

CÁLCULO MECÁNICO DE TUBERÍAS ENTERRADAS.



ÍNDICE

- **Introducción**
- **Tipos de suelos**
- **Cargas de tráfico puntuales**
- **Materiales**
- **Cargas repartidas**
- **Cargas de tráfico y puntuales**
- **Distribución de la carga**
- **Ejecución de la obra. Diferentes tipos de relleno.**
- **Ejecución de la obra. Forma de la zanja.**

ÍNDICE

- Relación K2 (carga unitaria hzta / lateral)
- Factores de concentración I_R y I_G
- Relación de rigidez tubo/terreno V_S
- influencia de la anchura relativa de la zanja
- Valor límite del factor de concentración I_{RG}
- Carga vertical sobre el tubo
- Tipos de apoyo
- Distribución de la carga hzta del relleno según tipo apoyo
- Cálculo de esfuerzos
- Cálculo de tensiones
- Cálculo de deformaciones

ÍNDICE

- **Verificación de la tensión**
- **Verificación de la carga admisible**
- **Verificación de la deformación**
- **Carga crítica de abolladura**
- **Presión del agua externa**
- **Carga de tierras y presión del agua externa simultáneas**
- **Seguridad contra el fallo mecánico**
- **Seguridad contra la deformación**

1. Introducción

Clasificación de Marston

Tuberías rígidas: $\Delta D/D \leq 1\%$

Tuberías flexibles: $\Delta D/D > 30\%$

Tuberías semiflexibles: $1\% < \Delta D/D \leq 30\%$

Siendo:

D= Dext del tubo

W= Carga s/generatriz kp/m

E_R =Mód. Elast tubo kp/cm²

r_m =Radio medio

e=Espesor del tubo

$$\Delta D = 0,1784 \times \frac{W}{E_R} \times \left(\frac{r_m}{e} \right)^3$$

1. Introducción

Teorias

...Las fuerzas exteriores sobre las tuberías se pueden estudiar siguiendo dos caminos....

1.- Comparar las cargas que se producen sobre la tubería con el ensayo de 3 aristas, mediante un coeficiente K experimental que varía según el tipo de apoyo.

2.- Comparando las tensiones teóricas por la acción de tierras y vehículos en virtud del hipótesis de reparto de las reacciones en la tubería según el tipo de apoyo, con las tensiones producidas en el ensayo de tres aristas.

...el método 2 es el de la ATV127

2. Tipos de suelo

Grupo	Tipo
G1	Granular
G2	Areno-arcilloso
G3	Arcillo-arenoso
G4	Arcilla

Para cada grupo, por tablas da:

- Peso específico
- Ángulo de rozamiento interno
- Módulo de deformación según grado compactación

$$E_B = \frac{2,74 \times 10^{-7}}{G} \times e^{0,188 \times D_{PR}}$$

Siendo:

E_B = Mód. Deformación secante kp/cm²

G = Grupo de suelo (1 a 4)

