

Capítulo 9

Cargas em tubos de PVC

Capítulo 9- Cargas em tubos de PVC

9.1 Introdução

9.2 Tipos de materiais

Temos dois tipos de materiais, os termoplásticos e o termorígidos.

Os termoplásticos são aqueles que sofrem deformações com o calor e se endurecem quando esfriam e podem formar-se e mudar repetidamente como:

- PVC (até 60°C)
- Polietileno, polipropileno, poliestireno, ABS
- PVC + aço = ribloc steel

Os termorígidos (termofixos) quando se deformam sofrem danos permanentes e são basicamente os tubos de poliéster (fibra de vidro), resina epóxi, resinas fenólicas, melaminas, etc conforme Tabela (9.1).

CPVC= cloreto de polivinila clorado (até 95 °C).

Temos um classificação intermediária (crosslinked) onde temos o poliamida, muito usado em osmose reversa.

Tabela 9.1- Classificação dos tubos de PVC

Termoplásticos	Termoplásticos <i>crosslinked</i>	Termorígidos
Policloreto de vinila (PVC)	PEEK	Resinas fenólicas
Nylon	Poliamida	Resinas epóxi
Acrílico	UHMWPE	Melaminas
Policarbonato (PC)		Baquelite
Polietileno (PE)		Poliéster (fibra de vidro)
Polipropileno (PP)		
Poli-terefalato de etileno (PET)		
Poliestireno (PS)		
Poli-metilmetacrilato (PMMA)		
ABS		

9.2 Propriedades mecânicas

Na Tabela (9.2) podemos observar o módulo de elasticidade E em (MPa) de diversos materiais, inclusive o aço.

Tabela 9.2- Propriedades mecânicas

Propriedades mecânicas

- Módulo de elasticidade:

Material	E [MPa]
Compostos grafite-epóxi	280000
Aço	210000
Alumínio	70000
Epóxi reforçado com fibra de vidro	40000
Poliéster reforçado com fibra de vidro	14000
Nylons ref. 30% de fibra de vidro	10000
Acrílicos	3500
Resinas epóxi	3100
Policarbonato	3100
Acetal copolímero	2900
Poliétileno de alto peso molecular	700

Fonte: www-gmap.mecanica.ufrgs.br/sumulas/eng03005.html

9.3 Propriedades térmicas

Na Tabela (9.3) podemos observar as propriedades térmicas dos plásticos e de outros materiais.

Tabela 9.3- Propriedades térmicas do plástico e outros materiais

Propriedades térmicas

- Coeficiente de expansão:

Material	α [$m/m^{\circ}C$]
Poliétileno	$7,8 \times 10^{-5}$
Acrílicos	$3,3 \times 10^{-5}$
Acetal copolímero	$2,6 \times 10^{-5}$
Policarbonato	$2,1 \times 10^{-5}$
Alumínio	$7,2 \times 10^{-6}$
Policarbonato ref. com fibra de vidro (30%)	$5,0 \times 10^{-6}$
Aço	$4,4 \times 10^{-6}$
Vidro	$2,2 \times 10^{-6}$

Tabela 9.4- Alterações das propriedades dos plasticos com reforços e corantes

Alterando as propriedades:

- Reforços (alteração de resistência):
 - Fibra de Carbono
 - Aramidas
 - Fibra de vidro
 - Mica
- Corantes (alteração da aparência):
 - Cores
 - Transparência
 - Resistência à UV

Tabela 9.5- Efeitos ambientais dos plasticos

Efeitos ambientais

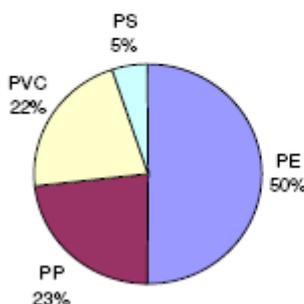
- Emissão de resíduos
- Bactérias e fungos
- Uso de plasticidas
- Porosidade e permeabilidade
- Reciclabilidade:
 - Termorígidos são um problema
 - Queima nem sempre é uma opção
 - *O plástico reciclado é material de 2ª classe!!!*

