

*Publicado originalmente en inglés por*

**American Water Works Association  
6666 West Quincy Ave.  
Denver, CO 80235**

# Índice

---

**Prefacio, vii**

**Agradecimientos, ix**

<b>Capítulo 1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
	Generalidades, 1	
	Definición de los sistemas de líneas vitales y razones para la mitigación sísmica, 1	
	Riesgo sísmico, 2	
	Objetivos del comportamiento de un sistema después de un sismo, 3	
	Objetivos prioritarios, 3	
	Posibles objetivos de las políticas de comportamiento en sistemas de agua y saneamiento, 5	
	Ejercicio que permitirá definir responsabilidades en caso se produzcan fallas en el sistema, 7	
<b>Capítulo 2</b>	<b>Sismicidad y amenazas sísmicas</b>	<b>10</b>
	Sismicidad, 10	
	Parámetros sísmicos, 11	
	Vibración del terreno, 14	
	Licuefacción, 14	
	Factores de la licuefacción, 15	
	Medidas para mitigar la licuefacción, 16	
	Asentamiento, densificación y agrietamiento, 17	
	Deslizamientos, 18	
	Mitigación de los deslizamientos, 18	
	Ruptura de falla, 19	
	Ubicación de las líneas vitales, 20	
	Información sobre amenazas sísmicas, 20	
<b>Capítulo 3</b>	<b>Vulnerabilidad sísmica de los sistemas de abastecimiento de agua</b>	<b>21</b>
	Fuentes, 21	
	Cuencas hidrográficas, 21	
	Represas y bocatomas, 23	
	Pozos, 25	

- Plantas de tratamiento y estaciones de bombeo, 27
  - Descripción, 27
  - Fallas geotécnicas y de cimentación, y alternativas de mitigación, 29
  - Tanques y estructuras de tratamiento, 30
  - Equipos y tuberías, 31
  - Equipo de oficina y laboratorio, 38
  - Energía eléctrica e instrumentación, 38
  - Edificaciones y estructuras, 42
  - Flexibilidad y redundancia en la operación, 44
- Tuberías, 44
  - Introducción, 44
  - Mecanismos de falla, 46
  - Consideraciones para el diseño de tuberías, 50
  - Diseño sismorresistente de tuberías y recomendaciones para la mitigación sísmica, 54
- Tanques de almacenamiento y reservorios, 55
  - Descripción, 55
  - Consecuencias de las fallas, 56
  - Respuesta sísmica del contenido de un tanque, 56
  - Historia de las normas de diseño de tanques de acero, 57
  - Mecanismos de falla y alternativas de mitigación, 58
  - Normas para el diseño de tanques nuevos, 64

<b>Capítulo 4</b>	<b>Evaluación de la vulnerabilidad del sistema</b>	<b>66</b>
	Introducción, 66	
	Evaluación por función, 66	
	Fuente, 66	
	Conducción, 67	
	Tratamiento, 67	
	Bombeo, 68	
	Almacenamiento, 68	
	Funciones requeridas para cumplir con los objetivos de comportamiento sísmico, 68	
	Uso de la información sobre amenazas, 69	
	Técnicas de evaluación a través de un sistema computarizado, 69	
	Prioridades de mitigación e implementación a través de una propuesta integrada, 70	
<b>Capítulo 5</b>	<b>Monitoreo y control del sistema</b>	<b>76</b>
	Razones para usar los sistemas de monitoreo y control, 76	
	Alternativas de monitoreo y control, 77	
	Control y monitoreo local versus central, 78	
	Válvulas de control, 79	
	Configuraciones del aislamiento, 79	
	Aislamiento del reservorio, 79	

- Aislamiento en los cruces de falla o río, 80
- Aislamiento de áreas vulnerables, 81
- Configuraciones del sistema, 81
- Inquietudes, 82
  - Impactos asociados con el servicio crítico, 82
  - Contaminación de la fuente de agua potable, 83
  - Reactivación inmediata del sistema, 83
  - Confiabilidad, 83
  - Costo, 84
- Recomendaciones, 84
  - Mejoramiento de la confiabilidad del control, 84
  - Use de fuentes o reservorios alternos, 84

**Capítulo 6**

**Planificación de emergencias 86**

- Esquema del plan, 86
  - Introducción, política y prioridades, 86
  - Autoridad y activación, 86
  - Organización del personal para tomar acción en casos de emergencias, 86
  - Funciones y responsabilidades, 87
  - Matriz de efecto-respuesta, 87
- Listas de verificación para la respuesta frente a emergencias y formularios de inspección, 87
  - Central de operaciones, 87
  - Comunicaciones, 87
  - Pasar lista al personal, 87
  - Seguridad, 87
  - Evaluación de daños, 88
  - Primeros auxilios, 88
  - Información pública, 88
  - Mantenimiento de registros, 88
  - Restauración de la operatividad, 88
- Emergencias específicas, 89
- Capacitación adicional, 89
- Actualización del plan, 90
- Documentos y suministros para la respuesta frente a emergencias, 90
  - Lista de contactos de emergencia, 90
  - Instalaciones, suministros, materiales y documentos para casos de emergencia, 91
  - Lista del personal, 91
  - Documentos importantes y lista de los encargados de los documentos, 91
  - Evaluaciones de la vulnerabilidad, 91
  - Planificación en el peor de los escenarios, 92
  - Escenarios del sistema hidráulico, 92
  - Mapas del sistema, 92

