

EXAMENES CONCERNIENTES AL APLASTAMIENTO DE TUBERÍAS HECHAS DE PE-80, PE-100 Y PE-Xa

J. Wüst

SKZ Süddeutsches Kunststoff-Zentrum, Würzburg, Alemania.

Tomado: Plastics Pipes XI (Munich Germany, 3-6 Septiembre 2001, Páginas 539-546)

Traducido por: Ing. Javier Fernando Rojas Durán

Revisado por: Ing. Jorge Eleazar Castellanos Hernández

Calidad1@extrucoil.com

RESUMEN

Este artículo trata acerca del aplastamiento de tubos de diferentes dimensiones hechos de PE 80, PE 100 y PE Xa (Poliétileno reticulado). Después de haber aplastado los tubos a una tasa de 0.80 se examina la impermeabilidad del agua y del aire del punto en el punto de aplastamiento a diferentes presiones, y se determinan las tasas de escape o fuga. Después de reformar la tubería se ensaya la resistencia a la presión hidrostática de largo plazo.

Se ha determinado que hasta espesores de pared de tubería de aproximadamente 10 mm (4 pulg.) los materiales de tuberías examinadas pueden ser aplastados suficientemente manteniendo la impermeabilidad del aire y del agua. Para tuberías con espesores de pared mayor el punto de aplastamiento no es hermético debido a la gran formación de surcos o grietas en el interior de la tubería resultando en un daño permanente de la tubería. Durante el ensayo de presión hidrostática de largo plazo los tubos aplastados a una tasa de 0.80 y posteriormente reformados cumplieron con todos los requisitos de la norma.

INTRODUCCION

Por más de 20 años el aplastamiento como también la introducción de burbujas han sido utilizados para reparaciones y para la instalación de derivaciones con tuberías de gas hechas de PE. De acuerdo con las regulaciones para prevención de accidentes (VGB 50) este procedimiento es aceptado para el corte de flujo provisional (Aumüller (1)). La aplicación de este procedimiento fue basado en la experiencia realizada en la práctica así como en ciertas pruebas adicionales hechas a la mayoría de

ellas por empresas de servicios públicos. En el suministro de agua, sin embargo, este procedimiento ha sido fuertemente utilizado hasta ahora.

Usted encontrará más adelante algunos resultados realizados durante series de ensayos de tuberías aplastadas hechas de polietileno en el SKZ de Würzburg. Este proyecto fue ordenado por el Deutsche Vereinigung des gas-und Wasserfaches e.V., DVGW. Los resultados fueron usados para actualizar una guía de trabajo DVWG GW 332 "Aplastamiento de tuberías hechas de PE para suministro de gas y agua" (2). El propósito de esta serie de ensayos fue examinar la capacidad de aplastamiento de diferentes tipos de materiales (PE 80, PE 100 Y PE Xa) y diámetros de tuberías bajo las condiciones de ensayo dadas por el DVGW. Para hacer esto, las secciones de tubería aplastada fueron cargadas con una presión interna (aire comprimido y agua) para determinar la tasa de fugas en el punto de aplastamiento. Después de reformar los tubos fueron ensayados por 1000 horas durante un ensayo de presión hidrostática de largo plazo.

Los exámenes ejecutados deben determinar la efectividad del aplastamiento tanto para tuberías de gas como de agua bajo las condiciones requeridas así como los parámetros causantes del daño permanente en la tubería.

Para demostrar en detalle que tanto influencia el procedimiento de aplastamiento en la calidad de la tubería, un modelo fenomenológico desarrollado por Stephens et al (3), describiendo el efecto de las prácticas y los parámetros de aplastamiento sobre el daño de la tubería de PE para gas.

DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO DE APLASTAMIENTO

Una tubería es aplastada con la ayuda de dos barras paralelas móviles hasta que el flujo medio se reduce o se detiene. La figura 1 muestra la herramienta de aplastamiento incluyendo la tubería aplastada.

