



Anexos

7 Anexo 1

7.1 Cálculo Estructural Tubería KRAH®

7.1.1 Introducción

En las tuberías KRAH® se considera un Cálculo Estructural para la condición en que ésta trabaje sin presión interior y con cargas externas actuando sobre ella.

Desde el punto de vista estructural las tuberías KRAH® corresponden a tuberías flexibles, por lo tanto los enterramientos admisibles están íntimamente ligados a aspectos tales como: capacidad mecánica de los suelos naturales, la calidad de los rellenos que rodean al tubo, las cargas sobre la tubería, la presencia o no de napa. En términos generales la tubería KRAH® posee, dependiendo de su rigidez, capacidad para resistir cargas producto de rellenos y tránsito vehicular sobre su clave, los enterramientos admisibles se deberán verificar en cada situación.

Esta verificación estructural se realiza siguiendo los procedimientos de cálculo normalmente aceptados para tuberías flexibles. Las recomendaciones de cálculo provienen de las siguientes instituciones:

USBR: United State Bureau Reclamation
USACE: United State Army Corp Of Engineers
AWWA: Manual M55

La carga que el terreno ejerce sobre la tubería se calcula mediante la teoría del prisma, y por ende, no afecta al tubo el ancho total de la zanja que la contiene.

En los siguientes puntos se desarrolla brevemente el cálculo estructural de la tubería de HDPE fabricada por KRAH® S.A.

7.1.2 Antecedentes para el cálculo

Los parámetros básicos, para poder efectuar el cálculo, son los siguientes:

- Peso específico del terreno sobre el tubo.
- Carga móvil sobre el tubo.
- Carga producto de napa sobre el tubo.

Material de relleno	γ_t según grado de compactación (T/m ³)			
	Suelto	Moderado	Media	Alto
Granular grueso	1,8	1,9	2,0	2,2
Grava gruesa, húmeda con poco fino	1,7	1,8	1,9	2,0
Grava fina, arena, maicillo	1,6	1,7	1,8	1,9
Limo no saturado	1,4	1,6	1,7	1,8
Arcilla saturada	1,6	1,8	1,9	---

Tabla 7.1-1: Valores de t para distintos materiales de relleno.

7.1.3 Instalación típica

Para la verificación estructural de la tubería se tiene en cuenta el siguiente esquema de instalación:

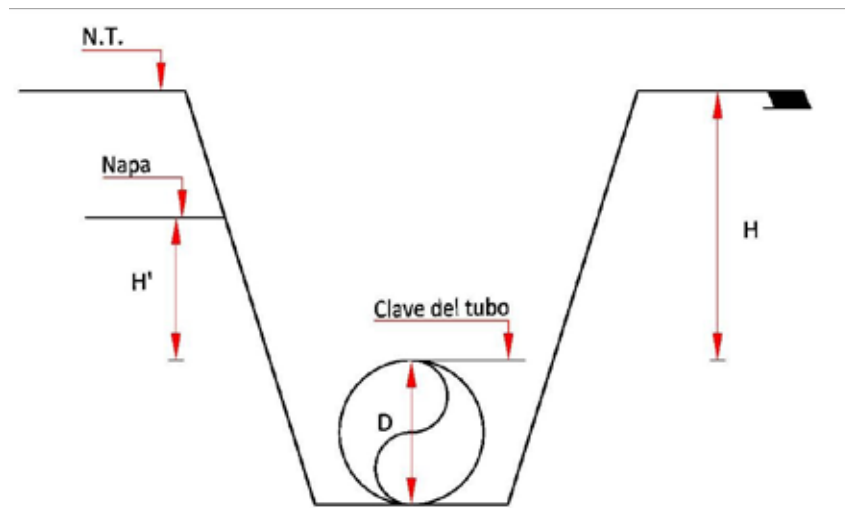


Figura 7.1-1: Instalación de la tubería KRAH®

7.1.4 Determinación de cargas

Las cargas que actúan sobre la tubería se determinan según:

• Carga de terreno:

Es la carga que ejerce el terreno sobre la tubería y se determina por la siguiente relación (se incluye presencia de napa):

Donde:

$$P_m \text{ [T/m}^2\text{]} = \gamma_t \cdot H \cdot R + \gamma_a \cdot H'$$

γ_t = Peso específico del terreno [T/m²]
(ver Tabla 7.1-1)

H = Altura del terreno sobre la clave del tubo [m]

H' = Altura de la napa sobre la clave del tubo [m]

R = Factor de flotabilidad (1 - 0,33 H'/H)

γ_a = Peso específico del agua

• Carga de tránsito:

$$P_t \text{ [T/m}^2\text{]} = \phi \cdot P_v$$

Donde:

ϕ = Factor de Impacto

P_v = Carga camión (T/m²)

Para el cálculo del factor de impactos se considera:

$$\phi = \begin{cases} 1.5 & ; \text{si } H \leq 1.0 \text{ m} \\ 1.0 + 1.5/H & ; \text{si } H > 1.0 \text{ m} \end{cases}$$

La carga Pv depende del tipo de camión a considerar y de la profundidad a la que está instalada la tubería.

Camión Tipo	Peso (Ton.)	N° Ejes	Carga de Ruedas	
			Delantera (KN)	Trasera (KN)
LT 3	3	2	4.903	9.807
LT 6	6	2	9.807	19.613
LT 12	12	2	19.613	39.227
LT 26	26	2	63.744	63.744
HT 30	30	2	49.034	53.744
HT 38	38	2	61.292	53.744
HT 45	45	2	73.550	73.550

Tabla 7.1-2: Carga por rueda camiones tipo.

