

ESTIMACIÓN DE ESFUERZOS EN EL ANILLO DE REFUERZO DEL SOPORTE TIPO ANILLO-VIGA, PARA TUBERÍAS DE ACERO

HUGO SATURNO B.

Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Departamento de Hidráulica, Caracas, Venezuela.
e-mail: husabe@telcel.net.ve

Recibido: noviembre de 2006

Recibido en forma final revisado: abril de 2007

RESUMEN

Frecuentemente, las tuberías de acero se instalan superficialmente apoyadas sobre soportes; en tal caso se puede considerar que la tubería se comporta estructuralmente como una viga continua si ella está completamente llena y si su forma cilíndrica se mantiene en el tramo y en los apoyos. Schorer (1933), propone un tipo de soporte que tiene una viga de refuerzo configurada en forma de anillo que se suelda alrededor de la superficie exterior de la tubería; se presentan relaciones que se usan para determinar las dimensiones apropiadas de la viga y se incluyen ecuaciones mediante las cuales se estiman los esfuerzos que se generarán en ella, si la excentricidad de las fuerzas que le transmiten las columnas del soporte, es 4% de R . En el presente trabajo se analizaron las ecuaciones de momento flector, fuerza tangencial y fuerza de corte y se prepararon gráficos y ecuaciones para obtener coeficientes adimensionales de ellos, en cualquier sección transversal de la viga, para valores de la excentricidad comprendidos entre 0% y 22% de R . Mediante los correspondientes coeficientes se obtienen los valores de las referidas solicitaciones, en cualquier sección de la viga, y también los valores máximos que ellos alcanzan. Se incluye un ejemplo ilustrativo.

Palabras clave: hidráulica, diseño de tuberías, soportes, anillo-viga, esfuerzos.

CALCULATION OF THE STRESS IN THE REINFORCEMENT RING OF THE RING-GIRDER TYPE SUPPORT FOR STEEL PIPELINES

ABSTRACT

Frequently, steel pipes are installed above ground resting on supports and in such a way that the pipes could act or behave structurally as a continuous beam, if it is completely filled and if its cylindrical shape remains in the span and in the support. Schorer (1933), recommends a type of support that has a cylindrically-shaped ring-girder soldered around the external surface of the pipe. The relations that are used to determine the appropriate dimensions of the beam are presented along with equations by means of which stresses are estimated if the eccentricity of the forces that are transmitted to the pipe by the column's support is 4% of R . In this work, the equations of bending moment, tangential force and shear force and graphics were analyzed and equations were prepared to obtain undimensional coefficients in any transversal section of the beam for values of eccentricity ranging between 0% and 22% of R . Though the corresponding coefficient values of the moment and the forces in any section of the beam are obtained, as well as the maximum values they reach. An illustrative sample is included.

Keywords: hydraulics, pipeline design, supports, ring-girder, stress.

INTRODUCCIÓN

Las tuberías de aducción de acero, frecuentemente, se instalan superficialmente apoyadas sobre soportes; en tal caso se puede considerar que la tubería se comporta estructuralmente como una viga continua, si ella está completamente llena y si su forma cilíndrica se mantiene

tanto en los tramos como en los apoyos.

En Price *et al.* (1964) y en Gilmor (1989) se recomienda el uso de dos tipos de soportes: a) conocido como tipo silla de montar que suministra una superficie con forma de sector cilíndrico con ángulo comprendido entre 90° y 120° para que se apoye el tubo, y b) conocido como tipo anillo-viga,

consiste en una viga conformada en forma de anillo que se suelda alrededor de la superficie externa del tubo y que se soporta sobre columnas verticales colocadas a ambos lados. El anillo evita la deformación radial de la tubería en el sitio de apoyo y hace que la tubería se comporte como una viga. La carga, debida al peso de la tubería y del agua contenida en ella, es transmitida a la viga en forma de esfuerzo tangencial uniformemente distribuido a lo largo de todo el anillo.

Este tipo de apoyo está destinado a ser usado en tuberías de gran diámetro, cuando se requiere atravesar hondonadas o cauces soportándola solamente sobre apoyos sin necesidad de recurrir a estructuras especiales como puentes colgantes o puentes constituidos por cerchas metálicas.

En Price *et al.* 1964; Cates, 1950; Troitsky, 1986 y Gilmor, 1989, se hace referencia a Schorer (1933) como: «un diseño racional satisfactorio para la construcción de los soportes tipo anillo-viga, basado en la teoría de la elasticidad». En el referido trabajo se presentan relaciones que se usan para determinar las dimensiones apropiadas de la viga con la cual se construirá el anillo y se dan las ecuaciones mediante las cuales se pueden estimar los esfuerzos que se producirán tanto en la pared de la tubería en la zona donde estará colocado el anillo como los esfuerzos que se generarán en la viga que conforma el anillo.

