

Las opiniones expresadas, recomendaciones formuladas y denominaciones empleadas en esta publicación no reflejan necesariamente los criterios ni la política de la OPS/OMS ni de sus estados miembros.

La Organización Panamericana de la Salud dará consideración favorable a las solicitudes de autorización para reproducir o traducir, total o parcialmente, esta publicación. Las solicitudes deberán dirigirse al Programa de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Coordinación del Socorro en Casos de Desastre, Organización Panamericana de la Salud, 525 Twenty-third Street, N.W., Washington, D.C. 20037, EUA; fax: (202) 775-4578; correo electrónico: disaster@paho.org.

La realización de esta publicación ha sido posible gracias al apoyo financiero del Ministerio de Relaciones Exteriores de la República Federal de Alemania, Grupo de Trabajo Ayuda Humanitaria, la División de Ayuda Humanitaria Internacional de la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (IHA/CIDA) y la Oficina de Asistencia al Exterior en Casos de Desastre de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (OFDA/AID).

Contenido

Prefacio y Agradecimientos . . . . . **vii**

Introducción **1**

Capítulo 1
Planificación para la atención de emergencias y desastres **5**
Introducción 5
Programa de Atención de Emergencias y Desastres 5
Institucionalización y organización del programa 6
Aspectos legales 7
Organización institucional 7
Coordinación interinstitucional 9
Análisis de vulnerabilidad 9
Plan de mitigación 9
Plan de emergencia 10

Capítulo 2
Fundamentos para el análisis **13**
Introducción 13
Concepto de vulnerabilidad 14
Naturaleza del problema 15
Comportamiento esperado de los componentes físicos
de los sistemas de saneamiento 15
Cuantificación de la vulnerabilidad 15
Cuándo debe hacerse un análisis de vulnerabilidad 16
Cálculo de la vulnerabilidad física 16
Esquema general 16
Matrices de probabilidad de daños y/o falla 17
Vulnerabilidad de los sistemas 18
Matrices 1A y 1B: Aspectos operativos 19
Matriz 2: Aspectos administrativos 19
Matriz 3: Aspectos físicos 20
Matriz 4A y 4B: Medidas de mitigación y emergencia 21

Capítulo 3
Descripción de las amenazas naturales y de sus efectos
en los sistemas de agua potable y alcantarillado **23**
Introducción 23
Características de las amenazas y principales efectos 24
Terremotos 24

Intensidad de Mercalli 27
Cálculo de la vulnerabilidad física del sistema 27
Efectos generales de los terremotos 29
Daños producidos por terremotos 29
Huracanes 38
Cálculo de la vulnerabilidad y tipificación de los componentes 40
Cálculo de la vulnerabilidad física del sistema 40
Efectos generales de los huracanes 41
Daños producidos por huracanes 41
Inundaciones 42
Generalidades 42
Factores que afectan la escorrentía en una cuenca 42
Variación y patrones de precipitación 43
Evaluación de la amenaza y mapas de riesgos 43
Efectos generales de las inundaciones 43
Contaminación del agua potable por inundaciones 44
Daños por inundaciones 44
Deslizamientos 45
Antecedentes históricos 46
Geología de la región 46
Topografía y estabilidad 47
Pluviosidad 47
Erosión 47
Licuefacción debido a sismos 47
Tipos más importantes de deslizamientos 48
Efectos generales de los deslizamientos 49
Daños producidos por los deslizamientos 50
Erupciones volcánicas 52
Areas de impacto 52
Evaluación de la amenaza 52
Recurrencia 53
Efectos generales de erupciones volcánicas 53
Daños producidos por erupciones volcánicas 53
Sequías 54
Efectos generales de las sequías 54
Daños producidos por las sequías 54

Capítulo 4
Análisis de vulnerabilidad 57
Introducción 57
Identificación de la organización y la legislación vigentes 57
Descripción de la zona, del sistema y su funcionamiento 58
Metodología 58
Matriz 1A - Aspectos operativos (sistemas de agua potable) 58
Matriz 1B - Aspectos operativos (alcantarillado sanitario) 61
Matriz 2 - Aspectos administrativos y capacidad de respuesta 61

Organización institucional 61
Operación y mantenimiento 63
Apoyo administrativo 63
Matriz 3 - Aspectos físicos e impacto en el sistema 63
Componentes expuestos 65
Estado del componente 65
Daños estimados 65
Tiempo de rehabilitación (TR) 66
Capacidad remanente 68
Impacto al servicio 68
Matriz 4A - Medidas de mitigación y de emergencia (aspectos administrativos y operativos) 68
Matriz 4B - Medidas de mitigación y de emergencia (aspectos físicos) 70

Anexos
Anexo 1: Ejemplos de efectos de sismos en sistemas de tuberías 73
Anexo 2: Ejemplo de aplicación en la ciudad de Limón, Costa Rica 81
Introducción 81
El estudio de caso, ciudad de Limón, Costa Rica 81
Amenaza sísmica en la ciudad de Limón 83
Matriz 1A - Aspectos operativos 84
Matriz 1B - Aspectos operativos 85
Matriz 2 - Vulnerabilidad administrativa de la empresa y capacidad de respuesta 86
Matriz 3 - Aspectos físicos y de impacto en el servicio 88
Matriz 4A - Medidas de mitigación y emergencia (Aspectos administrativos y operativos) 90
Matriz 4B - Medidas de mitigación y emergencia (Aspectos físicos) 93
Anexo 3: Método aproximado para la estimación de daños en tuberías como consecuencia de sismos intensos 95
Introducción 95
Evaluación de la amenaza sísmica 95
Estimación de la vulnerabilidad 96
Cálculo del número esperado de fallas por kilómetro 97

Definiciones 99

Bibliografía 101

Prefacio y Agradecimientos

Desde hace varios años la Organización Panamericana de la Salud ha venido prestando apoyo técnico para que las empresas administradoras de los sistemas de agua potable y alcantarillado en América Latina y el Caribe mejoren su preparación y planificación frente a los desastres y las emergencias. En 1993 se publico el cuaderno técnico "Planificación para atender situaciones de emergencia en sistemas de agua potable y alcantarillado", una guía de gran utilidad para organizar y planificar la respuesta a las emergencias que se pudiesen presentar.

Conscientes de que para asegurar la continuidad y calidad de los servicios de agua potable y alcantarillado durante situaciones de emergencias y desastres, además de contar con los planes de atención de emergencia, era necesario identificar e implementar las medidas de prevención y mitigación frente a desastres en los distintos componentes de estos sistemas, damos ahora un paso adelante con esta nueva publicación sobre aspectos de mitigación de desastres.

El libro es una caja de herramientas básicas que las empresas prestadoras de estos servicios pueden utilizar para estudiar e identificar las vulnerabilidades existentes en sus sistemas frente a las más importantes amenazas naturales que les pueden afectar (terremotos, huracanes, inundaciones, deslizamientos, erupciones volcánicas y sequías), y una vez identificadas, puedan planificar y ejecutar las necesarias medidas de mitigación.

La obra es el final de un largo proceso. Ha sido elaborado partiendo de las "Guías para la elaboración del análisis de vulnerabilidad de sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario", preparadas por Herber Farrer para el Centro Panamericano de Ingeniaría Sanitaria (CEPIS) en 1996, y con la aportación de cuatro estudios de casos realizados con la apoyo financiero del Ministerio de Relaciones Exteriores de la República Federal de Alemania, Grupo de Trabajo Ayuda Humanitaria. El propósito de estos cuatro estudios fue validar la metodología planteada en el libro que presentamos. Fueron los siguientes: uno frente a terremotos hecho en Costa Rica por Saúl Trejos, otro frente a deslizamientos elaborado por José Grases en Venezuela, un tercero sobre inundaciones realizado en Brasil por Ysnard Machado, y el cuarto ejecutado en Barbados por David Lashley sobre huracanes y erupciones volcánicas. Gracias a la importante contribución técnica de todos ellos ha sido posible esta nueva publicación.

Hay que agradecer también a Vanessa Rosales de Costa Rica sus importantes comentarios y sugerencias para la versión final de este texto.

Introducción

La Región de las Américas es una zona expuesta a todo tipo de amenazas naturales. Terremotos, huracanes, erupciones volcánicas, inundaciones, deslizamientos o sequías afectan a un gran numero de países, provocando con mucha frecuencia graves desastres. El número de muertes, heridos o afectados, los daños a las infraestructuras, la desorganización de los servicios y las perdidas económicas son cada vez mayores, y se han convertido en una autentica amenaza para el desarrollo de los países de América Latina o el Caribe.

La Tabla 1 resume algunos de los desastres más importantes de los últimos años.

Tabla 1
Desastres recientes que han afectado a América y el Caribe

Año	Fenómeno	Nombre	Areas más afectadas
1987	Terremoto	Prov. Napo	Ecuador
1989	Huracán	Hugo	Puerto Rico y Caribe
1989	Terremoto	Loma Prieta	California, EUA
1991	Incendio forestal		California, EUA
1991	Terremoto	Limón	Costa Rica
1992	Huracán	Andrew	Florida, EUA
1993	Inundaciones		EUA
1994	Terremoto	Northridge	California, EUA
1995	Huracán	Luis	Caribe
1995	Terremoto	Trans-Cutucu	Ecuador
1995	Volcán	Soufrière Hills	Montserrat
1995	Huracán	Marilyn	Puerto Rico, Caribe
1996	Terremoto	Nasca	Perú
1996	Huracán	Fran	EUA
1997	Terremoto	Cariaco	Venezuela
1998	Terremoto	Aiquile-Totora	Bolivia

La suma de esas tradicionales amenazas naturales con el incremento de la vulnerabilidad provocado por la acción del hombre en los procesos de desarrollo, industrialización, urbanización exagerada y deterioro del medio ambiente, ha disparado la frecuencia de los desastres, y especialmente el efecto de los mismos. Estos desastres tienen un ciclo que comprende la etapa anterior a su impacto, la respuesta al mismo y las acciones de reconstrucción y rehabilitación. Los costos de estas ultimas consumen gran parte de los recursos disponibles, reducen las fuentes para nuevas inversiones y pueden atrasar los programas de desarrollo.

Los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario cumplen una misión especial en el proceso de desarrollo y son un elemento esencial para garantizar las condiciones de salud y de bienestar de la población. En situaciones de emergencia o desastre, son un recurso primordial para permitir la vuelta rápida a la normalidad. El impacto de un fenómeno natural puede provocar la contaminación de las aguas, la ruptura en tuberías o estructuras, la escasez del agua, o incluso el colapso total del sistema.

El mejor momento para actuar es en las fases iniciales del ciclo de los desastres, cuando con medidas de prevención y mitigación se pueden reforzar los sistemas y evitar o reducir daños, perdidas humanas y materiales, reduciendo la vulnerabilidad del sistema y atenuando el impacto de la amenaza. En función de las medidas que la empresa responsable del servicio haya adoptado, la rehabilitación o recuperación total del sistema puede tomar horas, días, semanas o meses.

El suministro de agua potable y el alcantarillado es responsabilidad directa de las empresas que prestan el servicio. La administración de estas empresas comprende un conjunto de programas dirigidos a garantizar sin interrupciones un servicio de alta calidad a sus clientes. Así como se planifica la operación rutinaria de su utilidad y el mantenimiento preventivo y correctivo, también debe planificarse la operación en situaciones de emergencia. En el funcionamiento normal de estos sistemas ocurren con frecuencia interrupciones provocadas por rotura de tuberías, racionamiento por escasez, o fallas de los equipos. Factores como el crecimiento desmesurado de la población urbana, la deficiencia de las infraestructuras, y sobre todo la ubicación de estas en áreas muy vulnerables a los desastres, incrementan notablemente el riesgo de los daños si una amenaza natural impacta al sistema.

Esas amenazas naturales no son fuerzas incontrolables ante las que nada podemos hacer. La experiencia demuestra que con una acertada planificación y las medidas preventivas necesarias para reforzar los sistemas y tener listos los mecanismos de respuesta para casos de emergencia, el efecto de un desastre sera minimizado. La implementación de programas que definan planes de mitigación y emergencia en continuo proceso de actualización, garantizan una respuesta responsable y eficaz ante los desastres.

El estudio y la evaluación de daños causados por los diferentes tipos de desastre, y específicamente sus consecuencias en los sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario (ver en el Anexo 1 la lista de ejemplos de efectos causados por sismos), permiten tomar medidas para anticipar su impacto y reducir el daño en el futuro. Esto puede y debe hacerse en tres instancias: primero, en la fase de proyecto hay que tener en cuenta las amenazas naturales especificas en la zona para el diseño de los componentes; segundo, hay que aplicar medidas de mitigación dirigidas a mejorar la resistencia de los componentes del sistema que lo requieran, y tercero, con la búsqueda de fuentes alternas de agua potable cuando ocurra un desastre, y la organización adecuada de los servicios para poder asegurar el abastecimiento de agua a la población afectada.

El análisis de vulnerabilidad, tema de este documento, provee una metodología sencilla para dar respuesta a la pregunta ¿cuál es la vulnerabilidad de sufrir daños de cada uno de los componentes del sistema, ante el impacto de las amenazas propias de la zona?. De acuerdo al resultado, se definen las medidas de mitigación necesarias, y los procedimientos de emergencia y respuesta al impacto que deben seguirse si el "desastre" se presenta antes de haber ejecutado las medidas de mitigación, o estas no fueron suficientes para evitar los daños.

El análisis de vulnerabilidad es pues la base para establecer los planes de mitigación y emergencia necesarios para: (i) la ejecución de medidas de mitigación en los componentes de los sistemas; (ii) organizar la preparación; y (iii) la atención de la emergencia. Es un proceso en el que se da respuesta a lo que se debe hacer antes, durante y después del impacto de la amenaza, e incluye un conjunto de medidas que tienen como objetivos básicos reducir al máximo el impacto de los desastres en los servicios, y conseguir que estos se recuperen lo antes posible para cubrir las necesidades de la población afectada, garantizando el suministro de agua potable y las condiciones de saneamiento básico.

El libro se ha organizado en cuatro capítulos. En el primero se explica el proceso de planificación para poder definir un programa de atención de emergencias y desastres, indicándose su contenido y las etapas en orden de prioridad que deben llevarse a cabo para elaborarlo, ejecutarlo y mantenerlo actualizado.

El capítulo segundo aborda los fundamentos técnicos para poder desarrollar el análisis de vulnerabilidad en los sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. Qué es la vulnerabilidad, cómo se cuantifica, y cómo debe hacerse este análisis a través de las matrices de probabilidad de daños.

En el tercero, se realiza una descripción general de las principales amenazas naturales, y una relación detallada de los daños mas importantes que estos pueden provocar en los componentes de los sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario.

El cuarto, el mas novedoso del libro, presenta la aplicación de la metodología del análisis de vulnerabilidad para las diferentes amenazas. Es una descripción detallada de cómo rellenar cada una de las matrices propuestas.

Tres anexos, una pequeña lista de definiciones y una bibliografía completan el volumen.

Estas guías están especialmente dirigidas a los ingenieros y personal técnico de las empresas de agua potable y saneamiento para que las utilicen como herramienta de análisis en el diagnóstico del comportamiento de los sistemas frente a las amenazas naturales.

Capítulo 1
Planificación para la atención de emergencias y desastres[1]

Introducción

Todo sistema de abastecimiento de agua potable y alcantarillado está expuesto en mayor o menor grado a las emergencias y desastres, y por lo tanto, a los daños en sus componentes. Aún aquellos sistemas que operan en áreas geográficas con escaso riesgo de fenómenos naturales como huracanes, sismos, inundaciones, etc. necesitan igualmente estar preparados para emergencias en prevención de accidentes, roturas, que pueden contaminar el agua y afectar seriamente el servicio.

En las estrategias de operación y mantenimiento de servicios, las empresas que operan estos sistemas deben contar con planes de mitigación y de emergencia dirigidos a disminuir la vulnerabilidad, y a dar la mejor respuesta posible una vez se produce el impacto. El plan de emergencia debe establecer los procedimientos necesarios para movilizar con agilidad y eficacia los recursos existentes en la empresa, y si es necesario requerir la ayuda externa.

Como ya hemos indicado, para cumplir con ambos objetivos, se utiliza como herramienta básica el análisis de vulnerabilidad, el cual, una vez identificadas y caracterizadas las amenazas propias de la zona y sus efectos, permite determinar: (a) las debilidades físicas de los componentes del sistema; (b) las debilidades de los sistemas de apoyo de la empresa; y (c) las limitaciones de los servicios en términos de cantidad, continuidad y calidad.

El análisis de vulnerabilidad se aplica no sólo a las estructuras físicas de los sistemas o componentes, sino también a la organización y administración de las empresas para determinar sus debilidades y establecer las medidas correctivas que deban implementarse para eliminar o disminuir su vulnerabilidad.

Así, por ejemplo, el área financiera de la empresa debe determinar si cuenta con suficientes recursos para implementar las medidas de mitigación y los planes de emergencia, o si por el contrario, es ésta un área vulnerable que requiere acciones correctivas tendientes a reasignar recursos, para que las medidas de mitigación y los planes de emergencia sean viables.

Este capítulo presenta el proceso de planificación para definir el Programa de Atención de Emergencias y Desastres, indicándose su contenido y las etapas en orden de prioridad que deben llevarse a cabo para elaborarlo, ejecutarlo y mantenerlo actualizado.

Programa de Atención de Emergencias y Desastres

En áreas afectadas por fenómenos naturales intensos se tiende a pensar que éstos no volverán a suceder con igual magnitud hasta dentro de muchos años. En realidad las consecuencias de estos fenó-

[1] Para información más detallada sobre como realizar y poner en marcha un programa de atención de emergencias y desastres, remitirse a la publicación: Planificación para atender situaciones de emergencia en sistemas de agua potable y alcantarillado, OPS/OMS, Cuaderno Técnico No. 37, 1993.

menos tienden a ser más importantes, no porque ellos estén aumentando en magnitud y frecuencia, sino porque la población y la infraestructura en riesgo se han extendido y siguen creciendo.

La implementación de medidas de mitigación no sólo mejora la capacidad de atención de emergencias, sino que favorece la operación rutinaria y hace que los sistemas sean más confiables. Las medidas de redundancia que se ejecuten para atender situaciones de emergencia son deseables porque favorecen la operación rutinaria.

El fortalecimiento del mantenimiento preventivo y correctivo rutinarios de las instalaciones favorece igualmente la atención eficaz de las emergencias. Las empresas que operan y mantienen adecuadamente sus sistemas e instalaciones, proveen respuesta adecuada al impacto de amenazas, mejores servicios luego del impacto y rehabilitación en más corto tiempo. En aquellos sistemas que rutinariamente presenten situaciones vulnerables, si son afectados por un desastre, la atención y rehabilitación tomará largos períodos durante los cuales la salud de la población permanecerá desprotegida.

La imagen de la empresa se verá mejorada al actuar en forma ágil y eficiente en beneficio de los usuarios frente a una emergencia. La motivación de los más altos niveles empresariales en este tema, la realización de estudios de análisis de vulnerabilidad de los sistemas, y la elaboración e implementación de planes de emergencia y mitigación, son elementos indispensables para que el programa se lleve a cabo como un programa permanente de la empresa.

Para que el Programa de Atención de Emergencias y Desastres tenga éxito, debe formar parte de los procesos de planificación institucional. Debe considerarse como un instrumento en continuo proceso de ejecución y como parte de las operaciones rutinarias de la empresa en complemento de los programas de operación y de mantenimiento correctivo y preventivo.

Para asegurar el éxito de este programa se debe asegurar: (a) una amplia participación de los funcionarios de la empresa; (b) mantener un proceso contínuo y permanente de divulgación y capacitación; (c) en el caso de los planes de emergencia, realizar simulacros y ejercicios de evaluación; y (d) diseminación de experiencias previas (por ejemplo algunos efectos debido a sismos se ilustran en el Anexo 1).

El Programa para la Atención de Emergencias y Desastres se elabora e institucionaliza de acuerdo a las etapas que se describen a continuación.

Institucionalización y organización del programa

Los aspectos siguientes deben considerarse para institucionalizar y organizar el programa:

- Aspectos legales
  - Normativa nacional
  - Normativa institucional
- Organización institucional
  - Comité de emergencias
  - Comisión de formulación de plan de mitigación y emergencias
  - Centro de emergencias
  - Declaratoria de alerta y emergencias
- Coordinación interinstitucional
  - Comisión nacional de emergencias
  - Otras instituciones

Aspectos legales

El programa debe desarrollarse dentro del marco legal vigente en el país y deberá formar parte del plan nacional. De esta forma las acciones de coordinación para la implementación del plan entre la empresa de agua potable y las instituciones del estado, como defensa civil o comisiones de emergencia, serán fluidas desde el inicio.

Normativa nacional

Los países cuentan con leyes, normas y reglamentos que establecen las instituciones responsables de la atención a nivel nacional como defensa civil, comisiones nacionales de emergencia, etc., y a nivel local como las comisiones regionales y locales de emergencias y desastres, con funciones, roles y mecanismos de coordinación y de financiamiento claramente definidos.

Esta normativa debe consultarse antes de iniciar el proceso de elaboración del programa para garantizar su conformidad con la misma, y para que exista un soporte adecuado y concatenación del plan institucional con el plan nacional. Además deberá garantizarse que los planes de mitigación y de emergencia regionales y locales se desarrollen de acuerdo con los planes nacionales de emergencias.

Normativa institucional

Las instituciones del sector también tienen su propia legislación que define y regula el ámbito de prestación de los servicios con estándares de cantidad, continuidad y calidad, lo que obliga al establecimiento de planes de emergencia para prestar los servicios en estas condiciones y restaurarlos a su condición anterior en el menor tiempo posible.

Esta es una responsabilidad inherente al manejo empresarial y es en estas condiciones donde existen mayores riesgos de salud pública, de ahí la necesidad de utilizar fuentes alternas de agua potable y medios no convencionales de evacuación de aguas residuales.

El primer paso que deben dar las empresas es adherirse a la normativa nacional, acordando mediante resolución de su máxima autoridad la elaboración y posterior aprobación del programa. De esta manera, quedará oficializado como cualquier otro programa institucional. Si no existe la resolución, será muy difícil elaborar e implementar los planes de mitigación y emergencia.

Organización institucional

La institución prestataria de los servicios debe organizarse internamente para elaborar el programa, determinar la vulnerabilidad de los sistemas y sus componentes, implementar las medidas de mitigación y operar los sistemas durante las emergencias y los desastres. Es función de la máxima autoridad empresarial ordenar la elaboración del programa y posteriormente aprobarlo; el director o gerente general deberá integrar el comité de emergencias.

Comité de emergencias

Debe establecerse un comité de emergencias integrado por las autoridades superiores administrativas de la empresa, en quienes recae la responsabilidad de coordinar las acciones del programa. Es usual que los siguientes funcionarios integren este comité:

- director o gerente general de la empresa
- jefes de las áreas de producción, operación y mantenimiento del servicio
- jefe del área de planificación

- jefe del área financiera
- jefe del área de ingeniería
- jefe del área de suministros
- jefe del área de relaciones públicas
- representante de la comisión de formulación del plan

Las funciones y responsabilidades de este comité están encaminadas a:

- integrar las comisiones de formulación de los planes de mitigación y de emergencia;
- coordinar el proceso de formulación, aprobación, ejecución y evaluación de los planes;
- establecer y mantener comunicación y coordinación con las entidades públicas que tengan la responsabilidad de tomar medidas de emergencia a nivel local o nacional;
- mantener contacto con las organizaciones privadas, tales como proveedores de equipos y tuberías, productores de compuestos químicos, asociaciones profesionales y contratistas, que puedan contribuir en el proceso de atención de emergencias y desastres;
- disponer la revisión y actualización periódica del plan de emergencia;
- formular y presentar a través de las unidades correspondientes, los presupuestos necesarios para la implementación del programa;
- declarar la situación de alerta o emergencia interna de la empresa, cuando ésta no haya sido declarada por el Estado;
- disponer y supervisar la capacitación permanente del personal en los procedimientos de emergencia.

En el nivel regional y local también deben formarse comités de emergencia integrados por las jefaturas de las áreas administrativa y de producción, operación y mantenimiento.

Comisión de formulación de los planes de mitigación y emergencia

Esta comisión es multidisciplinaria y usualmente está integrada por funcionarios de las diferentes áreas de la empresa; el peso mayor recae en las áreas de operación y de ingeniería, pero no pueden faltar las áreas de planificación, administración y finanzas.

Las funciones y responsabilidades de este comité están encaminadas a:

- elaborar los planes de mitigación y de emergencia;
- elaborar los términos de referencia y coordinar los estudios especializados del análisis de vulnerabilidad;
- evaluar la eficacia de los planes a través de simulacros y situaciones reales.

Centro de emergencias

Instaurado el comité de emergencias, debe establecerse un centro o varios de ellos donde se reunirá el comité y el personal clave durante los simulacros de implementación del plan, los períodos de alarmas y durante la emergencia hasta que se declare concluida. Es usual adecuar y utilizar el despacho diario de operaciones como centro de emergencias, pero el plan de emergencia debe indicar por lo menos un lugar que opere como centro alterno en caso que el primero quede inoperante. Los centros de emergencias deben tener las características y condiciones siguientes:

- vulnerabilidad muy reducida ante las amenazas más frecuentes en la zona;
- vías de acceso expeditas;
- ubicación dentro del área de acción del sistema de agua potable y alcantarillado sanitario;
- dotación confiable de facilidades de comunicación: teléfonos, fax, radio transmisor-receptor, televisión, radio con frecuencias comerciales, bandas civiles y de radio aficionados;

- sistema alterno de energía;
- vigilancia permanente;
- planos detallados de todos los sistemas, copias del plan de emergencias y de la documentación pertinente;
- equipo y mueblería suficiente y adecuada para reuniones y trabajo de oficina;
- equipo de transporte y de cómputo;
- caja fuerte y registro de intervenciones;
- dotación de equipo y alimentos para una semana como mínimo.

Declaratorias de alerta y emergencias

Las declaratorias de alerta y emergencia activan el plan de emergencia en sus diferentes etapas: emergencia y conclusión de la emergencia.

Las comisiones nacionales de emergencia decretan las situaciones de alerta y de emergencia mayores, de nivel nacional o regional y estas declaratorias deben ser suficientes para activar el plan de emergencia de la empresa.

Pero también, la comisión de emergencia de la empresa debe tener facultades para declarar sus propias situaciones de emergencia debido a daños y fallas propias de su funcionamiento, tales como pérdida temporal de captaciones, accidentes que afectan el servicio, sequía, etc. Estas declaratorias son de especial importancia, pues activa todos los procedimientos establecidos en el plan, incluso aquellos encaminados a la utilización de fondos.

Coordinación interinstitucional

La coordinación interinstitucional es fundamental en la atención de emergencias y desastres. Si no hay coordinación, el resultado es un caos que afectará a los clientes del sistema y a la capacidad de rehabilitación.

Comisión nacional de emergencias

El plan institucional de emergencia debe elaborarse en coordinación con el plan nacional. Usualmente la institución líder (defensa civil, comisión nacional de emergencia, etc.), colabora en la elaboración del plan sectorial y puede aportar recursos y canalizar asistencia técnica para los estudios y análisis que se requieran.

Otras instituciones de servicios

El plan institucional de emergencias debe considerar la coordinación necesaria con otras instituciones de servicio, tales como energía, comunicaciones, policía, bomberos, etc. Los convenios de entendimiento y de ayuda mutua entre instituciones facilita la acción conjunta en forma planificada y eficiente. Es importante conocer con detalle los recursos humanos, materiales y de equipo disponibles en el nivel local.

Análisis de vulnerabilidad

Se ejecuta de acuerdo a las directrices que se dan en este documento.

Plan de mitigación

El primer resultado del análisis de vulnerabilidad será el plan de mitigación, que comprende

medidas de mejoramiento y obras de reforzamiento estructural encaminadas a incrementar la confiabilidad de los componentes de los sistemas y de éste en conjunto.

El plan de mitigación detallado contendrá en forma priorizada las actividades a realizar, los responsables, el cronograma de ejecución y costos estimados, y es usual que se ordene siguiendo el sentido del flujo del agua potable y de las aguas servidas. Deberá también considerar la necesidad de adecuar las instalaciones seleccionadas como centro de emergencia.

Plan de emergencia

Una vez realizado el análisis de vulnerabilidad, se debe redactar el plan de emergencia que contendrá los procedimientos, instructivos e información necesaria para preparar, movilizar y utilizar los recursos disponibles de la empresa en forma eficiente frente a la emergencia.

El plan debe diseñarse para atender las emergencias y desastres con los recursos disponibles en la empresa, y de acuerdo a la vulnerabilidad del sistema, como si el impacto de la amenaza se presentara en el momento. En este sentido no debe ser un plan ideal, sino realista. Con el tiempo, conforme se vayan implementando medidas de mitigación, obteniéndose equipo para emergencias, etc. el plan se irá modificando. De no seguirse este proceso, el plan no será aplicable.

