

DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA*

Forma de aumentar la seguridad en las instalaciones de tuberías de
amianto-cemento para conducción de agua a presión**

Por EMILIO HERRANZ GARCIA
M.^a CARMEN DE ANDRES CONDE
Ingenieros de Caminos

INTRODUCCION

Cuando la elección de la tubería para un Proyecto se hace exclusivamente en función de las Presiones máximas de trabajo que habrá de soportar, el Pliego M.O.P. introduce para las Tuberías Uralita el coeficiente de "seguridad" 4 respecto a rotura en máquina de ensayo, y las Normas UNE, ISO, coeficientes de "seguridad" menores.

Si la elección de la Tubería Uralita se hace después de considerar los efectos combinados de las cargas de presión y de aplastamiento de las tierras de relleno y del tráfico, la verdadera seguridad habrá aumentado, por conocida, y el coeficiente de seguridad no englobará más que la obligada inseguridad de la distribución de los elementos dentro de los lotes aceptados (pequeña gracias a la prueba de presión normalizada), y la necesidad de que las cargas de trabajo permanente no coincidan con las de rotura del ensayo. En definitiva, el coeficiente de seguridad será parecido a los que se utilizan en las obras de edificación, cuando se tienen en cuenta todas las cargas.

El coeficiente de seguridad establecido entre la Presión Máxima de trabajo y la Presión Nominal, es realmente el que cubre la debida separación entre esfuerzos permanentes y esfuerzos a corto plazo, y ello para todos los elementos del lote. Puede fijarse un valor 2 de acuerdo con todas las Normas actuales.

El coeficiente de seguridad entre la Presión Nominal y la Presión de Rotura, no tiene interés más que para el fabricante, y será menor cuanto menos riesgo corra de que se le rompan todos los elementos al hacer la prueba de Presión Nominal, es decir, cuanto mejor sea su Producto. Al usuario este coeficiente de seguridad no le indica mayor o menor riesgo.

En el Estudio que se presenta, se utilizan las Teorías de Marston, Wetzorke y Boussinesq para el cálculo de la carga de tierras y tráfico, que han sido adaptadas experimentalmente a las Tuberías Uralita. Los tubos Uralita pertenecen a la clasificación de semi-rígidos dada por Marston, es decir, sus deformaciones elásticas entran en

el campo de $0,1\% \leq \frac{\Delta D}{D} \leq 3\%$.

De hecho, los tubos Uralita de diámetros entre 500 y 1.200 mm., tienen deformaciones elásticas tales que

$$\frac{\Delta D}{D} = 1,45\%$$

Para el cálculo de las cargas combinadas se siguen los trabajos de W.J. Schlick, a la vez que se ha desarrollado la teoría aparecida en la Norma DIN-19.800 de 1973, y en la Norma Internacional ISO-2.785 del año 1975, completándola con la elaboración de los coeficientes de seguridad ante las cargas combinadas, es decir, los reales en la explotación.

CASO DE ESTUDIO

El método de análisis se presenta aplicado a un Proyecto real.

Las tuberías que intervienen en este Proyecto son:

- Conducción de Toma hasta Depósito Regulador, y Chimenea de equilibrio..... 6.775 m. Φ 1.000 mm.
- Suministro desde Depósito Regulador hasta el Anillo de Distribución..... 3.443 m. 2 Φ 900 mm.
- Anillo de Distribución..... 9922 m. Φ 800 mm.

*Se repite la primera parte de este artículo ya publicada, en la revista anterior, por haberse deslizado algunas erratas de imprenta y además porque es imprescindible para la comprensión del artículo completo.

**Se admiten comentarios al presente artículo que pueden ser enviados a la Redacción de la Revista antes de 1º de Enero de 1979.

DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA

1. Hipótesis de cargas

Las hipótesis de cargas que se establecen para el cálculo mecánico son:

- Unas presiones internas máximas de trabajo, P_i , obtenidas de los cálculos hidráulicos del Proyecto, y
- Unas alturas máximas (y mínimas si hay tráfico) de tierras de relleno sobre la generatriz superior de los tubos, H , obtenidas de los perfiles longitudinales del Proyecto, que para cada diámetro, determinan en cada uno de los sucesivos tramos definidos por los escalones de presión y de altura del relleno considerados, las condiciones más desfavorables para la comprobación de la tubería que se propone emplear.⁽¹⁾
- Las características de las tierras de relleno se establecen en:
Peso específico $\gamma = 2.000 \text{ Kg/m}^3$
Angulo de rozamiento $\rho = 18^\circ$
que son muy desfavorables, pues corresponden a terrenos de arcilla.
- Unas anchuras de zanja a la altura de la generatriz superior del tubo B . (ver figuras 1 y 2) de:
 $B = 1,6 \text{ m. para } \Phi 1.000 \text{ mm.}$
 $B = 2,8 \text{ m. para } 2 \Phi 900 \text{ mm. ; } B_c \approx 1,30 \text{ m.}$
 $B = 1,4 \text{ m. para } \Phi 800 \text{ mm.}$
- Unas condiciones de apoyo de la tubería en la zanja según Figuras 1 y 2 que corresponde a uno de los tipos de la Norma ISO-2785 y que proporciona un valor del Factor de carga por apoyo de $K = 1,9$

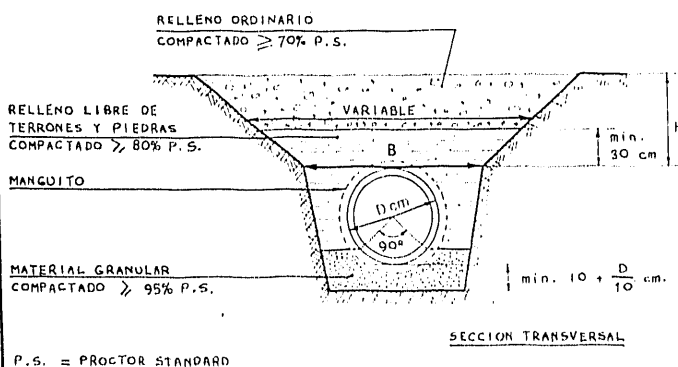


Fig. 1

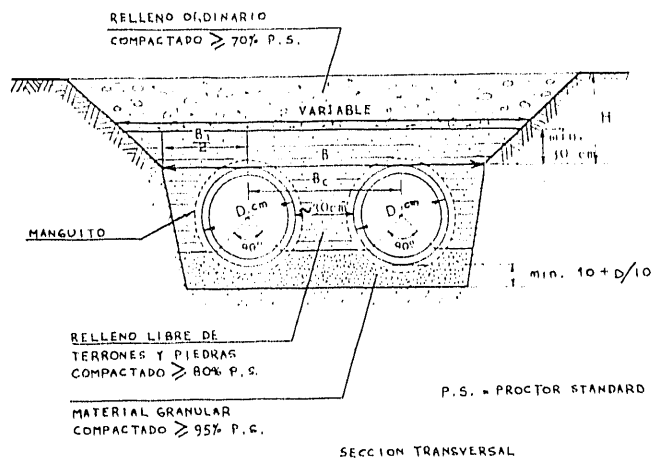


Fig. 2

2. Características de las tuberías que se proponen

Las características que definen las tuberías se encuentran reunidas en el siguiente cuadro:

Φ Nominal mm	Diametro exterior D (m)	Presión interna mínima de rotura en máquina ψ (Kg/cm ²)	Carga mínima de rotura por aplastamiento en máquina ω (Kg/m)	Clase de la tubería P_i/P_n (Kg/cm ²)
800	0,885	22,5	9.600	9/18
900	0,964	14,3	5.400	5,5/11
900	0,995	22,5	10.800	9/18
900	1,021	30	17.000	12/24
1000	1,072	14,4	6.000	5,5/11
1000	1,106	22,5	12.000	9/18
1000	1,134	30	19.000	12/24

(1) NOTA

La altura sobre el tubo se obtiene así:
Cota roja (Díametro exterior + 20 cm. de cama granular bajo el tubo).

DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA

Las tuberías tienen un espesor tal que se cumplen las condiciones de :

Presión Hidráulica interior: $\sigma_p \geq 200 \text{ Kg/cm}^2$ en la fórmula $\sigma_p = \frac{\psi d}{2 e}$

donde:

ψ = presión mínima de rotura en máquina (Kg/cm²)

d = diámetro interior del tubo en cm.

e = espesor del tubo en cm.

