
Guías para la Elaboración del Análisis de Vulnerabilidad de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario

Autor: Ing. Herbert Farrer

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS)

CEPIS/OPS/OMS

Lima CEPIS, 1996

Índice

Definiciones

Introducción

Capítulo 1 : Planificación para la atención de Emergencias y Desastres

1. Introducción
2. Institucionalización del programa
- 3.. Etapas del programa
 - 3.1 Institucionalización y organización del programa
 - 3.2 Elaboración del análisis de vulnerabilidad
 - 3.3 Plan de mitigación
 - 3.4 Plan de emergencia
 - 3.5 Capacitación y divulgación
4. Estrategias para la elaboración e implementación del programa

Capítulo 2. Análisis de Vulnerabilidad

1. Introducción
2. Concepto de vulnerabilidad
3. Aplicación del análisis de vulnerabilidad
4. Niveles del análisis
 - 4.1 Primer nivel o análisis detallado
 - 4.2 Segundo nivel o análisis especializado
 - 4.3 Tercer nivel o análisis de evaluación
5. Medición de la vulnerabilidad
 - 5.1 Metodología de la American Water Works Association
 - 5.2 Metodología de tiempos de rehabilitación
6. Pasos del análisis
 - 6.1 Primer paso: Identificación de la organización y legislación vigentes
 - 6.2 Segundo paso: Descripción de la zona y del sistema y de su funcionamiento
 - 6.3 Tercer paso: Estimación de la vulnerabilidad operativo (primera matriz de vulnerabilidad)
 - 6.4 Cuarto paso: Estimación de la vulnerabilidad física e impacto en el servicio (segunda matriz de vulnerabilidad)
 - 6.5 Quinto paso: Estimación de la vulnerabilidad administrativa de la empresa y capacidad de respuesta (tercera matriz de vulnerabilidad)
 - 6.6 Sexto paso: Medidas de mitigación y de emergencia (cuarta matriz de vulnerabilidad)

● Capítulo 3. Guía para la aplicación del Análisis de Vulnerabilidad a Sismos

1. Introducción
2. Primer paso: Identificación de la organización y legislación vigentes
 - 2.1 Organización nacional y regional
 - 2.2 Normativa legal vigente
3. Segundo paso: Descripción de la zona, del sistema y de su funcionamiento
4. Tercer paso: Estimación de la vulnerabilidad operativo (primera matriz de vulnerabilidad)
- 5.. Cuarto paso: Estimación de la vulnerabilidad física e impacto en el servicio

(segunda matriz de vulnerabilidad)

5.1 Identificación de las amenazas

5.2 Características de la amenaza sísmica

5.3 Prioridad relativa

5.4 Sistema de información y alerta

5.5 Área de impacto

5.6 Componentes o elementos expuestos

5.7 Características del impacto (séptima columna)

5.8 Impacto en el servicio de agua potable o alcantarillado

6. Quinto paso: Estimación de la vulnerabilidad administrativa de la empresa y capacidad de respuesta (tercera matriz de vulnerabilidad)

7. Sexto paso: Medidas de mitigación y de emergencia (cuarta matriz de vulnerabilidad)

●Capítulo 4. Guía para la aplicación del análisis de vulnerabilidad a Huracanes

1. Introducción

2. Primer paso del análisis: identificación de la organización y legislación vigentes

2.1 Organización nacional y regional

2.2 Normativa legal vigente

3. Segundo paso: Descripción de la zona, del sistema y de su funcionamiento

4. Tercer paso: Estimación de la vulnerabilidad operativa (primera matriz de vulnerabilidad)

5. Cuarto paso: Estimación de la vulnerabilidad física e impacto en el servicio (segunda matriz de vulnerabilidad)

5.1 Identificación de las amenazas

5.2 Características de la amenaza de huracán

5.3 Prioridad relativa

5.4 Sistema de información y alerta

5.5 Área de impacto

5.6 Componentes o elementos expuestos

5.7 Características del impacto (séptima columna)

5.8 Impacto en el servicio de agua potable o alcantarillado

6. Quinto paso: Estimación de la vulnerabilidad administrativa de la empresa y capacidad de respuesta (tercera matriz de vulnerabilidad)

7. Sexto paso: Medidas de mitigación y de emergencia (cuarta matriz de vulnerabilidad)

●Capítulo 5. Guía para la Aplicación del Análisis de Vulnerabilidad a Inundaciones

1 . Introducción

2. Primer paso del análisis: identificación de la organización y legislación vigentes

2.1 Organización nacional y regional

2.2 Normativa legal vigente

3. Segundo paso: Descripción de la zona, del sistema y de su funcionamiento

4. Tercer paso: Estimación de la vulnerabilidad operativo (primera matriz de vulnerabilidad)

5. Cuarto paso: Estimación de la vulnerabilidad física e impacto en el servicio (segunda matriz de vulnerabilidad)

5.1 Identificación de las amenazas

5.2 Características de la amenaza de inundación

5.3 Prioridad relativa

5.4 Sistema de información y alerta

5.5 Área de impacto

5.6 Componentes o elementos expuestos

5.7 Características del impacto (séptima columna)

5.8 Impacto en el servicio de agua potable o alcantarillado

6. Quinto paso: Estimación de la vulnerabilidad administrativa de la empresa y capacidad de respuesta (tercera matriz de vulnerabilidad)

7. Sexto paso: Medidas de mitigación y de emergencia (cuarta matriz de vulnerabilidad)

●Capítulo 6. Guía para la aplicación del análisis de vulnerabilidad a erupciones volcánicas

1. Introducción
2. Primer paso del análisis: identificación de la organización y legislación vigentes
 - 2.1 Organización nacional y regional
 - 2.2 Normativa legal vigente
3. Segundo paso: Descripción de la zona, del sistema y de su funcionamiento
4. Tercer paso: Estimación de la vulnerabilidad operativo (primera matriz de vulnerabilidad)
5. Cuarto paso: Estimación de la vulnerabilidad física e impacto en el servicio (segunda matriz de vulnerabilidad)
 - 5.1 Identificación de las amenazas
 - 5.2 Características de la amenaza vulcanológica
 - 5.3 Prioridad relativa
 - 5.4 Sistema de información y alerta
 - 5.5 Área de impacto
 - 5.6 Componentes o elementos expuestos
 - 5.7 Características del impacto (séptima columna)
 - 5.8 Impacto en el servicio de agua potable o alcantarillado
6. Quinto paso: Estimación de la vulnerabilidad administrativa de la empresa y capacidad de respuesta (tercera matriz de vulnerabilidad)
7. Sexto paso: Medidas de mitigación y de emergencia (cuarta matriz de vulnerabilidad)

●Capítulo 7. Guía para la aplicación del Análisis de Vulnerabilidad a Accidentes que Afectan el servicio

1. Introducción
2. Primer paso del análisis: identificación de la organización y legislación vigentes
 - 2.1 Organización institucional
 - 2.2 Normativa legal vigente
3. Segundo paso: Descripción de la zona, del sistema y de su funcionamiento

4. Tercer paso: Estimación de la vulnerabilidad operativo (primera matriz de vulnerabilidad)
- 5 Cuarto paso: Estimación de la vulnerabilidad física e impacto en el servicio (segunda matriz de vulnerabilidad)
 - 5.1 Identificación de las amenazas
 - 5.2 Características de la amenaza
 - 5.3 Prioridad relativa
 - 5.4 Sistema de información y alerta
 - 5.5 Área de impacto
 - 5.7 Características del impacto (séptima columna)
 - 5.8 Impacto en el servicio de agua potable o alcantarillado
7. Sexto paso: Medidas de mitigación y de emergencia (cuarta matriz de vulnerabilidad)

● [Referencia](#)

● [Anexos](#)

Definiciones

Amenaza: Fenómeno natural o provocado por la actividad humana que se torna peligroso para las personas, propiedades, instalaciones y para el medio ambiente.

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

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

Componente: Parte discreta del 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.

Confíabilidad: Seguridad de un componente o sistema para resistir amenazas.

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

emergencia: Situación inesperada que se presenta **por** el impacto de una amenaza.

Estado de emergencia: Situación declarada ante la inminencia del impacto de una amenaza o después de que ésta ha ocurrido.

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

Flexibilidad: Hace referencia a la operación alternativa de **los** componentes.

Plan de emergencia: Conjunto de medidas a aplicar antes, durante **y** después que se presenta una amenaza como respuesta al impacto de la misma.

Plan de mitigación: Conjunto de medidas y obras a implementar antes del impacto de las amenazas para disminuir la vulnerabilidad de los componentes **y** de los sistemas.

Preparación: Conjunto de medidas definidas que deben implementarse antes que se presenten los impactos de las amenazas.

Prevención: Acciones de preparación para disminuir el efecto del impacto de las amenazas.

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

Redundancia: Se refiere a componentes o subcomponentes adicionales de operación en paralelo. Por ejemplo, bombas en una estación de bombeo.

Región: El área de América Latina y el Caribe.

Riesgo: Medida de la probabilidad de impacto de una amenaza.

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: Medida de la debilidad de un componente para resistir el impacto de las amenazas.

Introducción

La Región de América Latina y el Caribe está expuesta a los desastres naturales, tales como terremotos, huracanes, erupciones volcánicas, inundaciones y sequías, cuyo impacto causa muertos y heridos, enormes pérdidas económicas y la desorganización de los servicios, lo que retarda en muchos casos el desarrollo de los países, por el alto costo de rehabilitación de la infraestructura.

El Caribe es impactado año tras año por huracanes que destruyen la captación y los sistemas de suministro de energía eléctrica a las estaciones de bombeo; los terremotos se presentan frecuentemente desde California hasta Chile y causan

tremendos daños a las estructuras y tuberías; las erupciones volcánicas generan aludes que destruyen las captaciones y tuberías.

Muchas zonas de la Región sufren cíclicamente inundaciones y sequías. Las primeras destruyen obras de captación y tuberías ubicadas junto a los cursos de agua; y las sequías obligan a racionar el servicio, producen contaminación y roturas de tuberías con el riesgo que ello conlleva para la salud pública.

Ejemplos recientes son los desastres ocurridos por los terremotos de México, El Salvador y Costa Rica; las erupciones volcánicas de Colombia; y el impacto de los huracanes en el período ciclónico del Caribe en 1995.

Las situaciones de emergencia pueden ser catastróficas como las descritas o aparentemente simples como la rotura de una tubería principal que puede colocar a la empresa en una situación difícil frente a sus clientes y a la opinión pública.

A lo anterior debemos agregar los desastres causados por la actividad humana, cada vez de mayor incidencia y peligro, como los derrames de sustancias químicas que contaminan las fuentes de abastecimiento de agua y que agregan una amenaza adicional al ya congestionado escenario de desastres.

Reconocemos que en situaciones normales el agua es indispensable para la salud y el desarrollo de las comunidades, pero lo es más aún en situaciones de desastre cuando la higiene, la preparación de alimentos y la limpieza en general son primordiales para garantizar la salud a la población y facilitar las operaciones de rehabilitación. El suministro de agua potable en ambas situaciones es responsabilidad de las empresas prestatarias del servicio.

El manejo de las empresas de agua potable y alcantarillado comprende un conjunto de programas dirigidos a garantizar un servicio de agua potable continuo, sin interrupciones y de alta calidad a sus clientes.

Sin embargo, en la operación rutinaria de los sistemas ocurren interrupciones debido a fallas de equipo, roturas de tuberías, racionamiento por escasez e

impacto de amenazas naturales, cada vez mayores debido al crecimiento de la población y de la infraestructura.

Cuando un fenómeno natural impacta una región, los servicios se desorganizan y dependiendo de la preparación de las empresas para hacerle frente al desastre, la rehabilitación puede tomar muchos días y aún meses.

Los desastres no deben ser considerados como fuerzas incontrolables frente a los cuales no es posible tomar ninguna acción. La experiencia demuestra que muchas acciones pueden tomarse de antemano para reforzar los sistemas, preparar los mecanismos empresariales de apoyo para dar respuesta rápida e implementar alternativas para abastecer volúmenes mínimos en tanto se restablecen los sistemas.

La implementación de un programa para la atención de emergencias y desastres que defina un plan de emergencia y un plan de mitigación en continuo proceso de actualización, constituye la respuesta a una atención responsable y eficaz.

La experiencia de impactos del pasado ha permitido conocer sus consecuencias en los sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario, siendo posible de alguna manera predecir su impacto y por ende prepararse para hacerles frente, lo que se puede hacer en tres instancias: primero, en la fase de diseño mediante el diseño de estructuras alejadas de los riesgos y resistentes al impacto de las amenazas usuales de la zona; segundo, a través de la implementación de medidas de mitigación dirigidas a mejorar la resistencia de las estructuras débiles o críticas; y tercero, mediante el establecimiento de medidas a ser implementadas como fuentes alternas luego del impacto.

El análisis de vulnerabilidad, tema de estas Guías, provee una metodología sencilla para determinar los componentes más vulnerables a determinada amenaza a fin de que sean reforzados para que sean capaces de resistir futuros impactos. Este análisis está encaminado a dar respuesta a la pregunta: ¿Qué resistencia tiene cada uno de los componentes del sistema para resistir el impacto

de las amenazas propias de la zona? La respuesta definirá las medidas de mitigación y de refuerzo necesarias y los procedimientos de emergencia o respuesta al impacto si este se presentara antes de la implementación de las medidas de mitigación.

Este conjunto de medidas, implementadas simultáneamente, harán que los servicios se recuperen en el menor tiempo posible para brindar a la población la seguridad que requiere en cuanto a higiene y preservación de la salud.

Así como se planifica la operación rutinaria de los servicios y el mantenimiento preventivo y correctivo, también debe planificarse la operación en situaciones de emergencia y el mantenimiento de emergencia.

Desgraciadamente, como lo ha demostrado la experiencia, son las personas de menores recursos las que más sufren las consecuencias del impacto de los desastres naturales.

El análisis de vulnerabilidad es la base para el establecimiento de los planes de emergencia y de mitigación necesarios para organizar la preparación, la actuación durante la emergencia y la rehabilitación de los sistemas, y da respuesta a lo que se debe hacer antes, durante y después del impacto de una amenaza.

Estas Guías están dirigidas a los ingenieros de las empresas de agua potable para que las utilicen como una herramienta de análisis a fin de facilitar el diagnóstico del comportamiento de los sistemas frente al impacto de las amenazas y para que planteen e implementen medidas de emergencia y mitigación necesarias para brindar el servicio de agua potable.