El plan debe mantenerse actualizado y estar disponible en todo momento para el uso de las personas que intervengan en el mismo. Su éxito dependerá de cuán sencillo, práctico y fácil sea de ejecutar, así como del conocimiento del mismo que tengan las personas que intervienen en él, lo que se logra a través de actividades periódicas de capacitación y simulacros.

Este plan debe comprender, al menos, los aspectos siguientes:

1. Objetivo: amenazas al cual está dirigido
2. Área geográfica de aplicación
3. Relación con el plan nacional (comisión nacional de emergencia, defensa civil)
4. Organización: comité de emergencia central, regionales y locales y de formulación del plan, funciones y responsabilidades
5. Descripción y funcionamiento del sistema (documentar con croquis)
6. Centros de emergencia
7. Declaratorias de alerta y emergencia
8. Plan de personal (capacitación), personal clave y direcciones
9. Plan de seguridad y vigilancia
10. Plan de transportes
11. Plan de comunicaciones
12. Plan de almacenes
13. Almacén para emergencias
14. Coordinación institucional
15. Coordinación con la empresa privada
16. Atención a otros sistemas de abastecimiento cercanos operados por otras empresas
17. Evaluación de daños
18. Prioridades de abastecimiento
19. Fuentes alternas de abastecimiento y de evacuación de aguas residuales
20. Información a la prensa y al público

21. Procedimientos para las operaciones en situaciones de emergencia
22. Procedimientos de inspección luego de una emergencia
23. Uso de camiones cisterna, tanques portátiles y otros medios de transportar agua potable
24. Manejo de fondos
    - Comité de emergencias
    - Comisión de formulación, evaluación y control del plan de emergencias
    - Centros de emergencia
    - Declaratorias de alerta y emergencia
25. Presupuestos necesarios para la implementación del plan
    - Anexo 1: Esquemas del sistema
    - Anexo 2: Esquemas de funcionamiento del sistema
    - Anexo 3: Resultados de la primera etapa del análisis de vulnerabilidad
26. Capacitación de los clientes en el correcto uso del agua en situaciones de emergencia
27. Manejo de la información durante la emergencia.

Si las empresas manejan varias ciudades o cuentan con regiones operativas, es conveniente que cada ciudad y región tenga su propio plan debidamente integrados con el nivel central.

Capítulo 2
Fundamentos para el análisis

Introducción

José Grases, 1997

La extensión y ubicación de los sistemas de agua potable y alcantarillado los hacen susceptibles a diferentes tipos de desastres.

Todas las infraestructuras deben ser proyectadas tomando en consideración las amenazas naturales y características del área en la cual se encuentra ubicado el sistema. Muchos de los problemas que se han presentado en los sistemas a causa de fenómenos naturales son debidos a que dichos fenómenos no se consideraron en la etapa de concepción, diseño, construcción y operación del sistema. Por esta razón, el análisis de vulnerabilidad que se describe en este documento, es de gran importancia para evaluar la vulnerabilidad de los sistemas existentes y por construir.

Los planes de mitigación y emergencia se fundamentan en el mejor conocimiento posible de la vulnerabilidad del sistema, en cuanto a: (i) deficiencias en su capacidad de prestación de servicios u operatividad; (ii) debilidades físicas de los componentes ante las solicitaciones externas; (iii) debilidades de organización ante las eventuales emergencias que se puedan ocasionar. De una manera general, a la identificación y cuantificación de estas debilidades se le denomina Análisis de Vulnerabilidad, y es el proceso mediante el cual se determina el comportamiento esperado del sistema y sus componentes, para resistir en forma adecuada los efectos debidos a un desastre. Se identifican también las fortalezas del sistema y de su organización, por ejemplo: el personal con experiencia en operación, mantenimiento, diseño y construcción, para atender emergencias.

El análisis de la vulnerabilidad, en los términos anteriores, cumple cinco objetivos básicos:

a) Identificar y cuantificar las amenazas que puedan afectar el sistema: tanto las naturales, como las provocadas por el hombre.

b) Estimar la susceptibilidad de daño de aquellos componentes del sistema valorados como fundamentales para asegurar el suministro de agua en caso de desastres.

c) Definir las medidas a incluir en el Plan de Mitigación, tales como: obras de reforzamiento, mejoramiento de cuencas, estudios de cimentaciones y estructuras, todos ellos encaminados a disminuir la vulnerabilidad física de los componentes.

d) Identificar medidas y procedimientos para elaborar el Plan de Emergencia de acuerdo a las debilidades identificadas, lo cual facilitará la movilización de la empresa para suplir el servicio en condiciones de emergencia.

e) Evaluar la efectividad de los Planes de Mitigación y Emergencia, e implementar actividades de capacitación, tales como: simulacros, seminarios y talleres.

Concepto de vulnerabilidad

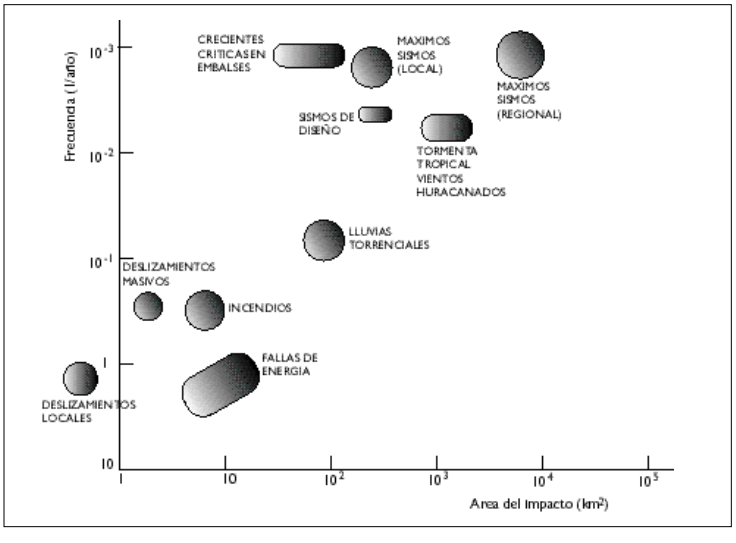
Se entiende por vulnerabilidad, la susceptibilidad a la pérdida de un elemento o conjunto de elementos como resultado de la ocurrencia de un desastre. Esta definición es lo suficientemente amplia para que se aplique tanto a aspectos físicos, operativos y administrativos. No obstante, el reconocimiento de las incertidumbres asociadas a la cuantificación de la vulnerabilidad física, ha hecho que ésta sea expresada como la probabilidad de que ocurra un determinado fenómeno natural o antrópico, y generalmente es expresado como:

$$P(Ai) = \text{probabilidad de que suceda el fenómeno } Ai$$

La selección o caracterización del fenómeno depende del problema y es finalmente una decisión del analista, por ejemplo puede ser: una aceleración del terreno, una velocidad del viento, el caudal de un río, el espesor de la ceniza arrojada por un volcán, el nivel de turbiedad del agua u otro.

El análisis de las estadísticas disponibles sobre las amenazas y sus consecuencias conduce a una clara diferenciación entre dos grupos de problemas: (a) la peligrosidad e intensidad de las acciones esperadas; y, (b) la vulnerabilidad de las obras hechas por el hombre para soportar, con daños tolerables, tales acciones.

Figura 2.1
Rango aproximado de frecuencias y áreas de impacto de diferentes amenazas naturales (OPS/OMS, 1997b)



Naturaleza del problema

De lo antes dicho queda claro que, en la estrategia de prevención y mitigación de los efectos esperados ante posibles eventos, tan importante es subsanar las debilidades de las obras existentes o por construirse, como definir del modo más confiable posible la frecuencia y la intensidad de los fenómenos esperados.

Como ilustración de lo anterior, en la Figura 2.1 se reproducen los rangos aproximados de frecuencias y áreas de impacto estimadas de un conjunto de amenazas que concurren a lo largo del trazado de un sistema de producción y transporte de agua potable, ubicado en la región norte-central de Venezuela. Con este ejemplo se destaca la incertidumbre asociada tanto a los valores de la frecuencia de los fenómenos allí presentados, como al área de impacto esperada. Se puede observar que los fenómenos con menor frecuencia de ocurrencia, tienen un área de impacto mayor que aquellos fenómenos más recurrentes, por ejemplo, los "máximos sismos de una región" tienen una frecuencia muy pequeña, pero un área de impacto muy grande.

Comportamiento esperado de los componentes físicos de los sistemas de saneamiento

El desarrollo de algoritmos automatizados de análisis y el frecuente intercambio de información a escala mundial, han facilitado la posibilidad de evaluar el comportamiento esperado de las construcciones e instalaciones sometidas a solicitaciones externas. Con ello, el análisis e identificación de las debilidades de las obras hechas por el hombre es una tarea cuyo rango de incertidumbre se ha reducido substancialmente.

En la cuantificación del comportamiento esperado de obras existentes la mayor incertidumbre proviene de los datos que las caracterizan: resistencia de los materiales, estado de las fundaciones, carbonatación del concreto, material y estado de tuberías, etc. Esta es la razón por la cual en la cuantificación de la vulnerabilidad bajo una cierta amenaza (Ai), debe reconocerse la naturaleza incierta del comportamiento o estado final de la obra analizada.

Cuantificación de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad de un determinado componente o sistema, se expresa como probabilidad de alcanzar un determinado estado Ej dado que ocurra Ai; se expresa como:

$$P\ (Ej/Ai)$$

Los estados Ej son previamente definidos a conveniencia y descritos en forma sucinta. En lo que se refiere a daños y operatividad de equipos es frecuente adoptar los cuatro estados de daño siguientes:

E1 = no daños
E2 = daños leves; equipo operativo
E3 = daños reparables; equipo no operativo
E4 = daños graves o ruina; equipo fuera de servicio

Obsérvese que ocurrido un determinado fenómeno natural (sismo, huracán, inundación u otro), el componente o sistema ha de quedar en uno, y sólo uno de los cuatro estados adoptados. En la Tabla 2.1., se presenta un ejemplo en donde se muestran las probabilidades correspondientes a estados de daños severos y/o ruina, para diferentes grados de intensidad de Mercalli de ocho elementos que forman parte de un sistema de producción y transporte de agua potable; es decir en esa tabla se dan los

valores de P (Er/Ii), donde Er es el estado de ruina, e Ii los cinco grados de Mercalli anotados. Esta tabla es resultado de un conjunto de análisis hechos sobre la respuesta esperada de los componentes del sistema, tomando en consideración los criterios de diseño y construcción existentes para el momento de su ejecución.

Cuándo debe hacerse un análisis de vulnerabilidad

Debe realizarse un estudio de análisis de vulnerabilidad en aquellas instalaciones y obras de infraestructura, cuyo eventual mal funcionamiento o ruina (debido a los efectos esperados de los desastres considerados) pueda generar situaciones de emergencia o demandas que excedan la capacidad de atención.

Por ejemplo, las empresas que producen o comercian petróleo y sus derivados, han establecido criterios de tolerancia de riesgo social (véase la Figura 2.3) y cuando el riesgo no es tolerable, es obligatoria la adopción de medidas de ingeniería para reducirlo. Los criterios anteriores deben ser complementados para aplicarlos a los sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado.

Cálculo de la vulnerabilidad física

Esquema general

El esquema general para la evaluación de la vulnerabilidad y medidas de mitigación se da en la Figura 2.2.

El denominado “walkdown” o evaluación preliminar, basada en inspecciones en sitio y cálculos sencillos corresponden al Nivel 1 de análisis; el Nivel 2 es aquel para el cual se requiere un análisis más riguroso. En cualquiera de los dos casos, el resultado debe expresarse en la forma cuantitativa para facilitar la toma de decisiones por parte de las autoridades correspondientes.

Sea en el Nivel 1 ó el Nivel 2, con frecuencia algunos pronunciamientos pueden fundamentarse en estadísticas previas. Por ejemplo, el procedimiento para cuantificar el número de roturas por unidad de longitud de tuberías de distribución, puede fundamentarse en estadísticas previas (Anexo 3).

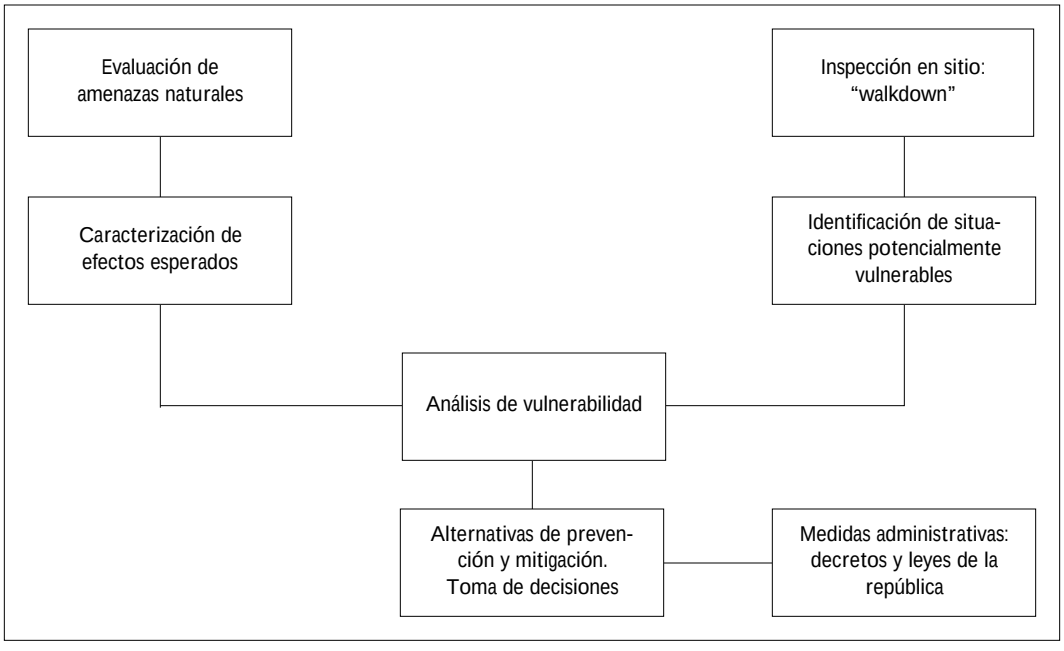
Tabla 2.1
Sistema de producción y transporte de agua potable
Probabilidad correspondiente a los estados de daño severos
y/o ruina (sismo en época de estiaje)

Intensidad de Mercalli	Chimenea equilibrio	Represa de tierra	Tuberías gran diámetro		Estación de bombeo y S/E	Puente	Túneles	Planta de tratamiento
			Plano	Ladera				
VI	--	--	--	--	--	--	--	--
VII	--	0,05	--	0,02	0,02	--	--	--
VII	0,05	0,20	--	0,15	0,10	0,05	0,02	--
IX	0,4	0,50	0,05	0,40	0,30	0,15	0,10	0,15
X	0,70	0,80	0,20	0,80	0,60	0,30	0,30	0,40
P(1)	$2,2 \times 10^{-3}$	4×10^{-3}	$0,4 \times 10^{-3}$	$3,1 \times 10^{-3}$	$2,3 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$0,7 \times 10^{-3}$	$0,9 \times 10^{-3}$

Fuente: OPS/OMS, 1997b

(1) Probabilidad anual de alcanzar estados de daños severos y/o ruina en áreas hasta unos 15 km. al sur del Valle de Caracas.

Figura 2.2
Diagrama para la evaluación de la vulnerabilidad y medidas de mitigación



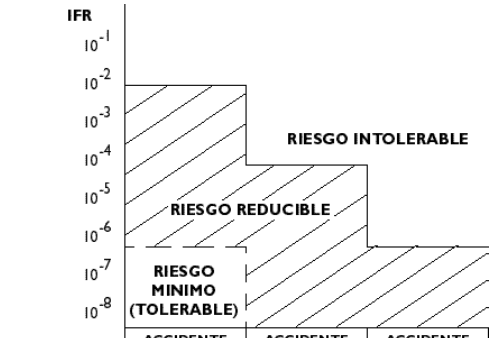
En otros componentes, tal tipo de estadística no existe, como por ejemplo en chimeneas de equilibrio o torres de disipación de gran altura, en tanques de succión de pared delgada, u otros componentes. Para resolver tales casos, se recomienda emplear metodologías elaboradas para cuantificar la vulnerabilidad.

Matrices de probabilidad de daños y/o de falla

Es necesario exigir que los resultados del análisis de vulnerabilidad física sean presentados en forma cuantitativa para facilitar la toma de decisiones; es decir, por medio de las matrices de probabilidad de daños. Siguiendo con la nomenclatura adoptada, si Ej es un determinado grado de daño, los resultados del análisis de vulnerabilidad suelen venir expresados de acuerdo al formato de la Tabla 2.2.

Obsérvese que, por ejemplo, (p42) expresa la probabilidad de que si se presenta el fenómeno A2 el componente descrito por esa matriz alcance el grado de daño E4. Es evidente que para cualquier fenómeno i, se debe cumplir: (p1i + p2i + p3i + p4i) = 100%.

Figura 2.3
Criterio de tolerancia de riesgo social



	ACCIDENTE SEVERO	ACCIDENTE MAYOR	ACCIDENTE CATASTROFICO
FATALIDADES:	ENTRE 1 Y 10	ENTRE 11 Y 50	MAS DE 50
LESIONES:	ENTRE 10 Y 100	ENTRE 101 Y 500	MAS DE 500
LUCRO CESANTE:	ENTRE 1 Y 30 DIAS	ENTRE 30 Y 90 DIAS	MAS DE 90 DIAS
IMPACTO AMBIENTAL:	REVERSIBLE ENTRE 1 Y 5 AÑOS	REVERSIBLE DESPUES DE 5 AÑOS	IRREVERSIBLE
DAÑOS MATERIALES:	ENTRE 1 Y 50 MMUS$	ENTRE 50 Y 250 MMUS$	MAYOR DE 250 MMUS$

Tabla 2.2
Formato de la Matriz de Vulnerabilidad Física o de Probabilidad de Daños

Grado de daño	$P(E_j/A_i)$ = Probabilidad de que se de E_j dado A_i			
	A_1	A_2	A_i	A_n
E_1	p_{11}	p_{12}	p_{1i}.....	p_{1n}
E_2	p_{21}	p_{22}	p_{2i}.....	p_{2n}
E_3	p_{31}	p_{32}	p_{3i}.....	p_{3n}
E_4	p_{41}	p_{42}	p_{4i}.....	p_{4n}

Vulnerabilidad de los sistemas

El análisis de vulnerabilidad debe ser realizado por un grupo de profesionales que tenga amplia experiencia en el diseño, operación, mantenimiento y reparación de los componentes del sistema.

Las vulnerabilidades detectadas en el sistema, tanto en los aspectos físicos, operativos, como en los referentes a la administración, se sintetizarán en matrices de análisis que recogen la información básica para la elaboración de los planes de mitigación y atención de emergencia y desastres. Las matrices de análisis que se utilizarán para la identificación de las debilidades y fortalezas del sistema serán las siguientes:

- **Matriz 1**: Aspectos operativos (Matriz 1A para agua potable y Matriz 1B para alcantarillado sanitario).
- **Matriz 2**: Aspectos administrativos y capacidad de respuesta.
- **Matriz 3**: Aspectos físicos e impacto en el servicio.
- **Matriz 4**: Medidas de mitigación y emergencia (Matriz 4A para los aspectos administrativos y operativos y Matriz 4B para los aspectos físicos)

Sin embargo, también es necesario describir en forma detallada los aspectos organizativos y legales, la disponibilidad de recursos para la atención de emergencias, la caracterización de la zona donde se encuentran ubicados los diferentes componentes del sistema de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario, y la vulnerabilidad de los componentes físicos y la capacidad de respuesta de los servicios.

Por último, se debe contar con los planos de dichos sistemas y con información referente a los

José Grases, 1997

La selección de la ubicación de los diferentes componentes de un sistema puede ser la principal causante del aumento de vulnerabilidad.

materiales, diámetros, volúmenes y toda aquella otra información que permita caracterizar de la mejor forma posible el sistema a evaluar.

Matrices 1A y 1B: Aspectos operativos

Hacen referencia a los aspectos relacionados con el funcionamiento del sistema, para lo cual es necesario contar con datos relevantes de cada componente: flujos, niveles, presiones y calidad del servicio. Para el caso de agua potable interesa conocer la capacidad del sistema, cantidad suministrada y dotación, así como la continuidad del servicio y la calidad del agua. Para el caso de alcantarillado sanitario es necesario conocer la cobertura, capacidad de evacuación y calidad de efluentes.

La descripción del sistema debe estar acompañada de esquemas que faciliten el entendimiento del funcionamiento del mismo. Deberán considerarse además las variaciones de las épocas de verano e invierno que pudieran presentar diferentes modalidades de operación y de condición de los servicios. Esta información servirá para el llenado de las Matrices 1A - Aspectos Operativos (Sistemas de Agua Potable) y Matriz 1B - Aspectos Operativos (Sistemas de Alcantarillado Sanitario)

Para el caso de sistemas de agua potable, dentro de los aspectos operativos a considerar se deberá analizar la capacidad y condiciones de continuidad de los componentes del sistemas tales como: captación, líneas de conducción, planta de tratamiento, tanques de almacenamiento y zona de abastecimiento, entre otros. Esta información permitirá determinar como se verá afectada la operación y el abastecimiento de agua potable frente a la posibilidad de que falle alguno de los componentes del sistema. Para sistemas de alcantarillado sanitario, la información a considerar es similar a la de los sistemas de abastecimiento de agua potable, pero los componentes a considerar serán la conducción, planta de tratamiento y disposición final.

Por otra parte y con el fin de entregar una respuesta eficaz en caso de que algún desastre afecte al sistema o algún componente de éste, es necesario conocer si la empresa cuenta con los medios de comunicación e información que permitan alertar sobre la ocurrencia de un determinado fenómeno, el funcionamiento defectuoso de alguno de los componentes del sistema o informar a los usuarios sobre las restricciones en el servicio. Dentro de los sistemas de información que debería contar la empresa se pueden destacar:

- Sistemas de información y de alerta interinstitucional , por ejemplo la existencia de sistemas de comunicación entre la empresa con defensa civil, institutos meteorológicos, institutos geofísicos, entre otros, que permitan alertar a la empresa sobre la proximidad y/o acontecimiento de un determinado fenómeno natural, y facilitar la toma de decisiones por parte de la empresa.
- Sistemas de información y alerta en la empresa , que permitan identificar el comportamiento defectuoso de alguno de los componentes del sistema por el impacto de un fenómeno natural, mediante mecanismos de comunicación remota, y que permitan instruir al personal sobre las acciones a seguir para atender la emergencia.
- Sistemas de información a los usuarios , que faciliten la comunicación, mediante medios de comunicación masiva o boletines, para dar a conocer las condiciones y restricciones de los servicios de agua potable y alcantarillado con posterioridad a un desastre.

Matriz 2: Aspectos administrativos

Para evaluar las debilidades y limitaciones de los sistemas analizados es preciso conocer sus normas de funcionamiento y los recursos disponibles que pudieran ser usados para el abastecimiento de agua y

evacuación de aguas residuales en situaciones de emergencia, así como en la fase de rehabilitación. Esta información será recopilada en la Matriz 2 - Aspectos administrativos y capacidad de respuesta.

La capacidad de respuesta de la empresa para atender los efectos de un determinado desastre, quedará establecida por la consideración de aspectos de prevención, mitigación y preparativos frente a desastres en la organización institucional, en la operación y mantenimiento del sistema y el apoyo administrativo de la empresa.

Dentro de los aspectos administrativos y capacidad de respuesta se deben documentar aspectos relativos a la organización institucional tales como:

(i) Existencia de planes de mitigación y de emergencia.
(ii) Constitución y funcionamiento del comité de emergencia.
(iii) Existencia de una comisión encargada de la formulación del plan de mitigación.
(iv) Evaluación del sistema de información y alerta.
(v) Coordinación interinstitucional con empresas tales como de energía, comunicación, municipios, defensa civil y otras instituciones.

Los aspectos de operación y mantenimiento del sistema también inciden directamente en la vulnerabilidad del sistema y sus componentes, y deben ser considerados:

(i) Existencia de programas idóneos de planificación, operación y mantenimiento que incorporen los conceptos de prevención y mitigación de desastres.
(ii) Existencia de personal capacitado en prevención y atención de desastres.
(iii) Disponibilidad de equipo, repuestos y maquinarias.

Las facilidades existentes en el apoyo administrativo de las empresas permitirán dar una pronta y eficaz respuesta en la rehabilitación de los posibles daños que puedan sufrirse en un desastre. La empresa debiera contar con mecanismos en su administración que permitan contar con:

(i) Disponibilidad y manejo de dinero en situaciones de emergencia, insumos y/o stock de emergencia.
(ii) Apoyo logístico de personal, almacenes y transportes.
(iii) Disponibilidad de contratación de empresas privadas para apoyar medidas de rehabilitación y mitigación.

Matriz 3: Aspectos físicos

La mayoría de las veces la vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario frente a desastres se relaciona estrechamente con las debilidades en sus componentes físicos. Es por ello fundamental, identificar el tipo de amenazas que pueden producirse, y estimar los daños posibles.

Hay varios factores que deben considerarse. Por un lado, la infraestructura de los sistemas de

José Grases, 1997

La incorrecta selección del terreno o del diseño son las principales causas de la vulnerabilidad de los sistemas.

agua potable y alcantarillado sanitario se encuentra dispersa en grandes áreas de terreno, y por tanto expuesta a diferentes tipos de amenazas. En su construcción se utilizan una gran variedad de materiales que hace más complejo el problema. Deben por tanto, considerarse diferentes tipos de amenazas para cada componente, dependiendo de su ubicación dentro del sistema, y de los riesgos presentes en la zona.

Este tipo de consideraciones, junto a las relacionadas con los tiempos de rehabilitación, daños estimados y su impacto en el servicio se recopilarán en la Matriz 3, dedicada a aspectos físicos e impacto en el servicio.

Así mismo, se debe priorizar cada amenaza de acuerdo al posible impacto en el sistema, por ejemplo, las áreas de captación ubicadas en zonas altas pueden ser más susceptibles a ser afectadas por la acción de fuertes lluvias y/o deslizamientos, y menos a los efectos de sismos. Para este fin y el de identificar las áreas de impacto en el sistema, se recomienda superponer los planos de los sistemas con los mapas de las amenazas presentes.

Como el fin de las empresas prestatarias de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario es entregar un servicio de calidad a sus usuarios, es de gran importancia el conocer el tiempo que tomará reparar los posibles daños sufridos a causa de un desastre, cual será la capacidad remanente del sistema con posterioridad al desastre y como se verá afectado el servicio en lo que se refiere a la calidad, continuidad y cantidad de agua suministrada. Con la información anterior se podrá establecer el nivel de servicio que está en condiciones de prestar la empresa mientras dure la emergencia.

Matriz 4A y 4B: Medidas de mitigación y emergencia

El complemento lógico y deseable de un estudio de análisis de vulnerabilidad debe ser la ejecución de las necesarias medidas de prevención y mitigación para corregir las debilidades encontradas. Por ello, es muy importante que la formulación de recomendaciones técnicas y la estimación de los costos de las medidas de mitigación, formen parte del propio estudio de vulnerabilidad. Algunas de esas medidas de mitigación serán complejas técnicamente y requerirán estudios adicionales sobre diseños de ingeniería y estimación de costos.

Las medidas de mitigación afectarán lógicamente a los elementos identificados como más vulnerables, ya sean aspectos operativos, administrativos o físicos. Tendrán relación con el reforzamiento del sistema para reducir el impacto de los fenómenos naturales, o con las previsiones necesarias que el sistema deba realizar para reaccionar adecuadamente a una emergencia. La información referente a estas medidas se presentará en las matrices 4A y 4B.

Capítulo 3
Descripción de las amenazas naturales y de sus efectos en los sistemas de agua potable y alcantarillado

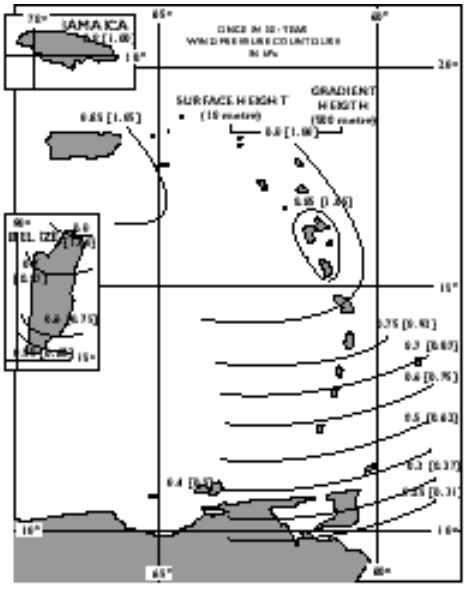
Introducción

La evaluación del peligro en la zona o región en estudio es esencial para estimar la vulnerabilidad y los daños posibles de los componentes en riesgo. El historial de desastres de la región aporta una información muy valiosa para esta evaluación.

