

# REVISIÓN ESTRUCTURAL DE TUBERÍAS DE AGUA A PRESIÓN

## FERNANDO PEÑA Y FRANCO CARPIO

Las tuberías de agua a presión forman parte de las redes de agua potable que abastecen los centros urbanos y forman parte de las líneas vitales; las cuales, deben tener un comportamiento estructural adecuado durante su periodo de vida útil. Tanto el diseño como la revisión de este tipo de obras debe ser a partir de un equipo multidisciplinario que incluya la parte hidráulica, geotécnica y estructural.

El proyecto hidráulico define el diámetro de las tuberías y las presiones actuantes en la misma, según los gastos de operación. Por su parte, el equipo de geotecnia calcula la capacidad de carga del suelo y propone las posibles soluciones para las cimentaciones de los diferentes tipos de apoyos. Finalmente, el estructurista define los espesores de las tuberías, distancias entre apoyos y detallados de las conexiones.

En este trabajo se presenta la revisión estructural de una línea de conducción de tipo superficial (fig. 1) que se ubica

entre una planta de bombeo y una torre de oscilación, con el fin de mostrar la participación del ingeniero estructurista en este tipo de obras.

### Criterios generales de revisión estructural

Los elementos estructurales que se deben revisar, además de las tuberías de acero, son los atraques (fig. 2) que soportan las presiones hidráulicas causadas por los cambios de dirección de la línea, así como los apoyos fijos y móviles ubicados entre los atraques (fig. 3). Los apoyos fijos son aquellos que no permiten movimientos a lo largo de la línea y se utilizan principalmente cuando la tubería se encuentra localizada en pendientes. Los apoyos móviles restringen únicamente el movimiento vertical de la tubería y se utilizan principalmente para disminuir el claro libre de la tubería para tener flechas aceptables.

Las acciones de diseño que se deben considerar son: i) peso propio de la estructura; ii) peso propio del agua; iii) presión de operación normal; iv) presión transitoria; v) presión de colapso; vi) temperatura; vii) sismo y viii) viento.



Figura 1. Línea de conducción superficial

Para la línea en revisión de acuerdo con el proyecto hidráulico, la presión máxima de diseño para operación normal y transitoria es de 2 y 3 MPa, respectivamente, que corresponden a un gasto máximo de 17 m<sup>3</sup>/s. Se hace notar que, la presión transitoria no genera presiones negativas a lo largo de la línea que originen un posible colapso de la tubería. Por tanto, la línea se revisa para los siguientes estados:

- i) Operación normal: línea en operación normal, que considera el peso de la estructura y del agua, así como la presión hidráulica para operación normal y las acciones accidentales (sismo, viento y temperatura).
- ii) Flujo transitorio: línea con presión transitoria, que considera el peso de la estructura y del agua, más la presión hidráulica por efectos transitorios.
- iii) Sin presión: línea llena sin presión, considera el peso de la estructura, del agua y las acciones por temperatura.
- iv) Vacía: línea vacía, sólo considera el peso de la estructura y las acciones por temperatura.

La tubería, al ser superficial sobre apoyos, se revisa al centro del claro y en los apoyos, que es donde se generan los mayores esfuerzos. Debido a que no se conoce si la línea tiene protección interna contra corrosión del agua, en la revisión se tomó en cuenta la reducción del espesor de la tubería por efectos de corrosión (AWWA-M11, 2018). Por lo que, en todas las revisiones se considera un espesor reducido y un diámetro interno incrementado por corrosión.

La revisión de los atraques, apoyos fijos y móviles se realiza a partir de su estabilidad. Es decir, se revisan de forma similar a una cimentación tipo zapata aislada. Para ello, es necesario trabajar de forma conjunta con los especialistas en geotecnia.

Las acciones accidentales por viento y sismo se determinaron a partir del Manual de Diseño de Obras Civiles de CFE (MDOC-DV, 2020; MDOC-DS, 2015). Para las acciones por viento se calcularon la presión dinámica, el coeficiente de arrastre, el factor de ángulo de inclinación y el factor de corrección de esbeltez.

Para las acciones por sismo se consideró que los atraques y la tubería tienen un comportamiento elástico lineal, ya que deben permanecer completamente operacionales. Por lo que se considera un factor de comportamiento sísmico Q igual a 1. Asimismo, por la importancia de la estructura, se considera que es de tipo A, por lo que su factor de importancia es igual a 1.5. Debido a la flexibilidad de la tubería al centro del claro entre apoyos, se debería calcular sus propiedades dinámicas.



