

**Ruptura de falla.** Las tuberías que atraviesan fallas se cortarán o serán expuestas a tracción o compresión cuando la falla se mueva. Las tuberías pueden experimentar el mismo tipo de movimiento del suelo que producen los otros tipos de deformación permanente del suelo. Por ejemplo, los movimientos abruptos del suelo pueden ocurrir en los márgenes de una zona de flujo lateral similar a la del desplazamiento horizontal de una falla. Las tuberías que están dentro de la categoría de vulnerabilidad baja serán las que mejor resistan el movimiento de una falla.

**Tuberías elevadas y cruces a través de puentes.** La tubería elevada, a menudo apoyada sobre pilotes, está expuesta a la carga sísmica lateral y longitudinal. El sistema de apoyo de tuberías debe estar diseñado para resistir las cargas sísmicas. Una alternativa de mitigación, dependiendo del sitio, es enterrar la tubería en una berma de tierra. De lo contrario, evalúe la estructura de soporte que se apoya en pilotes y refuércela según sea necesario.

Las tuberías apoyadas sobre puentes dependen de la estructura del puente misma, así como de la conexión de entrada y salida a la estructura del puente. Las tuberías deben estar adosadas a la estructura del puente para soportar las cargas sísmicas amplificadas por la estructura del puente. Además, la tubería debe ser diseñada para resistir el movimiento diferencial a lo largo de la estructura del puente causado por el sismo y por la dilatación y contracción térmicas. Por lo general, la flexibilidad longitudinal puede ser contenida usando una banda de expansión o una tubería de campana-espiga diseñada e instalada para permitir el desplazamiento longitudinal. Proporcione un par de uniones flexibles que permitan la rotación de las uniones junto con una unión que brinde desplazamiento longitudinal para permitir la desviación a cada lado del puente. Dos uniones esféricas en serie con una banda de expansión brindan esa flexibilidad.

Las tuberías que pasan a través de estribos de puentes están sujetas a roturas por corte cuando el relleno detrás del estribo del puente se consolida. Tome las medidas necesarias para desviar las tuberías en caso atraviesen estribos.

### Consideraciones para el diseño de tuberías

La vulnerabilidad sísmica de las tuberías se basa en las siguientes consideraciones:

#### **Resistencia y ductilidad.**

- Debido a su sismorresistencia, se prefiere la tubería dúctil de pared gruesa sobre la tubería frágil de pared delgada.
- Las tuberías de hierro dúctil, de acero y de polietileno son muy dúctiles y se deformarán considerablemente antes de romperse.
- El policloruro de vinilo (PVC) es moderadamente dúctil.
- La tubería cilíndrica de asbesto-cemento y de concreto es algo dúctil.
- La tubería de acero revestida o forrada con mortero tiene un cilindro de acero que es dúctil.
- La tubería de hierro dúctil a menudo tiene un revestimiento de mortero. Cuando la tubería ceda, el mortero se cuarteará y se astillará. Esto deteriorará el revestimiento anticorrosivo y hará que el acero se empiece a corroer. Los problemas de corrosión pueden representar un problema en el futuro.
- Los sistemas de revestimiento o recubrimiento de tubos deberán brindar una continua protección contra la corrosión.