Capítulo 1. Planificación para la atención de Emergencias y Desastres

1. Introducción

Ninguna empresa está exenta de las amenazas que en mayor o menor grado generan las emergencias y desastres. Aún aquellas empresas que operan en regiones donde los fenómenos naturales como huracanes, sismos, inundaciones, etc. no constituyen amenazas, están expuestas a accidentes de contaminación y roturas de tuberías que afectan el servicio.

Dentro de la estrategia de operación y mantenimiento de los servicios, las empresas deben preparar planes de mitigación y de emergencia, dirigidos el primero a disminuir la vulnerabilidad de los sistemas y el segundo a dar respuesta al impacto una vez ocurrida la amenaza para mantener la continuidad y calidad de los servicios con el mínimo de interrupciones y molestias para los clientes, y para garantizar la preservación de la salud pública.

Estos planes constituyen el programa para la atención de emergencias y desastres, el que cumple dos objetivos:

- a. Definir las medidas necesarias de mitigación para minimizar el impacto de las amenazas, lo que genera el plan de mitigación.
- b. Definir los procedimientos, instructivos e información necesarios para movilizar con agilidad y eficacia los recursos existentes en la empresa cuando se presenta el impacto de una amenaza, lo que genera el plan de emergencia.

La elaboración del programa para cumplir con ambos objetivos, utiliza como herramienta el análisis de vulnerabilidad a través del cual se identifican y caracterizan las amenazas propias de la zona y sus efectos, y como resultado se determinan las debilidades físicas de los componentes del sistema; las debilidades de los sistemas de apoyo de la empresa; y las debilidades de los servicios en términos de cantidad, continuidad y calidad.

El análisis de vulnerabilidad se efectúa por etapas que van desde lo más simple a lo más complejo. La primera etapa es la identificación de las amenazas y su impacto en el tiempo, espacio y magnitud, sus efectos sobre los sistemas y

componentes y las medidas de mitigación y de emergencia necesarias; la segunda corresponde a estudios especializados que se requieren para identificar la vulnerabilidad o resistencia de estructuras complejas como cuencas, acuíferos, represas, grandes conducciones de tuberías, puentes, plantas, etc.; y la tercera etapa comprende la evaluación luego de la ocurrencia de impactos, eventos de evaluación, etc.

El análisis de vulnerabilidad se aplica no solo 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 y de reforzamiento que deban implementarse para eliminar o disminuir su vulnerabilidad.

Así, por ejemplo, el área financiera de la empresa debe determinar si se 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 mejorar las finanzas, de manera que las medidas de mitigación y los planes de emergencia sean viables.

El programa también debe comprender situaciones emergentes ocasionadas por amenazas de accidentes de contaminación o roturas de tuberías de gran diámetro que pueden dejar sin suministro de agua potable a sectores considerables de la población por varios días y causar daños considerables por el agua que escapa. En este caso los procedimientos de aviso, de cierre de válvulas y el abastecimiento a la población por medios no convencionales, requieren planes . detallados de mitigación y respuesta.

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.

2. Institucionalización del Programa

Para que el programa tenga éxito debe formar parte del proceso de planificación institucional. Así como se planifican los programas para hacerle frente a la demanda de los servicios, para operar y mantener los sistemas, debe planificarse la atención de las emergencias y de los desastres.

El área de diseño debe incluir los estudios de vulnerabilidad y considerar las posibles fuentes alternas de producción, equipos de energía, el uso de tuberías flexibles y juntas antisísmicas. Asimismo, el área de construcción debe incluir en sus planos de replanteo la ubicación exacta de las válvulas principales, por ejemplo; y el área de administración debe establecer procedimientos para agilizar la adquisición de suministros y contrataciones de obra y personal durante las emergencias y desastres.

Este programa debe considerarse como un instrumento en continuo proceso de ejecución a través de los planes de mitigación y emergencia, y como parte de las operaciones rutinarias de la empresa que complementa los programas de operación y de mantenimiento correctivo y preventivo, pues la atención de emergencias y de desastres no es otra cosa que operación y mantenimiento acelerados.

3. Etapas del Programa

El programa para la atención de emergencias y desastres se elabora e institucionaliza a través de las cinco etapas siguientes:

- Institucionalización y organización del programa
- Elaboración del análisis de vulnerabilidad
- Elaboración del plan de mitigación
- Elaboración del plan de emergencia
- Capacitación y divulgación.

3.1 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 los planes de mitigación y emergencia
- Centros de operaciones
- Declaratorias de alerta y emergencia
- Coordinación institucional
- Comisión nacional de emergencias
- Otras instituciones de servicios.

a. 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 definidas.

Esta normativa debe consultarse antes de iniciar el proceso de elaboración del programa para garantizar su conformidad con la misma, de tal manera 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 mayores riesgos de salud pública existen, 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, no será posible elaborar e implementar los planes de mitigación y emergencia.

b. 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

Para el desarrollo del programa 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 contener por lo menos un lugar que opere como centro alternativo en caso que el primero quede inoperante. Los centros de emergencias deben tener las características y condiciones siguientes:

- probabilidad de daño mínimo para 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 de facilidades de comunicación: teléfonos, fax, radio transmisor-receptor, televisión, radio con frecuencias comerciales, bandas civiles y de radio aficionados;
- sistema alternativo 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.

c. Coordinación interinstitucional

" 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. El establecimiento de 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.

3.2 Elaboración del análisis de vulnerabilidad

Una vez tomada la decisión de elaborar e implementar el programa, debe prepararse el análisis de vulnerabilidad. El análisis de vulnerabilidad es el instrumento que permite determinar las debilidades de los componentes de un sistema para hacerle frente al impacto de una amenaza con el objeto de establecer las medidas de mitigación que disminuyan la vulnerabilidad del componente y del sistema como un todo, y las medidas de emergencia para dar respuesta al impacto de la amenaza una vez se halla producido.

El análisis de vulnerabilidad en sistemas complejos de abastecimiento de agua potable y de alcantarillado sanitario se efectúa en dos etapas. La primera es la identificación y evaluación de amenazas para un área o sistema, la estimación

detallada de la vulnerabilidad para cada amenaza, el planteamiento de las medidas de mitigación para hacerle frente y disminuir la vulnerabilidad, y el establecimiento de las medidas de emergencia para dar respuesta al impacto. Es usual realizar la primera etapa a través de talleres con amplia participación del personal involucrado y de expertos si fuera necesario.

La segunda etapa consiste en elaborar términos de referencia detallados para realizar estudios especializados con el fin de determinar la resistencia y medidas de mitigación para los componentes más complejos, como cuencas, acuíferos, represas, puentes, grandes obras de acero y concreto, conducciones de gran diámetro, emisarios, etc. Al elaborar estos estudios y diseños es posible que se detecten medidas o procedimientos especiales de emergencia que se deberán incorporar en el plan respectivo.

3.3 Plan de mitigación

El primer resultado del análisis de vulnerabilidad será el plan de mitigación, el cual comprende medidas de mejoramiento y obras de reforzamiento estructural encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los componentes de los sistemas.

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 contener el reforzamiento, si fuera necesario, de las instalaciones seleccionadas como centro de emergencia.

3.4 Plan de emergencia

Una vez realizada la primera etapa del 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, 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.

Las empresas que manejan varias ciudades o cuando éstas cuentan con regiones operativas, es usual que cada ciudad y región tengan su propio plan debidamente integrados al nivel central.

3.5 Capacitación y divulgación

Esta etapa facilitará la elaboración y ejecución del programa. La amplia participación de los funcionarios de la empresa en el proceso garantizará el éxito del programa. Esta etapa se logra a través de un proceso continuo y permanente

de divulgación y de capacitación a través de simulacros, seminarios, talleres, etc. y de evaluación de los resultados de estas actividades y de impactos de amenazas reales sucedidos en el pasado.

4. Estrategias para la elaboración e implementación del programa

Las emergencias y los desastres suceden año tras año y en muchas localidades se piensa que no volverá a suceder o que no se volverá a presentar con igual magnitud sino dentro de muchos años. En realidad cada vez los impactos son mayores, no porque los fenómenos estén aumentando en magnitud y frecuencia, sino porque la población y las estructuras en riesgo aumentan y porque éstas son cada vez más complejas.

Muchas situaciones vulnerables pueden mejorarse con poco esfuerzo, otras requieren estudios especializados e inversiones cuantiosas, pero económicamente estas inversiones se justifican, pues por regla general el reforzamiento es menos costoso que la reconstrucción, aún sin considerar el costo social que conlleva una población sin agua potable por largos períodos en términos de salud pública, ni los daños que puede causar el colapso de estructuras de captación, por ejemplo.

La implementación de medidas de mitigación no solo mejora la atención de emergencias y desastres, sino que favorecen la operación rutinaria y hacen que los sistemas sean más seguros. Las medidas de redundancia y flexibilidad que se implementen para atender situaciones de emergencia y desastres igualmente favorecen la operación rutinaria.

El fortalecimiento de la operación y mantenimiento preventivo y correctivo rutinarios de las instalaciones, igualmente favorece la atención eficaz de las emergencias y desastres. Las empresas que operan y mantienen adecuadamente sus sistemas e instalaciones, proveen respuesta adecuada ante el impacto de amenazas, mejores servicios luego del impacto y rehabilitación en más corto tiempo. Actualmente, muchos de los sistemas de la Región presentan situaciones de emergencia y si son impactados en estas circunstancias, la atención y

rehabilitación tomará largos períodos durante los cuales la población permanecerá desprotegida.

Los proyectos en proceso de financiamiento y ejecución pueden resolver situaciones altamente vulnerables de los sistemas y las instituciones de financiamiento bilaterales y multilaterales usualmente no ponen inconvenientes a incluir componentes encaminados a resolver estas situaciones.

La imagen empresarial se verá acrecentada al actuar frente a una emergencia en forma ágil y eficiente en beneficio de sus clientes. La motivación de los más altos niveles empresariales en este tema, la divulgación de las metodologías para elaborar los planes y determinar la vulnerabilidad de los sistemas, son elementos indispensables para que el programa se lleve a cabo como un programa permanente de la empresa.

Capítulo 2. Análisis de Vulnerabilidad

1. Introducción

La elaboración del plan de mitigación y del plan de emergencia parte del conocimiento de la **vulnerabilidad operativo** (deficiencias en la prestación de los servicios, tales como cantidad, continuidad y calidad del agua suministrada y de la cantidad de agua residual evacuada), de la **vulnerabilidad física** (debilidades de los componentes físicos de los sistemas) y de la **vulnerabilidad administrativa** (debilidades organizativas y administrativas de la empresa para responder ante los impactos).

Las amenazas de la zona se identifican mediante el análisis de probabilidades de ocurrencia de fenómenos naturales y de la estimación de los riesgos de la actividad humana y operacionales de los sistemas. A los riesgos de la actividad humana también se les ha denominado riesgos tecnológicos.

Al proceso de identificación y cuantificación de estas debilidades se le denomina análisis de vulnerabilidad y es el proceso mediante el cual se determina la capacidad del sistema y sus componentes para resistir el impacto de una amenaza. Se identifican también las fortalezas de los sistemas y de la organización, por ejemplo, el personal con experiencia en operación, mantenimiento, diseño y construcción para atender las emergencias y desastres.

El análisis de vulnerabilidad cumple tres objetivos básicos:

- a. Definir las medidas que incluirá el plan de mitigación, tales como obras de reforzamiento, planes específicos de mejoramiento de cuencas y estudios detallados de cimentaciones y estructuras para disminuir la vulnerabilidad de los componentes.
- b. Definir las medidas y procedimientos para elaborar el plan de emergencia, lo que facilitará la movilización de la empresa para suplir el servicio en condiciones de emergencia y desastre si el impacto se presentara antes que las medidas de mitigación se hubieran implementado.
- c. Evaluar la efectividad del plan de mitigación y del plan de emergencia y de actividades desde implementación y capacitación como simulacros, seminarios y talleres.

El proceso parte del conocimiento del sistema y sus componentes, de su funcionamiento y de la caracterización del evento que lo impactará. La superposición del evento en un mapa de riesgos sobre un mapa del sistema, determinará los componentes más vulnerables y como resultado final, la identificación de las medidas de mitigación que deban implementarse y las medidas de emergencia que deban ponerse en práctica si las de mitigación no se hubieran ejecutado.

Toda obra debe estar acompañada de un estudio de vulnerabilidad, de tal forma que antes de su construcción se prevean los posible desastres y emergencias

característicos de la zona. Muchos de los problemas que se presentan cuando las amenazas impactan un sistema se deben a problemas que no fueron previstos en la etapa de concepción y diseño de las obras, tales como la ubicación en terrenos vulnerables a inundaciones y fallas geológicas, mala estructura de las edificaciones, instalaciones rígidas de tuberías, etc.

Este capítulo presenta la metodología general o pasos necesarios para elaborar el análisis de vulnerabilidad de sistemas de agua potable y de alcantarillado sanitario. La metodología es sencilla para facilitar su aplicación a las situaciones más comunes que pudieran presentarse en las diferentes áreas geográficas de la Región.

2. Concepto de Vulnerabilidad

En su significado más amplio, vulnerabilidad es la susceptibilidad o factor de riesgo interno de un componente o del sistema como un todo, de ser dañado total o parcialmente por el impacto de una amenaza. A la magnitud del daño cuantificado o medido se le denomina vulnerabilidad.

Dos condiciones contribuyen a la vulnerabilidad de un componente:

- a. La existencia de la amenaza
- b. La condición de debilidad del componente.

Estas dos condiciones deben analizarse separadamente y luego en forma combinada, pues la primera depende únicamente de la zona donde está el componente y la segunda depende del propio componente: ubicación, estado y conservación.

La existencia de la amenaza es una condición de la zona donde se asienta el elemento, por ejemplo: zona afectada por inundaciones, zona sísmica, etc. La debilidad del elemento depende de dos condiciones:

- a. La ubicación del componente respecto a la zona de impacto de la amenaza, por ejemplo, áreas susceptibles de inundación, áreas cercanas a fallas geológicas.
- b. El estado, conservación y mantenimiento del componente. Por ejemplo, una estación de bombeo con equipo en mala condición por antigüedad y falta de mantenimiento, ubicada en un sitio muy seguro, será vulnerable por su propio estado. Si esta estación es además inundable en ciertas condiciones, será vulnerable por su propia condición y por su ubicación.

El conocimiento de la magnitud de la vulnerabilidad determinará las medidas de mitigación y de emergencia a implementar para dar respuesta al impacto.

La vulnerabilidad de un elemento puede aumentar o disminuir, si las condiciones de su ambiente y constitución varían. Así, la vulnerabilidad de una conducción de agua potable que corre paralela a un río puede incrementarse si el río cambia de curso y se acerca peligrosamente a la tubería; y puede disminuir si se construyen muros de protección.