Las ecuaciones propuestas mediante las cuales se pueden estimar las magnitudes de los esfuerzos debidos al momento flector, a la fuerza tangencial y a la fuerza de corte que se producen en la sección horizontal del anillo de refuerzo, se

han obtenido considerando que la carga total que se transmite al anillo mediante el esfuerzo tangencial distribuido uniformemente a todo lo largo de la circunferencia de contacto de la superficie externa del tubo con la superficie interna del anillo, de allí que se requiera que el anillo se instale soldado a la superficie del tubo. El anillo se apoya en ambos lados sobre columnas que transmiten la carga total a la fundación (figura 1).

Schorer (1933), señala que «el mínimo valor posible del máximo momento flector en la viga ocurre cuando $a = 0,04R$ fuera del eje neutro de ella. Cuando esto es cierto, el momento máximo flector M en la viga es»:

$$M = 0,01WR \quad (1)$$

donde:

e es el valor de la excentricidad de la reacción medida a partir de la tangente vertical al eje centroidal de la viga de refuerzo.

W es la carga total que transmite la pared de la tubería al anillo.

R es el radio del eje centroidal de la viga.

El máximo esfuerzo f_1 debido al momento flector es:

$$f_1 = \frac{My}{I} \quad (2)$$

donde:

y es la distancia desde el eje neutro de la viga hasta la fibra más distante.

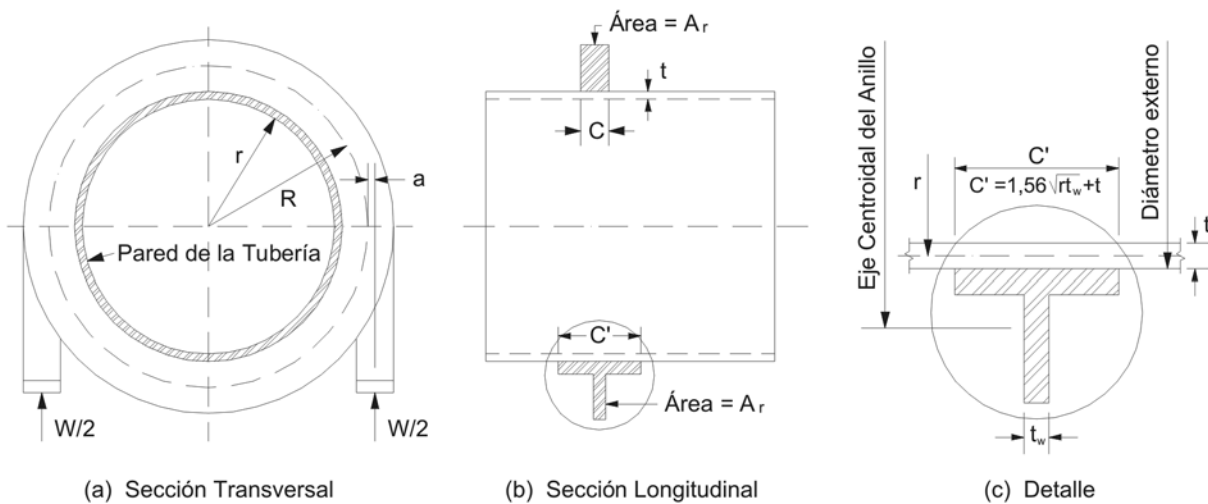


Figura 1. Detalles del apoyo anillo-viga y definición de variables, propuestos en Schorer (1933).

I es el momento de inercia de la sección transversal de la viga.

El máximo esfuerzo f_2 en el anillo debido a la fuerza de corte es:

$$f_2 = \frac{W}{4A} \quad (3)$$

donde:

A es el área de la sección transversal de la viga de refuerzo.

El esfuerzo f_3 en el anillo debido a la fuerza radial es:

$$f_3 = \frac{pr}{A} \left(C + 1,56\sqrt{rt} \frac{A - Ct}{A + 1,56t\sqrt{rt}} \right) \quad (4)$$

donde:

p es la presión dentro de la tubería.

r es el radio medio de la tubería.

t es el ancho de la franja circular de contacto del anillo de refuerzo de sección transversal rectangular.

Como todos esos esfuerzos se combinan en el diámetro horizontal, el esfuerzo máximo total que se produce en el anillo es:

$$f = f_1 + f_2 + f_3 \quad (5)$$

En Bureau of Reclamation (1977), se presenta una tabla donde se dan valores de coeficientes mediante los cuales se pueden obtener el momento flector, la fuerza circunferencial y la fuerza de corte radial que se producirán en secciones del anillo-viga, definidas éstas por valores del ángulo χ comprendidos entre 0° y 180° , separados cada 15° . Estos valores corresponden a excentricidad de las fuerzas de reacción de las columnas del apoyo de 4 %.