D_{RD} = % compactación Próctor

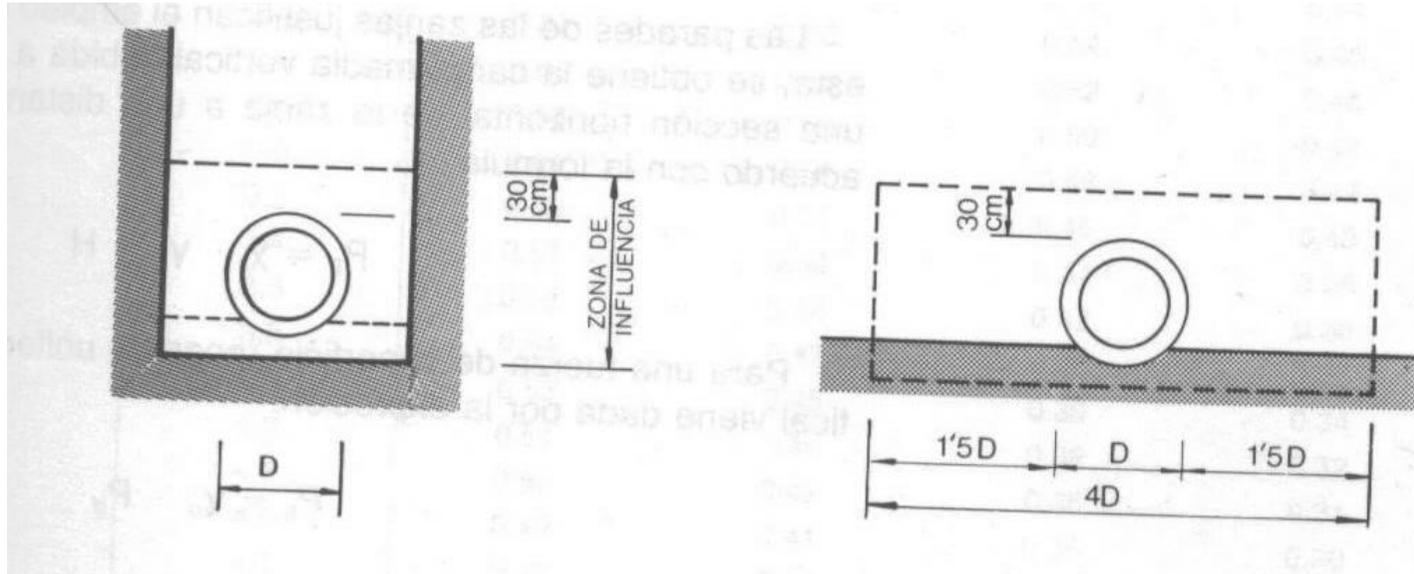
3. Cargas de tráfico

Peso vehículo	Carga (kN) de ruedas	Superficie
60	100	0.6x0.2
30	50	0.4x0.2
12	Delante 20 Detrás 40	Delante 0.3x0.2 Detrás 0.2x0.2

4. Materiales

Material	Mod. Elast $E_R(\text{N/mm}^2)$	Peso específico $\gamma_R(\text{N/mm}^2)$	Tensión Flexotracción $\sigma_R(\text{N/mm}^2)$
Fibrocemento	25000	20	45
Hormigon	30000	24	Norma
Fundicion ductil	170000	70.5	Norma
Fundicion gris	100000	71.7	Norma
PEAD	1000/150	9.5	Norma
PVC	3600/1750	13.6	Norma
Acero+morter o	210000	77	Norma
Hormigon armado	30000	25	Norma
Hormigon pretensado	39000	25	Norma
Gres	50000	22	Norma

5. Ejecución de la obra



Para tubos que requieran comprobación a deformación en la zona de influencia sólo se colocará material del grupo G1 o G2

6. Carga de tierras

Se aplica la teoría del silo

$$P_E = X \times \gamma_B \times H$$

$$P_E = X_0 \times P_0$$

Siendo:

P_E =Carga media vertical debida a la acción de las tierras en una sección hzta de la zanja a una distancia H de la superficie

H= Distancia a la superficie

X=Coeftte de silo

γ_B = Peso específico del terreno

P_0 = Carga uniformemente repartida

X y X_0 se obtienen de tablas o en función de las ecuaciones de teoría del silo.

7. Tratamiento del relleno

Relleno sobre la zona de influencia

A1= Compactado normal ($K1=0.5$, $\rho=2/3 \rho'$)

A2= Sin compactar ($K1=0.5$, $\rho=1/3 \rho'$)

A3= Zanja entibada ($K1=0.5$, $\rho=0$)

A4= Compactado por capas $Pr>100\%$ ($K1=0.5$, $\rho=\rho'$)