El análisis de vulnerabilidad como diagnóstico se aplica no solo al impacto de fenómenos naturales graves como terremotos y huracanes, sino también al riesgo implícito de accidentes que afectan los servicios, como es el caso de contaminaciones, brotes epidémicos y roturas de tuberías.

3. Aplicación del Análisis de Vulnerabilidad

El análisis de vulnerabilidad se aplica a cada uno de los componentes de los sistemas como resultado del análisis individual de sus componentes. Como herramienta de diagnóstico para la elaboración de los planes de mitigación y de emergencia se aplica en la planificación para la atención de los grandes desastres naturales y de aquellas situaciones que impidan la prestación continua y permanente de los servicios.

Es usual que primero se aplique a las situaciones operacionales y a los aspectos organizativos y administrativos; y posteriormente a los impactos de los fenómenos

naturales, lo que facilita su aplicación al obtenerse experiencia en situaciones que van de menor a mayor complejidad.

4. Niveles del Análisis

El análisis de vulnerabilidad se efectúa en tres niveles, a saber:

- a. Primer nivel: análisis detallado
- b. Segundo nivel: análisis especializado
- c. Tercer nivel: análisis de evaluación.

4.1 Primer nivel o análisis detallado

Este primer nivel se utiliza para determinar las medidas de mitigación y de emergencia que deben implementarse para disminuir la vulnerabilidad del sistema considerando sus componentes operacionales, físicos y administrativos. En este nivel se identifican además los estudios de mayor complejidad que deben efectuarse y que corresponden al segundo nivel.

El análisis se lleva a cabo por etapas, desde el simple reconocimiento para encontrar las situaciones que comprometen los componentes, hasta estudios detallados de ingeniería, estructurales e hidrológicos.

La complejidad del análisis dependerá del sistema. En los sistemas rurales y urbanos muy sencillos bastará un recorrido detallado para determinar las situaciones vulnerables y las medidas de mitigación y de emergencia necesarias a implementar para las amenazas propias de la zona. En los sistemas urbanos mayores y metropolitanos serán necesarios estudios de mayor complejidad, dependiendo del sistema.

4.2 Segundo nivel o análisis especializado

Este segundo nivel implica estudios especializados de vulnerabilidad que usualmente las empresas de agua potable y saneamiento no están en capacidad

de efectuar, tales como estudios de análisis estructural de represas, plantas de tratamiento, tanques de almacenamiento, tuberías de grandes diámetros, estabilidad de taludes y de suelos, estudios hidrológicos de avenidas, control de sedimentos y manejo de cuencas, etc.

Estos estudios están encaminados a determinar la vulnerabilidad de las estructuras y las medidas de mitigación, tales como programas de manejo integrado de cuencas para mejorar y conservar la cantidad y la calidad del agua y disminuir el acarreo de sedimentos; obras de mejoramiento y sustitución de captaciones de agua (captaciones superficiales por galerías de infiltración por ejemplo); obras de reforzamiento estructural; flexibilización de tuberías de grandes diámetros; obras encaminadas a mejorar la redundancia de equipos y la flexibilidad operacional, etc.

La necesidad de estos estudios se identifica en el primer nivel de análisis, oportunidad en la cual se recopila la información disponible y se elaboran los términos de referencia para la contratación de consultores especializados.

4.3 Tercer nivel o análisis de evaluación

El análisis de vulnerabilidad en el tercer nivel presupone la vigencia de un plan de mitigación y de un plan de emergencia y se efectúa luego del impacto de una amenaza y luego de la realización de simulacros, talleres y seminarios de análisis de vulnerabilidad.

Las actividades anteriores deben ser continuas y permanentes, de tal manera que el plan de emergencia se mantenga vigente a lo largo del año y no como un simple documento a utilizar cuando se presenta una emergencia.

5. Medición de la Vulnerabilidad

Es necesario "medir" la vulnerabilidad en alguna forma para poder efectuar comparaciones entre componentes y dar prioridad a los componentes críticos o

vulnerables al implementar las medidas de mitigación. Se han propuesto varios métodos y algunos requieren un cálculo probabilístico complejo.

En estas guías se pretende establecer una metodología fácil de aplicar que permita determinar con rapidez y eficacia los componentes críticos para elaborar el plan de mitigación y el plan de emergencia. Las dos metodologías que se han propuesto son las siguientes:

5.1 Metodología de la American Water Works Association

La AWWA establece la contabilidad (CE) de un componente en términos de capacidadde producción (Qp) de agua luego del impacto con respecto a la cantidad de agua necesaria (Qn). Así, la contabilidad se expresa como:

$$CE = Q_p / Q_n$$

La vulnerabilidad es la inversa de la contabilidad y se expresa como:

$$V = 1 - CE = 1 - Q_p / Q_n$$

Así por ejemplo, si una captación luego de una avenida queda inutilizada en 30%, los valores de contabilidad y de vulnerabilidad serán de 0,7 y de 0,3, respectivamente. Ambos valores se pueden expresar como 70% y 30%, respectivamente para el ejemplo anterior.

Si bien esta metodología da un valor de vulnerabilidad, el valor nos informa que la captación tiene un índice de operación de 70 % y que será necesario rehabilitarla para que pueda captar el 30% restante; pero este valor por sí solo no da idea de la magnitud del daño, ni de cuánto tiempo se tardará la rehabilitación, valor importante para determinar si será necesario suplir el faltante, o el requerimiento mínimo de agua de la población carente del servicio durante un tiempo que puede ser considerablemente largo.

5.2 Metodología de tiempos de rehabilitación

Esta metodología fue desarrollada en el CEPIS por el autor de estas Guías al buscar unamedida de la vulnerabilidad que informe no solo la capacidad remanente del componente sino la magnitud del daño **y** las expectativas de rehabilitación en términos de tiempo. Esta metodología se aplica a componentes estructurales como estaciones de bombeo, tanques de almacenamiento, plantas de tratamiento **o** tuberías de conducción **y** distribución. Para cuencas hidrográficas, acuíferos o grandes represas, el método requiere análisis especializados.

El tiempo de rehabilitación depende de:

- a. La magnitud del daño
- b. La disponibilidad de recursos humanos, materiales, financieros y de transporte para reparar el daño
- c. El acceso al sitio donde debe efectuarse la rehabilitación.

El tiempo de rehabilitación (TR), 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.

Esta metodología se aplica también 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 **TR₂₋₅**, **TR₅₀** Y finalmente TR, que equivale a **TR₁₀₀**.

Para el establecimiento de los tiempos de rehabilitación se requiere amplia experiencia en rehabilitación, reconstrucción y reparación, conocimiento detallado del sistema de abastecimiento de agua potable, de los recursos disponibles y de la capacidad de la empresa para atender estas situaciones con recursos propios, de Defensa Civil y de la empresa privada.

Establecidos los TR Para los componentes, es necesario estimar el TR para el sistema, que será la sumatoria en "serie" o en "paralelo" de los tiempos de

rehabilitación de los componentes. Es en serie cuando la rehabilitación se hace una después de la otra, o cuando se rehabilita un componente y luego el segundo por razones de recursos' por ejemplo. Es en paralelo cuando la rehabilitación se ejecuta simultánea o independientemente.

Para estimar los TR es necesario efectuar un análisis detallado de cada componente una vez determinado el grado de daño. A través de este análisis se puede identificar necesidades de personal, de equipos y materiales para la rehabilitación y mejoramiento de procedimientos.

A manera de ejemplo se indican los tiempos parciales para establecer el TR de una tubería rota de gran diámetro:

- Número de daños esperado
- Tiempo de reporte del daño
- Tiempo de cierre de válvulas
- Tiempo de movilización para iniciar la reparación (personal, equipo, materiales, cte.)
- Tiempo de acceso o de llegada al daño
- Tiempo de ejecución de la reparación (depende de la magnitud del daño y de los recursos existentes)
- Tiempo de espera luego de la reparación antes de reiniciar la operación (espera de fragua de anclajes, por ejemplo)
- Tiempo de puesta en operación (llenado de tuberías).

La sumatoria de estos tiempos parciales corresponderá al TR para la rehabilitación de la tubería al 100% de su capacidad.

En un ejercicio sobre un sistema de conducción y distribución de agua potable, por ejemplo, el TR así calculado servirá para dos fines: comparar los TR de los diferentes daños para determinar los componentes críticos o aquellos con TR mayores para priorizar la ejecución de medidas de mitigación o reforzamiento; y para determinar otras formas de abastecimiento de agua potable durante la

rehabilitación, como reparto de agua en camiones cisterna, habilitación de otras fuentes, etc. lo que deberá incluirse como procedimiento en el plan de emergencia.

Es importante tener presente que la determinación de los TR definitivos puede implicar un proceso iterativo. Esto es, para unos recursos iniciales dados se obtendrá un TR, para un determinado componente, que puede no ser aceptable, por lo que habría que reasignar los recursos. O bien, al continuar el análisis para el resto del sistema, puede evidenciarse la necesidad de reasignar de nuevo los recursos disponibles a la reparación de otro componente de mayor prioridad.

6. Pasos del Análisis

Para llevar a cabo este análisis es necesario conocer la organización y normativa nacionales en materia de atención de emergencias y desastres; identificar y caracterizar las amenazas posibles de la zona; y conocer en detalle el sistema de abastecimiento de agua potable, sus componentes y funcionamiento.

La sobreposición de las amenazas sobre los componentes del sistema determinará su capacidad de resistencia y por consiguiente su debilidad o vulnerabilidad pudiéndose determinar las medidas de mitigación y de emergencia.

El análisis de las diferentes amenazas probables en la zona producirá un cuadro general de amenazas, componentes y TR, lo que permitirá determinar que los componentes críticos o más vulnerables del sistema sean aquellos con mayor TR.

El análisis de vulnerabilidad debe ser efectuado por profesionales que tengan amplia experiencia en la operación, diseño y reparación de los componentes del sistema. También se requiere una buena dosis de imaginación para prever posibles daños y medidas para evitarlos.

El análisis de vulnerabilidad de sistemas de agua potable o de alcantarillado sanitario demanda los pasos que se detallan a continuación.

6.1 Primer Paso: Identificación de la Organización y legislación vigentes

a. 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 para ayudar en la rehabilitación.

Es usual que estas organizaciones cuenten con plantas portátiles y equipo de construcción pesada para las reparaciones tanto del sistema de agua potable como del alcantarillado sanitario, aspectos que deben valorarse en la elaboración del análisis. La información recabada en este primer paso es la base para llenar la tercera matriz de vulnerabilidad.

b. Normativa legal vigente

En esta etapa debe identificarse la siguiente legislación:

- 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 aplicable respecto a la responsabilidad **civil y penal en el manejo de emergencias y desastres a nivel de empresa y de funcionario.**
- iii) Los códigos para el diseño y análisis, tales como códigos sísmicos.

6.2 Segundo paso: Descripción de la zona y del sistema y de su funcionamiento

a. Descripción de la zona

Es deseable caracterizar la zona del sistema mediante los siguientes datos: 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 (barrios y caseríos, zona industrial, comercial y domiciliar, tipo de viviendas, calidad de la construcción, etc.); salud pública y saneamiento (servicios de salud, recolección de basura, estadísticas de salud); desarrollo socioeconómico (actividades socioeconómicas, desempleo, etc.); datos geológicos, geomorfológicos y topográficos.

Es importante conocer los servicios con que cuenta la zona: comunicaciones (televisión, radio, correo, telégrafo, teléfono, fax, etc.); acceso y vías de comunicación (carreteras, trenes, aeropuertos, puertos fluviales y marítimos, así como la frecuencia de viaje en las diferentes vías); energía eléctrica (quién lo opera, cobertura, contabilidad, seguridad, etc.).

Es necesario evaluar la vulnerabilidad física y administrativa (capacidad de respuesta) de las vías de comunicación y abastecimiento de energía eléctrica (para sistemas con bombeo) en coordinación con el ministerio y empresa correspondientes. Esta información es muy útil a la hora de plantear medidas de mitigación y emergencia, pues puede **modificar** significativamente el TR estimado, **y por ende los tipos y costos de dichas** medidas.

b. Descripción física del sistema

En esta etapa se recopilarán los planos físicos del sistema y se describirá el sistema con los datos más relevantes de cada componente: elevaciones, materiales, diámetros, volúmenes, etc. La descripción se acompañará de esquemas claros que faciliten la comprensión del sistema.

c. Descripción funcional del sistema

Paralelamente a la descripción física se efectuará la descripción del funcionamiento del sistema con los datos más relevantes de cada componente:

flujos, niveles, presiones y calidad del servicio. Para el caso de agua potable interesa conocer la cantidad suministrada dotaciones y total, continuidad del servicio y calidad del agua. Para el caso de alcantarillado sanitario interesa conocer la cobertura, capacidad de evacuación, calidad de efluentes y de cuerpos receptores.

La descripción se acompañará de esquemas claros que faciliten el entendimiento del funcionamiento del sistema. Deberá considerarse 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 la matriz de vulnerabilidad operativo.

6.3 Tercer paso: Estimación de la vulnerabilidad operativo (primera matriz de vulnerabilidad) para el caso de sistemas de agua potable, en la primera columna de la matriz se anotará el componente analizado, captación, planta de tratamiento, tanque, zona de abastecimiento o zona de presión. En la segunda columna la capacidad del componente, el requerimiento actual y el superávit o déficit. En la tercera columna se indicará la continuidad del servicio de las zonas de presión o sectores de la red y en la cuarta columna la calidad del agua con sus deficiencias si las hubiere. Si no existe un componente requerido (reservorio, por ejemplo), en la segunda columna sobre capacidad se anotará cero y en la tercera columna se registrará como déficit el volumen.

Para sistemas de alcantarillado sanitario, en la primera columna de la matriz se anotará el componente analizado: zona de recolección, conducción, planta de tratamiento y disposición final. En la segunda columna para las zonas del área se anotará la cobertura; en la tercera columna la capacidad y déficit si lo hubiera; y en la cuarta columna la calidad del efluente final con indicación de la fuente de disposición final.

