

## Capítulo 4

### Análisis de vulnerabilidad

#### Introducción

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

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

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

#### Identificación de la organización y la legislación vigentes

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

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

- i) Legislación y reglamentación referente a la atención de las diferentes fases de las emergencias y desastres: defensa civil, comisiones de emergencia, organización nacional, regional y local, etc.
- ii) Legislación respecto a la responsabilidad civil y penal en el manejo de emergencias y desastres, a nivel de empresa y de funcionario.

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

### Descripción de la zona, del sistema y su funcionamiento

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

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

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

## Metodología

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

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

**Matriz 1A - Aspectos operativos**

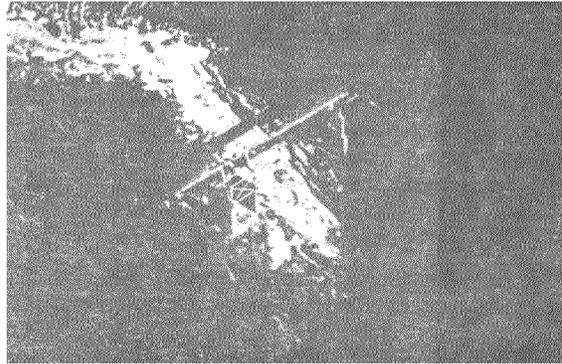
Nombre Sistema Agua Potable:				
COMPONENTE	CAPACIDAD COMPONENTE	REQUERIMIENTO ACTUAL	DÉFICIT (-) SUPERÁVIT (+)	SISTEMAS REMOTOS DE ALERTA
SISTEMAS DE INFORMACION Y ALERTA INTERINSTITUCIONAL <input type="checkbox"/> Defensa Civil <input type="checkbox"/> Instituto Meteorológico <input type="checkbox"/> Instituto Vulcanológico <input type="checkbox"/> Instituto Sismológico <input type="checkbox"/> Otro: <input type="checkbox"/> Otro:		SISTEMAS DE INFORMACION Y ALERTA EN LA EMPRESA <input type="checkbox"/> Radio UHF <input type="checkbox"/> Radio VHF <input type="checkbox"/> Teléfono <input type="checkbox"/> Otro: <input type="checkbox"/> Otro:		
		SISTEMAS DE INFORMACION A LOS USUARIOS <input type="checkbox"/> Radio <input type="checkbox"/> Televisión <input type="checkbox"/> Circulars <input type="checkbox"/> Otro:		

**Textos Completos**

## Matriz IB - Aspectos operativos

Nombre Sistema Alcantarillado			
COMPONENTE	COBERTURA %	CAPACIDAD	SISTEMAS REMOTOS DE ALERTA
SISTEMAS DE INFORMACION Y ALERTA INTERINSTITUCIONAL <input type="checkbox"/> Defensa Civil <input type="checkbox"/> Instituto Meteorológico <input type="checkbox"/> Instituto Vulcanológico <input type="checkbox"/> Instituto Sismológico <input type="checkbox"/> Otro: <input type="checkbox"/> Otro:		SISTEMAS DE INFORMACION Y ALERTA EN LA EMPRESA <input type="checkbox"/> Radio UHF <input type="checkbox"/> Radio VHF <input type="checkbox"/> Teléfono <input type="checkbox"/> Otro: <input type="checkbox"/> Otro:  SISTEMAS DE INFORMACION A LOS USUARIOS <input type="checkbox"/> Radio <input type="checkbox"/> Televisión <input type="checkbox"/> Circulares <input type="checkbox"/> Otro:	

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



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

En la parte inferior izquierda de esta Matriz se encuentra un detalle de diferentes posibilidades de sistemas de alerta e in-