Relleno en la zona de influencia

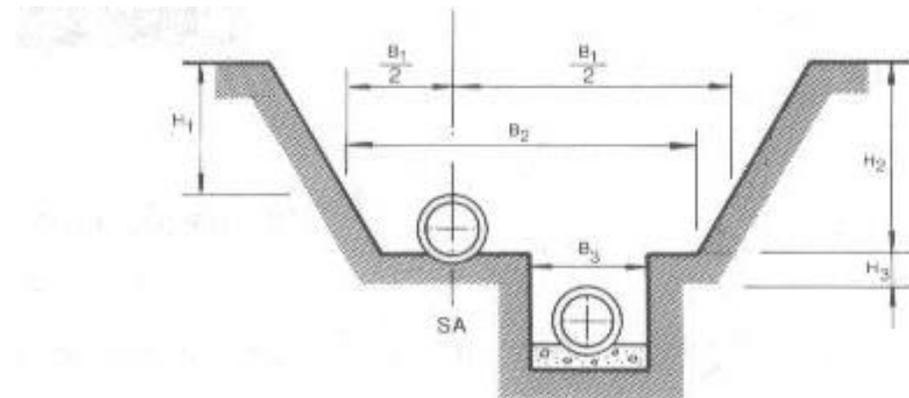
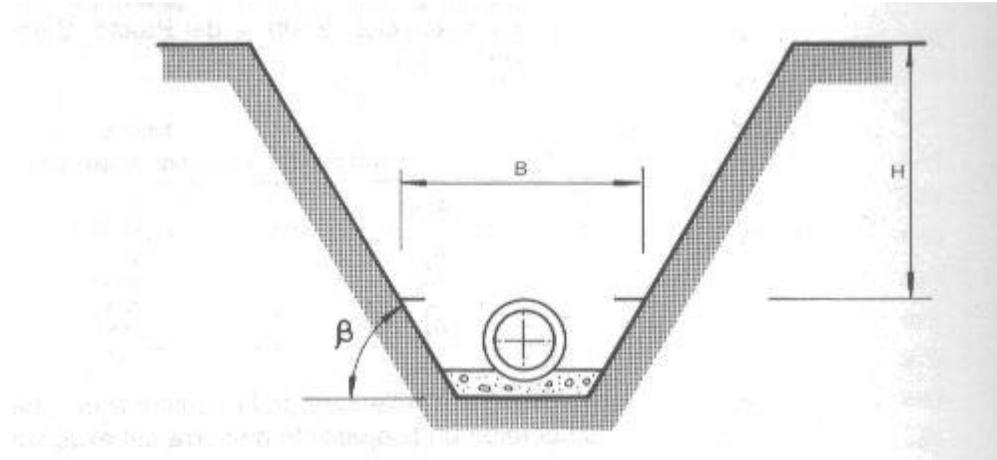
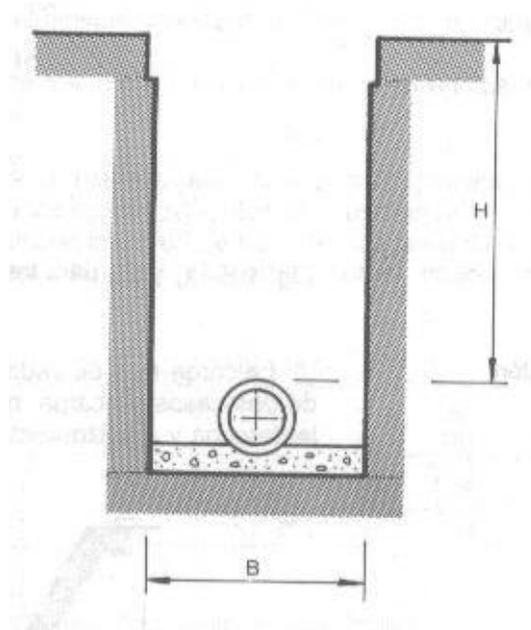
B1= Compactación cuidada