• **Carga total:**

La carga total sobre la tubería será entonces la siguiente:

$$P [T/m^2] = P_m + P_t$$

La Figura 7.1-2 muestra como determinar la carga dinámica que actúa sobre la tubería.

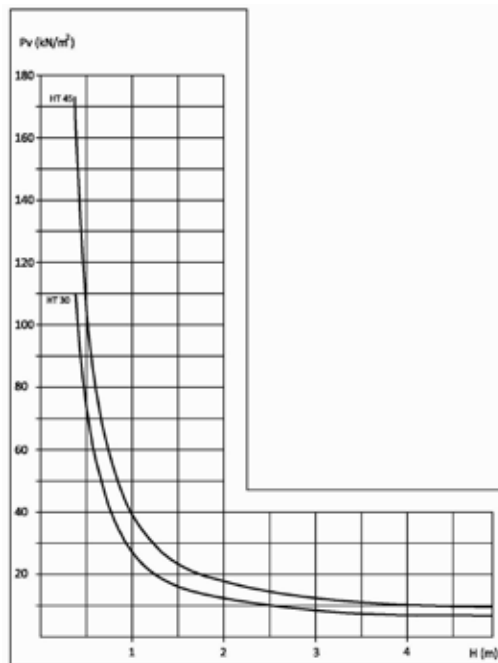


Figura 7.1-2: Curvas Cargas Camión en Función del Enterramiento

7.1.5 Verificaciones a la tubería

La verificación estructural de la tubería considera en sus bases de cálculo los siguientes parámetros;

- Peso Específico del Suelo Natural: γ_a [Ton/cm³]
- Módulo de Elasticidad del Suelo Natural: E' [Kg/cm²]
- Tránsito Vehicular: P_v [Kg/cm²]

La verificación se realiza sobre los siguientes tres aspectos:

- Aplastamiento de las paredes de la tubería.
- Pandeo local en las paredes de la tubería
- Deflexión de la tubería

En los siguientes puntos se detalla cada uno de los aspectos del cálculo antes señalado.

• Verificación de aplastamiento

El aplastamiento de la tubería considera la falla de esta según lo mostrado en la Figura 7.1-3 y que se produce por efecto de la carga que actúa verticalmente sobre el tubo y que éste no puede disipar dado que no puede seguir deformándose.

$$A_{req} = \frac{R_a \cdot M \cdot D_e}{2 \cdot \sigma}$$

Donde:

A_{req}: Área de Pared requerida por unidad de largo [cm²/cm]

D_e: Diámetro exterior [cm]

R_a: Carga total sobre el tubo, igual a P [Kg/cm²]

M: Factor de seguridad

σ: Tensión admisible del material

Con respecto a los valores a considerar para el factor de seguridad (M) y la tensión admisible del material (σ) se tiene lo siguiente:

Dependiendo de la inseguridad con que se pueda determinar la carga que actúa sobre el tubo, el valor del factor M puede variar entre 1,0 y 2,0. En general un valor recomendable es 1,5.

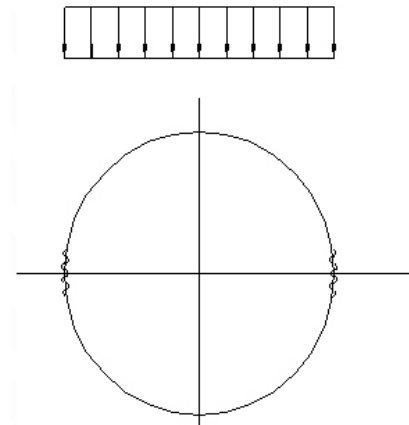


Figura 7.1-3: Esquema de falla de una tubería por Aplastamiento producto de la carga vertical sobre la misma.

Las tensiones admisibles del material recomendadas, según el material con que está fabricada la tubería, son:

Resina PE 80; σ = 80 [Kg/cm²]

Resina PE 100; σ = 100 [Kg/cm²]

Resina PE 200; σ = 200 [Kg/cm²]

Verificación Pandeo

El pandeo de la pared de la tubería considera la falla de esta según lo mostrado en la Figura 7.1-4 y que se produce por efecto de la carga que actúa verticalmente sobre el tubo provoca una falla local en la pared que conduce a la falla de la sección completa.

$$I_{req} = \frac{P^2 \cdot N^2 \cdot D_m^3}{32 \cdot R \cdot B \cdot E \cdot E'}$$

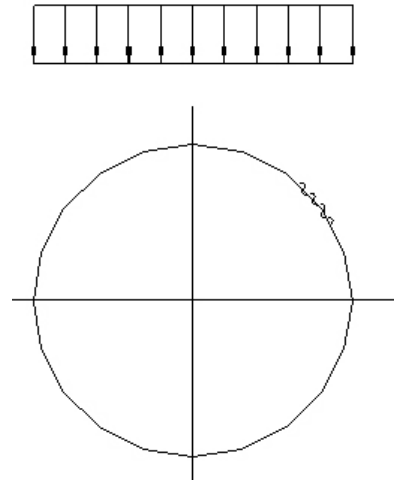


Figura 7.1-4: Esquema de falla de una tubería por pandeo de la pared producto de la carga vertical sobre la misma.