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

### Matriz 1B – Aspectos operativos (alcantarillado sanitario)

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

### Matriz 2 – Aspectos administrativos y capacidad de respuesta

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

#### Organización Institucional

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

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

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

NOMBRE DEL SISTEMA: \_\_\_\_\_

SISTEMA DE:  AGUA POTABLE

ALCANTARILLADO

ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	APOYO ADMINISTRATIVO
<b>A. PLANES DE ATENCIÓN DE EMERGENCIAS</b> <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Última revisión: _____	<b>A. PROGRAMAS DE PLANIFICACION</b> <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	<b>A. DISPONIBILIDAD Y MANEJO DE DINERO</b> <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO MONTO: _____
<b>B. PLANES DE MITIGACION</b> <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	<b>B. PROGRAMAS DE OPERACION</b> <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	<b>B. APOYO LOGISTICO DE PERSONAL, ALMACENES Y TRANSPORTE</b> <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
<b>C. COORDINACION INTERINSTITUCIONAL</b> <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	<b>C. PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b> <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
<b>D. COMISION DE FORMULACION DE LOS PLANES DE MITIGACION</b> <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	<b>D. PERSONAL CAPACITADO</b> <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	<b>C. CONTRATACION DE EMPRESA PRIVADA EN EL MERCADO</b> <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Nombre: _____
<b>E. COMITE DE EMERGENCIAS</b> <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Miembros del comité: Nombre      Cargo	<b>E. DISPONIBILIDAD DE EQUIPO Y MAQUINARIA</b> <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Tipo de equipo y maquinaria: _____	

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

#### Operación y mantenimiento

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

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

#### Apoyo administrativo

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

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

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

#### Matriz 3 – Aspectos físicos e impacto en el sistema

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

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



Tabla 4.1  
Efectos de los desastres naturales (OPS, 1982)<sup>21</sup>

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

● posibilidad grave    ■ posibilidad menos grave    ○ posibilidad mínima

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

#### Componentes expuestos

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

#### Estado del componente

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

#### Daños estimados

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

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

<sup>21</sup> OPS/OMS, *Salud Ambiental con posterioridad a los desastres naturales*, Publicación Científica, 1982

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

#### Tiempo de rehabilitación (TR)

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

El tiempo de rehabilitación depende de:

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

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

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

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

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

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

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

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

Nombre del sistema:  Agua potable  Alcantarillado

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

**Textos Completos**

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

#### **Capacidad remanente**

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

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

#### **Impacto al servicio**

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

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

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

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

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



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

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

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

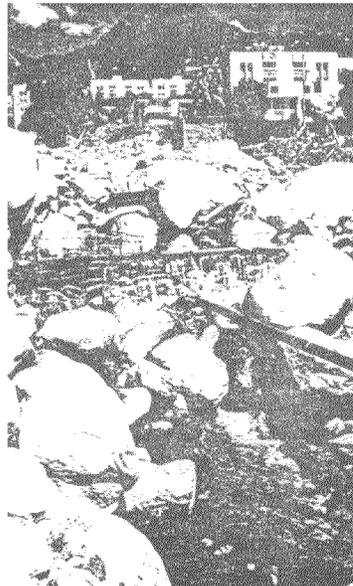
Algunas de las medidas de mitigación que pueden ser consideradas para reducir la vulnerabilidad por las condiciones desfavorables del estado actual de algunos de los componentes en los sistemas de agua potable y alcantarillado son:

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

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

#### *Deslizamientos Activos*

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



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

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

#### *Inundaciones*

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

#### *Vulcanismo*

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

#### *Sismos*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Anexo 2

### Ejemplo de aplicación en la ciudad de Limón, Costa Rica

#### Introducción

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

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

#### El estudio de caso, ciudad de Limón, Costa Rica

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

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

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

<sup>22</sup> OPI/OMS. Estudio de caso: Terremoto del 22 de abril de 1991. Limón, Costa Rica, 1996.