#### **Tipo de uniones.**

- Los sistemas de tuberías dúctiles con uniones fijas segmentadas o soldadas resistirán el movimiento del terreno produciendo un daño mínimo.
- Las uniones segmentadas (es decir, de campana-espiga) con empaques de caucho permitirán el movimiento de las uniones, pero se separarán fácilmente.
- La tubería segmentada con uniones de plomo o mortero se vuelve rígida y no permitirá el movimiento de las uniones, lo cual incrementará la deformación de las tuberías y su posterior ruptura.
- El diseño moderno de la tubería de campana-espiga emplea empaques elastoméricos para sellar las uniones de las tuberías. Estas tuberías pueden ser flexibles a la expansión y rotación, dependiendo de la práctica de instalación. Son flexibles a la compresión hasta tener un contacto de metal sobre metal. Por lo general, el grado de flexibilidad se muestra en las normas para materiales de tuberías o puede ser proporcionado por el fabricante.
- La tubería de menor tamaño permite una mayor rotación de las uniones que las tuberías de mayor diámetro.
- Se pueden fabricar campanas especiales para dar a las tuberías mayor flexibilidad de expansión, compresión y rotación.
- Las campanas dúctiles estándares pueden ser torneadas para permitir una mayor rotación.
- Las secciones más cortas de tuberías con un mayor número de uniones incrementan la curvatura disponible del sistema de tuberías.
- Cuando se instala la tubería, es una práctica común introducir la espiga de la tubería en la campana. Esto elimina la flexibilidad de la tubería a la compresión. La tubería de hierro dúctil se envía desde la fábrica con un anillo pintado en el extremo de la espiga para indicar la distancia correcta a la que ha sido introducida a la campana, lo cual deja un pequeño espacio entre el extremo de la espiga y la campana. Si se respetara el límite del anillo pintado durante la instalación, la tubería tendría cierta flexibilidad a la compresión. De manera similar, las uniones deben ser diseñadas para que puedan moverse antes de que se desacoplen del todo.
- Generalmente, las uniones de campana y espiga de tuberías cilíndricas de acero y concreto son revestidas de mortero después de haber sido unidas para proteger la campana y espiga de acero de la corrosión. Esto le da mayor rigidez a la unión. Se debe considerar alguna alternativa para controlar la corrosión sin que la unión deje de ser flexible.
- La mayoría de las tuberías de acero utiliza uniones soldadas, mientras que la tubería de polietileno tiene uniones fundidas al calor. Ambas dependen de la ductilidad de la tubería para poderse unir.

### **Resistencia, rigidez y diámetro de la tubería.**

- Incluso la tubería no dúctil resistirá el daño sísmico si es lo suficientemente fuerte para resistir la rotura por flexión, tracción y compresión.
- Se recomienda una tubería con una proporción de longitud con relación a diámetro de menos de 12 (para acero fundido) ya que será más resistente a la flexión. Para ese caso, la resistencia de la tubería generalmente es lo suficientemente fuerte para resistir las cargas de flexión.

- Las uniones deben estar empalmadas para que resistan el movimiento fuerte del terreno que podría producir la separación de las uniones.
- Las secciones grandes de las tuberías están sujetas a esfuerzos de flexión mayores que las secciones cortas. Los esfuerzos de flexión se disipan en las uniones de las tuberías. Las tuberías diseñadas con longitudes nominales de tuberías más cortas están sujetas a menores niveles de esfuerzos de flexión. Las secciones de las tuberías de gran diámetro son más resistentes a la flexión que las secciones de las tuberías de pequeño diámetro.

### **Restricción de las uniones.**

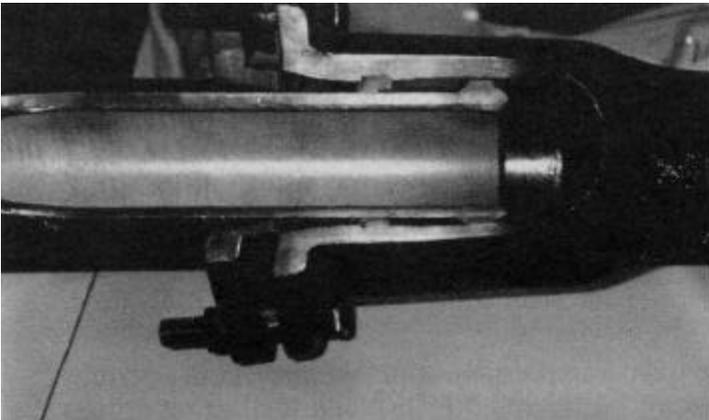
- La restricción de las uniones de una tubería es un aspecto importante en la vulnerabilidad sísmica de las tuberías ya que permite la transferencia de cargas y el desplazamiento a través de las uniones.
- Las uniones fijas también se usan comúnmente para resistir los empujes hidráulicos axiales, eliminando la necesidad de macizos de apoyo.
- Las uniones soldadas, usadas para tuberías de polietileno y algunas veces, para tuberías de acero, están inherentemente empalmadas.

