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

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

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

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

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

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

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

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

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

Introducción

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

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

El estudio de caso, ciudad de Limón, Costa Rica

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

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

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

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

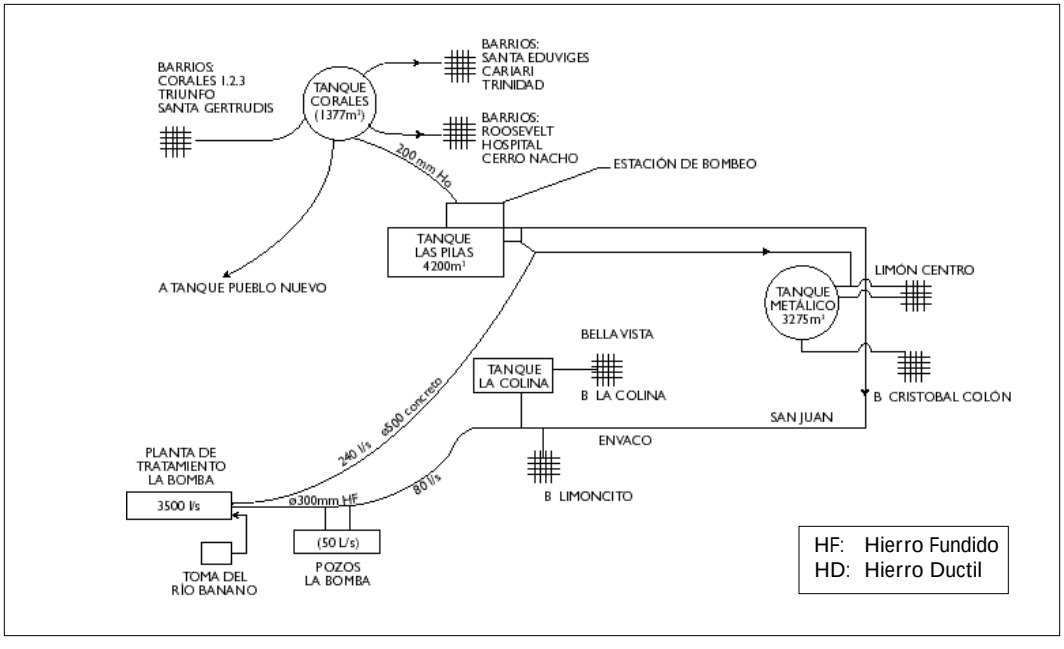
En 1991 el sistema de abastecimiento de agua de Limón, tenía tres fuentes de abastecimiento, con una capacidad máxima instalada de 500 l/s y promedio de producción de 391 l/s. El sistema de agua se podía dividir en los siguientes tres subsistemas: Río Banano (producía el 71% del agua que abastecía a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

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

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

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

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



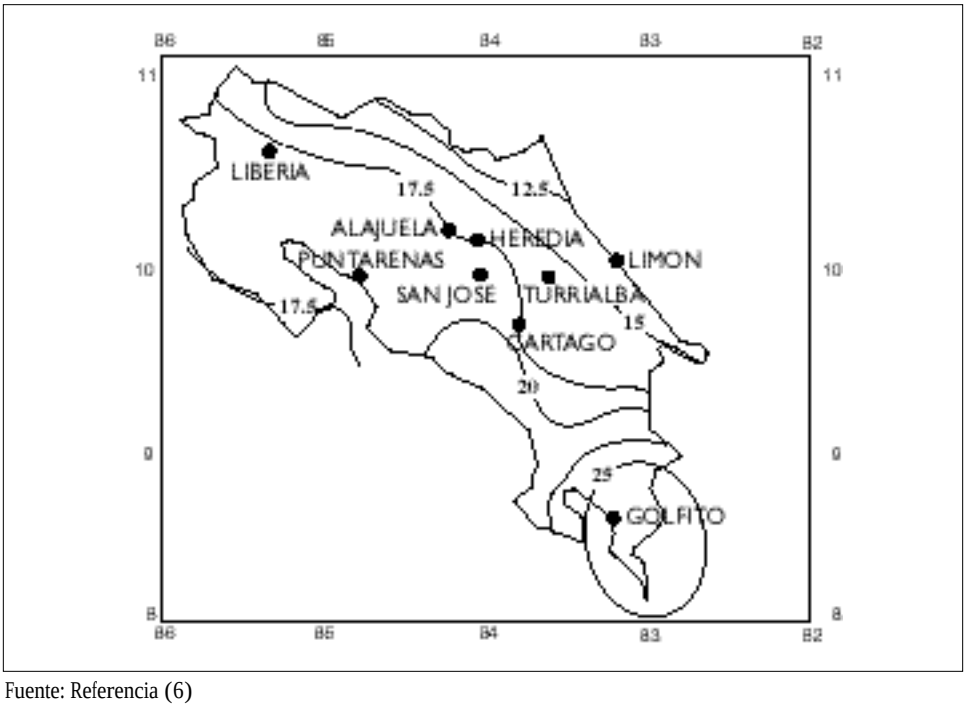
Amenaza sísmica en la ciudad de Limón

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

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

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

Figura A2
Isoaceleraciones para período de retorno de 100 años



Fuente: Referencia (6)

Matriz 1A - Aspectos operativos

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

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

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

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

(1) Solamente abastece a un pequeño sector.

Matriz 1B - Aspectos operativos

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

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

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

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

No existe tratamiento de aguas residuales

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

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

SISTEMA DE: ❑ AGUA POTABLE ☒ ALCANTARILLADO

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

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

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

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

SISTEMA DE: ☒ AGUA POTABLE ❑ ALCANTARILLADO

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

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

Matriz 3 - Aspectos físicos y de impacto en el servicio

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

TIPO DE SISTEMA: ☒ AGUA POTABLE ❑ ALCANTARILLADO

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

AREA DE IMPACTO: Provincia de Limón, Costa Rica

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

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

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

Matriz 3 - Aspectos físicos y de impacto en el servicio

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

TIPO DE SISTEMA: ❑ AGUA POTABLE ☒ ALCANTARILLADO

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

AREA DE IMPACTO: Provincia de Limón, Costa Rica

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Introducción

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

Evaluación de la amenaza sísmica

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

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

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

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

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

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

[23] CEPIS/OPS/OMS, 1996.

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

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

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

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

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

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

Estimación de la vulnerabilidad

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Cálculo del número esperado de fallas por kilómetro

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

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

El total de fallas esperadas es igual a:

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

Obsérvese que si esta tubería hubiese sido de acero dúctil (AD), el número de fallas por kilómetro se reduce a: $144 \times (0{,}25/2{,}60) = 14$; 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 cuencas y acuíferos.

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

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

Bibliografía

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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