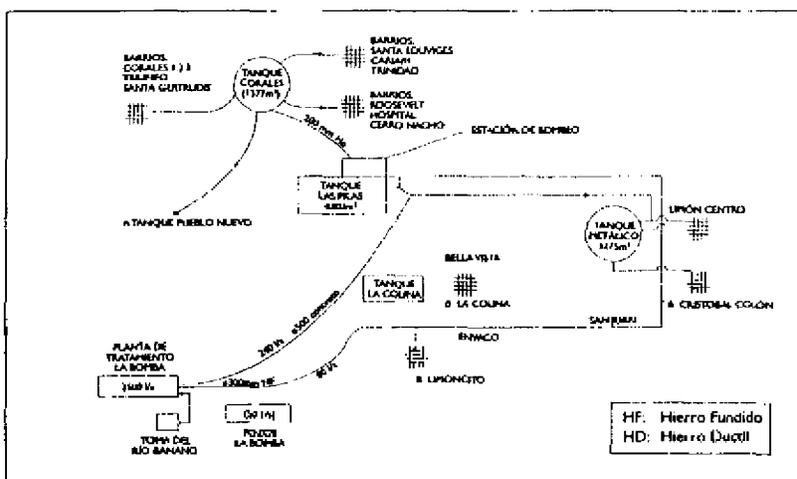
En 1991 el sistema de abastecimiento de agua de Limón, tenía tres fuentes de abastecimiento, con una capacidad máxima instalada de 500 l/s y promedio de producción de 391 l/s. El sistema de agua se podía dividir en los siguientes tres subsistemas: Río Banano (producía el 71% del agua que abastecía a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

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

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

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

Figura A.1.  
Conducción y distribución de las aguas del sistema del río Banano



### Amenaza sísmica en la ciudad de Limón

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

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

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

Figura A2  
Isoaceleraciones para período de retorno de 100 años



Fuente: Referencia (6)

**Matriz IA - Aspectos operativos**

Nombre Sistema Agua Potable: Subsistema río Banano (ciudad de Limón, Costa Rica)				
COMPONENTE	CAPACIDAD COMPONENTE	REQUERIMIENTO ACTUAL	DÉFICIT (-) SUPERAVIT (+)	SISTEMAS REMOTOS DE ALERTA
Cuenca	38000 l/s	252 l/s	3548 l/s	
Toma río Banano	350 l/s	252 l/s	98 l/s	
Línea de impulsión	350 l/s	252 l/s	98 l/s	
Planta de tratamiento	350 l/s	252 l/s	98 l/s	
Pozos río Banano	51 l/s	51 l/s	01 l/s	
Líneas de conducción 300mm	68 ls	83 ls	-15 ls	
Líneas de conducción 500 mm	240 l/s	218 l/s	22 l/s	
Tanque metálico	3275 m <sup>3</sup>	1334 m <sup>3</sup>	1941 m <sup>3</sup>	
Tanque la Colina <sup>(1)</sup>	150 m <sup>3</sup>	2147 m <sup>3</sup>	-1997 m <sup>3</sup>	
Estación de rebombeo	4200 m <sup>3</sup>	2374 m <sup>3</sup>	1826 m <sup>3</sup>	
Tanque de Corales	1377 m <sup>3</sup>	2927 m <sup>3</sup>	-650 m <sup>3</sup>	
Redes	374 l/s	453 l/s	-79 l/s	
SISTEMAS DE INFORMACION Y ALERTA INTERINSTITUCIONAL <input checked="" type="checkbox"/> Defensa Civil <input type="checkbox"/> Instituto Meteorológico <input type="checkbox"/> Instituto Vulcanológico <input type="checkbox"/> Instituto Sismológico <input checked="" type="checkbox"/> Otro: Cruz Roja <input checked="" type="checkbox"/> Otro: Bomberos <input checked="" type="checkbox"/> Otro: ICE <input checked="" type="checkbox"/> Otro: Poder Ejecutivo		SISTEMAS DE INFORMACION Y ALERTA EN LA EMPRESA <input checked="" type="checkbox"/> Radio UHF - Red 30 KHz <input type="checkbox"/> Radio VHF <input checked="" type="checkbox"/> Teléfono - no confiable en emergencias <input type="checkbox"/> Otro: <input type="checkbox"/> Otro:  SISTEMAS DE INFORMACION A LOS USUARIOS <input checked="" type="checkbox"/> Radio <input checked="" type="checkbox"/> Televisión <input type="checkbox"/> Circulares <input checked="" type="checkbox"/> Otro: Comunicados de prensa		