A continuación se presentan cuatro métodos para mejorar la restricción de las uniones:

1. *Mantener la flexibilidad de las uniones en extensión longitudinal, compresión y rotación.* Si se usa un sistema de restricción para resistir el empuje axial, no puede ser instalado para brindar mayor flexibilidad para la extensión (separación de uniones sin que se desprendan). Puede ser diseñado para permitir la compresión o rotación. Si el sistema utiliza varillas para sujetar la campana y espiga, pero no para contener el empuje hidráulico, las varillas deben ser aflojadas para permitir la extensión y rotación de las uniones. La distensión permisible debe ser limitada de manera que las varillas permanezcan algo ajustadas y no se produzca la separación de las uniones a tal punto que el sello de la unión se rompa cuando se produzca la deformación del terreno. Los sistemas de restricción de uniones incorporados en la unión/junta no permitirán ninguna extensión. Este método no es recomendable ya que coloca toda la deformación unitaria de la tracción sobre la tubería. Se prefieren los sistemas de restricción de uniones que permitirían que la unión se comprima aún más después de la instalación (ver figura 3-52). El uso de pernos para fijar la uniones (es decir, pernos de fricción, soldadura de penetración con elementos de conexión) con diseños de cuña permiten la compresión ya que posibilitan que la conexión unida por pernos se afloje (suponiendo que la espiga no ha sido empujada hacia la campana). Algunos diseños no permiten la compresión y por tanto, no se recomiendan.
2. *Redistribuir las cargas uniformemente a través del sistema de restricción después de que la unión se haya movido luego de la instalación original.* La mayoría de sistemas de restricción impartirán cargas puntuales si las uniones se mueven (rotan) después de la instalación y causarán fallas. Se prefieren los sistemas de restricción que permiten la redistribución de la carga. Los

sistemas de tubos soldados continuos ofrecen la ventaja de brindar una distribución uniforme de la carga en la tubería y en la unión.

3. *Transferir un alto porcentaje de la capacidad de carga de la tubería.* Durante un sismo, puede ser importante transferir grandes cargas longitudinales a través de la unión para resistir el desplazamiento diferencial significativo en una tubería. Esto limitaría la deformación del sistema de tuberías ya que el desplazamiento relativo se distribuiría sobre una amplia longitud “no anclada”. Se puede desarrollar una longitud no anclada máxima de aproximadamente 600 pies (180 m). Esto requiere diseñar un sistema de restricción que transfiera cargas a fin de reducir las cargas de fricción de la tubería/suelo desarrolladas en 600 pies (180 m) de tubería (ASCE 1984).
4. *Mantener la integridad de la tubería cuando sea instalada.* Es importante no dañar la integridad de la tubería cuando se instale el sistema de restricción. Las juntas unidas por pernos que desarrollan esfuerzo a través de la fricción no deben dañar la tubería. Soldar anillos de fijación a la tubería puede debilitar la pared de la tubería. Si se ranura la tubería, la sección transversal donde se ha ranurado queda debilitada frente a los esfuerzos de tracción. Los tornillos de presión colocan cargas puntuales sobre las paredes de la tubería, lo cual ha ocasionado la ruptura de tuberías de hierro fundido, pero pueden ser usados con materiales de tuberías dúctiles. Los sistemas de cuña parecen limitar la degradación de la tubería. Los accesorios de las espigas hechos en fábrica no dañan la integridad de la tubería, pero limitan la flexibilidad ya que acortan las longitudes de tubería requeridas durante la instalación en el campo.



Fuente: D.B. Ballantyne.

**Figura 3-52** El diseño japonés de uniones de tuberías sismorresistentes permite la flexibilidad en extensión, compresión y rotación.

material de la tubería. La norma ANSI/AWWA C153/A21.53, *American National Standard for Ductile-Iron Compact Fittings* (Norma nacional estadounidense para empalmes compactos de hierro dúctil) es relativamente nueva y su aplicación se está generalizando para reemplazar el uso de empalmes de hierro fundido. Se deben usar válvulas de acero o hierro dúctil en lugar de hierro fundido (ver figura 3-53).