6.4 Cuarto paso: Estimación de la vulnerabilidad física e Impacto en el servicio (segunda matriz de vulnerabilida

a. Identificación de las amenazas

En la primera columna de esta matriz se anotarán las amenazas propias de la zona que pudieran impactar los sistemas físicos de agua potable o de alcantarillado sanitario. El análisis debe efectuarse separadamente para cada sistema. En esta columna se hará una descripción breve de la amenaza y sus efectos. Las amenazas se deben catalogar en la forma siguiente:

- i) Originadas por fenómenos naturales tales como sismos, huracanes, inundaciones, erupciones volcánicas, etc.
- ii) Originadas por la actividad humana tales como derrames de sustancias químicas, contaminación, etc.
- iii) Originadas por la operación de los sistemas tales como roturas de tuberías de gran diámetro.

b. Características de la amenaza

En la segunda columna se indicarán los valores que caracterizan la amenaza, por ejemplo, para un huracán: pronóstico del área de impacto, tiempo de duración del impacto, velocidad esperada de los vientos, precipitación esperada y niveles probables de agua en los cauces. Para sismos: fuentes de la amenaza, los valores de recurrencia, las magnitudes máximas, la máxima duración probable, y las aceleraciones y desplazamientos esperados.

Esta información se vertirá en un mapa o plano de la zona. Estas características deberán ser lo más aproximadas al pronóstico del impacto, obtenidas del análisis de probabilidad de ocurrencia, para lo que es necesario recurrir a análisis especializados de la historia de la amenaza en la región. Esta información deberá verse en mapas de riesgos sísmico o hidrológico de tal manera que la superposición de los mapas de riesgos con los planos del sistema de agua potable a la misma escala indiquen los componentes de mayor riesgo.

c. Prioridad relativa

En la tercera columna se indicará la prioridad de la amenaza si la zona estuviera sujeta a varias amenazas. Al iniciar el análisis no siempre se conoce con exactitud la prioridad de cada amenaza, por lo que al inicio se indicarán prioridades tentativas que se corregirán una vez concluido el análisis.

d. Sistemas de información y de alerta

La cuarta columna de la matriz se subdividirá en tres subcolumnas; en la primera subcolumna se indicará para cada amenaza según corresponda y al mismo nivel, los sistemas de información y de alerta hacia la empresa, por ejemplo el sistema de comunicación entre Defensa Civil y la empresa; en la segunda, los sistemas de información dentro de la empresa y hacia las regiones de la misma. En la tercera subcolumna se indicarán los sistemas de información después del evento, incluidos los medios de comunicación masiva y la información a los clientes. En el análisis posterior de vulnerabilidad se evaluará la efectividad de estos sistemas y las medidas de mejoramiento necesarias para que los sistemas operen con eficacia.

e. Áreas de impacto

En la quinta columna se indicarán las áreas de impacto directo, por ejemplo: áreas de captación por la acción de fuertes lluvias; áreas de suelos suaves y sueltos donde se ubican tuberías de conducción en el caso de sismos, etc.

Complementariamente, las áreas de impacto se indicarán en mapas de riesgos elaborados sobre mapas de la zona en estudio, por ejemplo, mapas de información geológica en los cuales se montará la información sísmica; mapas de información general sobre los cuales se montará la información sobre niveles de inundación para diferentes períodos de ocurrencia, etc.

f. Componentes expuestos

En la sexta columna se indicarán las estructuras de 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.

g. Características del impacto: daños, vulnerabilidad (TR) y capacidad remanente

Esta séptima columna se dividirá en tres subcolumnas. En la primera se describirá las características del impacto sobre cada uno de los elementos expuestos; en la segunda, la estimación del tiempo de rehabilitación antes del impacto; y en la tercera la capacidad remanente de operación del componente en unidades de flujo y de porcentaje. El tiempo de rehabilitación y la capacidad remanente corresponden a los valores de vulnerabilidad del componente expuesto.

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 suficiente aproximación las situaciones que generarán los impactos para determinar los parámetros de vulnerabilidad.

h. Impacto en el servicio de agua potable o alcantarillado

En esta octava columna y para cada elemento expuesto se indicará el impacto en el servicio, la población que queda parcial o totalmente sin servicio, cantidad de personas y áreas de servicio, y los servicios prioritarios del área como hospitales, centros que serán utilizados para refugiados, etc. Esta información, conjuntamente con el tiempo de rehabilitación, se utilizará para indicar en el plan de emergencia 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.

6.5 Quinto paso: Estimación de la vulnerabilidad administrativa de la empresa y capacidad de respuesta (tercera matriz de vulnerabilidad)

a. Organización institucional

En la primera columna de esta matriz se indicará el resultado del análisis de vulnerabilidad correspondiente a la organización institucional. Se debe distinguir los niveles central, regional y local.

Los aspectos más relevantes a considerar son: existencia del programa para la atención de emergencias y desastres y los planes de mitigación y de emergencia; constitución y funcionamiento del comité de emergencia y de las comisiones de formulación de los planes; estado de divulgación y conocimiento por parte de los funcionarios involucrados; aspectos de coordinación con Defensa Civil o su similar, empresa de energía, comunicaciones; y evaluación del sistema de información y alerta.

También es importante considerar la experiencia en el manejo de situaciones de emergencias y la existencia de rutinas no escritas, pero de uso comprobado en emergencias anteriores.

b. Operación y mantenimiento

En la segunda columna de esta matriz se indicará el resultado del análisis de vulnerabilidad correspondiente a los aspectos de operación y mantenimiento para los niveles central, regional y local. Este aspecto es clave en la atención de emergencias y desastres y las empresas con programas adecuados de operación y de mantenimiento preventivo y correctivo están en mejores condiciones de proveer una respuesta eficaz a las emergencias y desastres.

Los aspectos más relevantes a considerar son: existencia de programas idóneos de planificación de la operación y de mantenimiento correctivo y preventivo; coordinación con otras instituciones prestatarias de servicios como energía y

teléfonos; personal capacitado; existencia de repuestos para las reparaciones; disponibilidad de equipo y maquinaria, propia o de la empresa privada.

c. Apoyo administrativo

En la tercera columna de esta matriz se indicará el resultado del análisis de vulnerabilidad de los sistemas de apoyo administrativo, que si bien forman parte del plan de emergencia es necesario evaluarlos por separado.

Los aspectos más relevantes a considerar son: disponibilidad y manejo de dinero en situaciones de emergencia y desastre; apoyo logística de personal, almacenes y transportes; disponibilidad de contratación de empresas privadas para apoyar medidas de mitigación y de rehabilitación.

d. Capacidad de respuesta

En la cuarta columna de esta matriz se indicará la capacidad de respuesta institucional para implementar medidas de mitigación y para atender el impacto de las amenazas si estas se presentaran. Esta columna es el resultado de las evaluaciones de las tres columnas anteriores.

6.6 Sexto paso: Medidas **de** mitigación **y** de emergencia (**cuarta matriz de vulnerabilidad**)

En esta matriz se plantearán las medidas de mitigación y de emergencia para cada aspecto de vulnerabilidad analizado: operativo, física y administrativa. Para cada caso se llenará una columna dividida en cuatro subcolumnas, las dos primeras para las medidas de mitigación y sus costos estimados y la tercera y cuarta para las medidas de emergencia y su costo estimado.

a. Vulnerabilidad operativa

La primera parte de esta matriz corresponderá a las medidas de mitigación y de emergencia para los aspectos operativos identificados como vulnerables en la primera matriz de vulnerabilidad.

b. Vulnerabilidad física

La segunda parte de esta matriz corresponderá a las medidas de mitigación y de emergencia correspondientes a los componentes físicos y se indicarán en el mismo orden en que fueron analizados en la segunda matriz de vulnerabilidad.

Esta parte se dividirá en dos secciones; en la primera, plan de mitigación, se indicarán las medidas de mitigación para los componentes físicos que corresponderán 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 tienen mayor tiempo de rehabilitación, mayor frecuencia o componentes críticos. En la segunda, plan de emergencia, se indicarán las medidas de emergencia y procedimientos de emergencia para que sean implementados si el impacto se presentara antes que las medidas de mitigación fueran implementadas.

Es aconsejable que esta matriz sea llenada por el mismo equipo de profesionales que efectuó el análisis de vulnerabilidad físico. El conocimiento del funcionamiento del sistema es fundamental en esta etapa, ya que facilitará la formulación del plan de mitigación y los estudios complementarios de diseño y construcción; y el planteamiento de los procedimientos alternativos de abastecimiento de agua potable para elaborar el plan de emergencia.

c. Vulnerabilidad administrativa

En la tercera parte de esta matriz se indicarán las medidas de mitigación y de emergencia que se deben implementar para corregir o reforzar los aspectos administrativos identificados en la tercera matriz.

En el anexo 1 se presentan esquemas de las matrices de vulnerabilidad, con sus columnas, subcolumnas, y sus respectivos encabezados.

Capítulo 3. Guía para la Aplicación del Análisis de Vulnerabilidad a Sismos

1. Introducción

Este capítulo presenta una guía de la metodología del análisis de vulnerabilidad descrita en el capítulo anterior aplicada a sismos. Se indican los aspectos claves en los que debe concentrarse el análisis y las referencias donde se encuentra la información necesaria para efectuar el análisis.

La evaluación del riesgo sísmico regional y local de la zona o región a analizar es básica para estimar la vulnerabilidad y los daños posibles de los componentes en riesgo. Esta evaluación debe basarse en la historia sísmica de la región, la que se encuentra en los institutos de observación sismológica o similares.

Es usual que el análisis de vulnerabilidad sísmica sea realizado por un equipo conjunto de consultores privados o de instituciones especializadas como los institutos mencionados, universidades y otros y profesionales de la empresa. Los primeros aportarán los conocimientos y tecnologías específicas de análisis de riesgo sísmico y de análisis de suelos y de estructuras, y los segundos el conocimiento de las estructuras, su funcionamiento y de la importancia relativa como parte del sistema para priorizar las medidas de mitigación y establecer los procedimientos del plan de emergencia.

En todo caso, los efectos de los sismos son de tal magnitud e impacto en el servicio que todas las empresas ubicadas en áreas de riesgo sísmico están obligadas a estudiar a fondo la vulnerabilidad de sus estructuras, implementar un plan 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.

2. Primer Paso: Identificación de la Organización y Legislación Vigentes

2.1 Organización nacional y regional

Debe identificarse la organización nacional y regional y las normas y procedimientos de funcionamiento: organización, jerarquías, sistemas de información y comunicación, apoyo gubernamental y regional a las empresas de suministro de agua potable y recursos disponibles que pudieran ser utilizados para el abastecimiento de agua potable en situaciones de emergencia y de desastre.

Es usual que estas organizaciones cuenten con recursos de personal, equipo y materiales para suplir agua potable, incluidos plantas portátiles y equipos de construcción pesada que podrán disponerse para las reparaciones, lo que disminuiría el tiempo de rehabilitación.

2.2 Normativa legal vigente

En esta etapa deberá identificarse la legislación general para la atención de emergencias y desastres del país y la específica referente a aspectos sismológicos, 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 aplican en las nuevas construcciones y 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. Si son obsoletos, deberá investigarse que parámetros deberán utilizarse para el análisis.

3. Segundo Paso: Descripción de la zona, del sistema y de su funcionamiento.

En este paso se seguirá lo indicado en la metodología general del capítulo 2.

4. Tercer Paso: Estimación de la Vulnerabilidad Operativa (Primera Matriz de Vulnerabilidad)

En este paso se seguirá lo indicado en la metodología general del capítulo 2.

5. Cuarto Paso : Estimación de la Vulnerabilidad Física e Impacto en el servicio (segunda matriz de Vulnerabilidad)

5.1 Identificación de las amenazas

En la primera columna se indicará el tipo de sismo que se espera y los fenómenos asociados (licuefacción, deslizamientos, tsunamis, etc.)

En la segunda columna de la matriz se hará una breve descripción de la amenaza, a manera de resumen de la información vertida en la quinta columna.

Específicamente se indicará la probabilidad de ocurrencia y la magnitud e intensidad esperadas.

5.2 Características de la amenaza sísmica

a. Breve descripción general

i) Generalidades

Los fenómenos que dan origen a los sismos pueden deberse a movimientos tectónicos, actividad volcánica, grandes derrumbes y explosiones. Los más frecuentes son los movimientos tectónicos, que consisten en la liberación repentina de energía acumulada en las zonas de choque o contacto entre las placas de la corteza terrestre.

De especial atención son los procesos de subducción en toda la costa del Pacífico de las Américas. Las placas oceánicas del Pacífico se están introduciendo bajo las placas continentales, lo que genera zonas de fricción y acumulación de energía

denominadas zonas de subducción que se extienden de norte a sur en el continente. A lo largo de estas zonas están localizadas las grandes cadenas montañosas y volcánicas. Gran parte de los sismos en estas zonas están asociados a la liberación de energía acumulada por este proceso.

De igual atención son los sistemas de fallas regionales y locales, como es el caso de la falla del Motagua en Guatemala que causó el terremoto de 1976 y del sistema de fallas locales del Valle Central de Costa Rica que causó los terremotos de 1983 y 1984.

La identificación de estos sistemas de subducción y de fallas locales es fundamental para determinar la vulnerabilidad de las estructuras ubicadas sobre o cerca de ellos.

ii) Magnitud sísmica

La magnitud sísmica es la energía liberada por un sismo en su epicentro y se calcula a partir del registro obtenido a cualquier distancia del origen mediante fórmulas desarrolladas al efecto y se expresa en ergios. La escala más utilizada es la de Richter que se indica a continuación.

Magnitud Energía liberada en ergios

3,0 - 3,9 $9,5 \times 10^{15}$ - $4,0 \times 10^{17}$

4,0 - 4,9 $6,0 \times 10^{17}$ - $8,8 \times 10^{18}$

5,0 - 5,9 $9,5 \times 10^{18}$ - $4,0 \times 10^{20}$

6,0 - 6,9 $6,0 \times 10^{20}$ - $8,8 \times 10^{21}$

7,0 - 7,9 $9,5 \times 10^{22}$ - $4,0 \times 10^{23}$

8,0 - $8,9 \times 10^{23}$ - $8,8 \times 10^{24}$

iii) Intensidad sísmica

La intensidad de un sismo se mide según el grado de destrucción que produce. Un sismo puede tener una magnitud dada y distintos grados de intensidad según el

sitio donde interese conocer sus efectos. Para medir la intensidad sísmica se utiliza la escala de Mercalli modificada que se indica a continuación:

Intensidad Descripción

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

iv) Relación magnitud intensidad

O' Rourke [2, 201 establece la relación siguiente entre magnitud e intensidad:

Magnitud (M) Máxima intensidad

2 I a II

3 111

4 V

5 VI a VII

6 VII a VIII

7 IX a X

8 XI

b. Evaluación de la amenaza sísmica

Las características de la amenaza se determinan a través de una evaluación de la amenaza sísmica, lo que permite definir los parámetros de análisis y diseño que son necesarios para las obras civiles. Estos parámetros son la aceleración y la velocidad que se pueden esperar en los sitios donde se ubican las estructuras del sistema de agua potable para diferentes períodos de retorno y los períodos predominantes del movimiento del suelo al considerar sismos originados en las diferentes fuentes sísmicas de la zona en estudio.