En el caso de los sismos, es ideal disponer de información sobre las fuentes sismogénicas y sus tasas medias de desplazamiento, las leyes de atenuación, varianzas, normas de diseño, entre otras. Es usual que el análisis de vulnerabilidad sísmica sea realizado por un equipo conjunto de consultores privados, de instituciones especializadas y profesionales de la empresa. Los primeros aportarán los conocimientos y tecnologías específicas de análisis de riesgo sísmico, y los segundos el conocimiento de las estructuras y su importancia relativa.

Para los huracanes, la evaluación se fundamenta en información histórica, sintetizada en las normas y códigos de construcción. La Figura 3.1 reproduce el mapa de zonificación de presión de vientos huracanados del Caribe Oriental, establecido en la Caribbean Uniform Building Code (CUBiC, 1985). Los mayores daños ocasionados por huracanes son los causados a las estructuras expuestas a correntadas de agua, a los fuertes vientos y ubicadas en áreas de inundación. En todo caso, los efectos de los huracanes son de tal magnitud e impacto en el servicio, que todas las empresas ubicadas en las áreas de riesgo están obligadas a estudiar a fondo la vulnerabilidad de sus estructuras, implementar planes de mitigación y estar preparadas para enfrentar las emergencias y los desastres que pudieran presentarse con un plan de emergencia en continuo proceso de actualización y divulgación.

Figura 3.1
Mapa de isopresiones de vientos en el Caribe (norma CUBIC, 1985)



En el caso de las inundaciones, si bien existen modelos analíticos especializados para determinar precipitaciones y crecientes máximas, la información sobre las áreas que en el pasado han sufrido los efectos de este tipo de fenómenos es de gran valor para la evaluación de esta amenaza. El pronóstico sobre los niveles de agua en los cauces de los ríos es usual que

sea determinado por un equipo de consultores privados o de institutos especializados, universidades y profesionales de la empresa. Un equipo profesional puede aportar los conocimientos y tecnologías específicas de análisis de riesgo hidrológico, y las instituciones especializadas, como universidades, observatorios y otros, el conocimiento de las estructuras, su funcionamiento e importancia relativa como parte del sistema para priorizar las medidas de mitigación y establecer los procedimientos del plan de emergencia.

Por su parte, los períodos de lluvias extraordinarias asociados a las épocas de lluvia anuales y al comportamiento de fenómenos como el del Niño en el Pacífico, las correntadas e inundaciones que generan, y los riesgos de contaminación constituyen un escenario de alto riesgo para las estructuras de captación superficial y tuberías cercanas a los cauces de agua.

Para estimar la vulnerabilidad y los daños posibles a los componentes de los sistemas de agua potable en caso de erupciones volcánicas, se deberán identificar las áreas de cobertura de los materiales de erupción: cursos de lava, gases y cenizas prioritariamente, los cursos de agua afectados y la formación de avalanchas. Esta evaluación es simple de efectuar pues se conocen las áreas que en el pasado han sido afectadas y están documentadas en los institutos de sismología, vulcanología y meteorología, y defensa civil de los países sujetos a estos fenómenos. Los mayores daños son causados a las estructuras expuestas al impacto de corrientes de lava y de avalanchas de ceniza, piedras y agua. Además, las plantas de tratamiento, estructuras metálicas como tanques y cajas de válvulas en redes de distribución sufren ante el impacto de lluvias ácidas y de ceniza. Una erupción volcánica que coincide con períodos de lluvias produce avalanchas en los cursos de agua e inundaciones de extremo poder destructivo.

Los efectos de los sismos, huracanes, erupciones volcánicas, deslizamientos y sequías son de tal magnitud e impacto en el servicio que todas las empresas ubicadas en áreas de riesgo están obligadas a estudiar a fondo la vulnerabilidad de sus estructuras.

Características de las amenazas y principales efectos

La información detallada que se presenta a continuación para cada tipo de amenaza servirá de base para completar la Matriz 3, Aspectos físicos e impacto en el servicio.

Bajo cada una de las amenazas, se realiza una descripción de los daños estimados en los diferentes componentes de los sistemas. La información está basada en la experiencia recogida por la CEPAL en las numerosas evaluaciones que ha realizado con posterioridad a algunos desastres en los países de América Latina y el Caribe, y se encuentra recopilada en la publicación "Manual para la Estimación de los Efectos Socioeconómicos de los Desastres Naturales", CEPAL, 1991[2].

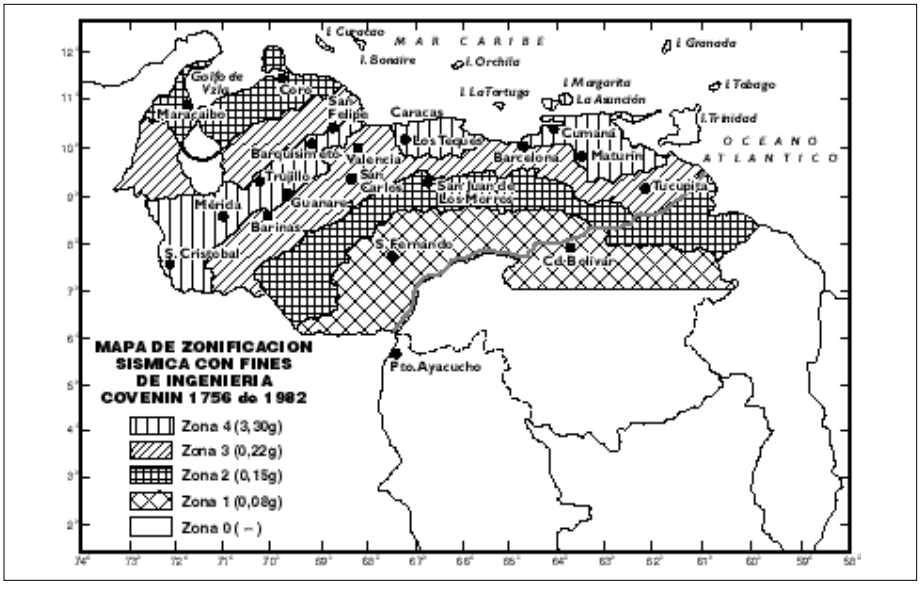
Terremotos

Para la caracterización de la amenaza sísmica, se dispone de información de varios niveles de complejidad, cuya utilización dependerá del tipo de estudio que se desee elaborar. Los tipos más comunes de datos sobre esta amenaza son las siguientes:

- Evaluación de la amenaza o peligrosidad sísmica: Esta se fundamenta en la sismicidad de la región, las fuentes sismogénicas, las correlaciones de atenuación, sus varianzas y el empleo de algoritmos de cálculo ad-hoc.
- Mapas de zonificación sísmica : Son muchos los países en los cuales se han elaborado mapas de

[2] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Manual para la estimación de los efectos socioeconómicos de los desastres naturales, Santiago de Chile, División de Planificación de Programas y Operaciones, 1991.

Figura 3.2
Mapa de zonificación sísmica de Venezuela
(norma Covenin 1756 de 1982)



zonificación sísmica, de acuerdo a las necesidades específicas de su aplicación: diseño de edificaciones (véase por ejemplo el Mapa de la Figura 3.2), verificación de equipos de alto voltaje, diseño de puentes, elaboración de pólizas de seguros y/o reaseguros, y otros; los cuales se construyen al incorporar a los resultados obtenidos en la evaluación de la amenaza, los efectos conocidos de los principales sismos destructores sucedidos en tiempos históricos. Es muy conveniente complementar esta información con mapas sobre información geológica, en los cuales se destaquen los sistemas de fallas activas o potencialmente activas y que hagan referencia a la calidad y tipos de suelos; estos también son conocidos como "mapas neotectónicos".

- Movimientos vibratorios del terreno: Entre los mapas recién citados, algunos estarán asociados a normativas vigentes como es el caso de la Figura 3.2. Generalmente, es en estos documentos donde se establecen las características de los movimientos vibratorios que serán incluidos en los análisis considerando la zonificación aludida, las características predominantes del terreno, los períodos medios de retorno y los factores de importancia que se establecen en las normas de diseño. En ausencia de esta información, lo cual puede suceder en algún país que no tenga normas para el diseño sismorresistente, se deben establecer probabilidades de excedencia suficientemente pequeñas para la selección de los movimientos máximos del terreno, o bien para las intensidades de las acciones a considerar.
- Areas potencialmente inestables a las acciones sísmicas: Es poco probable que se disponga de esta información en forma de mapas de zonificación o microzonificación. No obstante, es importante tener un conocimiento razonablemente confiable en las áreas que ocupa el sistema de: (i) zonas de depósitos saturados, generalmente cercanas a ríos, antiguos deltas de ríos, playas de lagos o costas marinas, potencialmente licuables; (ii) terraplenes u obras de tierra susceptibles a sufrir desplazamientos laterales ("lateral spreading"); (iii) taludes naturales o artificiales, potencialmente inestables bajo las acciones sísmicas. En la Tabla 3.1 se reproducen tipos

Tabla 3.1
Tipos de desplazamientos permanentes del terreno debido a sismos
(Véase O´Rourke and McCaffrey, 1984)[3]

Designación	Descripción
Fallamiento	Desplazamiento de partes adyacentes de la corteza terrestre, concentrados en zonas de fallas relativamente angostas. Los principales tipos son transcurrentes, normales e inversas.
Licuefacción	Estado temporal de resistencia al corte, muy pequeña o nula, propia de suelos no cohesivos saturados sometidos a acciones vibratorias. Los desplazamientos asociados pueden ser uno o más de los siguientes: flujos laterales sobre suelos firmes con ángulos menores de unos 5 grados (desparramamiento lateral), subsidencia, o efectos de flotación. Los desplazamientos laterales pueden alcanzar metros, aún en pendientes con inclinaciones tan pequeñas como 0,5 a 1 grado[4].
Deslizamientos	Movimiento en masa de terrenos en pendiente debido a fuerzas inerciales inducidas por el sismo. Pueden ser desde caídas de rocas y deslizamientos de masas superficiales de terreno, hasta traslación y rotación de grandes volúmenes de suelo y roca, por fallamiento a profundidad.
Densificación	Reducción de volumen causado por vibraciones que compactan los suelos no cohesivos, secos o parcialmente saturados.
Levantamiento tectónico o subsidencia	Cambios de dimensiones o topográficos, a nivel regional, asociados a la actividad tectónica. Generalmente resulta distribuido en grandes extensiones.

de desplazamientos permanentes del terreno debidos a sismos. Igualmente, la Tabla 3.2 sintetiza la correlación entre los diferentes tipos de deslizamientos y las intensidades de Mercalli (Keefer, 1984).

- Longitud de ruptura y desplazamientos permanentes de fallas activas: La magnitud Richter de un sismo está directamente relacionada a la longitud de ruptura o superficie del fallamiento, los desplazamientos máximos, y la caída de esfuerzos. Para los rangos promedio de caídas de esfuerzos en las zonas de ruptura, pueden resultar útiles los valores de la Tabla 3.3. En ella se establece la relación entre magnitudes Richter, rango de longitudes de rotura de fallas geológicas y rango de desplazamientos máximos, la cual es esencialmente válida para fallas de tipo transcurrente con focos poco profundos (entre unos 10 y 15 km. de profundidad aproximadamente). Los desplazamientos permanentes asociados a sismos, descritos en la Tabla 3.3, son particularmente problemáticos cuando interceptan túneles, tuberías enterradas o fundaciones de edificaciones.

[3] O'Rourke T.D.; McCaffrey M. (1984) Buried pipeline response to permanent earthquake ground movements. VIIIth World Conference on Earthquake Engineering, Proc Vol VII, p. 215-222.

[4] Por ejemplo, el efecto de licuefacción y deslizamiento ocurre muy a menudo durante un terremoto en terrenos no consolidados con fuertes pendientes y granos suaves y finos fácilmente desmoronables. Las redes de tuberías deben ser instaladas en las áreas donde se han asentado los pobladores, por lo que el proyectista no tiene oportunidad de elegir en relación con la geología de la zona. Lo más que se puede hacer es prever en el diseño una adecuada distribución de válvulas y la mayor flexibilidad posible en los sistemas de tuberías, con la esperanza de reducir al mínimo las roturas cuando los deslizamientos y la licuefacción ocurran (OPS/OMS, Manual sobre preparación de los servicios de agua potable y alcantarillado para afrontar situaciones de emergencia. Segunda parte--Identificación de posibles desastres y áreas de riesgo, pág. 19, 1990.).

- Maremotos o Tsunamis: Epicentros submarinos con ciertos mecanismos focales, así como deslizamientos submarinos, que pueden originar perturbaciones en la masa de agua que se traducen en olas de altura importante e incursiones tierra adentro. En las zonas sísmicas de América se conocen extensas áreas que ya han sido afectadas en tiempos históricos por este tipo de fenómenos.

Intensidad de Mercalli

Es una de las escalas más utilizadas para describir los efectos debidos a sismos, tomando en consideración los efectos sentidos por el hombre, los efectos en las construcciones y cambios en las condiciones naturales del terreno. La magnitud de un sismo es usualmente detectada por la escala Richter, que es una medida de la amplitud de la onda sísmica, la magnitud momentánea, o bien, la cantidad de energía desprendida es captada por las grabaciones de un sismógrafo. Además de la Escala de Mercalli actualmente también se emplean otras escalas en la cuales se incorpora información adicional sobre la calidad de las edificaciones, la estabilidad de taludes, instalaciones, y alturas de maremotos.

Una versión muy resumida de la Escala Modificada de Mercalli se reproduce en la Tabla 3.4.

Cálculo de la vulnerabilidad física del sistema

Se considerarán las amenazas potenciales y el historial de sismos pasados (algunos ejemplos se presentan en el Anexo 1 de este documento). A continuación se anotan indicaciones y sugerencias que pueden facilitar esta tarea.

Matrices de vulnerabilidad con respaldo estadístico: Se mencionó anteriormente el denominado “walkdown”, que no es más que un recorrido de inspección del sistema. Los resultados de esta evaluación preliminar, generalmente respaldada por cálculos sencillos, pueden ser sintetizados en matrices de probabilidad de daños, las cuales son únicamente matrices de vulnerabilidad fundamentadas en información estadística y/o en la experiencia de quienes lleven a cabo tal inspección.

Tabla 3.2
Umbrales de intensidad sísmica para diferentes tipos de deslizamientos

Tipos de deslizamientos o fallas	Umbral de intensidad sísmica
Caída o deslizamientos de rocas y pequeños deslizamientos de suelos. Deslizamientos repentinos de bloques de suelos; casos aislados.	Eventos cercanos, de baja magnitud Richter (4 a 4,5) con IMM del orden de VI o más.
Deslizamientos repentinos de bloques de roca, cantidades masivas de roca; desparramamiento lateral.	Eventos relativamente cercanos con magnitudes Richter 5 a 5,5, con IMM de aproximadamente VII o más.
Avalanchas de rocas o suelos. Agrietamientos y roturas en paredes libres de roca sólida. Deslizamientos y desprendimientos importantes de suelos y/o roca, frecuentes en topografías irregulares.	Magnitudes Richter del orden de 6,5, con IMM del orden de VIII o más. Intensidades IMM grado IX o más.
Deslizamientos masivos de gran extensión; posible bloqueo de ríos y formación de nuevos lagos.	Intensidad IMM por lo menos grado X.

Tabla 3.3
Rangos de magnitudes, longitudes de rotura y desplazamientos máximos permanentes

Rango de magnitudes Richter	Rango de longitudes de rotura superficial de la falla geológica (km.)	Rango de desplazamientos permanentes (cm)
61, a 6,4	10 a 20	40 a 60
6,5 a 6,8	20 a 40	70 a 100
6,9 a 7,2	50 a 120	110 a 160
7,3 a 7,6	130 a 240	180 a 240

Matrices de vulnerabilidad basadas en estudios analíticos: Como ya se indicó, en los sistemas de producción, transporte y distribución de agua potable, así como en los de alcantarillado, hay componentes para los cuales la información estadística es muy limitada o inexistente; tal es el caso de las torre-toma en grandes embalses o chimeneas (torres) disipadoras de energía. En esos casos es preciso evaluar modelos matemáticos y traducir los resultados obtenidos a matrices de probabilidad de daños en los términos ya descritos.

Tabla 3.4
Breve descripción de la Escala Modificada de Mercalli

Intensidad	Descripción
I	Detectada por instrumentos muy sensibles.
II	Sentido únicamente por personas en estado de reposo.
III	Sentido en el interior de edificaciones mediante vibraciones similares al paso de un camión.
IV	Movimientos de platos, ventanas, lámparas.
V	Ruptura de platos, ventanas y otros.
VI	Caída de acabados, chimeneas, daños estructurales menores.
VII	Daños considerables en edificios mal construidos.
VIII	Caída de paredes, monumentos, chimeneas.
IX	Movimientos de fundaciones en edificios de mampostería, grandes grietas en el suelo, rotura de tuberías.
X	Destrucción de la mayoría de la mampostería, grandes grietas en el suelo, doblamiento de rieles de ferrocarril, derrumbes y deslizamientos.
XI	Sólo permanecen muy pocas construcciones, ruptura de puentes.
XII	Daño total, presencia de ondas en la superficie, distorsión de líneas de nivel, objetos arrojados al aire.

Efectos generales de los terremotos

Según su magnitud, los terremotos pueden producir fallas en las rocas, en el subsuelo, hundimientos de la superficie del terreno, derrumbes, deslizamientos de tierras y avalanchas de lodo[5]; pueden asimismo reblandecer suelos saturados (debido a la vibración), reduciendo la capacidad de sustentación de fenómenos, combinados con la ondulación del suelo, puede producir destrucción y otros daños directos en cualquier parte de los sistemas de abastecimiento de agua, alcantarillado sanitario o desagües de aguas lluvias, ubicados dentro del área afectada por el sismo[6].

La magnitud y características de los daños estará usualmente relacionada con:

- La magnitud del terremoto y la extensión geográfica que cubre;
- El diseño antisísmico de las obras, su calidad constructiva, su tecnología, su mantenimiento y estado real a la fecha del desastre;
- La calidad del terreno donde se sitúan las obras y también el de la zona adyacente ya que existe la posibilidad de que las obras mismas resistan al sismo, pero un deslizamiento de tierras adyacentes, por ejemplo, podría causar daños por efecto "en cadena" del terremoto, es también el caso de la rotura de una presa, destruida por el sismo, que podría dañar obras de este sector por efecto de la avalancha de las aguas.

La mayor parte de estas obras, especialmente las cañerías de agua potable, alcantarillado sanitario y alcantarillado de aguas lluvias, se construyen bajo el nivel del suelo; luego se rellenan las excavaciones, por lo que no están usualmente a la vista. Estas estructuras enterradas reaccionan, frente a un sismo, de manera distinta que los edificios o estructuras sobre el nivel del suelo.

Daños producidos por terremotos

a) Obras sobre el nivel del suelo: Son obras que en su mayor parte están a la vista, por lo que es posible una apreciación visual de los daños casi desde el momento de producirse un sismo. En estas obras, la resistencia de la estructura depende de la relación entre su rigidez y su masa, mientras que para las cañerías enterradas no es relevante la masa, sino principalmente las deformaciones del terreno producidas por el movimiento telúrico.

i) Edificios, bodegas, viviendas y casas de máquinas: Tanto los edificios de administración de los servicios, las bodegas de materiales, las viviendas de técnicos, cuidadores y operarios, así como diversos tipos de casas de máquinas o plantas, tenderán a comportarse en forma semejante a construcciones similares de otros sectores como vivienda, salud, etc. y a sufrir daños tales como fisuras, grietas, colapsos parciales o totales. El nivel de daños dependerá del diseño sismorresistente y materiales empleados en la construcción de estas obras.

ii) Estanques: En el caso de los estanques de agua, la masa determinada por el volumen de agua almacenado puede ser muy grande y, por eso, serán también grandes las solicitaciones producidas por el sismo. Si son estanques elevados existe el riesgo adicional de que las vibraciones de los terremotos puedan hacerlos resonar. "Esta tendencia de las edificaciones elevadas a vibrar al compás de las vibraciones del suelo natural alcanza su intensidad máxima cuando se asientan sobre capas gruesas de depósitos no consolidados"[7]. Además de los efectos del sismo sobre la estructura de los estanques, la oscilación y olas del agua almacenada puede

[5] También grandes lluvias pueden producir derrumbes, delizamientos y avalanchas de lodo.
[6] Más adelante se incluye un listado de los tipos de daños que pueden sufrir las distintas partes de estos sistemas.
[7] UNDRO, Prevención y mitigación de desastres , Vol. 8, Aspectos de saneamiento", 1982.

implicar riesgos adicionales, especialmente cuando no se han diseñado placas amortiguadoras en su interior. Según la calidad de diseños, construcción y mantenimiento de los estanques, por una parte, combinado con la magnitud del sismo y la forma de reacción del suelo, por otra, pueden producirse desde daños menores hasta daños muy graves incluyendo su derrumbe o colapso. En caso que el agua derramada tenga un volumen importante puede producir daños adicionales de consideración.

- Estanques semi-enterrados. Los estanques semienterrados[8], construidos usualmente de mampostería de piedra, de hormigón, hormigón armado u otros materiales, pueden sufrir daños tales como:
  - grietas en los muros, piso, cubierta o en las zonas de encuentro de dichos elementos, así como en los lugares de entrada o salida de las cañerías. Estas grietas pueden variar desde las fácilmente reparables, hasta las que implican reconstruir totalmente la obra.
  - derrumbe parcial de la cubierta, pilares interiores o parte de muros o piso, que pueden requerir desde reparaciones parciales de cierta importancia a la reconstrucción total.
  - derrumbe o colapso de la obra.
- Estanques elevados. Los estanques elevados[9] de tamaño regular o grande se construyen usualmente de acero o de hormigón armado.
  - Los tanques sostenidos por estructuras de acero, con amplios tirantes diagonales, soportan bien los terremotos; su punto más vulnerable está donde los tubos (que forman la estructura soportante) penetran en la tierra. Sin embargo, diversas formas de diseño, construcción y mantenimiento de los estanques de acero, combinado con diversas magnitudes de los sismos y distinta respuesta del terreno de fundación, podrían producir:
    - daños leves como cortadura de tirantes diagonales, los que pueden ser reparados o reemplazados rápidamente;
    - daños en la estructura de apoyo, y/o en la cuba (donde se almacena el agua), que pueden variar desde menores hasta graves, y que pueden producirse, más probablemente, en la zona de unión con la estructura soportante o donde entran o salen las cañerías de agua;
    - colapso o derrumbe de la obra:
  - Los tanques de hormigón, debido a sismos podrían verse afectados de la siguiente manera:
    - pérdidas superficiales de estucos, fácilmente reparables, aunque pueden requerir andamios;
    - daños en cañerías de entrada o salida del estanque o de elementos sobrepuestos, tales como escalas de acceso o similares, que en si no comprometen la estructura del estanque y pueden ser reparables con labores de simple a mediana dificultad;
    - grietas en la estructura de apoyo y/o en la cuba, las que pueden producirse, por ejemplo, en las zonas de traslape de excesivo número de armaduras de hierro; en las zonas en que las cañerías cruzan los muros de hormigón; en la unión de cuba y estructura soportante o en la base de esta última;
    - desaplome o inclinación de la estructura o fallas en las fundaciones, usualmente de significado muy grave;
    - derrumbe o colapso de la obra.

[8] Se incluye aquí los estanques de regulación o almacenamiento para ciudades y pueblos.
[9] Se incluye aquí los estanques de regulación o almacenamiento para ciudades y pueblos.

Según UNDRO, el índice de supervivencia de los estanques elevados de hormigón armado es menor que los de acero y las precauciones para su construcción están menos claramente definidas. Una estructura de hormigón armado puede esconder mucho más los daños que una estructura de acero, por lo que todo daño que vaya más allá de pérdidas superficiales del estuco, debiera ser examinado y diagnosticado por un especialista, a fin de evitar que lo que puedan parecer simples grietas se transformen, con un nuevo sismo, en origen de un problema mas grave.

- Pequeños estanques elevados. Son estanques pequeños de almacenamiento de agua, usados para viviendas aisladas, pequeños grupos de viviendas, escuelas, pequeñas industrias, etc., éstos se construyen en una gran variedad de materiales que incluyen estructura de apoyo de madera, o perfiles metálicos u hormigón armado, etc. y la cuba de plancha de hierro corrugado o liso, cemento asbesto, fibra de vidrio u hormigón armado, etc.
  - Los estanques de hierro corrugado se derrumban con frecuencia ante los terremotos, pero la experiencia indica que esto se debe más al mal mantenimiento que a la inestabilidad.
  - Los pequeños estanques elevados pueden sufrir daños en la estructura de apoyo y/o en la cuba, desde ligeros, fácilmente reparables, hasta el desplome de la estructura y/o necesidad de cambiar la cuba. En las estructuras de madera probablemente se pueda recuperar parte del material lo mismo que en las estructuras metálicas (excepto las partes que puedan estar corroídas).

iii) Represas y embalses: Se considera sólo las represas y embalses para abastecimientos de agua potable. Un movimiento sísmico importante puede ocasionar, grandes olas en el embalse con el riesgo de que rebasen por sobre la presa. Este peligro puede ser aún mayor cuando derrumbes o deslizamientos de tierras, producidas por el propio terremoto, caen dentro del embalse, produciendo casi un maremoto interior. La ruptura de una represa puede tener consecuencias muy graves y muy inciertas por efecto de la avalancha de las aguas que pueden afectar a poblaciones ubicadas aguas abajo de la presa.

- Represas en relleno rocosa. Son más flexibles que las de hormigón y más resistentes que las de tierra pero, como se suele utilizar hormigón o arcilla para impermeabilizarlas, estos materiales pueden agrietarse con un terremoto y presentar fugas de agua. Los daños que se pueden presentar serían:
  - grietas o filtraciones menores, medianas o grandes;
  - embanques del embalse por derrumbes;
  - colapso o derrumbe de la presa.
- Represas de tierra. Pueden sufrir daños, durante un sismo, debido a fallas en las cimentaciones, grietas en los núcleos, deslizamientos de tierras en los diques o rebalses sobre la cortina debido a olas en el embalse, o derrumbes en el propio borde de contención. Los posibles daños son:
  - daños menores que, si implican filtraciones, deben repararse con urgencia para evitar el aumento de las fugas debido a la erosión;
  - embanques por derrumbes, los que habría que dragar si es necesario;
  - el colapso o derrumbe de la represa.
- Presas de hormigón. Pueden agrietarse o sufrir fallas en las fundaciones. También, como en todas las presas, existe el peligro de que se formen olas que rebasen la cortina. Los daños que podrían presentarse son:

- grietas o filtraciones menores que debieran repararse rápidamente;
- las grietas que van de medianas a mayores que pudieran requerir incluso el vaciamiento del embalse para repararlas (lo que puede implicar la pérdida de agua almacenada);
- embanques por derrumbes;
- colapso o derrumbe de la presa.

b) Obras bajo el nivel del suelo o enterradas . Se incluye en este punto las obras ubicadas bajo el nivel del suelo, principalmente:

- ❑ toda clase de cañerías y conductos de agua potable, alcantarillados sanitarios y desagües de aguas lluvias, incluyendo las respectivas redes de distribución, cámaras, válvulas e instalaciones domiciliarias;
- ❑ las captaciones de aguas subterráneas como pozos, drenes, galerías, etc.

Estas obras presentan diferencias significativas con las que están sobre el nivel del suelo, ya que la mayor parte no está a la vista, por lo que la mayoría de los daños directos no serán visibles. Ello hará que la determinación real de los daños sea usualmente mucho más lenta y laboriosa. En el terremoto de Ciudad de México[10], por ejemplo, aunque a los 15 días de ocurrido el desastre se había reparado los daños mayores en los acueductos de agua potable, se requirió de meses para completar las reparaciones menores y fue aún más complejo y lento reparar las redes de alcantarillado pluvial y sanitario.

El sismo actúa con fuerzas de inercia sobre las construcciones que se levantan sobre el nivel del suelo; en cambio, las estructuras enterradas (como las cañerías, por ejemplo) se mueven con el suelo, experimentando deformaciones que pueden provocar daños en este tipo de componentes. Los terremotos ocasionan daños en las tuberías y/o en sus uniones rígidas. Esto implica que se puede esperar menores daños en las cañerías relativamente mas flexibles (de PVC o acero soldado, por ejemplo) y mayores en las cañerías más rígidas de, por ejemplo, mortero comprimido, hormigón, hierro fundido y cemento asbesto, especialmente si tienen uniones rígidas.

i) Influencia de los tipos de suelo de los daños. En suelos en terraplén, que son construidos con rellenos, o en terrenos blandos, se pueden producir grietas debido al sismo, que pueden provocar rupturas en las cañerías ubicadas en ellos. También se ha observado fallas de las tuberías en zonas de transición de la calidad del suelo, lo mismo que por cambio de los espesores de los rellenos naturales.

Algunos daños pueden afectar a la cantidad o calidad de agua suministrada.

[10] Véase CEPAL, Daños causados por el movimiento telúrico en México y sus repercusiones sobre la economía del país, octubre de 1985.