Tabela 9.6- Alguns polimeros importantes

Alguns polímeros de importância industrial



- Plásticos commodities:



- Polietileno
- Polipropileno
- Poliestireno
- Poli(cloreto) de vinila

Tabela 9.7- Importancia do PVC e problemas

Alguns polímeros de importância industrial



- PVC:

- Mero: **cloreto de vinila**:
- Principais propriedades:
 - Baixo custo;
 - Elevada resistência a chama, pela presença do cloro;
 - Processamento demanda um pouco de cuidado.
- Restrições:
 - *O monômero é um potente cancerígeno*
 - *Plastificantes (aditivo usado para tornar o polímero mais flexível) a base de ftalatos também são considerados cancerígenos.*

Produção brasileira (1998):
+650.000 ton.

9.4 Classificação dos tubos

Os tubos podem ser usados basicamente em instalações prediais, em infraestrutura e em irrigação.

Em edificações temos os tubos para os sistema de distribuição predial de água fria, quente, esgoto sanitario e aguas pluviais.

No sistema de distribuição predial de agua quente se usa o CPVC enquanto no restante se usa o PVC.

Usa-se o PVC no sistema de distribuição de água potavel, coleta de esgoto sanitario, coleta de águas pluviais.

Nas ligações de água prediais são usados normalmente tubos de PEAD.

Para a irrigação se usam os tubos de PVC e Polietileno.

9.4 Dimensionamento hidráulico

No dimensionamento hidráulico normalmente é usado a fórmula de Hazen-Williams para condutos forçados, com $C=150$ para PVC e velocidade máxima de 1,5m/s.

Para condutos livres usa-se a fórmula de Manning com $n=0,009$ para PVC.

Tabela 9.8- Valores de n de Manning e da rugosidade para a fórmula de Darcy-Weisback

Material	n de Manning	Rugosidade (mm)
Concreto	0.013	0.3
Manilha	0.013	1.5
PVC	0.010	0.1

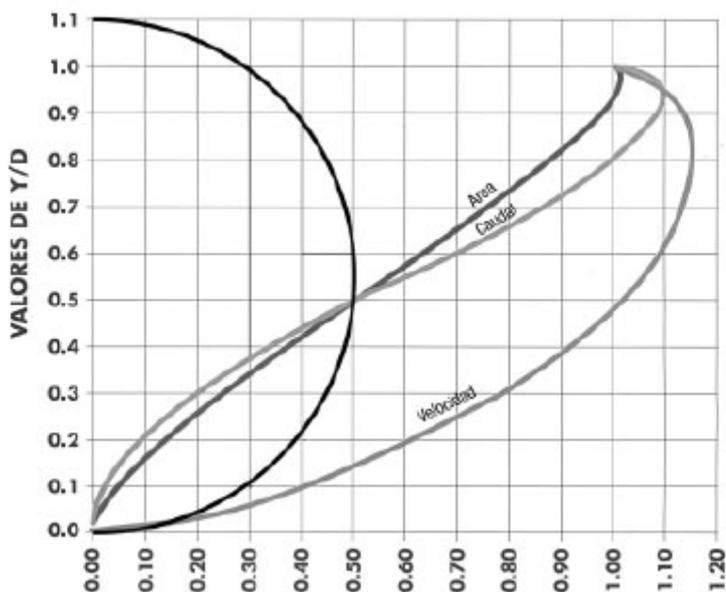


Figura 9.1- Cálculos hidráulicos

Figura da Amanco

9.5 Golpe de ariete

Deve ser calculada a sobrepresão e subpressão em tubos de PVC usando as técnicas já conhecidas.

9.6 Ar nas tubulações

Deverão ser instaladas ventosas nos lugares adequados.