Donde:

- Ireq:** Inercia de Pared requerida por unidad de largo [cm⁴/cm]
- P:** Presión de terreno [Kg/cm²]
- N:** Factor de seguridad
- D_m** Diámetro medio del tubo [cm]
- B:** Factor de enterramiento, igual a [1 + 4e(-0,2133 H)]-1
- E':** Módulo de reacción del terreno
- E:** Módulo de elasticidad de largo plazo del polietileno.
- R:** Factor de flotabilidad, (1-0,33 H'/H)

Con respecto a los valores a considerar para el factor de seguridad (N), el módulo de reacción del terreno (E') y el módulo de elasticidad de largo plazo del polietileno, se considera lo siguiente:

- Para el factor de seguridad se recomienda considerar un valor 2,0.
- Para el módulo de reacción del terreno E'[Kg/cm²] utilizar las recomendaciones de la mecánica de suelos de cada instalación. De no existir la información señalada es posible considerar la tabla 7.1-3

Tipo de suelo, material de encamado del tubo	E' para grado de compactación del encamado (Kg/cm ²)			
	Vaciado	Ligera	Moderada	Alta
	suelto	<85% Proctor	85-95% Proctor	>95% Proctor
Suelo de grano fino (LL>50). Suelos con mediana a alta plasticidad CH, MH, CH-MH.	Sin datos disponibles, se recomienda E' = 0			
Suelos de grano fino (LL<50). Suelos plasticidad media o sin plasticidad. CL, ML, ML-CL, con menos 25% de partículas de grano grueso.	3.5	14	28	70
Suelos de grano fino (LL<50). Suelos con plasticidad media a sin plasticidad CL-ML, ML-CL con más de 25% de partículas de grano grueso. Suelos de grano grueso con finos, GM, GC, SM, SC contiene más de 12% finos.	7.0	28	70	140
Suelos de grano grueso con poco o sin finos. GW, GP, SW, SP contiene menos de 12% finos.	14	70	210	210
Chancado	70	210	210	210
(*) Presión en términos de porcentajes de deflexión	±2	±2	±1	±0.5
(*) Para ±1 de precisión y una deflexión calculada de 3%; la deflexión verdadera estará entre 2% y 4%. Para disminuir esta imprecisión, la norma AWWA C-950-81 recomienda tomar un valor de E' de la tabla multiplicada por un factor 0,75.				
Si el encamado cae en el límite entre dos categorías de compactación debe elegirse el menor valor de E' o un promedio entre los dos valores.				
Porcentaje de Proctor determinado según ASTM D-698 o AASHTO T-99				
Fuente: "Reacción de suelo para tubos flexibles enterrados" Amster K. Howard, Bureau of Reclamation.				

Tabla 7.1-3: Módulo de reacción del terreno (valores promedio para distintos tipo de suelo)

- Para el módulo de elasticidad de largo plazo del polietileno cuando este sea PE 80 o PE 100, se recomienda usar el valor entregado en DIN 16961 Parte 1, que corresponde a 1.500 [Kg/cm²]. Para el caso que este sea PE 200, se recomienda usar un valor 4.000 [Kg/cm²]

Material	Módulo Young Kg/cm ²
PE 80	1.500
PE 100	2.100
PE 200	4.000

Tabla 7.1-4: Módulo de Elasticidad, En Función del Material de la Tubería, Para Cargas de Largo Plazo.

• Verificación de la deflexión

Finalmente se verifica que la deflexión que sufre la tubería, producto de las cargas sobre ésta, se encuentre dentro de los rangos admisibles. Para efecto de estimar esta deflexión se considera la Figura 7.1-5 y la siguiente expresión:

→

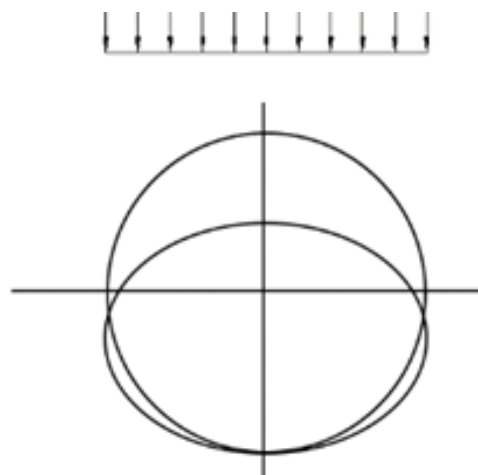


Figura 7.1-5: Deflexión de una tubería

$$\delta = \frac{k \cdot (D_e \cdot P_m + P_t)}{\frac{E \cdot I}{r^3} + 0.061 \cdot E'}$$

Donde:

- δ = Deformación de la tubería [cm]
- k = Constante de encamado, se considera 0,1
- D_e = Factor de Deformación del terreno a largo plazo, se toma el valor 1,25
- P_m = Carga muerta [Kg/cm]
- P_t = Carga viva [Kg/cm]
- E = Módulo de Elasticidad del material HDPE, para el largo plazo
- I = Momento de inercia de la pared del tubo [cm⁴/cm]
- E' = Módulo de elasticidad del terreno [Kg/cm²]
- r = Radio del tubo [cm]

Se debe cumplir que:

$$\delta / D \leq 5\%$$

7.1.6 Tipos de Tubería

Para la verificación estructural es importante distinguir entre los distintos tipos de tubería KRAH® disponibles.

