

# **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
<b>Terremoto de Santa Rosa, Santa Rosa - California, Estados Unidos 01/10/1969</b>	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 09/02/1971</b>	6,6	<p>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.</p> <p>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.</p>
<b>Terremoto de Managua, Nicaragua 23/12/1972</b>	6 1/4	<p>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.</p> <p>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.</p>
<b>Terremoto de Guatemala 04/02/1976</b>	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 sismestral 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> <b>17/08/1976</b></p>	7,9	<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.</p> <p>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> <b>23/11/1977</b></p>	7,4	<p>El terremoto ocasionó daños de importancia variable, localizándose los mayores en los Departamentos de Cauçete, San Martín y 25 de Mayo.</p> <p>La red de distribución de la ciudad de Cauçete 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> <b>19/09/1985</b></p>	8,1	<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.</p> <p>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> <b>10/10/1986</b></p>	5,4	<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).</p> <p>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> <b>05/03/1987</b></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 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 represas inestables en el área.</p>
<p><b>Terremoto de Spitak y Leninakán, Armenia</b> <b>07/12/1988</b></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> <b>17/10/1989</b></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>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.</p> <p>La intensidad sísmica osciló entre VI y VIII.</p>
<p><b>Terremoto de Limón, Costa Rica</b> <b>22/04/1991</b></p>	7,4	<p>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.</p>
<p><b>Terremoto de Erzincan, Turquía</b> <b>13/03/1992</b></p>	6,8	<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</b> <b>17/01/1994</b></p>	6,7	<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 17/01/1995</b></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 09/07/1997</b></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>
--	------------	---