9.7 Tubulações a serem instaladas

Os tubos de PVC previstos são da Amanco tipo Novalock que são usados para galerias de águas pluviais conforme a norma ASTM F 230-7 e INTE 16-03-01-99. O comprimento dos tubos é de 6,00m e são fabricados desde o diâmetro de 525mm (21") até 1500mm (60").

O tubo de PVC Nocalock possui Rigidez de $0,7 \text{ kg/cm}^2$, ou seja, 10 psi.
Tubos Ribloc ???

9.8 Deformação diametral

Os tubos de PVC se comportam como tubos flexíveis e são calculados baseados na Teoria de Spangler.

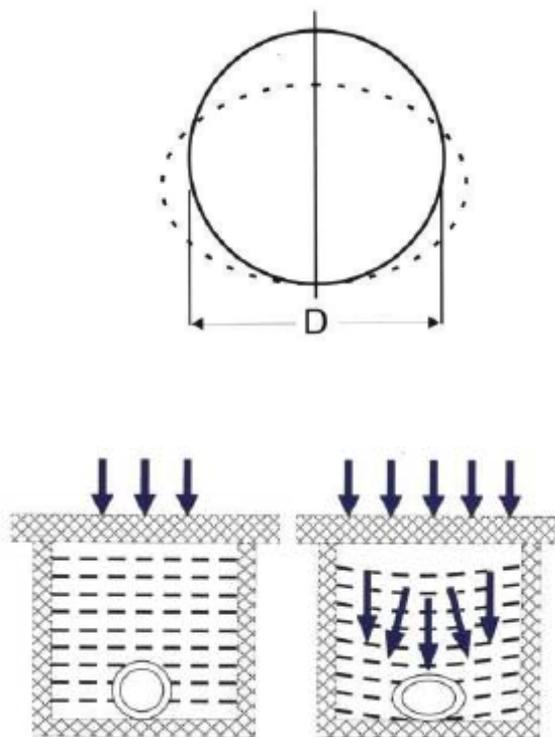


Figura 9.2-

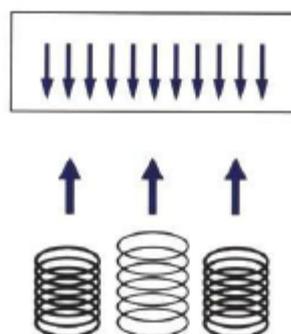


Figura 9.3-



Figura 9.4-

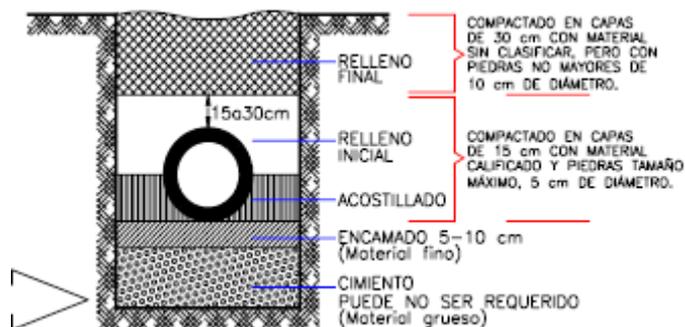


Figura 9.5-

A equação fundamental para determinar a deformação diametral é usando a fórmula de Spangler modificada por Watkins que passou a se chamar de fórmula de *Iowa-modificada*.

$$\Delta Y/D = [D_L \cdot K \cdot P + K \cdot W'] \times 100 / (0,149 \cdot PS + 0,061 \cdot E)$$

Sendo:

D= diâmetro do tubo (m)

ΔY = variação do diâmetro (m)

$\Delta Y/D$ = variação do diâmetro (%)

D_L = fator de retardo de deflexão, geralmente assumido $D_L=1,0$.

K=constante que depende do berço de assentamento, geralmente é de 60° K=0,1.

P= pressão do solo sobre o tubo (kg/cm^2)

$$P = w \cdot H / 10000$$

w= peso do solo (kg/m^3)

H= altura de terra sobre a geratriz superior do tubo (m)

W' = carga viva (kg/cm^2)

E= módulo de elasticidade do tubo (kg/cm^2) para PVC 1120. No caso E= 28.150 kg/cm^2 (400.000psi).