Ø 800 (9/18)	$\sigma_p = \frac{22,5 \times 80}{2 \times 3,95} = 227 \text{ Kg/cm}^2$	
Ø 900 (5,5/11)	$\sigma_p = \frac{14,3 \times 90}{2 \times 2,95} = 218 \text{ Kg/cm}^2$	
Ø 900 (9/18)	$\sigma_p = \frac{22,5 \times 90}{2 \times 4,45} = 227 \text{ Kg/cm}^2$	
Ø 900 (12/14)	$\sigma_p = \frac{30 \times 90}{2 \times 5,75} = 234 \text{ Kg/cm}^2$	
Ø 1.000 (5,5/11)	$\sigma_p = \frac{14,4 \times 100}{2 \times 3,3} = 218 \text{ Kg/cm}^2$	
Ø 1.000 (9/18)	$\sigma_p = \frac{22,5 \times 100}{2 \times 5} = 225 \text{ Kg/cm}^2$	
Ø 1.000 (12/24)	$\sigma_p = \frac{30 \times 100}{2 \times 6,4} = 234 \text{ Kg/cm}^2$	

Flexión transversal (Aplastamiento): $\sigma_a \geq 450 \text{ Kg/cm}^2$ en la fórmula $\sigma_a = \frac{3 \omega (d+e)}{\pi b e^2}$

donde:

ω = carga mínima de rotura por aplastamiento en máquina (Kg/m)

b = longitud del tubo probeta; b = 100 cm. = 1 m.

Ø 800 (9/18)	$\sigma_a = \frac{3}{\pi} \times \frac{9.600 \times 83,95}{100 \times 3,95^2} = 493 \text{ Kg/cm}^2$	
Ø 900 (5,5/11)	$\sigma_a = \frac{3}{\pi} \times \frac{5.400 \times 92,95}{100 \times 2,95^2} = 550 \text{ Kg/cm}^2$	
Ø 900 (9/18)	$\sigma_a = \frac{3}{\pi} \times \frac{10.800 \times 94,45}{100 \times 4,45^2} = 491 \text{ Kg/cm}^2$	
Ø 900 (12/24)	$\sigma_a = \frac{3}{\pi} \times \frac{17.000 \times 95,75}{100 \times 5,75^2} = 470 \text{ Kg/cm}^2$	
Ø 1.000 (5,5/11)	$\sigma_a = \frac{3}{\pi} \times \frac{6.000 \times 103,3}{100 \times 3,3^2} = 543 \text{ Kg/cm}^2$	

DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA

1. Hipótesis de cargas

Las hipótesis de cargas que se establecen para el cálculo mecánico son:

- Unas presiones internas máximas de trabajo, P_1 , obtenidas de los cálculos hidráulicos del Proyecto, y
- Unas alturas máximas (y mínimas si hay tráfico) de tierras de relleno sobre la generatriz superior de los tubos, H , obtenidas de los perfiles longitudinales del Proyecto, que para cada diámetro, determinan en cada uno de los sucesivos tramos definidos por los escalones de presión y de altura del relleno considerados, las condiciones más desfavorables para la comprobación de la tubería que se propone emplear.⁽¹⁾
- Las características de las tierras de relleno se establecen en:

Peso específico $\gamma = 2.000 \text{ Kg/m}^3$

Angulo de rozamiento $\rho = 18^\circ$

que son muy desfavorables, pues corresponden a terrenos de arcilla.

- Unas anchuras de zanja a la altura de la generatriz superior del tubo B , (ver figuras 1 y 2) de:
 $B = 1,6 \text{ m. para } \Phi 1.000 \text{ mm.}$
 $B = 2,8 \text{ m. para } 2 \Phi 900 \text{ mm. ; } B_c \approx 1,30 \text{ m.}$
 $B = 1,4 \text{ m. para } \Phi 800 \text{ mm.}$

- Unas condiciones de apoyo de la tubería en la zanja según Figuras 1 y 2 que corresponde a uno de los tipos de la Norma ISO-2785 y que proporciona un valor del Factor de carga por apoyo de $K = 1.9$

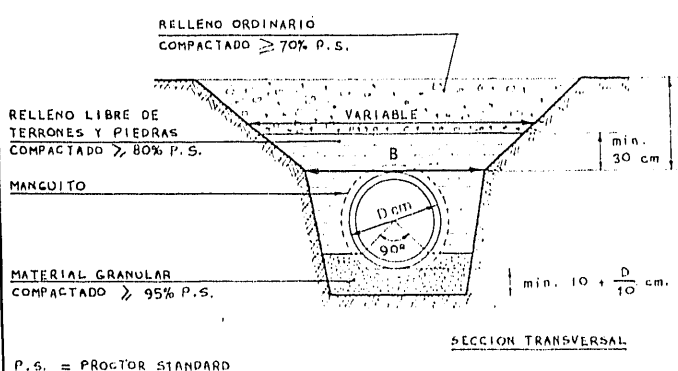


Fig. 1

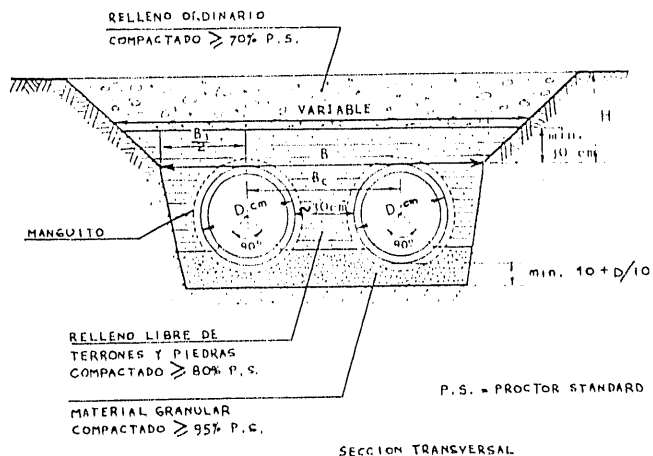


Fig. 2

2. Características de las tuberías que se proponen

Las características que definen las tuberías se encuentran reunidas en el siguiente cuadro:

Φ Nominal mm	Diametro exterior D (m)	Presión interna mínima de rotura en máquina ψ (Kg/cm ²)	Carga mínima de rotura por aplastamiento en máquina ω (Kg/m)	Clase de la tubería P_1/P_n (Kg/cm ²)
800	0,885	22,5	9.600	9/18
900	0,964	14,3	5.400	5,5/11
900	0,995	22,5	10.800	9/18
900	1,021	30	17.000	12/24
1000	1,072	14,4	6.000	5,5/11
1000	1,106	22,5	12.000	9/18
1000	1,134	30	19.000	12/24

(1) NOTA

La altura sobre el tubo se obtiene así:

Cota roja (Diámetro exterior + 20 cm. de cama granular bajo el tubo).

DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA

Las tuberías tienen un espesor tal que se cumplen las condiciones de :

Presión Hidráulica interior: $\sigma_p \geq 200 \text{ Kg/cm}^2$ en la fórmula $\sigma_p = \frac{\psi d}{2 e}$

donde:

ψ = presión mínima de rotura en máquina (Kg/cm²)

d = diámetro interior del tubo en cm.

e = espesor del tubo en cm.

ϕ 800 (9/18)	$\sigma_p = \frac{22,5 \times 80}{2 \times 3,95} = 227 \text{ Kg/cm}^2$
ϕ 900 (5,5/11)	$\sigma_p = \frac{14,3 \times 90}{2 \times 2,95} = 218 \text{ Kg/cm}^2$
ϕ 900 (9/18)	$\sigma_p = \frac{22,5 \times 90}{2 \times 4,45} = 227 \text{ Kg/cm}^2$
ϕ 900 (12/14)	$\sigma_p = \frac{30 \times 90}{2 \times 5,75} = 234 \text{ Kg/cm}^2$
ϕ 1.000 (5,5/11)	$\sigma_p = \frac{14,4 \times 100}{2 \times 3,3} = 218 \text{ Kg/cm}^2$
ϕ 1.000 (9/18)	$\sigma_p = \frac{22,5 \times 100}{2 \times 5} = 225 \text{ Kg/cm}^2$
ϕ 1.000 (12/24)	$\sigma_p = \frac{30 \times 100}{2 \times 6,4} = 234 \text{ Kg/cm}^2$

Flexión transversal (Aplastamiento): $\sigma_a \geq 450 \text{ Kg/cm}^2$ en la fórmula $\sigma_a = \frac{3 \omega (d+e)}{\pi b e^2}$

donde:

ω = carga mínima de rotura por aplastamiento en máquina (Kg/m)

b = longitud del tubo probeta; b = 100 cm. = 1 m.