El reblandecimiento del suelo es uno de los efectos más dañinos de los terremotos ya que reduce la capacidad de sustento de las fundaciones. Gran parte del daño de las tuberías, en terrenos de aluvión o de arena saturada de agua, se debe al reblandecimiento ocasionado por las vibraciones de los sismos. Se conoce un caso, en el Japón, en que una zona de arenas saturadas, debido a la vibración del sismo, se convirtió prácticamente en un líquido en el que tubos y cámaras "flotaron", causando grandes daños a las instalaciones.

Por otra parte, conviene tener presente que las tuberías de gran diámetro, ubicados a poca profundidad, sufren más daños que los de diámetro menor, debido a que tienen menos capacidad para resistir las "ondas Rayleigh" que debido al sismo se desplazan sobre la superficie del terreno en forma semejante, pero menos obvias que las olas del mar.

Otra zona de peligro para las tuberías de agua o alcantarillado es su proximidad a edificios derrumbados por el sismo. La ruptura de cañerías que entran o salen del edificio puede dañar por arrastre a las tuberías de la red pública a las que están conectadas.

ii) Utilidad de planos y mapas de riesgos sísmicos, según calidad de terrenos. Dadas las dificultades para ubicar los daños en las cañerías existentes sería recomendable revisar los planos de riesgos sísmicos de las localidades afectadas por el terremoto (si es que existen), ya que habrá más probabilidad de que ocurran daños en las zonas más vulnerables al sismo, por ejemplo:

- Areas con capas profundas de suelos "blandos", arenas y gravas sedimentarias, ciénagas y terrenos rellenados (subsuelos que no amortiguan las vibraciones de los terremotos como las rocas duras);
- Areas con capas de arena suelta, saturada de agua y otras capas de suelo carentes de cohesión, en las que se puede reblandecer el suelo;
- Fallas en los estratos de rocas: las tuberías que atraviesan esas fallas pueden sufrir daños.

iii) Sugerencias para encontrar daños en las tuberías:

- Cañerías de agua potable. Los daños en las cañerías de agua potable producen, por lo común, afloramientos de agua en zonas cercanas a las roturas de tubos o uniones, pero para determinar su magnitud y alcance y hacer las reparaciones (que usualmente son urgentes) habrá que excavar y poner al descubierto las cañerías rotas. Sin embargo, es posible que la alta permeabilidad del suelo en que se produjeron las roturas o presión baja del agua, oculte zonas de roturas que tal vez se podrían ir detectando posteriormente, una vez reinstalado el servicio, considerando por ejemplo:
  - Nuevos afloramientos de agua, evidenciados por aumentos de la presión en la red una vez que se reparen las roturas detectadas primero;
  - Existencia de áreas de la ciudad o pueblo que siguen sin recibir agua o que disponen de menor presión que en situación normal, lo que puede deberse a daños en cañerías alimentadoras de esas zonas, las que habría que identificar y reparar;
  - Detección de fugas. Esto puede ser muy demoroso, especialmente si no se dispone del equipamiento y experiencia a nivel local. Por otra parte, puede resultar difícil saber cuáles fugas se deben al sismo y cuáles son anteriores a él;
  - Mediante la utilización de medidores de caudal en las alimentadoras o en la red, si es que existen o pueden instalarse en los puntos adecuados, para determinar la posible existencia de otras fugas;

- Tuberías de alcantarillado sanitario. Las roturas en estas tuberías pueden implicar afloramientos de aguas servidas a la superficie del terreno lo que puede ser indicativo de una zona de daños. Sin embargo, debido a que estas tuberías funcionan normalmente en escurrimiento abierto, sin presión, puede haber menos fugas visibles que en las cañerías de agua potable, en las que la presión puede facilitar que se evidencien. Por otra parte, la existencia de cámaras de inspección puede facilitar la estimación visual del caudal en cámaras sucesivas, lo que puede ayudar tanto a ubicar los tramos con fugas (por comparación del caudal en cámaras sucesivas), tuberías (por comparación de los niveles de aguas servidas en cámaras vecinas). Esas obstrucciones, si no existían antes del sismo, pueden ser producto de roturas en las tuberías debido al terremoto. Por otro lado, en las áreas que no dispongan de suministro de agua potable (debido a los efectos del desastre) tampoco habrá aguas servidas de retorno, de modo que una inspección final de la situación del alcantarillado requiere la previa regularización del servicio de agua potable.

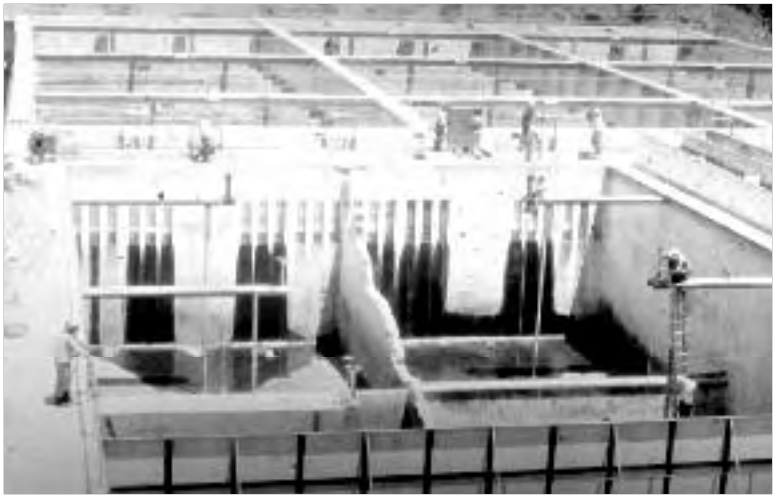
José Grases, 1997

Muchas veces los materiales escogidos para la construcción no son los adecuados para soportar esfuerzos sísmicos.

- Tuberías de sistemas de alcantarillado de agua de lluvias. Si el desastre ocurre durante época de lluvias, el examen de este sistema puede ser similar al indicado en el punto anterior. En cambio, si ocurre en época seca, la inspección de daños podría considerar un reconocimiento visual, recorriendo los canales de desagüe y los grandes colectores visitables, si es que existen, y un reconocimiento de los tramos de menor diámetro desde las cámaras de inspección vecinas a ellos.

iv) Riesgo de contaminación del agua en las redes de agua potable: Si se rompen simultáneamente las cañerías de las redes de agua potable y las de alcantarillado sanitario, es posible que algo de aguas servidas se mezcle o penetre a la red de agua potable. Ello se debe a que usualmente las cañerías de agua potable y de alcantarillado sanitario se construyen en forma paralela, por las mismas calles y a pocos metros entre sus ejes. Así, pueden haber roturas cercanas en ambas cañerías que posibiliten la entrada de aguas servidas a la red de agua potable (especialmente si es considerable el volumen de aguas servidas vertidas al terreno). En algunas oportunidades existen aguas subterráneas superficiales que cubren las redes de agua potable y de alcantarillado. Si el sismo produce roturas y fugas en la red de alcantarillado se contaminará la napa freática. Por su parte, esa napa

superficial puede contaminar el agua de la red de agua a través de roturas en la misma o por infiltración hacia la red de agua potable por junturas no herméticas, si en esa red se producen presiones negativas (menores que la atmosférica), debido a roturas en partes mas bajas o por efectos de racionamientos del agua potable.



José Grases, 1997

Algunos daños pueden afectar gravemente al suministro de agua potable.

c) Captaciones de aguas subterráneas . En zonas donde se extrae agua de pozos o galerías profundas puede ocurrir que el terremoto ocasione que las napas de aguas subterráneas se encaucen hacia fallas recién abiertas, determinando una disminución (e incluso agotamiento) del caudal que se obtenía de dichas captaciones. Por otra parte existe el riesgo de que el agua subterránea se contamine con grietas o fallas recién abiertas que conectan el agua superficial o agua de letrinas con la napa subterránea. Este es un riesgo serio ya que puede dejar fuera de posibilidades de uso una o varias captaciones.

- Pozos profundos, pozos de mediano y de gran diámetro: Dada la variedad de pozos que existe se pueden producir daños variados que van desde:
  - hundimiento del suelo alrededor del pozo, con daños de leves a graves;
  - el colapso y pérdida total del pozo (debido, por ejemplo, a una falla que pasa por el mismo pozo y produce su colapso, o por derrumbes que lo cubren)
  - daños en los mecanismos de bombeo de leves a graves (los equipos de bombeo se evaluarán por separado).
- Galerías de infiltración o drenes[11]: debido al sismo se pueden producir diversos tipos de daños, como los siguientes:
  - grietas en los muros, tubos o dovelas que forman el dren o galería que pueden variar desde grietas pequeñas, relativamente fáciles de reparar (si la galería es visitable) hasta grietas mayores que pueden requerir colocar refuerzos interiores o cambiar el revestimiento;
  - derrumbe de parte de la galería o dren o de algunos de los pozos de inspección;
  - colapso total de la galería o dren;
  - daños en los equipos de bombeo (si existen), los que se evaluarán por separado.

d) Contaminación de las fuentes de agua potable . En el punto anterior se hizo referencia a los riesgos de contaminación del agua subterránea, pero es mucho mas frecuente que ocurra contaminación de fuentes superficiales de agua potable, ya sea por presencia de animales muertos, vaciamiento

[11] Galería de infiltración: se trata de un tipo de captación semejante a un dren, pero construida a mayor profundidad, tal como el túnel, con pequeñas aberturas en los muros, para que penetre el agua subterránea.

Tabla 3.5
Desperfectos en la red de distribución de agua potable - Terremoto Chile 1985 (Ms=7.8)

Diámetro	Asbesto - Cemento		Hierro Fundido		P.V.C		Acero		Hierro Galvanizado	
(mm)	Gran Valparaíso	Provincia San Antonio	Gran Valparaíso	Provincia San Antonio	Gran Valparaíso	Provincia San Antonio	Gran Valparaíso	Provincia San Antonio	Gran Valparaíso	Provincia San Antonio
50	49	24	72	7	-	2	-	-	20	2
75	239	51	29	5	4	4	-	-	2	-
100	298	81	23	15	7	31	18	2	1	-
125	18	9	-	18	-	-	-	-	-	-
150	61	15	8	5	5	8	1	-	-	-
200	32	20	4	3	-	1	-	11	-	-
225	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-
250	4	12	-	1	-	-	-	-	-	-
400	-	3	-	8	-	-	3	3	-	-
500	-	-	1	-	-	-	-	14	-	-
600	-	-	-	-	-	-	27	2	-	-
700	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-
Total	701	215	151	62	17	46	63	32	23	2

Porcentaje de la red por material

Material	Gran Valparaíso	Provincia de San Antonio	Material
Asbesto Cemento	55	72	Asbesto Cemento
Hierro Fundido	30	19	Hierro Fundido
P.V.C	7	2	P.V.C
Acero	6	6	Acero
Hierro Galvanizado	2	1	Hierro Galvanizado
Total	**100%**	**100%**	**Total**

Fuente: "Terremoto, Marzo 1985. ESVAL: Una Experiencia", Andrade Adolfo., Seal George. 6° Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 1985.
Obs: La Provincia de San Antonio y Gran Valparaíso, estaban ubicadas en zona epicentral para el Terremoto de 1985.

Tabla 3.6
Tipos de desperfecto por material en la red de agua potable - terremoto Chile 1985
(zona Gran Valparaíso y provincia de San Antonio)

Asbesto Cemento	%	Hierro Fundido	%
Uniones	10	Emplomadura	75
Corte Transversal	80	Corte	15
Corte Longitudinal	10	Perforaciones	10
Total	100	Total	100
Galvanizado	%	Acero	%
Corte Transversal	50	Soldadura Uniones	50
Perforaciones	50	Perforaciones(*)	50
Total	100	Total	100

Fuente: "Terremoto, Marzo 1985. ESVAL: Una Experiencia", Andrade Adolfo., Seal George.
6º Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 1985.
(*) Tubería debilitadas por corrosión
Obs: Las tuberías de P.V.C el 100% de las fallas se dieron en las uniones

de petróleo, productos industriales o tóxicos en las aguas, causados por el sismo. Este puede ser uno de los efectos más graves del terremoto por riesgos sanitarios en gran escala que puede implicar. En estos casos habrá que buscar, con extrema urgencia, fuentes alternativas de abastecimiento y construir (o habilitar si existen) nuevas obras de captación de agua potable y de conducción de las mismas, si el caso lo requiere.

Tabla 3.7
Desempeño de las partes de un sistema de aducción de gas bajo sismos[12]

Componente	Desempeño
Tuberías de acero soldado	Si no hay corrosión es poco probable que sufran daño por paso de ondas. Zonas críticas son aquellas de cambio de suelos, cruce de fallas, suelos inestables, conexiones a estructuras rígidas o a otras tuberías. Pueden ser diseñadas para resistir desplazamientos permanentes importantes.
Tuberías de PVC	Pocas experiencias aún. Su ductilidad y baja fricción con el suelo, permiten adelantar que son poco vulnerables. Su resistencia a desplazamientos permanentes es menor que la del acero, pero mayor que la de otras tuberías con juntas.
Estructuras de soporte	La acción sísmica se puede exarcerbar, por ejemplo, en cruces de ríos, paso de autopistas, zonas inundables.
Elementos de almacenamiento	Almacenado bajo tierra (cavernas) o en campos de gas (roca permeable) poco probable que sufran daños; resultan más vulnerables los tanques superficiales.
Medidores de servicio	Adyacentes a los edificios se han dañado por torceduras de miembros o colapso de mampostería.
Tanques de gas natural líquido (no presurizado a-260º F)	Generalmente son los mejor diseñados. Elementos críticos son: fundaciones, interacción suelo-estructura, rigidez al corte y oleaje en el tanque.

[12] Se hace mención a sistemas de aducción de gas debido a su similitud con los de agua potable, especialmente en lo que respecta a las tuberías de conducción de ambos sistemas.

Como ejemplo, para la evaluación de los daños estimados a causa de las acciones sísmicas, se debe prestar especial atención a la estabilidad de los terrenos de fundación incluyendo los puntos descritos anteriormente. La modelación de componentes debe ser representativa de la eventual interacción con otros componentes que puedan modificar su respuesta dinámica bajo las acciones vibratorias del terreno. A modo de ilustración, en las Tablas 3.5, 3.6 y 3.7 se da una síntesis sobre el desempeño esperado en sistemas de tuberías bajo la acción de sismos intensos.

A modo de resumen, entre los efectos esperados en caso de sismos en los sistemas de agua potable y alcantarillado son:

- Destrucción total o parcial de las estructuras de la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución.
- Rotura de las tuberías de conducción y distribución y daños en las uniones, entre tuberías o con los tanques, con la consiguiente pérdida de agua.
- Interrupción de la corriente eléctrica, de las comunicaciones y de las vías de acceso.
- Modificación de la calidad del agua por deslizamientos.
- Variación (disminución) del caudal en captaciones subterráneas o superficiales.
- Cambio del sitio de salida del agua en manantiales.
- Daños por inundación costa adentro por impacto de tsunamis.

Huracanes

Para la caracterización de los huracanes, se dispone de información de varios niveles de complejidad, cuya utilización dependerá del tipo de estudio que se desee elaborar. Los tipos más comunes de datos sobre esta amenaza son las siguientes:

- Evaluación de la amenaza de vientos huracanados: Se basa en la información histórica disponible. Por ejemplo, la Comisión de Huracanes del Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico (1996) trata sobre los huracanes que presentan mayor peligro, que son los que se originan al este de las Antillas Menores. En la Tabla 3.8 se anotan huracanes importantes que afectaron Puerto Rico a lo largo del último siglo.

De acuerdo a esta Tabla, el área de Puerto Rico ha sido afectada prácticamente por un huracán importante cada década.

Tabla 3.8
Huracanes que han afectado Puerto Rico entre 1893 y 1996

Evento	Fecha
San Roque	16 de Agosto de 1893
San Cariaco	8 de Agosto de 1899
San Felipe II	13 de Septiembre de 1928
San Nicolás	10 de Septiembre de 1931
San Ciprián	26 de Septiembre de 1932
Santa Clara (Betsy)	12 de Agosto de 1956
Hugo	18 de Septiembre de 1989
Marilyn	16 de Septiembre de 1995
Hortense	9-10 de Septiembre de 1996

- Mapas de zonificación: El potencial de daños está directamente relacionado a la velocidad del viento y a las alturas de las olas ciclónicas. Estos parámetros se encuentran sintetizados en la Escala de Saffir-Simpson[13], y las 5 categorías que establece esta escala se presentan en la Tabla 3.9.
- Fuerzas sobre las edificaciones: En las normas de diseño y construcción se establecen procedimientos para determinar las solicitaciones en las diferentes partes de una edificación. En cualquier caso, para determinar las solicitaciones debidas al viento las normativas establecen velocidades patrón o básicas, cuya caracterización no siempre es la misma. La Tabla 3.10 ilustra las diferencias de criterio entre una muestra de países de la región.

Tabla 3.9
Escala de Saffir-Simpson

Categoría Saffir-Simpson	Máxima velocidad sostenida del viento		Altura de ola ciclónica	Daño potencial
	(m/seg.)	(km./hora)	(m)	
1. Débil	32,7 - 42,6	118 - 153	1,0 a 1,7	Menor
2. Moderado	42,7 - 49,5	154 - 178	1,8 a 2,6	Moderado
3. Fuerte	49,6 - 58,5	179 - 210	2,7 a 3,8	Extenso
4. Muy fuerte	58,6 - 69,4	211 - 250	3,9 a 5,6	Extremo
5. Devastador	$\geq$ 69,5	$\geq$ 251	$\geq$ 5,7	Catastrófico

Tabla 3.10
Comparación de criterios empleados en la definición de la velocidad básica del viento con fines de diseño [14]

País	Duración del registro	Velocidades equivalentes aproximadas (millas/hora)			
Canadá	1 hora	120	113	91	79
Caribe (CUBIC)	10 minutos	127	120	96	84
Venezuela	78 segundos	158	149	120	105
Barbados	3 segundos	181	171	137	120

- Marejada ciclónica: Se denomina así a un aumento del nivel del mar y sus efectos sobre la costa debido a la disminución de la presión atmosférica asociada al paso del ojo del huracán y a los vientos fuertes. Tan pronto el huracán entra a un área costera, el nivel del agua aumenta considerablemente pudiendo alcanzar los 4 metros de altura; los vientos fuertes pueden incrementar estas alturas hasta 6 metros. Este fenómeno tiene un gran poder destructor en zonas costeras de baja elevación y densamente pobladas.
- Efectos en el terreno: La intensidad de precipitaciones asociadas con un huracán, es fuente potencial de inundaciones y de inestabilidad de taludes.

[13] Simpson, R.H. The hurrican disaster potential scale. Weatherwise, 27, 169-186, 1974.
[14] OPS, Disaster mitigation guidelines for hospitals and other health care facilities (Vols. 1-4) Washington, D.C., 1992

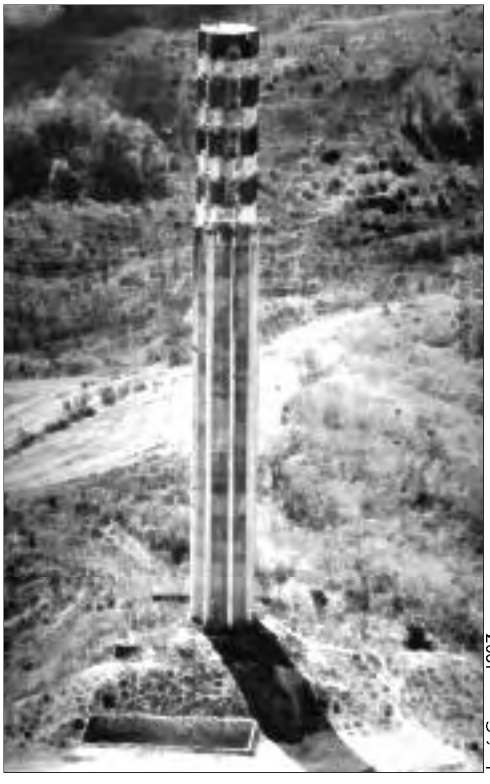
Cálculo de la vulnerabilidad y tipificación de los componentes

La vulnerabilidad a vientos huracanados está muy influenciada por el tipo de construcción y puede ser estimada verificando si los elementos de la infraestructura cumplen o no con la aplicación de las normativas vigentes.

Cálculo de la vulnerabilidad física del sistema

De una manera general, se seguirán las indicaciones presentadas para el caso del evento sísmico.

Un recorrido minucioso por todas las estructuras del sistema facilitará la identificación de situaciones de riesgo a los huracanes, tales como captaciones superficiales que periódicamente son barridas por las correntadas y que pueden ser sustituidas por tomas más seguras como galerías y tomas de fondo; anclajes y soportes de pasos sobre cursos de agua ubicados prácticamente dentro de los cauces y con alturas insuficientes que hacen que las correntadas los destruyan; tuberías que discurren en las riberas de los ríos o cauces de agua muy cercanas al cauce sin protecciones. Este recorrido e identificación de situaciones de riesgo deberá constituir la primera etapa del análisis y se debería tener presentes aspectos tales como:



José Grases, 1997

Algunos componentes de los sistemas de agua potable y alcantarillado requieren estudios específicos para evaluar su vulnerabilidad, en donde se deben privilegiar aquellos componentes que puedan llegar a afectar la continuidad, calidad o cantidad del servicio.

- Influencia de la topografía: La intensidad de los vientos huracanados puede ser modificada por la topografía del área adyacente al sitio de interés:
  a) valles con pendientes suaves pueden incrementar la velocidad media del viento por efectos de entubamiento;
  b) valles profundos, encerrados suministran protección a los efectos del viento;
  c) bosques densos, rodeando el sitio de interés, pueden reducir la intensidad de los vientos.
- Suministro de energía: Se debe evaluar la vulnerabilidad de las líneas de alta tensión, porque la experiencia ha demostrado que son altamente vulnerables a las ráfagas de viento y pueden ocurrir interrupciones en el suministro de energía.
- Cursos de agua: Los cursos de agua tienen especial importancia ya que pueden ser afectados por crecidas, con lo cual: (a) se alteran los niveles de inundación esperados; (b) se pueden dañar o romper tuberías; (c) se puede exceder la capacidad de los drenajes existentes, y (d) aumenta el nivel de turbidez de los afluentes.
- Drenajes: El tipo de drenajes tiene un efecto significativo en el desempeño esperado del sistema. Los sistemas cerrados, que emplean tuberías, son más susceptibles de quedar bloqueados y el

mantenimiento es más dificultoso. Este aspecto debe ser evaluado de modo adecuado, pues no hay sistemas de drenajes que funcionen bien si no están bien mantenidos; esta falta de previsión ha sido el causante de graves inundaciones en zonas urbanas.

- Contaminación: Como consecuencia de las inundaciones y/o bloqueo de drenajes, es mayor el riesgo de contaminación de ríos, quebradas y pozos, así como de daños en áreas inundables como las de almacenamiento de productos.
- Daños a la infraestructura: Es preciso tener presentes los eventuales efectos destructores en estructuras aledañas a cursos de crecientes potenciales como puentes, vías de acceso, desarenadores, tuberías, y otros, debido al impacto de las correntadas.

Osorio, 1997

Las grandes precipitaciones acompañadas de arrastres de sedimentos, que se presentan con los huracanes, pueden ser más destructivos en los sistemas de agua potable y alcantarillado que los propios vientos.

Efectos generales de los huracanes

Los efectos del viento, propiamente tal, pueden causar daños principalmente a obras sobre el nivel del suelo. El riesgo de daños aumenta en relación directa con la altura de las obras y con la superficie expuesta al viento. Los daños dependen de la resistencia al viento con que hayan sido construidas las obras.

Daños producidos por huracanes

Los edificios, viviendas, casas de máquinas de los sistemas de agua potable y alcantarillado tendrán un comportamiento semejante a las construcciones similares de otros sectores.

- Estanques elevados. Si el viento es lo suficientemente fuerte podría derribar uno o más estanques y causar, en forma secundaria, daños derivados del vaciamiento brusco del volumen de agua almacenada (que puede ser de varios miles de m^3), además del daño producido por el propio derrumbe de la estructura de cañerías de conexión y en las instalaciones aledañas.

Por otra parte, si la estructura misma tiene suficiente resistencia o si los vientos no son tan fuertes, se podrían producir daños a las instalaciones anexas al estanque, como por ejemplo, escalas de acceso, barandas de protección, o a las propias cañerías que llegan y salen del estanque. Entre los daños más probables destacan los ocasionados a:

- los estanques del servicio público de abastecimiento de agua potable de pueblos y ciudades –que probablemente son los de mayor volumen almacenado;
- los estanques de industrias, mercados, escuelas, etc. de tamaño intermedio;
- a los de uso doméstico, cuando los hay a nivel de vivienda, que usualmente son pequeños.

En general, los daños debidos a este tipo de fenómenos, son los siguientes:

- Daños parciales o totales en las instalaciones, puestos de mando y otras edificaciones de la empresa, tales como rotura de vidrios, techos, inundaciones, etc., debido a la fuerza de los vientos.
- Roturas de tuberías, en pasos expuestos, tales como ríos y quebradas, debido a correntadas.
- Roturas y desacoples de tuberías en zonas montañosas por deslizamientos de tierra y correntadas de agua.
- Roturas y daños en las tapas de los tanques elevados y asentados sobre terreno.
- Contaminación de agua en los tanques y tuberías.
- Roturas de tuberías y falla de estructuras por asentamientos del terreno, debido a inundaciones.
- Daños en sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica, ocasionando la interrupción en la operación de equipos, instrumentos y medios de comunicación.

Inundaciones

Generalidades

Las inundaciones son fenómenos naturales que tienen como origen la lluvia, el crecimiento anormal del nivel del mar, la fusión de la nieve en gran volumen o una combinación de estos fenómenos. La precipitación que cae en una zona determinada es el resultado de una serie de factores que influyen sobre la lluvia, tales como:

- La latitud: de manera general se puede indicar que la precipitación disminuye con la latitud porque la disminución de la temperatura hace decrecer la humedad atmosférica.
- Distancia a la fuente de humedad: mientras más cercana se encuentre la zona a fuentes de humedad como mar, lagos, entre otros, existirá mayor posibilidad de lluvias.
- Presencia de montañas: el ascenso orográfico favorece la precipitación. Así, en una cadena montañosa ocurren precipitaciones más pesadas o intensas en las laderas expuestas a los vientos, cayendo sólo trazas de lluvia en la ladera no expuesta de las montañas.

Factores que afectan la escorrentía en una cuenca

Los factores más relevantes son los siguientes:

Factores climáticos

- Precipitación: forma (lluvia, granizo, nieve, etc.), intensidad, duración, distribución en el tiempo, distribución en el área, precipitaciones anteriores, humedad del suelo.
- Intercepción: tipo de vegetación, composición, edad y densidad de los estratos, estación del año y magnitud de la tormenta.
- Evaporación: temperatura, viento, presión atmosférica, naturaleza y forma de la superficie de evaporación.
- Transpiración: temperatura, radiación solar, viento, humedad y clase de vegetación.

Factores fisiográficos

- Características de la cuenca: geométricas, tamaño, forma, pendiente, orientación y dirección.
- Físicas: uso y cobertura de la tierra, condiciones de infiltración, tipo del suelo, condiciones geológicas como permeabilidad y capacidad de formaciones de aguas subterráneas, condiciones topográficas como presencia de lagos, pantanos y drenajes artificiales.

- Características del canal y capacidad de transporte: tamaño, forma, pendiente, rugosidad, longitud y tributarios.
- Capacidad de almacenamiento: curvas de remanso.

Variación y patrones de precipitación

Desde el punto de vista de la planificación para la atención de emergencias y desastres es importante la variación de las lluvias en el tiempo o determinación de los períodos de mayor incidencia de lluvias y por consiguiente de mayores riesgos. Los patrones de lluvia, combinados con otros factores como características de los suelos, condiciones topográficas y geológicas, áreas de la cuenca, determinan la cantidad de lluvia que formará la escorrentía.

Evaluación de la amenaza y mapas de riesgos

La evaluación de la amenaza consiste en determinar las áreas de inundación y los cauces afectados con sus parámetros de caracterización: tiempo de duración del fenómeno, escorrentía y niveles máximos probables. Esta información se debe verter sobre mapas del área para elaborar el mapa de riesgos a inundaciones. Es usual que las instituciones de defensa civil, universidades e institutos meteorológicos tengan estos mapas de riesgos. La superposición de estos mapas con los planos del sistema de abastecimiento de agua potable indicará las estructuras propensas a ser afectadas.

Efectos generales de las inundaciones

En general, la magnitud de los daños estará relacionada con:

- el nivel que alcancen las aguas en la inundación, la violencia y rapidez con que se produzca, y el área geográfica que cubra;
- la calidad del diseño y construcción de las obras, en cuanto a haber o no considerado y adoptado precauciones para un cierto nivel de inundación previsto;
- la calidad del terreno donde se sitúan las obras en cuanto a su capacidad de resistir o no la erosión que pueden provocar las inundaciones así como la calidad de los terrenos adyacentes a las obras en cuanto al riesgo de derrumbes o deslizamientos de tierras que podrían provocar lluvias torrenciales o persistentes.

José Grases, 1997

Las tuberías de conducción sobre ríos y quebradas deben estar diseñadas para los aumentos previstos de caudal.