Se han propuesto diferentes metodologías para determinar estos parámetros, una de las más conocidas es la de Cornell [2c,41, cuyo fundamento teórico considera que el proceso de ocurrencia de sismos es un proceso Poisson, el que supone una independencia espacio-temporal entre los temblores analizados y que no existe memoria en el sistema con relación a eventos pasados o futuros. Esta teoría establece la probabilidad de que el movimiento del suelo sobrepase un nivel x en un determinado sitio en función del número promedio de eventos por unidad de tiempo en los cuales un evento sobrepase el valor x . El modelo de recurrencia de temblores, según la teoría, sigue la relación de Gutenberg y Richter.

Para estimar la amenaza sísmica es necesario analizar las fallas activas y caracterizar la sismicidad de la región de acuerdo con registros históricos y datos sobre subducción, temblores interplacas y temblores originados en los sistemas de fallas locales. Con los parámetros de las fuentes y eventos se podrá elaborar el modelo de sismicidad y pronosticar las magnitudes máximas, las relaciones de atenuación, las máximas duraciones probables de las sacudidas sísmicas, las aceleraciones máximas del suelo, las velocidades máximas esperadas y las deformaciones para una probabilidad de excedencia esperada.

O' Rourke [2c] sugiere un método simplificado para estimar las aceleraciones máximas de tierra y duraciones durante la fase fuerte del movimiento. Los códigos sísmicos de los países también proveen esta información para el análisis y diseño de las estructuras civiles.

Para el análisis de estructuras de concreto y de acero y tuberías, la ingeniería estructural [7d] provee los elementos para definir los reforzamientos necesarios para minimizar los efectos del impacto de la amenaza.

En todo caso, la interpretación de la información sísmica y el establecimiento de estos parámetros, así como el análisis de las estructuras, debe ser efectuada por profesionales con amplio conocimiento de la materia.

5.3 Prioridad relativa

En la tercera columna de la matriz se indicará la prioridad relativa de la amenaza con respecto al listado total de amenazas posibles de la región. La prioridad asignada en este momento será tentativa y se corregirá, si fuere necesario, al completar el análisis de vulnerabilidad para todas las amenazas.

5.4 Sistema de información y alerta

En la primera subcolumna de esta cuarta columna de la matriz se indicarán los sistemas de información y comunicación de los institutos nacionales especializados del país con la empresa de agua potable, tanto para situaciones de alerta como para situaciones de ocurrencia de sismos en las diferentes regiones del país.

Es usual que las empresas del servicio de agua potable no sean informadas de la ocurrencia de sismos. Se dan cuenta porque el sismo fue sentido y por la radio, televisión y prensa. Deberán existir convenios y sistemas de comunicación que establezcan que cuando ocurra un sismo en una región del país, los centros de operaciones de las empresas sean informados por teléfono y fax de los epicentros

y magnitudes, lo que facilitará la movilización, el análisis de daños y la atención rápida, oportuna y eficaz.

En la segunda subcolumna se indicarán los sistemas de información y comunicación internos de la empresa, incluidos los establecidos hacia sus regiones. La evaluación de estos sistemas es básica para verificar que la información sea oportuna y veraz. En la tercera subcolumna se indicarán los sistemas de información que se activaran después del evento principal.

Los sismos generalmente se manifiestan en forma súbita y violenta, lo que no da tiempo para períodos de alarmas y el pronóstico de sismos de gran intensidad, aún cuando existen teorías desarrolladas con métodos científicos rigurosos, ha sido poco exitoso [211].

Algunos indicios de posibilidad de ocurrencia de sismos están asociados con la presencia de gas radón en los pozos, comportamiento anómalo de animales, ocurrencia de abanicos de sismos de poca intensidad como preludio de sismos mayores, apreciación de variaciones en el campo magnético, y períodos de sismos regionales y locales con origen en sismos mayores que activan los sistemas de fallas regionales y locales.

En la costa del Pacífico, la interacción de placas en continuo movimiento y la existencia de múltiples fallas geológicas regionales y locales, unido a las zonas de quietud o que no han mostrado rupturas en los períodos inmediatos anteriores, son elementos suficientes para mantener en alerta a las empresas.

5.5 Área de impacto

En la quinta columna de la matriz se describirá el área de impacto directo, información que se obtendrá del análisis de sismicidad de la zona o región donde se asienta el sistema de agua potable. El estudio de sismicidad priorizará las zonas de mayor riesgo y considerará la condición de los suelos, los sistemas de fallas regionales y locales y la condición de sistemas activos.

La información sismotectónica: líneas isosísmicas, fallas, etc., es conveniente verterla sobre un mapa geológico de la región, de tal manera que se presenten en un solo mapa. La superposición de los planos del sistema de agua potable a la misma escala del mapa sismogeológico indicará las estructuras o componentes de los sistemas con mayor riesgo, los que deberán ser motivo de análisis prioritario.

5.6 Componentes o elementos expuestos

En la primera subcolumna de esta sexta columna de la matriz se indicarán las estructuras o componentes del sistema ordenados en el sentido del flujo del agua: captaciones (diferentes tipos como presas de derivación, galerías, manantiales, pozos, etc.) y sus estructuras, conducciones, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo, tanques de almacenamiento, redes principales de conducción o matrices y redes de distribución. Se anotarán las que presenten un mayor riesgo en función de su ubicación respecto a áreas de mayor sismicidad.

En la segunda subcolumna de esta sexta columna se indicará el estado de cada estructura o componente, a manera de resumen de la información recabada en el segundo paso.

5.7 Características del impacto (séptima columna)

a. Efectos generales

En general, los sismos y terremotos representan una de las amenazas más serias para los sistemas de agua potable debido a la tremenda energía que liberan, a lo inesperado de su ocurrencia, su irregular periodicidad, y sobre todo por sus consecuencias, tales como:

i) Movimientos del suelo que dañan las estructuras cercanas a los epicentros, como se comprobó en los sismos de Managua en 1976, Ciudad de Guatemala en 1976 y Limón, Costa Rica en 1991.

- ii) Fenómenos de licuefacción activados por los sismos, los que se convierten en una de las amenazas geológicas más destructivas. Este fenómeno consiste en la licuefacción de suelos arenosos que ante los movimientos sísmicos pierden estabilidad y se comportan como masas gelatinosas.
- iii) Activación de fallas en el área de impacto del sismo, lo que posteriormente generan sismos locales de acomodo de las masas de suelo.
- iv) Derrumbes en zonas de topografía quebrada y suelos de poca estabilidad que alteran totalmente la calidad del agua por largos períodos.
- v) Tsunamis u olas sísmicas generadas por los sismos que se producen en el subsuelo de los océanos y que causan inundaciones y destrucción en las zonas costeras, como fue el caso de la ola que impactó la costa pacífica de Nicaragua en 1994.

b. Efectos sobre los componentes de los sistemas de agua potable

Prácticamente todos los componentes de un sistema de agua potable pueden sufrir las consecuencias directas del impacto de un sismo. En las cuencas con pendientes pronunciadas y suelos suaves se producen deslizamientos que modifican la calidad del agua y generan avalanchas que destruyen las captaciones superficiales; los acuíferos pueden cambiar significativamente e inclusive pueden perderse totalmente; los ademes de los pozos fallan en cortante; las estructuras de concreto en general sufren en mayor o menor grado agrietamientos y fallas estructurales que las inutilizan; las cajas de válvulas y tanques fallan en las uniones rígidas del concreto con las tuberías; las tuberías rígidas fallan en cortante, y las de juntas flexibles se desacoplan, por citar algunos ejemplos.

Por otro lado deben considerarse los efectos indirectos en los sistemas, como las fallas en el suministro de energía, comunicaciones y bloqueos en el sistema vial.

Las experiencias de daños ocasionados por eventos históricos [2c] son de gran utilidad para la evaluación de daños como resultado del análisis de vulnerabilidad.

c. Resultados del análisis de vulnerabilidad

Como resultado del análisis sísmico de las estructuras y tuberías se determinarán los daños probables catalogados como fallas en estructuras de concreto y acero; tuberías y otros servicios como energía, comunicaciones y caminos.

Un recorrido minucioso por todas las estructuras del sistema logrará determinar muchas situaciones de riesgo a los sismos: anclajes y soportes defectuosos, tuberías empotradas en paredes de concreto sin pasamuros o aislantes, tuberías rígidas donde se requiere flexibilidad, etc. Este recorrido e identificación de situaciones de riesgo deberá constituir la primera etapa del análisis.

En el caso de tuberías no tradicionales se puede recurrir al fabricante a fin de conocer sus experiencias sobre el comportamiento sísmico de las mismas, el tipo de daño esperado y sus indicaciones sobre las formas de reparación.

Los resultados del análisis se verterán en las tres subcolumnas de la séptima columna de la matriz: en la primera se indicarán en forma descriptiva los daños estimados en el componente (tipo y número); en la segunda el TR estimado para la rehabilitación total de cada componente, y al final de la columna se calculará el TR para todo el sistema o subsistema de abastecimiento de agua; en la tercera la capacidad remanente del componente expresada en unidades de flujo, litros por segundo, por ejemplo, y como porcentaje de la capacidad total del componente.

Si se considera conveniente en la segunda subcolumna se pueden indicar también los TR50 y TR25, y en la tercera subcolumna las capacidades remanentes que correspondan a estos tiempos de reparación.

5.8 Impacto en el servicio de agua potable o alcantarillado

En la octava columna de la matriz se indicará el impacto en el servicio de cada componente dañado, cuantificado en número de personas o conexiones del sistema afectadas y se indicarán las conexiones prioritarias de cada zona o subzona de abastecimiento.

6. Quinto Paso: Estimación de la Vulnerabilidad Administrativa de la Empresa y Capacidad de Respuesta (Tercera Matriz de Vulnerabilidad)

Esta matriz deberá llenarse de acuerdo con lo indicado en el capítulo 2, metodología general.

7. Sexto Paso: Medidas de Mitigación y de Emergencia (Cuarta Matriz de Vulnerabilidad)

Esta matriz se llenará de acuerdo con lo indicado en el capítulo 2, metodología general.

Capítulo 4. Guía para Aplicación del Análisis de Vulnerabilidad a Huracanes

1. Introducción

Este capítulo presenta una guía de la metodología del análisis de vulnerabilidad descrita en el capítulo 2 aplicada al caso de huracanes. Se indican los aspectos claves en los que debe concentrarse el análisis y las referencias donde se encuentra la información necesaria para efectuar el análisis.

La evaluación del riesgo al impacto de huracanes es básica para estimar la vulnerabilidad y los daños posibles de los componentes en riesgo. Esta evaluación es simple de efectuar por cuanto son bien conocidos los caminos que periódicamente siguen los huracanes; se deberá

utilizar información histórica disponible en los institutos de meteorología y Defensa Civil de los países sujetos a estos fenómenos.

Los mayores daños son causados a las estructuras expuestas a corrientadas de agua, a los fuertes vientos y ubicadas en áreas de inundación. Sin embargo el pronóstico de niveles de agua en cauces es usual que sea determinado para las

condiciones de análisis por un equipo de consultores privados especializados o de los institutos mencionados, universidades y otros profesionales de la empresa. Los primeros aportarán los conocimientos y tecnologías específicas de análisis de riesgo hidrológico, y los segundos 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.

En todo caso, los efectos de los huracanes en los países afectados 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 un plan 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.

Los períodos de lluvias extraordinarias, las correntadas e inundaciones que generan y los fortísimos vientos constituyen un escenario de altísimo riesgo para las estructuras de captación superficial, tuberías que discurren cercanas a los cauces de agua, y sistemas aéreos de suministro de energía eléctrica.

2. Primer Paso del Análisis: Identificación de la Organización y Legislación Vigentes

2.1 Organización nacional y regional

Debe identificarse la organización nacional y regional, las normas y procedimientos de funcionamiento: organización, jerarquías, sistemas de información, comunicaciones y alarmas, apoyo gubernamental y regional a las empresas de suministro de agua potable y recursos disponibles que pudieran ser utilizados para el abastecimiento de agua potable en situaciones de emergencia y de desastre para ayudar en la rehabilitación.

Es usual que estas organizaciones cuenten con recursos de personal, equipos y materiales para suplir agua potable, incluidos plantas portátiles y equipos de construcción pesada que podrán disponerse para la reparación y rehabilitación.

2.2 Normativa legal vigente

En esta etapa deberá identificarse la legislación general para la atención de emergencias y desastres del país y la específica referente a huracanes, 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 aplicable respecto a la responsabilidad civil y penal en el manejo de emergencias y desastres a nivel de empresa y de funcionario, específicamente respecto a huracanes e inundaciones.
- iii) Los códigos y normas de hidrología que indiquen las características del riesgo probable. Debe investigarse si se encuentran actualizados y si responden al conocimiento actualizado del país o región. Si son obsoletos, deberá investigarse qué parámetros deberán utilizarse para el análisis y diseño de estructuras expuestas.

3. Segundo Paso: Descripción de la zona, del sistema y de su funcionamiento

En este paso se seguirá lo indicado en la metodología general del capítulo 2.

4. Tercer Paso: Estimación de la Vulnerabilidad Operativa (Primera Matriz de Vulnerabilidad)

En este paso se seguirá lo indicado en la metodología general del capítulo 2.

5. Cuarto Paso: Estimación de la Vulnerabilidad Física e Impacto en el Servicio (Segunda Matriz de Vulnerabilidad)

5.1 Identificación de las amenazas

En la primera columna se indicará el tipo de huracán que se espera. En la segunda columna de la matriz se hará una breve descripción de la amenaza, a manera de resumen de la información vertida en la quinta columna.

Específicamente se indicará la época de la ocurrencia, magnitud e intensidad esperadas, áreas con mayor riesgo de impacto por corrientadas de agua, del viento y áreas de inundación.

5.2 Características de la amenaza de huracán

a. Breve descripción general

i) Generalidades

Los huracanes son grandes depresiones tropicales que se caracterizan por fuertes tormentas atmosféricas, alrededor de las cuales el viento circula con velocidades que exceden las 32 millas por hora (15 km/h) y que pueden alcanzar hasta 300 km/h.

Reciben diferentes nombres de acuerdo a la Región donde se producen, como huracanes, ciclones o tifones. Los de mayor interés para la Región son los que se forman y transitan en el Océano Atlántico del Norte o Subregión Caribe; y los del Océano Pacífico Norte que afectan la costa de Centro América y de México, conocidos generalmente como depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes, dependiendo de su magnitud. En algunos países se les llama ciclones.