E' =módulo de reação do solo (kg/cm^2).

PS= rigidez da tubulação (kg/cm^2). O tubo adotado tem PS=10psi=0,7 kg/cm^2

A classe de rigidez CR para tubos de esgoto menores ou igual a 200mm é CR=2500Pa e para tubos entre 250mm a 400mm é CR=3200Pa. Para tubos de parede dupla de esgotos adota-se CR 5000Pa, conforme NBR 7362/1999 de Sistema de condutos de esgotos.

Temos dois tipos de cargas, a carga morta (ou carga permanente) que é o peso do solo sobre o tubo e as cargas vivas (ou móveis) devido aos veículos, sendo adotado veículo de 20t com quatro rodas de 5 tonelada por roda. Foi considerado ainda o impacto causado pela velocidade do veículo.

Para as cargas móveis é usada a expressão de Boussinesq sendo que a tensão vertical máxima é:

$$w = \frac{3 \cdot Q}{2 \cdot \pi \cdot H^2}$$

Sendo:

w= tensão vertical atuante sobre o tubo devido a cargas móveis

Q= carga pontal atuante sobre a superfície

H=altura de recobrimento da tubulação

Para um veículo comercial pesado de rodagem dupla podemos adotar carga de roda de 50KN (5 ton/roda) no semi-eixo traseiro que é o trem-tipo 30.

Tabela 9.9-
-NBR 7188/82 –Carga Móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre

Tabela 2- Características dos veículos

	Unidade	Tipo 45	Tipo 30	Tipo 12
Quantidade de eixos	Eixo	3	3	2
Peso total do veículo	kN-t	450-45	300-30	120-12
Peso de cada roda dianteira	kN-t	75-7,5	50-5	20-2
Peso de cada roda traseira	kN-t	75-7,5	50-5	40-4
Peso de cada roda intermediária	kN-t	75-7,5	50-5	-
largura de contato b_1 de cada roda dianteira	m	0,50	0,40	0,20
largura de contato b_2 de cada roda traseira	m	0,50	0,40	0,30
largura de contato b_3 de cada roda intermediária	m	0,50	0,40	-
Comprimento de contato de cada roda	m	0,20	0,20	0,20
Área de contato de cada roda	m ²	0,20 x b	0,20 x b	0,20 x b
Distância entre eixos	m	1,50	1,50	3,00
Distância entre centros de roda de cada eixo	m	2,00	2,00	2,00

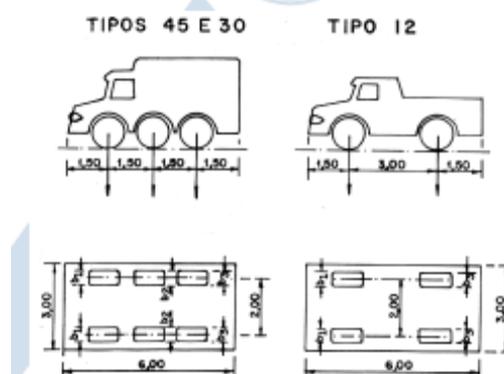


Figura 9.6-NBR 7188/82-Carga Móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre

Devemos considerar ainda um coeficiente de majoração, pois pode haver cargas acima do legal. Consideramos ainda o efeito dinâmico do tráfego, sendo recomendado o coeficiente de impacto de 1,5 para rodovias.

A deformação máxima admitida é 7,5% que 30% dividido por 4.

$$w' = w \times 1,2 \times 1,5 = 1,8 \cdot W$$

Os cálculos estão na Tabela (9.2).