Contaminación del agua potable por inundaciones

Entre los daños que pueden provocar los desastres naturales, el riesgo más serio y grave, por sus consecuencias es la contaminación en gran escala del agua potable. En esta situación muchas enfermedades usualmente asociadas a la falta de higiene pueden adoptar formas de enfermedades de origen hídrico y afectar a gran parte de la población. Dichas enfermedades incluyen la tifoidea y el cólera, donde son endémicas, y además la disentería bacilar y la amibiana, la hepatitis infecciosa y las gastroenteritis. El grave riesgo de aparición de estas enfermedades hacen de primera importancia los métodos de tratamiento del agua con sustancias químicas de esterilización (como el cloro, por ejemplo) o la conveniencia de hervir el agua de consumo humano. La contaminación del agua potable y del suelo puede asumir diversas formas:

- Contaminación de las fuentes superficiales de agua potable, por arrastre de animales muertos a las cercanías de las tomas, por aumento excesivo de la turbidez del agua, o por arrastre de otro tipo de sustancias tóxicas o contaminantes.
- Contaminación de las fuentes de aguas subterráneas cuando el nivel de inundación sobrepasa la altura del brocal de los pozos y se vierte directamente sobre pozos u otras captaciones.
- Al subir el nivel del agua en los ríos o cuerpos de agua donde desaguan los alcantarillados sanitarios y pluvial, se puede producir el reflujo de las aguas servidas, escurriendo hacia atrás por las alcantarillas e inundando con aguas servidas tanto el interior de viviendas y pisos bajos de los edificios como las vías públicas. En las viviendas ocurre a través de los propios artefactos sanitarios y piletas; en las calles, a través de las cámaras de inspección y de los sumideros de aguas lluvias. (si en los diseños y construcción de los desagües se hubiera considerado la instalación de válvulas de retención, se podría evitar este tipo de reflujo, pero ello es raro en los países de la región).
- Si los combustibles se mezclan con la inundación, será más difícil encontrar como hervir el agua contaminada para esterilizarla.

Daños por inundaciones

- Cañerías e instalaciones anexas: Los posibles daños a cañerías y sus instalaciones anexas, tales como cámaras y válvulas de diverso tipo, pueden ser los siguientes:
  - Erosionar los suelos y por ende, desenterrar, desplazar e incluso llevarse, tramos de tuberías.
  - Hacer subir el nivel del agua subterránea y, debido al empuje, hacer flotar tuberías y cámaras, sacándolas de sus ubicaciones originales. Esto puede producir, además, rupturas diversas en las instalaciones.
  - Arrastre y pérdida total de tramos de tubería.
- Estanques semi-enterrados: Estos estanques usualmente están ubicados en terrenos altos, de modo que los daños raramente ocurren, sin embargo se ha podido observar daños tales como:
  - Erosión de fundaciones, determinando grietas y/o derrumbe parcial de estanques sobre todo si son de mampostería que de hormigón armado).
  - Un estanque, si tiene gran parte de su cuba bajo el nivel del suelo, puede ser impulsado a flotar por una inundación combinada con alto nivel de la napa freática (lo que es muy probable, en ciertos terrenos a causa de lluvias prolongadas). El riesgo es mayor si el estanque no está lleno de agua.

- Equipos de bombeo e instalaciones eléctricas:
  - Si el nivel de inundación es suficiente puede producir daños al mojar motores eléctricos, moto-bombas, arrancadores o tableros de comando eléctrico de diverso tipo.
  - También es posible que se produzca la caída de líneas de baja o alta tensión, debido a erosión en la base de las postaciones, originando con ello daños, —en las líneas eléctricas de alta o baja tensión; —en los tableros eléctricos; y –en las subestaciones.
- Obras de toma, represas y construcciones ubicadas sobre el nivel del suelo: Si las fuerzas dinámicas de la inundación son suficientemente fuertes y no hay protecciones contra sus efectos, podría producirse erosión en el entorno de cualquier obra de este sector ubicada en las zonas donde la inundación es más violenta y que, además, están a una cota más baja que el nivel de la inundación. Las condiciones señaladas pueden afectar especialmente a construcciones tales como: obras de toma y obras complementarias a ellas como, por ejemplo, canales y conducciones de agua, casas de máquinas diversas, plantas de tratamiento, etc. los que debieran evaluarse por separado.
- Represas y Embalses: Es evidente la situación de alto riesgo de las represas y embalses situados en el curso de un río afectado por la crecida que está causando la inundación. Las represas diseñadas y construidas para el abastecimiento de agua potable son vulnerables a las inundaciones, especialmente si cuentan con escasa capacidad de rebosamiento. Además, si los vertederos y compuertas de desagüe son insuficientes, hay riesgo no sólo de que ocurran grandes daños, sino incluso de destrucción o colapso de la represa con el peligro consiguiente de generar un nuevo desastre y enormes pérdidas adicionales causadas por la avalancha del agua almacenada.

En resumen los principales efectos de las inundaciones que afectan a los sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado son:

- Destrucción total o parcial de captaciones localizadas en ríos o quebradas.
- Azolve y colmatación de componentes por arrastre de sedimentos.
- Pérdida de captación por cambio del cauce del río.
- Rotura de tuberías expuestas en pasos de quebradas y/o ríos.
- Rotura de tuberías de distribución y conexiones en las áreas costeras debido al embate de marejadas y en áreas vecinas a cauces de agua.
- Contaminación del agua en las cuencas.
- Daño de equipos de bombeo al entrar en contacto con el agua.
- Colateralmente hay impactos indirectos como la suspención de energía eléctrica, corte de caminos y comunicaciones.

Deslizamientos

Los deslizamientos de taludes ocurren de muchas maneras y aún persiste cierto grado de incertidumbre en su predicción, rapidez de ocurrencia, y área afectada. Sin embargo, existen ciertos parámetros que ayudan a identificar y reconocer áreas potenciales de fallas, lo cual permite el tratamiento del talud para así eliminar o reducir a un mínimo el riesgo de falla. Es usual, por ejemplo, que la inspección de las líneas de conducción y obras componentes de un sistema se inicie por vía aérea, y el análisis aerofotogramétrico de las áreas adyacentes de la instalación, a escalas del orden de 1:25000 a

1:50000, permitan descubrir evidencias importantes sobre grandes deslizamientos en curso, los cuales deberán ser evaluados con posterioridad en el sitio.

Antecedentes históricos

El conocimiento de la ocurrencia de deslizamientos en el pasado en el área de interés constituye un buen punto de partida para la detección y evaluación de potenciales deslizamientos en el futuro. En general, las áreas donde estos fenómenos ya han ocurrido en el pasado son altamente susceptibles a que los mismos se repitan. Entre las fuentes de información para conocer sobre deslizamientos en el pasado, están las reseñas de deslizamientos publicados en periódicos locales, revistas nacionales o internacionales especializadas en el tema, mapas de zonificación de casos ocurridos de inestabilidad geológica, inventarios de riesgos geológicos, entre otros.

Geología de la región

La geología representa un factor primordial en la estabilidad de un talud y existen muchos factores geológicos que ilustran el potencial del deslizamiento de taludes.

A nivel regional, la geología controla los aspectos genéricos del relieve y la topografía de un área lo cual permite estimar su susceptibilidad al movimiento. En general, los deslizamientos pueden ocurrir en cualquier tipo de relieve si las condiciones están dadas. Sin embargo, la experiencia de trabajar y observar distintos tipos de terrenos ha demostrado que los deslizamientos son mas comunes en ciertos tipos de geografía y menos comunes en otros. Una breve descripción de las características de estos relieves se incluye a continuación.

José Grases, 1997

Zonas inicialmente estables, pueden volverse inestables con la construcción de infraestructura, deforestación u otras razones.

- Taludes escarpados: En terrenos escarpados los deslizamientos pueden ocurrir en cualquier tipo de material geológico. Sin embargo, la causa mas común de un gran número de derrumbes que ocurren en taludes escarpados es el deslizamiento a lo largo de la zona de contacto de la roca con suelos residuales o coluviales.
- Acantilados y bancos bajo la acción de corrientes de quebradas: En acantilados y bancos objeto de ataque por corrientes de quebradas los deslizamientos son comunes. Si el banco está constituido por suelos o materiales no consolidados, el punto de deslizamiento mas débil está ubicado en el máximo punto de curvatura de la quebrada y es en este punto donde se recibe el mayor impacto del agua.
- Areas de concentración de drenaje y filtración: Un estudio cuidadoso de la red de drenaje y áreas de concentración de agua es extremadamente importante. Filtraciones con el subsecuente

deslizamiento es probable que ocurra en áreas debajo de reservorios, canales de irrigación o depresiones con agua estancada. La importancia de reconocer el peligro potencial en áreas derivadas de drenaje superficial, especialmente en rocas porosas y fracturadas, necesita especial énfasis.

- Areas de terreno ondulado: La presencia de terreno ondulado (pequeñas elevaciones o montículos) cuyas características sean inconsistentes con aquellas de los taludes generales del área y presentan escarpas en las elevaciones altas, son generalmente indicadores de un deslizamiento antiguo. Una vez que se encuentra un deslizamiento antiguo, sirve como advertencia de que el área en general ha sido inestable en el pasado y por lo tanto nuevas perturbaciones pueden reactivar el movimiento.
- Areas de concentración de fracturas: El movimiento de taludes puede estar estructuralmente controlado por superficies o planos de debilidad tales como fallas, diaclasas, planos de deposición y foliación. Estas estructuras pueden dividir un macizo rocoso en una serie de unidades individuales las cuales pueden actuar independientemente una de la otra.

Topografía y estabilidad

Los mapas de topografía representan una excelente fuente de información para la detección de deslizamientos. Con frecuencia grandes áreas de deslizamiento se pueden identificar en mapas topográficos, mediante el análisis de condiciones particulares.

Pluviosidad

La pluviosidad tiene un efecto primordial en la estabilidad de taludes ya que influencia la forma, incidencia y magnitud de los deslizamientos. En suelos residuales, los cuales generalmente se encuentran no saturados, la pluviosidad tiene un efecto muy importante ya que el efecto acumulativo puede llegar a causar la saturación del terreno activando así un deslizamiento. Con respecto a la pluviosidad hay tres aspectos importantes:

- El ciclo climático sobre un período de años, por ejemplo, alta precipitación anual vs baja precipitación anual;
- La acumulación de pluviosidad en un año dado, en relación a la acumulación normal;
- Intensidades de una tormenta dada.

Erosión

La erosión puede ser causada por agentes naturales y humanos. Entre los agentes naturales se pueden incluir: el agua de escorrentía, aguas subterráneas, olas, corrientes y viento. La erosión causada por agentes humanos incluye cualquier actividad que permita un incremento de la velocidad del agua, especialmente en taludes sin protección; entre los principales está la tala de árboles, el sobrepastoreo y la presencia de ciertos tipos de vegetación que no permiten mantener el suelo en sitio.

La erosión puede causar la pérdida de soporte de fundación de estructuras, pavimentos, rellenos y otras obras de ingeniería. En terrenos montañosos, la erosión incrementa la incidencia en la inestabilidad de taludes pudiendo resultar en la perdida de vías u otras estructuras.

Licuefacción debido a sismos

La falla de taludes y licuefacción de suelos constituyen uno de los principales efectos causados por

los sismos, que puede afectar de modo desfavorable obras hechas por el hombre generando grandes pérdidas materiales y hasta humanas. La gran mayoría de las fallas de taludes durante sismos se deben al fenómeno de licuefacción en suelos no-cohesivos. Sin embargo, fallas en suelos cohesivos también han sido observadas durante eventos sísmicos.

Tipos más importantes de deslizamientos

Los principales factores que influyen en la clasificación de los deslizamientos son:

- forma del movimiento
- forma de la superficie de falla
- coherencia de la masa fallada
- causa de la falla
- desplazamiento de la masa
- tipo de material
- tasa de movimiento

Desprendimientos

Son fallas repentinas de taludes verticales o casi verticales en las cuales se produce el desprendimiento de un bloque o múltiples bloques, los cuales descienden en caída libre. El volcamiento de bloques de rocas, generalmente desencadena un desprendimiento.

En suelos, los desprendimientos son causados por socavaciones de taludes debido a la acción de la erosión de quebradas o del hombre. En macizos rocosos son causados por socavación debido a la erosión, un incremento de la presión debido a la presencia de agua. En algunos casos los desprendimientos son el resultado de meteorización diferencial.

Los desprendimientos o caídas son relevantes en este tipo de sistema debido a que se trata de la caída de un bloque o varios bloques, los cuales pueden ocasionar daños a estructuras o a otros taludes que se encuentren en la parte inferior.

Derrumbes planares

Los derrumbes planares consisten en el movimiento de uno o más bloques de suelo o roca a lo largo de una superficie de falla plana bien definida. Estos derrumbes pueden ocurrir de una forma lenta a rápida.

Los deslizamientos en bloque pueden ser destructivos. En regiones montañosas los deslizamientos masivos de roca resultan desastrosos especialmente en períodos lluviosos, y en muchos casos no pueden ser prevenidos.

Derrumbes rotacionales

Los derrumbes rotacionales tienden a ocurrir lentamente, en forma de cuchara, y el material comienza a fallar por rotación a lo largo de una superficie cilíndrica; aparecen grietas en la cresta del área inestable y abombamientos al pie de la masa deslizante. Al finalizar, la masa se ha desplazado sustancialmente dejando un escarpe en la cresta.

La principal causa de este tipo de falla es un incremento en la inclinación del talud, meteorización y fuerzas de filtración. Las consecuencias de este tipo de falla generalmente no son catastróficas, a pesar de que el movimiento puede causar severos daños a estructuras que se encuentren en la masa

deslizante o sus alrededores. Cuando se presentan algunos signos tempranos de falla los taludes pueden ser estabilizados.

Desprendimiento lateral

Las fallas por desprendimiento lateral son una forma de falla planar que ocurre en suelos y rocas. La masa se deforma a lo largo de una superficie plana la cual representa una zona débil, los bloques se separan progresivamente por tensión y retrogreden.

Este tipo de falla es común en valles de ríos y se asocia también a arcillas firmes y duras fisuradas, lutitas y estratos con buzamiento horizontal con una zona continua de debilidad. También se presenta en coluvios con pendientes suaves los cuales se encuentran sobre suelos residuales o rocas.

Avalanchas

Las avalanchas son el movimiento rápido de escombros de suelo y roca, el cual puede o no comenzar con la ruptura a lo largo de una superficie de falla, especialmente en presencia de agua. Toda la vegetación, el suelo y la roca suelta pueden ser arrastrados. Las principales causas de avalanchas son: las altas fuerzas de filtración, alta pluviosidad, derretimiento de nieve (Nevado del Ruiz, 1985), sismos y cedencia gradual de los estratos de roca. Las avalanchas ocurren de manera brusca sin previo aviso y generalmente son impredecibles. Los efectos han llegado a ser desastrosos sepultando extensas áreas al pie del talud, llegando a perturbar las cuencas naturales de drenaje (véase: CEPIS/OPS/OMS, 1996).[15]

Repteo

El repteo consiste en un lento e imperceptible movimiento o deformación del material de un talud a bajos niveles de esfuerzos, lo cual generalmente sólo afecta a las porciones más superficiales del talud aunque también puede afectar a porciones profundas en aquellos casos donde exista la presencia de un estrato poco resistente. El repteo es el resultado de la acción de fuerzas de filtración o gravitacionales y es un indicativo de condiciones favorables para el deslizamiento.

Efectos generales de los deslizamientos

Dependiendo de la magnitud de los deslizamientos, los daños pueden ser muy serios, pudiendo quedar enterrado todo el sistema y la ciudad como en el caso de la avalancha de Yungay, Perú en 1970. La magnitud del impacto de los deslizamientos depende principalmente del volumen de la masa en movimiento y de la velocidad de la misma, pero también de la extensión de la zona inestable y de la disgregación de la masa en movimiento.

Los deslizamientos más comunes son: la caída de rocas desde los escapes de macizos rocosos muy fracturados, los deslizamientos de tierra en laderas y taludes, los flujos y avalanchas de lodo y escombros que pueden transitar grandes distancias por valles y cauces, y la reptación de laderas que puede abarcar grandes superficies. Las caídas de rocas, flujos y avalanchas afectan solamente a las obras dispuestas en la superficie, mientras que los deslizamientos afectan también los elementos enterrados. Los más peligrosos son los fenómenos de aparición repentina y movimiento con altas velocidades (caídas de rocas, flujos y avalanchas). Los deslizamientos generalmente presentan signos precursores (grietas, ondulaciones del terreno, etc.) y pueden ser de aparición repentina o lenta con velocidades muy gran-

[15] Estudio de Caso. Terremoto del 22 de Abril de 1991, Limón, Costa Rica . OPS/CEPIS/OMS Pub/96.23, Lima, 177p..

des o pequeñas. La reptación involucra solamente la parte muy superficial de los suelos y es muy lenta.

José Grases, 1997

Las vías de acceso a los sistemas pueden obstruirse por deslizamientos locales, lo cual impide y retarda la inspección de los componentes en caso de desastre.

Daños producidos por los deslizamientos

- Captación . Los elementos de captaciones superficiales (azudes, derivaciones, compuertas) ubicados en zonas montañosas pueden quedar enterrados o ser arrastrados por el impacto de flujos, avalanchas y deslizamientos. Las represas de tierra o escollera construidas para abastecimiento de agua pueden fallar por deslizamiento de sus taludes o por overtopping provocado por deslizamientos en el embalse. Un daño importante se refiere a la contaminación del agua por aumento de la turbidez, debido a deslizamientos en las áreas de captación superficial de zonas montañosas. Este daño llega a ser de gran magnitud en el caso de deslizamientos provocados por sismos o lluvias excepcionales, pues las áreas devastadas llegan a ser muy grandes. En el terremoto de Limón, Costa Rica (22 de abril de 1991), se afectaron varias cuencas por deslizamientos con porcentajes de devastaciones no menores al 30%. En solamente una de ellas esto significó 8000 hectáreas devastadas, y en otra que servía como la principal fuente de abastecimientos del sistema de agua potable de la ciudad de Limón, se detectaron hasta 27 deslizamientos que provocaron un aumento inesperado en los niveles de turbiedad del agua, nivel que iba más allá de la capacidad de la planta de tratamiento, lo cual hizo necesario sacar de operación la toma de aguas por bombeo localizada en el río.[16]
- Daños en la conducción . El principal daño se refiere al arrastre y destrucción de tramos de tuberías, canales de conducción, válvulas e instalaciones de bombeo ubicados sobre o en el trayecto de deslizamientos, flujos y avalanchas. Si se trata de movimientos lentos el arrastre de la tubería o el canal puede tomar bastante tiempo hasta llega a su ruptura, de tal manera que el tramo puede ser relocalizado. Sin embargo, se debe considerar que las infiltraciones de agua a través de las fisuras formadas en la estructura de los canales aceleran los deslizamientos. En el caso de deslizamientos abruptos la conducción será arrastrada en forma violenta y la destrucción del tramo será total.

  Este daño puede ser puntual en el caso de un deslizamiento localizado o restringido a un talud o ladera, o de gran extensión, el caso de deslizamientos provocados por sismos o lluvias excepcionales en zonas montañosas o en zonas planas con terrenos licuables o expansibles. En estos casos las tuberías y canales ubicados en media ladera o hacia las cuchillas de laderas fuertemen-

[16] OPS/CEPIS 23 Estudio de caso: Terremoto del 22 de abril de 1991, Limón, Costa Rica , Lima 1996

te inclinadas, serán los más afectados, al igual que los pasos aéreos sobre ríos y quebradas. También es común en zonas montañosas, la destrucción u obstrucción de canales abiertos y tuberías no enterradas localizadas al pie de escarpes rocosos debidos a la caída de rocas, al igual que las roturas periódicas de la conducción ubicada en zona de macrodeslizamientos.

Las tuberías o canales ubicados hacia el pie de deslizamientos rotacionales son desplazadas y levantadas de su posición original, mientras que las situadas hacia la corona perderán los terrenos de apoyo por el desplazamiento de los mismos. En estos deslizamientos las tuberías ubicadas hacia el pie, están sujetas a compresión y las ubicadas hacia la corona a tensión.

En caso de movimientos lentos o de poco desplazamiento las tuberías flexibles dispuestas en forma sinusoidal son las más adaptables aunque puede desacoplarse en las uniones.

Debido a la longitud generalmente grande de la conducción, los daños por deslizamiento son generalmente más frecuentes que en la captación.

José Grases, 1997

Las tuberías ubicadas sobre laderas están expuestas a deformaciones y roturas, debido a repteo de laderas y/o deslizamientos.

- Planta de tratamiento. Los daños en la planta se ocasionan solamente cuando la misma ha sido ubicada sobre o en la trayectoria de un deslizamiento, flujo o avalanchas, debajo de un escarpe rocoso, al pie de taludes sin protección, en zona de rellenos, o terrenos expansibles o licuables. En caso de flujos y avalanchas las instalaciones quedan llenas de tierra y piedras, por licuación puede ser destruida toda la planta, por deslizamientos lentos y terrenos expansibles los desniveles de la superficie del terreno afectan tuberías, uniones, la cimentación de edificaciones o de generadores de energía eléctrica.

Los efectos esperados con la ocurrencia de deslizamientos en zonas donde se encuentran ubicados los componentes de los sistemas de agua potable y alcantarillado son:

- Destrucción total o parcial de todas las obras en especial de captación y de conducción ubicadas sobre o en la trayectoria principal de deslizamientos activos, especialmente en terrenos montañosos inestables con fuerte pendiente o en taludes muy inclinados o susceptibles a deslizamientos.
- Contaminación del agua en las áreas de captación superficial en zonas montañosas.
- Colateralmente a impactos indirectos como la suspención del servicio eléctrico, corte de caminos y comunicaciones.

Erupciones volcánicas

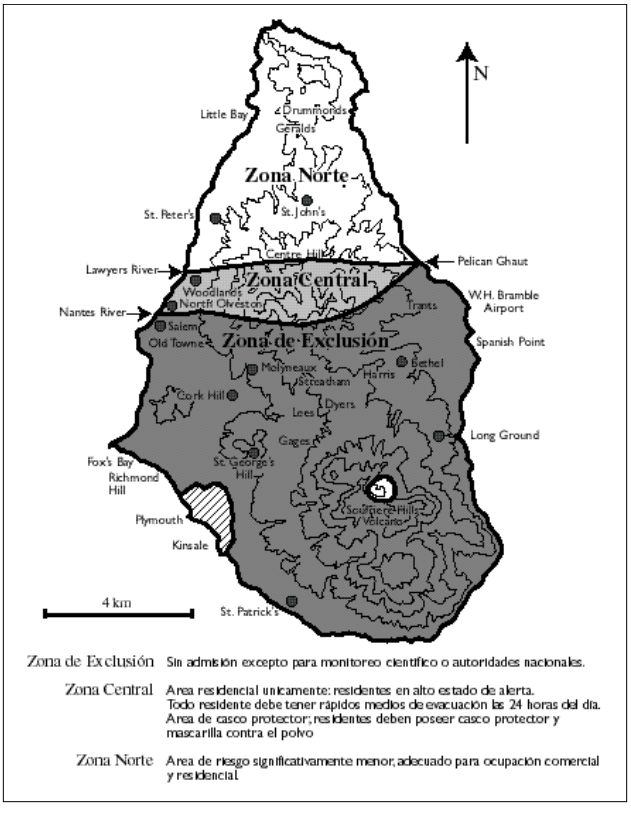
Los volcanes son estructuras compuestas de materiales que se acumulan sobre la tierra y tienen un conducto llamado chimenea que comunica la superficie de la tierra con el interior de la corteza terrestre. Este conducto sigue una dirección más o menos vertical y en la boca del mismo se presenta un orificio denominado cráter.

Los volcanes se clasifican por el tipo de erupción que emanan. Por ejemplo, el tipo hawaiano erupta magma fluido constituido por torrentes delgados y a menudo muy extensos de lava fluida. La naturaleza de la actividad depende en gran parte de dos factores: la viscosidad del magma y la cantidad de gases desprendidos. Los gases pueden producirse dentro del magma o ser consecuencia del contacto de ese magma con aguas subterráneas o superficiales que producen vapores. Los materiales de erupción varían desde fuertes torrentes de lava fluida, bombas de materiales incandescentes, nubes ardientes de gases, gases y cenizas de varios tamaños.

Los torrentes de lava que se generan, varían en volumen, extensión, espesor y velocidad de avance. La extensión y espesor depende del volumen, fluidez y la posibilidad de que pueda expandirse o no lateralmente. Estos torrentes dependen de la topografía subyacente pero pueden producirse desviaciones en sus trayectorias por valles poco profundos, especialmente cuando se trata de torrentes más viscosos.

La actividad de erupción de los volcanes puede durar días y hasta años, como el caso del volcán Irazú en Costa Rica que eruptó ceniza sobre la ciudad de San José durante dos años.

Figura 3.11
Mapa de riesgo volcánico. Isla de Montserrat (OPS/OMS, 1997a)[17]



Areas de impacto

La información sobre las áreas de impacto directo se obtendrán del análisis histórico de ocurrencia de eventos; éstas son aquellas que pueden quedar cubiertas con lava o las afectadas por lluvias ácidas y cenizas, así como los cursos de agua afectados por los mismos materiales. En la Figura 3.11 se reproduce el mapa con las áreas de impacto esperado, en base al estudio prospectivo de erupciones del volcán de la isla de Montserrat.

Evaluación de la amenaza

La evaluación de la amenaza con-

[17] Vulnerability assessment of the drinking water supply infrastructure of Montserat . Barbados, July, 50p + anexos.

siste en elaborar mapas como el de la Figura 3.11, incorporando los posibles efectos en poblaciones, cursos de ríos, infraestructura, etc.

Recurrencia

En base al registro histórico y prehistórico, se ha constatado que la frecuencia de erupciones puede ser muy errática. Hay volcanes como el Mount St. Helens (USA) o el Chichón (México), en los cuales se han reconocido de 1 a 2 erupciones por década, a diferencia de las grandes erupciones por ejemplo del Mont Peleé en el cual se han identificado 23 grandes erupciones a lo largo de los últimos 84 siglos; de las 5 erupciones post-colombinas de este volcán, las dos últimas han sido destructoras.

Efectos generales de erupciones volcánicas

Una erupción volcánica puede generar desastres "en cadena" cuyas consecuencias pueden ser mayores que los de la propia erupción, y que pueden incluir:

- efectos sísmicos generados a partir de volcán en erupción;
- Inundaciones y/o deslizamientos de nieve, tierra o fango producidos por calentamiento del terreno y vibraciones locales.
- Por otra parte, la erupción propiamente tal puede significar erupción de cenizas, polvo o gases, erupción de rocas o piedras o de lava.

Daños producidos por erupciones volcánicas:

- Contaminación de las fuentes superficiales de agua potable por depósitos de ceniza, efecto de gases o sustancias tóxicas, por muerte de animales en la cercanía de las obras de toma o en los canales abiertos de conducción del agua captada.
- La contaminación de las fuentes de aguas subterráneas es relativamente improbable, a menos que la caída de ceniza sea tan abundante y/o contenga materias muy contaminantes, o si entre por la boca de los pozos (si están sin tapas de protección) y ensucie el agua captada.
- Se puede producir contaminación en plantas de filtros o de tratamiento de agua potable, por caída de ceniza volcánica sobre los estanques de coagulación, decantación o de los filtros, contaminando el agua o inutilizando los filtros con la propia ceniza que puede arrastrar el agua.
- Contaminación de estanques o depósitos abiertos.
- Cañerías, estanques semi-enterrados e instalaciones anexas. El escurrimiento de lava, si es abundante y de capacidad erodante suficiente, puede producir daños incluso en instalaciones enterradas tales como:
  - cañerías de agua potable o alcantarillados. Podría desenterrar, desplazar, llevarse y/o aplastar cañerías, cámaras y válvulas;
  - estanques semi-enterrados: destrucción parcial o total.
- Obras y edificaciones ubicados sobre el nivel del suelo. La erupción de corrientes de lava, de piedras o grandes rocas que pueden ser lanzadas a gran distancia pueden producir daños en prácticamente cualquier tipo de obras de estos sistemas. Según la violencia de la erupción, la distancia de las obras al foco de ésta y factores aleatorios, los daños en las obras podrán ir desde los leves hasta la destrucción total de cualquiera de ellas.

Los principales efectos de las erupciones volcánicas en los sistemas son:
- Destrucción total de los componentes en las áreas de influencia directa de los flujos, generalmente restringidas al cauce de los drenajes que nacen en el volcán.
- Obstrucción de las obras de captación, desarenadores, tuberías de conducción, floculadores, sedimentadores y filtros, por caídas de cenizas.
- Modificación de la calidad del agua en captación de agua superficial y en reservorios por caída de cenizas.
- Contaminación de ríos, quebradas y pozos en zonas de deposición de los lahares.
- Destrucción de caminos de acceso a los componentes y de las líneas de transmisión de energía eléctrica y de comunicación.
- Incendios.

Sequías

Efectos generales de las sequías.

