

ASTM International tradujo D 2412-02, pero reconoce que la traducción ha pasado por un proceso de revisión limitado. Esta traducción es como referencia únicamente. Sólo la edición en inglés publicada con los derechos de propiedad intelectual de ASTM se debe considerar como versión oficial. La reproducción de esta traducción, sin la autorización de ASTM por escrito, está estrictamente prohibida bajo las leyes de propiedad intelectual de los Estados Unidos e internacionales.



**Designation: D 2412-02**

Una Norma Nacional Norteamericano

## **Método de prueba estándar para determinar las características de la carga externa en una tubería plástica mediante la carga con placas paralelas<sup>1</sup>**

Esta norma se publica bajo la designación fija D2412; el número que sigue inmediatamente a la Designación indica el año de adopción original de la norma, o en caso de una revisión, indica el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última re-aprobación. La letra epsilon (ε) en superíndice indica un cambio editorial desde la última revisión o re-aprobación.

*Esta norma ha sido aprobada para su uso por las agencias del Departamento de Defensa.*

### **1. Alcance**

1.1 Este método de prueba cubre la determinación de las características de la deformación por carga de tuberías plásticas bajo carga de placas paralelas.

1.2 Este método de prueba cubre tuberías de resina termoplásticas, tuberías de resina termoestable reforzadas (RTRP), y tuberías de mortero de polímero reforzados (RPMP).

1.3 Las características determinadas por este método de prueba son la rigidez de la tubería, el factor de rigidez, y la carga en deformaciones específicas.

1.4 Los valores establecidos en unidades pulgada-libra deben considerarse como el estándar. Los valores entre paréntesis son únicamente informativos.

**NOTA 1**– Ya que este método de prueba puede usarse para medir la rigidez de tuberías de plástico corrugado, se utilizan procedimientos y condiciones especiales. Estos detalles están incluidos en las normas de los productos, por ejemplo, la Especificación F 405.

1.5 El texto de este método de prueba hace referencia a notas y notas al pie de página que proveen material explicativo. Estas explicaciones y notas al pie de página (excluyendo aquellas en las tablas y diagramas) no deben considerar requisitos del método de prueba.

1.6 *Esta norma no pretende abarcar todos los aspectos sobre seguridad, en caso de corresponder, asociados con el uso de la norma. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las medidas de seguridad y salud adecuadas, y determinar la aplicabilidad de limitaciones reglamentarias antes de su uso.*

### **2. Documentos de Referencia**

#### 2.1 Normas ASTM:

D 695 Método de prueba para propiedades de resistencia a la compresión de plásticos rígidos<sup>2</sup>

D 1600 Terminología para términos abreviados relacionados con plásticos<sup>2</sup>

D 2122 Método de prueba para determinar las dimensiones de tuberías y accesorios termoplásticos<sup>3</sup>

E 177 Práctica para el uso de los términos Precisión y Desvío en los métodos de prueba ASTM<sup>4</sup>

E 691 Práctica para la realización de un estudio entre laboratorios para determinar la precisión de un método de prueba<sup>4</sup>

F 405 Especificación para tuberías y accesorios de polietileno corrugado (PE)<sup>3</sup>

F 412 Terminología relacionada con los sistemas de tuberías plásticas<sup>3</sup>

### **3. Terminología**

3.1 *Definiciones:* las definiciones coinciden con la Terminología F 412, y las abreviaciones con la Terminología D 1600, a menos que se especifique de otra manera.

3.2 *Definiciones de términos específicos de esta norma:*

<sup>1</sup> Este método de prueba está bajo la jurisdicción del Comité ASTM F17 sobre Sistemas de Tuberías Plásticas y es responsabilidad directa el Subcomité F17.40 sobre Métodos de Prueba.

Edición actual aprobada el 10 de abril de 2002. Publicada en junio de 2002. Publicada originalmente como D2412-65 T. Última edición previa D 2412-96a.

<sup>2</sup> Libro Anual de Normas ASTM, Vol. 08.01

<sup>3</sup> Libro Anual de Normas ASTM, Vol. 08.04.

<sup>4</sup> Libro Anual de Normas ASTM, Vol. 14.02.