Como un primer tipo de tubos tenemos aquellos llamados de Pared Estructurada, los cuales básicamente poseen una pared según la siguiente figura:

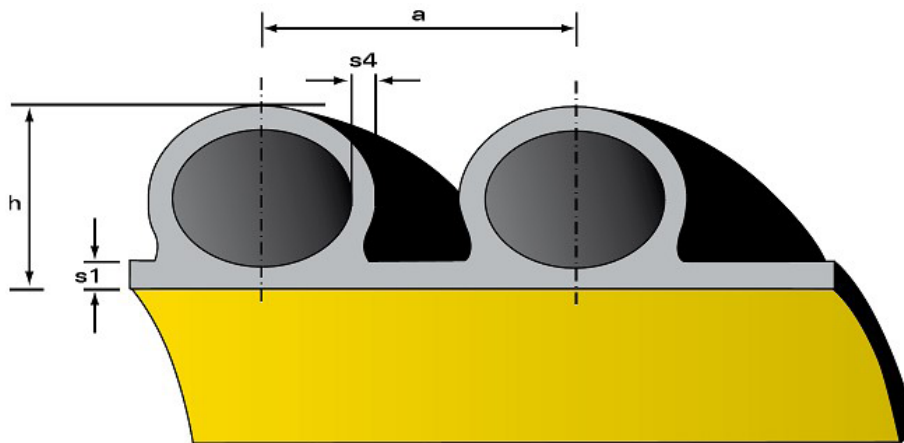


Figura 7.1-6 Pared Estructurada KRAH® del tipo PR

Este tipo de tubería básicamente busca optimizar el uso de HDPE de modo de tener un tubo liviano, que no trabaje a presión o que esta sea baja (menor o igual a 3 bar) y por otro lado resista una importante carga externa.

Modificando uno o varios de los parámetros de la pared se obtienen las propiedades mecánicas exigidas por el cálculo (Área e Inercia).

Un listado resumido de los perfiles disponibles para el tipo PR, se tiene en la tabla 7.1-5:

N°	Profile	Área [cm ² /cm]	Inercia [cm ⁴ /cm]	Dimensiones [mm]			
				S1	S4	h	a
1	PR-21-000.32	0,99	0,317	4	3	27	120
2	PR-21-000.47	1,24	0,471	5	4	29	120
3	PR-34-000.99	1,09	0,993	4	3	3,87	120
4	PR-34-001.40	1,37	1,402	5	4	4,1	120
5	PR-42-002.28	1,45	2,285	5	4	48	120
6	PR-42-002.99	1,76	2,991	6	5	50	120
7	PR-54-004.5	1,58	4,386	5	4	59,98	120
8	PR-54-018.41	5,00	18,409	18	10	79	120
9	PR-54-019.8	5,40	19,844	20	10	81	120
10	PR-65-006.46	1,60	6,463	5	4	71	140
11	PR-65-008.25	1,94	8,246	6	5	73	140
12	PR-65-010.15	2,28	10,146	7	6	75	140
13	PR-65-012.17	2,61	12,172	8	7	77	140
14	PR-65-013.86	2,89	13,856	9	8	79	140
15	PR-65-016.62	3,29	16,621	10	9	81	140
16	PR-65-019.06	3,64	19,058	11	10	83	140
17	PR-65-021.08	3,89	21,076	11	10	83	120
18	PR-65-030.47	6,24	30,474	24	10	96	140
19	PR-65-033.87	6,48	33,873	24	10	96	120

Tabla 7.1-5: Listado Parcial de Perfiles de Refuerzo PR, Propiedades Geométricas y Mecánicas

La tubería KRAH® también puede ser fabricada con perfiles de tipo cerrado tales como los OP o los SQ, según se muestra en la figura 7.1-7. Lo usual es que se utilicen cualquiera de estos tipos de pared toda vez que las rigideces que entregue el cálculo estructural para una tubería no pueda ser alcanzada usando una pared del tipo PR.



Figura 7.1-7: Perfiles KRAH® de los tipo OP y SQ

Como un segundo tipo de tubería KRAH® están disponibles aquellas que tienen una pared maciza o llena según se muestra en la figura 7.1-8:



Figura 7.1-8: Perfil KRAH® del tipo VW

Para este caso se simplifica el cálculo ya que esta pared nos entrega las siguientes propiedades:

A: e [cm²/cm]; Área Disponible en la Pared por Unidad de Longitud
I: e³/12 [cm⁴/cm]; Inercia disponible en la Pared por Unidad de Longitud.

7.1.7 Resultado del Cálculo Estructural

Como resultado del cálculo se tendrá la recomendación sobre que características mecánicas deberá tener la tubería a utilizar bajo determinadas condiciones de instalación. Para este análisis la fábrica está en condiciones de ofrecer una amplia gama de tipos de tubos, que se ajustan al requerimiento de cada proyecto.

8 Anexo 2

8.1 Cálculo hidráulico con Tubería KRAH®

8.1.1 Introducción

La tubería fabricada por KRAH® PIPING SOLUTIONS. puede trabajar, según sea su tipo, con escurrimientos en presión o bien a boca parcialmente llena. Cualquiera sea el caso es posible calcular las capacidades de Porteo de las mismas con relaciones conocidas como son: Hazen-Williams (HW) o Manning.