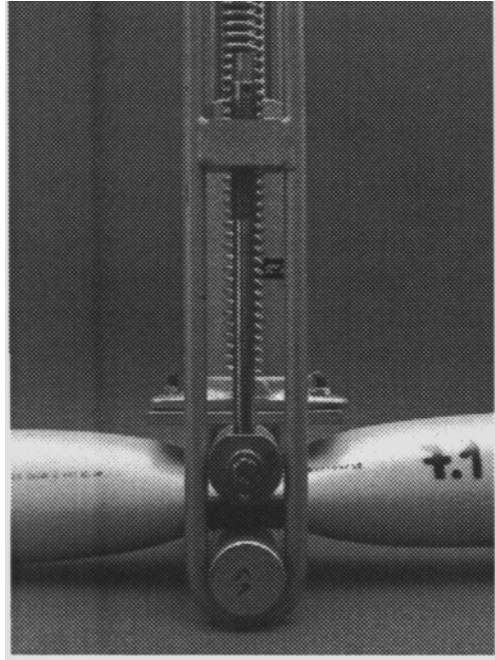


Figura 1. Herramienta de aplastamiento incluyendo tubería aplastada.

Los términos de la tasa de aplastamiento y la compresión del espesor de pared describen que tanto es aplastado el tubo (vea la figura 2). La tasa de aplastamiento (AG) es definida como el cociente de la distancia entre la barra de presión del aparato de aplastamiento (h) y el doble de espesor de pared del tubo ($2s$)

$$AG = \frac{h}{2s}$$

La compresión del espesor de pared (WK) describe el cociente resultante del desplazamiento de las barras del aparato de aplastamiento después de haber tocado las paredes (2s-h) y el doble del espesor de pared (2s).

$$WK = \frac{\delta}{2s} = \frac{2s - h}{2s} = 1 - \frac{h}{2s} = 1 - AG$$

Consecuentemente la tasa de aplastamiento es la porción complementaria a de la compresión del espesor de pared.

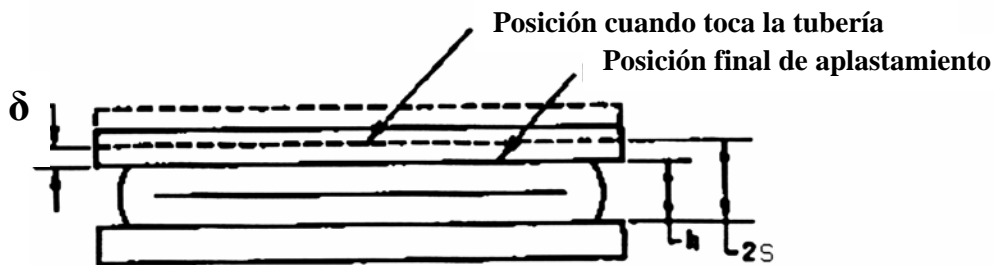


Figura 2. Definición de la tasa de aplastamiento y compresión del espesor de pared.

Si una tubería es aplastada, las superficies internas opuestas del tubo se tocan en el medio por primera vez, (vea la figura 3). En el área también llamada "oreja de aplastamiento" las superficies superiores e inferiores del tubo no se tocan a la tasa de aplastamiento de 1. Por lo tanto, para cerrar la oreja de aplastamiento del tubo y de este modo detener el flujo medio, el centro de la tubería debe ser aplastado más intensamente. Si la compresión en la pared del tubo se incrementa el material debe fluir entre las dos barras de compresión. Como resultado el tubo es adelgazado permanentemente en este punto.

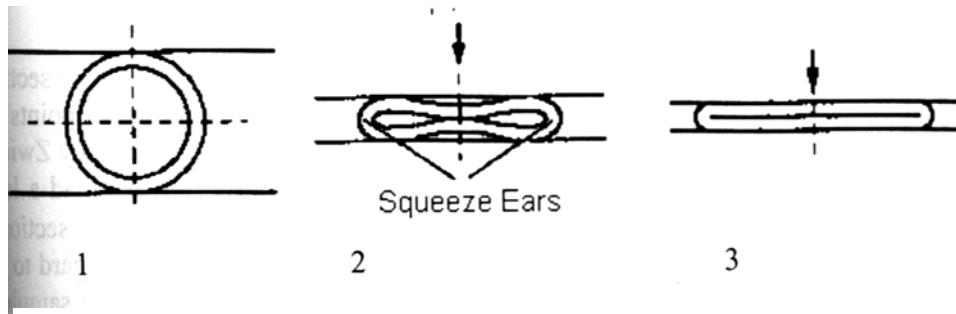


Figura 3. Proceso de aplastamiento (esquemático)