ϕ 800 (9/18)	$\sigma_a = \frac{3}{\pi} \times \frac{9.600 \times 83,95}{100 \times 3,95^2} = 493 \text{ Kg/cm}^2$
ϕ 900 (5,5/11)	$\sigma_a = \frac{3}{\pi} \times \frac{5.400 \times 92,95}{100 \times 2,95^2} = 550 \text{ Kg/cm}^2$
ϕ 900 (9/18)	$\sigma_a = \frac{3}{\pi} \times \frac{10.800 \times 94,45}{100 \times 4,45^2} = 491 \text{ Kg/cm}^2$
ϕ 900 (12/24)	$\sigma_a = \frac{3}{\pi} \times \frac{17.000 \times 95,75}{100 \times 5,75^2} = 470 \text{ Kg/cm}^2$
ϕ 1.000 (5,5/11)	$\sigma_a = \frac{3}{\pi} \times \frac{6.000 \times 103,3}{100 \times 3,3^2} = 543 \text{ Kg/cm}^2$

**DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA
EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA**

Ø 1.000 (9/18)	$\sigma_a = \frac{3}{\pi} \times \frac{12.000 \times 105,6}{100 \times 5^2} = 481 \text{ Kg/cm}^2$
Ø 1.000 (12/24)	$\sigma_a = \frac{3}{\pi} \times \frac{19.000 \times 106,4}{100 \times 6,4^2} = 471 \text{ Kg/cm}^2$

3. Cálculo de las Cargas de Aplastamiento

Para el cálculo de las Cargas verticales del terreno y del Tráfico concentradas sobre la generatriz superior del tubo, se utilizan las fórmulas de Marston-Wetzel y Boussinesq para Tubería Uralita, siendo:

- W_t = Carga vertical del terreno concentrada sobre la generatriz superior del tubo, en Kg/m
- B = Anchura de la zanja a la altura de la generatriz superior del tubo, en m.
- B₁ = Doble de la distancia del eje del tubo a la pared, en el caso de dos tuberías en la zanja.
- B_c = Distancia entre ejes de los tubos, en el caso de dos tuberías en la zanja.
- H = Altura del relleno sobre la generatriz superior del tubo, en m.
- ρ = Angulo de rozamiento del relleno
- r = Peso específico del relleno, en Kg/m³.
- D = Diámetro exterior del tubo, en m.
- m = Factor de corrección por la ayuda de los esfuerzos horizontales de las tierras que circundan al tubo cargadas por el prisma de tierras que hay sobre el mismo y puestos en juego por la semi-rigidez de los tubos Uralita.
- K = Factor de carga con apoyo de 90° sobre material granular.
- P_c = Carga vertical del tráfico concentrada sobre la generatriz superior del tubo, en Kg/m.
- P_v = Presión vertical del tráfico función de la carga total y la altura H de recubrimiento, en Kg/m².
- W₁ = Suma de las cargas verticales del terreno y del tráfico concentrada sobre la generatriz superior del tubo en Kg/m.
- Si no hay tráfico W₁ = W_t

UNA TUBERIA EN ZANJA:

Carga de Tierras

$$W_t = \frac{1 - e}{\text{tg} \rho} \times \frac{H}{B} \cdot \text{tg} \rho \times \gamma \times D \times (D+1)$$

para zanja en que se cumpla que: $B \leq 2D$; $H \geq 1,5B$ ó $2D \leq B \leq 3D$; $H \geq 3,5B$

Y si no se cumplen estas desigualdades:

$$W_t = \frac{e}{\text{tg} \rho} \cdot \frac{H}{D} \cdot \text{tg} \rho \cdot m \times r \times D^2$$

con:

- | | | |
|----------|------|------------------|
| m = 1 | para | H < 1 metro |
| m = 0,83 | para | 1 ≤ H < 2 metros |
| m = 0,73 | para | H ≥ 2 metros |

DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA

Tráfico

Para el cálculo de la carga vertical del tráfico se ha usado la teoría de Boussinesq con el ábaco correspondiente (que se adjunta) y teniendo en cuenta que para los tubos Uralita,

$$P_c = m \times \left(1 + \frac{0,3}{H}\right) \times D \times P_v$$

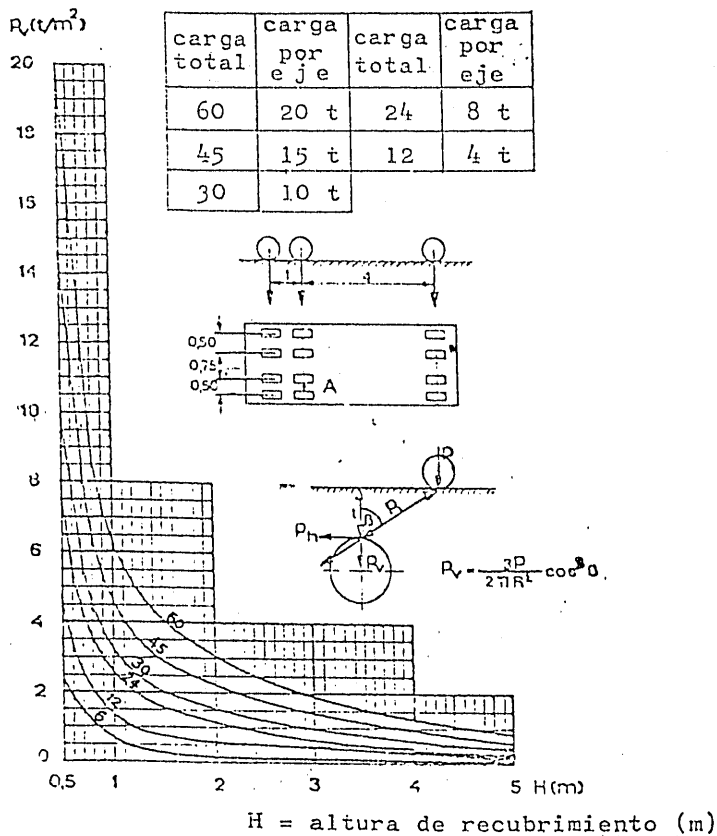
con

$m = 1$ para zanja en que $B \leq 2D$ y $H \geq 1,5B$ ó

$2D \leq B \leq 3D$ y $H \geq 3,5B$

$m = 0,83$ para zanja en que no se cumpla lo anterior

Por las necesidades del Proyecto el tráfico es de 24 T para la tubería $\varnothing 800$.
La tubería $\varnothing 1.000$ no lleva tráfico.



La Carga Total sobre cada tubo es: $W_t = W_i + P_c$

DOS TUBERIAS EN LA ZANJA:

Carga de Tierras

En el caso de dos tuberías en la zanja, la carga vertical del terreno sobre cada tubo se calcula así:

- Para las zonas junto a las paredes,

$$W_i = \frac{1}{2} \times \frac{1 - e^{-\frac{H}{B_1} \text{tg } \beta}}{\text{tg } \beta} \times \gamma \times D \times (D+1)$$

DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA

cuando se cumpla que: $B_1 \leq 2D$; $H \geq 1,5 B_1$ ó
 $2D \leq B_1 \leq 3D$; $H \geq 3,5 B_1$

Y si no se cumplen estas desigualdades:

$$W'_i = \frac{1}{2} \frac{e^{-1}}{\operatorname{tg} \rho} \times m \times r \times D^2$$

con:

$m = 1$	para	$H < 1$ metros
$m = 0,83$	para	$1 \leq H < 2$ metros
$m = 0,73$	para	$H \geq 2$ metros

- Para la zona entre ejes de tubos:

$$W''_i = \frac{1}{2} \times m \times r \times H \times B_e$$

con:

$m =$ mismos valores que los escritos anteriormente cuando no se cumplen las desigualdades.
 $m = 1$ cuando las desigualdades se cumplen

- La carga de tierras que corresponde a cada tubo es, finalmente:

$$W_i = W'_i + W''_i$$

Tráfico

Para el cálculo de la carga de tráfico se aplica la fórmula de tráfico anterior.

Por las necesidades del Proyecto el tráfico es de 45 T para las 2 tuberías $\varnothing 900$.

La **Carga Total** sobre cada tubo es: $W_1 = W_i + P_e$

4. Comprobación de las Tuberías que se emplean.

Cálculo de los Coeficientes de Seguridad Reales (En la Explotación)

Metodología:

Para comprobar la resistencia de las tuberías que se emplean, a la combinación de las cargas de presión interna máxima de trabajo, con las cargas exteriores máximas de aplastamiento, a que van a estar sometidas durante la explotación, se utiliza la relación de W.J. Schlick para los tubos Uralita.

La relación de Schlick se puede escribir de dos formas:

$$W = \frac{\omega \times K}{\nu_2} \sqrt{1 - \frac{P_1}{\psi}} \quad (1)$$

$$P = \frac{\psi}{\nu_1} \left[1 - \left(\frac{W_1}{\omega \times K} \right)^2 \right] \quad (2)$$

siendo:

- $\nu_1 =$ Coeficiente de seguridad a presión interna Rotura/Trabajo, en la explotación.
- $\nu_2 =$ Coeficiente de seguridad al aplastamiento Rotura/Trabajo, en la explotación.
- $\omega =$ Mínima carga de rotura que resiste la tubería por aplastamiento, obtenida en máquina de ensayo, en Kg/m.
- $\psi =$ Mínima presión de rotura que resiste la tubería por presión interna, obtenida en máquina de ensayo, en Kg/cm².

DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA

K = Factor de carga que tiene en cuenta el tipo de apoyo, y permite el paso de los valores de aplastamiento en máquina (ω), a los valores de aplastamiento en zanja (W), de manera que puedan compararse entre si.

En la forma (1), además:

P_1 = Presión interna máxima de trabajo en la explotación, en Kg/cm². Tiene que ser $P_1 < \psi$
 W = Valor de la Carga de Aplastamiento en la explotación, en Kg/m que, cuando actúa simultáneamente con la presión interna P_1
 Provoca la rotura en la explotación si $\nu_2 \leq 1$
 ó
 Es la Carga Máxima de Aplastamiento Admisible en la explotación, si ν_2 = coeficiente de seguridad admisible

En la forma (2), además:

W_1 = Carga de aplastamiento máxima de trabajo en la explotación, en Kg/m. Tiene que ser $W_1 < \omega$
 P = Valor de la Presión interna en la explotación, en Kg/cm² que, cuando actúa simultáneamente la carga de aplastamiento W_1 ,
 Provoca la rotura en la explotación si $\nu_1 = 1$
 ó
 Es la Presión Máxima Admisible en la explotación si ν_1 = coeficiente de seguridad admisible.

Los valores $P_1 < \psi$ y $W_1 < \omega$, máximos de trabajo calculados en cada tramo de la instalación, son valores admisibles P y W cuando, considerados como tales, dan lugar a coeficientes de seguridad ν_1 y ν_2 iguales o mayores a unos valores mínimos que se consideren aceptables.

Puede por tanto escribirse que:

$$P_1 = P = \frac{\psi}{\nu_p} \quad W_1 = W = \frac{\omega \times K}{\nu_a}$$

siendo:

ν_p = Coeficiente de seguridad a presión interna Rotura/Trabajo, en máquina de ensayo.

ν_a = Coeficiente de seguridad al aplastamiento Rotura/Trabajo, en máquina de ensayo.

Sustituyendo en las relaciones (1) y (2) se obtiene:

$$\frac{\omega \times K}{\nu_a} = \frac{\omega \times K}{\nu_2} \sqrt{1 - \frac{\psi}{\nu_p \times \psi}}$$

$$\frac{\psi}{\nu_p} = \frac{\psi}{\nu_1} \left[1 - \left(\frac{\omega \times K}{\nu_a \times \omega \times K} \right)^2 \right]$$

y por tanto

$$\nu_2 = \nu_a \sqrt{1 - \frac{1}{\nu_p}} \quad (3)$$

$$\nu_1 = \nu_p \left[1 - \left(\frac{1}{\nu_a} \right)^2 \right] \quad (4)$$

Corolario:

Se concluye que, si bien hay que fijar unos coeficientes de seguridad mínimos ν_p y ν_a para tener en cuenta los posibles fallos en la supuesta distribución estadística de la población objeto de ensayo en máquina, y porque siendo $P_1 < \psi$ y $W_1 < \omega$, tienen que ser $\nu_p > 1$ y $\nu_a > 1$, sin embargo,

Los coeficientes de seguridad realmente decisivos son los ν_1 y ν_2 , iguales en importancia, que nos dan la verdadera seguridad de la instalación en su explotación, y que no pueden ser sustituidos por el coeficiente de seguridad ν_p Rotura/Trabajo a presión interna en máquina, como se hace habitualmente.

DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA

“Por grande que se tome el valor de ν_p sin considerar las relaciones anteriores (como suele hacerse), se tiene que, si en la realidad de la zanja fuese en algún tramo $\nu_a = \frac{\omega \times K}{W_1} \leq 1$ se obtendría inmediatamente de la relación (4) que el valor del coeficiente de seguridad ν_1 Rotura/Trabajo a presión interna en la explotación de la obra, sería $\nu_1 \leq 0$, es decir, en esos tramos, **cualquier presión en la tubería instalada, por pequeña que fuese, la rompería**, sin contar con que, siendo también en este caso $\nu_2 < 1$, se rompería por aplastamiento antes de entrar en carga.

Y como comparación de procedimiento:

$$\begin{array}{l} \nu_p = 4 \\ \nu_a = 1,13 \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \nu_1 = 0,90 \\ \nu_2 = 0,98 \end{array} \right. \quad \text{se rompe}$$

$$\begin{array}{l} \nu_p = 5 \\ \nu_a = 1,29 \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \nu_1 = 2 \\ \nu_2 = 1,15 \end{array} \right. \quad \text{insuficiente}$$

$$\begin{array}{l} \nu_p = 2,5 \\ \nu_a = 2,6 \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \nu_1 = 2,13 \\ \nu_2 = 2 \end{array} \right. \quad \text{suficiente}$$

Queda bien aclarada pues la indiscutible superioridad del procedimiento que nos permite la obtención de los coeficientes de seguridad ν_1 y ν_2 de explotación.”

Sistematica:

Obtención de ν_a , ν_p , ν_1 y ν_2

El Cálculo de los coeficientes ν_1 y ν_2 se efectúa una vez obtenidos unos valores ν_a y ν_p no inferiores a los mínimos fijados o recomendados por las Normas (ISO, DIN, etc. $\nu_a = \nu_p = 2,5$).

Para la obtención del valor del coeficiente ν_a hay que tener en cuenta que

$$\nu_a = \frac{\omega \times K}{W_1}$$

$K = 1,9$ Según el Apartado 1

$\omega =$ dato para cada Clase de Tubería, según el Apartado 2

$W_1 =$ valor calculado, según el Apartado 3.

Para la obtención del valor del coeficiente ν_p hay que tener en cuenta que:

$$\nu_p = \frac{\psi}{P_1}$$

$P_1 =$ valor calculado por los Cálculos Hidráulicos del Proyecto y que figura en el Apartado 1

$\psi =$ dato para cada Clase de Tubería, según el Apartado 2.

Los coeficientes ν_1 y ν_2 de las fórmulas (3) y (4) deben resultar

$$\nu_1 \geq 2$$

$$\nu_2 \geq 2$$

independientemente uno del otro, es decir, si el uno es muy grande pero el otro es menor de 2, la fuerte seguridad que proporciona el grande respecto a presión (aplastamiento), no compensa de ninguna manera la poca seguridad del otro a aplastamiento (presión).

En los cuadros siguientes, se escriben los resultados obtenidos en la consecución de los valores de ν_1 y ν_2 para cada tramo definido por una determinada presión máxima de trabajo y una determinada altura máxima de tierras de relleno.

La obtención de estos resultados se aclara mediante la exposición de los cálculos realizados para rellenar las líneas 1.^a y 2.^a del Cuadro de la Tubería ϕ 1.000 de la Conducción de Toma; los realizados para rellenar la 1.^a, 2.^a y última línea del cuadro de las 2 Tuberías ϕ 900 del Suministro y de los realizados para rellenar las líneas 1.^a y 9.^a del Cuadro de la Tubería ϕ 800, Anillo de Circunvalación.

DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA

Cálculos

A. - Cuadro Conducción de Toma

1.ª Línea

Se trata de comprobar 1 tubería ϕ 1.000 mm - 12/24 con los datos siguientes:

- Del Apartado 1:

$$\begin{aligned} P_1 &= 10 \text{ Kg/cm}^2 \\ H &= 0,20 \text{ m.} \\ \gamma &= 2000 \text{ Kg/m}^3 \\ \rho &= 18^\circ \\ B &= 1,6 \text{ m.} \\ K &= 1,9 \end{aligned}$$

- Del Apartado 2:

$$\begin{aligned} D &= 1,134 \text{ m} \\ \psi &= 30 \text{ Kg/cm}^2 \\ \omega &= 19.000 \text{ Kg/m.} \end{aligned}$$

- El Cálculo de la Carga de Aplastamiento, se efectúa según el Apartado 3:

Una Tubería en la zanja

-Carga de Tierras

$$\begin{aligned} B &= 1,60 < 2 D = 2,268 \text{ m} \\ H &= 0,20 < 1,5 \times 1,60 = 2,40 \text{ m} \end{aligned}$$

así que, como $H = 0,20 \rightarrow = 1$ de donde

$$W_t = \frac{0,20}{e^{1,134 \times \text{tg } 18} - 1} \times 1 \times 2000 \times 1,13^2 = 466 \text{ Kg/m}$$