### Empalmes y accesorios

**de las tuberías.** Los empalmes y válvulas instalados en las tuberías a menudo son de materiales diferentes a los de las tuberías. Por ejemplo, muchos empalmes (es decir, codos, tubos en “T” y te dobles) para tuberías de hierro dúctil de pequeño diámetro, de PVC (de acuerdo con la norma AWWA C900) y de polietileno son de hierro fundido. El hierro fundido es frágil y se romperá más fácilmente que el hierro dúctil. Los empalmes deben ser tan fuertes y dúctiles como el

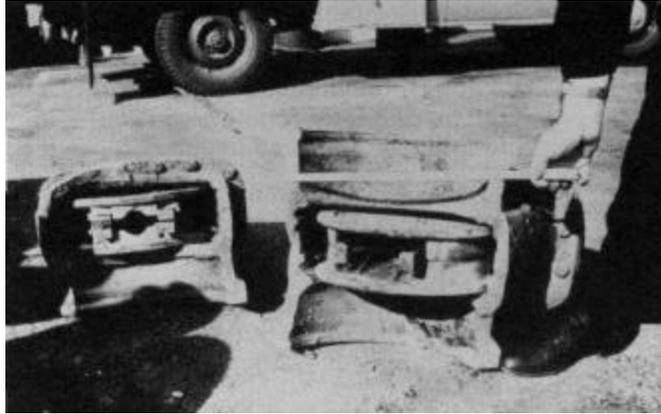
## Diseño sismorresistente de tuberías y recomendaciones para la mitigación sísmica

Esta sección incluye recomendaciones para el diseño sismorresistente de tuberías nuevas y la mitigación sísmica de tuberías existentes. Se centra principalmente en tuberías ubicadas en áreas susceptibles a la licuefacción. También se discute el cruce de fallas.

**Tuberías nuevas.** Utilice cualquier tubería moderna de campana-espiga, o una tubería continua que resista el paso de la onda sísmica.

En áreas susceptibles a la licuefacción:

- Evite el área licuable – reubíquelas o colóquelas a mayor profundidad (perforación direccional).
- Utilice sistemas de tuberías dúctiles y flexibles, tales como tuberías de hierro dúctil, acero soldado o polietileno con uniones fijas. Diseñe la estructura de la tubería para que resista la deformación permanente del suelo (DPS).
- Proporcione conexiones especiales que soporten el movimiento longitudinal de la tubería sin causar daños.
- Utilice como restricción juntas fijas en lugar de macizos de apoyo para resistir las fuerzas del empuje. Los macizos de apoyo pueden moverse si se produce la licuefacción.
- Minimice las presiones del suelo (vea las recomendaciones para el cruce de fallas más adelante en este capítulo).
- Brinde flexibilidad y redundancia en la operación del sistema.
- Incorpore un programa de respuesta frente a emergencias, incluyendo válvulas de corte alrededor del área vulnerable.
- Estabilice los suelos usando métodos tales como vibroflotación, columnas de piedra o inyección con concreto líquido (esto generalmente es muy costoso).



*Fuente: Los Angeles Department of Water and Power.*

**Figura 3-53** Válvula de hierro fundido que colapsó en tubería en San Fernando.

**Sistemas existentes.** Céntrese en los elementos más vulnerables del sistema:

- Refuerce los segmentos críticos y vulnerables en conformidad con las nuevas recomendaciones de diseño.
- Implemente un programa integral de reforzamiento o reemplazo (como parte de un plan integral) cuyas prioridades se basen en la amenaza sísmica, sistema de tuberías y criticidad.
- Proporcione flexibilidad y redundancia en la operación del sistema.
- Instale un programa de respuesta frente a emergencias que incluya válvulas de corte.

**Diseño general para el cruce de fallas.** Minimice los requisitos de desplazamiento o capacidad de carga del sistema de tuberías (ASCE 1984):

- Si las restricciones del derecho de paso lo permiten, oriente la tubería de manera que sea colocada en tracción por la falla.
- Incremente el grosor de la pared de la tubería para evitar que la tubería se deforme debido a las cargas de fricción del suelo. La reducción del diámetro de la tubería tiene un impacto mucho menor sobre la deformación de la tubería.
- Reduzca las cargas de fricción del suelo al minimizar la profundidad de entierro o el peso del relleno. El relleno liviano con bloques de isopor (poliestireno expandido) es una posibilidad y se recomienda instalarlo de manera elevada. Este es el mejor método desde una perspectiva de carga del suelo, pero probablemente no será aceptado por otras razones.
- Reduzca el coeficiente de fricción del suelo al usar tuberías con paredes externas lisas o pulidas. Observe que la envoltura de plástico que comúnmente se usa para la protección contra la corrosión no reducirá el coeficiente de fricción para rellenos de arena ya que los granos se incrustan en el plástico.
- Utilice juntas de dilatación a ambos lados donde se espera que se produzca la ruptura de la falla.
- Ubique la tubería en un canal o túnel de espera que sea lo suficientemente ancho para resistir el movimiento esperado de la falla.
- No utilice anclajes, tales como macizos de apoyo, codos o conexiones, a menos de 600 pies (180 m) de la zona de falla. Se requieren conexiones especiales para soportar el movimiento a lo largo de la longitud no anclada.
- Proporcione componentes alternos siempre que sea posible; utilice diversas tuberías más pequeñas en lugar de una tubería grande. Ubique los cruces alternos en diferentes lugares.