3.2.1  $\Delta y$  – cambio medido del diámetro interno en la dirección de la aplicación de la carga expresado en pulgadas (milímetros).

3.2.2 *diámetro interno inicial (d)*– promedio de los diámetros internos, determinados por varios especímenes de prueba y expresados en pulgadas (milímetros).

3.2.3 *carga (F)*– carga aplicada a la tubería para producir un determinado porcentaje de deformación. Expresado como newtons por metro o libra-fuerza por pulgada lineal.

3.2.4 *radio medio (r)*– radio medio de la pared se determina restando el diámetro externo promedio del espesor promedio de la pared y dividiendo la diferencia por dos. Expresado en pulgadas (milímetros).

3.2.5 *deformación de la tubería (P)*– relación entre la reducción del diámetro interno de la tubería y el diámetro interno inicial expresado como porcentaje del diámetro interno inicial.

3.2.6 *eventos significativos de las tuberías:*

3.2.6.1 *fisuras o cuarteaduras en revestimiento* - aparición de una rotura o red de roturas finas en la revestimiento notorias a simple vista.

3.2.6.2 *rotura* – fisura o fractura que se extiende completa o parcialmente por la pared de la tubería.

**NOTA 2**--Los eventos significativos enumerados pueden o no ocurrir en cierto material determinado de tubería.

3.2.6.3 *fisuras en paredes* – ocurrencia de fractura en la pared de la tubería notoria a simple vista.

3.2.6.4 *deslaminación de la pared* – ocurrencia de separación en los componentes de la pared de la tubería notoria a simple vista.

3.2.7 *rigidez de la tubería(PS)*–valor obtenido de la división de la fuerza por longitud unitaria del espécimen, sobre la deformación resultante en las mismas unidades que la deformación porcentual establecida.

3.2.8 *factor de rigidez (SF)*–resultado de multiplicar la rigidez de la tubería por la cantidad  $0,149 r^3$ .

3.2.8.1 *Discusión* – La “rigidez de la tubería” y “el factor de rigidez” se relacionan como se indica a continuación:

$$PS = F / \Delta y \quad (1)$$

$$SF = EI = 0,149 Fr^3 / \Delta y = 0,149 Fr^3 (PS) \quad (2)$$

**NOTA 3**--Ver apéndice X2 para obtener información relacionada con PS, E, y  $\Delta y$ .

#### 4. Resumen del método de prueba

4.1 Se coloca un trozo pequeño de tubería entre dos placas planas rígidas paralelas a una velocidad de acercamiento controlada entre sí. Se obtienen los datos de carga-deformación (del diámetro de la tubería). Si ocurriesen fisuras, cuarteaduras, deslaminación o rotura, se registran la carga y deformación correspondientes.

#### 5. Importancia y uso

5.1 Las propiedades de carga externa de la tubería de plástico obtenidas por este método de prueba se utilizan:

5.1.1 Para determinar la rigidez de la tubería, que es una función de las dimensiones de la tubería y de las propiedades físicas del material del cual está hecha la tubería.

5.1.2 Para determinar las características de la carga-deformación y de la rigidez de la tubería, las cuales se utilizan para diseño de ingeniería (ver Apéndice X1).

5.1.3 Para comparar las características de varios plásticos en forma de tubería.

5.1.4 Para estudiar las dimensiones de las interrelaciones y propiedades de deformación de tuberías de plástico y tuberías de conducción.

5.1.5 Para medir la deformación y la resistencia a la carga en cualquiera de los varios eventos significativos, si ocurriesen durante la prueba.

#### 6. Equipos de laboratorio



6.1 *Máquina de pruebas* – para realizar las pruebas se utilizará una máquina para pruebas de compresión, con movimiento de índice constante de cruceta, calibrada apropiadamente, que cumpla con los requisitos del Método de Prueba D 695. La velocidad de acercamiento de las cabezas debe ser  $0,50 \pm 0,02$  pulgadas ( $12,5 \pm 0,5$  mm.)/min.

**NOTA 4** – comúnmente se utilizan máquinas hidráulicas de prueba que pueden variar ligeramente de estos límites de velocidad y resultan satisfactorias para probar tuberías RTRP y RPMP de por lo menos 24 pulgadas (610 mm.) de tamaño.