La sequía, a diferencia de otros desastres naturales, no ocurre de forma súbita, se produce por la falta o insuficiencia de lluvias o nieve durante meses y, a veces, durante años. Sus efectos principales se refieren a la disminución o extinción de fuentes de abastecimiento de agua potable. Los cursos de agua superficial, tales como ríos y esteros, sufrirán usualmente el efecto de la sequía mucho antes que las napas de agua subterránea, debido a dos factores principales:

- El agua de los cursos superficiales escurre generalmente a velocidades mucho mayores que las del agua subterránea. Esto implica que el agua de origen pluvial o del derretimiento de nieves llegará al mar, por los ríos, mucho más rápidamente[18] que el agua infiltrada al subsuelo. Por lo señalado, el caudal de los ríos es más rápidamente afectado por sequías (o por grandes lluvias) a menos que existan lagos o embalses artificiales que regulen la variación anual del nivel de las lluvias y regularicen el caudal del río correspondiente.
- El agua subterránea cuenta con dos características muy eficaces para aminorar y postergar el efecto de la sequía (en particular si las características hidrogeológicas son favorables): una gran capacidad de almacenamiento de agua en los poros del terreno permeable y una lenta velocidad de escurrimiento para finalmente ir a desembocar en el mar. Esa velocidad, del orden de unos pocos metros por día[19], implica que su caudal de escurrimiento es el resultado de la infiltración de lluvias de muchos años consecutivos y, por lo tanto, sus fluctuaciones dependen menos de los cambios anuales en el nivel de las precipitaciones.

Daños producidos por las sequías

- Fuentes superficiales de agua potable : De acuerdo a las características de la o las fuentes superficial(es) de agua potable y a la forma en que se presenta la sequía, podrían producirse:
  - La disminución del caudal normal de abastecimiento de agua potable podría determinar, según su gravedad:

[18] Con una velocidad en el río de sólo 0,1 m/s, por ejemplo, el agua superficial recorrería 8,64 km./día y tardaría unos 12 días en recorrer 100 km.
[19] Con una velocidad usual, del orden de 1 m/día, se demoraría unos 274 años en recorrer 100 km.

- una restricción moderada de los consumos;
- su racionamiento, desde mediano hasta muy agudo;
- la extinción total de algunas fuentes.

❑ Contaminación de las fuentes de agua potable debido a factores tales como:
- disminución de la capacidad de autopurificación de ríos o esteros, debido a la disminución de su caudal;
- aumento de concentración de pesticidas, insecticidas o residuos industriales, debido a ese mismo fenómeno;
- contaminación causada por peces muertos al disminuir, por ejemplo, el oxígeno libre;
- contaminación por animales muertos en las cercanías de las tomas de agua potable;
- lo anterior puede determinar la necesidad de incrementar o variar los agregados químicos al agua para disminuir riesgos sanitarios o turbiedad;
- necesidad de construir (o poner en operación) fuentes alternativas de agua potable[20].

❑ Fuentes de aguas subterráneas: De acuerdo a la duración del período de sequía, según las características hidrogeológicas locales puede haber nuevas demandas de aguas subterráneas:
- para los abastecimientos de emergencia de agua potable y también;
- para el abastecimiento alternativo de industrias o usos agrícolas;
- lo señalado puede implicar: una disminución relativa del nivel freático de la napa lo que produciría una disminución del rendimiento de los pozos y una mayor altura de bombeo para obtener el caudal necesario.

  La situación anterior puede involucrar mayores costos de operación en los pozos de captación de agua que ya existían, incluyendo probablemente una disminución del rendimiento de los equipos de bombeo e inclusive—en ciertos casos—el riesgo de tener que pagar multas a la compañía eléctrica por corriente dewattada.

❑ Fuentes alternativas de agua potable: La necesidad de disponer de fuentes alternativas de agua potable (debido a la menor capacidad de las fuentes superficiales) puede llevar a la necesidad de:
- construcción de pozos de emergencia y equiparlos en forma urgente para suplir el abastecimiento de agua potable;
- utilizar pozos existentes de otros usos (industrial, deportivo o agrícola, por ejemplo) volcándolos al abastecimiento indispensable de agua potable para el servicio público.

En resumen, los efectos esperados en los sistemas de abastecimiento de agua potable son:
- Pérdida o disminución del caudal de agua superficial y/o subterránea.
- Racionamiento y suspensión del servicio.
- Necesidad de consumo de agua que llega en camiones tanque, con la consecuente pérdida de calidad del agua y el incremento en los costos.
- Abandono del sistema.

[20] En muchos casos pueden con captaciones de aguas subterráneas como pozos profundos.

Capítulo 4
Análisis de vulnerabilidad

Introducción

Este capítulo presenta la aplicación de la metodología del análisis de vulnerabilidad para las diferentes clases de amenazas naturales. Se indican los puntos esenciales en los que debe concentrarse el análisis y las referencias donde se encuentra la información necesaria para efectuarlo.

La organización de la información en forma matricial permite visualizar fácilmente los elementos para el análisis de vulnerabilidad. Se utilizan para ello las cuatro matrices descritas en el capítulo segundo y que cubren los aspectos más relevantes del análisis: aspectos operativos, aspectos administrativos y capacidad de respuesta, aspectos físicos e impacto en el servicio y medidas de mitigación y emergencia. Cada una de estas matrices cuenta con un encabezado general con espacio para especificar el nombre y el tipo del sistema que será evaluado. Es importante destacar que los datos requeridos para completar las matrices que analizan los aspectos operativos, administrativos y la capacidad de respuesta son los mismos, independientemente del tipo de desastre natural cuyo impacto se desee evaluar. En el anexo 2 se presenta un ejemplo concreto con las matrices completadas a partir de la experiencia del terremoto de Limón en Costa Rica en 1991.

El proceso de análisis parte por un lado del conocimiento del sistema y sus componentes, de su funcionamiento y por otro de las características de la amenaza natural que potencialmente puede afectarle. Es necesario además conocer el entorno general del sistema en cuanto a aspectos de organización y legislación.

Identificación de la organización y la legislación vigentes

Organización nacional y regional: antes de efectuar el análisis de vulnerabilidad, es necesario identificar la organización nacional y regional, sus normas de funcionamiento y los recursos disponibles que pudieran ser usados para el abastecimiento de agua y evacuación de aguas residuales en situaciones de emergencia y durante la rehabilitación. Es usual, que las empresas de servicios públicos, por ejemplo, cuenten con plantas eléctricas portátiles y maquinaria pesada para la construcción, que pueden utilizarse para las reparaciones del sistema de agua potable o para el alcantarillado.

Normativa legal vigente: en esta etapa se identificará la legislación general para la atención de emergencias y desastres del país y la específica referente a los aspectos particulares de cada fenómeno, tales como:

i) Legislación y reglamentación referente a la atención de las diferentes fases de las emergencias y desastres: defensa civil, comisiones de emergencia, organización nacional, regional y local, etc.

ii) Legislación respecto a la responsabilidad civil y penal en el manejo de emergencias y desastres, a nivel de empresa y de funcionario.

iii) Los códigos y reglamentos sísmicos que se han aplicado y aplican en las nuevas construcciones, así como en los análisis de las estructuras antiguas. Debe investigarse si se encuentran actualizados y si responden al conocimiento actualizado de la sismicidad del país o región. De igual forma, se debe revisar la existencia de normas y reglamentaciones para la construcción en áreas susceptibles a efectos de huracanes e inundaciones, así como las aplicables a áreas de impacto de materiales vulcanológicos que indiquen las características del riesgo probable.

Descripción de la zona, del sistema y su funcionamiento

Descripción de la zona: es deseable caracterizar la zona donde se ubica, y a la cual sirve el sistema de agua potable o alcantarillado sanitario mediante datos como ubicación (distancia a otros centros poblados, región en que se encuentra, etc.); clima (temperatura, precipitación, humedad, etc.); población (tasa de crecimiento, densidad, etc.); estructura urbana (zona residencial, industrial y comercial, tipo de viviendas, etc.); salud pública y saneamiento (servicios de salud, recolección de basura, etc.); desarrollo socioeconómico (actividades socioeconómicas, desempleo, etc.), datos geológicos, geomorfológicos y topográficos. También es importante conocer los servicios con los que cuenta la zona, tales como comunicaciones, vías de acceso, servicios públicos en general, etc.

Descripción física del sistema: en esta etapa se recopilarán los datos físicos del sistema y se describirán los datos más relevantes de cada componente, tales como geometría, materiales, diámetros, masas, anclajes, etc., mediante planos, esquemas y detalles. Se efectuará la descripción del funcionamiento del sistema especificando, junto con los respectivos esquemas en el caso del agua potable, datos como cantidad suministrada, y dotación, continuidad del servicio y calidad del agua. En el caso del alcantarillado sanitario, además de los planos, se incluirán datos como cobertura, capacidad de evacuación, y calidad de efluentes y de cuerpos receptores. Deberán considerarse también las variaciones de las épocas de verano e invierno que pudieran ocasionar diferentes modalidades de operación y de condición de los servicios.

Descripción funcional del sistema: se describirá el funcionamiento del sistema con los datos más relevantes de cada componente, tales como flujos, niveles, presiones y calidad del servicio. Para el caso del agua potable, interesa conocer la cantidad suministrada, dotaciones, continuidad del servicio y calidad del agua. Para el alcantarillado, se debe conocer la cobertura, la capacidad de evacuación, la calidad de efluentes y de cuerpos receptores. En ambos casos, se incluirán las variaciones que puedan presentarse entre las épocas de verano e invierno.

Metodología

Matriz 1A – Aspectos operativos (sistemas de agua potable)

Para el caso de sistemas de agua potable, en la primera columna de la Matriz 1A se anotará el componente analizado, como puede ser la captación, planta de tratamiento, tanque, zona de abastecimiento, etc. En la segunda columna se escribirá la capacidad del componente, utilizando las unidades correspondientes, como pueden ser de volumen (m^3), de caudal (m^3/s) u otras; en la tercera, el requerimiento actual; y en la cuarta, el superávit o déficit, ambos expresados en las mismas unidades empleadas para describir la capacidad. En la quinta columna se detallará lo referente a la existencia y funcionamiento eficiente de sistemas remotos de alerta asociados con cada uno de los componentes, como pueden ser los diferentes sistemas de instrumentación y monitoreo colocados puntualmente en el

Matriz 1A - Aspectos operativos

Nombre Sistema Agua Potable:

COMPONENTE	CAPACIDAD COMPONENTE	REQUERIMIENTO ACTUAL	DÉFICIT (-) SUPERÁVIT (+)	SISTEMAS REMOTOS DE ALERTA

SISTEMAS DE INFORMACION Y ALERTA INTERINSTITUCIONAL
- ❑ Defensa Civil
- ❑ Instituto Meteorológico
- ❑ Instituto Vulcanológico
- ❑ Instituto Sismológico
- ❑ Otro:
- ❑ Otro:

SISTEMAS DE INFORMACION Y ALERTA EN LA EMPRESA
- ❑ Radio UHF
- ❑ Radio VHF
- ❑ Teléfono
- ❑ Otro:
- ❑ Otro

SISTEMAS DE INFORMACION A LOS USUARIOS
- ❑ Radio
- ❑ Televisión
- ❑ Circulares
- ❑ Otro:

Matriz 1B - Aspectos operativos

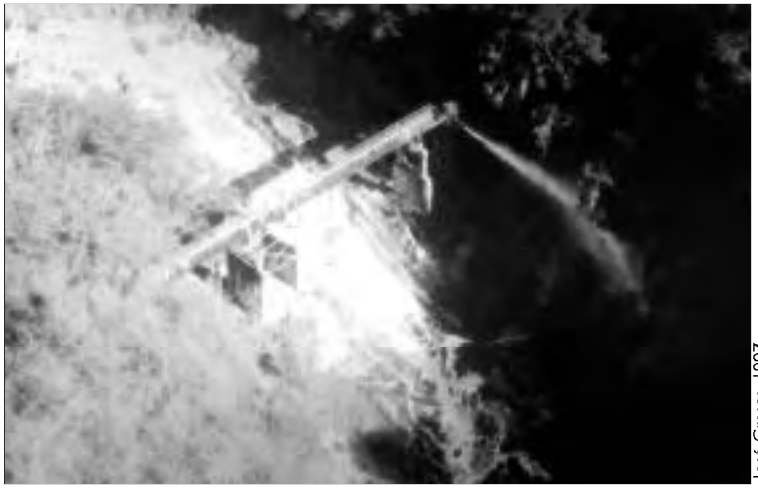
Nombre Sistema Alcantarillado:			
COMPONENTE	COBERTURA %	CAPACIDAD	SISTEMAS REMOTOS DE ALERTA

SISTEMAS DE INFORMACION Y ALERTA INTERINSTITUCIONAL
- ❑ Defensa Civil
- ❑ Instituto Meteorológico
- ❑ Instituto Vulcanológico
- ❑ Instituto Sismológico
- ❑ Otro:
- ❑ Otro:

SISTEMAS DE INFORMACION Y ALERTA EN LA EMPRESA
- ❑ Radio UHF
- ❑ Radio VHF
- ❑ Teléfono
- ❑ Otro:
- ❑ Otro

SISTEMAS DE INFORMACION A LOS USUARIOS
- ❑ Radio
- ❑ Televisión
- ❑ Circulares
- ❑ Otro:

componente (sismógrafos, limnímetros, etc.). Es importante destacar que si no existe un componente necesario para el sistema (reservorio, por ejemplo), en la segunda columna sobre capacidad se anotará cero y en la cuarta columna el volumen se registrará como déficit.


José Grases, 1997

Un mal mantenimiento del sistema puede transformar una pequeña fuga en el colapso del sistema.

En la parte inferior izquierda de esta Matriz se encuentra un detalle de diferentes posibilidades de sistemas de alerta e información hacia la empresa, en términos de relación con otras entidades e instituciones para obtener información oportuna sobre la ocurrencia o desarrollo de fenómenos naturales, con el fin de indicar cuáles de ellos existen y funcionan. En la parte inferior derecha, se especifican diferentes medios de información dentro de la empresa y varias posibilidades de sistemas de información a los usuarios.

Matriz 1B – Aspectos operativos (alcantarillado sanitario)

Para los sistemas de alcantarillado, en la primera columna de la Matriz 1B se anotará el componente analizado: zona de recolección, conducción, planta de tratamiento y disposición final. En la segunda columna se anotará la cobertura para las zonas del área; en la tercera, la capacidad y déficit si lo hubiera; y en la cuarta columna, al igual que en el caso de los sistemas de agua potable, lo referente a la existencia de sistemas remotos de alerta. La parte inferior de esta matriz se llena de igual forma que la anterior.

Matriz 2 – Aspectos administrativos y capacidad de respuesta

Para evaluar las debilidades y limitaciones relativas a los aspectos administrativos de los sistemas, tal y como se plantea en la Matriz 2, es preciso conocer sus normas de funcionamiento y los recursos disponibles que pudieran ser usados para el abastecimiento de agua y evacuación de aguas residuales en situaciones de emergencia, así como en la fase de rehabilitación. La información necesaria para completar esta matriz es la misma, tanto para el caso de los sistemas de agua potable como de alcantarillado.

Organización institucional

En la primera columna de la Matriz 2 se indicarán las fortalezas y debilidades correspondientes a la organización institucional. Se deben diferenciar los niveles central, regional y local y, si es necesario, se elaborarán matrices separadas para cada uno de estos niveles, como se detalla a continuación:

- Indicar la existencia o no de planes de atención de emergencias, especificando, si los hay, las revisiones y actualizaciones periódicas de estos planes
- Indicar la existencia o no de planes de mitigación

Matriz 2 - Vulnerabilidad administrativa de la empresa y capacidad de respuesta

NOMBRE DEL SISTEMA: _____

SISTEMA DE: ❑ AGUA POTABLE ❑ ALCANTARILLADO

ORGANIZACION INSTITUCIONAL	OPERACION Y MANTENIMIENTO	APOYO ADMINISTRATIVO
A. PLANES DE ATENCION DE EMERGENCIAS ❑ SI ❑ NO Ultima revisión	A. PROGRAMAS DE PLANIFICACION ❑ SI ❑ NO	A. DISPONIBILIDAD Y MANEJO DE DINERO ❑ SI ❑ NO MONTO:
B. PLANES DE MITIGACION ❑ SI ❑ NO	B. PROGRAMAS DE OPERACION ❑ SI ❑ NO	B. APOYO LOGISTICO DE PERSONAL, ALMACENES Y TRANSPORTE ❑ SI ❑ NO
C. COORDINACION INTERINSTITUCIONAL ❑ SI ❑ NO	C. PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO ❑ SI ❑ NO	
D. COMISION DE FORMULACION DE LOS PLANES DE MITIGACION ❑ SI ❑ NO	D. PERSONAL CAPACITADO ❑ SI ❑ NO	
E. COMITE DE EMERGENCIAS ❑ SI ❑ NO Miembros del comité Nombre Cargo	E. DISPONIBILIDAD DE EQUIPO Y MAQUINARIA ❑ SI ❑ NO Tipo de equipo y maquinaria	C. CONTRATACION DE EMPRESA PRIVADA EN EL MERCADO ❑ SI ❑ NO Nombre

- Indicar la existencia o no de niveles de coordinación interinstitucional
- Indicar la existencia o no de una comisión de formulación de planes de mitigación
- Indicar la existencia o no de un comité de emergencias permanente, los miembros que lo conforman y su cargo (usar los espacios disponibles en esa columna)

Operación y mantenimiento

En la segunda columna de esta matriz se detallarán las fortalezas y debilidades correspondientes a los aspectos de operación y mantenimiento para los niveles central, regional y local. Los aspectos relevantes que serán considerados son los siguientes:

- Indicar si los programas de planificación incluyen o no la temática de desastres
- Indicar la existencia o no del tema de desastres en los programas y manuales de operación
- Indicar la existencia o no de temas de desastres en los programas de mantenimiento preventivo
- Indicar la disponibilidad o no de personal capacitado en temas relacionados con la prevención y mitigación de desatres y la atención de emergencias
- Indicar la disponibilidad o no de equipo, maquinaria, materiales y accesorios para llevar a cabo los programas y para la rehabilitación del servicio en caso de emergencia, especificando el tipo de equipo y maquinaria (usar para ellos los espacios disponibles en esa columna).

Apoyo administrativo

En la tercera columna de esta matriz se anotará la vulnerabilidad de los sistemas de apoyo administrativo:

- Indicar la disponibilidad o no de dinero para situaciones de emergencia, insumos y “stock” de emergencia, y detallar el monto reservado con este fin.
- Indicar si existe o no el apoyo logístico de personal, proveeduría y transportes.
- Indicar la disponibilidad o no de contratación ágil de empresas y servicios para apoyar medidas de mitigación y rehabilitación, y detallar un listado resumido de estas entidades, si existen en un registro de proveedores (usar los espacios disponibles en esa columna).

La capacidad de respuesta institucional, para implementar medidas de mitigación y atender el impacto de los desastres, podrá ser evaluada de acuerdo con el análisis de los resultados obtenidos en estas tres columnas.

Matriz 3 – Aspectos físicos e impacto en el sistema

En el encabezado de esta Matriz se anotará el tipo de amenaza de la zona que pudiera impactar los sistemas físicos de agua potable o de alcantarillado sanitario, así como el área de impacto que corresponde a la zona que ve afectada la operatividad del sistema. Para su estimación se requiere simular eventos posibles y analizar las consecuencias esperadas en el sistema, lo cual se facilita superponiendo los mapas que definen el sistema y los mapas de la intensidad de la amenaza considerada. Además, debe incluirse en esta estimación a la población, instituciones y elementos del medio ambiente potencialmente afectados.

Adicionalmente, en el encabezado se hará la selección de la prioridad general para el análisis, referida al sistema en forma global, categorizada en tres niveles correspondientes a los siguientes niveles de daño:

Matriz 3 - Aspectos físicos y de impacto en el servicio

NOMBRE DEL SISTEMA: _____
TIPO DE SISTEMA: ❑ AGUA POTABLE ❑ ALCANTARILLADO
TIPO DE AMENAZA: PRIORIDAD(1): ❑ 1 ❑ 2 ❑ 3
AREA DE IMPACTO: _____

COMPONENTES EXPUESTOS	ESTADO DEL COMPONENTE	DAÑOS ESTIMADOS	TR 100 (días)	CAPACIDAD REMANENTE INMEDIATA		IMPACTO EN EL SERVICIO(2) (conexiones)
				[ ]	%	

(1) Prioridad 1(Alta): >50% de componentes afectados y/o afectación de la captación o conducción
Prioridad 2 (Media): 25 - 50% de componentes afectados, sin afectación de la captación o conducción
Prioridad 3 (Baja): <25% de componentes afectados, sin afectación de la captación o conducción

(2) Número de conexiones afectadas en términos de calidad, cantidad y/o continuidad del servicio

Tabla 4.1
Efectos de los desastres naturales (OPS, 1982)[21]

Servicio	Efectos esperados	Terremoto	Huracán	Inundación	Tsunami
Abastecimiento de agua y eliminación de aguas servidas	Daños a las estructuras de ingeniería civil	●	●	●	❍
	Rupturas de cañerías maestras	●	◗	◗	❍
	Interrupciones del suministro de electricidad	●	●	◗	◗
	Contaminación (química o biológica)	◗	●	●	●
	Desorganización del transporte	●	●	●	◗
	Escasez de personal	●	◗	◗	❍
	Sobrecarga de las redes (debido a los movimientos de población)	◗	●	●	❍
	Escasez de equipos, repuestos y suministros	●	●	●	◗

● posibilidad grave ◗ posibilidad menos grave ❍ posibilidad mínima

- Prioridad 1 (Alta): más de un 50% de componentes afectados y/o afectación de la captación y de la conducción
- Prioridad 2 (Media): entre un 25 y un 50% de componentes afectados, sin afectación de la captación y de la conducción
- Prioridad 3 (Baja): menos de un 25% de componentes afectados, sin afectación de la captación y de la conducción

Componentes expuestos

En la primera columna de esta Matriz, se indicarán los componentes expuestos directamente al impacto de la amenaza. Los componentes deben indicarse preferiblemente en el sentido del flujo del agua y catalogados en la forma siguiente: captaciones (diferentes tipos) y sus estructuras, aducciones, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo, tanques de almacenamiento, redes principales de conducción o matrices, y redes de distribución.

Estado del componente

En la segunda columna de esta Matriz se detallará el estado del componente, procurando que se haga en términos descriptivos (por ejemplo, para la tubería de hierro galvanizado indicar si presenta corrosión) sin utilizar categorizaciones relativas como bueno y regular.

Daños estimados

En la tercera columna de la Matriz, se describirán las características del impacto esperado sobre cada uno de los elementos expuestos. La Tabla 4.1 adjunta presenta una ilustración de los tipos de daño que pueden ocurrir en algunos componentes a causa de desastres naturales.

Una descripción detallada de los principales daños que pueden causar las amenazas naturales se ha

[21] OPS/OMS, Salud Ambiental con posterioridad a los desastres naturales , Publicación Científica, 1982.

realizado en el capítulo 3. Consulte la sección correspondiente (terremotos, huracanes, innundaciones, deslizamientos, erupciones volcánicas y sequías) para completar esta parte de los daños en la matriz 3.

Tiempo de rehabilitación (TR)

En la cuarta columna de la Matriz 3, se escribirá la estimación del tiempo de rehabilitación del componente analizado. La metodología que se presentará a continuación, fue desarrollada en el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS), como elemento de información sobre la magnitud del daño y las expectativas de rehabilitación en términos de tiempo. Se aplica a componentes estructurales tales como: estaciones de bombeo, tanques de almacenamiento, plantas de tratamiento o tuberías de conducción y distribución, etc. Para cuencas hidrográficas, acuíferos o grandes represas, el método sigue siendo válido aún cuando requiere de análisis especializados.

El tiempo de rehabilitación depende de:

- El tipo y la magnitud del daño, el cual se obtiene después de efectuar un análisis detallado;
- Las necesidades y disponibilidad de recursos humanos, materiales, financieros y de transporte para reparar el daño;
- El acceso al sitio donde debe efectuarse la rehabilitación.

Por estas razones, con frecuencia el TR sólo podrá estimarse en forma de rangos.

El TR, expresado en días, se establece para cada componente afectado del sistema, por lo que será necesario calcular los TR para cada componente y para el sistema como un todo. Se requiere amplia experiencia en: rehabilitación, reconstrucción y reparación, conocimiento detallado del sistema de abastecimiento de agua potable, los recursos disponibles y la capacidad de la empresa para atender estas situaciones con recursos propios, de Defensa Civil y/o de la empresa privada.

Para estimar el TR del sistema, se hará la sumatoria en "serie" o en "paralelo" de los tiempos de rehabilitación de los componentes. Esta sumatoria es en serie cuando la rehabilitación se hace uno después del otro, y en paralelo cuando se realicen en forma simultánea. Esta metodología también se aplica por etapas de rehabilitación; así por ejemplo, puede establecerse el TR para determinado componente al 25%, 50% y finalmente al 100% de su capacidad. Ello se expresa como TR_{25}, TR_{50} y finalmente TR, que equivale a TR_{100}.

Por ejemplo, para el cálculo de tiempos parciales de rehabilitación de una tubería de gran diámetro dañada por deslizamientos, los tiempos a considerar para establecer el TR son los siguientes:

i) Tiempo de reporte del daño, cierre de válvulas y movilización para iniciar la reparación (personal, equipo, materiales);
ii) Tiempo de acceso a las zonas afectadas;
iii) Tiempo de ejecución de las reparaciones (depende de la magnitud del daño y de los recursos existentes);
iv) Tiempo de espera luego de la reparación antes de reiniciar la operación (por ejemplo: espera de fragua de anclajes);
v) Tiempo de puesta en operación (llenado de tuberías).

La sumatoria de estos tiempos parciales corresponderá al TR_{100} para la rehabilitación de la tubería al 100% de su capacidad. El TR así calculado servirá para comparar los TR de diferentes daños y determinar los componentes críticos para priorizar la ejecución de medidas de mitigación o reforzamiento. Si durante la rehabilitación, resultan necesarias otras formas de abastecimiento de agua potable, deberá incluirse como procedimiento en el plan de emergencia.

Matriz 4A - Medidas de mitigación y emergencia (Aspectos administrativos y operativos)

Nombre del sistema: ❑ Agua potable ❑ Alcantarillado

AREA	MITIGACION		EMERGENCIA	
		COSTO US$		COSTO US$
A) ORGANIZACION INSTITUCIONAL				
B) OPERACION Y MANTENIMIENTO				
C) APOYO ADMINISTRATIVO				
D) ASPECTOS OPERATIVOS				
TOTAL				

El análisis de los diferentes desastres probables en la zona producirá un cuadro general de amenazas, componentes y TR, lo que permitirá determinar cuáles son los componentes críticos del sistema.

Capacidad remanente

En la quinta columna de la Matriz 3 se anotará la capacidad remanente de operación del componente en unidades acordes al componente analizado (como pueden ser de flujo en tuberías, volúmenes en reservorios y tanques) y de porcentaje respecto a la capacidad con anterioridad al impacto del desastre.

El tiempo de rehabilitación (TR) y la capacidad remanente son un buen índice de la vulnerabilidad del componente expuesto.

Impacto al servicio

En la sexta columna, para cada elemento expuesto se indicará el impacto al servicio. Para ello, se tomará en cuenta que el impacto no es únicamente la interrupción total del servicio, sino que este puede verse deteriorado en términos de calidad o de cantidad. La cuantificación del impacto en el servicio se hará entonces mediante la medición del número de conexiones para las que el servicio se ha interrumpido, o para aquellas para las cuales el servicio se mantiene, pero con una disminución significativa de su calidad (deterioro de la calidad del agua, por ejemplo) o de su cantidad (racionamientos de agua).

La información aquí consignada es la clave del análisis de vulnerabilidad y se le deberá poner especial énfasis. Deberá ser elaborada por profesionales con amplia experiencia en operación, mantenimiento, diseño y rehabilitación de sistemas de agua potable, que puedan pronosticar con la mejor aproximación posible las situaciones que generarán las solicitaciones externas para determinar los parámetros de vulnerabilidad. Esta información, conjuntamente con el tiempo de rehabilitación, se utilizará en el plan de emergencia para indicar las necesidades de proveer agua por otros medios, el tiempo durante el cual este servicio se deberá implementar, y las conexiones e instalaciones prioritarias de atención del drenaje.

Matriz 4A – Medidas de mitigación y emergencia (aspectos administrativos y operativos)

De manera general, la reducción de la vulnerabilidad operativa y administrativa se puede lograr con medidas como mejoras en los sistemas de comunicación, previsión del adecuado número y tipo de vehículos de transporte, previsión de generadores auxiliares, frecuencia de inspecciones en la línea, detección de deslizamientos lentos tipo repteo, corrección de fugas en áreas de suelos inestables, planificación para atención de emergencias. Es decir, acciones preventivas identificadas en el análisis de vulnerabilidad que además de reducir las debilidades ante la eventual ocurrencia de desastres naturales, optimicen la operación del sistema y minimicen el riesgo de fallas en condiciones normales de servicio.