DESARROLLO DEL MODELO MATEMÁTICO

En el presente trabajo se hizo una revisión de los criterios y de las ecuaciones mediante las cuales se estiman el momento flector, la fuerza circunferencial y la fuerza de corte, en cada sección transversal de la viga de refuerzo, y se evaluó la pertinencia o no del uso del valor de la excentricidad de las fuerzas de reacción de las columnas del soporte $a = 0,04R$, condición que, si bien es cierto, produce el menor valor del momento flector máximo, no es menos cierto que limita el diseño de los soportes porque no siempre es posible proyectarlos bajo tales condiciones, por cuanto:

En primer lugar, la excentricidad « a » de las fuerzas de reacción que le transmiten a cada lado del anillo las columnas del soporte, variará para tuberías de igual diámetro con la distancia entre los soportes, por cuanto a mayor distancia entre ellos mayor carga se transmitirá a las columnas de los apoyos y por lo tanto éstas tendrán una sección transversal mayor y por ende habrá una mayor distancia entre el eje de ellas y el eje centroidal de la viga de refuerzo.

En segundo lugar, cuando se construyen variantes del soporte tipo anillo-viga como el que se propone en la figura 2, provisto de bisagras que permiten la rotación del anillo alrededor de su diámetro horizontal con lo que se tolera que la tubería rote y adopte la elástica más apropiada y se produzca, en el apoyo, el momento flector que corresponde al que se produciría en una viga continua simplemente apoyada y que no se transmita momento flector a las columnas, necesariamente se incrementará el valor de « a ». En este caso no es factible utilizar la ecuación (1).

En tercer lugar, se consideró inconveniente usar la ecuación (1), por cuanto, en todos los casos en que el valor de la excentricidad « a » es menor o mayor de 4% de R , el momento flector que se obtiene es mayor al que predice la ecuación (1) (figura 4).

En vista de lo anteriormente expuesto, se tomaron las ecuaciones contenidas en Roark (1954), mediante las cuales se pueden estimar: el momento flector; la fuerza tangencial y la fuerza de corte que se generan en el anillo-viga que recibe la carga de la tubería mediante la fuerza de corte que se genera entre la pared de la tubería y la superficie de éste que están soldadas entre sí (figura 3-b).

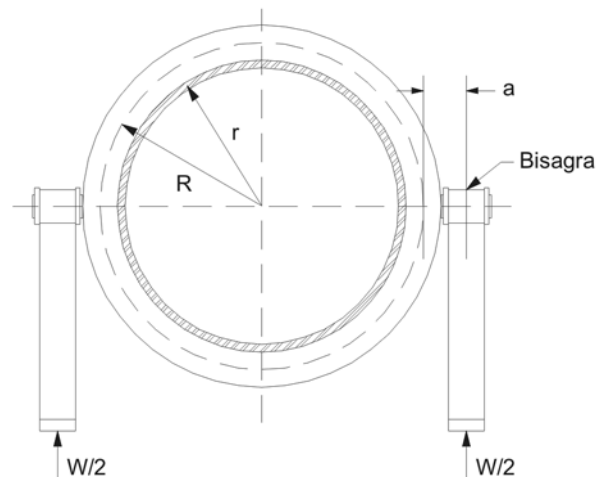


Figura 2. Detalles del apoyo anillo-viga con bisagras en la unión de las columnas.

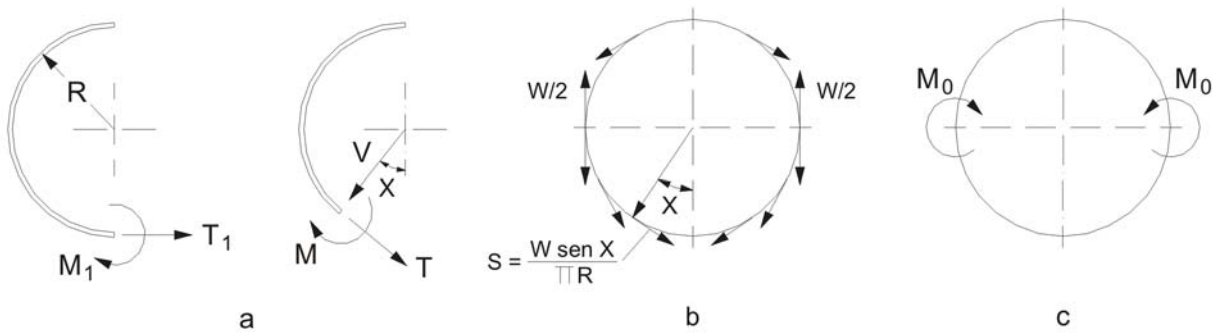


Figura 3. Identificación de variables.

$$M = WR \left(0,23868u + 0,15915xz - \frac{1}{4} \right) \quad (6)$$

$$T = W(0,15915xz - 0,07958u) \quad (7)$$

$$V = W(0,15915xu - 0,07958z) \quad (8)$$

válidas para:

$$0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$$

$$M = WR \left(0,23868u + 0,15915xz - \frac{1}{2}z + \frac{1}{4} \right) \quad (9)$$

$$T = W \left(0,15915xz - 0,07958u - \frac{1}{2}z \right) \quad (10)$$

$$V = W \left(0,15915xu - 0,07958z - \frac{1}{2}u \right) \quad (11)$$

válidas para:

$$\frac{\pi}{2} \leq x \leq \pi$$

donde:

- M es el momento flector
- T es la fuerza circunferencial
- V es la fuerza de corte
- W es la carga total transmitida al soporte
- R es el radio del eje centroidal de la viga
- x es el ángulo, en radianes, que define la sección transversal de la viga-anillo
- $z = \text{sen } x$
- $u = \text{cos } x$