6.2 *Placas de carga* – la carga se debe aplicar al espécimen a través de dos placas de apoyo de acero paralelas. Las placas deben ser planas, uniformes y estar limpias. El espesor de las placas debe ser tal que no se doblen ni se deformen durante la prueba, pero no debe ser inferior a 0,25 pulgadas (60 mm.). La longitud de la placa debe igualar o exceder el largo del espécimen y el ancho de la placa no debe ser inferior al ancho de contacto de la tubería a la máxima deformación de la tubería más 6,0 pulgadas (150 mm.).

**NOTA 5** – Algunos tipos de máquinas de pruebas pueden requerir placas de mayor espesor para impedir que se doblen.

6.3 *Indicador de deformación* –El cambio en el diámetro interno, o deformación paralela en dirección de la carga, se debe medir con un instrumento adecuado que cumpla con los requisitos del Método de Prueba D 695, con la excepción de que el instrumento debe tener una exactitud lo más próxima a 0,010 pulgadas (0,25 mm.). El instrumento no debe sostener la tubería (espécimen de prueba) ni la placa, ni afectar en forma alguna las medidas de deformación de la carga. Los cambios en el diámetro se miden durante la carga, registrando continuamente el desplazamiento de la placa o computándolo periódicamente.

## 7. Especímenes de Prueba

7.1 Para tuberías termoplásticas, el espécimen de prueba debe ser un tramo de tubería de  $6 \pm 1/8$  de pulgadas ( $150 \pm 3$  mm.) de largo.

7.2 Para tuberías de resina termoestables reforzadas, el largo mínimo del espécimen de prueba debe ser tres veces el diámetro nominal de la tubería o 12,0 pulgadas (300 mm.), el que sea menor. En el caso de tuberías que superen las 60 pulgadas (1524 mm.) de diámetro, el largo mínimo del espécimen deberá ser el 20 % del diámetro nominal ajustado lo más próximo a 1 pulgada (25,4 mm.).

7.3 Los extremos de los especímenes deben cortarse en ángulo recto y no deben tener rebabas ni irregularidades.

7.4 Se probarán no menos de tres especímenes por cada muestra de tubería.

**NOTA 6** – para el control de calidad, puede utilizarse un único espécimen con la pared más delgada en la parte superior.

7.5 Ciertas tuberías RTRP exhiben irregularidades en la superficie porque el proceso de producción es controlado por el diámetro interno. Para asegurar resultados exactos en las pruebas mediante carga de platos paralelos, el espécimen de prueba se debe cargar uniformemente a lo largo de toda la superficie de apoyo. Si hubiera irregularidades en la superficie (áreas ricas en resina) del diámetro externo que impidieran que la las distribución uniforme de la carga, se debe lijar a mano la superficie externa a lo largo de la línea de carga. Debe lijarse únicamente sin dañar el refuerzo. Debe tenerse en cuenta que debe lijarse únicamente a lo largo de las líneas de contacto con las placas.

## 8. Acondicionamiento

8.1 Acondicionar la tubería durante al menos 4 horas en aire, a una temperatura ambiente de  $73,4 \pm 3,6^\circ$  F ( $23 \pm 2^\circ$  C) y realizar la prueba en un lugar en el que la temperatura se mantenga constante.

8.2 En caso de ser necesaria una prueba de referato, acondicionar los especímenes durante al menos 40 horas a  $73,4 \pm 3,6^\circ$  F ( $23 \pm 2^\circ$  C), al  $50 \pm 5$  % de humedad relativa y realizar la prueba bajo las mismas condiciones.

## 9. Procedimiento

9.1 Tomar las siguientes medidas en cada espécimen:

9.1.1 Determinar la longitud de cada espécimen lo más próximo a 1/32 pulgadas (1 mm.) o mejor aún, tomando y promediando al menos cuatro mediciones del perímetro igualmente espaciadas.

9.1.2 Medir el espesor de la pared de cada espécimen de acuerdo con el Método de Prueba D 2122. Tomar al menos ocho medidas igualmente espaciadas alrededor de un extremo y calcular el espesor promedio de la pared.