B2= Compactación normal

B3= Entibación de zanja

B4= Alta compactación

8. Formas de zanja



7. Carga por acción de tráfico

Se aplica la teoría del silo

$$P_V = a_F \times P_F \times j$$

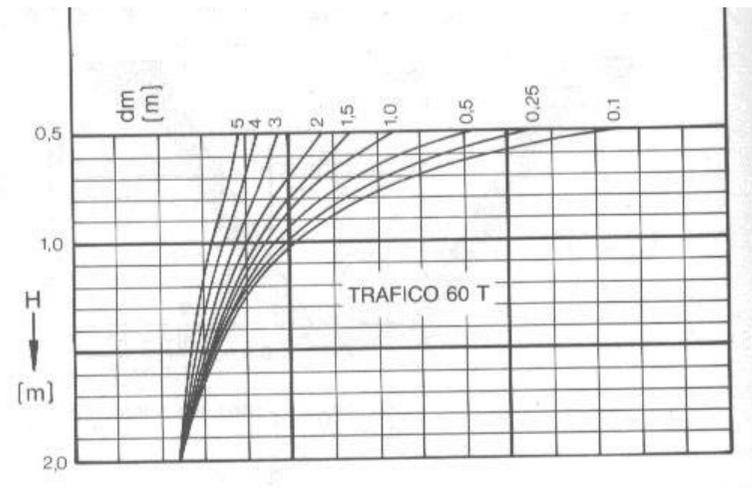
Siendo:

P_F =Carga Max de Boussinesq por acción del as
ruedas.