La atmósfera de la superficie terrestre se moviliza según grandes patrones. La atmósfera ecuatorial recibe mucho más calor que aquellas zonas de mayor latitud. Este calentamiento hace que el aire se expanda hacia el norte o hacia el sur de la región ecuatorial. A su vez, en las zonas polares el aire es más frío y más pesado

por lo que se asienta a nivel del suelo y se desplaza hacia las regiones más calientes.

Este desigual calentamiento de la superficie terrestre produce otro tipo de viento, así, si en una región pequeña el aire se calienta más que el aire que lo rodea, se expande y se hace más ligero. Esto se denomina zona de baja presión. Si por el contrario, el aire es menos caliente que el de sus alrededores, la presión en dicha zona aumentará, denominándose zona de alta presión. El aire se mueve de zonas de alta presión a zonas de baja presión en trayectorias curvas debido al movimiento de rotación de la tierra.

Los huracanes ocurren en regiones donde se produce un fuerte calentamiento y vientos encontrados sobre el océano en una masa con gran contenido de humedad. El movimiento ciclónico se inicia frecuentemente por vientos alisios que convergen entre sí y debido a este proceso comienzan a girar alrededor de ellos mismos. Este fenómeno sucede cuando la zona de convergencia se ha desplazado del Ecuador, de manera que la rotación de la tierra interviene y produce las fuerzas de giro.

Hacia este centro de la a presión que se encuentra girando, converge el aire húmedo y caliente que tiende a elevarse. Esta elevación causa la condensación de la humedad y libera grandes cantidades de calor, lo que incremento la temperatura del aire que está girando, tornándose más ligero y ascendiendo más rápidamente. Conforme se da este proceso, más y más aire tropical húmedo entra al giro reponiendo el que se elevó, lo cual produce más condensación.

El ojo del huracán presenta un diámetro que puede variar entre 20 y 150 km y en su interior las condiciones meteorológicas son tranquilas con vientos débiles y cielo parcialmente nublado, siendo la presión en el centro baja.

La condición del ojo hace que exista una gran diferencia de presión entre el borde del ojo y el límite exterior de la tormenta. Además como la velocidad del viento es

proporcional a la pendiente de presión, esto explica la fortaleza del viento. En el hemisferio norte el giro es contrario a las manecillas del reloj.

Los sistemas de vigilancia, específicamente el Centro de Huracanes de la Florida, Estados Unidos, monitorea continuamente por radar las zonas de formación de huracanes en las Américas y mantiene informados a los países a través de las organizaciones nacionales de emergencia, sobre la formación y pronósticos de magnitud, desplazamiento y fuerza de los vientos, lo que permite a las autoridades y empresas tomar las medidas indicadas en los planes de emergencia para prepararse para el impacto.

Usualmente los medios de comunicación pública, la televisión principalmente, mantienen reportes continuos de esta actividad, alertando a la población.

En términos generales, los avisos se obtienen con suficiente tiempo como para tomar las medidas del caso.

ii) Catalogación de **los** huracanes

De acuerdo con la escalas Simpson/Saffir, los huracanes se catalogan de acuerdo con la velocidad del viento y daños que provocan, en la forma siguiente:

Categoría Velocidad del viento en Km/hora y daños

1 119 - 151; mínimo

2 152-176; moderado

3 177- 209; fuerte

4 210-248; severo

5 > de 248; catastrófico

iii) Incidencia y frecuencia

La época de los huracanes en el Caribe y en la subregión Norpacífica de las Américas es de junio a diciembre. La frecuencia es variable, unos años se

presentan con mayor fuerza que otros, pero se presentan todos los años. En 1995 se han producido huracanes con mayor frecuencia y fuerza, lo que causado numerosos destrozos.

b. Evaluación de la amenaza y mapas de riesgos

" evaluación de la amenaza consiste en determinar la trayectoria o corredor usual de los huracanes, las áreas usualmente impactadas por los fuertes vientos, los cursos de agua que son afectados con las crecidas y las áreas de inundación con los niveles estimados de agua. La estimación de crecidas puede efectuarse en una primera aproximación mediante la fórmula racional.

5.3 **Prioridad** relativa

En la tercera columna de la matriz se indicará la prioridad relativa de la amenaza con respecto al listado total de amenazas posibles de la región. La prioridad asignada en este momento será tentativa, y se corregirá si fuere necesario al completar el análisis de vulnerabilidad para todas las amenazas.

5.4 **Sistema de información y alerta**

En la primera subcolumna de esta cuarta columna de la matriz se indicarán los sistemas de información y comunicación de los institutos nacionales especializados del país, Defensa Civil, etc. con la empresa de agua potable, tanto para situaciones de alerta en sus diferentes etapas como para situaciones de impacto en las diferentes regiones del país.

Si bien los medios de comunicación usualmente mantienen bien informada a la población, es necesario que las empresas de agua obtengan información de primera mano con los detalles del pronóstico del evento, para activar el plan de emergencia propio con suficiente antelación, lo que facilitará la movilización, el análisis de daños y la atención rápida, oportuna y eficaz.

En la segunda subcolumna de esta columna de la matriz se indicarán los sistemas de información y comunicación internos de la empresa, incluidos los establecidos hacia sus regiones. En la tercera subcolumna se indicarán los sistemas de información que se activarán después del evento.

La evaluación de estos sistemas es básica para verificar que la información sea oportuna y veraz.

5.5 Area de impacto

En la quinta columna de la matriz se describirán las áreas de impacto directo, información que se obtendrá del análisis histórico de ocurrencia de eventos. Las áreas de impacto son aquellas donde se presentarán corrientadas de agua, fuertes vientos y zonas de inundación. Los caminos que siguen los huracanes son en general bien conocidos en los países afectados.

La información anterior se debe verter sobre un mapa de la región conformando el mapa de riesgos. La superposición de los planos del sistema de agua potable a la misma escala del mapa de riego de impacto de huracanes indicará las estructuras o componentes de los sistemas de mayor riesgo, los que deberán ser motivo de análisis prioritario.

5.6 Componentes o elementos expuestos

En la primera subcolumna de la sexta columna de la matriz se indicarán las estructuras o componentes del sistema ordenados en el sentido del flujo del agua: captaciones (diferentes tipos como presas de derivación, galerías, manantiales, pozos, etc.) y sus estructuras, Aducciones, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo, tanques de almacenamiento, redes principales de conducción o matrices y redes de distribución. Se anotarán las que presenten un mayor riesgo por su ubicación respecto a áreas de mayor riesgo e impacto.

En la segunda subcolumna de esta sexta columna se indicará el estado de cada componente o estructura, a manera de resumen de la información recabada en el segundo paso.

5.7 Características del impacto (séptima columna)

Los efectos generales del impacto de los huracanes y tormentas tropicales sobre los sistemas de agua potable están asociados mayormente con la destrucción que causan las correntadas de agua y la fuerza de los vientos, entre las cuales podemos citar:

- i) Fuertes correntadas de agua como consecuencia de las lluvias que destruyen las captaciones superficiales.
- ii) Fuertes vientos que destruyen las estructuras expuestas: postes, cables, etc. de los servicios de comunicaciones y energía.
- iii) Contaminación de ríos, quebradas y pozos como consecuencia de las inundaciones.
- iv) Destrucción de estructuras como desarenadores y tuberías que se encuentran en las riberas de los cursos de agua, y de puentes.
- v) Destrucción de cubiertas de techos e instalaciones al aire.
- vi) Contaminación de los sistemas de almacenamiento particulares y empresariales que se encuentran en áreas inundables.
- vii) Destrozo de caminos de acceso a las estructuras del sistema.

5.7.1 Resultados del análisis de vulnerabilidad

Como resultado del análisis de vulnerabilidad se determinarán los daños probables catalogados como fallas en estructuras de concreto y acero; tuberías; y otros servicios como energía, comunicaciones y caminos.

Un recorrido minucioso por todas las estructuras del sistema logrará determinar situaciones de riesgo a los huracanes: 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.

Los resultados del análisis se verterán en las tres subcolumnas de la séptima columna de la matriz: en la primera se describirán los daños estimados en el componente (tipo y número); en la segunda el TR estimado para la rehabilitación total de cada componente, y al final de la columna se calculará el TR para todo el sistema o subsistema de abastecimiento de agua; en la tercera, la capacidad remanente del componente expresada en unidades de flujo, litros por segundo, por ejemplo, y como porcentaje de la capacidad total del componente.

En general la estimación del TR en este caso debe considerar la duración del evento, que en algunos casos puede ser de días; el tiempo necesario para acceder las estructuras, el tiempo de movilización; el tiempo de rehabilitación parcial y total; y el tiempo de puesta en marcha, que conlleva períodos de limpieza y desinfección indispensables de implementar en este caso.

5.8 Impacto en el servicio de agua potable o alcantarillado

En la octava columna de la matriz se indicará el impacto en el servicio de cada componente dañado, cuantificado en número de personas o conexiones del sistema afectadas y se indicarán las conexiones prioritarias de cada zona o subzona de abastecimiento.

6. Quinto Paso: Estimación de la Vulnerabilidad Administrativa de la Empresa y Capacidad de Respuesta (Tercera Matriz de Vulnerabilidad)

Esta matriz deberá llenarse de acuerdo con lo indicado en la metodología general del capítulo 2.

7. Sexto Paso: Medidas de Mitigación y de Emergencia (Cuarta Matriz de Vulnerabilidad)

Esta matriz deberá llenarse de acuerdo con lo indicado en la metodología general del capítulo 2.

Capítulo 5. Guía para la Aplicación del Análisis de Vulnerabilidad a Inundaciones

I. Introducción

Este capítulo presenta una guía de la metodología del análisis de vulnerabilidad descrita en el capítulo 2 aplicada al caso de inundaciones. Se indican los aspectos claves en los que debe concentrarse el análisis y las referencias donde se encuentra la información necesaria para efectuar el análisis.

La evaluación de las áreas susceptibles a inundación con sus características de probabilidad de ocurrencia y niveles esperados de agua es la base para estimar la vulnerabilidad y los daños posibles de los componentes en riesgo. Esta evaluación es simple de efectuar por cuanto son bien conocidas las áreas que en el pasado han sufrido los efectos de las inundaciones, además que es usual que existan relaciones de intensidad-duración de la lluvia para probabilidades de ocurrencia de períodos de tiempo definidos que permiten pronosticar los niveles esperados.

Los mayores daños son causados a las estructuras expuestas a correntadas de agua y ubicadas en áreas de inundación. En muchas ocasiones son más destructivos los períodos de desague de la inundación que los períodos anteriores a la misma, por las correntadas que se generan.

El pronóstico de niveles de agua en cauces es usual que sea determinado por un equipo de consultores especializados privados o por instituciones especializadas como los institutos hidrológicos, universidades y otros profesionales de la

empresa. Los primeros aportarán los conocimientos y tecnologías específicas de análisis de riesgo hidrológico, y los segundos 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.

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 altísimo riesgo para las estructuras de captación superficial y tuberías que discurren cercanas a los causes de agua.

2. Primer Paso del Análisis: Identificación de la Organización y Legislación Vigentes

2.1 Organización nacional y regional

Debe identificarse la organización nacional y regional y las normas y procedimientos de organización: jerarquías, sistemas de información, comunicaciones y alarmas, apoyo gubernamental y regional a las empresas de suministro de agua potable y recursos disponibles que pudieran ser utilizados para el abastecimiento de agua potable en situaciones de emergencia y de desastre.

Es usual que estas organizaciones cuenten con recursos de personal, equipos y materiales para suplir agua potable, incluidas plantas portátiles y equipos de construcción pesada que podrán disponerse para la reparación y rehabilitación.

2.2 Normativa legal vigente

En esta etapa deberá identificarse la legislación general para la atención de emergencias y desastres del país y la específica referente a aspectos hidrológicos, tales como:

i) Legislación y reglamentación referente a la atención de las diferentes fases de las emergencias y desastres del país y la específica referente a aspectos

hidrológicos, tales como:

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

iii) Los códigos y normas de hidrología que indiquen las características del riesgo probable. Referente a estos códigos debe investigarse si se encuentran actualizados; si estuvieran obsoletos deberá investigarse qué parámetros deberán utilizarse para el análisis y diseño de estructuras expuestas.

3. Segundo Paso: Descripción de la Zona, del Sistema y de su Funcionamiento.

En este paso se seguirá lo indicado en la metodología general del capítulo 2,

4. Tercer Paso: Estimación de la Vulnerabilidad Operativa (Primera Matriz de Vulnerabilidad)

En este paso se seguirá lo indicado en la metodología general del capítulo 2.

5. Cuarto Paso: Estimación de la Vulnerabilidad Física e Impacto en el Servicio (Segunda Matriz de Vulnerabilidad)

5.1 Identificación de las amenazas

En la primera columna se indicará el tipo de inundación que se espera y los fenómenos asociados (correntadas, represamientos, contaminación de fuentes, etc)

En la segunda columna de la matriz se indicará una breve descripción de la amenaza, a manera de resumen de la información vertida en la quinta columna. Específicamente se indicará la época de la ocurrencia, magnitud e intensidad esperadas, áreas con mayor riesgo de impacto por correntadas de agua y áreas de inundación.

5.2 Características de la amenaza de inundación

a. Breve descripción general

i) 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 de lluvia 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 fuente de humedad como mar, lagos, etc., 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 solo trazas de lluvia en la ladera no expuesta de la montañas.

ii) Factores que afectan la escorrentía en una cuenca

Los factores más relevante son los siguientes:

- Factores climáticas
- 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.

Capacidad de transporte: tamaño, forma, pendiente, rugosidad, longitud y tributarios. Capacidad de almacenamiento: curvas de remanso.

iii) 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 esorrentía.

b. 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, esorrentía 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 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.

En una primera aproximación para el cálculo de la escorrentía se puede utilizar la fórmula racional.

5.3 **Prioridad relativa**

En la tercera columna de la matriz se indicará la prioridad relativa de la amenaza con respecto al listado total de amenazas posibles de la región. La prioridad asignada en este momento será tentativa y se corregirá, si fuere necesario, al completar el análisis de vulnerabilidad para todas las amenazas.

5.4 **Sistema de información y alerta**

En la primera subcolumna de esta cuarta columna de la matriz se indicarán **los** sistemas de información y comunicación de los institutos nacionales especializados del país, Defensa Civil, etc. con la empresa de agua potable, tanto para situaciones **de** alerta en sus diferentes etapas como para situaciones de impacto en las diferentes regiones del país.