9.1.3 Determinar si existe una línea de espesor mínimo en la pared a lo largo del espécimen, y de ser así, se debe marcar para su uso en 9.2.1.

**NOTA 7** – En RTRP y RPMP, las medidas de la tubería se pueden hacer en ambos extremos.

9.1.4 Determinar el promedio del diámetro externo lo más próximo a 0,01 pulgadas (0.2 mm.) usando una cinta de aislar circunferencial o promediando el máximo y mínimo de los diámetros externos medidos con un micrómetro o calibre.

9.1.5 Para tuberías controladas por diámetro externo (OD, por sus siglas en inglés), calcular el promedio del diámetro interno de la tubería (ID) sustrayendo dos veces el promedio de todos los espesores de las paredes (9.1.2) del promedio de todos los diámetros externos (9.1.4) Para tuberías controladas por diámetros internos (ID) determinar el ID promedio midiendo los diámetros internos máximos y mínimos. Este promedio ID de debe utilizar como base para computar el porcentaje de deformación de todos los especímenes en ese lote de tuberías.

9.2 Ubicar el tramo de tubería con su eje longitudinal paralelo a las placas de apoyo y centrarlo lateralmente en la máquina de pruebas.

9.2.1 Si se ha encontrado una orientación con un espesor de pared mínimo, colocar el primer espécimen de tal forma que la pared más delgada quede hacia arriba y rotar los especímenes sucesivos 35 y 70°. Si no se ha identificado un espesor mínimo de la pared, se puede utilizar cualquier línea de base.

9.3 Con el indicador de deformación en su lugar, colocar la placa superior en contacto con el espécimen con una carga que no sea superior a la necesaria para mantenerlo en su lugar. Esto establece el punto de inicio de las siguientes mediciones de deformación.

9.4 Comprimair el espécimen a una velocidad constante de 0,50 ± 0,02 pulgadas (12,5 ± 0,5 mm.)/minuto.

**NOTA 8** — para tuberías de mayor tamaño fabricadas con materiales de módulo relativamente bajo, el deslizamiento puede afectar los resultados de esta prueba debido a la velocidad con que se aplica la carga especificada.

9.5 Registrar continua o intermitentemente las medidas de deformación por carga con respecto al movimiento relativo de las placas de apoyo. Si las medidas se toman intermitentemente, tomar y registrar dichas medidas en incrementos inferiores al 5 % del diámetro interno promedio del espécimen. Ver Anexo A1.

9.6 Observar y anotar la carga y deformación ante la primera evidencia de cada uno de los siguientes eventos significativos, si ocurrieran:

9.6.1 Fisura o cuarteaduras del revestimiento.

9.6.2 Fisura en la pared.

9.6.3 Deslaminación en la pared.

9.6.4 Rotura.

9.7 Registrar el tipo y posición de cada evento respecto a la carga y deformación correspondientes. Suspender la prueba si:

9.7.1 La carga sobre el espécimen no aumenta al aumentar la deformación (el punto máximo de deformación por carga ha sido alcanzado).

9.7.2 La deformación del espécimen alcanza el 30 % del diámetro interno promedio o la deformación máxima necesaria.

## 10. Cálculo

10.1 Calcular la rigidez de la tubería, PS, para cualquier deformación dada de la siguiente manera:

$$PS = F/\Delta y \quad \text{lbf/in./in. (kPa)} \quad (3)$$

**NOTA 9**--Consultar el Apéndice X3 para información adicional sobre las unidades.

10.2 Cuando sea necesario, calcular el factor de rigidez, SF, para cualquier deformación de la siguiente manera:

$$SF = 0,149 r^3 - PS \quad \text{in}^3\text{-lbf/in}^2 \text{ (Pa . m}^3\text{)} \quad (4)$$

10.3 Cuando sea necesario, calcular el porcentaje de deformación de la tubería, P, como se indica a continuación:



$$P = \Delta y/d \times 100$$

(5)

## 11. Informe

11.1 Indicar la siguiente información:

11.1.1 Identificación completa del material probado, incluyendo tipo, origen, código del fabricante, historia previa (de existir), e identificación del producto por número estándar.