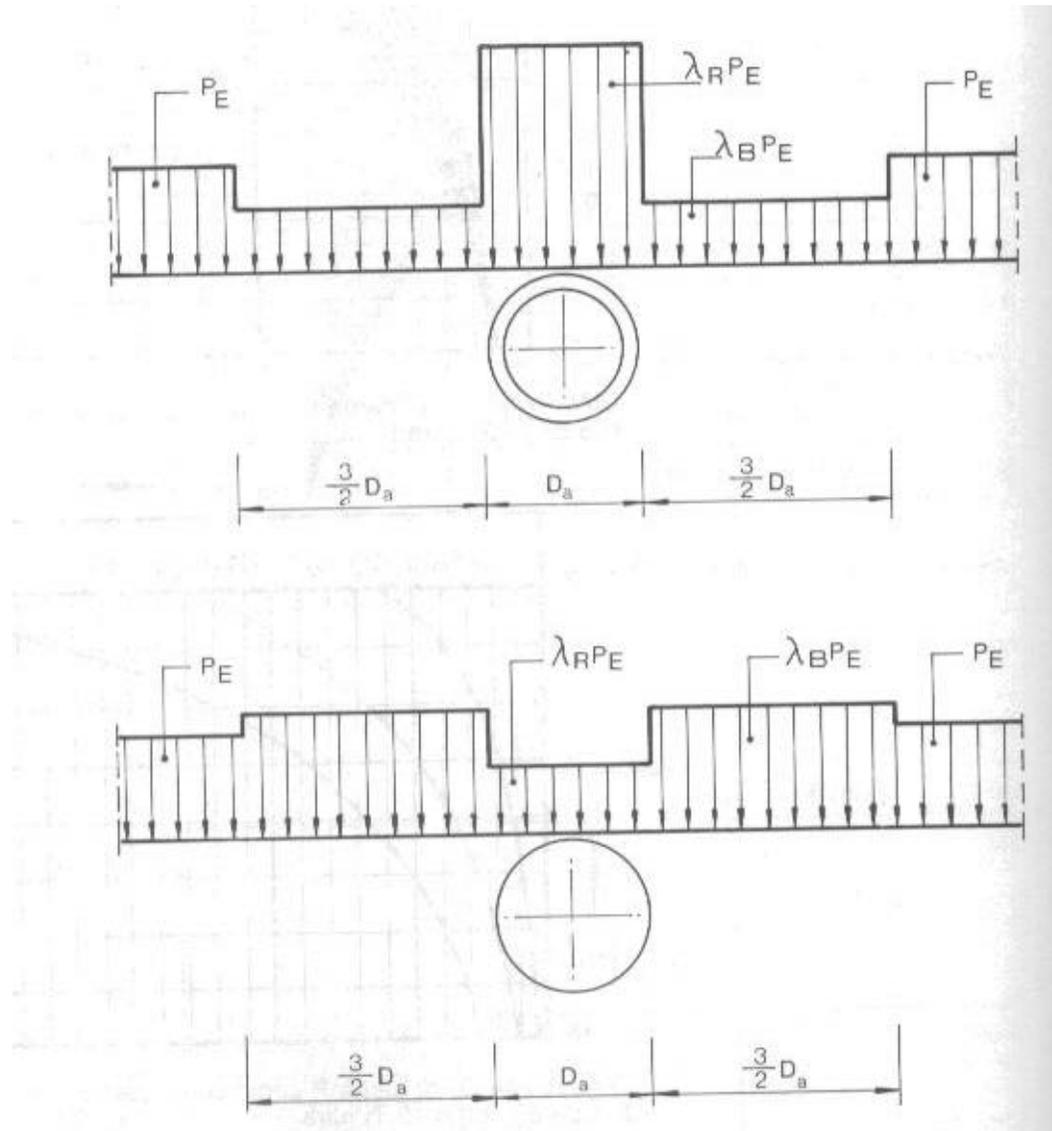
a_F = Factor de corrección

ϕ =Factor de choque

Peso vehículo	Carga (kN) de ruedas	Superficie
60	100	0.6x0.2
30	50	0.4x0.2
12	Delante 20 Detrás 40	Delante 0.3x0.2 Detrás 0.2x0.2



8. Distribución de la carga



9. Módulos de deformación del terreno

Los módulos de deformación del terreno que se emplean en el cálculo son:

E1 = El módulo de deformación del relleno por encima del tubo

E2 = El módulo de deformación del relleno hasta clave del tubo

E3 = El módulo de deformación del terreno adyacente a la zanja

E4 = El módulo de deformación del terreno bajo la zanja

Se determinan en función de:

- Las zonas de relleno sobre zona influencia A1, A2, A3 o A4
- Las zonas de relleno en zona influencia B1, B2, B3 o B4
- El % compactación Próctor
- Los grupos de suelo G1, G2, G3 o G4
- La forma de la zanja
- La presencia o no de nivel freático (en tal caso son rebajados E')

10. Rigidez del sistema suelo-tubo (V_{RB}).