-No hay tráfico luego $W_1 = W_t = 466 \text{ Kg/m}$

- El cálculo de los coeficientes de seguridad se efectúa según el Apartado 4:

$$\nu_p = \frac{30}{10} = 3 > 2,50$$

$$\nu_a = \frac{\omega \times K}{W_1} = \frac{19.000 \times 1,9}{466} = 77,46 > 2,50$$

$$\underline{\underline{\nu_1}} = \nu_p \left[1 - \left(\frac{1}{\nu_a} \right)^2 \right] = 3 \left[1 - \left(\frac{1}{77,46} \right)^2 \right] = \underline{\underline{3,00}} > 2$$

$$\underline{\underline{\nu_2}} = \nu_a \sqrt{1 - \frac{1}{\nu_p}} = 77,46 \sqrt{1 - \frac{1}{3}} = \underline{\underline{63,25}} > 2$$

satisfactorio

DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA

2.^a Línea

Se trata de comprobar 1 tubería ϕ 1000 mm 9/18 con los datos siguientes:

- Del Apartado 1:

$$\begin{aligned} P_1 &= 8 \text{ Kg/cm}^2 \\ H &= 4 \text{ m.} \\ \gamma &= 2000 \text{ Kg/m}^3 \\ \rho &= 18^\circ \\ B &= 1,60 \text{ m.} \\ K &= 1,90 \end{aligned}$$

- Del Apartado 2:

$$\begin{aligned} D &= 1,106 \text{ m} \\ \psi &= 22,5 \text{ Kg/cm}^2 \\ \omega &= 12.000 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

- El Cálculo de la Carga de Aplastamiento se efectúa según el Apartado 3:

Una Tubería en la zanja

–Carga de Tierras

$$B = 1,60 < 2 D = 2,21 \text{ m}$$

$$H = 4 > 1,5 \times 1,60 = 2,40 \text{ m}$$

así que la carga sobre el tubo:

$$W_t = \frac{1 - e^{-\frac{4}{1,6} \times \text{tg} 18^\circ}}{\text{tg} 18^\circ} \times 2000 \times 1,106 \times 2,106 = 7975 \text{ Kg/m}$$

–No hay tráfico, luego $W_1 = W_t = 7975 \text{ Kg/m}$

- El cálculo de los coeficientes de seguridad se efectúa según el Apartado 4:

$$\nu_p = \frac{22,5}{8} = 2,81 > 2,50$$

$$\nu_a = \frac{\omega \times K}{W_1} = \frac{12.000 \times 1,9}{7975} = 2,86 > 2,50$$

$$\underline{\underline{\nu_1}} = \nu_p \left[1 - \left(\frac{1}{\nu_a} \right)^2 \right] = 2,81 \left[1 - \left(\frac{1}{2,86} \right)^2 \right] = \underline{\underline{2,47}} > 2$$

$$\underline{\underline{\nu_2}} = \nu_a \sqrt{1 - \frac{1}{\nu_p}} = 2,86 \sqrt{1 - \frac{1}{2,81}} = \underline{\underline{2,30}} > 2$$

satisfactorio

DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA

B.-Cuadro Suministro

1.^a Línea

Se trata de comprobar 2 tuberías en la misma zanja, ϕ 900 mm 5,5/11 con los datos siguientes:

- Del Apartado 1:

$$P_1 = 2 \text{ Kg/cm}^2$$

$$H = 0,80 \text{ m}$$

$$\gamma = 2000 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho = 18^\circ$$

$$B = 2,80 \text{ m}$$

$$K = 1,9$$

Distancia entre generatrices

$$\text{exteriores de tubos} \dots\dots\dots = 36 \text{ cm.}$$

- Del Apartado 2:

$$D = 0,964 \text{ m}$$

$$\psi = 14,30 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\omega = 5400 \text{ Kg/m}$$

- El cálculo de la carga de aplastamiento se efectúa según el Apartado 3:

Dos Tuberías en la zanja

–Carga de tierras:

- Zona junto a las paredes:

$$B_1 = B - (0,36 + D) = 1,47 \text{ m}$$

y por tanto:

$$B_1 = 1,47 < 2 D = 1,928 \text{ m}$$

$$H = 0,80 < 1,5 \times B_1 = 2,205 \text{ m}$$

así que, como $H = 0,80 \rightarrow m = 1$, de donde:

$$W'_t = \frac{1}{2} \frac{e^{\frac{0,80}{0,964} \times \text{tg } 18} - 1}{\text{tg } 18} \times 1 \times 2000 \times 0,964^2 = 886 \text{ Kg/m}$$

- Zona entre ejes de tubos:

$$B_c = 0,36 + 0,964 = 1,33 \text{ m}$$

$m = 1$ como anteriormente

$$W''_t = \frac{1}{2} \times 1 \times 2000 \times 0,80 \times 1,33 = 1064 \text{ Kg/m}$$

- Carga total sobre cada tubo:

$$W_t = W'_t + W''_t = 886 + 1064 = 1950 \text{ Kg/m}$$

DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA

–No hay tráfico luego $W_1 = W_t = 1950 \text{ Kg/m}$

- El cálculo de los coeficientes de seguridad se efectúa según el Apartado 4

$$\nu_p = \frac{\psi}{P_1} = \frac{14,30}{2} = 7,15 > 2,50$$

$$\nu_a = \frac{\omega \times K}{W_1} = \frac{5400 \times 1,9}{1950} = 5,26 > 2,50$$

$$\frac{\nu_1}{\nu_p} = \nu_p \left[1 - \left(\frac{1}{\nu_a} \right)^2 \right] = 7,15 \left[1 - \left(\frac{1}{5,26} \right)^2 \right] = \underline{\underline{6,89}} > 2$$

$$\frac{\nu_2}{\nu_a} = \nu_a \sqrt{1 - \frac{1}{\nu_p}} = 5,26 \sqrt{1 - \frac{1}{7,15}} = \underline{\underline{4,88}} > 2$$

satisfactorio

2.^a Línea

Se trata de comprobar 2 tuberías en la misma zanja ϕ 900 mm 12/24 con los datos siguientes:

- Del Apartado 1:

$$P_1 = 4 \text{ Kg/cm}^2$$

$$H = 5,50 \text{ m}$$

$$\gamma = 2000 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho = 18^\circ$$

$$B = 2,80 \text{ m}$$

$$K = 1,9$$

Distancia entre generatrices:

$$\text{exteriores de tubos} \dots \dots \dots = 26 \text{ cm}$$

- Del Apartado 2:

$$D = 1,021 \text{ m}$$

$$\psi = 30 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\omega = 17.000 \text{ Kg/m}$$

- El Cálculo de la carga de aplastamiento se efectúa según el Apartado 3

Dos Tuberías en zanja.

–Carga de tierras

- Zonas junto a las paredes.

$$B_1 = 2,80 - (0,26 + 1,021) = 1,52 \text{ m}$$

y por tanto:

$$B_1 = 1,52 < 2 D = 2,042 \text{ m}$$

$$H = 5,50 > 1,5 \times B_1 = 2,28 \text{ m}$$

DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA

así que:

$$W_t' = \frac{1}{2} \frac{1 - e^{-\frac{5,50}{1,52} \times \text{tg } 18}}{\text{tg } 18} \times 2000 \times 1,021 \times 2,021 = 4391 \text{ Kg/m}$$

- Zona entre ejes de tubos

$$B_c = 0,26 + 1,021 = 1,28 \text{ m}$$

Como $H = 5,50 \rightarrow m = 1$ y

$$W_t'' = \frac{1}{2} \times 1 \times 2000 \times 5,5 \times 1,28 = 7040 \text{ Kg/m}$$

- Carga total sobre cada tubo

$$W_t = W_t' + W_t'' = 4391 + 7040 = 11.431 \text{ Kg/m}$$

—No hay tráfico luego $W_1 = W_t = 11.431 \text{ Kg/m}$.

- El cálculo de los coeficientes de seguridad se efectúa según el Apartado 4

$$\nu_p = \frac{\psi}{P_1} = \frac{30}{4} = 7,5 > 2,5$$

$$\nu_a = \frac{\omega \times K}{W_1} = \frac{17.000 \times 1,9}{11.431} = 2,83 > 2,5$$

$$\underline{\underline{\nu_1}} = \nu_p \left[1 - \left(\frac{1}{\nu_a} \right)^2 \right] = 7,5 \left[1 - \left(\frac{1}{2,83} \right)^2 \right] = \underline{\underline{6,56}} > 2$$

$$\underline{\underline{\nu_2}} = \nu_a \sqrt{1 - \frac{1}{\nu_p}} = 2,83 \sqrt{1 - \frac{1}{7,5}} = \underline{\underline{2,63}} > 2$$

satisfactorio

Ultima línea

Se trata de comprobar 2 tuberías en la misma zanja ϕ 900 mm 9/18 con los datos siguientes:

- Del Apartado 1:

$$P_1 = 9 \text{ Kg/cm}^2$$

$$H = 1 \text{ m}$$

$$\gamma = 2000 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho = 18^\circ$$

$$B = 2,80 \text{ m}$$

$$K = 1,9$$

Distancia entre generatrices

exteriores de tubos = 31 cm

DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA

- Del Apartado 2:

$$\begin{aligned}D &= 0,995 \text{ m} \\ \psi &= 22,5 \text{ Kg/cm}^2 \\ \omega &= 10.800 \text{ Kg/m}\end{aligned}$$

- El cálculo de la carga de aplastamiento se efectúa según el Apartado 3.