8.1.2 Escurrimientos en Presión

Cuando el escurrimiento en una tubería se realiza en Presión o a Boca Llena, se recomienda usar la relación de HW, la que tiene la siguiente expresión:

Donde:

- Q:** Caudal (m³/s)
- D:** Diámetro interior tubería (m)
- J:** Pérdida de carga unitaria (m/m)
- C:** Coeficiente de Chezy igual a 150

$$Q = 0,2785 C \cdot D^{2,63} \cdot J^{0,54}$$

$$J = 10,668 \cdot C^{-1,85} \cdot D^{-4,87} \cdot Q^{1,85}$$

Una forma alternativa de anotar la expresión anterior es:

8.1.3 Esguerrimientos sin Presión

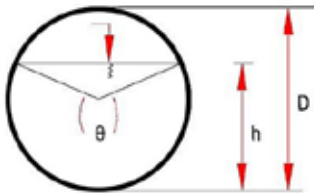
Para los casos en que el esguerramiento se realiza sin presión, se recomienda el uso de la relación de Manning la cual tiene la siguiente expresión:

$$Q = \frac{A \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{i}}{n}$$

Donde:

- A:** Área mojada (m²)
- R:** Radio Hidráulico = A/P (m)
- P:** Perímetro mojado (m)
- I:** Pendiente del Esguerramiento (m/m)
- N:** Coeficiente de Manning, para HDPE KRAH® a considerar es 0,010

Un caso típico es:



$$A = \frac{1}{8} \cdot (\theta - \text{sen}\theta) \cdot D^2$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot \theta \cdot D$$

$$R = \frac{D}{4\theta} (\theta - \text{sen}\theta)$$

Figura 8.1-1: Esquema típico esguerramiento sin Presión.

Un tema relevante de la tubería KRAH® es que para los tipos PE 200 los diámetros nominales son interiores y esto produce un efecto importante al momento de seleccionar el diámetro necesario a utilizar en un proyecto

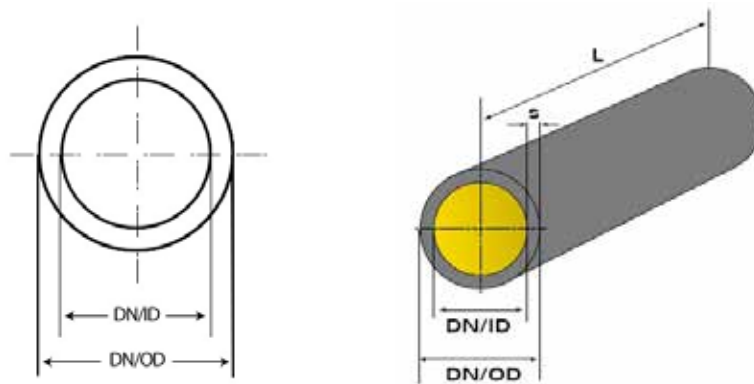


Figura 8.1-2: Esquema Diámetros Nominales.

Para ejemplificar lo anterior se entrega el siguiente análisis:

Tubería	E. Disp [m]	Long. [m]	Diam Ext [mm]	Esp [mm]	Dint [mm]	J	C	Q [m ³ /s]	A [m ²]	V [m/s]	Variación [%]
PE 100	20	10.000	1.000,00	59,3	881,4	0	150	1,05	0,61	1,72	100
PE 200	20	10.000	1.065,20	32,6	1000	0	150	1,46	0,79	1,87	139
PE 200	20	10.000	958,6	29,3	900	0	150	1,11	0,64	1,75	106
PE 200	20	10.000	852,2	26,1	800	0	150	0,81	0,5	1,62	78

Tabla 8.1-1: Selección de Diámetro Por Capacidad de Porteo.

Considerar una tubería PE 100 PN 10 DN 1.000 mm y una energía disponible de 20 m en un trazado de longitud 1.000 m. Calculando se obtiene:

DN/OD	Espesor Pared	Diámetro Interior	J	C	Q
[mm]	[mm]	[mm]			[m ³ /s]
1000	59,3	881,4	0	150	1,05

Tabla 8.1-4: Capacidad de Porte Tubería PE 100

Vale decir, la tubería analizada, bajo las condiciones de trabajo señaladas, tiene un porteo de 1,05 m³/s. Al buscar cual es la tubería equivalente utilizando PE 200 se tiene lo mostrado en la siguiente tabla:

DN/OD	Espesor Pared	Diámetro Interior	J	C	Q
[mm]	[mm]	[mm]			[m ³ /s]
1000	32,6	1.000		150	1,46
900	29,3 9	00		150	1,11

Tabla 8.1-5: Capacidad de Porte Tubería PE 200

Del ejemplo anterior se aprecian dos cosas:

- Al considerar reemplazos entre Tubería PE 100 por una PE 200 de igual diámetro nominal se gana una significativa capacidad de porteo.
- Si lo que se busca es mantener la capacidad de porteo se obtiene una tubería de menor diámetro y de un significativo menor costo de suministro.

9 Anexo 3

9.1 Recomendación de Instalación para la tubería HDPE KRAH®

De acuerdo a la metodología de instalación entregada por la norma DIN en 1610, el conjunto tubería-zanja, que permite cumplir con los supuestos del diseño estructural de la tubería de HDPE KRAH®, está compuesto por cada una de las partes descritas en los siguientes puntos.

Para cualquier tubería flexible trabaje adecuadamente en el terreno, una vez instaladas las cargas de operación (rellenos, napas, tránsito vehicular u otras), los rellenos estructurales deben cumplir requisitos que se detallan más adelante.