Si bien los medios de comunicación usualmente mantienen bien informada a la población de la inminencia de períodos de lluvias fuertes y duraderas que pudieran causar inundaciones, es necesario que las empresas de agua obtengan información de primera mano con los detalles del pronóstico de los eventos, para activar el plan de emergencia propio con suficiente antelación, lo que facilitará la movilización, el análisis de daños y la atención rápida, oportuna y eficaz.

En la segunda subcolumna de esta columna de la matriz se indicarán los sistemas de información y comunicación internos de la empresa incluidos los establecidos hacia sus regiones. En la tercera subcolumna se indicarán los sistemas de información que se activarán después del evento principal.

La evaluación de estos sistemas es básica para verificar que la información sea oportuna y veraz.

5.5 Área de impacto

En la quinta columna de la matriz se describirán las áreas de impacto directo, información que se obtendrá del análisis histórico de ocurrencia de eventos. Las áreas de impacto son aquellas donde se presentarán correntadas de agua e inundaciones.

La información anterior descrita se debe verter sobre un mapa de la región, constituyéndose en el mapa de riesgos. La superposición de los planos del sistema de agua potable a la misma escala del mapa de riesgo de impacto de las inundaciones indicará las estructuras o componentes de los sistemas de mayor riesgo, los que deberán ser motivo de análisis prioritario.

5.6. Componentes o elementos expuestos

En la primera subcolumna esta sexta columna de la matriz se indicarán las estructuras o componentes del sistema ordenados en el sentido del flujo del agua: captaciones (presas de derivación, galerías, manantiales, pozos, etc.) y sus estructuras, aducciones, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo, tanques de almacenamiento, redes principales de conducción o matrices y redes de distribución. Se anotarán las que presenten un mayor riesgo en función de su ubicación respecto a áreas de mayor riesgo e impacto.

En la segunda subcolumna de esta sexta columna se indicará el estado de cada componente o estructura, a manera de resumen de la información recabada en el segundo paso.

5.7 Características del impacto (séptima columna)

Debido a que las inundaciones se producen por las altas precipitaciones, los efectos sobre los sistemas de agua potable son similares a las causadas por los

huracanes que conllevan también fuertes precipitaciones. Los efectos de mayor impacto están asociados a:

- i) Fuertes correntadas de agua coriio consecuencia de las lluvias o deshielo que destruyen las captaciones superficiales.
- ii) Represamientos y roturas que crean correntadas.
- iii) Contaminación de ríos, quebradas y pozos como consecuencia de las inundaciones.
- iv) Destrucción de estructuras como desarenadores y tuberías que se encuentran en las riberas de los cursos de agua, y de puentes.
- v) Contaminación de los sistemas de almacenamiento particulares y empresariales que se encuentran en áreas inundables.
- vi) Destrozo de caminos de acceso a las estructuras del sistema.

5.7.1 Resultados del análisis de vulnerabilidad

Como resultado del análisis de vulnerabilidad se determinarán los daños probables catalogados como fallas en estructuras de concreto y acero; tuberías; y otros servicios como energía, comunicaciones y caminos.

Un recorrido minucioso por las estructuras del sistema determinará situaciones de riesgo a las inundaciones: 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.

Los resultados del análisis se verterán en las tres subcolumnas de la séptima columna de la matriz: en la primera se describirán los daños estimados en el componente (tipo y número); en la segunda el TR estimado para la rehabilitación total de cada componente, y al final de la columna se calculará el TR para todo el sistema o subsistema de abastecimiento de agua; en la tercera, la capacidad remanente del componente expresada en unidades de flujo, litros por segundo, por ejemplo, y como porcentaje de la capacidad total del componente.

La estimación del TR en este caso debe considerar la duración del evento que en algunos casos es de días, el tiempo necesario para acceder a las estructuras, el tiempo de movilización, el tiempo de rehabilitación parcial y total, y el tiempo de puesta en marcha que conlleva períodos de limpieza y desinfección indispensables de implementar en este caso.

5.8 Impacto en el servicio de agua potable o alcantarillado

En la octava columna de la matriz se indicará el impacto en el servicio de cada componente dañado, cuantificado en número de personas o conexiones del sistema afectadas, y se indicarán las conexiones prioritarias de cada zona o subzona de abastecimiento.

6. Quinto Paso: Estimación de la Vulnerabilidad Administrativa de la Empresa y Capacidad de Respuesta (Tercera Matriz de Vulnerabilidad)

Esta matriz deberá llenarse de acuerdo con lo indicado en la metodología general del

capítulo 2.

7. Sexto Paso: Medidas de Mitigación y de Emergencia (Cuarta Matriz de Vulnerabilidad)

Esta matriz deberá llenarse de acuerdo con lo indicado en la metodología general del

Capítulo 6. Guía para la Aplicación del Análisis de Vulnerabilidad a Erupciones Volcánicas

1. Introducción

Este capítulo presenta una guía de la metodología del análisis de vulnerabilidad descrita en el capítulo 2 aplicada al caso de erupciones volcánicas. Se indican los aspectos claves en los que debe concentrarse el análisis y las referencias donde se encuentra la información necesaria para efectuar el análisis.

Para estimar la vulnerabilidad y los daños posibles a los componentes de los sistemas de agua potable, se deberán identificar las áreas de cobertura de los materiales de erupción 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, ante el impacto de lluvias ácidas y de ceniza sufren las plantas de tratamiento, estructuras metálicas como tanques y cajas de válvulas en redes de distribución.

Los períodos de lluvias mezclados con las erupciones producen avalanchas en los cursos de agua e inundaciones de extremo poder destructivo.

2. Primer Paso del Análisis: Identificación de la Organización y Legislación Vigentes

2.1 Organización nacional y regional

Debe identificarse la organización nacional y regional y las normas y procedimientos de funcionamiento: jerarquías, sistemas de información, comunicaciones y alarmas, apoyo gubernamental y regional a las empresas de suministro de agua potable y recursos disponibles que pudieran ser utilizados para el abastecimiento de agua potable en situaciones de emergencia y de desastre.

Es usual que estas organizaciones cuenten con recursos de personal, equipo y materiales para suplir agua potable, incluidos equipos de construcción pesada y plantas portátiles que podrán disponerse para la reparación y rehabilitación, lo que disminuiría el tiempo de rehabilitación.

2.2. Normativa legal vigente

En esta etapa deberá identificarse la legislación general para la atención de emergencias y desastres del país y la específica referente a aspectos vulcanológicos, 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 normas aplicables a las áreas de impacto de materiales vulcanológicos que indiquen las características del riesgo probable. Debe investigarse si están actualizados; si estuvieran obsoletos se deberán tomar medidas al respecto.

3. Segundo Paso: Descripción de la Zona, del Sistema y de su funcionamiento

En este paso se seguirá lo indicado en la metodología general del capítulo 2.

4. Tercer Paso: Estimación de la Vulnerabilidad Operativa (Primera Matriz de Vulnerabilidad)

En este paso se seguirá lo indicado en la metodología general del capítulo 2.

5. Cuarto Paso: Estimación de la Vulnerabilidad Física e Impacto en el servicio (Segunda Matriz de Vulnerabilidad)

5.1 Identificación de las amenazas

En la primera columna de la matriz se indicará el tipo de erupción que se espera. En la segunda columna se hará una breve descripción de la amenaza, a manera de resumen de la información vertida en la quinta columna. Específicamente se indicarán las áreas y cursos de agua afectados por los diferentes tipos de erupciones, períodos de erupción y magnitud e intensidad esperadas.

5.2 Características de la amenaza vulcanológica

a. Breve descripción general

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 erupción de 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 erupció ceniza sobre la ciudad de San José durante dos años.

b. Evaluación de la amenaza y mapas de riesgos

La evaluación de la amenaza consiste en elaborar el mapa de riesgo en donde se indican las áreas de posible impacto de corrientes de lava, lluvia ácida y de ceniza; los cursos de agua afectados; y las posibles zonas de inundación y avalancha.

5.3 Prioridad relativa

En la tercera columna de la matriz se indicará la prioridad relativa de la amenaza con respecto al listado total de amenazas posibles de la región. La prioridad asignada en este momento será tentativa y se corregirá, si fuere necesario, al completar el análisis de vulnerabilidad para todas las amenazas.

5.4 Sistema de Información y alerta

En la primera subcolumna de esta cuarta columna de la matriz se indicarán los sistemas de información y comunicación de los institutos nacionales especializados del país, sismológicos, vulcanológicos, Defensa Civil, etc. con la empresa de agua

potable, tanto para situaciones de alerta en sus diferentes etapas como para situaciones de impacto en las regiones del país.

Si bien los medios de comunicación usualmente mantienen bien informada a la población, es necesario que las empresas de agua obtengan información de primera mano con los detalles del pronóstico del evento, para activar el plan de emergencia propio con suficiente antelación, lo que facilitará la movilización, el análisis de daños y la atención rápida, oportuna y eficaz.

En la segunda subcolumna de esta columna de la matriz se indicarán los sistemas de información y comunicación internos de la empresa incluidos los establecidos hacia sus regiones. En la tercera subcolumna se indicarán los sistemas de información que se activarán después del evento.

La evaluación de estos sistemas es básica para verificar que la información sea oportuna y veraz.

5.5 Arca de impacto

En la quinta columna de la matriz se describirán las áreas de impacto directo, información que se obtendrá del análisis histórico de ocurrencia de eventos. Las áreas de impacto son las que serán cubiertas con lava o las afectadas por lluvias ácidas y cenizas, así como los cursos de agua afectados por los mismos materiales.

La información anterior se debe verter sobre un mapa de la región afectada o mapa de riesgos. La superposición de los planos del sistema de agua potable a la misma escala del mapa de riesgos indicará las estructuras o componentes de los sistemas de mayor riesgo, los que deberán ser motivo de análisis prioritario.

5.6 Componentes o elementos expuestos

En la primera subcolumna de esta sexta columna de la matriz se indicarán las estructuras o componentes del sistema ordenados en el sentido del flujo del agua:

captaciones (presas de derivación, galerías, manantiales, pozos, etc.) y sus estructuras, aducciones, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo, tanques de almacenamiento, redes principales de conducción o matrices y redes de distribución. Se anotarán las que presenten un mayor riesgo en función de su ubicación respecto a áreas de mayor riesgo e impacto.

En la segunda subcolumna de esta sexta columna se indicará el estado de cada componente o estructura, a manera de resumen de la información recabada en el segundo paso.

5.7 Características del impacto (séptima columna)

a. Efectos generales

Los efectos de las erupciones volcánicas generalmente están asociados a:

- Torrentes de lava que destruyen las fuentes de agua potable que se encuentran en las laderas o al pie de los volcanes.
- Emanaciones de gases, cenizas, lluvia ácida y torrentes de lava que inutilizan las fuentes de abastecimiento de agua potable.
- Aludes y avalanchas de lodo causadas por el efecto de las lluvias sobre las cenizas acumuladas en las cuencas y en los ríos. El caso de Armero en Colombia es un ejemplo de este efecto.
- Afectación total de los servicios de agua cuando las captaciones y estructuras se encuentran en las cuencas impactadas por las erupciones.

c. Resultados del análisis de vulnerabilidad

Como resultado del análisis de vulnerabilidad se determinarán los daños probables sobre las estructuras expuestas del sistema de agua potable y de otros servicios como energía, comunicaciones y caminos.

Los resultados del análisis se verterán en las tres subcolumnas de la séptima columna de la matriz: en la primera se describirán los daños estimados en el

componente (tipo y número); en la segunda el TR estimado para rehabilitación total de cada componente, y al final de la columna se calculará el TR para todo el sistema o subsistema de abastecimiento de agua; en la tercera, la capacidad remanente del componente expresada en unidades de flujo, litros por segundo, por ejemplo, y como porcentaje de la capacidad total del componente.

En general la estimación del TR en este caso debe considerar la duración del evento, que en algunos casos ha sido meses y años, como el caso del volcán Irazú de Costa Rica que erupció ceniza durante dos años e inutilizó las captaciones de agua de la ciudad de San José; el tiempo necesario para acceder las estructuras, el tiempo de movilización; el tiempo de rehabilitación parcial y total; y el tiempo de puesta en marcha que conlleva períodos de limpieza y desinfección indispensables de implementar en este caso.

5.8 Impacto en el servicio de agua potable o alcantarillado

En la octava columna de la matriz se indicará el impacto en el servicio de cada componente dañado, cuantificado en número de personas o conexiones del sistema afectadas, y se indicarán las conexiones prioritarias de cada zona o subzona de abastecimiento.

6. Quinto Paso: Estimación de la Vulnerabilidad Administrativa de la Empresa y Capacidad de Respuesta (Tercera Matriz de Vulnerabilidad)

Esta matriz deberá llenarse de acuerdo con lo indicado en el capítulo 2, metodología general.

7. Sexto Paso: Medidas de Mitigación y de Emergencia (Cuarta Matriz de Vulnerabilidad)

Esta matriz se llenará de acuerdo con lo indicado en el capítulo 2, metodología general.

Capítulo 7. Guía para La Aplicación del Análisis de Vulnerabilidad a Accidentes que afectan el Servicio

1. Introducción

Este capítulo presenta una guía de la metodología del análisis de vulnerabilidad descrita en el capítulo 2 aplicada al caso de accidentes operacionales. Se indican los aspectos claves en los que debe concentrarse el análisis y las referencias donde se encuentra la información necesaria para efectuar el análisis.

Si bien el resultado de los impactos de las emergencias operacionales no tiene el contexto de los grandes desastres causados por las amenazas naturales, requieren planes operativos detallados y precisos para hacerles frente y la implementación de medidas de mitigación para disminuir su vulnerabilidad. El caso de roturas de tuberías de conducción de agua de gran diámetro, y los riesgos de contaminación, por ejemplo, son riesgos que afectan el servicio y que por consiguiente requieren de una medidas de mitigación y de emergencia.

En realidad, los eventos descritos pueden ser de mayor consecuencia que el impacto de un fenómeno natural, de ahí la decisión de considerar las emergencias operacionales como parte del contenido de estas guías.

Se entenderá por accidentes que afectan el servicio aquellas situaciones de emergencia causadas por interrupciones en el servicio de agua potable debido a la propia operación de los sistemas y no por el impacto de fenómenos naturales como sismos, huracanes y otros.

" evaluación del riesgo de contaminación deberá efectuarse para toda captación de agua y zona de distribución. La evaluación de riesgo de roturas se aplicará a las conducciones o matrices principales del sistema. La experiencia histórica y estadísticas es de gran utilidad en la identificación de estas situaciones.