11.1.2 Dimensiones de cada espécimen, incluyendo el diámetro externo promedio, el espesor promedio de la pared, el diámetro interno promedio, el espesor del revestimiento y espesor del refuerzo cuando corresponda, y la longitud promedio.

11.1.3 Si se lijó el diámetro externo del espécimen.

11.1.4 Temperatura, hora y ambiente de acondicionamiento.

11.1.5 Carga y deformación en que ocurrieron cualquiera de los siguientes eventos:

11.1.5.1 Fisura o cuarteaduras del revestimiento,

11.1.5.2 Fisura de pared,

11.1.5.3 Deslaminación en la pared, y

11.1.5.4 Rotura.

11.1.6 Razón por la que se terminó la prueba.

11.1.7 Si corresponde, un diagrama en coordenadas cartesianas de la carga en libras-fuerza (o Newtons por metro) vs. la deformación en pulgadas (o milímetros) para cada espécimen probado. Cuando corresponda, deberá anotarse en el diagrama, cada uno de los siguientes acontecimientos .

11.1.7.1 Fisuras o cuarteaduras en la revestimiento.

11.1.7.2 Fisura de pared.

11.1.7.3 Deslaminación de la pared.

11.1.8 Dureza de la tubería,  $F/\Delta y$ , a una deformación de 5 a 10 % para cada espécimen. Si cualquier fisura, cuarteadura en el revestimiento, o deslaminación ocurriera por debajo del 5 % de deformación, calcular la rigidez de la tubería a ese porcentaje de deformación en el que ocurrió la fisura o deslaminación y anotar esto en el informe.

11.1.9 Cuando se solicite específicamente, determinar el factor de rigidez, SF, a 5 y 10 % de deformación para cada espécimen. Si ocurrieran fisuras, cuarteaduras en el revestimiento, o deslaminaciones por debajo del 5 % de deformación, calcular el factor de rigidez aparente al porcentaje de deformación en cual ocurrió la fisura o deslaminación y anotarlo en el informe.

11.1.10 Fecha de la prueba.

## 12. Precisión y desvío

12.1 *Precisión*<sup>5</sup> – se realizó un estudio entre laboratorios sobre la rigidez de la tubería de acuerdo con la Práctica E 691, en el que participaron siete laboratorios, y en el que cada uno obtuvo nueve resultados a tres niveles de deformación en tres muestras de tubería. Las muestras de las tuberías fueron C = tubería de PE corrugado de 4-pulgadas, A = tuberías de drenaje, desagüe y ventilación (DWV) SDR 26 ABS de 6 pulgadas y B = tuberías de desagüe de SDR 35 PVC de 12 pulgadas. En la Tabla 1 se presenta información sobre la precisión.

12.2 *Desvío (Bias)*<sup>5</sup> – se considera que los datos obtenidos mediante este método son confiables ya que se utilizan técnicas de análisis aceptadas. Sin embargo, por no haber método de referencia disponible, no se hace declaración alguna de desvío.

**TABLA 1 Rigidez de la tubería – Estadísticas de Precisión<sup>A</sup>**

Material	Nivel de Deformación, %	Promedio		$S_R^D$	$S_R^B$	$r$	R	Desviación Estándar de promedios de Celdas <sup>C</sup>	Desviación Estándar de Repetibilidad <sup>C</sup>	Desviación Estándar de Reproducibilidad	Límite de Repetibilidad (95 %) <sup>C</sup>	Límite de Reproducibilidad (95 %) <sup>C</sup>
A	2,5	772,3	54,95	84,69	101,0	237,1	282,7	7,11	11,0	13,1	30,7	36,6
B	2,5	380,2	20,52	18,12	27,37	50,72	76,64	5,40	4,77	7,20	13,3	20,2
C	2,5	463,9	79,07	57,82	97,96	161,9	274,3	17,0	12,5	21,1	34,9	59,1
A	5,0	755,7	33,30	80,30	86,93	224,8	243,4	4,41	10,6	11,5	29,7	32,2
B	5,0	356,1	19,13	15,32	24,51	42,89	68,62	5,37	4,30	6,88	12,0	19,3
C	5,0	419,4	37,80	27,74	46,89	77,68	131,3	9,01	6,61	11,2	16,5	31,3
A	7,5	724,8	27,85	76,14	81,07	213,2	227,0	3,84	10,5	11,2	29,4	31,3
B	7,5	332,6	16,87	13,94	21,88	39,02	61,27	5,07	4,19	6,58	11,7	18,4
C	7,5	371,7	26,70	18,82	32,66	52,69	91,45	7,18	5,06	8,79	14,2	24,6

Los términos se usan como se especifica en la Práctica E 177.