<sup>(1)</sup> Solamente abastece a un pequeño sector.







### Matriz 3 - Aspectos físicos y de impacto en el servicio

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

TIPO DE SISTEMA:  AGUA POTABLE  ALCANTARILLADO

TIPO DE AMENAZA: Sísmica PRIORITY:  1  2  3

ÁREA DE IMPACTO: Provincia de Limón, Costa Rica

COMPONENTES EXPUÉSTOS	ESTADO DEL COMPONENTE	DAÑOS ESTIMADOS	TR 100 (días)	CAPACIDAD REMANENTE INMEDIATA		IMPACTO EN EL SERVICIO (2) (conexiones)
				[ ]	%	
Cuenca	n/a	Aumento de turbiedad a 600 UNT	365	0	0	7148
Toma río Buzano	Vulnerable a averías	Vulcanamiento de paneles de control	4	0	0	7148
Línea de impulsión	Uniones rígidas	No se esperan	0	350 l/s	100	0
Planta de tratamiento	Buen estado	Fallas de pantallas	60	0	0	7148
Pozos la Bomba	Buen estado	Corte de suministro eléctrico	4	0	0	1140
Líneas de conducción 300mm.	Su antigüedad la hace crítica	54 fallas en uniones	19	0	0	2280
Líneas de conducción 500 mm.	Tuberías de material frágil	144 fallas en uniones	56	0	0	6008
Tanque metálico	Buen estado	No se esperan	0	3275m <sup>3</sup>	100	0
Tanque la Colina	Regular estado	Agrietamiento de paredes	6	0	0	3683
Estación de bombeo	Aceptable	Agrietamientos en la base	10	0	0	0
Tanque de Corales	Buen estado	No se esperan	0	3377m <sup>3</sup>	100	0

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

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



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

Agua potable  Alcantarillado

Nombre del sistema: Acueducto ciudad de Limón, Costa Rica

AREA	MITIGACION		EMERGENCIA	
		COSTO US\$		COSTO US\$
A) ORGANIZACION INSTITUCIONAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaboración del programa para la atención de emergencias y desastres de acuerdo con las guías de la OPS/OMS</li> <li>Institucionalización y organización del programa</li> <li>Elaboración de análisis de vulnerabilidad (Nivel 1)</li> <li>Elaboración del plan de mitigación</li> <li>Elaboración del plan de emergencias</li> <li>Capacitación y divulgación</li> <li>Denuro de este programa especialmente:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Elaboración de planes de emergencia, creación del Comité de Emergencias, de la Comisión Nacional de Emergencias, implementación del Centro Regional de Emergencia, formalizar convenios de coordinación interinstitucional</li> </ul> </li> </ul>	20.000,00	<ul style="list-style-type: none"> <li>Seguir las rutinas de emergencia consensadas</li> <li>Improvisar Centro de Emergencia en el plin-tel de operación y mantenimiento</li> <li>A través de los comités regionales de emergencia coordinar con otras instituciones y lograr las mejores comunicaciones Sede-Región e integración</li> </ul>	3.000,00 5.000,00
B) OPERACION Y MANTENIMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>Completar la red radial. (A.A. - Limón)</li> <li>Recopilar y documentar los programas de operación y mantenimiento</li> <li>Via el fabricante obtener información sobre reparación de tuberías TCCR</li> <li>Contar a nivel local con fondos de personal clave de la empresa y de otras instituciones</li> </ul>	25.000,00		
		27.450,00		
		100.840,00 (Global)		15.000,00 (Global)
			<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar diagnóstico de daño</li> <li>Solicitar a la sede, movilizar el personal de operación y mantenimiento con experiencia en el manejo de emergencia de las zonas no afectadas hacia el área de desastre</li> <li>Priorizar reparación de daños</li> </ul>	