Siendo:

E_R =Mód. Elast tubo kp/cm^2

r_m =Radio medio

I =Mto inercia sección

S_R =Rigidez del tubo

S_{BH} =Rigidez hztl del relleno hasta clave

$$S_R = \frac{E_R \times I}{r_m^3}$$

$$V_{RB} = \frac{S_R}{S_{BH}}$$

$$S_{BH} = 0,6 \times \zeta \times E_2'$$

Siendo ζ : factor cuyas ecuaciones dependen de:

Ancho de zanja

Diámetro

Módulos de deformación E_2 y E_3

11. Relación de carga unitaria hzta en la zona lateral del tubo a la carga vertical del terreno (K2).

Caso $V_{RB} > 0,1$

$$K2 = 0.5$$

Caso $V_{RB} \leq 0,1$

Si Suelo G1 $K2 = 0.4$

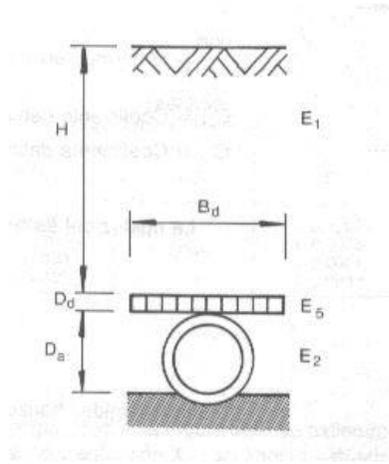
Si Suelo G2 $K2 = 0.3$

Si Suelo G3 $K2 = 0.2$

Si Suelo G4 $K2 = 0.1$

12. Relación de rigidez entre tubo y terreno (V_s).

$$V_s = \frac{S_d}{S_{BV}}$$



$$S_d = E_d \times \frac{B_d}{D_d}$$

$$S_{BV} = \times \frac{E'_2}{a}$$

Descarga relativa

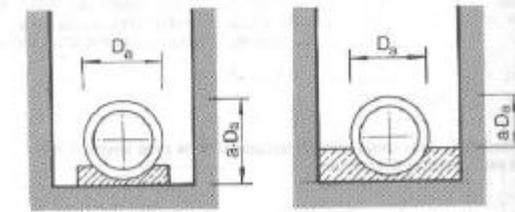
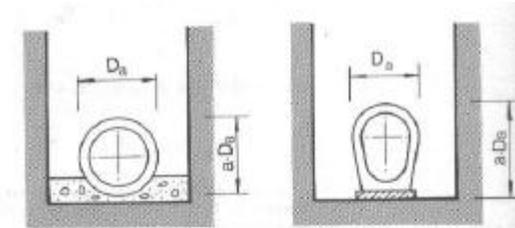


Fig. 110. Descarga relativa.