Después de haber descargado o separado las herramientas de aplastamiento de acuerdo con Stephens et al (3), se crea un campo de esfuerzo triaxial en la superficie interna de tubo aplastado, ya que el material desplazado es parcialmente arrastrado dentro de la zona de la pared del tubo sellado nuevamente, y la deformación viscoelástica del tubo ha sido reformada nuevamente.

Debido a esta carga pueden aparecer vacíos dentro del tubo y en el área de la oreja y defectos (marcas de defectos) pueden aparecer en la superficie interna del tubo. El esfuerzo resultante del proceso de aplastamiento dentro del tubo así como las cargas resultantes por la carga de presión interna puede contribuir a incrementar los vacíos y defectos. Esto puede crear el crecimiento de grietas a través de la pared de la tubería y finalmente causar una fuga. Stephens et al (3) compara la creación de iniciadores de daño y su crecimiento durante el aplastamiento con los mecanismos durante el crecimiento lento de grietas.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

La tabla 1 muestra los diferentes materiales de tuberías y dimensiones usadas para los experimentos.

3 muestras fueron ensayadas de cada dimensión de tubería respectivamente.

MATERIAL	DI MENSIONES (mm)	RDE
PE 80	63 x 8.6	7.4
	90 x 12.3	7.4
	110 x 6.3	17.6
	110 x 10	11
PE 100	63 x 5.8	11
	110 x 6.6	17
	110 x 10	11
	160 x 9.5	17
	160 x 14.6	11
PE Xa	63 x 5.8	11
	90 x 8.2	11

Tabla 1. Muestras usadas.

La figura 4 muestra el procedimiento de ensayo. Después de haber medido las secciones de tubería de aproximadamente un metro de longitud ellas fueron cerradas para colocar los puntos marcados en el aparato de aplastamiento. El aparato de aplastamiento es un aparato universal de ensayos por Zwick usando dos placas de acero apropiadamente fabricadas como barras (vea la figura 5). Estas barras tenían una longitud de 300 mm y un radio de 32 mm. Las secciones de tubería fueron aplastadas a una temperatura ambiental ($23 \pm 2^{\circ}\text{C}$), a una velocidad de 50 mm/min -2 pulg/min hasta una tasa real de aplastamiento de 0.8 con respecto a las dimensiones reales del tubo en el punto de aplastamiento. Después de un tiempo de relajación de 30 minutos (min) las muestras fueron forzadas por medio de aire comprimido para examinar primero la hermeticidad del punto de aplastamiento a 1.4 y 10 bar. Entre los diferentes pasos de presión hubo un periodo de relajación de 30 min para el tubo para permitir la comparación de los valores medidos en todos los pasos de presión. La tasa de fuga fue medida por medio de un medidor de flujo de gas con rango de medición de 1.6 l/h a 16 l/h. Después del ensayo de hermeticidad por medio de aire comprimido y tras un tiempo de espera de 30 min la hermeticidad del punto de aplastamiento fue ensayada a 6, 10 y 16 bar por medio de agua como se describe arriba. Enseguida las muestras fueron descargadas, esto significa que las barras fueron

separadas, desplazadas 90° y reformadas por medio del aparato universal de ensayos. Para examinar la influencia del aplastamiento concerniente a la resistencia a la presión hidrostática de largo plazo, estos tubos fueron ensayados a altas temperaturas por mas de 1000 horas. Este ensayo fue basado en los requisitos de norma para tuberías nuevas. (PE 80, PE 100: DVGW VP 608 Y DIN 8075; PE Xa DVGW VP 605 Y DIN 16892).