<p><b>C) APOYO ADMINISTRATIVO</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detallar y especificar el listado de materiales y accesorios mencionados en la columna (28).</li> <li>• Detallar y especificar los equipos indicados en columna (28), además de 2 compresores, 1 microcavador, 1 sonda eléctrica, 2 brocas para instalar en tanques cisterna, equipo para limpieza y desobstrucción del alcantarillado sanitario, para usar a nivel local.</li> </ul>	<p>25 000, 00 (Dólares)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programar, dirigir y controlar los labores de rehabilitación</li> <li>• Proceder a la contratación de personal y maquinaria local</li> <li>• Solicitar a la sede el apoyo de equipo y materiales de otras áreas operativas (vehículos, radios, bombas de achique, rearmados, tuberías, accesorios de reparación conductores, etc.)</li> <li>• Establecer horario de razonamiento y registro de agua</li> <li>• Mantener listados de acciones efectuadas y registro de las intervenciones</li> <li>• Transferir de inmediato dinero a la zona afectada e incrementar los fondos de las cajas cúbicas de dicha zona, así como de las áreas de compras y transportes</li> <li>• Otorgar instrucciones para atender de inmediato los requerimientos de áreas afectadas (dinero, personal, materiales y equipos) durante las 24 horas del día, inclusive fines de semana</li> </ul>	<p>5 000,00 (Dólares)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer normas y reglamentos para asegurar la disponibilidad de recursos financieros para emergencias, con procedimientos ágiles para su uso</li> <li>• Establecer procedimientos que faciliten el traslado de personal de zonas no afectadas al área de desastre y sobre todo flexibilizar la contratación de personal de la zona</li> <li>• Establecer mecanismos para trasladar a las regiones regularmente, listados actualizados del stock de materiales y respuesta y del equipo y vehículos de la institución</li> <li>• Levantar, vía departamento de adquisiciones listado de empresas constructoras probadas con su disponibilidad de equipo.</li> </ul>			

## Textos Completos

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

<p>D) ASPECTOS OPERATIVOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arriastre de paneles de control</li> <li>• Instalación de un equipo a diesel (250 HP)</li> <li>• Establecer convenio AYS-ICE para atención prioritaria de suministro eléctrico</li> <li>• Construcción de un sistema de pretratamiento</li> <li>• Arriostar cilindros de oxígeno</li> <li>• Sustituir subestructura de madera y panela de AC de floteadores y sedimentadores por un material menos frágil (aluminio, fibra de vidrio, plástico, etc.)</li> <li>• Instalar en concreto AYS-ICE de atención prioritaria de suministro eléctrico</li> <li>• Instalación de dos equipos a diesel (100 y 30 HP)</li> </ul>	<p>100,00 75.000,00 300.000,00 100,00 200.000,00 40.000,00</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Enviar cuadrilla electromecánica para reparación</li> <li>- Instalar alternate provisional (alquilado)</li> <li>- Reparar subestructura de madera y sustituir panelas con materiales disponibles en la zona (madera, por ejemplo)</li> <li>- Ver medidas para toma río Barro Colorado indicada</li> </ul>	<p>3.600,00 20.000,00 3.600,00</p>
<p>TOTAL</p>		<p>198.290,00</p>		