Tabela 9.10- Cálculo das deformações baseado na altura sobre a geratriz superior da tubulação e das cargas vivas

DL	K	P (kg/m ³)	H (m)	P (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	E' (kg/cm ²)	PS (kg/cm ²)	W' (kg/cm ²)	Δ Y/D (%)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,1	2100	0,30	0,0630	28150	28	0,7	4,8	Não aceito
1	0,1	2100	0,35	0,0735	28150	28	0,7	3,5	Não aceito
1	0,1	2100	0,40	0,0840	28150	28	0,7	2,7	Não aceito
1	0,1	2100	0,45	0,0945	28150	28	0,7	2,1	Não aceito
1	0,1	2100	0,50	0,1050	28150	28	0,7	1,7	Não aceito
1	0,1	2100	0,55	0,1155	28150	28	0,7	1,4	Não aceito
1	0,1	2100	0,60	0,1260	28150	28	0,7	1,2	7,28
1	0,1	2100	0,65	0,1365	28150	28	0,7	1,0	6,37
1	0,1	2100	0,70	0,1470	28150	28	0,7	0,9	5,65
1	0,1	2100	0,75	0,1575	28150	28	0,7	0,8	5,08
1	0,1	2100	0,80	0,1680	28150	28	0,7	0,7	4,63
1	0,1	2100	0,85	0,1785	28150	28	0,7	0,6	4,27
1	0,1	2100	0,90	0,1890	28150	28	0,7	0,5	3,97
1	0,1	2100	0,95	0,1995	28150	28	0,7	0,5	3,73
1	0,1	2100	1,00	0,2100	28150	28	0,7	0,4	3,53
1	0,1	2100	1,05	0,2205	28150	28	0,7	0,4	3,37
1	0,1	2100	1,10	0,2310	28150	28	0,7	0,4	3,23
1	0,1	2100	1,15	0,2415	28150	28	0,7	0,3	3,13
1	0,1	2100	1,20	0,2520	28150	28	0,7	0,3	3,04
1	0,1	2100	1,25	0,2625	28150	28	0,7	0,3	2,97
1	0,1	2100	1,30	0,2730	28150	28	0,7	0,3	2,91
1	0,1	2100	1,35	0,2835	28150	28	0,7	0,2	2,87
1	0,1	2100	1,40	0,2940	28150	28	0,7	0,2	2,83
1	0,1	2100	1,45	0,3045	28150	28	0,7	0,2	2,81
1	0,1	2100	1,50	0,3150	28150	28	0,7	0,2	2,79

Vamos descrever cada coluna da Tabela (1):

Coluna 1- DL

DL= fator de retardo de deflexão, geralmente assumido DL=1,0.

Coluna 2- K

K=constante que depende do berço de assentamento, geralmente é de 60° K=0,1.

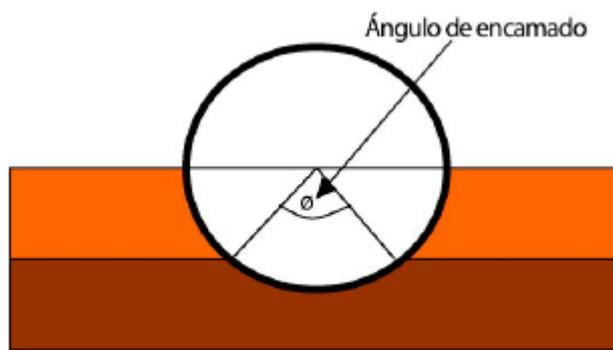


Figura 9.7-Berço de assentamento conforme firma Amanco

Tabela 9.11- Valores da constante K dependendo do ângulo de assentamento

Ângulo de assentamento em graus	Valor de K
0	0,110
30	0,108
45	0,105
60	0,102
90	0,096
120	0,090
180	0,083

Coluna 3- w

Peso do solo adotado de 2100kg/m³ para argila. Para areia seria 1900kg/m³.

