

Efectos sísmicos en tuberías subterráneas para agua potable en México

Raúl Flores Berrones

Dirección General de Captaciones y Conducciones de Agua SARH

Las redes de distribución de agua potable fueron gravemente afectadas por los sismos que azotaron a la República Mexicana en septiembre de 1985. En este artículo se indican las diversas causas que originaron las fallas de las tuberías subterráneas. Los ejemplos que se presentan provienen de observaciones llevadas a cabo tanto en la capital del país como en el puerto industrial de Lázaro Cárdenas, en el estado de Michoacán, localidades que resultaron muy dañadas. Se comentan también algunas medidas preventivas que habrá que tomar en consideración desde la etapa del diseño, y por último se recomiendan algunas soluciones de emergencia que posibiliten la reparación rápida de las instalaciones dañadas.

Uno de los principales efectos que produjeron los sismos del 19 y 20 de septiembre de 1985 en la ciudad de México fue la rotura de numerosas tuberías en las redes primarias y secundarias de agua potable; a consecuencia de ello, se suspendió el suministro de este líquido a cerca de 5 millones de habitantes, hubo problemas de contaminación del agua y fue necesario adoptar medidas de emergencia para resolver en breve plazo la regularización de este vital servicio.

La ciudad de México, sin embargo, no fue la única que experimentó esta clase de efectos durante los sismos. Otras ciudades cercanas al epicentro, entre ellas la de Lázaro Cárdenas, Michoacán, sufrieron también daños serios en las tuberías de agua potable y en el alcantarillado.

Existen varias áreas urbanas sísmicas en el país donde se puede rebasar la intensidad VII de la escala de Mercalli (zonas 1, 2 y 3) y, consecuentemente, ocurrir daños graves en las tuberías de conducción y en las redes de agua potable (véase ilustración 1). Por tanto, es importante estudiar el comportamiento de los diversos tipos de tuberías durante y después de la ocurrencia de un sismo, a fin de tomar medidas preventivas y de emergencia en los acueductos y sistemas de distribución en funcionamiento o que están por construirse en las zonas más riesgosas del país.

Fallas en las tuberías durante los sismos de septiembre

Las causas que originaron daños en las tuberías de conducción de agua durante los sismos mencionados fueron fundamentalmente:

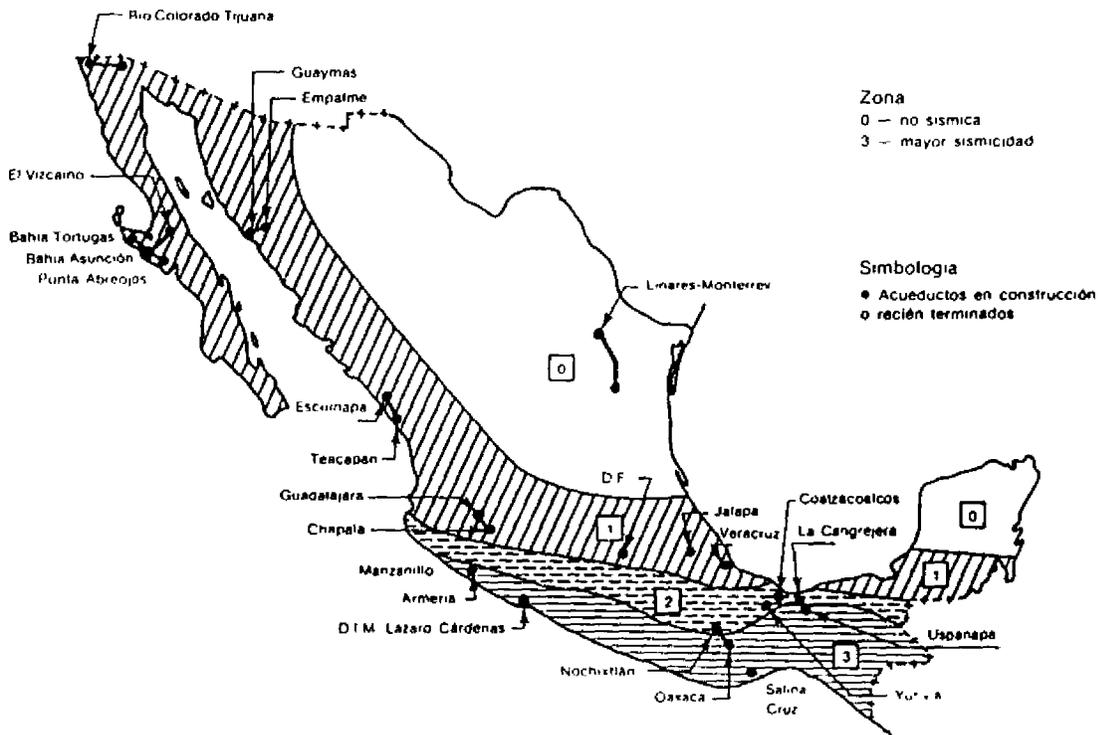
- Propagación de las ondas sísmicas a través del terreno donde se ubica la tubería.
- Cruzamiento de la línea por una falla del terreno que experimentó movimientos importantes durante el temblor.
- Licuación o densificación de materiales granulares en estado suelto y saturado.