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

Nombre del sistema: Acueducto de la ciudad de Limón, Costa Rica

Agua potable  Alcantarillado

COMPONENTE	PLAN DE MITIGACIÓN		PLAN DE EMERGENCIA	
		COSTO US\$		COSTO US\$
Cuenca Río Banoano	Realizar estudio de vulnerabilidad sísmica de segundo nivel	40.000	Plan de mantenimiento para 3 meses del Subsistema Molin (realizar conexiones y repaso de agua en cañales obstruidos)	161.900
	Estudio de fuentes alternativas	10.000	Perforar pozos adicionales en La Bomba	70.900
	Mejorar conductos de 2 pozos en La Bomba	5.000	Cortar y soldar a la plaza de tratamiento fuentes superficiales cercanas	130.000
	Arriastre de paneles de control	100	Enviar cuadrilla electromecánica para reparación	
Planta de tratamiento	Instalación de planta generadora	75.000	Instalar equipo electrogeno provisional (bomba)	360.000
	Construcción de sistema de pretratamiento	300.000	Reparar subestructura de madera y panelas de flocculadores	20.000
	Arristrar cilindros de cloro	100		
Pozos La Bomba	Substituir subestructura de madera y panelas de flocculadores y sedimentadores por material menos frágil	200.000		
	Realizar convenio con ICE sobre atención prioritaria	0		
	Instalación de 2 equipos generadores eléctricos (100 y 50 HP)	40.000		
Línea de conducción (300mm)	Substitución total de la línea	1.092.500	Ajustar tubería de 300mm y reparar las 54 juntas esparadas	90.000
	Realizar estudio de vulnerabilidad sísmica	40.000		
Línea de conducción (500mm)	Insalar juntas antisísmicas en 22 juntas	390.000	Ajustar tubería de 500mm y reparar las 144 juntas esparadas	360.000
	Identificar personal de soldadura y equipos de reparación en la zona	0		
<b>TOTAL</b>		<b>2.232.700</b>		<b>1.192.800</b>

## Anexo 3

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

#### Introducción

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

#### Evaluación de la amenaza sísmica

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

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

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

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

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

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

<sup>23</sup> OPS/OMS. Estudio de caso: Terremoto del 22 de abril de 1991. Limón, Costa Rica, 1996.

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

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

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

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

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

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

### Estimación de la vulnerabilidad

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

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

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

**Tabla A3.4**  
Índices básicos de daño (IBD) por sismos, en tuberías de hierro fundido (HIF)

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

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

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

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

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

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

### Cálculo del número esperado de fallas por kilómetro

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

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

El total de fallas esperadas es igual a:

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

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

## Definiciones

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Bibliografía

- Andrade, Adolfo; Seal, George. – Terremoto Marzo 1985. – ESWAL: una experiencia. 6to. Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 1985.
- AFTS. – Recommendations de la Association Française du Génie Parasismique. – Paris, 1990. – 183p.
- ATC-13. – Earthquake damage evaluation data for California. – Redwood City, 1985. – 483p.
- Benjamin, J.; Cornell, A. – Probability, statistics and decision for civil engineers. – New York: Mc Graw Hill, 1970. – 684p.
- Berz, G.A. – Natural disasters and the greenhouse effect: impact on the insurance industry and possible countermeasures. – En: The Geneva Papers on Risk and Insurance, vol.22, no.85, Oct. 1997. – p.501-514.
- Brazee, R.J. – Reevaluation of modified Mercalli intensity scale for earthquakes using distance as determinant. – En: Bulletin of the Seismological Society of America, vol.69, no.3, jun. 1979. – p.911-924.
- CEPIS/OPS/OMS. – Estudio de caso: terremoto del 22 de abril de 1991, Limón, Costa Rica. – OPS/CEPIS/OMS. Pub./96.23. – Lima, 1996. – 177p.
- Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico. Comisión de Huracanes. – Huracanes en Puerto Rico: guía de mitigación de daños: antes, durante y después del huracán. – Publishing Resources, Inc., Santurce, 1996. – 84p.
- COVENIN 1756. – Edificaciones antisísmicas. – Caracas: FONDONORMA, 1982. – 67p.
- COVENIN 2003. – Acciones del viento sobre las construcciones. – Caracas: FONDONORMA, 1989. – 48p.
- Cubic. – Structural design requirements: wind load. – En: Caribbean Uniform Building Code, Part 2, Section 2. – Georgetown, 1989. – 54p.
- Eidinger, J.; Ostrom, D.; Matsuda, E. – High voltage electric substation performance in earthquakes. – En: Proc.4th. US Conf. Lifelines Earthquake Engineering. – San Francisco, 1995. – p.336-346.
- EMF (Grunthal G. ed.). – European Seismological Commission: european macroseismic scale. – Luxembourg, 1993. – 79p.
- Grases, J., coord. – Diseño sismorresistente: especificaciones y criterios empleados en Venezuela. – Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, vol. 33, jul. 1997. – 662p.
- Hall, W. – Earthquake engineering research needs concerning gas and liquid fuel lifelines. – En: BSSC, 1987. – p.35-49.
- Keefer, D.K. – Landslides caused by earthquakes. – En: Bull.Geol.Soc. of America, vol.95, 1984. – p.406-421.