<sup>B</sup> $S_R$  = Desviación estándar de repetibilidad (variación de réplicas de muestras por el mismo laboratorio).

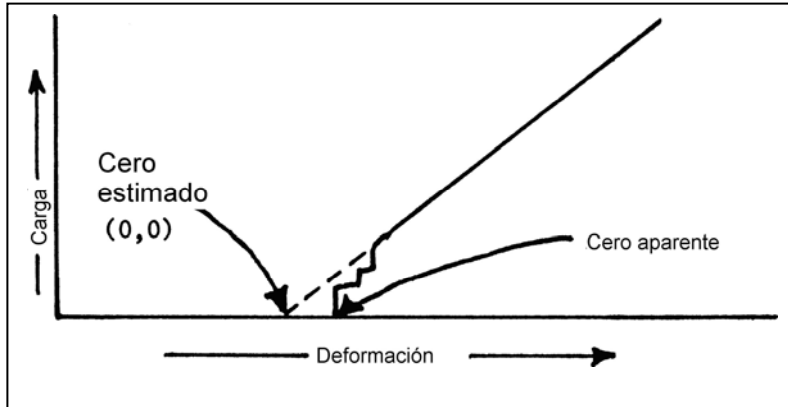
$S_R$  = Desviación estándar de reproducibilidad (variabilidad entre laboratorios).

<sup>C</sup> Estadísticas de precisión como porcentaje del promedio.

**ANEXO  
(Información Obligatoria)**

**A1. GRÁFICO DE CARGA VS. DEFORMACIÓN**

**A1.1** El gráfico de carga vs. deformación es típicamente una curva llana. En algunos casos, por ejemplo, cuando la curva se genera automáticamente, el punto cero aparente está en error: por ejemplo, la Fig. A1.1. En tales casos, la porción de la línea recta inicial de la curva se podría extrapolar hacia atrás y esta intersección se usa como punto (0,0).



**FIG A1.1. Método para estimar el origen**

**APÉNDICES**  
**(Información no obligatoria)**

**X1. MÉTODO PARA APLICAR LA RIGIDEZ DE UNA TUBERÍA EN EL DISEÑO DE INGENIERÍA**

X1.1 El PS determinado por este método de prueba se puede usar para calcular las deformaciones aproximadas bajo la carga de tierra. Consecuentemente, la siguiente ecuación modificada de Spangler es una expresión disponible que puede usarse para dar aproximaciones a las deformaciones que ocurren en tuberías de plástico bajo la carga de tierra:

$$x = \frac{D_e K W_c}{0,149 PS + 0,061 E'}$$

donde:

$X$	=	deformación horizontal del tubo, pulgadas (o mm.), (puede tomarse también como la deformación vertical),
$K$	=	constante del lecho, dependiente del soporte que la tubería recibió del fondo de la zanja,
$W_c$	=	carga vertical por unidad de largo de la tubería, lbf/in. (o N/m) de tubería,
$PS$	=	$F/\Delta y$ = rigidez de la tubería (según la determinara la prueba), lbf/in./in. o (kPa),
$D_e$	=	factor de retraso de deformación, y
$E'$	=	módulo de reacción del suelo, psi (o kPa).

**X.1.2** La rigidez de la tubería también se relaciona con las características de instalación y el manejo de una tubería durante las primeras etapas de consolidación del suelo alrededor de la tubería. Puede existir una rigidez mínima de tubería, por debajo de la cual resulta difícil instalarla. Deben tenerse en cuenta las condiciones locales y la práctica de instalación al seleccionar este mínimo, para un proyecto en particular, y al asignar valores específicos usados en las ecuaciones antes mencionadas para la deformación de tuberías.