Planos de la instalación, 92  
Esquemas simplificados de la instalación e instrucciones  
de operación, 92

<b>Apéndice A</b>	<b>Sistema de agua de la Ciudad Sísmica – Ejemplo de una evaluación de la vulnerabilidad</b>	<b>93</b>
	Introducción, 93	
	Descripción del sistema de agua, 93	
	Condiciones geológicas, 94	
	Componentes del sistema, 96	
	Pozo 1, 96	
	Pozo 2 , 96	
	Planta de tratamiento de agua, 96	
	Red de tuberías, 96	
	Estación de bombeo 1, 96	
	Estación de bombeo 2, 97	
	Reservorio apoyado, 97	
	Cámara de presión 1, 97	
	Cámara de presión 2, 97	
	Tanque elevado, 97	
	Deficiencias del sistema y sus componentes, y alternativas de mitigación, 98	
	Fuente, 98	
	Red de tuberías, 100	
	Estaciones de bombeo a zonas de alta presión, 101	
	Almacenamiento – Zona de baja presión, 101	
	Almacenamiento – Zona de alta presión, 102	
<b>Bibliografía</b>		<b>104</b>
<b>Abreviaturas</b>		<b>106</b>

## **P**refacio

---

El 17 de enero de 1947 a las 4:31 a.m., un terremoto de 6,8 de magnitud remeció la comunidad de Northridge, California, en el valle de San Fernando en Los Angeles. En el área del epicentro se midieron aceleraciones máximas superiores a la aceleración de la gravedad. Hubo un enorme daño a los sistemas de agua tanto en el valle de San Fernando como en el valle de Santa Clarita al norte. El siguiente informe preliminar sobre los daños al sistema se basó en parte en el informe de reconocimiento preliminar de la *American Society of Civil Engineers Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering*, preparado por LeVal Luna, con añadiduras del autor.

El terremoto dañó tuberías de 54, 77, 85 y 120 pulgadas (1370, 1955, 2160, y 3050 mm.) de diámetro que distribuían agua desde el norte de California. La reparación de estas tuberías matrices tomó cerca de diez días. En los valles de San Fernando y Santa Clarita se produjeron más de 1500 averías en el servicio y en las tuberías del sistema de abastecimiento como resultado del terremoto. Las tuberías fueron dañadas por el movimiento tectónico y por el paso de ondas sísmicas. No se reportó licuefacción o flujo lateral significativos en el área. Después del terremoto, se emitió una orden de “hervir el agua” en la zona, que se derogó en Los Angeles el 29 de enero, pero se mantuvo en el valle de Santa Clarita hasta el 4 de febrero.

La tubería cilíndrica de concreto reforzado de 54 pulgadas (1370 mm) que suministraba agua tratada al Valle de Santa Clarita se rompió, en promedio, una vez cada 1,5 kilómetro. Las rupturas se produjeron principalmente en las uniones, algunas soldadas y otras de espiga y campana. La campana se rajó circunferencialmente en las uniones soldadas, mientras que las uniones de espiga y campana se separaron. La campana también se rajó circunferencialmente en la tubería de acero soldado que suministraba agua no tratada a la planta de tratamiento Jensen. Dicha tubería tenía un diámetro de de 85 pulgadas (2160 mm) y un espesor de 13/16 pulgadas (20 mm). Se produjo un aparente movimiento lateral de la tubería. Las otras averías ocurrieron en los acueductos de Los Angeles que suministraban agua a la planta de tratamiento de Los Angeles.

Dos tuberías matrices de acero soldado para la conducción de agua resultaron dañadas en el Boulevard de Balboa. Los televidentes vieron las imágenes espectaculares cuando las llamas de dos tuberías de gas natural a alta presión iluminaron la calle inundada por las líneas de conducción rotas. Un bloque de suelo de aproximadamente 1000 pies (300 m) de largo se desplazó longitudinalmente a través de Balboa, rompiendo las tuberías por tracción en un extremo, y por compresión en el otro.

Existen tres plantas de tratamiento de agua que se encuentran ubicadas en la zona afectada por el terremoto. Las plantas de tratamiento de Jensen y Los Angeles suministran diariamente más de 1 billón de galones de agua tratada a la región de Los Angeles. La

tercera planta está ubicada en el Valle de Santa Clarita y suministra agua a dicho valle. Las tres plantas de tratamiento sufrieron sólo daños menores. La planta de tratamiento Jensen, que estuvo en construcción durante el terremoto de San Fernando de 1971, resultó gravemente afectada por dicho sismo. A partir de entonces, se ha venido implementado un programa de mitigación sísmica en la planta. Las otras dos plantas se construyeron alrededor de 1980 e incorporaron muchos de los conceptos de diseño sismorresistente identificados en el evento de San Fernando.