También se tomaron las ecuaciones que definen el momento flector, la fuerza tangencial y la fuerza de corte que generan, en el anillo-viga, el momento flector que le transmiten las reacciones de las columnas del soporte (figura 3-c).

$$M = M_0 \left(0,6366u - \frac{1}{2} \right) \quad (12)$$

válida para $0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$

$$M = M_0 \left(0,6366u + \frac{1}{2} \right) \quad (13)$$

válida para $\frac{\pi}{2} \leq x \leq \pi$

$$T = \frac{M_0}{R} (0,6366u) \quad (14)$$

$$V = -\frac{M_0}{R} (0,6366z) \quad (15)$$

Válidas para $0 \leq x \leq \pi$

Como: $M_0 = \frac{W}{2} a$ y $a = bR$

donde:

« b » es el porcentaje de R usado para determinar « a »

sustituyendo el valor de M_0 en las ecuaciones 12 a 15 se obtienen:

$$M = WR \frac{b}{2} \left(0,6366u - \frac{1}{2} \right) \quad (16)$$

válida para: $0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$

$$M = WR \frac{b}{2} \left(0,6366u + \frac{1}{2} \right) \quad (17)$$

válida para: $\frac{\pi}{2} \leq x \leq \pi$

$$T = W \frac{b}{2} (0,6366u) \quad (18)$$

$$V = -W \frac{b}{2} (0,6366z) \quad (19)$$

válidas para: $0 \leq x \leq \pi$

Se aplicó el principio de superposición de efectos con el fin de estimar los valores de momento flector, fuerza tangencial y fuerza de corte en cada sección transversal de la viga, cuando actúan simultáneamente la carga que transmite la tubería al anillo y los momentos que le transmiten las reacciones de las columnas del soporte.

Sumando las ecuaciones:

$$6 + 16; 7 + 18 \text{ y } 8 + 19,$$

se obtienen:

$$M = WR \left[(0,23868u + 0,15915xz - 0,25) + \frac{b}{2} (0,6366u - 0,5) \right] \quad (20)$$

$$T = W \left[(0,15915xz - 0,07958u) + \frac{b}{2} (0,6366u) \right] \quad (21)$$

$$V = W \left[(0,15915xu - 0,07958z) - \frac{b}{2} (0,6366z) \right] \quad (22)$$

válidas para: $0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$

se sumaron las ecuaciones:

$$9 + 17; 10 + 18 \text{ y } 11 + 19$$

y se obtuvieron:

$$M = WR \left[(0,23868u + 0,15915xz - 0,5z + 0,25) + \frac{b}{2} (0,6366u + 0,5) \right] \quad (23)$$

$$T = W \left[(0,15915xz - 0,07958u - 0,5z) + \frac{b}{2} (0,6366u) \right] \quad (24)$$

$$V = W \left[(0,15915xu - 0,07958z - 0,5u) - \frac{b}{2} (0,6366z) \right] \quad (25)$$

válidas para: $\frac{\pi}{2} \leq x \leq \pi$

Las partes de las ecuaciones (20) y (23) encerradas entre corchetes se han definido como Coeficiente de Momento Flector (*CMF*); las de las ecuaciones (21) y (24) como Coeficiente de Fuerza Tangencial (*CFT*) y las de las ecuaciones (22) y (25) como Coeficiente de Fuerza de Corte (*CFV*), todas independientes de la carga total W y del radio R del eje centroidal de la viga; se graficaron para distintos valores de « b » y para valores de « x » comprendidos entre 0 y π con el fin de observar sus comportamientos (figuras 4, 5 y 6).

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Puede observarse (figura 4), que en la familia de curvas del momento flector, dependientes de « b », en el rango de valores del ángulo « x » comprendido entre 0° y 90° , se presentan valores máximos positivos en distintas secciones de la viga, y que el mayor valor de estos máximos es $CMF = 0,014656$, el cual se produce para el valor $b = 0$ en la sección transversal de la viga correspondiente a $x = 66,20^\circ$.

La magnitud de los valores máximos del *CMF* decrece a medida que « b » se incrementa. Se observa también, que en la sección correspondiente a $x = 90^\circ$, se producen valores máximos negativos y que la magnitud del coeficiente de momento flector crece a medida que « b » crece.

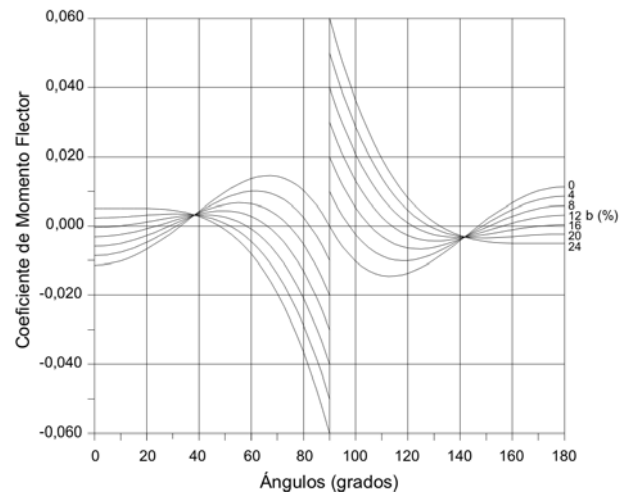


Figura 4. Coeficiente de momento flector vs. ángulo.