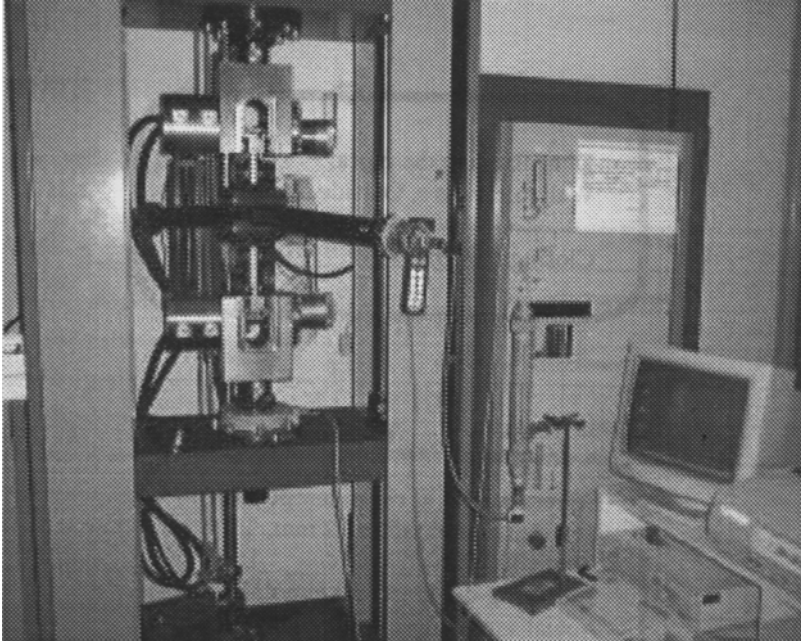


Figura 5. Montaje experimental.

RESULTADOS

La tabla 2 muestra los resultados de los ensayos de impermeabilidad a una tasa de aplastamiento de 0.8

MATERIAL	DIMENSIONES (mm)	RDE	TASAS DE FUGA EN l/h					
			PRESION DE AIRE pl			PRESION DE AGUA pw		
			1 bar	4 bar	10 bar	6 bar	10 bar	16 bar
PE 80	63 x 8.6	7.4	NO EXAMINADO			>30		
	90 x 12.3	7.4	NO EXAMINADO			>65		
	110 x 6.3	17.6	<1.6		1.7	<0.02	0.07	0.16
	110 x 10	11	14	>16		1.5	2	3.9
PE 100	63 x 5.8	11	<1.6	1.9	4.5	0.3	0.4	0.8
	110 x 6.6	17	<1.6		>12	<0.02	0.1	
	110 x 10	11	>16			>10		
	160 x 9.5	17	<1.6	9	>11	<0.02	1.4	>17
	160 x 14.6	11	>16			TASA DE FUGA MUY ALTA		
PE Xa	63 x 5.8	11	<1.6		1.7	<0.02		
	90 x 8.2	11	2.1	6.2	>12	0.06	0.07	0.13

Tabla 2: Resultados de los ensayos de impermeabilidad.

Las celdas grises muestran que la cantidad de gas o agua es muy pequeña y de este modo puede ser ignorada. Es muy fácil manejar estos valores en el sitio usando medios especiales (cercanamente hermético).