En esta matriz se plantearán las medidas de mitigación y de emergencia para cada componente analizado o identificado como vulnerable. Para cada caso se indicarán las medidas de mitigación y sus costos estimados, así como las medidas de emergencia y sus costos estimados. Se debe hacer referencia a las medidas de mitigación y de emergencia correspondientes, los aspectos de: (a) organización; (b) operación y mantenimiento; (c) administrativos y (d) aspectos operativos.

Matriz 4B - Medidas de mitigación y emergencia (Aspectos físicos)

Nombre del sistema: ❑ Agua potable ❑ Alcantarillado

COMPONENTE	PLAN DE MITIGACION		PLAN DE EMERGENCIA	
		COSTO US$		COSTO US$
TOTAL				

Matriz 4B – Medidas de mitigación y emergencia (aspectos físicos)

En la Matriz 4B se sintetizan las medidas de mitigación y de emergencia correspondientes a los componentes físicos; éstos se indicarán en el mismo orden en que fueron analizados en la Matriz 3. Es aconsejable que esta matriz sea llenada por el mismo equipo de profesionales que efectuó el análisis de vulnerabilidad físico.

La Matriz 4B está dividida en dos secciones. En la primera, plan de mitigación, se indicarán las medidas de mitigación para los componentes físicos que pueden corresponder a obras de reforzamiento, sustitución, rehabilitación, colocación de equipos redundantes, mejoramiento de accesos, etc. Junto a cada componente se indicará la prioridad de atención que corresponderá a los que tengan: (a) mayor tiempo de rehabilitación; (b) mayor frecuencia; y/o, (c) componentes críticos, así mismo se indicarán los costos asociados a la implementación de dichas medidas. En la segunda, plan de emergencia, se indicarán las medidas y procedimientos de emergencia necesarios a ser implementados, si el impacto se presentara antes que las medidas de mitigación fuesen ejecutadas.

Osorio, 1997

Las medidas de emergencia que tenga que tomar la empresa para atender un desastre debe asegurar a la población el abastecimiento de agua con las calidades requeridas.

Algunas de las medidas de mitigación que pueden ser consideradas para reducir la vulnerabilidad por las condiciones desfavorables del estado actual de algunos de los componentes en los sistemas de agua potable y alcantarillado son:

- Reemplazar el componente, equipo o accesorio si su estado de conservación es malo, monitorearlo periódicamente si su estado es regular, p.e. bombas electromecánicas, generadores auxiliares o válvulas.
- Reparar los elementos, equipos y accesorios con funcionamiento defectuoso.
- Reemplazar los elementos, equipos y accesorios no adecuados o sin funcionamiento.
- Adquirir componentes, equipos y accesorios faltantes, por ejemplo generadores auxiliares en zonas de prolongados y continuos períodos de falta de energía eléctrica.

Algunas medidas de mitigación generales que pueden ser consideradas para reducir la vulnerabilidad por el impacto de determinadas amenazas son:

Deslizamientos Activos

- Reubicar si es posible o implementar zanjas drenantes en la zona inestable.
- Construir pequeños muros de sostenimiento para las estructuras o pequeños anclajes de las tuberías.
- Cambiar los elementos rígidos y colocar tubería flexible en trazado sinusoidal.
- Enterrar en roca firme la tubería en caso de laderas muy inclinadas con poco suelo de cobertura.

- Forestar y mantener la cobertura vegetal del sitio o de la cuenca. Retirarse del borde y pie de talud muy inclinado.

Inundaciones

- Construir pasos subfluviales de tuberías y desarenadores apropiados.
- Instalar desconexión automática de bombas horizontales.
- Forestar y mantener la cobertura vegetal de la cuenca, elevar el nivel topográfico con rellenos.

Vulcanismo

- Reubicar si es posible o implementar protección como cobertura permanente de tanques de almacenamiento y tratamiento, desarenadores.
- Construir muros de protección y pasos subfluviales de tuberías.

Sismos

- Reforzamiento estructural de los elementos
- Protección del sitio contra deslizamientos, caída de rocas y crecidas.
- Reforzamiento o cambio de los elementos agrietados o construidos con material de mala calidad y de los elementos o accesorios rígidos.

Anexo 1
Ejemplos de efectos de sismos en sistemas de tuberías*
(1969 - 1997)

* Recopilación realizada por el Ing. José Grases de Venezuela en 1997.

Evento	(Ms)	Daños reportados
Terremoto de Santa Rosa, Santa Rosa - California, Estados Unidos 01/10/1969	5,7	Hubo daños menores en los tanques de almacenamiento, estaciones de bombeo y represas. Ocurrieron daños significativos en el sistema de tuberías de distribución.
Terremoto de San Fernando, California, Estados Unidos 09/02/1971	6,6	Los daños a las estructuras hidráulicas constituyeron el mayor impacto del terremoto de San Fernando, en lo referente a las fuentes y a las tuberías de suministro. Se produjeron pronunciadas fluctuaciones en los niveles de agua de los pozos. La intensidad sísmica en San Fernando osciló entre VIII y IX. Los efectos más importantes en el sistema de agua potable se presentaron en las presas, reservorios, tanques de agua, tanques principales, tuberías y cloacas. Los Lagos Van Norman y otra serie de reservorios del Valle de San Fernando sufrieron daños severos. Los lagos eran parte del Acueducto de Los Ángeles. La parte superior de la represa del Lago Van Norman se fracturó y la cresta se hundió. Una de las tomas fue destruida.
Terremoto de Managua, Nicaragua 23/12/1972	6 1/4	El sistema de distribución consistía de tuberías de hierro fundido de 16 pulg. Las tuberías menores a 4 pulg. eran de P.V.C. La intensidad sísmica osciló entre V y IX. El día 30 de diciembre había agua presurizada en las tuberías principales en las zonas bajas de la ciudad. Se identificaron aproximadamente 100 roturas en la conducción. La porción oriental de la ciudad no contaba con servicio de agua para esa fecha. Los techos de las estaciones de bombeo colapsaron. Se presentaron daños en el tanque debidos a asentamientos diferenciales y también a la rotura de las juntas colocadas en el piso. El tanque tuvo que ser vaciado para su inspección y posterior reparación.
Terremoto de Guatemala 04/02/1976	7,5	Sismo asociado al borde noroeste de la placa del Caribe. Ruptura de la falla de Motagua a lo largo de cerca de 250 km. con desplazamiento transcurrente simestral promedio de 100 cm. Daños en numerosas instalaciones, aún cuando no se reportaron tuberías afectadas.

Terremoto de Cotabato, Isla de Mindanao, Filipinas 17/08/1976	7,9	El principal suministro a la ciudad de Cotabato era por medio de una toma desde el Río Dimapato, distante 16 km., con una elevación de 116 m., el cual quedó en buenas condiciones. Las líneas de conducción consistían en tuberías de 20 cm. de diámetro para un total de 5.5 km. seguidas de 10,5 km. de tuberías de 26 cm. de diámetro. La tubería de 26 cm. de diámetro se rompió debido a que la cubierta del puente le cayó encima.
Terremto de San Juan y Mendoza, Argentina 23/11/1977	7,4	El terremoto ocasionó daños de importancia variable, localizándose los mayores en los Departamentos de Caucete, San Martín y 25 de Mayo. La red de distribución de la ciudad de Caucete presentó roturas en todo su recorrido (aproximadamente 40 km.), situación agravada por el elevado nivel de la capa freática y por el fenómeno de licuefacción.
Terremoto de México 19/09/1985	8,1	El Departamento del Distrito Federal operaba y mantenía 72.000 km. de tuberías. El 80% del agua del suministro provenía de acuíferos, enviada a la ciudad a través de acueductos desde el norte, oeste y sur. Las tuberías eran de 5 cm. a 305 cm. de diámetro. La intensidad sísmica osciló entre VIII y IX. Durante el terremoto lo más notorio fue que las tuberías subterráneas sufrieron más daño que las tuberías superficiales. La mayoría de las tuberías de gran diámetro tuvieron roturas producto de las conexiones rígidas en el sistema, tales como conexiones T, conexiones en cruz, válvulas de puertas en bóveda y las líneas de entrada a las construcciones.
Terrremoto de San Salvador, El Salvador 10/10/1986	5,4	Como consecuencia del sismo, hasta el 30 de octubre, se reportaron un total de 2400 roturas, esencialmente en la red de agua potable; la detección de esa fallas fue relativamente rápida por las reducciones de presión. La longitud de la tubería dañada se estimó en 80 km., un 20% del total de su longitud. También se estimaron 65 km. dañados de la red de alcantarillado (22% del total). Las roturas se atribuyeron a asentamientos diferenciales y a deformaciones impuestas por el paso de las ondas sísmicas, ya que San Salvador está ubicado en una zona de depósitos de cenizas volcánicas. En la red de agua potable se encontraron fallas, incluso en tuberías de acero dúctil.

Terremoto de la Provincia del Napo, Ecuador 05/03/1987	6,8	Sismo en la zona nor-oriental del Ecuador, precedido por otro de magnitud 6,1 cerca de tres horas antes, con epicentro cercano al volcán Reventador, en un área de complejo fallamiento geológico. Avalanchas y deslaves, debido a saturación por período de lluvias anteriores al sismo, afectaron de manera diferente una extensión del orden de 40 km. del Oleoducto Trans-ecuatoriano proveniente de los yacimientos de Lago Agrio, especialmente entre el Río Salado y la población de Lumbaqui, siendo la más afectada entre el Río Salado y la Cascada de San Rafael. A raíz de este sismo desaparecieron cerca de 17 km. del oleoducto y colapsaron 2 puentes, por efecto de grandes deslizamientos y/o represamientos inestables en el área.
Terremoto de Spitak y Leninakán, Armenia 07/12/1988	6,8	La fuente de agua para Leninakán estaba localizada aproximadamente 32 km. al norte de la ciudad. El agua es transportada a la ciudad mediante tres tuberías. Dos de las fuentes provenían de la montaña y no eran tratadas antes de ser distribuidas a la ciudad. Las tuberías son de 500-600 mm. de diámetro, una de ellas es de acero y la otra de una mezcla de acero y hierro fundido. La tercera tubería de 500-600 mm. de diámetro y de material mezclado de hierro fundido y acero, transportaba el agua tratada para uso industrial. Las tres tuberías que servían a Leninakán pasaban a través de una pendiente de aproximadamente 7 km. al norte de la ciudad. En esta pendiente las tuberías quedaron enterradas aproximadamente 1 km. Así mismo un derrumbe de roca de un ancho aproximado de 4 1/2 km., cubrió y dañó las tuberías localizadas a un lado del río. La intensidad sísmica en esta zona fue de VIII.
Terremoto de Loma Prieta, California, Estados Unidos 17/10/1989	7,1	Las interrupciones que sufrió el sistema de energía eléctrica afectó las plantas de tratamiento y a las estaciones de bombeo. Se utilizaron plantas de energía eléctrica portátiles en los centros de operaciones y en las estaciones de bombeo. Las tuberías matrices en el área de los canales de la falla de Calaveras, construida en la década de los 50, con espesores de 4 pulg. y 6 pulg. y de hierro fundido con conexiones de campana y espiga, sufrieron daños significativos. En el sistema de distribución hubo muchas roturas en las conexiones residenciales.

		El terremoto de Loma Prieta causó muchos daños a las tuberías ubicadas en rellenos sin compactar y en suelos aluviales. También hubo daños en suelos compactados, pero de menor cuantía. La intensidad sísmica osciló entre VI y VIII.
Terremoto de Limón, Costa Rica 22/04/1991	7,4	La intensidad sísmica en la ciudad de Limón fue de VIII. Durante el terremoto se presentaron daños serios en la cuenca del Río Banano, por desprendimientos superficiales de los suelos, provocando turbiedad de 100.000 UNT. En el sistema de tuberías de agua potable se observaron cuatro tipos de fallas: en el cuerpo del tubo, caracterizada por grietas alrededor del mismo en segmentos intermedios; en pieza de unión entre dos segmentos de tuberías; en la unión debido a separación por tensión; y en la unión por compresión telescópica.
Terremoto de Erzincan, Turquía 13/03/1992	6,8	Había aproximadamente 250 km. de tuberías de distribución en la ciudad. Las tuberías de distribución de asbesto-cemento de 80 cm. de diámetro fueron dañadas en algunos lugares. Las tuberías de distribución en la mayoría eran de hierro fundido de 60 cm. de diámetro. Existían también tuberías de PVC de diámetros de 8 a 12,5 cm. y de asbesto-cemento de diámetros de 20 a 25 cm. Se reportaron daños en tanques clarificadores y en las estaciones de bombeo, pero no afectaron su operación. La intensidad sísmica fue de VIII. Una rotura simple se observó en una junta de una tubería de transmisión de acero de 80 cm. de diámetro. En las tuberías matrices se reportaron veinticinco rupturas. Se observaron roturas en las juntas de las tuberías de PVC y asbesto-cemento.
Terremoto de Northridge, Los Angeles, California 17/01/1994	6,7	El agua de suministro de Los Angeles era provista por dos acueductos provenientes de un Valle. El Acueducto Nº 1 sufrió daños en cuatro sitios; sin embargo, fue operado con niveles de presión baja durante cuatro semanas después del terremoto mientras se hacían las reparaciones al Acueducto Nº 2. Hubo rompimiento de tuberías de concreto de 54-77-78-85 y 120 pulg.

		Los túneles fueron revisados y no tuvieron daños mayores; algunas roturas menores alrededor del Terminal Hill. Estas roturas fueron selladas con resina de uretano. Al norte del terminal Hill una tubería de acero de 77 pulgadas sufrió daños por compresión. El Valle de Simi localizado 20 km. al oeste del epicentro, recibe agua de la planta de tratamiento Jensen. El agua es enviada a dos grandes tanques de almacenamiento ubicados al este del Valle Simi. El túnel no sufrió daños, pero las tuberías de 78 y 51 pulgadas se resquebrajaron para una intensidad de VIII. Los principales daños sufridos en las tuberías de distribución se debieron a vibraciones y movimientos intensos. Las más afectadas fueron aquellas de hierro que poseían juntas rígidas y las que estaban afectadas por corrosión. En el área de Newhalla, seis de los siete tanques inspeccionados tuvieron que salir de servicio, dado que sufrieron rompimientos y daños en las válvulas. En el área de Valencia, uno de los tanques sufrió un colapso total producto de las rasgaduras de la cubierta del fondo. El flujo del agua de este tanque dañó al tanque adyacente.
Terremoto de Kobe, Japón 17/01/1995	7,2	Aproximadamente el 75% del agua potable de Kobe era suministrada desde el Río Yodo a través de dos tuberías matrices, las que quedaron fuera de servicio después del terremoto, dejando a más de 1,5 millones de habitantes sin suministro de agua. Veintitrés roturas se presentaron en una de las principales tuberías de 1,25 m. de diámetro, aparentemente de concreto. Las tuberías subterráneas de agua tuvieron daños severos con numerosas roturas quedando fuera el servicio. La intensidad sísmica en Kobe fue de IX a X. También en la otra línea falló una estación de bombeo y una planta de tratamiento.

Terremoto de Cariaco, Venezuela 09/07/1997	6,9	Sismo asociado al borde sur-este de la Placa del Caribe. Ruptura de la falla de El Pilar a lo largo de unos 50 km. con desplazamiento transcurrente dextral hasta de 40 cm. Sufrieron daños las tuberías enterradas y las instalaciones de tratamiento de agua servidas. Falló por pandeo a compresión una tubería de agua potable enterrada que cruzó la falla con un ángulo de 30º a 35º a 5 km. de Cariaco.

Anexo 2
Ejemplo de aplicación en la ciudad de Limón, Costa Rica

Introducción

Los datos que a continuación se presentan se han recopilado de un estudio de caso[22] realizado por el Ing. Saúl Trejos en el sistema de agua potable y alcantarillado sanitario de la ciudad de Limón, Costa Rica, frente a amenazas sísmicas. Las diferencias que existen en la forma en que aparecen en dicho estudio de caso y la que se utiliza aquí, se deben a que la metodología ha sufrido algunas variaciones en el método de recopilar y presentar los datos relevantes para la identificación de la vulnerabilidad.

El estudio de caso realizado en Costa Rica, junto a otros tres realizados en Brasil, Venezuela y Montserrat sobre inundaciones, deslizamientos, huracanes y erupciones volcánicas, sirvieron para validar la metodología presentada en esta publicación como una herramienta de fácil uso para que las empresas que prestan los servicios de agua potable y saneamiento, puedan realizar los estudios de análisis de vulnerabilidad frente a las amenazas naturales más comunes.

El estudio de caso, ciudad de Limón, Costa Rica

El estudio de vulnerabilidad se realizó en 1996, haciendo un análisis retrospectivo de los sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario, porque los datos técnicos utilizados sobre los diferentes componentes correspondían a información de 1991, anterior incluso al terremoto que en el mes de abril de ese año impactó gravemente la zona. Con el estudio, se logró concluir que hubiese sido más efectivo y económico haber ejecutado un plan de mitigación sísmica en los sistemas de saneamiento de la cuidad de Limón que la reconstrucción posterior: hubiesen costado cuatro millones de dólares menos, y se hubiese evitado el daño (o parte del mismo) provocado a los miles de usuarios afectados.

Aunque en el estudio se analiza al completo el sistema de agua potable y alcantarillado sanitario de la zona, en este caso, y como modelo para rellenar las matrices de vulnerabilidad, se ha considerado uno de los subsistemas de agua potable que abastecía la ciudad de Limón, el del Río Banano, y el sistema de alcantarillado sanitario.

La ciudad de Limón es la cabecera provincial de la provincia del mismo nombre, y se encuentra ubicada a 160 kms. de San José, capital de Costa Rica. En 1991 la población servida por el acueducto de la ciudad ascendía a cerca de 55.000 habitantes, lo cual correspondía a 10.764 conexiones domiciliarias. La cobertura de abastecimiento de agua potable era de casi el 100%; en cambio la de alcantarillado sólo alcanzaba al 20%.

[22] OPS/OMS. Estudio de caso: Terremoto del 22 de abril de 1991. Limón, Costa Rica , 1996

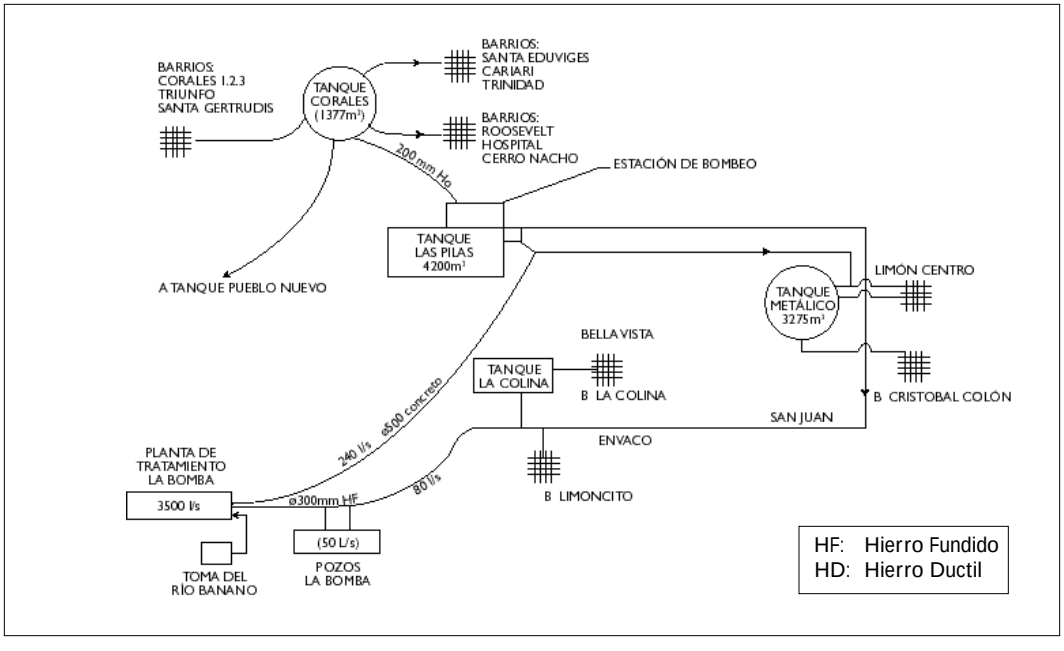
En 1991 el sistema de abastecimiento de agua de Limón, tenía tres fuentes de abastecimiento, con una capacidad máxima instalada de 500 l/s y promedio de producción de 391 l/s. El sistema de agua se podía dividir en los siguientes tres subsistemas: Río Banano (producía el 71% del agua que abastecía a la ciudad de Limón), Moín (producía el 21%) y campo de pozos La Bomba (producía el 8%).

A continuación se resumen las características más importantes, del subsistema río Banano (ver figura A.1), con los cuales se ejemplificará el uso de las matrices de vulnerabilidad:

- Captación: El Subsistema del Río Banano, extraía el agua cruda mediante una estación de bombeo (tres motobombas) ubicada en el Río Banano, de donde se podía aprovechar desde 120 l/s a 350 l/s.
- Línea de conducción: estaba formada principalmente por tubería de 350mm. de diámetro, instalada en 1981, donde sus uniones eran del tipo Tyton. La tubería se ubica principalmente sobre terreno aluvial y arcilloso.
- Planta de tratamiento: El sedimentador consistía en un tanque de concreto reforzado, además se contaba con unidades de mezcla rápida, floculación, sedimentación y filtración.

Una descripción más detallada de las características de cada uno de los componentes de este subsistema, así como de cualquiera de los otros susbsistemas que abastecen a la ciudad de Limón, se pueden encontrar en la publicación Estudio de Caso: Terremoto del 22 de Abril de 1991. Limón Costa Rica.

Figura A1.
Conducción y distribución de las aguas del sistema del río Banano



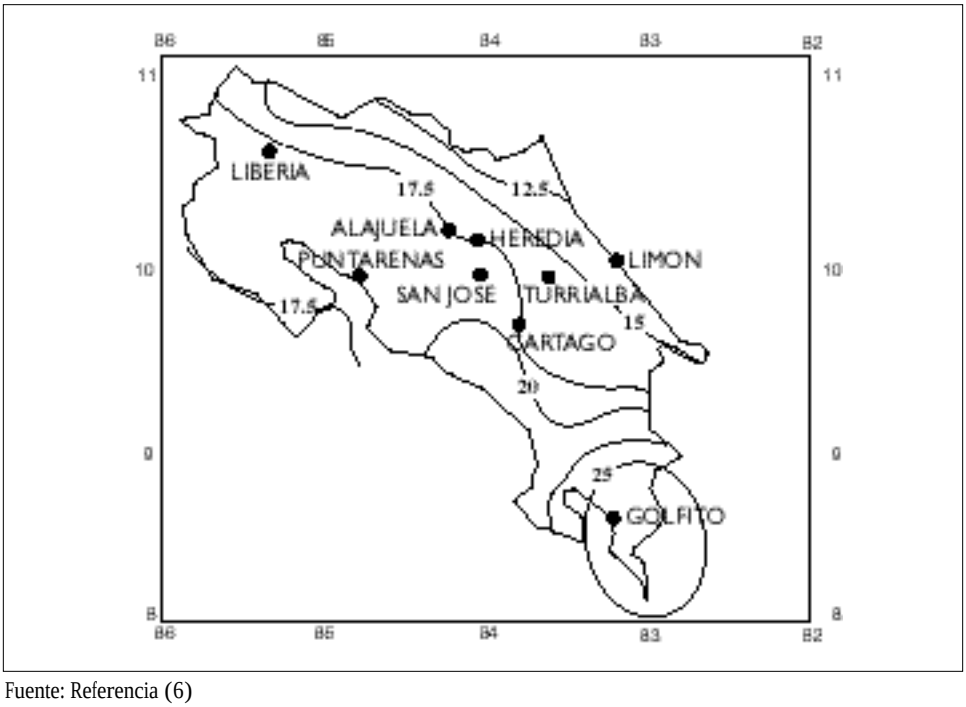
Amenaza sísmica en la ciudad de Limón

Dentro de la historicidad sísmica propia de la zona atlántica de Costa Rica, donde se ubica la ciudad de Limón, se tiene información de sismos fuertes que afectan la región del Fuerte de San Fernando de Matina (1798) y del terremoto de San Estanislao (1822), con una magnitud estimada de 7,50 en la escala de Richter (Ms), que afectó fuertemente la región de Matina y provocó licuefacción de suelos y un pequeño tsunami en la costa caribeña y fue sentido desde Monkey Point hasta Bocas del Toro, Panamá. Posteriormente, está el terremoto del 20 de diciembre de 1904, originalmente ubicado en la zona del Golfo Dulce, pero se tienen fuertes indicios para ubicarlo en la zona caribeña y no en el Pacífico sur del país; el terremoto de Bocas del Toro del 26 de abril de 1916; el terremoto de Limón del 7 de enero de 1953 con una magnitud no menor de Ms 5,50 y el reciente terremoto en el Valle de La Estrella del 22 de abril de 1991, con una magnitud de 7,4 Ms. Existe también una serie de pequeños eventos con magnitudes entre Ms 4,0 y 5,0 que se cree fueron generados en la región Atlántica, pero debido a lo poco poblado de la zona no existen mayores reportes de los mismos o no fueron sentidos del todo. Dado que esta zona no había sido considerada como cercana a fuentes sísmicas importantes no existían acelerógrafos instalados en la ciudad de Limón ni en sus cercanías antes del terremoto del 22 de abril de 1991.

El riesgo sísmico de Costa Rica queda ilustrado en la figura A.2. Se puede ver que a pesar de que la ciudad de Limón está ubicada en las zonas de menor riesgo sísmico del país, los daños sufridos con el terremoto de 1991 fueron de gran importancia.

A continuación se presentan las cinco matrices con los datos recolectados a partir de este estudio de caso.

Figura A2
Isoaceleraciones para período de retorno de 100 años



Fuente: Referencia (6)

Matriz 1A - Aspectos operativos

Nombre Sistema Agua Potable: Subsistema río Banano (ciudad de Limón, Costa Rica)				
COMPONENTE	CAPACIDAD COMPONENTE	REQUERIMIENTO ACTUAL	DÉFICIT (-) SUPERÁVIT (+)	SISTEMAS REMOTOS DE ALERTA
Cuenca	38000 1/s	252 1/s	3548 1/s	
Toma río Banano	350 1/s	252 1/s	98 1/s	
Línea de impulsión	350 1/s	252 1/s	98 1/s	
Planta de tratamiento	350 1/s	252 1/s	98 1/s	
Pozos río Banano	51 1/s	51 1/s	01 1/s	
Líneas de conducción 300mm	68 1s	83 1s	-15 1s	
Líneas de conducción 500 mm	240 1/s	218 1/s	22 1/s	
Tanque metálico	3275 m^3	1334 m^3	1941 m^3	
Tanque la Colina (1)	150 m^3	2147 m^3	-1997 m^3	
Estación de rebombeo	4200 m^3	2374 m^3	1826 m^3	
Tanque de Corales	1377 m^3	2927 m^3	-650 m^3	
Redes	374 1/s	453 1/s	-79 1/s	

SISTEMAS DE INFORMACION Y ALERTA INTERINSTITUCIONAL
- ☒ Defensa Civil
- ❑ Instituto Meteorológico
- ❑ Instituto Vulcanológico
- ❑ Instituto Sismológico
- ☒ Otro: Cruz Roja
- ☒ Otro: Bomberos
- ☒ Otro: ICE
- ☒ Otro: Poder Ejecutivo

SISTEMAS DE INFORMACION Y ALERTA EN LA EMPRESA
- ☒ Radio UHF - Red 30 KHz
- ❑ Radio VHF
- ☒ Teléfono - no confiable en emergencias
- ❑ Otro:
- ❑ Otro

SISTEMAS DE INFORMACION A LOS USUARIOS
- ☒ Radio
- ☒ Televisión
- ❑ Circulares
- ☒ Otro: Comunicados de prensa

(1) Solamente abastece a un pequeño sector.