Es importante destacar que en vista de que el valor de los coeficientes de momentos máximos positivos decrece al aumentar el valor de « b » y los valores de los coeficientes máximos negativos crecen al aumentar los valores de « b », debe presentarse una curva, función del parámetro « b », en la cual ambos valores sean iguales. Se determinó que la curva cuyo valor de « b » es 4 presenta valores iguales de sus puntos máximos, el cual es $CMF = \pm 0,01$. Esto último es importante por cuanto para valores de $b < 4$ los valores positivos de CMF son mayores que los que se obtienen a 90° , y para valores de $b > 4$ los valores negativos de CMF que se obtienen a 90° son mayores que los positivos.

Para valores del ángulo « χ » en el rango comprendido entre 90° y 180° , la familia de curvas función del parámetro « b » se repite dispuesta de tal manera que los máximos positivos pasan a ser negativos y viceversa.

En la figura 5, se graficaron los valores del coeficiente de fuerza tangencial vs. « χ », para distintos valores de « b ». Se obtuvo que el coeficiente de fuerza tangencial alcanza su valor máximo $CFT = 0,25$ para la sección correspondiente a $\chi = 90^\circ$, para el tramo de viga comprendido entre 0° y 90° y toma el valor máximo de $CFT = -0,25$ en la misma sección para el tramo de viga comprendido entre 90° y 180° ; esto ocurre para cualquier valor de « b ». Esto último se produce así porque las fuerzas que transmiten las columnas del apoyo al anillo se distribuyen: 25% en tracción sobre cada extremo de la mitad inferior del anillo y 25% en compresión sobre cada extremo de la mitad superior del anillo.

En la figura 6, se graficaron los valores del Coeficiente de Fuerza de Corte vs « χ », para distintos valores de « b ». Se observa que se producen máximos positivos del coeficiente de fuerza de corte y que su mayor valor es $CFV = 0,034$, y que ese valor va decreciendo a medida que crece « b ». Por el contrario los valores máximos negativos del coeficiente de

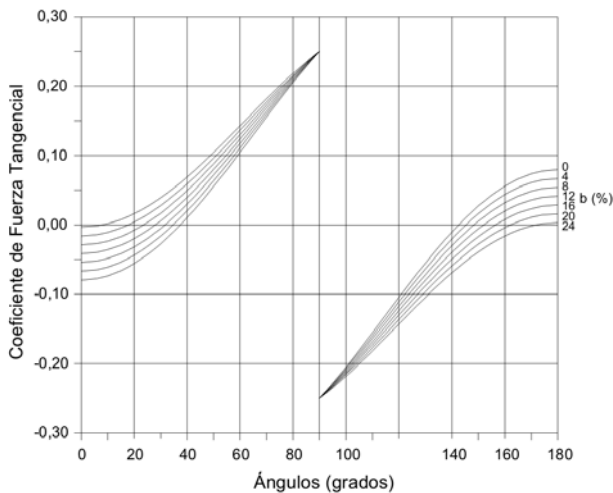


Figura 5. Coeficiente de fuerza tangencial vs ángulo.

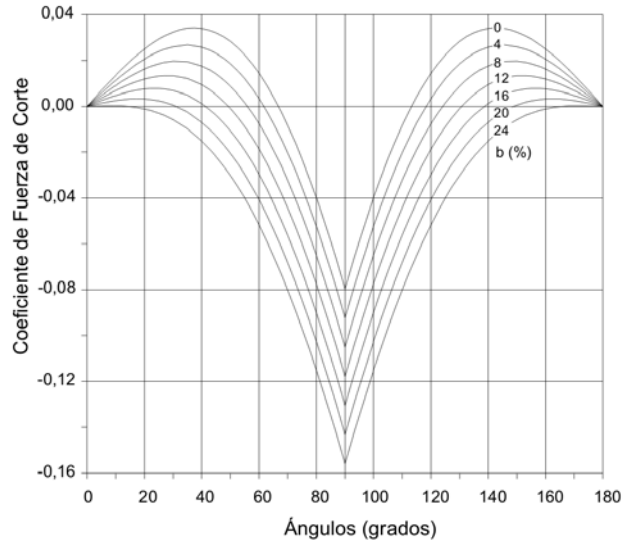


Figura 6. Coeficiente de fuerza de corte vs ángulo.

fuerza de corte para el valor constante de $\chi = 90^\circ$, se van incrementando a medida que crece « b ».

Es necesario destacar que el cambio de momento flector positivo a negativo se produce en secciones transversales de la viga distintas dependiendo del valor de « b », e igualmente ocurre con la fuerza tangencial y con la fuerza de corte.