Tabela 9.12 Peso de diferentes tipos de solo

Tipo de solo	Peso (kg/m3)
Areia granulada sem coessão	1.700
Pedregulho e areia	1.900
Umido e fangoso	2.000
Argila com lodo espesso	2.100

Argila saturada	2.200
------------------------	--------------

Coluna 4- H

H= altura de terra sobre a geratriz superior do tubo (m)

Coluna 5- P

P= pressão do solo sobre o tubo (kg/cm²)

P= w . H / 10000

w= peso do solo (kg/m³)

H= altura de terra sobre a geratriz superior do tubo (m)

Coluna 6- E

E= modulos de elasticidade do tubo (kg/cm²) para PVC 1120. No caso E= 28.150kg/cm² (400.000psi).

Coluna 7- E'

E'=módulo de reação do solo (kg/cm²).

Tabela 9.13- Valores de E' em MPa conforme firma Vettore.

			E' (MPa)		
Tipo de solo	Classificação USCS	Exemplo	Compactação boa GC ≥ 90%	Compactação moderada 80% < GC < 90%	Sem compactação
Material granular sem finos (menos de 12%)	GW GP SW SP	Brita graduada Bica corrida Areia bem graduada Areia pura	14	7	1,4
Material granular com finos (entre 12 e 25%)	GM GC SM SC	Pedregulho argiloso Pedregulho arenoso Areia argilosa Areia siltosa Solo-brita	7	2,8	0,7

GC = Grau de compactação (Proctor Normal)

A deformação diametral relativa $\frac{\Delta y}{D}$, obtida pela fórmula de Iowa-modificada, deve ser inferior à deformação máxima admitida, geralmente de 7,5%. Lembramos que este valor limite advém da deformação diametral a partir da qual pode ocorrer reversão de curvatura da tubulação (30%), dividida por um coeficiente de segurança igual a 4.

Tabela 9.14- Valores de E' conforme firma Amanco.

Tipo de suelos para encamado (Sistema Unificado de Clasificación)	E' para diferentes grados de compactación del relleno kg/cm ² (psi)			
	Material lanzado sin compactar	Compactación ligera, <85% Proctor, densidad relativa <40%	Compactación moderada, 85-95% Proctor, densidad relativa de 40 a 70%	Compactación alta > 95% Proctor, densidad relativa >70%
Suelo de grano fino (LL>50 Suelos de media a alta plasticidad CH, MH, CH-MH)	NO HAY DATOS DISPONIBLES, USAR E' = 0			
Suelos de grano fino (LL>50 Suelos de mediana a ninguna plasticidad, CL, ML, CL-ML, con menos de 25% de partículas de grano grueso)	3,5 (50)	14,0 (200)	28,0 (400)	70,0 (1000)
Suelos de grano fino (LL>50 Suelos de mediana a ninguna plasticidad, CL, ML, CL-ML, con más del 25% de partículas de grano grueso Suelos de grano grueso con finos, GM, GC, SM, SC con más de 12% finos)	7,0 (100)	28,0 (400)	70,0 (1000)	140,0 (2000)
Suelos de grano grueso con poco o sin finos, GW, GP, SW, SP con menos de 12% finos	14,0 (200)	70 (1000)	140,0 (2000)	210,0 (3000)
Piedra quebrada	70,0 (1000)	210,0 (3000)	210,0 (3000)	210,0 (3000)
Exactitud en términos de porcentaje de deflexión	± 2	± 2	± 1	± 0,5

a Designación ASTM D 2487, Designación USBRE-3

b LL - Límite líquido

Tabela 9.15- Valores de E' conforme firma Durman

Mecánica del Suelo	Valores de Módulo de Reacción según grado de compactación del material, Kg/cm ²			
	Suelo	Poco compacto, Proctor <85%, DR <40%	Medio compacto, 85 a 95%, Proctor, DR de 40 a 70%	Alto compacto, >95% Proctor, DR >70%
Características del material de encamado (Según SUCS)				
Suelos granulares finos (LL>50), suelos con plasticidad media a alta CH, MH, CHMH, con menos del 25% en partículas granulares gruesas	No datos disponibles, consulte un ingeniero de suelo o use E'=0			
Suelos granulares finos (LL>50), suelos con plasticidad media a nula CL, ML, CL-ML, con menos del 25% en partículas granulares gruesas	3,5	14	28	70
Suelos granulares finos (LL>50), suelos con plasticidad media a nula CL, ML, CL-ML, con más del 25% en partículas granulares gruesas. Suelos granulares gruesos con finos GM, GC, SM SC, con menos del 12% en finos	7	28	70	140
Suelos granulares gruesos con finos GW, GP, SW SP, con menos del 12% en finos	14	70	140	210
Roca triturada	70	210	210	210
Precisión en términos de % de flexión	+/-2	+/-2	+/-2	+/-2