Matriz 1B - Aspectos operativos

Nombre Sistema Alcantarillado: Red colectora de la ciudad de Limón, Costa Rica			
COMPONENTE	COBERTURA %	CAPACIDAD	SISTEMAS REMOTOS DE ALERTA
Redes colectoras:			
• Cuenca Central	80	72 1/s	No existen
• Pinta	72	16 1/s	No existen
• Corales	85	18 1/s	No existen
• Cangrejos	45	12 1/s	No existen
• Portete	15	1 1/s	No existen
Estación de bombeo		75 1/s	No existen
Línea de impulsión		75 1/s	No existen

SISTEMAS DE INFORMACION Y ALERTA INTERINSTITUCIONAL ☒ Defensa Civil ❑ Instituto Meteorológico ❑ Instituto Vulcanológico ❑ Instituto Sismológico ☒ Otro: Cruz Roja ☒ Otro: Bomberos ☒ Otro: ICE ☒ Otro: Poder Ejecutivo	SISTEMAS DE INFORMACION Y ALERTA EN LA EMPRESA ☒ Radio UHF - Red 30 KHz ❑ Radio VHF ☒ Teléfono - no confiable en emergencias ❑ Otro: ❑ Otro SISTEMAS DE INFORMACION A LOS USUARIOS ☒ Radio ☒ Televisión ❑ Circulares ☒ Otro: Comunicados de prensa

No existe tratamiento de aguas residuales

Matriz 2 - Vulnerabilidad administrativa de la empresa y capacidad de respuesta

NOMBRE DEL SISTEMA: Red colectora de la ciudad de Limón, Costa Rica

SISTEMA DE: ❑ AGUA POTABLE ☒ ALCANTARILLADO

ORGANIZACION INSTITUCIONAL	OPERACION Y MANTENIMIENTO	APOYO ADMINISTRATIVO
A. PLANES DE ATENCION DE EMERGENCIAS ❑ SI ☒ NO Ultima revisión	A. PROGRAMAS DE PLANIFICACION ☒ SI ❑ NO	A. DISPONIBILIDAD Y MANEJO DE DINERO ☒ SI ❑ NO MONTO: Approx. US$2.100 (1)
B. PLANES DE MITIGACION ❑ SI ☒ NO	B. PROGRAMAS DE OPERACION ☒ SI ❑ NO	B. APOYO LOGISTICO DE PERSONAL, ALMACENES Y TRANSPORTE ☒ SI ❑ NO
C. COORDINACION INTERINSTITUCIONAL ❑ SI ☒ NO	C. PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO ☒ SI ❑ NO	
D. COMISION DE FORMULACION DE LOS PLANES DE MITIGACION ❑ SI ☒ NO	D. PERSONAL CAPACITADO ☒ SI ❑ NO	
E. COMITE DE EMERGENCIAS ❑ SI ☒ NO No está totalmente constituído Miembros del comité Nombre Cargo	E. DISPONIBILIDAD DE EQUIPO Y MAQUINARIA ☒ SI ❑ NO Tipo de equipo y maquinaria	C. CONTRATACION DE EMPRESA PRIVADA EN EL MERCADO ❑ SI ☒ NO No hay flexibilidad legal Nombre
	• Para redes de distribución de agua, existe materiales para mantenimiento en tiempos normales	
	• Alta disponibilidad de equipo para emergencias de mediana magnitud	
	• Stock para mantenimiento de equipos electromecánicos	

(1) Monto disponible para sistema de acueductos y alcantarillado.

Matriz 2 - Vulnerabilidad administrativa de la empresa y capacidad de respuesta

NOMBRE DEL SISTEMA: Acueducto de la ciudad de Limón, Costa Rica

SISTEMA DE: ☒ AGUA POTABLE ❑ ALCANTARILLADO

ORGANIZACION INSTITUCIONAL	OPERACION Y MANTENIMIENTO	APOYO ADMINISTRATIVO
A. PLANES DE ATENCION DE EMERGENCIAS ❑ SI ☒ NO Ultima revisión	A. PROGRAMAS DE PLANIFICACION ☒ SI ❑ NO	A. DISPONIBILIDAD Y MANEJO DE DINERO ☒ SI ❑ NO MONTO: Approx. US$2.100 (1)
B. PLANES DE MITIGACION ❑ SI ☒ NO	B. PROGRAMAS DE OPERACION ☒ SI ❑ NO	B. APOYO LOGISTICO DE PERSONAL, ALMACENES Y TRANSPORTE ☒ SI ❑ NO
C. COORDINACION INTERINSTITUCIONAL ❑ SI ☒ NO	C. PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO ☒ SI ❑ NO	
D. COMISION DE FORMULACION DE LOS PLANES DE MITIGACION ❑ SI ☒ NO	D. PERSONAL CAPACITADO ☒ SI ❑ NO	
E. COMITE DE EMERGENCIAS ❑ SI ☒ NO No está totalmente constituído Miembros del comité Nombre Cargo	E. DISPONIBILIDAD DE EQUIPO Y MAQUINARIA ☒ SI ❑ NO Tipo de equipo y maquinaria	C. CONTRATACION DE EMPRESA PRIVADA EN EL MERCADO ❑ SI ☒ NO No hay flexibilidad legal Nombre
	• Para redes de distribución de agua, existe materiales para mantenimiento en tiempos normales	
	• Alta disponibilidad de equipo para emergencias de mediana magnitud	

(1) Monto disponible para sistema de acueductos y alcantarillado.

Matriz 3 - Aspectos físicos y de impacto en el servicio

NOMBRE DEL SISTEMA: Acueducto de la ciudad de Limón, Costa Rica (subsistema río Banano)

TIPO DE SISTEMA: ☒ AGUA POTABLE ❑ ALCANTARILLADO

TIPO DE AMENAZA: Sísmica PRIORIDAD(1): ☒ 1 ❑ 2 ❑ 3

AREA DE IMPACTO: Provincia de Limón, Costa Rica

COMPONENTES EXPUESTOS	ESTADO DEL COMPONENTE	DAÑOS ESTIMADOS	TR 100 (días)	CAPACIDAD REMANENTE INMEDIATA		IMPACTO EN EL SERVICIO(2) (conexiones)
				[ ]	%	
Cuenca	n/a	Aumento de turbiedad a 600 UNT	365	0	0	7148
Toma río Banano	Vulnerable a averías	Volcamiento de paneles de control	4	0	0	7148
Línea de impulsión	Uniones rígidas	No se esperan	0	350 1/s	100	0
Planta de tratamiento	Buen estado	Fallas de pantallas	60	0	0	7148
Pozos la Bomba	Buen estado	Corte de suministro eléctrico	4	0	0	1140
Líneas de conducción 300mm.	Su antiguedad la hace crítica	54 fallas en uniones	19	0	0	2280
Líneas de conducción 500 mm.	Tuberías de material frágil	144 fallas en uniones	56	0	0	6008
Tanque metálico	Buen estado	No se esperan	0	3275m^3	100	0
Tanque la Colina	Regular estado	Agrietamiento de paredes	6	0	0	3683
Estación de rebombeo	Aceptable	Agrietamientos en la base	10	0	0	0
Tanque de Corales	Buen estado	No se esperan	0	1377m^3	100	0

(1) Prioridad 1(Alta): >50% de componentes afectados y/o afectación de la captación o conducción
Prioridad 2 (Media): 25 - 50% de componentes afectados, sin afectación de la captación o conducción
Prioridad 3 (Baja): <25% de componentes afectados, sin afectación de la captación o conducción

(2) Número de conexiones afectadas en términos de calidad, cantidad y/o continuidad del servicio

Matriz 3 - Aspectos físicos y de impacto en el servicio

NOMBRE DEL SISTEMA: Red colectora de la ciudad de Limón, Costa Rica

TIPO DE SISTEMA: ❑ AGUA POTABLE ☒ ALCANTARILLADO

TIPO DE AMENAZA: Sísmica PRIORIDAD(1): ☒ 1 ❑ 2 ❑ 3

AREA DE IMPACTO: Provincia de Limón, Costa Rica

COMPONENTES EXPUESTOS	ESTADO DEL COMPONENTE	DAÑOS ESTIMADOS	TR 100 (días)	CAPACIDAD REMANENTE INMEDIATA		IMPACTO EN EL SERVICIO(2) (conexiones)
				[ ]	%	
Colectores Cuenca Central	Buen estado	17 roturas y 22 daños	21	58 1/s	80	270
Pinta	Buen estado	4 roturas y 5 daños	6	13,5 1/s	85	45
Corales	Buen estado	4 roturas y 1 daño	6	15,8 1/s	89	37
Cangrejos	Buen estado	3 roturas y 4 daños	5	9,4 1/s	80	44
Portete	Regular estado	1 daño	2	0,6 1/s	75	4
Estación de bombeo	Regular estado	Falta de suministro eléctrico	4	0	0	1183
Línea de impulsión	Buen estado	No se esperan	0	75 1/s	100	0

(1) Prioridad 1(Alta): >50% de componentes afectados y/o afectación de la captación o conducción
Prioridad 2 (Media): 25 - 50% de componentes afectados, sin afectación de la captación o conducción
Prioridad 3 (Baja): <25% de componentes afectados, sin afectación de la captación o conducción

(2) Número de conexiones afectadas en términos de calidad, cantidad y/o continuidad del servicio

Matriz 4A - Medidas de mitigación y emergencia (Aspectos administrativos y operativos)

Nombre del sistema: Acueducto ciudad de Limón, Costa Rica ☒ Agua potable ❑ Alcantarillado

AREA	MITIGACION		EMERGENCIA	
		COSTO US$		COSTO US$
A) ORGANIZACION INSTITUCIONAL	• Elaboración del programa para la atención de emergencias y desastres de acuerdo con las guías de la OPS/OMS - Institucionalización y organización del programa - Elaboración de análisis de vulnerabilidad (Nivel 1) - Elaboración del plan de mitigación - Elaboración del plan de emergencias - Capacitación y divulgación • Dentro de este programa especialmente: girar directrices para elaboración de planes de emergencia, creación del Comité de Emergencias, de la Comisión Nacional de Formulación de Planes de Mitigación y Emergencias, implementación del Centro Regional de Emergencia, formalizar convenios de coordinación interinstitucional	20.000,00 25.000,00 27.450,00	- Seguir las rutinas de emergencia conocidas - Improvisar Centro de Emergencia en el plantel de operación y mantenimiento - A través de los comités regionales de emergencia coordinar con otras instituciones y lograr las primeras comunicaciones Sede-Región e integración	5.000,00 5.000,00
B) OPERACION Y MANTENIMIENTO	• Completar la red radial (AyA - Limón) • Recopilar y documentar los programas de operación y mantenimiento • Vía el fabricante obtener información sobre reparación de tubería TCCR • Contar a nivel local con listados de personal clave de la empresa y de otras instituciones	100.840,00 (Global)	- Realizar diagnóstico de daño - Solicitar a la sede movilizar el personal de operación y mantenimiento con experiencia en el manejo de emergencia de las zonas no afectadas hacia el área de desastre - Priorizar reparación de daños	15.000,00 (Global)

	• Detallar y especificar el listado de materiales y accesorios mencionados en la columna (2B) • Detallar y especificar los equipos indicados en columna (2B); además de 2 compresores, 1 retroexcavador, 1 planta eléctrica, 2 bombas para instalar en tanques cisterna, equipo para limpieza y desobstrucción del alcantarillado sanitario, para tener a nivel local		- Programar, dirigir y controlar las labores de rehabilitación - Proceder a la contratación de personal y maquinaria local - Solicitar a la sede el apoyo de equipo y materiales de otras áreas operativas (vehículos, radios, bombas de achique, retroexcavadores, tuberías, accesorios de reparación cortadores, etc.) - Establecer horario de racionamiento y reparto de agua - Mantener bitácoras de acciones efectuadas y registro de las intervenciones - Trasladar de inmediato dinero a la zona afectada e incrementar los fondos de las cajas chicas de dicha zona, así como de las áreas de compras y transportes - Girar instrucciones para atender de inmediato los requerimientos del área afectada (dinero, personal, materiales y equipos) durante las 24 horas del día, inclusive fines de semana	5.000,00 (Global)
C) APOYO ADMINISTRATIVO	• Establecer normas y reglamentos para asegurar la disponibilidad de recursos financieros para emergencias, con procedimientos ágiles para su uso. • Establecer procedimientos que faciliten el traslado de personal de zonas no afectadas al área de desastre y sobre todo flexibilizar la contratación de personal de la zona • Establecer mecanismos para trasladar a las regiones regularmente, listados actualizados del stock de materiales y respuesto y del equipo y vehículos de la institución • Levantar, vía departamento de adquisiciones listado de empresas constructoras privadas con su disponibilidad de equipo	25.000, 00 (Global)		

D) ASPECTOS OPERATIVOS	• Arriostre de paneles de control • Instalación de un equipo a diesel (250 HP) • Establecer convenio AyA-ICE para atención prioritaria de suministro eléctrico • Construcción de un sistema de pretratamiento • Arriostrar cilindros de cloro • Sustituir subestructura de madera y pantalla de AC de floculadores y sedimentadores por un material menos frágil (aluminio, fibra de vidrio, plástico, etc.) • Incluir en convenio AyA-ICE de atención prioritaria de suministro eléctrico • Instalación de dos equipos a diesel (100 y 30 HP)	100,00 75.000.00 300.000,00 100,00 200.000,00 40.000,99	- Enviar cuadrilla electromecánica para reparación - Instalar alterno provisional (alquilado) - Reparar subestructura de madera y sustituir pantallas con materiales disponibles en la zona (madera, por ejemplo) - Ver medidas para toma río Banano arriba indicada	3.600,00 20.000,00 3.600,00
TOTAL		198.290,00		

Matriz 4B - Medidas de mitigación y emergencia (Aspectos físicos)

Nombre del sistema: Acueducto de la ciudad de Limón, Costa Rica ☒ Agua potable ❑ Alcantarillado

COMPONENTE	PLAN DE MITIGACION		PLAN DE EMERGENCIA	
		COSTO US$		COSTO US$
Cuenca Río Banano	Realizar estudio de vulnerabilidad sísmica de segundo nivel	80.000	Plan de racionamiento para 3 meses del Subsistema Moin (realizar interconexiones y reparto de agua en camiones cisternas)	161.900
	Estudios de fuentes alternativas	10.000	Perforar pozos adicionales en La Bomba	70.900
	Mejorar condición de 2 pozos en La Bomba	5.000	Captar y conducir a la planta de tratamiento fuentes superficiales cercanas	130.000
Tomas río Banano	Arriostre de paneles de control	100	Enviar cuadrilla electromecánica para reparación	
	Instalación de planta generadora	75.000	Instalar equipo electrógeno provisional (rentar)	360.000
Planta de tratamiento	Construcción de sistema de pretratamiento	300.000	Reparar subestructura de madera y pantallas de floculadores	20.000
	Arriostrar cilindros de cloro	100		
	Substituir subestructura de madera y pantallas de floculadores y sedimentadores por material menos frágil	200.000		
Pozos la Bomba	Realizar convenio con ICE sobre atención prioritaria	0		
	Instalación de 2 equipos generadores eléctricos (100 y 50 HP)	40.000		
Línea de conducción (300mm)	Substitución total de la línea	1.092.500	Adquirir tubería de 300mm. y reparar los 54 daños esperados	90.000
	Realizar estudio de vulnerabilidad sísmica	40.000		
Línea de conducción (500mm)	Instalar juntas antisísmicas en 52 juntas	390.000	Adquirir tubería de 500mm. y reparar las 144 fallas esperadas	360.000
	Identificar personal de soldadura y equipos de reparación en la zona	0		
TOTAL		2.232.700		1.192.800

Anexo 3
Método aproximado para la estimación de daños en tuberías como consecuencia de sismos intensos

Introducción

A continuación se presenta una metodología para estimar en forma aproximada, el número esperado de roturas en tuberías afectadas por movimientos sísmicos. Está fundamentada en el Estudio de Caso del Terremoto del Limón, Costa Rica, 1991.[23]

Evaluación de la amenaza sísmica

Paso 1: Asignar un factor de amenaza por tipo de perfil de suelo (FTPS) según se indica en la Tabla A3.1

Tabla A3.1
Factor de amenaza por tipo de perfil de suelo (FTPS)

Denominación	Descripción	FTPS
Rocoso	Estratos rocosos o suelos muy consolidados, con velocidades de propagación de ondas de corte en exceso a 750 m/seg.	1,0
Firme	Estratos de suelos bien consolidados, o blandos con espesor menor a 5 metros.	1,5
Blando	Estratos de suelos blandos con espesores en exceso de 10 metros.	2,0

Paso 2: Asignar un factor de amenaza por licuefacción potencial del suelo (FLPS) según se establece en la Tabla A3.2.

Tabla A3.2
Factor de amenaza por licuefacción potencial (FLPS)

Denominación	Descripción	FLPS
Baja	Suelos bien consolidados y con alta capacidad de drenaje, estratos subyacentes sin contenido de arenas apreciable.	1,0
Moderada	Suelos con moderada capacidad de drenaje, estratos subyacentes con contenido de arenas moderado.	1,5
Alta	Suelos mal drenados, niveles freáticos altos, estratos subyacentes con alto contenido de arenas, zonas deltáicas de ríos y depósitos aluviales.	2,0

[23] CEPIS/OPS/OMS, 1996.

Paso 3: Asignar un factor de amenaza por deformación permanente del suelo (FDPS) con arreglo a la Tabla A3.3.

Tabla A3.3
Factor de amenaza por deformación permanente del suelo (FDPS)

Denominación	Descripción	FDPS
Baja	Suelos bien consolidados, terrenos con pendientes bajas, rellenos bien compactados, áreas alejadas de cauces de ríos o fallas geológicas.	1,0
Moderada	Suelos consolidados, terrenos con pendientes menores al 25%, rellenos compactados, áreas cercanas a cruces de ríos o fallas geológicas.	1,5
Alta	Suelos mal consolidados, terrenos con pendientes superiores al 25%, áreas ubicadas muy cerca o dentro de cauces de ríos o fallas geológicas.	2,0

De acuerdo a este procedimiento, el factor de amenaza sísmica (FAS) del área es caracterizada por el producto:

$$(FAS) = (FTPS) \times (FLPS) \times (FDPS)$$

Valores de (FAS) inferiores a 2 se consideran de baja amenaza sísmica ; entre 2 y 4 amenaza sísmica moderada ; iguales o mayores que 4, amenaza sísmica alta .

Estimación de la vulnerabilidad

En diversos trabajos, la vulnerabilidad de sistemas de tuberías a las acciones sísmicas viene expresada por el número esperado de fallas por kilómetro de longitud. Tomando en consideración las estadísticas disponibles, resulta ventajoso emplear como referencia el número de fallas por sismo en tuberías de hierro fundido (HF), para diferentes grados de la Intensidad de Mercalli. En la Tabla A3.4 se dan los valores correspondientes a daños por: (i) propagación de ondas sísmicas únicamente y (ii) propagación de ondas y deformaciones permanentes del terreno. Estos son denominados Índices Básicos de Daño (IBD) y dependen del factor de amenaza sísmica (FAS) calculado en la sección anterior según se indica en la Tabla A3.4.

Para el cálculo de la vulnerabilidad sísmica se siguen los siguientes pasos:

Paso 4: Seleccionar el Índice Básico de Daño según la Tabla A3.4.

Tabla A3.4
Indices básicos de daño (IBD) por sismos, en tuberías de hierro fundido (HF)

Intensidad de Mercalli	Indice Básico de Daño (IBD) (Fallas/Km)	
	FAS < 2	FAS $\geq$ 2
VI	0,0015	0,01
VII	0,015	0,09
VIII	0,15	0,55
IX	0,35	4,00
X	0,75	30,0

Paso 5: En caso de que la tubería no sea de hierro fundido (HF), se recomienda emplear los factores de corrección que se dan en la Tabla A3.5.

Tabla A3.5
Factores de corrección por tipo de material (FCM)

Material	FCM
Acero Dúctil (AD)	0,25
Hierro Fundido (HF)	1,00
Cloruro de Polivinilo (PVC)	1,50
Asbesto Cemento (AC)	2,60
Concreto Reforzado (CR)	2,60

Estos factores pueden ser afectados por el estado general de la tubería y/o los años de servicio, a juicio del profesional responsable de la evaluación. Para tuberías viejas o en mal estado los valores de la Tabla A3.4 pueden incrementarse hasta en un 50%; si su estado es considerado regular este porcentaje no tiene por qué sobrepasar el 25%; y para tuberías en buen estado no es necesario modificar los valores de la Tabla A3.4.

Paso 6: Las estadísticas de daños también revelan que las tuberías de menor diámetro tienden a ser más vulnerables. Así, para tuberías con diámetros menores o iguales a 75 mm., puede aplicarse un factor de aumento de hasta 50%; diámetros entre 75 mm. y 200 mm. se puede incrementar hasta un 25%; y para tuberías con diámetros en exceso a 200 mm. no es preciso incrementar los valores dados.

Cálculo del número esperado de fallas por kilómetro

La metodología para el cálculo del número de fallas por kilómetro, se ilustrará con un ejemplo. Este consiste en una tubería de concreto reforzado (CR), relativamente nueva y en buenas condiciones, de 500 mm. de diámetro, ubicada en un área donde se esperan sismos con Intensidades de Mercalli Grado IX; su longitud total es de 15,5 Km., la cual se puede dividir en los siguientes tres tramos con arreglo a la Sección A3.2 de este Anexo:

Tramo 1: 1,8 Km. de longitud en áreas de baja amenaza sísmica (FAS < 2)
Tramo 2: 12,7 Km. de longitud en áreas de amenaza sísmica moderada (FAS > 2)
Tramo 3: 1,0 Km. de longitud en áreas de alta amenaza sísmica (FAS > 2)

El total de fallas esperadas es igual a:

$$1{,}8 \times 0{,}35 \times 2{,}60 + 12{,}7 \times 4{,}0 \times 2{,}60 + 1{,}0 \times 4{,}0 \times 2{,}60 = 144 \text{ fallas/Km.}$$

Obsérvese que si esta tubería hubiese sido de acero dúctil (AD), el número de fallas por kilómetro se reduce a: 144x(0,25/2,60)=14; es decir diez veces menor.

Definiciones

Amenaza: Fenómeno natural o provocado por la actividad humana cuya ocurrencia es peligrosa para las personas, propiedades, instalaciones y para el medio ambiente.

Análisis de vulnerabilidad: Proceso para determinar los componentes críticos o débiles de los sistemas ante las amenazas.

Capacidad operativa: Capacidad para la cual fue diseñado el componente o sistema.

Componente: Parte discreta de un sistema capaz de operar independientemente, pero diseñado, construido y operado como parte integral del sistema. Ejemplos de componentes individuales son pozos, estaciones de bombeo, tanques de almacenamiento, presas, conducciones, etc.

Confiabilidad: Seguridad de un componente o sistema para resistir amenazas. Cuantificado como complemento de la probabilidad de falla.

Desastre natural: Ocurrencia de un fenómeno natural en un espacio y tiempo limitado que causa trastornos en los patrones normales de vida, y ocasiona pérdidas humanas, materiales y económicas debido a su impacto sobre poblaciones, propiedades, instalaciones y ambiente.

Emergencia: Situación fuera de control que se presenta por el impacto de un desastre.

Empresa: Entidad pública, privada o mixta a cargo de la prestación de servicios de agua potable y alcantarillado.

Fenómeno natural: Manifestación de las fuerzas de la naturaleza tales como terremotos, huracanes, erupciones volcánicas y otros.

Impacto: Efectos en el medio ambiente y en obras hechas por el hombre, a causa de un desastre.

Plan de emergencia: Conjunto de medidas a aplicar antes, durante y después de que se presenta un desastre como respuesta al impacto del mismo.

Plan de mitigación: Conjunto de medidas y obras a implementar antes de la ocurrencia de un desastre, con el fin de disminuir el impacto sobre los componentes de los sistemas.

Preparación: Conjunto de medidas que deben implementarse antes que se presente un desastre.

Prevención: Acciones de preparación para disminuir el efecto del impacto de los desastres.

Programa para la atención de emergencias y desastres: Comprende el plan de emergencia y el plan de mitigación.

Redundancia: Capacidad de que en un sistema sus componentes operen en paralelo, permitiendo que a pesar de la pérdida de uno o más de sus componentes, se mantenga la continuidad del servicio.

Riesgo: Es el resultado de una evaluación, generalmente probabilística, de que las consecuencias o efectos de una determinada amenaza excedan valores prefijados.

Sistema de agua potable: Conjunto de componentes construidos e instalados para captar, transmitir, tratar, almacenar y distribuir agua a los clientes. En su más amplia acepción comprende también las cuencas y acuíferos.

Sistema de alcantarillado sanitario: Conjunto de componentes construidos e instalados para recolectar, conducir, tratar y disponer las aguas residuales y productos del tratamiento.

Vulnerabilidad: Susceptibilidad a la pérdida de un elemento o conjunto de elementos como resultado de la ocurrencia de un desastre.

Bibliografía

Andrade, Adolfo; Seal, George. – Terremoto Marzo 1985. – ESVAL: una experiencia, 6to. Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 1985.

AFPS. – Recommandations de la Association Française du Génie Parasismique. – Paris, 1990. – 183p.

ATC-13. – Earthquake damage evaluation data for California. – Redwood City, 1985. – 483p.

Benjamin, J.; Cornell, A. – Probability, statistics and decision for civil engineers. – New York: Mc Graw Hill, 1970. – 684p.

Berz, G.A. – Natural disasters and the greenhouse effect: impact on the insurance industry and possible countermeasures. – En: The Geneva Papers on Risk and Insurance, vol.22, no.85, Oct. 1997. – p.501-514.

Brazee, R.J. – Reevaluation of modified Mercalli intensity scale for earthquakes using distance as determinant. – En: Bulletin of the Seismological Society of America, vol.69, no.3, jun. 1979. – p.911-924.

CEPIS/OPS/OMS. – Estudio de caso: terremoto del 22 de abril de 1991, Limón, Costa Rica. – OPS/CEPIS/OMS. Pub./96.23. – Lima, 1996. – 177p.

Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico. Comisión de Huracanes. – Huracanes en Puerto Rico: guía de mitigación de daños: antes, durante y después del huracán. – Publishing Resources, Inc., Santurce, 1996. – 84p.

COVENIN 1756. – Edificaciones antisísmicas. – Caracas: FONDONORMA, 1982. – 67p.

COVENIN 2003. – Acciones del viento sobre las construcciones. – Caracas: FONDONORMA, 1989. – 48p.

Cubic. – Structural design requirements: wind load. – En: Caribbean Uniform Building Code, Part 2, Section 2. – Georgetown, 1989. – 54p.

Eidinger, J.; Ostrom, D.; Matsuda, E. – High voltage electric substation performance in earthquakes. – En: Proc.4th. US Conf. Lifelines Earthquake Engineering. – San Francisco, 1995. – p.336-346.

EME (Grunthal G. ed.). – European Seismological Commission: european macroseismic scale. – Luxembourg, 1993. – 79p.

Grases, J., coord. – Diseño sismorresistente: especificaciones y criterios empleados en Venezuela. – Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, vol. 33, jul. 1997. – 662p.

Hall, W. – Earthquake engineering research needs concerning gas and liquid fuel lifelines. – En: BSSC, 1987. – p.35-49.

Keefer, D.K. – Landslides caused by earthquakes. – En: Bull.Geol.Soc. of America, vol.95, 1984. – p.406-421.

Medvedev; Sponheuer; Karnik. – New intensity scale. – Praga, 1978.

Monge, J. – Tsunami risk in the city of Arica, Chile. – En: Proc. Xth. WCEE, Madrid, vol.1, 1992. – p.461-466.

Organización de Estados Americanos (OEA). – Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado. – Washington, D.C.: OEA. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente, 1993.

Organización Panamericana de la Salud (OPS). – Caso estudio: vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y alcantarillado frente a deslizamientos, sismos y otras amenazas naturales. – Caracas: OPS, oct. 1997. – 158p.

Organización Panamericana de la Salud (OPS). – Manual sobre preparación de los servicios de agua potable y alcantarillado para afrontar situaciones de emergencia: primera parte: desastres y sus efectos; segunda parte: identificación de posibles desastres y áreas de riesgo; tercera parte: análisis de vulnerabilidad, sismos y otros desastres; cuarta parte: plan de emergencia para sistemas de agua potable. – Washington: OPS, 1991.

Organización Panamericana de la Salud (OPS). – Planificación para atender situaciones de emergencia en sistemas de agua potable y alcantarillado. – Cuaderno Técnico No.37. – Washington: OPS, 1993. – 67p.

Organización Panamericana de la Salud (OPS). -- Vulnerabilidade dos sistemas de agua potável e esgotos sanitários da Cidade Brasileira de Belo Horizonte, frente a inundaçoes e a chuvas intesas. – Washington, D.C: OPS, 1997.

Organización Panamericana de la Salud (OPS). – Vulnerability assessment of the drinking water supply infrastructure of Montserrat. – Barbados, jul. 1997. – 50p.

O Rourke, T.D; McCaffrey, M. – Buried pipeline response to permanent earthquake ground movements. – En: VIIIth. World Conference on Earthquake Engineering, Proc., vol. 7, 1984. – p.215-222.

Pan American Health Organization (PAHO). – Disaster mitigation guidelines for hospitals and other health care facilities in the Caribbean. – Washington, D.C.: PAHO. Emergency Preparedness and Disaster Relief Coordination Program, January, 1992. – 68p.

PDVSA. – Criterios para el análisis cuantitativo de riesgos. – En: Manual de ingeniería de riesgos, vol. 1. – Caracas, mayo 1993. – 92p.

Ramírez, B. – Plan de emergencia para atender situaciones de desastre en el acueducto metropolitano de Caracas, ante averías ocurridas en el sistema de producción. – 1997. – Trabajo especial de grado, MSc Ingeniería Sanitaria, UCV (en preparación).

Simpson, R.H. – The hurricane disaster potential scale. – En: Weatherwise, vol. 27, 1974. – p.169-186.

Zapata, L. – Acción del viento sobre las construcciones. – En: El Ingeniero Civil, nov. 1995. -- p.6-27.