En la figura 7 se presenta el gráfico de los valores del coeficiente de momentos flectores positivos máximos vs b , que se producen para ángulos « χ » comprendidos entre 0° y 90° , y el de los valores del ángulo « χ » que define la sección donde se produce cada valor de CMF máximo.

En la figura 8 se presenta el gráfico de los valores máximos del Coeficiente de Momento Flector vs « b », que se producen en la sección transversal del anillo correspondiente a

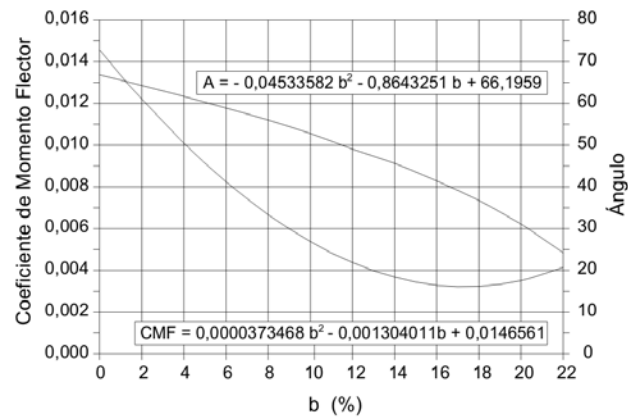


Figura 7. Coeficiente de momento flector máximo positivo vs. « b » y ángulo « χ » donde se produce vs. b .

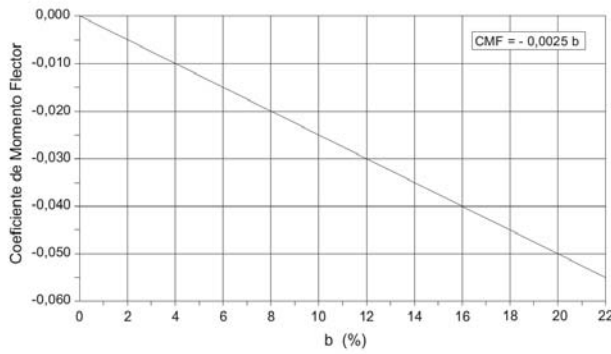


Figura 8. Coeficiente de momento flector máximo vs. «b», que se produce a 90°.

En la figura 5 puede observarse que el valor del coeficiente de fuerza tangencial alcanza su valor máximo de $\pm 0,25$ en la sección transversal del anillo-viga correspondiente al ángulo $x = 90^\circ$, independientemente de los valores que tome el parámetro «b».

En la figura 9 se presenta la curva correspondiente a los coeficientes de fuerza de corte vs «b», que se producen en la sección transversal del anillo-viga correspondiente a $x = 90^\circ$.

Las ecuaciones que aparecen en los gráficos 7, 8 y 9 se obtuvieron mediante el método de mínimos cuadrados.

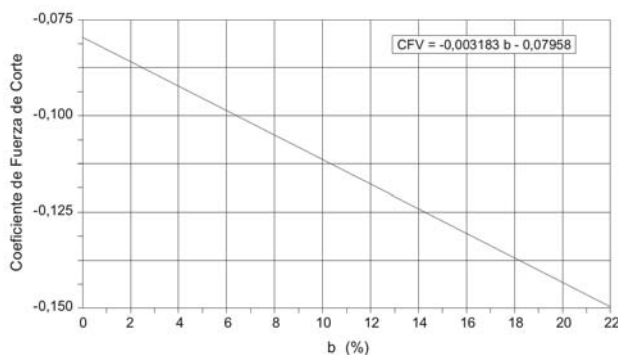


Figura 9. Coeficiente de fuerza de corte máximo vs «b».

MÉTODO DE CÁLCULO: USO DE LOS GRÁFICOS Y DE LAS ECUACIONES

En vista de que en el cuadrante comprendido entre 0° y 90° el momento flector máximo negativo, la fuerza tangencial máxima y la fuerza de corte máxima se producen en la sección correspondiente a 90° , para diseñar el anillo de refuerzo de un soporte cuya excentricidad sea mayor de 4% se procederá de la siguiente manera.

1. Se obtendrán: el coeficiente de momento flector máximo de la figura 8; se usará el valor del coeficiente de fuerza

tangencial máxima de 0,25 y el coeficiente de fuerza de corte máxima se obtendrá de la figura 9.

2. Se calcularán: el momento flector multiplicando el CMF por la carga W y por el radio R y la fuerza tangencial y la fuerza de corte multiplicando sus respectivos CFT y CFV por la carga W.

3. Se calcularán: los esfuerzos que estas solicitaciones ocasionan, y se calculará el esfuerzo de tracción normal debido a la presión que ejerce el fluido a lo interno de la tubería

mediante la ecuación: $\sigma_p = \frac{Pr}{h+t}$, si el anillo se comporta

como un sector de tubería de pared delgada, es decir si se cumple que $\frac{h+t}{2r} \leq \frac{1}{20}$; de lo contrario, el anillo se comportará como un sector de tubería de pared gruesa y el esfuerzo de tracción se calculará mediante la ecuación:

$$\sigma_p = \frac{a^2 P_i - b^2 P_o}{b^2 - a^2} + \frac{a^2 b^2 (P_i - P_o)}{(b^2 - a^2) r^2} \quad (26)$$

donde:

a es igual al radio interno de la tubería, $\sigma_r = -P_i$,

b es igual al radio externo de la tubería y

Para el caso más frecuente en hidráulica $P_o = 0$, el máximo valor de este esfuerzo se producirá en la superficie interior de la tubería.