Tabela 9.16- Valores de E' conforme firma Amanco

MODULO DE REACCIÓN DEL SUELO E'
 (PARA DEFLEXIÓN INICIAL DE TUBERÍA FLEXIBLE)

Tipo de suelo para encamado (Sistema Unificado de Clasificación) ^a	E' para diferentes grados de compactación del relleno en Kg/cm ² (lb/plg ²)			
	Material lanzado sin compactar	Ligero, <85% Proctor, <40% densidad relativa	Moderado, 85-95% Proctor, 40-70% densidad relativa	Alto, >95% Proctor, >70% densidad relativa
Suelos de grano fino (LL>50) ^b Suelos con mediana a alta plasticidad CH, MH, CH - MH	NO HAY DATOS DISPONIBLES, USAR E' = 0			
Suelos de grano fino (LL>50) ^b Suelos con mediana a sin plasticidad, CL, ML - CL, con menos del 25% de partículas de grano grueso	3.5 (50)	14.0 (200)	28.0 (400)	70.0 (1000)
Suelos de grano fino (LL>50) ^b Suelos con mediana a sin plasticidad, CL, ML, ML - CL, con más del 25% de partículas de grano grueso Suelos de grano grueso con finos GM, GC, SM, SC con más de 12% finos	7.0 (100)	28.00 (400)	70.0 (1000)	140.0 (2000)
Suelos de grano grueso con poco o sin finos GW, GP, SW, SP con menos 12% de finos	14.0 (200)	70.0 (1000)	140.0 (2000)	210.0 (3000)
Piedra quebrada	70.0 (1000)	210.0 (3000)	210.0 (3000)	210.0 (3000)
Exactitud en términos de porcentaje de deflexión	±2	±2	±1	±0.5

^a Designación ASTM D 2487, Designación USBRE-3
^b U.S. Federal Highway Administration

Coluna 8- PS

PS= rigidez da tubulação (kg/cm²). O tubo adotado tem PS=10psi=0,7kg/cm²

Coluna 9- W'

W' = carga viva (kg/cm²)

$$w' = w \times 1,2 \times 1,5 = 1,8 \cdot W$$

Coluna 10- Δ Y/D

Δ Y/D= variação do diâmetro (%)

Não pode ser maior que 7,5% adotado normalmente, mas a Amanco adota o máximo de 5%.

Conclusão: a altura mínima que poderemos ter sobre a geratriz superior da tubulação e PVC é de 0,60m considerando o máximo de 7,5% de deformação diametral, mas se considerarmos as recomendações da Amanco que é no máximo 5% de deformação diametral teremos altura mínima de 0,80m.

Adotando, portanto, a recomendação da Amanco a altura mínima que precisamos ter é de 0,80m.

Caso não tenhamos o mínimo necessário e caso não seja possível mudar de material da tubulação, temos que aliviar a carga sobre a tubulação colocando-se vigas contínuas de concreto armado que poderão ser pré-fabricadas com largura de 0,50m, altura de 0,15m, sendo assentadas com 0,50m de cada lado da vala.

A ferragem necessária deverá suportar as cargas permanentes bem como as cargas vivas.

9.9. Bibliografia e livros consultados

- AMANCO. *Manual tecnico –tubos sistemas*. Costa Rica.
- DURMAN. *Manual tecnico Rib loc y Rib Steel*. www.durman.com. Ano 2007
- VETTORE ENGENHARIA. Rib loc, www.vettore.com.br