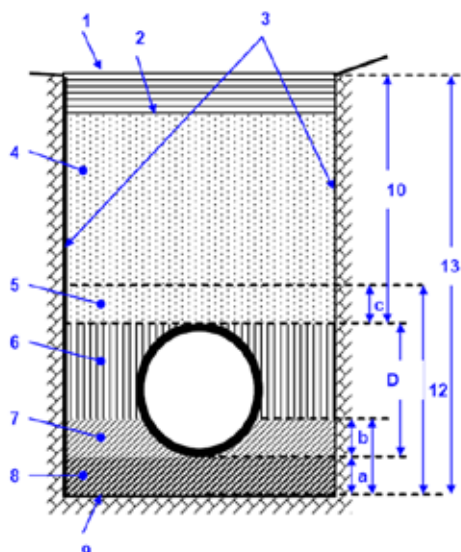


Figura 9.1-1: Esquema típico Rellenos de Zanja

1. Superficie Terreno Natural
 2. Rasante del Camino, si existe
 3. Pared de Zanja
 4. Relleno superior
 5. Relleno Estructural sobre el tubo
 6. Relleno principal
 7. Cama de asiento superior
 8. Cama de asiento inferior
 9. Fondo de Zanja
 10. Tapada
 11. Espesor Cama de Asiento
 12. Espesor del relleno en el área del tubo
 13. Profundidad total de la zanja
- a. Espesor de cama de apoyo inferior (ver Cama de Asiento Tipo 1)
b. Espesor de cama de apoyo superior (mín 100mm. + 1/10 DE en mm.)
c. Espesor del relleno estructural sobre el tubo.
- D = Diámetro externo de la tubería

Es importante que, durante la ejecución de la obra, se mantengan las condiciones de instalación supuestas en el cálculo, o bien que sean adaptadas quedando del lado de la seguridad. Las variables que pueden afectar el comportamiento del sistema real respecto del modelo de cálculo y, por lo tanto, las que hay que prestar especial atención, son:

- Ancho de Zanja
- Profundidad de Zanja
- Sistema de apuntalamiento de las paredes de la zanja, y el efecto dado por su remoción.
- Tipo de suelo y grado de compactación de la cama de asiento.
- Tipo de suelo y grado de compactación del relleno superior.
- Tipo de suelo y grado de compactación del relleno principal.
- Tipo y capacidad portante del suelo natural (a los costados y en el fondo de zanja).
- Tráfico en la obra y cargas temporales.
- Forma de la zanja (paredes verticales o con pendiente).
- Condiciones del terreno y del suelo (congelamiento y deshielo, nieve, escurrimiento, etc.).
- Nivel de Napa freática.
- Presencia de otras tuberías en la misma zanja.

9.2 Excavación y Soporte de la Zanja

La zanja deberá diseñarse y excavar de manera tal de asegurar una instalación correcta y segura de las tuberías. Deberá asegurarse la estabilidad de las paredes de la zanja, ya sea a través de un sistema de apuntalamiento, inclinando las paredes laterales o por otros medios. Los sistemas de apuntalamiento se removerán de acuerdo con las suposiciones hechas en el cálculo estructural, de manera tal que la tubería no sufra daños ni se mueva.



Foto 9.2-1: Apuntalamiento de la zanja.

9.3 Ancho de la Zanja

La técnica de unión por electrofusión de las tuberías KRAH® Profil hace que, en este caso, no se necesiten, para realizar el acople de las piezas, sobre anchos de zanja en la zona de unión. Para el caso que se utilicen tubos que deban termosoldarse, deberán considerarse sobre anchos.

El ancho mínimo de Zanja especificados por DIN EN 1610 que se detallan en las Tablas 9.3-1 y 9.3-2.

Ancho de Zanja Mínimo (OD+x)			
DN	Metros		
[mm]	Zanja	Zanja sin Apuntalar	
	Apuntalada	$\beta > 60^\circ$	$\beta \leq 60^\circ$
≤ 400	DE + 0,50	DE + 0,50	DE + 0,40
> 400	DE + 0,70	DE + 0,70	DE + 0,40
≤ 700			
> 700	DE + 0,85	DE + 0,85	DE + 0,40
≤ 1200			
> 1200	DE + 1,00	DE + 1,00	DE + 0,40

Tabla 9.3-1: Ancho de zanja mínimo en relación al diámetro nominal (DN) de la tubería.

Profundidad Zanja	Ancho Mínimo de Zanja
Metros	Metros
$< 1,00$	No hay mínimo
$\geq 1,00$ y $\leq 1,75$	0,8
$> 1,75$ y $\leq 4,00$	0,9
$> 4,00$	1

Tabla 9.3-2: Ancho de zanja mínimo en relación a la profundidad de zanja.

Se podrán considerar excepciones a los anchos mínimos de zanja por alguna de las siguientes causas:

- Cuando no se requiera que el personal baje a la zanja (métodos automatizados, etc.).
- Cuando no se requiera que el personal trabaje entre el tubo y la pared de la zanja.
- En condiciones de muy poco espacio.

Para el caso de instalación de tubos paralelos, se requerirá una cantidad mínima de relleno entre los mismos para darle resistencia suficiente al sistema. Esta distancia dependerá del tipo de relleno, el equipo de compactación y el método de unión. Una recomendación usual es la siguiente:

- Para DN < 600 mm: Distancia entre tubos de 30 cm
- Para DN > 600 mm: Distancia entre tubos igual a DN/2

9.4 Preparación del Fondo de Zanja

La pendiente del fondo de la zanja, así como el material del mismo, deberán ser acordes con las especificaciones del proyecto.

No deberá alterarse el material del fondo de zanja ya que, de serlo, se verá afectada su capacidad portante y deberán tomarse medidas para reestablecerla.

En condiciones de congelamiento, deberá protegerse el fondo de zanja, de manera tal que ninguna capa congelada entre en contacto con la tubería.

Deberán tomarse precauciones especiales cuando el material de fondo de zanja sea inestable o presente muy baja capacidad portante.