Siendo:

V_s =Rigidez entre tubo y terreno

S_d =Rigidez de la capa de deformación

S_{BV} =Rigidez de relleno hasta clave tubo

E_d =Módulo elasticidad capa deformación

B_d =Anchura capa deformación

D_d =Espesor capa deformación

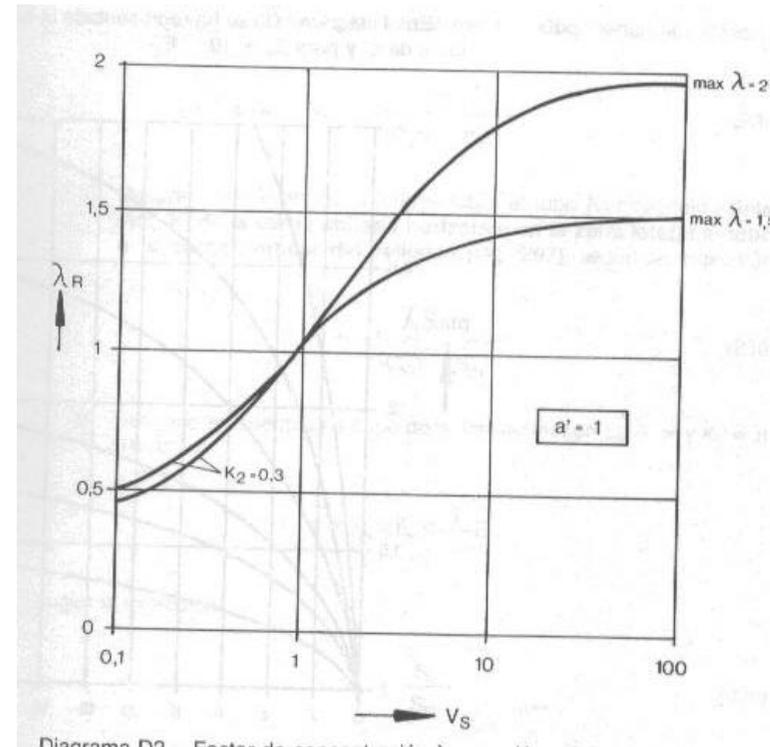
a =Descarga relativa

13. Factores de concentración I_R y I_B

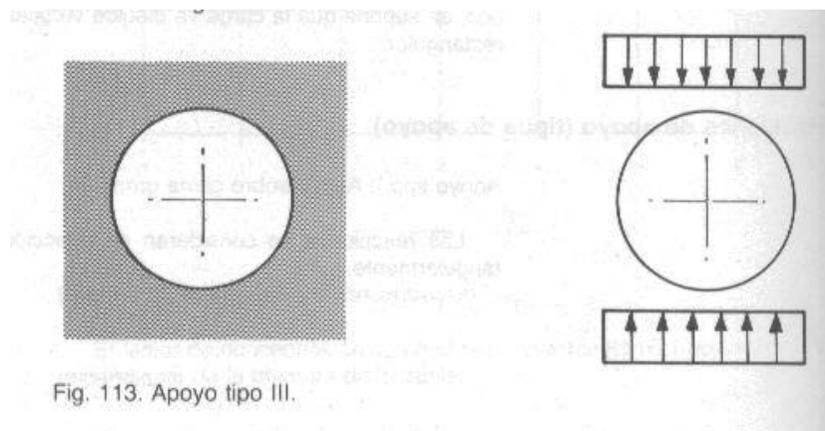
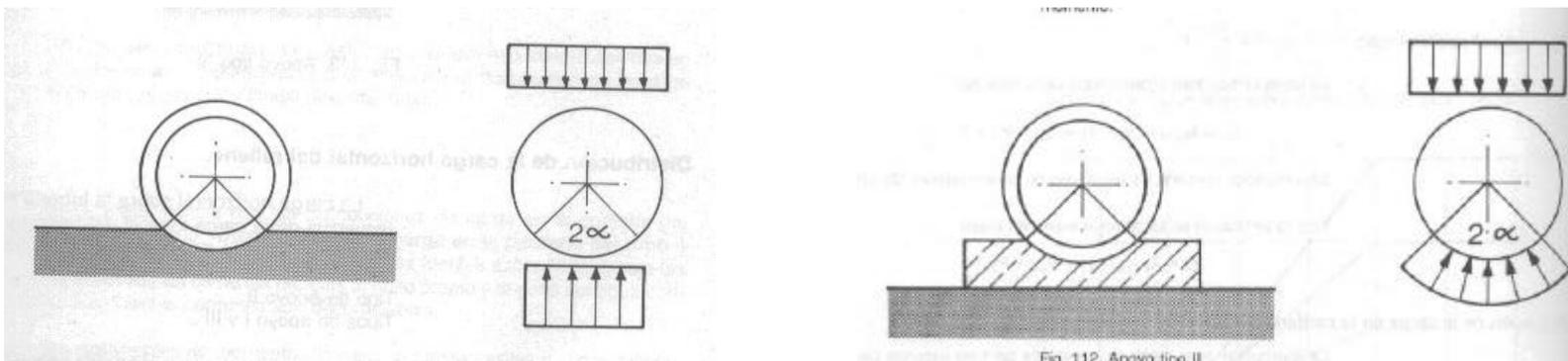
Dependen de:

- Modulos de deformación E_1, E_4
- Profundidad de zanja
- Diámetro de la tubería
- Coeficiente K_2
- Descarga relativa a
- Relación de rigidez entre tubo y terreno V_s

Si se corrige con la anchura de zanja se llama λ_{RG}



14. Tipos de apoyo



15. Cargas sobre el tubo

$$q_{vt} = \mathbf{I}_{RG} \times (X \times \mathbf{g}_B \times H + X_0 \times P_0) + P_v$$

$$q_h = K_2 \times \mathbf{I}_B \times (X \times \mathbf{g}_B \times H + X_0 \times P_0) + K_2 \times \mathbf{g}_B \times \frac{D}{2}$$

Siendo:

H= Distancia a la superficie

X=Coefte de silo

X₀=Coefte de silo

γ_B = Peso específico del terreno

P_o = Carga uniformemente repartida

P_v = Carga de tráfico

λ_{RG} = Coeficiente de concentración

λ_B = Coeficiente de concentración

D = Diámetro del tubo

K₂ = Coeficiente de relación entre carga vertical y hzta

Verificación

a aplastamiento

$$C1 = \frac{2 \times \sqrt{S_R \times S_{BH}}}{q_{vt}}$$

16. Esfuerzos sobre el tubo

$$Mq_{vt} = (mq_{vt} \times q_{vt} + mq_h \times q_h + m_g \times \mathbf{g}_R \times e + mw \times \mathbf{g}_w \times r_m) \times r_m^2$$

$$Nq_{vt} = (nq_{vt} \times q_{vt} + nq_h \times q_h + n_g \times \mathbf{g}_R \times e + nw \times \mathbf{g}_w \times r_m) \times r_m$$

Siendo:

$m q_{..}$ Y $n q_{..}$ Son coeficientes.

17. Tensiones y deformaciones

Cálculo de tensiones

$$\mathbf{s} = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W^*} \times a_k \xrightarrow{\text{Verificación}} C2 = \mathbf{s}_R / \mathbf{s}$$

Cálculo de deformaciones

$$\mathbf{d}_v = C_v^* \times \frac{q_{vt} - q_h}{S_R} \times 100 \xrightarrow{\text{Verificación}} \mathbf{d}_v < 6\%$$