4. Con estos valores se calculará el esfuerzo normal (uniaxial) de fluencia σ_s , mediante la ecuación (27) que expresa la condición de Von Mises que liga a este esfuerzo con los normales y tangenciales, descrita en Levi (1954).

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) = 2\sigma_s^2 \quad (27)$$

5. El valor obtenido de σ_s se comparará con el esfuerzo de fluencia del acero del anillo.

En caso de que la excentricidad sea menor de 4%, como los valores máximos del momento flector, de fuerza tangencial y de fuerza de corte no coinciden en una misma sección transversal de la viga es necesario obtener de las figuras 4, 5 y 6 los valores de sus coeficientes correspondientes a varias secciones de la viga cuyos ángulos "x" estén comprendi-

dos entre 0° y 90° y calcular los correspondientes valores del esfuerzo normal de fluencia según la ecuación (27); luego, se escogerá el mayor de ellos y se comparará con el del acero del anillo.

Ejemplo ilustrativo

A continuación se presenta el cálculo del anillo-viga, de sección transversal rectangular, de los soportes colocados cada 25,00 m, que sirven de apoyo a una tubería de acero de norma ASTM-A-53 Grado A; $\sigma_{ced} = 2.110 \text{ kg/cm}^2$; $\phi_{Ext} = 1.016 \text{ mm}$; Esp. = 9,53 mm; y presión de trabajo en el tramo P = 10 kg/cm². El anillo-viga de sección transversal rectangular Ch será construido con lámina de acero de punto cedente $\sigma_{Ced} = 2.500 \text{ kg/cm}^2$.

$$\text{mm}; r = 503,24 \text{ mm}; t = 9,53 \text{ mm}$$

$$C = 30,00 \text{ mm} \quad h = 60,00 \text{ mm}$$

$$W_t = 236,52 * 25 = 5.913,00 \text{ kg (tubo)}$$

$$W_a = \frac{\pi 0,997^2}{4} 25 * 1000 = 19.517,32 \text{ kg (agua)}$$

$$W_t = 25.430,32 \text{ kg}$$

$$\text{Columnas de } 160 \times 160 \text{ mm} \Rightarrow a = 35 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow b = \frac{a}{R} = \frac{35}{538} = 0,065 \Rightarrow 6,5 \%$$

De la figura 8 se obtiene:

$$M = \pm 0,01625 * 25.430,32 * 0,538$$

$$M = \pm 222,32 \text{ kg-m}$$

$$CFT = \pm 0,025 \quad T = \pm 0,025 * 25.430,32$$

$$T = \pm 635,76 \text{ kg}$$

De la figura 9 se obtiene:

$$CFV = -0,10027 \quad V = -0,10027 * 25.430,32$$

$$V = -2.549,90 \text{ kg}$$

$$\text{Área transversal de la viga } A_r = 18,00 \text{ cm}^2$$

$$\text{Momento de Inercia} \quad I = 54,00 \text{ cm}^4$$

$$\text{Distancia del eje neutro a la fibra más alejada} \\ y = 3,0 \text{ cm}$$

$$\sigma_M = \frac{My}{I} = \frac{\pm 22.232,00 * 3,00}{54,00} = \pm 1.235,11 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_T = \frac{T}{A_r} = \frac{\pm 635,76}{18,00} = \pm 35,32 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_v = \frac{V}{A_r} = \frac{-2.549,90}{18,00} = -141,66 \text{ kg/cm}^2$$

La presión interna genera un esfuerzo de tracción normal sobre las secciones transversales de la viga que se calcula mediante la ecuación (26). En vista de que la presión en la superficie externa del anillo es cero, el mayor esfuerzo se producirá en la superficie interna del anillo que corresponde a la superficie externa de la tubería.

$$\sigma_P = \frac{49,95^2(-10,00)}{56,8^2 - 49,95^2} - \frac{49,95^2 * 56,8^2(-10,00)}{(56,8^2 - 49,95^2) 50,8^2}$$

$$\sigma_P = 8,54 \text{ kg/cm}^2$$

En vista de que todos estos valores de los esfuerzos máximos se producen en la sección correspondiente al ángulo $x = 90^\circ$, se obtiene:

$$\sigma_N = \sigma_M + \sigma_T + \sigma_P = 1.235,11 + 35,32 + 8,54$$

$$\sigma_N = 1.278,97 \text{ kg/cm}^2$$

Mediante el uso de la ecuación (28) se obtiene el esfuerzo normal de fluencia σ_S :

$$(1.278,97)^2 + (-1.278,97)^2 + 6 * (-141,66^2) = 2\sigma_S^2$$

$$\Rightarrow \sigma_S = 1.302,29 \text{ kg/cm}^2$$

Debe cumplirse:

$$\sigma_S < 0,66\sigma_{Ced} \Rightarrow$$

$$1.302,29 \text{ kg/cm}^2 < 1.650,00 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Bien}$$