En este caso, algunas medidas posibles incluirían el reemplazo de los suelos con otros materiales (por ejemplo, arena, grava o materiales cementicios) o el soporte de las tuberías mediante estructuras fundadas en pilotes (usando vigas cruzadas o longitudinales).

Deberá sobreexcavarse levemente el fondo de la zanja para dar lugar al material de la cama de asiento.

Ésta deberá estar libre de piedras grandes, terrones de suelo, suelo congelado o escombros. Deberá removerse el afloramiento de rocas, suciedad u otros materiales no aptos que puedan no dar soporte uniforme apropiado a la tubería.

9.5 Agotamiento de la Napa

La excavación de la zanja y, sobretodo, la ejecución de las uniones por electrofusión, debería hacerse en condición seca. Para esto, en caso de ser necesario, deberán preverse procedimientos de depresión de napas y/o remoción del agua presente en la obra, pero siempre teniendo especial cuidado de que los métodos utilizados no alteren a la cama de asiento ni a las tuberías.

Deberán tomarse precauciones para evitar la pérdida de material fino durante el drenaje de la zanja y, una vez finalizado el proceso, deberán sellarse adecuadamente todos los drenes temporarios dispuestos para la tarea.

9.6 Cama de Asiento

La Cama de Asiento es una componente fundamental de la zanja para todo tipo de tuberías flexibles. Su función es la de proveer un soporte firme al tubo, generando una distribución de cargas uniforme y acotada sobre el mismo.

El material utilizado para la cama de asiento, así como el tipo de soporte y el espesor que tendrá la misma serán seleccionados en función de, por un lado, el diámetro, material y espesor de la tubería, y, por el otro, la naturaleza del suelo natural.

El ancho de la cama de asiento será, a menos que se especifique lo contrario, igual al ancho del fondo de la zanja. En el caso de tuberías instaladas

Deberá removerse cualquier cantidad localizada de material blando debajo del fondo de la zanja y se lo reemplazará con material adecuado. Si se encuentran áreas más extensas con este material, deberá re-evaluarse el cálculo estructural de las tuberías.

En caso de haber agua en la zanja, ésta podría hacer imposible la instalación, por lo que se recomienda su remoción durante la colocación.

en terraplén, este ancho será igual a 4 veces el diámetro externo (DE) de la tubería.

Cuando la campana del tubo sea significativamente más grande que el cuerpo del mismo, se deberán realizar huecos en la cama de asiento para enterrar más las uniones, de manera que todo el fuste de la tubería apoye sobre el material de asiento. Esto prevendrá la existencia de puntos de tensión localizada, así como de sollicitaciones no previstas. El material de la cama de asiento deberá ser colocado en capas de un máximo de 30 cm de espesor cada una.

En la norma EN 1610 se describen los siguientes tres tipos de construcción para la cama de asiento:

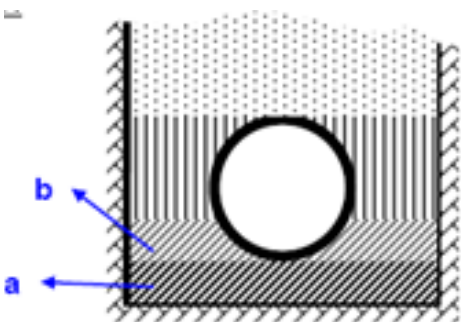


Figura 9.6-1: Cama tipo 1

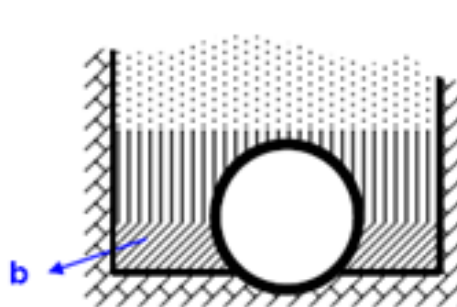


Figura 9.6-2: Cama Tipo 2

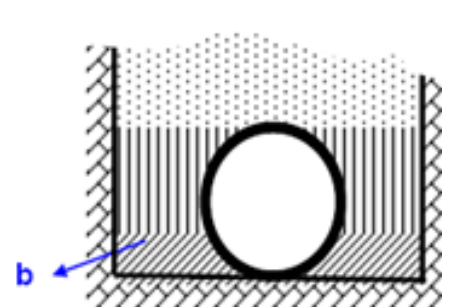


Figura 9.6-3: Cama Tipo 3

La cama de asiento de **Tipo 1** puede utilizarse para cualquier caso, y permite el soporte de las tuberías a lo largo de toda su longitud, que tendrá lugar siempre que se tome en cuenta el grosor especificado en el proyecto para las capas "a" y "b". A menos que se indique lo contrario, el espesor la cama de asiento inferior "a", medido desde el fondo de la tubería, no podrá ser inferior a los siguientes valores:

- 100 mm, para condiciones normales del terreno.
- 150 mm para terreno con rocas o tierra dura.

El espesor "b" de la cama de asiento superior deberá ser acorde al cálculo estructural. En general corresponde a un ángulo de apoyo de la tubería en 120°.

Este tipo de cama de asiento se aplica para cualquier dimensión y forma de las tuberías.

La cama de asiento **Tipo 2** puede utilizarse en terreno liso, relativamente suelto, y de granos finos, que permita el apoyo de la tubería en toda su longitud.

→

9.7 Relleno del Área del Tubo

El relleno del área del tubo, o relleno principal, es el que provee la mayor parte de la resistencia estructural del conjunto tubo zanja ante las cargas del suelo y del tránsito. Por lo tanto, su adecuada colocación y compactación es fundamental para todo tipo de tuberías flexibles.