## Tanques de almacenamiento y reservorios

---

### Descripción

Esta sección discute la vulnerabilidad y mitigación sísmica de los tanques de almacenamiento de agua y los reservorios. Incluye una descripción de algunos reservorios típicos, así como las consecuencias de las fallas.

Generalmente, los tanques de almacenamiento y los reservorios de un sistema promedio satisfacen la demanda de agua de uno a tres días. Esta capacidad de almacenamiento cubre los requerimientos de caudales para la demanda diurna y para los sistemas contra incendios.

Por lo general, los tanques de almacenamiento y los reservorios aquí descritos incluyen reservorios de tierra revestidos, tanques de concreto moldeados en el lugar y post-tensados, tanques de acero apoyados, cámaras de presión de acero, tanques de acero elevados y tanques hechos con elementos de madera verticales.

Los reservorios de tierra a menudo son estructuras de tierra con revestimiento de concreto y techos apoyados en columnas de acero, madera o concreto.

Los tanques de concreto moldeados en el lugar generalmente se encuentran enterrados o apoyados. Por lo general, los tanques post-tensados se encuentran enterrados o

apoyados, y su refuerzo primario es provisto por una malla de acero o tendones de post-tensado. Generalmente, los techos de ambos se apoyan en columnas.

Usualmente, los tanques de acero apoyados y las cámaras de presión se encuentran cimentados sobre un muro circular o losa de cimentación. Los tanques que tienen proporciones mayores de altura con relación a diámetro a menudo son anclados a un muro circular. Sus techos de acero se apoyan ya sea sobre un lado de la pared o utilizan columnas interiores, dependiendo del diámetro del tanque. Los tanques elevados se pueden apoyar sobre un solo pedestal o sobre una estructura arriostrada con múltiples soportes.

Los tanques de madera se construyen con elementos de madera verticales cubiertos de anillos o zunchos.

### **Consecuencias de las fallas**

Los tanques de almacenamiento y los reservorios tienen una función vital en la operación del sistema después de un sismo. El sistema generalmente depende del agua almacenada para la extinción de incendios. Los sistemas de conducción por lo general no han sido diseñados para suministrar caudales suficientes para las tareas de extinción de incendios.

La evaluación sísmica de los tanques, como otros componentes del sistema, debe tomar en cuenta las consecuencias de las rupturas o fallas. El funcionamiento adecuado de los tanques es un aspecto importante, ya que el agua almacenada en éstos es crucial para las tareas de extinción de incendios. Asimismo, el colapso de tanques, a diferencia de muchas otras estructuras de los sistemas de agua, puede convertirse en una amenaza para la seguridad humana. La evaluación de las consecuencias de la falla o ruptura de un tanque también debe incluir el número de tanques o fuentes que abastecen a una zona de presión, y la capacidad relativa de cada uno (como se muestra en la figura 3-54). Un tanque de gran tamaño que brinda almacenamiento únicamente a una zona de presión es más crítico que varios tanques más pequeños que abastecen a una zona.

### **Respuesta sísmica del contenido de un tanque**

El agua en tanques responde de manera diferente que una masa rígida. Housner (1963) modeló una porción de agua como si estuviera rígidamente unida a la pared del tanque impartiendo fuerzas de impulsión. La otra porción de agua fue unida al tanque mediante resortes, lo cual produce un efecto ondulatorio o de convección. La carga resultante en realidad es menor que si toda el agua fuese modelada como una masa rígida. La figura 3-55 muestra el modelo de un tanque.