Dos tuberías en zanja

--Carga de tierras

- Zonas junto a las paredes

$$B_1 = 2,80 - (0,31 + 0,995) = 1,50 \text{ m}$$

Y por tanto:

$$B = 1,50 < 2 D = 1,99 \text{ m}$$

$$H = 1 < 1,5 \times B_1 = 2,25 \text{ m.}$$

así que, como $H = 1 \rightarrow m = 0,83$, de donde:

$$W'_t = \frac{1}{2} \frac{e^{\frac{1}{0,995} \times \text{tg } 18^\circ} - 1}{\text{tg } 18} \times 0,83 \times 2000 \times 0,995^2 = 977 \text{ Kg/m}$$

- Zona entre ejes de tubos

$$B_c = 0,31 + 0,995 = 1,31 \text{ m}$$

$$m = 0,83 \text{ como anteriormente}$$

$$W''_t = \frac{1}{2} \times 0,83 \times 2000 \times 1 \times 1,31 = 1087 \text{ Kg/m}$$

- Carga total sobre cada tubo

$$W_t = W'_t + W''_t = 977 + 1087 = 2064 \text{ Kg/m}$$

--Tráfico

$$H = 1 \text{ m}$$

$$\text{Carga total} = 45 \text{ T}$$

$$m = 0,83$$

Del Abaco se saca $P_v = 4000 \text{ Kg/m}^2$
luego

$$P_c = 0,83 \left(1 + \frac{0,3}{1} \right) \times 0,995 \times 4000 = 4295 \text{ Kg/m}$$

--Carga total $W_1 = W_t + P_c = 2064 + 4295 = 6359 \text{ Kg/m}$

DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA

- El cálculo de los coeficientes de seguridad se efectúa según el Apartado 4

$$\nu_p = \frac{\psi}{P_1} = \frac{22,5}{9} = 2,50 \geq 2,5$$

$$\nu_a = \frac{\omega \times_i K}{W_1} = \frac{10.800 \times 1,9}{6359} = 3,23 > 2,5$$

$$\underline{\nu_1} = \nu_p \left[1 - \left(\frac{1}{\nu_a} \right)^2 \right] = 2,50 \left[1 - \left(\frac{1}{3,23} \right)^2 \right] = \underline{\underline{2,26}} > 2$$

$$\underline{\nu_2} = \nu_a \sqrt{1 - \frac{1}{\nu_p}} = 3,23 \sqrt{1 - \frac{1}{2,50}} = \underline{\underline{2,50}} > 2$$

satisfactorio

C.-Cuadro Anillo

1.^a Línea

Se trata de comprobar 1 tubería ϕ 800 mm .9/18 con los datos siguientes:

- Del Apartado 1:

$$\begin{aligned} P_1 &= 8 \text{ Kg/cm}^2 \\ H &= 0,80 \text{ m} \\ \gamma &= 2000 \text{ Kg/m}^3 \\ \rho &= 18^\circ \\ B &= 1,40 \text{ m} \\ K &= 1,9 \end{aligned}$$

- Del Apartado 2:

$$\begin{aligned} D &= 0,885 \text{ m} \\ \psi &= 22,5 \text{ Kg/cm}^2 \\ \omega &= 9600 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

- El cálculo de la carga de aplastamiento, se efectúa según el Apartado 3:

Una Tubería en la zanja

-Carga de Tierras

$$B = 1,40 < 2 D = 1,77 \text{ m}$$

$$H = 0,80 < 1,5 \times 1,4 = 2,1 \text{ m}$$

así que, como $H = 0,80 \rightarrow m = 1$, de donde:

$$W_t = \frac{e^{\frac{0,8}{0,885} \times \text{tg } 18^\circ} - 1}{\text{tg } 18} \times 1 \times 2000 \times 0,885^2 = 1646 \text{ Kg/m}$$

-Tráfico

$$\begin{aligned} H &= 0,80 \text{ m} \\ \text{Carga Total} &= 24 \text{ T} \\ m &= 1 \end{aligned}$$

DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA

Del Abaco se saca $P_v = 2880 \text{ Kg/m}^2$
luego

$$P_c = 1 \left(1 + \frac{0,3}{0,8} \right) \times 0,885 \times 2880 = 3518 \text{ Kg/m}$$

—Carga Total $W_1 = W_t + P_c = 1646 + 3518 = 5164 \text{ Kg/m}$

- El cálculo de los coeficientes de seguridad se efectúa según el Apartado 4

$$\nu_p = \frac{\psi}{P_1} = \frac{22,5}{8} = 2,81 > 2,5$$

$$\nu_a = \frac{\omega \times K}{W_1} = \frac{9600 \times 1,9}{5164} = 3,53 > 2,5$$

$$\underline{\underline{\nu_1}} = \nu_p \left[1 - \left(\frac{1}{\nu_a} \right)^2 \right] = 2,81 \left[1 - \left(\frac{1}{3,53} \right)^2 \right] = \underline{\underline{2,58}} > 2$$

$$\underline{\underline{\nu_2}} = \nu_a \sqrt{1 - \frac{1}{\nu_p}} = 3,53 \sqrt{1 - \frac{1}{2,81}} = \underline{\underline{2,83}} > 2$$

satisfactorio

9.^a Línea

Se trata de comprobar 1 tubería ϕ 800 mm 9/18 con los datos siguientes:

- Del Apartado 1:

$$\begin{aligned} P_1 &= 8 \text{ Kg/cm}^2 \\ H &= 3,40 \text{ m} \\ \gamma &= 2000 \text{ Kg/m}^3 \\ \rho &= 18^\circ \\ B &= 1,40 \text{ m} \\ K &= 1,9 \end{aligned}$$

- Del Apartado 2:

$$\begin{aligned} D &= 0,885 \text{ m} \\ \psi &= 22,5 \text{ Kg/cm}^2 \\ \omega &= 9600 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

- El Cálculo de la carga de aplastamiento, se efectúa según el Apartado 3:

Una Tubería en la zanja

—Carga de Tierras

$$B = 1,40 < 2 D = 1,77 \text{ m}$$

$$H = 3,40 > 1,5 \times 1,4 = 2,1 \text{ m}$$

DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA

así que la carga sobre el tubo es

$$W_t = \frac{1 - e^{-\frac{3,40}{1,40} \times \text{tg } 18}}{\text{tg } 18} \times 2000 \times 0,885 \times 1,885 = 5605 \text{ Kg/m}$$

-Tráfico

$$H = 3,40 \text{ m}$$

$$\text{Carga total} = 24 \text{ T}$$

$$m = 1$$

$$\text{Del Abaco se saca } P_v = 500 \text{ Kg/m}^2$$

luego

$$P_c = 1 \left(1 + \frac{0,3}{3,40} \right) \times 0,885 \times 500 = 482 \text{ Kg/m}$$

$$\text{-Carga total } W_1 = W_t + P_c = 5605 + 482 = 6087 \text{ Kg/m}$$

- El cálculo de los coeficientes de seguridad se efectúa según el Apartado 4

$$\nu_p = \frac{\psi}{P_1} = \frac{22,5}{8} = 2,81 > 2,5$$

$$\nu_a = \frac{\omega \times K}{W_1} = \frac{9600 \times 1,9}{6087} = 3,00 > 2,5$$

$$\underline{\nu}_1 = \nu_p \left[1 - \left(\frac{1}{\nu_a} \right)^2 \right] = 2,81 \left[1 - \left(\frac{1}{3,00} \right)^2 \right] = \underline{2,50} > 2$$

$$\underline{\nu}_2 = \nu_a \sqrt{1 - \frac{1}{\nu_p}} = 3,00 \sqrt{1 - \frac{1}{2,81}} = \underline{2,41} > 2$$