Los daños menores en las plantas de tratamiento incluyeron:

- fugas en las juntas de construcción de concreto dañadas
- daño a los deflectores de los tanques de sedimentación y a los soportes de los deflectores debido al movimiento oscilatorio del agua
- daño a las líneas de vacío de cloro debido al asentamiento diferencial
- daño al cojinete de suspensión de vagones ferroviarios debido al intenso movimiento en la dirección de volteo del vagón.

El diseño sismorresistente y los elementos que fueron reforzados incluyeron:

- El diseño a prueba de averías en las líneas de vacío que dio como resultado que nada de cloro se liberara desde la tubería de cloro rota.
- La válvula sísmica que interrumpió el suministro de oxígeno al sistema de ozonización.
- Las uniones flexibles en las tuberías de la planta y los cruces en las juntas de construcción. Los desalineamientos en desplazamiento se pudieron notar en la estructura.
- El mejoramiento de suelo del área que se licuó en 1971, que tuvo un buen comportamiento.

No se reportó ningún daño en las instalaciones de bombas o de pozo. Estas instalaciones, que no contaban con una fuente de energía de emergencia, dejaron de operar hasta que se restauró la energía en toda la región.

Las instalaciones afectadas por el terremoto de Northridge son propiedad y operadas por empresas que estuvieron expuestas al terremoto de San Fernando de 1971. Muchos de los diseños empleados en estas instalaciones son los mejores en el mercado. Los sistemas de agua más típicos que se encuentran en otras partes de América del Norte podrían haber sido más gravemente afectados.

Este libro sirve de orientación a las empresas de agua para que identifiquen las deficiencias y refuercen sus instalaciones a fin de que sus diseños sismorresistentes sean iguales o mejores a aquellos utilizados por las empresas afectadas por el terremoto de Northridge.

## **A**gradecimientos

---

Este documento fue preparado por Donald B. Ballantyne bajo el patrocinio del Geological Survey de los EUA (USGS) para el proyecto titulado *Transfer of Hazards Information and Assessment Methods to Water Providers in the Pacific Northwest* (Transferencia de información sobre amenazas y métodos de evaluación para proveedores de agua en el Noroeste del Pacífico). Durante la preparación de este documento, el Sr. Ballantyne se encontraba trabajando con Kennedy/Jenks Consultants. Actualmente, trabaja para Dames & Moore en Seattle, Washington.

Los miembros del Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering (TCLEE) del Water and Sewage Committee de la American Society of Civil Engineers (ASCE), bajo el respaldo financiero del National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER), han contribuido con información técnica y con la revisión de este documento. Se agradece su contribución. Se reconoce particularmente los esfuerzos de Michael J. O' Rourke, del Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, N.Y., un miembro de la ASCE TCLEE, cuyos comentarios y revisión se centraron en la sección sobre tuberías.

La preparación de la versión original en inglés de este documento fue subvencionada por la US Geological Survey del Ministerio del Interior de Estados Unidos, y por el NCEER. Las opiniones y conclusiones contenidas en este documento pertenecen a los autores y no deben interpretarse necesariamente como que representan las políticas oficiales, explícitas o implícitas, del gobierno de los Estados Unidos.

La mayor parte del texto en este documento originalmente fue desarrollado por el autor en otras publicaciones, y por otros autores en proyectos de financiamiento público. Parte del texto sobre descripción de amenazas en el capítulo 2 y la sección sobre represas en el capítulo 3 se discutieron en la publicación de la Federal Emergency Management Agency, *A Model Methodology for Assessment of Seismic Vulnerability and Impact of Disruption of Water Supply Systems* (Una metodología modelo para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica y el impacto de la disrupción de los sistemas de abastecimiento de agua) (1993), y se modificaron para este documento.

Muchas de las fotografías incluidas en esta publicación fueron tomadas por el autor y otros miembros del TCLEE durante varios viajes de reconocimiento de sismos, incluyendo aquellos que se mencionan a continuación. Los gastos de dichos viajes fueron financiados por el NCEER, la ASCE y la National Science Foundation (NSF) a través del Earthquake Engineering Research Institute.

- Seattle, Wash., 1965, magnitud 6,5
- San Fernando, Calif., 1971, magnitud 6,5
- Coalinga, Calif., 1984, magnitud 6,7
- Whittier Narrows, Calif., 1987, magnitud 5,9

## Versión Preliminar

- Loma Prieta (San Francisco), Calif., 1989, magnitud 7,1
- Luzon (Dagupan, Baguio), Filipinas, 1990, magnitud 7,8
- Limón (Moin), Costa Rica, 1991, magnitud 7,5
- Erzincan, Turquía, 1992, magnitud 6,8
- Landers-Big Bear, Calif., 1992, magnitud 7,4
- Cape Mendocino, Calif., 1992, magnitud 7,1
- Scotts Mills, Ore., 1993, magnitud 5,6