- Medvedev; Sponheuer; Karáik – New intensity scale – Praga, 1978
- Monge, J – Tsunami risk in the city of Arica, Chile – En: Proc. Xth. WCEE, Madrid, vol 1, 1992 – p.461-466.
- Organización de Estados Americanos (OEA). – Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado – Washington, D.C.: OEA, Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente, 1993.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS) – Caso estudio: vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y alcantarillado frente a deslizamientos, sismos y otras amenazas naturales – Caracas: OPS, oct. 1997. – 158p
- Organización Panamericana de la Salud (OPS) – Manual sobre preparación de los servicios de agua potable y alcantarillado para afrontar situaciones de emergencia: primera parte: desastres y sus efectos; segunda parte: identificación de posibles desastres y áreas de riesgo; tercera parte: análisis de vulnerabilidad, sismos y otros desastres; cuarta parte: plan de emergencia para sistemas de agua potable. – Washington: OPS, 1991
- Organización Panamericana de la Salud (OPS) -- Planificación para atender situaciones de emergencia en sistemas de agua potable y alcantarillado – Cuaderno Técnico No 37. – Washington: OPS, 1993. – 67p.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS) -- Vulnerabilidade dos sistemas de agua potavel e esgotos sanitários da Cidade Brasileira de Belo Horizonte, frente a inundações e a chuvas intensas – Washington, D.C.: OPS, 1997.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). – Vulnerability assessment of the drinking water supply infrastructure of Montserrat. – Barbados, jul. 1997. – 50p.
- O'Rourke, T.D; McCaffrey, M. – Buried pipeline response to permanent earthquake ground movements. – En: VIIIth. World Conference on Earthquake Engineering, Proc., vol. 7, 1984. – p 215-222.
- Pan American Health Organization (PAHO). – Disaster mitigation guidelines for hospitals and other health care facilities in the Caribbean. – Washington, D.C.: PAHO, Emergency Preparedness and Disaster Relief Coordination Program, January, 1992. – 68p.
- PDVSA. – Criterios para el análisis cuantitativo de riesgos. – En: Manual de ingeniería de riesgos, vol 1 – Caracas, mayo 1993. – 92p.
- Ramírez, B – Plan de emergencia para atender situaciones de desastre en el acueducto metropolitano de Caracas, ante averías ocurridas en el sistema de producción. – 1997 – Trabajo especial de grado, MSc Ingeniería Sanitaria, UCV (en preparación).
- Simpson, R.H. – The hurricane disaster potential scale. – En: Weatherwise, vol 27, 1974 – p.169-186.
- Zapata, L – Acción del viento sobre las construcciones. – En: El Ingeniero Civil, nov. 1995. – p 6-27.