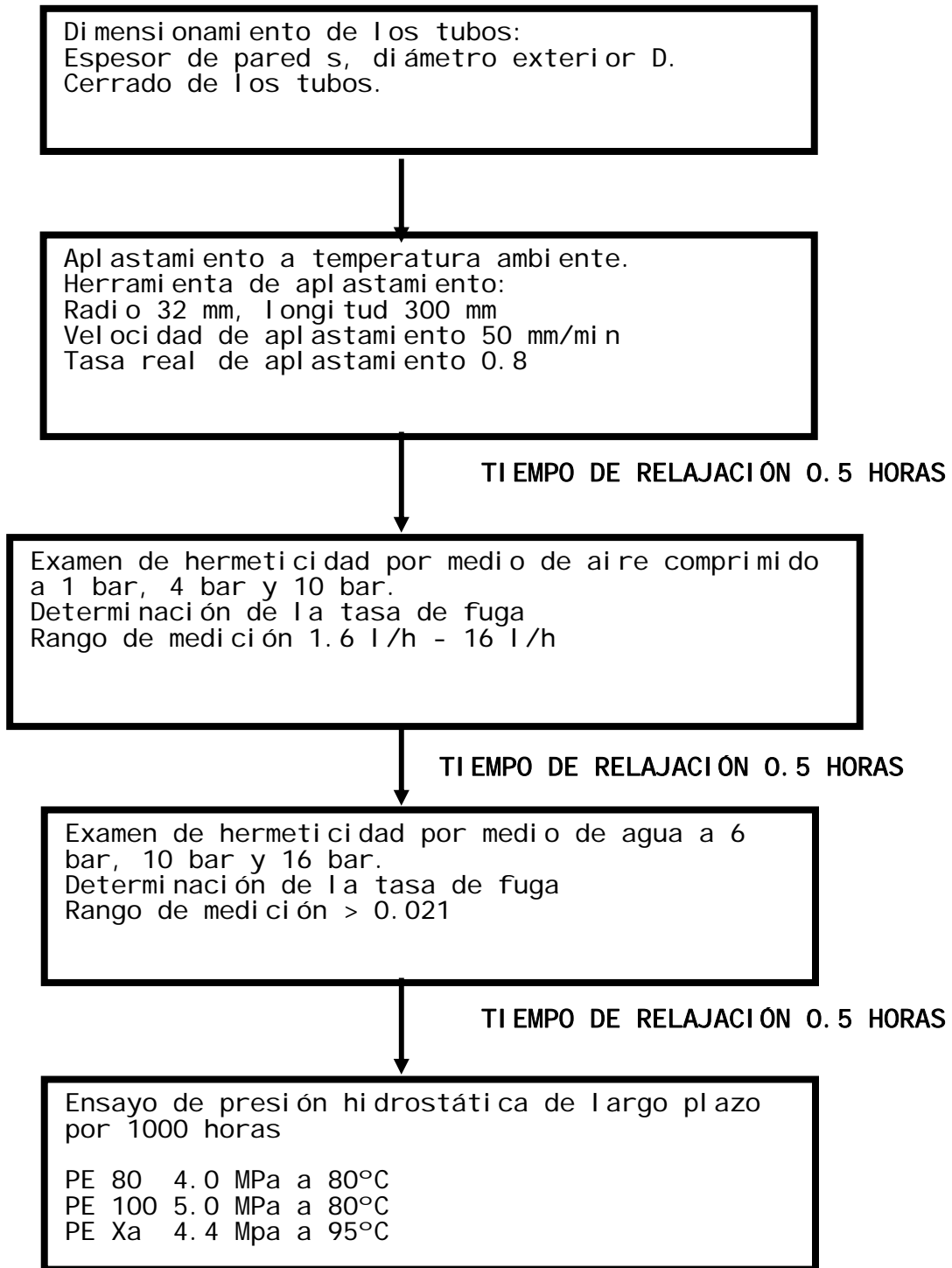


Figura 4. Procedimiento esquemático del ensayo.

La tabla 3 muestra los resultados de los ensayos de presión hidrostática de largo plazo en las muestras aplastadas y reformadas. Los tubos que mostraron altas tasas de fuga durante el aplastamiento bajo las condiciones citadas no fueron probados en el ensayo de presión hidrostática de largo plazo. (vea tabla 2).

MATERIAL	DIMENSIONES (mm)	TEMPERATURA DE ENSAYO (°c)	ESFUERZO DE ENSAYO (MPa)	TIEMPO PARA FALLA	
				SETPOINT	REAL
PE 80	110 X 6.3	80	4.0	≥1000	>1000
	110 X 10	80	4.0	≥1000	>1000
PE 100	63 X 5.8	80	5.0	≥1000	>1000
	110 X 6.6	80	5.0	≥1000	>1000
	110 X 10	80	5.0	≥1000	>1000
	160 X 9.5	80	5.0	≥1000	>1000
PE Xa	63 X 5.8	95	4.4	≥1000	>1000
	90 X 8.2	95	4.4	≥1000	>1000

Tabla 3 Resultados de los ensayos de presión hidrostática de largo plazo, hechos en tubos aplastados y reformados.