satisfactorio

CUADRO A

CONDUCCION

TUBERIA ϕ 1.000 MM

Clase P_i/P_n	Presión interna mínima de rotura en máquina ψ Kg/cm ²	Carga mínima de rotura por aplastamiento en máquina ω Kg/m	Perfil Perfil	Longitud L (m)	Presión interna máxima de trabajo a lo largo del P. long. exigida en Proyecto P_1 Kg/cm ²	Altura máx. de tierras sobre el tubo a lo largo del P. long. del proyecto H (m)	Carga de aplastamiento sobre el tubo W_1 (Kg/m)	Coeficientes de seguridad			
								En la máquina de ensayo		En la explotación de la obra	
								a presión interna ν_p	a aplastamiento ν_a	a presión interna ν_1	a aplastamiento ν_2
12/24	30	19.000	1 - 5	100	10	0,20	466	3	77,46	3,00	63,25
9/18	22,50	12.000	5 - 7	48	8	4,00	7.975	2,81	2,86	2,47	2,30
9/18	22,50	12.000	7 - 8	39	6	0,80	1.993	3,75	11,44	3,72	9,79
9/18	22,50	12.000	8 - 9	41	6	2,30	5.305	3,75	4,30	3,54	3,68
5,5/11	14,40	6.000	9 - 11	49	4	1,60	3.665	3,60	3,11	3,23	2,64
9/18	22,50	12.000	11 - 16	216	8	1,00	2.134	2,81	10,68	2,78	8,57
9/18	22,50	12.000	16 - 17	40	6	4,30	8.283	3,75	2,75	3,25	2,35
9/18	22,50	12.000	17 - 19	90	6	2,40	5.531	3,75	4,12	3,53	3,52
9/18	22,50	12.000	19 - 22	119	8	2,80	6.218	2,81	3,67	2,60	2,95
9/18	22,50	12.000	22 - 26	175	8	1,20	2.641	2,81	8,63	2,77	6,93
9/18	22,50	12.000	26 - 28	58	8	2,00	4.395	2,81	5,19	2,70	4,16
9/18	22,50	12.000	28 - 34	334	8	1,30	2.905	2,81	7,85	2,76	6,30
9/18	22,50	12.000	34 - 40	263	9	2,50	5.708	2,5	4,00	2,34	3,01
12/24	30	19.000	40 - 45	200	10	3,50	7.517	3	4,80	2,87	3,92
12/24	30	19.000	45 - 48	260	10	2,00	4.469	3	8,08	2,95	6,59
12/24	30	19.000	48 - 56	323	11	4,00	8.218	2,73	4,39	2,58	3,49
12/24	30	19.000	56 - 57	22	11	4,80	9.200	2,73	3,92	2,55	3,12
12/24	30	19.000	57 - 64	239	10	1,80	4.433	3	8,14	2,95	6,64
12/24	30	19.000	64 - 70	339	10	1,20	2.695	3	13,40	2,98	10,94
12/24	30	19.000	70 - 75	307	10	4,30	8.605	3	4,20	2,83	3,42

DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA

CUADRO A		CONDUCCION (Cont.)						TUBERIA ϕ 1,000 MM			
Clase	Presión interna mínima de rotura en máquina ψ Kg/cm ²	Carga mínima de rotura por aplastamiento en máquina ω Kg/m	Perfil a Perfil	Longitud L (m)	Presión interna máxima de trabajo a lo largo del P. long. exigida en Proyecto P_1 Kg/cm ²	Altura máx. de tierras sobre el tubo a lo largo del P. long. del proyecto H (m)	Carga de aplastamiento sobre el tubo W_1 (Kg/m)	Coeficientes de seguridad			
								En la máquina de ensayo		En la explotación de la obra	
								a presión interna ν_p	a aplastamiento ν_a	a presión interna ν_1	a aplastamiento ν_2
12/24	30	19.000	75-80	271	10	2,00	4.469	3	8,08	2,95	6,59
12/24	30	19.000	80-85	257	10	1,70	4.123	3	8,76	2,96	7,15
12/24	30	19.000	85-92	199	10	3,10	6.903	3	5,23	2,89	4,27
12/24	30	19.000	92-95	197	10	1,50	3.527	3	10,23	2,97	8,35
9/18	22,50	12.000	95-97	99	9	1,50	3.461	2,5	6,59	2,44	5,10
9/18	22,50	12.000	97-100	124	8	1,20	2.641	2,81	8,63	2,77	6,92
9/18	22,50	12.000	100-104	179	8	3,00	6.487	2,81	3,51	2,58	2,81
9/18	22,50	12.000	104-110	151	8	2,10	4.690	2,81	4,86	2,69	3,90
9/18	22,50	12.000	110-114	204	8	1,30	2.905	2,81	7,85	2,76	6,30
9/18	22,50	12.000	114-116	127	8	2,25	5.147	2,81	4,43	2,66	3,55
9/18	22,50	12.000	116-117	158	8	1,40	3.179	2,81	7,17	2,75	5,75
9/18	22,50	12.000	117-122	277	6	2,00	4.395	3,75	5,19	3,61	4,44
9/18	22,50	12.000	122-124	99	6	3,40	7.089	3,75	3,22	3,38	2,75
9/18	22,50	12.000	124-128	122	6	1,80	4.355	3,75	5,24	3,61	4,48
9/18	22,50	12.000	128-131	95	4	2,25	5.147	5,63	4,43	5,34	4,01
5,5/11	14,40	6.000	131-132	87	4	0,80	1.941	3,60	5,87	3,50	5,00
5,5/11	14,40	6.000	132-134	59	4	1,80	4.260	3,60	2,68	3,10	2,28
5,5/11	14,40	6.000	134-138	189	4	1,30	2.835	3,60	4,02	3,37	3,41
5,5/11	14,40	6.000	138-146	316	2	1,50	3.379	7,20	3,37	6,56	3,12

CUADRO B		SUMINISTRO										DOS TUBERIAS ϕ 900 MM.				
Clase	Presión interna mínima de rotura en máquina ψ Kg/cm ²	Carga mínima de rotura por aplastamiento en máquina ω Kg/m	Perfil a Perfil	Longitud L (m)	Presión interna máxima de trabajo a lo largo del P. long. exigida en Proyecto P_1 Kg/cm ²	Altura de tierras sobre el tubo a lo largo del P. longitud. del proyecto H (m)		Carga de tierras sobre el tubo W_1 (Kg/m)		Carga de tráfico sobre el tubo P_c (Kg/m)		Carga total máxima de aplastamiento sobre el tubo W_1 (Kg/m)	Coeficientes de Seguridad			
						Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.		En la máquina de ensayo		En la explotación de la obra	
													a presión interna ν_p	a aplastamiento ν_a	a presión interna ν_1	a aplastamiento ν_2
5,5/11	14,30	5.400	1-3	42	2	0,80	-	1.950	-	-	-	1950	7,15	5,26	6,89	4,88
12/24	30	17.000	3-5	63	4	5,50	-	11.431	-	-	-	11431	7,50	2,83	6,56	2,63
5,5/11	14,30	5.400	5-10	139	4	1,60	-	3.464	-	-	-	3464	3,58	2,96	3,17	2,51
9/18	22,50	10.800	10-16	248	4	2,00	-	4.509	-	-	-	4509	5,63	4,55	5,36	4,13
9/18	22,50	10.800	16-18	122	6	1,30	-	2.740	-	-	-	2740	3,75	7,49	3,68	6,41
9/18	22,50	10.800	18-20	62	6	2,90	-	6.620	-	-	-	6620	3,75	3,10	3,36	2,65
9/18	22,50	10.800	20-24	70	6	2,00	-	4.509	-	-	-	4509	3,75	4,55	3,57	3,90
9/18	22,50	10.800	24-30	292	8	1,80	-	3.966	-	-	-	3966	2,81	5,17	2,70	4,15
9/18	22,50	10.800	30-36	300	8	1,60	-	3.462	-	-	-	3462	2,81	5,93	2,73	4,76
9/18	22,50	10.800	36-37	65	9	1,30	-	2.740	-	-	-	2740	2,5	7,49	2,46	5,80
9/18	22,50	10.800	37-39	84	9	1,80	-	3.966	-	-	-	3966	2,5	5,17	2,41	4,00
9/18	22,50	10.800	39-41	149	9	1	-	2.064	-	-	-	2064	2,5	9,94	2,47	7,70
9/18	22,50	10.800	41-47	307	9	3,30	-	7.427	-	-	-	7427	2,5	2,76	2,17	2,14
12/24	30	17.000	47-52	199	9	3,20	3,4	7.243	2983	1230	2778	8473	3,33	3,81	3,10	3,19
9/18	22,50	10.800	52-72	1301	9	1,50	1	3.223	2064	2479	4295	6359	2,50	3,23	2,26	2,50

DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA

CUADRO C														ANILLO				TUBERIA ϕ 800 MM			
Clase P_1/P_n	Presión interna mínima de rotura en máquina ψ Kg/cm ²	Carga mínima de rotura por aplastamiento en máquina ω Kg/m	Perfil a Perfil	Longitud L (m)	Presión interna máxima de trabajo a lo largo del P. long. exigida en Proyecto P_1 Kg/cm ²	Altura de tierras sobre el tubo a lo largo del P. longitud. del proyecto H (m)		Carga de tierras sobre el tubo W_1 (Kg/m)		Carga de tráfico sobre el tubo P_c (Kg/m)		Carga total máxima de aplastamiento sobre el tubo W_1 (Kg/m)	Coeficientes de Seguridad								
						Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.		En la máquina de ensayo		En la explotación de la obra						
													a presión interna ν_p	a aplastamiento ν_a	a presión interna ν_1	a aplastamiento ν_2					
9/18	22,50	9.600	1-19	822,20	8	0,90	0,80	1887	1646	2925	3518	5164	2,81	3,53	2,58	2,83					
9/18	22,50	9.600	19-23	230,90	8	1,90	1,00	4036	1900	1057	2377	5093	2,81	3,58	2,59	2,87					
9/18	22,50	9.600	23-26	211,00	8	2,30	1,90	4190	4036	1000	1057	5190	2,81	3,51	2,58	2,82					
9/18	22,50	9.600	26-33	328,60	8	1,90	1,40	4036	2689	1057	1509	5093	2,81	3,58	2,59	2,87					
9/18	22,50	9.600	33-36	216,70	8	1,40	1,00	2689	1900	1509	2377	4277	2,81	4,26	2,66	3,42					
9/18	22,50	9.600	36-47	770,70	8	1,00	0,70	1775	1412	2315	4701	5989	2,81	3,05	2,51	2,45					
9/18	22,50	9.600	47-50	92	8	2,90	0,70	5030	1412	666	4577	5989	2,81	3,05	2,51	2,45					
9/18	22,50	9.600	50-52	60	8	0,70	0,70	1412	1412	4577	4577	5989	2,81	3,05	2,51	2,45					
9/18	22,50	9.600	52-58	235	8	3,40	1,10	5605	2033	482	2039	6087	2,81	3,00	2,50	2,41					
9/18	22,50	9.600	58-64	320	8	1,10	0,70	1990	1412	2039	4577	5989	2,81	3,05	2,51	2,45					
9/18	22,50	9.600	64-68	67	8	3,20	0,90	5381	1887	567	2848	5948	2,81	3,07	2,51	2,46					
9/18	22,50	9.600	68-72	332,50	8	1,24	1,00	2307	1900	1724	2377	4277	2,81	4,26	2,66	3,42					
9/18	22,50	9.600	72-83	866,50	8	1,24	0,80	2307	1646	1724	3519	5165	2,81	3,53	2,58	2,83					
9/18	22,50	9.600	83-85	375,50	8	0,90	0,90	1887	1887	2925	2925	4812	2,81	3,79	2,61	3,04					
9/18	22,50	9.600	85-94	975,50	6	1,40	0,80	2689	1646	1509	3519	5165	3,75	3,53	3,45	3,02					
9/18	22,50	9.600	94-98	209	6	2,60	0,90	4652	1887	791	2925	5443	3,75	3,35	3,42	2,87					
9/18	22,50	9.600	98-102	202	6	1,35	0,90	2567	1887	1564	2925	4812	3,75	3,79	3,49	3,25					
9/18	22,50	9.600	102-107	256	6	3,50	0,90	5710	1887	481	2925	6191	3,75	2,95	3,32	2,53					

CUADRO C														ANILLO (Cont.)				TUBERIA ϕ 800 MM			
Clase P_1/P_n	Presión interna mínima de rotura en máquina ψ Kg/cm ²	Carga mínima de rotura por aplastamiento en máquina ω Kg/m	Perfil a Perfil	Longitud L (m)	Presión interna máxima de trabajo a lo largo del P. long. exigida en Proyecto P_1 Kg/cm ²	Altura de tierras sobre el tubo a lo largo del P. longitud. del proyecto H (m)		Carga de tierras sobre el tubo W_1 (Kg/m)		Carga de tráfico sobre el tubo P_c (Kg/m)		Carga total máxima de aplastamiento sobre el tubo W_1 (Kg/m)	Coeficientes de Seguridad								
						Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.		En la máquina de ensayo		En la explotación de la obra						
													a presión interna ν_p	a aplastamiento ν_a	a presión interna ν_1	a aplastamiento ν_2					
9/18	22,50	9.600	107-112	95	8	3,50	1,20	5710	2216	481	1780	6191	2,81	2,95	2,49	2,37					
9/18	22,50	9.600	112-122	416	8	1,15	0,80	2102	1646	2028	3519	5165	2,81	3,53	2,58	2,83					
9/18	22,50	9.600	122-126	187	8	2,35	0,90	4315	1887	998	2925	5313	2,81	3,43	2,57	2,75					
9/18	22,50	9.600	126-131	302	8	1,30	0,70	2448	1412	1577	4577	5989	2,81	3,05	2,51	2,45					
9/18	22,50	9.600	131-137	340,50	8	1,95	0,90	4186	1887	1013	2925	5199	2,81	3,51	2,58	2,82					
9/18	22,50	9.600	137-158	633,50	8	0,90	0,70	1887	1412	2848	4577	5989	2,81	3,05	2,51	2,45					
9/18	22,50	9.600	158-170	276,75	8	1,20	0,90	2214	1887	1828	2925	4812	2,81	3,79	2,61	3,04					
9/18	22,50	9.600	170-1	1100,25	8	0,90	0,80	1887	1646	2925	3519	5165	2,81	3,53	2,58	2,83					

DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA

CUADRO D

CHIMENEA DE EQUILIBRIO

TUBERIA ϕ 1.000 MM

Clase P_1/P_n	Presión interna mínima de rotura en máquina ψ Kg/cm ²	Carga mínima de rotura por aplastamiento en máquina ω Kg/m	Perfil Perfil	Longitud L (m)	Presión interna máxima de trabajo a lo largo del P. long. exigida en Proyecto P_1 Kg/cm ²	Altura máx. de tierras sobre el tubo a lo largo del P. longit. del proyecto H (m)	Carga de aplastamiento sobre el tubo W_1 (Kg/m)	Coeficientes de seguridad			
								En la máquina de ensayo		En la explotación de la obra	
								a presión interna ν_p	a aplastamiento ν_a	a presión interna ν_1	a aplastamiento ν_2
9/18	22,50	12.000	1-5	75	4	2,50	5.708	5,63	4,00	5,28	3,63
5,5/11	14,40	6.000	5-7	59	4	1,20	2.576	3,60	4,43	3,42	3,76
5,5/11	14,40	6.000	7-10	75	2	1,95	4.732	7,20	2,41	3,96	2,24
9/18	22,50	12.000	10-15	94	2	3,00	6.542	11,25	3,49	10,33	3,33

Puntos singulares por la altura de tierras, que se encuentran aislados a lo largo del trazado

Estos puntos, cada uno de los cuales afecta a pocos tubos, tienen una altura de tierras superior a la máxima que se toma para el tramo al que pertenecen, y el objeto de calcular aparte sus coeficientes de seguridad ν_1 y ν_2 es el de no penalizar irrealmente la seguridad del tramo correspondiente, a la vez que se comprueba la validez de los tubos afectados.

Los resultados para estos puntos pueden hacer cambiar la Clase de estos tubos si los coeficientes son inferiores a los mínimos establecidos.

En el caso que se estudia no hay puntos singulares.

DE LA REDUCCION DEL COEFICIENTE DE IGNORANCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS TUBERIAS EN OBRA

Conclusiones

En definitiva después del estudio realizado las Tuberías Uralita comprobadas válidas serían:

TRAMO	Longitud	PROPUESTA URALITA		
		ϕ mm	P. trabajo Kg/cm ²	P. timbraje Kg/cm ²
Conducción + Chimenea	834	1.000	5,5	11
	3.227	1.000	9	18
	2.714	1.000	12	24
Suministro	2 x 181	2 x 900	5,5	11
	2 x 3000	2 x 900	9	18
	2 x 262	2 x 900	12	24
Anillo.	9.922	800	9	18

Una vez ajustadas las tuberías con el cálculo anterior queda garantizada la completa seguridad de la instalación ante cargas resultantes de la combinación de las de aplastamiento por peso de las tierras de relleno, y de las de presión interna de trabajo, tomando como datos las cotas rojas de los perfiles longitudinales y los cálculos hidráulicos del Proyecto.

BIBLIOGRAFIA

- DIN 19.800:
Tubos de Amianto-Cemento con presión interna (1973).
- ISO 2785:
Elección de tubos de Amianto-Cemento sometidos a cargas exteriores con y sin presión interna.
Suiza (1975).
- KURT HÜNERBERG:
Tubos de Amianto-Cemento
- MARSTON, ANSON: •
The Theory of External Loads on Closed Conduits.
- MICHATZ, J.:
Prueba de la capacidad portante de los tubos de Saneamiento de Amianto-Cemento.
- VOELLMY, A.:
Eingebettete Rohre. (Statistische Untersuchung überschütteter).
Leitungen mit Berücksichtigung ihrer Elastizität.
Bemessung und Bruchsicherheit von Rohrleitungen, insbesondere von Asbestzementleitungen, S B Z.
- WETZORKE, M.:
Über die Bruchsicherheit von Rohrleitungen in parallelwandigen Gräben.