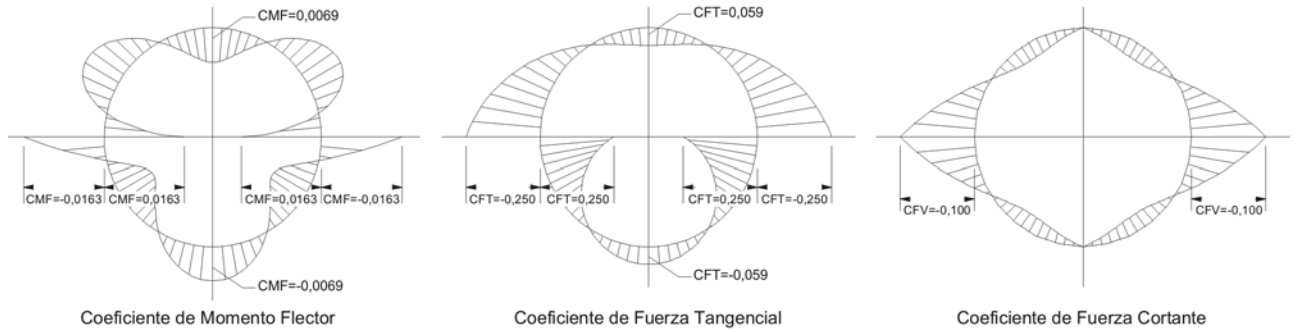


Figura 10. Distribución de solicitaciones para $a = 0,065 R$.

El anillo pudiera tener menor altura porque con este valor de σ_s estará trabajando a $0,52\sigma_{Ced}$.

Si la excentricidad fuera menor de 4%, por ejemplo 2,5%, hay que estimar el esfuerzo normal de fluencia σ_s en varias secciones transversales de la viga y determinar el mayor de ellos.

Se escogieron secciones comprendidas entre 0° y 90° separadas cada 5° y mediante las ecuaciones 20, 21 y 22, que han dado origen a los gráficos de las figuras 4, 5 y 6, y se obtuvieron los valores de CMF, CFT y CFV; se calcularon: el momento flector, la fuerza tangencial y la fuerza de corte y luego los correspondientes esfuerzos y mediante la ecuación (26) se calculó el esfuerzo de tracción normal que se produce sobre las secciones transversales de la viga, debido a la presión interna. Conocidos los esfuerzos se aplicó la ecuación (27) y se obtuvieron los valores del esfuerzo normal de fluencia σ_s . El mayor valor obtenido es:

$$\sigma_s = 1.278,17 \text{ kg/cm}^2 < 1.650,00 \text{ kg/cm}^2 \text{ Bien.}$$

En la figura 10 se muestra la variación de los coeficientes CMF, CFT y CFV.

CONCLUSIONES

Se encontró que el diseño del anillo de refuerzo de un soporte tipo anillo-viga de acuerdo a lo establecido por Schorer (1933), al estar limitado el valor de la excentricidad de las fuerzas transmitidas al anillo por las columnas a 4%, puede conducir a errores puesto que cuando el valor de la excentricidad es mayor o menor de 4% se producirán momentos flectores y fuerzas de corte mayores a los estimados mediante las ecuaciones propuestas por Schorer (1933).

Se prepararon gráficos y se obtuvieron ecuaciones que sirven para estimar el momento flector, la fuerza tangencial y la fuerza de corte que se producirán en cualquier sección transversal del anillo de refuerzo cuando la excentricidad de las fuerzas de reacción que le transmiten a éste las columnas del apoyo, tome valores comprendidos entre 0% y 22%.

REFERENCIAS

- CATES, W. (1950). Design standards for large-diameter steel water pipe. Jour. AWWA, pp. 860-886.
- GILMOR, R.E. (1989). *Steel Pipe, A Guide for Design and Installation*; Manual AWWA M11. Third Edition. American Water Works Association, Denver, USA. p. 186.
- LEVI, E. (1977). *Elementos de Mecánica del medio Continuo*. Editorial Limusa. México. p. 287.
- PRICE, H.A. and Hurlbut, W.W. (1964). *Steel Pipe, Design and Installation; Manual AWWA M11*. American Water Works Association, New York. p. 260.
- ROARK, R.J. (1954). *Formulas de Resistencia de Materiales, Esfuerzos y Deformaciones*. McGraw-Hill Book Co. New York. p. 392.
- SCHORER, H. (1933). Design of Large Pipelines. Trans. ASCE, pp. 98-101.
- TROITSKY, M.S. (1986). *Tubular steel structures*, Concordia University, Montreal, Canada. p.347.
- WELDED STEEL PENSTOCKS. (1977). Engineering Monograph N° 3. Bureau of Reclamation, United States Department of the Interior, Washington. p.51.