**X2. PS Y SF VS. DEFORMACIÓN**

**X.2.1** El  $EI$  de una tubería es una función del módulo de flexión del material ( $E$ ) y del espesor de la pared ( $t$ ) de la tubería, puesto que  $I = t^3/12$ . Como tal, es un valor fijo para cualquier conjunto de materiales y parámetros dimensionales dados. Sin embargo, las cantidades, rigidez de la tubería ( $PS$ ), y factor de rigidez ( $SF$ ), son valores computados determinados a partir de la resistencia de la prueba a deformación en particular. Estos valores dependen altamente del grado de deformación, ya que la tubería deforma el radio de los cambios de curvatura. Mientras mayor sea la deformación a la cual se determinan  $PS$  o  $SF$ , mayor será la magnitud de la desviación del valor  $EI$  verdadero. Al aplicar el factor de corrección  $C = [1 + (\Delta y/2d)]^3$ , los valores  $PS$  o  $SF$  medidos pueden relacionarse con el verdadero  $EI$  de la tubería, siempre y cuando la tubería permanezca elíptica. Por lo tanto:

$$PS = \frac{F}{\Delta y} C = \frac{F}{\Delta y} \left( 1 + \frac{\Delta y}{2d} \right)^3$$



$$EI = (SF) = 0.149 r^3 (\text{PS})$$

**X2.2** Esta corrección se debe incorporar al uso de los valores de deformación de la carga de este método de prueba para calcular el módulo de flexión de un material. También se debe reconocer que en el estudio del comportamiento en cuanto a la deformación de las tuberías, el término  $EI$  es el que se usó para desarrollar gran parte de la teoría sobre tuberías flexibles.

### X3. UNIDADES PARA PS Y SF

**X3.1** El valor de rigidez de la tubería se calcula dividiendo la fuerza por unidad de largo por la deformación. En el sistema de unidades pulgada-libra, éste es libra-fuerza por pulgada de largo por pulgada de deformación,  $\text{lb}/(\text{in} \cdot \text{in})$ : esto es comúnmente expresado como  $\text{lb}/\text{in}^2$  o psi. En el SI, con la fuerza expresada en newtons por metro de longitud y la deformación en milímetros, el PS se expresa en kilopascales (kPa). Aunque las unidades de PS son dimensionalmente iguales a aquellas para presión y tensión, son cantidades diferentes y no se deben confundir las unas con las otras.

**X3.2** El factor de rigidez se calcula desde PS y el radio medio de la tubería, en pulgadas o milímetros. Estas unidades son  $\text{in}^3 \cdot \text{lb}/\text{pulgadas}^2$  o  $\text{mm}^3 \cdot \text{kPa}$  que pueden expresarse dimensionalmente como  $\text{lb} \cdot \text{in}.$  o  $\mu\text{N} \cdot \text{m}.$



## D 2412

*ASTM Internacional no toma posición alguna respecto de la validez de cualquier derecho de patente declarado en conexión con cualquier punto mencionado en esta Norma. Se informa a los usuarios de esta norma que la determinación de la validez de cualquier derecho de patente y el riesgo de infringir tales derechos es enteramente su responsabilidad.*

*Esta norma está sujeta a revisión en cualquier momento por el Comité Técnico responsable y se debe revisar cada cinco años y en caso de que no se revise, será aprobada nuevamente o eliminada. Se agradecen sus comentarios respecto a la revisión de esta norma o a la adición de otras y deben dirigirse a la oficina central de ASTM Internacional. Sus comentarios recibirán cuidadosa consideración en una reunión del Comité Técnico responsable, a la que usted puede asistir. Si usted cree que sus comentarios no han recibido la atención adecuada puede comunicárselo al Comité sobre Normas de ASTM, en la dirección que aparece más adelante.*

*Esta norma tiene derechos de propiedad intelectual. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.*

*Se pueden obtener reimpresiones individuales (una o varias copias) de esta norma contactando a ASTM en la dirección que aparece anteriormente o al 610-832-9585 (teléfono), al 610-832-9555 (fax); o a la dirección de correo electrónico [service@astm.org](mailto:service@astm.org); o a través de la página web de ASTM ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*