Aquí, el tipo de material de relleno y su grado de compactación saldrá de las especificaciones del cálculo estructural correspondiente.

→

Aquí las tuberías pueden ser tendidas directamente sobre el fondo preformado de la zanja (ahuecado para dar lugar a la parte inferior de la tubería). El espesor "b" deberá ser acorde con los cálculos estructurales. En general corresponde a un ángulo de apoyo de la tubería en 120°.

La cama de asiento de **Tipo 3** puede utilizarse en terreno liso, relativamente suelto, de granos finos, y que permita el apoyo de la tubería en toda su longitud. Las tuberías pueden ser tendidas directamente sobre el fondo liso de la zanja. El espesor "b" de la cama de asiento superior deberá ser acorde con los cálculos estructurales. En general corresponde a un ángulo de apoyo de la tubería en 120°.

Deberá tenerse muy en cuenta, para lograr una adecuada performance del conjunto tubería zanja, que el tipo de cama de asiento es decisivo y que, por lo tanto, es sumamente importante que se respeten las especificaciones del proyecto al respecto.

Este relleno deberá colocarse en capas, de manera uniforme a cada lado del tubo, compactando según las especificaciones del proyecto.

Deberá prestarse atención al relleno de la zona inferior del tubo, colocándose el material con pala por debajo del mismo y teniendo cuidado de rellenar todos los vacíos según se muestra en la figura 9.7-1.

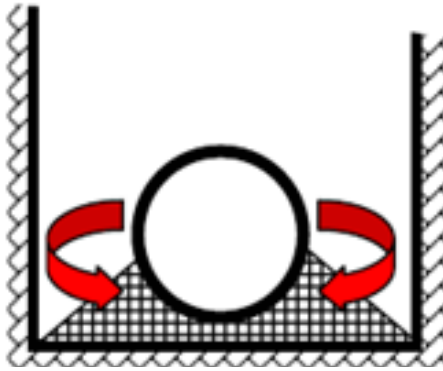


Figura 9.7-1: Rellenos en la zona inferior de los riñones de la tubería.



Foto 9.7-1: Uso de Geotextiles.

Por otro lado, deberán tomarse precauciones apropiadas para evitar el ingreso de suelo natural dentro de la tubería.

El área del tubo deberá ser protegida contra cualquier cambio previsible que pueda ser perjudicial para su capacidad portante, estabilidad o ubicación. Las razones de estos cambios pueden ser:

- Remoción de tablestacados.
- Acción de aguas subterráneas.
- Otros movimientos de suelos en las inmediaciones vecinas.



En áreas donde el suelo natural es muy blando, emigra fácilmente o presenta alguna propiedad no compatible con la instalación del tubo, deberá considerarse la colocación de geotextiles o telas filtrantes. Éstos evitarán la fuga de material fino y el consecuente “lavado” del relleno de la zona del tubo (disminuyendo la capacidad portante del mismo) generalmente ocasionado por fluctuaciones en el nivel de napa freática. Los geotextiles también podrán ayudar a superar algunas deficiencias estructurales en suelos nativos muy blandos, y podrán permitir una reducción del ancho de zanja.



9.8 Compactación del área del tubo

La contención brindada por el suelo de la cama de asiento y el relleno principal provoca una distribución de cargas y presiones sobre la tubería y, por lo tanto, determina las solicitaciones que, en definitiva, deberá soportar la misma.

Una cama de asiento inapropiada puede conducir a una deformación excesiva de la tubería.

En el área del tubo, hasta unos 15 cm por encima de la clave de la tubería y hasta una distancia a cada lado de la misma de, al menos, 25 cm, sólo



podrá utilizarse el suelo compactable especificado por el cálculo estructural.

El suelo a ambos lados de la tubería deberá colocarse en capas al mismo tiempo, compactándolo con precisión, con un adecuado plato vibratorio, prestando siempre atención a que la tubería permanezca en su posición y no se mueva. Por otro lado, es muy importante que se alcance el grado de compactación especificado en los cálculos estructurales del proyecto para el área del tubo, y no menos.

La compactación deberá realizarse de manera tal de que la alineación del tubo no sea alterada. Además, si se utilizan compactadores mecánicos, será importante que no se los use directamente sobre el tubo, sino sobre una capa de relleno de 30 cm de espesor por encima del mismo.



Foto 9.8-1: Relleno y compactación área del tubo.

Deberán controlarse los grados de compactación obtenidos, ya sea por el método especificado por el tipo de equipo utilizado o, cuando sea requerido, por medio de ensayos.

9.9 Compactación del relleno superior

El relleno superior deberá colocarse de acuerdo con el diseño y especificaciones del proyecto, limitando los asentamientos en la superficie.

La compactación mecánica del relleno superior directamente sobre la tubería, debe comenzarse únicamente cuando ya haya sido colocada una capa de por lo menos 30 cm por encima de la clave de la tubería.

9.10 Remoción de Tablestacados

En los casos donde se hayan usado tablestacados para contener las paredes de la zanja, deberá prestarse especial atención al procedimiento de remoción de los mismos.

La remoción debería hacerse en forma progresiva durante la colocación de la cama de asiento. Se debe tener especial cuidado de no afectar el grado de compactación dado a los rellenos estructurales.



Cuando sea impracticable la remoción de tablestacados antes de que se complete todo el relleno de la zanja, deberán tomarse medidas especiales, tales como:

- Diseño estructural especial
- Dejar parte de las tablestacas en el terreno.
- Selección especial del material de la cama de asiento.