Propagación de ondas

Uno de los principales daños en la red primaria para agua potable en la ciudad de México fue el rompimiento de la tubería de concreto tipo *lock joint* (véase ilustración 2), la cual predomina en la mayor parte de la capital, con diámetros que varían de 30 a 72 pulgadas; algunas zonas arcillosas clasificadas como blandas y muy blandas en las que se ha empleado este tipo de tubería sufrieron daños de importancia (véanse ilustraciones 3 y 4).

Una falla similar ocurrió en la tubería de concreto presforzado de 180 m de diámetro para agua potable en el puerto de Lázaro Cárdenas; el

1. Zonificación sísmica



problema fue provocado por el material de las tuberías o de sus juntas que, al ser sometidas a esfuerzos provocados por el movimiento del terreno durante la transmisión de las ondas sísmicas, se rompen. A medida que éstas se propagan a lo largo de la tubería, por el desplazamiento relativo entre ésta y el suelo, se desarrollan deformaciones axiales y curvaturas, el cálculo de los esfuerzos axiales inducidos se hace considerando el equilibrio entre las fuerzas de fricción suelo-tubería y las fuerzas axiales que producen la deformación en los tubos. Esta deformación se obtiene a partir del cálculo de la deformación máxima del terreno durante un sismo, que está dada por la expresión:

$$E_g = \frac{V_{m\acute{a}x}}{\alpha_1 C} \quad (1)$$

donde $V_{m\acute{a}x}$ = velocidad máxima del terreno.
 C = velocidad de propagación de las ondas sísmicas, dependiente del tipo de onda y clase de terreno. (Hall y Newmark, 1977)
 α_1 = coeficiente que depende del tipo de onda y del ángulo de incidencia (ASCE 1984).

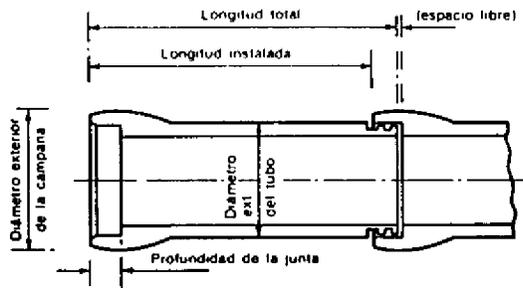
La tubería tiende a seguir estas deformaciones, en cuyo caso la máxima es igual a la señalada por la expresión (1); sin embargo, cuando el terreno es relativamente blando puede haber deslizamiento entre el suelo y la tubería, por lo que la máxima deformación está dada por la fórmula:

$$E_{m\acute{a}x} = \frac{T L}{4 E_1 A_p} \quad (2)$$

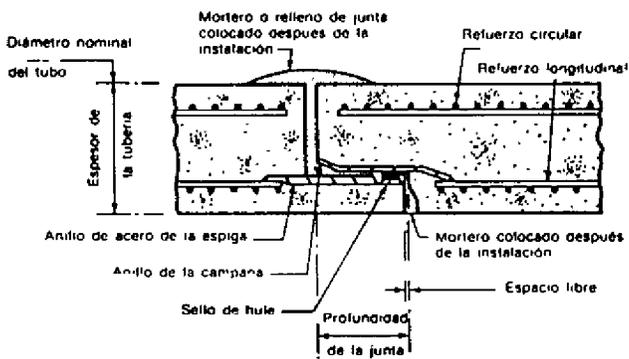
donde T = resistencia axial última por unidad de longitud del suelo que rodea a la tubería.
 L = longitud aparente de la onda sísmica predominante asociada con la velocidad máx. Esta longitud es igual a la velocidad C por el periodo T de esta onda ($L = CT$)
 E_1 = Módulo inicial de elasticidad de la tubería, y
 A_p = Área transversal de la pared de la tubería

De manera semejante, la curvatura máxima que puede ocurrir en la tubería se obtiene a partir de la expresión

2a. Dimensiones de un tubo



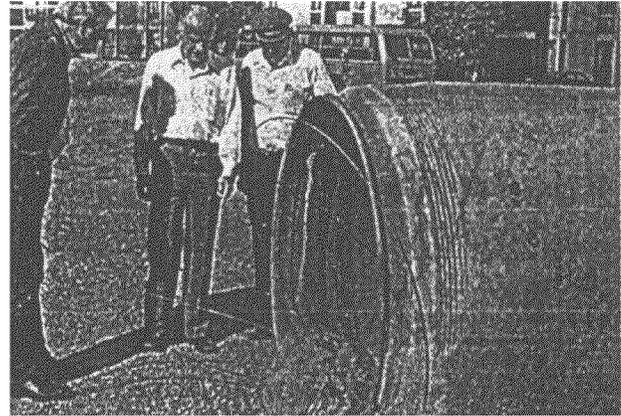
2b. Unión entre tubos de concreto (Lock joint)



$$K_{\text{máx}} = K_g = \frac{a}{(\alpha_2 C)^2} \quad (3)$$

donde

- a = máxima aceleración de terreno.
- K_g = curvatura sísmica máxima del terreno
- α_2 = coeficiente de curvatura que depende del ángulo de incidencia de la onda sísmica y del tipo de ésta.

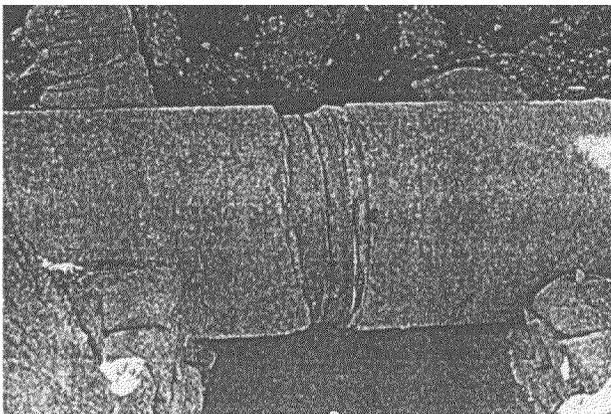


4 Tubería dañada

Cabe señalar que el tipo de frecuencia de las ondas que llegan a un cierto lugar depende en gran medida de la distancia entre éste y el epicentro. Así, para sitios cercanos, como fue el caso de Lázaro Cárdenas en los sismos de septiembre, las ondas predominantes fueron las de cuerpo (compresionales y de corte) con frecuencias altas, mientras que en lugares distantes, como la ciudad de México, las ondas superficiales fueron de mayor impacto (tipo Rayleigh y Love) y predominaron las frecuencias relativamente bajas con periodos altos (véanse ilustraciones 5 y 6).

Fallas del terreno

En la ciudad de México este tipo de fallas ocurrió en zonas cercanas a pozos de bombeo, como las aledañas al Acueducto Tláhuac (véase ilustración 7), donde se produjeron importantes daños en las tuberías. La ilustración 8 muestra una de estas fallas, que sin duda está ligada al proceso de consolidación provocado por el fuerte abatimiento de los acuíferos utilizados para el suministro



3 Tubería en zona blanda



5 Efecto sísmico en una tubería, Lázaro Cardenas, Mich