Figura 2. Atraques



Figura 3. Apoyos móviles



Figura 4. Junta de expansión

Si éstas no se calculan, entonces se deben considerar tanto las acciones más desfavorables como la aceleración de la meseta del espectro. Por su parte, los atraques y apoyos, por ser masivos (fig. 2), se consideran infinitamente rígidos, por lo que para su revisión sísmica se considera la aceleración del suelo.

Finalmente, la línea tiene juntas de expansión (fig. 4) para absorber los cambios de longitud de la tubería provocados por la temperatura. Por ello, los efectos de temperatura no generan esfuerzos adicionales en la tubería.

## Revisión de la tubería

La tubería se debe revisar al centro del claro y en los apoyos, que es donde se generan los mayores esfuerzos en la línea. Los manuales de diseño para tuberías a presión recomiendan que se utilice un criterio de esfuerzos admisibles, tanto para diseño como para revisión (AWWA-M11, 2018; MAPAS-6, 2015).

Al centro del claro se hacen tres tipos de revisiones: i) presión interna; ii) flecha y iii) esfuerzo equivalente (esfuerzos triaxiales). Para la presión interna se revisa que el esfuerzo admisible circunferencial sea mayor que la presión actuante. La flecha al centro del claro debe ser menor que la admisible, la cual se considera 1/360 veces el claro libre de la tubería. Finalmente, la revisión por esfuerzos equivalentes se basa en la teoría de falla de Hencky-von Mises, donde se consideran todas las acciones actuantes en la línea.

La revisión en los apoyos toma en cuenta el efecto de los esfuerzos de punzonamiento en la tubería debido a las fuerzas cortantes causados por la reacción del apoyo. Los esfuerzos de punzonamiento se deben revisar para las distintas combinaciones de carga, éstos dependen de la reacción en el apoyo, del diámetro exterior de la tubería, del ángulo de contacto de la tubería con el apoyo y de un factor de reducción que depende, principalmente, de los esfuerzos circunferenciales presentes en la tubería debido a la presión interna. Debido a los esfuerzos de punzonamiento, es común que en los apoyos se incremente el espesor de la tubería a través de anillos de acero.

## Referencias

- AWWA-M11 (2018). *Steel Pipe: A Guide for Design and Installation*, Manual M11, 5<sup>th</sup> Edition, American Water Works Association, USA.
- MAPAS-6 (2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento – Estudios Técnicos para Proyectos de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño estructural*, Comisión Nacional del Agua, México.
- MDOC-DS (2015). *Manual de Obras Civiles – Diseño por Sismo*, Comisión Federal de Electricidad, México.
- MDOC-DV (2020). *Manual de Obras Civiles – Diseño por Viento*, Comisión Federal de Electricidad, México.

## Revisión tanto en los atraques como en los apoyos fijos y móviles

Las revisiones relacionadas con la estabilidad de los atraques y apoyos consideran las siguientes combinaciones de cargas:

- i) Combinación 1, peso propio de la tubería y agua, más la presión transitoria.
- ii) Combinación 2, peso propio de la tubería y agua, más la presión de operación junto con las acciones accidentales (sismo o viento).
- iii) Combinación 3, peso propio de la tubería y agua, más la presión de operación.
- iv) Combinación 4, peso propio de la tubería y el agua.
- v) Combinación 5, peso propio de la tubería.

Para la evaluación de la estabilidad se revisa: i) deslizamiento, ii) torsión, iii) capacidad de carga y iv) volteo. Se hace notar que, para los atraques, a diferencia de los apoyos, adicionalmente a las cargas de las diferentes combinaciones se deben considerar las fuerzas hidráulicas debidas al cambio de dirección de la línea.

Para la revisión del deslizamiento, la torsión y el volteo, se utiliza un criterio de factores de seguridad. Para la revisión por capacidad de carga del suelo, se utiliza un criterio de factores de reducción de resistencia y factores de carga. También, se revisa que el esfuerzo máximo a compresión debido al momento de volteo no sobrepase la capacidad de carga del suelo.

El estado de servicio se revisa mediante el asentamiento instantáneo y la porción del área sin contacto del cimientado, debido a los momentos de volteo producidos por las fuerzas laterales. Los asentamientos instantáneos se revisan con la Combinación 3, que son las acciones presentes durante la vida útil de la línea.

La reducción del área de contacto del cimientado con el suelo se calculó a partir de las combinaciones sin factorizar. |