Es usual que el análisis de vulnerabilidad de un sistema de agua potable se inicie con la evaluación de estos riesgos, tanto para determinar medidas de mitigación

como procedimientos de emergencia para realizar las rehabilitaciones y proveer el servicio, aún con los requerimientos mínimos.

2. Primer Paso del Análisis: Identificación de La Organización y Legislación Vigentes

2.1 Organización institucional

Debe identificarse la organización institucional y los recursos disponibles para atender este tipo de emergencias, así como las normas y procedimientos de funcionamiento: organización, jerarquías, sistemas de información y comunicaciones, apoyo de otras instituciones gubernamentales y regionales a las empresas de suministro de agua potable y recursos disponibles que pudieran ser utilizados para el abastecimiento de agua potable en situaciones de emergencia y de desastre.

Es usual que estas organizaciones cuenten con recursos de personal, equipo y materiales para suplir agua potable, incluidos equipos de construcción pesada y plantas portátiles que podrían disponerse para la reparación y rehabilitación.

2.2 Normativa legal vigente

En esta etapa deberá identificarse la legislación general para la atención de este tipo de emergencias y desastres del país y la específica referente a aspectos operacionales, tales como:

- i) Legislación y reglamentación referente a la atención de estas emergencias, incluidos los seguros.
- ii) Legislación respecto a la responsabilidad civil y penal en el manejo de la operación y emergencias operacionales.

3. Segundo Paso: Descripción de la zona, del Sistema y de su Funcionamiento

En este paso se seguirá lo indicado en la metodología general del capítulo 2.

4. Tercer Paso: Estimación de la Vulnerabilidad Opertiva (Primera Matriz de Vulnerabilidad)

En este paso se seguirá lo indicado en la metodología general del capítulo 2.

5. Cuarto Paso: Estimación de la Vulnerabilidad Física e Impacto en el Servicio (Segunda Matriz de Vulnerabilidad)

En este paso se seguirá lo indicado en la metodología general del capítulo 2.

5.1 Identificación de las amenazas

En la primera columna se indicará el tipo de accidente que se puede presentar (contaminación de fuentes o redes de distribución, roturas de matrices principales, etc.).

En la segunda columna de la matriz se describirá brevemente la amenaza, a manera de resumen de la información vertida en la quinta columna.

Específicamente se indicará el tipo de emergencia y la descripción de la misma.

5.2 Características de la amenaza

a. Breve descripción general

Se describirán las emergencias posibles causadas por contaminación de fuentes y roturas en las redes de distribución o ingreso de aguas contaminadas en zonas de baja presión o de servicio intermitente. Igualmente deberán evaluarse otras emergencias de tipo operacional, tales como períodos de sequía, huelgas generales y de la empresa de agua, etc.

b. Evaluación de las amenazas

La contaminación deberá caracterizarse mediante los materiales contaminantes, las captaciones y redes expuestas, los mecanismos de detección oportuna, las áreas de población expuestas al riesgo y los sistemas de información a la población.

En el caso de roturas de tuberías, la evaluación debe dar respuesta a las preguntas: ¿qué pasa si la conducción se rompe en este sitio?, ¿cuales son los impactos del derrame de agua en el área cercana?, ¿qué población queda con el servicio interrumpido?

5.3 **Prioridad relativa**

En la tercera columna de la matriz se indicará la prioridad relativa de la amenaza con respecto al listado total de amenazas posibles de la región. La prioridad asignada en este momento será tentativa y se corregirá, si fuere necesario, al completar el análisis de vulnerabilidad para todas las amenazas.

5.4 Sistema de **información y alerta**

En la primera subcolumna de esta cuarta columna de la matriz se indicarán los sistemas de información y comunicación disponibles a nivel nacional para estas emergencias, tanto para situaciones de alerta como para situaciones de ocurrencia de emergencias en las diferentes regiones del país.

En la segunda subcolumna de esta columna de la matriz se indicarán los sistemas de información y comunicación internos de la empresa, incluidos los establecidos hacia sus regiones. En la tercera subcolumna se indicarán los sistemas de información que se activarán después del evento.

La evaluación de estos sistemas es básica para **verificar** que la información sea oportuna y veraz.

5.5 **Area de impacto**

En la quinta columna de la matriz se describirá el área de impacto directo, de contaminación, de rotura de tuberías u otros a analizar.

5.6 Componentes o elementos expuestos

En la primera subcolumna de esta sexta columna de la sexta matriz se indicarán las estructuras o componentes del sistema ordenados en el sentido del flujo del agua: captaciones (presas de derivación, galerías, manantiales, pozos, etc.) y sus estructuras, aducciones, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo, tanques de almacenamiento, redes principales de conducción o matrices y redes de distribución. Se anotarán las que presenten mayor riesgo debido a su ubicación.

En la segunda subcolumna de esta sexta columna se indicará el estado de cada componente o estructura, a manera de resumen de la información recabada en el segundo paso.

5.7 Características del impacto (séptima columna)

a. Efectos generales

Los efectos de la contaminación son el deterioro de la calidad del agua y los riesgos de salud pública que conllevan.

Los efectos de las roturas de grandes tuberías en general son los daños causados al ambiente inmediato y a la propiedad privada, deterioro de la imagen de la empresa si la rehabilitación no es manejada adecuadamente, interrupción del servicio y posibilidades de contaminación.

b. Efectos sobre los componentes de los sistemas de agua potable

En el caso de contaminación no solo el agua propiamente dicha se contamina, sino las estructuras por las que transitó el agua contaminada, que deberán ser objeto de limpieza, descontaminación y posterior desinfección.

En el caso de las tuberías, los daños corresponden a roturas que deben ser reparadas, para lo que se requiere mano de obra, equipos, materiales, tuberías y piezas de reparación que la empresa debe tener en existencia.

En ambos casos los procedimientos de monitoreo y atención deben establecerse con claridad y precisión.

e. Resultados del análisis de vulnerabilidad

Los resultados del análisis se verterán en las tres subcolumnas de la séptima columna de la matriz: en la primera se describirán los daños estimados en el componente (tipo y número), contaminación rotura u otros; en la segunda se indicará el TR estimado para la rehabilitación total de cada componente, y al final de la columna se calculará el TR para todo el sistema o subsistema de abastecimiento de agua; en la tercera, la capacidad remanente del componente expresada en unidades de flujo, litros por segundo, por ejemplo, y como porcentaje de la capacidad total del componente.

5.8 Impacto en el servicio de agua potable o alcantarillado

En la octava columna de la matriz se indicará el impacto en el servicio de cada componente dañado, cuantificado en número de personas o conexiones del sistema afectadas, y se indicarán las conexiones prioritarias de cada zona o subzona de abastecimiento.

6. Quinto paso: Estimación de la vulnerabilidad administrativa de la empresa y capacidad de respuesta (tercera matriz de vulnerabilidad)

Esta matriz deberá llenarse de acuerdo con lo indicado en el capítulo 2, metodología general.

7. Sexto Paso: Medidas de Mitigación y de Emergencia (Cuarta Matriz de Vulnerabilidad)

Esta matriz se llenará de acuerdo con lo indicado en el capítulo 2, metodología general.

Referencias

- 1.. Organización Panamericana de la Salud. 1990. Informe del Seminario-Taller: Análisis de Vulnerabilidad del Abastecimiento de Agua Potable de la Ciudad de Lima. Lima; 1990.
2. Roviralta, Guillermo. Manual sobre preparación de los servicios de agua potable y alcantarillado para afrontar situaciones de emergencia. Washington, DC: Organización Panamericana de la Salud; 1990.
 - a. Primera parte: Desastres y sus efectos
 - b. Segunda parte: Identificación de posibles desastres y áreas de riesgo
 - c. Tercera parte: Análisis de vulnerabilidad, sismos y otros desastres
 - d. Cuarta parte: Plan de emergencia para un sistema de agua potable.
3. Organización Panamericana de la Salud. Planificación para atender situaciones de emergencia en sistemas de agua potable y alcantarillado. Washington, DC: OPS; 1993. Cuaderno Técnico, 37.
4. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Módulos del Programa de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales en Situaciones de Emergencia. Lima: CEPIS, OPS/OMS; 1982.
5. Rojas, et al. Estudio de amenaza sísmica para el nuevo hospital de Alajuela. San **José**: CCSS; 1994.
6. Organización Panamericana de la Salud. Hacia un mundo más seguro frente a los desastres naturales; la trayectoria de América Latina y el Caribe. Washington, DC: OPS; 1994.

7. Organización Panamericana de la Salud. Mitigación de desastres en las instalaciones de la salud; evaluación y reducción de la vulnerabilidad física y estructural. Washintgton, DC: OPS 1993.

- a. Volumen 1: Aspectos generales
- b. Volumen 2: Aspectos administrativos de salud
- c. Volumen 3: Aspectos de arquitectura
- d. Volumen 4: Aspectos de ingeniería.

8. Organización Panamericana de la Salud. Programa de Preparativos y Ayuda para la Preparación, Reportes de Desastres.

9. Fundación Alemana para el Desarrollo Internacional. Mesa Redonda sobre Mitigación de Desastres y Políticas de Prevención para el Desarrollo Sostenible. Berlín; 1994.

10. DIRND, Revista STOP.

11. East Bay Municipal Utility District. Emergency operations plan. 1974.

12. Makrey, A.; Romero, G. Urbanización y vulnerabilidad sísmica en Lima metropolitana. Lima: Centro de Estudios y Prevención de Desastres; 1986.

13. Federal Emergency Management Agency. A guide to hurricane preparedness planning for state and local **officials**. 1984.

14. Organización Panamericana de la Salud. PAHO disaster response team guidelines for health needs assessment in the Caribbean. 1995.

15. Latin American Partnership to Enhance Cooperation in Earthquake Hazard Reduction. Rehabilitation and reconstruction following earthquakes; a guide for local officials. 1992

16. UNA. Tipos y distribución de algunos peligros naturales en Costa Rica. San José: UNA; 1988.
 17. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados; Tahal Consulting Enginners, Ltd. Vulnerabilidad del Acueducto Metropolitano de San José. San José: AyA; 1989.
 18. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Taller de Evaluación de la Emergencia causada por el Huracán Juana. San José: AyA; 1988.
 19. O' Rourke, M.J. Observations on water system and pipeline performance in the Limon area of Costa Rica due to the April 22, 1991 earthquake. Buffalo: National Center for Earthquake Enginering Research, State University of New York at Buffalo; 1992.
 20. O' Rourke, M.J.; Wang, L.R.L. Seismic vulnerability, behavior and design of underground piping systems. New York: Rensselaer Polytechnical University.
 21. Naciones Unidas. Serie Prevención y Mitigación de Desastres. Compendio de los Conocimientos Actuales. Ginebra, ONU, 1978. 10 volúmenes.
 22. UNDRRO. Análisis de vulnerabilidad combinada, metodología y estudio de la zona metropolitana de Manila. 1977.
-

Anexo

A.1.1 Primera matriz de vulnerabilidad (estimación de la vulnerabilidad operativa)

Matriz

Vulnerabilidad operativa, agua potable

(I)Componente	(2)Capacidad Componente	(2B)Requerimiento Actual	(2C)Déficit (-) Superávit (+)	(3)Continuidad	(4)Calidad del Agua

Matriz 1

Vulnerabilidad operativa, alcantarillado sanitario

(1) Componente	(2) Cobertura (%)	(3) Capacidad (l/s)	(4) Calidad del Efluente

A.1.2 Segunda matriz de vulnerabilidad (estimación de la vulnerabilidad física e impacto en el servicio)

Matriz 2

Vulnerabilidad física e impacto en el servicio

(I)	(2)	(3)	(4A)	(4B)	(4C)	(5)	(6A)	(6B)	(7A)	(7B)	(7C)	(8)
Tipod e Amenaza	Caract e rística s de la Amenaza	Prioridad Relativa de la Amenaza	Sistemas de Informa ción y Alerta (Instituciones a	Sistemas de Informa ción y Alerta (Dentro de la	Sistemas de Informa ción después del event	Area s de Impa cto	Comp onentes expue tos Riesgos Relati vos	Esta do del Compo nente	Daños esti mados (tipo y #)	TR 100 (día s)	Capa cidad remanente Inmediata 1/s %	Impa cto en el servic io (conexio nes)

			la Empresa	Empr o)								
							Agua Potable					
							TR DEL SISTEMA					
							Alcantarillado sanitario					
							TR del Sistema					

A.1.3 Tercera matriz de vulnerabilidad (estimación de la vulnerabilidad administrativa de la empresa y capacidad de respuesta)

Matriz 3

Vulnerabilidad administrativa de la empresa y capacidad de respuesta)

(1)	(2)	(3)	(4)
Organización Institucional	Operación y Mantenimeinto	Apoyo Administrativo	Capacidad de Respuesta

A.-Planes de emergencia	A.- Programas de Operación	A. Disponibilidad y manejo de dinero	A.- Organización Institucional
B.- Comité de Emergencias	B.- Programas de Mantenimiento Preventivo		B.- Operación y Mantenimiento
C.- Comisión de Formulación de los Planes de Mitigación y Emergencia	C.-Mantenimiento correctivo		C.-Apoyo Administrativo
E.-Coordinación Internacional	E.-Personal Capacitado		
F.-Sistema de Información y Alerta	F.-Materiales y Accesorios	c.-Contratación de Empresa Privada en el Mercado	D.-Institucional
	G.-Disponibilidad de Equipo y Maquinaria		

A.1.4 Cuarta matriz de vulnerabilidad (medidas de mitigación y de emergencia)

Matriz 4

Medidas de mitigación y emergencia

VULNERABILIDAD OPERATIVA (1)

Componente	Mitigación (1A)		Emergencia (1B)	
		Costo US\$		Costo US\$
Agua Potable				
Alcantarillado				

Sanitario				
Sub Total (1)				

Matriz 4

Medidas de mitigación y emergencia

Vulnerabilidad Administrativa (3)

Area	Mitigación (3A)		Emergencia (3B)	
		Costo US\$		Costo US\$
Organización Institucional				
Operación y Mantenimiento				
Apoyo Admnsitrativo				
Sub Total (3)				
Total				

Matriz 4

Medidas de mitigación y emergencia

Vulnerabilidad Física (2)

Mitigación (2A) Emergencia (2B)

Componente	Prioridad de Atención		Costo US\$		Costo US\$
Agua potable					
Alcantarillado Sanitario					
Sub Total (2)					

Actualizado el 28/Dic/98

Tomado de:

<http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/publica/guiaelab/guiaelab.html>