Todas las muestras ensayadas cumplieron los requisitos.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES

- Fue imposible aplastar hasta hermeticidad de aire y agua todos los tubos comprimiéndolos hasta la tasa de aplastamiento de 0.8 bajo las condiciones requeridas.
- No se podría observar si la conveniencia del aplastamiento depende del material. Son necesarios posteriores exámenes sistemáticos para caracterizar los materiales usados (por ejemplo el módulo de elasticidad y el comportamiento de esfuerzo - deformación). Este proyecto de investigación no incluyó un examen posterior de las

propiedades mecánicas de los materiales descritos en esta serie de ensayos.

- Los materiales para tuberías ensayadas muestran una alta resistencia contra la creación de defectos en el área de la oreja de aplastamiento bajo las condiciones requeridas. Esto se debe a sus buenas propiedades concernientes a la resistencia contra el crecimiento lento de grietas.
- Es más importante en lo concerniente a la conveniencia del aplastamiento de las dimensiones del tubo (espesor de pared, RDE). Se pudo determinar que hasta espesores de pared de aproximadamente 10 mm los tubos pueden ser aplastados suficientemente en al menos un nivel de presión de gas y de agua. En los tubos de espesor de pared superior las grietas creadas en el área de la oreja de aplastamiento resultan en una alta impermeabilidad. Durante el proceso de aplastamiento el material del tubo no puede fluir suficientemente entre las barras creando grietas y muescas.
- La influencia de las dimensiones de la barra en el aplastamiento no ha sido examinada. El radio relativamente grande de las barras usadas (32 mm), sin embargo, parece influenciar positivamente el comportamiento de aplastamiento. Si se usan barras más grandes la superficie que contacta la pared del tubo es más grande y también la efectividad durante el aplastamiento. Además, de acuerdo con la teoría de Hertz (4), usando una fuerza definida el esfuerzo de compresión y de corte directamente creado bajo la herramienta de aplastamiento decrece mientras el diámetro de las barras aumenta. Este esfuerzo es proporcional a $(1/(d^{0.5}))$. D es el diámetro exterior de la barra. Si durante el aplastamiento el esfuerzo es más pequeño, en la pared del tubo el daño probablemente será más pequeño. Pero las grandes barras son desventajosas porque se requieren fuerzas más altas para aplastar tubos grandes (mas de 100 KN para tubos de un diámetro exterior de 160 mm).
- Todos los tubos aplastados y reformados cumplieron los requisitos de la norma durante los ensayos de presión hidrostática de largo plazo por más de 1000 horas a altas temperaturas. Como resultado bajo las condiciones requeridas los tubos no son dañados de tal manera durante el aplastamiento como para que no cumplan los requisitos para tubos nuevos durante el ensayo de presión hidrostática de largo plazo.

- En la mayoría de los casos una tasa de aplastamiento de 0.8 es suficientemente pequeña para realizar un aplastamiento efectivo y es lo suficientemente alta para evitar el daño permanente del material del tubo. Si usted considera que en el sitio que la tasa de aplastamiento en el aparato está ajustada al espesor de pared nominal del tubo también logrará una gran tasa de aplastamiento manteniendo la tolerancia del espesor de pared. Esto significa que usted alcanzará una menor compresión del espesor de pared previniendo de este modo el daño del tubo por una compresión muy alta.

- El procedimiento de aplastamiento puede no solo ser usado para cortar el flujo de tubos de gas, representa también la posibilidad para cortar el flujo de tubos de agua a la presión de operación, al menos en tubos de agua de pequeñas dimensiones (suministro doméstico).

REFERENCIAS CITADAS

1. W. Aumüller, Einfluss der Abquetschbedingungen auf die Lebensdauer von Gasleitungen aus PE-HD. Teoría maestra en SKZ Würzburg-Schweinfurt-Aschaffenburg, 1995.
2. Abquetschen von Rohrleitungen aus Polyethylen in der gas-und Wasserverteilung, Hoja de datos técnicos GW 332, 12/2000.
3. D.R. Stephens, B.L. Leis, R.B. Francini y M. Mamoun, Efecto de las practicas de aplastamiento y parámetros de daños en tubería de PE para gas. Procedente del décimo segundo simposio del las tuberías plásticas para combustibles. 1991, 228.
4. I. Szabo Höhere Technische Mechanik 5 edición Berlín 1977.